

Б.В. Клименко

ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ

**ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА АПАРАТУРА
КОМУТАЦІЇ, КЕРУВАННЯ ТА ЗАХИСТУ
ЗАГАЛЬНИЙ КУРС**

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Харків 2012

УДК 621.316.54

ББК 31.264

К49

Рецензенти:

ректор, завідувач кафедри електричних машин та апаратів Кременчуцького національного університету ім. Михайла Остроградського, д-р техн. наук, професор *М.В. Загірняк*; професор кафедри електромеханіки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», д-р техн. наук, професор *Ю.А. Шумилов*; завідувач кафедри теоретичної та загальної електротехніки Харківської національної академії міського господарства, д-р техн. наук, професор *А.Г. Сосков*

Рекомендовано Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки «Електромеханіка», лист № 11/1-5167 від 17 квітня 2012 р.

Клименко Б.В.

К49 Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс : навчальний посібник. – Харків: Вид-во «Точка», 2012. – 340 с.

ISBN 978-617-669-015-3

Розглянуто питання, пов'язані з функціями електричних апаратів, та їх частин, тенденціями ринку, класифікацією, захисними властивостями та захищеністю електричної апаратів, вимогами до них, нормальними та ненормальними умовами їх роботи, а також з їх позначенням та маркуванням з урахуванням вимог міжнародних стандартів. Розглянуто сучасні електромеханічні апарати й комплектні пристрої низької, середньої та високої напруги, а також суміжне обладнання щодо їх призначення, будови, принципів дії, основних характеристик та особливостей застосування.

УДК 621.316.54

ББК 31.264

ISBN 978-617-669-015-3

© Клименко Б.В., 2012

ПЕРЕДМОВА

Навчальна дисципліна «Електричні апарати» є важливою складовою навчальних планів першого циклу вищої освіти переважної більшості спеціальностей за напрямками підготовки «Електротехніка й електротехнології» та «Електромеханіка», причому обсяг цієї навчальної дисципліни у різних планах коливається від двох до десяти кредитів (від 72 до 360 годин загального обсягу). Недостатню увагу до цієї дисципліни з боку розробників деяких навчальних планів можна пояснити, принаймні, двома причинами.

Перша причина пов'язана з хибним уявленням щодо другорядності цих, на перший погляд нескладних, електротехнічних пристроїв та недостатньою поінформованістю щодо виконуваних ними функцій. Той, хто бував на сучасних електротехнічних виставках, не міг не побачити, що 30 – 40 % експонованої продукції – це електричні апарати (для цього не обов'язково треба їхати до Москви, Ганновера чи Брно – достатньо побувати на міжнародній виставці ELCOM, яка проводиться щорічно в квітні у Києві, або на регіональних виставках у Львові, Харкові, Одесі, Донецьку та інших містах). Сучасні електричні апарати – це надзвичайно потужна індустрія та динамічний ринок, у якому вітчизняні виробники, які ще 5 – 6 років тому, після обвалу, що мав місце у вітчизняній електротехнічній промисловості, безнадійно пасли задніх, зараз все гучніше заявляють про себе.

Друга причина є похідною від недостатньої поінформованості щодо змін, які за останні 10 – 20 років відбулися в електроапаратобудуванні – галузі, яка у світі розвивається надзвичайно швидкими темпами. Нажаль, навіть у сучасних підручниках та посібниках важко знайти адекватну інформацію про апарати, які зараз складають основу ринку електричної апаратури низької, середньої та високої напруги: це модульні автоматичні відмикачі (без цих апаратів просто неможливо уявити сучасну будівлю, і це вже у нас – в Україні), це відмикачі, керовані різницевиими струмами (без яких в Україні ще з 1998 року заборонено здавати в експлуатацію

нові або реконструйовані споруди), це обмежувачі імпульсних перенапруг побутового та аналогічного призначення (які в Україні ще недостатньо популярні, ними оснащені, у першу чергу, банки та інші фінансові установи, а в Європі – це багатомільйонна індустрія й сучасні помешкання й офіси буквально нашпиговані цими апаратами), це сучасні системи запобіжників, це комбінації із запобіжниками (які в Європі дуже популярні, а в Україні швидко набувають популярності), це вакуумні відмикачі середньої напруги (які в Україні складають понад 90% актуального ринку) та елегазові відмикачі високої напруги (які практично витіснили масляні відмикачі та повітряні відмикачі високого тиску) тощо. Саме цим апаратам у даному посібнику приділяється першочергова увага. Такі розповсюджені апарати, як контактори, магнітні пускачі, апарати кіл керування, з'єднувальні аксесуари, реле тощо розглядаються у посібнику з урахуванням реалій сучасного ринку цих апаратів. Наведений перелік є далеко не повним, його можна суттєво подовжити, але у сучасних умовах зазначений мінімум, на наш погляд, неможливо ігнорувати, не акцентуючи увагу на призначенні, побудові та принципах дії цих апаратів, їх важливої, а подекуди й вирішальної ролі в системах розподілення електричної енергії, системах керування обладнанням та системах захисту людей, тварин, майна й довкілля.

Натомість, ми вважаємо за недоцільне надавати у даному посібнику інформацію про застарілі, багато років тому зняті з виробництва апарати (наприклад, вугільні регулятори, індукційні реле, деякі типи запобіжників, розрядників тощо).

Посібник побудований таким чином, що перед викладенням інформації, яка присвячена призначенню, будові, принципам дії та особливостям застосування електромеханічних апаратів та комплектних пристроїв низької, середньої та високої напруги, а також суміжного обладнання, розглядається не теорія електричних апаратів, а комплекс питань, пов'язаних з понятійним апаратом, побудованим на базі міжнародної термінології щодо електричної апаратури, функціями електричних апаратів та їх частин, тенденціями ринку та класифікацією електричних апаратів, захисними властивостями та захищеністю електричної апаратури, вимогами до електричних апаратів, нормальними та ненормальними умовами їх роботи, у тому числі при коротких замиканнях, позначенням та маркуванням, які застосовуються в сучасній практиці електроапаратобудування з урахуванням вимог міжнародних стандартів.

Така побудова посібника дає можливість використати його, як основний, для ознайомлення з основними різновидами електричної апаратури тими студентами, для яких електричні апарати не є основним фахом, і які вивчають цей курс в обсязі у 2 – 4 кредити. Ті ж студенти, які вивчають електричні апарати у більшому обсязі (6 – 10 кредитів), можуть скорис-

туватися цим посібником для отримання базової інформації стосовно функцій електричних апаратів (у тому числі тих, що пов'язані із захистом людей, тварин, майна й довкілля від згубної дії електричної енергії) та їх класифікації, стосовно вимог до них, умов їх роботи, їх позначення та маркування, а також для отримання початкової інформації щодо номенклатури сучасних електричних апаратів. Інформацію стосовно основ теорії електричних апаратів, а також більш докладну інформацію щодо сучасних електричних апаратів низької, середньої та високої напруги, комплектних пристроїв та суміжного обладнання автор цього посібника має намір надати в окремих виданнях, над якими автор зараз працює.

В тексті посібника не наводяться контрольні запитання, але до посібника за запитом додається лазерний диск, у якому містяться файли контрольних запитань з кожного розділу у вигляді тестів (у форматі PDF), які дозволять студентам самостійно контролювати рівень засвоєння навчального матеріалу, а викладачам швидко й об'єктивно, а головне – регулярно, здійснювати поточну перевірку та оцінювання знань студентів. Ці файли, у певній мірі, можуть бути застосовані також і під час підсумкового контролю з даної дисципліни.

Даний посібник написано за матеріалами лекційних курсів, який автор на протязі багатьох років читав у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут», у тому числі останні сім років – у формі презентацій PowerPoint, із застосуванням сучасних комп'ютерних технологій і тестових методів оцінювання знань. Автор впродовж 2005 – 2010 років мав досвід викладання теоретичного й практичного матеріалу, що міститься у посібнику, не тільки студентам, а й дипломованим фахівцям, зокрема, інженерно-технічним працівникам ВАТ «Електроапарат» (Росія, Курськ), фахівцям Міністерства енергетики Республіки Таджикистан, ряду установ та підприємств України. Набутий досвід застосування сучасних комп'ютерних технологій (лекції у формі презентацій, застосування файлів роздавальних конспектів, тестові форми контролю та оцінювання) дозволяє стверджувати про реальність суттєвої інтенсифікації навчального процесу при проведенні лекційних занять.

Введення в навчально-методичний обіг цього посібника дозволить ще у більшій мірі інтенсифікувати навчальний процес, переносючи центр тяжіння у навчанні на самостійну роботу студентів, а також враховувати сучасні тенденції розвитку вищої освіти.

Остання теза потребує докладнішого пояснення з огляду на офіційне приєднання України до Болонського процесу 19 травня 2005 року на саміті міністрів вищої освіти європейських країн, який відбувся у Бергені (Норвегія). На цьому саміті міністри зробили дуже важливу заяву щодо прийняття ними **узагальненої структури кваліфікацій для Європейського простору вищої освіти** (the overarching framework for qualifications

in the ENEA). Зазначена структура кваліфікацій заснована на так званих Дублінських дескрипторах, які складаються з п'яти елементів:

- знання та розуміння (knowledge and understanding);
- застосування (applying) знань та розумінь;
- формування тверджень (making judgements);
- комунікативні навички (communications skills);
- навички навчання (learning skills).

Хоча Дублінські дескриптори розроблялися їх авторами, у першу чергу, для пошуку узагальнених описів очікуваних досягнень та здатностей, пов'язаних з кваліфікаціями у кожному з трьох циклів вищої освіти, але зазначені п'ять елементів можуть розглядатися, як інструмент опису результатів навчання (learning outcomes) з окремих навчальних дисциплін, зокрема, з електричних апаратів. Отже, виходячи з Дублінських дескрипторів, основні очікувані результати вивчення дисципліни «Електричні апарати» за структурою даного посібника можна коротко сформулювати так.

1. Набуття студентами знань та розумінь, пов'язаних з апаратами комутації, керування й захисту, їх призначенням та галузями застосування, вимогами до них, умовами роботи, принципом дії та характеристиками основних груп електричних апаратів низької, середньої та високої напруги, а також комплектних пристроїв.

2. Набуття студентами компетенцій, які проявляються у здатності застосовувати набуті знання та розуміння на базі професійного підходу у галузі електричних апаратів в межах свого роду занять на рівні фахівця з кваліфікацією першого циклу вищої освіти, у тому числі щодо застосування електричних апаратів для безпечного використання електричної енергії.

3. Набуття студентами компетенцій, які проявляються у здатності збирати та інтерпретувати необхідні дані і на цій основі висувати та захищати аргументи стосовно тих чи інших властивостей електричних апаратів, а також тенденцій їх розвитку, розглядаючи електричні апарати, як невід'ємну частину електротехніки – галузі науки і техніки, що охоплює питання виробництва, перетворення та споживання електричної енергії у практичній діяльності людини.

4. Набуття студентами комунікативних навиків стосовно електричної апаратури з точки зору урахування вимог міжнародних стандартів, зокрема щодо термінології, позначень, маркування тощо, а також здатності передавати інформацію, ідеї, проблеми та рішення щодо електричних апаратів аудиторії, що складається як із спеціалістів, так і неспеціалістів.

5. Набуття студентами навиків навчання з певним рівнем самостійності, що є необхідним для подальшого вивчення спеціальних навчальних дисциплін з більшим ступенем самостійності.

При створенні цього посібника автор намагався враховувати сформульовані вище визначення очікуваних результатів вивчення даної дисципліни, маючи на увазі, що дисципліна «Електричні апарати» вивчається у першому циклі вищої освіти.

До тексту даного посібника автор включав тільки добре перевірений фактичний матеріал, який витримав жорстке тестування ринком та багаторічною апробацією, сповідуючи погляд на підручник чи посібник (особливо, для дисциплін, що викладаються у першому циклі вищої освіти) як на збірку добре відомих та багато разів перевірених матеріалів, практична корисність яких для фахівців доведена потребами актуального ринку. Отже, роль автора даного посібника зводилася до сумлінного підбору матеріалів, які відповідають сучасному стану ринку електричних апаратів, а також до методики викладення матеріалу. Авторські ж посібники, де їх автори викладають, переважно, результати власних досліджень, безумовно, теж мають право на існування, але, здебільшого, для дисциплін вузько теоретичної або розрахункової спрямованості, які мають викладатися зазвичай у другому циклі вищої освіти.

Підручники та посібники, назви яких присутні у переліку літератури, слід розглядати як засіб для розширення можливостей самоосвіти, а не як першоджерела, тому що власне першоджерела містяться у журнальних статтях та монографіях, які видаються, зазвичай, дуже обмеженим накладом і доступ до яких для переважної більшості користувачів даного посібника є майже закритим.

Значний масив інформації, який увійшов до посібника, міститься в інформаційних та методичних матеріалах провідних компаній – виробників електричних апаратів. Ці матеріали також мають обмежений наклад, у них часто-густо відсутні вихідні дані, тому посилання на них у переліку літератури ми не маємо можливості навести.

Сучасна електрична апаратура виробляється з урахуванням вимог стандартів Міжнародної електротехнічної комісії (International Electrotechnical Commission – IEC) стосовно окремих груп електричних апаратів. Ці стандарти, а також термінологічні стандарти (вітчизняні та міжнародні) та Правила улаштування електроустановок (ПУЕ) були суттєвим джерелом інформації при створенні даного посібника. Застосовані при написанні цього посібника нормативні документи (відповідні стандарти та ПУЕ) наводяться у переліку літератури. При цьому автор застерігає щодо необхідності обережного ставлення до посилань на нормативні документи, бо вони з часом зазнають певних змін, інколи досить суттєвих.

Даний посібник, орієнтований на студентів електротехнічних та суміжних спеціальностей вищих навчальних закладів, може у значній мірі виявитися корисним для викладачів і аспірантів, які зацікавлені у впровадженні в дослідження та в навчальний процес міжнародної елек-

тротехнічної термінології, інформації стосовно актуального ринку електричної апаратури, створеної з урахуванням вимог міжнародних стандартів. Посібник може виявитися корисним також для інженерно-технічних працівників промислових підприємств та менеджерів електротехнічних компаній, які стикаються у своїй практичній діяльності з сучасною електротехнічною продукцією, зокрема з електричною апаратурою та суміжним обладнанням й аксесуарами.

Автор висловлює щирі подяку рецензентам посібника: проф. Загірняку М.В., проф. Соскову А.Г. та проф. Шумилову Ю.А. за цінні зауваження щодо тексту посібника.

Автор щиро вдячний співробітникам компаній спонсорів: А. Жданову, М. Мухлигину, Н. Сивенькій (АББ, Лтд), В. Шпаку, А. Малооголовцю, В. Тіхонову (ЕНЕКСТ Україна), В. Бугайчуку, К. Пасішніченко (АВМ Ампер), Ю. Куликову, Є Крохмалю (Євроіндастрі – офіційний партнер GE в Україні), О. Ждановичу (Легранд Україна), В. Шевченко, Д. Симоненко, Ю. Дубровській (ІЕК Україна), Я. Дюкку, А. Калініну (HARTING Electric GmbH & Co. KG, офіційний дистриб'ютор в Україні – ПП НВФ VD MAIS), Г. Ткаченко, Є. Бараннику, О. Черненко (ОБО Беттерманн Україна), В. Несмяновичу, Ю. Ушкацу (НТЦ Харківрелекомплект) за підтримку цього видання, а також за надання інформаційних та ілюстративних матеріалів.

Окрема подяка редакторам журналу «Електропанорама» О. Невадовській та С. Казанському, а також редакторам газети «Електротема» Н. Кудельській та Ю. Іванову за інформаційну підтримку цієї книжки.

Автор дуже вдячний своїм колегам, співробітникам та друзям, зокрема Є. Байді, О. Верхолі, О. Гречко, О. Єресько, С. Кохановському, О. Точиліну, О. Чепелюку за участь у зацікавленому та професійному обговоренні змісту посібника.

Автор буде також вдячний усім, хто висловить свої зауваження та побажання щодо змісту посібника, які можна направляти на адресу: Україна, 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21, НТУ «ХПІ», кафедра електричних апаратів, проф. Клименко Борису Володимировичу або на e-mail: b.v.klymenko@mail.ru.

ВСТУП

Слово «апарат» наприкінці XIX століття, зазвичай, застосовувалося до технічних пристроїв або груп технічних пристроїв, поєднаних за деякими ознаками, наприклад телеграфний апарат, телефонний апарат, літальний апарат тощо. Відомий електротехнік П.М. Яблочков застосував поняття «електричний апарат» як узагальнюючу назву для групи електротехнічних пристроїв, відомих на той час, які здійснювали комутації електричних кіл, розподілення, контролю та регулювання параметрів електричної енергії – рубильників, перемикачів, комутаторів (розподільних пристроїв), реле та регуляторів. І хоча у країнах, які впродовж багатьох років активно співпрацювали з ІЕС, словосполучення «electrical apparatus» вживається у більш широкому розумінні, у вітчизняній технічній літературі на протязі десятиліть зберігалася традиція відносити до електричних апаратів саме електротехнічні пристрої комутації, керування й захисту.

Характерною особливістю електричних апаратів є дуже широка номенклатура пристроїв, що відносяться до цієї галузі електротехніки, величезна кількість понять, визначень, характеристик, а також надзвичайно динамічний ринок як з точки зору неухильного зростання його обсягу, так і з точки зору швидкого оновлення номенклатури та розширення функціональних можливостей електричних апаратів.

Динаміку ринку апаратів низької напруги якісно характеризують графіки, наведені на рис. В1. Загальну тенденцію зростання цього ринку (крива 1 на рис. В.1) практично повторюють деякі апарати, які присутні на ринку багато років – запобіжники (2), автоматичні відмикачі (3), контактори (4) та низка інших апаратів. Натомість, деякі апарати суттєво послабили свої позиції на ринку, наприклад – електромеханічні реле (5), а інші зовсім полишили актуальний ринок – електромеханічні контролери (6). Приблизно 20 – 25 років тому ринок почав наповнюватися апаратами побутового призначення, серед яких найбільш активно просува-

ються модульні автоматичні відмикачі (7) та апарати захисту від прямих та непрямих дотиків – відомі на Заході як апарати різницевого струму (residual current device – RCD), а у нас – як УЗО (8). До речі, ці апарати були практично невідомі в Україні ще 15 років тому.

Дещо інша картина спостерігається в сфері апаратів середньої та високої напруги. Як приклад, розглянемо динаміку ринку відмикачів високих напруг (110 кВ та більше). У цій сфері при загальній тенденції зростання (крива 1 на рис. В.2) спостерігається перерозподіл ринку між апаратами, побудованими на різних принципах дугогасіння – масляними баковими (2), маломасляними й повітряними (3, 4) на користь автокомпресійних елегазових (5) відмикачів.

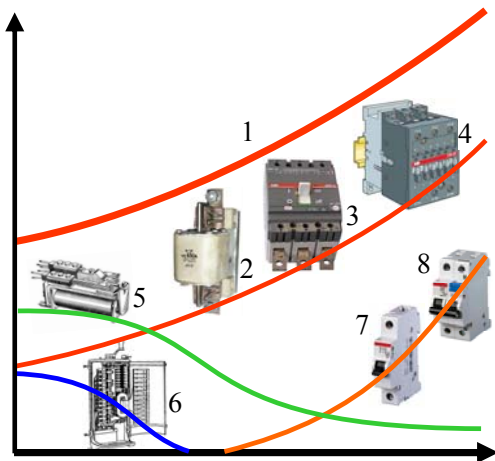


Рис. В.1. Динаміка ринку електричних апаратів низької напруги

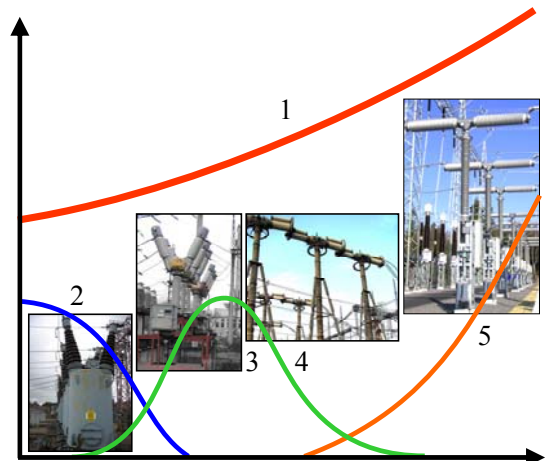


Рис. В.2. Динаміка перерозподілу ринку відмикачів високої напруги

Обмежений обсяг посібника не дає можливості розглянути усі типи пристроїв, які прийнято відносити до електричних апаратів, й докладно розглянути їх. Тому у посібнику розглянуто лише ті апарати, що домінують на актуальному ринку, і короткий огляд за такою схемою: призначення, будова, принципи дії, сфери застосування, найважливіші характеристики.

Призначення електричних апаратів коротко можна визначити так:

- розподілення електричної енергії між споживачами – комутаційні апарати, призначені для вмикання, вимикання та перемикання в розподільних мережах та інших електричних колах;
- керування, переважно, електродвигунами, вбудованими у різні технологічні процеси – електричні апарати керування;
- захист людей, тварин, майна й довкілля від згубної дії електричної енергії – електричні апарати захисту;
- виконання функцій керування, сигналізації, блокування тощо в допоміжних колах комутаційної апаратури, апаратури керування, а також в колах керування електротехнічного обладнання – апарати кіл керування

(не плутати з апаратами керування, які призначені для здійснення комутацій у головних колах).

Поділ електричних апаратів на групи згідно з їх призначенням є досить умовним, оскільки деякі апарати можуть мати ознаки, які дозволяють відносити їх до різних груп. Наприклад, такі апарати як вимикачі-роз'єднувачі, комбіновані із запобіжниками (вимикачі-роз'єднувачі-запобіжники – рис. В.3 та запобіжники-вимикачі-роз'єднувачі), широко застосовуються у комплектних пристроях для комутації електричних кіл, отже вони можуть бути віднесені до групи комутаційних апаратів призначених для розподілення електричної енергії. Ці ж апарати відповідно до стандарту ІЕС 60947-3 можуть застосовуватися й для вмикання та вимикання кіл з електродвигунами, відтак їх можна віднести до групи апаратів керування. Нарешті, наявність запобіжників у складі цих апаратів дає підстави віднести їх до групи апаратів захисту.

Ще один приклад. Поворотні перемикачі (рис. В.4) відносять до апаратів кіл керування, оскільки їх основним призначенням є здійснення комутацій у допоміжних колах й колах керування, але вони відповідно до міжнародного стандарту ІЕС 60947-5-1 можуть застосовуватися також для комутацій у головних колах електродвигунів невеликої потужності, тому їх можна віднести також й до групи апаратів керування.



Рис. В.3. Вимикач-роз'єднувач-запобіжник (switch-disconnector-fuse)



Рис. В.4. Поворотний перемикач керування (rotary control switch)

Слід зазначити, що які б функції не виконував електричний апарат, його кінцевою дією має бути вмикання або вимикання струму в електричному колі за допомогою комутаційного елементу у вигляді контактів, що замикаються або розмикаються, або напівпровідникового пристрою, що змінює свій опір під дією зовнішнього впливу. Іноді до електричних апаратів відносять також електротехнічні пристрої, які не виконують комутаційних функцій (електромагнітні гальма, муфти, сепаратори).

ратори, електромагніти керування як окремі пристрої тощо), але ці апарати у даному посібнику не розглядаються.

Посібник складається з чотирьох глав. В першій главі, присвяченій функціям та класифікації електричних апаратів, надається базова інформація щодо загальновизнаного в світі понятійного апарату – електротехнічної термінології Міжнародного електротехнічного словника (International Electrotechnical Vocabulary – IEV) та стандартів Міжнародної електротехнічної комісії (International Electrotechnical Commission – IEC*). Застосування міжнародної термінології має велике значення з огляду на поступове входження України до загальносвітового економічного простору та широке застосування сучасних (у тому числі імпортних) електричних апаратів і аксесуарів у промисловості, будівництві, сільському господарстві й побуті. Призначення електричних апаратів та їх частин розглядаються з урахуванням міжнародної електротехнічної термінології. З урахуванням цієї ж термінології та тенденцій ринку електричних апаратів розглядається їх класифікація.

Друга глава присвячена ролі електричних апаратів в системі захисту людей, тварин, майна й довкілля від згубної дії електричної енергії, а також захищеності самих апаратів від проникнення всередину них сторонніх предметів та вологи.

Вимогам до електричних апаратів, нормальним та ненормальним умовам їх роботи, у тому числі й при коротких замиканнях, присвячена третя глава посібника. Особливості їх маркування та позначення електричних апаратів слід розглядати як важливий засіб отримання інформації про конкретні апарати, у тому числі, про їх найважливіші характеристики, а також про їх відповідність вимогам міжнародних стандартів. Тому ці питання розглядаються також в третій главі.

Остання, четверта глава присвячена огляду електромеханічної апаратури в контексті призначення, будови, принципів дії та застосування окремих груп електричних апаратів, комплектних пристроїв та суміжного обладнання. Важливою передумовою конкурентоздатності вітчизняної продукції є її відповідність вимогам міжнародних стандартів, передусім стандартів ІЕС, щодо конкретних груп та видів електричних апаратів. Незважаючи на обмежений обсяг посібника, у цій главі привертається увага до деяких ключових вимог зазначених міжнародних стандартів.

Наведений наприкінці посібника докладний предметний покажчик дозволяє швидко розшукувати потрібну інформацію про окремі апарати, їх частини, особливості застосування й функціонування та найважливіші характеристики апаратів.

* Міжнародний електротехнічний словник має статус стандарту ІЕС 60050. Цей стандарт є термінологічним підґрунтям усіх інших стандартів ІЕС.

ФУНКЦІЇ, ЧАСТИНИ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ

1.1. Ключові особливості міжнародної термінології щодо електричної апаратури

1.1.1. Міжнародний електротехнічний словник та інші термінологічні джерела

Дуже важливою складовою будь-якого посібника є понятійний апарат, який у ньому застосовується. Питання термінології у сфері техніки зазвичай регулюються стандартами. Важливість адекватного застосування термінів важко переоцінити, оскільки нечіткі визначення й некоректне тлумачення понять неодноразово призводили до серйозних непорозумінь. Тому Міжнародна електротехнічна комісія (International Electrotechnical Commission – IEC) – авторитетна міжнародна організація зі стандартизації у галузі електротехніки та суміжних галузей, яка була створена понад століття тому – у 1906 році, постійно опікується питаннями термінології. Зазначимо, що усіма іншими галузями, крім електротехніки та суміжних з нею галузей, опікується створена у 1946 році Міжнародна організація зі стандартизації (International Organization for Standardization – ISO).

Ще у далекому 1910 році IEC створила спеціальний Комітет для складання міжнародного переліку термінів та їх визначень. Перше видання Міжнародного електротехнічного словника (International Electrotechnical Vocabulary – IEV) з'явилося у 1938 році. У другому виданні словника, яке було опубліковане у 1957 році, терміни та їх визначення наводилися французькою та англійською мовами (так само, як і у першому виданні), а ще шістьма мовами: німецькою, іспанською, італійською, голландською, польською та шведською – терміни без визначень. Технічний комітет №1 IEC доручив національним комітетам ряду країн (у тому числі СРСР) підготувати та опублікувати словник з тлумаченнями термінів титульними мовами відповідних країн.

У 1963 році Міжнародний електротехнічний словник було опубліковано російською мовою, причому, як і оригінал, словник публікувався окремими випусками за відповідними тематичними групами, кількість яких на той час складала 22 групи. Після 1963 року, робота над словником в ІЕС не припинялась, але в СРСР публікації словника не здійснювалися. Натомість, визначення термінів стало невід’ємною частиною Державних стандартів (ГОСТ), отже терміни розпорошилися по великій кількості стандартів, далеко не завжди збігаючись з визначеннями ІЕВ. Зазначені розбіжності у термінології не варто ігнорувати, адже Міжнародний електротехнічний словник є термінологічним підґрунтям усіх стандартів Міжнародної електротехнічної комісії, а саме цим стандартам мають відповідати сучасні електричні апарати.

Актуальна версія ІЕВ зафіксована у стандарті ІЕС 60050, яка складається з окремих частин, деякі з яких були використані у даному посібнику.

Починаючи з 2008 року до ІЕВ почали застосовувати назву «Electropedia», причому з того року ІЕС надала усім користувачам INTERNET вільний доступ до цього ресурсу (рис. 1.1), щоправда визначення понять, позначених відповідними термінами, у цьому джерелі надаються лише французькою та англійською мовами. Ще десятьма мовами (арабською, китайською, німецькою, італійською, японською, португальською, польською, російською, іспанською та шведською) мають надаватися відповідні терміни. Нажаль, на вересень 2011 р. російською мовою терміни (без визначень) були надані лише у 10 частинах цього словника.

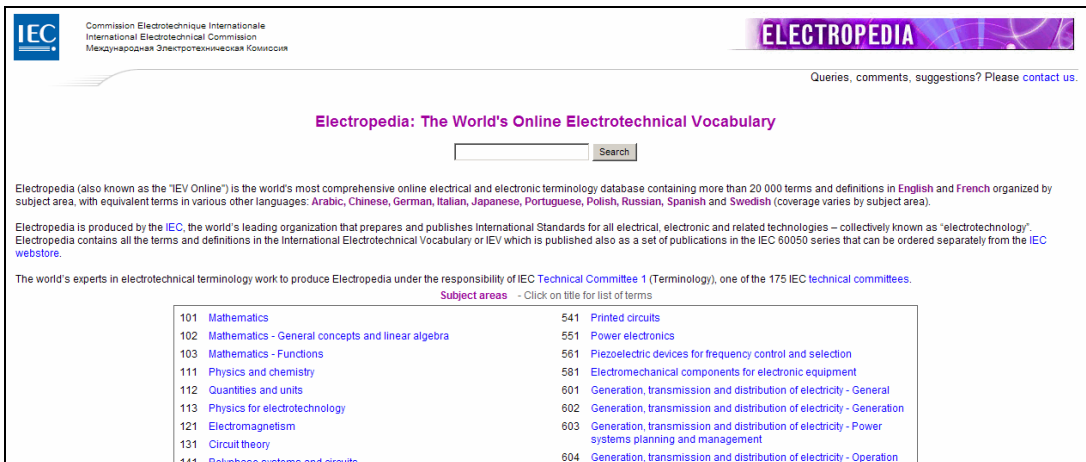


Рис. 1.1. Початковий фрагмент оболонки Електропедії (з сайту ІЕС)

Сучасна Electropedia (ІЕВ) складається з 84 частин (parts), у яких визначається понад 20 000 понять з різних галузей електротехніки та галузей, що тісно пов’язані з електротехнікою (наприклад, електробіологія), а також з галузей, які є підґрунтям електротехніки (наприклад, математика, фізика, хімія).

Частини IEC згруповані у класи (class), номери та назви яких представлені нижче:

- 1 Загальні поняття (General concepts)
- 2 Матеріали (Materials)
- 3 Вимірювання, автоматичне керування (Measurement, automatic control)
- 4 Електричне обладнання (Electric equipment)
- 5 Електронне обладнання (Electronic equipment)
- 6 Генерування, передача та розподілення енергії (Generation, transmission and distribution of energy)
- 7 Телекомунікації (Telecommunications)
- 8 Специфічні застосування (Particular applications)

Кожне поняття IEC має свій номер, який складається з розділених дефісами номеру частини (part), для позначення якого застосовується три цифри, перша з яких відповідає номеру класу, номеру розділу (section) у межах відповідної частини (дві цифри) та номеру поняття (concept) у межах відповідного розділу (дві або три цифри), наприклад, 441-17-07.

Міжнародний електротехнічний словник містить лише базові поняття для конкретних галузей. Значний термінологічний масив міститься також в профільних стандартах Міжнародної електротехнічної комісії, які розповсюджуються на певні групи електротехнічної продукції, зокрема, на певні різновиди електричних апаратів.

В умовах поступового входження України до загальносвітового економічного простору виняткову важливість для розвитку міжкультурних комунікацій набуває застосування міжнародно визнаної термінологічної бази, зокрема, термінів та їх тлумачень з Міжнародного електротехнічного словника та стандартів Міжнародної електротехнічної комісії.

Після розпаду СРСР в Україні спостерігалися численні спроби розробити термінологічні словники (у тому числі у вигляді Державних стандартів України – ДСТУ, зокрема ДСТУ 2843-94, ДСТУ 2267-93, ДСТУ 2815-94) з різних технічних галузей, у тому числі, і з електротехніки. Деякі радянські стандарти (ГОСТ) є чинними в Україні й зараз, маючи статус міждержавних. Значну кількість термінів та визначень містять Правила улаштування електроустановок – ПУЕ. Характерно, що терміни та визначення, наведені у зазначених документах, далеко не завжди збігаються з термінами та визначеннями IEC, що суттєво знижує комунікативні якості цих документів.

У 2008 та 2009 роках автор даного посібника опублікував власні переклади та тлумачення деяких частин IEC, що стосуються електричної апаратури та супутніх аксесуарів, а також переклади специфічної термінології стосовно деяких різновидів електричних апаратів. Ці переклади (з певними уточненнями) застосовуються і в даному посібнику, причому після згадування певного терміну українською мовою у дужках наво-

диться відповідний термін мовою оригіналу, запозичений з IEV або з деякого стандарту IEC.

В предметному покажчику поряд з україномовним терміном розташовується відповідний англomовний термін, а після двокрапки наводиться номер стандарту IEC (без аббревіатури IEC), а також номер пункту у стандарті, де відповідний термін та/або визначення наводиться. Для термінів, запозичених з IEV, наводиться лише номер цього терміну без аббревіатури IEV. Такий підхід дає можливість читачеві познайомитися з оригіналами визначень, які в посібнику наводяться у спрощеному вигляді.

Терміни, що запозичені з ПУЕ, ГОСТів та деяких інших першоджерел, наводяться у предметному покажчику без перекладу на англійську мову, у цих випадках наводяться російськомовні оригінали термінів.

В предметному покажчику зазначаються усі сторінки посібника, де зазначений термін згадується, що дає можливість читачеві проаналізувати нюанси застосування того чи іншого терміну у різних контекстах.

1.1.2. Аббревіатури та літерні позначення

В IEV та у профільних стандартах IEC застосовується велика кількість аббревіатур. Ці аббревіатури, переважно, формуються з перших літер слів, що утворюють той чи інший термін. При перекладі терміну на українську мову можна утворити й відповідну україномовну аббревіатуру, але, враховуючи те, що аббревіатури, у першу чергу, повинні мати комунікативні властивості, у даному посібнику застосовуються переважно англomовні аббревіатури, наприклад DC – постійний струм, AC – змінний струм, rms або r.m.s. – середньоквадратичне значення тощо.

Літерні позначення основних фізичних величин, які застосовуються в сучасній технічній літературі, здійснюються відповідно до вимог стандарту IEC 60027, які у певній мірі збігаються з вимогами стандарту ДСТУ 3120-95 «Електротехніка. Літерні позначення основних величин» (ГОСТ 1494-77 «Электротехника. Буквенные обозначения основных величин»), але при цьому треба мати на увазі, що дисципліна «Електричні апарати» не є суто електротехнічною, адже вона залучає також елементи з інших галузей – механіки та теплотехніки. Тому при виборі позначень фізичних величин будемо надавати пріоритет рекомендаціям міжнародного стандарту IEC 60027, у якому наводяться позначення не тільки електротехнічних величин, а й величин із згаданих вище галузей. Крім того у стандарті IEC 60027 надаються альтернативні позначення, що дають можливість розрізняти величини за допомогою індексів. Зазначимо, що стандарт IEC 60027 рекомендує позначати змінні курсивом, а індекси – прямим шрифтом за винятком тих, що позначають порядкові номери величин або коли індексом є літерний символ фізичної величини.

Приклади:

F – сила (механічна, Н);

F – магніторушійна сила (МРС, А), якщо у відповідній формулі не фігурує сила механічна F ;

F_m – магніторушійна сила (МРС, А), якщо у відповідній формулі фігурує сила механічна F ;

f_m – питома механічна сила (Н/м), що діє у точці з номером m ;

M – момент (механічний, Н·м);

M_{ij} – взаємна індуктивність (Гн) контурів з номерами i та j , якщо у відповідній формулі не фігурує механічний момент M ;

L_{ij} – взаємна індуктивність (Гн) контурів з номерами i та j , якщо у відповідній формулі фігурує механічний момент M ;

δ_C – кут втрат конденсатора ємністю C .

1.1.3. Особливості формулювання деяких термінів українською мовою

Згідно з Директивами ISO/IEC терміни та відповідні визначення в IEV мають наводитися французькою, англійською та російською мовами. Ці три мови вважаються основними мовами IEV (principal IEV languages). Ще вісім мов, а саме арабська, німецька, іспанська, італійська, японська, польська, португальська та шведська, вважаються додатковими мовами IEV (additional IEV languages). Цими мовами в IEV мають наводитись тільки терміни (без визначень). Насправді ж мовна наповненість Міжнародного електротехнічного словника не завжди відповідає вимогам Директив ISO/IEC. Паперова версія, яка складається з 74 окремих видань, оформлених як частини стандарту IEC 60050, наприклад IEC 60050-441, містить терміни та відповідні визначення англійською та французькою мовами (49 частин містять також відповідні терміни й визначення російською мовою), а також терміни (без визначень) ще декількома мовами, перелік яких не завжди співпадає з переліком додаткових мов, наведеним в Директивах ISO/IEC. Як вже зазначалося, сучасна електронна версія IEV не надає перекладів визначень на російську мову. Мабуть це не випадково, адже, по-перше, не існує повної паперової російськомовної версії IEV, а по-друге, у деяких частинах IEV міститься низка понять, які важко перекласти на російську мову, не порушивши традицій офіційної російськомовної термінології.

Оскільки сучасна офіційна україномовна електротехнічна термінологія у значній мірі є похідною від радянської російськомовної термінології, то такі ж складнощі виникають і в формулюванні деяких ключових електротехнічних понять українською мовою. При формулюванні термінів стосовно електротехнічних понять українською мовою, слід враховувати, що вони повинні мати однозначні міжнародні аналоги серед термі-

нів, зафіксованих в IEC та профільних стандартах ІЕС. З цих позицій розглянемо декілька понять, що мають ключове значення для теорії та практики електроапаратобудування.

Електричні апарати та електрична апаратура

Словосполучення «електричний апарат» міцно укорінилося у російській та українській науково-технічній літературі для позначення пристроїв комутації, керування та захисту. За багато років склався певний перелік або номенклатура електротехнічних пристроїв, які прийнято відносити до електричних апаратів. Натомість, хоча у сучасній англomовній науково-технічній літературі й застосовується термін «electrical apparatus», але він зазвичай узагальнює майже всі електротехнічні пристрої та комплекти пристроїв, що можуть використовуватися як незалежні об'єкти для виконання певних функцій відповідно до визначення терміну «апарат» (apparatus). Власне ж до електричного апарата у звичному для нас розумінні застосовується термін «device» (дослівно – пристрій) у комбінації з різними специфікаторами – «switching device», «mechanical switching device», «semiconductor switching device», «control circuit device», які ми будемо перекладати відповідно так: «комутаційний апарат», «електромеханічний комутаційний апарат», «напівпровідниковий комутаційний апарат», «апарат кіл керування». В англomовній електротехнічній літературі для позначення сукупності комутаційних апаратів поряд з терміном «switching devices» (множина) застосовується термін «switchgear», який ми будемо перекладати, як **«комутаційна апаратура»**, розуміючи під цим терміном **узагальнююче поняття для апаратів, комплектних пристроїв («assemblies») та їх складових**. Аналогічним до поняття «switchgear» є поняття «controlgear», яке ми будемо перекладати, як «апаратура керування». Різниця між цими поняттями полягає у тому, що комутаційна апаратура застосовується переважно для використання при генеруванні, транспортуванні, розподіленні та перетворенні електричної енергії, а апаратура керування застосовується переважно для керування обладнанням, що споживає електричну енергію. Під узагальненим поняттям «електрична апаратура» відтак ми будемо розуміти сукупність комутаційної апаратури та апаратури керування, тобто електричних апаратів та комплектних пристроїв. Цьому поняттю в англomовній термінології приблизно відповідає поняття, що позначається терміном «switchgear and controlgear».

Switch and Circuit-breaker

Існує принципова різниця між двома різновидами комутаційних апаратів, які в англomовній технічній літературі позначаються термінами «switch» та «circuit-breaker». Перший з них – «switch» призначений, у першу чергу, здійснювати функціональні комутації при нормальних умовах.

Ці апарати можуть також здійснювати невелику кількість комутацій в умовах визначених перевантажень та навіть вмикати струми коротких замикань, але не спроможні їх відмикати, оскільки вони не мають відповідних засобів. Натомість «circuit-breaker» призначений, у першу чергу, здійснювати проведення електричного струму впродовж тривалого часу (години, дні, тижні, місяці й навіть роки), не здійснюючи жодних комутацій. Разом з тим, ці апарати здатні здійснювати функціональні комутації, комутації струмів перевантажень, а також комутації (вмикання та відмикання) струмів коротких замикань. Усі мови IECV (тобто ті мови, якими надаються терміни у Міжнародному електротехнічному словнику), а саме англійська (en), французька (fr), німецька (de), португальська (pt), шведська (sv), польська (pl), а також арабська (ar) та японська (ja) термінологічно чітко розрізняють ці поняття:

en	Switch	Circuit-breaker
fr	Interrupteur	Disjoncteur
de	Lastschalter	Leistungsschalter
pt	comutador	disjuntor
sv	Lastbrytare	Effektbrytare
pl	Rozłącznik	Wyłącznik
ar	مفتاح	قاطع دائرة
ja	スイッチ	回路遮断器

У російськомовній термінології для зазначених апаратів застосовується однакове позначення «выключатель» з додатковими специфікаторами, наприклад «circuit-breaker» перекладається як «автоматический выключатель» (а іноді – без специфікатора), а «switch» – як «выключатель нагрузки» (а іноді – також без специфікатора), або ж з контекстними уточненнями. Здається, що термін «автоматический выключатель» не зовсім адекватно відповідає терміну «circuit-breaker», адже вимикачі, що встановлюються, наприклад, на електричних чайниках, діють автоматично, вимикаючи живлення при закипанні води, тож цей апарат цілком природно іменувати як «автоматичний вимикач» – «automatic switch», а термін «circuit-breaker» для нього зовсім не підходить, адже цей апарат не здатний відмикати струми коротких замикань. Для того, щоб адекватно розрізнити головні властивості зазначених апаратів у даному посібнику для терміна «switch» вживається україномовний еквівалент «вимикач», а для терміну «circuit-breaker» – «відмикач».

Nominal value and Rated value

Адекватний переклад цих термінів відсутній як в російськомовних, так і в україномовних офіційних документах. Дуже великі складнощі, як це не дивно, викликає переклад на російську мову терміну «nominal value», адже специфікатор «номинальный» в російськомовній офіційній термінології зазвичай ставиться у відповідність до терміну «rated value» (див. наприклад ГОСТ Р 50030.1, 2.5.3). Якщо «rated value» – «номинальное значение», то як же слід перекладати термін «nominal value»? У тому

самому стандарті цей термін перекладається як «паспортное значение» (ГОСТ Р 50030.1, 2.5.1). В Internet-версії IEV (Electropedia) в частині 151 нарешті з'явився офіційний переклад цих термінів на російську мову, але перекладені навпаки – «nominal value» як «номинальное значение», а «rated value» як «паспортное значение».

В українському стандарті ДСТУ ІЕС 62040-3 термін «rated value» перекладено як «номінальна величина» (ДСТУ ІЕС 62040-3, 3.3.2), а термін «nominal value» – як «номінальне значення» (ДСТУ ІЕС 62040-3, 3.3.3). Як бачимо, одне англійське слово «value» перекладено по-різному – «величина» та «значення», а два різних слова «rated» та «nominal» перекладені однаково – «номінальне(а)».

Насправді ж поняття «nominal value» цілком природно перекласти як «номінальне значення». То що ж таке «rated value»? Для того, щоб коректно перекласти цей термін, враховуючи міжнародну сформованість його розуміння, порівняємо ці визначення (так, як вони наведені в IEV 151):

nominal value	<i>value of a quantity used</i>	<i>to designate and identify</i>	<i>a component, device, equipment, or system</i>
rated value	<i>value of a quantity used</i>	<i>for specification purposes, established for a specified set of operating conditions of</i>	<i>a component, device, equipment, or system</i>

Як бачимо, початки та кінцівки цих визначень є однаковими, а різними у них є лише середні частини (у таблиці виділено жирним курсивом). Отже, «номінальне значення» («nominal value») – це кількісне значення, що застосовується *для позначення та ідентифікації* компоненти, пристрою, обладнання або системи, а «rated value» це кількісне значення, що застосовується *для цілей визначення технічних характеристик, встановлюваних для обумовленої сукупності умов роботи* компоненти, пристрою, обладнання або системи.

У частині 441 визначення поняття «rated value» було дещо уточнено: «A quantity value assigned, ***generally by the manufacturer***, for a specified operating condition of a component, device or equipment», отже, було підкреслено, що це значення встановлює виробник, а також вилучено поширення цього поняття на системи. Натомість, до визначення було додано примітку: «Examples of rated values usually stated for fuses: voltage, current, breaking capacity» (Прикладами «rated value», що встановлюються для запобіжників, є відповідні значення напруги, струму, здатності до відмикання).

Аналіз зарубіжної нормативної (стандарти ІЕС) та технічної (каталоги, проспекти фірм) літератури свідчить, що термін «nominal value» застосовується вкрай рідко і лише до тих величин, які не ставляться у залежність від умов застосування об'єктів, до яких вживається позначення «nominal», наприклад «nominal voltage of the supply system» (номінальна напруга системи живлення), «nominal voltage (of an electrical installation)» (номінальна

напруга електроустановки), «nominal frequency» (номінальна частота у контексті системи живлення), «nominal cross-section» (номінальний поперечний перетин, наприклад, провідників та кабелів), «nominal resistance of resistor» (номінальний опір резистора), «nominal capacitance of capacitor» (номінальна ємність конденсатора). Натомість, для величин, які визначаються відповідно до умов та режимів роботи апаратури, позначення «nominal» у зазначених джерелах ніколи не застосовується, для них вживається позначення «rated».

Поняття «nominal value» та «rated value», чітко розрізняються майже в усіх мовах IECV (крім російської та італійської), та у багатьох інших мовах, що не є мовами IECV, але є мовами країн, які активно просувають свою продукцію на міжнародні ринки, зокрема у чеській (ch) та словацькій (sl) мовах:

en	nominal value	rated value
fr	valeur nominale	valeur assignée
de	Nennwert	Bemessungswert
pt	valor nominal	valor estipulado
sv	nominellt värde	märkvärde
pl	wartość nominalna	wartość znamionowa
es	valor nominal	valor asignado
ar	قيمة إسمية	جهد مقنن
ja	公称値	定格値
cn	标称値	额定値
ch	nominálná hodnota	jmenovitá hodnota
sl	nominálna hodnota	menovitá hodnota

Щоб розрізнити ці поняття, у даному посібнику для терміну «nominal value» будемо застосовувати україномовний еквівалент «номінальне значення», а для терміну «rated value» – «номінативне значення». Наведемо декілька прикладів.

- Номінальна напруга мережі живлення – 220 В (nominal voltage of supply network – 220 V). Насправді, напруга на тих чи інших терміналах мережі може суттєво відрізнятись від 220 В (може перевищувати 220 В при ненавантаженій мережі або при обриві нейтралі чи знижуватися майже до нуля при коротких замиканнях), а специфікатор «220 В» лише позначає дану мережу і не залежить від будь-яких внутрішніх чи зовнішніх чинників.

- Номінативний струм апарата – 100 А (rated current – 100 А). Цей запис означає, що через головне коло апарата можна пропускати струм 100 А, але з урахуванням низки умов – рід струму, частота, режим роботи, температура навколишнього середовища, висота над рівнем моря тощо. До речі, в англomовній технічній літературі словосполучення «nominal current» для характеристики комутаційних апаратів ніколи (!) не вживається.

З поняттям «rated value» тісно пов'язаний термін «rating», який в IECV визначається як сукупність номінативних значень та умов роботи. Цьому визначенню цілком відповідають відповідні терміни в інших мовах IECV: caractéristiques assignées (fr), dane znamionowe (pl), märkdata (sv) тощо.

Враховуючи наведені приклади з інших мов, цілком логічно, на перший погляд, було б перекласти цей термін як «номінативні дані», але в англomовній технічній (у тому числі і у нормативній) літературі для позначення сукупності різних технічних характеристик апаратів зазвичай застосовується поняття «specification», яке в IEC хоч і не визначається, але й неодноразово вживається (наприклад, при визначенні поняття «rated value»). Слід також зазначити, що поняття «ratings» (множина), застосовується у стандартах IEC для позначення сукупності значень однієї величини при різних умовах роботи апарата, наприклад «current ratings», «voltage ratings». Отже, враховуючи те, що терміни «rated» і «rating» мають одне коріння, будемо перекладати останній з них як «номінатив», а «ratings» – як «номінативи». Наприклад, якщо виробник для деякого відмикача встановлює декілька номінативів робочої здатності до відмикання коротких замикань (I_{cs}), то кожному з них він має поставити у відповідність певні умови в колі короткого замикання – рід струму, частоту, напругу тощо.

Елементи електричних кіл та величини, що їх характеризують

Викликають певні складнощі при перекладі низки термінів, пов'язаних з елементами електричних кіл, адже в епоху боротьби з космополітизмом іншомовні терміни замінялися російськомовними. Не всі терміни постраждали – лишилися «резистор», «реактор», «конденсатор», «індуктивність» тощо. А от такі терміни як «імпеданс», «реактанс» та деякі інші були ліквідовані, хоча у старому радянському термінологічному стандарті – ГОСТ 19880-74 ці терміни ще згадуються, але як синоніми, що не рекомендуються для застосування. У новітньому ж російському термінологічному стандарті ГОСТ Р 52002-2003 про ці синоніми навіть згадки нема. Показово, що старий радянський та новітній російський термінологічні стандарти, незважаючи на переклад назв цих стандартів на англійську мову, не містять іншомовних еквівалентів термінів, наведених у цих стандартах.

Відсутність іншомовних еквівалентів термінів у текстах вітчизняних стандартів може призвести до некоректного їх зворотного перекладу. Наприклад, термін «емкостное сопротивление» (ГОСТ 19880, п. 143; ГОСТ Р 52002, п. 149), якщо не знати англomовного еквіваленту, цілком природно перекласти як «capacitive resistance» (адже «сопротивление» у будь-якому словнику перекладається як «resistance»). Такий переклад з точки зору міжнародної термінології буде виглядати некоректно, оскільки «resistance» не може бути від'ємним. Насправді ж поняттю «емкостное сопротивление» відповідає англomовне поняття «capacitive reactance» – це величина, яка є від'ємною за визначенням (див. 131-12-48).

Наведена вище вигадана ситуація не така вже й надумана. Наприклад, один з чинних в Україні (і у Росії теж) стандартів ДСТУ 3025-95 (ГОСТ 9098-93. Выключатели автоматические низковольтные – Low-voltage

automatic switches) містить переклад його назви, зроблений упорядниками того стандарту на англійську мову. Такий переклад викликає певне непорозуміння, адже у стандарті мова йде про апарати, що здатні відмикати струми коротких замикань (circuit-breakers), а switch – це апарат, призначений для відмикання струмів у колах при нормальних умовах і не здатний відмикати струми коротких замикань.

Чинний, хоч не такий вже новий, український термінологічний стандарт (ДСТУ 2843-94), хоча й дещо нерішуче, але поновлює низку «репресованих» у радянські часи термінів. Ми кажемо про нерішучість, бо поновлені терміни надаються не у вигляді основної форми, а як синоніми. Щоправда, ці синоніми, на відміну від ГОСТ 19880, вже позбавлені статусу nereкомендованих, зазначено лише, що синоніми подаються курсивом. Проте, в іншому реченні вступу до стандарту зазначається, що «для кожного поняття встановлено тільки один стандартизований термін». То як же бути із синонімами? Здається, що зазначені синоніми, враховуючи їх міжнародний статус, з часом повинні набувати більшої ваги, а терміни, що не відповідають міжнародно визнаній термінології, мають поступово відходити. До речі в іншому українському термінологічному стандарті ДСТУ 2815-94 поряд із терміном «опір» застосовується й термін «резистанс» не тільки як синонім, а й як основний термін (резистанс ізоляції: ДСТУ 2815-94, 4.132).

Є ще одна важлива відмінність ДСТУ 2843 від старого радянського та новітнього російського термінологічного стандартів – терміни в українському стандарті подаються не тільки українською, а ще й німецькою, англійською, французькою та російською мовами, а визначення – крім української, ще й російською мовою. Наявність іншомовних термінів у національному стандарті є, безумовно, позитивним чинником, адже у такий спосіб стандарт сприяє полегшенню міжкультурних комунікацій, але при цьому неприпустимо уникати зазначення джерел, з яких іншомовні терміни та визначення запозичені. Запозичені терміни та визначення мають надаватися без будь-яких корективів. Термінологічними джерелами щодо німецької, англійської та французької мов має бути Міжнародний електротехнічний словник, а джерелами російськомовних термінів мають бути відповідні російські стандарти.

Повертаючись до термінів, що стосуються електричних кіл, зазначимо, що в IEC розрізняються поняття «resistance (1)» (німецькою мовою «Widerstand» – опір), що застосовується для резистивних елементів, та «resistance (2)» (німецькою мовою «Wirkwiderstand» – дійсний опір), що застосовується для синусоїдальних процесів у лінійних колах. Обидва поняття позначаються однаковим символом R , але визначаються вони по-різному:

«resistance (1)»: $R = u_{AB} / i$ (де u_{AB} – миттєве значення напруги між терміналами А та В резистивного елементу, i – миттєве значення струму через цей елемент);

«resistance (2)»: $R = \text{Re}(\underline{Z})$ (де $\underline{Z} = \underline{U}_{AB} / \underline{I}$ – імпеданс кола, $\underline{U}_{AB}$ – вектор на комплексній площині, що представляє напруги між терміналами А та В елементу кола, $\underline{I}$ – вектор на комплексній площині, що представляє струм у даному елементі кола).

Ці поняття приблизно відповідають поняттям «електричний опір» (ДСТУ 2843, п.92) та «активний електричний опір» (ДСТУ 2843, п.122), але існують певні розбіжності у смислі цих понять за ІЕВ та ДСТУ, а визначення відрізняються дуже суттєво. Суттєві розбіжності існують у визначеннях ІЕВ та ДСТУ стосовно інших величин, що характеризують процеси в електричних колах, тому, користуючись синонімічними вольностями, які надає нам ДСТУ 2843, у даному посібнику будемо застосовувати наступні позначення та переклади термінів для елементів та величин, що характеризують процеси в електричних колах.

Елементи:

resistor	резистор;
inductor; reactor	індуктор; реактор;
capacitor	конденсатор.

Величини:

R	resistance (1)	опір;
L	inductance	індуктивність;
C	capacitance	ємність;
$\underline{Z}$	impedance	імпеданс;
Z	apparent impedance	уявний імпеданс; модуль імпедансу (для синусоїдальних процесів);
R	resistance (2)	резистанс;
X	reactance	реактанс;
X_L	inductive reactance	індуктивний реактанс;
X_C	capacitive reactance	ємнісний реактанс.

Перевагою зазначених перекладів, крім того, що вони відповідають міжнародній практиці позначень елементів електричних кіл, є їх короткість, отже, користуючись ними, зручніше конструювати словосполучення. Наприклад, термін «імпеданс» значно коротший, аніж «комплекс повного опору», а також зручніший у конструюванні словосполучень, особливо, якщо врахувати, що в англійській технічній літературі цей термін застосовується також у словосполученні «apparent impedance» («уявний імпеданс» або для синусоїдальних процесів – «модуль імпедансу»). Наприклад, переклад словосполучення «low-impedance conductor» як «низькоімпедансний провідник» виглядає привабливіше, аніж «провідник з малим модулем повного опору».

Словосполучення «активний опір», «реактивний опір» у даному посібнику не застосовуються, оскільки у міжнародній практиці поняття «активний» («active») застосовується для кіл, які мають джерела живлення, з антонімом «пасивний» («passive»), що застосовується для кіл без джерел живлення. Отже, замість словосполучення «повний опір є практично активним» будемо застосовувати вираз «імпеданс є практично резистивним». Поняття «реактивний» («reactive») в IEV застосовується у контексті реактивної потужності, а поняття «активний» («active») – для позначення кіл із джерелами живлення.

До речі, термін «заживлювати» (російською мовою – запитывать) дуже підходить до англomовного «energize». Термін, що позначає зворотну дію «de-energize», будемо перекладати як «знеживлювати».

Ще одним нюансом відмінностей англomовної термінології IEV від звичної для нас термінології є позначення такої інтегральної характеристики змінних величин, яку у нас прийнято називати діючим значенням, наприклад, діюче значення струму. Таке позначення пояснюють тим, що змінний струм з певним діючим значенням діє так само (нагріває провідник, через який він тече), як і постійний струм відповідного значення. Це визначення є коректним лише коли опір провідника в обох випадках є однаковим. Насправді ж змінний струм викликає ефекти витіснення струму, зокрема поверхневий ефект (skin-effect), які збільшують втрати енергії у провіднику. Отже, як бачимо, постійний струм діє інакше, ніж змінний струм з таким же «діючим» значенням. В англomовній термінології IEV замість специфікатора «діючий» стосовно значень тих чи інших змінних величин застосовується специфікатор «середньоквадратичний» – «root-mean-square» із скороченням rms, наприклад, rms voltage – середньоквадратична напруга, а не діюча або ефективна напруга, rms flux – середньоквадратичне (а не діюче) значення потоку.

Слід зазначити, що в інших мовах IEV для періодичних функцій застосовується позначення «ефективний» в контексті середньоквадратичного значення: «Effektivwert» (de), «wartość skuteczna» (pl) тощо.

Діапазони напруг

Хоча поняття низької та високої напруги широко застосовуються у вітчизняній технічній літературі, проте у нормативних документах вони не визначаються. З деяких стандартів, наприклад ДСТУ 3020-95 (ГОСТ 12434-93) випливає, що низькою напругою вважається напруга до 1000 В змінного струму (середньоквадратичне значення) та напруга до 1200 В постійного струму. Отже високою напругою слід вважати будь-яку напругу, що перевищує вказані значення.

Міжнародний електротехнічний словник (IEV) визначає поняття низької напруги (low voltage, LV: 601-01-26) лише для мереж змінного стру-

му (АС) як напругу, що не перевищує 1000 В, а високу напругу – у широкому розумінні як сукупність рівнів напруги, що перевищують рівні низької напруги, та в обмеженому розумінні як сукупність рівнів напруги, що застосовуються для передачі електричної енергії у великих обсягах (high voltage, HV: 601-01-27). Крім того, IEC визначає поняття середньої напруги (medium voltage, MV: 601-01-28) як сукупність рівнів напруги між низькою та високою (в обмеженому розумінні) напругою, зазначаючи, що верхня границя діапазону середніх напруг у залежності від місцевих традицій, що історично склалися, лежить в інтервалі між 30 кВ та 100 кВ.

Міжнародний стандарт IEC 61000-3-6 конкретніше визначає діапазони напруг та виділяє діапазон надвисоких напруг (extra high voltage, EHV):

- low voltage (LV) refers to $U_n \leq 1 \text{ kV}$;
- medium voltage (MV) refers to $1 \text{ kV} < U_n \leq 35 \text{ kV}$;
- high voltage (HV) refers to $35 \text{ kV} < U_n \leq 230 \text{ kV}$;
- extra high voltage (EHV) refers to $230 \text{ kV} < U_n$.

Інший міжнародний стандарт – IEC 62271-100 верхню границю середніх напруг позначає на рівні 52 кВ, а нижню границю надвисоких напруг – на рівні 420 кВ.

Верхню границю діапазону низьких напруг для постійного струму (DC) міжнародні стандарти визначають на рівні 1500 В (див. наприклад IEC 60947-1).

Для електроустановок будівель (electrical installations of buildings) міжнародний стандарт IEC 60449 встановлює два діапазони або смуги (bands) напруг (табл. 1.1):

– діапазон I (band I), який застосовується в установках, де захист від ураження електричним струмом забезпечується використанням наднизьких рівнів напруги або в установках, де напруга обмежена умовами роботи обладнання (наприклад, в телекомунікаційних установках);

– діапазон II (band II), який застосовується для живлення побутових, промислових, торгівельних установок і охоплює розподільні системи у різних країнах.

Таблиця 1.1. Діапазони напруг в електроустановках будівель

	AC (r.m.s.)		DC	
	напруга між лінією та землею	міжлінійна напруга	напруга між лінією та землею	міжлінійна напруга
Band I	$U \leq 50 \text{ В}$		$U \leq 120 \text{ В}$	
Band II	$50 < U \leq 600 \text{ В}$	$50 < U \leq 1000 \text{ В}$	$120 < U \leq 900 \text{ В}$	$120 < U \leq 1500 \text{ В}$

До речі, в оригіналі стандарту IEC 60449, який був опублікований ще у 1973 році, а доповнення до нього (Amendment 1) – у 1979 році, застосовується скасована пізніше термінологія щодо напруг у лініях. У сучасній термінології замість позначення напруг «між фазою та землею» («phase to

earth»)) – для змінного струму та «між полюсом та землею» («pole to earth»)) – для постійного струму застосовується узагальнений термін «напруга між лінією та землею» (line-to-earth voltage), а замість позначення напруг «між фазами» («between phases»)) для змінного струму та «між полюсами» («between poles»)) для постійного струму застосовується узагальнений термін «міжлінійна напруга» або «лінійна напруга» (line-to-line voltage).

Слід зауважити також, що термін «line voltage», який широко застосовується в англомовній технічній літературі слід перекладати як «напруга мережі», а не «лінійна напруга», тому що цей термін може застосовуватися як до напруги між лінійним провідником та землею, так і між лінійними провідниками. Не слід також плутати поняття «номінальна напруга джерела живлення» («nominal voltage of power supply») та «напруга мережі» («line voltage»). Перше поняття має фіксоване значення та лише позначає дану мережу і не залежить від будь-яких внутрішніх чи зовнішніх чинників, а друге поняття відповідає конкретному значенню напруги на певних терміналах тієї ж мережі у певний момент часу і може суттєво відрізнятися від номінального значення напруги.

IEV визначає напруги діапазону I (Band I) як наднизькі напруги (extra-low voltage; ELV). У вітчизняній нормативній літературі натомість застосовується поняття малої напруги («малое напряжение, ндп. безопасное напряжение»: ГОСТ 12.1.009) тобто напруги, що не перевищує 42 В і застосовується у цілях зменшення небезпеки ураження електричним струмом. В іншому стандарті системи стандартів безпеки праці (ГОСТ 12.2.007.0) визначається поняття безпечної наднизької напруги, тобто напруги, що не перевищує 42 В, причому без навантаги ця напруга не повинна перевищувати 50 В, а за певних умов (наприклад, робота у котлах, колодязях тощо) ця напруга не повинна перевищувати 12 В.

Виводи та термінали

Поняття «terminal» в IEV 131 (Circuit theory – Теорія кіл) визначається як точка з'єднання елементів електричних кіл, електричних кіл або електричних мереж з іншими елементами електричних кіл, електричними колами або мережами. В IEV 442 (Electrical accessories) це поняття визначається як частина аксесуара, до якої приєднується провідник і яка забезпечує багаторазове приєднання. Це визначення можна розповсюдити й на електричні апарати та інші електротехнічні пристрої.

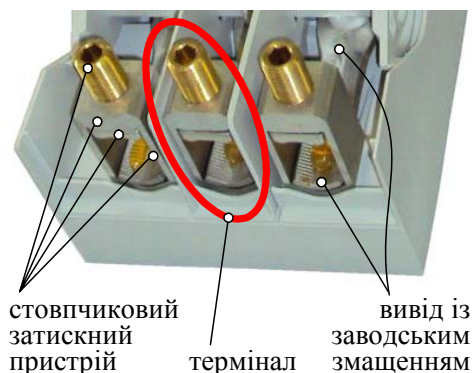


Рис. 1.2. Термінал та вивід апарата (аксесуара)

В російськомовній електротехнічній літературі «terminal» зазвичай перекладається як «вывод», хоча насправді до складу терміналу мають бути включені усі засоби, що забезпечують багаторазове приєднання до нього провідників, зазвичай із застосуванням універсального інструменту. До засобів, що забезпечують приєднання, відносять болти, гвинти, гайки, шайби, пружини, спеціальні затискні пристрої, що забезпечують надійне приєднання зовнішніх провідників до апарата тощо. Ці засоби, зазвичай поставляються виробником у комплекті з апаратом або аксесуаром. Вивід же апарата або аксесуара жодних засобів для приєднання провідників у своєму складі не містить і, зазвичай, являє собою або пластину (пласку чи зігнену, з отворами, насічкою тощо), або круглий у перерізі штир. Різницю між виводом (termination) та терміналом апарата або аксесуара ілюструє фото на рис. 1.2.

Приєднання та заміна зовнішніх провідників до виводів апаратів може здійснюватися за допомогою загальновживаних слюсарних інструментів – гайкових ключів, викруток тощо або припаюванням. Таке приєднання називають X приєднанням (type X attachment). Якщо для приєднання та заміни зовнішніх провідників до апарата необхідно застосовувати спеціальний інструмент, який поставляється виробником, таке приєднання називають Y приєднанням (type Y attachment). Метод приєднання, відповідно до якого гнучкий кабель або шнур не може бути заміненим без руйнування цілісності аксесуару, називають Z приєднанням (type Z attachment). Приєднання типу Z застосовують у деяких аксесуарах, які приєднують до кабелів або шнурів опресовуванням. В електричних апаратах термінали з таким способом приєднання зазвичай не застосовуються.

Електромеханічні або механічні та напівпровідникові апарати

У вітчизняній технічній літературі часто застосовуються терміни «контактний апарат», тобто апарат, в якому комутаційні функції виконує контактний елемент, та «безконтактний апарат», тобто апарат, в якому комутаційні функції виконує деякий безконтактний елемент. Слід зазначити, що ці терміни сформувалися ще у 30-х роках минулого століття, коли можливості створення комутаційних апаратів без контактних комутаційних елементів – на базі електровакуумних та газорозрядних приладів розглядалися лише теоретично. З появою на ринку надійних напівпровідникових приладів (діодів, транзисторів і, дещо пізніше, тиристорів), створення комутаційних апаратів без контактних комутаційних елементів стали пов'язувати лише з напівпровідниковими приладами. Згодом такі апарати були створені і у деяких сегментах ринку навіть суттєво потіснили традиційні комутаційні апарати з контактними комутаційними елементами. В англійській технічній літературі терміни «контактний апарат» (contact switching device) або «безконтактний апарат» (contactless

switching device) не застосовуються, оскільки до складу будь-яких електричних пристроїв, навіть тих, які взагалі не мають комутаційних елементів (наприклад, резистори, конденсатори, розрядники, реактори тощо) обов'язково входять контакти для приєднання цих пристроїв до зовнішніх кіл, тобто контакти їх терміналів. Апарати, які у деяких вітчизняних джерелах називають контактними, в англomовній технічній літературі іменуються як механічні або електромеханічні комутаційні апарати (mechanical switching device; electromechanical switching device), а апарати, які у вітчизняній технічній літературі називають безконтактними, в англomовних джерелах іменуються як напівпровідникові комутаційні апарати (semiconductor switching device).

Позначення провідників у трифазних колах

Живлення кінцевих споживачів електричної енергії здійснюється на рівні низьких напруг, які отримують на місцевих трансформаторних підстанціях. Первинні обмотки трифазних трансформаторів на цих підстанціях живляться від трифазної трипровідної лінії високої (HV), а точніше кажучи, середньої напруги (MV). Ці обмотки з'єднують у трикутник (delta connection) й надійно ізолюють від вторинних обмоток, щоб запобігти потраплянню високої напруги в мережу низької напруги. Вторинні обмотки низької напруги (LV) з'єднують зіркою (star connection) вільні точки цих обмоток виводяться на лінійні термінали, а спільна точка з'єднання цих обмоток виводиться на нейтральний термінал, який приєднується до корпусу трансформатора та терміналу уземлення, розташованому на тому ж корпусі.

До лінійних та нейтрального терміналів трансформатора приєднується лінія електропередачі (кабельна – cable line або повітряна – overhead line), яка йде до споживача. Провідники, приєднані до лінійних терміналів, у вітчизняній технічній літературі називають фазними (така сама назва була раніш і у міжнародній технічній літературі) та позначають літерами А, В та С (рис. 1.3). Зараз в англomовній технічній літературі ці провідники називають лінійними (line conductor) та позначають символами L1, L2 та L3. Провідник лінії електропередачі, що приєднуються до спільної точки вторинних обмоток, у вітчизняній технічній літературі зазвичай називають нульовим провідником із позначенням «0», а у міжнародній термінології цей провідник називають нейтральним (neutral conductor) з позначенням N. Провідник, який з'єднує спільну точку вторинних обмоток із уземлювальним електродом (earth electrode), що знаходиться в електричному контакті з землею, називають захисним уземлювальним провідником з позначенням PE (protective earthing conductor). Якщо нейтральний провідник не тільки сприяє розподіленню електричної енергії, а й виконує захисні функції уземлювального провідника (до нього приєд-

нують металеві корпуси електрообладнання споживача), цей провідник називають PEN провідником (PEN conductor). Лінія передачі електричної енергії від місцевої підстанції до споживачів зазвичай є чотирипровідною (L1, L2, L3 та PEN), рідше – п'ятипровідною (L1, L2, L3, N та PE).

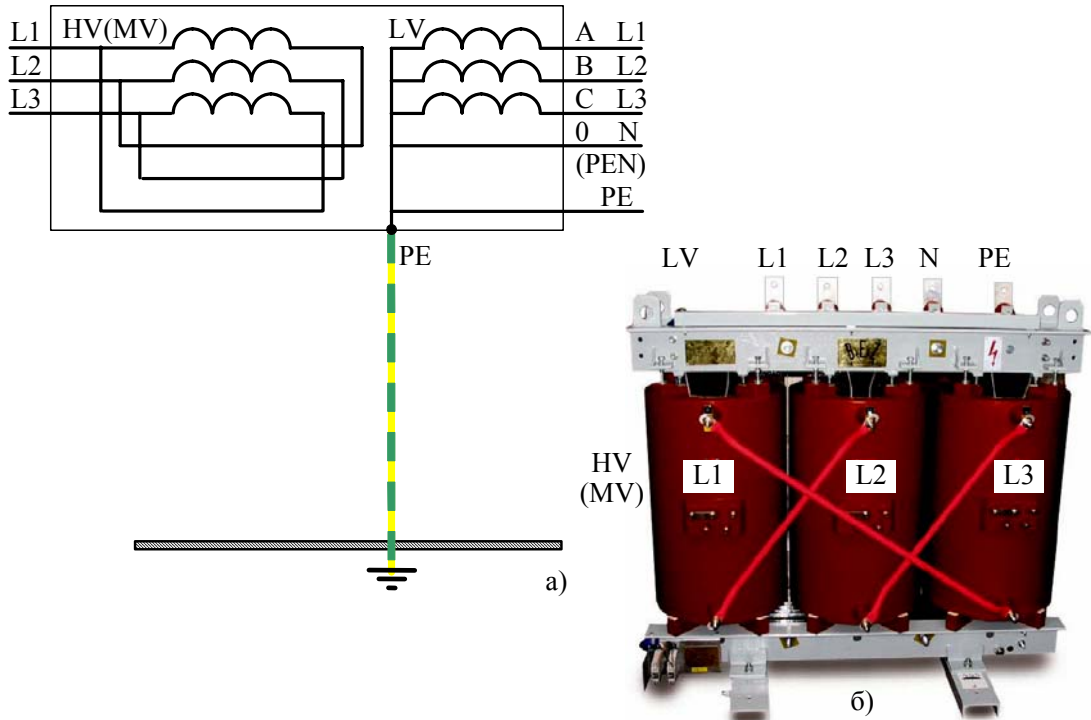


Рис. 1.3. Позначення провідників у вітчизняній та міжнародній технічній літературі на прикладі схеми з'єднань обмоток силового трансформатора місцевої підстанції (а) та його зовнішній вигляд з боку терміналів обмоток високої (середньої) напруги (б)

Розглянуті особливості міжнародної електротехнічної термінології є основоположними, ключовими. На інші особливості міжнародної термінології (зокрема при визначенні режимів роботи електричної апаратури, позначенні характеристик апаратів тощо) ми будемо звертати увагу у відповідних розділах посібника.

1.2. Функції та основні частини електричних апаратів

1.2.1. Функції електричних апаратів

Поняття «електричний апарат» охоплює широке коло пристроїв, які здійснюють різноманітні дії, пов'язані з комутацією електричних кіл, керуванням обладнанням, контролем параметрів технологічних процесів, обмеженням надструмів і перенапруг у мережах живлення, та захистом людей, майна й довкілля в процесі виробництва, транспортування, перетворення, розподілення та споживання електричної енергії. Отже, комутація, керування, контроль, обмеження та захист зазначених об'єктів і є основними функціями електричних апаратів.

Кінцевою дією будь-якого електричного апарата є вмикання або вимикання струму в електричному колі за допомогою комутаційного елементу, яким може бути контакт, що замикається або розмикається, або напівпровідниковий пристрій, що змінює свій опір під дією зовнішнього впливу.

Комутація електричних кіл контактами (рис. 1.4-а) в електромеханічних апаратах здійснюється їх замиканням (зближенням й визначеним натисненням) та розмиканням (віддаленням на визначену відстань). Пристрої, позначення яких зображено на рис. 1.4-б ... 1.4-є, застосовуються у напівпровідникових апаратах. У даному посібнику розглядаються, переважно, електромеханічні апарати з контактними комутаційними елементами.

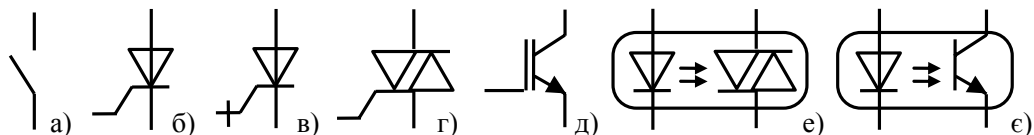


Рис. 1.4. Комутаційні елементи електричних апаратів:

- а – контакт; б – одноопераційний тиристор; в – двоопераційний тиристор; г – симістор;
д – інтегрований біполярний транзистор з ізолюваним затвором (IGBT транзистор);
е – оптосимістор; є – оптотранзистор

Типові схеми комутації електричних кіл однополюсними, двополюсними, триполюсними та чотириполюсними апаратами з контактними комутаційними елементами зображені на рис. 1.5.

В однополюсних апаратах (рис. 1.5-а) приєднання навантаги* до живлення здійснюється через контактний елемент до лінійного провідника (line conductor) та так звану безперервну нейтраль (uninterrupted neutral) – струмопровідну гілку, приєднану безпосередньо до нейтрального провідника (N conductor) розподільного пристрою, від якого живиться навантага. До речі, майже усі електропобутові пристрої (appliance) приєднуються до живлення саме так. Металеві корпуси усіх електроустановок з міркувань

* На рис. 1.5 навантага умовно зображена у вигляді резистивного елементу. Насправді ж реальні навантаги мають резистивно-індуктивний характер, рідше – з змісною складовою.

безпеки мають бути надійно приєднані до захисного уземлювального провідника (РЕ провідника). На виробничих, торгівельних та інших підприємствах таке приєднання згідно до вимог ПУЕ здійснюється повсюдно, а для житлових та аналогічних помешкань вимоги щодо застосування трипровідних однофазних ліній живлення з'явилися нещодавно, тому вони є обов'язковими лише для новобудов. Практично уземлення побутових приладів здійснюється завдяки застосуванню триполюсних розеток, до яких від розподільного щитка мають бути підведені три провідники, один з яких – захисний РЕ провідник. Крім того, побутові прилади мають бути оснащені спеціальними трипровідними вилками, провідники до яких підключені так, що при введенні вилки у розетку металевий корпус приладу автоматично приєднується до захисного провідника.

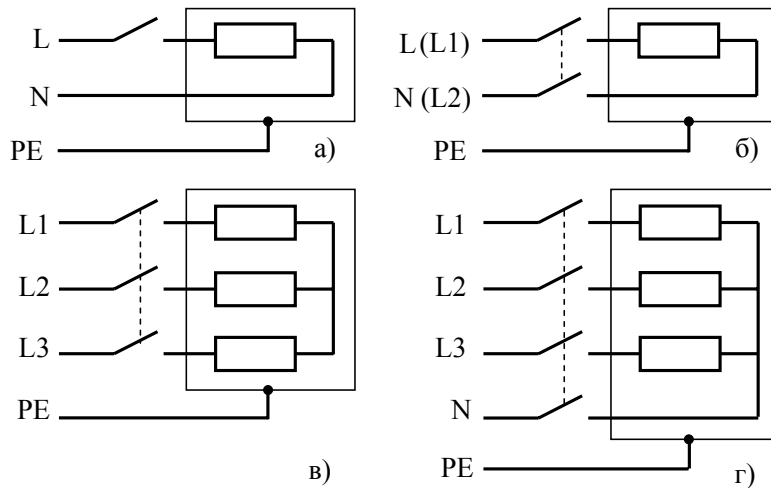


Рис. 1.5. Комутація електричних кіл електричними апаратами:
а – однополюсним; б – двополюсним; в – триполюсним; г – чотириполюсним

Комутація однофазних навантаж двополюсними апаратами (рис. 1.5-б) здійснюється в мережах постійного струму для полегшення умов гасіння електричної дуги, що виникає на контактах при їх розмиканні, а також з міркувань безпеки в мережах постійного та змінного струму – при розмиканні контактів навантага від'єднується від живлення як з боку лінійного, так і з боку нейтрального провідника.

Комутація трифазних асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором ((squirrel) cage induction motor) здійснюється триполюсними апаратами (рис. 1.5-в), оскільки спільна точка з'єднання обмоток зазвичай не виводиться на клемну коробку двигуна.

Комутацію трифазних навантаж зі спільною нейтраллю з міркувань безпеки бажано здійснювати чотириполюсним апаратом (рис. 1.5-г) – при розмиканні контактів навантага повністю від'єднується від живлення.

1.2.2. Головне коло, коло керування, допоміжне коло, полюс та порт

До складу комутаційного апарата крім головного кола (main circuit of a switching device), тобто сукупності струмопровідних частин, що входять до кола, яке апарат має замикати та розмикати за своїм основним призначенням, можуть входити також коло керування та допоміжні кола.

Колом керування комутаційного апарата (control circuit of a switching device) називають сукупність його струмопровідних частин (крім головного кола), що входять до кола, яке має застосовуватися для забезпечення апаратом виконання операцій замикання та/або розмикання у головному колі апарата.

Допоміжним колом комутаційного апарата (auxiliary circuit of a switching device) називають сукупність його струмопровідних частин, призначених для застосування у будь-яких колах, крім головного кола та кола керування.

Схема на рис. 1.6 ілюструє поняття головного кола, кола керування та допоміжного кола електричного апарата. На схемі позначено: 1 – електричний апарат з контактами 2, 3, 4 та 5, комутація яких здійснюється за допомогою електромагнітного актуатора, заживлення або знеживлення котушки 6 якого забезпечується за допомогою контакту 7. Призначенням апарата є вмикання та вимикання контактами 2 та 3 навантаги 8, контакт 4 призначений для виконання допоміжних функцій (вмикає сигнальну лампу 9), а контакт 5 здійснює комутації в колі керування.

Отже, частини апарата, які є частинами електричного кола навантаги, а саме контакти 2 та 3 з відповідними терміналами (на схемі показані у вигляді кружків) та провідники, що з'єднують контакти з терміналами, складають головне коло апарата (виділені червоним кольором).

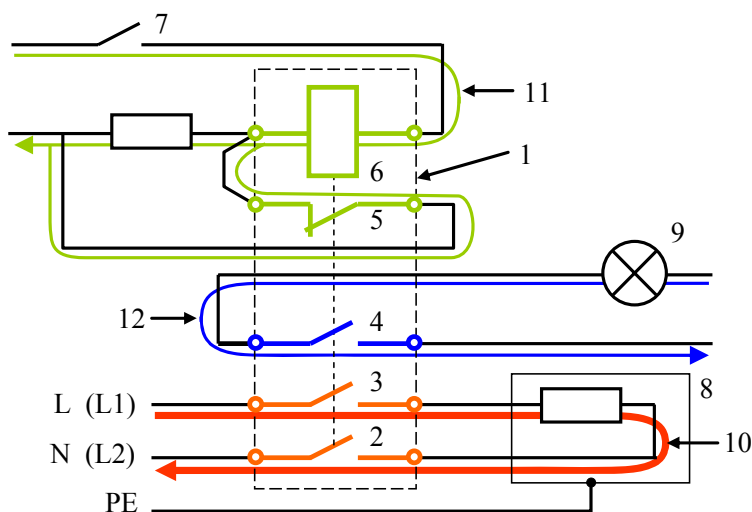


Рис. 1.6. Головне коло (10), коло керування (11) та допоміжне коло (12) електричного апарата

Частини апарата, які входять до електричного кола керування 11 цього апарата, а саме котушка 6, а також контакт 5 з відповідними терміналами та провідниками складають коло керування апарата (виділені зеленим кольором).

Частини апарата, які входять до допоміжного електричного кола 12, а саме контакт 4 з відповідними терміналами та провідниками складають допоміжне коло апарата (виділені синім кольором).

Полюс комутаційного апарата (pole of a switching device) – це його частина, яка пов'язана тільки з однією електрично незалежною гілкою головного кола та не містить частин, призначених для спільного монтажу та оперування всіма полюсами разом. До складу полюсу входять його термінали (вхідний та вихідний), головні контакти, струмопровідні деталі (жорсткі та гнучкі), які з'єднують контакти з терміналами, а також усі елементи (струмопровідні та ізоляційні), що відносяться до відповідної гілки головного кола.

На рис. 1.7 зображено апарати з різною кількістю полюсів – двополюсний вимикач-роз'єднувач (рис. 1.7-а), триполюсний запобіжник-вимикач-роз'єднувач (рис. 1.7-б) та блок з трьох однополюсних запобіжників-вимикачів-роз'єднувачів (рис. 1.7-в).

Вхідні термінали (до них приєднуються провідники, з'єднані з джерелом живлення) усіх полюсів апарата утворюють вхідний порт (port), а вихідні термінали (до них приєднуються провідники, з'єднані з відповідними терміналами навантаги) усіх полюсів апарата утворюють вихідний порт. У деяких апаратах вхідний та вихідний порти можна міняти місцями, а для деяких апаратів це неможливо робити. Про можливість або неможливість зміни місць портів має свідчити маркування терміналів. На рис. 1.7-а верхні термінали мають цифрове позначення «1» та «3», а нижні термінали – «2» та «4». Це означає, що джерело живлення має бути підключено до верхніх, а навантага – до нижніх терміналів. Отже верхні термінали даного апарата утворюють вхідний порт, а нижні термінали – вихідний порт. Правила маркування терміналів стандартизовані (IEC 60947-1, Annex L). Ці правила викладені в п. 3.3.2.

Апарати, зображені на рис. 1.7-б та 1.7-в, монтуються безпосередньо на збірних шинах розподільного пристрою, відтак їх вхідні термінали розташовані на задній поверхні корпусу. Вихідні термінали цих апаратів розташовані під ізоляційними кришками, розташованими в нижніх частинах корпусів.

Хоча апарат, зображений на рис. 1.7-в, складається з трьох окремих полюсів, його не варто вважати триполюсним, адже полюси не поєднані так, щоб оперувати разом.

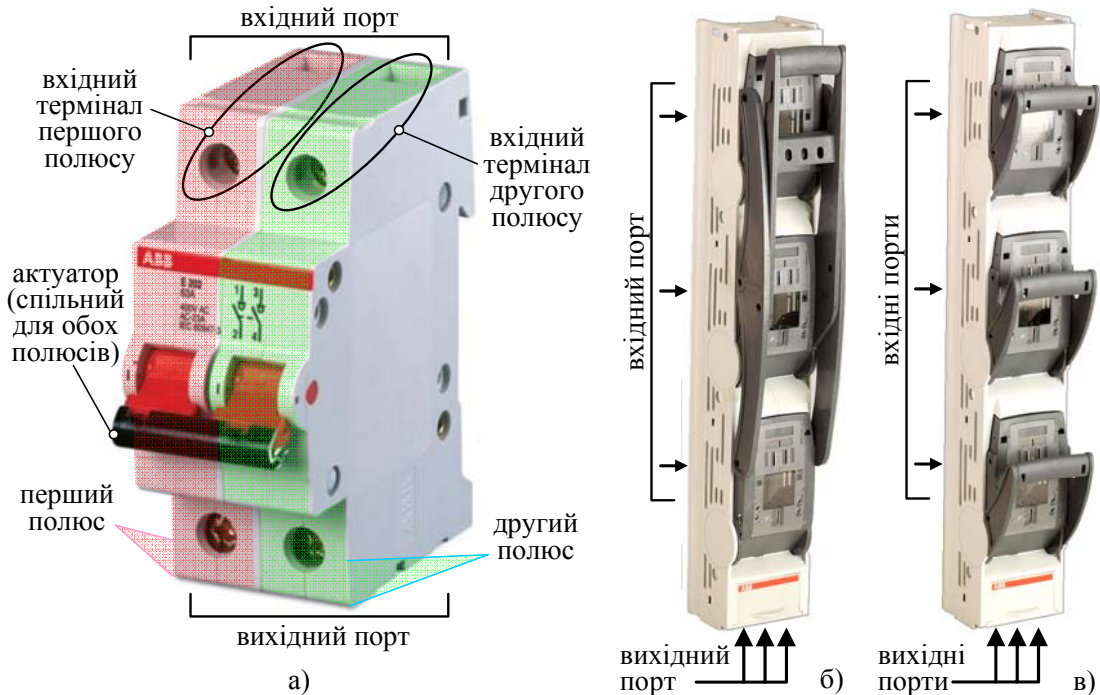


Рис. 1.7. Комутаційні апарати з різною кількістю полюсів:

а – двополюсний апарат; б – триполюсний апарат; в – блок з трьох однополюсних апаратів

1.2.3. Контакти електричних апаратів

Поняття контакту комутаційного апарата (contact of a mechanical switching device) в ІЕВ визначається як сукупність струмопровідних частин, призначених для встановлення безперервності електричного кола, коли вони (ці частини) стикаються, та які впродовж свого відносного переміщення під час спрацьовування розмикають або замикають коло, або, у випадку шарнірних та ковзних контактів, підтримують безперервність кола. Ілюстрація до цього визначення наведена на рис. 1.8.

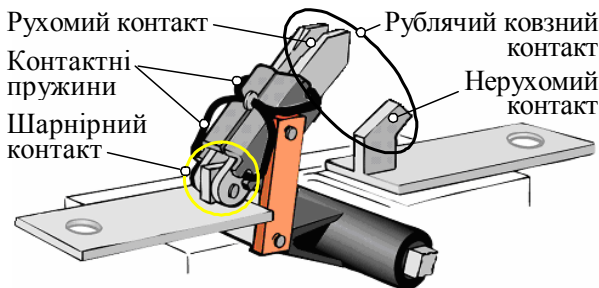


Рис. 1.8. Контакти електричного апарата: рублячий ковзний контакт забезпечує замикання та розмикання кола та підтримує його безперервність у замкненому стані завдяки верхній контактній пружині, а шарнірний контакт завдяки нижній контактній пружині забезпечує підтримку безперервності кола

Дане поняття поширюють й на ті апарати, які не мають комутаційних елементів (запобіжники, обмежувачі імпульсних виплесків, вимірювальні трансформатори тощо), якщо врахувати, що безперервність електричних кіл підтримують також струмопровідні частини апаратів, які

призначені для їх приєднання до зовнішніх кіл, тобто струмопровідні частини терміналів. Саме цьому, як вже зазначалося, в англomовній науково-технічній літературі не застосовуються звичні для нас терміни «контактний апарат» (contact switching devise) або «безконтактний апарат» (contactless switching devise), а вживаються терміни, які показують, у який спосіб забезпечується комутація електричних кіл – «механічний комутаційний апарат» (mechanical switching devise) та «напівпровідниковий комутаційний апарат» (semiconductor switching devise).

Контакт апарата, який здійснює комутації головного кола та призначений у замкненому положенні проводити його струм, називають головним контактом (main contact). Отже, апарат, електрична схема якого зображена на рис. 1.6, має два головних контакти, а саме контакти 2 та 3.

Контакт 5, що входить до кола керування комутаційного апарата та механічно приводиться у дію цим апаратом, називають контактом керування (control contact). Контакт 7 – це також контакт керування, але він є частиною не апарата 1, а іншого комутаційного апарата, отже він є стороннім контактом керування.

Контакт 4, що входить до допоміжного кола та механічно приводиться у дію комутаційним апаратом, називають допоміжним контактом (auxiliary contact).

Контакт керування або допоміжний контакт, який є замкненим, коли головні контакти комутаційного апарата є замкненими, та розімкненим, коли вони розімкнені, називають а-контактом або замикальним контактом (a-contact; make contact). Контакт керування або допоміжний контакт, який є розімкненим, коли головні контакти комутаційного апарата є замкненими, та замкненим, коли головні контакти розімкнені, називають б-контактом або розмикальним контактом (b-contact; break contact). Контакт 4 на рис. 1.6 є а-контактом, контакт 5 – б-контактом.

У міжнародних стандартах застосовуються також альтернативні терміни «normally open contact» (нормально розімкнений контакт) замість «make contact» та «normally closed contact» (нормально замкнений контакт) замість «break contact».

В апаратах низької напруги з робочими струмами понад 1000 А (так звані багатоамперні апарати) та у деяких різновидах апаратів середньої та високої напруги (у тому числі із меншими робочими струмами) крім головних контактів, призначених проводити робочі струми у замкненому стані, у головних колах застосовують додаткові – дугогасні контакти (arcing contact), на яких встановлюється електрична дуга при розмиканні електричного кола. Дугогасний контакт завжди є електрично паралельним головному контакту, причому конструкція контактної системи побудована таким чином, що дугогасний контакт замикається раніше та розмикається пізніше головного контакту. В переважній більшості

комутаційних апаратів їх головні контакти виконують функції й дугогасних контактів.

Застосування окремих головних та дугогасних контактів в багатоамперних апаратах низької напруги пояснюється тим, що контактні накладки їх головних контактів, з метою зменшення опору та нагрівання, виготовляють із срібла або з металокерамічних композицій на основі срібла. Срібло – матеріал дорогий, до того ж недостатньо дугостійкий (температура топлення – 960°C), а відтак схильний до швидкого зносу під дією дуги. Дугогасні контакти виготовляють з більш дугостійких матеріалів – міді або спеціальних металокерамічних композицій. У замкненому стані головні та дугогасні контакти з'єднані паралельно, тому, завдяки низькому опору срібла, практично весь струм тече через головні контакти. При здійсненні операції вимикання першим розмикається головний контакт (ГК), але електрична дуга на ньому не виникає (отже, головний контакт захищається від дугового зносу), тому що струм перетікає у коло дугогасного контакту (ДК), а вже після розмикання ДК саме на ньому встановлюється дуга, яка, завдяки електродинамічним силам, пересувається у дугогасну камеру апарата, де і згасає (рис. 1.9-а).

Застосування окремих головних та дугогасних контактів в апаратах середньої (рис. 1.9-б) та високої напруги з гасінням дуги в середовищі елегазу (шестифтористої сірки – SF_6) пояснюється особливостями процесів гасіння електричної дуги в цих апаратах.

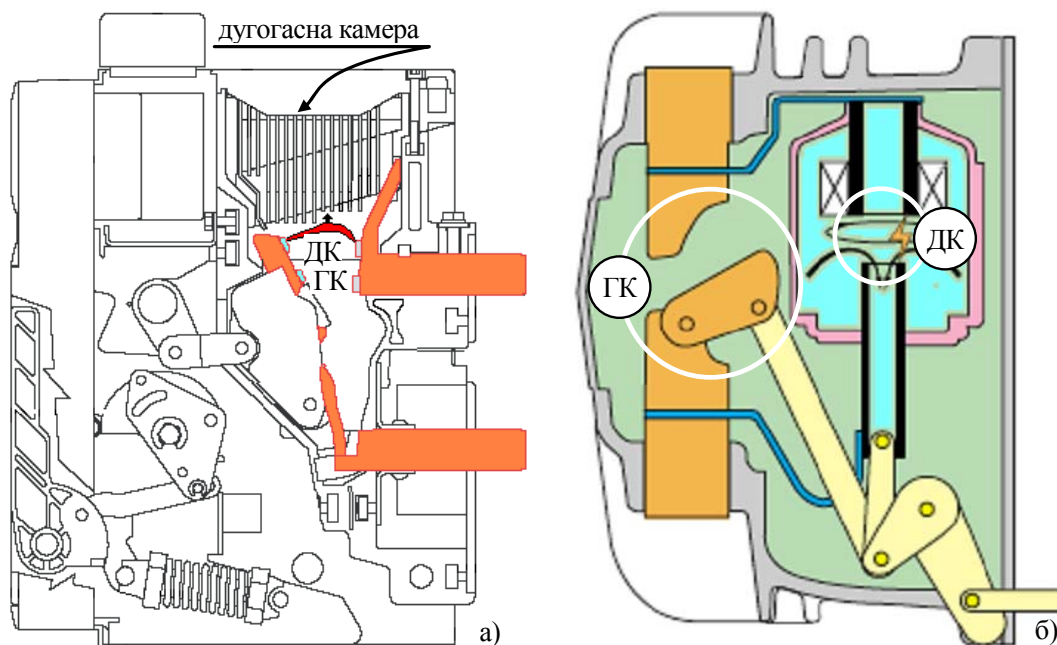


Рис. 1.9. Перерізи полюсів багатоамперного селективного відмикача низької напруги (а) та елегазового відмикача середньої напруги (б) з головними (ГК) та дугогасними (ДК) контактами

Будь-який контакт комутаційного апарата – головний, керування, допоміжний – складається з декількох частин, які теж називають контактами або контакт-деталлями (contact (piece)). Одна з таких частин утворює рухомий контакт (moving contact), інша – нерухомий контакт (fixed contact) – див. рис 1.8. В електричних апаратах застосовується багато різновидів контактів, пов'язаних з особливостями відносного пересування контакт-деталей – стикові контакти (butt contact), ковзні контакти (sliding contact), роликові контакти (rolling contact) тощо та контактних з'єднань, до яких відносять контакти та провідники, які підтримують безперервність електричних кіл та не розмикаються під час роботи апарата – жорсткі з'єднання (rigid connection), гнучкі з'єднання (flexible connection) тощо. На рис. 1.10 зображені фрагменти деяких комутаційних апаратів з контактами різних типів, а також деякі контактні з'єднання.

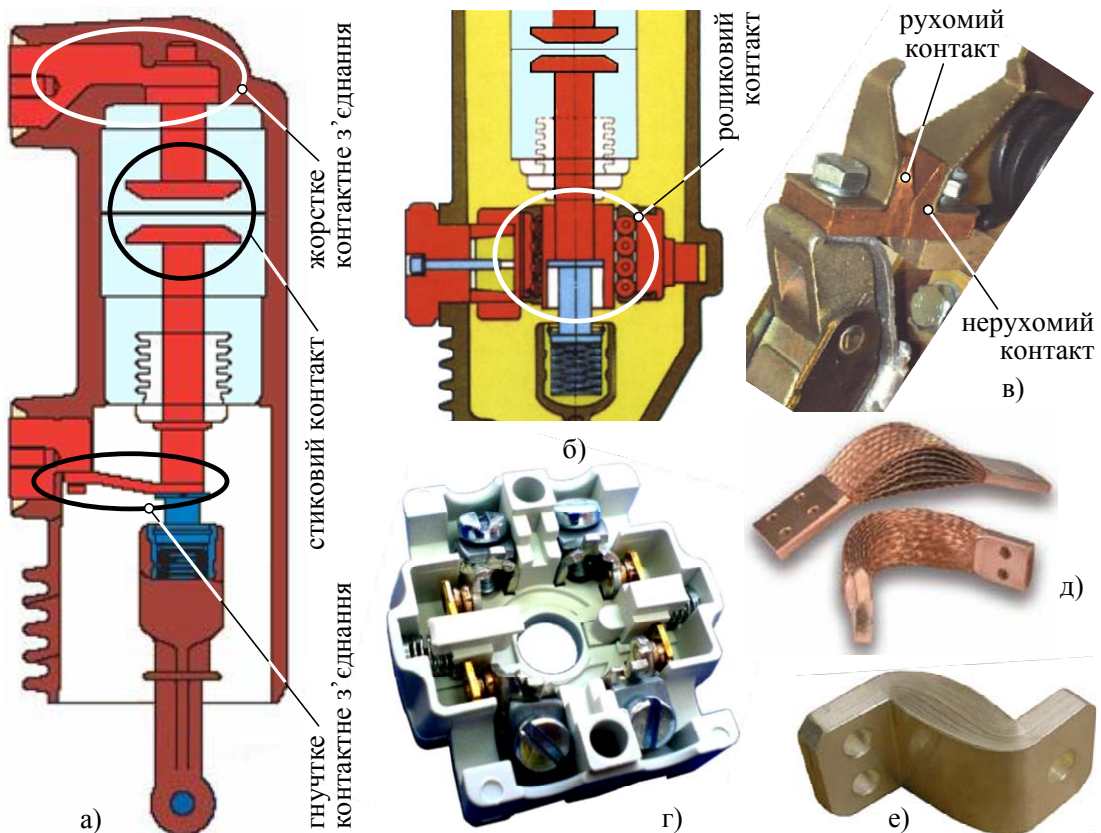


Рис. 1.10. Фрагменти електричних апаратів з контактами різних типів:

а – полюс вакуумного відмикача середньої напруги з жорстким та гнучким контактними з'єднаннями; б – фрагмент полюсу потужного вакуумного відмикача середньої напруги з роликовими контактами замість гнучкого контактного з'єднання; в – стиковий контакт кулачкового контролера (аналогічні контакти застосовують у контакторах); г – місткові контакти поворотного кулачкового перемикача (аналогічні контакти застосовують також у інших електричних апаратах); д – гнучкі з'єднання, які застосовуються в апаратах низької напруги (зокрема, у контакторах) для з'єднання рухомих контактів з виводами (termination) апарата; е – гнучкі з'єднання, які застосовуються в вакуумних відмикачах середньої напруги

Термін «контакт» застосовують не тільки до сукупності струмопровідних частин, які, стикаючись, утворюють струмопровідний шлях, а й до стану цієї сукупності струмопровідних частин, додаючи до позначення «контакт» специфікатор «електричний» (electric contact). Цей стан може бути охарактеризований тим, наскільки добре контакт проводить електричний струм, тобто опором, який створює контакт. В ІЕВ зазначений опір визначається як контактний опір (contact resistance).

Контактний опір утворюється внаслідок двох причин: 1) звуження або стягування ліній струму в зоні стикання деталей, що контактують, та 2) наявності оксидних, сульфідних та інших плівок в зоні контактування. Вплив стягування ліній струму (рис. 1.11-а) на контактний опір пояснюється тим, що за рахунок шорсткості поверхонь контактування (навіть таких, які на перший погляд здаються ідеально гладкими) реальна площа контактування на один-два порядки менше уявної площі контактування. Вплив на контактний опір плівок мікронної товщини пояснюється тим, що ці плівки мають дуже великий питомий опір (resistivity; ρ), який на багато порядків (до 10^{15}) перевищує питомий опір чистих металів.

Контактний опір дуже сильно залежить від контактного натиснення (contact force). Наприклад, контактний опір між терміналами полюсу вакуумного відмикача (див. рис. 1.10-а) при контактному натисненні 4000 Н не повинен перевищувати 11 мкОм, а контактний опір між виводами мініатюрного електромагнітного реле може сягати одиниць Ом (при контактному натисненні порядку 10 мН). Такий сильний вплив контактного натиснення на контактний опір пояснюється тим, що реально контактування відбувається через мікроскопічні горбки на поверхнях контактів (рис. 1.11-б), тому при збільшенні контактного натиснення F ці горбки сплющуються, фактична площа контактування збільшується, а плівки руйнуються.

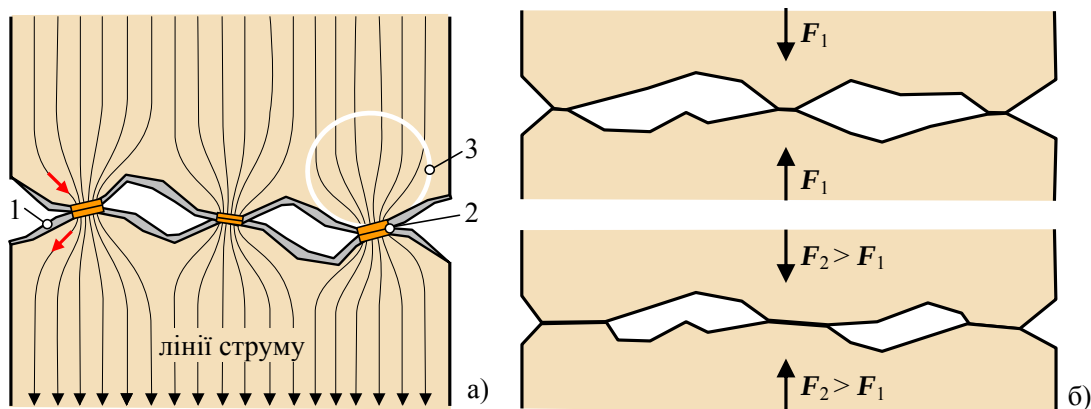


Рис. 1.11. Перетікання струму з однієї контактуючої деталі у іншу (а) та зміна розмірів площинок контактування внаслідок зміни контактного натиснення (б)
1 – плівка на поверхні контактів; 2 – плівочка металевої провідності з тонкими плівками;
3 – зона стягування ліній струму поблизу однієї площинки контактування

На перший погляд, опір порядку 10 мкОм здається нехтовно малим, але номінативний струм цього полюсу, який має працювати у безперервному режимі, дорівнює 3150 А. Отже розсіювана потужність (power loss) у полюсі становить $3150^2 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \approx 100$ Вт. Розміри полюсу дозволяють розсіювати таку потужність, не викликаючи неприпустимих температур (на терміналах полюсу згідно з ІЕС 60694 температура не повинна перевищувати 90°C). Але треба враховувати, що зазначений полюс вакуумного відмикача має витримувати струм короткого замикання 40 кА впродовж 3 секунд. Енергія, яка за цей час виділиться у полюсі, становить $10 \cdot 10^{-6} \cdot (40 \cdot 10^3)^2 \cdot 3 = 16$ кВт $\cdot$ 3 с = 48 кДж (!). Оскільки розміри зони стягування складають частки міліметра, матеріал контактів у цій зоні нагрівається дуже швидко, температура сягає точки топлення й після припинення проходження струму короткого замикання розтоплений матеріал твердіє, отже контакти приварюються. Привід апарата має бути побудований так, щоб він був здатний виконати операцію вимикання й розірвати контакти, що приварилися.

Зварюванню контактів сприяє також ефект відкидання контактів при коротких замиканнях, внаслідок дії електродинамічних сил в зоні стягування ліній струму. Електродинамічними називають сили, які виникають між провідниками зі струмами. Якщо струми течуть в одному напрямі, провідники притягуються, якщо струми течуть у протилежних напрямках, то провідники відштовхуються один від одного. В зоні контактування струми в контактуючих деталях частково течуть у протилежних напрямках (див. рис. 1.11-а), відтак ці контакти відштовхуються. Значення електродинамічних сил стають відчутними при струмах порядку тисяч Ампер та більше, коли ці сили сягають десятків, сотень й навіть тисяч Ньютон. Отже електродинамічне відкидання контактів має суттєве значення лише при коротких замиканнях. Відкидання контактів супроводжується виникненням електричної дуги, яка розтоплює контактний матеріал в зоні стягування, а після остаточного замикання контактів розтоплений матеріал твердіє, й контакти приварюються. Для зменшення сил приварювання контактів у деяких випадках збільшують контактні натиснення до значень, які перевищують можливі сили відкидання, або застосовують електродинамічні компенсатори, зокрема паралельні контактні ножі у роз'єднувачах, які притягаються один до одного, оскільки струми в них течуть в одному напрямі, компенсуючи відкидання контактів.

Зварювання контактів може відбутися й за відсутності короткого замикання, зокрема в контакторах та пусках, які здійснюють прямий пуск електродвигунів. Якщо при виконанні операції замикання спостерігаються відскоки або деренчання (bounce) контактів, то кожний відскік супроводжується виникненням потужної електричної дуги, адже пусковий струм двигуна у 6 ... 7 разів перевищує робоче значення (коли двигун

набере обороти). Відтак контакти можуть приваритися, як і при електродинамічному відкиданні контактів. Відскоки контактів, а відтак і сила їх приварювання зменшуються при зменшенні маси контактів та швидкості їх руху в момент замикання, а також при збільшенні сили контактного натиснення. Ці фактори враховуються в реальних конструкціях апаратів.

До матеріалів стикових контактів комутаційних апаратів та апаратів керування висуваються такі вимоги: висока механічна зносостійкість; висока електрична зносостійкість; висока стійкість до зварювання; висока електропровідність; висока теплопровідність; низький та стабільний контактний опір; низька схильність до взаємодії з хімічно-активними складовими атмосфери – двоокисом вуглецю, сірководнем, двоокисом сірки, аміаком, киснем тощо; забезпечення надійного кріплення до контактоутримача зварюванням, пайкою чи заклепуванням; низька вартість при заданому рівні надійності.

Перерахованим вимогам не може задовольнити жодний з чистих металів. Зокрема, мідь, яку можна було б вважати ідеальним контактним матеріалом, якби не схильність до окислення, внаслідок чого на поверхні утворюються плівки з надзвичайно високим опором, що збільшує контактний опір, а відтак сприяє неприпустимому перегріванню або навіть порушенню контакту. Тому в сучасній апаратурі мідні контакти замінюються композиційними на основі міді. Тим не менш, мідь має широке застосування в комутаційних апаратах з ручним керуванням, які працюють із значними механічними зусиллями та з ковзанням робочих поверхонь.

Суттєво меншу хімічну активність порівняно з міддю має срібло, тому опір контактів, виготовлених із срібла, є відносно стабільним. Незважаючи на високу вартість, срібло застосовується в контактах як домінуючий компонент у композиціях з іншими металами та їх сполуками.

Застосування методів порошкової металургії дозволяє створити так звані металокерамічні контакти, тобто контакти, виготовлені методом твердофазного спікання суміші порошків різних металів та окисів, підібраних у певних пропорціях. Відповідний підбір інгредієнтів дозволяє отримати металокерамічні контакти, які у певній мірі задовольняють більшості суперечливих вимог до стикових контактів комутаційних апаратів та апаратів керування й долають недоліки стопів: невелику міцність, схильність до зварювання, сульфідну корозію.

Технологія виготовлення металокерамічних контактів передбачає такі етапи: 1) змішування (віброзмішування) порошків у заданих пропорціях; 2) пресування; 3) спікання при температурі, яка є меншою за температури топлення компонентів та 4) опресовування та повторне спікання з метою ущільнення й надання контактам остаточної форми. Основними перевагами металокерамічних контактів перед контактами, виготовленими з чистих металів та стопів є майже повна безвідходність та можли-

вість отримувати властивості контактних матеріалів, які є непритаманними чистим металам та стопам.

Серед найбільш розповсюджених металокерамічних композицій слід зазначити такі:

- А10 – $85,0 \pm 0,5\%$ срібла, решта – окис кадмію (у ГОСТ 19725 наводиться лише позначення для дрібнодисперсної композиції – А10м);
- А30 – $70,0 \pm 0,5\%$ срібла, решта – нікель, а також модифікації: дрібнодисперсна композиція А30м та композиція А30мд, яка передбачає подвійне спікання.

Контакт марки КМК-А30 має високу електроерозійну стійкість (в порівнянні зі сріблом) і низький стабільний перехідний опір. Дрібнодисперсний контактний матеріал з розміром частинок 1 мкм (КМК-А30м) має електроерозійну стійкість в 1,5 ... 2 рази вищу ніж матеріал з частинками 10 ... 100 мкм (КМК-А30). Основний недолік контактів марки КМК-А30 – низька стійкість до зварювання. Для збільшення стійкості до зварювання при перевантаженнях та струмах короткого замикання контакти марок КМК-А30м використовують в автоматичних відмикачах у парі з контактами КМК-А41 ($97 \pm 0,5\%$ срібла, решта – графіт).

В контакторах як на рухомих, так і на нерухомих контактах донедавна широко застосовувалася металокерамічна композиція марки КМК-А10 (85% срібла та 15% оксиду кадмію), яка має унікальну дугогасну здатність, стабільність контактного опору, а також відносно високу стійкість до ерозії та зварювання.

Високі дугогасні властивості цієї композиції зумовлені низькою температурою сублімації CdO, яка становить 700°C і є нижчою за температуру топлення срібла – $960,5^{\circ}\text{C}$, внаслідок чого при високих температурах, зумовлених електричною дугою, з контактів виділяються великі об'єми кисню і парів кадмію, які й забезпечують гасіння дуги.

Стабільність контактного опору забезпечується низькою термічною стійкістю CdO, в результаті контактні поверхні виявляються вільними від накопичень оксидів. Нажаль, цей чудовий контактний матеріал є дуже токсичним і входить до переліку матеріалів, не рекомендованих до застосування європейською Директивою 2002/95/EU (RoHS directive – Restriction of Hazardous Substances) та низкою вітчизняних нормативних документів. Зокрема, Державні санітарні правила та норми ДСанПіН 2.2.7. 029-99 відносять кадмій до речовин І-го класу небезпеки (надзвичайно небезпечних речовин).

Численні дослідження, проведені науковцями у різних країнах, показали можливість застосування в електричних контактах замість оксиду кадмію оксидів інших металів, серед яких особливу увагу привертає екологічно безпечний оксид олова. Композиції срібла з кількістю оксиду олова (SnO_2) 8%, 10% та 12% маси в останні роки знаходять все більш широке застосування як контактні матеріали для низьковольтних комутаційних апаратів.

1.2.4. Дугогасні системи комутаційних апаратів

При замиканні та при розмиканні контактів електричного апарата між ними виникає електрична дуга ((electric) arc), якщо існують відповідні умови. Такими умовами є певні рівні напруги джерела живлення (не менші за 20 ... 30 В) та струму у колі (не менше 1 А), у якому здійснюється комутація. Дуга має дуже високу температуру й здатна розтопити частини апарата, яких вона торкається.

При замиканні контактів електрична дуга виникає за рахунок автоелектронної емісії (при зближенні контактів у міжконтактному проміжку збільшується напруженість електричного поля і, коли ця напруженість перевищує електричну міцність проміжку, виникає його електричний пробій, за яким й настає дугова стадія). В електричній дузі замикання, враховуючи її малу довжину, виникає дуже великий тиск (порядку одиниць й навіть десятків атмосфер), що може привести до уповільнення руху контактів до їх замикання. Деяка частка контактного матеріалу електродів під дією дуги розтоплюється, а після замикання контактів і припинення дії дуги, розтоплений матеріал частково розбризкується, а частково твердіє і контакти зварюються. Сила зварювання, тобто сила, яка необхідна для розриву контактів, що зварилися, залежить від багатьох факторів, найсуттєвішими з яких є значення струму дуги замикання, та властивості контактного матеріалу.

Дуга, що виникає при розмиканні контактів, є стійкою й сама не згасає, отже для забезпечення її гасіння треба створювати певні умови, застосовуючи спеціальні дугогасні пристрої (arc control devices).

Дугогасні пристрої, окрім основного призначення, а саме забезпечення розмикання електричного кола, повинні зменшувати згубну дію електричної дуги (у першу чергу, термічну, бо температура електричної дуги у деяких випадках сягає значень порядку 10 000°C), як стосовно самого апарату, так і стосовно пристроїв, розташованих поблизу цього апарату. Фото, що наведені на рис. 1.12, на якому зафіксована електрична дуга на роз'єднувачі під час аварійної ситуації в розподільному пристрої високовольтної підстанції, дозволяють скласти уявлення про масштаби згубної дії електричної дуги.

Але й надмірна потужність дугогасних пристроїв може призвести до не менш згубних наслідків, адже при великій швидкості зменшення струму di/dt падіння напруги в індуктивності кола $L \cdot di/dt$ може перевищити припустиме значення і призвести до пробію ізоляції обладнання. Треба зазначити, що саме наявність електричної дуги не дозволяє струму зменшуватися надмірно швидко і в цьому сенсі дуга відіграє певну позитивну роль. Ще одна позитивна риса електричної дуги полягає в тому, що, в деяких умовах, особливо в мережах низької напруги, де захист

мереж здійснюється швидкодіючими апаратами, час спрацювання яких вимірюється мілісекундами, дуга, завдяки її електричному опору, може ефективно обмежувати струм короткого замикання, а відтак й обмежувати згубну дію (термічну, електродинамічну) цього струму на обладнання.

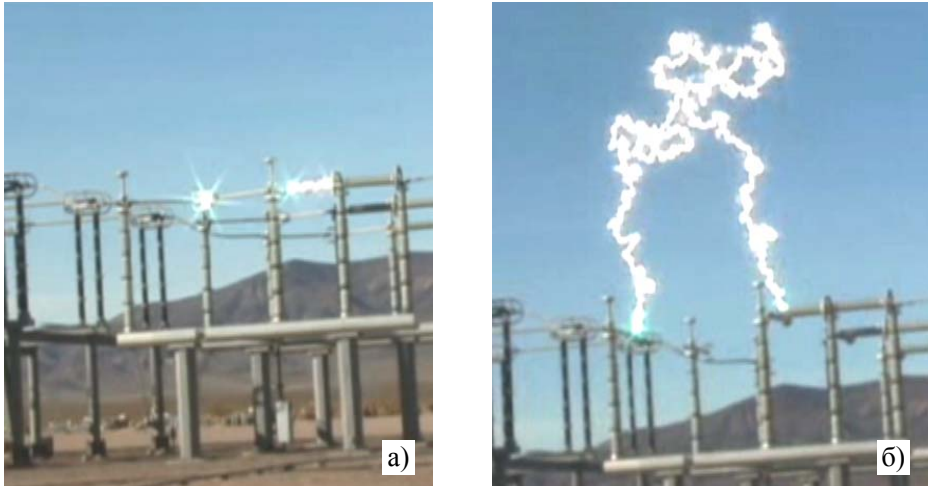


Рис. 1.12. Електрична дуга, яка виникла на полюсі роз'єднувача під час аварійної ситуації в розподільному пристрої високовольтної підстанції (а), згодом набуває загрозливих розмірів (б)

Результати експериментальних досліджень дозволяють стверджувати про те, що струм у дузі підтримується завдяки руху електронів від катоду до аноду, а також про існування трьох ділянок електричної дуги – двох приелектродних зон (прикатодної та прианодної), а також стовпа дуги.

Приелектродні зони мають незначну протяжність – порядку 10^{-6} м, але на цій незначній відстані потенціал у залежності від матеріалу контактних електродів зростає приблизно на 10 ... 15 В (на електродах з міді значення прикатодного падіння U_k становить приблизно 13 В, а на срібних електродах – приблизно 12,5 В й практично не залежить від струму та інших факторів). Наявність прикатодного падіння пояснюють виникненням поблизу катоду об'ємного позитивного заряду внаслідок швидкої евакуації легких електронів з прикатодної області у бік аноду та малої рухливості відносно важких позитивно заряджених іонів. Прикатодна зона є визначальною для існування електричної дуги, тому що вона забезпечує емісію електронів з катоду завдяки великій концентрації енергії. Наприклад, при струмі 100 А, у прикатодній зоні виділяється енергія з потужністю $(10 \dots 15) \text{ В} \cdot 100 \text{ А} = (1,0 \dots 1,5) \text{ кВт}$. Така потужність призводить до розігріву катоду до температури, яка є достатньою для забезпечення термоелектронної емісії.

Наявність прианодної зони та відповідного падіння напруги U_a пояснюють виникненням об'ємного від'ємного заряду поблизу аноду внаслідок вторинної електронної емісії.

Стовп дуги становить найбільшу за розмірами частину дуги – довжина стовпа майже дорівнює довжині всієї дуги. Процеси у стовпі характеризуються динамічною рівновагою між процесами іонізації (переважно термічної) і деіонізації (рекомбінації – захоплення електрона позитивним іоном та утворення нейтрального атому). Збільшення струму призводить до збільшення діаметру стовпа дуги, тобто діаметру, у межах якого тече струм. Цей діаметр відповідає температурі приблизно 4000°C . Слід зазначити, що видимий діаметр дуги, який відповідає температурі приблизно 2000°C , є дещо більшим. Падіння напруги на стовпі U_c залежить від багатьох факторів і, в тому числі, від довжини дуги l_a . Розподіл потенціалів вздовж стовпа дуги характеризується майже постійним градієнтом E_c , значення якого залежить від багатьох факторів і, в тому числі, від умов охолодження стовпа. Градієнт стовпа дуги, яка вільно горить в атмосферному повітрі, за даними різних дослідників становить $10 \dots 20 \text{ В/см}$. При підвищенні тиску та при інтенсивному охолодженні дуги градієнт стовпа суттєво збільшується – до $100 \dots 200 \text{ В/см}$ й більше.

Електричні дуги умовно поділяють на довгі та короткі. Довгі дуги мають всі належні компоненти: прикатодну та прианодну зони, стовп дуги. Довгі дуги використовують, наприклад, у контакторах, що працюють у важких режимах комутацій. В цих апаратах дуга забезпечує відносно повільне перетворення енергії, що накопичується перед відмиканням у навантазі індуктивного характеру (електричні двигуни), на теплову енергію, завдяки чому перенапруги, що виникають при відмиканні подібних індуктивних навантаж, не перевищують безпечних для обладнання значень.

Короткі дуги (довжиною у декілька міліметрів) складаються лише з приелектродних зон та нерозвиненого стовпа довжиною декілька міліметрів. Коротка дуга не має струмообмежувальних властивостей, бо падіння напруги на такій дузі є набагато меншим за напругу мережі, але якщо використати послідовне з'єднання багатьох коротких дуг, то таке з'єднання може бути дуже ефективним засобом обмеження струму короткого замикання.

У будь-якому випадку, для усталеного горіння дуги потрібне певне значення напруги. Наприклад, якщо розтягнути дугу на 15 см , то напруга, яка буде необхідна для її підтримки, складатиметься з суми приелектродних падінь (приблизно 25 В) та падіння у стовпі ($20 \text{ В/см} \times 15 \text{ см} \approx 300 \text{ В}$), що у підсумку дасть приблизно 320 В . Якщо напруга мережі буде меншою за це значення, то дуга не зможе горіти усталено й згасне. Ще один приклад. Для того, щоб дуга згасла при послідовному з'єднанні коротких дуг, при напрузі мережі U кількість послідовних дуг має перевищувати $U/25$ (якщо прийняти, що сума приелектродних падінь становить приблизно 25 В). Зокрема, при $U = 220 \text{ В}$ для забезпечення надійного розмикання електричного кола кількість послідовних дуг має бути більше десяти).

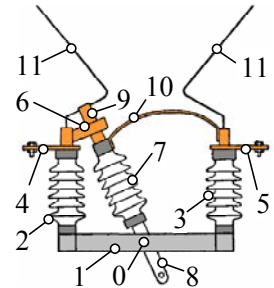
Підсумовуючи наведені вище дані, можна сформулювати основні правила побудови контактних систем та дугогасних пристроїв, слідування яким забезпечує ефективне гасіння електричної дуги:

- 1) швидке розмикання контактів та подвійне розривання кола у полюсі, що забезпечує розтягування дуги та вихід її з міжконтактного проміжку;
- 2) створення умов для швидкого переміщення опорних точок дуги по поверхнях контактів, що зменшує термоелектронну емісію, завдяки якій підтримується струм у дузі;
- 3) інтенсивне охолодження стовпа дуги, що підсилює процеси деіонізації й зменшує кількість електронів у стовпі, підвищує опір дуги та сприяє її згасанню.

Вказані правила в електричних апаратах реалізують дугогасні пристрої різних конструкцій. Мабуть, першими дугогасними пристроями були так звані дугогасні роги (рис. 1.13).

Рис. 1.13. Один з перших відмикачів з дугогасними рогами (Фойт і Гефнер, 1902 р.):

- 1 – металева рама; 2, 3 – нерухомі ізолятори; 4, 5 – термінали;
6 – нерухомий контакт, з'єднаний з виводом 4; 7 – рухомий ізолятор; 8 – важіль, що обертається навкруги вісі 0; 9 – контактний ніж; 10 – гнучке контактне з'єднання; 11 – дугогасні роги.
При обертанні важеля за годинниковою стрілкою контакти 9 і 6 розмикаються, між ними виникає електрична дуга, яка під дією електродинамічних сил перекидається на дугогасні роги 11, де розтягується, охолоджується й згасає.



Дугогасні роги як самостійні дугогасні пристрої застосовувалися впродовж майже трьох десятиліть на початку ХХ століття, і хоча вони дуже широко зустрічаються в сучасних апаратах, але лише у поєднанні з іншими більш ефективними засобами – решітчастими та щілинними дугогасними камерами (arc shute) – як засіб, що організує рух дуги до дугогасної камери.

Принцип побудови контактної-дугогасної системи, у якій реалізується спосіб гасіння дуги за допомогою решітчастої камери, ілюструє ескіз (за патентом М.О. Доліво-Добровольського, 1912 р.), показаний на рис. 1.14. Цей спосіб й дотепер широко застосовується в комутаційних апаратах.

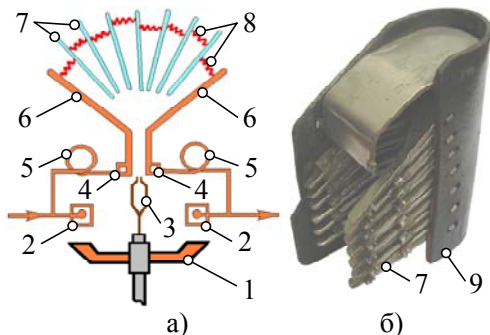


Рис. 1.14. Дугогасні решітки в електричних апаратах: а – відмикач М.О. Доліво-Добровольського (1 – рухомий головний контакт; 2 – нерухомі головні контакти; 3 – рухомий дугогасний контакт; 4 – нерухомі дугогасні контакти; 5 – дугогасні котушки; 6 – роги; 7 – пластини дугогасної решітки; 8 – короткі дуги); б – решітчаста камера сучасного автоматичного відмикача (9 – газогенерувальна обойма)

В сучасних відмикачах для спрямування дуги у камеру, крім дугогасних рогів, застосовують також електродинамічні петлі різних конструкцій (рис. 1.15), які, завдяки створюваним ними електродинамічним силам*, суттєво прискорюють рух дуги, завдяки чому дуга розтягується, охолоджується й швидше потрапляє у камеру.

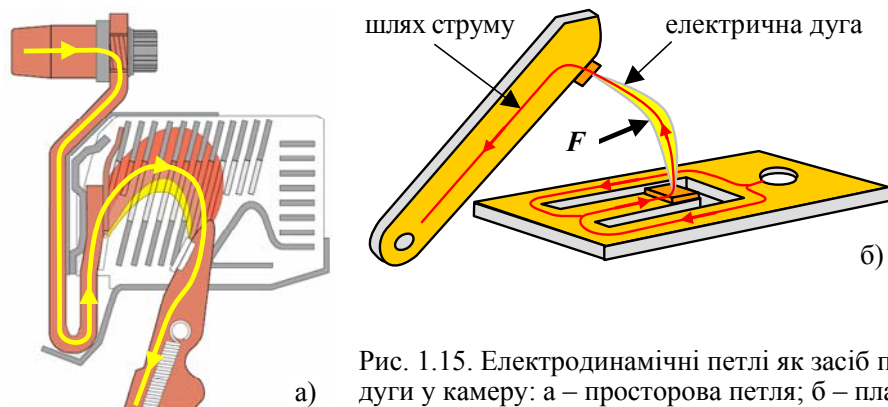


Рис. 1.15. Електродинамічні петлі як засіб прискорення руху дуги у камеру: а – просторова петля; б – плоска петля

Прискорення руху дуги у камеру може бути здійснено за рахунок електродинамічних сил, якщо у міжконтактному проміжку створити магнітне поле, спрямоване впоперек електричної дуги. Сукупність пристроїв, які створюють магнітне поле, завдяки якому дуга нібито видувається у камеру, називають системами магнітного дуття.

Системи магнітного дуття, які застосовують в електричних апаратах (переважно у контакторах), поділяють на системи послідовного, паралельного та незалежного дуття. Магнітне поле з індукцією B в системах послідовного (рис. 1.16-а) та паралельного (рис. 1.16-б) дуття створюється дугогасними котушками відповідно LB1 та LB2, а у системі незалежного дуття (рис. 1.16-в) – постійним магнітом А.

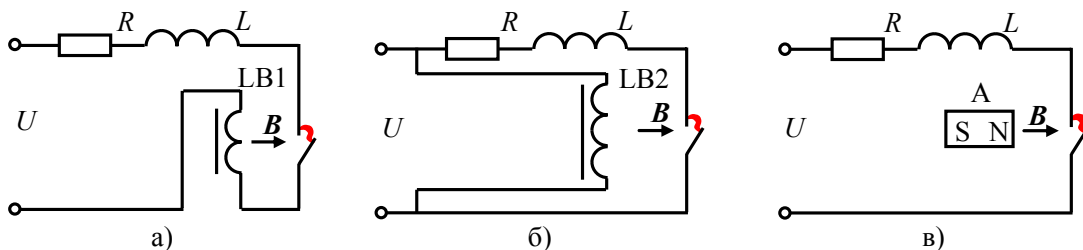


Рис. 1.16. Електричні схеми систем магнітного дуття:
а – послідовне дуття; б – паралельне дуття; в – незалежне дуття

У системі послідовного дуття магнітне поле створюється котушкою LB1, яка включена послідовно з контактами та навантагою, резистивна та

* Електродинамічна сила F , що діє на провідник зі струмом, пропорційна добутку довжини l провідника, струму I , що тече у ньому, та індукції B магнітного поля, в якому знаходиться провідник зі струмом (закон Ампера).

індуктивна складові якої мають відповідно опір R та індуктивність L (рис. 1.16-а). Магнітопровід системи магнітного дуття зазвичай є ненасиченим при струмах до робочого значення, при цьому магнітна індукція поля, створюваного дугогасною котушкою, пропорційна струму, тому сила, що діє на дугу, пропорційна квадрату значення струму. При більших значеннях струму магнітопровід системи дуття насичується, магнітна індукція перестає збільшуватися і електродинамічна сила стає пропорційною значенню струму. Таким чином, система послідовного дуття дуже ефективна в зоні робочого струму та при більших струмах I , навпаки, є вкрай неефективною при малих струмах, тому що при зменшенні струму, наприклад, у 10 разів, сила, що видуває дугу в камеру, зменшується у 100 разів. Системи паралельного та незалежного дуття у порівнянні з системами послідовного дуття більш ефективні при малих струмах, тому що електродинамічна сила у таких системах лишається пропорційною до струму на всьому діапазоні струмів.

На рис. 1.17 показані графіки залежності часу t_a горіння електричної дуги у полюсі контактора постійного струму (номінальний струм – 100 А) з послідовною та паралельною системою магнітного дуття. Як бачимо, при відносно великих значеннях струму час горіння дуги майже не залежить від значення струму (при збільшенні струму дуга швидше входить у камеру, але довше згасає), а при струмах, менших за номінативне значення, час горіння дуги зростає, причому критичне значення струму (при якому час горіння дуги є найбільшим) є набагато меншим за номінативне значення і становить 10 ... 15 А.

Найбільш розповсюдженою є система послідовного дуття, конструкція якої зображена на рис. 1.18-а. Дугогасна котушка 1 або як її називають інакше – котушка магнітного дуття (blow-out coil) призначена для створення магнітного поля, яке організує рух дуги до дугогасної камери. Ця котушка (рис. 1.18-б) має невелику кількість витків (наприклад, у контактора з номінальним струмом 250 А дугогасна котушка має чотири витки), вона підключена до нерухомого контакту 2, з'єднаного з дугогасним рогом (на рисунку не показаний), який потрібний не тільки для розтягування дуги, але й для захисту від неї котушки та інших частин апарата.

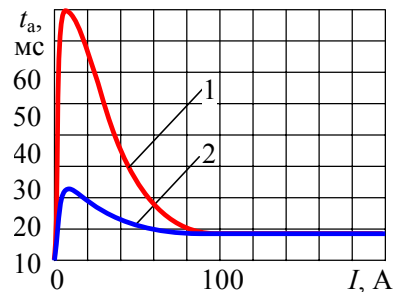


Рис. 1.17. Залежність від струму I часу t_a горіння електричної дуги у контакторі постійного струму з послідовною (1) та паралельною (2) системами магнітного дуття

До системи магнітного дуття входить також магнітопровід, який складається з двох феромагнітних пластин 3 та 4, а також феромагнітного сердечника 5, на якому встановлюється дугогасна котушка. Між нерухомим та рухомим 6 контактами при їх розмиканні виникає електрична

дуга 7, яка може розглядатися як провідник зі струмом I . Струм, що тече через котушку 1, створює в сердечнику 5 магнітний потік, напрям якого показано стрілкою, причому цей потік замикається через зазор між пластинами 3 та 4, створюючи в зазорі між пластинами (у зоні дуги) магнітне поле з індукцією B . В результаті виникає електродинамічна сила F , яка розтягує дугу та виштовхує її у дугогасну камеру.

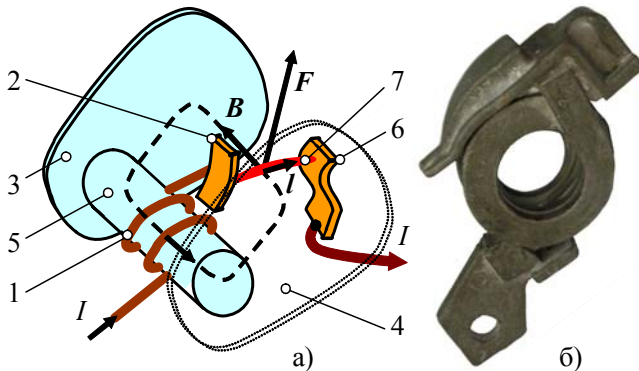


Рис. 1.18. Конструкція системи послідовного магнітного дуття (а) та дугогасна котушка контактора з номінальним струмом 250 А (б)

В системі послідовного дуття напрям сили не залежить від напрямку струму, оскільки при зміні напрямку струму змінюється й напрям вектору магнітної індукції, тому системи послідовного дуття можна застосовувати в апаратах як постійного так і змінного струму. Недоліками системи послідовного дуття, окрім низької ефективності при малих струмах, є також досить велика матеріаломісткість, а також втрати енергії у ввімкненому положенні контактора – дугогасна котушка споживає енергію весь час, коли струм тече через струмопровід контактора, хоча магнітне поле потрібно створювати лише при розмиканні його контактів.

Система паралельного дуття, незважаючи на більшу ефективність гасіння малих струмів, зараз майже не застосовується через незручність монтажу таких апаратів (окрім підключення головних контактів треба підключати й дугогасні котушки). Системи незалежного дуття застосовують, коли апарат працює лише при одному напрямі струму (нереверсивно), тому що при зміні напрямку струму буде змінюватися й напрям дії електродинамічної сили, отже дуга, замість того, щоб видуватися у камеру, буде потрапляти в апарат, руйнуючи його.

Дугогасні камери, що зазвичай застосовуються в контакторах (рис. 1.19-а) називають щілинними. Щілинна камера складається з двох стулок, які виробляють з спеціальних негорючих дугостійких пластмас. Стулки охоплюють міжконтактний проміжок, у якому виникає електрична дуга. Простір між стулками навколо контактів називають порожниною, яка звужується на периферії камери й переходить у найбільш вузьку частину – щілину. Вид дугогасної камери з боку щілини та з боку порожнини показано на рис. 1.19-б та рис. 1.19-в відповідно. Оскільки щілина

камери контактора орієнтована паралельно осі електричної дуги, таку камеру називають камерою з подовжньою щілиною. Щілина камери може бути прямолінійною або зигзагоподібною як у даному випадку.



Рис. 1.19. Електромагнітний контактор (а) та його дугогасна камера: у зібраному стані – вид з боку щілини (б), вид з боку порожнини (в), в розібраному стані (г)

Процес дугогасіння в камері пов'язаний з охолодженням дуги у щілині. З точки зору гасіння дуги, найбільш ефективними і компактними є камери з зигзагоподібними щілинами. З іншого боку, камери з зигзагоподібними щілинами є найменш зносостійкими, тому їх застосовують в апаратах з малою частотою комутацій, до яких не висуваються вимоги щодо великого ресурсу роботи (зносостійкості), і навпаки, до яких висуваються жорсткі вимоги щодо габаритів і маси. Тому в контакторах, які застосовують в електротранспорті, використовують камери, щілини яких мають зигзагоподібну форму.

Менш ефективними й компактними, але більш зносостійкими є камери з прямолінійними щілинами, які, у свою чергу, умовно поділяють на камери з вузькими та широкими подовжніми щілинами. Якщо ширина щілини є меншою за діаметр дуги при робочому струмі, таку щілину вважають вузькою, а якщо ширина щілини є більшою за діаметр, її вважають широкою. Камери з широкими щілинами є найбільш зносостійкими, але й найбільш габаритними, тому їх застосовують у тих галузях, де зносостійкість має першочергове значення, а габарити апарата відступають на другий план. Такою галуззю є металургія (прокатне виробництво), де частота комутацій контакторів сягає 1200 на годину, а розміри прокатних цехів дозволяють розміщувати апарати з відносно великими габаритами.

Гасіння електричної дуги постійного та змінного струму здійснюється у принципово різних умовах. У колі постійного струму електрична дуга горить стійко і дугогасні пристрої мають порушити стійкий характер дуги. У колі змінного струму електрична дуга гаситься, власне, кожен півперіоду при переході струму через нуль, а після цього дуга або гасне остаточно, або виникає знов і горить, принаймні, впродовж ще одного півперіоду. В електричних апаратах постійного та змінного струму застосовують

подібні дугогасні системи але, враховуючи особливості гасіння дуги змінного струму, відповідні дугогасні системи мають певні особливості. Призначення дугогасних пристроїв змінного струму полягає в тому, щоб сприяти прискоренню поновлення електричної міцності міжконтактного проміжку після переходу струму через нуль, зокрема за рахунок інтенсивного переміщення опорних точок дуги по контактних електродах.

При малих струмах (приблизно до 20 А) та резистивній навантазі достатньо одного розриву кола на відстань до 1 мм, щоб дуга не відновлювалася після переходу струму через нуль. Саме такий спосіб застосовується в електричних реле (рис. 1.20-а, б), причому дуже малі за розмірами реле (рис. 1.20-в) здатні здійснити понад 10^5 комутацій резистивних кіл при струмі 16 А та напрузі 250 В.

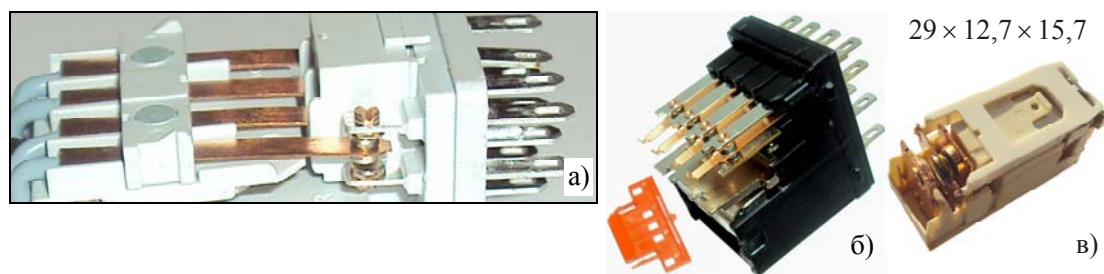


Рис. 1.20. Застосування контактних елементів з одним розривом кола у полюсі в реле: а – традиційна конструкція контактного елемента; б – реле у якому застосовано контактні елементи без гнучких з'єднань (8 А, 250 В, АС); в – мініатюрне реле (16 А, 250 В, АС)

Подвійний розрив кола містковим контактним елементом (див. рис. 1.10-г) при відносно невеликих струмах (приблизно до 40 А) виявляється достатнім для гасіння електричної дуги без будь-яких додаткових дугогасних пристроїв навіть при комутації кіл із значною індуктивною складовою навантаги, зокрема кіл з асинхронними двигунами.

При комутації струмів понад 40 А лише подвійний розрив не забезпечує надійного дугогасіння, тому в дугогасних системах застосовують й інші пристрої, наприклад, дугогасні камери та решітки. При цьому розміри дугогасних пристроїв змінного струму є набагато меншими за розміри таких самих пристроїв, що застосовуються в апаратах постійного струму. На рис. 1.21-а зображено контактор змінного струму на 400 А, 380 В, категорія застосування АС-3 (прямий пуск асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором та його відмикання, коли він обертається) зі знятою камерою, яка у перегорнутому стані розташована поруч з контактором. Конструкція нерухомого контакту даного контактора показана на рис. 1.21-б. Його струмопідвід 1 має С-подібну форму, завдяки чому опорні точки дуги, під дією електродинамічної сили, що виникає в струмопроводі, швидко переміщуються з контактних накладок 2 на виступи 3, які виконують роль дугогасних рогів і спрямовують дугу у решітку, змонто-

вану безпосередньо в камері (на рис. 1.21-а добре видно, що кожна решітка складається лише з чотирьох пластин – цього виявляється цілком достатньо, щоб згасити дугу зі струмом 400 А.



Рис. 1.21. Контактор змінного струму з номінальним струмом 400 А:
а – загальний вигляд зі знятою камерою;
б – конструкція контактного вузла нерухомого контакту (фото та ескіз)

Контактор змінного струму на 400 А для більш важкої категорії застосування – АС-4 (прямий пуск асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором та відмикання його у загальмованому стані), фото якого зображено на рис. 4.34, має набагато більші розміри, причому для гасіння такої дуги необхідно застосовувати ще й магнітне дуття.

Принцип гасіння дуги у вакуумі виявляється дуже ефективним для комутаційних апаратів змінного струму завдяки тому, що при переході струму через нуль пари металу, які власне й утворюють вакуумну дугу, внаслідок наявності тиску у дузі, швидко розсіюються з міжконтактного проміжку, електрична міцність якого після цього стрімко зростає, випереджаючи зростання напруги, яка поновлюється на контактах. Відтак, дуга у вакуумі зазвичай згасає при першому ж переході струму через нуль.

Вакуумний переривник (vacuum interrupter), зображений на рис. 1.22, монтується у керамічному кільцеподібному корпусі 7, на торцях якого закріплюються два фланці – упорний 2 та прохідний 11. На упорному фланці закріплено стрижень 4 з нерухомим контактом 5 у нижній частині та виводом 1 для приєднання зовнішнього кола у верхній частині. Рухомий контакт 6 розташований у верхній частині рухомого стрижня 10, який проходить через отвір прохідного фланцю 11 й закінчується виводом 15 з гвинтом 16 для приєднання зовнішнього кола. Для забезпечення переміщення рухомого контакту у напрямній втулці 14 без порушення вакууму у порожнині переривника, де тиск становить $10^{-5} \dots 10^{-7}$ мм.рт.ст., застосовують металеву гофровану трубку – сильфон 13.

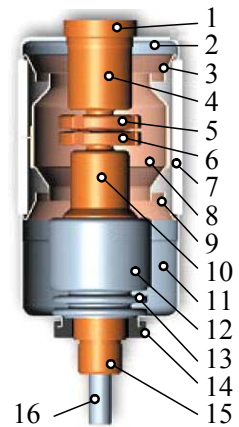


Рис. 1.22. Вакуумний переривник

При розмиканні контактів 5 та 6 між ними з'являється електрична дуга, яка утворюється завдяки виділенню парів з контактних електродів. При переході струму через нуль температура електродів і, відповідно, приплив парів у міжконтактний проміжок зменшується, пари металів, які були до того у міжконтактному проміжку, розсіюються у радіальному напрямі і, оскільки швидкість зростання електричної міцності проміжку є дуже великою (порядку $1 \dots 10$ кВ/мкс), після переходу струму через нуль дуга знов не виникає. Таким чином, при частоті мережі 50 Гц, час горіння вакуумної дуги не перевищує 10 мс.

Для перешкоджання осадженню парів металів на поверхні корпусу при розсіюванні парів у радіальному напрямі при згасанні дуги застосовують спеціальний металевий екран 8 й додаткові екрани 3 та 9, розташовані відповідно на упорному та прохідному фланцях. Екран 12 захищає сільфон, перешкоджаючи потраплянню на нього парів металу.

Особливістю вакуумних переривників є те, що у вільному стані контакти в них є замкненими, завдяки різниці тиску всередині та ззовні корпусу. Розімкнений стан контактів у вакуумних апаратах забезпечується дією або повертальних пружин, або бістабільних поляризованих актуаторів.

Суттєвою перевагою вакуумних апаратів є їх дуже висока комутаційна зносостійкість (порядку 10^6 циклів), яка забезпечується завдяки тому, що енергія у вакуумній дузі набагато менша за енергію дуги у традиційних апаратах, оскільки час горіння вакуумної дуги не перевищує 10 мс, а напруга на дузі сумірна з приелектродними падіннями і становить $10 \dots 20$ В (в апаратах середньої напруги – до 100 В, що набагато менше падіння на дузі у відповідних апаратах з елегазовими та масляними камерами). Інші переваги вакуумних апаратів пов'язані з відносно малими габаритами цих апаратів, а також з ізолюванням дуги від навколишнього середовища.

Недоліками вакуумних апаратів є їх відносно велика вартість, а також неспроможність здійснювати комутацію постійного струму. Суттєвим недоліком вакуумних апаратів є наявність ефекту зрізу струму (круте спадання струму при його підході до нуля), що призводить до виникнення комутаційних перенапруг. Для зменшення значення струму зрізу і, відповідно, комутаційних перенапруг, застосовують спеціальні контактні матеріали (стопи міді з хромом, металокерамічні композиції тощо), пари яких підтримують горіння дуги майже до природного переходу струму через нуль. У деяких випадках для зменшення перенапруг застосовують варисторні обмежувачі імпульсних виплесків, які підключають у розподільних пристроях безпосередньо між терміналом вакуумного комутаційного апарата, до якого приєднується фідерний кабель, та терміналом уземлення.

Гасіння дуги в середовищі елегазу, яке застосовується в апаратах середніх та високих напруг, а також відповідні дугогасні пристрої будуть розглянуті у підрозділах, присвячених цим апаратам (п. 4.2.1 та п. 4.3.1).

1.2.5. Термінали електричних апаратів

Здатність апарата виконувати покладені на нього функції суттєво залежить від надійності приєднання до нього зовнішніх провідників, тобто від надійності та безпечності терміналів цього апарата. Багатолітній світовий досвід розробки й удосконалення електричних апаратів стосується не тільки їх внутрішньої побудови, а й способів їх примикання. Досвід розробки терміналів електричних апаратів, у певній мірі, має універсальний характер, адже термінали певного типу можуть бути застосовані не тільки в апаратах різного призначення та конструкції, а й в інших електротехнічних пристроях.

Нагадаємо (див. п. 1.1.3), що термінал – це поєднання виводу із зати-скним пристроєм або затискачем. Головна вимога до терміналів – низький та стабільний контактний опір. Недотримання цієї вимоги призводить до перегрівання апарата в цілому і, як наслідок, до виходу його з ладу, тому для багатьох апаратів стандарти передбачають контроль їх температури при типових випробуваннях. Важливим показником якості терміналів є також міцність приєднання, яку характеризують силою витягання провідників з терміналів.

Безліч розроблених за багато років конструкцій терміналів можна поділити на дві категорії – нарізні та безнарізні. Апарати, розраховані на проведення відносно великих струмів (силові апарати) зазвичай мають нарізні термінали (screw-type terminals). Безнарізні термінали (screwless-type terminals) застосовують, переважно, в з'єднувальних пристроях (connecting device), у деяких аксесуарах електропроводок – в патронах електроламп (lampholder), розетках (socket-outlet), побутових вимикачах (switch) тощо, а також для приєднання відокремлюваних відмикачів – втичних (plug-in circuit-breaker) та викатних (withdrawable circuit-breaker).

Нарізні термінали

Гвинтові термінали (screw terminal) (рис. 1.23) забезпечують надійне приєднання зовнішніх провідників тільки за наявності так званих проти-розширювальних пристроїв (anti-spread device), які запобігають розпушув-анню багатожильних або вислизуванню одножильних провідників при їх приєднанні до апарата.

В конструкціях терміналів, зображених на рис. 1.23 та 1.25, для запобігання саморозгвинчуванню, між головкою гвинта та шайбою необ-хідно встановлювати пружинну шайбу Гровера (Grover washer). Застосу-вання спеціальних арочних шайб (arched washer) дозволяє уникнути цих додаткових деталей для протирозширювальних пристроїв – їх роль в таких конструкціях виконують вертикальні ізоляційні перегородки між полюсами апарата (рис. 1.24).

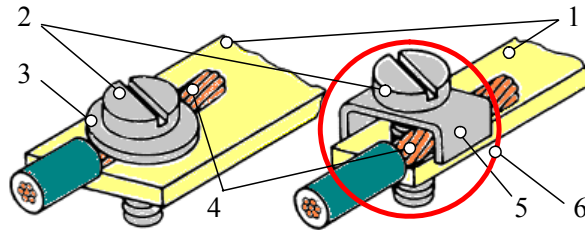


Рис. 1.23. Гвинтові термінали:

1 – виводи апаратів; 2 – гвинти; 3 – шайба; 4 – гнучкі багатожильні провідники; 5 – протирозширювальний пристрій (П-подібна шайба); 6 – затискний пристрій

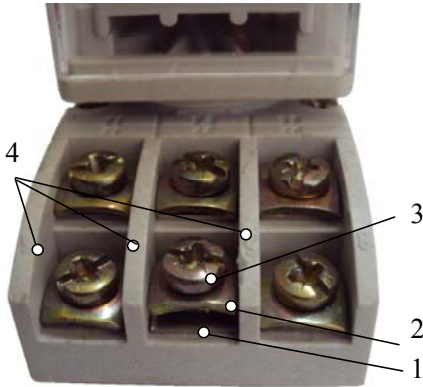


Рис. 1.24. Гвинтові термінали з арочними шайбами:

1 – вивід; 2 – арочна шайба; 3 – гвинт; 4 – протирозширювальний пристрій (бокові ізоляційні перегородки між полюсами)

До категорії нарізних відносять також болтові термінали (stud terminal). Болтові термінали (рис. 1.25), як і гвинтові, що приєднують до апаратів круглі провідники, вимагають застосування протирозширювальних пристроїв.

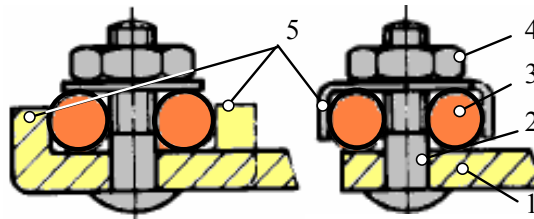


Рис. 1.25. Болтові термінали з приєднаними круглими провідниками:

1 – вивід; 2 – болт; 3 – круглий зовнішній провідник, що приєднується до апарата; 4 – гайка; 5 – протирозширювальні пристрої

Стовпчикові термінали (pillar terminal) широко застосовуються як у різного роду аксесуарах електропроводок (рис. 1.26), так і в потужних комутаційних апаратах, розрахованих на проведення великих струмів (рис. 1.27). Затискні пристрої таких терміналів мають отвори різних форм, у які вставляються зовнішні провідники і де вони затискаються під тілом гвинта. Розрізняють стовпчикові термінали з прямим натисненням, де затискна сила прикладається безпосередньо тілом гвинта, та з непрямым натисненням, де затискна сила прикладається через проміжну частину (деталь).

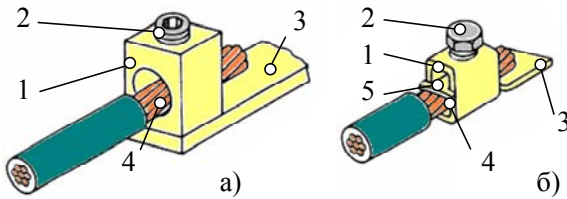


Рис. 1.26. Стовпчикові термінали для аксесуарів з прямим (а) та непрямым (б) натисненням на провідники:
1 – стовпчик; 2 – гвинт; 3 – вивід;
4 – провідник; 5 – проміжна деталь

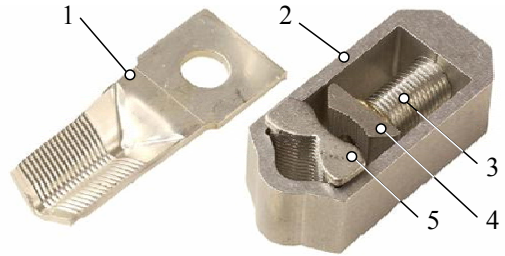
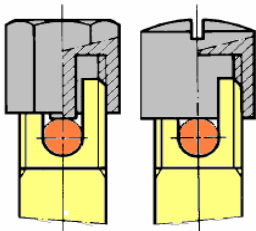


Рис. 1.27. Частини потужного стовпчикowego терміналу: 1 – вивід; 2 – стовпчик;
3 – гвинт; 4, 5 – проміжні деталі

Насічка на виводі апарата та проміжних частинах затискного пристрою стовпчикowego терміналу (рис. 1.27) забезпечує зменшення контактного опору та робить міцнішим механічне приєднання зовнішніх провідників.

Ковпачкові термінали (mantle terminal) доцільно застосовувати у тих випадках, коли до пристрою доводиться часто приєднувати та від'єднувати зовнішні провідники, наприклад у вимірювальних приладах. Ковпачкові термінали (рис. 1.28) складаються з виводів циліндричної форми із зовнішньою різью та поперечною щілиною на кінцях виводів. У щілини



вставляються зовнішні провідники, а на різь виводів нагвинчуються ковпачки різної форми з внутрішньою різьєю, забезпечуючи притиснення провідників до виводів.

Рис. 1.28. Ковпачкові термінали з ковпачками різної форми

Сідлові термінали (saddle terminal) застосовуються в різних апаратах з відносно великим номінативним струмом. Притиснення зовнішнього провідника до виводу у такому терміналі здійснюється за допомогою сідлоподібної перемички двома болтами або двома гвинтами (рис. 1.29). У варіанті затискного пристрою, фото якого наведено на рис. 1.30, два гвинта 1 та 2, які мають вгвинчуватися в отвори з різью на плоскому виводі (на фото не показаний), притискають верхню перемичку 3 до провідника (на фото не показаний), а через нього – до проміжної перемички 4, а та у свою чергу – до виводу з апарата.

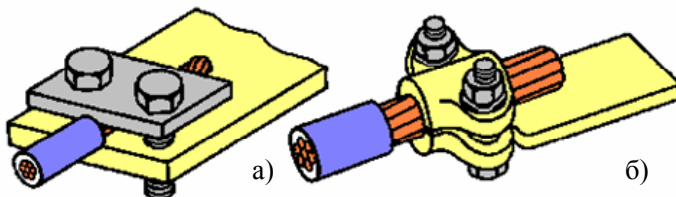


Рис. 1.29. Сідлові термінали з різними засобами притиснення провідника до виводу й сідла:
а – гвинтами; б – болтами

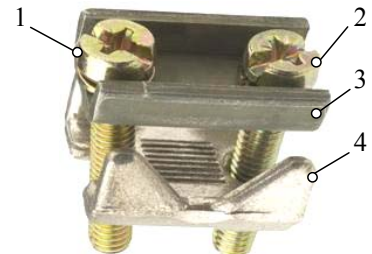


Рис. 1.30. Варіант затиску сідлового терміналу

Пелюстковий термінал (lug terminal) – це нарізний термінал, що забезпечує приєднання шин або кабельних наконечників (cable lug) до плоских виводів апарата за допомогою гвинтів або прогоничів з гайками (рис. 1.31). Конструкції деяких апаратів допускають приєднання до одного виводу двох кабельних наконечників (рис. 1.32).

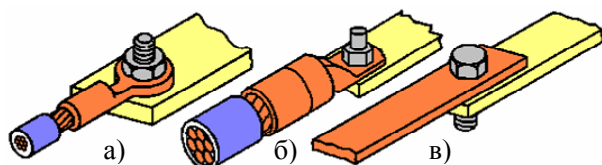


Рис. 1.31. Пелюсткові термінали з приєднанням кабельних наконечників різних конструкцій (а, б) та шини (в)



Рис. 1.32. Варіант приєднання до кожного виводу по два кабельних наконечники

В модульних апаратах побутового застосування застосовують спеціальні нарізні термінали подвійного приєднання (рис. 1.33), до яких приєднуються провідники різного поперечного перетину, а також спеціальні гребінчасті монтажні шини з штировими та вилкоподібними виводами. На рис. 1.33-а зображено стовпчиковий затискний пристрій 1 та вивід 2 апарата, об'єднання яких (рис. 1.33-б) утворює термінал подвійного приєднання. До цього терміналу можна приєднати монтажну шину з вилкоподібними виводами 4 у верхню частину терміналу під головку гвинта 3 (рис. 1.33-в), багатожильний 5 або круглий одножильний провідник з достатньо широким діапазоном поперечного перетину (зазвичай від 1,5 до 35 мм²) – в отвір стовпчикового затискного пристрою (рис. 1.20-г), а також разом шину та круглий провідник (рис. 1.33-д), причому контактне натиснення на шину та провідник створюється одночасно затягуванням гвинта 3 викруткою.

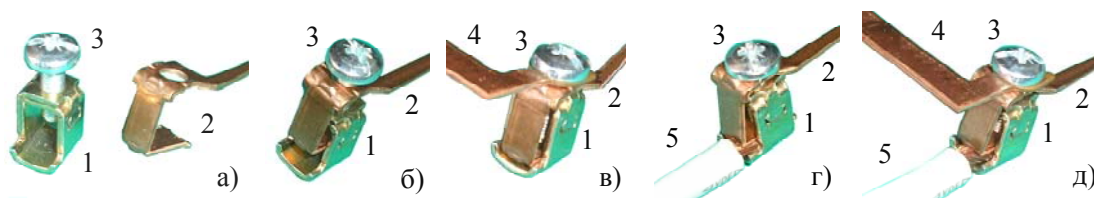


Рис. 1.33. Термінал подвійного приєднання для апаратів побутового застосування

Безнарізні термінали

Ці термінали застосовуються, зокрема, в відмикачах як промислового, так і побутового й аналогічного застосування. В сучасних відмикачах середньої напруги ці термінали мають розеткоподібну конструкцію з циліндричними притискними пружинами (рис. 1.34). Затискні пристрої таких терміналів складаються з декількох десятків пелюстків 1, які, утворюючи

кругову розетку, стискаються циліндричними пружинами, одна з яких, а саме пружина 2, притискає пелюстки до виводу апарата 3, а пружина 4 притискає їх до штирового контакту, змонтованого на шинопроводі розподільного пристрою, при введенні апарата у робоче положення.

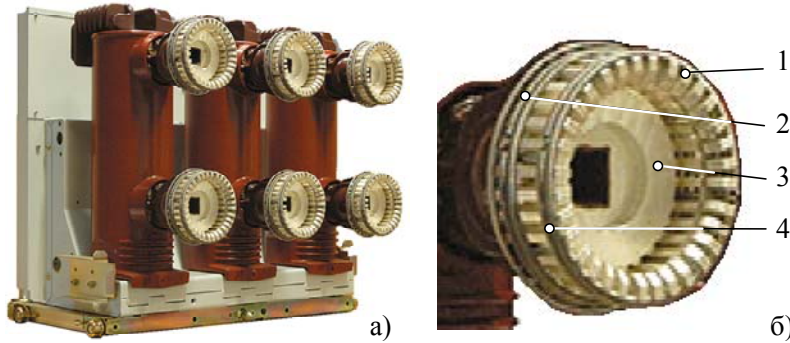


Рис. 1.34. Відмикач середньої напруги (а) та його розетковий термінал (б)

Варіанти конструкцій безнарізних терміналів деяких відмикачів побутового призначення показані на рис. 1.35. Затискні пристрої можуть монтуватися безпосередньо на апараті (рис. 1.35-а, б) для приєднання до оголених мідних шин у розподільному пристрої, або в ізольованій панелі, яка монтується у розподільному пристрої (рис. 1.35-в).

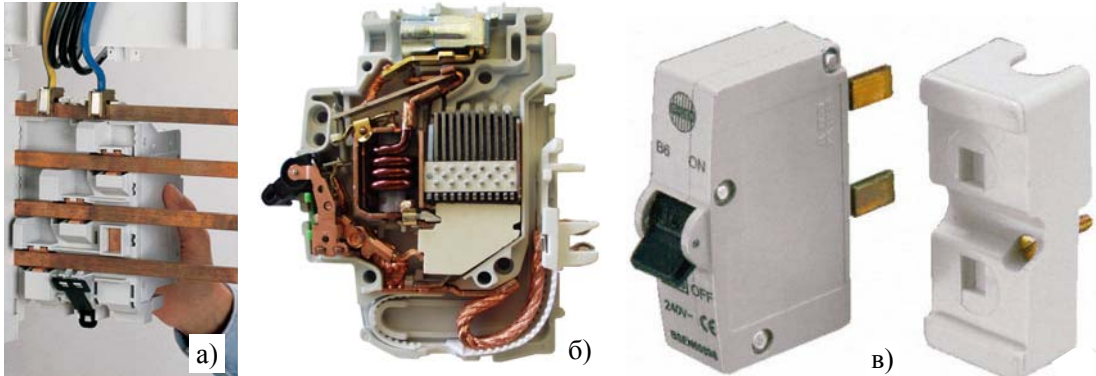


Рис. 1.35. Безнарізні термінали в конструкціях деяких відмикачів побутового й аналогічного застосування

Фото апарата – позиційного перемикача з плоским пристроєм швидкого приєднання (flat quick-connect termination) та його складовими – гніздовим конектором (female connector) та плоским штировим виводом (flat male tab) показані на рис. 1.36-а. Плоскі штирові виводи застосовуються не тільки в комутаційній апаратурі, а й у деяких інших пристроях, зокрема в силових електронних компонентах. Фото діодного моста з плоскими штировими виводами для швидкого з'єднання з гніздовими конекторами наведено на рис. 1.36-б.

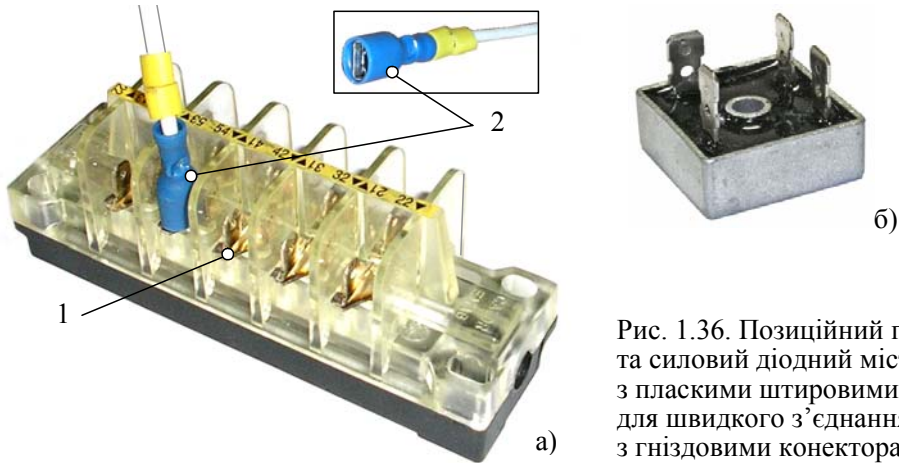


Рис. 1.36. Позиційний перемикач (а) та силовий діодний міст (б) з плоскими штировими виводами 1 для швидкого з'єднання з гніздовими конекторами 2

В з'єднувальних пристроях, розрахованих на проведення відносно невеликих струмів, для приєднання до зовнішніх кіл застосовуються термінали під пайку (solder terminal). Такі термінали (рис. 1.37) застосовуються як у штирових (plug), так і у гніздових (socket) контактах з'єднувачів (connector).

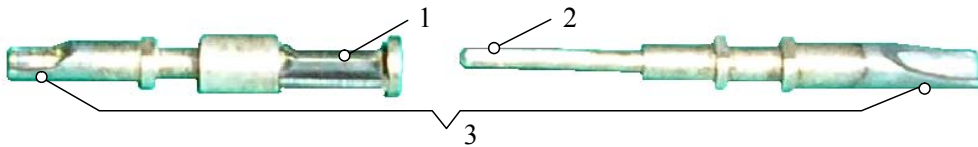


Рис. 1.37. Елементи з'єднувача: 1 – гніздо (гніздовий контакт); 2 – штир (штировий контакт); 3 – термінали під пайку

Приклади безнарізних терміналів, які застосовуються у з'єднувальних пристроях, зображено на рис. 1.38.

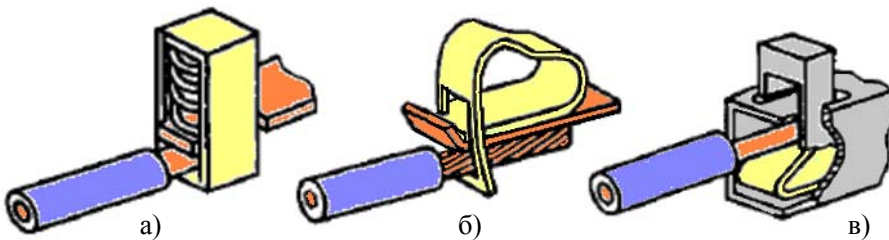


Рис. 1.38. Безнарізні термінали: а – термінал з непрямым натисненням (terminal with indirect pressure) – провідник затискається між виводом та обоймою; б – термінал з прямим натисненням (terminal with direct pressure) – провідник затискається між виводом та пружиною; в – термінал з елементом керування (terminal with actuating element)

В деяких аксесуарах застосовуються спеціальні пристрої (рис. 1.39), які дозволяють приєднувати ізольовані провідники без попередньої зачистки ізоляції – з'єднувальні пристрої з прошивкою ізоляції або пірсингові з'єднувальні пристрої (insulation piercing connecting device; IPCD).

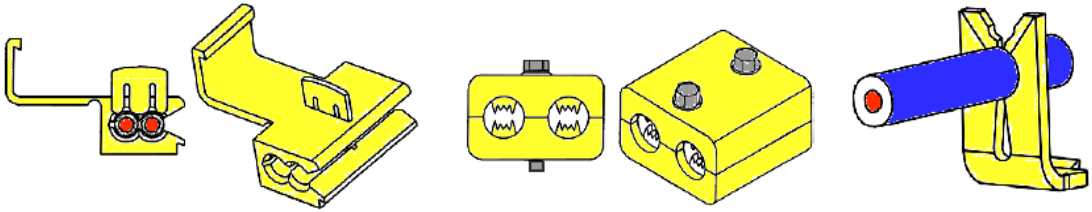


Рис. 1.39. З'єднувальні пристрої з прошивкою ізоляції (пірсингові з'єднувальні пристрої)

Іноді пірсингові з'єднувальні пристрої застосовуються як термінали деяких аксесуарів, зокрема з'єднувальних пристроїв в колах керування або допоміжних колах (рис. 1.40-а), а іноді – як окремі з'єднувачі в головних колах (рис. 1.40-б).

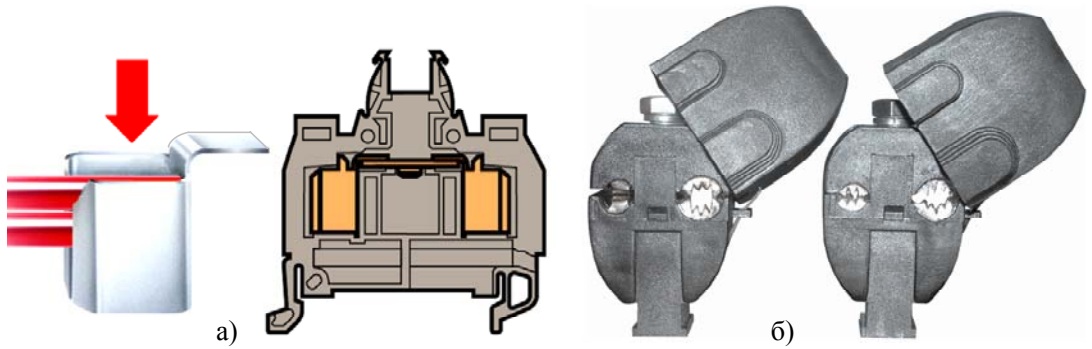


Рис. 1.40. Пірсингові з'єднувальні пристрої:
а – в колах керування та допоміжних колах; б – в головних колах

Коли апарат чи аксесуар не передбачає багаторазового приєднання зовнішніх провідників, застосовують термінали з так званими самонарізними гвинтами (tapping screw). Самонарізний гвинт – це гвинт, виготовлений з матеріалу з більшим опором до деформації, який вводиться обертанням в отвір, виконаний в матеріалі з меншим опором до деформації, причому ці гвинти виконують з конічною різьєю, тобто зі зменшенням діаметра різі на кінці гвинта. Розрізняють формувальний самонарізний гвинт (thread-forming tapping screw) – гвинт з безперервною різьєю (рис. 1.41-а) та різальний самонарізний гвинт (thread-cutting tapping screw) – гвинт з різьєю, що переривається, який при вгвинчуванні видаляє залишковий матеріал з отвору (рис. 1.41-б).

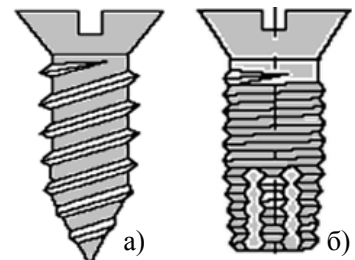


Рис. 1.41. Самонарізні гвинти: а – формувальний; б – різальний

1.2.6. Актуатори комутаційних апаратів

Однією з важливих частин комутаційного апарата є його актуатор (actuator). Для апаратів з неелектричним керуванням* під актуатором розуміють частину привідної системи (actuating system), до якої прикладається сила зовнішнього впливу. Для апаратів з не ручним керуванням під актуатором, точніше – електричним актуатором ((electric) actuator) розуміють пристрій, який створює визначений рух при збудженні електричним сигналом. Ілюстрації до цих понять наведені на рис. 1.42.



Рис. 1.42. Актуатори апаратів з ручним та не ручним керуванням

Актуатор апарата з неелектричним керуванням може сприймати зовнішній вплив від м'язової дії оператора (в апаратах з ручним чи ножним керуванням) або від частин машин, що рухаються (в позиційних перемикачах). Ці актуатори можуть мати форму важеля, ручки, кнопки, ролика, стрижня, пружини, поршня тощо. Розрізняють актуатори з оперуванням одним пальцем, двома пальцями, рукою, ногою та двома руками.

Актуатори в комутаційних апаратах з електричним керуванням – це зазвичай електромагнітні актуатори, що побудовані на базі електромагнітів різних конструкцій.

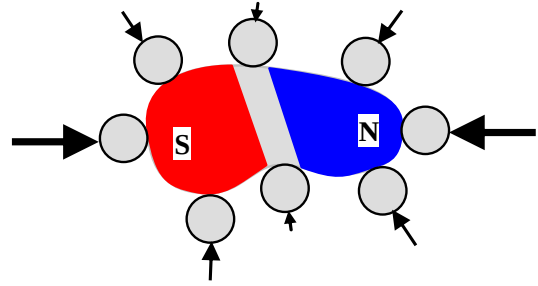
В IEV магніт** (magnet) визначається як пристрій, призначений створювати зовнішнє магнітне поле, причому розрізняють постійні магніти (permanent magnet), тобто магніти, магнітне поле яких створюється за рахунок власної намагніченості, та електромагніти (electromagnet), тобто магніти, магнітне поле яких створюється, головним чином, електричним струмом.

Постійні магніти у вигляді деяких кам'яних порід, здатних притягувати до себе залізні предмети (рис. 1.43), були відомі задовго до нової ери.

* Під апаратами з неелектричним керуванням будемо розуміти апарати, які не мають в своєму складі електричних пристроїв, які дозволяють по сигналу ззовні здійснювати операції вмикання та вимикання.

** Проблема перекладу на українську мову терміну «magnet» («магнет» чи «магніт»?) у даному посібнику вирішена на користь форми «магніт» з урахуванням того, що саме ця форма застосовується у чинному термінологічному стандарті з електротехніки – ДСТУ 2843-94).

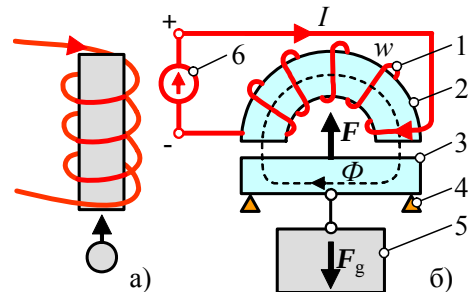
Рис. 1.43. Постійний магніт, що притягує до себе залізні кульки. Сила притягання тим більша, чим ближче кулька до вершини полюсу. Між полюсами існує зона – нейтраль, сила притягання до якої практично відсутня



На початку XIII століття нової ери, коли в Європі вже застосовувався компас, винайдений у Китаї приблизно за два століття до того, лицар П'єр де Мерікур, відомий з літописів як Petrus Peregrinus, оприлюднив перше відоме нам дослідження магніту, вказавши на наявність у нього двох полюсів, які він назвав південним (S) та північним (N). Він також зазначив, що однойменні полюси двох магнітів відштовхуються один від одного, а різнойменні – притягуються. Полюс магніту (pole of a magnet) в ІЕВ визначається як одна із складових магніту, від якої або до якої спрямований корисний магнітний потік (magnetic flux).

У 1820 р. завдяки дослідженням Ерстеда (Hans Christian Ørsted), Араго (Dominique François Arago) та Ампера (André-Marie Ampère) було встановлено, що провідники зі струмом мають властивості магніту – створюють магнітне поле. Зокрема, було встановлено, що обмотка (coil), тобто сукупність послідовно з'єднаних витків (turn), зазвичай коаксіальних, створює більш потужне поле, ніж прямолінійний провідник, а соленоїд (solenoid), тобто циліндрична обмотка, довжина якої набагато перевищує її поперечні розміри, всередині якого розміщений залізний стрижень, притягує до себе залізні предмети набагато сильніше, ніж соленоїд без залізного стрижня (рис. 1.44-а). Ще через п'ять років англієць Стерджен (William Sturgeon) створив електромагніт, в якому полюси сталевого сердечника ((magnetic) core), обмотаного мідним дротом, ізолюваним від сердечника лаком, були розташовані в одній площині (рис. 1.44-б). Поперек полюсів сердечника в цьому пристрої розташовувалася сталева планка, яку зараз прийнято називати якорем (armature).

Рис. 1.44. Соленоїд зі сталевим сердечником (а), який за наявності струму в обмотці притягує сталеві предмети, та електромагніт Стерджена (б): 1 – обмотка; 2 – сердечник; 3 – якорь; 4 – упори; 5 – вага; 6 – джерело живлення, завдяки якому через обмотку тече струм I .



Коли через обмотку пропускали струм, якорь утримував вагу порядку 4 кГс, що набагато перевищувало силу відомих тоді постійних магнітів

природного походження, а також силу притягання сталевих предметів до соленоїдів без сталевих сердечників. Електромагніт Стерджена став прообразом багатьох сучасних конструкцій електромагнітів.

Сила F , з якою якір притягається до полюсів сердечника, залежить від магніторушійної сили (МРС) обмотки (magnetomotive force; mmf; F_m), яка є добутком струму I та кількості витків w обмотки. При певному значенні МРС сила F може перевищити силу тяжіння F_g ваги, в результаті чого якір розпочинає рух до полюсів сердечника, причому при зменшенні зазору між якорем та полюсами сердечника сила F зростає.

Ефект притягання сталевого якоря до полюсів сталевого сердечника за наявності зовнішнього магнітного поля, створеного обмоткою зі струмом, пояснюється особливостями побудови феромагнітних речовин*, які мають так звану домінну структуру. Домени – це мікроскопічні області (з розмірами порядку 10^{-6} м), які мають однорідну намагніченість. За відсутності зовнішнього магнітного поля напрями векторів намагніченості (magnetization; M) окремих домінів у феромагнітному тілі є хаотичними й сумарна намагніченість цього тіла дорівнює нулю (рис. 1.45-а). Відтак феромагнітні тіла не мають полюсів й не притягуються одне до одного. Якщо ж два феромагнітні тіла помістити у магнітне поле, створене, наприклад, обмотками, вектори намагніченості частини домінів повертаються вздовж напрямку магнітного поля, феромагнітні тіла набувають сумарну намагніченість, на їх кінцях утворюються полюси, відтак ці тіла притягуються одне до одного (рис. 1.45-б). При підсиленні зовнішнього магнітного поля вздовж напрямку поля повертаються вектори намагніченості більшої кількості домінів, що збільшує силу притягання F феромагнітних тіл. В дуже сильному зовнішньому магнітному полі вздовж його напрямку повертаються

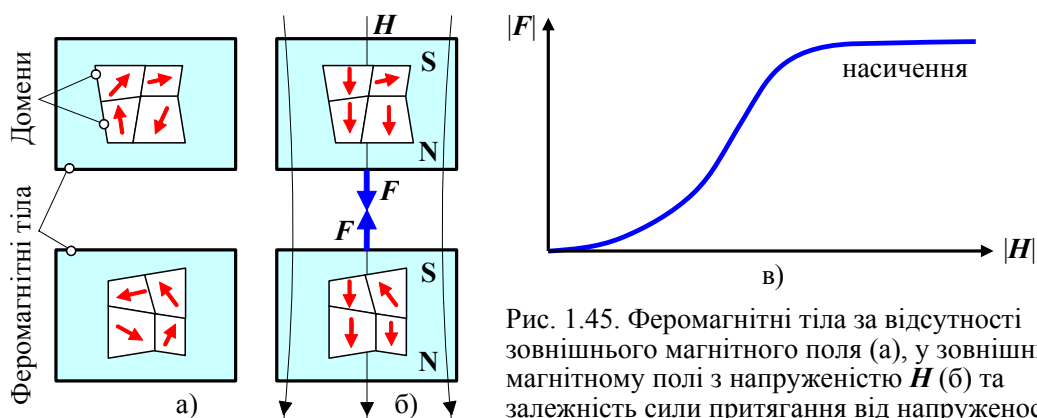


Рис. 1.45. Феромагнітні тіла за відсутності зовнішнього магнітного поля (а), у зовнішньому магнітному полі з напруженістю H (б) та залежність сили притягання від напруженості (в)

* Однією з характеристик магнітних властивостей речовини є її магнітна проникність ((absolute) permeability; μ), значення якої характеризує магнітну провідність речовини, тобто здатність проводити магнітний потік. Значення μ діамагнітних та парамагнітних речовин приблизно дорівнює магнітній проникності вакууму (магнітний сталій $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м), а значення μ феромагнітних речовин у сотні, тисячі й десятки тисяч разів перевищує μ_0 .

вектори намагніченості практично усіх доменів, настає насичення (saturation) й подальше підсилення зовнішнього поля не призводить до збільшення сили притягання феромагнітних тіл (рис. 1.45-в).

Феромагнітні матеріали характеризуються нелінійною гістерезисною залежністю (magnetic hysteresis) магнітної індукції (magnetic flux density; B) від напруженості зовнішнього магнітного поля (magnetic field strength; H), яка утворює так звані петлі гістерезису ((magnetic) hysteresis loop). Петлі гістерезису (рис. 1.46) можуть бути несиметричними (коли напруженість поля циклічно змінюється від деякого значення H_1 до деякого значення H_2) або симетричними (коли напруженість поля циклічно змінюється в діапазоні від деякого значення $-H_0$ до $+H_0$). Площа петлі гістерезису пропорційна енергії, яка необхідна для здійснення повного циклу перемагнічування (від H_1 до H_2 та знов до H_1 в несиметричному циклі або від $-H_0$ до $+H_0$ та знов до $-H_0$ в симетричному циклі). Симетричні петлі називають частковими, коли значення H_0 не призводить до ефекту насичення. При цьому при збільшенні H_0 часткові петлі розширюються. Якщо напруженість зовнішнього поля викликає насичення ($H_0 = H_s$), то відповідну петлю гістерезису називають граничною – подальше збільшення H_0 не призводить до розширення петлі.

Важливими характеристиками граничної петлі гістерезису є магнітна індукція насичення B_s , залишкова індукція B_r (remanent (magnetic) flux density), а також коерцитивна сила H_c (coercivity). Точки, які відповідають вказаним характеристикам, позначені на рис. 1.46-а.

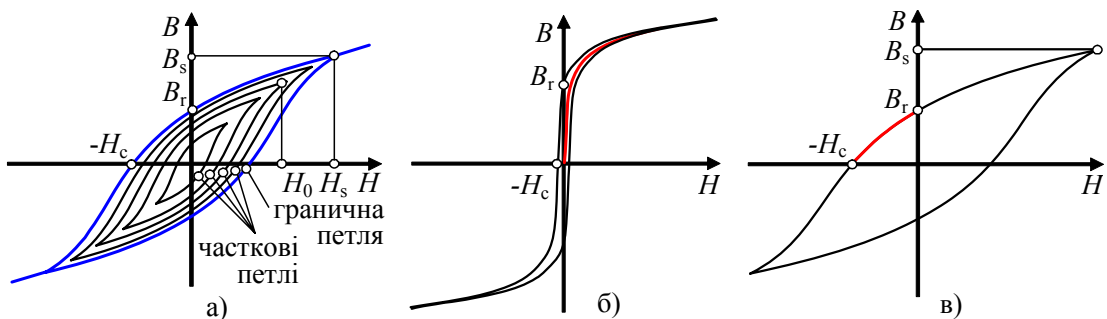


Рис. 1.46. Симетричні петлі гістерезису: а – часткові та гранична петлі; б – петля гістерезису магнітом'якого матеріалу; в – петля гістерезису магнітотвердого матеріалу

Феромагнітні матеріали поділяють на магнітом'які (magnetically soft material) та магнітотверді (magnetically hard material). Магнітом'які матеріали мають дуже вузьку петлю гістерезису (рис. 1.46-б), яку замінюють деякою середньою лінією – кривою намагнічування (magnetizing curve) та дуже велику магнітну проникність на початковій ділянці кривої намагнічування. Магнітом'які матеріали застосовують для виготовлення деталей магнітопроводів електромагнітів. Магнітна проникність магнітотвердих матеріалів близька до значення магнітної сталі, вони мають широку петлю гістерезису та велику коерцитивну силу (рис. 1.46-в). Магнітотверді

матеріали застосовують для виготовлення постійних магнітів. Для магнітних кіл з постійними магнітами суттєве значення має лише та частина петлі гістерезису, яка розташована у другому квадранті (спинка петлі).

Електромагнітні актуатори призначені для забезпечення виконання операцій вмикання та вимикання електромеханічних комутаційних апаратів. До складу актуатора входить електромагніт, який змінює комутаційний стан апарата, що приводиться у дію актуатором, коли по обмотці електромагніта тече струм певного рівня, та повертальна пружина, яка змінює комутаційний стан апарата, повертаючи його у вихідне положення, коли обмотка знеструмлюється.

Частинами електромагніта є котушка (winding), тобто обмотка з каркасом, бандажем, терміналами тощо, а також магнітопровід або магнітне коло (magnetic circuit), яке у свою чергу складається з рухомої частини або якоря та нерухомої частини, до складу якої входить ділянка, що охоплена котушкою – сердечник (core) та ділянка, що не охоплена котушкою – ярмо (yoke). Полюси, що утворюються на повітряних зазорах (air gap), можуть мати феромагнітні полюсні наконечники (pole piece).

Сили, з якими рухомі частини притягаються до нерухомих частин електромагнітів під час виконання операцій комутаційних апаратів, мають долати сили контактних та повертальних пружин, сили тертя та інші протидіючі сили. Коректний розрахунок цих сил – це доволі складна задача, яка розв'язується методами математичної фізики. Сучасні комп'ютерні пакети дозволяють знаходити чисельні рішення цієї задачі для багатьох реальних конфігурацій електромагнітних актуаторів. Існують також різні наближені формули, які наводяться у багатьох підручниках з електричних апаратів. Ці формули дають можливість отримувати відносно точні результати розрахунків для деяких типів актуаторів. У даному посібнику не ставиться задача навчити виконувати розрахунки елементів електричних апаратів (у тому числі й електромагнітних актуаторів), тому серед відомих наближених формул ми наводимо лише одну, що застосовується при розрахунку сил між плоскими магнітними полюсами, коли повітряний зазор між ними набагато менший за розміри поперечних перерізів полюсів:

$$F = \frac{\Phi^2}{2 \cdot \mu_0 \cdot S}, \quad (1.1)$$

де F – модуль сили, що діє перпендикулярно поверхні полюсу; Φ – магнітний потік через полюс; S – площа поперечного перерізу полюсу.

При малих зазорах між полюсами магнітне поле у зазорі практично однорідне, магнітний потік може бути представлений як добуток модуля магнітної індукції B у зазорі та площі S , тому формула (1.1) може бути представлена так:

$$F = \frac{B^2 \cdot S}{2 \cdot \mu_0}. \quad (1.2)$$

Формула (1.2), що відома разом з (1.1) як формула Максвелла, дає можливість оцінити граничні силові можливості електромагнітного актуатора. Дійсно, магнітна індукція у зазорі, зазвичай, не перевищує значення індукції насичення B_s , яке для більшості магнітом'яких матеріалів становить приблизно 2 Тл, відтак сила на одиницю площі становитиме:

$$\frac{F}{S} = \frac{2^2}{2 \cdot \mu_0} \approx 160 \text{ Н/см}^2 \approx 16 \text{ кГс/см}^2. \quad (1.3)$$

В зазорах реальних електромагнітів магнітна індукція значно менша, аніж 2 Тл, тож суттєво меншою є й сила, з якою притягуються полюси.

Електромагнітні актуатори можуть живитися від джерела постійного струму або від джерела змінного струму. Електромагнітні актуатори постійного струму, по аналогії з електромагнітними реле (п. 4.1.8), поділяють на неполяризовані, поляризовані, моностабільні та бістабільні. Неполяризованим є актуатор, зміна стану рухомої частини (якоря) якого не залежить від напрямку струму в обмотці. Моностабільним є актуатор, який, змінивши стан рухомої частини під дією струму в обмотці, повертає її у попередній стан, коли струм в обмотці зникає. Електромагніт Стерджена можна розглядати як прототип неполяризованих моностабільних актуаторів. Деякі конструкції неполяризованих моностабільних актуаторів постійного струму, які застосовуються у сучасних електричних апаратах, показані на рис. 1.47.

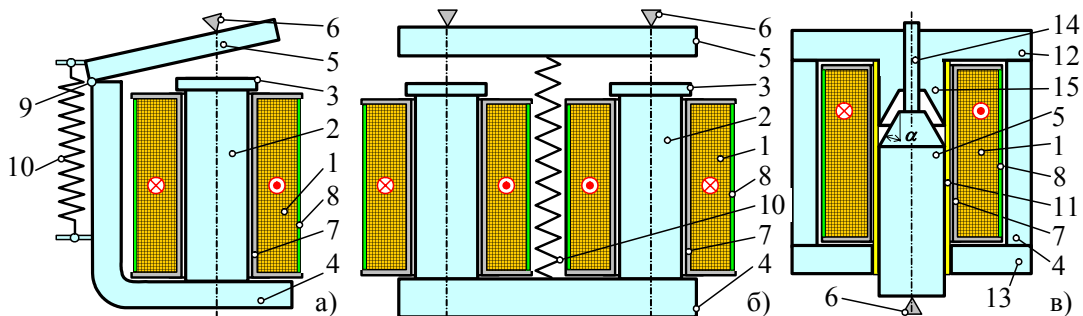


Рис. 1.47. Конструкції сучасних неполяризованих моностабільних актуаторів постійного струму: а – актуатор з одним сердечником та зовнішнім відносно котушки поворотним якорем; б – актуатор з двома сердечниками та зовнішнім якорем прямоходового або поворотного типу; в – електромагніт із заглибленим в отвір котушки якорем (повертальна пружина не показана). 1 – обмотка котушки; 2 – сердечник; 3 – полюсний наконечник; 4 – ярмо або корпус; 5 – якір; 6 – упор; 7 – каркас котушки; 8 – бандаж обмотки; 9 – вісь обертання якоря; 10 – повертальна пружина; 11 – немагнітна гільза; 12 – упорний фланець; 13 – прохідний фланець; 14 – немагнітний шток; 15 – стопорна частина упорного фланця – стоп

Важливою характеристикою неполяризованого електромагніта є статична тягова характеристика – залежність тягової сили F від зазору δ між

полюсами при постійному значенні МРС F_m обмотки. На форму тягової характеристики можна впливати, змінюючи форму опорних поверхонь полюсів. Зокрема в електромагнітах із зовнішнім якорем (рис. 1.47-а та 1.47-б) можна змінювати діаметр d полюсного наконечника. При збільшенні діаметра d тягова сила електромагніта дещо збільшується при відносно великих зазорах, але при малих зазорах – зменшується (рис. 1.48-а). Найбільш суттєво впливати на тягову характеристику можна в електромагнітах із заглибленим якорем, змінюючи, наприклад кут при вершинах конусів на торцях полюсів (рис. 1.47-в). При цьому можна отримати не тільки монотонні зворотно-залежні характеристики, а й характеристики більш складних форм (рис. 1.48-б).

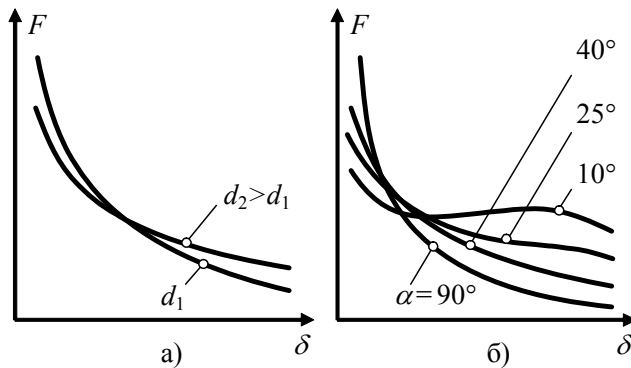


Рис. 1.48. Статичні тягові характеристики електромагнітів різних конструкцій:
а – електромагніт з зовнішнім якорем при різних значеннях діаметра d полюсного наконечника;
б – електромагніт з заглибленим якорем та зрізано-конічними торцями полюсів при різних значеннях кута α при вершинах полюсів

Динамічними характеристиками електромагніта постійного струму називають часові залежності певних фізичних величин, що характеризують його стан. Такими величинами можуть бути струм i обмотки, зазор δ між полюсами, швидкість v руху якоря тощо.

Типові динамічні характеристики наведені на рис. 1.49. Момент часу $t = 0$ на графіку відповідає моменту подачі напруги на термінали обмотки. До цього моменту електромагніт перебував у положенні спокою (position of rest*), струм в обмотці дорівнював нулю, якір перебував у початковому положенні (зазор між полюсами на рухомій та нерухомій частинах магнітопроводу становив δ_0) й не рухався (швидкість v його руху дорівнювала нулю).

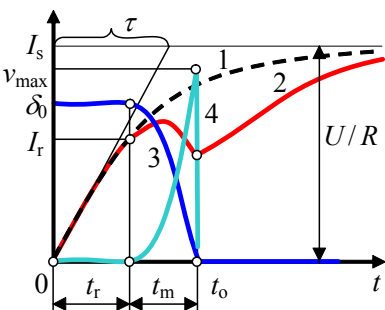


Рис. 1.49. Динамічні характеристики електромагніта постійного струму

Після початкового моменту ($t = 0$) власне й розпочинаються перехідні процеси.

Крива 1 – це часова залежність струму в обмотці при загальмованому якорі. Ця крива подібна до експоненти й дещо відрізняється від неї внаслідок нелінійного характеру маг-

* В ІЕВ це поняття визначається для контактів (position of rest of contactor).

нітних кіл із сталевими сердечниками. В будь-якому випадку ця крива має горизонтальну асимптоту, а струм I_s в усталеному стані (steady state) визначається за законом Ома: $I_s = U / R$, де R – опір обмотки. При відносно великих зазорах нелінійністю магнітного кола можна знехтувати й вважати індуктивність L обмотки постійною, а дотична, проведена до цієї кривої у початковій точці, буде відсікати на вказаній вище асимптоті відрізок, який дорівнює сталій часу (time constant; τ) обмотки $\tau = L / R$.

Якщо якір електромагніта не загальмований, але до нього прикладена певна протидіюча сила, то деякий проміжок часу після моменту прикладання напруги до обмотки електромагніт буде лишатися у стані спокою, оскільки струм в обмотці на цьому проміжку є недостатнім для того, щоб створити силу, яка б перевищила протидіючу силу. Крива зміни струму на цьому проміжку часу буде повторювати криву 1. У момент $t = t_r$ струм в обмотці досягне значення I_r , при якому сила притягання полюсів перевищить протидіючу силу, тому якір почне рухатися, зазор δ почне зменшуватися, а індуктивність обмотки – збільшуватися. Проміжок часу від 0 до t_r будемо називати часом спокою або зрушування, а струм I_r – струмом зрушування. Індуктивність обмотки, від значення якої не залежить струм в усталеному режимі, суттєво впливає на струм у перехідному режимі, тож збільшення індуктивності призводить до зменшення струму в обмотці – крива 2 на рис. 1.49, яка відповідає зміні струму в обмотці при незагальмованому якорі, відхиляється від кривої 1 в бік зменшення, при цьому не тільки уповільнюється зростання струму (це спостерігається на початковій ділянці руху, коли якір рухається з малою швидкістю), а й навіть відбувається зменшення струму (це спостерігається на завершальній ділянці руху, коли якір рухається дуже швидко). Рух якоря, а відтак і збільшення індуктивності припиняється після моменту стикання полюсів електромагніта ($t = t_0$). Після моменту t_0 струм монотонно зростає до усталеного значення I_s , але зі сталою часу, яка відрізняється від τ , оскільки індуктивність обмотки при притягнутому якорі відрізняється від початкового значення. Проміжок часу від t_r до t_0 будемо називати часом руху t_m , а проміжок часу від 0 до t_0 , який складається з часу спокою та часу руху – часом спрацювання (operation time) електромагніта.

Криві 3 та 4 на рис. 1.49 – це динамічні характеристики зміни зазору δ між полюсами та швидкості v руху якоря. На інтервалі часу від 0 до t_r якір не рухається, отже зазор лишається незмінним й дорівнює δ_0 , а швидкість дорівнює нулю. Після моменту зрушення ($t = t_r$) зазор починає зменшуватися, а швидкість його руху – зростати з певним прискоренням, сягаючи в момент стикання полюсів найбільшого значення ($v = v_{\max}$). Після стикання полюсів можливим є відскакування якоря, але цей процес зазвичай буває нетривалим і врешті решт рух якоря припиняється ($v = 0$).

Електромагніти змінного струму, які часто застосовуються як актуатори електричних апаратів, за багатьма ознаками відрізняються від електромагнітів постійного струму. По-перше, електромагніт змінного струму зазвичай має шихтований магнітопровід* (laminated (magnetic) core), виготовлений з ізольованих одна від одної пластин з магнітом'якого матеріалу, які укладені в паралельну конфігурацію. Шихтування сердечника (рис. 1.50-а) суттєво знижує втрати на вихрові струми, нагрівання сердечника, а від нього – й котушки. Пластини магнітопроводу з'єднують за допомогою заклепування, крайні пластини є більш товстими, ніж середні, а заклепки розташовують вздовж силових ліній магнітного поля (рис. 1.50-б), щоб в короткозамкнених витках, які утворюють заклепки та крайні пластини, не виникали вихрові струми, й додаткове нагрівання магнітопроводу.

По-друге, котушки електромагнітів змінного струму зазвичай є відносно короткими в осьовому напрямі та мають ізоляційний каркас, отвір в якому перевищує розміри поперечного перерізу сердечника, для того щоб зменшити теплопередачу від сердечника, який нагрівається за рахунок вихрових струмів та безперервного перемагнічування. На відміну від них, котушки електромагнітів постійного струму зазвичай є відносно довгими в осьовому напрямі, не мають ізоляційного каркасу, а іноді намотуються на ізоляційну основу, що обгортає циліндричний суцільний сердечник.

По-третє, в конструкціях електромагнітів змінного струму обов'язково застосовують короткозамкнені витки, які частково охоплюють один з протилежних полюсів (рис. 1.50-в), оскільки без таких витків будуть спостерігатися значні пульсації тягових сил при замкненому магнітопроводі.

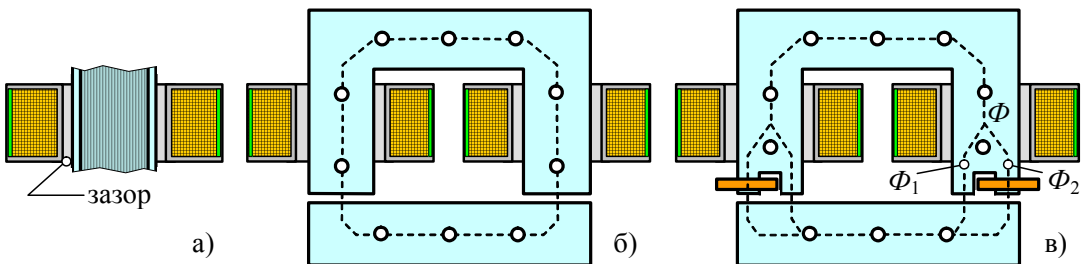


Рис. 1.50. Характерні особливості електромагніта змінного струму: а – наявність зазору між котушкою та шихтованим сердечником з потовщеними крайніми пластинами; б – розташування заклепок, що з'єднують пластини магнітопроводу, вздовж силової лінії магнітного поля; в – короткозамкнені витки (shading ring), що охоплюють частини полюсів

* Шихтовані магнітопроводи застосовують також і в електромагнітах постійного струму, але не для зменшення втрат, оскільки в усталеному режимі магнітний потік в їх магнітопроводах не змінюється, а відтак не виникають й вихрові струми. Втім, вихрові струми в магнітопроводі електромагніта постійного струму виникають при його спрацьовуванні, коли потік зростає, й уповільнюють його зростання. Шихтування магнітопроводів зменшує вихрові струми в перехідних режимах й підвищує швидкодію електромагнітів постійного струму.

Якщо в конструкції електромагніта не передбачені короткозамкнені витки (shading ring), що частково охоплюють протилежні полюси (рис. 1.50-б), то магнітний потік Φ змінюється за законом, близьким до синусоїдального з частотою мережі (рис. 1.51-а). Тому, коли потік проходить через нуль, сила притягання полюсів згідно з (1.1) також зменшується до нуля. Коли ж потік сягає амплітудного значення (неважливо – додатного чи від’ємного) полюси притягуються один до одного з максимальною силою, а потім сила притягання знов спадає до нуля. Відтак, сила притягання полюсів є змінною, має постійну складову (steady component) та змінну складову (variable component) з амплітудою A , яка дорівнює постійній складовій й змінюється з подвійною частотою мережі ($2 \cdot f$) від нуля до подвоєного значення постійної складової ($2 \cdot F_-$).

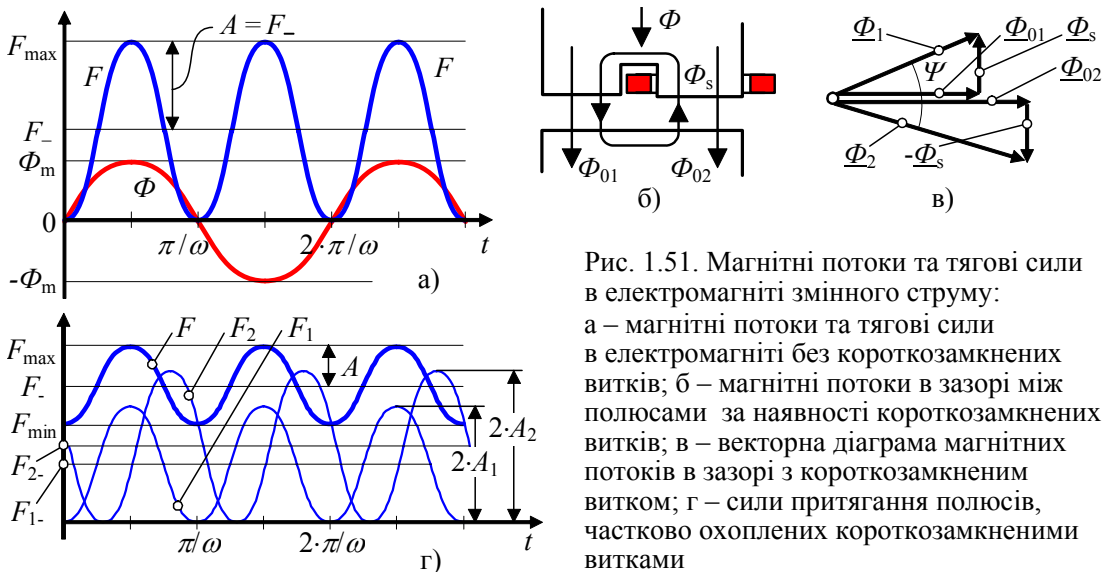


Рис. 1.51. Магнітні потоки та тягові сили в електромагніті змінного струму: а – магнітні потоки та тягові сили в електромагніті без короткозамкнених витків; б – магнітні потоки в зазорі між полюсами за наявності короткозамкнених витків; в – векторна діаграма магнітних потоків в зазорі з короткозамкненим витком; г – сили притягання полюсів, частково охоплених короткозамкненими витками

Дія короткозамкненого витка може бути пояснена так. Магнітний потік Φ , що тече через сердечник, за відсутності короткозамкненого витка в зазорі між полюсами поділяється на два потоки – Φ_{01} (через не охоплену короткозамкненим витком частину полюсу) та Φ_{02} (через охоплену короткозамкненим витком частину полюсу). З цими потоками взаємодіє потік Φ_s , створений струмом, що виникає в короткозамкненому витку внаслідок електромагнітної індукції – цей потік додається до потоку Φ_{02} та віднімається від потоку Φ_{01} (рис. 1.51-б). Слід зазначити, що мова йде про геометричне додавання та віднімання, оскільки потік Φ_s на 90° відстає від потоку Φ_{02} . В результаті, за наявності короткозамкненого витка, утворюються магнітні потоки Φ_1 та Φ_2 , які зсунуті один відносно одного на кут ψ (рис. 1.51-в).

Оскільки сила притягання полюсів створюється як частинами, що охоплені короткозамкненим витком, так і частинами, що ним не охопле-

ні, то сумарна сила ніколи не спадає до нуля, тому що коли потік Φ_1 проходить через нуль й до нуля спадає відповідна сила, потік Φ_2 є відмінним від нуля й створює певну силу, а коли потік Φ_2 проходить через нуль, відмінним від нуля є потік Φ_1 (рис. 1.51-г). За наявності короткозамкненого витка сумарна сила притягання полюсів також складається з постійної та змінної складових, але якщо постійна складова сумарної сили F_- може бути розрахована як арифметична сума постійних складових сил F_{1-} та F_{2-} , створених відповідно потоками Φ_1 та Φ_2 , то амплітуда A змінної складової сумарної сили може бути розрахована як геометрична сума амплітуд A_1 та A_2 сил, створених відповідно потоками Φ_1 та Φ_2 . Вектори, які відповідають згаданим амплітудам A_1 та A_2 зсунуті на кут $2 \cdot \psi$, а не на кут ψ (кут зсуву фаз потоків), оскільки сила змінюється з подвійною частотою мережі, за якою змінюються й потоки. Відтак амплітуда сумарної сили може бути розрахована як діагональ паралелограма, сторони якого дорівнюють A_1 та A_2 , а кут між цими сторонами дорівнює $2 \cdot \psi$:

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2 \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot \cos(2 \cdot \psi)} . \quad (1.4)$$

З (1.4) видно, що при $A_1 = A_2$ та $\psi = 90^\circ$ виходить $A = 0$, тобто сумарна сила взагалі не буде пульсувати. Але практично досягти, щоб кут між потоками Φ_1 та Φ_2 дорівнював 90° неможливо. Вказаний кут може бути знайдений з виразу

$$\operatorname{tg} \psi = \omega \cdot A_2 / R_c , \quad (1.5)$$

де $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ – кругова частота мережі; A_2 – магнітна провідність зазору між полюсами в частині, охопленій короткозамкненим витком; R_c – опір короткозамкненого витка.

Як бачимо, кут 90° може бути досягнутий, коли $A_2 \rightarrow \infty$, або $R_c = 0$, що практично неможливо, оскільки

$$A_2 = \mu_0 \cdot S_2 / \delta_2 , \quad (1.6)$$

а

$$R_c = \rho \cdot l / S , \quad (1.7)$$

де S_2 – площа поперечного перетину зазору між полюсами в частині, охопленій короткозамкненим витком; δ_2 – відстань між полюсами в цьому зазорі; ρ – питомий опір матеріалу короткозамкненого витка; l – довжина витка; S – площа поперечного перетину витка.

Для збільшення реального значення кута ψ , який зазвичай лежить в межах від 50° до 70° , необхідно виготовляти цей виток з міді (малий питомий опір), максимально (наскільки це можливо) збільшувати поперечний перетин витка та зменшувати зазор δ_2 за допомогою, наприклад, шліфування опорних поверхонь полюсів.

Як бачимо з рис. 1.51-г, за наявності короткозамкненого витка, сила притягання полюсів коливається в діапазоні від $F_{\min}$ до $F_{\max}$ і якір електромагніта міцно утримується на протилежному полюсі, якщо протидіюча сила не перевищує $F_{\min}$.

Струм в обмотці електромагніта змінного струму суттєво залежить від зазору δ між полюсами, оскільки від зазору δ залежить значення індуктивності L обмотки (рис. 1.52). Струм I_0 при початковому зазорі δ_0 може у 10 ... 20 разів перевищувати струм I_f при кінцевому зазорі δ_f . Приблизно у стільки ж разів індуктивність обмотки при кінцевому зазорі перевищує індуктивність при початковому зазорі. Шліфування опорних поверхонь полюсів, крім зменшення пульсацій сили, одночасно збільшує індуктивність й зменшує струм обмотки, а відтак, її нагрівання.

Слід мати на увазі, що забруднення опорних поверхонь полюсів призводить до зворотного ефекту й обмотка може надмірно перегрітися.

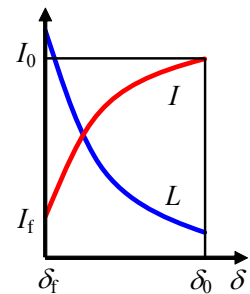


Рис. 1.52. Залежність індуктивності обмотки електромагніта змінного струму та струму в ній від зазору δ

Форма динамічної характеристики струму електромагніта змінного струму залежить не тільки від параметрів електромагніта, прикладеної напруги й характеристики протидіючих сил (як у випадку електромагніта постійного струму), а й від фази напруги у момент прикладання напруги до обмотки. Декілька поспіль визначених динамічних характеристик майже ніколи не співпадають, але характерним є те, що впродовж перших 10 мс має місце додатний чи від'ємний кидок струму, а через 20 ... 30 мс коливання струму набувають усталеного характеру. Початковий кидок струму сприяє зменшенню часу зрушення, а також збільшенню швидкості під час руху. За однакових умов щодо протидіючих сил, електромагніт змінного струму, здатний подолати цю протидію, спрацьовує набагато швидше, ніж електромагніт постійного струму, здатний подолати ту ж протидію. Динамічна характеристика струму електромагніта змінного струму (рис. 1.53) може не мати характерних зломів монотонності (як при постійному струмі), відтак за цією характеристикою важко визначити час спрацьовування.

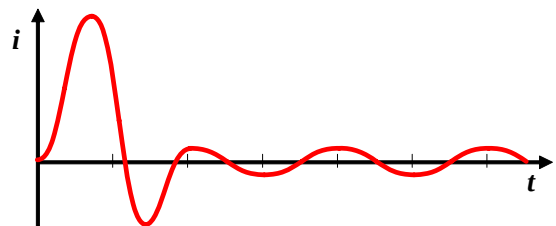


Рис. 1.53. Можливий вигляд динамічної характеристики струму електромагніта змінного струму

В котушках електромагнітів постійного та змінного струму застосовуються різні обмоткові проводи: в електромагнітах постійного струму – з тонкою, одинарною, а в електромагнітах змінного струму – з подвійною ізоляцією. Чим тонше ізоляція, тим вище вірогідність утворення короткозамкнених витків в обмотці. В обмотках електромагнітів постійного струму наявність декількох короткозамкнених витків виявляється практично непомітною, адже обмотки цих електромагнітів зазвичай містять декілька тисяч витків. Наприклад, якщо в обмотці, яка містить 10000 витків, 50 (!) витків виявляться закороченими, то це призведе до зменшення опору котушки на 0,5% й приблизно на 1% підвищить температуру її нагрівання. Незначно зміниться при цьому час спрацювання й повернення. Якщо ж в обмотці електромагніта змінного струму виявиться хоча б один короткозамкнений виток, то наслідком цього може бути швидкий вихід з ладу (пошкодження) усієї обмотки. Причини пошкодження обмотки пояснює схема, наведена на рис. 1.54.

Якщо обмотка, до якої прикладена напруга U складається з w витків, то напруга, яка припадає на один виток становить $U_1 = U / w$. В кожному витку, внаслідок електромагнітної індукції, виникає зустрічна ЕРС, яка для електромагнітів з притягнутим якорем становить $E_1 = (0,8 \dots 0,9) \cdot U_1$. Відтак, значення струму I може бути оцінено за допомогою виразу:

$$I = |\underline{U}_1 - \underline{E}_1| / R_1 \approx (U_1 - E_1) / R_1 \approx (0,1 \dots 0,2) \cdot U_1 / R_1, \quad (1.8)$$

де R_1 – опір витка.

Напруга, прикладена до короткозамкненого витка U_{c1} дорівнює нулю, тому струм I_{c1} в ньому визначається зустрічною ЕРС:

$$I_{c1} = E_1 / R_1 \approx (0,8 \dots 0,9) \cdot U_1 / R_1. \quad (1.9)$$

Більш коректні розрахунки свідчать, що струм в короткозамкненому витку в 6 ... 8 разів перевищує струм в непошкоджених витках, а потужність втрат – в 40 ... 60 разів. При таких значеннях потужності короткозамкнений виток швидко перегрівається, нагріваючи й порушуючи ізоляцію сусідніх витків, внаслідок чого утворюються нові короткозамкнені витки й процес руйнування обмотки стає лавиноподібним. Застосування обмоткових проводів з подвійною ізоляцією, а також просочення обмоток лаками та / або покриття компаундами запобігають утворенню короткозамкнених витків й суттєво подовжують довговічність обмоток.

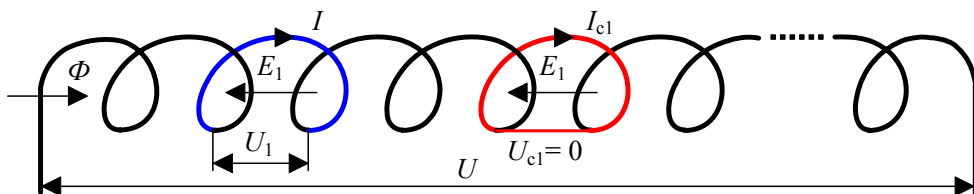


Рис. 1.54. До пояснення причини збільшення струму в короткозамкненому витку

Порівняння електромагнітів постійного та змінного струму показує, що при однакових розмірах та температурі нагрівання обмотка електромагніта змінного струму має набагато менші розміри, а електромагніт – менший час спрацьовування. Наприклад, контактор КТ 6033 (рис. 4.34) випускається в модифікації КТП 6033, яка відрізняється лише тим, що в цій модифікації застосовано електричний актуатор з електромагнітом постійного струму. Маса обмоткової міді в електромагніті контактора КТ 6033 складає приблизно 0,6 кг, а в електромагніті КТП 6033 – 2,3 кг. Час замикання головних контактів (після підведення напруги до терміналів обмотки електромагніта) у контактора КТ 6033 складає приблизно 35 ... 50 мс, а у контактора КТП 6033 – 250 мс. Наведені дані свідчать про суттєві переваги електромагнітів змінного струму як актуаторів електричних апаратів. Разом з тим, електромагніти постійного струму більш прості у виготовленні (не потребують штампування, склепування, шліфування опорних поверхонь полюсів, встановлення короткозамкнених витків, застосування каркасів котушок, віддалених від сердечників тощо). Електромагніти постійного струму не виходять з ладу при забрудненні поверхонь полюсів та виникненні короткозамкнених витків в обмотках, мають набагато менше деталей (магнітопровід суцільний, а не шихтований), тому вони є більш надійними, ніж електромагніти змінного струму, а також мають більшу механічну зносостійкість. Враховуючи недоліки та позитивні якості обох типів електромагнітів, кожний з них знаходить свої ніші застосування в електричних апаратах.

Електромагніти постійного струму з форсованим керуванням у певній мірі поєднують переваги електромагнітів постійного та змінного струму. Принцип форсованого керування враховує особливості статичної тягової характеристики електромагніта постійного струму – мала сила при початковому зазорі δ_0 та при МРС F_{m1} , яка відповідає тепловому струму I_{th} , тобто струму, при якому обмотка нагрівається до допустимої температури, та дуже велика сила при притягнутому якорі навіть при МРС F_{m1} (крива 1 на рис. 1.55). Відтак, якщо протидіюча сила (counter force) F_c при зазорі δ_0 виявляється більшою за силу F_1 , яку розвиває електромагніт при цьому зазорі та МРС F_{m1} , якорь електромагніта виявляється не здатним зрушити з місця. Якщо ж через обмотку пропустити струм, який створить МРС $F_{m2} > F_{mth}$ (крива 2 на рис. 1.55), якорь зрушить з місця, оскільки тягова сила F_2 перевищить протидіючу силу F_c . При тривалому проходженні вказаного струму через обмотку, вона перегріється й може вийти з ладу, але, якщо у момент, коли зазор зменшиться до значення δ_c , якимось чином зменшити струм до рівня, що відповідає МРС F_{m1} , то рух якоря не припиниться, якорь дійде до кінцевого положення й буде надійно утримуватися

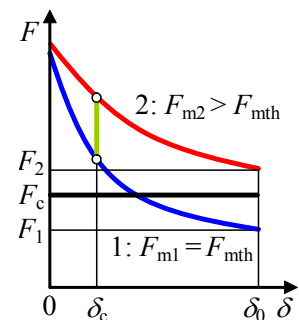


Рис. 1.55. До пояснення принципу форсованого керування

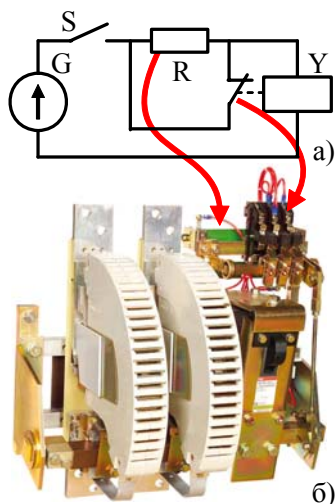


Рис. 1.56. Схема системи форсованого керування з додатковим резистором (а) та контактор (б), в якому застосовується ця система

у такому положенні, а обмотка не перегріється, оскільки струм не перевищує значення I_{th} .

Найпростішою системою форсованого керування є відома вже понад 100 років система, яка реалізується за допомогою схеми, зображеної на рис. 1.56-а. При замиканні контакту зовнішнього перемикача керування S до обмотки Y буде прикладена повна напруга джерела живлення G, оскільки внутрішній контакт керування, механічно зв'язаний з рухомою частиною електромагніта, є нормально замкненим. Обмотка електромагніта розрахована так, що струм в цьому режимі є достатнім для спрацьовування електромагніта, але він зазвичай набагато перевищує значення теплового струму I_{th} . При спрацьовуванні електромагніта внутрішній контакт керування розмикається й послідовно до обмотки приєднується

резистор, опір якого обмежує струм в обмотці до значення, меншого за I_{th} . При такому струмі обмотка не перегрівається, працюючи безперервно.

Недоліком форсованої системи з додатковим резистором є значні втрати енергії (power dissipation*) в додатковому резисторі, які суттєво перевищують втрати енергії в обмотці електромагніта. Застосування систем форсованого керування з пусковими та утримуючими обмотками (рис. 1.57) дозволяють уникнути цього недоліку. Принцип дії цих схем побудований на тому факті, що МРС F_m будь-якої обмотки напруги (shunt coil) електромагніта постійного струму не залежить від кількості її витків, а визначається за таким виразом:

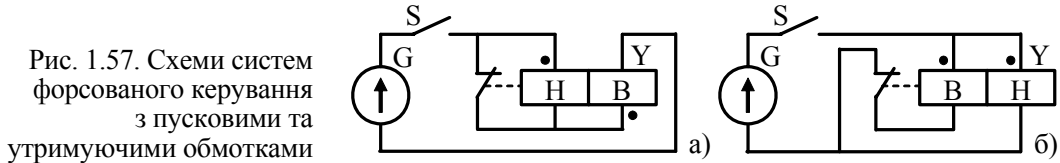
$$F_m = \frac{U \cdot S}{\rho \cdot l}, \quad (1.10)$$

де U – напруга, прикладена до обмотки; S – площа поперечного перетину обмоткового проводу; ρ – питомий опір матеріалу обмоткового проводу; l – довжина середнього витка обмотки.

Пускові обмотки (booster coil) виготовлені з відносно товстого обмоткового проводу й зазвичай мають невелику кількість витків. В них виділяється дуже велика потужність, тому вони не можуть бути підключені до джерела живлення впродовж тривалого часу. Утримуючі обмотки (hold in coil) навпаки виготовлені з відносно тонкого обмоткового проводу й зазвичай мають велику кількість витків. Ці обмотки мають бути розраховані так, щоб тривало працювати при тепловому струмі I_{th} . Обидві обмотки розміщують в одній котушці й намотуються одна на одну.

* В IEC поняття втрат енергії сформульовано для вставок запобіжників.

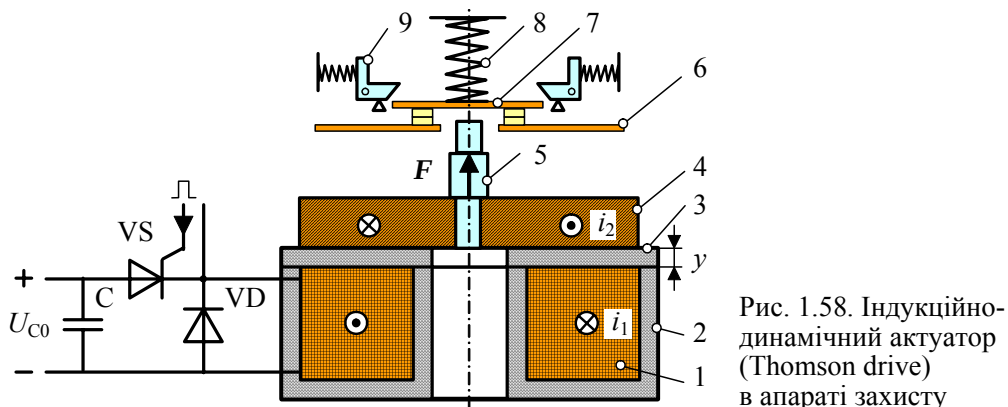
При замиканні контакту перемикача керування S (рис. 1.57-а) до пускової обмотки B котушки Y буде прикладена повна напруга джерела живлення G , оскільки внутрішній контакт керування, механічно зв'язаний з рухомою частиною електромагніта, є нормально замкненим. При спрацюванні електромагніта внутрішній контакт керування розмикається й до пускової обмотки послідовно приєднується утримуюча обмотка H або пускова обмотка просто відмикається (рис. 1.57-б). В цих системах відсутні додаткові резистори, відтак відсутні й додаткові втрати енергії в них.



Застосування форсованих електромагнітних систем забезпечує не тільки зменшення розмірів електромагнітів, але й прискорює спрацювання апарата, в якому цей електромагніт використовується як актуатор.

Загальним недоліком розглянутих вище систем форсованого керування є наявність контактного комутаційного елементу, який комутує значні струми індуктивної навантаги, що призводить до швидкого зносу контактів й знижує надійність системи в цілому. В деяких сучасних електричних апаратах застосовуються форсовані електромагнітні системи з силовими напівпровідниковими ключами замість контактів та мікропроцесорним керуванням цими ключами за допомогою широтно-імпульсної модуляції.

Ефективність захисту електроустановок від струмів короткого замикання, насамперед, залежить від швидкодії апаратів захисту. Індукційно-динамічні актуатори (рис. 1.58) дозволяють отримати час спрацювання, який вимірюється одиницями та частками мілісекунди, що забезпечує високий рівень обмеження апаратом захисту струму короткого замикання.



Індукційно-динамічний актуатор, як випливає з його назви, працює у перехідному, динамічному режимі. Пристрій керування, який склада-

ється з накопичувального конденсатора C , який попередньо заряджають до напруги U_{C0} , напівпровідникового ключа – тиристора VS та діода VD , підключається до обмотки 1, яку намотують, зазвичай, стрічковим проводом й захищають ізоляційним каркасом 2 та ізоляційною кришкою 3. Якщо до електрода керування тиристора VS підвести імпульс струму, тиристор відкриється і конденсатор C почне розряджатися на обмотку, у якій почне зростати струм i_1 . Цей струм створює змінне магнітне поле, яке пронизує струмопровідний диск 4. У диску виникає електрорушійна сила i , як наслідок, струм i_2 . В результаті взаємодії струму i_2 зі струмом i_1 , виникає сила F , що відштовхує диск від нерухомої частини індукційно-динамічного актуатора. На диску зазвичай закріплюється шток 5, який при переміщенні диску розмикає контакти апарата захисту (зображена на рисунку контактна система – місткова, вона складається з двох нерухомих контактів 6, рухомого контактного містка 7, на який діє шток, та контактної пружини 8, яка забезпечує контактне натиснення). Після розрядження конденсатора C струм в обмотці зменшується до нуля, тиристор VS закривається й диск опускається у початкове положення. Для того, щоб контакти лишалися розімкненими, апарат захисту повинен мати спеціальні механізми – зачіпки 9, які при виконанні наступної операції вмикання мають вивільнятися додатковим актуатором (можливо, електромагнітним).

Розглянуті вище електромагнітні актуатори відносяться до категорій неполяризованих й моностабільних.

Якщо пропустити достатній струм (неважливо, якого напрямку) через обмотку електромагнітного актуатора, якір електромагніта притягується до сердечника. Якщо при цьому магнітопровід або окрема його частина, наприклад сердечник, виготовлені з феромагнітного матеріалу з широкою петлею гістерезису, то після знеструмлення обмотки якір лишається у притягнутому стані – актуатор набуває другого стану спокою (другого стабільного стану). Такі актуатори називають бістабільними. Для повернення якоря у початкове положення спокою через обмотку необхідно пропустити імпульс струму з напрямом, протилежним тому напрямку, при якому відбулося притягання якоря до сердечника.

Поляризовані актуатори, які раніше застосовувалися лише в поляризованих реле, тобто реле, зміна стану яких залежить від полярності живильної величини, після винайдення у 70-х роках минулого століття висококоерцитивних постійних магнітів на базі рідкоземельних металокерамічних композицій, знайшли застосування в більш потужних апаратах. Поляризований бістабільний актуатор, фото якого наведено на рис. 1.59-а, застосовується у вакуумних відмикачах середньої напруги. За відсутності струму в обмотках якір надійно утримується в одному з двох стабільних положень, наприклад, у верхньому (рис. 1.59-б), оскільки при цьому магнітний потік Φ_1 набагато перевищує потік Φ_2 . Якщо ж пропустити через

нижню обмотку струм певного напрямку, виникне потік Φ_3 , який буде додаватися до потоку Φ_2 й відніматися від потоку Φ_1 (рис. 1.59-в). При достатньому значенні струму в нижній обмотці ярмі зрушить з місця й займе друге стабільне положення, в якому буде надійно утримуватися й після знеструмлення обмотки. Для повернення ярма у попереднє стабільне положення необхідно через верхню обмотку пропустити струм відповідного напрямку й значення.

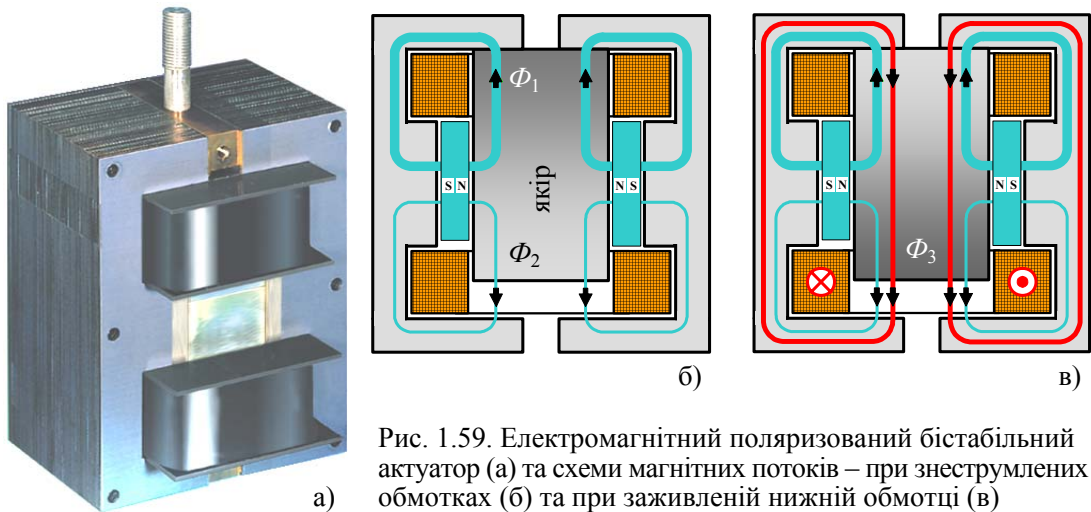


Рис. 1.59. Електромагнітний поляризований бістабільний актуатор (а) та схеми магнітних потоків – при знеструмлених обмотках (б) та при заживленій нижній обмотці (в)

Сучасні бістабільні поляризовані актуатори забезпечують значні сили утримання ярма при знеструмлених обмотках – до декількох тисяч Ньютон.

Крім електромагнітних актуаторів в електричних апаратах застосовують й інші різновиди актуаторів. Зокрема, у відмикачах середньої та високої напруги застосовують пружинно-моторні актуатори. На рис. 1.60 зображена кінематична схема пружинно-моторного актуатора одного з відмикачів високої напруги.

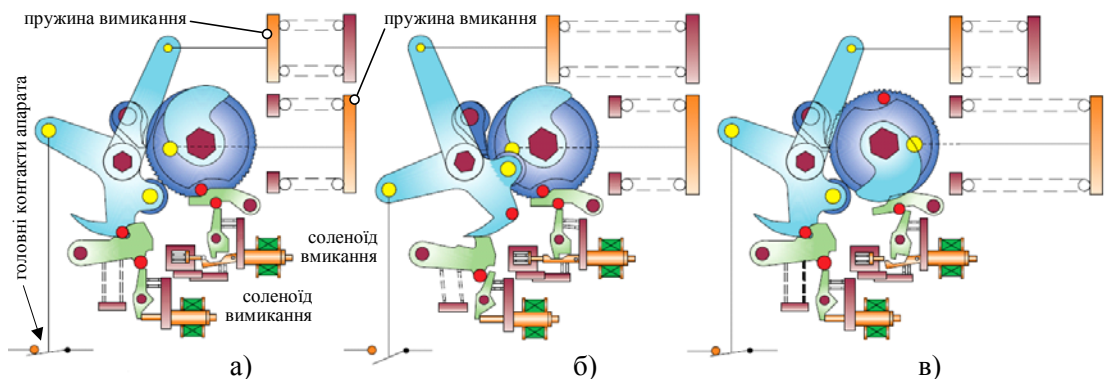


Рис. 1.60. Пружинно-моторний актуатор відмикача високої напруги:
а – контакти апарата замкнені, обидві пружини зведені; б – контакти апарата розімкнулися внаслідок спрацювання соленоїда вимикання та вивільнення пружини вимикання;
в – контакти апарата замкнулися внаслідок спрацювання соленоїда вмикання та вивільнення пружини вмикання

До складу пружинно-моторних актуаторів зазвичай входять дві потужні пружини (вмикання та вимикання), зведення яких здійснюються електродвигунами через спеціальні кулачкові та храпові механізми, а утримання у зведеному стані – за допомогою зачіпок. Вивільнення пружин та зміна комутаційного стану головних контактів апарата здійснюється висмикуванням зачіпок, що здійснюють спеціальні актуатори – соленоїди.

На залізничному транспорті застосовуються комутаційні апарати – контактори з пневматичними актуаторами (pneumatic actuator). Пневматичні актуатори приводяться в дію пневматичними вентилями з механічним (ручним) приводом, або електропневматичними вентилями – пневматичними вентилями з власними електромагнітними актуаторами. В актуаторах двосторонньої дії переміщення рухомої частини (поршня) з одного крайнього положення в інше здійснюється подачею стисненого повітря. В актуаторах односторонньої дії переміщення рухомої частини в одне крайнє положення здійснюється стисненням повітрям, а у протилежне (положення спокою) – пружиною. Актуатор двосторонньої дії не має положень спокою, у крайніх положеннях утримується стисненням повітрям. Актуатор, зображений на рис. 1.61, допускає встановлення повертальних пружин, переналагоджується з односторонньої дії на двосторонню й навпаки.

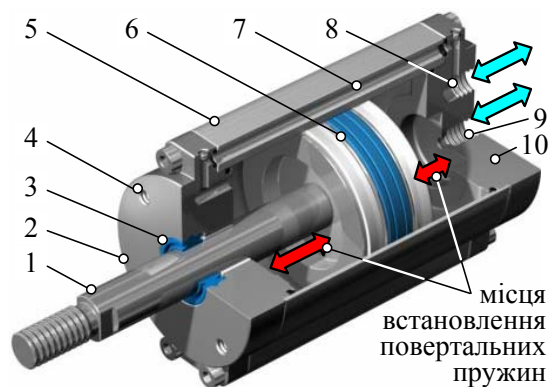


Рис. 1.61. Пневматичний актуатор:
1 – привідний вал; 2 – опорний фланець;
3 – сальник; 4 – монтажний отвір;
5 – корпус; 6 – поршень, розташований
в циліндричній порожнині корпусу,
з ущільнювальною манжетою; 7 – канал
для подачі/випуску повітря з лівої частини
порожнини корпусу; 8 – отвір для подачі /
випуску повітря в ліву частину порожнини
корпусу; 9 – отвір для подачі / випуску
повітря в праву частину порожнини корпусу;
10 – живильний фланець, через який
подається стиснене повітря

Якщо пневматичний актуатор, зображений на рис. 1.61, застосовується як актуатор двосторонньої дії, повертальні пружини не встановлюються, а до отворів 8 та 9 приєднуються шланги, за допомогою яких через електропневматичні вентиля подається або випускається стиснене повітря. Коли треба перемістити поршень у праве крайнє положення, до отвору 8 подається стиснене повітря, яке через канал 7 потрапляє у ліву частину порожнини, а отвір 9 за допомогою відповідного вентиля переводиться у режим випуску повітря. Для переміщення поршня в крайнє ліве положення, стиснене повітря через відповідний вентиль подається до отвору 9, а отвір 8 за допомогою іншого вентиля переводиться у режим випуску, завдяки чому стиснене повітря, яке до того було в лівій частині порожнини, через канал 7 виходить в атмосферу.

Якщо ж пневматичний актуатор, зображений на рис. 1.61, застосовується як актуатор односторонньої дії з положенням спокою біля опорного (лівого) фланцю, у праву частину порожнини між поршнем та фланцем треба вставити пружину стиснення, яка за відсутності дії стисненого повітря притисне поршень до лівого фланця. До отвору 8 треба приєднати шланг, за допомогою якого через електропневматичний вентиль подається або випускається стиснене повітря, а до отвору 9 нічого не приєднувати. Для переміщення поршня в крайнє праве положення, через електропневматичний вентиль до отвору 8 треба подати стиснене повітря, яке через канал 7 потрапляє в ліву частину порожнини, завдяки чому поршень спрямовується до правого фланця. Припинення подачі стисненого повітря й переведення отвору 8 за допомогою електропневматичного вентиля у режим випуску призводить до переміщення поршня до лівого фланця за допомогою повертальної пружини.

У випадку, коли положення спокою має бути біля живильного (правого) фланцю, пружину стиснення треба вставити у частину порожнини між поршнем та лівим фланцем, шланг, за допомогою якого через електропневматичний вентиль подається або випускається стиснене повітря, треба приєднати до отвору 9, а до отвору 8 нічого не приєднувати. В іншому порядку роботи актуатора аналогічний розглянутому вище.

1.2.7. Узагальнена структура полюсу комутаційного апарата

Наведені вище відомості про електричні апарати та їх частини дають можливість зобразити узагальнену структурну схему полюсу комутаційного апарата (рис. 1.62-а). Оскільки ця схема є узагальненою, то до структури окремих різновидів апаратів можуть не входити деякі її елементи. З іншого боку, враховуючи величезне розмаїття різновидів електричних апаратів, деякі їх елементи не потрапили до цієї схеми – на ній зображені лише основні, найбільш суттєві елементи, що є характерними для основних різновидів комутаційних електричних апаратів. Електричні зв'язки між елементами на схемі зображені суцільними лініями, механічні зв'язки – контурними стрілками.

Елементи головного кола апарата, до якого входять термінали (Т), головний контакт (ГК) та провідники, що з'єднують частини головного контакту з терміналами, зображено на рисунку жирними червоними суцільними лініями. Інші складові струмопровідної системи (С) апарата, яка окреслена чорною штриховою лінією, зображені червоними суцільними лініями меншої товщини. Деякі елементи дугогасної системи (ДС) можуть взагалі не входити до струмопровідної системи, деякі елементи можуть входити до головного кола лише на певних етапах роботи апарата, а деякі елементи ДС можуть становити неодмінну частину головного кола.

До складу апарата може входити вимірювальний пристрій (В), який контролює процеси у головному колі і у разі виявлення ненормального стану у ньому, впливає на проміжний елемент привідної системи (П), який сприяє розмиканню головних контактів. У деяких апаратах вимірювальний пристрій у разі виникнення потужних коротких замикань може безпосередньо впливати на ГК, пришвидшуючи їх розмикання. Замикання та розмикання ГК може забезпечувати актуатор (А) апарата, який зазвичай впливає на ГК не безпосередньо, а через певні елементи привідної системи. З привідною системою пов'язані також допоміжні контакти (ДК).

До складу деяких апаратів можуть входити пристрої обмеження перенапруг (О) з відповідним терміналом для приєднання уземлювального провідника. Якщо корпус апарата (на рис. 1.62-а – прямокутник, який охоплює інші елементи структури) є металевим, на ньому має бути встановлений термінал для приєднання уземлювального провідника. Електричне коло обмеження перенапруг та відповідний термінал зображені зеленими лініями.

На рис. 1.62-б як приклад зображена внутрішня будова одного з розповсюджених апаратів – автоматичного відмикача побутового призначення та виділені елементи його конструкції, які відповідають певним елементам структурної схеми. Цей апарат підключається через свої термінали в електричне коло послідовно з навантаженням та джерелом живлення і за допомогою головного контакту, який виконує функції й дугогасного контакту, вмикає та вимикає струм у цьому колі.

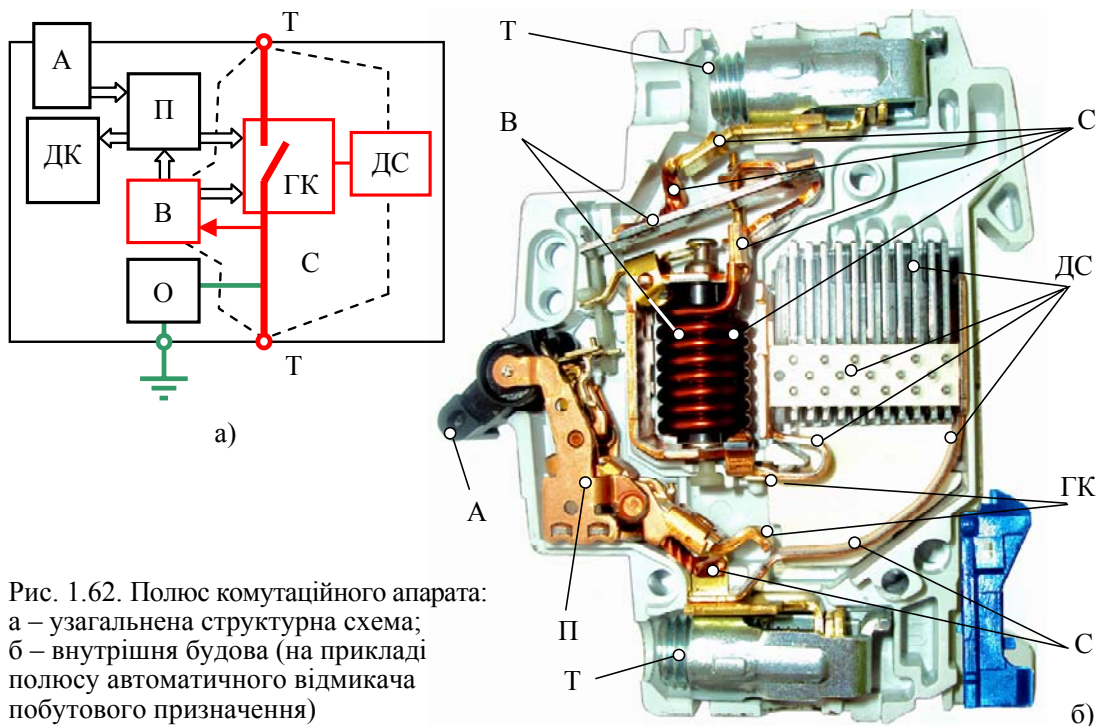


Рис. 1.62. Поліус комутаційного апарата:
а – узагальнена структурна схема;
б – внутрішня будова (на прикладі
поліусу автоматичного відмикача
побутового призначення)

До складу цього апарата входять два вимірювальні пристрої – обмотка так званого електромагнітного розчіплювача та біметалева пластина теплового розчіплювача, які увімкнуті послідовно з головними контактами. Зазначені пристрої, точніше обмотка електромагнітного розчіплювача та пластина біметалевого розчіплювача, становлять неодмінну частину головного кола цього апарата, тобто входять і до струмопровідної системи, до якої також входять допоміжні жорсткі провідники та гнучкі контактні з'єднання.

Електромагнітний розчіплювач реагує на наявність струмів короткого замикання і спрацьовує практично миттєво, коли струм перевищує певне встановлене небезпечне значення – струм уставки (current setting). Тепловий розчіплювач реагує на наявність струмів перевантаження і спрацьовує, коли струм перевищує номінативне значення впродовж визначеного часу. Час спрацьовування теплового розчіплювача, внаслідок певної інерційності його нагрівання, зазвичай зворотно залежить від кратності струму перевантаження до номінативного струму.

До складу дугогасної системи входять дугогасна камера, її сталеві пластини, що утворюють так звану дугогасну решітку, дві ізоляційні обойми, які скріплюють пластини та розташовують їх на певній відстані одну від одної та два дугогасних роги – з боку рухомого та нерухомого контактів. Ці роги слугують напрямними для електричної дуги, яка рухається вбік дугогасної камери після виходу з міжконтактного проміжку, а відтак дугогасні роги входять й до струмопровідної системи.

Проміжний елемент привідної системи – так званий механізм вільного розчіплення не тільки передає рух від актуатора до головного контакту, а й сприяє автоматичному розмиканню контактів при надструмах навіть, коли актуатор механічно утримується у замкненому положенні.

Корпус цього апарата виготовлений з пластика (є ізоляційним), відтак на ньому не може бути терміналу уземлення.

Призначення, принцип дії даного апарата й окремих його елементів, а також його основні характеристики коротко розглядаються в п. 4.1.4, який присвячений відмикачам для побутових та аналогічних електроустановок низької напруги.

1.3. Тенденції ринку та класифікація електричних апаратів

1.3.1. Розвиток виробництва електричної енергії та тенденції ринку електричних апаратів

Електрична енергія виробляється на електричних станціях – гідравлічних (ГЕС), теплових (ТЕС), атомних (АЕС) та електростанціях іншого типу*, де відповідно гідравлічна, тепла та атомна енергія перетворюється спочатку на механічну, а вже потім, за допомогою синхронних генераторів (гідрогенераторів на ГЕС та турбогенераторів на ТЕС та АЕС) механічна енергія перетворюється на електричну зазвичай на рівні середніх напруг (10 ... 20 кВ). Місця споживання електричної енергії у переважній більшості випадків віддалені на десятки й сотні кілометрів від електростанцій, тому транспортування електроенергії до місць споживання, з метою зменшення втрат енергії, здійснюється на високих напругах (110 кВ та більше). Підвищення напруги здійснюється безпосередньо на електростанціях за допомогою силових трансформаторів, причому якщо генератори розташовують у спеціальних приміщеннях – машинних залах, то трансформатори – за межами приміщень – на спеціальній площадці, яку називають підвищувальною підстанцією і на якій крім трансформаторів встановлюють високовольтні комутаційні та інші апарати, які сприяють розподіленню електричної енергії між лініями електропередачі (ЛЕП), що відходять від цієї підстанції.

Поблизу місця споживання електроенергії встановлюють так звані районні знижувальні підстанції, які приймають електричну енергію безпосередньо від високовольтних ЛЕП, знижують напругу до рівня 110 ... 35 кВ та розподіляють енергію між головними підстанціями, які знижують напругу до рівня 10 ... 6 кВ та розподіляють енергію між місцевими підстанціями. На місцевих підстанціях (наприклад тих, що встановлюються у житлових мікрорайонах) напруга знижується до рівня, на якому відбувається живлення кінцевих споживачів (у житлових мікрорайонах – це 220/380 В) і енергія розподіляється між ними. У споживача, перед тим, як потрапити до кінцевих електроприймачів (освітлювальні прилади, побутова електроапаратура тощо), електроенергія проходить через увідно-розподільний пристрій, де здійснюється облік спожитої енергії та її розподілення між електроприймачами.

Схема руху електричної енергії від електростанції до кінцевого споживача зображена на рис. 1.63.

* В світі динамічно розвивається виробництво електроенергії на сонячних, вітряних, приливних та інших нетрадиційних електростанціях, але питома вага електричної енергії, що виробляється на таких електростанціях в Україні, наразі не перевищує 5%, хоча тенденція до збільшення цієї частки – спостерігається.

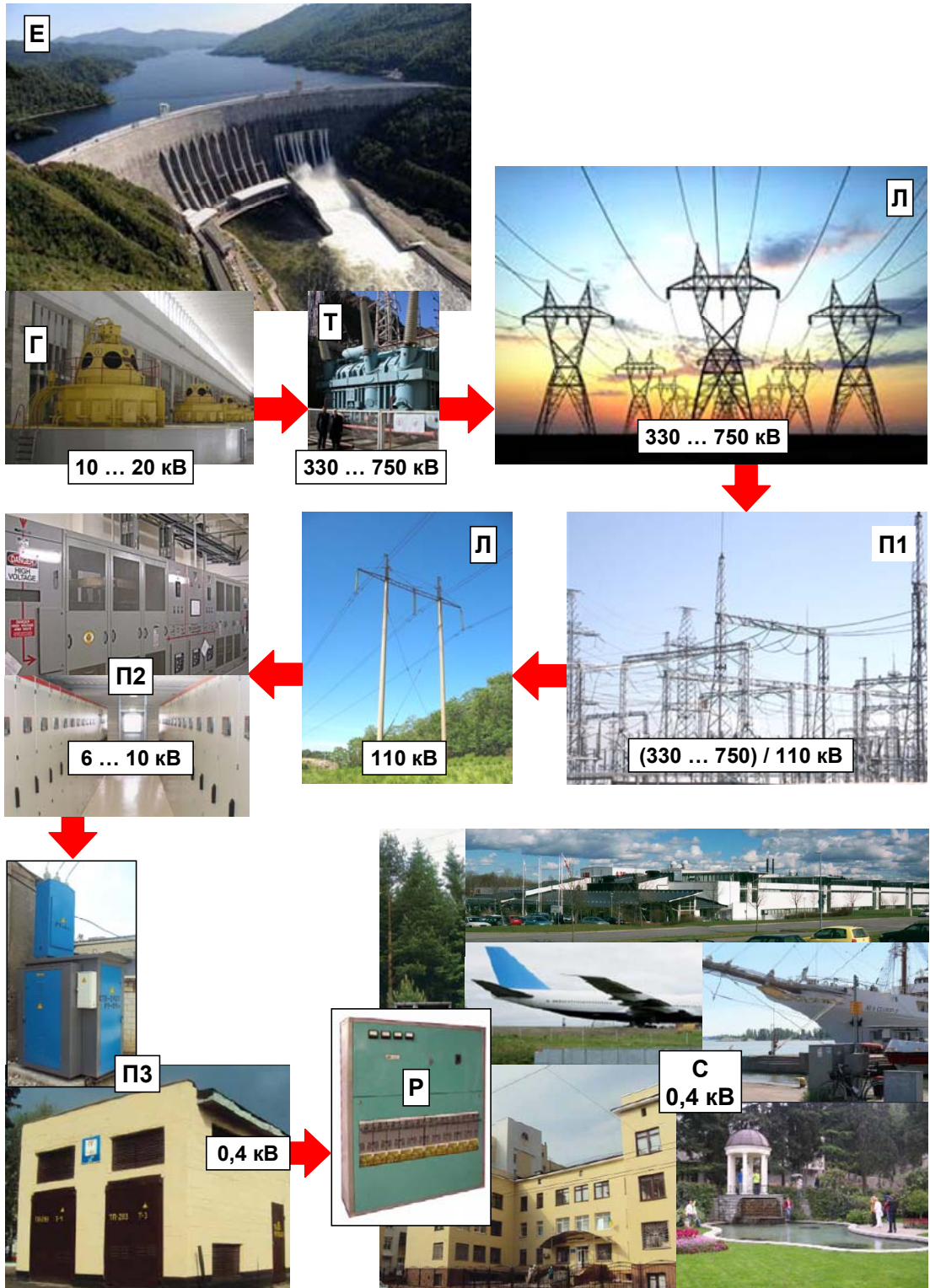


Рис. 1.63. Схема руху електричної енергії від електростанції (Е) до кінцевих споживачів: Г – генератор на електростанції; Т – підвищувальний трансформатор; Л – високовольтні лінії електропередачі; П1, П2, П3 – відповідно районна, головна та місцева знижувальні підстанції; Р – увідно-розподільний пристрій споживача електроенергії; С – кінцеві споживачі

На усіх етапах виробництва, перетворення, транспортування та споживання електричної енергії електричні апарати займають чільне місце. Разом з тим слід зазначити, що структура ринку електричних апаратів постійно змінюється. Інтерес споживачів до деяких видів апаратів з часом суттєво зменшується, деякі види апаратів взагалі відходять у минуле, натомість інші апарати виходять на нові рівні розвитку, знаходячи для себе нові застосування. Крім того, успіхи у розвитку електротехніки та суміжних галузей сприяють появі нових видів апаратів та нових принципів їх побудови.

Наприклад, винайдення та освоєння виробництва висококоерцитивних постійних магнітів на основі рідкоземельних металокерамічних композицій сприяли розвитку масового виробництва й широкому застосуванню апаратів захисту від різницевого струму. Зараз ці апарати в усьому світі здійснюють надійний захист людей від прямих та непрямих дотиків до небезпечних струмопровідних частин електроустановок, а також протипожежний захист – таких апаратів за останні 20 років виготовлено та встановлено понад 2 млрд. штук.

Успіхи у вакуумній техніці за останні 20 років докорінно змінили структуру ринку відмикачів середніх напруг (до 35 кВ). Ці апарати з'явилися на ринку електротехнічної продукції приблизно 40 років тому, коли у відповідному сегменті ринку домінували маломасляні відмикачі. На початку 80-х років минулого століття частка вакуумних відмикачів середньої напруги складала не більше 10%, а зараз перевищує 80% актуального ринку, причому решта майже повністю припадає на відмикачі з гасінням дуги у середовищі елегазу. Слід зауважити, що ринок відмикачів середніх напруг невинно зростає – приблизно на 10 ... 12 % щорічно.

Суттєві успіхи у розвитку напівпровідникової техніки сприяли освоєнню масового виробництва й широкому застосуванню відносно дешевих напівпровідникових приладів, на базі яких були створені компактні й надійні перетворювачі – випростувачі (rectifier) та інвертори (inverter). Ці пристрої на сьогодні повністю витіснили перетворювачі, побудовані на інших принципах – електромашинні, електромеханічні та ртутні. Цікаво, що розвиток напівпровідникових перетворювачів сприяв появі й нових електричних апаратів – запобіжників для їх захисту або так званих швидкодіючих запобіжників.

Розвиток комп'ютерної техніки, а також побутової й офісної електроніки сприяв становленню й бурхливому розвитку ринку апаратури захисту чутливих електронних пристроїв від атмосферних та комутаційних перенапруг. Подібних прикладів зростання окремих сегментів ринку електричної апаратури можна навести чимало, але непоодинокими є й приклади протилежного характеру.

Ще 30 – 40 років тому майже усі телефонні станції були електромеханічними, побудованими на базі електромагнітних реле. Відповідно,

потреба у таких апаратах була величезною. Зараз швидкими темпами відбувається заміна електромеханічних телефонних станцій на цифрові з мікропроцесорним керуванням. Відтак потреба в електромеханічних реле зменшилася у десятки (якщо не у сотні) разів, а виробництво таких апаратів як крокові шукачі взагалі було припинено*. Така сама доля спіткала й деякі електромеханічні апарати керування, зокрема пускові реостати та регулятори збудження для електричних машин постійного струму, інтерес споживачів до яких також стійко знижується. У той же час, при керуванні двигунами змінного струму за відсутності вимог щодо регулювання швидкості (це стосується у першу чергу найбільш поширених асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором) позиції електромеханічних апаратів лишаються непохитними.

Електромеханічні апарати майже повністю витіснені напівпровідниковою та мікропроцесорною технікою з такої сфери як автоматичне керування. Але у такій дуже важливій галузі як енергетика, позиції електромеханічних комутаційних апаратів, внаслідок їх деяких унікальних властивостей, не похитнулися й навіть укріпилися і не існує скільки-небудь обґрунтованих прогнозів зменшення зацікавленості споживачів електромеханічних комутаційних апаратів у цих апаратах в енергетичній сфері. Не спостерігається також тенденцій до зниження темпів зростання ринку електромеханічних апаратів кіл керування, деякі властивості яких не дозволяють аналогічним за призначенням напівпровідниковим пристроям конкурувати з цими апаратами.

1.3.2. Класифікація електричних апаратів

Класифікація – це процес та результат групування об’єктів дослідження (у тому числі продуктів людської діяльності) у відповідності з їх загальними ознаками. Будь-яка класифікація є досить умовною, суб’єктивною (особливо це стосується продуктів людської діяльності, зокрема електричних апаратів). У той же час, класифікація не тільки сприяє спрощенню спілкування людей, які її застосовують, а й дозволяє сформулювати загальні вимоги до тих чи інших продуктів зі спільними ознаками, а також виявити очікувані потреби людства в існуючих та нових продуктах. Наведена нижче класифікація враховує реалії ринку комутаційних електричних апаратів, тенденції їх розвитку та перспективи застосування у майбутньому.

* Цікаво, що за однією з версій винахідником похованого нині крокового шукача був власник похоронного бюро, такий собі Строуджер. Дружиною його конкурента – власника іншого похоронного бюро була телефоністка, яка скеровувала усі дзвінки замовників своєму чоловікові. Строуджер присягся назавжди вивільнити суспільство від телефоністок і винайшов автоматичний телефонний комутатор крокового типу.

Класифікація електричних апаратів відповідно до їх призначення

У багатьох джерелах (у тому числі й підручниках) електричні апарати поділяють на класи відповідно до їх призначення:

- комутаційні апарати (здійснюють комутацію електричних кіл при розподіленні електричної енергії);
- апарати керування (здійснюють керування обладнанням – електричними машинами, технологічними об'єктами) і застосовуються при автоматизації виробничих процесів)
- апарати захисту (забезпечують захист людей, тварин, майна та довкілля від шкідливої дії електричної енергії);
- обмежувальні апарати (забезпечують обмеження надструмів та перенапруг у мережах);
- апарати контролю (здійснюють моніторинг параметрів технологічних процесів та сигналізують про їх стан).

Цей пункт класифікації ми наводимо як данину традиціям адже, як вже зазначалося у вступі, поділ електричних апаратів на класи згідно їх призначенню є досить умовним, оскільки багато апаратів мають ознаки, які дозволяють відносити їх до різних груп. Наприклад, вимикачі-роз'єднувачі, комбіновані із запобіжниками, можуть бути віднесені і до комутаційних апаратів, і до апаратів керування, і до апаратів захисту. А якщо у цьому апараті застосована вставка так званого струмообмежувального запобіжника, то цей апарат можна віднести й до класу обмежувальних апаратів.

Класифікація електричних апаратів за родом струму

Також небездоганною є класифікація електричних апаратів за родом струму, при якому вони мають працювати – хоча існують апарати, що працюють винятково у колах змінного струму або тільки у колах постійного струму, існує також велика кількість різновидів апаратів, що можуть працювати як у колах змінного струму, так і у колах постійного струму.

Класифікація електричних апаратів за номінативною напругою

Більш об'єктивною є класифікація електричних апаратів за їх номінативною напругою. Нагадаємо, що значення номінативної напруги апарата встановлює виробник, причому **номінативна напруга апарата** повинна відповідати значенню **номінальної напруги мережі**, у якій має працювати апарат з урахуванням визначених виробником умов. За цією ознакою апарати поділяють так:

- апарати низької напруги тобто апарати з номінативною напругою до ~ 1000 В (змінного струму) або до $\equiv 1500$ В (постійного струму);
- апарати середньої напруги – від ~ 1000 В до 35 кВ (верхня границя у деяких країнах є вищою – до ~ 52 кВ) або від $\equiv 1,5$ кВ до 5 кВ;
- апарати високої напруги (вище верхньої границі середніх напруг, причому апарати високої напруги – це переважно апарати змінного струму).

Апарати низької, середньої та високої напруги суттєво відрізняються за номенклатурою, конструкцією й умовами роботи, тому, хоча будь-який апарат може мати декілька номінативів (рейтингів) напруги, усі ці значення для даного апарата ніколи не виходять за межі одного діапазону.

Класифікація електричних апаратів за типом комутаційного елементу

Відповідно до типу комутаційного елементу електричні апарати поділяють на такі класи:

- електромеханічні електричні апарати;
- напівпровідникові електричні апарати;
- гібридні електричні апарати.

Електромеханічні комутаційні апарати (mechanical switching device) замикають та розмикають електричні кола за допомогою контактів, причому будь-який з цих апаратів може бути визначений відповідно до середовища, де його контакти розмикаються та замикаються, наприклад повітряний, елегазовий, вакуумний тощо.

Розрізняють електромеханічні апарати з ручним та не ручним керуванням (рис. 1.64). В апаратах з ручним керуванням замикання та розмикання контактів здійснюється за рахунок м'язової енергії оператора, а апарати з не ручним керуванням можуть бути визначені відповідно до способу, яким забезпечується сила, необхідна для замикання та розмикання контактів, наприклад електромагнітні, електропневматичні тощо.

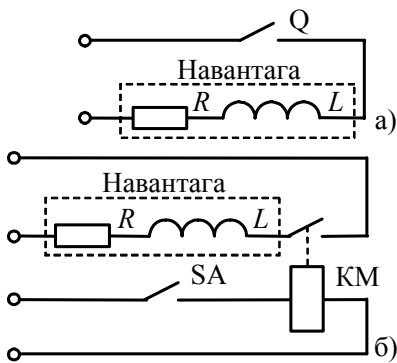


Рис. 1. 64. Схеми підключення до навантаж електромеханічних комутаційних апаратів з ручним (а) та не ручним (б) електромагнітним керуванням: R , L – відповідно резистивна та індуктивна складові імпедансу навантаження; Q – силовий комутаційний апарат з ручним керуванням; KM – контактор (силовий комутаційний апарат з електромагнітним керуванням); SA – контакт керування стороннього апарата.

Головними перевагами електромеханічних комутаційних апаратів є можливість забезпечення так званої функції роз'єднання та незначне падіння напруги на замкнених контактах при проходженні через них робочого струму.

Поняття функції роз'єднання (isolation; isolating function) детально розглянуто нижче у п. 3.3 даного посібника. Тому, не торкаючись вимог щодо забезпечення цієї функції, зазначимо, що ця функція є дуже важливою для комутаційного апарата, оскільки її наявність є свідченням можливості безпечного проведення робіт у навантажі при розімкненому стані

апарата. Функція роз'єднання в електромеханічних комутаційних апаратах забезпечується передусім за рахунок створення ізоляційного проміжку певної довжини між розімкненими контактами, що перешкоджає пробію цього проміжку імпульсною напругою та виникненню струмів витоку небезпечного рівня внаслідок забруднення ізоляційних поверхонь апарата.

Падіння напруги на контактному комутаційному елементі знаходиться у межах від 10 ... 20 мВ (при струмах 1000 А та більше) до 60 ... 80 мВ (при менших значеннях струму). При цьому виділення енергії, що перетворюється на тепло в контактних елементах є відносно невеликим. Наприклад, при струмі 100 А та падінні напруги на контакті 40 мВ потужність втрат енергії у цьому контакті становитиме $100 \cdot 40 \cdot 10^{-3} = 4$ Вт. Отже, за одну секунду у контакті при цьому «втрачається» (перетворюється на тепло) лише 4 Дж енергії. Якщо напруга джерела живлення становить 220 В, то за одну секунду через контакт у навантагу проходить $100 \cdot 220 \cdot 1 = 22\,000$ Дж енергії. Відтак «коефіцієнт корисної дії» контактного комутаційного елементу становить $(22\,000 - 4) / 22\,000 = 99,98\%$.

Головними недоліками електромеханічних комутаційних апаратів є наявність рухомих частин (а відтак – зниження надійності цих апаратів) та виникнення на контактах при їх розмиканні електричної дуги, яка не тільки призводить до небажаних ефектів – теплового, світлового та звукового, а й суттєво зношує контакти, скорочує ресурс роботи апарата.

Напівпровідникові комутаційні апарати (semiconductor switching device) призначені для вмикання струму в електричних колах за допомогою керування провідністю напівпровідника.

В напівпровідникових апаратах постійного струму для комутації електричних кіл зазвичай застосовують транзистори (найчастіше IGBT транзистори) або двоопераційні тиристори, а в апаратах змінного струму – тиристори різних типів та симістори. Схеми підключення до навантагу найпростіших напівпровідникових комутаційних апаратів постійного та змінного струму зображені на рис. 1.65 та 1.66.

Напівпровідниковий апарат постійного струму (рис. 1.65) забезпечує комутації струму у навантазі з опором R та індуктивністю L завдяки силовому транзистору VT, керування яким здійснюється допоміжним контактом стороннього апарата SA (який працює у колі керування даного апарата).

У вихідному положенні (при розімкненому контакті SA) транзистор VT знаходиться у закритому стані, отже струм через навантагу не тече. При замиканні контакту апарата SA на затвор транзистора надходить позитивний потенціал, завдяки чому транзистор VT відкривається і через навантагу починає текти струм. Розмикання вказаного контакту сприяє запиранню транзистора VT і перериванню струму у навантазі. Оскільки тривалість процесу запирання транзистора є дуже короткою (порядку 1 мкс), за відсутності у схемі гілки VD1, R1 магнітна енергія, що нагромаджується

в індуктивності L^* навантаги перед моментом переривання струму, призведе до виникнення перенапруг, які викличуть пробій ізоляції і створять струмопровідні шляхи, де нагромаджена в індуктивності енергія перетвориться на теплову. При цьому вийдуть з ладу і навантаги, і джерело живлення, і силовий транзистор, захист якого додатково здійснює діод VD2.

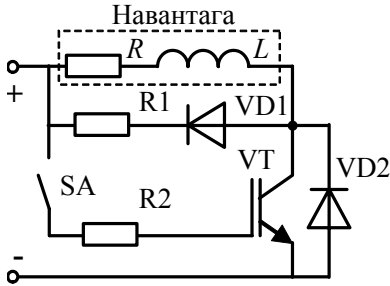


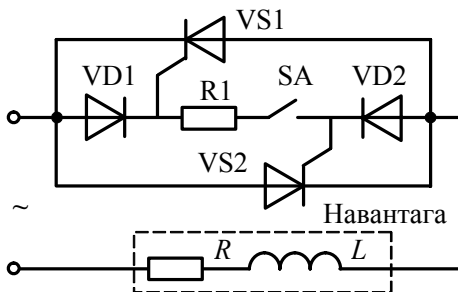
Рис. 1.65. Схема підключення напівпровідникового комутаційного апарата постійного струму до навантаги: R, L – відповідно опір та індуктивність навантаги; VT – силовий транзистор у головному колі; $R1, R2$ – резистори у колі керування; $VD1, VD2$ – допоміжні діоди; SA – сторонній апарат керування

За наявності гілки $VD1, R1$ у момент запирання транзистора VT діод $VD1$ відкривається і утворюється замкнений контур: навантаг з опором R та індуктивністю L – $VD1$ – $R1$, струм у якому від початкового значення $i_0 = U / R$, де U – напруга живлення, поступово зменшиться до нуля за експоненціальним законом зі сталою часу $\tau = L / (R + R1)$, де $R1$ – опір резистора $R1$. У момент запирання транзистора VT миттєве значення напруги u на навантазі буде залежати від співвідношення опорів R та $R1$, а саме $u = U \cdot R1 / R$. Інакше кажучи, якщо $R1 > R$, то у момент комутації на навантазі може виникнути перенапруга певного рівня. Як бачимо, збільшення опору резистора $R1$ призводить до пришвидшення процесу розмикання струму (зменшується стала часу τ), але збільшувати значення опору $R1$ можна лише до рівня, при якому перенапруга у момент комутації не перевищить допустимого значення для ізоляції навантаги та допустимих значень для напівпровідникових приладів.

Напівпровідниковий апарат змінного струму (рис. 1.66) забезпечує комутації струму у навантазі з опором R та індуктивністю L) завдяки силовим тиристорам $VS1$ та $VS2$, керування провідністю яких здійснюється допоміжним контактом стороннього апарата SA . У вихідному положенні (при розімкненому контакті SA) обидва тиристора $VS1$ та $VS2$ знаходяться у закритому стані, отже струм через навантагу не тече. При замиканні контакту SA (у залежності від полярності напруги джерела живлення у той момент) виникне струм в колі керування одного з тиристорів.

* Тут і далі будемо відрізняти фізичні об'єкти (резистори, індуктори, конденсатори тощо) від фізичних величин, які ці об'єкти характеризують (опір, індуктивність, ємність тощо). Фізичні об'єкти будемо позначати (на схемах і в тексті) прямими літерами, а фізичні величини – курсивом. Порядковий номер об'єкта прийнято (ГОСТ 2.710) позначати прямими цифрами такого розміру, як і літери, а для позначення фізичних величин слід застосовувати прямі підстрочні цифри – індекси (IEC 60027). Відтак, $R1$ – це резистор з номером 1, а R_1 – це опір резистора $R1$.

Рис. 1.66. Схема підключення напівпровідникового комутаційного апарата змінного струму:
 R, L – відповідно опір та індуктивність навантаги;
 $VS1, VS2$ – силові тиристори у головному колі;
 $R1$ – резистор у колі керування;
 $VD1, VD2$ – діоди у колі керування;
 SA – сторонній апарат керування



Наприклад, якщо в момент замикання контакту SA позитивним був верхній термінал, виникне такий шлях струму: верхній термінал – діод $VD1$ – резистор $R1$ – електрод керування тиристора $VS2$ – навантага – нижній термінал. Оскільки потенціал аноду тиристора $VS2$ у той момент є позитивним по відношенню до потенціалу його катоду, цей тиристор відкриється і струм у навантагу буде потрапляти вже безпосередньо через тиристор $VS2$, оминаючи резистор $R1$, опір якого набагато перевищує модуль імпедансу навантаги. Отже струм у навантазі суттєво (у десятки разів) збільшиться. Хоча в момент відкриття тиристора струм в його електроді керування практично перерветься, струм з анода у катод тиристора буде продовжувати текти і тиристор закриється лише після переходу струму через нульове значення. Після зміни полярності напруги і моменту переходу струму через нульове значення тиристор $VS2$ закриється, а тиристор $VS1$ відкриється і так далі. Тиристори будуть відкриватися й закриватися по черзі, лишаючись у відкритому стані пів періоду коливань напруги джерела (при частоті $f = 50$ Гц пів періоду становить 10 мс). У такому режимі цей апарат буде працювати до тих пір, поки контакт SA буде лишатися у замкненому стані. При цьому через навантагу буде текти робочий струм навантаги $I = U / Z$, де U – напруга живлення (середньоквадратичне значення), Z – модуль імпедансу навантаги.

Якщо розімкнути контакт SA , струм в електродах керування не буде виникати, а тиристор, через який у той момент тік струм навантаги, буде лишатися у відкритому стані аж до переходу струму через нульове значення. Після цього (за відсутності струму в електроді керування) інший тиристор не відкриється і проходження струму через навантагу припиниться. Отже, час відмикання (проміжок часу між моментом розмикання контакту керування та моментом припинення проходження струму через навантагу) у напівпровідникових комутаційних апаратах змінного струму не перевищує 10 мс (пів періоду) при частоті мережі 50 Гц.

Висока швидкодія напівпровідникових комутаційних апаратів змінного струму є їх безумовною перевагою. Іншими перевагами цих апаратів є відсутність будь-яких рухомих частин, а відтак і відсутність проблеми механічної зносостійкості, та відсутність електричної дуги при комутації

електричних кіл, отже і відсутність створюваних дугою ефектів – теплового, світлового та звукового.

Поряд із зазначеними перевагами, напівпровідникові комутаційні апарати мають й суттєві недоліки:

- відсутність функції роз'єднання;
- велике падіння напруги на комутаційному елементі;
- великі габарити і вартість;
- низька перевантажувальна здатність;
- чутливість до температури середовища;
- чутливість до перенапруг;
- схильність до процесу старіння;
- створення радіоперешкод.

Функція роз'єднання в напівпровідникових комутаційних апаратах не може бути забезпечена, оскільки напівпровідникові прилади не гарантують відсутності струмів витоку та не витримують імпульсних перенапруг високого рівня.

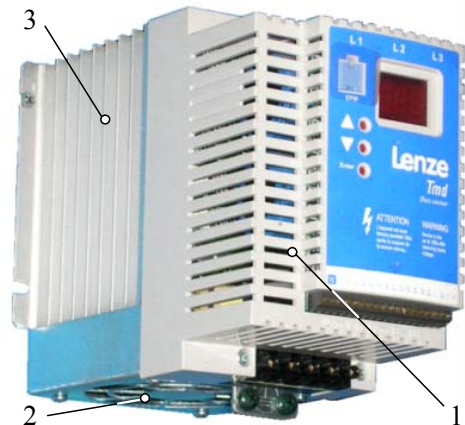
Пряме падіння напруги у напівпровідниковому комутаційному елементі є набагато більшим аніж у контактному елементі і становить 1 ... 3 В. Отже, при струмі 100 А та падінні напруги 2 В потужність втрат енергії у цьому комутаційному елементі становитиме $100 \cdot 2 = 200$ Вт, а «коефіцієнт корисної дії» зменшиться до 99,09 %. Таке збільшення втрат (у 50 разів більше, ніж у контактному елементі!) має не тільки економічні наслідки, а й може призвести до неприпустимого нагрівання апарата. Щоб цього не сталося, до конструкції напівпровідникового комутаційного апарата вводять радіатори, вентилятори тощо, а це призводить до збільшення габаритів апарата та його вартості.

Інші з перерахованих вище недоліків напівпровідникових електричних апаратів є спільними для будь-яких напівпровідникових пристроїв. Усі ці недоліки не дозволяють напівпровідниковим апаратам конкурувати з електромеханічними в енергетичній сфері (розподілення електричної енергії). Але у тих галузях, де до апаратів висуваються вимоги щодо плавного регулювання параметрів (наприклад, швидкості електродвигуна), щодо високої частоти комутацій електричних кіл, високої швидкодії, щодо якісної передачі сигналів з малою енергією (телефонія та інші засоби комунікацій), а також щодо роботи у вибухонебезпечному середовищі, напівпровідникові апарати успішно конкурують з електромеханічними, а подекуди майже повністю витіснили їх з актуального ринку.

Наприклад, до появи надійних напівпровідникових апаратів електроприводи з регульованою швидкістю будувалися виключно на складних, дорогих та малонадійних двигунах постійного струму, регулювання швидкості обертання у яких здійснювалося введенням/виведенням резисторів у колах якоря та збудження електромеханічними комутаційними

апаратами. Прості, дешеві, високонадійні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором застосовувалися там, де швидкість не треба регулювати (наприклад, вентиляційні установки) або там, де швидкість регулюється іншими засобами (наприклад, металорізальні верстати). З появою на ринку надійних та дешевих напівпровідникових приладів розпочався бурхливий розвиток частотно-регульованих електроприводів на базі асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором. Незважаючи на наявність радіаторів та вентиляторів ці пристрої у сукупності з асинхронним двигуном набагато компактніші, дешевші й надійніші, аніж приводи, побудовані на базі електричних двигунів постійного струму та електромеханічних систем керування ними. Зовнішній вигляд одного з напівпровідникових пристроїв частотного регулювання швидкості асинхронного двигуна зображено на рис. 1.67.

Рис. 1.67. Регулятор швидкості обертання асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором: 1 – напівпровідниковий блок; 2 – вентилятор; 3 – радіатор



У напівпровідникових комутаційних апаратах, зокрема у контакторах (рис. 1.68), не виникає електрична дуга, відтак вони мають суттєві переваги над електромеханічними апаратами при роботі у вибухонебезпечному середовищі.

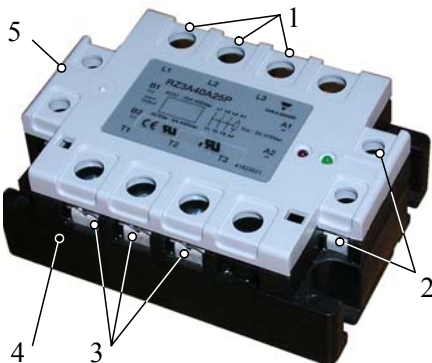


Рис. 1.68. Триполюсний напівпровідниковий контактор: 1 – термінали для підключення трифазного джерела живлення навантаги; 2 – термінали пристрою, який імітує котушку електромагнітного актуатора контактора; 3 – термінали для підключення трифазної навантаги; 4 – радіатор; 5 – напівпровідниковий блок

Наведемо ще один приклад, який свідчить про переваги напівпровідникових апаратів у галузі якісної передачі сигналів з малою енергією. На рис. 1.69-а наведено фото фрагменту автоматичної електромеханічної телефонної станції. Електромеханічна станція на 1500 абонентів складалася з 70 шаф, у кожній з яких містилося декілька сотень реле. Зараз функції цієї станції виконує цифрова АТС, яка розміщується лише в одній шафі (рис. 1.69-б).



Рис. 1.69. Електромеханічна (а) та цифрова (б) АТС

Гібридні комутаційні апарати (hybrid switching device) – це апарати, у головних колах яких застосовуються як контактні елементи, так і напівпровідникові прилади. У ввімкненому стані струм головного кола тече переважно через контактні елементи, а при вимиканні струм перетікає у паралельні контактам гілки головного кола, де розташовані напівпровідникові комутаційні пристрої, які й здійснюють відмикання струму. Таким чином, гібридні апарати у певній мірі поєднують переваги електромеханічних та напівпровідникових апаратів – малі втрати енергії у робочому стані, а також високу швидкодію та практичну відсутність електричного зносу контактів.

Вперше принцип гібридної комутації був застосований в конструкціях контакторів змінного струму КТ6433, та деяких інших модифікаціях, розроблених у ВНДІЕлектроапарат (Харків) на початку 70-х років минулого століття. Невдовзі були розроблені й гібридні контактори постійного струму. Ці апарати були призначені для роботи в безперервних виробничих циклах металургійних підприємств з частотою до 1200 циклів вмикання-вимикання на годину. У таких умовах їх головні контакти швидко зношуються. Оскільки комутаційна зносостійкість контакторів становить приблизно 360 000 комутацій, а механічна зносостійкість може сягати 10 мільйонів, це означає, що контакти на контакторі треба міняти кожні два тижні, хоча його механічний ресурс вичерпується за рік. Реальна середня частота комутацій контакторів становить 300 - 400 комутацій на годину. При такій частоті електричний ресурс роботи контактів вичерпується за один - два місяці, а механічний – за 3 - 4 роки. При цьому слід мати на увазі, що економічні втрати пов'язуються не стільки з вартістю замінюваних контактів, скільки з призупиненням виробничого процесу на час, необхідний для заміни контактів.

На рис. 1.70-а наведена принципова електрична схема головного кола полюсу гібридного контактора змінного струму та зовнішній вигляд контактора КТ6433*, у якому реалізована ця схема.

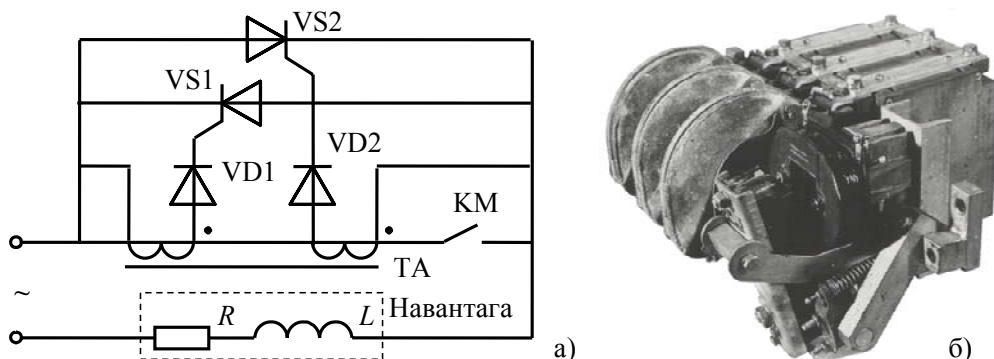


Рис. 1.70. Принципова електрична схема головного кола полюсу гібридного контактора змінного струму (а) та зовнішній вигляд контактора КТ 6433 (б)

Хоча тиристори VS1 та VS2 підключені паралельно головному контакту контактора КМ, а на електроди керування цих тиристорів приходять по черзі струмові імпульси від вторинних обмоток трансформатора струму ТА через діоди VD1 та VD2, при замкнених контактах струм через ці тиристори не тече, оскільки падіння напруги на контакті (а відтак і на тиристорах) є набагато меншим за пороговий струм відпирання тиристора. Таким чином, при замкнених головних контактах струм у навантазі з опором R та індуктивністю L тече від джерела живлення з напругою U лише через замкнені контакти. Отже, у цьому режимі падіння напруги на комутаційному елементі гібридного контактора є таким самим, як і у електромеханічного контактора – 50 ... 100 мВ, тому гібридний контактор, як і електромеханічний контактор, не потребує пристроїв для охолодження комутаційних елементів (радіаторів, вентиляторів).

При розмиканні головного контакту на ньому виникає коротка електрична дуга, напруга якої становить 12 ... 15 В, тому відкривається один з тиристорів – VS1 або VS2. Оскільки опір тиристора у відкритому стані є набагато меншим за опір дуги, струм головного кола перетікає у тиристор і дуга на контактах згасає – тривалість часу горіння дуги має порядок мікросекунди. Після згасання дуги переривається струм й у пер-

* Гібридні контактори були розроблені на заміну електромеханічних контакторів КТ6033, в яких доводилося часто проводити заміну зношених контактів, призупиняючи виробництво. Цими контакторами були оснащені практично усі металургійні підприємства Радянського Союзу. Невдовзі виробництво гібридних контакторів було припинено, оскільки вони працювали на металургійних підприємствах бездоганно, необхідність ремонтів й заміни майже відпала, а інших галузей застосування для них не знайшлося. І лише зараз, майже через сорок років після їх впровадження, виникла потреба у заміні цих апаратів, що почали виходити з ладу.

винній обмотці трансформатора ТА (вона увімкнена послідовно з головними контактами) і як наслідок – в колах керування тиристорів. За умови відсутності імпульсів керування, тиристор, у який перетік струм головного кола, закритється, а другий тиристор не відкриється. Таким чином, час переривання струму у навантазі не перевищує половини періоду коливань напруги джерела (при частоті 50 Гц – не перевищує 10 мілісекунд). Оскільки дуга на контактах горить впродовж дуже короткого проміжку часу, електричний знос контактів гібридних контакторів практично відсутній і електрична зносостійкість наближається до механічної.

Недоліком контакторів, побудованих за даною схемою, є відсутність у них функції роз'єднання, оскільки напівпровідникові прилади – тиристори шунтують міжконтактний проміжок. Втім, послідовно з головним колом контактора обов'язково має бути встановлений апарат захисту від коротких замикань (short-circuit protective device, SCPD) – автоматичний відмикач, запобіжник або вимикач, комбінований із запобіжником. Саме цей апарат повинен забезпечувати функцію роз'єднання у послідовному колі контактор – SCPD.

З появою на ринку потужних силових високовольтних IGBT транзисторів та двоопераційних IGCT тиристорів з'явилися дослідницькі роботи, присвячені розробці гібридних комутаторів – аналогів швидкодіючих відмикачів постійного струму для захисту мереж живлення електротранспорту. Схема головного кола одного з таких апаратів, у якій були застосовані високовольтні IGCT тиристори у паралельних до контактів колах, показана на рис. 1.71-а. Фото зразка апарата, де була застосована згадана схема, наведено на рис. 1.71-б. Апарат розрахований на застосування в мережах постійного струму з номінальною напругою 1 600 В й передбачає тривале проведення струму до 4 000 А та відмикання кіл коротких замикань з очікуваним струмом 5 ... 6 кА. Роботи по створенню таких апаратів наразі знаходяться на стадії дослідних зразків.

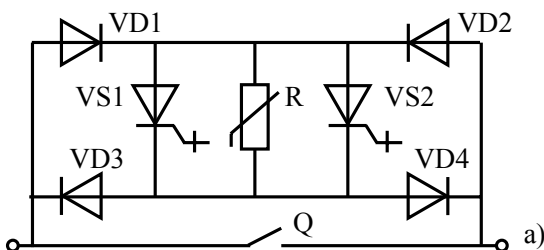


Рис. 1.71. Принципова електрична схема головного кола швидкодіючого гібридного відмикача постійного струму (а) та зовнішній вигляд макетного зразка (б) такого відмикача (Jean-Marc Meyer, Alfred Rufer – Laboratory of Industrial Electronics, Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne):

Q – контакт головного кола; VD1 ... VD4 – силові діоди; VS1, VS2 – IGCT тиристори; R – варистор, у якому поглинається енергія, яка була нагромаджена у навантазі перед розмиканням контактів у головному колі

ЕЛЕКТРИЧНА АПАРАТУРА ТА БЕЗПЕЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

2.1. Електробезпека: система захисту від згубної дії електричної енергії

2.1.1. Види небезпек, пов'язаних з електрикою

Завдяки електричній енергії комфортність життя людей неухильно підвищується. З електрикою ми стикаємося на кожному кроці й постійно користуємося нею. Але, користуючись електрикою, ми повинні пам'ятати про її колосальну (а підчас – смертельну) небезпечність й створювати умови, за яких застосування електрики було б максимально безпечним.

Стандарт ГОСТ 12.1.009-76, який нині є чинним в Україні в статусі міждержавного стандарту, визначає поняття електробезпеки так: «электро-безопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества». Як бачимо, вказане визначення, по-перше, обмежується лише прямою дією таких факторів як вплив електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля та статичної електрики, а по-друге, не розповсюджує поняття електробезпеки на тварин, майно й довкілля. В новітніх українських ПУЕ дане поняття визначається так: **«електробезпека – це відсутність загрози життю, здоров'ю та майну людей, тваринам, рослинам і довкіллю, яка перевищує допустимий ризик»**. Як бачимо, це визначення вже враховує, що згубна дія електричної енергії передбачає як прямі, так і непрямі види небезпек.

Прямі небезпеки – це безпосередній вплив на людей, тварин, майно й довкілля електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля та статичної електрики. Непрямі небезпеки – це опосередкований вплив на людей, тварин, майно й довкілля наслідків дії зазначених вище чинників через пожежі, вибухи, розповсюдження небезпечних хімічних речовин, радіації тощо. Прямі й непрямі небезпеки слід розглядати як

наслідки аварійних ситуацій, які можуть спричиняти травмування людей або призводити до аварій з непередбачуваними наслідками. Найбільш розповсюдженими аварійними ситуаціями є:

- низький рівень захищеності електричного обладнання від проникнення всередину сторонніх предметів й вологи;
- пошкодження ізоляції в електроустановках;
- надструми: перевантаження та короткі замикання;
- перенапруги: атмосферні, комутаційні, а також викликані пошкодженнями в мережах;
- обриви, падіння і сплітання проводів в електричних мережах;
- електроустановки у приміщеннях з підвищеною небезпекою.

В наведеному переліку присутня низка термінів, які потребують тлумачення.

Електрообладнання (electric equipment) – це вироби, що призначені для виробництва, перетворення, передачі, розподілення та застосування електричної енергії, такі як електричні машини, трансформатори, комутаційна апаратура та апаратура керування, вимірювальні пристрої, пристрої захисту, кабельні системи, електроприймачі. Приклади електрообладнання наведені в самому визначенні, а під електроприймачами (current-using equipment) розуміють електрообладнання, що призначене для перетворення електричної енергії на інший вид енергії, наприклад, світлову, теплову, механічну енергію (освітлювальні й нагрівальні прилади, а також побутові й промислові пристрої, які мають у своєму складі електричні двигуни, тощо).

Електроустановка (electrical installation) – це комплекс поєднаного електрообладнання з узгодженими властивостями, призначений для досягнення певних цілей. Прикладом електроустановки може бути електропроводка (wiring system) з поєднаними з нею вимикачами, розетками, світильниками, побутовими приладами тощо.

Проникнення всередину електричного обладнання сторонніх предметів й вологи може призвести до пошкодження ізоляції, внаслідок чого може виникнути надструм (over-current) – струм, що перевищує номінальне значення. Надструми призводять до надмірного нагріву струмопровідних частин й ізоляції, яка їх оточує, і з часом можуть викликати коротке замикання (short circuit), під яким розуміють випадкове або навмисне з'єднання між двома або декількома струмопровідними частинами, що примусово зменшує електричний потенціал між цими струмопровідними частинами до нуля або майже до нуля. При короткому замиканні струм стрімко зростає у десятки й сотні разів, піднімаючи температуру провідників, ізоляції та оточуючих елементів конструкцій до небезпечних рівнів, що викликають займання, вибухи тощо.

Надструми можуть бути викликані й іншими причинами, зокрема перенапругами (over-voltage), як тими, що пов'язані атмосферними та

комутаційними імпульсними виплесками, так і з тими, що пов'язані з пошкодженнями у мережах, зокрема з обривом нейтралі.

Надструми можуть виникнути й в електрично не пошкодженному колі внаслідок перевантаження (overload) мережі при надмірній кількості навантаг, одночасно підключених до неї (рис. 2.1-а). На відміну від перевантажень, короткі замикання обов'язково пов'язані з пошкодженням ізоляції (рис. 2.1-б).

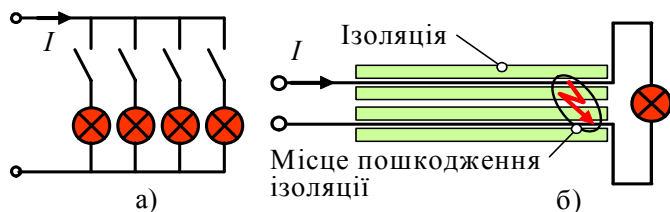


Рис. 2.1. Схеми, що ілюструють причини виникнення надструмів внаслідок перевантажень (а) та коротких замикань (б)

Обриви, падіння й сплітання проводів в електричних мережах, крім небезпек поблизу місця пошкодження, можуть викликати у споживачів перенапруги з аварійними наслідками.

Нарешті, будь-які електроустановки, встановлені у приміщеннях з підвищеною безпекою*, самі по собі є джерелом небезпеки.

2.1.2. Негативні фактори впливу електричного струму на організм людини

Електричний струм, проходячи через тіло людини, призводить до негативних теплових, хімічних та біологічних наслідків.

Теплова дія струму проявляється у підвищенні температури тканин тіла людини, а у деяких випадках – до їх обгоряння. Крім того, підвищення температури спричиняє зменшення електричного опору тіла людини, а відтак – підсилення впливу струму на людину.

Хімічна дія струму внаслідок електролізу проявляється в зміні хімічного складу крові та інших рідин в тілі людини, порушенню їх функцій.

Біологічна дія струму проявляється в небезпечному збудженні живих клітин організму, зокрема, нервових клітин та усієї нервової системи. Таке збудження може супроводжуватися судомами, явищами паралічу. Інколи можливий параліч дихального апарата, фібриляція й параліч серця.

* Правила улаштування електроустановок (ПУЕ) так класифікують приміщення щодо небезпеки ураження людини електричним струмом:

а) приміщення з підвищеною безпекою (вологість; струмопровідний пил; струмопровідна підлога; висока температура; можливість одночасного дотику людини до металоконструкцій будівель, технологічних апаратів, механізмів тощо, які мають з'єднання із землею, з одного боку і до металевих корпусів – з іншого боку);

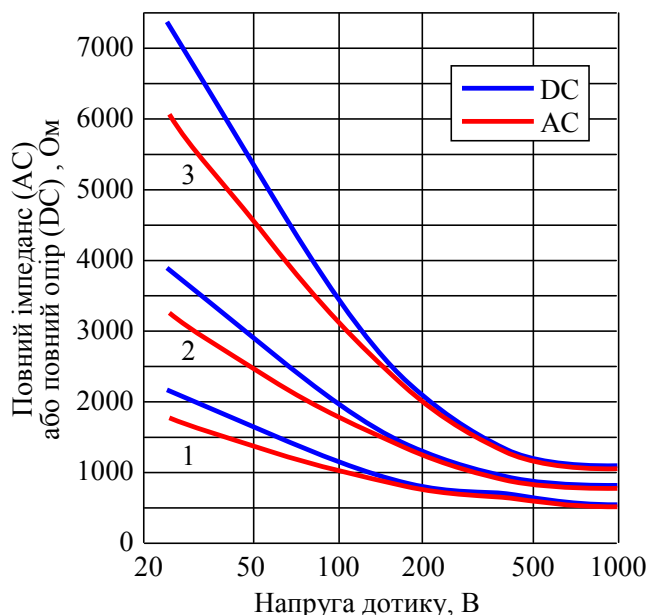
б) особливо небезпечні приміщення (особлива вологість; хімічно активне середовище; одночасна наявність двох або більше умов, позначених у п. «а»);

в) приміщення без підвищеної безпеки (відсутні умови, позначені у п. «а» та п. «б»)

За біологічною дією більш небезпечним є змінний струм, за хімічною дією – постійний струм, а теплова дія постійного та змінного струму є практично однаковою. При цьому слід враховувати, що зі змінним струмом людина стикається набагато частіше, аніж з постійним.

IEV визначає удар електричним струмом (electric shock) як фізіологічний ефект, спричинений проходженням електричного струму через тіло людини або тварини. Електропаталогічні аспекти удару електричним струмом докладно розглянуто у публікації IEC 60479-1.

Зокрема у цій публікації наводиться ілюстрація змін у кардіограмі та у кров'яному тиску внаслідок удару людини електричним струмом, яка свідчить, що серцева фібриляція (cardiac fibrillation), тобто хаотичне скорочення м'язів камер серця, яке веде до розладу серцевої діяльності, розпочинається одразу після моменту початку протікання струму через тіло людини. При цьому дуже швидко зменшується кров'яний тиск, припиняється циркуляція крові і, якщо впродовж декількох десятків мілісекунд не припинити протікання струму, це призводить до летального наслідку. Дослідженнями, результати яких наведено в публікації IEC 60479-1, встановлено, що патофізіологічна дія електричного струму на людину залежить як від значення струму, що тече через тіло людини, так і від терміну його проходження. Значення струму через тіло людини залежить від (реальної) напруги дотику ((effective) touch voltage), а також від імпедансу Z_T (при постійному струмі – опору R_T) тіла людини, які суттєво залежать від напруги дотику, роду струму, шляху струму та інших чинників.



Залежності Z_T та R_T на шляху рука-рука при великих вологих поверхнях контактування від напруги дотику наведені на рис. 2.2.

Рис. 2.2. Залежності повного імпедансу (при змінному струмі) та повного опору (при постійному струмі) тіла людини на шляху рука-рука від реальної напруги дотику:
1 – 5% населення;
2 – 50% населення;
3 – 95% населення

Як бачимо, імпеданс та опір тіла людини суттєво зростають при зменшенні напруги дотику, причому асимптотичні значення (при вели-

ких значеннях напруги) імпедансу та опору збігаються, а при низьких значеннях напруги значення опору R_T перевищує значення імпедансу Z_T приблизно на 20%. Відтак, при зменшенні напруги дотику з 200 В до 100 В змінний струм через тіло людини зменшується не вдвічі, а приблизно у 2,5 ... 3,0 разів, а постійний струм – у 2,8 ... 3,5 разів.

Уявлення про вплив тривалості часу дії струму у сукупності зі значенням струму дають часо-струмові зони, що представлені на графіках, наведених на рис. 2.3.

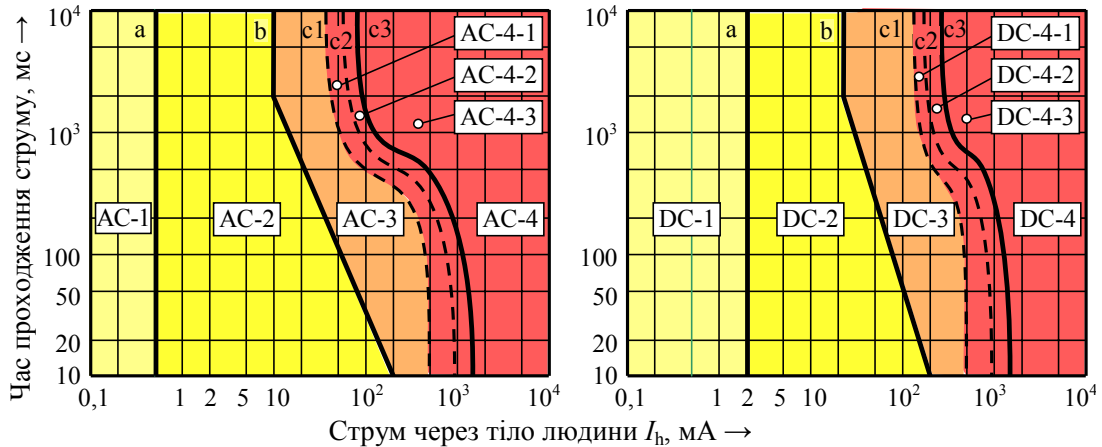


Рис. 2.3. Часо-струмові зони впливу на людину струму при напрямі від лівої руки до ніг: змінний струм (AC) від 15 до 100 Гц – IEC 60479-1, Figure 20; постійний струм (DC) – IEC 60479-1, Figure 22

Пояснення щодо часо-струмових зон впливу змінного струму на людину

AC-1 (до 0,5 мА) – можливі певні відчуття, але без ефекту «посмикування». AC-2 (від 0,5 мА до ломаної b) – можливі відчутні мимовільні м'язові скорочення, але зазвичай без згубної електрофізіологічної дії. AC-3 (від ломаної b до кривої c1) – сильні мимовільні м'язові скорочення, утруднення дихання, оборотні порушення серцевої функції; зазначені порушення посилюються при зростанні струму; органічні порушення зазвичай не очікуються. AC-4 (вище кривої c1) – патофізіологічна дія може проявлятися у вигляді зупинки серця, зупинки дихання, опіків або інших наслідків на клітинному рівні; вірогідність фібриляції шлуночків зростає із збільшенням струму та тривалості його дії. AC-4-1 (c1 - c2) – вірогідність фібриляції шлуночків досягає 5 %. AC-4-2 (c2 - c3) – вірогідність фібриляції шлуночків досягає приблизно 50 %. AC-4-3 (вище кривої c3) – вірогідність фібриляції шлуночків перевищує 50 %. При тривалості дії струму менше 200 мс фібриляція шлуночків розпочинається тільки в уразливий період серцевого циклу.

Пояснення щодо часо-струмових зон впливу постійного струму на людину

DC-1 (2 мА) – а можливі слабкі відчуття поколювання під час вмикання, вимикання та швидкої зміни струму. DC-2 (від 2 мА до ломаної b) – мимовільні м'язові скорочення можливі, головним чином при вмиканні, вимиканні та швидкій зміні струму, але зазвичай без згубної електрофізіологічної дії. DC-3 (від ломаної b до кривої c1) – можуть виникати сильні мимовільні м'язові реакції та оборотні порушення у формуванні та здійсненні серцебиття; зазначені порушення посилюються при зростанні струму та терміну його дії; органічні порушення зазвичай не очікуються. DC-4 (вище кривої c1) – патофізіологічна дія може проявлятися у вигляді зупинки серця, зупинки дихання, опіків або інших наслідків на клітинному рівні; вірогідність фібриляції шлуночків зростає із збільшенням струму та тривалості його дії. DC-4-1 (c1 - c2) – вірогідність фібриляції шлуночків досягає 5 %. DC-4-2 (c2 - c3) – вірогідність фібриляції шлуночків досягає приблизно 50 %. DC-4-3 (вище кривої c3) – вірогідність фібриляції шлуночків перевищує 50 %. При тривалості дії струму менше 200 мс фібриляція шлуночків розпочинається тільки в уразливий період серцевого циклу.

Наведені вище графіки дозволяють формулювати вимоги до електричних апаратів захисту стосовно їх швидкодії у залежності від роду струму та номінальної напруги мережі.

2.1.3. Способи захисту від прямих та непрямих дотиків

Статистика уражень електричним струмом свідчить, що найбільш небезпечними й частими причинами уражень є так звані прямі й непрямі дотики. Прямий дотик (direct contact) – це електричний контакт людей та тварин з активними частинами* електроустановок, а непрямий дотик (indirect contact) – це електричний контакт людей та тварин з відкритими струмопровідними частинами, які стають активними (закритими) за умови пошкодження (ізоляції).

Ситуації прямого дотику ілюструють схеми, представлені на рис. 2.4 – в усіх випадках людина торкається лінійного виводу навантаги, який при замкнених контактах апарата захисту від коротких замикань (short-circuit protective device; SCPD) стає активним.

У перших двох ситуаціях (рис. 2.4-а, б) корпуси електроустановок не уземлені і людина, яка стоїть на ізолюваному помості, торкаючись лінійного провідника однією рукою, може не відчувати електричного удару, оскільки в цих випадках, на перший погляд, відсутні замкнені контури, якими міг би текти струм через тіло людини. Але ці ситуації не можна вважати безпечними, оскільки нема жодної гарантії, що в першому випадку людина випадково не торкнеться іншою рукою металевої частини, з'єднаної з землею (наприклад, з водопровідною або газовою трубою), і тоді між його руками почне текти струм, значення якого I буде визначатися напругою U між лінією й нейтраллю та імпедансом тіла людини Z_T : $I = U / Z_T$. При $U = 220$ В та $Z_T = 1000$ Ом (розрахунковий імпеданс тіла людини) струм I становитиме 220 мА, що є смертельно небезпечним практично для всіх людей, якщо він буде діяти впродовж хоча б однієї секунди (див. рис. 2.3-а).

Ситуація, яка відповідає рис. 2.4-в, може виявитися смертельно небезпечною, якщо людина у вогкому взутті стоїть на струмопровідній підлозі. У цьому випадку контур між лінійним та нейтральним провідниками через тіло людини може замкнутися через землю, яка є струмопровідною, а імпеданс на цьому шляху може становити від одиниць до декількох десятків Ом. Струм через тіло людини буде майже таким самим, як і у першому випадку. Ситуація, яка відповідає рис. 2.4-г, є смертельно небезпечною за будь-яких умов – струм через тіло людини буде не меншим за 220 мА.

Хоча в усіх зазначених випадках струм, який тече через тіло людини, буде текти й через головне коло SCPD, такий струм є недостатнім для його спрацьовування (для цього необхідно, щоб струм сягав принаймні десятків Ампер) та від'єднання ураженої людини від джерела живлення.

* Активною частиною (live part) називають провідник або струмопровідну частину, що призначена бути заживленою при нормальній роботі, включаючи робочий нейтральний провідник (N провідник), але, за домовленістю, не PEN провідник.

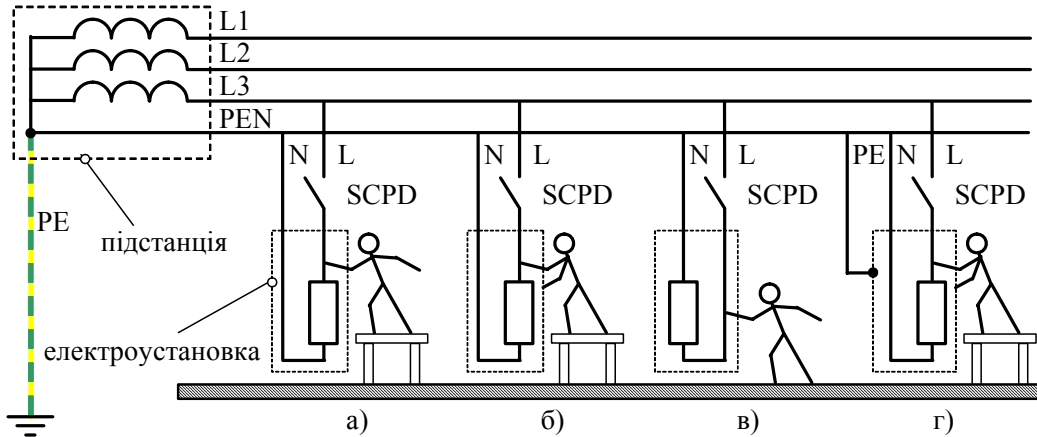
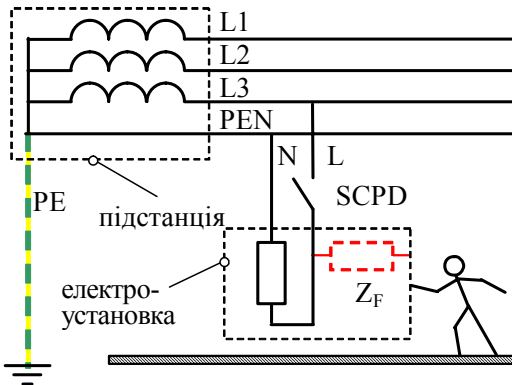


Рис. 2.4. Ілюстрації до різних ситуацій прямого дотику

Непрямий дотик може виникнути у разі контакту людини або тварини з неугрунтованим струмопровідним корпусом електроустановки за умови пошкодження ізоляції всередині установки (рис. 2.5). При цьому ураження людини або тварини електричним струмом може призвести до летального наслідку, навіть якщо в електроустановці буде мати місце не коротке замикання на корпус, а тільки початкова стадія пробоя ізоляції з достатньо



високим імпедансом пошкодження Z_F . Струм через тіло людини чи тварини, який може бути смертельно небезпечним для них у такому випадку, є недостатнім для спрацювання SCPД.

Рис. 2.5. Ілюстрація до ситуації непрямого дотику

Способи захисту від прямих та непрямих дотиків можна поділити на дві групи: 1) способи, пов'язані з використанням засобів, що зменшують вірогідність проходження струму через тіло людини та 2) способи, пов'язані з обмеженням струму, який може проходити через тіло людини, та часу проходження струму.

Використання засобів, що зменшують вірогідність проходження струму через тіло людини

Основними засобами цієї категорії, є: 1) огорожі, бар'єри, ізоляційні оболонки; 2) індивідуальні електрозахистні засоби (гумові рукавички, боти, килимки тощо); 3) пристрої, що забезпечують електричне розділення кіл; 4) застосування обладнання класу II стосовно захищеності від ураження електричним струмом.

Приклади огорож (protective obstacle), бар'єрів (protective barrier) та оболонок (protective enclosure) представлені на рис. 4.113. Доступ до силового трансформатора з небезпечними терміналами середньої та низької напруги (див. рис. 4.113-б) обмежено огорожею жовтого кольору (попередження про небезпеку), шини розподільного пристрою низької напруги покриті ізоляційною поліамідною оболонкою, комутаційні апарати з відкритими струмопровідними частинами також захищені ізоляційними оболонками або мають ізоляційні бар'єри. Зазначимо, що доступ до приміщення, зображеного на рис. 4.113-б, повинні мати лише кваліфіковані особи, а якщо у приміщенні можуть бути присутніми особи, які не мають відношення до електрообладнання, то навіть така безпечна система має бути захищена оболонкою у вигляді металевої шафи (рис. 4.113-а).

Індивідуальні електрозахисні засоби (рис. 2.6) не тільки суттєво знижують вірогідність проходження електричного струму через тіло людини, а й захищають окремі органи від опіків та потрапляння на них продуктів горіння електричної дуги.

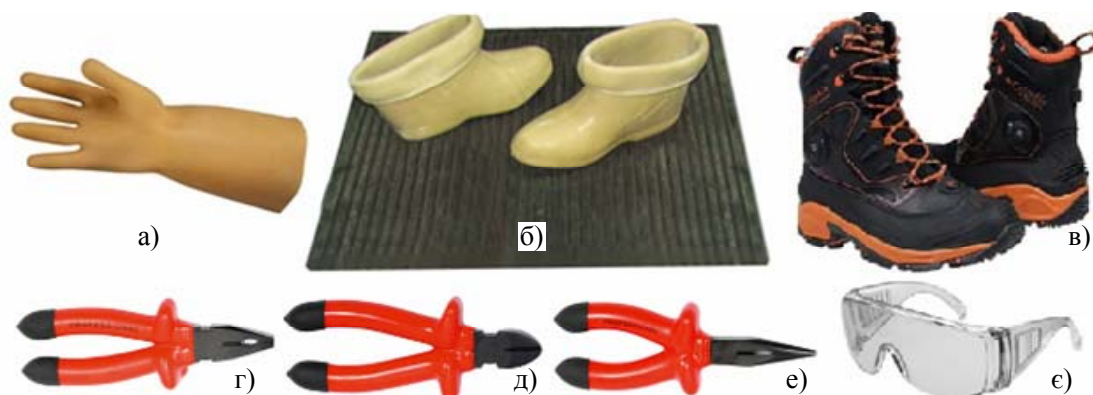
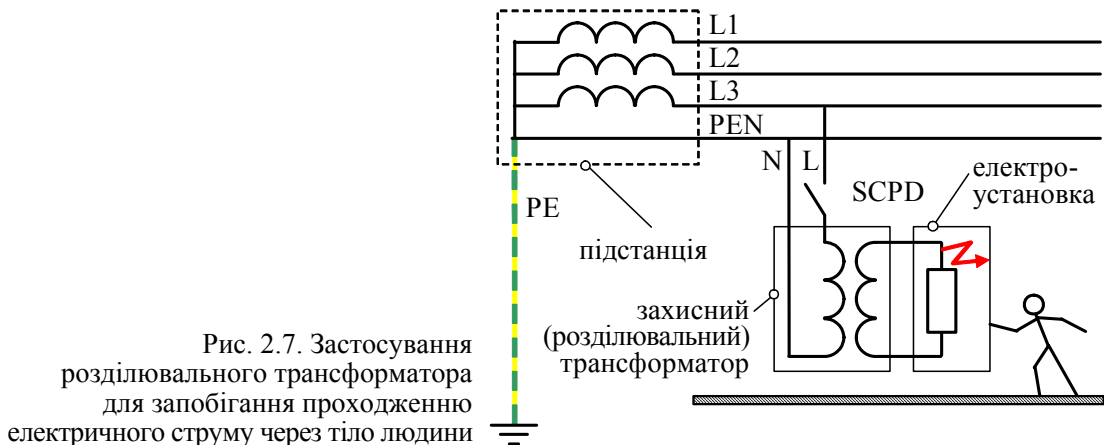


Рис. 2.6. Індивідуальні електрозахисні засоби:

а – рукавичка; б – боти та килимок; в – черевики; г, д, е – інструменти з ізолюванням руків'ям; є – захисні окуляри

Живлення навантаг через трансформатор з посиленою міжобмотковою ізоляцією (захисний розділювальний трансформатор – protective transformer) забезпечує електричне захисне розділення кіл, а саме відділення кола навантаги від кола мережі живлення (рис. 2.7), завдяки чому не тільки непрямий, а й навіть прямий дотик до небезпечних струмопровідних частин стає відносно безпечним*. Зазначений спосіб електропостачання слід застосовувати для електроустановок, розташованих в особливо небезпечних приміщеннях, наприклад у підвальних приміщеннях із струмопровідною (земляною) підлогою.

* Будь-який засіб захисту від ураження електричним струмом слід вважати безпечним лише умовно, адже завжди існує вірогідність його пошкодження (у даному випадку – пошкодження міжобмоткової ізоляції).



Базовий стандарт з електробезпеки ІЕС 61140 встановлює чотири класи обладнання стосовно захищеності від ураження електричним струмом.

Обладнання класу 0 (class 0 equipment) – це обладнання з основною ізоляцією, що забезпечує основний захист, але це обладнання не передбачає захисту при пошкодженнях. Це обладнання може застосовуватися тільки в умовах неструмопровідного оточення (наприклад, у сухих приміщеннях з неструмопровідною підлогою), або в умовах електричного розділення, наприклад за допомогою розділювальних трансформаторів. Міжнародна електротехнічна комісія передбачає у майбутньому вилучити обладнання класу 0 з міжнародної стандартизації.

Обладнання класу I (class I equipment) – це обладнання, оснащене основною ізоляцією для основного захисту та терміналом для приєднання до системи захисного еквіпотенціального з'єднання електроустановки, що забезпечує захист при пошкодженнях ізоляції.

Обладнання класу II (class II equipment) – це обладнання, оснащене основною ізоляцією для основного захисту та додатковою ізоляцією для захисту при пошкодженнях або посиленою ізоляцією для основного захисту та захисту при пошкодженнях.

Обладнання класу III (class III equipment) – це обладнання, захисні властивості якого пов'язані з обмеженням напруги наднизьким рівнем як засобу основного захисту, а не захисту при пошкодженнях.

Застосування обладнання класу II, з подвійною або посиленою ізоляцією суттєво зменшує вірогідність прямих та непрямих дотиків, а відтак, й вірогідність проходження електричного струму через тіло людини.

Способи обмеження струму, який може проходити через тіло людини, та часу проходження струму

Основними способами цієї категорії є: 1) застосування апаратів, які автоматично відмикають живлення при коротких замиканнях в електроустановках; 2) застосування засобів зрівняння потенціалів; 3) застосування апаратів автоматичного відмикання живлення при виникненні струму витоку.

Апарати, які автоматично відмикають живлення при коротких замиканнях в електроустановках (short-circuit protective device; SCPD), – це запобіжники й автоматичні відмикачі. Основним призначенням цих апаратів є захист ліній живлення від надструмів. Як це не прикро констатувати, в переважній більшості вітчизняних помешкань, зазначені апарати виконують саме ці функції, захищаючи людей лише від згубних наслідків надструмів (у першу чергу – від пожеж), жодним чином не реагуючи на такі небезпечні для людей чинники, як прямі й непрямі дотики, останні з яких виникають внаслідок пошкодження ізоляції в електроприймачах. Проаналізуємо, наскільки непрямі дотики є небезпечними у різних ситуаціях, і як електричні апарати захисту від коротких замикань можуть допомогти уникнути цих небезпек (рис. 2.8).

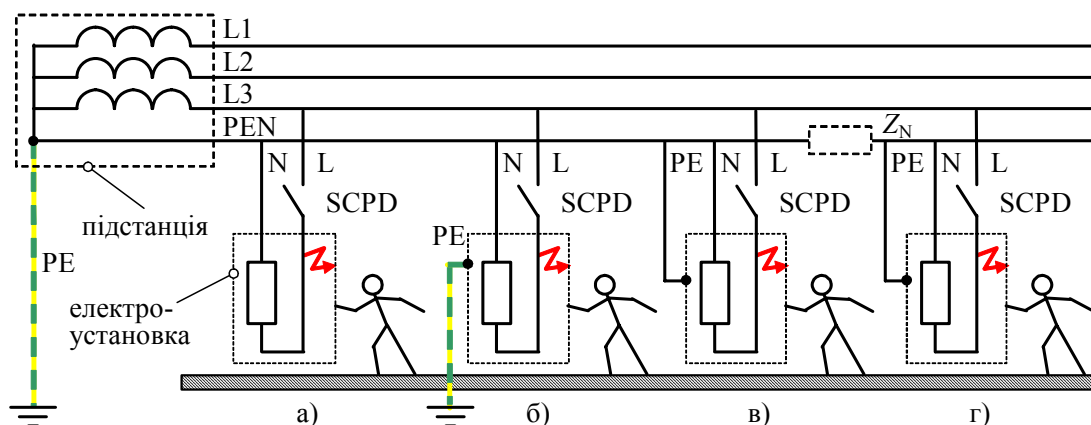


Рис. 2.8. Ілюстрації до різних ситуацій непрямого дотику

Ситуація, що зображена на рис. 2.8-а є типовою для переважної більшості вітчизняних житлових помешкань – людина, стоячи на підлозі, торкається неугрунтованого металевого корпусу електроустановки (холодильника, пральної машини тощо). Дотик до корпусу електроустановки з пошкодженою ізоляцією між лінійним провідником та корпусом, в залежності від низки чинників, може супроводжуватися різними наслідками – від відсутності будь-яких відчуттів (якщо людина, взута у сухе взуття, стоїть на сухій підлозі) або легкого поколювання (якщо невзута людина стоїть на вологій підлозі) до летального наслідку (якщо людина іншою рукою тримається за трубу центрального опалення або за уземлений корпус іншої електроустановки). Оскільки струм через тіло людини не перевищує 1 А, SCPD не реагує на цю ситуацію й не вимикає пошкоджену електроустановку.

Приєднання корпусу електроустановки до місцевого уземлювального електроду (рис. 2.8-б) не завжди виправляє ситуацію з непрямими дотиками – все буде залежати від імпедансу уземлення на підстанції та імпедансу місцевого уземлення. ПУЕ дозволяє мати граничні значення цих

імпедансів 4 Ом та 30 Ом відповідно. При таких значеннях імпедансів струм через уземлювальний електрод місцевого уземлення не перевищуватиме 7 А ($220 \text{ В} / (30 + 4) \text{ Ом}$). SCPD не прореагує на такий струм й не відключить електроустановку. Значення струму через тіло людини у цьому випадку важко розрахувати, але при несприятливому поєднанні чинників цей струм може виявитися смертельно небезпечним для людини.

Приєднання корпусу електроустановки до PEN провідника (рис. 2.8-в) призведе до короткого замикання при пошкодженні ізоляції в електроустановці і, як наслідок, до спрацювання SCPD. При цьому корпус електроустановки знеживиться й дотик до нього не призведе до електричного удару. Таким чином, апарат захисту від коротких замикань у деякому розумінні виконує функції апарата захисту від непрямих дотиків. Слід зауважити, що потенціал на корпусі в момент відмикання електроустановки з пошкодженою ізоляцією в цьому випадку сягатиме значення $I_{os} \cdot Z_N$, де I_{os} – струм відмикання SCPD, а Z_N – імпеданс PEN провідника між N терміналом на підстанції та точкою приєднання корпусу електроустановки до PEN провідника (рис. 2.8-г). Враховуючи, що відносно безпечною напругою для переважної більшості людей, є напруга у 50 В, можемо визначити граничне значення імпедансу Z_N для електроустановки з апаратом захисту від коротких замикань зі струмом відмикання I_{os} :

$$Z_N \leq 50 / I_{os} . \quad (2.1)$$

Наприклад, якщо апаратом захисту від коротких замикань в електроустановці є автоматичний відмикач побутового призначення з характеристикою C25 (див. п. 4.1.4), то струм його відмикання може становити 250 А, тому значення Z_N не повинно перевищувати $50 / 250 = 0,2$ Ом.

Зрівняння потенціалів або екіпотенціальність (equipotentiality) – це стан, коли струмопровідні частини знаходяться при практично рівному електричному потенціалі. Цей стан забезпечується електричними з'єднаннями між струмопровідними частинами, які не призначені для проведення струму, тобто зрівнювальними або екіпотенціальними з'єднаннями (equipotential bonding).

Схема, зображена на рис. 2.9, ілюструє принцип побудови захисту від непрямих дотиків за допомогою зрівнювального з'єднання. У випадку пробою на землю (earth fault) в електроустановці внаслідок пошкодження ізоляції між лінійним провідником та металевим корпусом, людина, що торкається однією рукою корпусу електроустановки, а іншою рукою або будь-якою частиною тіла – трубопроводу, не відчує удару електричним струмом навіть при пошкодженні уземлення корпусу, наприклад якщо корпус виявиться не приєднаним до PEN провідника. У цьому випадку може й не спрацювати SCPD, але людина уникне електротравми саме завдяки екіпотенціальному з'єднанню.

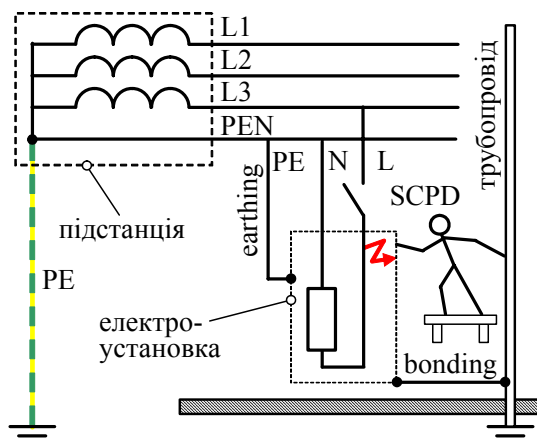


Рис. 2.9. Зрівнювальне з'єднання (bonding) у поєднанні із захисним уземленням (earthing) забезпечує надійний захист від ураження електричним струмом

Апарати, що автоматично відмикають живлення при виникненні струмів витоку – це відмикачі, керовані різницею струмів (residual current operated circuit-breaker, RCCB), або, як їх називають інакше, – апарати різницею струмів (residual current device; RCD). Принцип дії цих апаратів, їх будова, призначення, способи застосування й деякі характеристики будуть розглянуті в п 4.1.5. Крім того, що апарати різницею струмів забезпечують ефективний захист від непрямих дотиків, вони також забезпечують захист й від прямих дотиків, на що не здатний будь-який інший апарат. Схема, зображена на рис. 2.10 ілюструє ситуацію, коли RCCB забезпечує захист від ураження електричним струмом людину, яка однією рукою торкається корпусу пошкодженої електроустановки, а іншою рукою – оголеного лінійного провідника. При цьому людина може стояти як на ізолюваному, так і на струмопровідному помості.

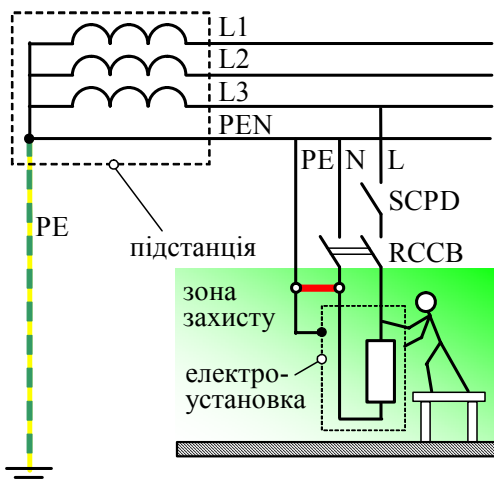


Рис. 2.10. Апарати, що автоматично відмикають живлення при виникненні струмів витоку забезпечують надійний захист людей від ураження електричним струмом в найскладніших ситуаціях прямих та непрямих дотиків

Ефективність захисту при застосуванні RCCB залежить від коректності їх встановлення. Наприклад, неприпустимим є з'єднання PE та N провідників (червона лінія на рис. 2.10) у зоні захисту (нижче RCCB), оскільки у цьому випадку різницею струм, зафіксований в RCCB, може виявитися суттєво меншим, ніж струм витоку через тіло людини, й недостатнім для спрацьовування RCCB.

2.2. Захисне уземлення та роль захисних електричних апаратів у системах захисного уземлення

У даному розділі розглядаються системи уземлення та їх взаємодія з електричними апаратами в мережах низьких напруг. Системи уземлення для високовольтних мереж мають певні специфічні особливості, розгляд яких в межах курсу електричних апаратів ми вважаємо недоцільним.

2.2.1. Захисне уземлення. Мережі із уземленою та ізолюваною нейтраллю

Захисне уземлення (protective earthing), як було показано вище, тісно пов'язане з дією захисної електричної апаратури для забезпечення захисту людей від ураження електричним струмом та, в більш широкому розумінні, – для досягнення цілей електробезпеки – захисту людей, тварин, майна й довкілля від згубної дії електричної енергії. Надійний захист забезпечується якісними апаратами та якісною системою уземлення. Якість системи уземлення характеризується, у першу чергу, опором розтіканню струму від уземлювального електроду. Щоб з'ясувати порядок значення цієї величини, розглянемо розрахунок опору розтікання при сферичному уземлювальному електроді (рис. 2.11). Реальні уземлювальні електроди мають іншу конфігурацію, дуже часто їх роль грають залізобетонні палі та

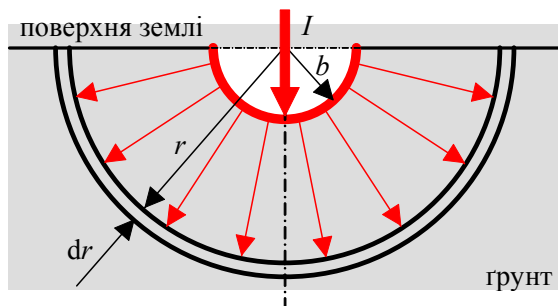


Рис. 2.11. Розтікання струму від сферичного електроду у ґрунт

конструкції фундаментів, які за своїми розмірами можуть бути більшими, аніж півсфера з діаметром, сумірним з габаритами фундаменту.

Струм I , який підводиться до сферичного електроду (це може бути струм блискавки або струм, що тече до іншого уземлювального електроду) розтікається у землю так, що лінії струму розташову-

ються на конічних, а еквіпотенціали – на сферичних поверхнях. Опір dR тонкої оболонки, обмеженої півсферами з радіусами r та $r + dr$, дорівнює

$$dR = \frac{\rho \cdot dr}{2 \cdot \pi \cdot r^2}, \quad (2.2)$$

де ρ – питомий опір ґрунту, значення якого залежить від багатьох чинників (склад, структура, вологість, пора року тощо) й коливається в інтервалі від 10 до 5000 Ом·м й більше. Зауважимо, що навіть найменше значення питомого опору ґрунту на дев'ять порядків перевищує значення питомого опору такого провідникового матеріалу, як мідь ($1,6 \cdot 10^{-8}$ Ом·м).

Загальний опір розтіканню можна розрахувати, виконавши інтегрування виразу (2.2) в межах від b до ∞ :

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi} \cdot \int_b^{\infty} \frac{dr}{r^2}. \quad (2.3)$$

Після інтегрування та подвійної підстановки маємо

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot b}. \quad (2.4)$$

Хоча ґрунт дуже погано проводить електричний струм, але розміри зони розтікання струму в землі є настільки великими, що значення опору R має порядок одиниць Ом. Наприклад, при $\rho = 100$ Ом·м (розрахункове значення питомого опору ґрунту) та $b = 10$ м значення R становить лише 1,6 Ом. Реальні значення опору розтікання на місцевих підстанціях та у багатоповерхових житлових будинках із залізобетонним фундаментом може складати десятки частки Ом.

Навколо інших будівель, для забезпечення надійного захисту від ураження електричним струмом, треба улаштовувати контур уземлення. Традиційна технологія улаштування контурів уземлення передбачає забивання у ґрунт сталевих штирів діаметром 10 ... 12 мм та довжиною 2 ... 3 м, приєднання до штирів за допомогою електрозварювання сталевих штаб 3×25 мм або 4×20 мм та виведення однієї або декількох таких штаб у будівлю для приєднання до шин уземлення в приміщеннях. Така технологія суттєво ускладнює процес монтування контуру уземлення, оскільки потребує наявності спеціального обладнання (зварювальних апаратів), та участі у проведенні цих робіт електрозварювальників. Слід також зазначити, що сталеві деталі, занурені у ґрунт з часом сильно кородують, навіть якщо вони мають електрохімічне покриття шаром цинку (3 ... 5 мкм).

Сучасна технологія улаштування контурів уземлення (рис. 2.12) передбачає застосування спеціальних компонентів уземлення, виготовлених зі сталі, оцинкованої гарячим способом з шаром цинку до 100 мкм. Вертикальні електроди конструктивно виконуються з окремих елементів діаметром 20 мм та довжиною 1.5 або 2 метра, які з'єднуються методом зрощування. На нижній торець першого елемента монтується литий наконечник підвищеної твердості, що полегшує занурення складеного електроду у ґрунт. На верхньому елементі вертикального електроду монтується універсальний затискач. За його допомогою виконується приєднання сталевих штаб 40×4 мм та сталевих ізольованих вивідних штанг. Для герметизації з'єднання використовується антикорозійна стрічка. Електроди діаметром 20 мм мають достатню жорсткість для виконання їх занурювання за допомогою кувалди. Перед занурюванням електродів необхідно підготувати заглиблення в ґрунті на глибину не менше 0,5 м.

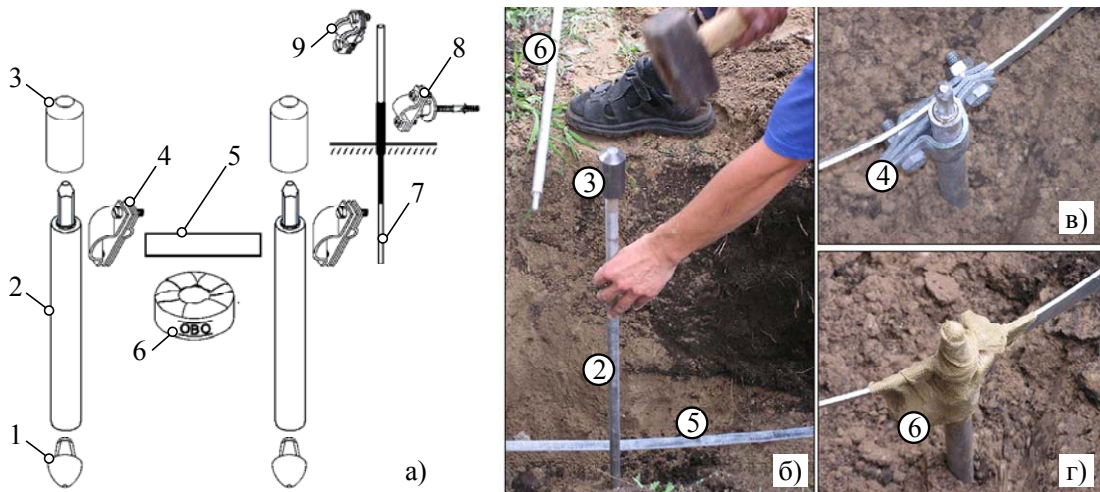


Рис. 2.12. Улаштування контуру уземлення за сучасною технологією:
а – компоненти контуру уземлення (1 – литий наконечник; 2 – елемент вертикального електроду; 3 – бойок; 4 – універсальний з'єднувач; 5 – сталеві штаби; 6 – антикорозійна стрічка; 7 – вивідна штанга; 8 – кріплення штанги до стіни; 9 – затискач для приєднання мідного проводу); б – забивання вертикального електроду у ґрунт; в – приєднання сталевих штаб до вертикального електроду за допомогою універсального затискача; г – гідроізоляція з'єднання за допомогою антикорозійної стрічки

Переважає більшість мереж живлення в діапазоні низьких напруг передбачає уземлення точки з'єднання вторинних обмоток силового трансформатора місцевої підстанції через уземлювальний провідник з нехтовно малим імпедансом. Такі мережі називають мережами з глухоуземленою нейтраллю (solidly earthed neutral system). Ці мережі застосовуються практично в усіх будівлях житлового, цивільного й виробничого призначення. Лише в деяких електроустановках виробничого й невиробничого призначення з підвищеними вимогами щодо безпеки (шахти, ГЗК, деякі хімічні виробництва, метрополітен тощо) застосовуються мережі з ізолюованою нейтраллю (isolated neutral system). На підстанціях, що живлять такі електроустановки, вторинні обмотки силових трансформаторів з'єднують у трикутник. Замикання одного з проводів трифазної лінії на землю не перериває електропостачання й не призводить до іскріння та виникнення електричної дуги в місці пошкодження, отже не утворює умов виникнення вибухів та пожеж.

Мережі з ізолюованою нейтраллю виявляються також в деякій мірі безпечнішими з точки зору прямих дотиків в умовах відсутності пошкоджень (рис. 2.13), оскільки в цьому випадку відсутній замкнений контур, яким міг би текти струм через тіло людини. Але у разі замикання на землю іншого лінійного провідника, до людини (між рукою та ногами) буде прикладена міжлінійна напруга.

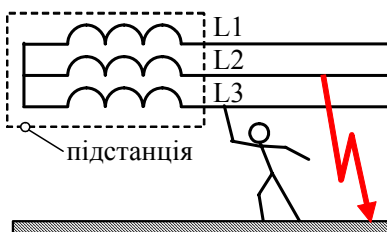


Рис. 2.13. Прямий дотик в мережі з ізолюованою нейтраллю

Непрямі дотики в мережах з ізолюваною нейтраллю так само небезпечні, як і прямі, але якісно виконане захисне уземлення металевих корпусів електроустановок у певній мірі розв'язує проблему захисту від непрямих дотиків. Напруга дотику (touch voltage) U_t в умовах, показаних на рис. 2.14, може бути розрахована за формулою:

$$U_t = U_{LL} \cdot \frac{R_e}{R_e + R_L}, \quad (2.5)$$

де U_{LL} – напруга між лінійними провідниками; R_e – опір розтіканню струму від уземленої електроустановки; R_L – опір розтіканню струму від точки контакту пошкодженої лінії з землею.

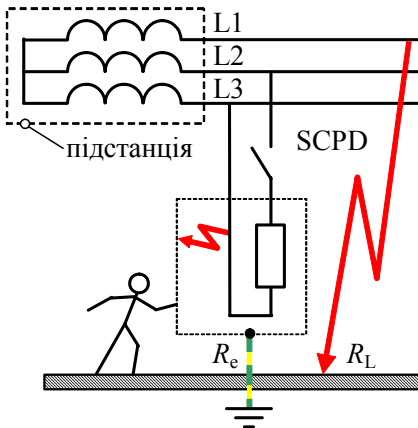


Рис. 2.14. Захист від непрямих дотиків за допомогою уземлення корпусу електроустановки



Рис. 2.15. Викрутка-індикатор фази

Якщо $R_L \gg R_e$, а таке співвідношення має місце у переважній більшості випадків, то напруга дотику буде безпечною. Якщо ж значення R_L та R_e будуть сумірними, то уземлення не розв'язує проблему захисту. В цьому випадку захист забезпечується лише апаратами різницевого струму, які забезпечать захист й від прямих дотиків. Апарати захисту від коротких замикань (запобіжники й автоматичні відмикачі) в мережах з ізолюваною нейтраллю, на відміну від мереж з глухоуземленою нейтраллю, не забезпечують захист від непрямих дотиків, а захищають лише проводи та кабелі від надструмів.

До речі, популярна викрутка-індикатор фази (рис. 2.15) в системах з ізолюваною нейтраллю виявляється непридатною для застосування за своїм призначенням – визначення, чи є заживленим той чи інший лінійний провідник, внаслідок відсутності замкненого контуру в колі з індикатором (нейтраль не уземлена). Але цей індикатор може виявитися корисним для виявлення пошкоджень – якщо по черзі торкатися викруткою лінійних провідників і при цьому виявиться, що у двох випадках індикатор засвітиться, а у третьому не засвітиться, то це означатиме, третій лінійний провідник замкнений на землю, а два інших – заживлені. Якщо ж у всіх трьох випадках індикатор не світиться, то з цього факту не можна робити жодних висновків щодо заживленості лінійних провідників.

2.2.2. Класифікація типів захисного уземлення розподільних систем. Принцип трирівневого захисту

Словосполучення «distribution system» (розподільна система) вживається в текстах багатьох стандартів ІЕС, хоча й не визначається. Виходячи із змісту, який надається цьому поняттю в стандартах, будемо розглядати розподільну систему як сукупність розподільних кіл, розподільних пристроїв та прикінцевих кіл. При цьому розподільна система або розподільна мережа низької напруги змінного струму розпочинається з вихідних терміналів підстанції (термінали вторинних обмоток силового трансформатора), а закінчується на терміналах навантаги (увідних терміналах та терміналах для приєднання уземлювальних провідників).

Базовий стандарт для електроустановок будівель ІЕС 60364-1 вводить спеціальне кодування розподільних систем щодо типів їх уземлення, тобто способів приєднання терміналів уземлення до уземлювальних електродів. Згідно з цим стандартом літерні коди мають вказані нижче значення.

Перша літера коду означає зв'язок енергосистеми із землею: Т – безпосереднє з'єднання однієї точки системи з землею; І – усі активні частини ізольовані від землі або одна точка приєднана до землі через імпеданс.

Друга літера коду означає зв'язок відкритих струмопровідних частин із землею: Т – безпосереднє електричне з'єднання відкритих струмопровідних частин із землею незалежно від уземлення будь-якої точки енергосистеми; N – безпосереднє електричне приєднання відкритих струмопровідних частин до уземленої точки, причому у системах змінного струму уземленою точкою зазвичай є нейтральна точка (РЕ або N провідники, що йдуть від підстанції).

Наступні літери, якщо вони є, характеризують компоновку N та РЕ провідників: S – захисна функція забезпечується РЕ провідником, який відділений (separate) від робочого нейтрального провідника N; C – функції робочого нейтрального та захисного провідників поєднані (common) в одному провіднику, яким є PEN провідник.

В стандарті ІЕС 60364-1 розглядаються такі типи уземлення* розподільних систем: TN-C; TN-S; TN-C-S; TT; IT (рис. 2.16).

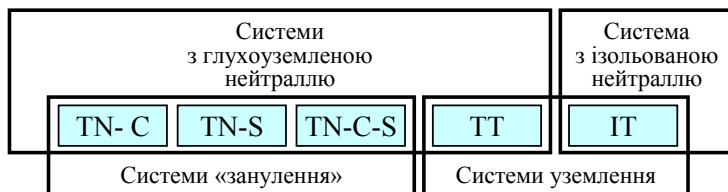


Рис. 2.16. Класифікація типів захисного уземлення розподільних систем

* Приєднання металевих корпусів електроустановок до уземлювального провідника, з'єднаного безпосередньо з уземлювальним електродом у вітчизняній нормативній літературі (зокрема, в ПУЕ) називають «заземленням», а приєднання металевих корпусів електроустановок до РЕ або PEN провідників, що йдуть від підстанції, – іноді називають «зануленням».

Система TN-C (рис. 2.17), яка є найбільш розповсюдженою в нашій країні, передбачає поєднання робочого нейтрального провідника (N провідника) та захисного провідника (PE провідника) в одному провіднику (PEN провіднику) в усій системі. На промислових підприємствах безпечність цієї системи забезпечується тим, що по-перше, корпус електроустановки приєднується не так, як зображено на рис. 2.17, а за допомогою окремого провідника, проведеного від розподільного щитка. Крім того, корпус приєднується до загальної шини уземлення, яка виконує функції й еквіпотенціальної шини. У поєднанні з якісними апаратами захисту від коротких замикань (SCPD), заходи такого уземлення забезпечують надійний захист від непрямих дотиків.

Захист від прямих дотиків в системі TN-C не забезпечується, а встановлення відмикачів різницевого струму (RCCB) в цій системі унеможливорюється низкою причин. По-перше, представлені на ринку трифазні RCCB є чотириполюсними, а однофазні – двополюсними, тобто один полюс розриває нейтральний провідник, який в системі TN-C виконує функції й захисного провідника, а це суперечить вимогам ПУЕ, згідно з якими в колі захисного провідника не повинно бути не тільки комутаційних, а й роз'ємних контактів. По-друге, навмисне або випадкове приєднання корпусу електроустановки до будь-якого елементу уземлювальної конструкції (earthing arrangement) – загальної шини уземлення, струмопровідної підлоги, металоконструкцій будівлі тощо буде приводити до виникнення струмів витоку й помилкового спрацьовування RCCB. По-третє, RCCB, вмонтоване у цю систему, не буде забезпечувати захист від прямого дотику, якщо людина, стоячи на ізоляційному засобі (сухий дерев'яний стілець, гумовий килимок тощо), однією рукою торкається корпусу електроустановки, а іншою – лінійного провідника.

Нарешті, помилкове приєднання (PEN провідник приєднано до SCPD, а лінійний – до корпусу електроустановки) або обрив PEN провідника призведе до виникнення на корпусі потенціалу лінійного провідника.

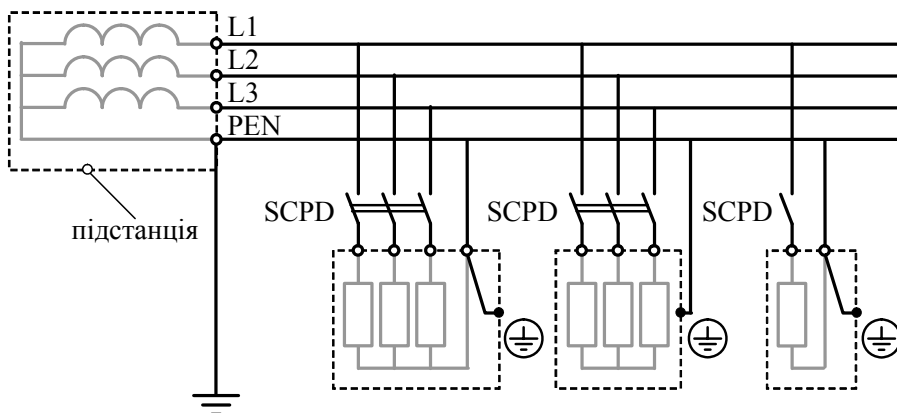


Рис. 2.17. Система TN-C

Система TN-S (рис. 2.18) вважається найбільш безпечною з усіх систем. Відповідно до розглянутого вище літерного кодування, ця система передбачає уземлення нейтралі на підстанції (перша літера T), приєднання корпусів електроустановок до захисного уземлювального провідника, який йде від підстанції (друга літера N) та розділення робочого нейтрального та захисного уземлювального провідників в усій системі (третя літера S).

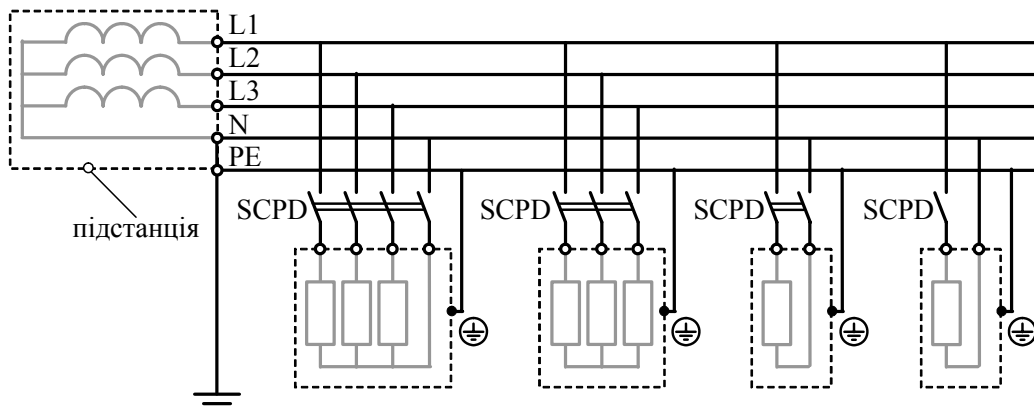


Рис. 2.18. Система TN-S

Система TN-S забезпечує захист від непрямих дотиків, якщо апарати захисту від надструмів (SCPD) підібрані з урахуванням нерівності (2.1), до того ж надійність захисту підвищується за умови застосування еквіпотенціальних з'єднань та виконання повторних уземлень. Помилкове приєднання однофазної навантаги (місця приєднання робочого нейтрального та лінійного провідників переплутані) або обрив N провідника не призводить до підвищення потенціалу корпусу електроустановки. Нарешті ця система цілком сумісна з апаратами захисту від струмів витоку (RCCB), які можуть бути підключені між SCPD та навантагою, що забезпечить надійний захист від прямих дотиків навіть у такій важкій ситуації, коли людина, стоячи на ізоляційному засобі (сухий дерев'яний стілець, гумовий килимок тощо), однією рукою торкається корпусу електроустановки, а іншою – лінійного провідника.

Недоліком системи TN-S є необхідність застосування спеціальних п'ятипровідних кабелів або улаштування в інший спосіб п'ятипровідної лінії від підстанції.

Система TN-C-S (рис. 2.19) в одній частині має властивості системи TN-C, а в іншій – TN-S. Вона, у певній мірі, поєднує переваги систем TN-C (чотирипровідна лінія від підстанції) та TN-S (можливість застосування еквіпотенціальних з'єднань та повторних уземлень, надійний захист від непрямих дотиків, можливість встановлення RCCB й забезпечення захисту від прямих дотиків) без докорінної перебудови існуючих електричних мереж.

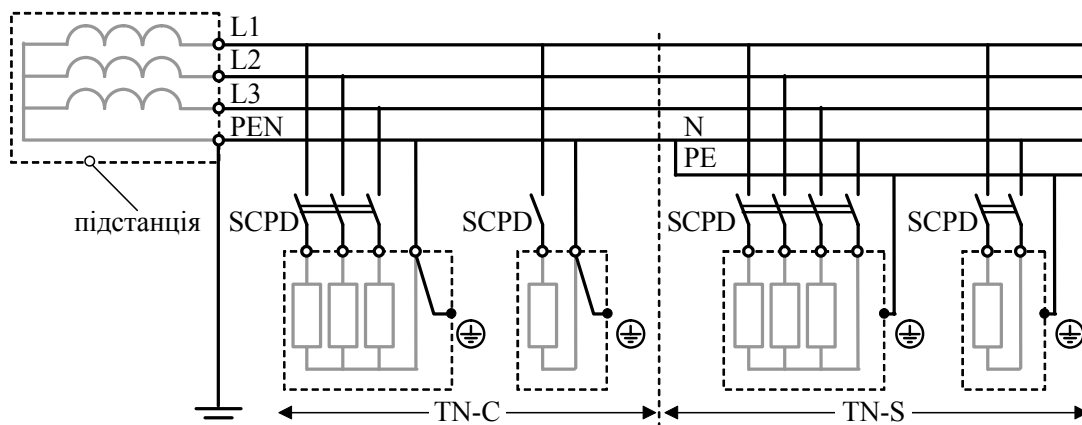


Рис. 2.19. Система TN-C-S

Система ТТ (рис. 2.20), в якій нейтраль на підстанції, як і в розглянутих вище системах, приєднується до уземлювального електрода за допомогою провідника з нехтовно малим імпедансом (глухоуземлена нейтраль), відкриті струмопровідні частини (exposed conductive part: 195-06-10) уземлені шляхом приєднання до окремого уземлювального електрода, зв'язаного з уземлювальним електродом на підстанції лише через землю. В діючих в Україні ПУЕ (НПАОП 40.1-1.312-01) ця система не входить до переліку систем, рекомендованих до застосування. В інших країнах, зокрема в Росії, застосування системи ТТ допускається, але лише тоді, коли умова (2.1) щодо захисту від непрямих дотиків в системах TN не може бути забезпечена. Система ТТ передбачає *обов'язкове* застосування RCCB, які здійснюють захист як від прямих, так і від непрямих дотиків. При цьому система місцевого уземлення має бути виконана таким чином, щоб забезпечити виконання умови

$$R_E \leq 50 / I_{\text{ог}}, \quad (2.6)$$

де $I_{\text{ог}}$ – струм відмикання RCCB; R_E – сумарний опір розтіканню струму від місцевого уземлювального електрода та уземлювального провідника (якщо RCCB застосовується для захисту декількох електроприймачів, то при розрахунку R_E береться до уваги уземлювальний провідник з найбільшим опором).

Наприклад, якщо в системі ТТ у якості SCPD застосовується автоматичний відмикач побутового призначення з характеристикою C25 (струм відмикання може становити 250 А), а імпеданс Z_N дорівнює 0,5 Ом, то умова (2.1) не виконується й даний SCPD не забезпечує захист від непрямих дотиків. Якщо ж послідовно до SCPD приєднати RCCB з номінальним різницевою струмом спрацьовування 30 мА ($I_{\text{ог}} = 30$ мА) та виконати місцеве уземлення так, що найбільший сумарний опір R_E становитиме 30 Ом, то умова (2.6) виконується й даний RCCB буде забезпечувати надійний захист від непрямих дотиків.

Систему TT слід застосовувати й тоді, коли електроустановка живиться через повітряну лінію, отже існує небезпека обриву PEN провідника.

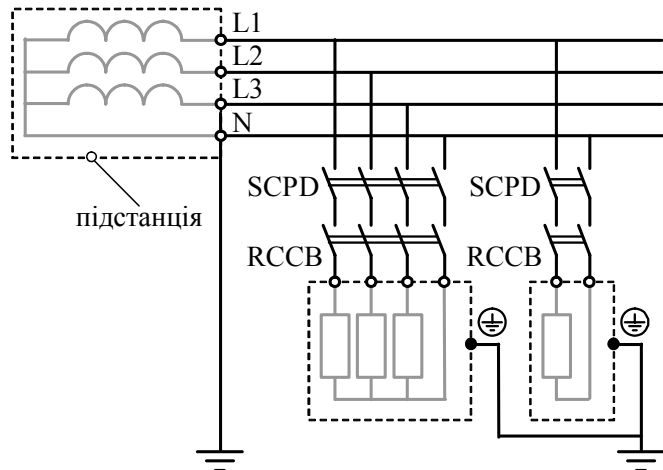
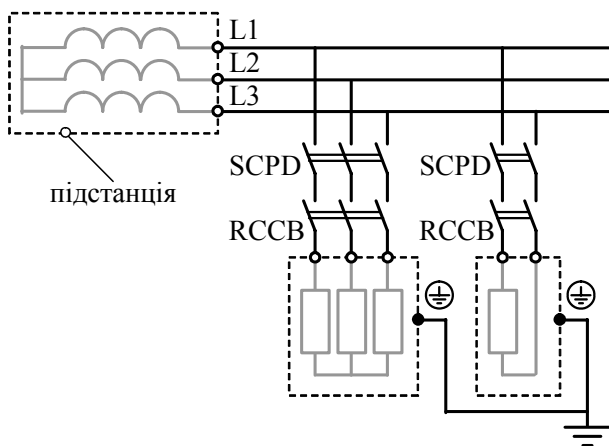


Рис. 2.20. Система TT

Система IT (рис. 2.21), в якій всі активні частини (live part) ізолювані від землі, а відкриті струмопровідні частини електроустановки уземлені незалежно або спільно, застосовуються в електроустановках спеціального призначення, до яких висуваються підвищені вимоги щодо надійності й безпеки (див. п. 2.2.1). Експлуатація цих систем вимагає постійного контролю ізоляції активних частин від землі та якості уземлення усіх відкритих металевих частин, не призначених для проведення струму.



Підвищення надійності захисту від непрямих дотиків та захист від прямих дотиків в умовах пошкоджень забезпечується застосуванням RCCB, які підключають між SCPD та навантагою.

Рис. 2.21. Система IT

Як бачимо з наведеного аналізу, жодна з систем не гарантує стовідсоткової безпеки при користуванні електричною енергією. До того ж, надійність захисту від ураження електричним струмом знижується внаслідок так званого «людського фактору», для вилучення якого міжнародні стандарти рекомендують застосовувати принцип потрібного захисту, тобто поєднання трьох ступенів захисту від ураження електричним струмом: основний захист (basic protection), захист при пошкодженнях (fault protection) та додатковий захист (additional protection).

В стандарті IEC 61140 сформульоване основне правило захисту від ураження електричним струмом: **небезпечні активні частини не повинні**

бути доступними, а доступні струмопровідні частини не повинні бути небезпечно заживленими (hazardous-live-parts shall not be accessible and accessible conductive parts shall not be hazardous live). Це правило має виконуватися як в нормальних умовах, так і в умовах пошкоджень.

Основний захист – це захист від ураження електричним струмом в умовах відсутності пошкоджень, який має забезпечуватися заходами, які в нормальних умовах виключають контакт з небезпечними активними частинами, в першу чергу, за рахунок якісної основної ізоляції.

Захист при пошкодженнях забезпечується застосуванням подвійної або посиленої ізоляції, розділенням електричних кіл, уземленням доступних струмопровідних частин, зрівнюванням їх потенціалів, а також застосуванням електричних апаратів, які автоматично відключають джерело живлення внаслідок коротких замикань, що виникають при пошкодженнях.

Додатковий захист – це захисні засоби, додаткові до основного захисту та захисту при пошкодженнях. Застосування апаратів захисту від струмів витоку (RCCB) з номінальним різницеvim струмом спрацьовування, що не перевищує 30 мА, стандарт ІЕС 61140 розглядає як необхідний додатковий засіб, коли засоби основного захисту та захисту при пошкодженнях виявляються неефективними або для запобігання уражень внаслідок недбалого використання обладнання.

На рис. 2.22, як приклад, представлена схема, в якій реалізується принцип потрійного захисту. Засоби першого рівня захисту помічені літерою **B** (Basic protection), засоби другого рівня – літерою **F** (Fault protection), засоби третього рівня – літерою **R** (додатковий захист за допомогою RCCB).

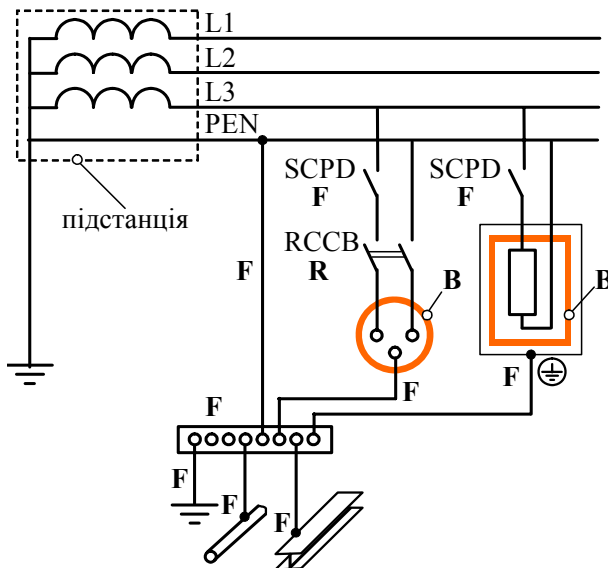


Рис. 2.22. Приклад схеми електроустановки, в якій реалізується принцип потрійного захисту. Основний захист забезпечується якісною ізоляцією розеток, а також надійним ізолюванням активних частин обладнання від їх металевих корпусів. Захист при пошкодженнях забезпечується приєднанням доступних струмопровідних частин, а також захисних терміналів розеток ЩУКО до шини зрівнювання потенціалів, яка уземлюється та приєднується до PEN-проводника, а також застосуванням адекватних апаратів захисту від надструмів. Додатковий захист забезпечується застосуванням апаратів захисту від струмів витоку з номінальним різницеvim струмом спрацьовування, що не перевищує 30 мА.

2.3. Захисні властивості та захищеність електричної апаратури

2.3.1. Захисні властивості електричної апаратури

Електромеханічні апарати, тобто апарати з контактними комутаційними елементами, та напівпровідникові комутаційні конкурують між собою в різних сегментах ринку комутаційної апаратури. Аналіз реальної ситуації свідчить про те, що в системах розподілення електричної енергії електромеханічні комутаційні апарати (роз'єднувачі, вимикачі, відмикачі, контактори, пускачі, апарати кіл керування тощо) міцно утримують ринок і за прогнозами виробників цей ринок в майбутньому буде зростати. Це пояснюється такими унікальними властивостями електромеханічних комутаційних апаратів, як незначне падіння напруги на замкнених контактах при проходженні через них робочого струму (див. п. 1.3.2), а також можливістю забезпечувати функцію роз'єднання, гальванічне розділення та гарантовану (жорстку) операцію розмикання – функції, які є дуже важливими з точки зору електробезпеки.

Функція роз'єднання (isolation*) – це функція, призначенням якої є переривання живлення від усієї або окремої частини електроустановки шляхом відділення установки або її частини від будь-якого джерела електричної енергії з міркувань безпеки.

До апарата, придатного до роз'єднання, висуваються вимоги щодо імпульсної витримуваної напруги та струмів витоку.

Значення імпульсної витримуваної напруги ставиться у залежність від номінальної напруги системи живлення та категорії перенапруги** (over-voltage category) обладнання, до якого має відношення відповідний апарат. В міжнародному стандарті стосовно координації ізоляції IEC 60664-1 визначаються чотири категорії для обладнання, призначеного для роботи в мережах низької напруги:

- обладнання категорії IV – це обладнання, призначене для застосування у початковій точці електричної установки (origin of the electrical installation), наприклад вимірювальні трансформатори струму, апарати захисту від імпульсних виплесків струму та напруги тощо;

* В базовому стандарті щодо комутаційної апаратури низької напруги IEC 60947-1 до терміну isolation додається синонім – (isolation (isolating function)), а у частині 442 IEC вводиться поняття повного роз'єднання (full-disconnection), як здійснення такого розведення контактів у полюсі (комутаційного апарата), яке забезпечує еквівалент основної ізоляції між мережею живлення та тими частинами, що мають бути від'єднаними від живлення. Це визначення за змістом збігається з визначенням функції роз'єднання. У тій же частині IEC вводиться й поняття мікророз'єднання (micro-disconnection), що означає здійснення такого розведення контактів у полюсі, яке забезпечує функціонування (апарата) за призначенням (functional performance).

** В IEC 60664-1 категорія перенапруги визначається як числова характеристика режиму імпульсної перенапруги

- обладнання категорії III – це обладнання стаціонарних електроустановок, коли до надійності та працездатності обладнання висуваються спеціальні вимоги, наприклад, вимикачі та відмикачі стаціонарних промислових установок;

- обладнання категорії II – це обладнання, що споживає енергію та живиться від стаціонарних електроустановок, наприклад, електропобутові апарати, електроінструмент та інші побутові та аналогічні навантаги;

- обладнання категорії I – це обладнання, призначене для приєднання до кіл, у яких застосовуються заходи щодо обмеження перехідних перенапруг до відповідного низького рівня, наприклад, обладнання, що містить електронні пристрої.

В стандарті ІЕС 60947-1 наводяться значення номінативної імпульсної витримуваної напруги (rated impulse withstand voltage; U_{imp}) для апаратів у залежності від номінальної напруги мережі живлення та категорії перенапруги. Зокрема, при номінальній напрузі мережі живлення 220 / 380 В (230 / 400 В) пікові значення витримуваних імпульсів певної форми мають бути такими: для обладнання категорії IV – 6 кВ; категорії III – 4,5 кВ; категорії II – 2,5 кВ та категорії I – 1,5 кВ.

Форма випробувальних імпульсів (рис. 2.23) регламентується стандартом ІЕС 61180-1 й позначається двома числами, розділеними похилою рискою. Перше число T_1 , виражене у мікросекундах, позначає віртуальну тривалість фронту (virtual front time), а друге число – T_2 , також виражене у мікросекундах, позначає віртуальний час півспаду (virtual time to half-value). При випробуваннях електричних апаратів та суміжного обладнання найчастіше застосовуються імпульси 1,2/50; 8/20 та 10/350.

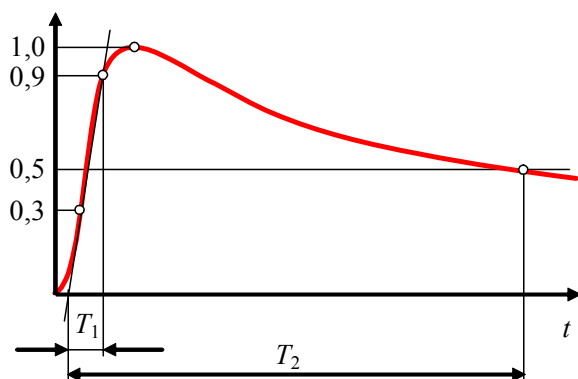


Рис. 2.23. Форма випробувального імпульсу напруги (у відносних одиницях) за ІЕС 61180

Випробування електромеханічних комутаційних апаратів на здатність витримувати імпульсні перенапруги полягає у перевірці відсутності пробіїв під час прикладання до певних частин апарата випробувальної імпульсної напруги 1,2/50. Схема випробувань наведена на рис. 2.24. Порядок випробувань, тобто кількість імпульсів, їх полярність та тривалість пауз між імпульсами встановлюється стандартами на відповідні апарати.

Зокрема при випробуваннях автоматичних відмикачів побутового та аналогічного застосування стандарт на відповідний продукт (ІЕС 60898-1) встановлює такий порядок випробувань.

За трьома імпульсами позитивної полярності слідує три імпульси негативної полярності з інтервалами між імпульсами однієї полярності не менше 1 с та інтервалами між імпульсами різної полярності не менше 10 с. При випробуваннях відмикач встановлюється на металевій основі.

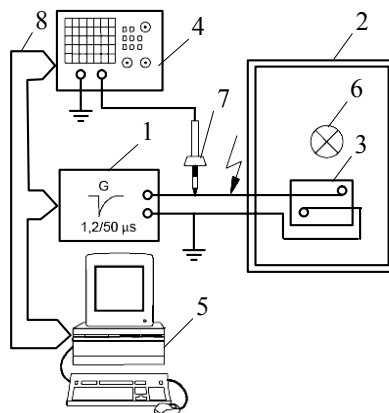
У першій серії дослідів випробувальна напруга прикладається між з'єднаними разом терміналами з боку джерела живлення та з'єднаними разом терміналами з боку навантаги. При цьому контакти повинні бути у розімкненому стані. У другій серії дослідів випробувальна напруга прикладається між лінійними полюсами, з'єднаними разом, та нейтральним полюсом (якщо він є). У третій серії дослідів випробувальна напруга прикладається між металевою основою, приєднаною до терміналу уземлення (якщо він є) та з'єднаними разом лінійними полюсами й нейтральним полюсом (якщо він є).

Значення піків випробувальної напруги мають бути більшими за номінативну імпульсну витримувану напругу й залежать від висоти над рівнем моря місцевості, де проводяться випробування, та від номінальної напруги мережі. Зокрема, у більшості європейських країн застосовуються трифазні мережі з номінальною напругою 230/400 В, а номінативна імпульсна витримувана напруга для відмикачів, що застосовуються у цих мережах встановлюється на рівні 4 кВ. Побутова апаратура випробується при більших значеннях напруги. Зокрема стандарт ІЕС 60898-1 визначає такі пікові значення (у кіловольтах) імпульсів випробувальної напруги у залежності від висоти над рівнем моря (табл. 2.1):

Таблиця 2.1. Пікові значення імпульсів випробувальної напруги

Серія дослідів при випробуваннях на здатність витримувати імпульсні перенапруги	Висота над рівнем моря, м				
	0	200	500	1 000	2 000
Серія 1	6,2	6,0	5,8	5,6	5,0
Серія 2, Серія 3	4,9	4,8	4,7	4,4	4,0

Рис. 2.24. Схема випробувань електромеханічних комутаційних апаратів на здатність витримувати імпульсні перенапруги: 1 – генератор імпульсів (impulse generator); 2 – кліматична камера (climatic cabinet); 3 – зразок для випробувань (test specimen); 4 – цифровий запам'ятовувальний осцилограф (digital storage oscilloscope); 5 – комп'ютер (computer); 6 – ультрафіолетове підсвічування (UV illumination); 7 – високовольтний щуп (high voltage probe); 8 – шина даних (data-bus).



Крім здатності витримувати імпульсні перенапруги, для апаратів низької напруги, придатних до роз'єднання, стандарт ІЕС 60947-2 встановлює також вимоги щодо струму витоку через контакти, що знаходяться у розімкненому стані. Згідно з цими вимогами, при напрузі $1,1 \cdot U_e$, де U_e – номінативна робоча напруга (rated operational voltage), цей струм не повинен перевищувати 0,5 мА на кожний полюс нового апарата та 2 мА на кожний полюс апарата, який вже здійснював операції вмикання та відмикання згідно з умовами випробувань, що встановлюються стандартом на відповідний апарат. Струм витоку у 6 мА при $1,1 \cdot U_e$ є граничним значенням для апаратів, придатних до роз'єднання і не може перевищуватися за будь-яких обставин.

Апарати, придатні до роз'єднання, мають забезпечувати еквівалент основної ізоляції, тобто гарантувати такі ж ізоляційні властивості, як і основна ізоляція між активними частинами мережі живлення та тими частинами, до яких буде необхідно дотикатися після розведення контактів у полюсі, наприклад, з метою демонтування обладнання (рис. 2.25-а). Інакше кажучи, апарати, придатні до роз'єднання, при розімкнених контактах мають забезпечувати основний захист від ураження електричним струмом. Базовий стандарт з електробезпеки ІЕС 61140 рекомендує перевіряти здатність ізоляції апарата (зокрема, між розімкненими контактами) обмежувати струм дотику до рівня, допустимого для людини, вимірюючи струм в резисторі з опором 2000 Ом, що приєднується між двома доступними частинами (рис. 2.25-б). Цей струм не повинен перевищувати значень 0,5 мА у колах змінного струму або 2 мА у колах постійного струму.

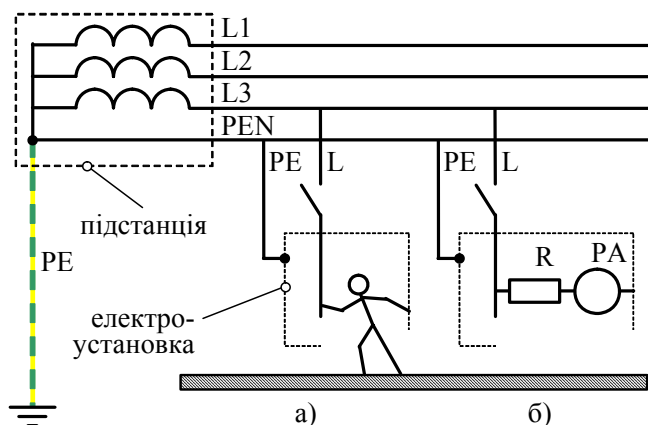


Рис. 2.25. Робота, що вимагає дотику до апарата, придатного до роз'єднання (а) та перевірка придатності до роз'єднання (б)

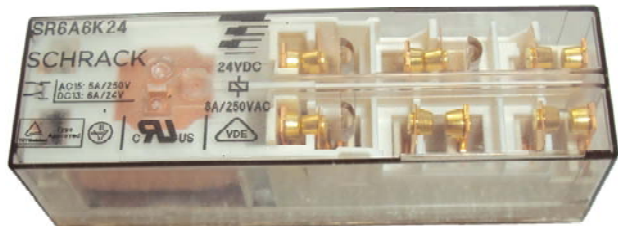
До апаратів, придатних до роз'єднання, стандарт ІЕС 60947-1 висуває вимоги щодо положення головних контактів, згідно з якими індикація положення головних контактів (замкнене чи розімкнене) повинна забезпечуватися одним чи декількома із зазначених нижче засобів: положенням актуатора; окремим механічним індикатором; видимістю рухомих контактів. Якщо корпус апарата є непрозорим, отже, рухомий

контакт не можна розгледіти ззовні, то про положення головних контактів можна судити, виходячи з положення актуатора та/або з показання механічного індикатора. Зокрема, у разі приварювання головних контактів актуатор не повинен знаходитися у положенні **О** та/або індикатор положення контактів не повинен показувати їх розімкнений стан.

Здатність до роз'єднання не слід плутати з гальванічним розділенням (galvanic separation) – запобіганням виникненню електричної провідності між двома електричними колами, призначеними для передачі енергії та/або сигналів.

У залежності від конструкції, комутаційні апарати з контактними комутаційними елементами можуть бути придатними або не придатними до роз'єднання, хоча переважна більшість таких апаратів забезпечує гальванічне розділення кіл. На рис. 2.26 наведено фото реле з високим рівнем гальванічного розділення. Виробник гарантує електричну міцність ізоляції між контактами та котушкою 4000 В (rms), між сусідніми контактними елементами – 3000 В, а між розімкненими контактами одного контактного елемента, які мають комутаційну здатність 5 А при резистивній навантазі й напрузі до 250 В змінного струму, – лише 1000 В, що не відповідає вимогам до апаратів, придатних до роз'єднання. Те ж саме стосується й деяких апаратів кіл керування. Багатополюсні апарати, призначені для роботи у силових колах, наприклад, відмикачі промислового призначення (див. п. 4.1.3) або побутового застосування (див. п. 4.1.4) згідно з вимогами профільних стандартів мають задовольняти вимогам щодо функції роз'єднання й забезпечують гальванічне розділення кіл окремих полюсів головних кіл та кіл керування.

Рис. 2.26. Електромагнітне реле, яке забезпечує гальванічне розділення кіл, але не задовольняє вимогам щодо функції роз'єднання



Апарати з напівпровідниковими комутаційними елементами зазвичай не відповідають вимогам щодо придатності до роз'єднання. Вимикання кола таким апаратом не забезпечує рівня основної ізоляції щодо здатності витримувати імпульси випробувальної напруги, хоча напівпровідникові апарати можуть забезпечувати гальванічне розділення. Наприклад, схема комутаційного апарата постійного струму, побудована за допомогою біполярного транзистора (рис. 2.27-а), не забезпечує гальванічне розділення головного кола та кола керування. На базі сучасних оптотранзисторів можна створити комутаційний апарат (рис. 2.27-б), який забезпечує гальванічне розділення головного кола та кола керування.

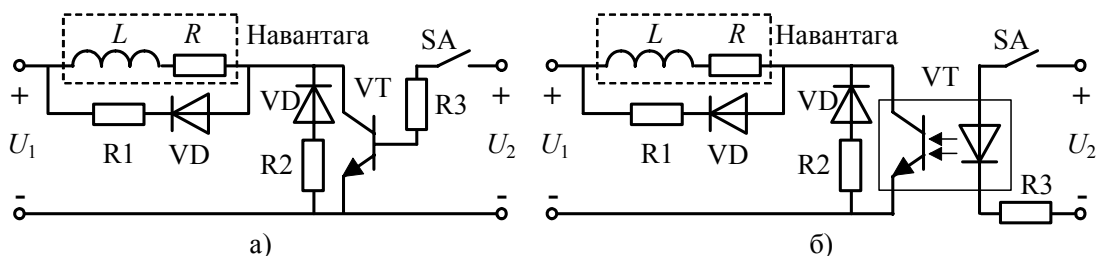


Рис. 2.27. Електричні схеми напівпровідникових комутаційних апаратів
а – без гальванічного розділення; б – з гальванічним розділенням головного кола
з напругою живлення U_1 та кола керування з напругою живлення U_2

Ще одна важлива функція, яку можуть забезпечувати електромеханічні комутаційні апарати, – це гарантована або примусова операція розмикання (positive opening operation), яка, у відповідності до визначених вимог, гарантує, що усі головні контакти будуть у розімкненому стані, коли актуатор апарата знаходиться у положенні, яке відповідає розімкненому положенню апарата.

Гарантована операція розмикання забезпечується, зазвичай, в апараті з жорстким механічним зв'язком (принаймні, у частині робочого ходу) між рухомих контактом та актуатором (рис. 2.28-а). Інакше (рис. 2.28-б), операція розмикання не гарантується (за рахунок зварення, заклинення тощо). Функція гарантованої операції розмикання є дуже важливою для апаратів з непрозорими оболонками, які мають задовольняти вимогам щодо функції роз'єднання.

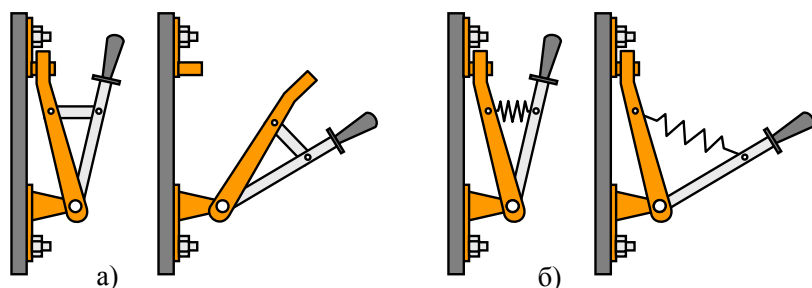


Рис. 2.28. Комутаційні апарати, що забезпечують (а) та не забезпечують (б) функцію гарантованої операції розмикання

Функція гарантованої операції розмикання є також дуже важливою для таких апаратів кіл керування як позиційні перемикачі (див. п. 4.1.7). У новітній англійській технічній літературі, зокрема, у стандарті IEC 60947-5-1, а відтак і у каталогах фірм, поряд з терміном «positive opening operation» вживається близький за змістом термін «direct opening action». Переклад терміну «direct opening action» на українську мову має адекватно характеризувати цей тип розмикання: «розмикання прямої дії». Наприклад, «control switch with direct opening action» – це «перемикач кіл керування з розмиканням прямої дії».

2.3.2. Захищеність електричної апаратури від проникнення сторонніх предметів та вологи

Вимоги щодо захищеності електричної апаратури від проникнення сторонніх предметів та вологи сформульовано в міжнародному стандарті ІЕС 60529 – ступені захисту, що забезпечуються оболонками (коди ІР).

Оболонка (enclosure) – це кожух (housing), що забезпечує тип та ступінь захисту відповідно до призначеного застосування. Серед інших призначень оболонок, дуже важливим є забезпечення захисту людей та свійських тварин від доступу до небезпечних частин й можливого ураження електричним струмом.

Згаданий стандарт містить низку визначень, важливих для розуміння призначення й сфери його застосування.

Ступінь захисту (degree of protection) – це міра захисту, що забезпечується оболонкою від доступу до небезпечних частин, від потрапляння твердих зовнішніх предметів та (або) води та яка перевіряється стандартними методами випробувань.

Код ІР (IP Code) – це система кодування, яка застосовується для позначення ступенів захисту, що забезпечуються оболонкою, від доступу до небезпечних частин, від потрапляння твердих зовнішніх предметів й води та для надання додаткової інформації, стосовно такого захисту.

Небезпечна частина (hazardous part) – це частина, наближатися до якої або торкатися якої небезпечно. Небезпечні частини стандарт поділяє на небезпечні активні частини (hazardous live parts) – частини, дотик до яких може викликати ураження електричним струмом, та небезпечні механічні частини (hazardous mechanical parts) – рухомі частини (крім гладких валів) що обертаються, яких небезпечно торкатися.

Структура коду ІР зображена на рис. 2.29.



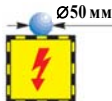
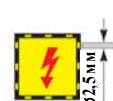
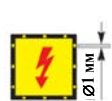
Рис. 2.29. Структура коду ІР
(літеру X записують, якщо нема необхідності нормувати характеристичну цифру)

Перша характеристична цифра вказує, що оболонка забезпечує:

- захист людей від доступу до небезпечних частин, запобігаючи або обмежуючи проникнення якої-небудь частини тіла людини або предмету, що знаходиться в руках людини;
- захист обладнання, що знаходиться всередині оболонки, від проникнення зовнішніх твердих предметів.

Значення першої характеристичної цифри коду IP наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2. Значення першої характеристичної цифри коду IP

Цифра	0	1	2	3	4	5	6
Значення для захисту апаратів	Нема захисту	Захист від проникнення твердих предметів діаметром ≥ 50 мм	Захист від проникнення твердих предметів діаметром $\geq 12,5$ мм	Захист від проникнення твердих предметів діаметром $\geq 2,5$ мм	Захист від проникнення твердих предметів діаметром $\geq 1,0$ мм	Пилозахищене виконання	Пилонепроникне виконання
Значення для захисту людей	Нема захисту	Захист від доступу тильним боком руки	Захист від доступу пальцем руки	Захист від доступу інструментом	Захист від доступу дрюгом	Захист від доступу дрюгом	Захист від доступу дрюгом
Мнемоніка							

Захист від потрапляння зовнішніх предметів передбачає, що щупи доступу (рис. 2.30-а, б) не повинні проходити через отвори в оболонці повністю. Об'єктні щупи (рис. 2.30-в, г) не повинні проникати в оболонку.

Пилозахищені оболонки (цифра 5) за певних умов можуть пропускати обмежену кількість пилу. Пилонепроникні оболонки (цифра 6) не повинні допускати проникнення будь-якого пилу.

Друга характеристична цифра означає ступінь захисту стосовно шкідливого впливу на обладнання води, яка проникає крізь оболонку. Значення другої характеристичної наведені в табл. 2.3.

Позначення другою характеристичною цифрою до 6 включно означає відповідність усім вимогам для менших цифр. Оболонки, які позначаються лише однією цифрою 7 або 8 не обов'язково повинні витримувати впливи струменів води. Якщо необхідно позначити, що обладнання здатне витримувати як занурення, так і вплив струменів, треба застосовувати подвійне кодування, наприклад IPX5/IPX8 або IPX6/IPX7 тощо.

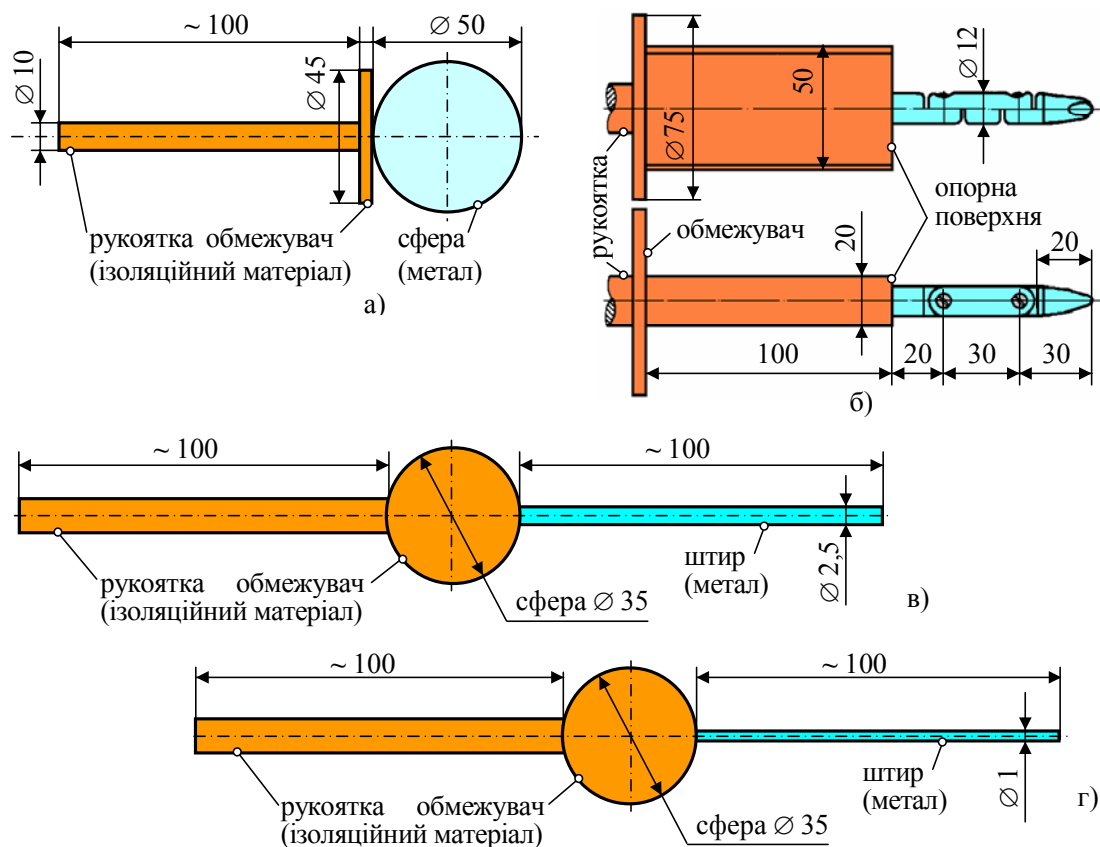


Рис. 2.30. Стандартні щупи доступу та об'єктні щупи (ІЕС 60529):

а – щуп доступу для перевірки захисту від проникнення всередину оболонки тильним боком руки; б – щуп доступу для перевірки захисту від проникнення всередину оболонки пальцем (шарнірний випробувальний палець – jointed test finger); в – об'єктний щуп для перевірки захисту від проникнення всередину оболонки інструментом; г – об'єктний щуп для перевірки захисту від проникнення всередину оболонки дротом

Таблиця 2.3. Значення другої характеристичної цифри коду ІР

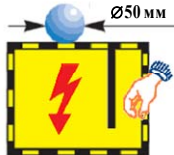
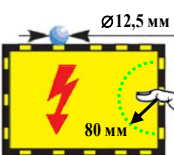
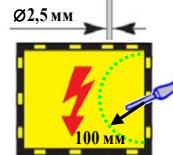
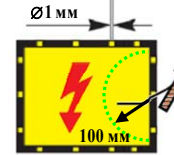
Цифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Значення для захисту апаратів	Нема захисту	Захист від вертикального падіння крапель	Захист від падіння крапель під кутом до 15°	Захист від дощу	Захист від суцільного обризкування	Захист від водяних струменів	Захист від потужних водяних струменів	Захист при тимчасовому неглибокому зануренні (до 30 хв.; 0,15 ... 1,0 м)	Захист при тривалому глибокому зануренні ($t > 30$ хв.; $h > 1,0$ м)
Мнемоніка									

Додаткова літера позначає ступінь захисту людей від доступу до небезпечних частин, й застосовується лише у випадках, коли:

- реальний захист людей від доступу до небезпечних частин є більшим ніж захист, позначений першою характеристичною літерою;
- захист людей від доступу до небезпечних частин обладнання визначено, але перша характеристична літера замінена символом Х.

Наприклад, більший захист може бути забезпечений встановленням бар'єрів, спеціальною формою отворів або за рахунок відстаней всередині оболонки. Значення додаткової літери коду IP наведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4. Значення додаткової літери коду IP

Літера	A	B	C	D
Значення для захисту людей	Захист від доступу тильним боком руки	Захист від доступу пальцем руки	Захист від доступу інструментом	Захист від доступу дротом
Мнемоніка				

Допоміжна літера, яка записується після другої характеристичної цифри або додаткової літери, позначає деяку допоміжну інформацію (табл. 2.5).

Таблиця 2.5. Значення допоміжної літери коду IP

Літера	Значення
H	Апарат (обладнання) високої напруги
M	Випробувано на шкідливі впливи проникнення води, коли рухомі частини обладнання (наприклад ротор електричної машини) рухаються
S	Випробувано на шкідливі впливи проникнення води, коли рухомі частини обладнання (наприклад ротор електричної машини) не рухаються

На закінчення цієї теми наведемо два приклади позначень кодами IP.

IP44 означає, що оболонка захищає людей, що тримають в руках дроти діаметром 1 мм та більше від доступу до небезпечних частин та захищає обладнання всередині оболонки, від проникнення сторонніх твердих предметів діаметром 1 мм та більше (перша цифра – 4), а також захищає обладнання, що знаходиться всередині оболонки, від шкідливих впливів внаслідок оббризування оболонки водою з усіх боків (друга цифра – 4).

IP23CS означає, що оболонка захищає людей від доступу до небезпечних частин пальцями та захищає обладнання від проникнення сторонніх твердих предметів діаметром 12,5 мм та більше (2); захищає обладнання, що знаходиться всередині оболонки, від шкідливих впливів води у вигляді дощу (3); захищає людей, що тримають в руках інструмент діаметром 2,5 мм та більше й довжиною до 100 мм від доступу до небезпечних частин (C); оболонка випробувана на шкідливі впливи проникнення води, коли всі рухомі частини обладнання всередині оболонки не рухалися (S).

ВИМОГИ ДО ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ. УМОВИ РОБОТИ. ПОЗНАЧЕННЯ ТА МАРКУВАННЯ

3.1. Вимоги до електричних апаратів

3.1.1. Класифікація вимог до електричних апаратів

Величезну кількість вимог до електричних апаратів можна поділити на дві групи: 1) вимоги щодо безпеки та 2) експлуатаційні вимоги.

Сукупність вимог щодо безпеки (безпечності конструкції) електричних апаратів можна також поділити на дві групи: 1) вимоги щодо запобігання створенню небезпечних ситуацій для людей, майна й довкілля та 2) вимоги щодо запобігання утворенню перешкод для нормальної роботи інших елементів системи, у якій апарат працює. Перелік вимог зазначених двох груп наведено нижче.

Вимоги щодо запобігання небезпеки для людей, майна й довкілля

- застосування обладнання відповідного класу захисту;
- застосування оболонок;
- застосування блокувальних пристроїв;
- попередження травмування іскрою та дугою;
- попередження опіків при дотиках до нагрітих частин;
- попередження травмування рухомими частинами;
- пожежна безпечність;
- вибухобезпечність;
- запобігання утворенню шкідливих хімічних сполук, аерозолів;
- запобігання утворенню дискомфортних умов.

Вимоги щодо запобігання утворенню перешкод для нормальної роботи інших елементів системи, у якій апарат працює

- запобігання утворенню комутаційних перенапруг;
- запобігання утворенню електромагнітних перешкод;
- запобігання утворенню механічних перешкод;
- запобігання впливу на форму струму у мережі;
- запобігання зниженню коефіцієнту потужності – $\cos \varphi$.

Сукупність експлуатаційних вимог до електричних апаратів можна також поділити на дві групи: 1) загальні вимоги, які висуваються до всіх апаратів та 2) специфічні вимоги до різних типів апаратів, що висуваються відповідними профільними стандартами. Перелік вимог зазначених двох груп наведено нижче. При цьому специфічні вимоги представлені лише деякими прикладами з огляду на різноманітність електричних апаратів за призначенням та застосуванням.

Загальні експлуатаційні вимоги до електричних апаратів

До електричних апаратів висувається низка вимог щодо їх експлуатаційних властивостей, а саме:

- надійності;
- ремонтпридатності;
- зручності монтування та демонтування;
- зручності оперування;
- ізоляції, відстаней витоків та зазорів;
- експлуатаційних витрат;
- компактності, трудомісткості та матеріаломісткості;
- естетичності конструкції;
- працездатності у різних кліматичних умовах та умовах розміщення;
- працездатності в умовах механічних впливів.

Специфічні експлуатаційні вимоги до окремих груп електричних апаратів (приклади)

Ці вимоги висуваються профільними стандартами на конкретні види електричних апаратів. Наведемо декілька прикладів таких вимог:

- висока механічна та електрична зносостійкість (для реле та контакторів);
- струмообмежувальна здатність (для окремих видів відмикачів та запобіжників);
- здатність до відмикання коротких замикань (для запобіжників та окремих видів відмикачів);
- здатність витримувати наскрізні струми коротких замикань впродовж визначеного часу (вимикачі, роз'єднувачі, перемикачі уземлення тощо);
- визначена форма часо-струмової характеристики (для окремих видів реле, а також відмикачів та запобіжників);
- чутливість (для окремих видів реле, а також відмикачів, керованих різницевиими струмами).

Деякі експлуатаційні вимоги, що висуваються до окремих видів апаратів будуть розглядатися у четвертій главі даного посібника при розгляді відповідних апаратів.

3.1.2. Вимоги щодо безпечності конструкцій електричних апаратів

Розглянемо ці вимоги у послідовності, наведеній в п. 3.1.1.

Вимоги щодо запобігання небезпеки для людей, майна й довкілля

Застосування обладнання відповідного класу захисту

Базовий міжнародний стандарт з електробезпеки ІЕС 61140 встановлює для електрообладнання чотири класи захисту від ураження електричним струмом (див. п. 2.1.3).

Відкриті струмопровідні частини (exposed-conductive-part) обладнання класу 0 не мають терміналів уземлення, це обладнання є найбільш небезпечним, але нажаль достатньо розповсюдженим серед побутових приладів (рис. 3.1-а). ІЕС передбачає у майбутньому вилучити цей клас з міжнародної стандартизації.

Відкриті струмопровідні частини обладнання класу I мають бути приєднані до системи зрівнювання потенціалів за допомогою терміналу, розташованому на цій частині й позначеному спеціальним символом (рис. 3.1-б), або за допомогою вилок й розеток ЩУКО (рис. 3.1-в). Обладнання класу I забезпечує захист при пошкодженнях у разі непрямих дотиків.

Основний захист та захист при пошкодженнях в обладнанні класу II забезпечується виключно ізоляцією – основною разом із додатковою або посиленою. Обладнання класу II зазвичай не має відкритих струмопровідних частин й відповідно не має терміналів для уземлення цих частин (рис. 3.1-г, ліворуч). Для позначення обладнання класу II застосовується спеціальний символ.

Обладнання класу III слід вважати найбільш безпечним, оскільки напруга в ньому обмежується рівнем наднизької напруги (extra-low voltage; ELV), тобто до 50 В змінного струму (rms значення між лінійним провідником та землею або між лінійними провідниками) та до 120 В постійного струму (ІЕС 60449). Обладнання класу III має бути позначене спеціальним символом (рис. 3.1-г), за винятком, коли воно приєднується до джерела наднизької напруги системи SELV або PELV* (SELV system; PELV system). Особливості захисту за допомогою систем SELV та PELV визначені в ІЕС 61140.

Особливості SELV системи:

- обмеження напруги в колі SELV системи рівнем наднизької напруги;
- захисне розділення (наприклад, подвійною ізоляцією, посиленою ізоляцією або захисним екрануванням) кола SELV системи стосовно усіх кіл, крім інших SELV кіл та PELV кіл;

* SELV – це абревіатура, яка позначає безпечну наднизьку напругу (safety extra low voltage), а PELV – абревіатура, яка позначає захисну наднизьку напругу (protective extra low voltage).

- просте розділення (за допомогою тільки робочої ізоляції) кола SELV системи стосовно інших SELV кіл, PELV кіл та землі.

Безпечність SELV систем забезпечується наднизькою напругою, низьким рівнем ризику випадкового контакту з частинами, що знаходяться під більш високою напругою та відсутністю зворотного кола через землю, який підтримував би струм у разі контакту людини з активними провідниками. Устрій SELV кіл зазвичай передбачає наявність ізолювального трансформатора, гарантованої мінімальної відстані між провідниками, а також захисних електричних бар'єрів. Електричні з'єднувачі SELV кіл мають бути побудовані так, щоб вони не могли бути сполучені із з'єднувачами, призначеними не для SELV кіл. Типовим прикладом SELV системи є побутовий апарат класу III (рис. 3.1-г, праворуч), який живиться від джерела живлення класу II (рис. 3.1-г, ліворуч).

Особливості PELV системи:

- обмеження напруги в колі PELV системи рівнем наднизької напруги;
- електричне захисне розділення PELV кола стосовно усіх кіл, крім інших SELV кіл та PELV кіл.

На відміну від кіл SELV систем, кола PELV систем можуть бути зв'язані з іншими колами SELV систем, PELV систем та землею. Типовим прикладом PELV системи є стаціонарний комп'ютер, в якому застосовуються наднизькі напруги, з джерелом живлення класу I.



Рис. 3.1. Приклади обладнання різних класів захисту:

а – побутовий прилад класу 0; б – термінал уземлення апарата класу I та його позначення згідно з ІЕС 60417, 5019; в – побутовий прилад з вилкою ЩУКО, який стає приладом класу I лише при його приєднанні до розетки ЩУКО, захисний контакт якої приєднаний до РЕ провідника; г – побутовий прилад класу III та відповідне позначення (праворуч), а також його джерело живлення класу II та відповідне позначення

Розглянуті положення базового стандарту з електробезпеки слід у повній мірі застосовувати до електричних апаратів. Зокрема, слід уникати застосування апаратів, які можуть бути віднесені до обладнання класу 0, а якщо апарат має відкриті струмопровідні частини, вони обов'язково мають бути електрично з'єднані між собою та приєднані до терміналу уземлення, позначеного відповідним символом.

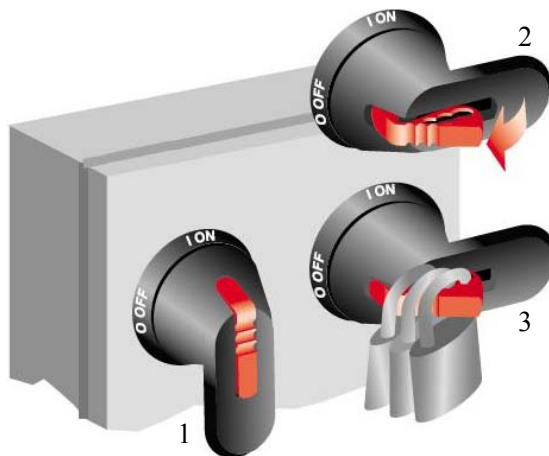
Застосування оболонок та блокувальних пристроїв

Застосування оболонок є ефективним засобом електробезпеки. Підвищуючи рівень IP (див. п. 2.3.2), оболонка не тільки захищає апарати, розміщені всередині неї, а й відвертає можливості прямих дотиків. Оболонки, виконані з ізоляційних матеріалів (див. рис. 4.36), надають апаратурі властивостей обладнання класу II, а оболонки, виконані зі струмопровідних матеріалів, для запобігання ураженню електричним струмом при непрямих дотиках у разі пошкодження ізоляції, обов'язково мають бути електрично з'єднані з відкритими струмопровідними частинами апаратів та елементів конструкцій, розташованих всередині оболонки, і мати термінал уземлення, розміщений на видному місці й позначений відповідним символом.

Безпечність розподільних пристроїв у вигляді металевих шаф або окремих апаратів, розміщених в оболонках, суттєво підвищують блокувальні пристрої, які відвертають прямі дотики. Наприклад, застосування спеціального актуатора, який розміщується на дверцях оболонки (рис. 3.2) й за допомогою якого здійснюється оперування увідного комутаційного апарата, розміщеного всередині оболонки, забезпечує блокування відкриття дверець у двох випадках: 1) коли актуатор знаходиться у положенні **I** (ON), що відповідає замкненому положенню увідного апарата, та 2) коли актуатор знаходиться у положенні **O** (OFF), що відповідає розімкненому положенню увідного апарата, але при цьому відкидається важіль червоного кольору на актуаторі і в його отвори вставляються висячі замки (один чи декілька – для надійності). У першому випадку блокування відкриття дверець унеможливорює прямі дотики, а у другому випадку актуатор не тільки блокує відкриття дверець, а й можливість ввімкнути увідний апарат, що робить можливі ремонтні роботи набагато безпечнішими, ніж у випадку, коли на актуатор вішають табличку «НЕ ВМИКАТИ, ПРАЦЮЮТЬ ЛЮДИ».

Рис. 3.2. Актуатор, який забезпечує блокування дверець, які можна відкрити лише у положенні **O** (OFF):

- 1 – актуатор знаходиться у положенні **I** (ON), на що вказує важіль червоного кольору, й блокує відкриття дверець;
- 2 – актуатор знаходиться у положенні **O** (OFF) й дверці можна відкрити, але лише у випадку, коли важіль заглиблено в рукоятку актуатора, а при відкинутому важелі відкриття дверець заблоковано;
- 3 – в отвори важеля вставлені висячі замки для блокування вмикання увідного апарата й відкриття дверець



Попередження травмування рухомими частинами

Апарати з доступними рухомими частинами, які можуть травмувати людину (наприклад, контактори, зображені на рис. 4.34 та 4.35), мають експлуатуватися лише у закритих металевих шафах. Конструкції апаратів, які можуть експлуатуватися в інших умовах (наприклад, контактор, зображений на рис. 3.3-а), не повинні мати доступних рухомих частин.

Пожежна безпеність

Пожежна безпека (як стан) будь-якого об'єкту в Україні регулюється вимогами стандарту ГОСТ 12.1.004-85 (Система стандартів безпеки праці. Пожарная безопасность. Общие требования). Згідно з цим стандартом пожежна безпека має забезпечуватися: 1) системою попередження пожежі; 2) системою протипожежного захисту та 3) організаційно-технічними заходами.

Пожежна безпеність електричних апаратів є невід'ємною складовою системи попередження пожежі, яка складається з 1) попередження утворення горючого середовища та 2) попередження утворення джерел займання. Зазначені чинники мають безпосереднє відношення до електричних апаратів, попередження утворення горючого середовища в яких має забезпечуватися 1) застосуванням матеріалів, що не підтримують горіння; 2) обмеженням маси та об'єму горючих матеріалів та 3) ізоляцією (локалізацією) горючого середовища.

Матеріали або компоненти, що не підтримують горіння (non-flame propagating component) – це компоненти, які можуть займатися в результаті прикладення зовнішнього полум'я, але у яких полум'я не розповсюджується та які гасять самі себе впродовж обмеженого часу після віддалення полум'я. В електричних апаратах та суміжному обладнанні мають застосовуватися саме такі матеріали та компоненти. Дія полум'я на компонент (матеріал), що не підтримує горіння зображена на рис. 3.4.



Рис. 3.4. Дія полум'я на компонент (ізоляційну оболонку), що не підтримує горіння: а – зовнішнє полум'я підводиться до оболонки; б - зовнішнє полум'я прикладається до оболонки, оболонка займається; в – полум'я відводиться від оболонки, оболонка згасає.

Маса та об'єм горючих матеріалів, які у разі необхідності застосовуються в електричних апаратах, мають бути обмежені, а горюче середовище – ізольовано (локалізовано).

Попередження утворення джерел займання в електричних апаратах забезпечується: 1) застосуванням надійної ізоляції (для запобігання виникненню коротких замикань, внаслідок яких можуть виникати пожежі); 2) застосуванням надійних контактних з'єднань як всередині апаратів, так і в їх терміналах (для запобігання їх надмірного нагрівання та / або іскріння); 3) локалізацією або обмеженням дії електричної дуги, яка може бути джерелом займання; 4) застосуванням надійних полум'ягасників на виході дугогасних пристроїв; 5) застосуванням протипожежних відмикачів, керованих різницевиими струмами, що реагують на небезпечні струми витоку, які можуть бути джерелами займання.

Вибухобезпечність

Електрична дуга або іскра є невід'ємними супутниками електро-механічних комутаційних апаратів, тому, якщо апарат має застосовуватися у вибухонебезпечному середовищі, його необхідно помістити у спеціальну вибухозахисну оболонку (рис. 3.5).

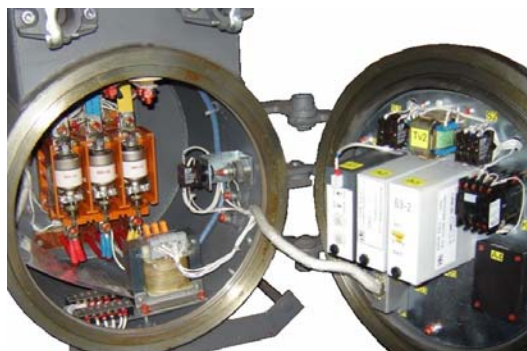


Рис. 3.5. Вакуумний контактор та допоміжні апарати у вибухозахисній оболонці

Запобігання утворенню шкідливих хімічних сполук, аерозолів

Донедавна в комутаційних апаратах, зокрема у контакторах, широко застосовувалися металокерамічні контакти марки КМК-А10 (85% срібла та 15% оксиду кадмію), які мають унікальну дугогасну здатність, стабільність контактного опору, а також відносно високу стійкість до ерозії та зварювання. Цей чудовий контактний матеріал багато років застосовувався в електричних контактах по всьому світі. Але, враховуючи, що під час горіння дуги він виділяє в аерозольній формі кадмій, який є надзвичайно токсичним, зараз його застосування в електричних апаратах фактично заборонено як в Європі, так і в Україні (див. п. 1.2.3). Те ж саме стосується й ізоляційних матеріалів на основі фенолформальдегідних смол.

Запобігання утворенню дискомфортних умов

Під дискомфортними умовами слід розуміти такі шкідливі для людей явища як шум, вібрацію, шкідливі високочастотні поля та випромінювання. Зокрема, однією з перешкод застосування вакууму як дугогасного середовища в комутаційних апаратах високої напруги є рентгенівське випромінювання, яке виникає при напругах 110 кВ та вище.

Вимоги щодо запобігання утворенню перешкод для нормальної роботи інших елементів системи, у якій апарат працює

Запобігання утворенню комутаційних перенапруг

Комутаційні перенапруги, які виникають внаслідок надмірно швидкого зменшення струму при відмиканні струмів короткого замикання та внаслідок ефекту зрізу струму, можуть бути суттєво зменшені за рахунок застосування спеціальних контактних матеріалів, а також за рахунок застосування обмежувачів імпульсних виплесків (surge arrester; SA).

Запобігання утворенню електромагнітних перешкод та стійкість до них

Запобігання утворенню електромагнітних перешкод та стійкість до них слід розглядати в контексті електромагнітної сумісності (electromagnetic compatibility; EMC) як здатності обладнання або системи задовільно функціонувати у власному електромагнітному оточенні, не створюючи неприпустимих електромагнітних перешкод будь-чому в цьому оточенні. Електричні апарати не повинні створювати неприпустиме електромагнітне випромінювання (electromagnetic emission) – явище, відповідно до якого електромагнітна енергія походить від джерела. Окремим випадком електромагнітного випромінювання є електромагнітна радіація (electromagnetic radiation) – явище, відповідно до якого енергія потрапляє у простір у вигляді електромагнітних хвиль. Іншим аспектом електромагнітної сумісності є стійкість до збурень (immunity to a disturbance) – здатність пристрою, обладнання або системи функціонувати без погіршення характеристик за наявності електромагнітного збурення (electromagnetic disturbance).

Нормативи щодо неприпустимих рівнів височастотних або імпульсних випромінювань встановлюються міжнародними стандартами групи ІЕС 61000. Електромеханічні апарати, зазвичай, не створюють неприпустимих випромінювань та не погіршують своїх характеристик за наявності електромагнітних збурень у власному електромагнітному оточенні. Втім, в електромеханічних апаратах, які містять у своєму складі напівпровідникові прилади (в пристроях керування тощо) мають здійснюватися заходи щодо обмеження випромінювання та забезпечення необхідної стійкості до зовнішніх електромагнітних збурень. При відносно невисоких частотах ефективно обмеження випромінювання пристроїв керування тощо та їх захист від зовнішніх збурень забезпечують звичайні металеві (сталеві) екрани.

Запобігання утворенню механічних перешкод

Електромеханічні комутаційні апарати містять рухомі частини, тому спрацьовування апарата супроводжується ударами та вібрацією. Конструкція апарата має передбачати заходи щодо обмеження інтенсивності ударів та вібрацій з метою зменшення перешкод для нормальної роботи інших елементів системи, у якій апарат працює.

Запобігання впливу на форму струму у мережі

Електромеханічні апарати, зазвичай, не впливають на форму струму в головних колах, оскільки падіння напруги на комутаційних контактних елементах не перевищує декількох десятків мілівольт. Втім, апарати з електромагнітними приводами можуть суттєво впливати на форму змінного струму в колах керування, оскільки котушки електромагнітів завдяки феромагнітним сердечникам набувають нелінійних властивостей, а відтак в мережі з'являються вищі гармоніки струму. Нормативи щодо гармонічного складу струму наводяться в міжнародному стандарті ІЕС 60555. Якщо склад гармонік не відповідає вимогам зазначеного стандарту, в колі керування апарата слід передбачити застосування пристроїв заглушення вищих гармонік (фільтрів вищих гармонік).

Запобігання зниженню коефіцієнту потужності – $\cos \varphi$

Електромеханічні апарати, зазвичай, не знижують у головному колі коефіцієнт потужності, значення якого визначається виключно опором та індуктивністю навантаги, оскільки опір та індуктивність головного кола апарата на декілька порядків менші за опір та індуктивність навантаги. Натомість коефіцієнт потужності кола керування комутаційного апарата з електромагнітним приводом змінного струму залежить лише від опору та індуктивності обмотки електромагніта. У переважній більшості електромагнітів змінного струму коефіцієнт потужності знаходиться в інтервалі 0,1 ... 0,3. У цьому випадку для підвищення коефіцієнту потужності слід застосовувати ємнісні компенсатори – конденсатори, які підключають паралельно обмоткам електромагнітів. Застосування таких компенсаторів, збільшуючи коефіцієнт потужності, суттєво зменшує струм I , який тече у лінії, що живить коло керування апарата, лишаючи незмінним струм I_L в обмотці (рис. 3.6). Хоча шунтування конденсаторами обмоток електромагнітів зустрічається рідко, але цей спосіб має широке застосування для збільшення $\cos \varphi$ потужних індуктивних навантаж, що дозволяє суттєво розвантажити лінії живлення їх головних кіл або підключити до існуючих ліній додаткові навантаги, не перевантажуючи лінії.

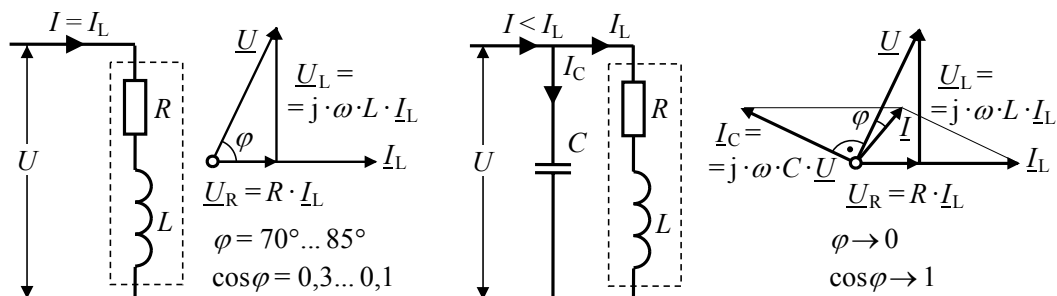


Рис. 3.6. Збільшення коефіцієнту потужності шунтуванням індуктивних навантаж конденсаторами

3.1.3. Загальні експлуатаційні вимоги до електричних апаратів

Розглянемо ці вимоги у послідовності, наведеній в п. 3.1.1.

Вимоги щодо надійності

Враховуючи надзвичайно важливі функції електричних апаратів (розподілення електричної енергії, керування обладнанням, захист людей, тварин, майна й довкілля), їх надійність слід розглядати як одну з найважливіших властивостей апарата. Під надійністю (dependability; надежность) розуміють властивість об'єкту зберігати в часі у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати очікувані функції в заданих режимах й умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування. Даний термін застосовується лише для загальної, не кількісної характеристики об'єкту (низька надійність, висока надійність). Насправді ж надійність є комплексною властивістю, яка в залежності від призначення об'єкту та умов його застосування може включати такі чинники, як безвідмовність (reliability), довговічність (durability), ремонтпридатність (maintainability), забезпеченість (зручність, доступність) технічного обслуговування (maintenance support performance) та їх поєднання.

Зазначені чинники можуть розглядатися як кількісні показники. Наприклад, безвідмовність якісно характеризується як властивість об'єкту безперервно зберігати працездатний стан впродовж деякого часу або наробку. У той же час безвідмовність має низку кількісних характеристик, зокрема вірогідність безвідмовної роботи, μ -відсотковий наробок до відмови тощо.

Для експериментального визначення показників надійності електричних апаратів необхідно проводити довготривалі (від декількох місяців до декількох років) випробування великої кількості зразків даного типу (від декількох сотень до декількох тисяч). Такі випробування реально проводяться провідними виробниками відносно дешевих масових апаратів. Якщо ж апарат коштує декілька тисяч доларів чи євро, очікувати, що виробник буде проводити подібні випробування – марно. Застосовуючи такі апарати, слід покладатися на авторитет виробника, його досвід, стабільність технології, якість технологічного обладнання, відгуки споживачів тощо.

Вимоги щодо ремонтпридатності

Ремонтпридатність – один з чинників надійності, сутність якого полягає у пристосованості до підтримки та відновлення працездатного стану будь-якого технічного об'єкту за рахунок технічного обслуговування та ремонту. Ремонтпридатність електричного апарата або комплектного пристрою передбачає: 1) можливість швидкої заміни в комплектному пристрої апарата або якоїсь іншої частини, що вийшли з ладу, у тому числі під напругою та 2) можливість швидкої заміни в апараті складових частин, що зносилися або вийшли з ладу, на запасні.

Прикладом високого рівня ремонтпридатності є розподільна система Kabeldon (п. 4.4.1). Ця система дозволяє проводити заміну комутаційних апаратів за лічені хвилини й цілком безпечно робити це під напругою.

Можна навести й приклад протилежного характеру. Ще не так давно ремонтпридатність топких вставок запобіжників розглядалася як їх перевага. На багатьох великих заводах працювали дільниці, які здійснювали ремонт топких вставок. Але ж топка вставка, яка виконує надзвичайно важливу функцію захисту мереж від надструмів та їх наслідків, – це пристрій, який не можна випробувати, не зруйнувавши його. Тому довіряти захисним властивостям запобіжників та їх основним елементам – топким вставкам можна лише тоді, коли їх виробництво здійснюється на спеціалізованих заводах, оснащених досконалим технологічним обладнанням в умовах суворого технологічного контролю, у тому числі й вхідного контролю якості матеріалів. Такі можливості на непрофільних заводах відсутні, тому характеристики реставрованих топких вставок можуть спричинити серйозні аварії, якщо топка вставка не спрацює, коли вона повинна спрацювати, або несанкціоновану зупинку виробництва й недовипуск продукції, якщо топка вставка спрацює, коли вона не повинна спрацьовувати.

Вимоги щодо зручності монтування та демонтування

Ці вимоги тісно пов'язані з ремонтпридатністю, оскільки заміна апарата передбачає швидке демонтування апарата, що вийшов з ладу, та швидке монтування нового апарата. Наприклад, застосування DIN рейок (п. 4.1.4) суттєво прискорює механічне монтування апаратів, а застосування втичних та викатних конструкцій (п. 4.1.3) поєднує в одній операції механічне монтування/демонтажу та електричне приєднання/від'єднання.

Вимоги щодо зручності оперування

Комутаційні апарати з неелектричним керуванням в залежності від номінативного струму можуть мати актуатори різних конструкцій, сила зовнішнього впливу до якого прикладається дією одного пальця оператора, двох пальців, однієї руки, двох рук або ноги. Стандарт IEC 60947-1 надає рекомендації щодо меж сили оперування при тестуванні таких апаратів (табл. 3.1). Отже, сила оперування має бути меншою за нижню межу тестової сили.

Таблиця 3.1. Рекомендовані значення сили оперування у залежності від типу актуатора та типу оперування при тестуванні апаратів з ручним керуванням

Тип актуатора (за рис. 3.7) та тип оперування	Нижня межа сили Н	Верхня межа сили Н
(а) одним пальцем, кнопка	50	150
(b) одним пальцем, важіль	50	150
(c) двома пальцями	100	200
(d, e) однією рукою	150	400
(f, g) двома руками	200	600

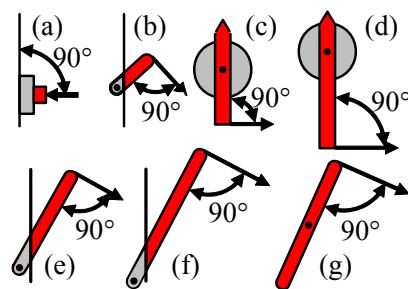


Рис. 3.7. Типи актуаторів з ручним керуванням

Вимоги щодо ізоляції, відстаней витоку та зазорів

Струмопровідні частини електричних апаратів ізолювані між собою повітряними проміжками (в апаратах з повітряною ізоляцією) та проміжками, створеними твердими ізоляційними матеріалами. Базовий міжнародний стандарт з координації ізоляції IEC 60664-1 визначає це поняття (insulation co-ordination) як взаємну кореляцію ізоляційних властивостей електричного обладнання з урахуванням можливого мікро-оточення та зовнішніх впливів. Мікро-оточення (micro-environment) – це безпосереднє оточення ізоляції, яке суттєво впливає на визначення зазорів та відстаней витоку.

Зазор (clearance) – це відстань у повітрі між двома струмопровідними частинами вздовж найкоротшої лінії між цими частинами, а відстань витоку (creepage distance) – це найкоротша відстань по поверхні ізоляційного матеріалу між двома струмопровідними частинами. Деякі приклади (IEC 60947-1) визначення зазорів між струмопровідними деталями, які змонтовані на ізоляційних частинах апаратів, наведено на рис 3.8-а, а приклади визначення відстаней витоку – на рис. 3.8-б.

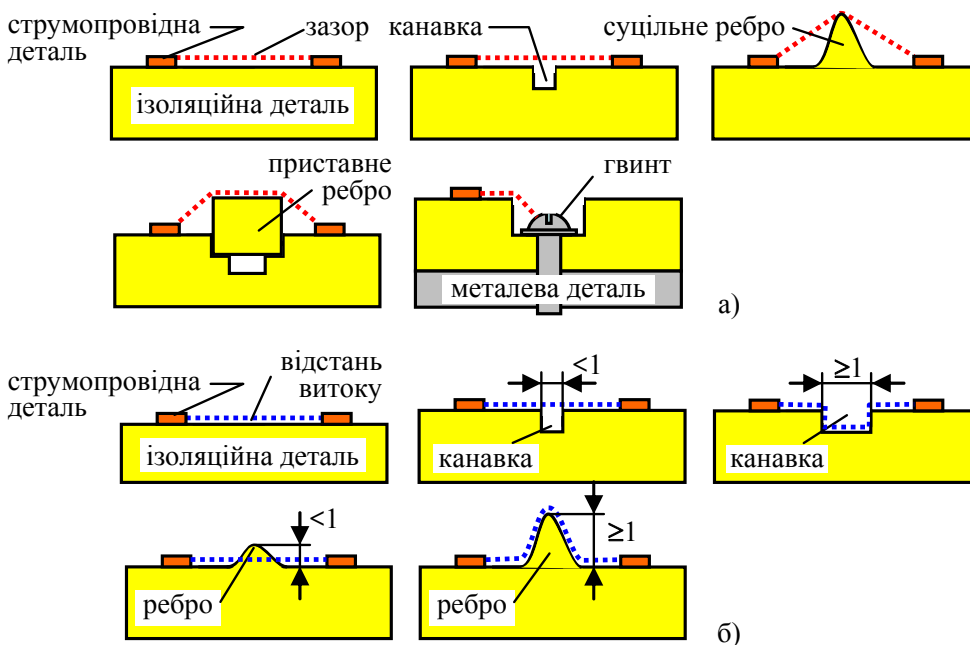


Рис. 3.8. Деякі приклади визначення зазорів між струмопровідними частинами електричних апаратів (а) та відстаней витоку між ними (б)

Значення зазорів та відстаней витоку міжнародні стандарти, зокрема IEC 60947-1, ставлять у залежність від ступеня забруднення мікрооточення, номінативної напруги ізоляції, номінативної імпульсної витримуваної напруги та номеру групи, до якої відноситься ізоляційний матеріал.

Забруднення (pollution) – це будь-яка домішка сторонньої речовини, твердої, рідкої або газоподібної, яка може викликати стійке зниження

електричної міцності діелектрика або поверхневого питомого опору ізоляції, а ступінь забруднення (pollution degree) – числова характеристика очікуваного забруднення мікрооточення:

- ступінь забруднення 1: без забруднення або тільки із сухими неструмопровідними забрудненнями;
- ступінь забруднення 2: у нормальних умовах спостерігаються тільки неструмопровідні забруднення, проте є можливою тимчасова провідність внаслідок конденсації;
- ступінь забруднення 3: можливі струмопровідні забруднення або сухі неструмопровідні забруднення, які можуть стати струмопровідними внаслідок очікуваної конденсації;
- ступінь забруднення 4: забруднення зумовлює стійку провідність внаслідок, наприклад, струмопровідного пилу, дощу або снігу.

Номінативна напруга ізоляції (rated insulation voltage; U_i) – це середньоквадратичне значення витримуваної напруги, призначене виробником для апарата, що характеризує здатність його ізоляції довгочасно витримувати певну тестову напругу. Якщо апарат має декілька номінативів (рейтингів) робочої напруги, то номінативна напруга ізоляції не повинна бути меншою за найбільший номінатив робочої напруги. Наприклад, якщо виробник апарата призначає для нього три номінативи робочої напруги – 380, 550 та 690 В, то номінативна напруга ізоляції не повинна бути меншою, ніж 690 В. Насправді ж апарат повинен витримувати більші значення напруги – не менше тестової напруги, визначеної в стандарті ІЕС 60947-1. Ці значення наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2. Значення тестової АС напруги у залежності від номінативної напруги ізоляції

Номінативна напруга ізоляції, U_i , В	≤ 60	60 ... 300	300 ... 690	690 ... 800	800 ... 1000
Тестова напруга, В	1000	1500	1890	2000	2200

Базовий стандарт з координації ізоляції поділяє всі ізоляційні матеріали органічного походження на чотири групи: I, II, IIIa та IIIb. Критерієм віднесення ізоляційного матеріалу до певної групи є стійкість до трекінгу (tracking) – прогресуючого утворення струмопровідних каналів, що виникають на поверхні твердого ізоляційного матеріалу під спільним впливом електричного поля та електролітичного забруднення цієї поверхні. Показником стійкості до трекінгу є так званий відносний індекс трекінгу (comparative tracking index; СТІ) – значення максимальної напруги у вольтах, при якому матеріал витримує в електричному полі цієї напруги вплив 50 крапель певного випробувального розчину без пробоя. При випробуванні матеріалу щодо визначення його СТІ значення напруги змінюють кратно 25 В. Способи прикладання випробувальної напруги та склад розчину визначені у стандарті ІЕС 60112.

Значення СТІ для матеріалів вказаних чотирьох груп наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3. Значення відносного індексу трекінгу для ізоляційних матеріалів на основі органічних речовин

Група ізоляційних матеріалів	I	II	IIIa	IIIb
Значення відносного індексу трекінгу (СТІ), В	> 600	400 ... 600	175 ... 400	100 ... 175

Стандарт ІЕС 60947-1 визначає мінімальні значення зазорів між струмопровідними частинами електричних апаратів в умовах неоднорідного електричного поля у залежності від номінальної імпульсної витримуваної напруги, яка залежить від категорії перенапруги обладнання, до якого має відношення відповідний апарат (див. п. 2.3.1) та ступені забруднення мікрооточення. Відповідні мінімальні значення зазорів наведені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4. Мінімальні значення зазорів (у міліметрах) між струмопровідними частинами електричних апаратів змінного струму в умовах неоднорідного електричного поля

Ступінь забруднення	1	2	3	4
Номінальна імпульсна витримувана напруга U_{imp} , кВ	1,5	0,5	0,8	1,6
	2,5	1,5		1,6
	4,0	3,0		
	6,0	5,5		
	8,0	8,9		
	12,0	14,0		

Мінімальні значення відстаней витоку стандарт ІЕС 60947-1 визначає у залежності від номінальної напруги ізоляції, ступеню забруднення мікрооточення та групи матеріалів, до якої належить ізоляція апарата. Ці значення наведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5. Мінімальні значення відстаней витоку (у міліметрах) між струмопровідними частинами електричних апаратів змінного струму з ізоляцією на основі органічних речовин

Ступінь забрудн.	1	2				3				4			
Група матеріалів	усі	I	II	IIIa	IIIb	I	II	IIIa	IIIb	I	II	IIIa	IIIb
Номінальна напруга ізоляції апарата, U_i	250	0,56	1,25	1,8	2,5	3,2	3,6	4,0		5,0	6,3	8,0	
	320	0,75	1,6	2,2	3,2	4,0	4,5	5,0		6,3	8,0	10,0	
	400	1,0	2,0	2,8	4,0	5,0	5,6	6,3		8,0	10,0	12,5	
	500	1,3	2,5	3,6	5,0	6,3	7,1	8,0		10,0	12,5	16,0	
	630	1,8	3,2	4,5	6,3	8,0	9,0	10,0		12,5	16,0	20,0	
	800	2,4	4,0	5,6	8,0	10,0	11,0	12,5		16,0	20,0	25,0	
	1000	3,2	5,0	7,1	10,0	12,5	14,0	16,0	-	20,0	25,0	32,0	
	1250	4,2	6,3	9,0	12,5	16,0	18,0	20,0		25,0	32,0	40,0	

Примітки. 1. Матеріали групи IIIb не рекомендуються до застосування при ступені забруднення 3 та напругах понад 630 В, а також при ступені забруднення 4.
2. Для неорганічних матеріалів, наприклад, скла або кераміки, які не утворюють трекінгів, відстані витоку необов'язково повинні бути більшими, ніж відповідні зазори, але при цьому слід враховувати можливі ризики пробів.

При виборі ізоляції для апарата крім її електричних властивостей слід враховувати також її механічні та теплофізичні властивості.

Вимоги щодо експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати складаються з витрат, пов'язаних з виділенням енергії всередині апарата (втратами енергії) та витратами, пов'язаними з технічним обслуговуванням та ремонтом.

Розробка нових конструкцій апаратів має супроводжуватися заходами щодо зменшення потужності втрат. Наприклад, сучасні запобіжники промислового застосування системи NH мають потужності втрат на 30% ... 40 % менші, ніж їх попередники, відомі у нас, як запобіжники ПН2.

Електромагнітні контактори, частота спрацьовувань яких сягає 1200 циклів вмикання / вимикання за годину, мають електричну зносостійкість під дією дуги, на порядок меншу, ніж їх механічна зносостійкість, тобто контакти зношуються набагато раніше, ніж весь апарат в цілому. Відтак, конструкція контактора повинна передбачати швидко й зручну заміну контактів, а контакти мають поставлятися виробником як запасні частини. Також як запасні частини мають поставлятися інші деталі, які швидко зношуються й виходять з ладу – пружини, гнучкі з'єднання, котушки електромагнітів змінного струму, дугогасні камери тощо. Конструкція апарата повинна передбачати легку заміну з використанням звичайного слюсарного інструменту (викрутки, гайкові ключі тощо). Впровадження вакуумних або гібридних контакторів, замість контакторів з гасінням дуги у повітрі, забезпечує суттєве підвищення електричної зносостійкості, зменшення витрат на проведення заміни контактів та втрат, пов'язаних із зупинкою виробництва на час проведення таких заміни, а також втрат, пов'язаних з недовипуском продукції.

Вимоги щодо компактності, трудомісткості та матеріаломісткості

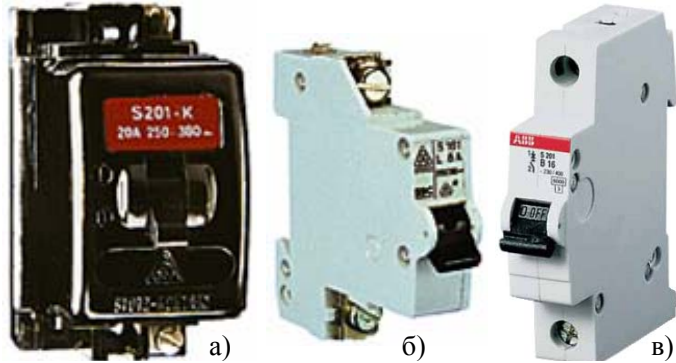
Зниження трудомісткості та матеріаломісткості електричних апаратів забезпечує економічний ефект у виробника але, хоч і непрямо, впливає й на ефект у споживача. Зокрема, зниження трудомісткості часто досягають, застосовуючи блоковість конструкції апарата, зменшуючи кількість деталей, використовуючи стандартизовані й уніфіковані деталі та складальні одиниці. Ці заходи впливають на підвищення надійності апарата й знижують експлуатаційні видатки, пов'язані з проведенням ремонтів. Зниження матеріаломісткості зазвичай призводить до зменшення розмірів апарата, а відтак, й місця, необхідного для його монтування. За рахунок цього виробник комплектних пристроїв, який є споживачем електричних апаратів, може також отримати певний економічний ефект.

Вимоги щодо естетичності конструкцій

Конкуруючи між собою, виробники звертають увагу й на естетичність конструкцій. Особливо це стосується апаратів побутового застосування (вимикачі, вилки, розетки), які становлять невід'ємну частину інтер'єру квартири або офісу. Але тенденції покращення зовнішнього

вигляду апаратів торкнулося й тих з них, які монтуються у розподільних пристроях й не впливають на естетику помешкань. З фото, наведених на рис. 3.9, можна скласти уявлення про еволюцію ставлення одного виробника (STOTZ KONTAKT) до питань безпеки, естетичного вигляду та деяких інших властивостей продукції лише за 50 років – з 1957 р. по 2007 р.

Рис. 3.9. Відмикачі для побутових електроустановок виробництва STOTZ KONTAKT:
а – 1957 р., IP00;
б – 1970 р., IP00;
в – 2007 р., IP20



Як бачимо з рис. 3.9, естетичний вигляд відмикачів з часом невпинно покращувався та покращувалася й захищеність від прямих дотиків. Крім того, постійно збільшувалася здатність до відмикання коротких замикань (п. 3.2.3). Перший відмикач, створений у 1923 р. (відомий у нас як пробка-автомат) мав здатність до відмикання 500 А, що тоді здавалося дуже великим досягненням, то з часом цей показник постійно зростав – у 1957 р. становив 3000 А, у 1970 р. – 4500 А, а зараз він доведений до 12000 А.

Вимоги щодо працездатності у різних кліматичних умовах та умовах розміщення

Електричні апарати мають працювати в різних кліматичних умовах, які мають місце в різних регіонах земної кулі – від вологих тропіків до Арктики й Антарктики. Створювати універсальні апарати, які б однаково надійно працювали в усіх цих умовах, нераціонально – вони виявилися би надто неефективними як з точки зору матеріаломісткості, так і з точки зору енергоспоживання. Тому апарати розраховують на роботу в тих кліматичних районах та умовах розміщення, де буде працювати переважна їх більшість, а для спеціальних умов випускають окремі виконання.

Стандарт ГОСТ 15150 встановлює макрокліматичне районування земної кулі, а також виконання, категорії, умови експлуатації, зберігання та транспортування відповідно до впливу різних кліматичних факторів, а також типи кліматичних виконань апаратів й для кожного з них – діапазони коливання температури та вологості повітря, а також інші кліматичні фактори: туман; іній; атмосферний тиск (висота над рівнем моря); типи атмосфери (наявність корозійно активних реагентів); інтенсивність сонячного випромінювання; інтенсивність дощу; швидкість вітру; дія соляного туману, інею; дія пилу; дія плісневих грибів. Кліматичні виконання від-

повідують групам макрокліматів, найбільш поширеними з яких є помірно-холодний (умеренно-холодный – УХЛ; Temperate Cold – TC) та тропічний (тропический – Т; Tropical – Tr). Стандарт встановлює також п'ять основних категорій розміщення апаратів: 1) експлуатація на відкритому повітрі; 2) експлуатація під навісом або у приміщенні, де коливання температури та вологості повітря несуттєво відрізняються від коливань на відкритому повітрі; 3) експлуатація у закритих приміщеннях з природною вентиляцією без штучно регульованих кліматичних умов, де коливання температури та вологості повітря суттєво менше від коливань на відкритому повітрі; 4) експлуатація у приміщеннях з штучно регульованими кліматичними умовами та 5) експлуатація у приміщеннях з підвищеною вологістю (шахти, корабельні приміщення, деякі виробничі приміщення).

Кліматичне виконання й категорію розміщення стандарт рекомендує включати в позначення апарата, наприклад, УХЛ2 або Т3.

Працездатність апарата перевіряють шляхом кліматичних випробувань, які здійснюють у спеціальних випробувальних камерах, всередині яких створюється штучний клімат – температура (холод, тепло, швидка зміна температури) вологість, імітація дощу тощо.

Вимоги щодо працездатності в умовах механічних впливів

Міждержавний стандарт ГОСТ 17516.1 встановлює загальні технічні вимоги щодо стійкості апаратів до впливу зовнішніх механічних факторів, до яких відносять 1) вібрації (вібростійкість, вібраційна міцність, резонансні частоти, сейсмостійкість); 2) удари (ударостійкість, ударна міцність, поодинокі удари, удари в упаковці при вільному падінні) та 3) лінійні прискорення і які відповідають певним умовам експлуатації.

Стандарт встановлює групи виконання апаратів за впливом зовнішніх механічних факторів – від М1 до М47. Для кожної групи, що відповідає певній галузі застосування встановлюються показники синусоїдальної вібрації (діапазон частот, Гц; максимальна амплітуда прискорення, $\text{м} / \text{с}^2$; та ступінь жорсткості – діапазон частот, амплітуда прискорення тощо), показники ударів поодинокі дії (пікове ударне прискорення у $\text{м} / \text{с}^2$; тривалість дії ударного прискорення у мс та ступінь жорсткості), а також удари багатократної дії (пікове ударне прискорення у $\text{м} / \text{с}^2$; тривалість дії ударного прискорення у мс та ступінь жорсткості).

Випробування апаратів на вплив механічних факторів здійснюються на спеціальних стендах для ударних та вібраційних випробувань, які імітують умови механічних зовнішніх впливів відповідно до групи виконання апаратів за впливом зовнішніх механічних факторів. Випробування мають підтвердити або спростувати відсутність несанкціонованих замикань або розмикань контактів апарата, а також механічну міцність його конструкції.

3.2. Умови роботи електричних апаратів

3.2.1. Нормальні умови роботи електричних апаратів

Прикметник «нормальний» виражає ознаку відповідності певним встановленим умовам, нормам, стандартам. Отже, нормальні умови роботи електричних апаратів – це умови, які встановлюються стандартами на відповідні типи апаратів, і в яких цей апарат має працювати переважну більшість часу з урахуванням кліматичних умов (температура, вологість тощо), механічних впливів, висоти над рівнем моря, ступеня забрудненості середовища, а також умов у головному колі апарата (номінальна напруга й номінальна частота мережі, межі їх коливання, режим роботи, категорія застосування тощо).

Для комутаційних апаратів та апаратів керування низької напруги, а це – велика кількість різновидів (відмикачі промислового застосування, вимикачі, роз'єднувачі, комбінації із запобіжниками, контактори, пускачі, апарати кіл керування), нормальні умови експлуатації, монтування та транспортування (normal service, mounting and transport conditions) встановлюються міжнародним стандартом IEC 60947-1.

Зазначений стандарт встановлює такі нормальні умови експлуатації.

- Температура навколишнього повітря (ambient air temperature: 6.1.1*) не повинна перевищувати $+40^{\circ}\text{C}$ та її середнє значення впродовж доби (24 години) не повинно перевищувати $+35^{\circ}\text{C}$. Граничним нижнім значенням температури навколишнього повітря є -5°C .

- Висота над рівнем моря (altitude: 6.1.2) місця встановлення апарата не повинна перевищувати 2 000 м.

- Відносна вологість повітря (humidity: 6.1.3.1) не повинна перевищувати 50 % при максимумі температури $+40^{\circ}\text{C}$. Допускається збільшення відносної вологості при нижчих температурах, наприклад 90% при $+20^{\circ}\text{C}$. У випадках виникнення конденсації внаслідок змін температури повітря можуть бути необхідними спеціальні заходи.

- Ступінь забруднення (див. п. 3.1.3) пов'язують з умовами оточення, для яких обладнання призначене. Якщо не висуваються спеціальні вимоги, для апаратів побутового та аналогічного застосування стандартним (нормальним) вважається ступінь забруднення 2, а для апаратів промислового застосування – ступінь забруднення 3.

Нормальне застосування апарата передбачає його використання відповідно до визначеної виробником для нього певної категорії застосування (utilization category), яка представляє типові сукупності практичних використання, у яких апарат виконує своє призначення (див., наприклад,

* У цьому та наступному підрозділах відсутність номеру стандарту у посиланні на певний термін означає, що джерелом, з якого взятий термін, є стандарт IEC 60947-1.

розділ 4.1 стосовно запобіжників, відмикачів промислового застосування, контакторів та апаратів кіл керування).

Нормальне застосування апарата також передбачає його використання відповідно до визначеного для нього (номінативного) режиму роботи. Стандарт ІЕС 60947-1 визначає такі можливі номінативні режими (rated duties): восьмигодинний, безперервний, переривчастий, короткочасний та періодичний.

Восьмигодинний режим (eight-hour duty) – це режим, у якому головні контакти апарата лишаються замкненими, проводячи усталений струм, достатньо довго, щоб апарат досяг теплової рівноваги (thermal equilibrium), але не більше восьми годин без переривання. Переривання означає відмикання струму шляхом оперування самим апаратом. Цей режим є характерним для апаратів керування двигунами, що приводять у дію обладнання, яке має працювати впродовж робочої зміни без вимикання (на початку зміни апарат вмикає струм, наприкінці зміни – вимикає). В таких апаратах можна застосовувати мідні контакти, оскільки електрична дуга, яка виникає при вимиканні кола, очищає контакти від оксидів й бруду, запобігаючи їх перегріванню впродовж наступної зміни.

Безперервний режим (uninterrupted duty) – це режим без будь-якого періоду відсутності навантаження, у якому головні контакти апарата лишаються замкненими, проводячи усталений струм без переривання понад восьми годин (впродовж тижнів, місяців або навіть років). Такий спосіб експлуатації відрізняється від восьмигодинного режиму, оскільки на контактах можуть накопичуватися оксиди й бруд, викликаючи поступове збільшення їх нагрівання. Для апаратів, що працюють у безперервному режимі або вводять коефіцієнт зниження (струму, потужності), або застосовують спеціальні конструктивні засоби (наприклад, срібні контакти). Цей режим характерний, наприклад, для відмикачів побутового застосування, які можуть працювати роками без переривання електричного кола.

Переривчастий режим (intermittent duty) – це режим з періодами навантаження, під час яких головні контакти апарата лишаються замкненими впродовж часу, який знаходиться у визначеному співвідношенні з періодами відсутності навантаження, причому обидва інтервали є надто малими, щоб апарат встиг досягти теплової рівноваги (усталеного теплового стану). Переривчастий режим характеризується значенням струму, тривалістю його проходження та коефіцієнтом навантаження (on-load factor; duty factor) – відношенням у відсотках тривалості періоду проходження струму до тривалості повного періоду (циклу). Стандартними значеннями коефіцієнта навантаження є 15, 25, 40 та 60 %. За кількістю циклів оперування, яке вони можуть здійснити впродовж однієї години, апарати поділяють на такі класи оперувань впродовж однієї години: 1, 3, 12, 30, 120, 300, 1200, 3000, 12000, 30000, 120000, 300000.

Електромеханічні апарати можуть мати клас 1200 та нижче. Комутаційний апарат, призначений для переривчастого режиму, може бути позначений спеціальною характеристикою цього режиму. Наприклад, якщо апарат циклічно проводить струм 100 А впродовж 2 хв. з паузами у 3 хв. (цикл – 5 хв.), то режим його роботи може бути позначений так: 100 А, class 12, 40 %. Переривчастий режим характерний, наприклад, для контакторів, які власне й призначені для здійснення частих комутацій електричних кіл.

Короткочасний режим (temporary duty) – це режим, у якому головні контакти апарата лишаються замкненими впродовж періодів, що є надто короткими для досягнення апаратом теплової рівноваги, причому періоди навантаження чергуються з періодами відсутності навантаження, які є достатньо довгими, щоб відновити рівність температури (апарата) з температурою оточення. Стандартизованими значеннями (періодів навантаження) для короткочасного режиму є 3, 10, 60 та 90 хвилин при замкнених контактах. Реальні значення періодів навантаження можуть бути набагато меншими, ніж стандартизовані значення. Прикладами таких короткочасних режимів можуть бути режими роботи котушок вмикання та вимикання контакторів з заціпками, контакти яких призначені для роботи у восьмигодинному режимі. Струм через обмотки котушок таких контакторів тече впродовж періодів, які становлять частки секунди, коли контактор вмикається та коли вимикається.

Періодичний режим (periodic duty) – це режим, у якому оперування з постійним або змінним навантаженням регулярно повторюється. Цей режим не характерний для електромеханічних комутаційних апаратів.

Часові діаграми навантаження апаратів у вказаних вище режимах зображені на рис. 3.10.

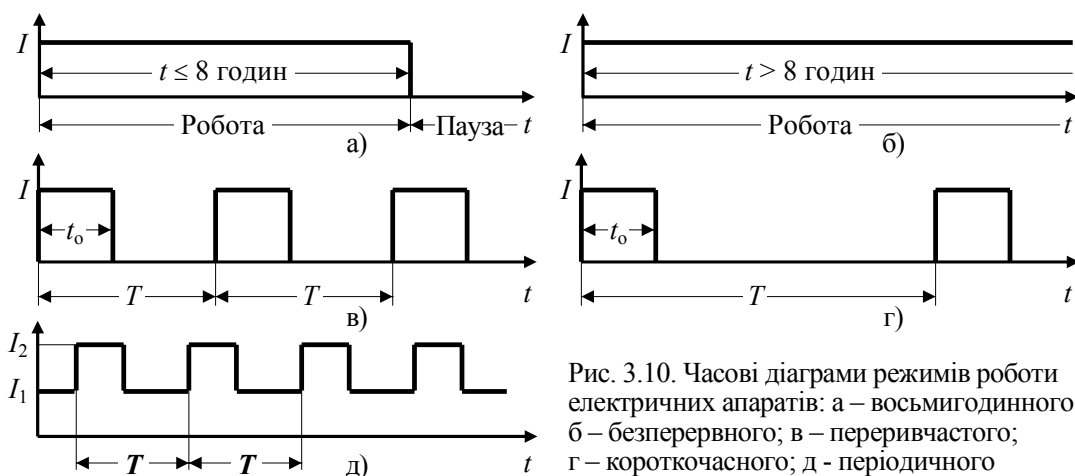


Рис. 3.10. Часові діаграми режимів роботи електричних апаратів: а – восьмигодинного; б – безперервного; в – переривчастого; г – короткочасного; д - періодичного

Нормальні умови експлуатації комутаційних апаратів стосовно їх головних кіл характеризуються номінативною робочою напругою та номінативним робочим струмом.

Номінативна робоча напруга (rated operational voltage; U_e) – це значення напруги, яке, у поєднанні з номінативним робочим струмом, визначає використання апарата та на яке орієнтуються при проведенні відповідних випробувань та встановлення категорії застосування. Номінативна робоча напруга апарата повинна відповідати номінальній напрузі джерела живлення.

Номінативний робочий струм (rated operational current; I_e) – це встановлене виробником значення робочого струму з урахуванням номінальної робочої напруги, номінальної частоти, номінативного режиму, категорії застосування та типу захисної оболонки за її наявності. Номінативна частота (rated frequency) – це частота живлення, при якій має працювати апаратура та до якої відносяться інші характеристики. Для деяких апаратів може бути призначено декілька або діапазон частот, або може бути позначено, що апарати можуть працювати як при змінному, так і при постійному струмі. Для апаратів, які здійснюють пряму комутацію головних кіл двигунів, поряд з номінативним робочим струмом або замість нього може бути вказана максимальна номінативна потужність (при певній номінативній робочій напрузі) двигуна, керування яким має забезпечувати даний апарат.

Для апаратів, призначених для роботи у безперервному режимі виробником встановлюється номінативний безперервний струм (rated uninterrupted current; I_u) – значення струму, який апарат може проводити у цьому режимі, не спричиняючи неприпустимих перевищень температури (temperature-rise) в контрольних точках.

При випробуваннях апаратів щодо визначення перевищень температури застосовують поняття умовних теплових струмів.

Умовний тепловий струм на відкритому повітрі (conventional free air thermal current; I_{th}) – це максимальне значення випробувального струму, яке застосовується при визначенні перевищень температури апаратів відкритого виконання на відкритому повітрі. Значення номінативного робочого струму апаратів відкритого виконання у восьмигодинному режимі не повинно перевищувати значення умовного теплового струму на відкритому повітрі.

Умовний тепловий струм в оболонці (conventional enclosed thermal current, I_{the}) – це встановлене виробником значення струму, який має застосовуватися при визначенні перевищень температури апаратів, змонтованих у передбачених для них оболонках. Умовний тепловий струм в оболонці не може бути більшим ніж умовний тепловий струм на відкритому повітрі.

Усі вказані вище величини відносяться до нормальних умов роботи електричного апарата.

3.2.2. Ненормальні умови роботи електричних апаратів

Ненормальні умови роботи електричних апаратів, на відміну від нормальних, діють короткочасно і пов'язані з такими чинниками як джерела займання, імпульсні виплески та ненормальні умови у головних колах.

Джерела займання можуть бути як зовнішніми (зовнішнє полум'я, розжарені металеві частини й дроти), так і внутрішніми (електрична дуга). Стійкість до займань забезпечується підбором ізоляційних матеріалів, до яких застосовують спеціальні тестові процедури: випробування на спалах (flammability test), випробування на стійкість до полум'я (flame test), випробування на стійкість до спалахнення під дією розжареного дроту (hot wire ignition test) та випробування на стійкість до спалахнення під дією дуги (arc ignition test). Матеріали, які забезпечують високу стійкість до займань добре відомі виробникам, широко представлені на ринку і виробники мають можливість застосовувати саме ці матеріали.

Одним з найнебезпечніших джерел займання є електрична дуга, яка виникає всередині апарата. Тому застосування ефективних дугогасних пристроїв (arc control device), а також надійне ізоляційне розділення (separation) полюсів сприяють суттєвому підвищенню стійкості апарата до займань.

Стійкість до імпульсних виплесків слід розглядати не тільки в контексті функції роз'єднання (див. п. 2.3.1), а й з точки зору захисту від пробоїв між полюсами, які можуть спричинити виникнення дуги між ними.

Ненормальні умови у головному колі – це зміна напрямку (reverse current) постійного струму, надмірне зниження напруги (under-voltage), виникнення струмів витoku у землю (earth leakage current), виникнення струмів пробою на землю (earth fault current), пошкодження безперервності провідника (conductor continuity fault; open circuit fault), а також виникнення надструмів (over-current) – перевантажень (overload) та коротких замикань (short circuit). Ненормальні умови у головних колах можуть викликати перегрівання струмопроводів та пов'язані з цим пожежі, або бути причиною механічного руйнування конструкцій та виходу з ладу електрообладнання. Вони можуть створити передумови ураження людей електричним струмом, а також бути наслідком дотиків людей до небезпечних струмопровідних частин.

Короткі замикання (КЗ), які виникають у зв'язку із пошкодженням ізоляції або неправильними з'єднаннями в електричних колах (див. п. 2.1), супроводжуються різким збільшенням струму (в десятки й сотні разів). При таких струмах температура провідників також дуже швидко збільшується, сягаючи пожежонебезпечних значень за лічені секунди, й навіть частки секунди. Крім того, у колах змінного струму приблизно через 10 мс після початку КЗ струм сягає пікового значення, яке приблизно у 2,5 разів

може перевищувати, середньоквадратичне (rms) значення струму КЗ в усталеному стані. Наприклад, при усталеному rms струмі 20 кА, піковий струм може сягати 50 кА. При такому струмі електродинамічні сили (сили між провідниками зі струмами) в апараті та шинопроводах можуть їх деформувати й навіть зруйнувати. Враховуючи вказані наслідки, струми КЗ треба відмикати якомога скоріше поблизу місця його виникнення, не вимикаючи гілки електричних кіл, вільні від КЗ. Таким чином, щоб не допустити проходження пікового струму, захисні апарати повинні розмикати кола потужних коротких замикань за час, що не перевищує 5 мс.

При перевантаженнях, які виникають в електрично непошкоджених колах за рахунок надмірної кількості навантаг або за рахунок механічного перевантаження електродвигунів, температура нагрівання провідників електромереж або обмоток двигунів зростає відносно повільно, але при тривалих перевантаженнях температура провідників підвищується настільки, що стає небезпечною для ізоляції, яка її оточує, й призводить до пошкодження ізоляції та короткого замикання. Отже, струми перевантаження також слід відмикати, але не одразу, щоб не переривати технологічний процес при нетривалих перевантаженнях, а з витримкою часу, яка має зворотно залежати від струму перевантаження (inverse time-delay). Ця витримка часу може становити декілька годин при струмі перевантаження, який на 20 ... 30 % перевищує значення номінативного струму захисного апарата, або не перевищувати 0,2 с, коли струм перевантаження у 10 ... 12 разів перевищує значення номінативного струму захисного апарата. При цьому слід мати на увазі, що захисний апарат (запобіжник або відмикач) буде виконувати свої захисні функції, коли його часо-струмова характеристика (див. коментарі до рис. 4.2, 4.15 та 4.21) буде розташована нижче характеристики пошкодження обладнання, отже захисний апарат спрацює раніше, ніж відбудеться пошкодження.

Слід зазначити, що апарати, призначені для комутації двигунів, мусять мати здатність витримувати пускові струми перевантаження (ability to withstand motor switching overload currents), тобто здатність витримувати теплові навантаження, що виникають під час пуску та прискорення двигуна до нормальної швидкості, а також впродовж робочих перевантажень. Такі перевантаження слід розглядати як нормальні для цих апаратів, а також і для відповідних мереж, які мають витримувати подібні перевантаження. Отже, при таких перевантаженнях електричні кола не слід відмикати від джерел живлення.

Наслідком зміни напряму постійного струму, зазвичай, буває розрядження акумуляторних батарей, які застосовуються, наприклад, для живлення електродвигунів підводних човнів. Для зарядження акумуляторів застосовують дизель-генератори. При цьому струм тече від генератора до акумулятора. Якщо генератор зупиняється, струм починає текти у зворотному

напрямі, розряджаючи акумуляторні батареї. Тому генератор слід відмикати від акумуляторів, коли зворотний струм сягне певного заданого рівня.

Надмірне зниження напруги призводить до зупинення електродвигунів, а це може викликати ряд негативних наслідків. Якщо не відімкнути від живлення двигун, який зупинився за рахунок зниження напруги, струм в його обмотках може збільшитися внаслідок відсутності проти-ЕРС, яка виникає в обмотках, лише коли ротор двигуна обертається. Отже, зниження напруги може призвести до надструмів в обмотках двигунів, їх перегрівання та виходу з ладу. Якщо ж не відімкнути від живлення двигун, який приводить у дію обладнання, що має працювати під наглядом оператора і який зупинився за рахунок не зниження, а зникнення напруги, то наслідком наступного поновлення живлення може стати руйнування обладнання й навіть травмування людей, які опинилися поруч з цим обладнанням, якщо оператор залишив його поза увагою в період простою, адже при поновленні живлення обладнання розпочне працювати без нагляду оператора. Комутаційні апарати низької напруги, які здійснюють захист обладнання від зниження напруги, згідно з ІЕС 60947-1 повинні відмикати обладнання, коли напруга знижується до рівня від 70% до 35% від номінативного значення.

Серед причин виникнення струмів витоку у землю є прямі або непрямі дотики людей або тварин до небезпечних струмопровідних частин пошкодженого обладнання або обладнання, що недбало експлуатується. Іншою причиною виникнення струмів витоку у землю може бути пробій на землю внаслідок погіршення ізоляційних властивостей ізоляції провідників електромереж будівель. Ці струми, що течуть через струмопровідні будівельні конструкції (наприклад, через вогкі дерев'яні конструкції – балки, стропила, перегородки тощо), можуть призвести до коротких замикань і, як наслідок, до пожеж. Таким чином, наявність струмів витоку повинна бути підставою для негайного відмикання електроустановки від живлення.

Пошкодження безперервності провідника слід розглядати як надзвичайно небезпечну аварійну ситуацію, якщо у системі з жорстко уземленою нейтраллю уземлення струмопровідного корпусу забезпечується за рахунок приєднання до PEN провідника. Обрив цього провідника на початку лінії призводить до тяжкої аварійної ситуації, зумовленої зсувом точки нейтралі (neutral-point displacement) при асиметрії навантаг, представлених на рис. 3.11 імпедансами Z_1 , Z_2 та Z_3 . При цьому нейтраль зсувається вбік провідника, до якого приєднана навантага з найменшим імпедансом, тобто найбільш потужної навантаги, де напруга зменшується, а на навантагах з більшими імпедансами – збільшується, суттєво перевищуючи номінативну напругу обладнання, яке за таких умов дуже швидко виходить з ладу.

Іншим наслідком обриву PEN провідника є виникнення небезпечної напруги між корпусом, приєднаним до PEN провідника та уземлювальним провідником або просто будь-яким уземленим провідником (наприклад, трубою газопроводу) – напруги зсуву нейтралі (neutral-point displacement voltage). Ця напруга може сягати рівня напруги між лінією та нейтраллю (line-to-neutral voltage), яку у нас прийнято називати фазною напругою. Якщо людина одночасно торкається уземлювального провідника, яким може бути будь-яка струмопровідна конструкція, що контактує з землею (наприклад, струмопровідна підлога), та корпусу обладнання, приєднаного до PEN провідника, то за умови його обриву людина може бути уражена електричним струмом.

Не слід думати, що аварійна ситуація, пов'язана з обривом нейтралі виникає, коли електропостачання будівель здійснюється через чотирипровідні повітряні лінії (overhead line), що характерно для сільської місцевості та околиць міст. Подібна ситуація часто-густо виникає й тоді, коли електропостачання здійснюється за допомогою кабельних ліній або так званих самонесених ізольованих проводів або СІП (LV aerial bundled cables), обриви проводів у яких є малоймовірними. У цих випадках пошкодження безперервності найчастіше виникає внаслідок порушення електричного контакту у терміналах PEN шини на підстанції, що найбільш характерно для приєднання до тієї шини алюмінієвих проводів за допомогою кабельних наконечників (див. рис. 1.31 та 1.32), коли багатожильні алюмінієві провідники приєднують до кабельних наконечників методом опресовування.

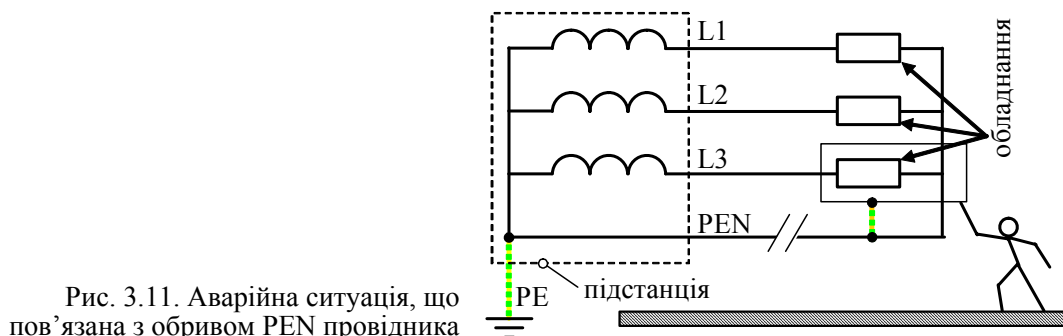


Рис. 3.11. Аварійна ситуація, що пов'язана з обривом PEN провідника

Для захисту від небезпечного підвищення напруги на навантазі, пов'язаного з порушенням безперервності PEN провідника, застосовують спеціальні захисні апарати, які відмикають навантаги від живлення у разі підвищення напруги на них, або стабілізатори напруги. Надійним захистом від виникнення небезпечної напруги між корпусом, приєднаним до PEN провідника, та уземлювальним провідником є еквіпотенціальне з'єднання між струмопровідними частинами, які не призначені для проведення струму (див. п. 2.1.3).

3.2.3. Робота електричних апаратів при коротких замиканнях. Струмообмеження та інтеграл Джоуля

Поняття очікуваного струму

Короткі замикання, як зазначалося у п. 3.2.2, супроводжуються різким збільшенням струму (в десятки й сотні разів). Причини такого стану пояснює схема, зображена на рис. 3.12.

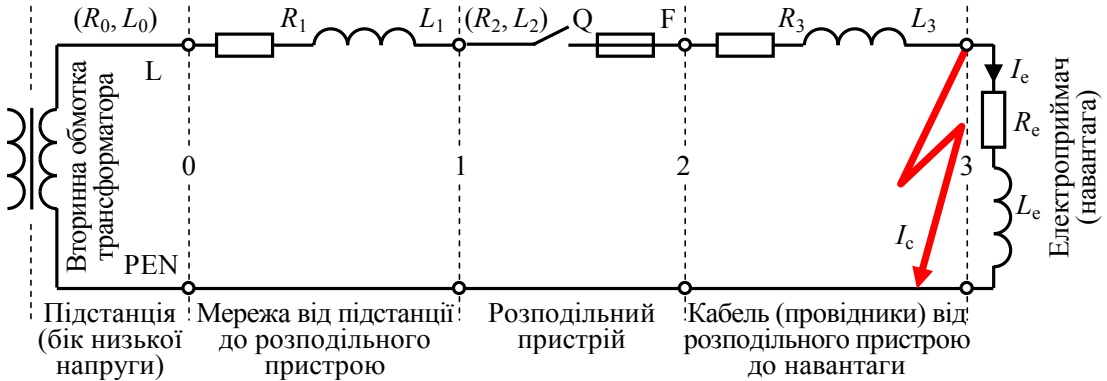


Рис. 3.12. Коротке замикання в однофазному колі

Навантага електроприймача з опором R_e та індуктивністю L_e , у якій в нормальних умовах тече струм I_e (середньоквадратичне значення – rms), є частиною замкненого кола, до якого входять вторинна обмотка трансформатора підстанції та кола й апарати її розподільного пристрою низької напруги (з загальним опором R_0 та індуктивністю L_0), мережа від підстанції до увідно-розподільного пристрою будівлі, де знаходиться електроприймач (з загальним опором R_1 та індуктивністю L_1), коло розподільного пристрою, до якого входять комутаційні та захисні апарати, шини та з'єднувальні провідники (з загальним опором R_2 та індуктивністю L_2), а також кола кабелів та провідників від розподільного пристрою до навантаги (з загальним опором R_3 та індуктивністю L_3). Сумарні опір R_Σ , індуктивність L_Σ та імпеданс Z_Σ цього кола відповідно становлять:

$$R_\Sigma = R_0 + R_1 + R_2 + R_3 + R_e; \quad (3.1)$$

$$L_\Sigma = L_0 + L_1 + L_2 + L_3 + L_e; \quad (3.2)$$

$$Z_\Sigma = \sqrt{R_\Sigma^2 + (\omega \cdot L_\Sigma)^2}. \quad (3.3)$$

В реальних мережах імпеданс Z_e навантаги

$$Z_e = \sqrt{R_e^2 + (\omega \cdot L_e)^2} \quad (3.4)$$

набагато перебільшує загальний імпеданс Z_c інших частин замкненого кола

$$Z_c = \sqrt{(R_0 + R_1 + R_2 + R_3)^2 + (\omega \cdot (L_0 + L_1 + L_2 + L_3))^2}, \quad (3.5)$$

тому $Z_{\Sigma} \approx Z_e$, а rms значення струму I_e визначається переважно імпедансом навантаги

$$I_e = U_0 / Z_{\Sigma} \approx U_0 / Z_e, \quad (3.6)$$

де U_0 – напруга холостого ходу (rms значення) вторинної обмотки.

Якщо ж у цьому колі виникне коротке замикання, наприклад, в результаті випадкового з'єднання терміналів навантаги, то при замкненому контакті Q струм у навантазі зменшиться майже до нуля, а в інших частинах кола – стрімко зросте, оскільки він тепер визначатиметься імпедансом Z_c , який набагато менший за імпеданс Z_e . Отже, імпеданс Z_c є імпедансом кола короткого замикання, який визначає струм у цьому колі. Зокрема, в установленому режимі rms значення струму короткого замикання I_c становитиме

$$I_c = U_0 / Z_c. \quad (3.7)$$

Для кіл з апаратами захисту від коротких замикань (SCPD) вводять поняття очікуваного струму (prospective current), тобто струму, який тік би у колі, якби кожна ділянка головного кола комутаційного апарата та апарата захисту від надструмів (якщо він є) була замінена провідником з нехтовно малим імпедансом. Поняття очікуваного струму було введено для того, щоб можна було порівнювати захисні властивості різних апаратів в одному й тому ж колі. Очікуваний струм I (rms значення) в установленому режимі можна розрахувати за такою формулою:

$$I = U_0 / Z, \quad (3.8)$$

де Z – імпеданс кола короткого замикання, розрахований без урахування опору та індуктивності комутаційного апарата та апарата захисту.

Слід розуміти, що струм у присутності комутаційного апарата та апарата захисту є дещо меншим (іноді – суттєво меншим) за очікуваний струм не тільки за рахунок власних імпедансів апаратів, а й за рахунок того, що в цих апаратах під час розмикання контактів або внаслідок розтоплення топкого елемента запобіжника утворюється електрична дуга, яка може суттєво зменшити (обмежити) струм у колі.

Очікуваний струм i короткого замикання у перехідному режимі розраховується як струм у схемі, представлений на рис. 3.13.

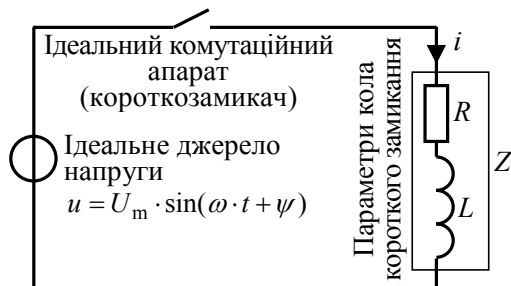


Рис. 3.13. Схема до розрахунку очікуваного струму в однофазному колі короткого замикання

В схемі на рис. 3.13 позначено: u – миттєве значення напруги ідеального джерела; U_m – амплітуда цієї напруги; ω – кругова частота зміни напруги; t – час; ψ – фаза початку короткого замикання. Ідеальним вважається джерело, внутрішній опір та індуктивність якого дорівнюють нулю. Реальне джерело напруги можна розглядати як ідеальне, якщо його внутрішній опір та індуктивність додати до відповідних параметрів кола короткого замикання.

Розрахунок перехідного процесу зміни очікуваного струму i будемо здійснювати шляхом розв'язання диференційного рівняння, складеного за другим законом Кірхгофа

$$L \cdot \frac{di}{dt} + R \cdot i = u \quad (3.9)$$

з нульовою початковою умовою

$$i(0) = 0. \quad (3.10)$$

Загальний розв'язок лінійних звичайних неоднорідних диференціальних рівнянь першого порядку зі сталими коефіцієнтами, до класу яких відноситься рівняння (3.9), складається з суми довільного частинного розв'язку i_1 вихідного неоднорідного рівняння та загального розв'язку i_2 відповідного однорідного рівняння.

В усталеному режимі rms значення очікуваного струму I у вказаному колі дорівнює:

$$I = U / Z = U / \sqrt{R^2 + (\omega \cdot L)^2} = (U / R) / \sqrt{1 + (\omega \cdot \tau)^2}, \quad (3.11)$$

де U – rms значення напруги ідеального джерела або номінальне значення напруги мережі живлення; $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$; f – частота мережі; $\tau = L / R$ – стала часу кола короткого замикання.

Миттєве значення цього струму можна розглядати як частинний розв'язок рівняння (3.9)

$$i_1 = I \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi - \varphi), \quad (3.12)$$

де φ – кут зсуву фаз між напругою джерела живлення та струмом в усталеному режимі.

Загальний розв'язок однорідного рівняння, відповідного до (3.9), має такий вигляд

$$i_2 = C \cdot \exp(-t / \tau), \quad (3.13)$$

де C – довільна стала; p – корінь характеристичного рівняння

$$L \cdot p + R = 0. \quad (3.14)$$

Рівняння (3.14) має перший порядок, а відтак один корінь p :

$$p = -R / L = -1 / \tau. \quad (3.15)$$

В результаті загальний розв'язок рівняння (3.9) має такий вигляд

$$i = i_1 + i_2 = I \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi - \varphi) + C \cdot \exp(-t/\tau). \quad (3.16)$$

Частинний розв'язок рівняння (3.9) з урахуванням початкової умови (3.10) потребує визначення сталої C шляхом підстановки початкових умов ($t = 0$ та $i = 0$) в вираз загального розв'язку (3.16).

$$0 = I \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\psi - \varphi) + C, \quad (3.17)$$

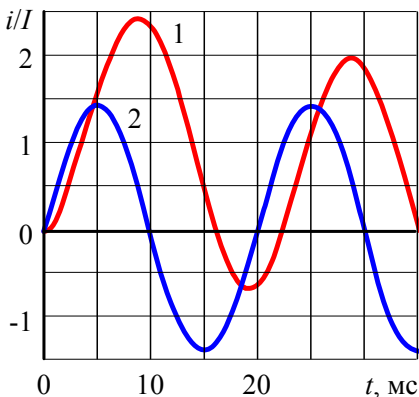
звідки отримуємо

$$C = -I \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\psi - \varphi), \quad (3.18)$$

Підставивши (3.18) в (3.16) отримуємо частинний розв'язок рівняння (3.8) з урахуванням початкової умови (3.10)

$$i = I \cdot \sqrt{2} \cdot [\sin(\omega \cdot t + \psi - \varphi) + \sin(\varphi - \psi) \cdot \exp(-t/\tau)] \quad (3.19)$$

Як бачимо, характер перехідного процесу зміни очікуваного струму в колі короткого замикання при змінному струмі залежить не тільки від параметрів кола (U , R , L , ω), а й від співвідношення фази ψ початку короткого замикання та кута φ зсуву фаз між напругою джерела живлення та струмом в усталеному режимі. За несприятливих співвідношень φ та ψ ($\varphi - \psi \rightarrow \pi / 2$) залежність $i(t)$ має яскраво виражений асиметричний характер (крива 1 на рис. 3.14) – найбільше значення струму спостерігається приблизно через пів періоду після початку короткого замикання, точніше трохи раніше – при частоті кола 50 Гц це відбувається не через 10 мс (пів періоду), а через 8 ... 9 мс, причому це значення в 1,6 ... 1,8 разів перевищує амплітуду усталеного струму короткого замикання та у 2,2 ... 2,5 рази перевищує його rms значення. Цей струм називають очікуваним піковим струмом. У реальних колах короткого замикання, на відносно невеликій відстані від трансформатора коефіцієнт потужності кола дуже малий ($\cos \varphi \approx 0,1$) завдяки індуктивності вторинної обмотки трансформатора, отже, асиметричні режими з великими очікуваними піковими струмами у таких колах непоодинокі.



За сприятливих умов ($\psi = \varphi$) після моменту початку перехідного процесу одразу ж настає усталений режим – очікуваний симетричний струм (крива 2 на рис. 3.14).

Рис. 3.14. Перехідні процеси зміни очікуваного струму при різних співвідношеннях фази ψ початку короткого замикання та кута φ зсуву фаз між напругою джерела живлення та струмом в усталеному режимі

В технічній літературі (стандарти, каталоги продукції) під очікуваним струмом, зазвичай, розуміють середньоквадратичне значення очікуваного симетричного струму або, що те ж саме, очікуваного струму в усталеному режимі. При цьому слід мати на увазі, що амплітуда очікуваного струму приблизно в 1,4 рази, а піковий очікуваний струм приблизно у 2,5 рази перевищує це значення. Наприклад, якщо очікуваний струм становить 20 кА, то його амплітуда становить приблизно 28 кА, а його пікове значення – приблизно 50 кА.

Характер перехідних процесів у трифазних колах суттєво залежить не тільки від виду короткого замикання (однофазне, двофазне, трифазне), а й від способу живлення – з робочим нейтральним N або PEN провідником (так живляться окремі однофазні електроприймачі у будівлях житлового або цивільного призначення) або без робочого нейтрального провідника (так живляться, наприклад, трифазні електродвигуни). Електричні схеми, які ілюструють різновиди коротких замикань у трифазних колах, зображені на рис. 3.15.

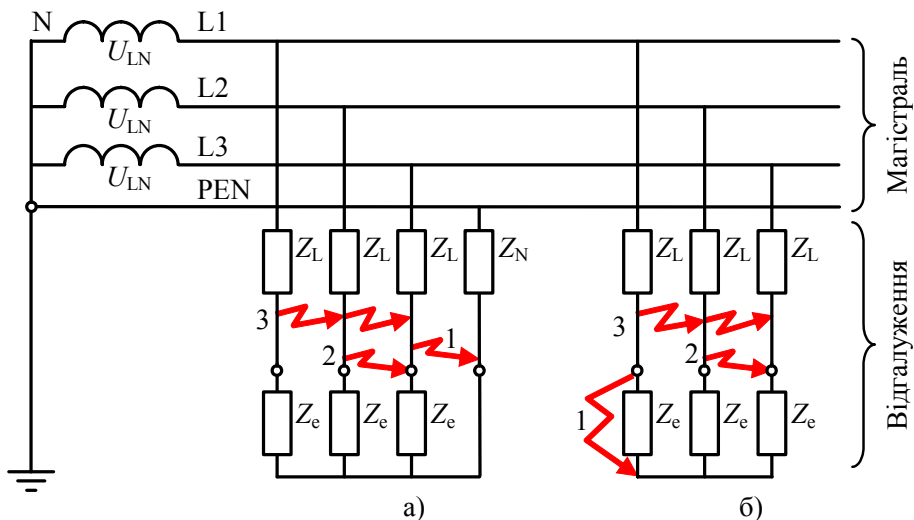


Рис. 3.15. Різновиди коротких замикань у трифазних колах:
а – з робочим нейтральним провідником; б – без робочого нейтрального провідника

У схемі на рис. 3.15 застосовані такі позначення: U_{LN} – напруга (rms значення) між лінійним та нейтральним терміналами вторинної обмотки трансформатора на підстанції; Z_e – імпеданси навантаги (в колах з робочою нейтраллю імпеданси навантаг в окремих фазах зазвичай відрізняються один від одного, а в колах без робочої нейтралі імпеданси навантаг в окремих фазах зазвичай приблизно однакові); Z_L – імпеданси кіл лінійних провідників (для одного споживача вони приблизно однакові в усіх трьох фазах); Z_N – імпеданс кола робочого нейтрального провідника (його значення може перевищувати значення імпедансу кола лінійного провідника, якщо нейтральний провідник має менший перетин ніж лінійні провідники).

Коротке замикання в колі з робочою нейтраллю, яке позначене цифрою 1 на рис. 3.15-а є власне однофазним коротким замиканням, яке було розглянуте вище. Оскільки, як зазначалося, $Z_N > Z_L$, очікуваний струм короткого замикання у цьому випадку можна оцінити за таким виразом

$$I = U_{LN} / Z_{LN} < U_{LN} / (2 \cdot Z_L), \quad (3.20)$$

де Z_{LN} – імпеданс кола короткого замикання, утвореного колами лінійного та нейтрального провідників.

При двофазному короткому замиканні, яке позначене цифрою 2 на рис. 3.15-а, очікуваний струм короткого замикання щонайменше на 73% перевищує однофазний струм короткого замикання:

$$I = \sqrt{3} \cdot U_{LN} / (2 \cdot Z_L). \quad (3.21)$$

Найбільш небезпечним є трифазне коротке замикання, яке позначене цифрою 3 на рис. 3.15-а. Очікуваний струм у цьому випадку становитиме

$$I = U_{LN} / Z_L, \quad (3.22)$$

й перевищує двофазний струм короткого замикання приблизно на 15%.

Характерно, що при однофазному та двофазному коротких замиканнях робочий струм у непошкоджених гілках відповідного трифазного кола суттєво зменшується за рахунок падіння напруги у колі нейтрального провідника. У сусідніх трифазних навантажах робочий струм також зменшиться, але не так суттєво, оскільки перетин нейтрального провідника магістралі зазвичай перевищує перетин нейтрального провідника на відгалуженні, отже більша частина падіння напруги у колі нейтрального провідника припадає на відгалуження. Останнє стосується й трифазного короткого замикання.

Однофазне коротке замикання в колі без робочого нейтрального провідника, яке позначене цифрою 1 на рис. 3.15-б, призводить до збільшення струму в непошкоджених гілках приблизно в $\sqrt{3}$ разів (рис. 3.16), а в колі лінійного провідника з коротким замиканням у навантазі – у три рази.

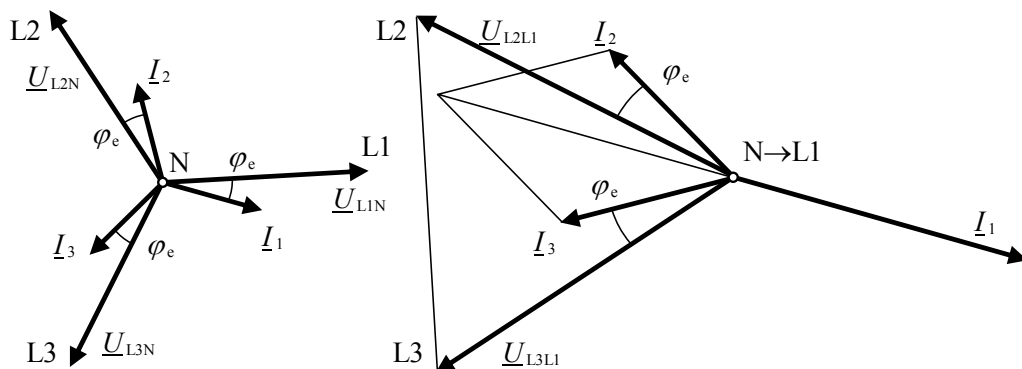


Рис. 3.16. Векторні діаграми для кола без робочого нейтрального провідника:
а – в нормальному режимі роботи; б – при однофазному короткому замиканні.
(φ_e – кут зсуву фаз напруги та струму у навантазі)

Як бачимо, однофазне коротке замикання навантаги в колі без робочого нейтрального провідника для лінійних провідників має характер перевантаження. При двофазному та трифазному короткому замиканні у колі без робочого нейтрального провідника очікуваний струм буде майже таким самим, як і у колі з робочим нейтральним провідником.

Найбільш небезпечним режимом з точки зору струму у лінійних провідниках є трифазне коротке замикання як у колах з робочим нейтральним провідником, так і без нього.

Трифазні короткі замикання призводять до перехідних процесів (рис. 3.17) в усіх полюсах, але, на відміну від однофазних коротких замикань, у трифазних колах, завдяки наявності зсуву фаз напруги джерел живлення, значні пікові струми мають місце в одному з полюсів практично при будь-яких фазах початку короткого замикання. У трифазних колах, так само, як і в однофазних, симетричний струм короткого замикання може спостерігатися, але тільки в одному з полюсів (при певній фазі початку короткого замикання), що пояснюється наявністю зсуву фаз напруги у полюсах. В інших полюсах також можуть виникнути значні пікові струми, а також симетричні струми, але при інших фазах початку короткого замикання.

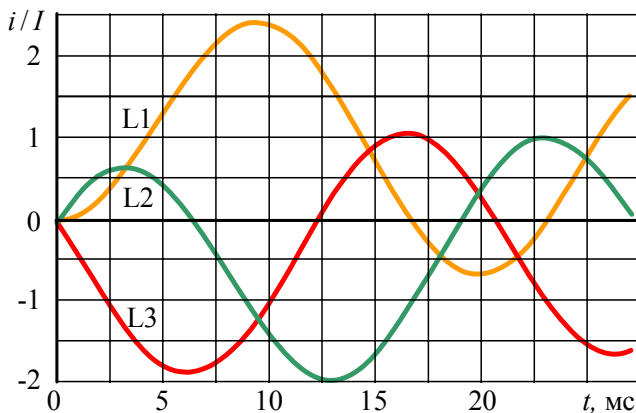


Рис. 3.17. Приклад кривих перехідних процесів зміни струму у колах лінійних провідників при трифазному короткому замиканні

Здатність електричних апаратів відмикати, проводити та вмикати струми коротких замикань

Всі електричні апарати комутації, керування та захисту, які призначені для роботи у колах з потужними навантагами, можна поділити на дві категорії – до першої категорії входять апарати, які здатні відмикати струми коротких замикань (це – запобіжники та відмикачі), а до другої категорії – апарати, які не мають такої здатності.

Поняття здатності до відмикання (breaking capacity), тобто значення очікуваного струму (rms значення), яке комутаційний апарат або запобіжник здатний відмикати при заданій напрузі та приписаних умовах застосування і режимах, відносять до обох категорій апаратів, причому для комутаційних апаратів здатність до відмикання може бути визначена

відповідно до роду струму та приписаних умов, наприклад, здатність до відмикання ємнісних струмів лінії, або кабелю, здатність до відмикання конденсаторної батареї тощо.

Деякі комутаційні апарати другої категорії (роз'єднувачі, перемикачі уземлення) не призначені для розмикання кіл зі струмом, отже для таких апаратів вимоги щодо здатності до відмикання не висувуються. Здатність до відмикання інших комутаційних апаратів другої категорії не перевищує значень струмів робочих перевантажень, який перевищує номінальний робочий струм I_e апарата (див. п. 3.2.1) у декілька разів в залежності від категорії його застосування. Наприклад, вимикач-роз'єднувач OT630 (ABB) має умовний тепловий струм на відкритому повітрі $I_{th} = 630$ А. Цей струм є номінальним робочим струмом I_e для категорії АС-20 (апарат має працювати в режимі роз'єднувача). Для категорій АС-22 та АС-23 виробник встановив для цього апарата номінальний робочий струм на тому ж рівні – 630 А при номінальній робочій напрузі $U_e = 690$ В. Відповідно до ІЕС 60947-3 у категорії АС-22 вимикач не менш ніж п'ять разів має відключити струм $I_c = 3 \cdot I_e = 3 \cdot 630 = 1890$ А у колі з напругою $U_r = 1,05 \cdot U_e = 725$ В та коефіцієнтом потужності $\cos \varphi = 0,65$. У категорії АС-23 цей вимикач не менш ніж три рази має відключити струм $I_c = 8 \cdot I_e = 8 \cdot 630 = 5040$ А у колі з напругою $U_r = 1,05 \cdot U_e = 725$ В та коефіцієнтом потужності $\cos \varphi = 0,35$.

Для запобіжників та відмикачів поняття здатності до відмикання розглядають як здатність цих апаратів до відмикання коротких замикань (short-circuit breaking capacity). Для сучасних запобіжників та відмикачів цей показник сягає 160 ... 200 кА, що гарантує відсутність згубних наслідків при таких важких аваріях, як короткі замикання. Наприклад, вставки запобіжників OF (ABB) типорозмірів 000 ... 3 мають здатність до відмикання 120 кА та 80 кА при номінальній робочій напрузі 500 В та 690 В відповідно, а вставки типорозміру 4 – 160 кА та 120 кА відповідно. Відмикачі Tmax T4V (ABB) мають граничну здатність до відмикання коротких замикань 150 кА при номінальній напрузі 500 В.

Важливою характеристикою комутаційних апаратів, не призначених для відмикання струмів коротких замикань (вимикачі, роз'єднувачі, перемикачі уземлення тощо), а також для відмикачів категорії В (їх називають також селективними відмикачами), є так званий короткочасно витримуваний струм (short-time withstand current), тобто струм (rms значення), який комутаційний апарат у замкненому положенні може проводити впродовж визначеного короткого часу при приписаних умовах застосування і режимах.

Короткочасно витримуваний струм характеризує термічну стійкість комутаційного апарата. Значення та тривалість цього струму пов'язані з умовами, що визначають відповідні стандарти, за яких комутаційний апарат не втрачає подальшої працездатності. При цьому в апараті не

повинна пошкоджуватися ізоляція, деталі конструкції не повинні мати залишкових деформацій, а контакти не повинні зварюватися за рахунок термічної дії струму. Наприклад, для вимикача-роз'єднувача ОТ630 виробник гарантує, що цей апарат буде витримувати струм 38 кА впродовж 0,15 с; 36 кА впродовж 0,25 с та 20 кА впродовж однієї секунди.

Іншою важливою характеристикою цих апаратів є витримуваний пік струму (peak withstand current), тобто значення піку струму, яке комутаційний апарат у замкненому положенні може витримувати при приписаних умовах застосування і режимах роботи. Витримуваний пік струму характеризує електродинамічну стійкість комутаційного апарата. Якщо виробник заявляє певне значення витриманого піку струму, то це означає, що після проходження цього струму через струмопровід апарата він не втрачає подальшої працездатності – в ньому не повинні виникати залишкові деформації струмопроводів, не повинні пошкоджуватися опорні ізолятори, а контакти не повинні зварюватися за рахунок електродинамічного відкидання та термічної дії електричної дуги, яка може виникнути при цьому.

Комутаційні апарати зазвичай спроможні вмикати струми, які набагато перевищують їх номінативні значення і при цьому не втрачати подальшої працездатності. Значення очікуваного струму (миттєве значення), яке комутаційний апарат здатний вмикати при заданій напрузі та приписаних умовах застосування і режимах, називають його здатністю до вмикання (making capacity (of a switching device)). Про комутаційні апарати, які спроможні вмикати струми коротких замикань (у тому числі струми коротких замикань на терміналах апарата), кажуть, що вони мають здатність до вмикання коротких замикань (short-circuit making capacity; I_{cm}). Здатність до вмикання коротких замикань може мати апарат, який не призначений для відмикання струмів короткого замикання, наприклад, роз'єднувач, перемикач уземлення, контактор чи вимикач.

До комутаційних апаратів, які не мають здатності до відмикання коротких замикань (контактори, вимикачі, відмикачі різницевих струмів тощо) застосовують поняття умовного струму короткого замикання (conditional short-circuit current), тобто очікуваного струму (rms), який комутаційний апарат, що захищається певним струмообмежувальним захисним апаратом, повинен задовільно витримувати (зберігати працездатність) впродовж часу спрацьовування вказаного струмообмежувального апарата при приписаних умовах застосування і режимах.

Вимикач-роз'єднувач ОТ630, який згадувався вище, має здатність до вмикання коротких замикань $I_{cm} = 80$ кА (пікове значення), а умовний струм короткого замикання цього апарата, захищеного запобіжником виробника класу gG або aM (п. 4.1.1) з номінативним струмом відповідно 800 А та 1000 А, становить 90 кА.

Струмообмеження в колах з комутаційними апаратами та запобіжниками

При підрахунку очікуваного струму не враховують імпеданси комутаційних апаратів та апаратів захисту в колі короткого замикання. Насправді ці апарати дещо зменшують струм короткого замикання, але це зменшення є суттєвим лише для кіл, в яких встановлені апарати з відносно малими номінативними струмами.

Дійсно, якщо в колі з очікуваним струмом короткого замикання 10 кА (rms значення) встановлений автоматичний відмикач побутового призначення (п. 4.1.4) з номінативним струмом 6 А, який відповідає вимогам стандарту ІЕС 60898-1, то потужність втрат у ньому не повинна перевищувати 3 Вт. Якщо знехтувати індуктивною складовою його імпедансу, то опір полюсу цього відмикача становитиме $3 / 6^2 = 0,083$ Ом. При номінальній напрузі мережі 220 В імпеданс кола короткого замикання, який відповідає очікуваному струму 10 кА, становитиме $220 / 10000 = 0,022$ Ом. Припустимо, що коефіцієнт потужності ($\cos \varphi$) кола короткого замикання дорівнює 0,3. Це означає, що імпеданс $0,022$ Ом утворюється опором $0,022 \cdot 0,3 = 0,0066$ Ом, та індуктивним реактансом $((0,022)^2 - (0,0066)^2)^{0,5} = 0,021$ Ом. З урахуванням опору відмикача, імпеданс кола короткого замикання становитиме $((0,083 + 0,0066)^2 + (0,021)^2)^{0,5} = 0,092$ Ом, а струм короткого замикання (rms значення в усталеному режимі) не перевищуватиме $220 / 0,092 = 2,4$ кА. Як бачимо, тільки наявність апарата захисту в цьому колі (без урахування електричної дуги) зменшує струм короткого замикання більш ніж у чотири рази. Якщо у тому ж колі встановлено відмикач з номінативним струмом 16 А (потужність втрат 3,5 Вт), то його опір становитиме $3,5 / 16^2 = 0,0137$ Ом, імпеданс кола короткого замикання з урахуванням опору відмикача – $((0,0137 + 0,0066)^2 + (0,021)^2)^{0,5} = 0,0292$ Ом, а струм короткого замикання $220 / 0,0292 = 7,5$ кА. У цьому випадку струм короткого замикання зменшується не у чотири рази, а лише на 25%. Нарешті, якщо у колі з таким самим очікуваним струмом встановлено відмикач з номінативним струмом 63 А (потужність втрат до 13 Вт), то його опір становитиме $13 / 63^2 = 0,0033$ Ом, імпеданс кола короткого замикання з урахуванням опору відмикача – $((0,0033 + 0,0066)^2 + (0,021)^2)^{0,5} = 0,0232$ Ом, а струм короткого замикання $220 / 0,0232 = 9,5$ кА. У цьому випадку струм короткого замикання зменшується лише на 5%. При більших значеннях номінативних струмів апаратів захисту вплив їх імпедансів на очікуваний струм стає нехтовно малим.

Але апарати захисту з певними характеристиками здатні суттєво зменшити струм короткого замикання за рахунок додаткового опору, який вносить у коло електрична дуга, яка виникає у комутаційних апаратах на контактах, що розмикаються, або у вставках запобіжників, коли розтоплюються їх топкі елементи.

На рис. 3.18, де показані приклади перехідних процесів у колах з апаратами захисту від коротких замикань, застосовані такі позначення: 1 – очікуваний струм короткого замикання; 2 – струм короткого замикання за наявності апарата захисту; T – період коливань напруги у мережі ($T = 20$ мс при частоті 50 Гц); t_p – переддуговий час (pre-arcing time^{*}), тобто проміжок часу між моментом початку короткого замикання та моментом виникнення дуги на контактах комутаційного апарата або на топкому елементі запобіжника; t_a – час горіння дуги (arcing time^{**}), тобто проміжок часу між моментом виникнення дуги у полюсі або запобіжнику та моментом остаточного її згасання у цьому полюсі або запобіжнику; I_p – пікове значення очікуваного струму (prospective peak current); I_c – пропущений струм (cut-off current; let-through current), тобто максимальне миттєве значення струму, досягнуте при виконанні операції відмикання комутаційним апаратом або запобіжником.

До моменту виникнення дуги перехідний процес у колі з апаратом захисту практично співпадає з очікуваним струмом^{***}, а після виникнення дуги струм стрімко спадає до нуля (впродовж декількох мілісекунд – завдяки потужним дугогасним системам апаратів захисту від коротких замикань) і струм у колі переривається остаточно.

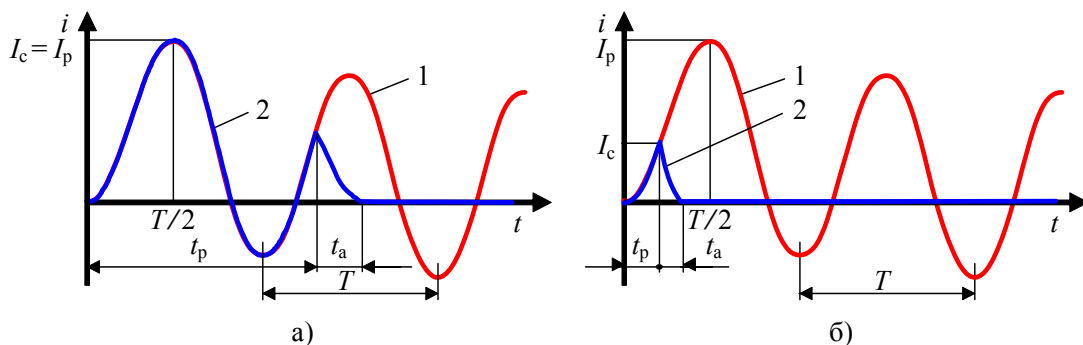


Рис. 3.18. Приклади перехідних процесів у колах з апаратами захисту від коротких замикань
а – з низькою швидкодією (без струмообмеження); б – з високою швидкодією (зі струмообмеженням)

При відносно низькій швидкодії ($t_p > T/2$) пропущений струм співпадає з піковим струмом, а при відносно високій швидкодії ($t_p < T/2$) пропущений струм менше пікового. Апарати захисту з високою швидкодією прийнято називати струмообмежувальними^{****} (current-limiting SCPD).

* Поняття переддугового часу в IEC визначено лише для запобіжників (441-18-21).

** Це поняття розповсюджується на окремий полюс апарата або на запобіжник в окремій гілці.

*** Це стосується кід, у яких встановлено апарати захисту з відносно великими номінативними струмами (понад 63 А); у колах, в яких встановлені апарати з меншими номінативними струмами, струм короткого замикання може бути суттєво меншим, ніж очікуваний струм.

**** Поняття струмообмежувального апарата в IEC визначено окремо для відмичачів (current-limiting circuit-breaker) та вставок запобіжників (current-limiting fuse-link).

Для апаратів захисту від коротких замикань вводять поняття характеристики пропущеного струму (cut-off (current) characteristic; let-through (current) characteristic), кривої, що показує залежність пропущеного струму від очікуваного струму при заданих умовах роботи. У випадку змінного струму значеннями пропущеного струму є максимальні значення, що можуть бути досягнуті при будь-якому ступені асиметрії. У випадку постійного струму значеннями пропущеного струму є максимальні значення, що можуть бути досягнуті при визначеній сталій часу.

Типові характеристики пропущеного струму для апаратів змінного та постійного струму зображені на рис. 3.19.

При відносно малих значеннях очікуваного струму пропущений струм I_c – це піковий струм, який в колах змінного струму може бути у 2,5 рази більшим за rms значення очікуваного струму I . Отже характеристика пропущеного струму у цьому діапазоні струмів є прямою лінією $I_c = 2,5 \cdot I$ (відрізок 1-1). Якщо апарат не є струмообмежувальним, ця ж залежність діє і при більших струмах (відрізок 1-2). Якщо ж апарат є струмообмежувальним, то, починаючи з деякого значення очікуваного струму I_1 , спрацьовування апарата відбувається настільки швидко, що струм не досягає пікового значення – апарат набуває струмообмежувальних властивостей (відрізок 1-3). Як бачимо, струмообмежувальний апарат стає таким лише при відносно великих струмах. При відносно малих струмах (неструмообмежувальна зона) цей апарат не має струмообмежувальних властивостей.

У колах постійного струму найбільше значення очікуваного струму має місце в усталеному режимі, тому характеристика пропущеного струму у неструмообмежувальній зоні струмообмежувальних апаратів або для неструмообмежувальних апаратів є прямою лінією $I_c = I$ (відрізки 2-1 та 2-2). При струмах, що є більшими за деяке значення I_2 , апарат стає струмообмежувальним (відрізок 2-3).

У прикладі характеристики пропущеного струму для апарата змінного струму, що зображена на рис. 3.19, при очікуваному струмі 10 кА пропущений струм становить лише 1,6 кА, а якби апарат не був струмообмежувальним, пропущений струм міг би бути майже у 16 разів більшим – 25 кА. Апарати постійного струму також можуть мати струмообмежувальні властивості, але з набагато меншою ефективністю. Наведена на тому ж рис. 3.19 характеристика пропущеного струму апарата постійного струму показує, що при очікуваному струмі 10 кА пропущений струм становить приблизно 5 кА, а якби апарат не був струмообмежувальним, пропущений струм мав становити 10 кА, тобто пропущений струм зменшився лише у два рази. В потужних апаратах коефіцієнт зменшення пропущеного струму може бути ще меншим.

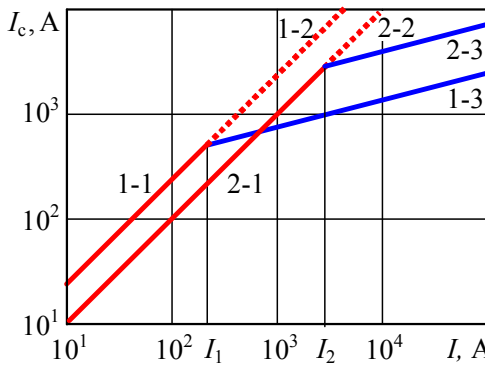


Рис. 3.19. Характеристики пропущеного струму апаратів захисту від коротких замикань змінного струму (лінії 1-1, 1-2, 1-3) та постійного струму (лінії 2-1, 2-2, 2-3)

На рис. 3.20 представлені характеристики пропущених струмів реальних електричних апаратів – швидкодіючих запобіжників для захисту напівпровідникових приладів (Ferraz, PC 71 UD, aR – тонкі лінії) та відмикачів (ABB, Tmax T4, 250/320 – жирні лінії). Як бачимо, при однакових номінальних струмах швидкодіючі запобіжники пропускають менші струми, аніж відмикачі.

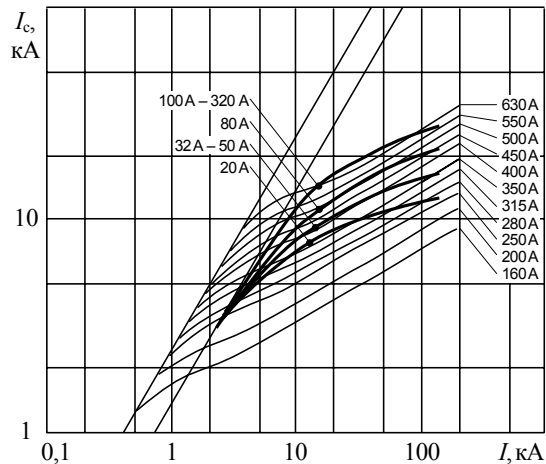


Рис. 3.20. Характеристики пропущених струмів швидкодіючих запобіжників (тонкі лінії) та відмикачів (жирні лінії)

Наведені на рис. 3.20 дані свідчать про високу струмообмежувальну здатність сучасних апаратів захисту від коротких замикань.

Інтеграл Джоуля

Якщо руйнівна електродинамічна дія струмів коротких замикань характеризується найбільшим пропущеним струмом, то термічна дія цих струмів характеризується так званим інтегралом Джоуля (Joule integral; I^2t), який визначається як інтеграл від квадрату струму за певний проміжок часу:

$$I^2t = \int_{t_0}^{t_1} i^2 \cdot dt, \quad (3.23)$$

де I^2t – стандартне позначення інтегралу Джоуля; t_0 , t_1 – відповідно початкова та скінченна границі визначення інтегралу.

Стандартне позначення інтегралу Джоуля (застосовується в стандартах ІЕС) не слід ототожнювати з добутком квадрату струму I на час t його

дії, хоча таке визначення може застосовуватися для оцінки теплової дії струмів перевантаження на струмопроводи, якщо теплові сталі часу струмопроводів набагато перевищують час дії цих струмів.

Розмірність інтегралу Джоуля $[I^2t] = A^2 \cdot c = Дж / Ом$ визначає його фізичний зміст: **енергія у Джоулях, що виділяється у колі з опором 1 Ом, яке захищене апаратом захисту (відмикачем або запобіжником), дорівнює значенню I^2t спрацьовування, вираженому у $A^2 \cdot c$.**

Якщо t_0 – це момент початку короткого замикання, а t_1 – момент остаточного згасання дуги на контактах комутаційного апарата або у запобіжнику, то відповідний інтеграл називають інтегралом спрацьовування (operating I^2t) або повним інтегралом Джоуля. Для запобіжників вводять поняття переддугового інтегралу Джоуля (pre-arcing I^2t), який також називають інтегралом топлення (t_0 – момент початку короткого замикання, t_1 – момент виникнення дуги у вставці запобіжника). Якщо поняття повного інтегралу застосовують для оцінки термічної дії струму, то поняття переддугового інтегралу застосовують для перевірки селективної роботи послідовно з'єднаних запобіжників або запобіжника та відмикача.

Під селективністю при надструмах (over-current discrimination) розуміють координацію робочих характеристик двох або декількох пристроїв захисту від надструмів таким чином, що при виникненні надструмів у визначених межах, пристрій, призначений спрацьовувати у цих межах, спрацьовує, у той час, як інші пристрої не спрацьовують. Розрізняють послідовну селективність, за якої через різні пристрої захисту від надструмів проходить, переважно, той самий струм, та мережеву селективність, за якої через ідентичні захисні апарати, що розташовані на різних рівнях розподільних мереж, проходять різні частини надструму.

У деяких випадках захист від надструмів у розподільних мережах будують за допомогою запобіжників (рис. 3.21). При виникненні аварійного надструму у розподільній мережі, яка, зазвичай, має віялоподібний вигляд, спрацьовувати повинен той захисний апарат, який розташований найближче до місця аварії (мережева селективність). Якщо коротке замикання виникає на найнижчому рівні розподільної мережі, аварійний струм тече через апарати усіх рівнів мережі. При цьому топкий елемент будь-якого запобіжника, встановленого на більш високому рівні розподільної мережі, не повинен розтопитися, а відмикання струму короткого замикання відбудеться за рахунок запобіжника, встановленого на найнижчому рівні розподільної мережі, якщо його інтеграл спрацьовування буде меншим, ніж переддугові інтеграли запобіжників, розташованих на більш високих рівнях.

Якщо захист деякого об'єкту здійснюється двома захисними апаратами, наприклад, запобіжником та автоматичним відмикачем, то один з апаратів (відмикач) виконує функції основного захисту (main protection),

а інший апарат (запобіжник, який має більшу здатність до відмикання) – функції резервного захисту (back-up protection). Цей апарат має спрацювати лише при потужних коротких замиканнях, коли очікуваний струм перевищує здатність до відмикання, яку має автоматичний відмикач, і не спрацювати, якщо з відмиканням струму короткого замикання впорався автоматичний відмикач.

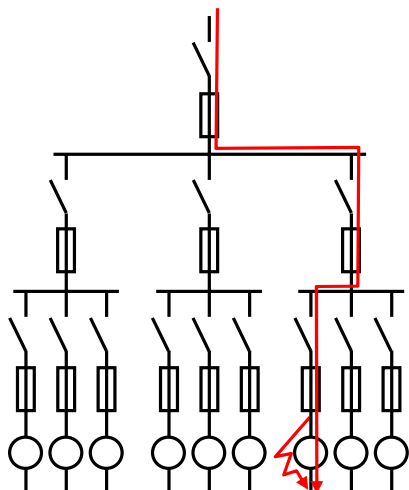


Рис. 3.21. Схема розподільної мережі із захистом від надструмів за допомогою запобіжників

Однією з найважливіших характеристик апарата захисту від коротких замикань є характеристика I^2t – залежність інтегралу Джоуля (переддугового інтегралу або інтегралу спрацювання) від очікуваного струму при визначених умовах у колі (напруга, $\cos \varphi$, тощо). Оскільки міжнародні стандарти щодо запобіжників та відмикачів висувають вимоги до характеристик I^2t , то провідні виробники електричної апаратури у своїх каталогах наводять відповідні характеристики.

На рис. 3.22 представлені характеристики I^2t (повні інтеграли) швидкодіючих запобіжників для захисту напівпровідникових приладів класу aR (Ferraz, PC 71 UD – тонкі лінії з горизонтальними ділянками) та відмикачів (ABB, Tmax T4, 250/320 – жирні лінії). Похилі лінії, що перетинають характеристики I^2t запобіжників, показують їх час спрацювання (вертикальні надписи, у дужках – переддуговий час). Надписи, що розташовані поруч з характеристиками I^2t , показують номінальний струм відповідних вставок запобіжників та відмикачів.

Як бачимо з наведених графіків, інтеграли Джоуля запобіжників при відносно великих очікуваних струмах практично не залежать від гms значення очікуваного струму (у деяких типів запобіжників збільшення очікуваного струму призводить навіть до зменшення I^2t). У запобіжників класів gG та aM, призначених для захисту мереж (див. п. 4.1.1) інтеграли Джоуля також не залежать від очікуваного струму, тому виробники надають у каталогах лише кількісні значення цих характеристик, які майже на

порядок перевищують відповідні характеристики швидкодіючих запобіжників. Приблизно такі ж значення I^2t мають й відмикачі.

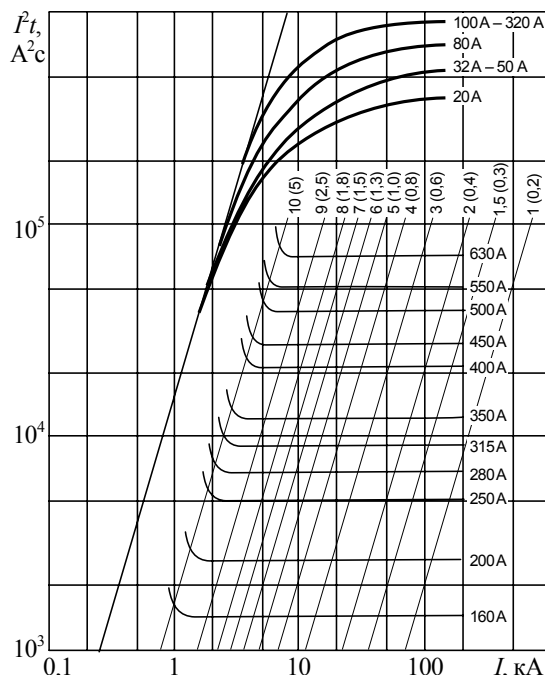


Рис. 3.22. Характеристики повних інтегралів Джоуля швидкодіючих запобіжників (тонкі лінії) та відмикачів (жирні лінії)

Інтеграли Джоуля визначають експериментально за рахунок штучного створення коротких замикань в експериментальних установках, зібраних за схемами, подібними до тієї, що зображена на рис. 3.23. В цій установці струм у колі короткого замикання, який створюється при вмиканні короткозамикача Q2, та напруга на запобіжнику реєструються за допомогою осцилографа (на схемі не зображений).

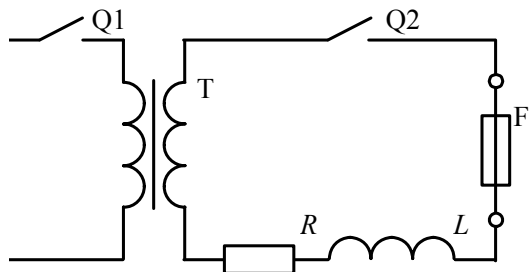
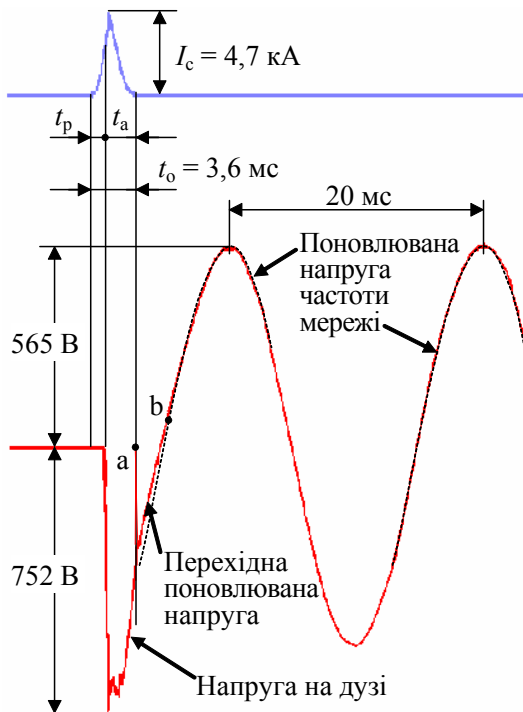


Рис. 3.23. Схема для експериментального визначення інтегралів Джоуля запобіжників. Позначення в схемі: Т – силовий трансформатор; Q1 – відмикач середньої напруги; Q2 – короткозамикач; F – досліджуваний запобіжник; R, L – опір та індуктивність кола короткого замикання.

Осцилограма*, на якій зафіксовано струм при короткому замиканні у колі з дослідним зразком запобіжника з номінальним струмом 100 А та напруга на його терміналах, зображена на рис 3.24. Дослід проводився при напрузі кола $1,05 \cdot 380 = 400$ В. Очікуваний струм короткого замикання становив 50 кА при параметрах кола, підібраних таким чином, що очікуваний піковий струм дорівнював 125 кА. При цьому пропущений струм у досліді становив лише 4,7 кА (менше ніж 4% від очікуваного піку).

* Осцилограму люб'язно надав авторові О.М. Точилін (АТ ЕНАС, Харків).

Момент початку короткого замикання визначається з осцилограми струму як момент початку зростання струму. Момент початку топлення топкого елементу – з осцилограми напруги на терміналах запобіжника (момент початку зростання напруги). Як бачимо, переддуговий час t_p



у даному випадку становить приблизно $1,2 \text{ мс}$, причому момент появи електричної дуги не співпадає з моментом максимуму пропущеного струму I_c . Час горіння дуги t_a становить приблизно $2,4 \text{ мс}$, отже час спрацювання (або час відмикання) t_o цього запобіжника становить приблизно $3,6 \text{ мс}$.

Рис. 3.24. Осцилограми струму та напруги на терміналах запобіжника при відмиканні ним кола короткого замикання

З осцилограми напруги на дузі чітко видно, що ця напруга не співпадає з напругою мережі та у деякі проміжки часу перевищує її за рахунок розсіювання дугою енергії, яка була накопичена в індуктивності кола короткого замикання. Пік напруги на дузі (peak arc voltage) становить приблизно 752 В , що перевищує амплітуду напруги мережі (565 В).

В момент згасання дуги струм практично спадає до нуля, також до нуля спадає і напруга на терміналах запобіжника (точка «а» на рис. 3.24), але вслід за цим починається стрімкий процес поновлення напруги на запобіжнику. Поновлювана напруга (recovery voltage), тобто напруга, що виникає між терміналами запобіжника після відмикання струму, може розглядатися у двох послідовних інтервалах часу: під час першого інтервалу з'являється перехідна напруга (transient recovery voltage; TRV), за цим інтервалом слідує другий, коли існує тільки поновлювана напруга частоти мережі, яка власне співпадає з напругою мережі (після точки «b» на рис. 3.24). Перехідний процес поновлення напруги може бути аперіодичним (як у даному випадку), або коливальним, іноді з великими амплітудами коливань. У таких випадках комутаційна напруга (switching voltage), тобто максимальне миттєве значення напруги, що виникає між

терміналами комутаційного апарата або запобіжника під час його спрацьовування, може бути напругою дуги або може виникати під час перехідного процесу поновлення напруги.

Наявність осцилограми струму надає можливість розрахувати чисельними методами інтеграли Джоуля – переддуговий та повний. Для цього треба, збільшивши масштаб осцилограми струму (рис. 3.25), розбити відрізок, що відповідає часу спрацьовування, на n рівних ділянок (у розглянутому прикладі $n = 12$) та на кінцях цих ділянок визначити значення струмів $i_1, i_2, \dots, i_k, \dots, i_{n-1}, i_n$.

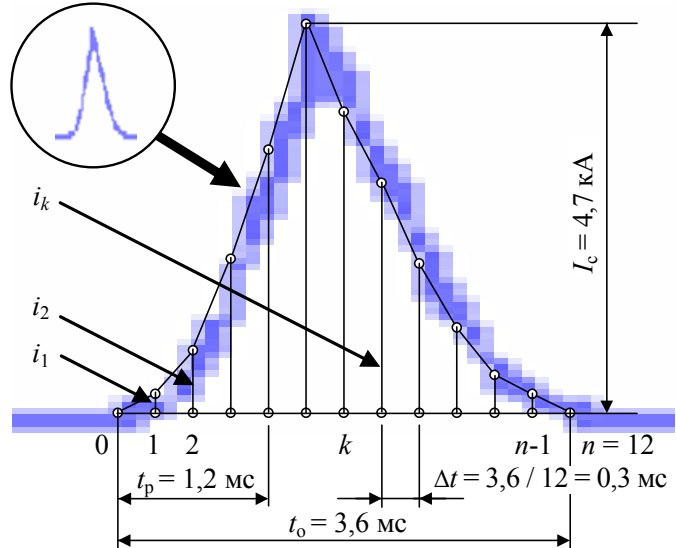


Рис. 3.25. До розрахунку інтегралів Джоуля чисельними методами

Застосувавши метод трапецій, отримаємо вираз для чисельного визначення повного інтегралу $(I^2t)_o$:

$$(I^2t)_o \approx \frac{\Delta t}{2} \cdot (i_0^2 + 2 \cdot i_1^2 + 2 \cdot i_2^2 + \dots + 2 \cdot i_{n-1}^2 + i_n^2). \quad (3.24)$$

З урахуванням того, що $i_0 = i_n = 0$, вираз для визначення повного інтегралу спрощується:

$$(I^2t)_o \approx \Delta t \cdot (i_1^2 + i_2^2 + \dots + i_{n-1}^2). \quad (3.25)$$

Переддуговий інтеграл $(I^2t)_p$ може бути визначений за (3.24) з урахуванням того, що $i_0 = 0$, а n – це кількість ділянок в межах переддугового часу (у даному прикладі $n = 4$) за таким виразом:

$$(I^2t)_p \approx \Delta t \cdot (i_1^2 + i_2^2 + \dots + i_{n-1}^2 + i_n^2 / 2). \quad (3.26)$$

Характеристика інтеграла Джоуля має надавати інформацію про найбільше його значення, тому при одному значенні очікуваного струму досліди проводять при різних фазах початку короткого замикання і для побудови характеристики I^2t обирають найбільше з розрахованих значень.

3.3. Позначення та маркування електричних апаратів

3.3.1. Позначення електричних апаратів та інших елементів електричних кіл

Графічні позначення електричних апаратів, їх частин та інших елементів електричних кіл

Позначення електричних апаратів, їх частин та інших елементів електричних кіл в електричних схемах (circuit diagram) має здійснюватися за певними правилами для того, щоб ці схеми були зрозумілі широкому загалу фахівців. Вказані правила встановлюються стандартами – національними, міждержавними та міжнародними. Національні стандарти щодо позначень елементів електричних схем в Україні не розроблялися, оскільки існують відповідні стандарти, розроблені ще за часів СРСР. Ці стандарти (ГОСТ 2.721 – ГОСТ 2.767) зараз є чинними в Україні, маючи статус міждержавних. Умовні позначення за цими стандартами у значній мірі співпадають з символами, які застосовуються в міжнародному стандарті щодо графічних позначень для електричних схем ІЕС 60617*, хоча існують й певні відмінності. Наприклад, в ГОСТ 2.755 символ «х» визначається як «функция выключателя», а в ІЕС 60617 – як «circuit breaker function». Непорозуміння у даному випадку полягає в тому, що в деяких російських стандартах термін «выключатель» відповідає англomовному терміну «switch», а в інших – терміну «circuit breaker». Символ «о» в стандарті ГОСТ 2.755 визначається як «отсутствие самовозврата», а в ІЕС 60617 – як «terminal», а для позначення відсутності самоповертання (non-automatic return) застосовується інший символ – «- - ^ - -».

На вказані вище та деякі інші розбіжності не слід загострювати увагу, оскільки стандарти в Україні застосовуються на добровільній основі (Закон України «ПРО СТАНДАРТИЗАЦІЮ», № 2408, ст. 11, п. 5), крім тих стандартів, що додаються до Технічних регламентів – нормативних актів, які розробляються і застосовуються з метою захисту життя та здоров'я людей, тварин, рослин, національної безпеки, охорони довкілля та природних ресурсів, запобігання недобросовісній практиці (Закон України «ПРО СТАНДАРТИ, ТЕХНІЧНІ РЕГЛАМЕНТИ ТА ПРОЦЕДУРИ ОЦІНКИ ВІДПОВІДНОСТІ», № 3164, ст. 13, п. 1). Стандарти щодо позначення елементів електричних схем не входять до Додатків до Технічних регламентів, отже не є обов'язковими до застосування. Щоб уникнути певних непорозумінь термінологічного характеру, бажано користуватися першоджерелом – стандартом ІЕС, який є зрозумілим не тільки на пострадянському просторі, а й в інших країнах.

* Стандарт ІЕС 60617 «Graphical symbols for diagrams» у форматі pdf можна вільно отримати через Internet.

Літерно-цифрові позначення елементів електричних кіл

Будь-яка електрична схема може містити декілька однотипних елементів. Стандарт ГОСТ 2.710 вводить умовні літерно-цифрові позначення цих елементів, щоб мати можливість їх розрізняти та робити посилання на них в документації на об'єкт та інших текстових документах. Умовне позначення за ГОСТ 2.710 – це послідовність літер, цифр та знаків в один рядок без пробілів. У спрощеному вигляді структура позначення є такою:

- позначення виду елементу – одна або декілька прописних літер латинського алфавіту;
- позначення функції елементу (якщо треба) – одна або декілька прописних літер латинського алфавіту;
- номер елементу (якщо треба) – одна або декілька цифр;
- знак «:» та порядковий номер контакту – одна або декілька цифр (для елементів, які мають контакти).

Позначення виду елементу найчастіше складається з однієї або двох літер. Перша літера (обов'язкова) позначає групу видів елементів, друга літера уточнює вид елементу. Найменування груп видів елементів, що відповідають першим літерам позначень, наведені нижче.

- A Пристрої різні (підсилювачі, прилади телекерування, лазери тощо)
- B Перетворювачі неелектричних величин в електричні (гучномовці, мікрофони, термомпари тощо)
- C Конденсатори
- D Схеми інтегральні (аналогові мікросхеми, цифрові мікросхеми тощо)
- E Елементи різні (нагрівальні елементи, освітлювальні лампи тощо)
- F Розрядники, запобіжники тощо
- G Генератори, джерела живлення, батареї акумуляторів тощо
- H Пристрої індикації та сигналізації звукової, світлової тощо
- K Реле, контактори, пускачі
- L Котушки індуктивності, дроселі
- M Двигуни
- P Електровимірювальні прилади (амперметри, вольтметри, ватметри, лічильники електричної енергії, лічильники імпульсів тощо)
- Q Відмикачі, вимикачі, роз'єднувачі, короткозамикачі, перемикачі уземлення в силових колах
- R Резистори (шунти вимірювальні, потенціометри, варистори тощо)
- S Комутаційні апарати кіл керування (вимикачі, перемикачі, кнопкові вимикачі, термовимикачі тощо)
- T Трансформатори (силові трансформатори й автотрансформатори, вимірювальні трансформатори струму та напруги, стабілізатори тощо)
- U Пристрої зв'язку, перетворювачі електричних величин в електричні (модулятори, демодулятори, перетворювачі частоти, випростувачі, інвертори тощо)

- V Прилади електровакуумні та напівпровідникові (діоди, стабілітрони, тиристори, симістори, диністори тощо)
W Лінії та елементи НВЧ (антени, відгалужувачі, вентилі тощо)
X Контактні з'єднання та їх елементи (штирі, гнізда), струмознімачі тощо
Y Пристрої електромагнітні привідні (електромагніти, електромагнітні гальма, електромагнітні плити тощо)
Z Високочастотні кінцеві пристрої, фільтри, обмежувачі

Деякі приклади дволітерних кодів та назви елементів, які відповідають цим кодам, наведені нижче.

BA	Гучномовець	BK	Датчик температури
BP	Датчик тиску	BV	Датчик швидкості
DA	Аналогова мікросхема	DD	Цифрова мікросхема
EK	Нагрівальний елемент	EL	Лампа освітлювальна
FU	Запобіжник	FV	Розрядник
GB	Батарея акумуляторів	HA	Прилад звукової сигналізації
HL	Прилад світлової сигналізації	HG	Індикатор символний
KA	Реле струму	KK	Реле електротеплове
KM	Контактор, магнітний пускач	KT	Реле часу
KV	Реле напруги	KN	Реле вказівне
PA	Амперметр	PV	Вольтметр
PW	Ватметр	PR	Омметр
PS	Реєструвальний прилад	PT	Вимірювач часу дії
PI*	Лічильник активної енергії	PK	Лічильник реактивної енергії
QF	Відмикач (circuit-breaker)	QK	Короткозамикач
QS	Роз'єднувач	QE	Перемикач уземлення
SA	Вимикач, перемикач	SB	Кнопковий вимикач
SQ	Позиційний перемикач, кінцевий вимикач		
SK	Термовимикач	TA	Трансформатор струму
TV	Трансформатор напруги	TS	Стабілізатор
UZ	Перетворювач частоти, випростувач, інвертор		
VD	Діод, стабілітрон, диністор	VT	Транзистор
VS	Симістор	WA	Антенa
XA	Струмознімач	XT	З'єднувач
XP	Штир (з'єднувача)	XS	Гніздо (з'єднувача)
YA	Електромагніт	YB	Електромагнітне гальмо
YC	Електромагнітна муфта	YN	Електромагнітна плита

Приклади позначення контактів електричних апаратів:

KA:2 – контакт №2 реле KA; KM3:4 – контакт №4 контактора KM3.

* Дволітерний код PE для позначення вимірювальних приладів не допускається, оскільки сполучення PE застосовується для позначення захисних уземлювальних провідників.

3.3.2. Маркування електричних апаратів

Маркування електричних апаратів має за мету надання інформації користувачу про тип апарата, його основні характеристики та особливості керування ними. Перелік інформації, яка має бути нанесена на корпус апарата, регламентується профільними стандартами, але можна вказати на деякі спільні риси маркування, серед яких слід зазначити такі:

- 1) маркування має бути стійким, міцним й тривким;
- 2) оперативна інформація, яка є важливою для тих, хто оперує апаратом, має бути візуально доступною після встановлення апарата.

Перелік позицій, які відносяться до категорії оперативної інформації досить короткий:

- 1) номінативний струм;
- 2) позначення замкненого та розімкненого положення символами **I** та **O** поряд з актуаторами комутаційних апаратів;
- 3) позначення  або  або  для комутаційних апаратів, які забезпечують функцію роз'єднання.

Інформація, яка не відноситься до категорії оперативної (номінативна робоча напруга, номінативна напруга ізоляції, імпульсна витримувана напруга, рід струму, категорія застосування, характеристики здатності до відмикання тощо), є важливою для проєктантів, виробників комплектних пристроїв, монтувальників тощо. Ця інформація також має наноситися на корпус апарата, але необов'язково на ті частини, які є доступними для огляду після встановлення апарата.

На корпусі будь-якого апарата обов'язково має бути нанесена інформація щодо найменування виробника або торгівельної марки, а також позначення типу, каталожний або серійний номер апарата, що дає можливість користувачу отримати докладну інформацію про технічні характеристики апарата та особливості його експлуатації через каталоги та іншу технічну документацію виробника.

Для комутаційних апаратів дуже важливою є інформація щодо їх терміналів, які також повинні мати відповідне маркування на корпусі апарата. Нормативні вказівки щодо позначень терміналів наводяться в базовому стандарті стосовно комутаційних апаратів та апаратів керування низької напруги IEC 60947-1 (Annex L).

Метою запровадження стандартизованих позначень терміналів комутаційних апаратів є їх ідентифікація, тобто надання інформації стосовно функцій кожного з терміналів або про їх застосування. Маркування терміналів, яке виконується виробником, не повинно допускати будь-яких невизначеностей, кожне маркування має зустрічатися лише один раз, проте, два термінали, з'єднані конструктивно можуть мати однакове маркування.

Маркування різних терміналів одного елементу кола має однозначно позначати, що ці термінали відносяться до однієї гілки кола.

Маркування терміналів елементів, які мають імпеданс (катушки, сигнальні лампи тощо), має бути літерно-цифровим та містити одну чи дві літери, що позначають їх функціональне призначення, з наступними цифрами. Літери мають бути тільки великими латинськими, а цифри – арабськими.

Один з терміналів контактних елементів маркується непарним числом, інший термінал того ж контактного елемента маркується найближчим більшим парним числом.

Якщо треба ототожнити термінали, що належать до входу та виходу одного елемента, то менше число має відноситися до вхідного терміналу (наприклад: на вході – 1, на виході – 2; на вході – 3, на виході – 4).

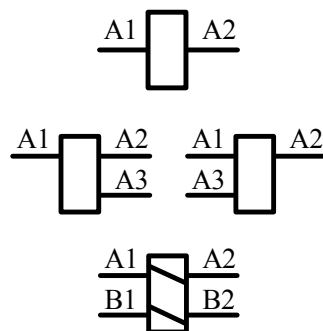
Наведена нижче інформація щодо позначень терміналів проілюстрована графічними позначеннями згідно з ІЕС 60617. Однак, слід мати на увазі, що ці графічні позначення не призначені для маркування терміналів на апаратах. Показане на ілюстраціях розташування терміналів не висуває вимог щодо фактичного розташування терміналів в апаратах.

Літерно-цифрове маркування терміналів елементів, які мають імпеданс Катушки (coils)

Два термінали катушки для електромагнітних приводів апаратів (electromagnetically operated drive) мають бути промарковані як A1 та A2.

Для катушки з відводами (coil with tapings) термінали відводів повинні мати послідовне маркування: A3, A4 тощо.

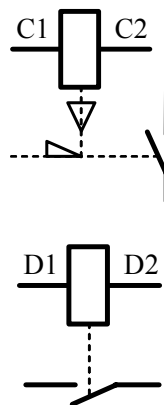
Для катушки з двома обмотками (coil with two windings) термінали першої обмотки мають маркуватися як A1, A2, а другої – B1, B2.



Електромагнітні розчіплювачі (electromagnetic releases)

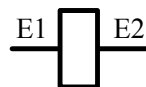
Два термінали шунтового або незалежного розчіплювача (shunt release) мають бути промарковані як C1 та C2. Якщо апарат має два шунтових розчіплювача, термінали другого розчіплювача мають бути промарковані як C3 та C4.

Два термінали катушки розчіплювача зниження напруги (under-voltage release) мають бути промарковані як D1 та D2. Якщо апарат має два таких розчіплювача (наприклад, з двома номінативними параметрами), термінали другого розчіплювача мають бути промарковані як D3 та D4.



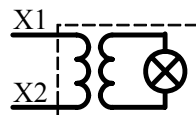
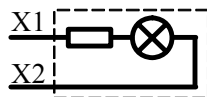
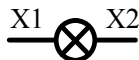
Блокувальні електромагніти (*interlocking electromagnets*)

Два термінали блокувального електромагніта мають бути промарковані як E1 та E2.



Пристрої світлової сигналізації (*indicating light devices*)

Два термінали пристрою світлової сигналізації мають бути промарковані як X1 та X2. Термін «пристрій світлової сигналізації» передбачає можливість наявності резистора або трансформатора.



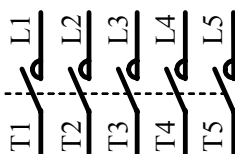
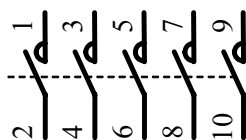
Цифрове маркування терміналів контактних елементів комутаційних апаратів з двома положеннями

Контактні елементи для головних кіл або головні контактні елементи (*contact elements for main circuits or main contact elements*)

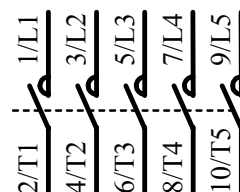
Термінали головних контактних елементів позначаються однією цифрою. Для кожного терміналу, позначеного непарною цифрою, є пов'язаний з ним термінал, позначений наступною парною цифрою.

Переважна більшість комутаційних апаратів мають один, два або три полюси, тому позначення терміналів для цих апаратів не викликає складнощів. Але, якщо кількість головних контактних елементів перевищує 4, виникають складнощі у позначеннях за цим правилом, адже у десятинній системі нема цифр, що перевищують 9. Тому сучасна практика, яка зафіксована не тільки в ІЕС 60947-1, а й у деяких інших стандартах, передбачає літерно-цифровий спосіб маркування терміналів головних контактних елементів – вхідні термінали позначають як L1, L2, L3, ... , а відповідні вихідні термінали – як T1, T2, T3, ... Стандарт ІЕС 60947-4-1 (профільний стандарт щодо електромеханічних контакторів та пускатрів) передбачає змішаний спосіб позначення терміналів головних контактів – вхідних терміналів як 1/L1, 3/L2, 5/L3, ... , а відповідних вихідних терміналів як 2/T1, 4/T2, 6/T3, ... У тому стандарті зазначено, що існуючі альтернативні способи маркування, а саме 1 – 2 та L1 – T1, поступово будуть замінятися новим змішаним способом.

Існуючі альтернативні способи
маркування



Новий змішаний спосіб
маркування

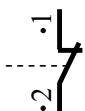


Контактні елементи допоміжних кіл або допоміжні контактні елементи (*contact elements for auxiliary circuit or auxiliary contact elements*)

Термінали допоміжних контактних елементів позначаються двозначними числами, у яких одиничний розряд є функціональною цифрою (function number), а десятинний розряд є порядковою цифрою (sequence number).

Функціональні цифри 1 та 2 відносяться до розмикальних контактних елементів (break-contact elements), а 3 та 4 – до замикальних контактних елементів (make-contact elements). Термінали перемикальних контактних елементів (change-over contact elements) мають маркуватися функціональними цифрами 1, 2 та 4.

Розмикальний
контактний елемент



Замикальний
контактний елемент



Перемикальний
контактний елемент



Точкою в наведених прикладах позначена позиція порядкової цифри.

Допоміжні контактні елементи зі спеціальними функціями, наприклад, допоміжні контактні елементи з витримкою часу (time-delayed auxiliary contact elements), мають маркуватися функціональними цифрами 5 та 6 (розмикальні контакти) та 7 та 8 (замикальні контакти).

Термінали перемикальних контактних елементів зі спеціальними функціями мають маркуватися функціональними цифрами 5, 6 та 8.

Розмикальний контакт
з витримкою часу при
замиканні



Замикальний контакт
з витримкою часу при
замиканні

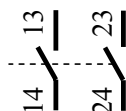


Перемикальний контакт
з витримкою часу
в обох напрямках

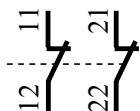


Порядкові цифри мають бути однаковими у позначеннях терміналів одного контактного елементу. Усі контактні елементи з однаковою функцією повинні мати різні порядкові цифри.

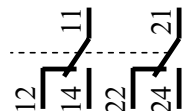
Два замикальні
контактні елементи



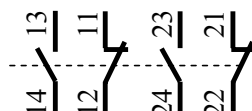
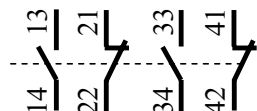
Два розмикальні
контактні елементи



Два перемикальні
контактні елементи

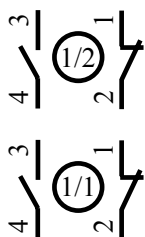
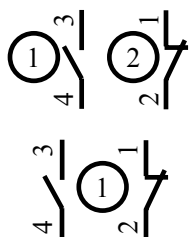


Два замикальні та два розмикальні контактні елементи (варіанти маркування)

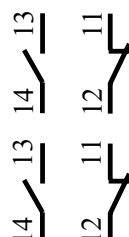


Порядкові цифри можуть бути пропущені тільки у випадку, коли виробник або споживач надають додаткову інформацію, яка дозволяє чітко визначити порядкову цифру, але такий спосіб позначення терміналів не рекомендуються для практичного застосування.

Позначення на апараті



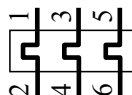
Позначення у відповідній схемі



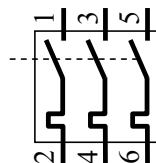
Маркування терміналів апаратів захисту від перевантаження

Термінали головних кіл апаратів захисту від перевантаження (overload protection devices) мають таке саме маркування, як і термінали головних контактних елементів.

Термінали головних кіл реле захисту від перевантажень

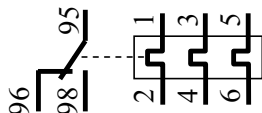


Термінали апарата, який поєднує комутаційний апарат та реле захисту

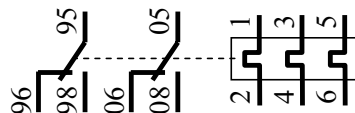


Термінали допоміжних контактних елементів апаратів захисту від перевантаження мають таке саме маркування, як і термінали допоміжних контактних елементів зі спеціальними функціями, але з порядковою цифрою 9. Якщо виникає потреба у другій порядковій цифрі, вона має бути цифрою 0.

Термінали реле захисту від перевантажень з одним перемикальним контактом



Термінали реле захисту від перевантажень з двома перемикальними контактами



Відмітне число

Для апарата з визначеною кількістю замикальних та розмикальних контактних елементів може бути застосовано відповідне двозначне відмітне число (distinctive number). Перша цифра позначає кількість замикальних контактних елементів, а друга – розмикальних контактних елементів.

Відмітні числа застосовують зокрема для позначення типовиконань деяких комутаційних апаратів кіл керування.

3.3.3. Кольорове кодування та маркування

Кольорове кодування – це один з засобів функціонування інтерфейсу «людина-машина»^{*}, призначений для надання операторам та іншим користувачам невербальної інформації^{**} про стан певних об'єктів, їх частин, а також пов'язаного з цими об'єктами обладнання. Загальні принципи інтерфейсу «людина-машина» наводяться в міжнародному стандарті ІЕС 60073. Серед інших принципів цього інтерфейсу стандарт встановлює певні правила застосування кольорів стосовно захищеності людей, умов у процесі та стану обладнання. Зокрема для актуаторів та індикаторів рекомендуються такі кольори: ЧЕРВОНИЙ, ЖОВТИЙ, ЗЕЛЕНИЙ, БЛАКИТНИЙ, БІЛИЙ, СІРИЙ, ЧОРНИЙ. Значення кольорів наведено у табл. 3.6.

Таблиця 3.6. Значення кольорів (основні правила)

Колір	Захищеність людей або оточення	Умови процесу	Стан обладнання
ЧЕРВОНИЙ	Загроза	Небезпека	Пошкодження
ЖОВТИЙ	Застереження / Привернення уваги	Ненормальні умови	Ненормальний стан
ЗЕЛЕНИЙ	Безпека	Нормальні умови	Нормальний стан
БЛАКИТНИЙ	Значення припису (наприклад, сигнал оператору про умови, які вимагають дій, необхідність введення певної інформації тощо)		
БІЛИЙ СІРИЙ ЧОРНИЙ	Конкретні значення не регламентуються		

Для актуаторів стандарт рекомендує застосовувати білий, сірий та чорний кольори, надаючи перевагу чорному кольору. Чорний колір може застосовуватися також і в індикаторах, наприклад для символів на екрані.

Кольорові позначення в сфері використання електричних апаратів застосовуються для:

- 1) позначення стану головних контактів комутаційних апаратів, придатних до роз'єднання;
- 2) позначення стану топких елементів запобіжників;
- 3) привернення уваги до небезпечних частин;
- 4) привернення уваги до актуаторів, призначених для аварійного від'єднання електричних електроустановок від джерел живлення;
- 5) ідентифікації окремих провідників та їх функціонального призначення у кабелях та шнурах;
- 6) позначення характеристик апаратів та аксесуарів;
- 7) індикації стану обладнання, пов'язаного з апаратами кіл керування.

^{*} Інтерфейс «людина-машина» (man-machine interface; MMI) – частини обладнання, призначені для забезпечення способів прямої взаємодії між оператором та обладнанням, які дозволяють оператору спостерігати за обладнанням та керувати ним. Такими частинами можуть бути актуатори для ручного керування, індикатори та екрани.

^{**} Невербальна інформація – це інформація, яка надається без застосування словесних виразів.

Позначення стану головних контактів комутаційних апаратів, придатних до роз'єднання

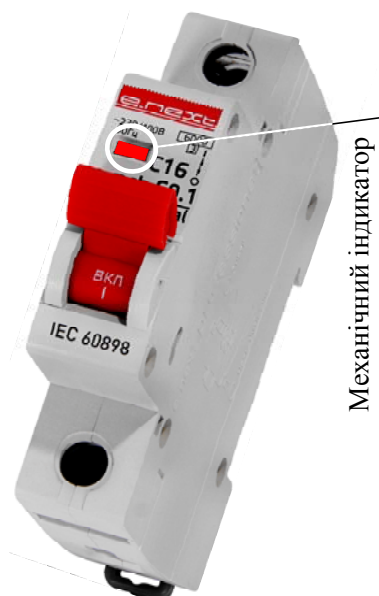


Рис. 3.26. Індикація положення контактів в комутаційному апараті з функцією роз'єднання

Одним із способів індикації положення головних контактів (замкнене чи розімкнене) комутаційних апаратів, придатних до роз'єднання відповідно до вимог базового стандарту стосовно комутаційних апаратів та апаратів керування низької напруги IEC 60947-1 (див. п. 2.3.1) є застосування спеціальних механічних індикаторів. Хоча згаданий стандарт не висуває вимог щодо способів індикації, але в реальних конструкціях комутаційних апаратів (рис. 3.26) застосовується саме кольорова індикація – зелений колір індикатора показує, що головні контакти апарата розімкнені, тобто між терміналами не існує струмопровідного шляху, а червоний колір індикатора показує, що головні контакти замкнені, тобто між терміналами існує струмопровідний шлях.

Позначення стану топких елементів запобіжників

Запобіжники промислового застосування мають доступні небезпечні струмопровідні частини. У розподільних пристроях іноді їх розташовують дуже щільно (рис. 3.27,а). Якщо розподільний пристрій живить багато однофазних навантаж, то заміну запобіжника, який вийшов з ладу, доводиться здійснювати, не відмикаючи увідний комутаційний апарат, аби не знеструмлювати споживачів, які живляться через інші запобіжники. І хоча заміна вставки здійснюється за допомогою ізоляційного знімача (рис. 4.3), помилкове витягування з контактів непошкодженого запобіжника, який знаходиться під навантаженням, приведе до виникнення електричної дуги з непередбачуваними наслідками. Тому деякі виробники пропонують



запобіжники з механічними кольоровими індикаторами: червоний колір свідчить про непошкодженість вставки, а зелений колір – про відсутність струмопровідного шляху між контактами вставки.

Рис. 3.27. Застосування запобіжників промислового призначення у розподільних пристроях (а) та вставка з кольоровим індикатором стану топкого елемента (б)

Привернення уваги до небезпечних частин

Колір поверхонь обладнання та окремих його частин має бути підібраний так, щоб забезпечити привернення уваги до небезпечних частин. Наприклад, розподільна шафа при закритих дверцях не становить небезпеки для персоналу, який працює у даному приміщенні та не повинен виконувати роботи з розподільною шафою. Якщо ж допущені особи мають виконувати певні роботи у цій шафі й відкривати її дверці (рис. 4.88,а), то інші особи не повинні наближатися до шафи й на підлозі необхідно позначити небезпечну зону жовто-чорною лінією. Небезпечні зони у приміщеннях, де працюють допущені особи, мають бути огорожені, а огорожа має бути пофарбована у жовтий колір (рис. 4.88,б).

Розподільні пристрої (РП) зазвичай складаються з однієї або декількох металевих (інколи – пластикових) комірок, всередині яких розташовують збірні шини (busbar), які через комутаційний апарат та апарат захисту приєднують до джерела живлення, й до яких через комутаційні апарати та апарати захисту приєднують навантаги одного чи декількох споживачів електричної енергії (п. 4.4). Збірні шини зазвичай складаються з неізольованих шин (bar), дотик до яких є надзвичайно небезпечним. Для привернення уваги персоналу, що обслуговує РП, до цих небезпечних активних частин (hazardous-live-part) шини фарбують у різні кольори, зокрема у трифазних РП згідно з ПУЕ застосовують червоний, зелений та жовтий кольори, причому шини, які розташовані ближче до обслуговуючого персоналу, мають бути пофарбовані у кольори, які найбільше привертають увагу – червоний та жовтий (див. рис. 3.27,а).

Привернення уваги до актуаторів, призначених для аварійного від'єднання електричних електроустановок від джерел живлення

При виникненні в обладнанні аварійної ситуації, не пов'язаної з перевантаженнями та короткими замиканнями, апарат захисту, через який живиться обладнання, не зреагує на цю ситуацію й не від'єднає пошкоджене обладнання від джерела живлення. При цьому негайне відмикання повинен здійснити оператор, який доглядає за обладнанням. Актуатор, за допомогою якого відмикається живлення, має привертати увагу й згідно з вимогами базового стандарту щодо комутаційної апаратури та апаратури керування ІЕС 60947-1 має бути червоного кольору.

На рис. 3.28 зображено фото автоматичного відмикача з кнопковими актуаторами, один з яких (червоного кольору) призначений для ручного відмикання навантаги від джерела живлення.



Рис. 3.28. Актуатор червоного кольору забезпечує відмикання обладнання від джерела живлення

Ідентифікація окремих провідників та їх функціонального призначення у кабелях та шнурах

При приєднанні кабелів (п. 4.4.4) до обладнання завжди виникає проблема правильного вибору одного провідника (який треба приєднати до конкретного терміналу обладнання) з декількох провідників, які містяться всередині захисного покриття кабелю. В інформаційних кабелях (control cable) ця проблема є дуже гострою й розв'язується застосуванням різнокольорової ізоляції різних провідників. В кабелях та шнурових комплектах (cord set) кольори ізоляції не тільки розрізняють провідники, але й позначають їх функціональне призначення: N провідники мають ізоляцію синього або блакитного кольору, PE провідники – ізоляцію жовто-зеленого кольору, а лінійні провідники – ізоляцію будь-якого кольору, крім синього, блакитного або жовто-зеленого.

Позначення характеристик апаратів та аксесуарів

Якщо розміри апаратів або аксесуарів (accessory) не дозволяють наносити на їх поверхні літерно-цифрову або графічну інформацію про їх характеристики, застосовуються кольорові позначення, форма та колір яких регламентуються профільними стандартами. Зокрема, для вставок мініатюрних запобіжників (miniature fuse-link) та субмініатюрних вставок (sub-miniature fuse-link), стандарт IEC 60127-1 встановлює спосіб маркування, який передбачає нанесення на циліндричні корпуси вставок чотирьох кільцевих смужок, які відрізняються за товщиною та кольором (рис. 3.29). Значення розмірів s та d , що визначають товщину смужок та відстань між ними, мають дорівнювати $0,4^{+0,1}$ мм. Кольорове позначення, що здійснене у такий спосіб, дозволяє ідентифікувати номінальний струм вставки (за поєднанням кольорів перших трьох вузьких стрічок) та її швидкодію (за кольором четвертої широкої стрічки).

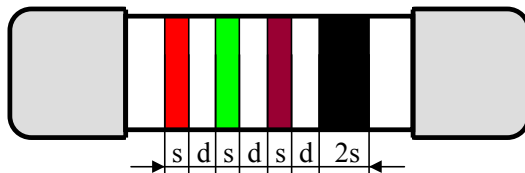


Рис. 3.29. Спосіб кольорового маркування субмініатюрних вставок

Індикація стану обладнання, пов'язаного з апаратами кіл керування

Деякі апарати кіл керування, зокрема кнопкові перемикачі можуть містити приєднані сигнальні лампи, які розташовують під напівпрозорою поверхнею кнопки певного забарвлення (рис. 4.29). Колір кнопки, а також кольори окремих індикаторних ламп та екранів регламентуються вимогами інтерфейсу «людина-машина» (див. табл. 3.6).

ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА АПАРАТУРА. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ

Нагадаємо, що термін «електрична апаратура комутації й керування» (switchgear and controlgear) позначає сукупність електричних апаратів, їх комбінацій (комплектних пристроїв) та приєднаного обладнання, що призначені для комутації електричних кіл, керування технологічними процесами та захисту людей, тварин, майна і довкілля від згубної дії електричної енергії. У даній главі розглядається лише *електромеханічна* електрична апаратура, яка домінує на актуальному ринку, а порядок розгляду побудований відповідно до класифікації за напругою – апарати низької, середньої та високої напруги розглянуто в окремих розділах. Комплектні пристрої низької, середньої та високої напруги розглянуто в окремому розділі, де розглядаються основні принципи їх побудови та наводяться приклади деяких сучасних розподільних систем. У тому ж розділі розглянуто також апарати, які відносяться до допоміжного обладнання комплектних пристроїв, а саме: обмежувачі імпульсних виплесків струму та напруги, трансформатори струму, трансформатори напруги, шини та шинопроводи, системи порядкування кабелів тощо. У даній главі наводяться лише початкові відомості про вказані вище апарати, а саме: їх визначення згідно з IEC, призначення, принцип дії, характерні елементи будови, найважливіші характеристики та сфери застосування.

4.1. Електромеханічні комутаційні апарати низької напруги

Серед електромеханічних апаратів, які застосовуються у комплектних пристроях низької напруги для комутації електричних кіл, розподілення електричної енергії й керування обладнанням, а також у побутовій сфері, найбільш розповсюдженими є: запобіжники; роз'єднувачі, вимикачі, комбінації із запобіжниками; промислові відмикачі; відмикачі для побутових електроустановок; відмикачі, керовані різницевиими струмами; контактори та пускачі; апарати кіл керування; електромагнітні реле; з'єднувальні пристрої промислового призначення; вимикачі та з'єднувачі побутового застосування.

4.1.1. Запобіжники

Запобіжник (fuse) – це апарат, який шляхом розтоплення одного або декількох спеціально спроектованих деталей розмикає коло, у якому він встановлений, відмикаючи струм, коли той перевищує задане значення впродовж обумовленого часу. Таким чином, запобіжник здійснює захист електричних мереж та обладнання від перевантажень й коротких замикань, забезпечуючи, за певних умов, ефект струмообмеження (див. п. 3.2.3).

За своїм призначенням (категорією застосування) розрізняють запобіжники, призначені для захисту розподільних мереж (запобіжники цієї категорії позначають літерами G або L), запобіжники, призначені для захисту напівпровідникових пристроїв (їх позначають літерою R) та запобіжники, призначені для захисту кіл з електродвигунами (їх позначають літерою M). При правильно виконаній системі уземлення електрообладнання, запобіжники забезпечують захист людей та тварин від непрямих дотиків.

Оскільки процес нагрівання провідників електромереж є досить інерційним, запобіжники категорії G або L мають відмикати коло із надструмом не одразу після його виникнення, а через визначений проміжок часу, тривалість якого визначається у залежності від рівня надструму. Таким чином, ці запобіжники не припиняють живлення навантаг при випадкових короткочасних надструмах, які є безпечними для мереж, отже не переривають технологічний процес, пов'язаний з такими надструмами. Так само діють й запобіжники категорії M. Вставки запобіжників категорії R призначені для захисту напівпровідникових пристроїв (fuse-links for the protection of semiconductor devices) від коротких замикань, вони мають діяти дуже швидко, тому їх називають також швидкодіючими.

Запобіжник не слід ототожнювати з частиною, що розтоплюється при надструмах або тією частиною, яку належить замінити після спрацьовування. Запобіжник містить усі частини, що утворюють єдиний пристрій (рис. 4.1).



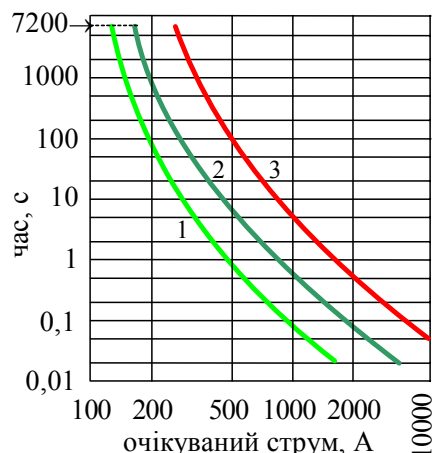
Рис. 4.1. Частини запобіжника ПРС: 1 – ізоляційна кришка; 2 – основа (fuse-base); 3 – тримач вставки (fuse-carrier); 4 – калібрувальна деталь (gauge-piece); 5 – вставка (fuse-link). До складу вставки входить топкий елемент (fuse-element), який розтоплюється при надструмах. Тримачем запобіжника (fuse-holder) називають поєднання основи та тримача вставки

Основними кількісними характеристиками запобіжника є номінативна напруга, номінативний струм (встановлюються окремо для тримачів та вставок, причому характеристики тримачів мають поглинати відповідні характеристики вставок, придатних для встановлення на них), а також номінативна здатність до відмикання (rated breaking capacity), тобто значення очікуваного

струму, який вставка запобіжника спроможна відімкнути при заданій напрузі та деяких інших приписаних умовах. Для вставок дуже важливим є такий показник, як діапазон відмикання (breaking range) тобто діапазон очікуваних струмів, у межах якого забезпечується здатність до відмикання вставки. Якщо вставка здатна відмикати усі струми, які розтоплюють топкий елемент аж до номінативної здатності до відмикання, вона позначається літерою g, а якщо лише у частині цього діапазону – літерою a. Вставки, позначені літерою g, забезпечують захист обладнання як від коротких замикань, так і від перевантажень, а вставки, позначені літерою a, зазвичай забезпечують захист обладнання лише від коротких замикань. Поєднання діапазону відмикання та категорії застосування прийнято називати класом запобіжника. Наприклад, запобіжники класу gG призначені для захисту мереж від перевантажень та коротких замикань, а запобіжники класу aR призначені для захисту напівпровідникових пристроїв лише від коротких замикань.

Важливою захисною характеристикою запобіжника є часо-струмова характеристика (time-current characteristic) – крива, що показує залежність часу, наприклад, переддугового часу або часу спрацьовування, від очікуваного струму при заданих умовах роботи. Час спрацьовування (operating time) складається з переддугового часу (pre-arcing time), тобто проміжку між моментом виникнення надструму й моментом початку розтоплення топкого елементу та часу горіння дуги, що виникає після розтоплення топкого елементу. Оскільки часо-струмові характеристики мають значний розкид, виробники в технічній документації для кожного значення номінативного струму запобіжника певного типорозміру наводять так звану часо-струмову зону (time-current zone) – область, яка обмежена мінімальною переддуговою часо-струмовою характеристикою та максимальною часо-струмовою характеристикою спрацьовування при визначених умовах. Часо-струмова зона запобіжника повинна розташовуватися нижче характеристики пошкодження об'єкту захисту, тобто залежності часу виходу з ладу цього об'єкту від очікуваного струму (рис. 4.2).

Рис. 4.2. Узгодження часо-струмової зони запобіжника з характеристикою пошкодження об'єкту захисту:
1 – мінімальна переддугова часо-струмова характеристика; 2 – максимальна часо-струмова характеристика спрацьовування; 3 – характеристика пошкодження об'єкту захисту



Відповідно до вимог стандарту IEC 60269-1 у запобіжників категорії G з номінативним струмом I_n , розтоплення топкого елементу не повинно

наставати впродовж визначеного умовного часу при струмі $1,25 \cdot I_n$ (умовний струм нерозтоплення), а при струмі $1,6 \cdot I_n$ (умовний струм розтоплення) розтоплення має відбутися обов'язково впродовж того самого часу. Значення умовного часу визначено в ІЕС 60269-1 у залежності від номінального струму і може становити від однієї до чотирьох годин. Зокрема, при $I_n = 100$ А зазначений умовний час становить дві години, тому зверху часо-струмова зона обмежена часом 7200 с (див. рис. 4.2).

Розрізняють запобіжники для експлуатації некваліфікованими особами (fuses for use by unskilled persons) та запобіжники для експлуатації допущеними (кваліфікованими або інструктованими) особами (fuses for use by authorized persons). У запобіжників першої групи (їх називають також запобіжниками побутового та аналогічного призначення – fuses for domestic and similar applications), небезпечні струмопровідні частини у робочому стані закриті ізоляційними деталями (див. рис. 4.1), що робить ці апарати відносно безпечними, навіть якщо їх експлуатацію здійснюють некваліфіковані особи.

У запобіжників другої групи (їх називають також запобіжниками промислового призначення – fuses for industrial application) небезпечні струмопровідні частини є відкритими і доступними для прямого дотику, тому їх завжди монтують у закритих металевих шафах. Вітчизняні запобіжники промислового призначення серії ПН2 (рис. 4.3) мають чотири типорозміри, які охоплюють діапазон номінальних струмів від 31,5 А до 630 А при номінальній напрузі 380 В. Здатність до відмикання коротких замикань у запобіжників ПН2-100 (найменший габарит) становить 100 кА, а у запобіжників ПН2-600 (найбільший габарит) становить лише 40 кА. Вітчизняні запобіжники для побутових та аналогічних електроустановок серії ПРС (див. рис. 4.1) також мають чотири типорозміри, які охоплюють діапазон номінальних струмів від 1 А до 100 А при номінальній напрузі 380 В. Здатність до відмикання коротких замикань у запобіжників ПРС становить 15 ... 20 кА.

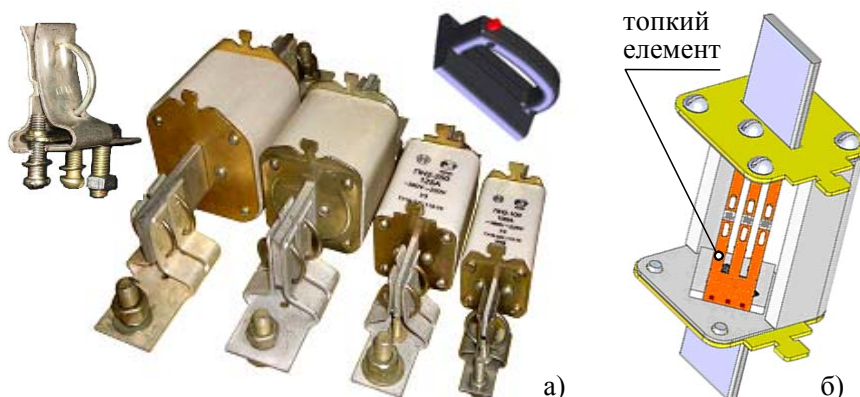


Рис. 4.3. Вітчизняні запобіжники промислового призначення серії ПН2:
а – чотири типорозміри (ПН2-600, ПН2-400, ПН2-250 та ПН2-100), ізоляційний знімач вставок (праворуч) та контакт основи (ліворуч) ; б – вставка запобіжника у перетині

Сучасні запобіжники промислового призначення європейської системи NH (рис. 4.4) охоплюють діапазон номінативних струмів від 2 А до 1600 А при номінальній напрузі 500 В та 690 В. Здатність до відмикання цих запобіжників сягає 160 кА. У порівнянні із ПН2, запобіжники системи NH при однакових номінативах мають менші розміри та більш економічні – розсіювана потужність у вставках (power dissipation in a fuse-link) запобіжників системи NH приблизно на 30% ... 40% менша ніж у вставках ПН2.

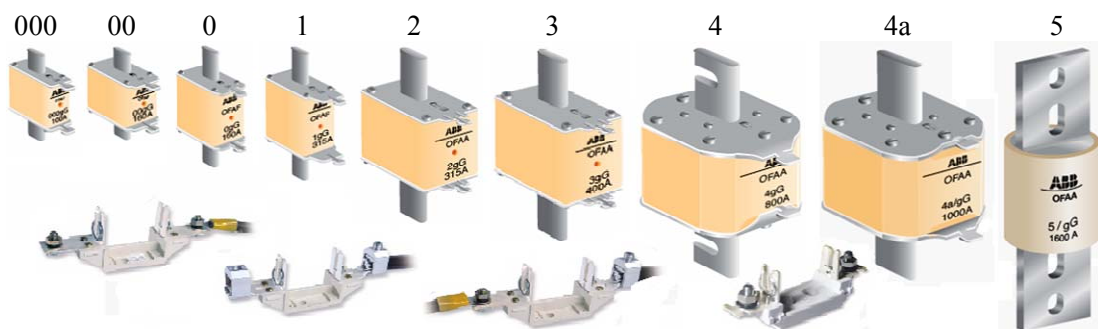


Рис. 4.4. Сучасні європейські запобіжники промислового призначення системи NH: вставки типорозмірів 000, 00, ..., 4a, 5 та ізоляційні основи з терміналами різних виконань (знизу) та різними можливостями приєднання зовнішніх провідників

Топкі елементи запобіжників промислового призначення зараз виготовляють з міді, хоча раніше існувала думка, що мідь, внаслідок її схильності до окислення при високих температурах (понад 300°C), не може забезпечити стабільність часо-струмових характеристик. Для топких елементів застосовувався цинк та інші відносно легкотопні метали, не схильні до окислення. Ще й зараз подекуди працюють розподільні пристрої з запобіжниками ПР-2, топкі елементи яких виготовлені з цинку.

Застосування міді для топких елементів запобіжників розпочалося в середині минулого століття, коли було відкрито так званий металургійний ефект (m-effect), який проявляється у розчиненні міді в розтопленому легкотопному металі. Топкі елементи запобіжників виготовляють з тонких (товщиною порядку 0,1 мм) пластин з отворами різних форм (рис. 4.5-а), які розбивають топкий елемент на послідовні та паралельні ділянки. Проміжки між отворами називають перешийками, а ділянки без отворів – широкою частиною. Поблизу одного з рядів отворів розташовують канавку, заповнену легкотопною компонентою – металургійним розчинником (олово та його стопи тощо). При номінальному струмі температура мідного топкого елементу для запобігання окисненню не повинна перевищувати 150 ... 200°C, а оскільки температура топлення міді становить 1083°C, спрацювання запобіжника без металургійного розчинника відбудеться при струмі, який у 2 ... 3 рази перевищує номінальне значення. За наявності металургійного розчинника, коли при струмі, який перевищує номінальне значення в 1,3 ... 1,6 разів, температура топкого елемен-

ту сягає температури топлення розчинника (зазвичай – це 200 ... 250°C), останній розтоплюється, піднімається до перешийків, розчиняє їх, внаслідок чого перешийки розтоплюються, на них виникає дуга, й запобіжник спрацьовує. Отже, запобіжники з мідним топким елементом без металургійного ефекту не здатні здійснювати захист в зоні перевантажень, а можуть забезпечувати лише захист в зоні коротких замикань (діапазон відмикання а). Запобіжники з металургійним ефектом здатні здійснювати захист не тільки в зоні коротких замикань, а й у зоні перевантажень (діапазон відмикання g).

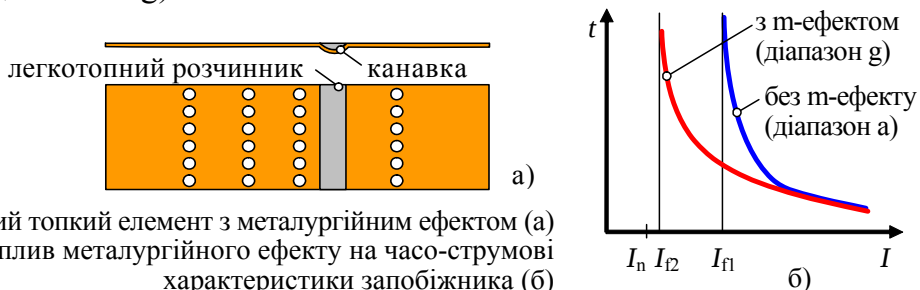


Рис. 4.5. Мідний топкий елемент з металургійним ефектом (а) та вплив металургійного ефекту на часо-струмові характеристики запобіжника (б)

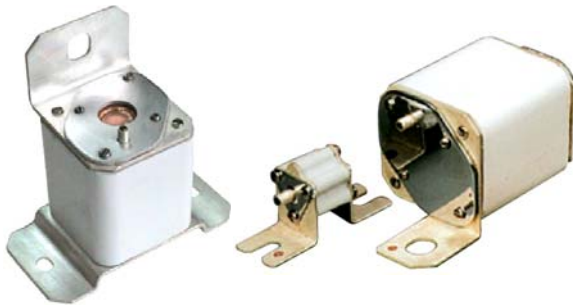
Сучасні запобіжники для побутових та аналогічних електроустановок європейських систем D, D0 та циліндричні вставки (рис. 4.6) охоплюють діапазон номінативних струмів від 2 А до 100 А при номінальній напрузі 400 В (система D0) та 500 В (система D та циліндричні вставки). Здатність до відмикання коротких замикань у цих запобіжників сягає 40 ... 50 кА (системи D та D0) та 120 кА (циліндричні вставки).



Рис. 4.6. Вставки запобіжників побутового призначення систем D0, D, та циліндричні вставки різних типорозмірів, а також запобіжник системи D0 в зібраному стані на DIN рейці

Запобіжники системи D0 призначені тільки для захисту електропроводок (клас gG), циліндричні вставки, які застосовуються у комбінаціях з комутаційними апаратами, призначені для захисту електропроводок та кіл з електродвигунами (класи gG та aM), а запобіжники системи D забезпечують також захист напівпровідникових пристроїв, відтак охоплюють усі основні класи – gG, aR та aM.

Запобіжники, призначені для захисту напівпровідникових пристроїв, зазвичай не мають основ та тримачів й закріплюються на шинопроводах за допомогою болтів через отвори на виводах (рис. 4.7). Топкі елементи цих запобіжників виготовляють з чистого срібла, металургійний ефект в них не

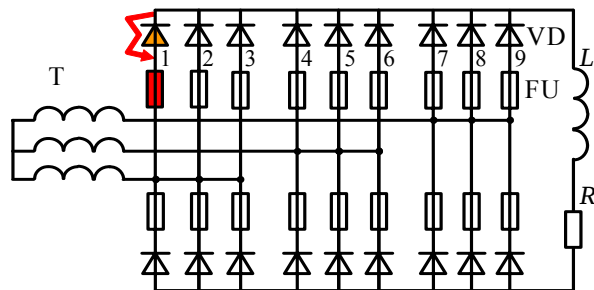


застосовують. Незважаючи на це, вони забезпечують як діапазон а, так і діапазон г.

Рис. 4.7. Деякі вітчизняні швидкодіючі запобіжники для захисту напівпровідникових приладів

Швидкодіючі запобіжники оснащують спеціальними пристроями – ударниками (striker). При спрацьовуванні запобіжника ударник впливає на актуатор розташованого поруч комутаційного апарата кіл керування, який передає сигнал про спрацьовування вставки на пульт оператора або забезпечує виконання певних автоматичних дій. Швидкодіючі запобіжники, на відміну від будь-яких інших апаратів, забезпечують надійний захист випростувачів від внутрішніх коротких замикань (рис. 4.8), коли пошкоджений вентиль починає проводити струм в обох напрямках, внаслідок чого виникає струм короткого замикання в вентилях сусідніх плечей мосту. Запобіжники, розташовані послідовно з тими вентилями, не здатні їх захистити, але виходу їх з ладу заважає запобіжник, розташований послідовно з пошкодженим вентилям. Через цей запобіжник тече значно більший струм, тому спрацьовує саме він, розриваючи коло короткого замикання.

Рис. 4.8. Внутрішнє коротке замикання в випростувачі Ларіонова: запобіжник 1 захищає не вентиль 1, який вже вийшов з ладу, а вентиля 4 ... 9, які на момент виходу з ладу вентиля 1 лишалися непошкодженими



Для захисту радіоелектронних пристроїв застосовують мініатюрні запобіжники (miniature fuse), вставки яких (miniature fuse-link) мають принаймні один розмір, що не перевищує 10 мм (рис. 4.9-а), та субмініатюрні вставки (sub-miniature fuse-link), жодний з розмірів яких не перевищує 10 мм (рис. 4.9-б), з номінативними струмами від 2 мА до 10 А (номінативна напруга – 250 В) та здатністю до відмикання від 35 А до 1,5 кА.



Рис. 4.9. Деякі конструкції мініатюрних запобіжників (а) та субмініатюрних вставок (б)

4.1.2. Роз'єднувачі, вимикачі та комбінації із запобіжниками

Роз'єднувач (disconnector) – це електромеханічний комутаційний апарат, який забезпечує у розімкненому положенні ізоляційний проміжок відповідно до приписаних вимог. В ІЕС 60947-3, 2.2 уточнюється, що до приписаних вимог мають входити вимоги щодо забезпечення функції роз'єднання. Там же зазначається, що роз'єднувач здатний розмикати та замикати коло при незначному струмі або незначній зміні напруги на терміналах кожного з його полюсів (до розмикання та після розмикання). На корпусах роз'єднувачів стандарт вимагає розміщувати попередження: «Do not operate under load» (не розмикати під навантагою). Роз'єднувач також здатний проводити струми при нормальних умовах в колі, а також впродовж визначеного часу проводити струм при ненормальних умовах, таких як коротке замикання.

Таким чином, основним призначенням роз'єднувача (рис. 4.10-а) є забезпечення функції роз'єднання у розімкненому положенні.

Вимикач (електромеханічний) ((mechanical) switch) – це електромеханічний комутаційний апарат, спроможний вмикати, проводити та вимикати струми при нормальних умовах у колі, у тому числі при обумовлених перевантаженнях, а також витримувати впродовж обумовленого часу струми при обумовлених ненормальних умовах у колі, таких, як коротке замикання. Вимикач може бути спроможним вмикати, але не вимикати струми короткого замикання. Вимикачі, що забезпечують функцію роз'єднання, називають вимикачами-роз'єднувачами (switch-disconnector) (рис. 4.10-б). Роз'єднувачі та вимикачі-роз'єднувачі застосовують у розподільних пристроях для здійснення ручних операцій вмикання/вимикання електричних кіл. Ці апарати не забезпечують захист мереж від перевантажень та коротких замикань, тому у розподільних пристроях послідовно до цих апаратів приєднують запобіжники.

Комбінація із запобіжником (fuse-combination unit) – це апарат, у якому поєднується роз'єднувач або вимикач-роз'єднувач та запобіжник. Такий апарат суттєво економить місце у розподільному пристрої та спрощує його виготовлення.

Найбільш розповсюдженими комбінаціями із запобіжниками є роз'єднувач-запобіжник (disconnector-fuse); вимикач-роз'єднувач-запобіжник (switch-disconnector-fuse); запобіжник-роз'єднувач (fuse-disconnector) та запобіжник-вимикач-роз'єднувач (fuse-switch-disconnector). Перші два апарата (рис. 4.11) представляють собою просте поєднання комутаційного апарата з послідовно приєднаним до нього запобіжником. Останні два апарата – це спеціально сконструйовані апарати, у яких роль рухомого контакту виконує вставка запобіжника (рис. 4.12). У цих апаратах, а також у роз'єднувачах-запобіжниках зазвичай реалізуються залежні

ручні операції (dependent manual operation) замикання та розмикання тобто операції, у яких швидкість та сила операції залежать від дії оператора. Для забезпечення виконання операції розмикання, оператор повинен швидко виконувати цю операцію. На корпусах апаратів із залежними ручними операціями деякі виробники розміщують напис «Open quickly» (розмикати швидко). У вимикачах-роз'єднувачах-запобіжниках з метою забезпечення надійного відмикання кіл з великими струмами реалізуються незалежні ручні операції (independent manual operation), у яких швидкість та сила операції не залежать від дії оператора. Сучасні вимикачі-роз'єднувачі-запобіжники завдяки великій здатності до відмикання запобіжника забезпечують ефективний захист електроустановок від коротких замикань, а завдяки швидкому розмиканню контактів та потужній дугогасній системі вимикача забезпечують відмикання значних робочих струмів (до 3150 А) та струмів перевантаження. Значення робочих струмів запобіжників-вимикачів-роз'єднувачів зазвичай не перевищує 400 А. Оскільки в цих апаратах реалізуються залежні операції розмикання, не виключається й відносно повільне розмикання контактів.



Рис. 4.10. Роз'єднувач із залежними операціями замикання та розмикання (а) та вимикач-роз'єднувач з незалежними операціями замикання та розмикання (б).

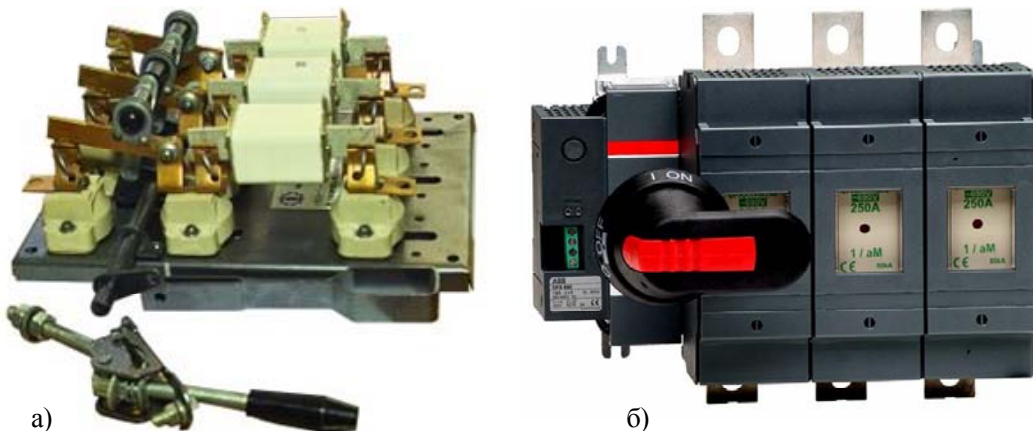


Рис. 4.11. Роз'єднувач-запобіжник із залежними операціями замикання та розмикання (а) та вимикач-роз'єднувач-запобіжник з незалежними операціями замикання та розмикання (б).

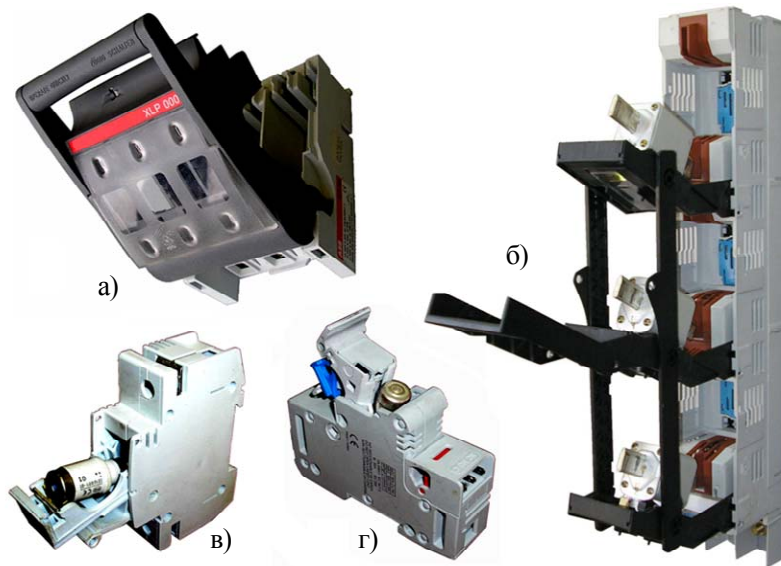


Рис. 4.12. Запобіжники-вимикачі-роз'єднувачі промислового призначення з горизонтальним (а) та вертикальним (б) розташуванням вставок та комбінації із запобіжниками побутового призначення – вимикач-роз'єднувач-запобіжник (в) і запобіжник-роз'єднувач (г).

Комутаційні апарати з ручним керуванням передбачають роботу у колах змінного (АС) та постійного (DC) струму. Аббревіатури АС та DC входять у позначення категорій застосування цих апаратів. Літерою А позначають застосування з частими комутаціями (комутаційний ресурс – до 10 000 операцій вмикання/вимикання), літерою В – з рідкими комутаціями (комутаційний ресурс – до 2 000 операцій вмикання/вимикання). Категорії застосування комутаційних апаратів з ручним керуванням представлені у табл. 4.1.

Таблиця 4.1. Категорії застосування апаратів з ручним керуванням

Категорія застосування		Типові застосування
АС-20А	АС-20В	З'єднання та роз'єднання без навантаги
АС-21А	АС-21В	Комутація активних навантаг, у тому числі при помірних перевантаженнях
АС-22А	АС-22В	Комутація змішаних активних та індуктивних навантаг, у тому числі при помірних перевантаженнях
АС-23А	АС-23В	Комутація кіл з двигунами або з іншими високоіндуктивними навантагами
DC-20А	DC-20В	З'єднання та роз'єднання без навантаження
DC-21А	DC-21В	Комутація активних навантаг, у тому числі при помірних перевантаженнях
DC-22А	DC-22В	Комутація змішаних активних та індуктивних навантаг (наприклад, двигунів паралельного збудження), у тому числі при помірних перевантаженнях
DC-23А	DC-23В	Комутація кіл з двигунами (наприклад, кіл двигунів паралельного збудження), або з іншими високоіндуктивними навантагами

4.1.3. Відмикачі промислового застосування

Відмикач (circuit-breaker) – це електромеханічний комутаційний апарат, здатний вмикати, проводити та відмикати струми при нормальних умовах у колі, а також вмикати, проводити впродовж обумовленого часу та відмикати струми при обумовлених ненормальних умовах у колі, таких як коротке замикання. Вимоги до відмикачів промислового застосування сформульовано в міжнародному стандарті ІЕС 60947-2.

Хоча майже увесь робочий час ці апарати, які застосовуються у системах розподілення електричної енергії, знаходяться у замкненому стані і працюють при нормальних умовах в колі (у такому стані вони можуть знаходитися дні, тижні, місяці й навіть роки), основним їх призначенням є захист електроустановок від надструмів – перевантажень та коротких замикань. Розповсюдженим застосуванням відмикачів (щоправда, спеціальної конструкції) є керування окремими електроприймачами (найчастіше – це електродвигуни), а при коректно виконаній системі уземлення вони забезпечують захист людей і тварин від непрямих дотиків.

Структура відмикача промислового застосування (як приклад розглянуто двополіусний відмикач) зображена на рис. 4.13. Електричні зв'язки між елементами структури зображені суцільними лініями червоного кольору, механічні зв'язки – контурними стрілками чорного кольору.

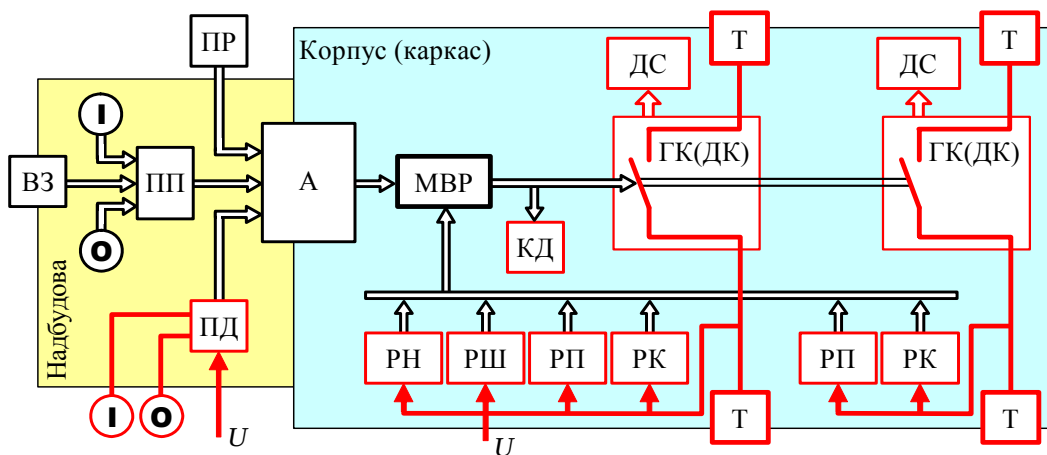


Рис. 4.13. Структура відмикача промислового застосування:

Т – термінали; ГК – головний контакт; ДК – дугогасний контакт; ДС – дугогасна система; КД – контакт допоміжних кіл; МВР – механізм вільного розчіплення; А – ручний актуатор; РК – розчіплювач для захисту від коротких замикань; РП – розчіплювач для захисту від перевантажень; РШ – шунтовий розчіплювач; РН – розчіплювач для захисту від зниження напруги мережі; ПД – дистанційний привід; ПР – ручний привід; ПП – пружинний привід; ВЗ – важіль зведення пружин; І, О – кнопки керування вмиканням та вимиканням через пружинний механічний або дистанційний електричний привід

Литий (пластиковий) корпус або металевий каркас зазвичай є спільним для усіх (від одного до чотирьох) полюсів відмикача промислового

застосування. Кожний полюс, крім терміналів, контактів та дугогасних систем має окремі розчіплювачі для захисту від коротких замикань та перевантажень (в деяких виконаннях відмикачів захист від перевантажень не передбачається). Інші елементи конструкції є спільними для усіх полюсів). Розчіплювачі – це пристрої, які вивільняють засоби утримання головних контактів у замкненому стані та дозволяють розмикання або замикання відмикача й, таким чином, здійснюють захист електричних кіл та обладнання від ненормальних режимів. У відмикачах зазвичай застосовуються розчіплювачі у вигляді електромагнітів або біметалів. Найбільш розповсюдженими розчіплювачами, які безпосередньо вбудовуються в корпус (каркас) відмикача, є:

- надструмовий розчіплювач (over-current release); він може бути розчіплювачем для захисту від перевантажень (overload release), яким зазвичай є тепловий розчіплювач (thermal overload release), або розчіплювачем для захисту від коротких замикань – розчіплювач миттєвої дії (instantaneous release), яким зазвичай є електромагніт і який у вітчизняній технічній літературі часто називають максимальним розчіплювачем;
- шунтовий або незалежний розчіплювач (shunt release) – для забезпечення спрацьовування відмикача по команді ззовні;
- розчіплювач зниження напруги (undervoltage release (for opening)) – для забезпечення спрацьовування (виконання операції розмикання) відмикача при зниженні напруги живлення нижче певного рівня.

Розчіплювачі можуть мати можливість регулювання (adjustable release) або не мати такої можливості.

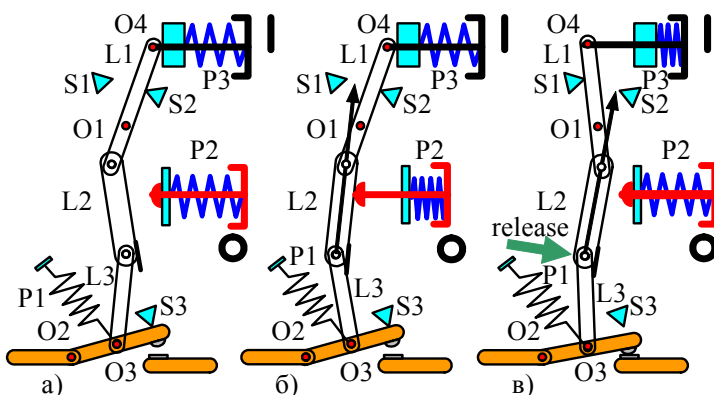
Захист від інших ненормальних режимів (наприклад, струмів витоку або зворотних струмів тощо) здійснюють окремі пристрої, які контролюють наявність цих режимів і, коли відповідний режим стає небезпечним, видають сигнал на шунтовий розчіплювач з метою виконання відмикачем операції вимикання.

У надбудові над корпусом відмикача може бути змонтований механізм, який забезпечує керування відмикачем за допомогою важеля, розташованого на зовнішній поверхні розподільної шафи, у якій змонтовано відмикач (ручний привід), або електричний привід для дистанційного керування відмикачем, або пружинний привід, пружини якого зводяться за допомогою спеціального важеля, виведеного на поверхню надбудови.

Відмикачі низької напруги при виникненні ненормальних умов у колі мають спрацьовувати (розмикати коло) автоматично. При цьому спрацьовування має відбутися навіть у тому випадку, якщо ззовні надходить команда на замикання контактів (наприклад, актуатор механічно утримується у положенні «ввімкнено»). Відмикачі, які забезпечують зазначену функцію, називають відмикачами з вільним розчіпленням (trip-free circuit-breaker), причому цю функцію забезпечують спеціальні пристрої, що входять до складу апарата, – механізми вільного розчіплення (trip-free mechanism).

Механізм, зображений на рис. 4.14, складається з трьох з'єднаних між собою важелів, позначених на схемі як L1, L2 та L3, причому важіль L1 обертається навколо вісі O1, а важіль L3, з'єднаний віссю O3 з рухомим контактом, що обертається навколо вісі O2. Кнопка, яка забезпечує замикання контактів (I), з'єднана з важелем L1 через вісь O4, а кнопка, яка забезпечує розмикання контактів (O), здійснює натиснення на важіль L2, який разом із важелем L3 утворюють так званий «важіль, що зламуються», який працює подібно до пальця людини – може обертатися навколо вісі, що з'єднує ці важелі, лише в один бік. Пружина P1 забезпечує роботу механізму вільного розчіплення, а також сприяє розмиканню контактів. Рух важелів та рухомого контакту обмежується упорами S1, S2 та S3. Пружини P2 та P3 забезпечують повернення кнопок O та I у вихідне положення.

Рис. 4.14. Можлива конструкція механізму вільного розчіплення:
а – вимкнене положення після автоматичного спрацювання;
б – зведення механізму натисненням на кнопку O;
в – вмикання апарата натисненням на кнопку I.



Після автоматичного спрацювання апарата, який розмикає свої контакти, механізм вільного розчіплення знаходиться у стані, зображеному на рис. 4.14-а. Рухомий контакт притискається пружиною P1 до упору S3, а намагання ввімкнути контакти натисненням на кнопку I призводить лише до подальшого «зламання» важелів L2 та L3.

Для забезпечення замикання контактів апарата спочатку слід «звести» механізм, натиснувши на кнопку O. При цьому система важелів L2 ... L3 переходить у жорсткий стан, пружина P1 діє у напрямі подальшого розмикання контактів та обертання важеля L1 за годинниковою стрілкою, але цьому протидіють упори S2 та S3 (рис. 4.14-б).

Після «зведення» механізму слід натиснути на кнопку I, рух якої спрямовує напрямна втулка, що призводить до замикання контактів (рис. 4.14-в). Якщо відпустити кнопку I, розмикання контактів не відбудеться, оскільки цьому буде протидіяти важіль L1, який притискається до упору S1, фіксуючи кнопку I у натиснутому положенні.

Автоматичне спрацювання відбувається завдяки розчіплювачу (release), який, реагуючи на певний аварійний режим, б'є (електромагнітний розчіплювач) або тисне (біметалевий розчіплювач) у місце «зламання» системи важелів L2 – L3, «зламує» їх, а пружина переводить конта-

кти та механізм у положення, що відповідає позиції (а) рисунку, навіть коли кнопка **I** утримується в натиснутому стані. До розмикання контактів призводить також і натиснення на кнопку **O**, яка, як і розчіплювач, при замкнених контактах «зламає» систему важелів.

Відмикачі, що застосовуються у системах розподілення електричної енергії, поділяють на дві категорії застосування – А та В. Відмикачі категорії А не призначені для забезпечення селективності при коротких замиканнях, вони мають спрацьовувати без витримки часу. Відмикачі категорії В спеціально призначені для забезпечення селективності при коротких замиканнях, коли вони мають спрацьовувати з витримкою часу.

Основними кількісними характеристиками відмикача є номінативна робоча напруга U_e (rated operational voltage), номінативний струм I_n (rated current), тобто встановлене виробником значення струму, який відмикач може витримувати у безперервному режимі (uninterrupted duty) на відкритому повітрі, а також номінативна робоча здатність до відмикання коротких замикань I_{cs} (rated service short-circuit breaking capacity) та номінативна гранична здатність до відмикання коротких замикань I_{cu} (rated ultimate short-circuit breaking capacity). Обидві останні характеристики виражаються у кілоамперах і визначаються як значення очікуваного струму короткого замикання, який відмикач спроможний відімкнути. Різниця між I_{cs} та I_{cu} полягає в тому, що після відмикання струму I_{cs} відмикач повинен зберігати певний рівень працездатності, зазначений у стандарті ІЕС 60947-2, а після відмикання струму I_{cu} відмикач може втратити працездатність. Для відмикачів категорії В важливою кількісною характеристикою є номінативний короткочасно витримуваний струм I_{cw} (rated short-time withstand current) – це значення струму, який відмикач має витримувати впродовж певного часу згідно з умовами випробувань, визначених стандартом.

Основною захисною характеристикою відмикача є часо-струмова характеристика (time-current characteristic) – крива, що показує залежність часу, зокрема часу розчіплення (tripping time), або часу розмикання (opening time) або часу відмикання (break-time), який складається з часу розмикання та часу горіння дуги), від очікуваного струму при заданих умовах роботи. На відміну від аналогічної характеристики запобіжника, часо-струмова характеристика відмикача має ступінчастий характер (рис. 4.15). У зоні перевантаження захист забезпечується зазвичай біметалевим розчіплювачем, а у зоні коротких замикань – електромагнітним розчіплювачем. Границею, що розділяє зазначені зони є струм уставки I_s (current setting) миттєвого розчіплювача, який не повинен спра-



Рис. 4.15. Часо-струмова характеристика відмикача
(I – очікуваний струм у колі, rms)

цьовувати при струмі $0,8 \cdot I_s$ та спрацювати швидше ніж за 0,2 с при струмі $1,2 \cdot I_s$. Струм уставки зазвичай становить $10 \cdot I_n$ або $12 \cdot I_n$.

У зоні перевантажень затримка спрацювання є зворотно-залежною від струму: час спрацювання поблизу струму уставки може бути меншим за секунду, а поблизу номінального струму може наблизитися до двох годин. Відповідно до вимог стандарту IEC 60947-2 розчіплення не повинно наставати впродовж визначеного умовного часу при струмі $1,05 \cdot I_n$ (умовний струм нерозчіплення – conventional non-tripping current), а при струмі $1,3 \cdot I_n$ (умовний струм розчіплення – conventional tripping current) розчіплення має відбутися обов'язково впродовж того самого часу. Значення умовного часу визначено в IEC 60947-2 і становить дві години при $I_n > 63$ А та одну годину при $I_n \leq 63$ А.

Відмикачі категорії А, конструкція яких передбачає високу швидкість та ефективну дугогасну систему, при потужних коротких замиканнях набувають струмообмежувальну здатність – максимальне значення струму у колі з таким відмикачем може бути суттєво меншим за пікове значення очікуваного струму короткого замикання (рис. 4.16). Струмообмежувальну здатність мають також і запобіжники (див. п 3.2.3).

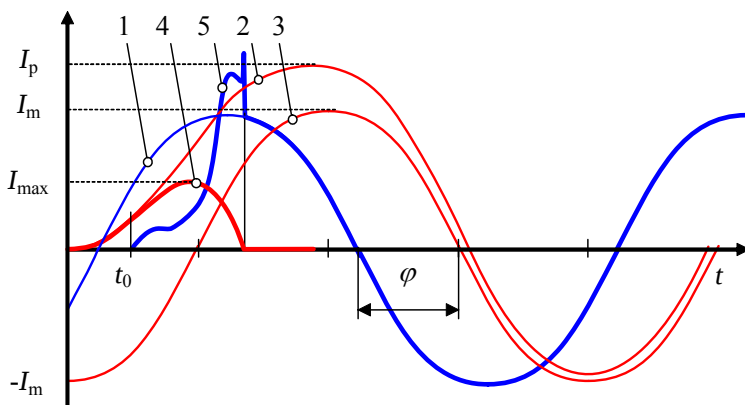


Рис. 4.16. Перехідні процеси в однофазовому колі зі струмообмежувальним відмикачем: 1 – напруга мережі; 2 – очікуваний струм (перехідний процес) одразу після виникнення короткого замикання (КЗ) в момент $t = 0$; 3 – симетрична складова очікуваного струму КЗ; 4 – струм КЗ у колі з відмикачем; 5 – напруга на терміналах відмикача; I_m – амплітуда струму КЗ в усталеному режимі; I_p – пікове значення струму КЗ; I_{max} – максимальне значення струму КЗ у колі з відмикачем; t_0 – момент розмикання контактів; φ – кут зсуву фаз напруги та струму в усталеному режимі КЗ

Відмикачі з номінативними струмами до 1600 А випускаються зазвичай у литих пластмасових корпусах (moulded-case circuit-breaker – МССВ), а з більшими номінативними струмами (до 6300 А) – у металевих каркасах (рис. 4.17). Сучасні відмикачі категорії В у своєму складі мають мікроконтролери (мікропроцесорні розчіплювачі), які дозволяють регулювати часо-струмову характеристику, наближаючи її до характеристики пошкодження об'єкту захисту, а також встановлювати короточасні

затримки для забезпечення селективності спрацьовування з розташованими ближче до навантаг відмикачами, які мають спрацьовувати з меншими затримками або без затримок (відмикачі категорії А), попереджаючи, небажані спрацьовування відмикачів, розташованих на більш високих рівнях (далі від навантаг).

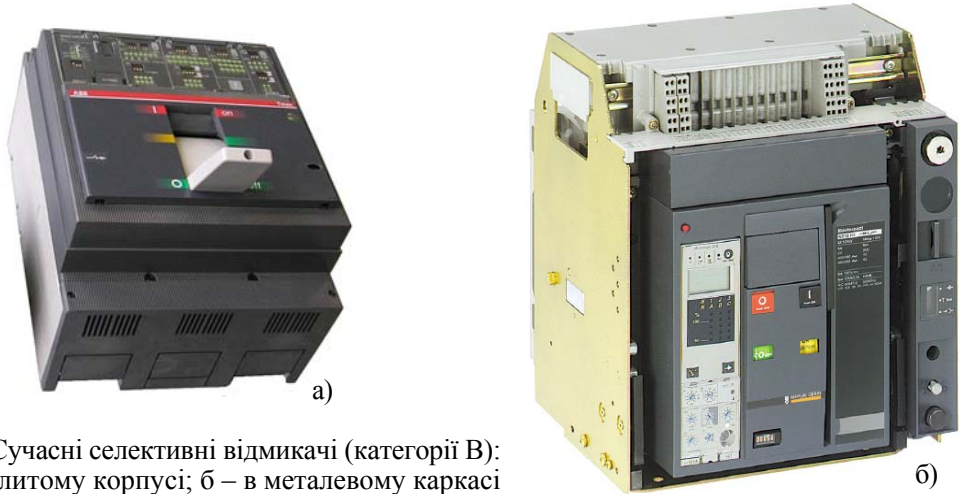


Рис. 4.17. Сучасні селективні відмикачі (категорії В):
а – у литому корпусі; б – в металевому каркасі

Відмикачі можуть мати різні модифікації (рис. 4.18) щодо їх монтування у розподільних пристроях: стаціонарні (fixed), втичні (plug-in) та викатні (withdrawable). Стаціонарні відмикачі монтуються безпосередньо у розподільному пристрої. Втичні та викатні відмикачі складаються з основи з розетковими контактами, яка монтується у розподільному пристрої, та власне відмикача із штировими контактами, розташованими на задній поверхні корпусу. Для приєднання втичного відмикача його достатньо втикнути в основу. Основа викатного відмикача має спеціальну консоль для навішування при монтуванні відмикача, який за допомогою спеціальної рукоятки вкочується в основу і приєднується до відповідного кола у розподільному пристрої.

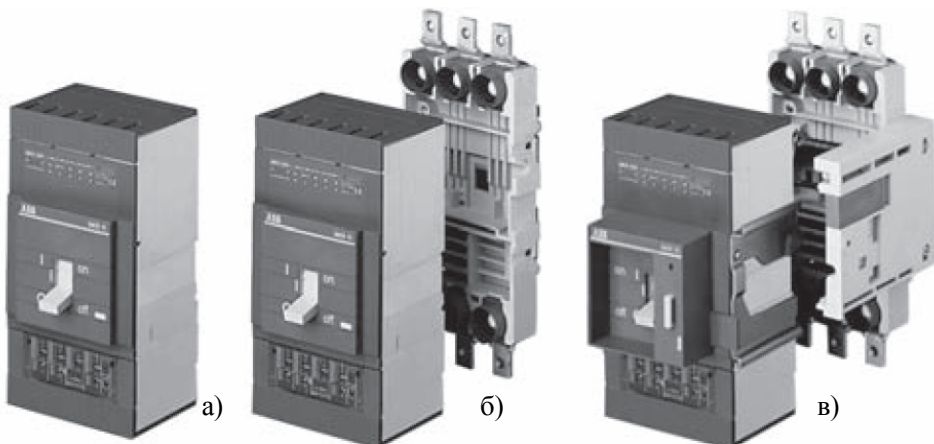


Рис. 4.18. Стаціонарний (а), втичний (б) та викатний (в) відмикачі

4.1.4. Відмикачі для побутових та аналогічних електроустановок

Відмикачі для побутових та аналогічних електроустановок, вимоги до яких сформульовані у міжнародному стандарті ІЕС 60898-1, за призначенням, принципом дії та складовими частинами (корпус, термінали, струмопровідна система, головні контакти, актуатор, механізм вільного розчіплення, розчіплювачі) дуже близькі до відмикачів промислового призначення. Але, враховуючи, що ці апарати розташовуються на найнижчих рівнях систем розподілення електричної енергії (у розподільних щитках квартир, офісів, невеликих майстерень тощо), їх номінальний струм не перевищує 125 А. Крім того, вони повинні мати дуже високу швидкодію (їх час спрацьовування становить 3...5 мс), щоб попередити спрацьовування інших апаратів захисту від коротких замикань (відмикачів й запобіжників), розташованих на вищих рівнях розподільних систем. Ці апарати не призначені для захисту обладнання (електричних двигунів тощо), їх захисні характеристики пристосовані виключно для захисту електричних мереж (електропроводок) від перевантажень та коротких замикань.

Внутрішня будова полюсу відмикача побутового та аналогічного призначення (одна з можливих конструкцій) зображена на рис. 4.19. На рисунку позначено: 1 – термінал; 2 – гнучка шина, що з'єднує рухомий контакт з терміналом; 3 – рухомий контакт; 4 – контактна накладка нерухомого контакту; 5 – вісь обертання рухомого контакту; 6 – молоточок, який здійснює ударний вплив на рухомий контакт при потужних коротких замиканнях; 7 – механізм вільного розчіплення; 8 – актуатор; 9 – ярмо електромагнітного розчіплювача; 10 – обмотка електромагнітного розчіплювача; 11 – важіль механізму вільного розчіплення, який сприймає вплив електромагнітного та біметалевого розчіплювачів; 12 – рухомий циліндричний сердечник електромагнітного розчіплювача; 13 – біметалевий розчіплювач; 14 – гнучка шина, що з'єднує біметалевий розчіплювач з терміналом; 15 – гвинт для калібрування біметалевого розчіплювача та вивід для випробувань; 16 – термінал; 17 – боковина пластмасового корпусу; 18 – полум'ягасна камера; 19 – полум'ягасні штирі; 20 – пластини дугогасної камери; 21 – дугогасний ріг з боку нерухомого контакту; 22 – дугогасний ріг з боку рухомого контакту;

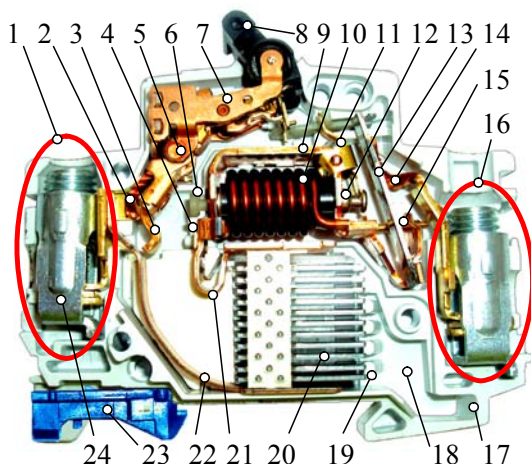


Рис. 4.19. Внутрішня побудова полюсу відмикача побутового та аналогічного призначення

23 – защіпка для монтування відмикача на спеціальну монтажну рейку або DIN рейку (DIN rail); 24 – стовпчиковий затискний пристрій терміналу подвійного приєднання.

Ручне керування контактами здійснюється актуатором, який впливає на контакти через механізм вільного розчіплення (МВР). Автоматичне відмикання здійснюється завдяки впливу розчіплювачів на МВР, а при потужних коротких замиканнях електромагнітний розчіплювач здійснює ударний вплив на контакти, розмикаючи їх ще до моменту спрацювання МВР. Завдяки такій особливості конструкції (молоточковому ефекту – hammer effect) ці відмикачі мають високу здатність до відмикання коротких замикань, яка може перевищувати 10 кА.

Електромагнітний розчіплювач представляє собою мініатюрний електромагніт із заглибленим циліндричним якорем, до якого прикріплений шток з пластиковим молоточком на кінці, який спрямований до рухомого контакту (див. рис. 4.19). Ефективність молоточкового ефекту ілюструють фото, отримані методом швидкісної кінозйомки при відмиканні струму короткого замикання відмикачем S201 (STOTZ KONTAKT, ABB) й представлені на рис. 4.20.

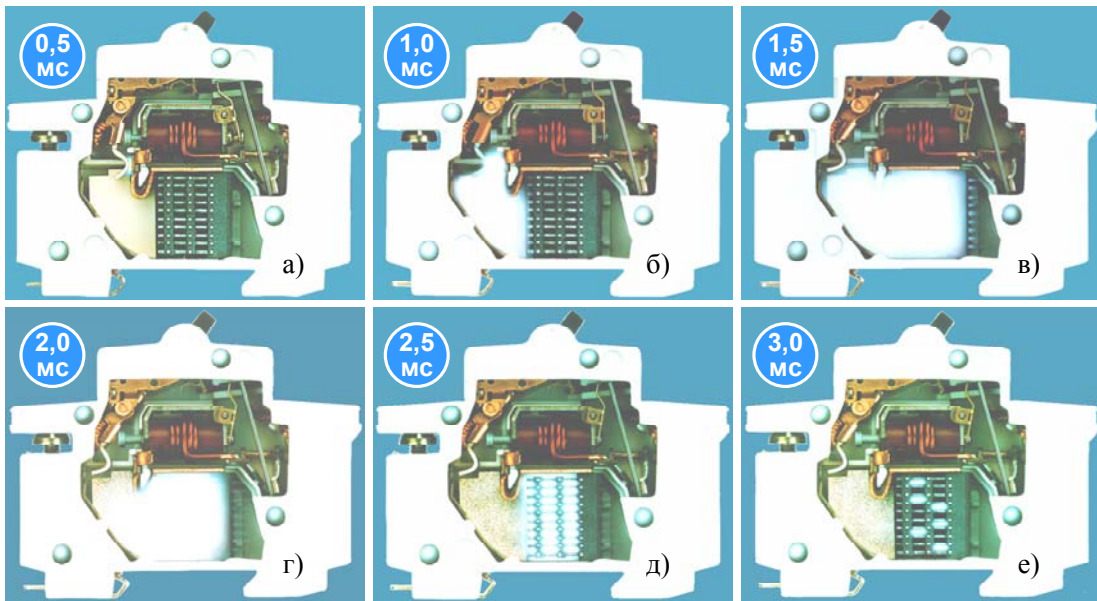
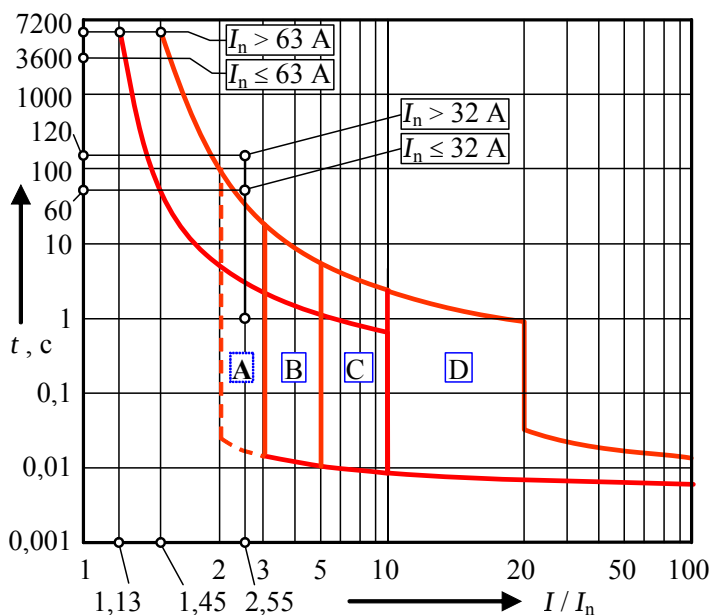


Рис. 4.20. Стадії відмикання струму короткого замикання відмикачем S201

Вже через 0,5 мс після початку короткого замикання (рис. 4.20-а) молоточок відштовхує рухомий контакт від нерухомого й між ними виникає коротка дуга, а ще через 0,5 мс (рис. 4.20-б) рухомий контакт відходить від нерухомого, дуга поступово розтягується, а коли контакти розходяться на повну відстань (рис. 4.20-в), дуга збігає з контактів на дугогасні роги, її опір швидко зростає, що створює умови для обмеження струму у колі. Приблизно

через 1,5 мс після початку короткого замикання дуга розпочинає вхід в дугогасну камеру, простір між контактами та дугогасними рогами поступово деіонізується (рис. 4.20-г), а дуга локалізується в камері (рис. 4.20-д). Починаючи з цього моменту струм стрімко зменшується до нуля й приблизно через 3 мс після початку короткого замикання дуга остаточно згасає (рис. 4.20-е). Показово, що, хоча вивільнення механізму вільного розчіплення відбулося приблизно через 1,5 мс після початку короткого замикання (це видно з рис. 4.20-в), від цього моменту й до моменту повного відмикання механізм не встиг повністю спрацювати, принаймні актуатор весь цей час лишався у положенні «відключено».

Часо-струмові характеристики відмикачів побутового та аналогічного призначення (рис. 4.21) за формою подібні до аналогічних характеристик відмикачів промислового застосування, але існує декілька відмінностей,



оскільки до відмикачів побутового призначення мають висуватися вимоги стандарту ІЕС 60898-1 (а не ІЕС 60947-2, як до відмикачів промислового застосування).

Рис. 4.21. Часо-струмові характеристики відмикачів побутового застосування

Зокрема, для відмикачів побутового застосування, що працюють у колах змінного струму, стандарт ІЕС 60898-1 встановлює значення умовного струму нерозчіплення I_{nt} та умовного струму розчіплення I_t не тільки для зони перевантажень, а й для зони коротких замикань. Для зони перевантажень (інакше кажучи, для біметалевого розчіплювача) ці значення становлять відповідно $1,13 \cdot I_n$ та $1,45 \cdot I_n$ (I_n – номінальний струм), а для зони коротких замикань (для електромагнітного розчіплювача) стандарт встановлює три види характеристик – В ($I_{nt} = 3 \cdot I_n$, $I_t = 5 \cdot I_n$), С ($I_{nt} = 5 \cdot I_n$, $I_t = 10 \cdot I_n$) та D ($I_{nt} = 10 \cdot I_n$, $I_t = 20 \cdot I_n$). Умовний час для зони перевантажень становить одну годину при $I_n \leq 63$ А та дві години при $I_n > 63$ А. Умовний час (conventional time) для зони коротких замикань становить 0,1 с.

Для відмикачів, що працюють у колах постійного струму, стандарт ІЕС 60898-2 встановлює для зони перевантажень лише два види характеристик – В ($I_{nt} = 4 \cdot I_n$, $I_t = 7 \cdot I_n$) та С ($I_{nt} = 7 \cdot I_n$, $I_t = 15 \cdot I_n$).

Відмикачі з характеристикою В рекомендуються для застосування у розподільних пристроях житлових приміщень, відмикачі з характеристикою С – для офісів та невеликих майстерень з малопотужними електродвигунами, а відмикачі з характеристикою D – для майстерень з декількома електродвигунами. Деякі виробники (хоча це і не передбачено стандартом) пропонують відмикачі з характеристикою А ($I_{nt} = 2 \cdot I_n$, $I_t = 3 \cdot I_n$) – для захисту напівпровідникових пристроїв (випростувачів, інверторів тощо).

Таблиця 4.2. Узгодження поперечного перетину проводів з номінативним струмом відмикача

S, мм ²	I _n , А	
	мідні провідники	алюмінієві провідники
1,0	$I_n \leq 6$	–
1,5	$6 < I_n \leq 13$	$I_n \leq 6$
2,5	$13 < I_n \leq 20$	$6 < I_n \leq 13$
4	$20 < I_n \leq 25$	$13 < I_n \leq 20$
6	$25 < I_n \leq 32$	$20 < I_n \leq 25$
10	$32 < I_n \leq 50$	$25 < I_n \leq 32$
16	$50 < I_n \leq 63$	$32 < I_n \leq 50$
25	$63 < I_n \leq 80$	$50 < I_n \leq 63$
35	$80 < I_n \leq 100$	$63 < I_n \leq 80$
50	$100 < I_n \leq 125$	$80 < I_n \leq 100$
70	–	$100 < I_n \leq 125$

струмом 16 А не зобов'язаний забезпечувати захист такої електропроводки – для її захисту необхідно обрати відмикач з номінативним струмом не більше 13 А. Якщо ж для захисту такої електропроводки застосувати відмикач з номінативним струмом, наприклад, 4 А, то він буде її захищати, але й буде спрацьовувати при струмах, які є цілком безпечними для цієї електропроводки. Зокрема, такий відмикач не дасть скип'ятити воду в електричному чайнику з робочим струмом 10 А.

Відмикачі побутового призначення (в англomовній технічній літературі їх позначають аббревіатурою МСВ – miniature circuit-breaker) зазвичай мають модульну побудову – модульні багатополосні відмикачі складаються з однакових однополосних модулів (рис. 4.22-а), кожен з яких може бути однополосним відмикачем. Отже, триполосний модульний відмикач (рис. 4.22-б) – це три механічно з'єднаних однополосних модулів. Аналогічну побудову мають двополосні та чотириполосні модульні відмикачі. Крок модуля становить 18 мм, а ширина однополосного відмикача – приблизно 17,5 мм. Корпус однополосного модуля, який виготовляється з термопластичного матеріалу, що не підтримує горіння, складається з двох боковин,

на одній з яких монтуються основні елементи відмикача. МСВ зазвичай призначені для монтування на DIN рейку типу TH35. Профільна проекція МСВ на DIN рейці з характерними розмірами зображена на рис. 4.22-в.

Для відмикачів побутового призначення випускається додаткове оснащення – допоміжні контакти (рис. 4.22-г), незалежний (шунтовий) розчіплювач, розчіплювач зниження напруги (рис. 4.22-д), а також електродвигуновий привід, який дозволяє дистанційно керувати (вмикати та вимикати) відмикачем. Модуль допоміжних контактів (приблизно у два рази тонший за полюс відмикача) має один або два перемикальні контакти. Якщо модуль має один перемикальний контакт, його термінали мають позначення 95, 96 та 98, а якщо два перемикальні контакти, то термінали другого контакту мають позначення 05, 06 та 08 (див. п. 3.3.2). Модулі розчіплювачів мають товщину полюсу, а модуль приводу – три товщини полюсу. Усі допоміжні модулі механічно приєднуються до відмикача збоку – зліва або справа.

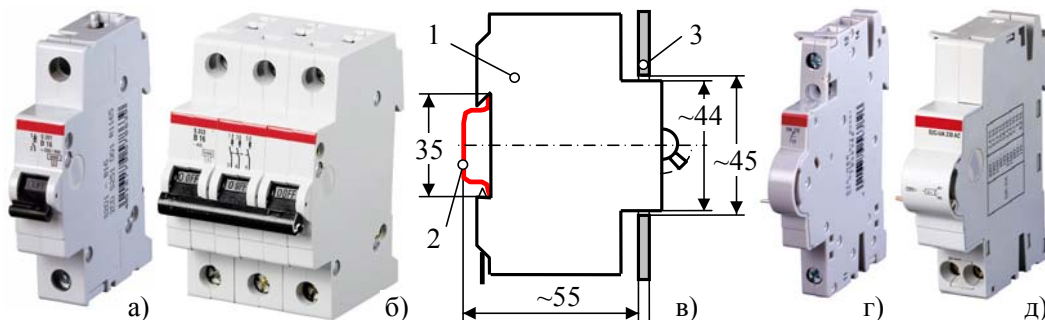


Рис. 4.22. Модульні відмикачі побутового призначення: а – однополюсний; б – триполюсний; в – профільна проекція (1 – відмикач; 2 – DIN рейка; 3 – фальш-панель щитка розподільного пристрою); г – модуль допоміжних контактів; д – модуль розчіплювача зниження напруги

Допоміжні контакти зазвичай застосовуються у засобах сигналізації та автоматизації й мають різні конструктивні виконання. Зокрема, у так званому Н-контакті (**Н**omothetic – подібний, в російськомовній термінології – «свободный контакт») стан замикального допоміжного контакту є подібним до стану головного контакту – коли головний контакт є замкненим, також замкненим є й замикальний Н-контакт, а коли головний контакт є розімкненим, такий самий стан має й замикальний допоміжний контакт, незалежно від того, як відбулося розмикання головних контактів відмикача – автоматично чи вручну. Сигнальні контакти або S-контакти (**S**ignal) є замкненими при замкнених головних контактах, не розмикаються, якщо розмикання головних контактів було здійснено вручну, й розмикаються, якщо розмикання головних контактів відбулося автоматично (внаслідок вивільнення механізму вільного розчіплення). Контакти типу SH мають механічний перемикач, який дозволяє перетворити Н-контакт на S-контакт та навпаки. На поверхні корпусу модуля допоміжних конта-

ктів поруч з актуатором може розташовуватися кнопка «Test» або кнопка «Test-Reset». Ці кнопки застосовуються при налагодженні або при перевірці функціонування системи автоматизації або контролю. Кнопки «Test» або «Test-Reset» при переведенні їх в положення «Test» дозволяють короткочасно змінити стан сигнального контакту, коли головні контакти є замкненими, а кнопка «Test-Reset» при переведенні її в положення «Reset» дозволяє змінити стан сигнального контакту після автоматичного спрацьовування відмикача, не вмикаючи його. Діаграми комутацій деяких різновидів допоміжних контактів зображені на рис. 4.23.

Розмаїття допоміжних контактів відмикачів побутового застосування не вичерпується різновидами, представленими на рис. 4.23. Зокрема, деякі виробники пропонують модулі допоміжних контактів, що приєднуються до відмикачів знизу, не збільшуючи, таким чином, горизонтальний розмір апарата (вздовж DIN-рейки). Щоправда, такі модулі містять лише один замикальний контакт або один розмикальний контакт та не мають засобів тестування систем автоматики та сигналізації.

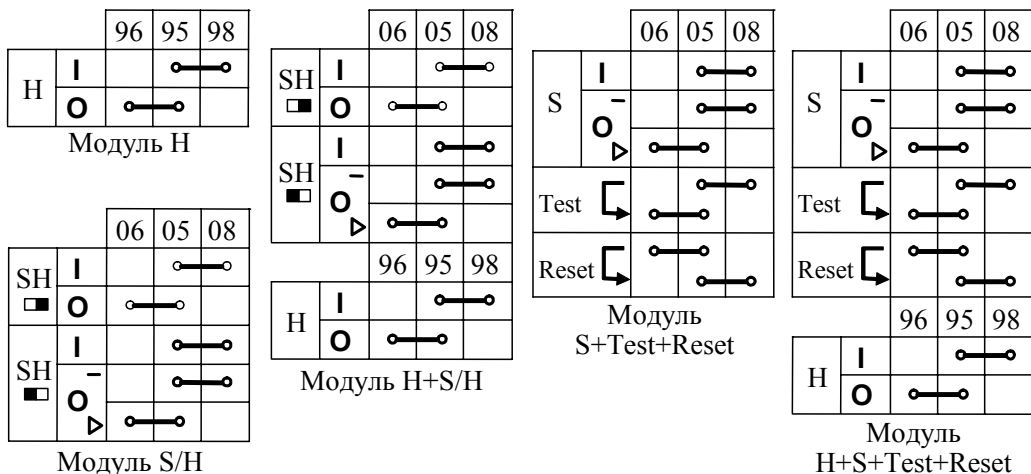


Рис. 4.23. Діаграми комутацій модулів допоміжних контактів:

- І – відмикач у ввімкненому положенні; О – відмикач у розімкненому положенні;
- О– – відмикач у розімкненому положенні (розмикання було здійснено вручну);
- О▷ – відмикач у розімкненому положенні (розмикання було здійснено автоматично);
- Test ◻ – короткочасне переведення кнопки «Test» або «Test-Reset» в положення «Test»;
- Reset ◻ – короткочасне переведення кнопки «Test-Reset» в положення «Reset»

Не слід ототожнювати автоматичні відмикачі побутового застосування та модульні відмикачі, адже деякі компанії виробляють у модульному виконанні не тільки відмикачі, призначені для побутового застосування, а й відмикачі для промислового застосування у відповідності до вимог стандарту ІЕС 60947-2. Деякі компанії виробляють універсальні мініатюрні автоматичні відмикачі, які одночасно задовольняють вимогам стандартів ІЕС 60898-1 та ІЕС 60947-2.

4.1.5. Відмикачі, керовані різницеvim струмом

Відмикач, керований різницеvim струмом – це електромеханічний комутаційний апарат, призначений вмикати, проводити та відмикати струми при нормальних умовах роботи, а також приводити до розмикання контактів, коли різницеvий струм за визначених умов доходить до заданого значення. Вимоги до цих апаратів сформульовано в стандарті IEC 61008-1.

Апарат, який позначається аббревіатурою RCCB (**R**esidual **C**urrent operated **C**ircuit-**B**reaker without integral overcurrent protection) або RCD (residual current device), в російськомовній технічній літературі позначається аббревіатурою УЗО (**У**стройство **З**ащитного **О**тключения). Цей термін міцно укорінився, хоча згідно з ПУЕ під захисним вимиканням розуміють *будь-яке* відмикання джерела живлення, що виконується для цілей електробезпеки. Таким чином, і запобіжники, і відмикачі, які спрацьовують, вимикаючи електроустановку від живлення у разі пошкодження ізоляції між активними струмопроводами та уземленими доступними струмопровідними частинами (наприклад, металевими корпусами), теж виконують захисне відмикання.

Відмикач, керований різницеvim струмом доречно також називати апаратом захисту від різницеvих струмів або апаратом захисту від стру-

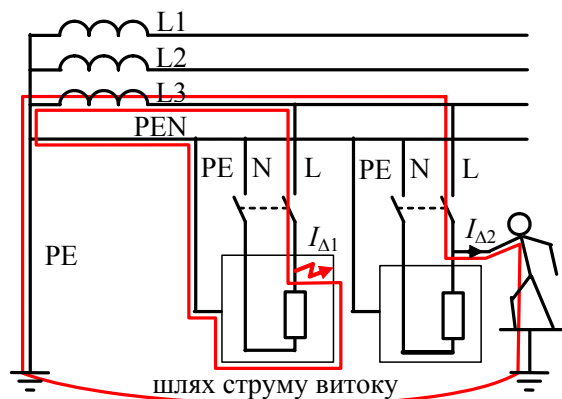


Рис. 4.24. Виникнення різницеvих струмів у двофазному комутаційному апараті

мів витоку, адже він спрацьовує, тобто відмикає коло від живлення, коли різницеvий струм, зареєстрований цим апаратом, доходить до небезпечного рівня. Різницеvий струм у двофазних апаратах – це різниця між струмами у лінійному та нейтральному полюсах. Різницеvий струм може виникнути у разі пошкодження ізоляції в електроустановці (струм $I_{\Delta 1}$ на рис. 4.24) або внаслідок дотику людини до лінійного про-

відника (струм $I_{\Delta 2}$ на рис. 4.24). Різницеvий струм може виникнути також при непрямому дотику (дотик до корпусу електроустановки у разі пошкодження ізоляції та пошкодження безперервності захисного провідника, що уземлює корпус електроустановки).

Струми витоку через пошкоджену ізоляцію можуть викликати її неприпустимий перегрів і, як наслідок, пожежу, а струми витоку через тіло людини можуть бути небезпечними для здоров'я й навіть життя. Тому у багатьох країнах (у тому числі і в Україні) застосування цих апаратів активно пропагується, а їх обов'язкове встановлення у новобудовах закріплено на законодавчому рівні.

Апарат захисту від струмів витоку у своєму складі містить диференційний трансформатор (Т на рис. 4.25-а), який виявляє різницю між струмами у лінійному та нейтральному полюсах (струм витоку) і, якщо та різниця доходить до заданого небезпечного значення, чутливе поляризоване реле К, яке підключене до вторинної обмотки трансформатора, спрацьовує й, завдяки механізму вільного розчіплення МВР, забезпечує розмикання контактів, а відтак і відмикання небезпечних струмів витоку. Таким чином, якщо людина доторкнеться до небезпечної струмопровідної частини у зоні дії апарата захисту від струмів витоку, вона відчує удар струму, але струм одразу ж буде відключено і людина не постраждає.

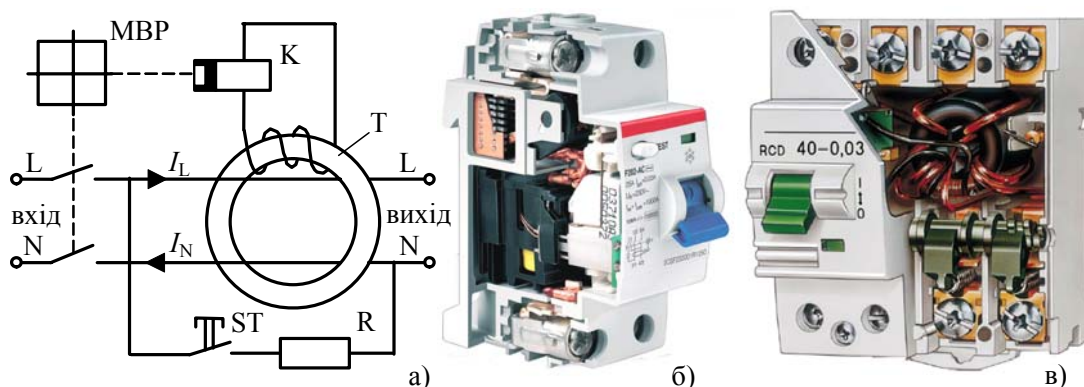


Рис. 4.25. Відмикачі, керовані різницевиими струмами:

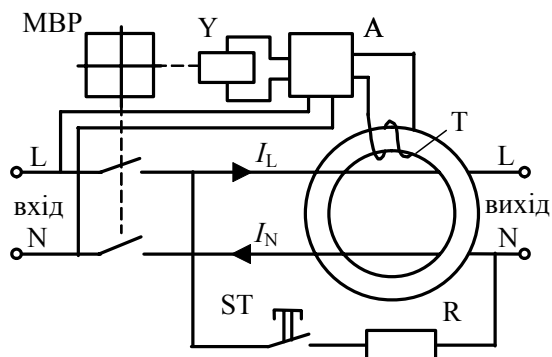
а – принципова електрична схема (L, N – входні та вихідні термінали лінійного та нейтрального полюсів; I_L , I_N – струми у лінійному та нейтральному полюсах; Т – диференційний трансформатор; К – поляризоване реле; МВР – механізм вільного розчіплення; ST – кнопка тестування; R – додатковий резистор в колі тестування); б – двополіусний апарат без захисту від надструмів; в – чотириполіусний апарат без захисту від надструмів

Хоча апарати захисту від струмів витоку не призначені для захисту від надструмів, але, завдяки потужній дугогасній системі, вони здатні відмикати значні струми коротких замикань – деякі виробники гарантують відмикання струмів короткого замикання аж до 1500 А. Ці апарати, які випускають у двополіусному (для однофазних кіл – рис. 4.25-б) та чотириполіусному (для трифазних кіл – рис. 4.25-в) виконанні, відносяться до категорії функціонально незалежних від напруги мережі. Це означає, що апарат спрацює від небезпечного струму через тіло людини у разі дотику до лінійного провідника, навіть якщо нейтральний провідник обірветься, тобто за відсутності напруги між лінійним та нейтральним терміналами на вході апарата.

Апарати RCCB (без захисту від надструмів) обов'язково мають бути захищені послідовно приєднаними апаратами захисту від коротких замикань (SCPD). При цьому апарат набуває здатності витримувати значні струми короткого замикання (очікувані значення можуть перевищувати 10 кА) без виникнення змін, що погіршують його функції. Параметри рекомендованих SCPD надаються у каталогах виробників.

Існують також апарати, у яких поєднується здатність до захисту від струмів витоку та здатність до захисту від надструмів (перевантажень та коротких замикань). Ці апарати позначають аббревіатурою RCBO (**R**esidual current operated **C**ircuit-**B**reaker with integral **O**vercurrent protection). Вони можуть бути як функціонально незалежними від напруги мережі, так і функціонально залежними від неї. Спрощена принципова схема двополюсного RCBO, функціонально залежного від напруги мережі, наведена на рис. 4.26.

Рис. 4.26. Спрощена принципова схема двополюсного RCBO, функціонально залежного від напруги мережі:
А – напівпровідникове реле;
Y – електромагніт
(інші позначення – як на рис. 4.25-а)



Конструктивно такі апарати розміщують у двох полюсах товщиною 17,5 мм, причому в лінійному полюсі розміщують усі належні елементи однополюсного відмикача для захисту від надструмів, включаючи механізм вільного розчеплення (рис. 4.27-а), а в нейтральному – диференційний трансформатор, напівпровідникове реле та електромагніт. В обох полюсах є головні контакти з металокерамічними контактами на основі срібла, але дугогасна система є тільки у лінійному полюсі.

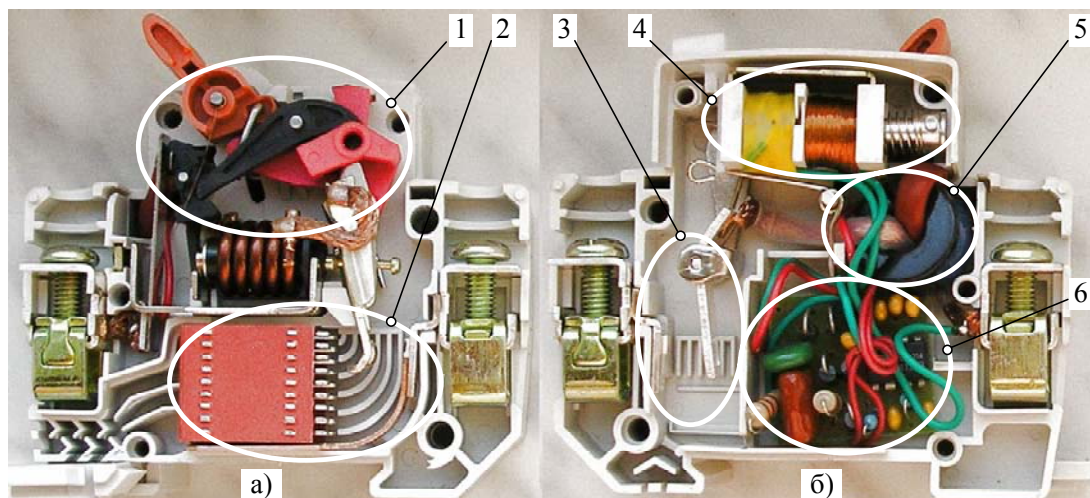


Рис. 4.27. Лінійний (а) та нейтральний (б) полюси відмикача захисту від різницевих струмів із захистом від надструмів та функціональною залежністю від напруги мережі живлення:

1 – механізм вільного розчеплення; 2 – контактна дугогасна система лінійного полюсу;
3 – контактна система нейтрального полюсу; 4 – електромагніт розчеплення у нейтральному полюсі; 5 – диференціальний трансформатор; 6 – напівпровідникове реле

Вторинна обмотка диференційного трансформатора приєднана до вхідного кола напівпровідникового реле, яке спрацьовує, коли різниця струмів у лінійному та нейтральному полюсах доходить до заданого небезпечного значення. В результаті спрацьовування реле заживлюється обмотка електромагніта, його якір починає рухатися, вивільняє механізм вільного розчіплення, що зрештою приводить до розмикання головних контактів.

Працездатність цього апарата залежить від наявності напруги на його вхідних терміналах. Обрив нейтралі й навіть суттєве зниження напруги мережі приводить до нездатності цього апарата захищати від струмів витоку, прямих та непрямих дотиків.

Усі різновиди відмикачів, керованих різницевиими струмами, повинні мати кнопку «Тест», при натисненні на яку штучно створюється різнице-вий струм (за умови, що увідні термінали підключені до джерела живлен-ня). Ця кнопка дає можливість перевірити працездатність апарата (здат-ність реагувати на струми витоку визначеного рівня). Зазначену перевірку слід робити не рідше, аніж раз на місяць.

Усі відмикачі, керовані різницевиими струмами, мають механізми віль-ного розчіплення, призначення яких таке ж саме, як і у відмикачів, що забезпечують захист від надструмів (спрацьовування має відбутися навіть у тому випадку, якщо ззовні надходить команда на замикання контактів, наприклад коли актуатор механічно утримується у положенні «включе-но»), але розчіплення МВР забезпечується струмами витоку певного зна-чення. При цьому розрізняють RCCB типу АС, у яких розчіплення забезпе-чується різницевиими синусоїдальними змінними струмами, та RCCB ти-пу А, у яких розчіплення забезпечується різницевиими синусоїдальними змінними струмами та різницевиими пульсуючими постійними струмами.

Профільна проекція відмикачів для захисту від струмів витоку, така сама, що й у відмикачів для захисту від надструмів побутового призначення. Це дає можливість розташовувати їх у розподільному пристрої на одній монтажній (DIN) рейці, застосовуючи апарати різних виробників.

Основною захисною характеристикою відмикача, керованого різни-цевими струмами, є номінативний різницевий струм спрацьовування (rated residual operating current, $I_{\Delta n}$). Виробник гарантує, що при струмі витоку, який перевищує $I_{\Delta n}$, апарат обов'язково спрацює (за визначених стандартом умов застосування). Слід мати на увазі, що при струмі витоку, який дорівнює або є меншим за номінативний різницевий струм неспрацьовування (rated residual non-operating current, $I_{\Delta no}$), апарат не по-винен спрацьовувати. Преференційними значеннями $I_{\Delta n}$ є: 6, 10, 30, 100, 300 та 500 мА. Стандартне співвідношення між $I_{\Delta no}$ та $I_{\Delta n}$: $I_{\Delta no} = 0,5 \cdot I_{\Delta n}$. Апарати з різницевим струмом спрацьовування 6 та 10 мА слід застосо-вувати у найбільш небезпечних приміщеннях (кухні, ванні кімнати

тощо), апарати з різницеvim струмом спрацьовування 30 мА слід застосовувати для захисту людей у приміщеннях загального користування (вітальні квартир, офіси тощо), апарати з різницеvim струмом спрацьовування 100, 300 та 500 мА мають протипожежне призначення.

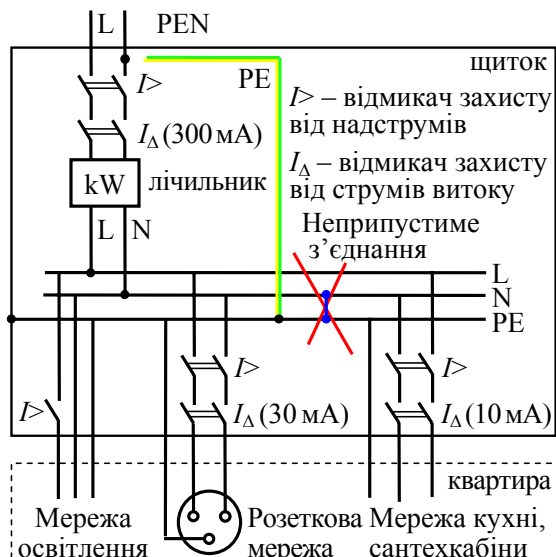


Рис. 4.28. Схема електропостачання сучасної квартири середньої комфортності

Приклад застосування апаратів захисту від струмів витоку в квартирах середньої комфортності наведено на рис. 4.28. Застосовуючи ці апарати, слід враховувати, що PEN провідник у щитку має бути розділений на PE та N провідники (шини), причому PE шина монтується безпосередньо на корпусі металевого щитка (з'єднується з ним електрично), а N шину слід встановлювати на ізольованій основі. Електричне з'єднання цих шин може призвести до нештатних спрацьовувань протипожежного апарата, встановленого на ввіді, за відсутності струмів витоку.

Розрізняють відмикачі, керовані різницеvim струмами, що спрацьовують без затримки (загального типу), та такі, що спрацьовують із затримкою щонайменше 40 мс (типу **S**). Для запобігання небажаних розчіплень внаслідок короточасних стрибків напруги або при випадкових короточасних дотиках деякі виробники пропонують RCCB з мінімальним часом неспрацьовування приблизно у 10 мс, називаючи їх відмикачами типу **G**.

Крім RCCB, що монтуються у розподільних щитках, існують відмикачі, що монтуються у вилках (рис. 4.29-а), розетках (рис. 4.29-б), а також мобільні RCCB промислового застосування з високим ступенем захисту (IP) від проникнення всередину апарата сторонніх предметів та вологи для застосування у сільському господарстві та у будівництві (рис. 4.29-в, г).

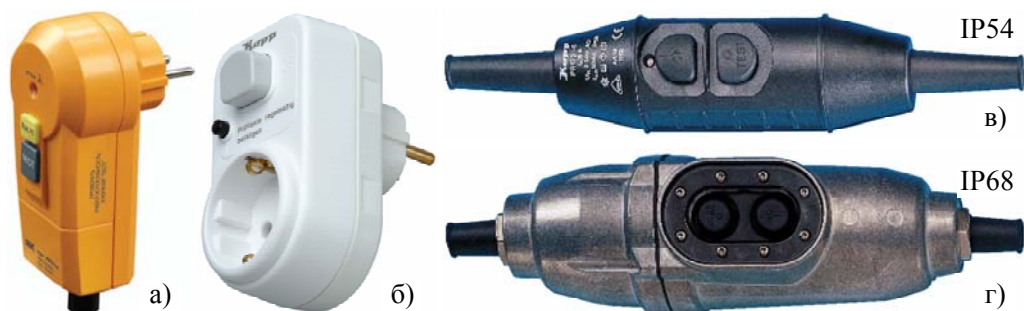


Рис. 4.29. Мобільні апарати захисту від струмів витоку

4.1.6. Контактори та пускачі

Контактор (contactor) – це електромеханічний комутаційний апарат лише з одним положенням спокою, з не ручним приводом, який спроможний вмикати, проводити та вимикати струми у нормальних умовах кола, а також в умовах перевантажень. Контактори можуть відрізнятися у залежності від способу, яким забезпечується сила для вмикання головних контактів. В електромагнітних контакторах сила для вмикання головних контактів забезпечується електромагнітом. В пневматичних та електропневматичних контакторах сила для вмикання головних контактів забезпечується пневматичним приводом (зазвичай – це поршневий привід). За родом струму головного кола їх поділяють на контактори постійного та змінного струму.

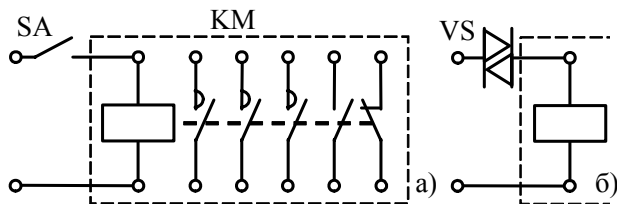


Рис. 4.30. Електромагнітний контактор:
а – схема з електромеханічним керуванням;
б – схема керування за допомогою симістора

Електрична схема електромагнітного контактора з приєднанням до котушки електромагніта зовнішнім колом керування зображена

на рис. 4.30-а. Керування котушкою електромагніта (приєднання до джерела живлення та від'єднання від нього) здійснюється за допомогою вимикача керування (control switch) SA. Якщо керування котушкою здійснюється електронними засобами, наприклад симістором у колах змінного струму (рис. 4.30-б) або транзистором у колах постійного струму, то такий контактор називають електронно керованим. Система контактів у даному випадку складається з трьох головних нормально розімкнених контактів, а також двох допоміжних контактів: одного нормально розімкненого та одного нормально замкнутого.

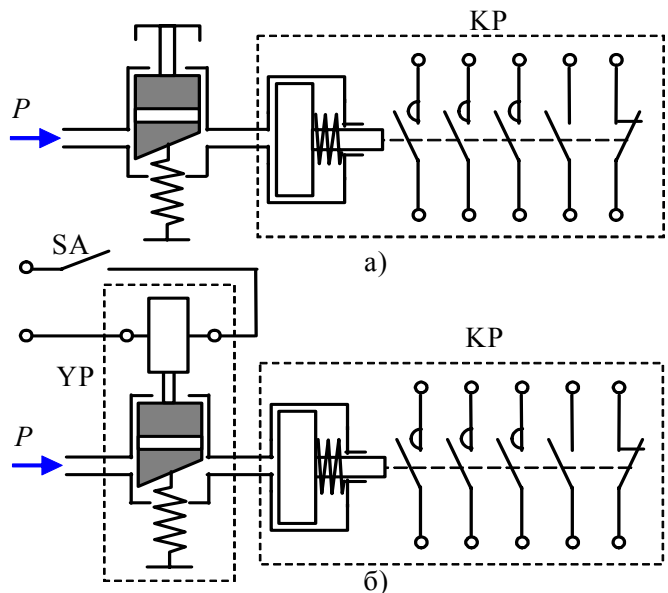


Рис. 4.31. Електромеханічні схеми пневматичного (а) та електропневматичного (б) контакторів

Різниця між пневматичним (рис. 4.31-а) та електропневматичним (рис. 4.31-б) контакторами, позначеними на схемах

літерами КР, полягає у тому, що у першому випадку керування контактором здійснюється за допомогою пневматичного вентиля, до якого підводиться стиснене повітря з тиском P і який приводиться у дію м'язовою енергією оператора, а у другому випадку керування контактором здійснюється за допомогою електромагнітного клапана УР, який складається з пневматичного вентиля та привідного електромагніта, котушка якого підключається до джерела живлення через контакт вимикача керування SA. Керування котушкою електромагнітного клапана може також здійснюватися напівпровідниковим ключем (електронне керування).

Основним призначенням контакторів є керування (вмикання та вимикання) обладнанням – електродвигунами, освітлювальними системами, промисловими електричними печами тощо. На відміну від вимикачів та відмикачів контактори мають здійснювати комутації з досить великою частотою (до 1200 циклів на годину). Відтак ці апарати повинні мати високу механічну й електричну зносостійкість. Механічну зносостійкість (mechanical durability) характеризують кількістю циклів оперування без струму у головних контактах, яку має витримати апарат, перед тим як виникне необхідність його обслуговування або заміни будь-яких механічних частин. Електричну зносостійкість (electrical durability) характеризують кількістю циклів оперування з навантаженими струмом головними контактами згідно з умовами експлуатації, визначеними стандартом на відповідний апарат, яку має виконати апарат без ремонту та заміни частин (зазвичай – це деталі головних контактів). Механічна зносостійкість контакторів сягає десяти мільйонів циклів, а електрична – декількох сотень тисяч, що на два-три порядки перевищує відповідні характеристики вимикачів та відмикачів.

Контактори розрізняють у залежності від середовища, у якому знаходяться головні контакти – повітряні, газові, вакуумні тощо. Електрична зносостійкість вакуумних контакторів наближається до їх механічної зносостійкості.

Номінативні кількісні характеристики (номінативні значення) виробник призначає окремо для головних кіл та для кіл керування контактора. Основними кількісними характеристиками головних кіл є номінативна робоча напруга U_e (rated operational voltage), номінативний робочий струм I_e (rated operational current) та номінативна частота (rated frequency), які мають відповідати певному номінативному режиму роботи (rated duty) та категорії застосування (utilization category). Номінативними параметрами кіл керування електромагнітних контакторів є номінативна напруга кола керування U_c (rated control circuit voltage), тобто напруга, що виникає на контакті «а» у колі керування, та номінативна напруга живлення у колі керування U_s (rated control supply voltage) – напруга, що подається на вхідні термінали кола керування апарата (рис. 4.32).

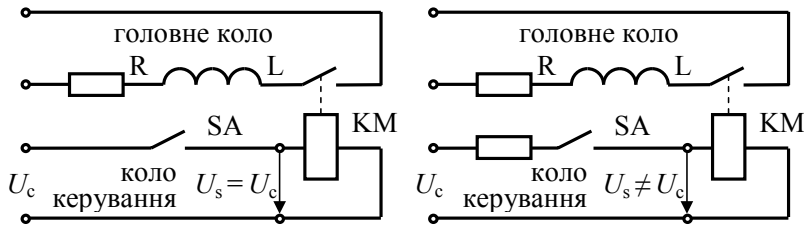


Рис. 4.32. Номінативна напруга кола керування U_c та номінативна напруга живлення у колі керування U_s

Електромагнітні контактори мають задовільно вмикатися при напрузі, що лежить у межах від 85% до 110% від U_s . При цьому котушка має бути нагрітою до усталеного стану при напрузі 100% від U_s та при температурі навколишнього повітря, яка вказується виробником, але не нижче $+40^{\circ}\text{C}$. Електромагнітні контактори мають задовільно вимикатися при напрузі, що лежить у межах від 75% до 20% (AC) та 10% (DC) від U_s . При цьому котушка повинна мати температуру навколишнього повітря, яке становить -5°C .

Конструкції електромеханічних контакторів мають враховувати категорії їх застосування, які визначені у стандарті ІЕС 60947-4-1 (табл. 4.3). Зокрема, у контактних системах контакторів, призначених для керування електродвигунами (категорії АС-3 та АС-4) мають бути передбачені способи боротьби з деренчанням, адже це явище при великих пускових струмах може спричинити приварювання контактів.

Таблиця 4.3. Категорії застосування контакторів

Категорія застосування	Типові використання
АС-1	Неіндуктивні або малоіндуктивні навантаги, резистивні печі
АС-2	Двигуни з фазним ротором: пуск, вимикання
АС-3	Двигуни з короткозамкненим ротором: пуск, вимикання під час обертання
АС-4	Двигуни з короткозамкненим ротором: пуск, гальмування противмиканням, поштовховий режим
АС-5a	Комутації газорозрядних ламп
АС-5b	Комутації ламп розжарювання
АС-6a	Комутації трансформаторів
АС-6b	Комутації конденсаторних батарей
АС-7a	Малоіндуктивні навантаги побутового та аналогічного призначення
АС-7b	Двигунові навантаги побутового призначення
АС-8a	Керування герметичними двигунами компресорів з ручним зведенням розчіплювачів перевантаження
АС-8b	Керування герметичними двигунами компресорів з автоматичним зведенням розчіплювачів перевантаження
DC-1	Неіндуктивні або малоіндуктивні навантаги, резистивні печі
DC-3	Двигуни паралельного збудження: пуск, гальмування противмиканням, поштовховий режим. Динамічне гальмування
DC-5	Двигуни послідовного збудження: пуск, гальмування противмиканням, поштовховий режим. Динамічне гальмування
DC-6	Комутації ламп розжарювання

Зовнішній вигляд деяких контакторів постійного та змінного струму зображено на рис. 4.33 – 4.35.

Рис. 4.33. Однополюсний електропневматичний контактор постійного струму:

- 1 – електропневматичний вентиль;
- 2 – поршневий пневматичний привід;
- 3 – основа;
- 4 – поворотальна пружина;
- 5 – контактна пружина;
- 6 – отвори в основі для механічного монтування контактора;
- 7 – рухомий контакт головного кола;
- 8 – нерухомий контакт;
- 9 – увідний термінал;
- 10 – дугогасна камера;
- 11 – блок допоміжних контактів;
- 12 – клемна колодка;
- 13 – вивідний термінал

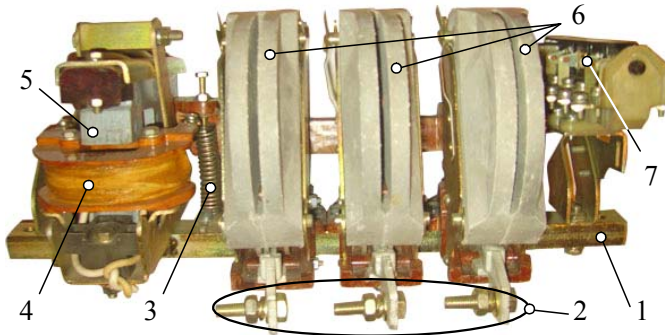
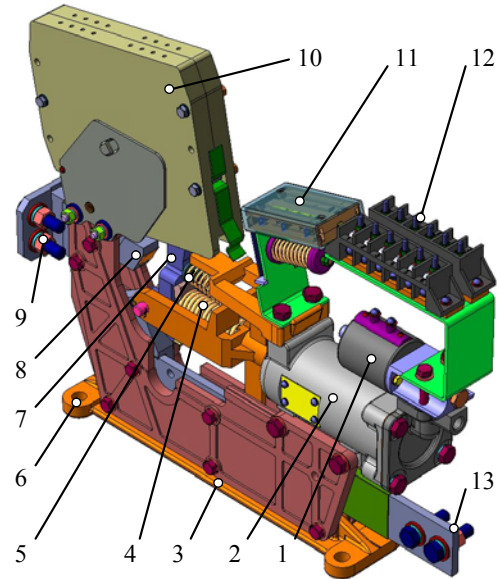
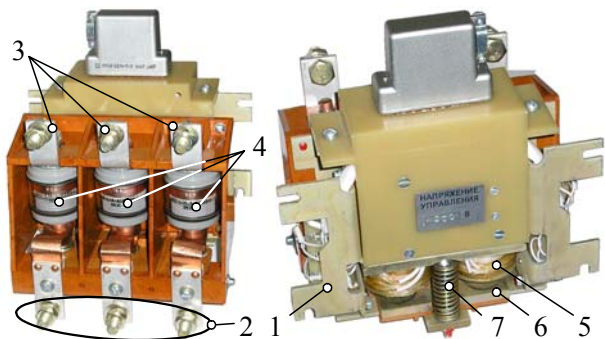


Рис. 4.34. Триполюсний електромагнітний контактор змінного струму:

- 1 – монтувальна рейка;
- 2 – увідні термінали;
- 3 – поворотальна пружина;
- 4 – котушка електромагніта;
- 5 – якорь електромагніта;
- 6 – дугогасні камери;
- 7 – блок допоміжних контактів

Рис. 4.35. Триполюсний електромагнітний вакуумний контактор змінного струму:

- 1 – монтувальна пластина;
- 2 – вивідні термінали;
- 3 – увідні термінали;
- 4 – вакуумні переривники (камери);
- 5 – котушка електромагніта;
- 6 – якорь електромагніта;
- 7 – поворотальна пружина



Пускач (starter) – це комбінація усіх комутаційних засобів, необхідних для пуску та зупинки двигуна, у поєднанні з належним захистом від перевантажень. Таким чином, на відміну від контакторів, пускач крім функцій керування має й захисні функції. До складу пускача може входити декілька апаратів: контактор, реле захисту від перевантажень, кнопки керування тощо. Частота комутацій пускача не перевищує 30 циклів на годину.

Пускачі, які призначені, переважно, для застосування у категорії АС-3, підрозділяють на нереверсивні (призначені для пуску й зупинення двигунів) та реверсивні (які змінюють напрям обертання ротора двигуна).

У залежності від способу пуску та зупинення обертання двигуна розрізняють пускачі прямого пуску (direct-on-line starter), реостатні роторні пускачі (rheostatic rotor starter), реостатні статорні пускачі (rheostatic stator starter), автотрансформаторні пускачі (auto-transformer starter), а також пускачі типу «зірка – трикутник» (star-delta starter). Зовнішній вигляд та елементи конструкції нереверсивного магнітного пускача прямого пуску в ізоляційній оболонці представлені на рис. 4.36.

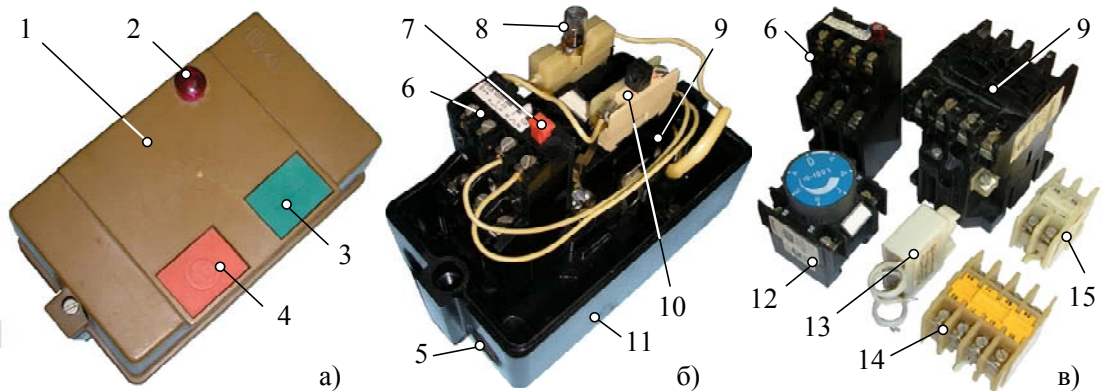


Рис. 4.36. Нереверсивний магнітний пускач прямого пуску в ізоляційній оболонці:

а – пускач в оболонці; б – зовнішній вигляд зі знятою кришкою; в – складові пускача.
1 – кришка оболонки; 2 – ковпачок сигнальної лампи; 3 – зовнішній актуатор кнопки «ПУСК»; 4 – зовнішній актуатор кнопки «СТОП»; 5 – отвори в основі оболонки; 6 – реле захисту від перевантажень; 7 – актуатор реле захисту від перевантажень, який виконує функції внутрішнього актуатора кнопки «СТОП»; 8 – сигнальна лампа; 9 – контактор; 10 – внутрішній актуатор кнопки «ПУСК»; 11 – основа оболонки; 12 – пневматичне реле часу; 13 – обмежувач перенапруги, що виникає на терміналах котушки контактора; 14, 15 – системи допоміжних контактів (відповідно на чотири та два контакти)

Теплове реле, яке входить до складу пускача, захищає обмотку двигуна, а відтак і мережу живлення, від перевантажень, але не забезпечує захист мереж від коротких замикань. Крім того, пускач не обов'язково має функцію роз'єднання. Так звані захищені й комбіновані пускачі крім захисту мереж від коротких замикань забезпечують й виконання функції роз'єднання.

Захищений пускач (protected starter) – це комплектний апарат, який складається з пускача, комутаційного апарата з ручним керуванням та апарата захисту від коротких замикань, змонтованих та з'єднаних за інструкцією виробника в оболонці або без неї. Комбінований пускач (combination starter) – це захищений пускач, змонтований та з'єднаний у спеціалізованій оболонці на заводі.

Типові варіанти схем захищених та комбінованих пускачів, рекомендовані стандартом IEC 60947-4-1, представлені на рис. 4.37.

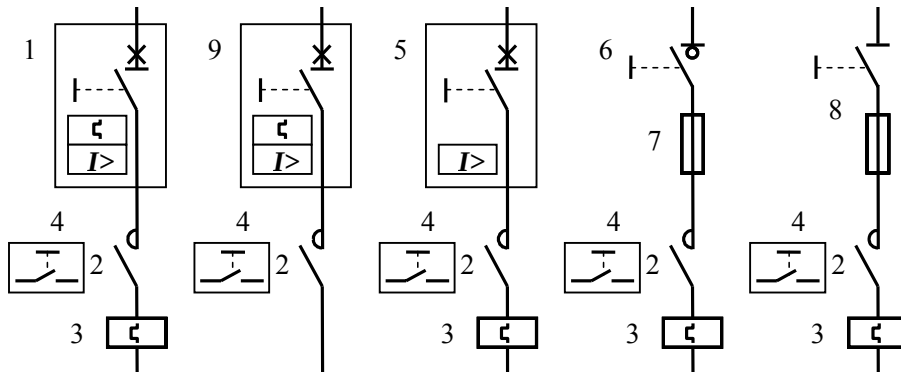


Рис. 4.37. Типові варіанти схем комбінованих та захищених пускачів (IEC 60947-4-1, figure 3): 1 – відмикач, що забезпечує захист від коротких замикань, з тепловим розчіплювачем, часо-струмова характеристика якого відповідає вимогам стандарту IEC 60947-2; 2 – контактор пускача; 3 – теплове реле пускача, часо-струмова характеристика якого відповідає вимогам стандарту IEC 60947-4-1 й забезпечує захист обмотки двигуна від перевантажень; 4 – апарат кіл керування для вмикання/вимикання контактора; 5 – відмикач, що забезпечує захист від коротких замикань, без теплового розчіплювача; 6 – вимикач-роз'єднувач; 7 – запобіжник; 8 – роз'єднувач-запобіжник; 9 – відмикач, що забезпечує захист від коротких замикань, з тепловим розчіплювачем, часо-струмова характеристика якого відповідає вимогам стандарту IEC 60947-4-1

На рис. 4.38 зображена схема приєднання двигуна до нереверсивного захищеного магнітного пускача. Запобіжники FU1 ... FU3 забезпечують

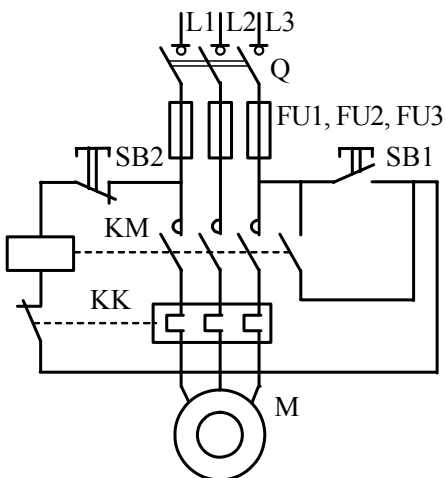


Рис. 4.38. Електрична схема нереверсивного магнітного пускача

захист мережі живлення від коротких замикань, реле КК – захист обмоток двигуна М та мережі живлення від перевантажень, а вимикач Q – функцію роз'єднання.

При натисненні на кнопку SB1 контактор КМ спрацьовує і двигун М починає обертатися. Якщо відпустити кнопку SB1, двигун не зупиниться, адже контакти кнопки будуть зашунтовані допоміжним контактом контактора КМ. Двигун зупиниться, якщо натиснути на кнопку SB2.

При перевантаженні двигуна, його струм збільшиться відносно робочого струму, на який налаштовано реле КК, і через певний час, який залежить від значення

струму перевантаження, реле спрацює, знеструмивши котушку контактора, що призведе до знеструмлення обмоток двигуна та його зупинки.

Завдяки тому, що контакти кнопки SB1 зашунтовані допоміжними контактами контактора, забезпечується захист від зникнення або неприпустимого зниження напруги живлення, адже у цьому разі контактор відключиться, двигун М зупиниться, а при відновленні електропостачання двигун почне обертатися лише після натиснення на кнопку SB1.

4.1.7. Апарати кіл керування

Апарат кіл керування (control circuit device) – електричний пристрій, призначений для керування, сигналізації, блокування тощо в комутаційній апаратурі та апаратурі керування. Призначення апаратів кіл керування впливає з наведеного вище визначення. Апарати кіл керування можуть містити вбудовані пристрої, які власне не відносяться до цієї групи апаратів, наприклад, вимірювальні прилади, потенціометри, реле, але застосовуються у цілях, зазначених вище. Вимоги до електромеханічних апаратів кіл керування сформульовані в міжнародному стандарті ІЕС 60947-5-1.

Основними різновидами апаратів кіл керування є апарати з ручним керуванням, керовані перемикачі та програмовані перемикачі. Контактні системи так званих контакторних реле (contactor relay), які будуть розглянуті разом з іншими видами реле у п. 4.1.8, також мають відповідати вимогам стандарту ІЕС 60947-5-1.

До апаратів з ручним керуванням або вимикачів (перемикачів) керування (control switch) відносять кнопкові перемикачі, джойстики, педальні перемикачі, поворотні перемикачі. Перемикач керування містить один чи декілька комутаційних елементів та спільну привідну систему.

Фото одного з видів апаратів кіл керування – кнопкового перемикача наведені на 4.39. На рис. 4.40 зображені електричні схеми кнопкових перемикачів з контактними та напівпровідниковим комутаційними елементами. Останні не відносяться до електромеханічних апаратів і у даному посібнику не розглядаються.



Рис. 4.39. Апарат кіл керування – кнопковий перемикач з приєднаною сигнальною лампою: а – у зібраному стані; б – зі знятим актуатором (кнопкою); в – у розібраному стані. 1 – актуатор; 2 – замикальний контактний елемент; 3 – сигнальна лампа; 4 – розмикальний контактний елемент; 5 – обойма

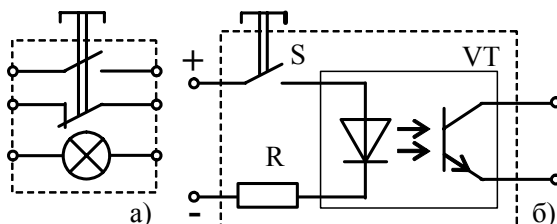


Рис. 4.40. Електричні схеми апаратів кіл керування – кнопкових перемикачів: а – з контактними комутаційними елементами та приєднаною сигнальною лампою; б – з напівпровідниковим комутаційним елементом

Кнопковий перемикач (push-button) – це перемикач керування, актуатор якого призначений для оперування зусиллям частини тіла людини – зазвичай пальцем або долонею руки, з повертанням у вихідне положення за рахунок нагромадженої (у пружині) енергії.

У стандарті ІЕС 60947-5-1 наводяться визначення великої кількості різновидів кнопкових перемикачів: кнопковий перемикач з натисненням (push-button); кнопковий перемикач з витягуванням (pull-button); кнопковий перемикач з оперуванням натисненням-витягуванням (push-pull-button); поворотний кнопковий перемикач або селекторний перемикач (rotary button (selector switch)); кнопковий перемикач із зачіпкою (latched push-button); кнопковий перемикач з блокуванням (locked push-button); кнопковий перемикач з оперуванням за допомогою ключа (key-operated push-button); кнопковий перемикач із затримкою повернення (time-delay push-button); кнопковий перемикач із затримкою спрацьовування (delayed action push-button); кнопковий перемикач з підсвічуванням (illuminated push-button); кнопковий перемикач, захищений кришкою (covered push-button); кнопковий перемикач, захищений огорожею (shrouded push-button); кнопковий перемикач з вільним обертанням кнопки (free push-button); кнопковий перемикач без обертання кнопки (guided push-button). Деякі з вказаних різновидів кнопкових перемикачів зображені на рис. 4.41.



Рис. 4.41. Кнопкові перемикачі

Джойстик (joy stick) – це перемикач керування з органом керування, який складається з рукоятки або важеля, розташованого, зазвичай, перпендикулярно панелі або корпусу, коли він знаходиться в одному з положень, та призначений для здійснення операцій завдяки кутовим переміщенням (рис. 4.42).

Педальний перемикач (педаль) (foot switch (pedal)) – перемикач керування, з органом керування, призначеним для оперування силою, яка забезпечується ногою (рис. 4.43).

Промислові джойстики та педальні перемикачі застосовуються у будівельних машинах, автотранспорту, вантажопідіймальних кранах, пультах керування складним обладнанням тощо.



Рис. 4.42. Пульти оператора з промисловими джойстиками

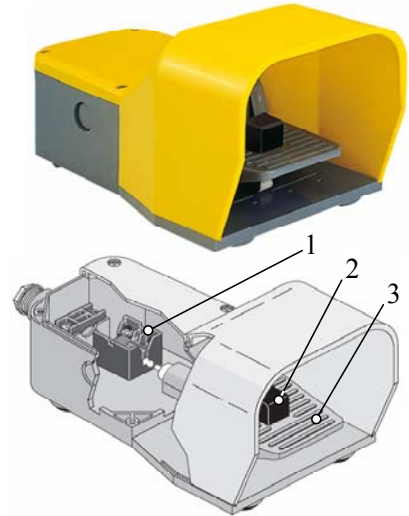


Рис. 4.43. Педальний перемикач:
1 – контактний блок (contact unit: 2.3.3.10); 2 – фіксатор положення педалі; 3 – педаль

Поворотний перемикач (rotary switch) – апарат кіл керування з актуатором, що приводиться у дію шляхом обертання його валу (рис. 4.44). Поворотні перемикачі (їх називають також кулачковими та пакетними перемикачами), які можуть мати багато сталих положень, та багато комутаційних елементів, застосовуються у системах неавтоматичного керування технологічними процесами, а також для керування двигунами невеликої потужності.

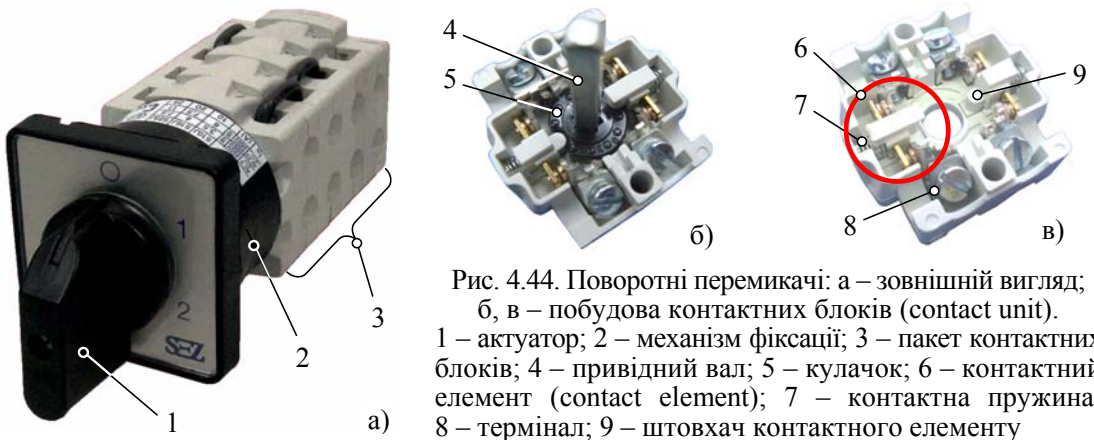


Рис. 4.44. Поворотні перемикачі: а – зовнішній вигляд; б, в – побудова контактних блоків (contact unit).
1 – актуатор; 2 – механізм фіксації; 3 – пакет контактних блоків; 4 – привідний вал; 5 – кулачок; 6 – контактний елемент (contact element); 7 – контактна пружина; 8 – термінал; 9 – штовхач контактного елементу

Позиційний перемикач (position switch) – це керований перемикач*, привідна система якого приводиться у дію рухомою частиною машини, коли ця частина досягає заданого положення (рис. 4.45).

* Керований перемикач (pilot switch) – це апарат кіл керування, який приводиться у дію без участі людини при визначених умовах параметрів впливу. Параметрами впливу, можуть бути тиск, температура, швидкість, рівень рідини, час, тощо.



Рис. 4.45. Позиційні перемикачі: а – зовнішній вигляд з деякими варіантами актуаторів; б – символ гарантованої операції розмикання (позиційні вимикачі, позначені символом «*», не забезпечують виконання цієї операції); в – внутрішня побудова.

1 – актуатор (важіль із роликом); 2 – корпус; 3 – комутаційний елемент; 4 – термінал комутаційного елементу; 5 – отвір у корпусі для провідників, що приєднуються до терміналів; 6 – термінал для приєднання уземлювального провідника; 7 – монтажний отвір; 8 – кришка з прокладкою для забезпечення герметизації порожнини корпусу з комутаційним елементом

Кінцеві вимикачі (limit switch) – це особлива категорія позиційних перемикачів: вони забезпечують так звану гарантовану або жорстку операцію розмикання. Під гарантованою операцією розмикання (positive opening operation) розуміють операцію розмикання, яка, у відповідності до певних визначених вимог, гарантує, що усі контакти, які мають розімкнутися, будуть у розімкненому положенні, коли актуатор апарата знаходиться у положенні, що відповідає розімкненому положенню апарата. Контактні блоки кінцевих вимикачів зазвичай мають як розмикальні, так і замикальні контакти, але, оскільки їх основною дією є розмикання кіл, їх називають саме кінцевими **вимикачами**, а не перемикачами.

Позиційні перемикачі можуть мати різноманітні типи актуаторів, найбільш розповсюдженими з яких є: простий плунжер (plain plunger); плунжер з роликом (roller plunger); важіль з роликом (roller lever); регульований важіль з роликом (adjustable roller lever); регульований стрижневий важіль (adjustable rod lever); стрижень з пружиною (spring rod); гнучкий стрижень з ізолюваним кінцем (flexible rod with insulated end); витяжної дії (pull action). Позиційні перемикачі з усіма зазначеними видами актуаторів крім останніх трьох забезпечують гарантовану операцію розмикання, отже позиційні перемикачі з трьома останніми видами актуаторів не можуть виконувати функції кінцевих вимикачів.

Програмований перемикач (programmer: 60947-5-1, 2.2.1.4) – це перемикач керування з великою кількістю комутаційних елементів, які, після запуску, спрацьовують у визначеній послідовності. Електромеханічні

програмовані перемикачі, які вироблялися в 70-ті роки минулого століття (рис. 4.46-а) суттєво відрізняються від сучасних апаратів аналогічного призначення (рис. 4.46-б), а сучасні мікропроцесорні програмовані перемикачі (рис. 4.46-в) на виході зазвичай мають контактні комутаційні елементи.

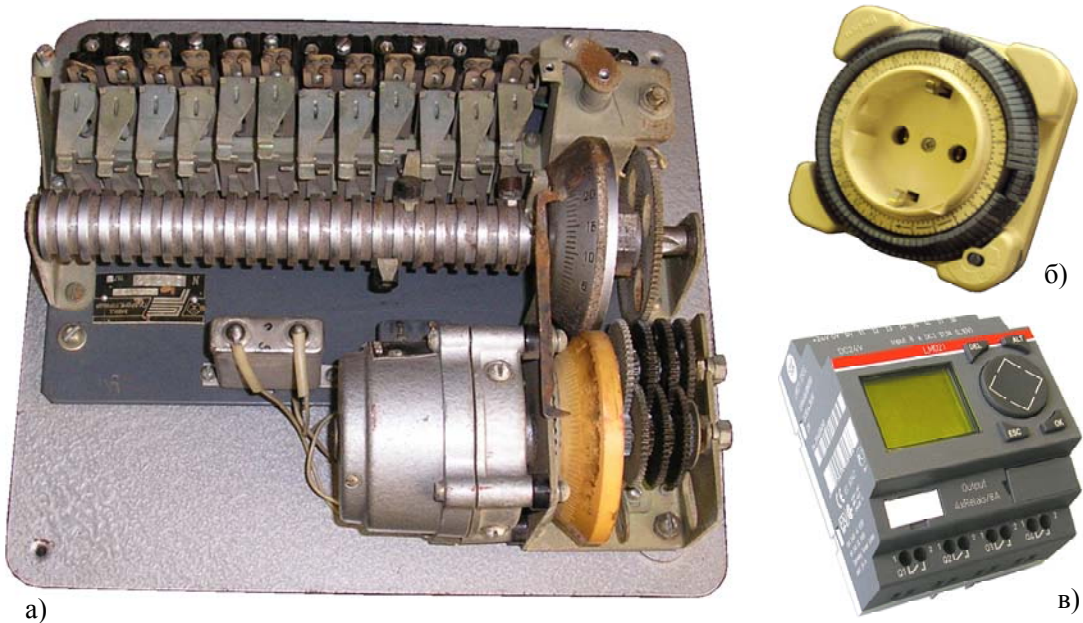
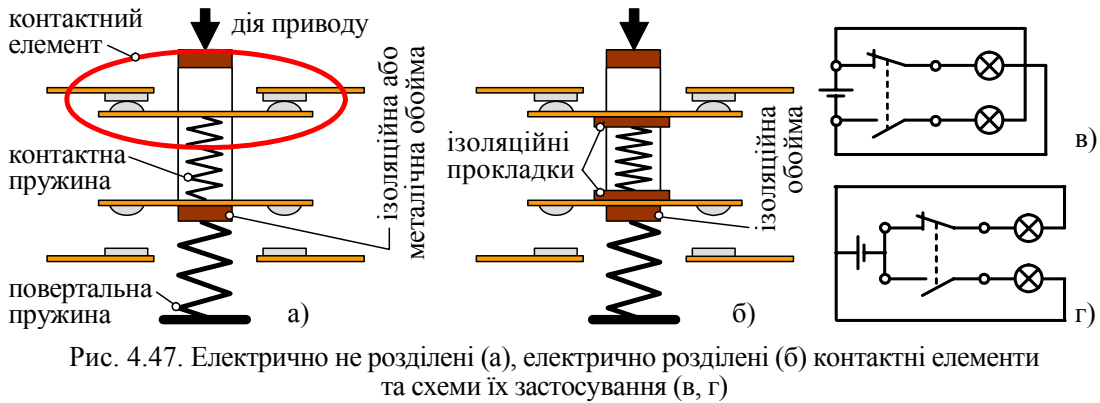


Рис. 4.46. Програмовані перемикачі: а – електромеханічний (70-ті роки минулого століття); б – сучасний електромеханічний; в – мікропроцесорний з контактними елементами на виході

Контактний елемент (перемикача керування) (contact element (of a control switch)) – це частини перемикача керування (рухомі та нерухомі, струмопровідні та ізоляційні), необхідні для замикання та розмикання одного єдиного шляху струму у колі. Наприклад, до складу контактного елемента, зображеного на рис. 4.44-в, входять два нерухомих контакти, контактний місток, контактна пружина, ізоляційна обойма та штовхач, які у сукупності забезпечують замикання та розмикання певного кола.

Контактний блок (contact unit) – це контактний елемент або сукупність контактних елементів, що можуть бути поєднані з подібними блоками та приводяться у дію спільною привідною системою. Наприклад, поворотний перемикач, зображений на рис. 4.44, містить чотири контактні блоки, кожен з яких складається з двох контактних елементів.

Два контактні елементи, які містяться в одному контактному блоці, можуть бути електрично розділеними або електрично не розділеними. Блоки контактних елементів, зображених на рис. 4.47-а та 4.47-б, відрізняються лише тим, що у першому випадку контактна пружина притискає контактні містки двох контактних елементів, торкаючись їх безпосередньо, а у другому випадку між пружиною та містками встановлені ізоляційні прокладки.



Контактні елементи, які є електрично не розділеними, не забезпечують гальванічного розділення кіл, у яких вони застосовуються (див. п. 2.3.1), тому до їх застосування треба ставитися з певною пересторогою. Наприклад, в схемі перемикачання сигнальних ламп, що зображена на рис. 4.47-в, застосування перемикача керування з електрично нерозділеними контактними елементами може спричинити коротке замикання, якщо електрична дуга, що виникла на нормально замкненому контакті, не згасне до моменту замикання нормально розімкненого контакту. Застосування у цій схемі перемикача керування з електрично розділеними контактними елементами не викличе короткого замикання, навіть якщо у якийсь момент обидва контакти будуть замкненими. В іншій схемі (рис. 4.47-г) можуть бути застосовані обидва різновиди контактних елементів без ризику виникнення коротких замикань.

Апарати кіл керування допускають роботу у колах змінного (AC) та постійного (DC) струму. Стандарт IEC 60947-5-1 визначає категорії застосування цих апаратів, а також комутаційних елементів допоміжних кіл та кіл керування інших апаратів (табл. 4.4).

Таблиця 4.4. Категорії застосування апаратів кіл керування

Рід струму	Категорія застосування	Типові використання
Змінний струм	AC-12	Керування резистивними навантагами, а також навантагами, гальванічно відділеними за допомогою оптронів
	AC-13	Керування твердотільними навантагами з гальванічним відділенням за допомогою трансформаторів
	AC-14	Керування електромагнітними навантагами малої потужності (≤ 72 ВА)
	AC-15	Керування електромагнітними навантагами великої потужності (> 72 ВА)
Постійний струм	DC-12	Керування резистивними навантагами, а також навантагами, гальванічно відділеними за допомогою оптронів
	DC-13	Керування електромагнітами
	DC-14	Керування електромагнітами з обмежувальними резисторами

Категорія застосування формує певні вимоги до контактних елементів, що відбивається у їх конструкціях, у першу чергу, контактних накладок (діаметр, товщина срібного або металокерамічного шару). Категорія АС-12 є найлегшою, оскільки комутація активних навантаж зазвичай не супроводжується потужними розрядами (іскра, дуга) на контактах. Потужні розряди не виникають також при комутації кіл керування навантаж, гальванічно відділених від головних кіл за допомогою оптосимісторів (рис. 4.48-а), а також у колах керування, які здійснюють комутації первинних обмоток малопотужних роздільних трансформаторів, що відповідає категорії АС-13 (рис. 4.48-б). Різниця між цими категоріями застосування полягає в тому, що у категорії АС-12 струм вмикання є таким самим, як і струм вимикання, а у категорії АС-13 струм вмикання може суттєво перевищувати струм вимикання.

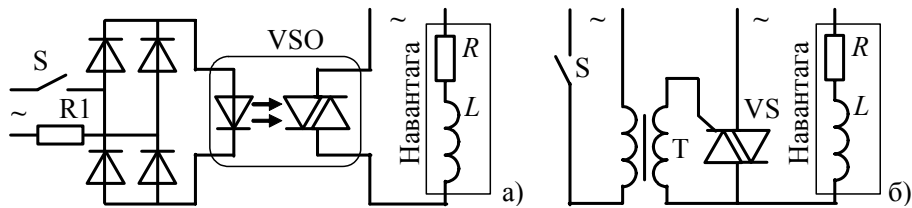


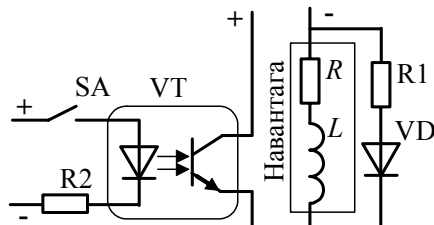
Рис. 4.48. Приклади застосування контактних елементів кіл керування у категоріях АС-12 (а) та АС-13 (б): S – контактний елемент апарата кіл керування; R, L – відповідно опір та індуктивність навантаги; R1 – резистор в колі контактного елемента; VSO – оптосимістор; VS – симістор; T – трансформатор

Електромагнітними навантаженнями у колах керування змінного струму зазвичай є електромагніти змінного струму, особливістю функціонування яких є те, що пускові струми суттєво перевищують струми в обмотках при притягнутих рухомих частинах магнітопроводів (див. рис. 1.52, 1.53), причому різниця між пусковим та усталеним струмами є тим більшою, чим потужнішим є електромагніт. В електромагнітах відносно малої потужності відношення цих струмів становить $4 \div 6$, а у потужних електромагнітах може перевищувати 10. У конструкціях контактних елементів, призначених для керування електромагнітами (контактні елементи категорій АС-14 та АС-15) мають бути передбачені способи боротьби з деренчанням, адже це явище при великих пускових струмах може спричинити приварювання контактів. Якщо електромагніт виявляється заблокованим у розімкненому стані, то контактний елемент, що застосовується у категоріях АС-14 та АС-15, має бути здатним відімкнути такий самий струм, як і струм при вмиканні.

Категорія DC-12 передбачає комутації у колах з резистивними навантаженнями (наприклад, резистори нагрівальних приладів, сигнальні прилади на базі світлодіодів тощо), а також у колах керування навантаженнями, гальванічно відділеними за допомогою оптотранзисторів (рис. 4.49). Слід

зазначити, що категорія DC-12 для контактів є суттєво важчою, ніж категорія AC-12, оскільки у колах змінного струму кожен півперіод струм проходить через нуль. Отже, у конструкціях контактних елементів, призначених для експлуатації у категорії DC-12, мають бути передбачені способи, які забезпечують гасіння дуги постійного струму. Якщо той самий контактний елемент має застосовуватися у категоріях AC-12 та DC-12, то робочий струм у категорії DC-12 має бути суттєво меншим за робочий струм у категорії AC-12.

Рис. 4.49. Приклад застосування контактного елемента апарата кіл керування у категорії DC-12: SA – апарат кіл керування з контактним елементом; R , L – відповідно опір та індуктивність навантаги; R_1 , VD – резистор та діод в колі розмагнічування навантаги; R_2 – резистор в колі контактного елемента; VT – оптотранзистор



Електромагнітними навантагами у колах керування постійного струму зазвичай є електромагніти постійного струму, особливістю функціонування яких є те, що при вмиканні струми у них дорівнюють нулю, а вимикання має здійснюватися при ustalених значеннях струмів. У конструкціях контактних елементів, призначених для керування електромагнітами (контактні елементи категорії DC-13) мають бути передбачені способи ефективного гасіння дуги постійного струму, у якій має вивільнитися енергія W_m , яка накопичується в індуктивності L обмотки перед розмиканням кола зі струмом I ($W_m = L \cdot I^2 / 2$).

Категорія DC-14 передбачає керування форсованими електромагнітами з додатковими обмежувальними резисторами (див. рис. 1.56-а). Замикання контакту S контактного елемента у цьому колі супроводжується значним пусковим струмом, оскільки резистор R в процесі пуску зашунтований власним контактом керування електромагніта Y , який розмикається після спрацювання електромагніта. Отже, розмикання контакту контактного елемента S відбувається при значно меншому струмі (у $4 \div 6$ разів меншому за пусковий струм).

Вимоги стандарту IEC 60947-5-1 розповсюджуються не тільки на контактні елементи апаратів кіл керування, а й на допоміжні контакти силових апаратів комутації, керування й захисту (відмикачі, контактори, запобіжники тощо), на контакти електромагнітних реле та реле переважень (теплових реле) тощо.

На власні контакти керування контакторів, що пов'язані з комутацією обмоток в системах форсованого керування, не розповсюджуються вимоги стандарту IEC 60947-5-1. Ці контактні елементи мають виготовлятися за окремими технічними вимогами й під відповідальність виробника.

4.1.8. Електромагнітні реле

Електромагнітні реле відносяться до категорії електричних реле (electrical relay) – пристроїв, призначених для створення різких приписаних змін в одному чи декількох вихідних колах, коли виконуються певні умови у вхідних електричних колах, які керують цим пристроєм. Зміни у вхідних та вихідних колах відносять до певних електричних величин – струм, напруга тощо.

У відповідності до вимог щодо точності значення вхідної величини, при якій відбувається спрацьовування, реле підрозділяють на вимірювальні реле (measuring relay) та логічні реле (all-or-nothing relay), до яких відносять звичайні реле (elementary relay), тобто реле, які спрацьовують та повертаються без визначеної витримки часу, а також реле з витримкою часу або реле часу (time relay).

Електричне реле (рис. 4.50-а) складається з елемента керування (control element), комутаційного елемента (switching element) та розташованого між ними проміжного елемента (intermediate element), який забезпечує взаємодію вхідного кола (input circuit), яке складається з вхідних терміналів (input terminals), елемента керування та провідників, що з'єднують їх, та вихідного кола (output circuit), яке складається з комутаційного елемента, вихідних терміналів (output terminals) та провідників, що з'єднують їх. Приклад, наведений на рис. 4.50-б відноситься до так званих твердотільних реле (solid-state relay) – електричних реле, у яких призначена реакція створюється через вплив електронних, магнітних, оптичних або інших компонентів без механічного руху. У цьому прикладі елемент керування складається з діодного моста, утвореного діодами VD1 ... VD4, резистора R та світлодіода оптосимістора VSO, симістор якого є комутаційним елементом, а роль проміжного елемента виконує потік світла, який утворює світлодіод, коли на вхідні термінали подається напруга певного рівня.

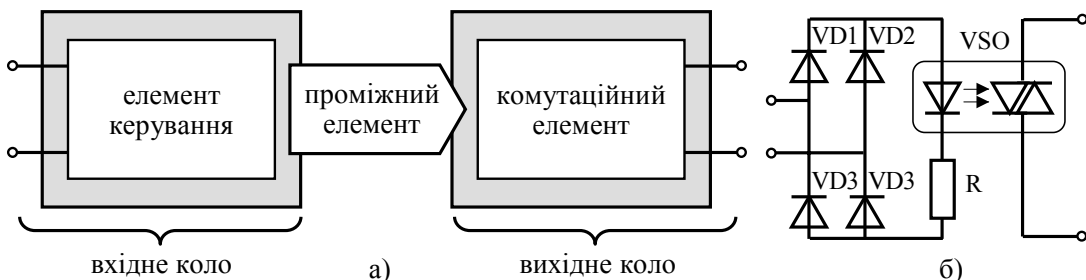


Рис. 4.50. Електричне реле: а – структурна схема; б – приклад

Твердотільні реле з'явилися на ринку відносно недавно – наприкінці 80-х років минулого століття. До того в царині реле домінували електромеханічні реле (electromechanical relay) – електричні реле, у яких призначена реакція походить переважно від руху механічних елементів. Структура еле-

ктромеханічного реле зображена на рис. 4.51-а. Як бачимо, комутаційним елементом в них є контактний елемент (один або декілька), а елементом керування може бути побудований на будь-якому фізичному принципі пристрій, який створює рух проміжного елемента, що впливає на контактний елемент вихідного кола. У прикладі, наведеному на рис. 4.51-б, елементом керування є нагрівальний елемент 1, виготовлений з високоомного дроту, що охоплює проміжний елемент – біметалеву пластину 2, яка прогинається, коли через нагрівальний елемент тече струм I певного рівня впродовж певного часу (певні умови у вхідному колі), в результаті чого замикаються контакти 3 у вихідному колі цього реле. Реле, побудовані на такому принципі, застосовуються для захисту від перевантажень мереж (у відмикачах) та обмоток двигунів (в магнітних пусках).

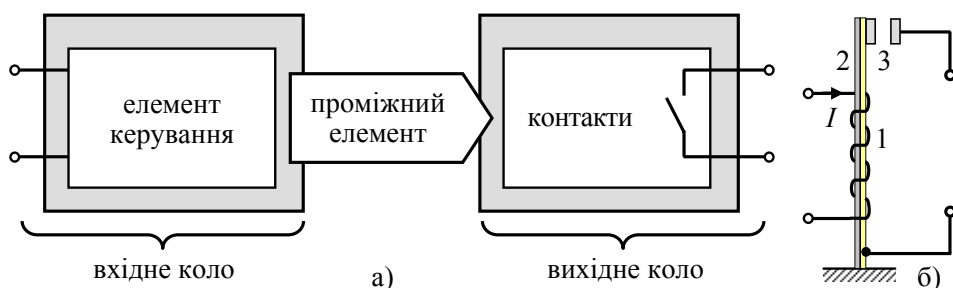


Рис. 4.51. Електромеханічне реле: а – структурна схема; б – приклад

Електромагнітні реле (electromagnetic relay) – це електричні реле, у яких призначена реакція створюється через вплив електромагнітних сил. Вимоги до електромагнітних реле сформульовано в стандарті IEC 60810-1. В цих реле (рис. 4.52) елементом керування є котушка реле (relay coil) 1, яка створює магнітний потік у магнітопроводі. Рухома частина 2 (проміжний елемент реле) при певному значенні напруги U , прикладеної до обмотки, починає рухатися і сприяє перемиканню контактів 3 (комутаційний елемент реле).

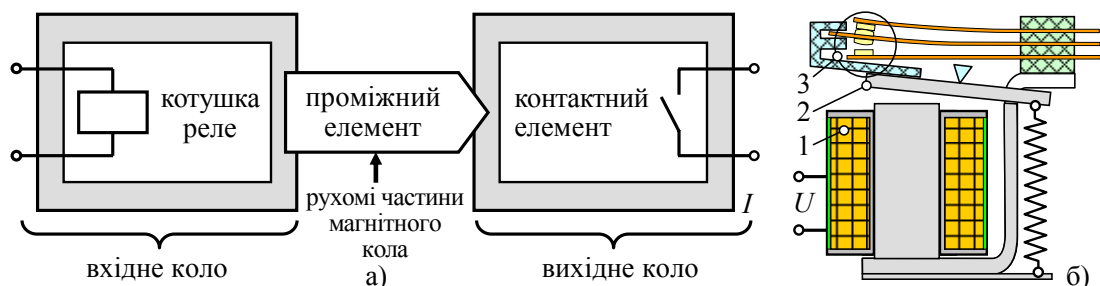


Рис. 4.52. Електромагнітне реле: а – структурна схема; б – приклад

Обсяг виробництва електромагнітних реле суттєво зменшився після переходу релейного захисту й телефонії на твердотільні компоненти та мікропроцесорне керування, але електромагнітні реле й дотепер знаходять широке застосування у таких галузях як системи автоматизації у виробниц-

тві та випробувальному обладнанні, електропобутова техніка, комп'ютерна техніка, кондиціонування та підігрів повітря, автомобільне електрообладнання, керування освітленням, керування електрообладнанням у будівлях тощо. Стабільність позицій електромагнітних реле на ринку пояснюється їх унікальними функціями, такими як гальванічне розділення вхідних та вихідних кіл, гальванічне розділення навантаж в багатополюсних реле, гальванічне розділення кіл постійного та змінного струму, наявність одного входу та декількох виходів, інтерфейс (сполучення) електронних та силових електричних кіл, підсилювальна функція (amplification).

Amplification – це своєрідний коефіцієнт підсилення. Якщо реле дозволяє комутувати струм 16 А у резистивній навантазі при напрузі 250 В, то це означає, що реле керує потужністю 4 000 Вт. Якщо при цьому котушка реле споживає 0,4 Вт, то коефіцієнт підсилення становить 10 000.

Домінуючі позиції на актуальному ринку займають реле, призначені для монтування на друкованих платах (printed circuit board) з терміналами відповідної конструкції – PCB relay (рис. 4.53), а також реле втичного типу (plug-in relay), які дозволяють здійснити швидку заміну реле, що вийшло з ладу (рис. 4.54).

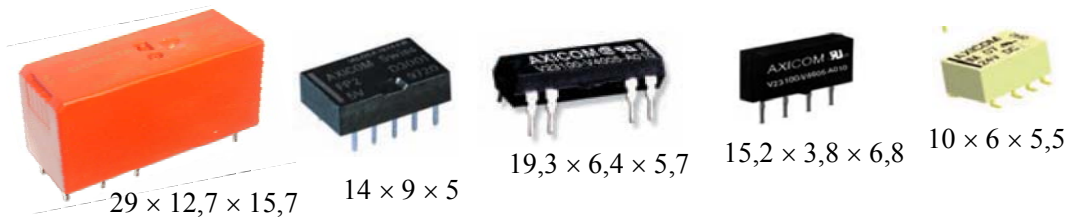


Рис. 4.53. Зовнішній вигляд реле для монтування на друкованих платах та їх габарити. Ліворуч – електромагнітне реле, інші реле - твердотільні

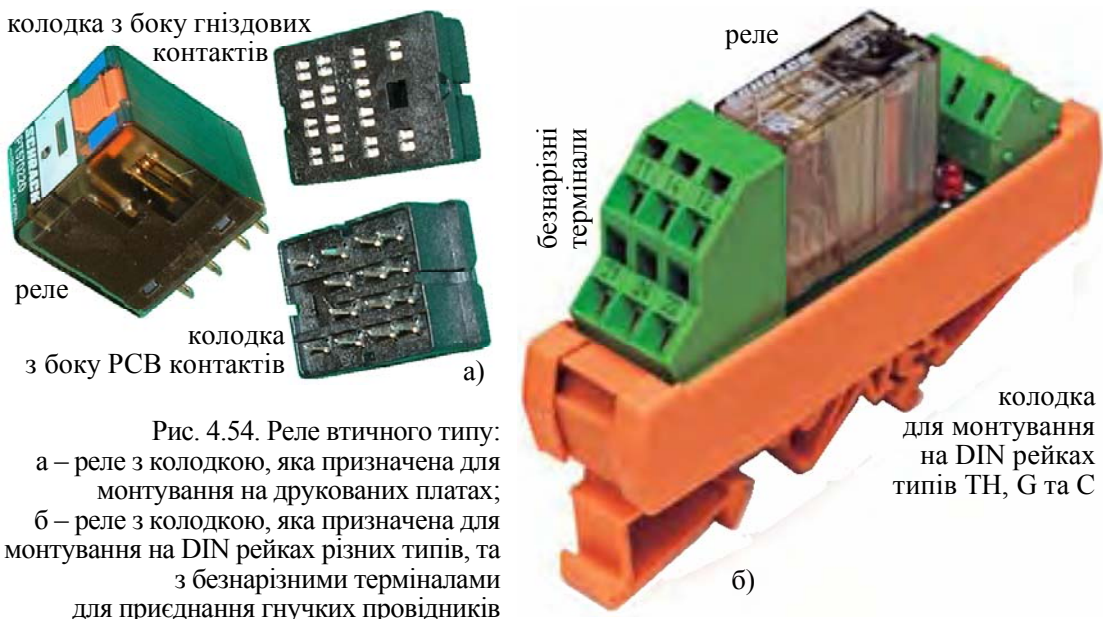


Рис. 4.54. Реле втичного типу:
а – реле з колодкою, яка призначена для монтування на друкованих платах;
б – реле з колодкою, яка призначена для монтування на DIN рейках різних типів, та з безнарзніми терміналами для приєднання гнучких провідників

Основними складовими електромагнітних реле (рис. 4.55) є контактні системи, магнітні системи, термінали та з'єднувальні аксесуари, а також механічні компоненти. В електромагнітних реле зазвичай застосовуються перемикальні контакти (change-over contacts – CO), але існують виконання реле із замикальними або нормально відкритими (normally open contacts – NO) та розмикальними або нормально закритими (normally closed contacts – NC) контактами.

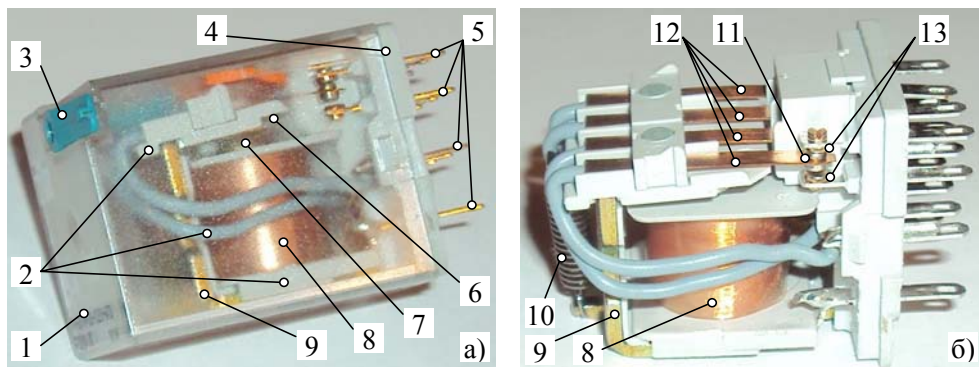


Рис. 4.55. Електромагнітне реле у зібраному стані (а) та зі знятою оболонкою (б)
Механічні компоненти: 1 – оболонка (case); 2 – ізоляція (insulation); 3 – актуатор (actuator); 4 – основа (base). Термінали: у даній конструкції застосовані втичні (plug-in) термінали 5. Магнітна система: 6 – ярмір (armature); 7 – сердечник (core); 8 – котушка (coil); 9 – ярмо (yoke); 10 – повертальна пружина (return spring). Контактна система: рухомі контакти (moving contacts) 11 розташовані на контактних пружинах (contact springs) 12, а нерухомі контакти (fixed contacts) 13 – на провідниках, які є подовженням терміналів

Сучасні електромагнітні реле випускаються в пластикових або металевих оболонках, призначених для захисту частин реле від несприятливих атмосферних та технологічних факторів, пов'язаних у першу чергу з припаюванням виводів до друкованої плати. Стандарт IEC 61810-1 передбачає шість категорій захищеності реле, які забезпечуються їх оболонками:

- RT0 – реле без оболонки (unenclosed relay);
- RTI – реле, захищене від проникнення пилу (dust protected relay);
- RTII – реле, захищене від проникнення флюсу (flux proof relay);
- RTIII – реле, захищене від проникнення розчинників при змиванні флюсу; (wash tight relay);
- RTIV – реле, захищене ущільненою оболонкою (sealed relay);
- RTV – реле, захищене герметичною оболонкою (hermetically sealed relay).

Оболонки й основи реле категорій RTI ... RTIV виготовляють з пластика, а оболонки й основи реле категорії RTV – з металу. Виводи, що проходять через металеві основи, ізолюють від них скляними ізоляторами. Реле категорій RTII та RTIII допускають автоматичне припаювання виводів до друкованої плати, різниця між ними полягає у можливості застосування різних способів видалення флюсу. Ілюстрації щодо різних категорій захищеності реле наведені на рис. 4.56.

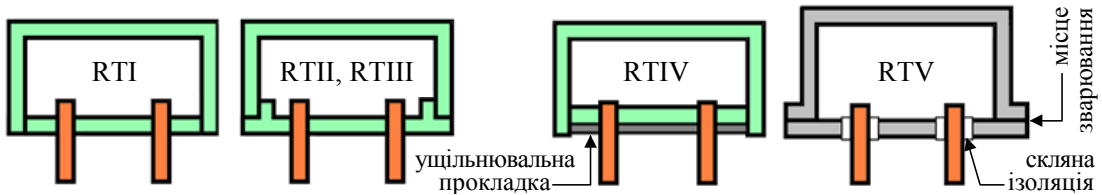


Рис. 4.56. Приклади оболонок реле різних категорій захищеності

На рис. 4.57-а зображена схема, у якій застосовано реле (КМ), подібне до зображеного на рис. 4.52-б. Вхідним колом цього реле є коло його котушки, а вихідними колами – кола з його перемикальним контактом. Вхідною (діяльною, живильною) величиною (energizing quantity) будемо вважати напругу U на котушці, а вихідною величиною (output quantity) – струм I у резисторі R . У вихідному стані, коли значення напруги U дорівнює нулю, контакти реле знаходяться у положенні, зображеному на схемі, лампочка НЛ світиться, а значення струму у резисторі R дорівнює нулю. При збільшенні напруги U цей стан буде зберігатися аж поки напруга не дійде до значення спрацьовування (operate value) U_o . У цей момент якір притягується до сердечника, контакти перемикаються, лампочка згасає, а струм у резисторі стрімко зростає до значення $I = U / R$ і буде лишатися таким при подальшому збільшенні напруги U . Якщо розпочати зменшення напруги U , струм в резисторі не буде змінюватися і при значеннях напруги, менших за U_o , аж поки напруга не дійде до значення відпускання (release value) U_r . У цей момент якір відпаде від сердечника й під дією повертальної пружини контакти разом з якорем займуть початкове положення. При цьому лампочка знов засвітиться, а струм у резисторі стрімко зменшиться до нульового значення і буде лишатися таким при подальшому зменшенні напруги U . Діаграму, що зображена на рис. 4.57-б, іноді називають релейною характеристикою. Ця діаграма відноситься до конкретного реле. Якщо взяти декілька реле певного типу, то їх релейні характеристики будуть відрізнятися одна від одної внаслідок технологічних відхилів, які є неминучими при виготовленні будь-яких виробів. Тому виробники мають надавати певні діапазони напруги, у яких відбудеться спрацьовування та відпускання реле (рис. 4.57-в). Ці діапазони обмежуються такими параметрами: U_o – напруга спрацьовування, при якій гарантовано спрацює будь-яке реле даного типу, U_{no} – напруга неспрацьовування, при якій гарантовано не спрацює будь-яке реле даного типу, U_r – напруга відпускання, при якій гарантовано відбудеться відпускання будь-якого реле даного типу та U_{nr} – напруга невідпускання, при якій гарантовано не відбудеться відпускання будь-якого реле даного типу. Розглянуте реле є неполяризованим (non-polarized relay), тобто таким, зміна стану якого не залежить від полярності живильної величини. Відтак релейна характеристика симетрично відтворюється й у другому квадранті. Розглянуте реле є моностабільним

(monostable relay), тобто таким, яке після зміни свого стану під впливом деякої живильної величини повертається у попередній стан, коли вплив цієї живильної величини зникає.

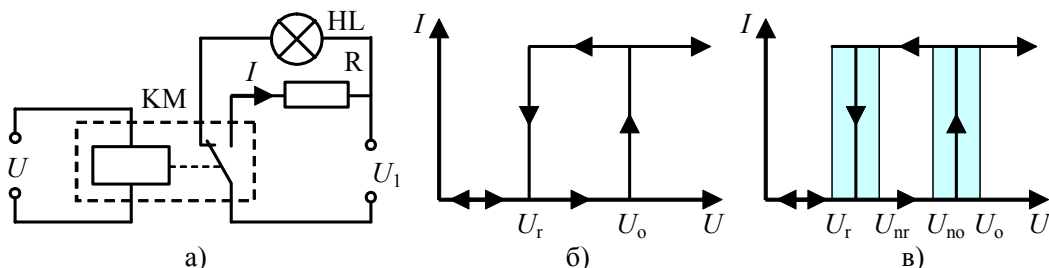


Рис. 4.57. Схема з електромагнітним реле (а) та діаграми його роботи (б, в)

Реле, яке зовні має таку саму конструкцію, (рис. 4.52-б) може бути неполяризованим, але бістабільним (bistable relay), тобто таким, що має два усталених положення, якщо принаймні одну з деталей виготовити не з електротехнічної сталі з вузькою петлею гістерезису (див. рис. 1.46-б), а зі спеціальної сталі з більш широкою петлею гістерезису, наприклад, зі сталі У10А. У цьому випадку, якщо до терміналів обмотки прикласти напругу, що перевищує напругу спрацьовування, реле спрацює при будь-якій полярності напруги, адже реле є неполяризованим. Після від'єднання терміналів обмотки від джерела живлення відпускання не відбудеться – рухомі частини магнітопроводу й контакти не змінять свого стану за рахунок залишкової намагніченості частини магнітопроводу з широкою петлею гістерезису. Для повернення (reset) рухомих частин й контактів у вихідне положення до терміналів обмотки треба прикласти напругу U_r – напругу повернення, полярність якої має бути протилежною відносно полярності напруги, при якій відбулося спрацьовування.

Поляризовані реле (polarized relay), тобто реле, зміна стану яких залежить від полярності живильної величини, можуть бути як бістабільними, так і моностабільними. Приклади можливих конструкцій таких реле, до складу яких входять поляризовані електромагнітні актуатори (див. п. 1.2.6), наведені на рис. 4.58.

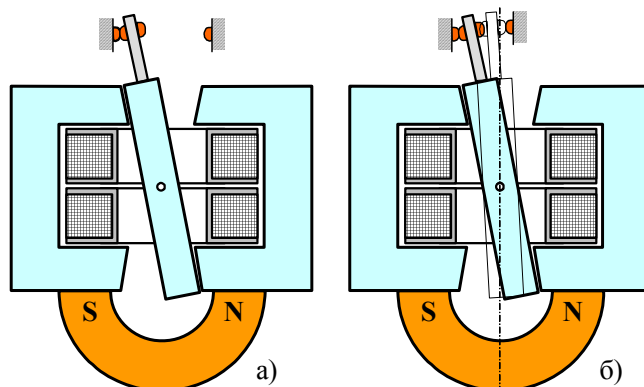


Рис. 4.58. Можливі конструкції поляризованих реле:
а – бістабільне реле;
б – моностабільне реле

Важливою характеристикою електромагнітного реле є робочий діапазон вхідної напруги. Межі цього діапазону залежать від перевищення температури обмотки реле при номінативній напрузі та температури навколишнього повітря (ambient temperature). Моностабільні неполяризовані реле зазвичай проектують так, що при номінативній напрузі та базовій температурі навколишнього повітря (reference ambient temperature), яку стандарт ІЕС 61810-1 встановлює на рівні $23 \pm 5^\circ\text{C}$, усталене перевищення температури обмотки (temperature rise) становить $30^\circ\text{C} \dots 35^\circ\text{C}$, а допустиме перевищення температури є набагато більшим. Наприклад, якщо в обмотці застосувати провід з ізоляцією класу F, то допустиме перевищення температури становить приблизно 130°C . Таким чином, обмотка може задовільно функціонувати при напругах, що набагато перевищують номінативне значення. Діапазон навколишнього повітря (ambient temperature range), у якому може працювати реле, встановлює виробник. Для деяких типів реле цей діапазон лежить в інтервалі від -40°C до $+85^\circ\text{C}$.

Стандарт ІЕС 61810-1 передбачає, що реле має чітко спрацьовувати в усьому встановленому виробником діапазоні температур навколишнього повітря, у тому числі, за умови, що котушка нагріта до стану теплової рівноваги при максимально допустимій напрузі, що відповідає певній температурі повітря. При цьому робочий діапазон вхідної напруги має враховувати теплопередачу від контактної системи до котушки. Приклад



меж типового робочого діапазону вхідної напруги зображено на рис. 4.59.

Рис. 4.59. Межі типового робочого діапазону вхідної напруги електромагнітного неполяризованого моностабільного реле

З графіків, наведених на рис. 4.59, видно, що у разі, коли номінальна напруга становить, наприклад 12 В, то при температурі повітря 40°C гранично допустимою напругою є $2,03 \cdot 12 \approx 24$ В, якщо струм контактів дорівнює 16 А, та $2,3 \cdot 12 \approx 28$ В, якщо струм у контактах відсутній. Реле спрацює при напрузі $0,77 \cdot 12 = 9,2$ В, якщо котушка не нагріта, та при напрузі $0,85 \cdot 12 = 10,2$ В, якщо котушка нагріта до стану теплової рівноваги.

Контакти реле призначені переважно для роботи у колах керування, тому їх категорії застосування такі ж, як і категорії застосування контактних елементів апаратів кіл керування.

4.1.9. Промислові з'єднувачі та з'єднувальні пристрої

Промислові з'єднувачі (industrial coupler) – це засоби, які дають змогу приєднувати гнучкий кабель до стаціонарної живильної розетки, з'єднувати кабелі між собою, а також приєднувати гнучкий кабель до будь-якого обладнання (appliance^{*}). У будь-якому випадку з'єднувач складається з вилки (plug) та розетки (socket-outlet), для яких стандарт IEC 60309-1 (профільний міжнародний стандарт для цих пристроїв) надає різні найменування в залежності від об'єкту, до якого вилка чи розетка приєднані (рис. 4.60).

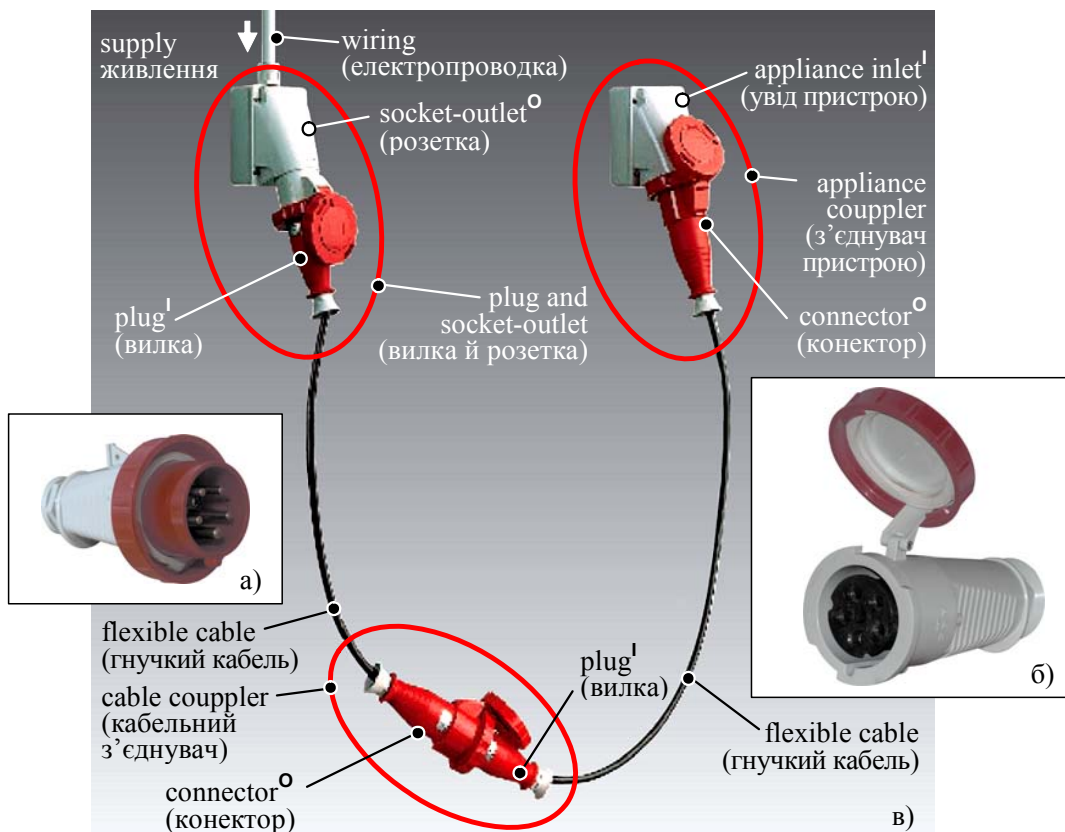


Рис. 4.60. Засоби приєднання електричного пристрою до живлення за допомогою гнучких кабелів та промислових з'єднувачів: а – вилка; б – розетка (конектор); в – найменування різновидів складових промислових з'єднувачів**

Промислові з'єднувачі призначені для тимчасового приєднання мобільного обладнання до тимчасових або стаціонарних розподільних пристроїв (рис. 4.61-а, б). Деякі конструкції живильних розеток містять інтегровані

* Хоча термін «appliance» в частині 151 IEV визначається як побутовий апарат (apparatus intended for household or similar use: 151-11-23), в інших частинах IEV, а також в інших стандартах IEC цей термін розуміється ширше – як будь-який пристрій з електричним живленням (у тому числі й промисловий), який має певне прикладне (applied) значення.

**Позначення ⁰ показує, що відповідна частина з'єднувача має гніздові контакти (socket contacts), а позначення ¹ показує, що відповідна частина з'єднувача має штирові контакти (plug contacts)

вимикачі (switched socket-outlet) й можуть забезпечувати блокування (interlock) так, що вимикач можна перевести у замкнене положення лише за умови належного приєднання та фіксації кабельної вилки, причому переведення вимикача у замкнене положення унеможливорює витягування кабельної вилки з розетки й попереджає утворення електричної дуги на контактах з'єднувача (рис. 4.61-в, г).



Рис. 4.61. Варіанти застосування промислових з'єднувачів:
а – тимчасовий розподільний пристрій з приєднаними кабелями для живлення мобільного обладнання; б – розподільно-облікова шафа на пірсі яхт-клубу з додатковим щитком для тимчасового електроживлення яхт; в, г – живильні розетки з інтегрованими вимикачами

Основними характеристиками промислових з'єднувачів є кількість та призначення контактів, номінальний струм, номінальна напруга та ступінь захищеності від проникнення усередину з'єднувача сторонніх предметів та вологи (код IP, див. п. 2.3.2). Кількість та призначення контактів зазвичай позначаються спеціальним скороченням. Наприклад, позначення 3P+N+E означає, що з'єднувач має п'ять контактів, три з яких призначені для приєднання лінійних провідників, один – для приєднання робочого нейтрального провідника (N провідника) та ще один – для приєднання захисного уземлювального провідника (PE провідника). Номінальна напруга з'єднувача – це граничне значення номінальної напруги мережі, у якій може працювати даний з'єднувач, а номінальний струм – це допустиме значення струму у безперервному режимі.

Номінальна напруга зазвичай позначається кольором корпусу з'єднувача і може становити від 100 В до 690 В та 25 В й 50 В для кіл з наднизькою напругою. Номінальний струм може бути 16 А, 32 А, 63 А та 125 А. Коди IP – IP44 та IP67.

Термінали для приєднання зовнішніх провідників при номінальному струмі 16 А та 32 А можуть бути як нарізними, так і безнарізними. При більших номінальних струмах з'єднувачі мають тільки нарізні термінали.

Для з'єднання провідників у колах керування й допоміжних колах потужних електричних апаратів та в розподільних пристроях застосовуються різноманітні з'єднувальні пристрої – з'єднувальні клемні колодки або клемники (connecting terminal plate), розгалужувальні блоки (junction block), багатополюсні блоки терміналів (multiway terminal block) тощо.

З'єднувальні клемні колодки розрізняються за видами терміналів (рис. 4.62) та кількістю полюсів – однополюсні, двополюсні (рис. 4.63) та триполюсні.

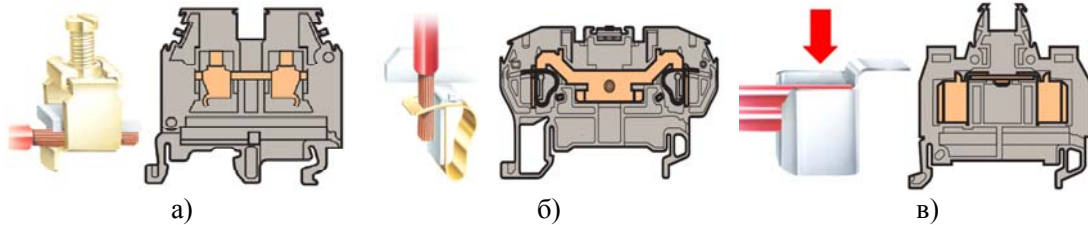


Рис. 4.62. Варіанти виконання однополюсних з'єднувальних клемних колодок:
а – з нарізними стовпчиковими терміналами; б – з безнарізними пружинними терміналами;
в – з безнарізними пірсинговими терміналами (з прошивкою ізоляції)

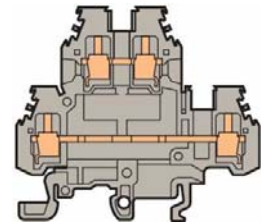


Рис. 4.63. Двополюсна з'єднувальна клемна колодка
з нарізними стовпчиковими терміналами

Клемні колодки можуть мати вбудовані роз'єднувачі, запобіжники, напівпровідникові діоди тощо, їх монтують на спеціальних рейках (DIN-рейки) у блоки з'єднувальних пристроїв (рис. 4.64).

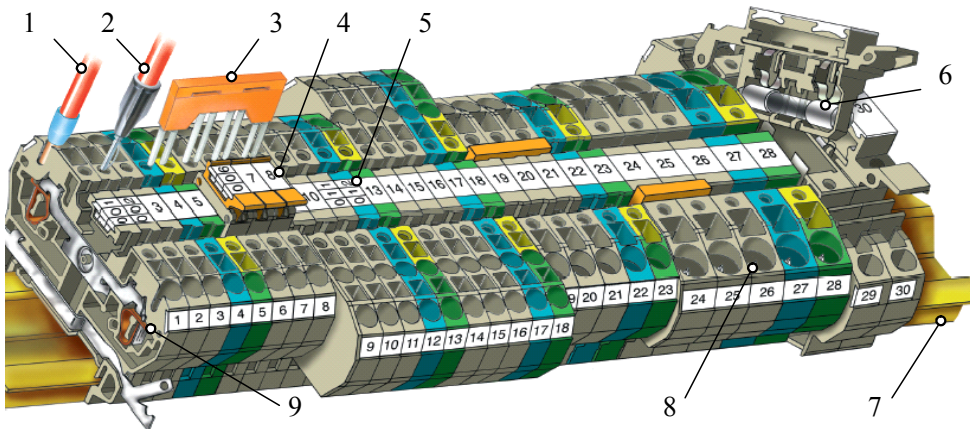
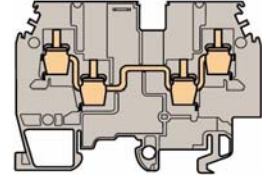


Рис. 4.64. Блок з'єднувальних пристроїв: 1 – приєднуваний провідник; 2 – щуп для вимірювань; 3 – перемичка; 4 – роз'єднувачі; 5 – маркувальні знаки; 6 – мініатюрна топка вставка (5 x 20); 7 – монтажна рейка; 8 – нарізні термінали; 9 – безнарізні термінали

Розгалужувальні блоки призначені для з'єднання в одну точку декількох провідників (рис. 4.65).

Рис. 4.65. Розгалужувальний блок з нарізними стовпчиковими терміналами для з'єднання в одну точку чотирьох провідників або для розгалуження однієї лінії на три напрямки



Блоком терміналів називають комплект, що складається з декількох з'єднувальних пристроїв без обмеження кількості полюсів, ізолюваних один від одного, розташованих у спільній основі з ізоляційного матеріалу. Блок нарізних терміналів, призначений для приєднання зовнішніх провідників до друкованої плати, зображено на рис. 4.66.

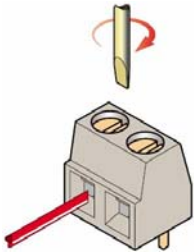


Рис. 4.66. Двополюсний блок нарізних терміналів для друкованих плат

Закінчуючи тему з'єднувальних пристроїв відзначимо з'єднувачі для утворення РЕ та N шин у розподільних пристроях. РЕ шини (рис. 4.67-а) представляють собою багатомісні стовпчикові термінали, виготовлені з якісної електротехнічної бронзи. Вони закріплюються безпосередньо на металевому корпусі розподільного пристрою за допомогою гвинтів через наскрізні центральні або бокові отвори у шинах. N шина відрізняється від РЕ шини тим, що вона не приєднується до металевого корпусу, а розташовуються на спеціальних ізоляторах, що закріплюються на DIN рейці (рис. 4.67-б) або на кутових ізоляторах (рис. 4.67-в) для закріплення гвинтами.

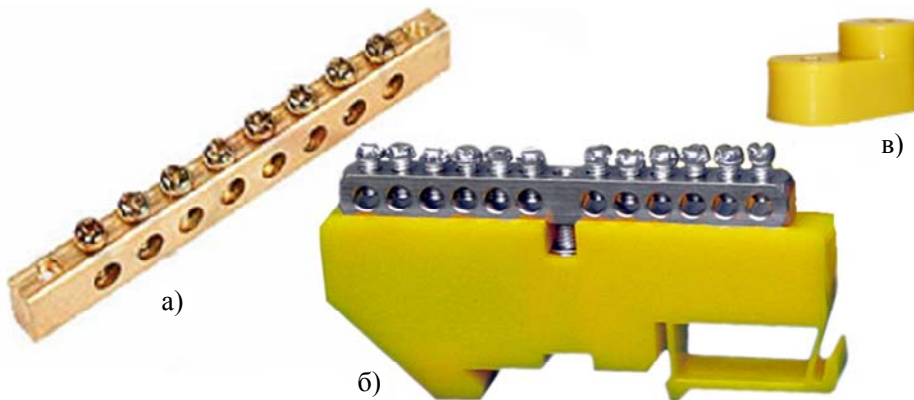


Рис. 4.67. З'єднувачі та ізолятори для утворення РЕ та N шин у розподільних пристроях

4.1.10. Вимикачі та з'єднувачі побутового застосування

Вимикачі та з'єднувачі побутового застосування можна поділити на дві категорії: 1) вимикачі та з'єднувачі, призначені для застосування в стаціонарних електропроводках побутового та аналогічного призначення (вимоги до яких містяться в стандарті ІЕС 60669-1) та 2) вимикачі та з'єднувачі, призначені для застосування в електричних виробах різного призначення, у тому числі в побутових приладах та в електронних приладах – вимикачі для електроніки (electronic switch).

Вимикачі для застосування в стаціонарних електропроводках

Величезне розмаїття вимикачів даного призначення можна умовно поділити на дві групи: 1) вимикачі для відкритих електропроводок (рис. 4.68) та 2) вимикачі для закритих електропроводок (рис. 4.69). Перші з них монтуються безпосередньо на стінах приміщень, а другі – у спеціальних монтувальних коробках, занурених у товщу стін. Вимикачі обох груп зазвичай мають привідні механізми незалежної дії (оперують швидко, незалежно від швидкості руху актуатора).



Рис. 4.68. Вимикачі для відкритих електропроводок:
а – однополюсний вимикач; б – однополюсний вимикач з підсвічуванням у розімкненому стані; в – двополюсний вимикач

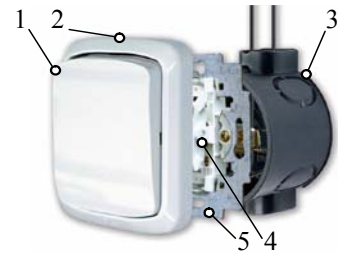


Рис. 4.69. Вимикач для закритої електропроводки: 1 – клавіша; 2 – обрамлення; 3 – коробка; 4 – механізм; 5 – рамка

Вимикачі (перемикачі) для побутових електроприладів

Вимикачі (перемикачі) цієї групи розрізняються за типом актуатора: клавішні, кнопкові тощо (рис. 4.70 – 4.74).



Рис. 4.70. Клавішні (кулісні) вимикачі (rocker switch):
а – однополюсний вимикач для кіл живлення побутових електроприладів з монтуванням на плоскій панелі або корпусі приладу та підсвічуванням у розімкненому стані;
б – приклади двополюсних вимикачів для кіл живлення електроприладів

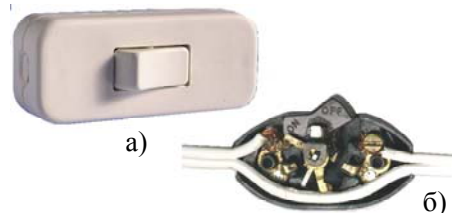


Рис. 4.71. Клавішний проходний або шнуровий вимикач (cord switch) – вимикач, призначений для приєднання до джерела та приладу за допомогою електричного шнура, що проходить крізь нього: а – зовнішній вигляд; б – варіант внутрішнього устрою



Рис. 4.72. Кнопковий перемикач з самоповерненням після натискання на кнопку для зміни стану контактів (push-button switch)



Рис. 4.73. Кнопкові перемикачі з подвійним натисканням на кнопку, щоб змінити стан контактів та повернути їх у початковий стан (push-push switch):
а – однополюсний вимикач;
б – двополюсний вимикач залежної дії



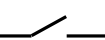
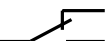
Рис. 4.74. Кнопковий перемикач з фіксацією положення кнопки після натискання та поверненням у початковий стан витягуванням кнопки (push-pull switch)

Вимикачі (перемикачі) для електронних приладів

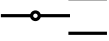
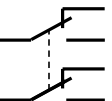
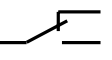
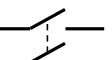
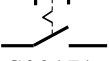
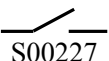
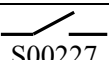
З величезної кількості вимикачів (перемикачів) для електронних приладів виділяють одно- та двополюсні апарати, які класифікують за типом актуатора, а також за кількістю струмопровідних напрямів (Throw) – один чи два (Single or Double) та за кількістю полюсів (Pole) – один чи два (Single or Double). З виділених жирним шрифтом літер утворюються аббревіатури, які позначають комутаційні елементи цих вимикачів. Наприклад, SPST (Single Pole, Single Throw) – це однополюсний вимикач з одним струмопровідним напрямом, а SPDT (Single Pole, Double Throw) – це однополюсний перемикач з двома струмопровідними напрямками.

Термін «momentary» в контексті вимикачів (перемикачів) для електронних приладів означає автоматичне повертання у вихідне положення. Термін «way» означає кількість позицій багатопозиційних перемикачів (три або більше). Приклади найбільш популярних одно- та двополюсних вимикачів (перемикачів) для електронних приладів надані в табл. 4.5.

Таблиця 4.5. Приклади вимикачів для електронних приладів

Назва, аббревіатура та англomовний термін	Позначення за IEC 60617	Приклад
1	2	3
однополюсний тумблер із замикальним контактом SPST toggle switch	 S00227	
однополюсний тумблер з перемикальним контактом SPDT toggle switch	 S00230	
кнопка із замикальним контактом та автоматичним поверненням SPST momentary push-to-make switch	 S00227+S00171	

Продовження таблиці 4.5

1	2	3
кнопка з розмикальним контактом та автоматичним поверненням SPST momentary push-to-break switch	 S00229+S00171	
однополюсний ковзний перемикач з перемикальним контактом та нейтральним положенням SPDT centre off slide switch	 S00231	
двополюсний ковзний перемикач DPDT slide switch	 S00227+ +S00144	
однополюсний клавішний перемикач SPDT rocker switch	 S00230	
двополюсний клавішний вимикач DPST rocker switch	 S00227+ +S00144	
кнопка із замикальним контактом та неавтоматичним поверненням SPST push-push switch	 S00227+S00171+ S00151	
однополюсний мікроперемикач SPDT micro switch	 S00230+S00150	
вимикач з оперуванням ключем SPST keyswitch	 S00227+S00179	
вимикач похилої дії або ртутний вимикач SPST tilt switch	 S00227	
геркон, язичковий вимикач SPST reed switch	 S00227	

На рис. 4.75 наведено приклади багатополюсних вимикачів (перемикачів) та багатопозиційного перемикача для електронних приладів.

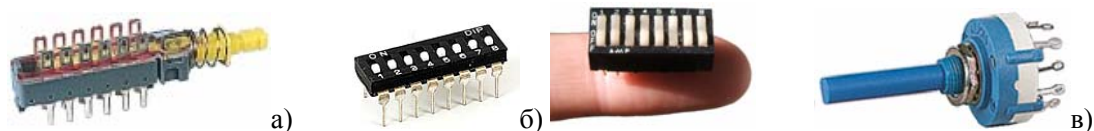


Рис. 4.75. Приклади комутаційних апаратів для електронних приладів:

а – шестиполюсний перемикач на два напрями; б – DIP-перемикачі для друкованих плат (DIP – Dual In-line Parallel switch); в – багатопозиційний перемикач (multi-way switch)

З'єднувачі для застосування в стаціонарних електропроводках

З'єднувач (connector) – це пристрій, який забезпечує з'єднання та роз'єднання з відповідним сполученим пристроєм. З'єднувачі в стаціонарних електропроводках – це розетки та вилки. Розетка (socket-outlet) – це аксесуар, який має гніздові контакти, призначені для з'єднання зі штировими контактами вилки, а також термінали для приєднання кабелів або шнурів. Розетки встановлюються на стінах приміщень. Як і вимикачі, розетки поділяються на розетки для відкритих та закритих електропроводок. Сполученим до розетки пристроєм є вилка (plug) – аксесуар, який має штирові контакти, призначені для з'єднання з контактами розетки, а також приєднані засоби для електричного приєднання та механічного утримання гнучких кабелів або шнурів.

Розетки та вилки радянського походження (рис. 4.76) зазвичай розраховані на застосування у двопровідних лініях і мають номінальний струм 6 А та напругу 250 В. Вилки мають штирі діаметром 4 мм, а розетки – отвори в ізоляційних кришках відповідного діаметру.

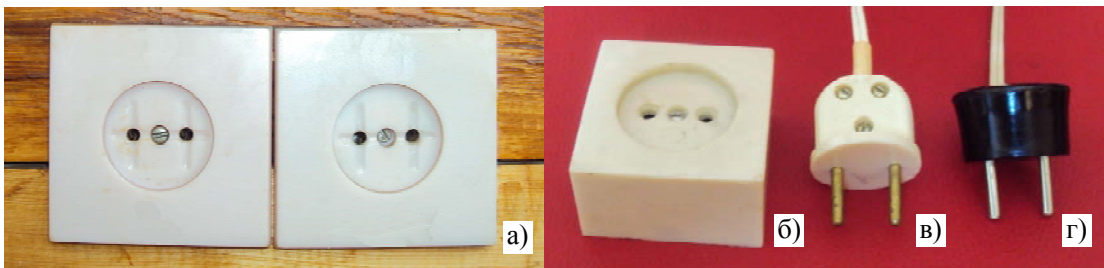


Рис. 4.76. Розетки та вилки радянського походження:
а – розетки для закритої проводки; б – розетка для відкритої проводки;
в, г – вилки різних конструкцій

В європейських країнах застосовуються, переважно, розетки та вилки, призначені для трипроводних ліній (L, N та PE провідники) – так звані розетки та вилки ЩУКО (з німецької SCHUKO – SCHUtz KOntakt), із захисним контактом, який забезпечує автоматичне приєднання корпусу приладу до PE провідника при втиканні вилки у розетку (рис. 4.77).

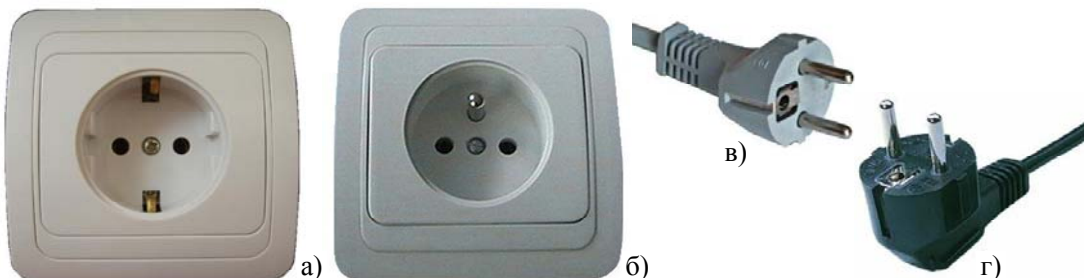


Рис. 4.77. Розетки та вилки ЩУКО:
а, б – розетки для закритої проводки з різними засобами приєднання вилки до захисного провідника; в, г – вилки різних конструкцій для приєднання до будь-яких розеток ЩУКО

Розетки та вилки ЩУКО мають номінальний струм 16 А та номінальну напругу 250 В. Штирі вилок ЩУКО діаметром 4,5 мм не входять в отвори розеток радянського походження.

Для живлення малопотужних приладів II класу захисту від ураження струмом, які мають подвійну ізоляцію і не мають елементів для уземлення, застосовують так звані євровилки (рис. 4.78), які мають номінальний струм 2,5 А та напругу 250 В. Штирі цих вилок діаметром 4 мм входять в отвори розеток радянського походження, а завдяки непаралельності осей штирів та гнучкому гумовому корпусу, забезпечують надійне приєднання до контактів розеток ЩУКО.



Рис. 4.78. Євровилка

З'єднувачі для побутових електроприладів

З'єднувач побутового приладу (appliance coupler) складається з засобів, які дають можливість здійснити приєднання та від'єднання шнура до побутового приладу або іншого обладнання. Ці засоби представляють собою дві частини: кабельна розетка та увід побутового приладу. Кабельна розетка (connector) зазвичай вбудована або призначена для прикріплення до шнура, який приєднується до джерела живлення. Увід побутового або іншого приладу (appliance inlet) зазвичай вбудовується в цей апарат або прилад. Фото, наведені на рис. 4.79, ілюструють вказані вище визначення.

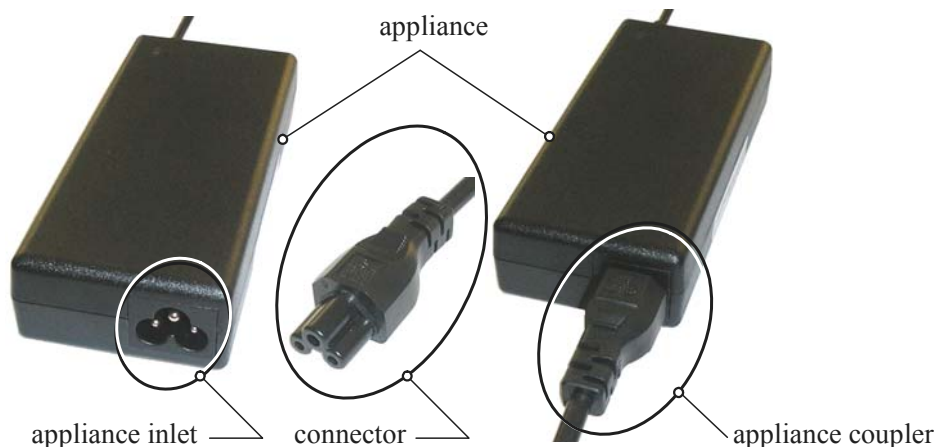


Рис. 4.79. Побутовий прилад, з'єднувач побутового приладу, кабельна розетка та увід побутового приладу

Побутовий або інший прилад може приєднуватися до джерела живлення за допомогою стандартних шнурових комплектів (cord set), які складаються з гнучкого кабелю (flexible cable), спорядженого вилкою (зазвичай – це вилка ЩУКО) та кабельною розеткою (рис. 4.80). І вилка, і кабельна розетка (connector) складають з кабелем єдине ціле та не передбачають можливості перезарядження (non-rewirable accessory).

Електропобутові або інші прилади, які працюють у комплекті (наприклад, системний блок стаціонарного комп'ютера та монітор) можуть живитися від однієї стаціонарної розетки (fixed socket-outlet), якщо кожний з цих приладів (крім останнього) споряджений, крім уводу (appliance inlet) з штировими контактами, ще й вбудованою вихідною розеткою (appliance outlet) з гніздовими контактами (рис. 4.81).

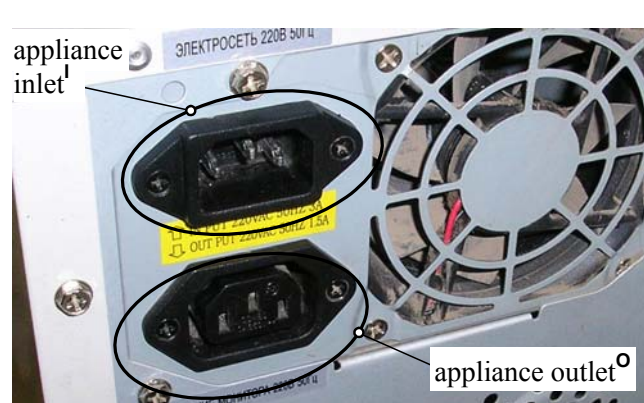


Рис. 4.81. Системний блок комп'ютера з приєднаним штировим уводом та приєднаною вихідною розеткою, від якої має живитися монітор

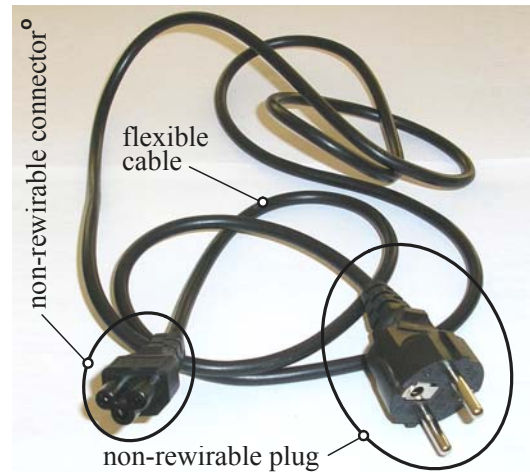


Рис. 4.80. Шнуровий комплект, який складається з гнучкого кабелю, вилок ЩУКО та кабельної розетки

Перший у ланцюжку приладів приєднується до джерела живлення через стандартний шнуровий комплект (cord set), а кожний наступний прилад приєднується до джерела через попередній прилад за допомогою об'єднувального шнурового комплекту (interconnection cord set), який складається з гнучкого кабелю (flexible cable), спорядженого з'єднувальною вилкою (plug connector) з штировими контактами та кабельною розеткою (connector) з гніздовими контактами (рис. 4.82). І з'єднувальна вилка, і кабельна розетка складають з кабелем єдине ціле та не передбачають можливості перезарядження.

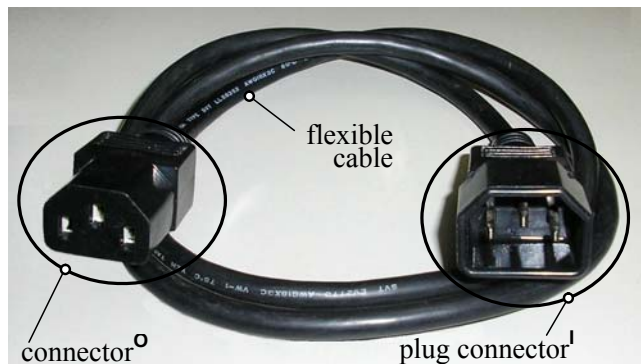


Рис. 4.82. Об'єднувальний шнуровий комплект

4.2. Електромеханічні комутаційні апарати середньої напруги

Перелік електромеханічних комутаційних апаратів середніх напруг* (для мереж постійного струму з номінальною напругою понад 1,5 кВ та змінного струму з номінальною напругою від 1 кВ до 35 кВ) є вужчим, ніж перелік апаратів низьких напруг. Це відмикачі, роз'єднувачі, перемикачі уземлення, вимикачі, запобіжники, комбінації із запобіжниками й контактори. Вони застосовуються у комплектних пристроях для комутації, розподілення електричної енергії, захисту електромереж й керування обладнанням.

4.2.1. Відмикачі

Визначення відмикача (circuit-breaker) не пов'язується з його номінативною напругою, оскільки при будь-якій напрузі ці апарати виконують однакові функції (вони здатні вмикати, проводити та вимикати струми при нормальних умовах у колі, а також вмикати, проводити впродовж обумовленого часу та відмикати струми при обумовлених ненормальних умовах у колі, таких як коротке замикання), хоча за внутрішньою будовою, складовими частинами, способами гасіння електричної дуги й зовнішнім виглядом відмикачі, що застосовуються в мережах середніх напруг (MV circuit-breaker), суттєво відрізняються від однойменних апаратів, призначених для роботи в мережах низьких напруг (LV circuit-breaker).

Вимоги до відмикачів середніх та високих напруг сформульовано в міжнародних стандартах ІЕС 60694 та ІЕС 62271-100. Основними кількісними характеристиками відмикачів середніх напруг є номінативна напруга U_r (rated voltage); номінативний ізоляційний рівень (rated insulation level), який визначається витримуваною імпульсною напругою U_p (lightning impulse voltage) та витримуваною напругою частоти мережі U_d (power-frequency voltage); номінативна частота f_r (rated frequency); номінативний нормальний струм I_r (rated normal current), тобто встановлене виробником значення струму, який відмикач може витримувати безперервно; номінативний короткочасно витримуваний струм I_k (rated short-time withstand current), а також номінативний струм відмикання при коротких замиканнях I_{sc} (rated short-circuit breaking current), який визначається через rms значення АС компоненти струму короткого замикання.

Стандартизовані значення номінативної частоти f_r дорівнюють $16\frac{2}{3}$ Гц, 25 Гц, 50 Гц та 60 Гц.

Стандартизовані значення номінативної напруги в країнах СНД – 6 кВ; 10 кВ та 35 кВ (між лінійними провідниками), в європейських країнах – 3,6 кВ; 7,2 кВ; 12 кВ; 17,5 кВ; 24 кВ; 36 кВ та 52 кВ.

* У деяких країнах мережі з номінальною напругою 52 кВ також відносять до середніх напруг, а мережі 72,5 кВ – до високих напруг. В Україні таких мереж нема. Після 35 кВ наступною стандартною напругою є 110 кВ.

Напруги U_p та U_d стандартом ІЕС 60694 ставляться у залежність від номінальної напруги відмикача. Зокрема, при $U_r = 12$ кВ напруга U_d має дорівнювати 28 кВ, а напруга U_p в залежності від певних умов – 60 кВ або 75 кВ.

Значення струмів I_r , I_k та I_{sc} (в кА) мають обиратися з послідовності R10 (геометрична прогресія зі знаменником $10^{1/10} \approx 1,25$, тобто з елементів ряду: 1 – 1,25 – 1,6 – 2 – 2,5 – 3,15 – 4 – 5 – 6,3 – 8 та їх добутоків до 10.

Стандарт визначає також номінальні послідовності оперування (rated operating sequences) з очікуваними струмами короткого замикання I_{sc} для відмикачів з автоматичним повторним вмиканням (АПВ) та без АПВ (auto-reclosing):

а) $O - t - CO - t' - CO$; б) $CO - t'' - CO$,

де CO представляє операцію замикання C (closing operation) на коротке замикання, вслід за якою без будь-якої витримки часу виконується операція розмикання O (opening operation), яка може бути першою у послідовності; t , t' та t'' – часові інтервали між суміжними операціями в послідовності.

Відмикачі зі швидкісним АПВ – це відмикачі, призначені для застосування в мережах з повітряними лініями, де є високою вірогідність короткочасного сплітання неізолюваних лінійних провідників (короткочасного короткого замикання). Ці відмикачі повинні виконувати послідовність (а) при $t = 0,3$ с та $t' = 180$ с (варіанти $t' = 15$ с та $t' = 60$ с). Відмикачі без швидкісного АПВ – це відмикачі, призначені для застосування в мережах з кабельними лініями, де відсутні передумови для короткочасних коротких замикань. Ці відмикачі повинні виконувати послідовність (а) при $t = 180$ с, а також послідовність (б) при $t'' = 15$ с.

Відмикачі середніх напруг, як і інші електромеханічні комутаційні апарати, розрізняють відповідно до середовища, де їх контакти розмикаються та замикаються. Існують, зокрема, вакуумні, масляні, елегазові та повітряні відмикачі, причому перші три різновиди застосовуються в мережах змінного струму, а повітряні відмикачі, які раніше застосовувалися в мережах змінного та постійного струму, зараз застосовуються лише в мережах постійного струму.

Застосування того чи іншого дугогасного середовища визначається електрофізичними властивостями, а також технологічними й експлуатаційними чинниками.

Криві, представлені на рис. 4.83-а, дозволяють порівняти електричну міцність різних середовищ, з яких найгіршим є повітря. Елегаз (шефтифториста сірка) при тиску, близькому до атмосферного ($1 \text{ Бар} \approx 1 \text{ кГс/см}^2$), має приблизно у 2,5 разів більшу електричну міцність. Ще кращим діелектриком є трансформаторне масло, яке застосовується й у відмикачах. Але трансформаторне масло й елегаз за електричною міцністю суттєво поступаються вакууму, з яким щоправда успішно конкурує елегаз високого тиску (5 Бар та більше).

Вакуум є найефективнішим середовищем з точки зору мінімуму енергії, яка виділяється у дузі при її гасінні (рис. 4.83-б). Відтак вакуумні комутаційні модулі або переривники (vacuum interrupter) мають найменші розміри. Вакуумні відмикачі виявляються найбільш невибагливими в експлуатації. Все це зумовило перерозподіл ринку відмикачів середньої напруги на користь вакуумних відмикачів (рис. 4.84).

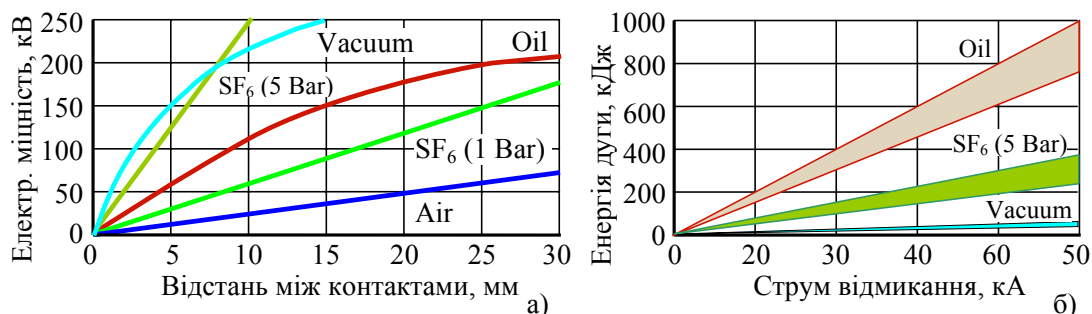


Рис. 4.83. Електрофізичні властивості різних дугогасних середовищ:
а – електрична міцність; б – енергія, що виділяється в дузі при її гасінні

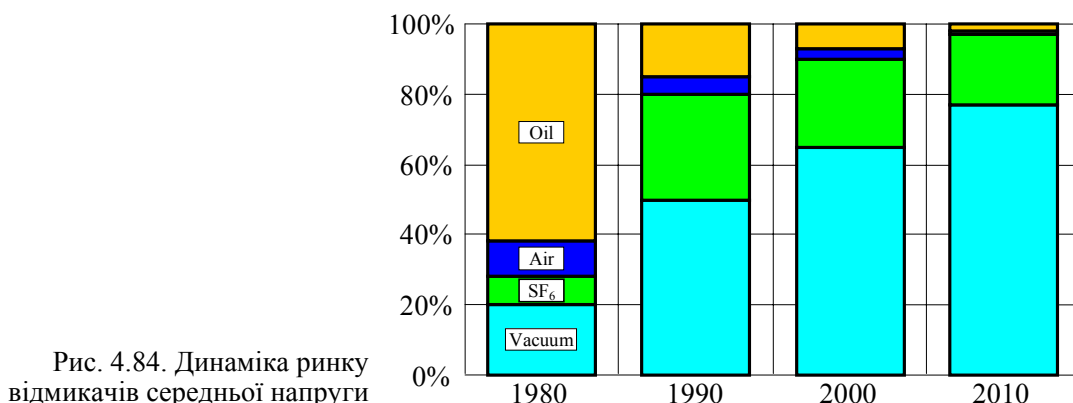


Рис. 4.84. Динаміка ринку відмикачів середньої напруги

Як бачимо, в сегменті ринку відмикачів середніх напруг зараз домінують вакуумні відмикачі, але в експлуатації ще перебуває значна кількість відмикачів інших типів, які коротко будуть розглянуті нижче.

Масляні відмикачі

Був великий відрізок часу, починаючи з 30-х років аж до кінця минулого століття, коли масляні* (точніше кажучи, маломасляні) відмикачі домінували у відповідному сегменті ринку. Зараз маломасляні відмикачі практично витіснені з ринку, але величезна їх кількість в усьому світі й зараз працює на підстанціях, вичерпуючи свій ресурс. Після виходу з ладу такі відмикачі замінюють на вакуумні й елегазові (програма ретрофіт).

* Вибухо- й пожежонебезпечні бакові масляні відмикачі з металевим уземленим баком (dead tank), де гасіння електричної дуги відбувалося в великому об'ємі електротехнічного масла, були витіснені з ринку ще на початку 30-х років минулого століття, коли були винайдені маломасляні відмикачі (low oil or minimum oil circuit-breaker) й почалося їх виробництво.

На рис. 4.85 зображено загальний вигляд маломасляного відмикача, а також розріз його комутаційного модуля (interrupting unit) у трьох положеннях – замкненому, в період горіння електричної дуги та розімкненому.

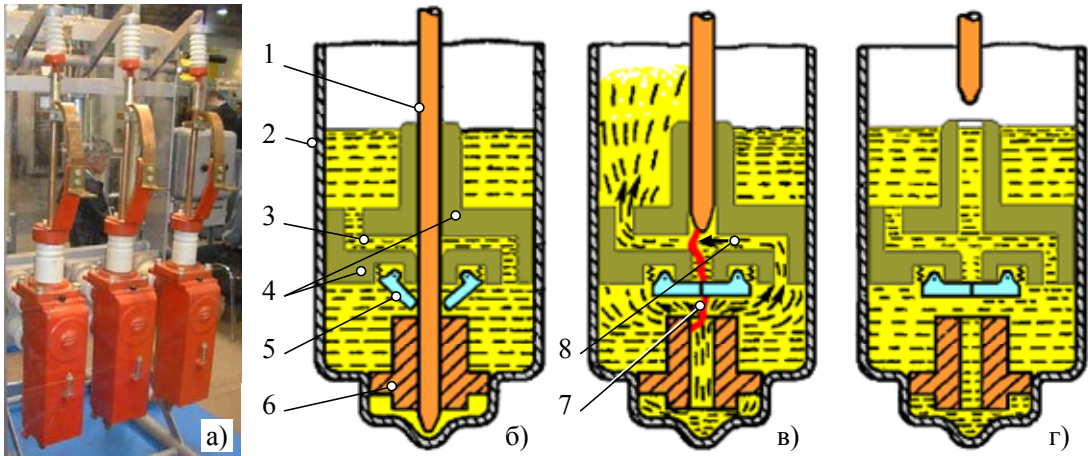


Рис. 4.85. Загальний вигляд маломасляного відмикача (а), а також розріз його комутаційного модуля у замкненому положенні (б), в період горіння дуги (в) та розімкненому положенні (г). 1 – стрижневий рухомий контакт; 2 – ізоляційний бак (live tank); 3 – канал поперечного дуття; 4 – ізоляційні напрямні деталі; 5 – металеві підпружинені заслінки; 6 – нерухомий розетковий контакт; 7 – електрична дуга; 8 – напрям руху масла в каналі поперечного дуття

Маломасляні відмикачі забезпечують ефективне гасіння дуги завдяки інтенсивному поперечному (відносно дуги) руху масла під дією сил, що виникають за рахунок енергії, яка виділяється у самій електричній дузі. Численні недоліки (вибухонебезпечність, низька швидкодія, великі габарити, складний, громіздкий та енергоємний пружинно-моторний привід, низький комутаційний ресурс, необхідність проведення профілактичних ремонтів тощо) зумовили зняття з виробництва цих апаратів, у тому числі, на підприємствах України, де вони раніше виготовлялися.

Елегазові відмикачі

Шестифториста сірка SF_6 або елегаз (електричний газ) – це хімічна сполука, яка при температурі вище -50°C перебуває у газоподібному стані і має велику електричну міцність (при атмосферному тиску приблизно у 2,5 разів більшу, ніж у повітря, і у 10 разів більшу, ніж у повітря при тиску 5 атм.). Елегаз є значно кращим охолоджувальним середовищем для нагрітих тіл, ніж повітря, а також має унікальні дугогасні властивості, особливо при підвищеному тиску, зазвичай забезпечуючи гасіння дуги при першому ж переході струму через нуль без ефекту зрізу струму, а відтак не створюючи при цьому небезпечних комутаційних перенапруг.

В елегазових відмикачах застосовуються окремі головні (зазвичай, ковзні) та дугогасні (ковзні або стикові) контакти. Головні контакти розмикаються раніше ніж дугогасні, тому дуга встановлюється тільки на дугогасних контактах. Гасіння дуги забезпечується або за рахунок підвищення тиску

в зоні горіння дуги (в автокомпресійних комутаційних модулях – рис. 4.86), або за рахунок швидкого обертання дуги на кільцевих електродах завдяки магнітному дуттю (в комутаційних модулях з магнітним дуттям).

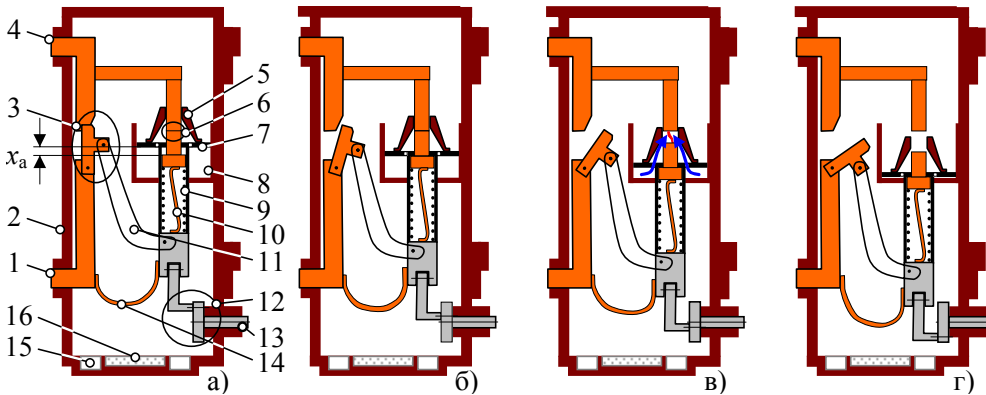


Рис. 4.86. Автокомпресійний комутаційний модуль відмикача FG2 (Schneider Electric): а – у замкненому положенні; б – при розімкнених головних та замкнених дугогасних контактах; в – в період горіння дуги на дугогасних контактах; г – в розімкненому положенні. 1 – нижній термінал; 2 – ізоляційний бак (live tank); 3 – головні ковзні контакти; 4 – верхній термінал; 5 – конус; 6 – дугогасні контакти; 7 – поршень з отворами; 8 – циліндр; 9 – контактна пружина дугогасних контактів; 10, 14 – гнучкі контактні з'єднання; 11 – тяга головних контактів; 12 – шатунний або гонковий механізм; 13 – привідний вал; 15 – порожнина для накопичення твердих продуктів розпаду елегазу внаслідок дії електричної дуги; 16 – сорбент (Al_2O_3) для поглинання газоподібних та рідких продуктів розпаду елегазу; x_a – провал дугогасних контактів

На відміну від автокомпресійних, відмикачі з магнітним дуттям (рис. 4.87) мають спільний для головних контактів бак з ізоляційного матеріалу, всередині якого містяться три окремі камери з дугогасними контактами для кожного з полюсів, що виключає дугові міжфазні перекриття.

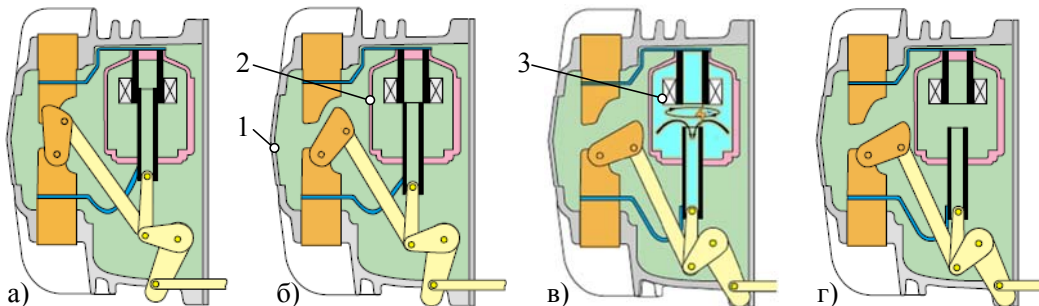


Рис. 4.87. Переріз полюсу комутаційного модуля відмикача LF (Schneider Electric) з магнітним дуттям у замкненому положенні (а), при розімкнених головних та замкнених дугогасних контактах (б), в період горіння дуги на дугогасних контактах (в), в розімкненому положенні (г). 1 – спільний бак для трьох головних контактів; 2 – окрема (для кожного полюсу) камера навколо дугогасного контакту; 3 – котушка магнітного дуття

Елегазові відмикачі зазвичай мають пружинно-моторні приводи, які до того ж допускають ручне зведення пружин вмикання та вимикання. Фото зовнішнього вигляду одного з елегазових відмикачів середньої напруги, змонтованого на викочуваному візку, наведені на рис. 4.88.

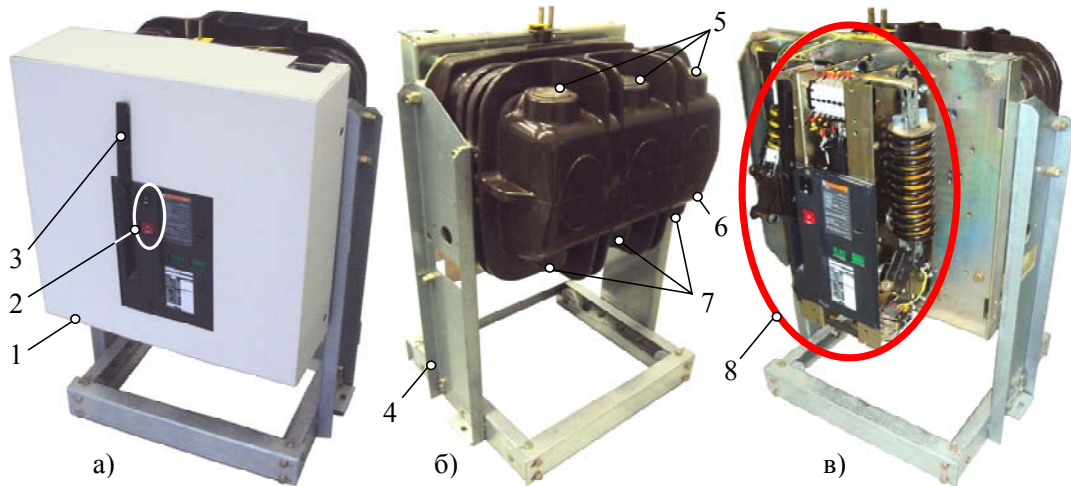


Рис. 4.88. Зовнішній вигляд елегазового відмикача LF (Schneider Electric) з магнітним дуттям:
а – вид спереду у зібраному стані; б – вид ззаду; в – вид спереду зі знятою кришкою.
1 – металева кришка; 2 – кнопки керування; 3 – важіль зведення пружин вмикання/вимикання;
4 – викочуваний візок; 5 – термінали верхнього порту; 6 – ізоляційний бак; 7 – термінали
нижнього порту; 8 – пружинно-моторний привід

Вакуумні відмикачі

Вакуумні відмикачі з'явилися на ринку електротехнічної продукції наприкінці сімдесятих років минулого століття. З подоланням недоліків комутації у вакуумі, які виявилися ще на стадії початкових досліджень, а саме: явище зрізу струму й пов'язані з ним перенапруги, повторні запалювання дуги після переходу струму через нуль, приварювання контактів при проходженні наскрізних струмів, завдяки винайденим адекватним матеріалам для контактів та технічним рішенням щодо конструкцій вакуумних переривників, обсяг виробництва вакуумних відмикачів почав стрімко зростати. Зараз в сегменті відмикачів середніх напруг вакуумні відмикачі охоплюють приблизно 80% цього ринку і ця частка має тенденцію до зростання.

Основою вакуумного відмикача є вакуумний переривник (vacuum interrupter), конструкція якого була детально розглянута у підрозділі 1.2.4. Зараз лише зауважимо, що сучасні вакуумні переривники успішно відмикають струми коротких замикань з очікуваними струмами до 50 кА й забезпечують гасіння електричної дуги при першому ж переході струму через нуль.

Вакуумні відмикачі випускаються як з пружинно-моторними, так і з електромагнітними актуаторами різних конструкцій. Одна з конструкцій вакуумного відмикача, у якій застосовуються бістабільні неполяризовані електромагнітні актуатори, показана на рис. 4.89. В цій конструкції застосовуються окремі актуатори для кожного з полюсів, а одночасність їх спрацювання забезпечується за рахунок синхронізуючого валу. Одна з деталей актуатора виготовлена з матеріалу з широкою петлею гістерезису, завдяки чому якір електромагніта утримується у притягнутому стані при знеструмленій обмотці, долаючи протидію контактної та повертальної пружин.

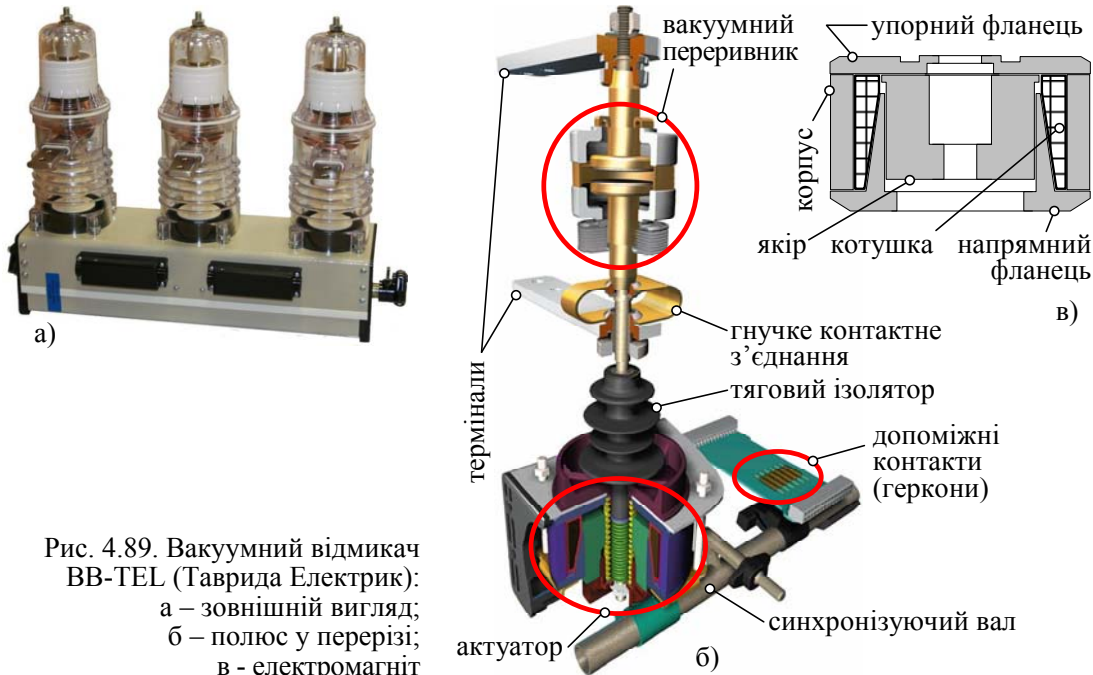


Рис. 4.89. Вакуумний відмикач BB-TEL (Таврида Електрик):
а – зовнішній вигляд;
б – полюс у перерізі;
в - електромагніт

Конструкція вакуумного відмикача, у якій застосовуються бістабільний електромагнітний актуатор (див. рис. 1.59), наведена на рис. 4.90.

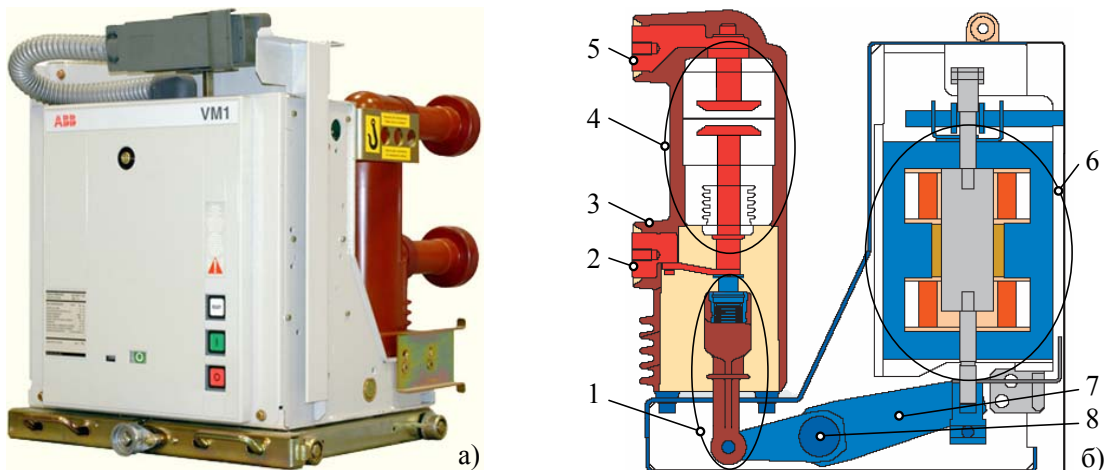


Рис. 4.90. Зовнішній вигляд вакуумного відмикача VM1 (ABB) з електромагнітним бістабільним поляризованим актуатором (а) та його переріз у розімкненому положенні (б).
1 – тяговий ізолятор; 2 – нижній термінал; 3 – ізоляція полюсу; 4 – вакуумний переривник;
5 – верхній термінал; 6 – актуатор; 7 – привідний важіль; 8 – вісь обертання важеля

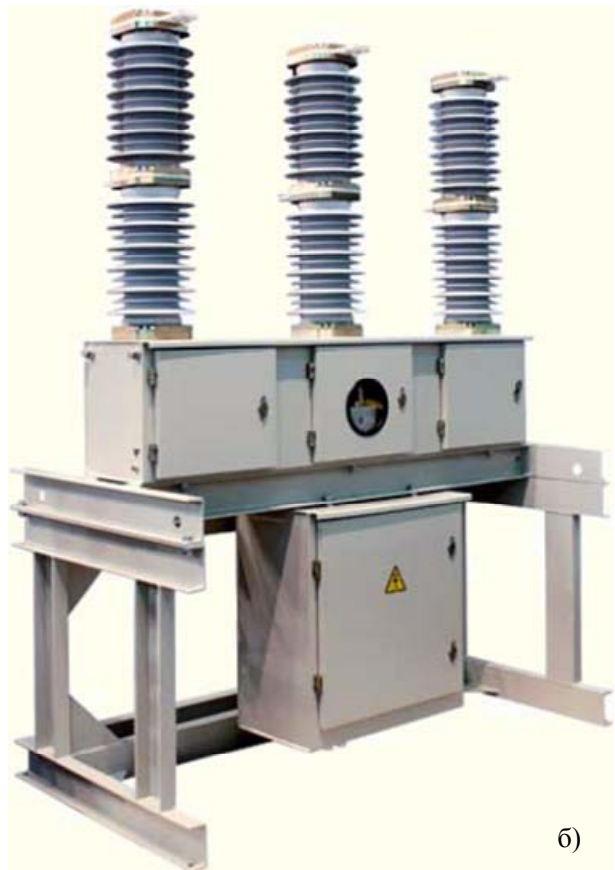
Вакуумні переривники провідних виробників забезпечують дуже високу електричну зносостійкість – до 30000 операцій СО з номінальним нормальним струмом й до 100 операцій СО з номінальним струмом відмикання при коротких замиканнях. Завдяки дуже простій кінематиці вакуумні відмикачі з електромагнітними актуаторами мають високу механічну зносостійкість – до 100000 операцій СО без струму.

Розглянуті вище конструкції відмикачів відносяться до апаратури внутрішнього встановлення (indoor) й призначені для монтування у розподільних пристроях, розташованих у спеціальних приміщеннях. Вітчизняні виробники випускають такі апарати з номінативною напругою до 35 кВ (рис. 4.91-а). Вакуумні відмикачі, призначені для зовнішнього встановлення (outdoor), з номінативною напругою 35 кВ зазвичай мають стовпчикову конструкцію (pillar type circuit-breaker) й дещо більші розміри внаслідок необхідності збільшення зазорів (clearance) та відстаней витоку (creepage distance) у апаратів, які мають працювати на відкритому повітрі в умовах дощу, снігу, пилу тощо. Такі відмикачі також виробляються вітчизняними підприємствами (рис. 4.91-б).



а)

Рис. 4.91. Вакуумні відмикачі вітчизняного виробництва з номінативною напругою 35 кВ:
а – відмикач внутрішнього встановлення ВБ4-П-35 (АВМ Ампер, Кременчук);
б – відмикач зовнішнього встановлення ВР-35-НС (Високовольтний Союз – РЗВА, Рівне)



б)

Швидкодіючі відмикачі постійного струму

Апарати цієї категорії призначені для вмикання та вимикання напівпровідникових перетворювачів тягових підстанцій та фідерів контактних мереж (залізниці, міський електротранспорт), а також інших електроустановок з потужними перетворювачами (привід прокатних станів тощо) при нормальних режимах, а також для автоматичного їх відмикання при перевантаженнях, коротких замиканнях та інших аварійних режимах.

Швидкодіючі відмикачі мають номінативну напругу від 1 кВ до 4 кВ, що задовольняє потреби міського електротранспорту (номінальна напруга контактних мереж залізниці становить 3,3 кВ, метрополітену – 825 В, наземного міського електротранспорту – 600 В), металургійної промисловості (номінальна напруга мереж не перевищує 1500 В) та інших споживачів. Номінальний струм швидкодіючих відмикачів – 1000 ... 8000 А, здатність до відмикання коротких замикань сягає 240 кА.

Загальний вигляд одного з швидкодіючих відмикачів постійного струму, його можлива кінематична схема та типова осцилограма відмикання кола короткого замикання наведені на рис. 4.92. Для забезпечення високої швидкодії застосовано індукційно-динамічний розчіплювач (див. п. 1.2.6) та потужна відмикальна пружина, а привідний електромагніт призначений лише для її зведення в процесі вмикання контактів, коли швидкодія не потрібна.

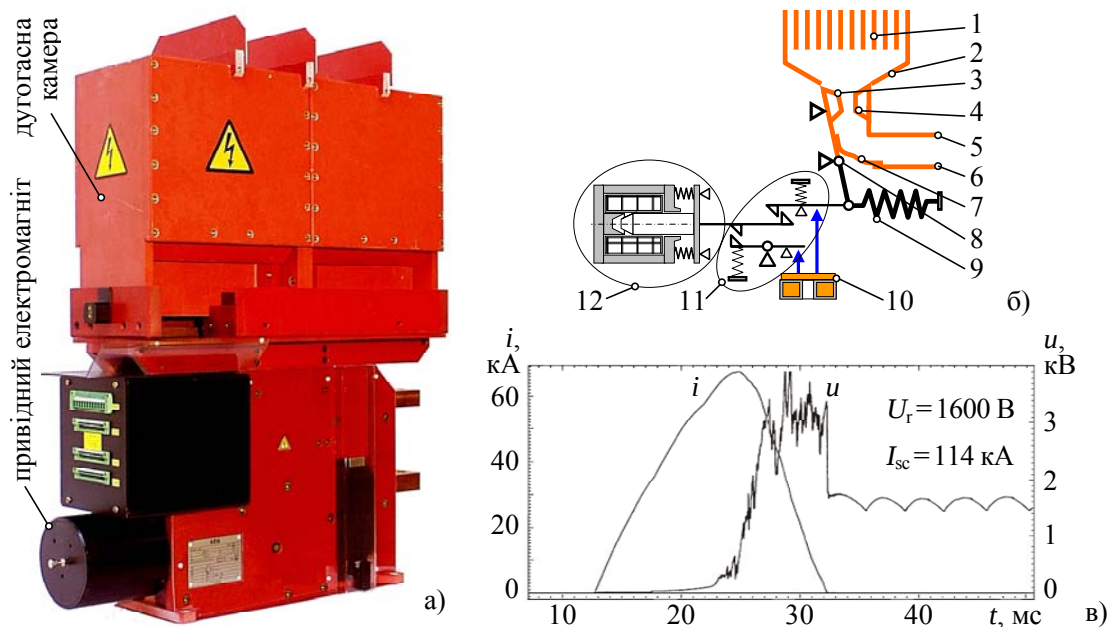


Рис. 4.92. Загальний вигляд швидкодіючого відмикача постійного струму GERAPID (а),

його можлива кінематична схема (б) та типова осцилограма струму в колі короткого замикання та напруги на контактах при відмиканні кола швидкодіючим відмикачем (в).

1 – пластини дугогасної решітки; 2 – дугогасні роги; 3 – рухомий контакт; 4 – нерухомий контакт; 5, 6 – термінали; 7 – гнучке контактне з'єднання; 8 – вісь обертання рухомого контакту; 9 – відмикальна пружина; 10 – розчіплювач; 11 – защіпки; 12 – привідний електромагніт

Швидкодіючий відмикач має струмообмежувальну здатність – це видно з осцилограми струму, адже очікуваний струм становить 114 кА, а пропущене пікове значення – приблизно 67 кА. Струмообмеження та висока швидкість гасіння дуги забезпечуються завдяки потужній дугогасній камері з великою кількістю пластин дугогасної решітки, внаслідок чого на контактах з'являються перенапруги – у даному випадку приблизно 4 кВ. Ізоляція навантаги повинна витримувати такі перенапруги без пошкоджень.

4.2.2. Роз'єднувачі та перемикачі уземлення

Роз'єднувачі в мережах середніх напруг виконують ті ж функції, що й однойменні апарати в мережах низьких напруг – розмикають електричні кола без струму або при незначній напрузі між терміналами, забезпечуючи у розімкненому положенні визначений ізоляційний проміжок (рис. 4.93).

В розподільних пристроях середніх напруг крім роз'єднувачів застосовуються апарати, дуже схожі на них – перемикачі уземлення (earthing switch). Ці апарати призначені для уземлення струмопровідних частин обладнання, від'єданого від живлення (рис. 4.94), що гарантує безпеку проведення робіт, зокрема ремонтних, на знеструмленому обладнанні. Деякі виробники перемикачів уземлення передбачають в них виконання незалежної операції вмикання, коли при повільному обертанні привідного валу цього апарата, після проходження «мертвої точки», уземлювальні контакти завдяки дії привідної пружини починають швидко рухатися вбік нерухомих контактів, з'єднаних зі струмопровідними частинами, які мають бути уземленими. Така конструкція запобігає виникненню дуги вмикання при помилковому уземленні заживлених струмопроводів.

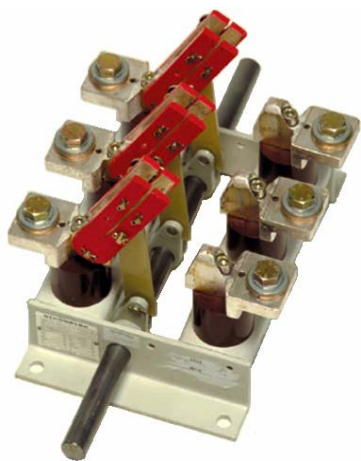


Рис. 4.93. Роз'єднувач із залежними операціями замикання та розмикання

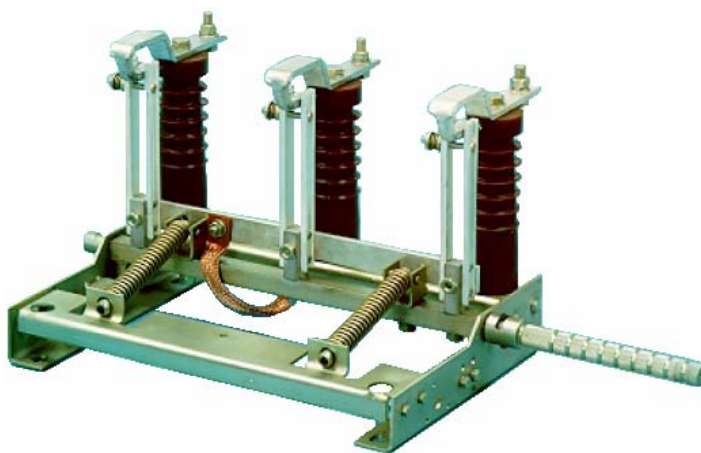


Рис. 4.94. Перемикач уземлення, привідний механізм якого забезпечує виконання незалежних операцій замикання та розмикання

І роз'єднувач, і перемикач уземлення мають бути спроможними витримувати впродовж обумовленого часу струми при ненормальних умовах, таких як коротке замикання, але, якщо роз'єднувач має бути здатним тривало проводити струм при нормальних умовах у колі, перемикач уземлення не обов'язково повинен бути пристосованим для цього. Ці апарати для мереж середніх напруг завжди виготовляють з двома паралельними рухомими контактами для компенсації електродинамічних сил відкидання, які виникають при вмиканні на коротке замикання або при проходженні через їх контакти великих наскрізних струмів короткого замикання.

4.2.3. Вимикачі-роз'єднувачі

Вимикачі з функцією роз'єднання (switch-disconnector) призначені вмикати, проводити тривалий час та вимикати струм в колах при нормальних умовах та при обумовлених перевантаженнях, проводити впродовж обумовленого часу струми короткого замикання, а також забезпечувати функцію роз'єднання у розімкненому стані. На відміну від відмикачів (circuit-breaker), вимикачі не здатні відмикати струми коротких замикань, хоча можуть бути здатними вмикати їх.

На відміну від вимикачів низької напруги, де гасіння дуги здійснюється в середовищі атмосферного повітря, у вимикачів середніх напруг гасіння дуги відбувається в газовому середовищі (рис. 4.95-а, б), або у вакуумі (рис. 4.95-в), тому що енергія дуги в апаратах низької напруги набагато менше енергії дуги в апаратах середньої напруги, а відтак останні потребують потужніших дугогасних систем.

Автогазові вимикачі (рис. 4.95-а) у кожному полюсі містять ковзні головні контакти з двома ножами (як у роз'єднувачів) та паралельно приєднані до них ковзні дугогасні контакти з одним серпоподібним рухомих контактом у кожному полюсі. Дугогасний контакт у замкненому стані оточений дугогасною камерою, виготовленою зі спеціального ізоляційного матеріалу, який під дією електричної дуги генерує велику кількість газу, що сприяє швидкому згасанню дуги. Привідний механізм цього вимикача здійснює незалежні операції замикання й розмикання, сприяючи пришвидшенню згасання дуги. Автогазові вимикачі зазвичай комбінують з перемикачами уземлення.

Елегазові й вакуумні вимикачі компактніші й безпечніші ніж автогазові.

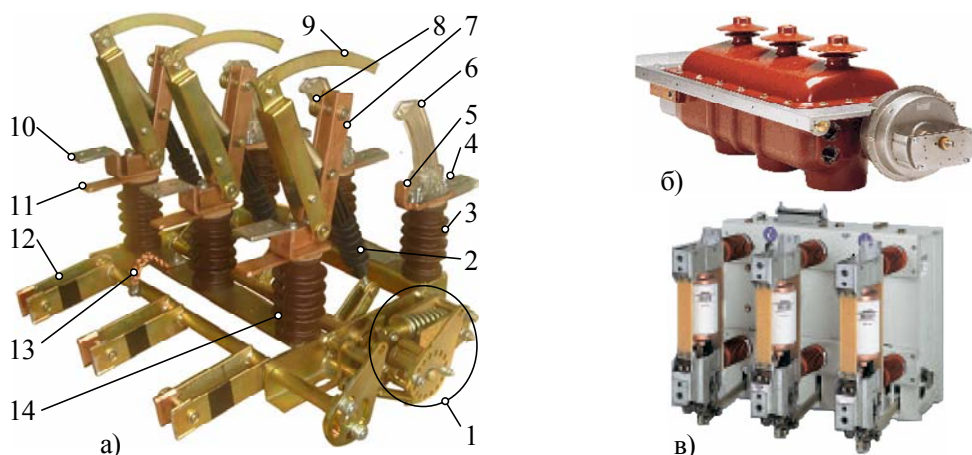


Рис. 4.95. Вимикачі середніх напруг: а – автогазовий; б – элегазовий; в – вакуумний.

1 – привідний механізм; 2 – тяговий ізолятор; 3 – опорний ізолятор з боку нерухомого контакту; 4 – термінал з боку нерухомого контакту; 5 – нерухомий головний контакт вимикача; 6 – автогазова дугогасна камера; 7 – рухомий головний контакт вимикача; 8 – контактна пружина; 9 – рухомий дугогасний контакт вимикача; 10 – термінал з боку рухомого контакту; 11 – нерухомий контакт перемикача уземлення; 12 – рухомий контакт перемикача уземлення; 13 – гнучке контактне з'єднання; 14 – опорний ізолятор з боку рухомого контакту

4.2.4. Запобіжники

Запобіжники (fuse) в мережах середніх напруг виконують ті ж функції, що й однойменні апарати в мережах низьких напруг – вони здійснюють захист електричних мереж та обладнання від надструмів – перевантажень й коротких замикань. Запобіжники середніх напруг при коротких замиканнях є струмообмежувальними – пропущений струм набагато менше пікового значення очікуваного струму.

Вітчизняні підприємства виробляють запобіжники чотирьох типів: ПКТ – для захисту силових трансформаторів; ПКН – для захисту вимірювальних трансформаторів напруги; ПКЭ – для захисту електроустановок екскаваторів та пересувних електростанцій; ПКЖ – для захисту силових електричних кіл електровозів, електропоїздів та пасажирських вагонів. Номінативна напруга запобіжників ПКТ, ПКН та ПКЭ – 6, 10 та 35 кВ, номінативний струм вставки (патрона) запобіжників ПКТ та ПКЭ – від 2 до 80 А, номінативний струм відмикання – до 31,5 кА. Номінативний струм вставки та номінативний струм відмикання запобіжника ПКН не нормується. Номінативна напруга запобіжників ПКЖ – 3 кВ, номінативний струм – від 2 до 31,5 А, номінативний струм відмикання – до 31,5 кА. Вставки запобіжників ПКТ допускають паралельну роботу з відповідним збільшенням номінативного струму запобіжника, але номінативний струм відмикання при цьому не збільшується. Фото запобіжників ПКТ з однією, двома та чотирма паралельними вставками наведені на рис. 4.96.



Рис. 4.96. Запобіжники середніх напруг вітчизняного виробництва типу ПКТ

Запобіжники для кіл середніх напруг виробництва провідних іноземних виробників відповідають вимогам міжнародного стандарту ІЕС 60282-1, що розповсюджується на струмообмежувальні запобіжники, які можуть мати різне призначення, а саме – захист силових трансформаторів, захист вимірювальних трансформаторів напруги, захист електричних двигунів (змінний струм, 3,6 ... 36 кВ), а також захист електричного обладнання силових кіл тягових підстанцій та рухомого складу залізниць (постійний струм, 1,9 ... 4 кВ).

Основними кількісними характеристиками запобіжника для мереж середніх напруг є номінативна напруга (rated voltage – U_n), номінальний струм (rated current – I_n), а також номінальний найбільший струм відмикання (maximum rated breaking current – I_1). Топкий елемент запобіжника забезпечує захист не в усьому діапазоні від I_n до I_1 . При струмах, менших за номінальний найменший струм відмикання (minimum rated breaking current – I_3) топкий елемент запобіжника «перегоряє», але запобіжник не перериває струм (дуга не згасає). Значення струму I_3 становить приблизно $(3 \dots 5) \cdot I_n$. Для захисту обладнання в діапазоні струмів від I_n до I_3 провідні виробники оснащують запобіжники, призначені для захисту силових трансформаторів й двигунів, спеціальними температурними пристроями керування (temperature control unit – TCU). Блоки TCU з витримкою часу, що зворотно залежить від значення струму, викидають так званий тепловий ударник (thermal striker), який впливає на механізм розчіплення вимикача, приєднаного послідовно до запобіжника, забезпечуючи його вимикання. Зовнішній вигляд струмообмежувальних вставок запобіжників з блоками контролю температури та схема будови вставки зображені на рис. 4.97.

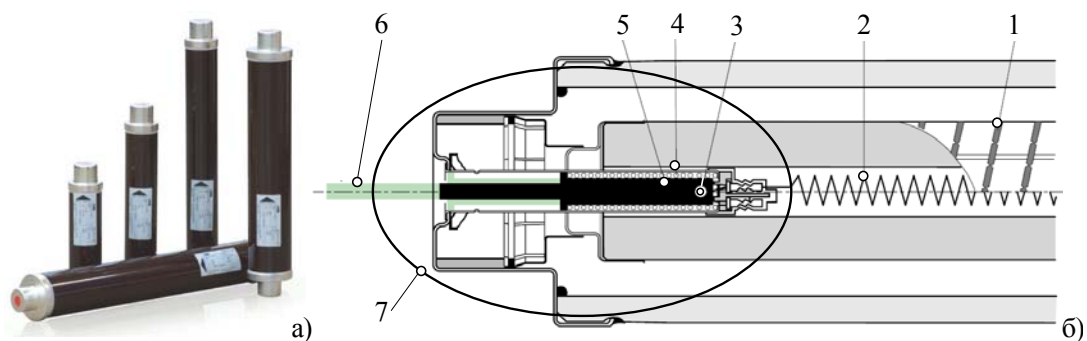


Рис. 4.97. Зовнішній вигляд вставок запобіжників з блоками контролю температури (а) та будова вставки з блоком контролю температури – TCU (б):

- 1 – головний топкий елемент; 2 – топкий елемент вивільнення теплового ударника;
- 3 – елемент вивільнення теплового ударника; 4 – пружина; 5 – ударник в нормальному нерозчіпленому стані; 6 – ударник у вивільненому стані; 7 – блок TCU

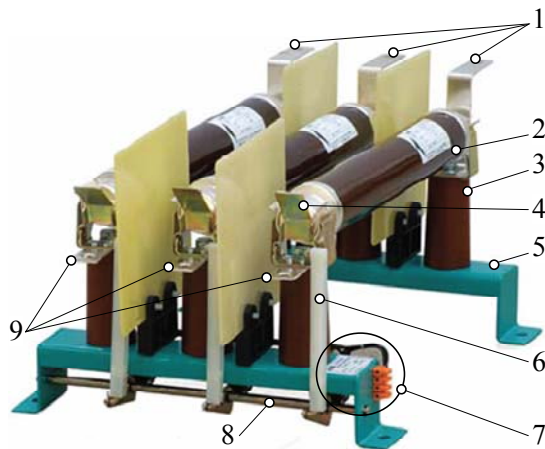
Номінативні струми вставок запобіжників провідних виробників, що відповідають вимогам стандарту ІЕС 60282-1 й призначених для захисту силових трансформаторів та двигунів, лежать в діапазоні від 2 до 315 А, а їх здатність до відмикання струмів коротких замикань (maximum rated breaking current – I_1) становить 50 або 63 кА.

Опір топкого елемента запобіжника для захисту силових трансформаторів лежить у межах від 1,7 мОм до 460 мОм (при номінативній напрузі 3,6 / 7,2 кВ) та від 69 мОм до 1860 мОм (при номінативній напрузі 36 кВ). Потужність втрат у вставці запобіжника при номінативному струмі лежить у межах від 26 Вт до 107 Вт (при номінативній напрузі 3,6 / 7,2 кВ) та від 93 Вт до 176 Вт (при номінативній напрузі 36 кВ).

4.2.5. Комбінації із запобіжниками

Послідовне з'єднання вимикача-роз'єднувача із запобіжником утворює комбінацію, яка поєднує функції цих апаратів – оперативні комутації навантаги та захист мереж від надструмів. Наявність у запобіжників ударників дозволяє, завдяки електричному або механічному впливу на розчіплювач вимикача здійснювати його автоматичне спрацювання (відмикання кола в усіх трьох полюсах) при перегоранні вставки запобіжника лише одному полюсі (рис. 4.98).

Рис. 4.98. Трифазний запобіжник:
1 – вхідні термінали; 2 – вставка з ударником;
3 – опорний ізолятор; 4 – важіль, який забезпечує передачу механічного руху від ударника до тягового ізолятора; 5 – металева опора; 6 – тяговий ізолятор; 7 – апарат кіл керування та його термінали; 8 – вал, який забезпечує передачу механічного руху від тягового ізолятора до актуатора апарата кіл керування; 9 – вихідні термінали



Комбінація вимикача-роз'єднувача із запобіжником забезпечує виконання основних функцій відмикача (circuit-breaker) – вмикати, проводити та відмикати струми при нормальних умовах у колі, а також вмикати, проводити впродовж обумовленого часу та відмикати струми при перевантаженнях та коротких замиканнях. До того ж ці апарати набагато дешевші, ніж відмикачі, мають більшу здатність до відмикання коротких замикань та, на відміну від відмикачів, спроможні обмежувати струми коротких замикань. Головний недолік цих апаратів – необхідність заміни вставок після їх спрацювання.



Застосування вимикачів-роз'єднувачів-запобіжників (switch-disconnector-fuse) заводського збирання (рис. 4.99) дозволяє суттєво скоротити час монтування таких комбінацій у розподільних пристроях.

Рис. 4.99. Вимикач-роз'єднувач-запобіжник заводського збирання

4.2.6. Контактори

Контактори (contactor), призначені для роботи в мережах середніх напруг, повинні вмикати, проводити та вимикати струми при нормальних умовах в електричних колах, а також в умовах перевантажень, причому ці апарати призначені для здійснення частих операцій. На відміну від контакторів низької напруги, де комутація головних кіл зазвичай здійснюється в середовищі атмосферного повітря, сучасні контактори середніх напруг здійснюють комутації в середовищах елегазу (рис. 4.100) або вакууму (рис. 4.101 та 4.102). Основне призначення контакторів середніх напруг – вмикання та вимикання обмоток електродвигунів та комутація кіл конденсаторних батарей з метою компенсації реактивної потужності.

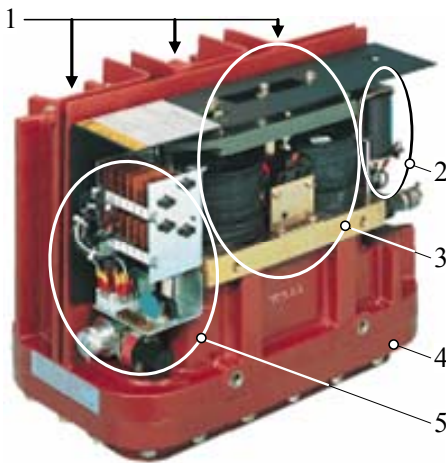


Рис. 4.100. Елегазовий контактор (Schneider):
1 – місце розташування терміналів головних кіл;
2 – допоміжні контакти та їх термінали;
3 – електромагнітний актуатор;
4 – бак, заповнений елегазом, з головними та дугогасними контактами;
5 – пристрій керування привідним електромагнітом

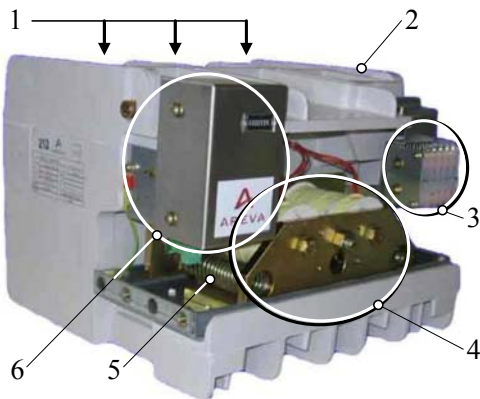


Рис. 4.101. Вакуумний контактор (Areva) з моностабільним електромагнітним актуатором:
1 – місце розташування вакуумних переривників та терміналів головних кіл; 2 – ізоляційний корпус; 3 – допоміжні контакти; 4 – привідний електромагніт; 5 – поворотна пружина;
6 – пристрій керування привідним електромагнітом

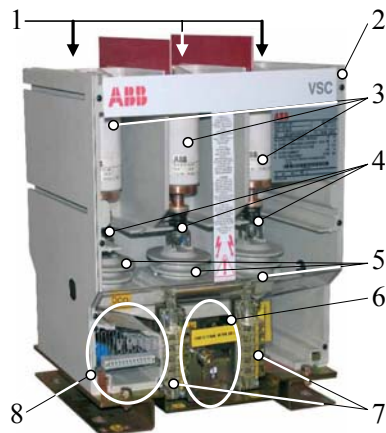


Рис. 4.102. Вакуумний контактор (ABB) з бістабільним поляризованим актуатором:
1 – місце розташування терміналів головних кіл; 2 – ізоляційний корпус; 3 – вакуумні переривники; 4 – контактні пружини; 5 – тягові ізолятори; 6 – актуатор; 7 – блоки допоміжних контактів; 8 – мікропроцесорний пристрій керування актуатором

Контактори, зображені на рис. 4.100 та рис. 4.101, приводяться у дію моностабільними неполяризованими електромагнітними актуаторами (електромагнітами з повертальними пружинами). Їх електромагніти мають форсоване керування на принципі застосування пускових та утримуючих обмоток, комутація яких здійснюється за допомогою власних контактів керування.

Контактор VSC, зображений на рис. 4.102 має бістабільний поляризований електромагнітний актуатор, подібний до того, що застосовується у вакуумних відмикачах ABB (див. рис. 4.90 та рис. 1.59), але менший за розмірами. Таким чином, цей контактор, власне, є контактором з магнітною защіпкою. Але, завдяки мікропроцесорній системі, яка здійснює керування його актуатором, користувач може працювати з ним як зі звичайним контактором, що реагує на підведення напруги до терміналів котушки й має лише одне положення спокою, а також і як з контактором з защіпкою. Для цього система керування контактора має термінали живлення (постійна або змінна напруга), термінали напівпровідникового пристрою, який імітує котушку звичайного контактора та термінали двох напівпровідникових пристроїв, які імітують дві котушки (вмикання та вимикання) контактора з защіпкою.

Після підключення напруги живлення до відповідних терміналів контактора його система керування починає працювати не одразу ж, а через 3 ... 4 секунди, які є необхідними для заряду конденсатора, за допомогою якого живляться обмотки актуатора. Після цього контактор виявляється повністю підготовленим для подальшої роботи.

В режимі звичайного контактора подача напруги на термінали пристрою, що імітує котушку контактора, призводить до подачі короткочасного імпульсу напруги на обмотку вмикання актуатора, внаслідок чого контактор спрацьовує, його головні контакти замикаються й залишаються у замкненому стані після знеструмлення обмотки вмикання за командою мікропроцесорної системи керування. Для виконання операції вимикання необхідно термінали імітатора котушки від'єднати від джерела живлення, на що реагує мікропроцесорна система керування, яка забезпечує подачу короткочасного імпульсу напруги на обмотку вимикання, внаслідок чого актуатор переходить у початковий стан, головні контакти контактора розмикаються й залишаються у такому стані аж доки на терміналах імітатора котушки знов не з'явиться напруга. В режимі контактора з защіпкою напруга по черзі подається на пристрої, що імітують котушки вмикання та вимикання контактора.

Контактори середньої напруги мають номінативну напругу від 3,3 кВ до 24 кВ, номінативний струм від 320 А до 800 А й здатні виконувати до 900 операцій вмикання / вимикання у нормальних умовах (при номінальному струмі та номінативній напрузі). Контактори обов'язково мають бути захищені апаратами захисту від коротких замикань (зазвичай – це запобіжники). Короткочасно витримуваний струм головних кіл (впродовж 1 с) приблизно у 10 ... 15 разів перевищує номінативне значення.

4.3. Електромеханічні комутаційні апарати високої напруги

До комутаційних електромеханічних апаратів високої напруги відносять відмикачі, роз'єднувачі та перемикачі уземлення, які іноді виробляються у комбінації з відмикачами або у комбінації з роз'єднувачами.

4.3.1. Відмикачі

Хоча на актуальному ринку відмикачів високої напруги (HV circuit-breaker) домінують елегазові відмикачі* (sulphur hexafluoride circuit-breaker; SF₆ circuit-breaker), але в експлуатації ще перебуває значна кількість відмикачів інших типів, які коротко будуть представлені у даному підрозділі.

Баккові масляні відмикачі

Ефективність гасіння електричної дуги у великому об'ємі трансформаторного масла була доведена вже наприкінці XIX століття, коли з'явилися перші баккові масляні відмикачі, побудовані на цьому принципі (oil blast circuit-breaker). Ці відмикачі спочатку застосовувалися в мережах середніх напруг (більш високих напруг тоді не було), а у 20-і роки XX століття, коли будувалися перші високовольтні лінії електропередач та відповідні розподільні системи, для них розроблялися відмикачі, побудовані саме на цьому принципі.

Розробкою та удосконаленням бакових масляних відмикачів займалися провідні електротехнічні компанії Європи та США. Аналогічні роботи проводилися також і в СРСР. В результаті виникли різноманітні конструкції, які мали багато спільних рис – заповнений трансформаторним маслом сталевий бак** з внутрішньою ізоляцією, в якому масло застосовується і як ізоляція, і як дугогасне середовище, маслonaповнені уводи (прохідні ізолятори) та вертикальна траверса з містковим рухомим контактом. Разом з тим такі відмикачі суттєво відрізнялися за способами охолодження й гасіння дуги, а відтак і за конструкцією дугогасного пристрою.

У дугогасних пристроях бакових масляних відмикачів застосовувалися практично усі відомі на той час засоби гасіння дуги, а саме поздовжнє та поперечне охолодження дуги потоками масла, щільні дугогасні камери, багатократний розрив електричного кола у кожному полюсі, шунтування дуги резисторами тощо. В результаті були створені баккові відмикачі з номінативною напругою до 220 кВ в одному баці (для мереж з більшою

* Перші спроби розробки вакуумних відмикачів високої напруги датуються серединою 70-х років минулого століття, але успіху на ринку ці апарати й досі не здобули внаслідок технологічних складностей побудови високовольтних вакуумних камер, які до того ж слід екранувати від створюваного ними рентгенівського випромінювання, що виникає у них при напрузі понад 100 кВ.

** Сталеві баки багатооб'ємних масляних відмикачів обов'язково уземлюють, тому ці відмикачі в англомовній технічній літературі іменують також як «dead tank circuit-breakers».

номінальною напругою застосовувалося послідовне з'єднання таких відмикачів), з номінальним струмом до 3150 А та номінальною здатністю до відмикання коротких замикань до 31,5 кА. Разом з тим, виявилися й суттєві недоліки цих апаратів – великі габарити й маса, необхідність періодичного очищення масла, яке в експлуатації забруднюється продуктами горіння дуги, складність та трудомісткість ремонтних та регламентних робіт, вибухова та пожежна небезпечність. Тому ще у п'ятдесяті роки минулого століття бакові масляні відмикачі вже не розглядалися як перспективні. Адекватна альтернатива цим апаратам (елегазові відмикачі) з'явилася набагато пізніше, приблизно у сімдесяті-вісімдесяті роки, тому бакові відмикачі у великих обсягах вироблялися й вводилися в експлуатацію аж до кінця вісімдесятих років. Хоча останні роки йде інтенсивне оновлення енергетичного обладнання, бакові масляні відмикачі ще можна побачити на деяких вітчизняних підстанціях.

Один з таких відмикачів з вбудованими трансформаторами струму зображено на рис. 4.103. Конструкція дугогасного пристрою, що зображена на рис. 4.103-в, передбачає утворення у кожному полюсі 10 послідовних дуг, частина з яких створює рух масла вбік сусідніх дуг, які видувуються в отвори корпусу камери й охолоджуються в них. Частина міжконтактних проміжків зашунтована резисторами, що сприяє ефективному гасінню дуги.

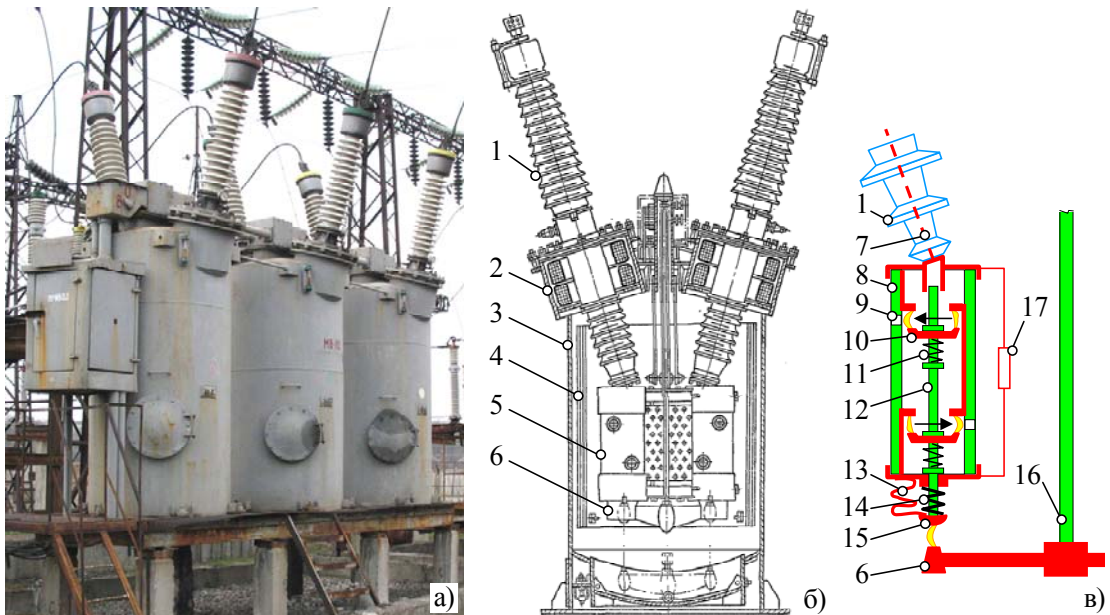


Рис. 4.103. Масляний баковий відмикач МКП-110: а – зовнішній вигляд; б – поперечний переріз полюсу; в – один з варіантів дугогасного пристрою (половина полюсу).

1 – прохідний ізолятор; 2 – трансформатор струму; 3 – сталевий корпус; 4 – внутрішня ізоляція; 5 – дугогасний пристрій; 6 – траверса з рухомими контактами; 7 – увідний стрижень; 8 – корпус дугогасної камери; 9 – отвори для виходу дуги; 10 – контактні містки; 11 – контактні пружини; 12 – ізоляційний шток; 13 – гнучке контактне з'єднання; 14 – пружина відмикання; 15 – стиковий контакт; 16 – ізоляційна тяга; 17 – резистор

Маломасляні відмикачі

Маломасляні відмикачі з поперечним дуттям (minimum oil circuit-breaker), які спочатку застосовувалися у відмикачах середніх напруг, виявилися настільки ефективними, що вже у сорокові роки минулого століття принцип гасіння дуги у малому об'ємі масла був розповсюджений також і на відмикачі високих напруг. Створені тоді двомодульні відмикачі (рис. 4.104) мали номінативну напругу 110 кВ. Для мереж 220 кВ та 330 кВ застосовувалося послідовне з'єднання відповідно двох та трьох таких відмикачів.

Багаторічна експлуатація маломасляних вимикачів виявила їх численні недоліки, головними з яких є вибухонебезпечність, невисока швидкодія (у зв'язку з необхідністю розведення контактів на відносно великій відстані), великі габарити, низький комутаційний ресурс, а також необхідність проведення планово-профілактичних ремонтів у зв'язку із забрудненням масла продуктами горіння дуги). Зазначені недоліки зумовили на початку нинішнього століття зняття з виробництва апаратів даного типу у переважній більшості компаній, але їх експлуатація на підстанціях буде тривати ще багато років.



Рис. 4.104. Маломасляні відмикачі типу ММО-110: номінативна напруга – 110 кВ; номінальний струм – 1250 та 1600 А; номінальний струм відмикання (здатність до відмикання коротких замикань) – 20 кА та 31,5 кА; актуатор – пружинно-моторний

Повітряні відмикачі високого тиску

Гасіння електричної дуги стисненим повітрям привернуло увагу дослідників ще на початку ХХ століття, але широке впровадження відмикачів, побудованих на цьому принципі, розпочалося лише у 30-ті роки минулого століття після того, як ця ідея підтвердила свою ефективність на практиці.

Конструкції відмикачів з гасінням дуги стисненим повітрям (air-blast circuit-breaker) удосконалювалися і згодом, зокрема в СРСР були створені

відмикачі серії ВНВ з номінативною напругою 330, 500 та 750 кВ, номінальним струмом 3150 А та 4000 А, номінальним струмом відмикання 40 кА. Повний час вимикання цих відмикачів становив 40 мс, а час вмикання – 100 мс. Дуга в цих відмикачах горить всередині замкнутого комутаційного модуля й не виходить у відкрите повітря.

Відмикач ВНВ складається з трьох однакових полюсів, які мають спільне пневматичне й електричне керування, але механічно не пов'язані один з одним. Полюс відмикача складається з двох (ВНВ-330 та ВНВ-500) або трьох (ВНВ-750) дугогасних блоків, кожний з яких складається з двох



модулів, розташованих на колонках опорних ізоляторів з ізоляційними розтяжками (рис. 4.105). Головними недоліками цих апаратів є їх складність й необхідність відносно частого проведення планово-профілактичних ремонтів.

Рис. 4.105. Три колонки полюсу відмикача ВНВ-750 (на передньому плані)

Елегазові відмикачі

Елегазові відмикачі, які зараз складають основу ринку у цьому сегменті, відрізняються від маломасляних й повітряних компактністю, нескладністю кінематики та не вимагають частих профілактичних робіт впродовж періоду експлуатації. В сучасних конструкціях элегазових відмикачів (SF_6 circuit-breaker) застосовуються герметизовані й заповнені элегазом комутаційні модулі (interrupting unit), з контактною системою коаксіального типу, яка містить головні та дугогасні контакти, та дугогасною системою автокомпресійного типу. Для забезпечення високої електричної міцності міжконтактного проміжку в корпусі комутаційного модулю, який виготовляють з кераміки з покриттям спеціальними емаллями для запобігання витоку элегазу за межі корпусу, створюється тиск порядку 5 Бар, який автоматично підвищується в міжконтактному проміжку під час горіння дуги (автокомпресія).

Основні стадії стану типового комутаційного модуля элегазового відмикача при виконанні операції вимикання зображені на рис. 4.106 – від замкнутого стану (рис. 4.106-а) до повністю розімкнутого стану (рис. 106-д).

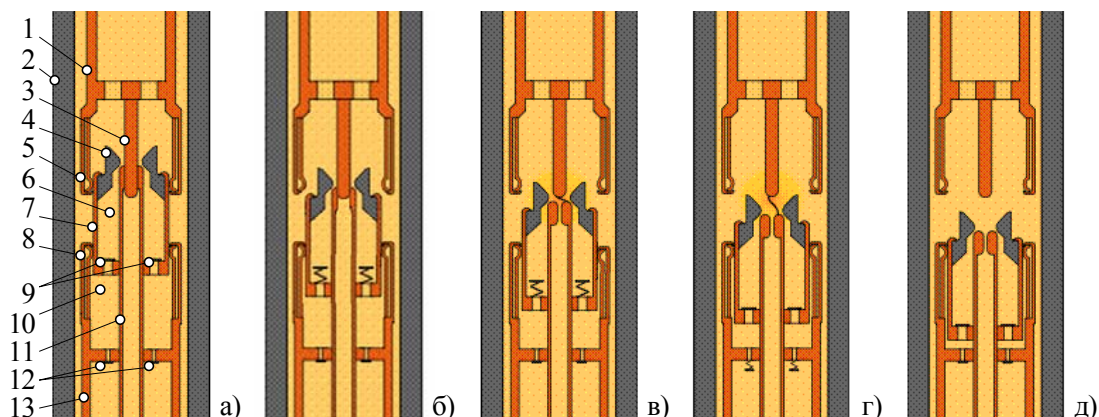


Рис. 4.106. Основні стадії стану комутаційного модуля елегазового відмикача (Solon Manufacturing Co, USA) при виконанні операції вимикання: а – замкнений стан; б - головні контакти розімкнулися, а дугогасні ще лишаються замкненими; в – початок розмикання дугогасних контактів, виникнення електричної дуги; г – розтягування дуги, її інтенсивне охолодження й згасання; д – повністю розімкнений стан

На рис. 4.106 позначено: 1 – трубчаста шина, приєднана до верхнього терміналу; 2 – ізоляційний корпус; 3 – нерухомий дугогасний контакт; 4 – сопло; 5 – верхній нерухомий головний контакт; 6 – верхня камера; 7 – стаканоподібний головний рухомий контакт; 8 – нижній нерухомий головний контакт; 9 – клапани верхньої камери; 10 – нижня камера; 11 – дугогасний рухомий контакт, механічно приєднаний до ізоляційної тяги приводу відмикача; 12 – диск з отворами, закритими клапанами нижньої камери; 13 – трубчаста шина, приєднана до нижнього терміналу.

У замкненому стані (рис. 4.106-а) обидва контакти (головний та дугогасний) замкнені, тиск в усіх частинах внутрішнього об'єму модуля – однаковий. Тяга, яка з одного боку механічно зв'язана з приводом відмикача, всередині корпусу комутаційного модуля жорстко механічно з'єднана з трубчастим стрижнеподібним дугогасним рухомих контактом, до якого механічно й електрично приєднаний стаканоподібний головний рухомий контакт. До верхньої частини стакану приєднано сопло, яке закриває стакан й разом з ним утворює верхню камеру, заповнену елегазом. У днищі стакану виконані отвори, закриті клапанами. До трубчастой шини, приєднаної до нижнього терміналу, механічно й електрично приєднаний диск з отворами, закритими клапанами, який разом з нерухомим нижнім головним контактом та днищем рухомого головного контакту утворює нижню камеру, заповнену елегазом.

На початковій стадії виконання операції розмикання головні контакти розмикаються, а дугогасні ще лишаються замкненими (рис. 4.106-б), відтак дуга на головних контактах не виникає. При цьому підвищується тиск у нижній камері, клапани верхньої камери відкриваються й підвищений тиск вирівнюється в обох камерах. Після розмикання дугогасних контактів (рис. 4.106-в) на них виникає дуга, яка сприяє підвищенню тиску

під соплом та над ним. При подальшому збільшенні зазору між дугогасними контактами підвищується тиск в камерах, клапани верхньої камери закриваються, а клапани нижньої камери відкриваються, дуга розтягується, інтенсивно охолоджується внаслідок швидкого руху потоків елегазу через сопло вздовж дуги (рис. 4.106-г) та згасає (рис. 4.106-д).

При виконанні операції вмикання привід відмикача через ізоляційну тягу спрямовує вгору головний та дугогасний рухомі контакти, замикання яких відбувається у зворотній послідовності – спочатку замикається дугогасний контакт, а потім головний. Після цього комутаційний модуль виявляється повністю готовим до виконання операції вимикання.

Елегазові комутаційні модулі здатні працювати при напрузі до 250 кВ. Для мереж з номінальною напругою 330 кВ ... 500 кВ застосовуються відмикачі з двома комутаційними модулями, увімкненими послідовно (рис. 4.107-а). Для мереж з більшою номінальною напругою два таких відмикачі з'єднують послідовно, а для збільшення номінального струму комутаційні модулі іноді з'єднують паралельно (рис. 4.107-б).

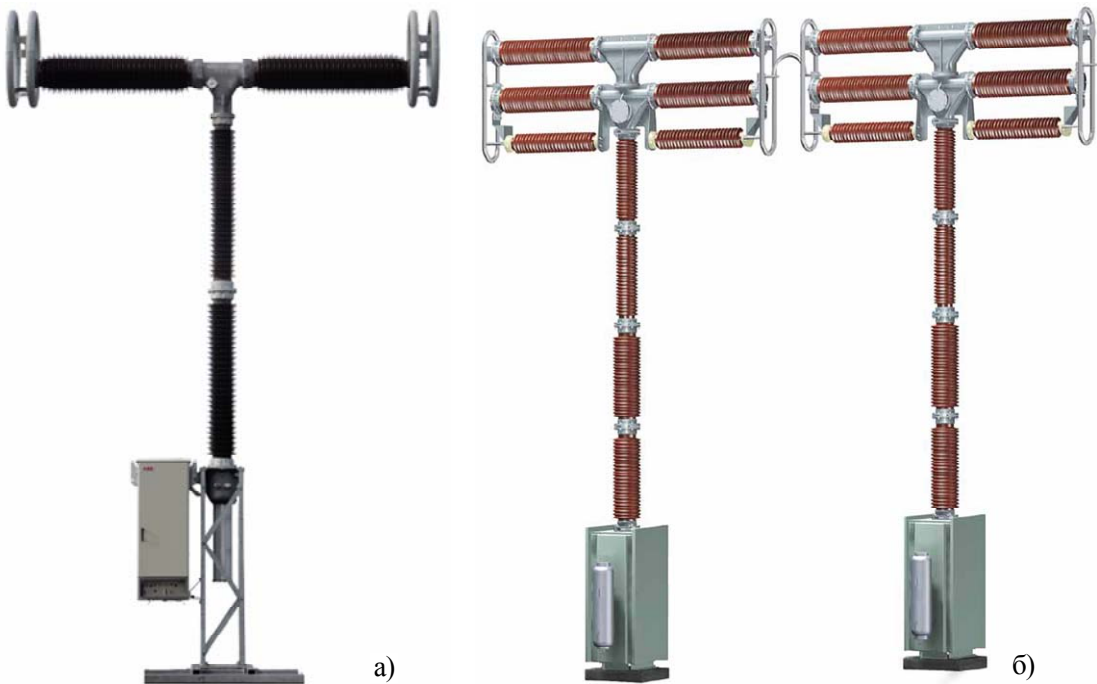


Рис. 4.107. Елегазовий відмикач LTB2 (ABB) з номінальною напругою 420 кВ – одна колона з двома комутаційними модулями у полюсі (а) та відмикач (Crompton-Greaves, Індія) з номінальною напругою 800 кВ – дві колони з чотирма комутаційними модулями у кожній колоні для збільшення номінальної напруги та номінального струму (б)

Провідні виробники елегазових відмикачів спромоглися створити конструкції, які не вимагають технічного обслуговування впродовж всього терміну експлуатації. Прикладом є елегазові відмикачі Alstom, встановлені при реконструкції ДНІПРОГЕС наприкінці 70-х років минулого століття.

Елегазові відмикачі високої напруги мають пружинно-моторні приводи, причому відмикачі з одним комутаційним модулем у полюсі зазвичай мають один спільний привід для усіх трьох полюсів, а відмикачі з більшою кількістю комутаційних модулів у полюсі зазвичай мають окремі приводи на кожен полюс, тобто відмикач з номінальною напругою 800 кВ може мати по два приводи на полюс – усього шість приводів.

Сучасні елегазові відмикачі іноді комбінують з перемикачами уземлення. Високі ізоляційні властивості елегазу дають підстави деяким провідним виробникам позиціонувати такі апарати як відмикачі з властивостями роз'єднувачів (disconnecting circuit-breaker) й стверджувати про можливість відсутності роз'єднувача з боку вихідних терміналів відмикача, комбінованого з перемикачем уземлення (рис. 4.108, де позначено: 1 – увідний термінал відмикача; 2 – комутаційний модуль; 3 – нерухомий контакт перемикача уземлення; 4 – вихідний термінал відмикача й перемикача уземлення; 5 – рухомий контакт перемикача уземлення). Така комбінація дозволяє економити місце на невеликих підстанціях в мережах з номінальною напругою до 170 кВ й здешевлювати їх.

Викатні високовольтні відмикачі (HV withdrawable circuit-breaker) (рис. 4.109) також дозволяють економити місце на підстанціях за рахунок застосування меншої кількості роз'єднувачів, які необхідно приєднувати до відмикача з обох боків.

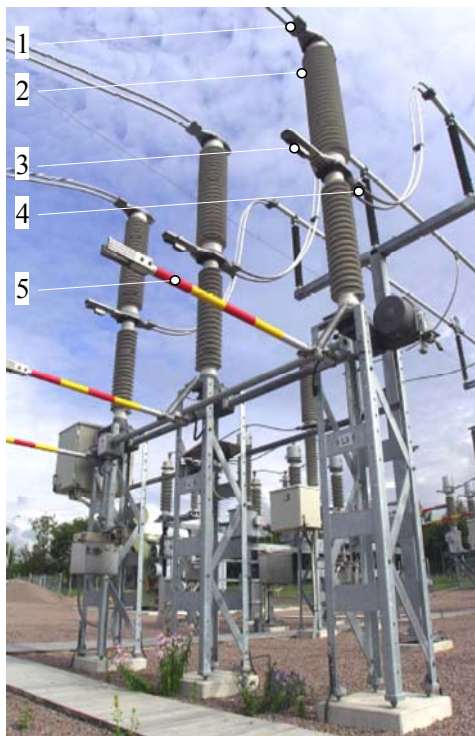


Рис. 4.108. Елегазовий відмикач, комбінований з перемикачем уземлення



Рис. 4.109. Елегазовий викатний відмикач (на передньому плані – рейки для викочування)

4.3.2. Роз'єднувачі

Роз'єднувачі, які застосовуються в високовольних розподільних пристроях, відносяться до категорії роз'єднувачів з центральним розми-канням (centre-break disconnecter), тобто роз'єднувачів, у яких обидва контакти кожного полюсу є рухомими та змикаються приблизно посередині між його опорами (рис. 4.110). Полюси роз'єднувачів приєднуються послідовно до полюсів відмикачів, причому до відмикача зазвичай приєднується по два роз'єднувача – з обох боків. Приєднання до такого кола паралельного роз'єднувача дозволяє здійснювати тимчасове виведення відмикача у ремонт або профілактику без відмикання фідера й відповідного споживача на час ремонту або профілактики.



Рис. 4.110. Роз'єднувачі з центральним розми-канням: а – роз'єднувач для мереж з номінальною напругою 220 кВ; б – роз'єднувач для мереж з номінальною напругою до 420 кВ

Роз'єднувачі призначені для тривалого проведення струму при нормальних умовах в колі. Роз'єднувачі, зображені на рис. 4.110, можуть мати номінальний струм до 4000 А. Хоча роз'єднувачі не призначені для вимикання струмів в електричних колах, вони мають бути здатними вмикати великі струми, зокрема струми коротких замикань, які вони повинні проводити без пошкоджень впродовж певного визначеного часу. Роз'єднувач, зображений на рис. 4.110-б, може вмикати струм до 125 кА (пікове значення) та проводити впродовж однієї секунди струм до 50 кА (середньоквадратичне значення).

Перемикачі уземлення повинні мати здатність до вмикання струмів коротких замикань та короткочасно проводити такі струми, але до них не висуваються вимоги щодо тривалого проведення струму при нормальних умовах в колі, оскільки в таких режимах вони не працюють.

4.4. Комплектні пристрої та суміжне обладнання

Розподільні пристрої (на них розповсюджується термін *switchgear*), які можна розглядати як окремий випадок комплектних пристроїв (*assembly (of switchgear and controlgear)*; *switchgear and controlgear assembly*), призначені, переважно, для розподілення електричної енергії між споживачами. Практично усі розподільні пристрої низької напруги, а також переважна більшість розподільних пристроїв середньої та високої напруги мають повітряну ізоляцію (*air-insulated switchgear*; *AIS*). З метою зменшення розмірів та підвищення безпечності й надійності в мережах в комплектних пристроях середніх та високих напруг застосовують елегазову ізоляцію (*gas-insulated switchgear*; *GIS*).

У даному розділі коротко розглянуто основні принципи побудови розподільних пристроїв низької, середньої та високої напруги, а також деякі сучасні розподільні системи й комплекти. Деякі апарати, які не відносяться до категорії комутаційних апаратів, але входять до складу комплектних пристроїв (обмежувачі імпульсних виплесків, трансформатори струму та напруги, шини, шинопроводи, монтажні проводи та кабелі, системи їх порядкування) також коротко розглянуті у цьому розділі.

4.4.1. Розподільні пристрої низької напруги

Категорії електроприймачів та схеми розподілення електричної енергії

Правила улаштування електроустановок (ПУЕ) надають визначення електроприймача як апарата, агрегату тощо, які призначені для перетворення електричної енергії на інший вид енергії, та споживача електричної енергії, яким може бути окремий електроприймач або група електроприймачів, об'єднаних технологічним процесом та розміщених на певній території.

Згідно з ПУЕ усі електроприймачі щодо забезпечення надійності електропостачання поділяються на три категорії.

Електроприймачі I категорії – це електроприймачі, перерва електропостачання яких може спричинити: небезпеку для життя людей, загрозу для безпеки держави, пошкодження коштовного основного обладнання, масовий брак продукції, розлад складного технологічного процесу, порушення функціонування особливо важливих елементів комунального господарства, об'єктів зв'язку та телебачення.

Електроприймачі II категорії – це електроприймачі, перерва електропостачання яких призводить до масового недовипуску продукції, масових простоїв робітників, механізмів і промислового транспорту, порушення нормальної діяльності значної кількості міських та сільських мешканців.

Електроприймачі III категорії – це решта електроприймачів, що не підпадають під визначення I та II категорій.

Електроприймачі I категорії повинні забезпечуватися електроенергією від двох незалежних взаєморезервуючих джерел живлення, і перерва їх електропостачання при порушенні електропостачання від одного з джерел живлення може бути допущена лише на час автоматичного відновлення живлення. Для електропостачання особливої групи електроприймачів I категорії, безперебійна робота яких необхідна для безаварійного зупинення виробництва з метою попередження загрози життю людей, вибухів та пожеж, має передбачатися додаткове живлення від третього незалежного взаємно резервованого джерела живлення.

Електроприймачі II категорії рекомендується забезпечувати електроенергією від двох незалежних взаємно резервованих джерел живлення. Для цих електроприймачів при порушенні електропостачання від одного з джерел живлення допустимі переривання електропостачання на певний час, необхідний для вмикання резервного живлення діями чергового персоналу або виїзної оперативної бригади.

Для електроприймачів III категорії електропостачання може здійснюватися від одного джерела живлення за умови, що тривалість переривання електропостачання, необхідне для ремонту або заміни пошкодженого елемента системи електропостачання, не перевищує однієї доби.

Однолінійні схеми розподільних пристроїв (РП) споживачів з електроприймачами різних категорій зображені на рис. 4.111-а, 4.111-б та 4.111-в. В однофазних РП зазвичай застосовуються однополюсні (рідше – двополюсні) комутаційні апарати. Загальна шина в таких пристроях – це шина або провідник, що виконують функції лінійного (L) провідника та шина або провідник, що виконують функції робочого нейтрального (N) провідника. В трифазних РП зазвичай застосовуються триполюсні (рідше – чотириполюсні) комутаційні апарати. Загальна шина в таких пристроях – це три лінійні шини (L1, L2, L3) та шина, що виконує функції робочого нейтрального (N) провідника.

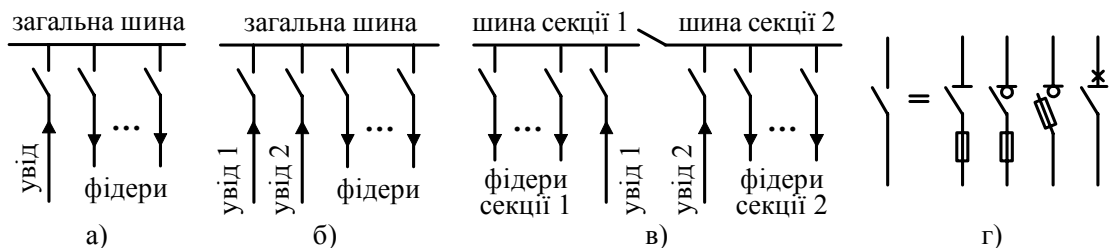


Рис. 4.111. Однолінійні схеми розподільних пристроїв споживачів різних категорій

Фідер* (feeder) у загальному розумінні – це живильна лінія. Ця лінія (кабель або повітряна лінія) може здійснювати живлення загальної шини

* Термін «feeder» в IEV визначено в контексті обладнання підстанцій, але на практиці цей термін вживають й у контексті розподільних пристроїв.

від зовнішнього джерела (incoming feeder) або здійснювати живлення іншого розподільного пристрою або кінцевого електроприймача від загальної шини (outgoing feeder). З метою скорочення, увідний фідер ми будемо називати просто уводом, а відхідний фідер – просто фідером.

Комутаційними апаратами в схемах, зображених на рис. 4.111-а, 4.111-б та 4.111-в, мають бути апарати, які здійснюють захист від коротких замикань (short-circuit protective device; SCPD). В окремих випадках це можуть бути роз'єднувачі-запобіжники, або вимикачі-роз'єднувачі-запобіжники, або запобіжники-вимикачі-роз'єднувачі, або автоматичні відмикачі (рис. 4.111-г).

РП для електропостачання споживачів з електроприймачами тільки третьої категорії може бути побудований за схемою, зображеною на рис. 4.111-а.

РП для споживачів з електроприймачами другої категорії може бути побудований за схемою, зображеною на рис. 4.111-б, проте для потужних розподільних пристроїв рекомендується секційна їх побудова (рис. 4.111-в), яка зазвичай застосовується для споживачів першої категорії.

При односекційній побудові РП (рис. 4.111-б) обидва уводи приєднуються до незалежних джерел живлення, одне з яких (наприклад, увід 1) вважається основним, а інше – резервним. Тому на уводі 1 у нормальному режимі комутаційний апарат має бути увімкненим, а на уводі 2 – відімкненим. При перериванні електропостачання з боку основного джерела живлення необхідно відімкнути апарат на уводі 1 та увімкнути апарат на уводі 2, приєднавши шини до резервного джерела.

При секційній побудові РП (рис. 4.111-в), в ньому міститься дві загальні шини – шина секції 1 та шина секції 2, які з'єднані між собою через секційний комутаційний апарат. Цей апарат при нормальному електропостачанні з боку обох уводів має бути у розімкненому стані. За умови такої побудови при перериванні електропостачання з боку одного із джерел живлення (наприклад, на уводі 1) необхідно відімкнути апарат на відповідному уводі та увімкнути секційний апарат. При цьому на електроприймачах, що живляться від уводу 1, електропостачання буде перервано на час, необхідний для виконання зазначених операцій, а на електроприймачах, що живляться від уводу 2, електропостачання взагалі не буде перериватися. При відновленні живлення на пошкоджені уводі, необхідно увімкнути відповідний увідний апарат і одразу ж вимкнути секційний апарат.

В РП споживачів, до складу яких входять електроприймачі першої категорії, мають бути передбачені системи автоматичного вмикання резерву (ABR). Системи ABR містять спеціальні реле, які реагують на стан живлення й при порушенні живлення з боку одного з уводів видають сигнали на увідні та секційні апарати, які автоматично виконують призначену послідовність операцій.

Розподільні пристрої промислового призначення

Під розподільними пристроями промислового призначення будемо розуміти РП, призначені для розподілення енергії між потужними споживачами або електроприймачами, тобто РП, які встановлюються на місцевих підстанціях, на уводах до багатоквартирних житлових будинків, навчальних та лікувальних закладів, на промислових підприємствах тощо. Такі РП зазвичай мають секційну побудову і встановлюються в окремих приміщеннях з обмеженим доступом.

Серед РП промислового призначення, які розроблялися й вироблялися ще у радянські часи, велику популярність здобули збірні конструкції на базі розроблених у 70-ті роки панелей (комірок) ЩО-70 (рис. 4.112). На теренах колишнього СРСР ці щити виробляються й зараз величезною кількістю малих, середніх та великих підприємств. Їх конструкції у деяких нюансах модифікувалися, зараз багато підприємств випускає панелі ЩО-99 (розробки 1999 р.). Ці панелі мають габарити 2000×800 (300, 600, 700)×600 мм.

Для панелей ЩО було розроблено велику кількість типових схем, які задовольняли практично усім потребам у промисловому й цивільному будівництві. Лінійні (фідерні) комірки комплектуються автоматичними відмикачами й комбінаціями із запобіжниками – вимикачами-роз'єднувачами із залежним та незалежним оперуванням (наприклад, ВР-32) та запобіжниками ПН-2. Конструктивні особливості панелей ЩО дозволяють встановити не більше чотирьох фідерів в одній панелі шириною 700 або 800 мм. Відтак, РП, побудовані на базі панелей ЩО, є досить громіздкими.

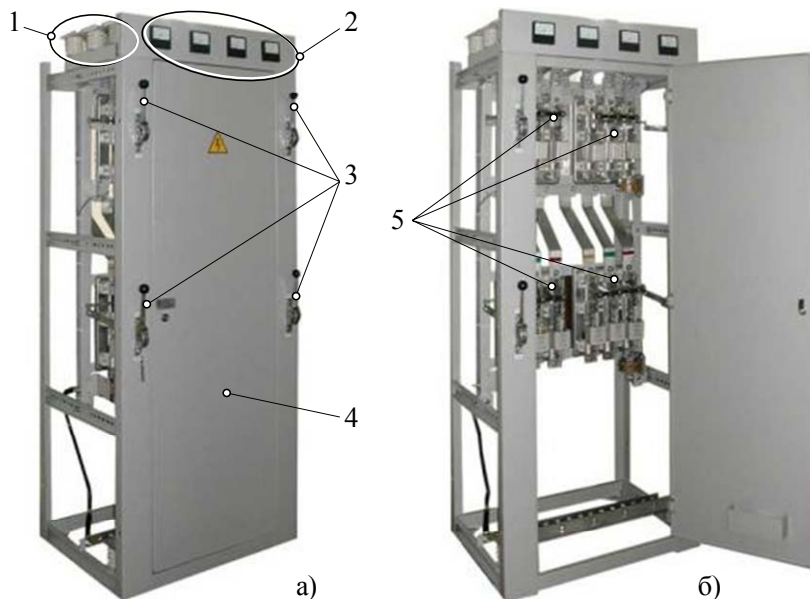


Рис. 4.112. Панель ЩО із закритими (а) та відкритими (б) дверцями:
1 – загальна (збірна) шина на опорних ізоляторах; 2 – вимірювальні прилади;
3 – зовнішні актуатори для оперування комутаційними апаратами; 4 – дверці;
5 – комутаційні апарати (у даному випадку – роз'єднувачі-запобіжники)

Недоліки РП, побудованих на базі панелей ЩО, а саме – громіздкість, небезпечність при відкритих дверцях (доступність до відкритих струмопровідних частин), незручність оперування при відкритих дверцях, а також необхідність вимикати увідний комутаційний апарат секції, а відтак – знеструмлювати усі фідери даної секції, при проведенні робіт, пов'язаних з ремонтом, заміною або встановленням додаткового фідерного апарата, спонукають до пошуку альтернатив панелям ЩО.

Радикальне подолання усіх перерахованих вище недоліків надає, зокрема, застосування розподільної системи Kabeldon, до складу якої входять захищені від прямих дотиків ізольовані шини, спеціальні комутаційні апарати та з'єднувачі, а також допоміжні аксесуари. До того ж ця система передбачає можливість монтування РП безпосередньо на стіні приміщення (рис. 4.113).

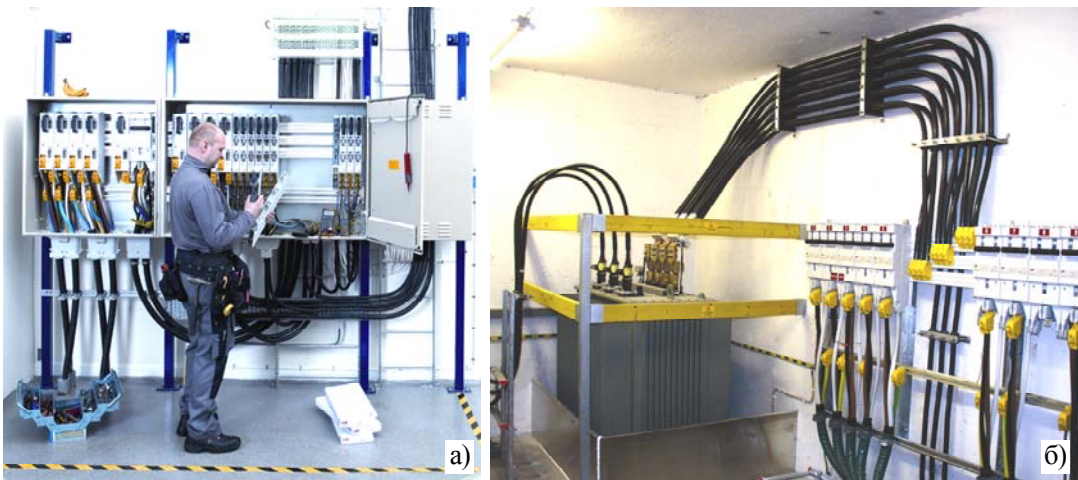


Рис. 4.113. Приклади розподільних пристроїв на базі системи Kabeldon:
а – розподільний пристрій, змонтований у двох металевих шафах;
б – розподільний пристрій, змонтований на стіні приміщення

Розподільний пристрій, зображений на рис. 4.113-а, змонтований у двох шафах, причому у правій шафі на шини є вільне місце для додаткових фідерів. Фото зроблено під час монтування додаткового фідерного комутаційного апарата, коли паралельні фідери не знеструмлювалися, відтак виробничий процес на відповідному обладнанні не переривався. Враховуючи його безпечність, цей РП змонтований у приміщенні загального доступу.

Розподільний пристрій, зображений на рис. 4.113-б, змонтований безпосередньо на стіні приміщення, причому в РП не передбачено застосування увідного комутаційного апарата, оскільки шини надійно ізольовані й вірогідність короткого замикання між ними близька до нуля. Крім того, якщо виникне необхідність заміни одного з фідерних апаратів або приєднання додаткового фідерного апарата, це можна буде зробити цілком безпечно, не знеструмлюючи загальну шину.

Розподільні пристрої побутового та аналогічного призначення

Під розподільними пристроями побутового та аналогічного призначення будемо розуміти РП, призначені для розподілення енергії між електроприймачами, які встановлюються на уводах до приватних житлових будинків, квартир багатоквартирних житлових будинків, офісів компаній, невеликих майстерень тощо. Такі РП, зазвичай, не передбачають секційної побудови та встановлюються у приміщеннях із загальним доступом.

Ще у 70-х роках минулого століття в квартирах п'ятиповерхівок розподільні пристрої, як такі, були відсутні – в квартирах монтувався увідний пристрій, який складався з лічильника, двох запобіжників (пробок) й вимикача. Від цього пристрою відходила одна лінія, від якої у монтажних коробках робили відгалуження до розеток, вимикачів та ламп освітлення. В будинках нових тоді серій з'явилися розподільні пристрої (щитки), розраховані на дві квартири (рис. 4.114). У квартиру від щитка відходило три групові двопровідні лінії, кожна з яких була захищена окремим автоматичним відмикачем. Захист людей від прямих та непрямих дотиків, а також протипожежний захист ці розподільні пристрої не забезпечували.

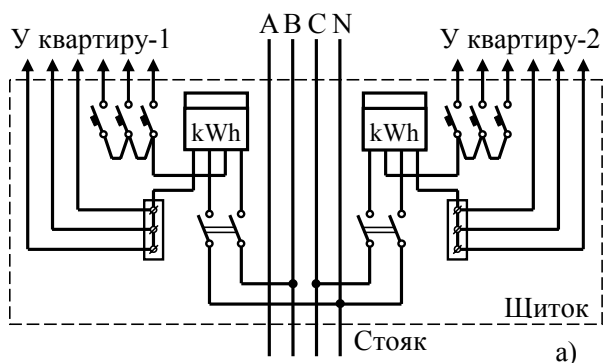
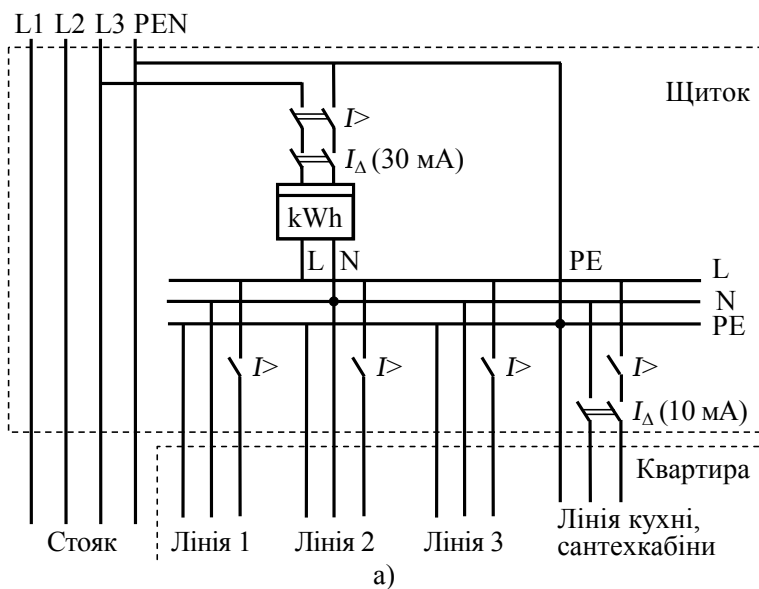


Рис. 4.114. Електрична схема розподільного щитка, розрахованого на дві квартири, в житлових будинках 70-х – 80-х років (а) та його загальний вигляд (б). В лівій частині щитка, що живить одну з квартир, апарати не замінювалися; в правій частині щитка комутаційні апарати були замінені на сучасні, встановлений захист від підвищення напруги мережі, але апарати захисту людей від прямих та непрямих дотиків не встановлені

Зараз в Україні діє низка нормативних документів, які передбачають у новобудовах застосування трипровідних ліній, а також обов'язкове встановлення апаратів захисту від різницевого струму (RCD). Кількість групових ліній в квартирах середньої комфортності – не менше трьох, а у квартирах підвищеної комфортності може бути більше десяти. На рис. 4.115-а зображена рекомендована електрична схема розподільного щитка сучасної квартири середньої комфортності, в якому передбачений захист людей від ураження електричним струмом при прямих та непрямих дотиках, а на рис. 4.115-б наведено фото розподільного щитка сучасної квартири підвищеної комфортності.



б)

Рис. 4. 115. Рекомендована електрична схема розподільного щитка сучасної квартири середньої комфортності (а) та фото розподільного щитка сучасної квартири підвищеної комфортності (б)

Розподільні пристрої, аналогічні до розглянутих вище розподільних пристроїв побутового призначення встановлюють також в об'єктах непобутової сфери – офісах, медичних закладах, невеликих майстернях, аеропортах та об'єктах залізниці тощо для розподілення енергії між електроприймачами невеликої потужності. Якщо до електроприймачів висуваються підвищені вимоги щодо безперебійності їх живлення, то слід застосовувати розподільні системи, які надають можливість заміни фідерних апаратів без вимикання увідного комутаційного апарата. Однією з таких розподільних систем є система SMISLINE.

Система SMISLINE (рис. 4.116-а) складається з набірних шасі, виготовлених з термо- та ударостійкої пластмаси, мідних шин, які легко інтегруються в шасі, та спеціальних апаратів з втичними увідними терміналами. На шасі розміщені защіпки, які у поєднанні з втичними увідними терміналами апаратів дозволяють приєднувати апарати до шин та від'єднувати їх від шин без будь-яких інструментів. Завдяки особливій побудові втичних терміналів, система SMISLINE дозволяє не тільки виконувати заміну встановлених апаратів під напругою, тобто без відмикання паралельних електроприймачів, а також під напругою та за лічені секунди переключати фідерний апарат до іншої лінійної шини (рис. 4.116-б).

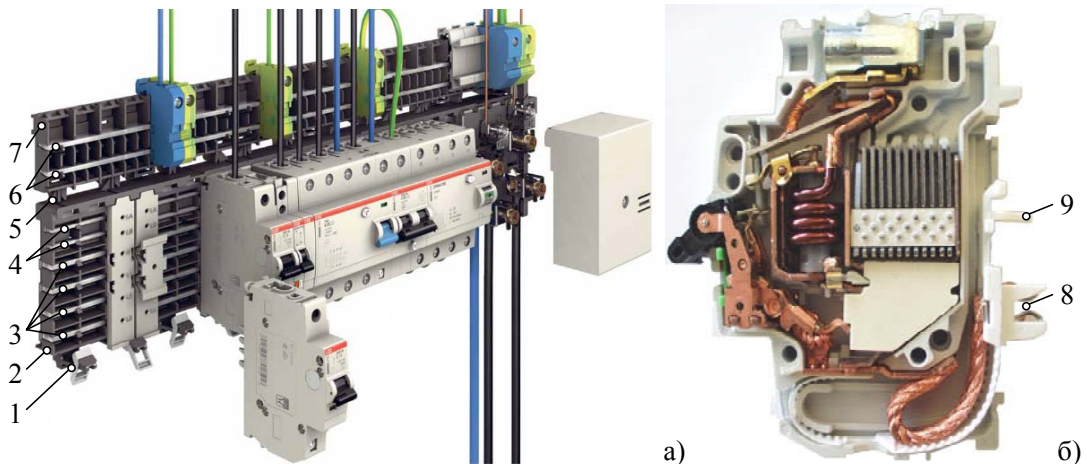


Рис. 4.116. Розподільний пристрій, побудований на базі системи SMISLINE (а) та спеціальний модульний автоматичний відмикач з втичним увідним терміналом (б): 1 – защіпка для фіксації приєднуваного апарата; 2 – основне шасі; 3 – головні шини (L3, L2, L1, N – знизу угору); 4 – шини кіл керування; 5 – защіпка для з'єднання головного та допоміжного шасі; 6 – додаткові шини PE та N; 7 – додаткове шасі; 8 – втичний увідний термінал; 9 – повідок для втичного увідного терміналу для його позиціонування відносно головних шин L1, L2 або L3

4.4.2. Розподільні пристрої середньої напруги

Розподільні мережі середніх напруг розпочинаються на вторинних обмотках силових трансформаторів головних підстанцій, де напруга знижується від рівня високих напруг (110 ... 220 кВ) до рівня середніх напруг (6 кВ, 10 кВ або 35 кВ), й закінчуються на первинних обмотках силових трансформаторів місцевих підстанцій, де напруга знижується від рівня середніх напруг до рівня низьких напруг (в житлово-комунальній сфері – це 220 / 380 В). З великого розмаїття схем розподілення електричної енергії в діапазоні середніх напруг виділимо дві – радіальну (рис. 4.117) та кільцеву (рис. 4.118). До головної підстанції підходять дві лінії (зазвичай, повітряні) 110 кВ або 220 кВ, відповідно в складі цієї підстанції має бути два силових трансформатори великої потужності (до 100 МВт й більше). Вторинні обмотки силових трансформаторів з напругою рівня середніх напруг приєднують до збірних шин розподільного пристрою, побудованого за секційним принципом (див. рис. 4.111-в). Від фідерних комірок розподільного пристрою відходять кабельні або повітряні лінії.

При радіальному розподіленні енергії, лінії, що відходять від головної підстанції прямують до місцевих підстанцій, причому, якщо місцева підстанція живить споживачів III категорії, її живлення може здійснюватися однією лінією, а якщо місцева підстанція живить споживачів I та II категорій, її живлення має здійснюватися від двох ліній, які розпочинаються на різних секціях розподільного пристрою головної підстанції. Перевагою такої схеми є незалежність живлення окремих місцевих підстанцій, недоліком – великі розміри розподільного пристрою головної підстанції та велика протяжність кабельних й повітряних ліній. Ця схема застосовується переважно для живлення енергоємних промислових об'єктів, розташованих на відносно невеликій території (видобувні підприємства, металургійні виробництва, гірничо-збагачувальні комбінати тощо).

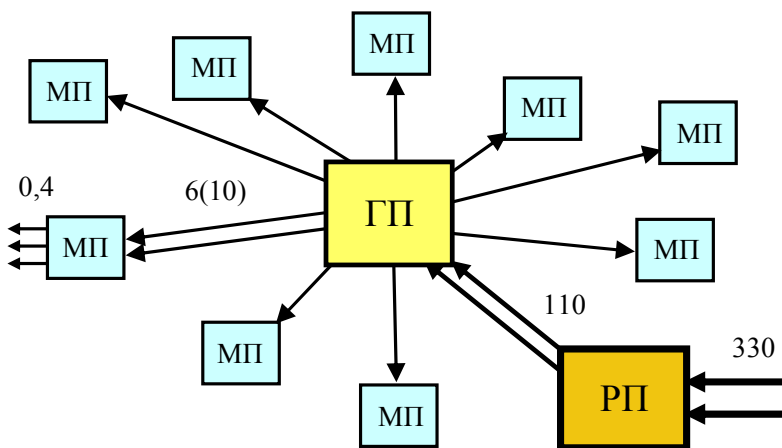


Рис. 4.117. Радіальна розподільна мережа середніх напруг:
РП – районна знижувальна підстанція; ГП – головна підстанція; МП – місцеві підстанції

Кільцева схема застосовується для живлення об'єктів цивільного призначення, зокрема житлових масивів у містах та населених пунктів у сільській місцевості. Кільцева мережа (рис. 4.118) розпочинається на фідері однієї секції, а закінчується на фідері другої секції головної підстанції.

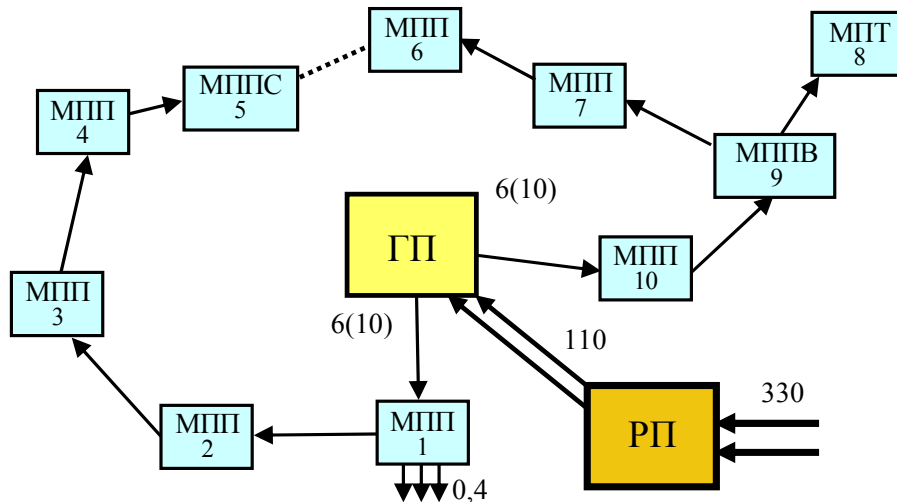


Рис. 4.118. Кільцева розподільна мережа середніх напруг:
РП – районна знижувальна підстанція; ГП – головна підстанція; МПП – місцеві прохідні підстанції (Ring Main Unit – RMU); МППС – місцева прохідна секційна підстанція; МППВ – місцева прохідна відгалужувальна підстанція; МПТ – місцева тупикова підстанція

В розподільних пристроях середніх напруг місцевих підстанцій кільцевих мереж застосовуються спрощені схеми, побудовані на базі комбінацій вимикачів-роз'єднувачів або просто роз'єднувачів із запобіжниками, які здійснюють захист силових трансформаторів (рис. 4.119). Розподільні пристрої низької напруги цих підстанцій також побудовані на базі комбінацій із запобіжниками, які здійснюють захист фідерних ліній, що відходять від цих підстанцій від перевантажень та коротких замикань.

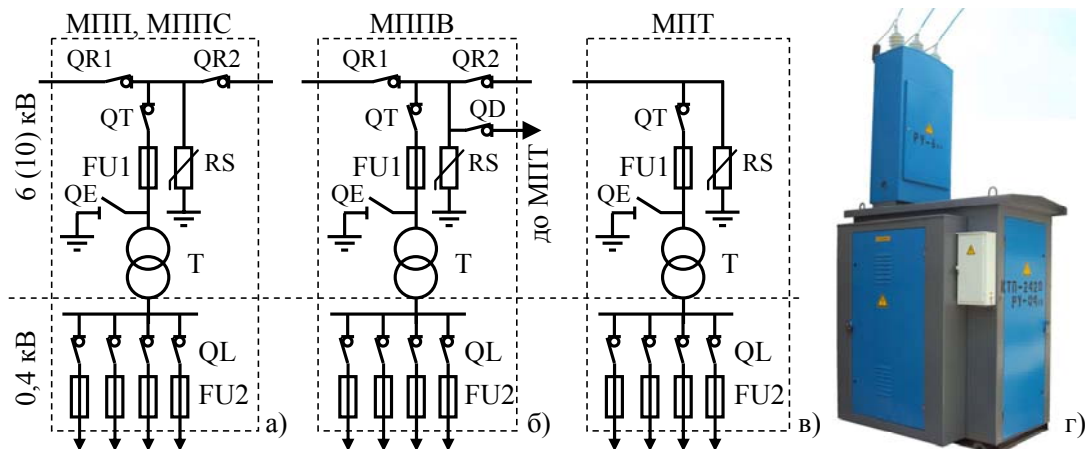


Рис. 4.119. Однолінійні електричні схеми підстанцій кільцевої розподільної мережі (а, б, в) та зовнішній вигляд сучасної місцевої тупикової підстанції кюскового типу (г)

Позначення на рис. 4.119: QR1, QR2 – вимикачі ліній, що з'єднують підстанції між собою; QD – вимикач відгалужувальної лінії до тупикової підстанції (dead-end substation, dead-end unit); T, QT – силові трансформатори та вимикачі у колах їх первинних обмоток; FU1 – запобіжники захисту силових трансформаторів та ліній кільця; RS – варисторні обмежувачі імпульсних виплесків (блискавкозахист трансформаторів); QE – перемикачі уземлення; QL – вимикачі-роз'єднувачі фідерних ліній низької напруги (LV); FU2 – запобіжники фідерних ліній низької напруги.

Різниця між місцевими прохідними (МПП) та місцевими прохідними секційними (МППС) підстанціями полягає в тому, що за нормальних умов у мережі вимикачі QR1 та QR2 в МПП знаходяться у замкненому стані, а в МППС один з цих вимикачів має бути розімкненим. Таким чином, якщо в підстанції 5 (див. рис. 4.118) розімкненим є вимикач QR2, то при цьому місцеві підстанції 1 ... 5 живитимуться від секції 1 головної підстанції (ГП), а місцеві підстанції 6 ... 10 живитимуться від секції 2 ГП. Якщо відбудеться пошкодження (коротке замикання або обрив провідників) на деякій лінії кільця, наприклад, на лінії, що з'єднує підстанції 6 та 7, релейний захист забезпечує виконання операції розмикання відмикача секції 2 на ГП, за цим – розмикання вимикачів підстанцій 6 та 7, що приєднані до пошкодженої лінії, за цим – вмикання вимикача QR2 в підстанції 5 і за цим – виконання операції вмикання відмикача секції 2 на ГП. Після виконання цих операцій живлення всіх підстанцій відновиться у повній мірі, причому від секції 1 ГП будуть живитися підстанції 1 ... 6, а підстанції 7 ... 10 – від секції 2 ГП. У цій ситуації підстанція 5 стане звичайною прохідною підстанцією (МПП), а підстанції 6 та 7 – секційними (МППС).

Апарати розподільних пристроїв середньої напруги зазвичай монтуються в комірках з повітряною ізоляцією, розміри яких визначаються умовами надійного ізолювання. Типові комірки з повітряною ізоляцією мають ширину 800 ... 1000 мм, приблизно таку ж глибину та висоту 1900 ... 2100 мм. Розміри комірок суттєво впливають на розміри й вартість трансформаторних підстанцій. Суттєве зменшення розмірів комірок розподільних пристроїв, а відтак і підстанцій у цілому, може бути досягнуто за рахунок застосування в них елегазу як ізолювального середовища. Зокрема, система SafeRing від ABB була створена як альтернатива розподільній апаратурі з повітряною ізоляцією для застосування передусім у кільцевих мережах. Це – система заповнених елегазом герметичних блоків, у корпусах яких, виготовлених з неіржавкої сталі, міститься два, три або чотири модулі з апаратами. Габаритні розміри модуля SafeRing є такими: ширина – 325 мм, глибина – 765 мм, висота – 1336 мм. Як бачимо, ці розміри суттєво менші, ніж розміри комірок з повітряною ізоляцією. На рис. 4.120, поруч зображені контури трьох комірок з повітряною ізоляцією та один функціонально відповідний блок SafeRing з трьома модулями.

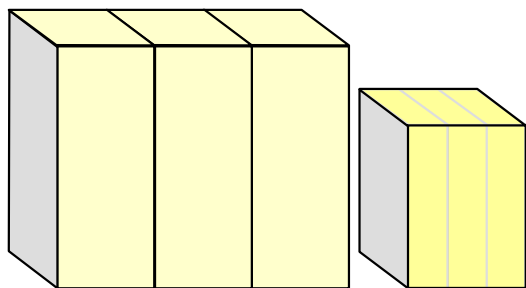


Рис. 4.120. Порівняння контурів комірок з повітряною ізоляцією та блоку з трьома функціонально відповідними модулями системи SafeRing

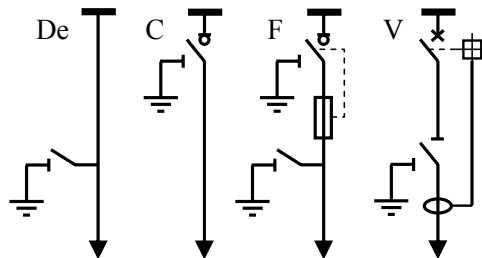


Рис. 4.121. Електричні схеми модулів системи SafeRing. Поруч із схемою модуля записана його назва: De, C, F та V

На рис. 4.121 зображені електричні схеми модулів системи SafeRing, які дозволяють здійснювати захист силових трансформаторів не тільки запобіжниками (модуль F), а й за допомогою вакуумних відмикачів, які автоматично спрацьовують при коротких замиканнях (модуль V). В модулях C та F функції основного комутаційного апарата виконує трипозиційний перемикач – апарат з трьома стійкими положеннями, який поєднує функції вимикача-роз'єднувача (switch-disconnector) та перемикача уземлення (earthing switch).

Блоки системи SafeRing компонуються з різних модулів відповідно до призначення блоку. Наприклад, блок DeF (два модулі – De та F) – це готовий розподільний пристрій тупикової підстанції, блок CCF (три модулі – C, C та F) – це готовий розподільний пристрій прохідної підстанції, а блок CCCF (чотири модулі – C, C, C та F) – це готовий розподільний пристрій прохідної відгалужувальної підстанції.

Компактність – не єдина перевага розподільних пристроїв з елегазовою ізоляцією, зокрема блоків SafeRing. Серед інших їх переваг слід зазначити такі:

- зручність в експлуатації, оскільки блоки системи SafeRing практично не потребують технічного обслуговування, а також не потребують жодних робіт з елегазом;
- безпечність, оскільки конструкція блоків системи SafeRing практично повністю виключає доступ людей до струмопровідних частин;
- можливість дистанційного керування;
- висока надійність й довговічність – підтверджено багаторічною практикою експлуатації.

Окремо слід зазначити надійність й дуже високий ступінь захищеності блоків SafeRing від проникнення всередину сторонніх предметів та вологи. На запит однієї з нафтодобувих компаній блок CCF був повністю занурений у воду і на глибині 3 м його витримували впродовж 24 годин під напругою 20 кВ. Після цього випробування блок був повністю працездатним.

4.4.3. Розподільні пристрої високої напруги

Розподільні пристрої підстанцій високої напруги (110 кВ та більше) зазвичай монтуються на відкритому повітрі (outdoor switchgear), хоча існують змонтовані у приміщеннях високовольтні розподільні пристрої (indoor switchgear) як з повітряною (AIS), так і з елегазовою (GIS) ізоляцією. Найбільш розповсюдженою схемою розподільних пристроїв високої напруги є схема з подвійною системою шин (double bus bar system), яка у спрощеному однолінійному варіанті зображена на рис. 4.122. Шиною у даному випадку називають систему з трьох, встановлених на високовольтних ізоляторах, провідників. На рис. 4.122 дві шини позначені як BB1 та BB2. До шин через спеціальні комутаційні пристрої SI1 та SI2 приєднують вторинні обмотки знижувальних трансформаторів T1 та T2, первинні обмотки яких приєднані до двох підхідних трифазних ліній – LI1 та LI2 (наприклад, 330 кВ), а через комутаційні пристрої SO1 ... SO5 – декілька (у даному випадку – п'ять) відхідних ліній LO1 ... LO5 (наприклад, 110 кВ). Шини з'єднані між собою комутаційним пристроєм SB.

До складу кожного комутаційного пристрою входять високовольтний відмикач, декілька роз'єднувачів, а також не зображені на рис. 4.122 перемикачі уземлення, обмежувачі імпульсних виплесків (surge protective devices, SPD*), трансформатори струму та напруги.

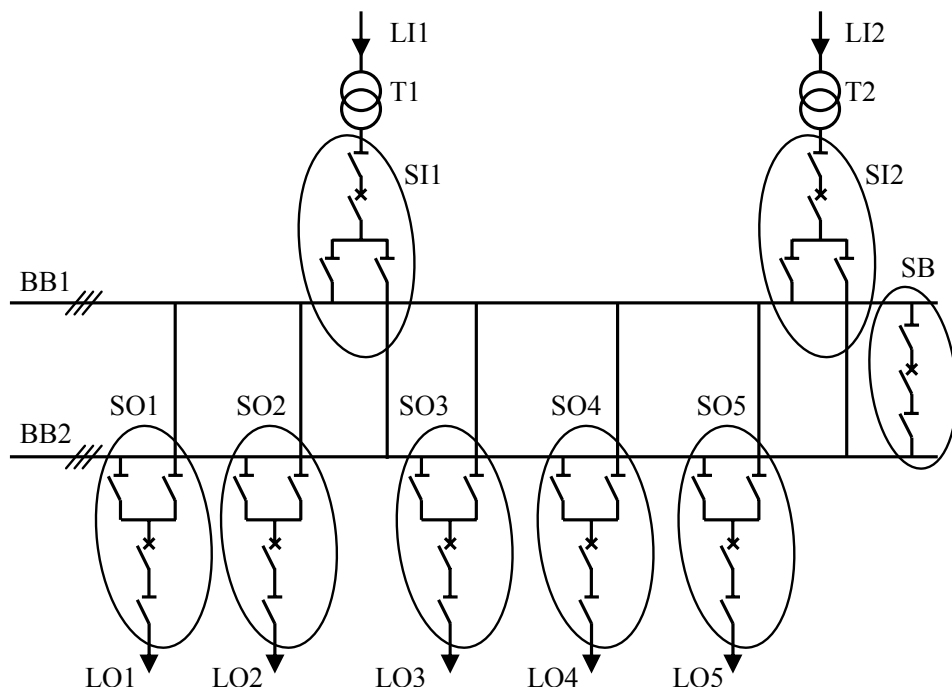


Рис. 4.122. Спрощена електрична схема високовольтного розподільного пристрою, побудованого за принципом подвійної системи шин

* Для цих пристроїв застосовують також альтернативний термін – surge arrester; SA.

Розподільний пристрій, побудований за принципом подвійної системи шин, забезпечує високий рівень безперебійності електропостачання, оскільки він надає можливість оперативно перемикає живлення кожної з шин з лінії LI1 на лінію LI2, а також перемикає відхідні лінії з шини BV1 на шину BV2 та навпаки. Наприклад, якщо відхідна лінія LO3 живилася від шини BV1, то у комутаційному пристрої SO3 лівий роз'єднувач у початковому положенні перебував у розімкненому стані, а правий роз'єднувач – у замкненому стані. Якщо при цьому нижній роз'єднувач та відмикач цього комутаційного пристрою були у замкненому стані, то енергія по лінії LO3 прямувала до відповідного споживача. Для того, щоб перемкнути живлення лінії LO3 шини BV1 на шину BV2 необхідно виконати такі операції: 1) вимкнути на короткий час відмикач відповідного комутаційного пристрою, 2) вимкнути правий роз'єднувач, 3) ввімкнути лівий роз'єднувач, 4) увімкнути відмикач. Якщо зазначена послідовність операцій запрограмована й виконується автоматично, час переривання живлення лінії не перевищує однієї-двох секунд.

Розподільні пристрої високої напруги мають великі розміри, які залежать від номінальної напруги підхідних та відхідних ліній. Про розміри таких розподільних пристроїв можна скласти уявлення з фото, що зображене на рис. 4.123.



Рис. 4.123. Розподільний пристрій підстанції 500 кВ з повітряною ізоляцією

Застосування елегазової ізоляції тільки у комутаційних пристроях дозволяє зменшити площу розподільних пристроїв більш ніж утричі, завдяки тому, що майже усі елементи комутаційного пристрою – відмикач, роз'єднувачі, перемикачі уземлення, трансформатори струму й напруги розташовуються в єдиному компактному модулі (герметичному корпусі).

Однією з систем комутаційних пристроїв високовольтних підстанцій з напругою 72,5 ... 170 кВ є система PASS (Plug And Switch System) від ABB. Ця система представляє собою серію модулів комутаційних пристроїв або комутаційних комплектів для підстанцій різних конфігурацій. В назві підкреслюється високий рівень заводської готовності комутаційних пристроїв цієї системи – на будівельній площадці лишається лише встановити комутаційний комплект на фундаменті й приєднати його до шин та ліній, після чого він буде повністю готовий до роботи.

На рис. 4.124-а зображена одна зі схем комутаційного модуля системи PASS, який може бути застосований у якості комутаційних пристроїв як на вході, так і на виході системи шин. Зовнішній вигляд цього комутаційного модуля представлений на рис. 4.124-б. Для з'єднання шин може бути застосований простіший комутаційний модуль (рис. 4.125).

Фото на рис. 4.126 представляє зовнішній вигляд підстанції, побудованої на базі модулів системи PASS.

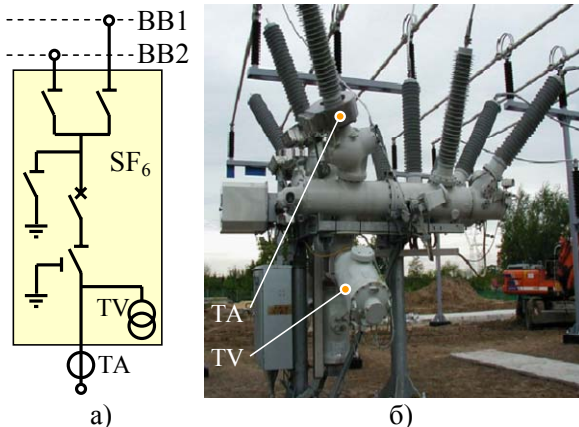


Рис. 4.124. Електрична схема (а) та зовнішній вигляд (б) комутаційного модуля для приєднання ліній до шин

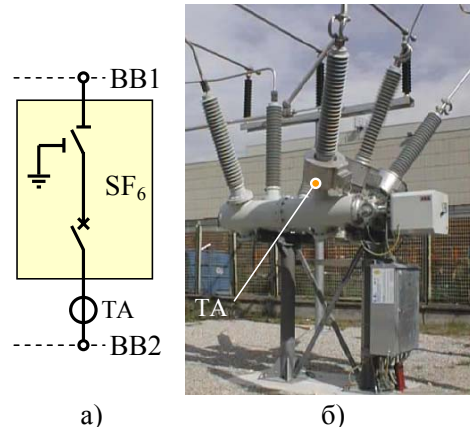


Рис. 4.125. Електрична схема (а) та зовнішній вигляд (б) комутаційного модуля для з'єднання шин



Рис. 4.126. Підстанція 110 кВ, побудована на базі комутаційних модулів системи PASS

Система PASS – це система комутаційних модулів з елегазовою ізоляцією, призначених для підстанцій, шини яких мають повітряну ізоляцію. Гранична номінативна напруга для цієї системи – 170 кВ. Вертикальні розміри розподільних пристроїв підстанцій, побудованих на базі системи PASS, дозволяють розташовувати їх у закритих приміщеннях, що забезпечує підвищення надійності й безперебійності електропостачання. Для того, щоб розташувати у закритому приміщенні розподільний пристрій з більшою номінативною напругою, необхідно, щоб і система шин мала також елегазову ізоляцію. Таке рішення дозволяє будувати розподільні пристрої закритого типу (indoor) з номінативною напругою до 1100 кВ.

На рис. 4.127 зображено розподільний пристрій закритого типу ELK-3 (ABB) підстанції з номінативною напругою 550 кВ та номінативним струмом 6300 А, яка має 73 комутаційних модулі з відмикачами, роз'єднувачами та перемикачами уземлення. Відмикачі цього розподільного пристрою мають здатність до відмикання коротких замикань з очікуваними струмами (rms) до 63 кА.



Рис. 4.127. Розподільний пристрій підстанції 550 кВ з елегазовою ізоляцією

4.4.4. Допоміжне обладнання комплектних пристроїв

Нижче коротко розглянуто деякі пристрої, які не є комутаційними апаратами, але відносяться до допоміжного обладнання комплектних пристроїв, а саме: обмежувачі імпульсних виплесків, трансформатори струму та напруги, шини, шинопроводи, монтажні проводи та кабелі, системи їх порядкування.

Обмежувачі імпульсних виплесків струму та напруги

Обмежувачі імпульсних виплесків (surge arresters – SA) іноді називають обмежувачами перенапруги. Така назва не зовсім коректна, оскільки ці апарати здійснюють обмеження перенапруг тільки імпульсного походження.

Перенапруга (over-voltage, over-tension) – це напруга, значення якої перевищує визначене граничне значення. Для мереж змінного струму граничне значення встановлюється на рівні амплітуди напруги з максимально допустимим середньоквадратичним значенням. Наприклад, для однофазних мереж змінного струму з номінальною напругою 220 В (відповідне значення амплітуди становить $220 \cdot \sqrt{2} \approx 311$ В) з допустимими коливаннями $\pm 10\%$, максимально допустимим середньоквадратичним значенням є $220 \cdot 1,1 = 242$ В. Відповідне значення амплітуди становить $242 \cdot \sqrt{2} \approx 342$ В. Відтак, для даної мережі перенапругою слід вважати будь-яку напругу, яка має пікове значення, що перевищує 342 В.

Перенапруги можуть бути викликані різними причинами – несправностями в мережах низької напруги (обрив робочого нейтрального провідника), процесами, пов'язаними з ударами блискавки або комутаційними процесами. На рис. 4.128 зображені можливі зміни напруги в однофазній мережі змінного струму з номінальною напругою 220 В.

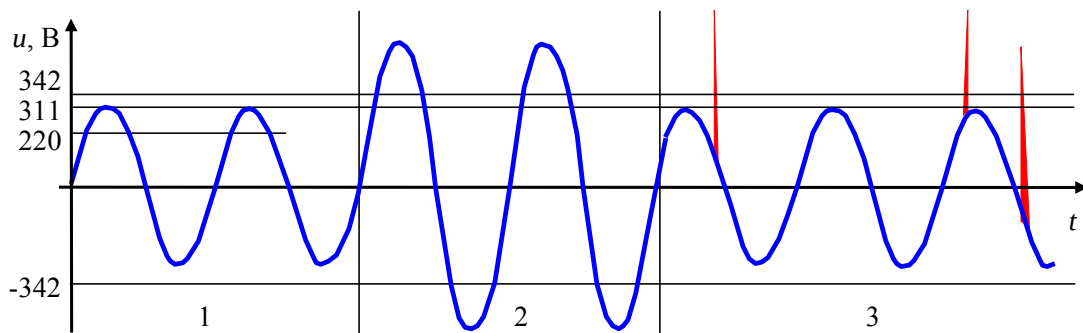


Рис. 4.128. Можливі коливання напруги в однофазній мережі 220 В

Інтервал 1 відповідає нормальним умовам в мережі з напругою на рівні номінального значення. Пікові значення* на цьому інтервалі не доходять до граничної межі 342 В, відтак на цьому інтервалі перенапруг нема.

* IEV визначає пікове значення (peak value) як найбільше значення певної величини на визначеному інтервалі часу, а амплітуду (amplitude) – як пікове значення синусоїдальної величини.

На інтервалі 2, внаслідок несправностей у мережі, пікові значення напруги перевищують граничне значення 342 В, тому на цьому інтервалі спостерігаються перенапруги, які не є небезпечними для ізоляції електроустановок, але при тривалому їх характері можуть викликати небезпечне нагрівання окремих частин й вивести їх з ладу.

На інтервалі 3 відсутні несправності у мережі, але, внаслідок атмосферних (блискавки) або комутаційних процесів, виникають короточасні імпульси (тривалістю менше однієї мілісекунди та з амплітудою у декілька кіловольт). Ці імпульси або імпульсні виплески (surge) можуть бути дуже небезпечними як для ізоляції електроустановок, так і для чутливих електронних пристроїв.

Перенапруги, які виникають внаслідок несправностей у мережах, ліквідують відмиканням навантаги від живлення за допомогою, наприклад, реле напруги, які слідкують за напругою мережі й спрацьовують (з витримкою часу або без неї), коли напруга перевищує певне встановлене значення. Спрацьовуючи, реле подає сигнал на незалежний розчіплювач (shunt release) відмикача, який й відмикає при цьому навантагу від живлення. На імпульси або виплески напруги реле не встигають реагувати, отже захист обладнання від цих імпульсів має здійснюватися за допомогою інших апаратів, а саме пристроїв захисту від виплесків струму або напруги (surge protective devices; SPD) – пристроїв, призначених для обмеження короточасних імпульсних перенапруг та для відведення хвиль струмів. Ці пристрої, що призначені для високовольтних мереж, називають обмежувачами виплесків (surge arrester; SA), у вітчизняній технічній літературі їх називають обмежувачами перенапруг (ОПН). Обмежувач містить один або декілька нелінійних елементів – іскрових проміжків або варисторів (для захисту обладнання у промисловій та побутовій сферах) та двоанодних стабілітронів (переважно для захисту ліній передачі даних).

Варисторні обмежувачі складаються зі з'єднаних послідовно циліндричних або кільцеподібних елементів, які мають зернисту структуру (рис. 4.129), внаслідок чого обмежувачі мають явно виражену нелінійну вольт-амперну характеристику, завдяки якій напруга на терміналах обмежувача за певних умов не перевищує безпечної залишкової напруги (рис. 4.130).

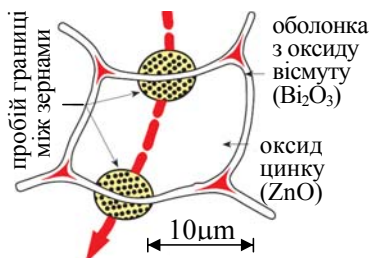


Рис. 4.129. Зерниста структура елементів варисторних обмежувачів імпульсних виплесків

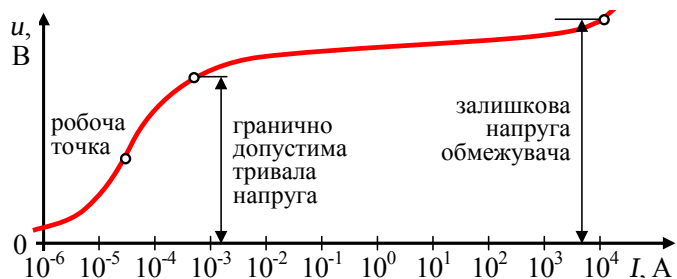


Рис. 4.130. Типова вольт-амперна характеристика варисторного обмежувача імпульсних виплесків

Обмежувачі імпульсних виплесків приєднують паралельно обладнанню, яке має бути захищене. В мережах низьких напруг їх встановлюють у розподільних пристроях, в стаціонарних або мобільних розетках. В мережах середніх та високих напруг ці пристрої встановлюють на лініях електропередачі, а також у розподільних пристроях внутрішнього та зовнішнього встановлення.

На рис. 4.131 зображені деякі пристрої захисту від імпульсних виплесків та приклади їх застосування у мережах низьких, середніх та високих напруг.



Рис. 4.131. Обмежувачі імпульсних виплесків та деякі приклади їх застосування:
а – обмежувач імпульсних виплесків струму (SPD типу I або B) для мереж низької напруги;
б – обмежувач імпульсних виплесків напруги (SPD типу II або C) для мереж низької напруги;
в – мобільний обмежувач для захисту електронних пристроїв; г – обмежувачі імпульсних виплесків в розподільному щитку низької напруги; д – обмежувач імпульсних виплесків напруги (SPD типу III або D) та його монтування в розетці електропроводки; е – обмежувач імпульсних виплесків в комірці розподільного пристрою середньої напруги; є – обмежувачі імпульсних виплесків струму (блискавкозахист) на високовольтній лінії електропередачі;
ж – обмежувачі імпульсних виплесків на гідроелектростанції; з – обмежувачі імпульсних виплесків в складі високовольтної підстанції

Трансформатори струму

Трансформатор струму (current transformer) – це вимірювальний трансформатор*, у якому вторинний струм при нормальних умовах застосування є приблизно пропорційним первинному струму та відрізняється за фазою від нього на кут, який за умови правильного приєднання приблизно дорівнює нулю. Трансформатори струму застосовуються переважно у розподільних пристроях низької, середньої та високої напруги й призначені для передачі інформаційних сигналів вимірювальним пристроям, лічильникам, а також пристроям захисту й керування, тому вони зазвичай мають декілька вторинних обмоток. Первинні обмотки трансформаторів струму включаються у розсічку лінійних провідників. Деякі конструкції цих трансформаторів дозволяють встановлювати їх, не розриваючи лінійні кола.

В найбільш поширеному виконанні трансформатор струму представляє собою одношарову обмотку на тороїдному магнітопроводі, звитому з тонкої стрічки, виготовленої з високоякісної електротехнічної сталі (рис. 4.132).

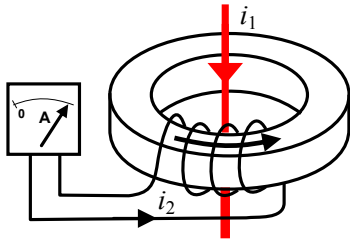


Рис. 4.132. До пояснення принципу дії трансформатора струму

Обмотка на тороїдному магнітопроводі є вторинною обмоткою, а первинною обмоткою може бути шина, пропущена крізь отвір тороїда, або декілька витків, намотаних на тороїді. Якщо через первинну обмотку пропустити змінний струм i_1 , то він створить змінний магнітний потік у магнітопроводі, який наведе ЕРС у вторинній обмотці. Підключення вторинної обмотки до амперметра призведе до її закорочування, оскільки внутрішній опір амперметра близький до нуля. При цьому в обмотці буде текти струм i_2 , приблизно пропорційний струму i_1 :

$$i_2 \approx \frac{w_1}{w_2} \cdot i_1 \approx \frac{1}{k} \cdot i_1^{**}, \quad (4.1)$$

де w_1 , w_2 – відповідно кількість витків первинної та вторинної обмоток; k – теоретичний (ідеальний) коефіцієнт трансформації.

Основними кількісними характеристиками трансформатора струму є номінальний первинний струм (rated primary current), номінальний вторинний струм (rated secondary current), клас точності (accuracy class), а також номінативна напруга (rated voltage).

* Вимірювальні трансформатори (instrument transformer), до яких відносять трансформатори струму та трансформатори напруги (voltage transformer), призначені для зменшення первинних та вторинних струмів й напруг до рівнів, зручних для приєднання до вимірювальних приладів та пристроїв релейного захисту. Вимірювальні трансформатори забезпечують розділення кіл високої та низької напруги, що робить їх відносно безпечними для працюючих.

** Вираз (4.1) застосовується як до миттєвих, так і середньоквадратичних значень струмів.

Номінативний первинний струм I_{1n} слід розглядати як робоче значення тривалого струму у первинній обмотці, а номінативний вторинний струм I_{2n} відповідає значенню струму у вторинному колі при струмі I_{1n} у первинному колі. Струм I_{2n} може тривало текти у вторинному колі.

Клас точності – це узагальнена характеристика трансформатора струму, яка визначає встановлені стандартом ІЕС 60044-1 межі струмової та кутової похибок при визначених умовах роботи трансформатора. Клас точності позначається числом, яке дорівнює граничній струмовій похибці (у процентах) при струмі I_{1n} у первинному колі.

Номінативна напруга трансформатора струму повинна відповідати номінальній напрузі мережі, до якої приєднується первинна обмотка. Цей параметр характеризує ізоляцію в трансформаторі між первинною та вторинною обмотками.

Хоча принцип дії трансформаторів струму не залежить від напруги мереж, де вони застосовуються, але напруга мережі суттєво впливає на вимоги щодо ізоляції обмоток, а відтак й на їх конструкцію. На рис. 4.133 зображені деякі конструкції трансформаторів струму для мереж низької напруги. Як бачимо, більшість конструкцій цих трансформаторів не передбачає наявності первинних обмоток, роль яких виконують шини й кабелі.

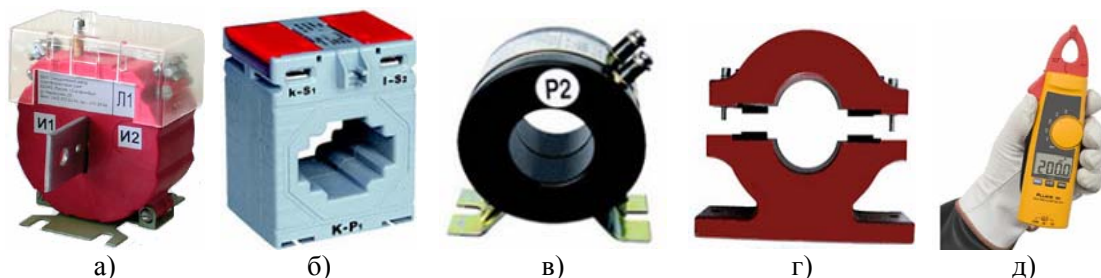


Рис. 4.133. Зовнішній вигляд трансформаторів струму для мереж низької напруги: а – трансформатор струму з первинною обмоткою у вигляді шини та первинною ізоляцією (bar primary type current transformer); б – трансформатор струму без первинного провідника, але з первинною ізоляцією, призначений для встановлення на неізольовану шину (bus type current transformer); в – трансформатор струму без первинного провідника та без первинної ізоляції, призначений для встановлення на ізольований кабель (cable type current transformer); г – трансформатор струму з рознімним сердечником, призначений для встановлення на ізольований кабель (split core type current transformer); д – мобільний трансформатор струму з рознімним сердечником (вимірювальні кліщі)

Трансформатори струму для мереж середніх та високих напруг зазвичай мають первинні обмотки з терміналами для приєднання зовнішніх шин або провідників. Фото деяких трансформаторів струму для мереж середніх напруг зображені на рис. 4.134. Незважаючи на суттєві відмінності конструкцій трансформаторів для внутрішнього та зовнішнього встановлення, їх слід віднести до опорних трансформаторів (support type current transformer), оскільки вони підтримують провідники первинних кіл.

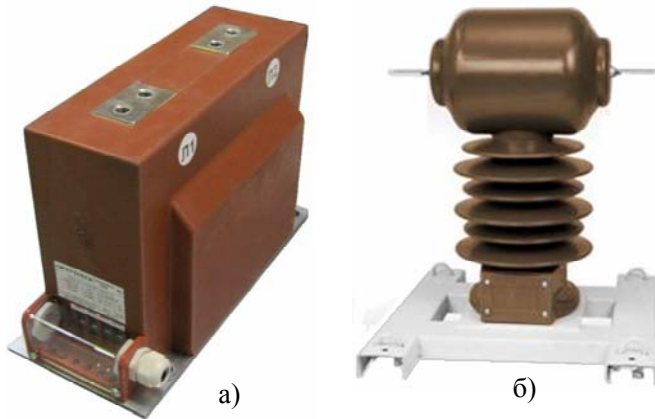


Рис. 4.134. Трансформатори струму для мереж середніх напруг:
а – внутрішнього встановлення;
б – зовнішнього встановлення

Трансформатори струму для мереж високих напруг – це апарати зовнішнього встановлення, які представляють собою герметичний, заповнений трансформаторним маслом або елегазом металевий бак, всередині якого змонтований сердечник трансформатора з первинною та вторинними обмотками (рис. 4.135). Бак встановлено на закріпленому на металевій основі прохідному ізоляторі, через який проходять виводи вторинної обмотки. Термінали первинної обмотки виведені на поверхню баку, а термінали вторинних обмоток розташовані в окремому боксі закріпленому на основі трансформатора.

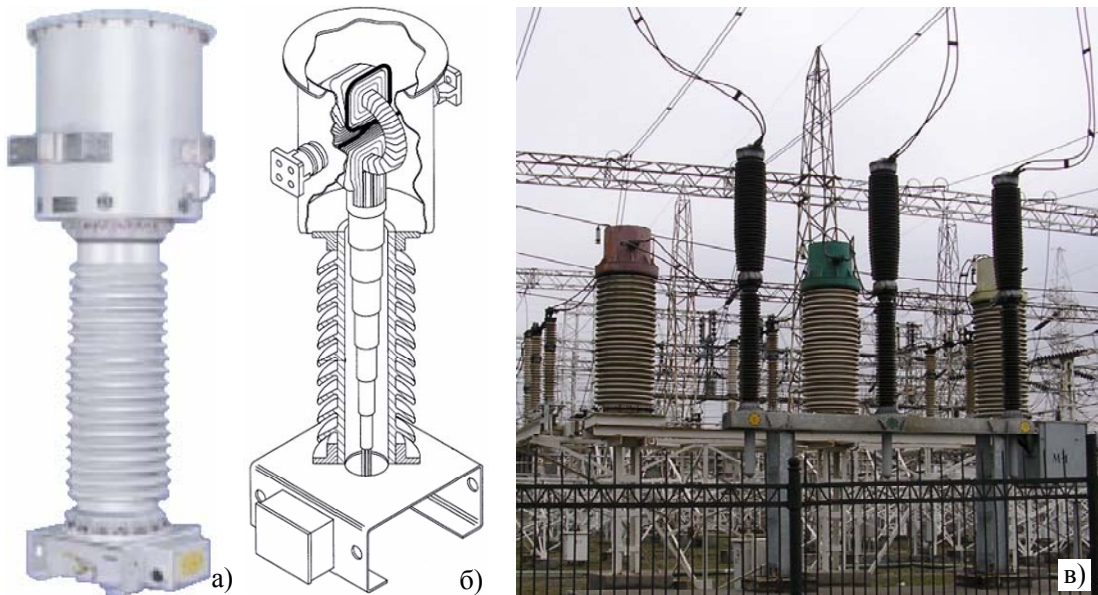


Рис. 4.135. Трансформатори струму для мереж високої напруги:
а – зовнішній вигляд; б – розріз; в – фрагмент високовольтної підстанції (ДНІПРОГЕС) – на передньому плані – триполюсний елегазовий відмикач, за ним – трансформатори струму

У деяких випадках, зокрема в комутаційних модулях з елегазовою ізоляцією застосовують трансформатори струму, змонтовані на прохідних ізоляторах (див. рис. 4.124, 4.125), а роль первинної обмотки виконує увідний провідник, що проходить крізь ізолятор (bushing type current transformer).

Трансформатори напруги

Трансформатор напруги (voltage transformer) – це вимірювальний трансформатор, у якому вторинна напруга у нормальних умовах застосування є приблизно пропорційною первинній напрузі та відрізняється за фазою від неї на кут, який за умови правильного приєднання приблизно дорівнює нулю. Трансформатори напруги застосовуються у розподільних пристроях середньої та високої напруги й призначені для передачі інформаційних сигналів вимірювальним пристроям, лічильникам, а також пристроям захисту й керування, тому вони, як і трансформатори струму, мають декілька вторинних обмоток. Трансформатори напруги зазвичай є однофазними і застосовуються у розподільних пристроях комплектами з трьох трансформаторів, кожний з яких має тільки одну первинну обмотку з великою кількістю витків, набагато більшою, ніж кількість витків вторинних обмоток. В одних конструкціях первинна обмотка може бути повністю ізольована від системи уземлення (unearthed voltage transformer), відповідно кінці первинної обмотки приєднуються до двох лінійних провідників через два первинних термінали, розташованих в верхніх частинах прохідних ізоляторів. В інших конструкціях трансформатор має лише один первинний термінал, до якого приєднується один кінець первинної обмотки, призначений для приєднання до лінійного провідника, а другий кінець приєднується до металевої основи, яка з'єднана з системою уземлення (earthed voltage transformer).

Фото деяких трансформаторів напруги для мереж середніх напруг зображені на рис. 4.136.

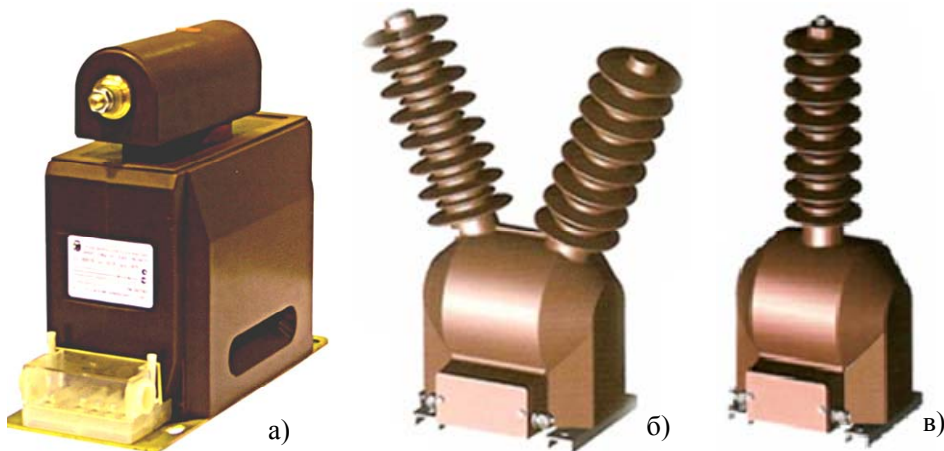


Рис. 4.136. Трансформатори напруги для мереж середніх напруг:
а – внутрішнього встановлення; б – зовнішнього встановлення з двома первинними терміналами; в – зовнішнього встановлення з одним первинним терміналом

Трансформатори напруги для мереж високих напруг – це апарати зовнішнього встановлення, які представляють собою герметичний, заповнений трансформаторним маслом або елегазом металевий бак на металевій

основі, яка з'єднана з системою уземлення. Всередині баку змонтований сердечник трансформатора з первинною та вторинними обмотками. Ці трансформатори зазвичай мають один первинний термінал, який знаходиться на верхній частині прохідного ізолятора, прикріпленого до верхньої частини баку. Термінали вторинних обмоток розташовані в окремому боксі закріпленому на основі трансформатора (рис. 4.137).

Трансформатори, побудовані за такою схемою, застосовуються у мережах з номінальною напругою до 230 кВ. При більш високих номінальних напругах застосовуються каскадні трансформатори напруги (cascade voltage transformer) та ємнісні трансформатори напруги (capacitor voltage transformer).

В каскадному трансформаторі первинна обмотка поділена на секції, розташовані на різних магнітопроводах, а потужність знімається з вторинної обмотки, яка розташована на магнітопроводі з секцією первинної обмотки з потенціалом найближчим до землі.

В ємнісному трансформаторі напруги на первинну обмотку напруга подається з ємнісного подільника.

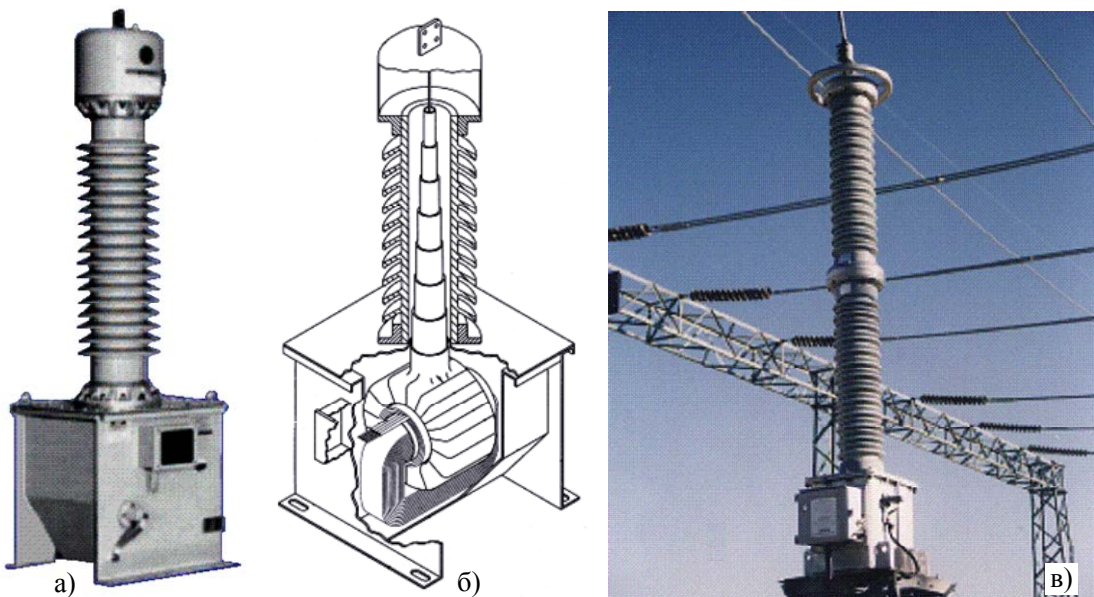


Рис. 4.137. Трансформатори напруги для мереж високої напруги:
а – зовнішній вигляд; б – розріз; в – фрагмент високовольтної підстанції –
на передньому плані – ємнісний трансформатор напруги

Основними кількісними характеристиками трансформатора напруги є номінативна первинна напруга (rated primary voltage), номінативна вторинна напруга (rated secondary voltage), а також клас точності (accuracy class), який визначає встановлені стандартом IEC 60044-2 межі похибки напруги та кутової похибки при визначених умовах роботи трансформатора.

Шини та системи збірних секційних шинопроводів

Шина (bar) – це жорсткий циліндричний провідник, що має або не має ізоляційного покриття й довжина якого є більшою порівняно з розмірами поперечного перетину. Поперечний перетин шини може бути будь-якої форми, але термін «шина» зазвичай застосовують до провідників прямокутного поперечного перетину та не застосовують для вузьких штаб або стрічок. Мідні шини (рис. 4.138-а) виготовляють з електротехнічної міді марки М1 ($\rho_{20} \leq 1,78 \cdot 10^{-8}$ Ом·м), вони мають прямокутний поперечний перетин з меншою стороною 4 ... 30 мм та більшою стороною 16 ... 120 мм (ГОСТ 434-78). Алюмінієві шини (рис. 4.138-б) виготовляють з твердих алюмінієвих стопів АД0, А5, А6 ($\rho_{20} \leq 2,90 \cdot 10^{-8}$ Ом·м) та АД31, АД31Т ($\rho_{20} \leq 2,90 \cdot 10^{-8}$ Ом·м). Розміри алюмінієвих шин: (3 ... 8) мм × (10 ... 100) мм.

Збірною шиною (busbar) називають низькоімпедансний провідник, до якого можна приєднати декілька електричних кіл у різних точках. Збірна шина зазвичай складається з декількох з'єднаних між собою шин. Збірні шини у сучасних розподільних пристроях застосовуються не тільки для проведення електричного струму й приєднання зовнішніх електричних кіл, а й для монтування на них електричних апаратів (рис. 4.139 та 4.116).

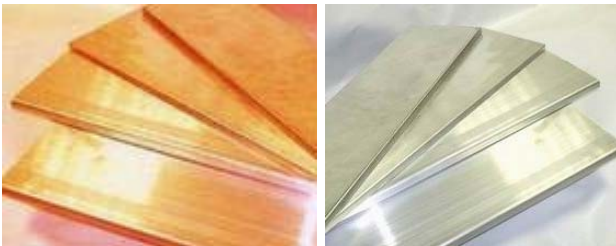


Рис. 4.138. Шини:
а – мідні; б – алюмінієві



Рис. 4.139. Збірні шини як засіб
монтування комутаційних апаратів

Система збірних розподільних шинопроводів (busbar trunking system (busway; busbar distribution system) – це провідникова система, яка складається з ізольованих одна від одної шин або ізольованих дротів, стиснених ізоляційними прокладками, й розташованих всередині металевої коробчастої або подібної оболонки. Система складається з таких частин:

- лінійних модулів з відгалужувальними засобами або без них;
- модулів транспозиції фаз, розширення, згину (гнучкі модулі), приєднання до живлення, пристроїв сполучення;
- модулів відгалуження, засобів кріплення та інших аксесуарів.

Лінійні модулі зазвичай мають довжину 3000 мм й можуть мати віконця для приєднання відгалужувальних модулів. Відстань між віконцями – 750 мм. Між собою лінійні модулі з'єднуються за допомогою втичних з'єднувачів. При номінальних струмах понад 400 А контакти фіксуються за допомогою спеціальних болтів, які зменшують їх перехідний опір.

Приклади застосування збірних шинопроводів показані на рис. 4.140.



Рис. 4.140. Приклади застосування систем збірних розподільних шинопроводів

Основними характеристиками систем збірних шинопроводів є номінативна робоча напруга (rated operational voltage, U_e), номінальний струм (rated current; I_n), а також деякі характеристики в умовах короткого замикання. Значення U_e шинопроводів, представлених на актуальному ринку, становить 1000 В, а значення I_n – 25 ... 1000 А.

Як приклад, на рис. 4.141 показані складові системи збірного розподільного шинопроводу з номінативним струмом до 63 А.

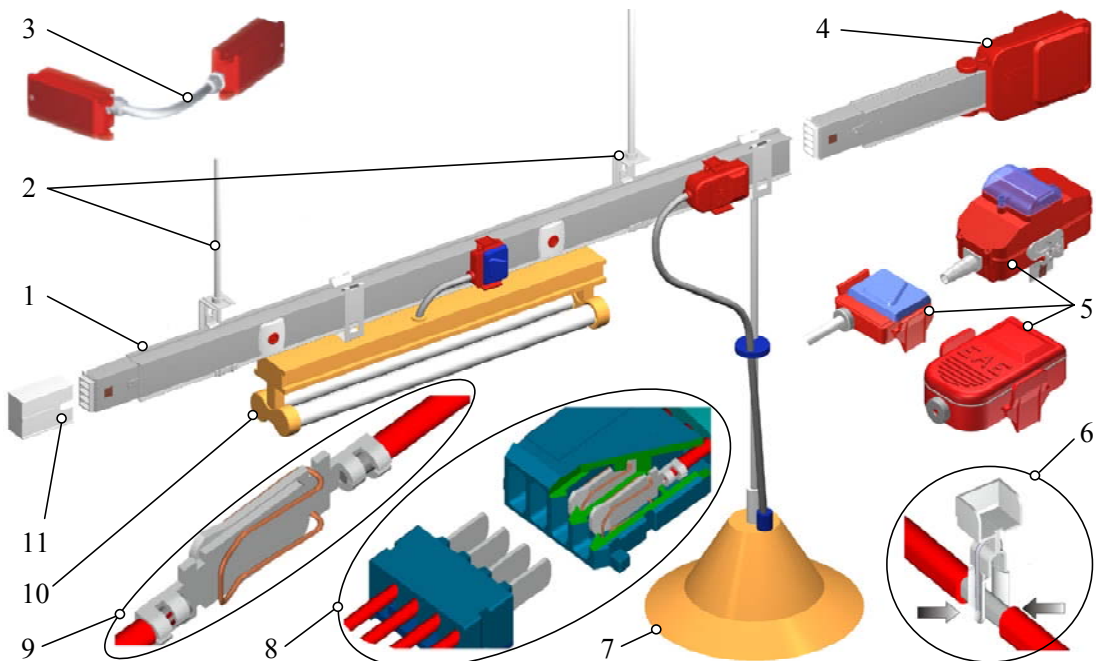


Рис. 4.141. Складові збірного розподільного шинопроводу для системи освітлення:
1 – лінійний модуль; 2 – пристрої кріплення до стелі; 3 – гнучкий модуль; 4 – фідерний модуль (приєднання до живлення, утворення гнучких модулів); 5 – відгалужувальні модулі; 6 – схема утворення контакту між лінійною секцією та відгалужувальним модулем; 7 – світильник з лампою розжарювання (incandescent (electric) lamp); 8 – схема з'єднання лінійних модулів; 9 – схема утворення контакту між лінійними модулями (втичний контакт); 10 – світильник з газорозрядною лампою (discharge lamp); 11 – заглушка

Монтажні проводи та кабелі

Провід або дріт (wire) – це гнучкий циліндричний провідник з ізоляційним покриттям або без нього, довжина якого є більшою порівняно з розмірами поперечного перетину. В колах керування потужних комутаційних апаратів та розподільних пристроїв зазвичай застосовують багатожильні (скручені) провідники (stranded conductor), тобто провідники, що складаються з декількох дротів, всі або деякі з яких скручені у спіраль. IEC визначає також поняття жили (strand) як одного з дротів багатожильного (скрученого) провідника (рис. 4.142).

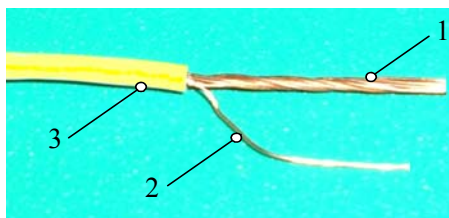


Рис. 4.142. Ізольований багатожильний провід та його складові: 1 – скручений провідник; 2 – жила; 3 – ізоляція провідника

Для електропроводок застосовують зазвичай мідні або алюмінієві одножильні проводи з полівінілхлоридною ізоляцією марок ПВ1, АПВ, ППВ та АППВ (літера А у першій позиції позначає, що матеріалом провідника є алюміній). Проводи ППВ та АППВ – це пласке поєднання двох або трьох проводів (рис. 4.143). Вони мають поперечний перетин від $0,75 \text{ мм}^2$ до $6,0 \text{ мм}^2$. Проводи ПВ1 мають поперечний перетин від $0,5 \text{ мм}^2$ до 95 мм^2 , а проводи АПВ – від $2,5 \text{ мм}^2$ до 120 мм^2 . Вони застосовуються не тільки для електропроводок, а й при монтуванні електрообладнання, у тому числі розподільних пристроїв.

Найбільш поширеними монтажними проводами є багатожильні проводи марок ПВ3, МГШВ та МГТФ (рис. 4.144). Проводи ПВ3 та МГШВ мають полівінілхлоридну ізоляцію (жили МГШВ – луджені, провід має обплетення з поліефірної нитки). Провід МГТФ – термостійкий, має фторопластову ізоляцію.



Рис. 4.143. Проводи АПВ та АППВ

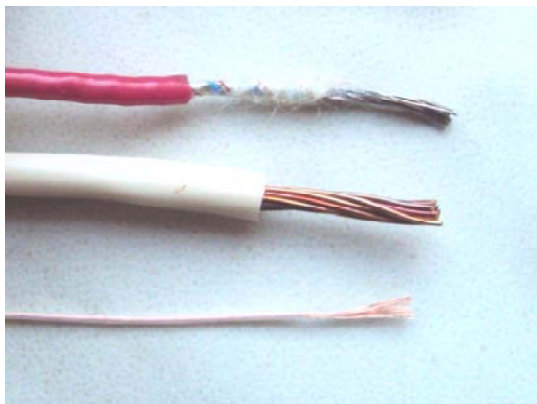


Рис. 4.144. Проводи МГШВ, ПВ3 та МГТФ

Кабель (cable) – це комплект з одного чи декількох провідників та/або оптоволокон із захисним покриттям та, можливо, заповнений ізоляційним та захисним матеріалом. Конструкція силових кабелів представлена на рис. 4.145.

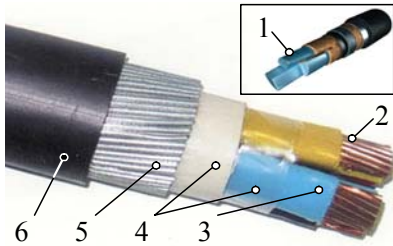
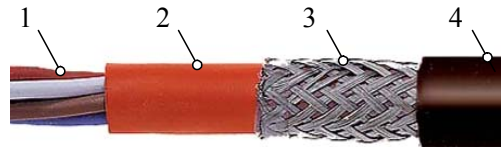


Рис. 4.145. Силові кабелі для трифазних кіл, що складаються з трьох, чотирьох чи п'яти одножильних (1) або скручених, ізованих один від одного багато-жильних (2) провідників; крім власної (робочої) ізоляції (3) скручених провідників кабель має декілька шарів внутрішньої ізоляції (4), захисну броню із сталевих провідників (5) або сталеву стрічку, а також зовнішню ізоляцію (6)

Інформаційні кабелі (control cables) складаються з декількох багато-жильних мідних, зазвичай луджених провідників. Екранований кабель (рис. 4.146) застосовують, коли виникає проблема електромагнітної сумісності (electromagnetic compatibility; EMC), а саме, коли електромагнітні поля, що виникають у різних технологічних процесах, можуть втрутитись у передачу сигналу.

Рис. 4.146. Інформаційний екранований кабель:
1 – провідники з основною (робочою) ізоляцією;
2 – спільна для всіх провідників внутрішня ізоляція; 3 – екран, сплетений з лудженої мідної проволоки; 4 – зовнішня ізоляційна оболонка



Для приєднання низьковольтного обладнання до мереж живлення за допомогою промислових чи побутових з'єднувачів дуже часто застосовують кабелі ПВС з полівінілхлоридною ізоляцією та оболонкою (рис. 4.147).

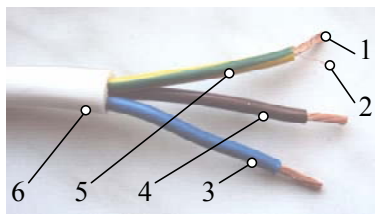


Рис. 4.147. Кабель ПВС для однофазної навантаги:
1 – скручений багатожильний провідник; 2 – жила;
3 – ізоляція N-провідника (синього або блакитного кольору);
4 – ізоляція L-провідника (будь-якого кольору крім синього, блакитного, жовтого або зеленого); 5 – ізоляція PE-провідника (жовто-зеленого кольору);
6 – зовнішня ізоляція

Для передачі й розподілення електроенергії в мережах до 660 В, 50 Гц при температурі навколишнього повітря від -50°C до $+50^{\circ}\text{C}$ застосовуються кабелі ВВГ та АВВГ (рис. 4.148).

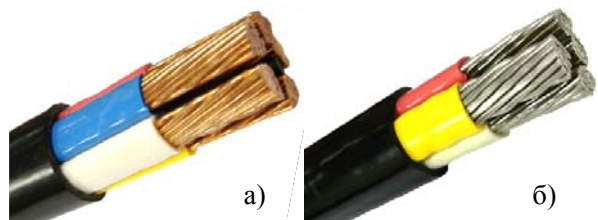


Рис. 4.148. Силові кабелі ВВГ (а) та АВВГ (б)

Силові кабелі з гумовою ізоляцією для мереж до 660 В, 50 Гц типу ВРГ та АВРГ (рис. 4.149) мають підвищену стійкість до коротких замикань, а також до умов тропічного клімату.

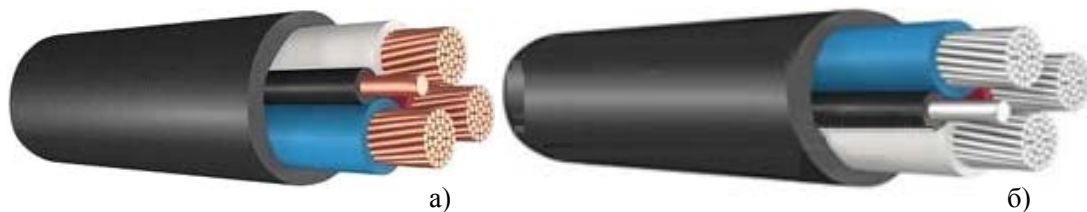


Рис. 4.149. Силові кабелі ВРГ (а) та АВРГ (б)

Самонесні ізольовані проводи (СІП)

СІП (LV aerial bundled cables) – це скручені у джгут ізольовані багато-жильні провідники з ізоляцією зі світлостабілізованого поліетилену. Серед різних варіантів СІП, найбільш розповсюдженою є конструкція, яка складається з чотирьох ізольованих провідників однакового перетину (рис. 4.150-а). На ізоляції провідників наноситься кольорове або цифрове маркування, яке дає можливість чітко розрізняти окремі провідники у джгуті. Приєднання відгалужувальних провідників до джгута здійснюється за допомогою спеціальних пірсингових затисків (рис. 4.150-б). Для виконання приєднання треба в один отвір затиску вставити необхідний провідник з джгута, а у інший – відгалужувальний провідник, після чого затягнути з визначеним моментом гвинт й підтягнути контргайку. Пірсинговий елемент у затиску проколює ізоляцію та приєднує провідник з джгута до відгалужувального провідника. СІП з приєднаним відгалужувальним провідником зображено на рис. 4.150-в.

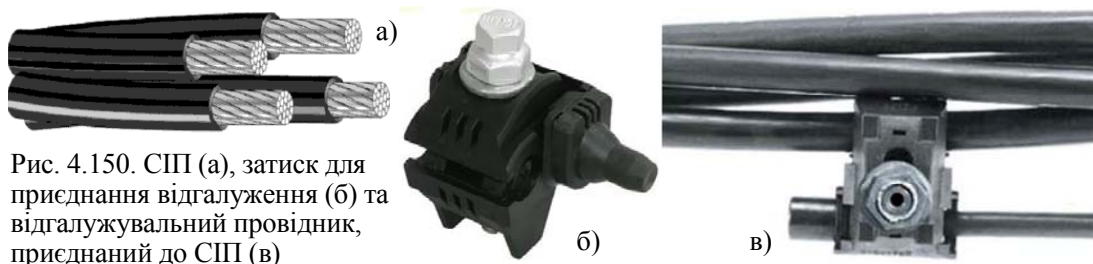


Рис. 4.150. СІП (а), затиск для приєднання відгалуження (б) та відгалужувальний провідник, приєднаний до СІП (в)

Серед основних переваг СІП перед лініями з неізольованими провідниками, які й досі є дуже поширеними, слід назвати такі.

1. Висока надійність електропостачання споживачів, зокрема за рахунок відсутності зледеніння поліетиленової ізоляції, обривів проводів, майже повної відсутності виникнення коротких замикань між лінійними провідниками тощо, а відтак різке зниження (до 80%) експлуатаційних витрат.

2. Різке зменшення витрат на монтування за рахунок застосування більш вузьких просік та витрат на їх розчистку в лісовій місцевості, можливості монтування ліній на фасадах будівель, відсутності ізоляторів тощо.

3. Можливість застосування одних опор для ліній середньої та низької напруги, або для ліній низької напруги та телефонних ліній.
4. Простота монтажних робіт, можливість приєднання нових абонентів під напругою, скорочення термінів монтування й ремонтів.
5. Майже повне виключення несанкціонованих приєднань до ліній.
6. Покращення загальної естетики у міських умовах.
7. Значне зниження випадків ураження електричним струмом при монтуванні, ремонті й експлуатації лінії.

Системи порядкування кабелів

Системи порядкування кабелів (cable management systems) – це вироби або опоряджувальні засоби для кабелів (cable management) – засоби захисту та підтримки кабелів, які складають певні системи й охоплюють:

- системи жорстких кабельних труб (rigid conduit) та фітінгів (conduit fitting) з металевих, неметалевих та композитних матеріалів;
- системи гнучких та пластичних кабельних труб та арматуру з металевих, неметалевих та композитних матеріалів;
- системи вкладних та втяжних кабельних коробів з металевих, неметалевих та композитних матеріалів;
- системи опор кабельних каналів, піддонів та драбин з металевих, неметалевих та композитних матеріалів.

До опоряджувальних засобів для кабелів також відносять методи розміщення та правила монтування вищезгаданих виробів.

Жорсткі металеві кабельні труби та фітінги (рис. 4.151-а) застосовують при прокладанні кабельних трас в умовах агресивного середовища (металургійне та хімічне виробництво, морські судна, нафтові платформи тощо). Жорсткі труби й арматуру з неметалевих матеріалів (рис. 4.151-б) застосовують при прокладанні кабельних трас в пожежонебезпечних приміщеннях. Гнучкі та пластичні кабельні труби (flexible conduit, pliable conduit) й арматуру з металевих, неметалевих та композитних матеріалів (рис. 4.152) застосовують, переважно, для механічного захисту проводів та кабелів у тимчасових кабельних трасах.



а)



б)

Рис. 4.151. Жорсткі кабельні труби та арматура:

а – з металевих матеріалів; б – з неметалевих (полівінілхлорид) матеріалів

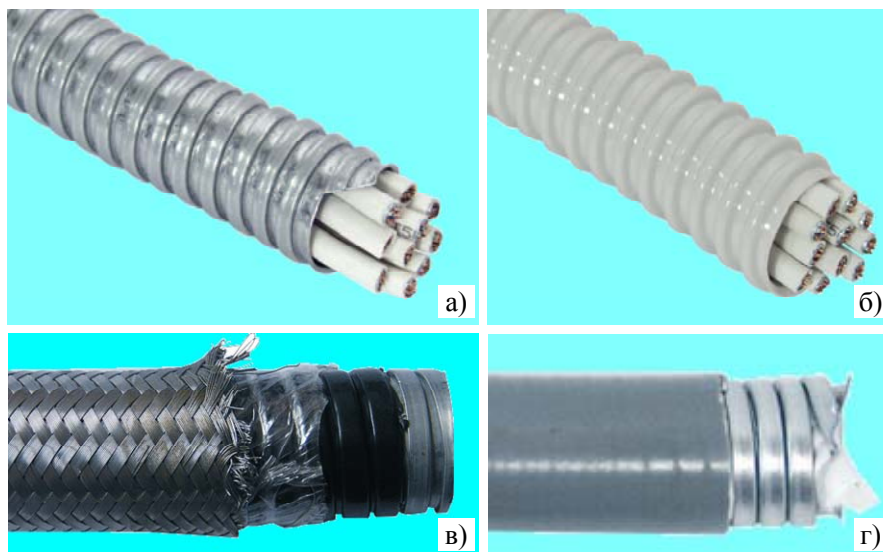


Рис. 4.152. Гнучкі гофровані кабельні труби:

а – металева; б – неметалева (полівінілхлоридна); в – композитна (металева гофрована труба із скловолокновим обплетенням; г – композитна (металева гофрована труба з полівінілхлоридною оболонкою)



На відміну від гнучкої кабельної труби пластикна кабельна труба після її згинання зберігає надану їй форму (рис. 4.153) й не призначена для частого згинання.

Рис. 4.153. Пластична композитна кабельна труба з металевими фітингами

В житлових, офісних та аналогічних приміщеннях електропроводка з естетичних міркувань зазвичай виконується проводами ППВ та АППВ, після чого закривається штукатуркою. Заміна або змінення електропроводки при такій технології викликає необхідність порушення штукатурки й декоративних елементів (шпалери, пластикові панелі тощо). Системи вкладних кабельних коробів (cable trunking system) дозволяють швидко, та у певній мірі не порушуючи естетики приміщення, замінювати й змінювати схему електропроводки. Частинами таких систем є секції, з'єднувачі секцій, кріпильні пристрої, пристрої для монтування апаратів (розеток, вимикачів тощо), інші аксесуари. Основою такої системи є секція (trunking length), яка зазвичай виготовляється з високоякісного пластику і складається з основи та відокремлюваної кришки (рис. 4.154).

Системи втяжних кабельних коробів (cable ducting system) складаються з аналогічних до вкладних систем елементів: секції, з'єднувачі, кріпильні пристрої тощо, але, на відміну від вкладних систем, ці елементи виготов-

ляють переважно з металу, хоча існують й пластикові втяжні системи. Оскільки втяжні системи монтують під підлогою приміщення в процесі будівництва, дуже важливими елементами втяжних систем є люки доступу (floor access unit), через які втягуються проводи та кабелі (рис. 4.155).

Рис. 4.154. Секція (trunking length) пластикової системи вкладних кабельних коробів:
1 – основа (base), яка зазвичай кріпиться на поверхні стіни; 2 – відокремлювана кришка (removable cover)

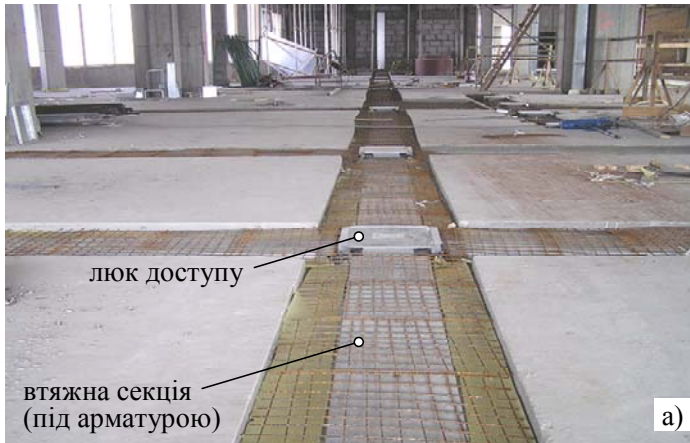
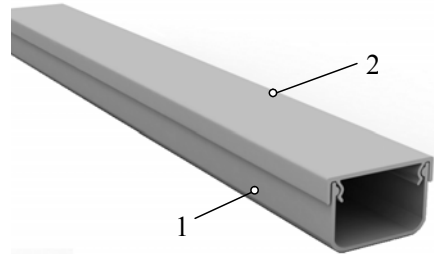


Рис. 4.155. Система втяжних кабельних коробів під час проведення будівельних робіт (а) та її секція (б)

Для підтримки відкритих кабельних систем в будівлях промислових підприємств, а також підприємств енергетики й транспорту широко застосовуються кабельні лотки (cable tray), тобто кабельні опори у вигляді довгої основи з кромками. Основні різновиди кабельних лотків показані на рис. 4.156.



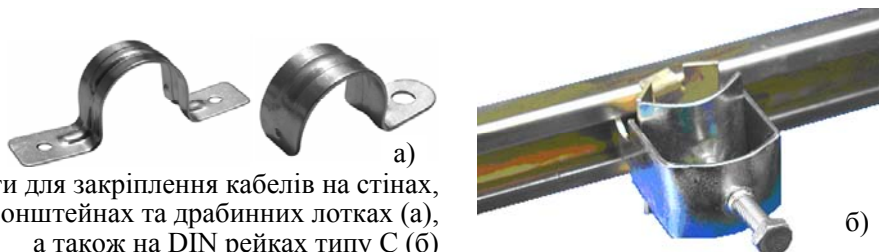
Рис. 4.156. Кабельні лотки: а – перфорований, б – драбиноподібний, в – дротяний (решітчастий), г – неперфорований (суцільний)

Для монтування кабельних лотків застосовують спеціальні аксесуари – стійки, кронштейни, кріплення тощо (рис. 4.157), а для закріплення кабелів у лотках та інших конструкціях – спеціальні хомути (рис. 4.158).

Рис. 4.157. Кронштейн для монтування кабельних лотків (а) та кабельний лоток, змонтований за допомогою стійки, кронштейна та стінового кріплення (б)



Рис. 4.158. Хомути для закріплення кабелів на стінах, кронштейнах та драбинних лотках (а), а також на DIN рейках типу С (б)



Кабелі та ізольовані провідники виходять з ладу, якщо їх згинати з відносно малим радіусом – відносно безпечним радіусом згинання вважають радіус, який дорівнює п'яти або десяти діаметрам провідника (кабелю). Для запобігання згинанню провідників при переході їх з вертикальних до горизонтальних лотків застосовують спеціальні кутові прокладки (рис. 4.159).



Рис. 4.159. Кутові прокладки, змонтовані на решітчастих кабельних лотках

Джгути з ізольованих провідників для виконання з'єднань в електрообладнанні здійснюють за допомогою пластикових аксесуарів – хомутів (рис. 4.160-а), спіралей (рис. 4.160-б) або гребінчастих коробів (рис. 4.160-в).



Рис. 4.160. Сучасні засоби формування джгутів монтажних провідників: а – пластиковий хомут; б – прозорі поліетиленові спіралі; в – гребінчастий (перфорований) вкладний короб

Деякі приклади опоряджувальних систем для прокладання кабельних трас показані на рис. 4.161 та 4.162.

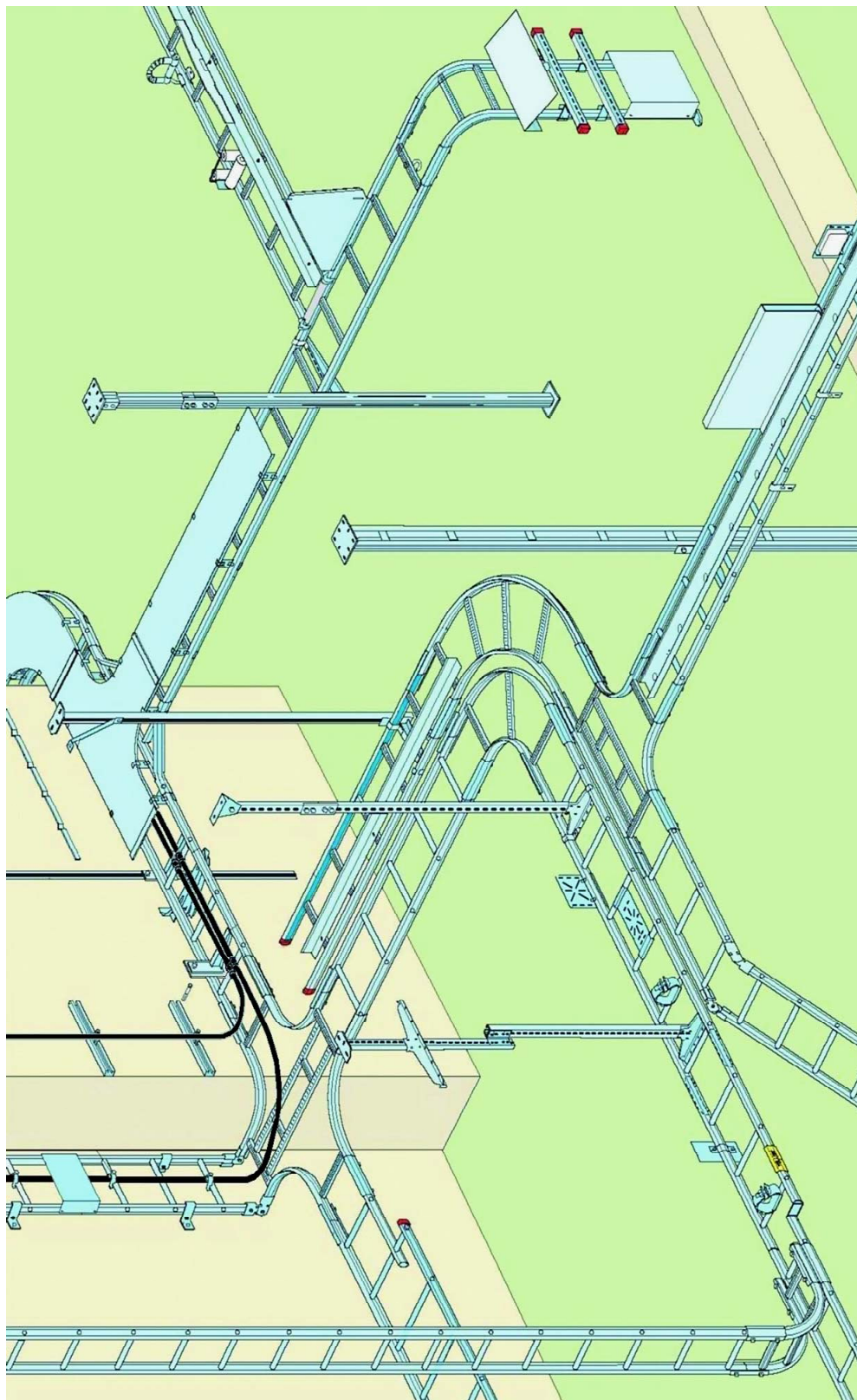


Рис. 4.161. Приклади опоряджувальних систем драбинного типу
для прокладання кабельних трас

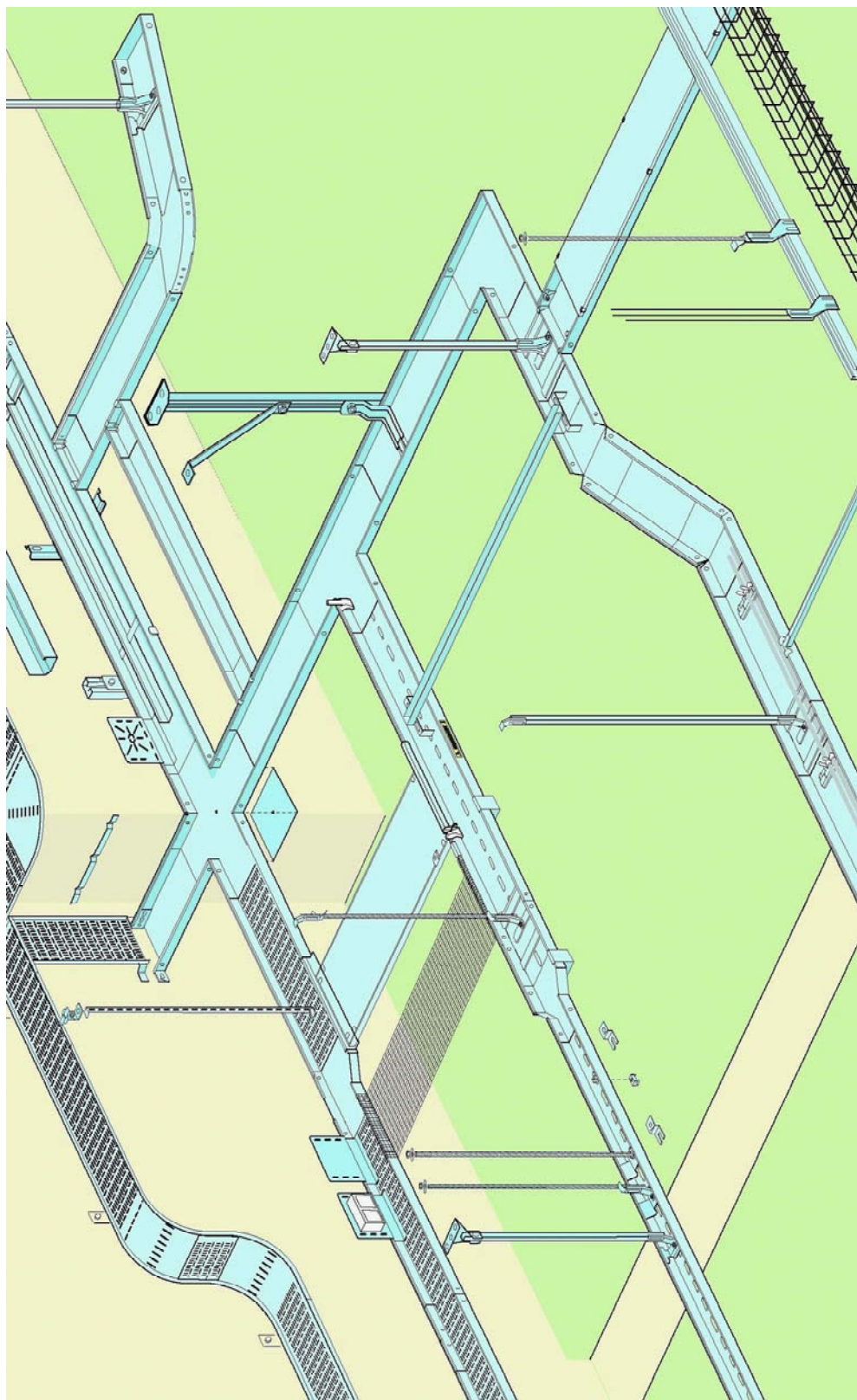


Рис. 4.162. Приклад опоряджувальної системи для прокладання кабельних трас з кабельними лотками різних типів

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ISO/IEC Directives. Supplement – Procedures specific to IEC: Second edition, 2004. – 62 p.
2. IEC 60050-101: 1998. International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 101: Mathematics. – 64 p.
3. IEC 60050-121: 1998. IEV – Chapter 121: Electromagnetism. – 109 p.
4. IEC 60050-131: 2002. IEV – Chapter 131: Circuit theory. – 141 p.
5. IEC 60050-151: 2001. IEV – Chapter 151: Electrical and magnetic devices. – 103 p.
6. IEC 60050-161: 1990, IEV – Chapter 161: Electromagnetic compatibility. – 58 p.
7. IEC 60050-191: 1985, IEV – Chapter 191: Dependability and quality of service – 147 p.
8. IEC 60050-195: 1998, IEV – Chapter 195: Earthing and protection against electric shock. – 57 p.
9. IEC 60050-321: 1986, IEV – Chapter 321: Instrument transformers. – 22 p.
10. IEC 60050-394: 1998. IEV – Chapter 394: Nuclear instrumentation: Instruments. – 147 p.
11. IEC 60050-411: 1996. IEV – Chapter 411: Rotating machinery. – 140 p.
12. IEC 60050-441: 1984, IEV – Chapter 441: Switchgear, controlgear and fuses.– 118 p.
13. IEC 60050-442: 1998. IEV – Chapter 442: Electrical accessories.– 96 p.
14. IEC 60050-444: 2002. IEV – Chapter 444: Elementary relays. – 47 p.
15. IEC 60050-445: 2002. IEV – Chapter 445: Specified time all-or-nothing relays. – 21 p.
16. IEC 60050-446: 2002. IEV – Chapter 446: Electrical relays. – 34 p.
17. IEC 60050-461: 1984, IEV – Chapter 461: Electric cables. – 64 p.
18. IEC 60050-581: 1998, IEV – Chapter 581: Electromechanical components for electronic equipment. – 76 p.
19. IEC 60050-601: 1985. IEV – Chapter 601: Generation, transmission and distribution of electricity: General. – 20 p.
20. IEC 60050-604: 1985. IEV – Chapter 604: Generation, transmission and distribution of electricity: Operation. – 43 p.
21. IEC 60050-605: 1983. IEV – Chapter 605: Generation, transmission and distribution of electricity: Substations. – 21 p.
22. IEC 60050-811: 1982. IEV – Chapter 811: Electric traction. – 167 p.
23. IEC 60050-845: 1987. IEV – Chapter 845: Lighting. – 292 p.
24. IEC 60050-826: 2004. IEV – Chapter 826: Electrical installations.– 72 p.
25. IEC 60027-1: Sixth edition, 1992. Corrected and reprinted 1995-03-31. Letter symbols to be used in electrical technology . Part 1: General. – 115 p.
26. IEC 60038: Ed. 6.2, 2002-07. IEC standard voltages. – 21 p.
27. IEC 60044-1: Ed. 1.2, 2003-02. Instruments transformers. Part 1: Current transformers. – 118 p.
28. IEC 60044-2: Ed. 1.2, 2003-02. Instruments transformers. Part 2: Inductive voltage transformers. – 99 p.
29. IEC 60073: Sixth edition, 2002-05. Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification – Coding principles for indicators and actuators. – 62 p.
30. IEC 60112: Fourth edition, 2003-01. Method for the determination of the proof and the comparative tracking indices of solid insulating materials. – 42 p.
31. IEC 60269-1: Ed. 3.1, 2005-04. Low-voltage fuses – Part 1: General requirements. – 162 p.
32. IEC 60269-4: Third edition, 1986. Low-voltage fuses – Part 4: Supplementary requirements for fuse-links for the protection of semiconductor devices. – 54 p.
33. IEC 60282-1: Ed. 7.0, 2009-10. High-voltage fuses – Part 1: Current-limiting fuses. – 120 p.
34. IEC 60309-1: Edition 4.1, 2005-12. Plugs, socket-outlets and couplers for industrial purposes – Part 1: General requirements. – 184 p.
35. IEC 60320-1: Ed. 2.1, 2007-11. Appliance couplers for household and similar general purposes – Part 1: General requirements. – 225 p.
36. IEC 60364-1: Fourth edition, 2001-08. Electrical installations of buildings – Part 1: Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions. – 42 p.
37. IEC 60417: 2006-07. Graphical symbols for use on equipment. – Database Snapshot. – 228 p.
38. IEC 60439-1: Ed. 4.1, 2004-04. Low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Part 1: Type-tested and partially type-tested assemblies. – 204 p.

39. IEC 60449: First edition, 1973. Voltage bands for electrical installations of buildings. – 12 p.; Amendment 1: 1979-05. – 4 p.
40. IEC TS 60479-1: Fourth edition, 2005-07. Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects. – 126 p.
41. IEC 60529: Ed. 2.1, 2001-02. Degrees of protection provided by enclosures (IP Code). – 50 p.
42. IEC 60617-DB: 2007-01. Graphical symbols for diagrams. – 2432 p.
43. IEC 60664-1: Second edition, 2007-04. Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests. – 148 p.
44. IEC 60669-1: Ed. 4.1, 2007-04. Switches for household and similar fixed electrical installations – Part 1: General requirements. – 97 p.
45. IEC 60694: Ed. 2.2, 2002-01. Common specifications for high-voltage switchgear and controlgear standards. – 224 p.
46. IEC 60898-1: Ed. 1.2, 2003-07. Electrical accessories – Circuit-breakers for overcurrent protection for household and similar installations – Part 1: Circuit-breakers for a.c. operation. – 282 p.
47. IEC 60898-2: Ed. 1.1, 2003-07. Electrical accessories – Circuit-breakers for overcurrent protection for household and similar installations – Part 1: Circuit-breakers for a.c. and d.c. operation. – 46 p.
48. IEC 60947-1: Fourth edition 2004-03. Low-voltage switchgear and controlgear – Part 1: General rules. – 184 p.
49. IEC 60947-2: Third edition, 2003-04. Low-voltage switchgear and controlgear – Part 2: Circuit-breakers. – 220 p.
50. IEC 60947-3: Ed. 2.1, 2001-05. Low-voltage switchgear and controlgear – Part 3: Switches, disconnectors, switch-disconnectors and fuse-combination units. – 112 p.
51. IEC 60947-5-1: Third edition, 2003-11. Low-voltage switchgear and controlgear – Part 5-1: Control circuit devices and switching elements – Electromechanical control circuit devices. – 186 p.
52. IEC 61000-3-6: Ed. 2.0, 2008-02. Technical report. Basic EMC publication. Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-6: Limits – Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV power systems. – 58 p.
53. IEC 61008-1: Ed. 2.1, 2002-10. Residual current operated circuit-breakers without integral overcurrent protection for household and similar uses (RCCBs) – Part 1: General rules. – 120 p.
54. IEC 61009-1: Ed. 2.1, 2003-02. Residual current operated circuit-breakers with integral overcurrent protection for household and similar uses (RCBOs) – Part 1: General rules. – 271 p.
55. IEC 61140: Third edition, 2001-10. Protection against electric shock – Common aspects for installation and equipment. – 83 p.
56. IEC 61180-1: First edition, 1992-10. High-voltage test techniques for low-voltage equipment – Part 1: Definitions, test and procedure requirements. – 59 p.
57. IEC 61810-1: Ed. 3, Electromechanical elementary relays – Part 1: General requirements. – 67 p.
58. IEC 62271-100: Edition 1.2, 2006-10. High-voltage switchgear and controlgear – Part 100: High-voltage alternating-current circuit-breakers. – 607 p.
59. IEC 62305-1: First edition, 2006-01. Protection against lightning – Part 1: General principles. – 136 p.
60. Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003: On the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (RoHS directive). – <http://www.rohs.eu>
61. ДСТУ 2267-93. Вироби електротехнічні. Терміни та визначення. – 48 с.
62. ДСТУ 2815-94. Електричні й магнітні кола та пристрої. Терміни та визначення. – 105 с.
63. ДСТУ 2843-94. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення. – 68 с.
64. ДСТУ 3020-95. Апарати комутаційні низьковольтні (ГОСТ 12434-93. Аппараты коммутационные низковольтные). – 36 с.
65. ДСТУ 3025-95. Вимикачі автоматичні низьковольтні (ГОСТ 9098-93. Выключатели автоматические низковольтные – Low-voltage automatic switches). – 32 с.
66. ДСТУ 3120-95. Електротехніка. Літерні позначення основних величин. – 25 с.
67. ДСТУ ІЕС 62040-3. Системи гарантованого електропостачання. Агрегати безперебійного живлення. Загальні технічні вимоги. Методи випробування. – 71 с.

68. ДНАОП 0.00-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. – 121 с.
69. Правила улаштування електроустановок. 2-ге вид., перероб. і доп. – Харків: Вид-во «Форт», 2009. – 736 с.
70. Державні санітарні правила та норми України. № 2.2.7. 029-99.
71. ГОСТ 2.710-81. ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах. – 10 с.
72. ГОСТ 2.755-87. ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах. Устройства коммутационные и контактные соединения. – 13 с.
73. ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования. – 84 с.
74. ГОСТ 12.1.009-76. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Термины и определения. – 4 с.
75. ГОСТ 12.2.007.0-75. Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности. – 11 с.
76. ГОСТ 1494-77. Электротехника. Буквенные обозначения основных величин. – 20 с.
77. ГОСТ 9098-93. Выключатели автоматические низковольтные. Общие технические условия. – 28 с.
78. ГОСТ 12434-83. Аппараты коммутационные низковольтные. Общие технические условия. – 17 с.
79. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. Зміни №4 від 28.05.99, протокол № 15, прийняті Міждержавною радою по стандартизації, метрології та сертифікації. – 66 с.
80. ГОСТ 17516.1-90. Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам. Изменение № 1 принято Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 12 от 21.11.97). – 42 с.
81. ГОСТ 19880-74. Электротехника. Основные понятия. Термины и определения. – 32 с.
82. ГОСТ Р 50030.1-2000 (МЭК 60947-1-99). Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 1. Общие требования и методы испытаний. – 120 с.
83. ГОСТ Р 52002-2003. Электротехника. Термины и определения основных понятий. – 27 с.
84. Sterl N. Power relays. – Tyco Electronics Austria GmbH, 2000. – 137 p.
85. Клименко Б.В. Комутаційна апаратура, апаратура керування, запобіжники. Терміни, тлумачення, коментарі. – Навчальний посібник. – Х.: Вид-во «Талант», 2008. – 228 с.
86. Клименко Б.В. Електричні та магнітні пристрої, електричні аксесуари, електричні установки. Терміни, тлумачення, коментарі. – Навчальний посібник. – Х.: Вид-во «Точка», 2009. – 272 с.
87. Загирняк М.В., Кузнецов Н.И. Электрические аппараты. – Учебное пособие. – Кременчуг: КДПУ, 2005. – 320 с.
88. Электрические и электронные аппараты: Учебник для вузов / Под ред. Ю.К. Розанова. – М.: Информэлектрон, 2001. – 420 с.
89. Электрические и электронные аппараты: Учебник в 2 т. Т.1. Электромеханические аппараты / Под ред. А.Г. Годжелло, Ю.К. Розанова. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 352 с.
90. Основы теории электрических аппаратов / Под ред. И.С. Таева. – М.: Высшая школа, 1987. – 362 с.
91. Теория электрических аппаратов / Под ред. Г.Н. Александрова. – М.: Высшая школа, 1985. – 312 с.
92. Чунихин А.А. Электрические аппараты. Общий курс. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 720 с.
93. Кузнецов Р.С. Аппараты распределения электрической энергии на напряжение до 1000 В. – М.: Энергия, 1970. – 544 с.
94. Таев И.С. Электрические аппараты управления. – М.: Высшая школа, 1984. – 224 с.

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

Україномовний термін	Оригінальний термін, першоджерело	Сторінка
DIN рейка	DIN rail	202
ІР код	IP Code: 60529, 3.4	125
PEN провідник	PEN conductor: 195-02-12	30
А		
автогазовий вимикач	gas blast switch	253
автоматичне вмикання резерву; АВР	automatic reserve switching	269
автоматичне повторне вмикання; АПВ	auto-reclosing: 441-16-10	244
автотрансформаторний пускач	auto-transformer starter: 441-14-45	216
аксесуар	accessory: 151-11-24	184
аксесуари, що не передбачають можливості перезарядження	non-rewirable accessory	241
актуатор (механічний)	actuator: 441-15-22	61
амплітуда	amplitude: 101-14-35	283
апарат	apparatus: 151-11-22	18
апарат захисту від коротких замикань	short-circuit protective device; SCPD: 60947-1, 2.2.21	96, 102, 106, 269, 301,
апарат кіл керування	control circuit device: 60947-5-1, 2.1.1	218
апарат різницевого струму	residual current device; RCD: 442-05-02	108, 207
апаратура керування	controlgear: 441-11-03	18
арочна шайба	arched washer	54, 55
асинхронний двигун з короткозамкненим ротором	(squirrel) cage induction motor: 411-33-07	32
Б		
багатожильний (скручений) провідник	stranded conductor: 151-12-36	293
багатополосний блок терміналів	multiway terminal block: 442-06-29	235
безвідмовність	reliability: 191-02-06	139
безнарізний термінал	screwless-type terminals: 442-06-11	54
безперервна нейтраль	uninterrupted neutral: 442-01-51	31
безперервний режим	uninterrupted duty: 60947-1, 4.3.4.2	148, 198
бістабільне реле	bistable relay: 444-01-08	231
блокування з'єднувача	interlock of a plug: 442-01-33	234
болтовий термінал	stud terminal: 442-06-23	55
В		
вакуумний вимикач	vacuum switch	253
вакуумний відмикач	vacuum circuit-breaker	248
вакуумний переривник	vacuum interrupter	52
вбудована вихідна розетка	appliance outlet: 442-07-08	242
вивід	termination: 442-06-06	28
викатний відмикач	withdrawable circuit-breaker: 60947-2, 2.3	200
вилка (частина з'єднувача)	plug: 442-03-01	233, 240
вимикач	switch: 151-12-23, 441-14-10	18, 19, 23
вимикач (електромеханічний)	(mechanical) switch: 441-14-10	192
вимикач (перемикач) керування	control switch: 441-14-46	218
вимикачі (перемикачі) для електронних приладів		238
вимикачі (перемикачі) для побутових електроприладів		237
вимикачі для електроніки	electronic switch	237
вимикач-роз'єднувач	switch-disconnector: 441-14-12	192, 253

вимикач-роз'єднувач-запобіжник	switch-disconnector-fuse: 441-14-16	192, 256
вимірювальне реле	measuring relay: 446-11-03	226
вимірювальний трансформатор	instrument transformer: 321-01-01	286
вимоги щодо експлуатаційних витрат		144
вимоги щодо естетичності конструкції		144
вимоги щодо зручності монтування та демонтування		140
вимоги щодо зручності оперування		140
вимоги щодо ізоляції, відстаней витоку та зазорів		141
вимоги щодо компактності, трудомісткості та матеріаломісткості		144
вимоги щодо надійності		139
вимоги щодо працездатності в умовах механічних впливів		146
вимоги щодо працездатності у різних кліматичних умовах та умовах розміщення		145
вимоги щодо ремонтпридатності		139
випростувач	rectifier: 151-13-45	85
висока напруга	high voltage, HV: 601-01-27	26
виток	turn: 151-13-14	62
витримувана імпульсна напруга	lightning impulse voltage; U_p : 60694, 4.2	243
витримувана напруга частоти мережі; U_d	power-frequency voltage; U_d : 60694, 4.2	243
витримуваний пік струму	peak withstand current: 441-17-18	163
вихідна величина (реле)	output quantity	230
вихідне коло (реле)	output circuit: 444-04-01	226
відкрита струмопровідна частина	exposed-conductive-part: 195-06-10	131
відмикач	circuit-breaker: 441-14-20	19, 195, 243, 259
відмикач викатний	withdrawable circuit-breaker: 441-14-20	200
відмикач втичний	plug-in circuit-breaker: 441-14-20	200
відмикач з вільним розчіпленням	trip-free circuit-breaker: 60898-1, 3.4.5	196
відмикач стаціонарний	fixed circuit-breaker: 441-14-20	200
відмикач, керований різницею струмом без вбудованого захисту від надструмів	residual current operated circuit-breaker without integral overcurrent protection, RCCB: 442-05-03	108, 207
відмикач, керований різницею струмом з вбудованим захистом від надструмів	residual current operated circuit-breaker with integral overcurrent protection, RCBO: 442-05-04	209
відмітне число	distinctive number: 60947-1, L.5	180
відносний індекс трекінгу	comparative tracking index; CTI: 60664-1, 2.5.65	142
відскоки контактів	bounce: 446-16-22	40
відстань витоку	creepage distance: 60947-1, 2.5.51	141, 250
відхідний фідер; фідер	outgoing feeder: 605-02-11	269
віртуальна тривалість фронту (імпульсу); T_1	virtual front time; T_1 : 61180, 6.1.1.2	120
віртуальний час півспаду (імпульсу); T_2	virtual time to half-value; T_2 : 61180, 6.1.1.4	120
восьмигодинний режим	eight-hour duty: 60947-1, 4.3.4.1	148
вставка запобіжника	fuse-link: 441-18-09	186
вставки запобіжників, призначених для захисту напівпровідникових пристроїв	fuse-links for the protection of semiconductor devices: 60269-4	186
втичний відмикач	plug-in circuit-breaker: 60947-2, 2.4	200
втрати енергії	power dissipation: 441-18-38	75, 189
вхідна (діяльна, живильна) величина (реле)	energizing quantity: 446-12-01	230
вхідне коло (реле)	input circuit: 444-03-02	226
Г		
газорозрядна лампа	discharge lamp: 845-07-17	292

гальванічне розділення	galvanic separation: 151-12-26	123
гарантована операція розмикання	positive opening operation: 441-16-11	124, 221
гвинтовий термінал	screw terminal: 442-06-08	54
гібридний відмикач	hybrid circuit-breaker	96
гібридний комутаційний апарат	hybrid switching device	94
гібридний контактор	hybrid contactor	95
гніздовий контакт (з'єднувача)	socket contact: 151-12-17	233
гнучка кабельна труба	flexible conduit: 442-02-10	296
гнучке з'єднання	flexible connection	38
гнучкий кабель	flexible cable	241, 242
головне коло комутаційного апарата	main circuit of a switching device: 441-15-02	33
головний контакт	main contact: 441-15-07	36
графічні позначення для електричних схем	graphical symbols for diagrams: 60027	173
Д		
деренчання контактів	bounce: 446-16-22	40, 214, 224
джойстик	joy stick: 2.2.2.19	219
діапазон відмикання	breaking range: 60269-1, 2.3.5	187
діапазони напруг		25
довговічність	durability: 191-02-02	139
додатковий захист	additional protection: 826-12-07	117, 118
додаткові мови IEC	additional IEC languages	17
домен	domain	63
допоміжне коло комутаційного апарата	auxiliary circuit of a switching device: 441-15-04	33
допоміжний контакт	auxiliary contact: 441-15-10	36
друкована плата	printed circuit board; PCB	228
дугогасна камера	arc chute: 441-15-19	46
дугогасний контакт	arcing contact: 441-15-08	36
дугогасний пристрій	arc control devices: 441-15-18	43, 151
Е		
еквіпотенціальне з'єднання	equipotential bonding: 195-01-10	107, 115, 154
еквіпотенціальність	equipotentiality: 195-01-09	107
елегаз; шестифториста сірка	sulphur hexafluoride; SF ₆ gas	37, 245
елегазовий вимикач	SF ₆ switch	253
елегазовий відмикач	SF ₆ circuit-breaker: 441-14-31	246, 259, 262
електрична апаратура комутації й керування	switchgear and controlgear: 441-11-01	18, 185
електрична дуга	(electric) arc: 121-13-12	43
електрична зносостійкість	electrical durability: 60947-1, 7.2.4.3.2	213
електрична схема	circuit diagram	173
електричне реле	electrical relay: 444-01-01	226
електричний актуатор	(electric) actuator: 151-13-49	61
електричний апарат	electrical apparatus	9, 18
електричний контакт	electric contact: 195-01-02	39
електробезпека: ПУЕ, 1.7.3	electrical safety	97
електромагніт	electromagnet: 151-14-08	61
електромагнітна радіація	electromagnetic radiation: 161-01-10	137
електромагнітна сумісність	electromagnetic compatibility; EMC: 161-01-07	137, 294
електромагнітне випромінювання	electromagnetic emission: 161-01-08	137
електромагнітне збурення	electromagnetic disturbance: 161-01-05	137
електромагнітне реле	electromagnetic relay: 444-01-05	227
електромагнітний поляризований бістабільний актуатор		78

електромеханічне реле	electromechanical relay: 444-01-04	226, 227
електромеханічний комутаційний апарат	mechanical switching device: 441-14-02	18, 29, 88
електрообладнання	electric equipment: 826-16-01	98
електроприймач	current-using equipment: 826-16-02	98
електропроводка	wiring system: 826-15-01	98
електроустановка	electrical installation: 826-10-01	98
електроустановки будівель	electrical installations of buildings	26
елементи електричних кіл		22
Є		
євровилка	europlug	241
ємнісний реактанс	capacitive reactance: 131-12-48	24
ємнісний трансформатор напруги	capacitor voltage transformer: 321-03-14	290
ємність	capacitance: 131-12-13	24
Ж		
жила (багатожильного провідника)	strand: 151-12-37	293
жорстка кабельна труба	rigid conduit: 442-02-07	296
жорстке з'єднання	rigid connection	38
З		
з'єднання зіркою	star connection	29
з'єднання у трикутник	delta connection	29
з'єднувальна вилка	plug connector: 442-07-09	242
з'єднувальна клемна колодка (клемник)	connecting terminal plate: 442-06-28	235
з'єднувальний пристрій	connecting device: 442-06-01	54
з'єднувальний пристрій з прошивкою ізоляції	insulation piercing connecting device, IPCD: 442-06-33	59
з'єднувач	connector: 151-12-19	43, 240
з'єднувач побутового приладу	appliance coupler: 442-07-01	241
з'єднувачі для застосування в стаціонарних електропроводах		240
з'єднувачі для побутових електроприладів		241
забезпеченість технічного обслуговування	maintenance support performance: 191-02-08	139
забруднення	pollution: 442-01-28	141
заживлювати	energize	25
зазор	clearance: 441-17-31	141
залежна ручна операція	dependent manual operation: 441-16-13	193
залишкова індукція	remanent (magnetic) flux density: 121-12-64	64
замикальний контакт; а-контакт	a-contact; make contact: 441-15-12	36
запобіжник	fuse: 441-18-01	186, 254
запобіжник класу gG	gG class fuse	187, 190
запобіжник класу aM	aM class fuse	190
запобіжник-вимикач-роз'єднувач	fuse-switch-disconnector: 441-14-19	192
запобіжники для експлуатації допущеними особами	fuses for use by authorized persons: 60269-1, 2.2.11	188
запобіжники для експлуатації некваліфікованими особами	fuses for use by unskilled persons: 60269-1, 2.2.12	188
запобіжники побутового призначення	fuses for domestic and similar applications: 60269-1, 2.2.12	188
запобіжники промислового призначення	fuses for industrial application: 60269-1, 2.2.11	188
запобіжник-роз'єднувач	fuse-disconnector: 441-14-18	192
захисне уземлення	protective earthing: 195-01-11	109
захисний розділювальний трансформатор	protective transformer	104

захисний уземлювальний провідник; РЕ провідник	protective earthing conductor; PE conductor: 195-02-11	29
захист при пошкодженнях	fault protection: 826-12-06	117, 118
захищений пускач	protected starter: 60947-4-1, 3.2.8	216
збірна шина	busbar: 151-12-30	183, 291
звичайне реле	elementary relay: 444-01-03	226
зворотно залежна витримка часу	inverse time-delay	152
здатність двигуна витримувати пускові струми	ability to withstand motor switching overload currents: 60947-1, 4.3.5.1	152
здатність до відмикання	breaking capacity: 441-17-08	161
здатність до відмикання коротких замикань	short-circuit breaking capacity: 441-17-11	162
здатність до вмикання	making capacity: 441-17-09	163
здатність до вмикання коротких замикань	short-circuit making capacity; I_{cm} : 441-17-10	163
зміна напрямку (постійного струму)	reverse current: 394-18-67	151
змінна складова	variable component	70
змінний струм	alternating current; AC: 131-11-24	16
значення повернення (вхідної величини реле)	release value: 446-13-17	230
значення спрацьовування (вхідної величини реле)	operate value: 446-13-15	230
знеживлювати	de-energize	25
зниження напруги	under-voltage: 151-15-29	151
зрівняння потенціалів	equipotentiality: 195-01-09	107
зсув точки нейтралі	neutral-point displacement	153
І		
ізоляційне розділення	separation: 441-11-12	151
ізоляційний бак (відмикача)	live tank	246, 247
імпеданс	impedance: 131-12-43	24
імпульсний виплеск	surge: 62305-1, 3.34	284
інвертор	inverter: 151-13-46	85
індивідуальні електрозахисні засоби		104
індикація положення головних контактів	indication of the position of the main contacts: 60947-1, 7.1.6.1	122
індуктивний реактанс	inductive reactance: 131-12-47	24
індуктивність	inductance: 131-12-19	24
індуктор	inductor; reactor: 151-13-25	24
індукційно-динамічний актуатор	Thomson drive	76
інтеграл Джоуля; I^2t	Joule integral; I^2t : 441-18-23	167
інтерфейс «людина-машина»; MMI	man-machine interface; MMI: 60073, 3.5	181
інформаційний кабель	control cable: 461-09-03	184, 294
К		
кабель	cable: 151-12-38	294
кабельна лінія	cable line	29
кабельна розетка	connector: 442-07-02	241
кабельний лоток	cable tray: 826-15-08	298
кабельний наконечник	cable lug	57
калібрувальна деталь	gauge-piece: 60269, 2.1.11	186
каскадний трансформатор напруги	cascade voltage transformer: 321-03-07	290
категорії електроприймачів: ПУЕ, 1.2.17		267
категорії застосування апаратів з ручним керуванням		194
категорії застосування апаратів кіл керування		223

категорії застосування електромеханічних контакторів		214
категорії захищеності реле	categories of protection: 61810-1, 5.9	229
категорія застосування	utilization category: 441-17-19	147
категорія застосування запобіжника	utilization category of a fuse	186
категорія перенапруги	overvoltage category: 60664-1, 3.10	119
керований перемикач	pilot switch: 441-14-48	220
кільцева розподільна мережа середніх напруг		276
кінцевий вимикач	limit switch: 441-14-50	221
клас запобіжника	fuse class	187
клас точності (трансформатора струму або напруги)	accuracy class: 321-01-24	286, 290
кнопковий перемикач	push-button: 441-14-53	219
кнопковий перемикач з блокуванням	locked push-button: 60947-5-1, 2.2.2.6	219
кнопковий перемикач з витягуванням	pull-button: 60947-5-1, 2.2.2.2	219
кнопковий перемикач з натисненням-витягуванням	push-pull-button: 60947-5-1, 2.2.2.3	219
кнопковий перемикач з підсвічуванням	illuminated push-button: 60947-5-1, 2.2.2.10	219
кнопковий перемикач без обертання кнопки	guided push-button: 60947-5-1, 2.2.2.14	219
кнопковий перемикач з вільним обертанням кнопки	free push-button: 60947-5-1, 2.2.2.13	219
кнопковий перемикач з натисненням	push-button: 2.2.2.1	219
кнопковий перемикач з оперуванням за допомогою ключа	key-operated push-button: 60947-5-1, 2.2.2.7	219
кнопковий перемикач із затримкою повернення	time-delay push-button: 60947-5-1, 2.2.2.8	219
кнопковий перемикач із затримкою спрацьовування	delayed action push-button: 60947-5-1, 2.2.2.9	219
кнопковий перемикач із зачіпкою	latched push-button: 60947-5-1, 2.2.2.5	219
кнопковий перемикач, захищений кришкою	covered push-button: 60947-5-1, 2.2.2.11	219
кнопковий перемикач, захищений огорожею	shrouded push-button: 60947-5-1, 2.2.2.12	219
ковзний контакт	sliding contact: 441-15-15	38
ковпачковий термінал	mantle terminal: 442-06-14	56
коефіцієнт навантаження	on-load factor; duty factor	148
коло керування комутаційного апарата	control circuit of a switching device: 441-15-03	33
кольорове кодування	coding by colour: 60073, 4.2.1	181
комбінація із запобіжником	fuse-combination unit: 441-14-04	192, 256
комбінований пускач	combination starter: 60947-4-1, 3.2.7	216
комплектний пристрій	assembly (of switchgear and controlgear): 441-12-01	267
комплектний пристрій	switchgear and controlgear assembly; assembly: 60439-1, 2.1.1	267
компоненти, що не підтримують горіння	non-flame propagating component: 442-01-12	135
комутаційна апаратура	switchgear: 441-11-02	18
комутаційна напруга	switching voltage: 441-18-31	171
комутаційний апарат	switching device	18
комутаційний елемент (реле)	switching element	226

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

конденсатор	capacitor: 151-13-28	24
контакт керування	control contact: 441-15-09	36
контакт комутаційного апарата	contact of a mechanical switching device: 441-15-05	35
контакт-деталь	contact (piece): 441-15-06	38
контактне натиснення	contact force: 444-04-10; 446-16-07	39
контактний опір	contact resistance: 581-03-11	39
контактор	contactor: 441-14-33	212, 257
координація ізоляції	insulation co-ordination: 60664-1, 3.1	141
коротке замикання	short circuit: 151-12-04	98
короткозамкнений виток	shading ring	69, 70
короткочасний режим	temporary duty: 60947-1, 4.3.4.4	149
короткочасно витримуваний струм	short-time withstand current: 441-17-17	162
катушка	winding: 151-13-17	65
катушка магнітного дуття	blow-out coil: 441-15-20	48
катушка реле	relay coil	227
крива намагнічування	magnetizing curve: 121-12-58	64
Л		
лампа розжарювання	incandescent (electric) lamp: 845-07-04	292
лінійний провідник	line conductor: 195-02-08	29
літерно-цифрове маркування терміналів елементів, які мають імпеданс	terminal marking of impedances (alphanumeric): 60947-1, L2	177
літерно-цифрові позначення	alpha-numerical designations	174
логічне реле	all-or-nothing relay: 446-11-02	226
люк доступу	floor access unit: 442-02-43	298
М		
магніт	magnet: 151-14-06	61
магнітна індукція	magnetic flux density; B : 121-11-19	64
магнітна проникність	(absolute) permeability; μ : 121-12-24	63
магнітне коло	magnetic circuit: 151-14-01	65
магнітний гістерезис	magnetic hysteresis: 121-12-60	64
магнітний потік	magnetic flux	62
магнітом'який матеріал	magnetically soft material: 121-12-71	64
магніторушійна сила; МРС	magnetomotive force; mmf; F_m : 121-11-60	63
магнітотвердий матеріал	magnetically hard material: 121-12-70	64
маркування	marking	176
маркування терміналів	terminal marking: 60947-1, Annex L	176
маркування терміналів апаратів захисту від перевантаження	terminal marking of overload protection devices: 60947-1, L.4	180
маломасляний відмикач	minimum oil circuit-breakers	245, 261
масляні бакові відмикачі	oil blast circuit-breaker	259
мережі з глухоуземленою нейтраллю	solidly earthed neutral system: 195-04-06	111
мережі з ізольованою нейтраллю	isolated neutral system: 195-04-07	111
металевий уземлений бак (відмикача)	dead tank	245
механізм вільного розчіплення	trip-free mechanism: 442-01-45	82, 196
механічна зносостійкість	mechanical durability: 60947-1, 7.2.4.3.1	213
механічні компоненти реле	mechanical components	229
міжлінійна (лінійна) напруга	line-to-line voltage: 195-05-01	27
Міжнародна електротехнічна комісія – IEC	International Electrotechnical Commission – IEC	7, 12, 13, 14

Міжнародна організація зі стандартизації – ISO	International Organization for Standardization – ISO	13
Міжнародний електротехнічний словник – IEV	International Electrotechnical Vocabulary – IEV	12, 13, 14
мікро-оточення	micro-environment: 60664-1, 3.12.2	141
мікророз'єднання	micro-disconnection: 442-04-17	119
мініатюрна вставка	miniature fuse-link: 60127, 3.5	184, 191
мініатюрні запобіжники	miniature fuse: 60127, 3.2	191
молоточковий ефект	hammer effect	202
моностабільне реле	monostable relay: 444-01-07	231
Н		
надійність	надежность: ГОСТ 27.002, 1.1	139
надійність	dependability: 191-02-03	139
наднизька напруга; ELV	extra-low voltage; ELV: 826-12-30	27, 131
надструм	over-current: 441-11-06	98, 151
надструмовий розчіплювач	over-current release: 442-05-41	196
намагніченість	magnetization; M : 121-11-52	63
напівпровідниковий комутаційний апарат	semiconductor switching device: 441-14-03	29, 36, 89
напруга дотику	touch voltage: 195-05-11	100, 112
напруга зсуву нейтралі	neutral-point displacement voltage: 195-05-04	154
напруга мережі	line voltage	27
напруга між лінією та землею	line-to-earth voltage: 195-05-03	27
напруга між лінією та нейтраллю	line-to-neutral voltage: 195-05-02	154
напруженість магнітного поля	magnetic field strength; H : 121-11-56	64
нарізний термінал	screw-type terminals: 442-06-17	54
насичення	saturation	64
небезпечна активна частина	hazardous live part: 195-06-05; 60529, 3.5.1	118, 125, 183
небезпечна механічна частина	hazardous mechanical part: 60529, 3.5.2	125
небезпечна частина	hazardous part: 60529, 3.5	125
незалежна ручна операція	independent manual operation: 441-16-16	193
незалежний (шунтовий) розчіплювач	shunt release: 441-16-41	177, 196
нейтральний провідник	neutral conductor; N : 195-02-06	30
неполяризоване реле	non-polarized relay: 444-01-10	230
непрямий дотик	indirect contact: 195-06-03	102
нерухомий контакт	fixed contact	38
низька напруга	low voltage, LV: 601-01-26	25
номінальне значення	nominal value: 151-16-09	19, 20, 21
номінатив	rating: 151-16-11	22
номінативна вторинна напруга (трансформатора напруги)	rated secondary voltage: 321-01-16	290
номінативна гранична здатність до відмикання коротких замикань	rated ultimate short-circuit breaking capacity; I_{cu} : 60269-1, 4.3.5.2.2	198
номінативна здатність до відмикання	rated breaking capacity: 60269-1, 5.7.2	186
номінативна імпульсна витримувана напруга; U_{imp}	rated impulse withstand voltage; U_{imp} : 60947-1, 4.3.1.3	120
номінативна напруга (трансформатора струму)	rated voltage of current transformer	286
номінативна напруга живлення у колі керування; U_s	rated control supply voltage; U_s : 60947-1, 4.5.1	213
номінативна напруга ізоляції; U_i	rated insulation voltage; U_i : 60664-1, 3.9.1	142
номінативна напруга кола керування; U_c	rated control circuit voltage; U_c : 60947-1, 4.5.1	213
номінативна напруга; U_n	rated voltage; U_n	255

номінативна напруга; U_r	rated voltage; U_r : 60694, 4.1	243
номінативна первинна напруга (трансформатора напруги),	rated primary voltage: 321-01-12	290
номінативна робоча здатність до відмикання коротких замикань	rated service short-circuit breaking capacity; I_{cs} : 60269-1, 4.3.5.2.2	198
номінативна робоча напруга; U_e	rated operational voltage; U_e : 60898-1, 5.2.1.1; 60947-1, 4.3.1.1	122, 150
номінативна частота	rated frequency: 60947-1, 4.3.3	150
номінативна частота; f_r	rated frequency; f_r : 60694, 4.3	243
номінативне значення	rated value: 151-16-08	21
номінативний безперервний струм; I_u	rated uninterrupted current; I_u : 60947-1, 4.3.2.4	150
номінативний вторинний струм (трансформатора струму)	rated secondary current: 321-01-15	286
номінативний ізоляційний рівень	rated insulation level: 60694, 4.2	243
номінативний короткочасно витримуваний струм I_{cw}	rated short-time withstand current: 60947-1, 4.3.5.4	198
номінативний короткочасно витримуваний струм; I_k	rated short-time withstand current; I_k : 60694, 4.5	243
номінативний найбільший струм відмикання; I_1	maximum rated breaking current; I_1 : 60282-1	255
номінативний найменший струм відмикання; I_3	minimum rated breaking current; I_3 : 60282-1	255
номінативний нормальний струм; I_r	rated normal current; I_r : 60694, 4.4	243
номінативний первинний струм (трансформатора струму)	rated primary current: 321-01-11	286
номінативний різницевий струм неспрацьовування; $I_{\Delta no}$	rated residual non-operating current, $I_{\Delta no}$: 61008-1, 5.2.4	210
номінативний різницевий струм спрацьовування; $I_{\Delta n}$	rated residual operating current, $I_{\Delta n}$: 61008-1, 5.2.3	210
номінативний робочий струм; I_e	rated operational current; I_e : 60947-1, 4.3.2.3	150, 213
номінативний струм відмикання при коротких замиканнях; I_{sc}	rated short-circuit breaking current; I_{sc} : 62271-100, 4.101	243
номінативний струм; I_n	rated current; I_n : 60947-1, 4.3.2.3	198
номінативний струм; I_n	rated current; I_n : 60282-1	255
номінативні послідовності оперування	rated operating sequences: 62271-100, 4.104	244
номінативні режими	rated duties: 60947-1, 4.3.4	148
нормальні умови експлуатації, монтажування та транспортування	normal service, mounting and transport conditions: 60947-1, 6	147
нормально відкриті (замикальні) контакти (реле)	normally open contacts; NO contacts	229
нормально закриті (розмикальні) контакти (реле)	normally closed contacts; NC contacts	229
О		
об'єднувальний шнуровий комплект	interconnection cord set: 442-07-06	242
об'єктний щуп	object probe: 60529, 3.9	126
обладнання категорії I ... IV	equipment of overvoltage category I ... IV: 60664-1, 3.10	119, 120
обладнання класу 0	class 0 equipment: IEC 61140, 7.1	105
обладнання класу I	class I equipment: IEC 61140, 7.2	105
обладнання класу II	class II equipment: IEC 61140, 7.3	105
обладнання класу III	class III equipment: IEC 61140, 7.4	105
обмежувач імпульсних виплесків	surge arrester; SA: 604-03-51, 811-31-09	137, 283

обмежувач імпульсних виплесків	surge protective devices, SPD: 62305-1, 3.51	279, 284
обмотка	coil: 151-13-15	62
обмотки напруги	shunt coil	75
оболонка	enclosure: 826-02-35	125
оболонка (захисна)	protective enclosure: 195-06-14	104
огорожа (захисна)	protective obstacle: 195-06-16	104
однолінійні схеми розподільних пристроїв		268
опір	resistance (1): 131-12-04	24
опоряджувальні засоби для кабелів	cable management: 442-02-01	296
основа запобіжника	fuse-base: 441-18-02	186
основний захист	basic protection: 826-12-05	117, 118
основні мови IEV	principal IEV languages	17
особливо небезпечні приміщення		99
очікуваний струм	prospective current: 442-01-47	156
П		
патрон електролампи	lampholder: 845-08-24	54
педальний перемикач (педаль)	foot switch (pedal): 60947-5-1, 2.2.2.21	219
пелюстковий термінал	lug terminal: 442-06-16	57
перевантаження	overload: 441-11-08	99, 151
перевищення температури	temperature-rise	150
переддуговий інтеграл Джоуля	pre-arcing I^2t	168
переддуговий час	pre-arcing time: 441-18-21	165, 187
перемикальні контакти (реле)	change-over contacts; CO contacts: 444-04-19	184
перемикач уземлення	earthing switch: 441-14-11	252, 278
перенапруга	over-voltage: 151-15-27	98, 283
переривчастий режим	intermittent duty: 60947-1, 4.3.4.3	149
перехідна поновлювана напруга	transient recovery voltage; TRV: 441-17-26	171
періодичний режим	periodic duty: 60947-1, 4.3.4.5	149
петля гістерезису	(magnetic) hysteresis loop: 121-12-61	64
питомий опір	resistivity; ρ : 121-12-04	39
підсилювальна функція (реле)	amplification	228
пік напруги на дузі	peak arc voltage: 441-17-30	171
пікове значення	peak value: 101-14-11	283
пікове значення очікуваного струму	prospective peak current: 441-17-02	165
пірсинговий з'єднувальний пристрій	insulation piercing connecting device, IPCD: 442-06-33	59
плаский пристрій швидкого приєднання	flat quick-connect termination: 442-06-07	58
пластична кабельна труба	pliable conduit: 442-02-08	296
пневматичний актуатор	pneumatic actuator	79
поверхневий ефект	skin-effect	25
повітряна лінія	overhead line: 151-12-33	29, 154
повітряний зазор	air gap: 151-14-05	65
повітряний відмикач високого тиску	air-blast circuit breaker	261
повне роз'єднання	full-disconnection: 442-04-16	119
повний інтеграл Джоуля: інтеграл спрацьовування	operating I^2t	168
поворотний кнопковий перемикач (селекторний перемикач)	rotary button (selector switch): 60947-5-1, 2.2.2.4	219
поворотний перемикач	rotary switch: 441-14-47	220
подвійна система шин	double bus bar system	279
позиційний перемикач	position switch: 441-14-49	220
позначення провідників у трифазних колах		29

полюс комутаційного апарата	pole of a switching device: 441-15-01	34
полюс магніту	pole of a magnet: 151-14-08	62
полюсний наконечник	pole piece: 221-04-23	65
поляризоване реле	polarized relay: 444-01-09	231
поновлювана напруга	recovery voltage: 441-17-25	171
порт	port: 131-12-60	34
постійна складова	steady component	70
постійний магніт	permanent magnet: 151-14-07	61
постійний струм	direct current; DC: 131-11-22	16
початкова точка електричної установки	origin of the electrical installation: 826-10-02	119
пошкодження	conductor continuity fault;	151
безперервності провідника	open circuit fault: 195-04-15	
Правила улаштування електроустановок (ПУЕ)		7
привідна система	actuating system: 441-15-21	61
приєднання типу X	type X attachment: 442-01-34	28
приєднання типу Y	type Y attachment: 442-01-35	28
приєднання типу Z	type Z attachment: 442-01-35	28
приміщення без підвищеної небезпеки		99
приміщення з підвищеною небезпекою		99
пробій на землю	earth fault: 195-04-14	107
провід; дріт	wire: 151-12-28	293
програмований перемикач	programmer: 60947-5-1, 2.2.1.4	221
промисловий з'єднувач	industrial coupler	233
проміжний елемент (реле)	intermediate element	226
пропущений струм	cut-off current; let-through current: 441-17-12	165
протидіюча сила	counter force	74
протирозширювальний пристрій	anti-spread device	54
пружинно-моторний актуатор		78
прямий дотик	direct contact: 195-06-03	102
пускат	starter: 441-14-38	215
пускат прямого пуску	direct-on-line starter: 441-14-40	216
пускат типу «зірка-трикутник»	star-delta starter: 441-14-44	216
пускова обмотка	booster coil	75
Р		
радіальна розподільна мережа середніх напруг		275
реактанс	reactance: 131-12-46	24
реальна напруга дотику	(effective) touch voltage: 195-05-11	100
резервний захист	back-up protection	169
резистанс	resistance (2): 131-12-45	24
резистор	resistor: 151-13-19	24
реле втичного типу	plug-in relay	228
реле для монтування на друкованих платах	PCB relay	228
реле з витримкою часу (реле часу)	time relay: 445-01-01	226
ремонтпридатність	maintainability: 191-13-01	139
реостатний роторний пускат	rheostatic rotor starter: 441-14-43	216
реостатний статорний пускат	rheostatic stator starter: 60947-4-1, 3.2.6.1	216
різальний самонарізний гвинт	thread-cutting tapping screw: 60898-1, 3.3.23	60
різновиди коротких замикань у трифазних колах		159
роз'єднувач	disconnecter: 441-14-05	192, 252, 266
роз'єднувач з центральним розмиканням	centre-break disconnecter: 441-14-08	266
роз'єднувач-запобіжник	disconnecter-fuse: 441-14-15	192
розгалужувальний блок	junction block: 442-06-30	235

розетка	socket-outlet: 151-12-20, 442-03-02	233, 240
розетка з вбудованим вимикачем	switched socket-outlet: 60309-1, 2.7	233, 234
розетка та вилка ІЦУКО	socket-outlet and plug SCHUKO	240
розетковий термінал	socket terminal	58
розмикальний контакт; b-контакт	b-contact; break contact: 441-15-13	36
розмикання прямої дії або безпосереднє розмикання	direct opening action 60947-5-1, К.2.2	124
розподільна система	distribution system	113, 291
розподільний пристрій	switchgear	18, 267
розподільний пристрій з газовою ізоляцією; GIS	gas-insulated switchgear; GIS	267
розподільний пристрій з повітряною ізоляцією; AIS	air-insulated switchgear; AIS	267
розподільні пристрої (високої напруги) внутрішнього встановлення	(HV) indoor switchgear	279
розподільні пристрої (високої напруги) зовнішнього встановлення	(HV) outdoor switchgear	279
розподільні пристрої побутового та аналогічного призначення		272
розподільні пристрої промислового призначення (низької напруги)		270
розсіювана потужність	power loss: 151-15-26	40
розсіювана потужність	power dissipation	75
розсіювана потужність у вставках	power dissipation in a fuse-link: 441-18-38	189
розчіплювач	release: 60947-1, 2.3.15	196
розчіплювач для захисту від перевантажень	overload release: 441-16-38	196
розчіплювач з можливістю регулювання	adjustable release: 60947-2, 4.7.1	196
розчіплювач зниження напруги	undervoltage release (for opening) : 441-16-39	162
розчіплювач миттєвої дії	instantaneous release: 441-16-32	196
роликовий контакт	rolling contact: 441-15-16	38
рухомий контакт	moving contact	38
С		
самонарізний гвинт	tapping screw: 60898-1, 3.3.21	60
самонесні ізольовані проводи;	LV aerial bundled cables	295
СІП		
секція (системи вкладних кабельних коробів)	trunking length: 442-02-37	297, 298
селективність при надструмах	over-current discrimination: 441-17-15	168
сердечник; магнітний сердечник	(magnetic) core: 151-14-02	65
середня напруга	medium voltage, MV: 601-01-28	26
середньоквадратичне значення	root-mean-square value; rms value: 101-14-15	25
серцева фібриляція	cardiac fibrillation: 195-03-04	100
система ІТ	IT system	117
система PELV	PELV system: 826-12-32	132
система SELV	SELV system: 826-12-31	131
система TN-C	TN-C system	114
система TN-C-S	TN-C -S system	115
система TN-S	TN-S system	115
система TT	TT system	116
система вкладних кабельних коробів	cable trunking system: 442-02-34	297
система втяжних кабельних коробів	cable ducting system: 442-02-35	297

система збірних розподільних шинопроводів	busbar trunking system (busway): 60439-1, 2.3.4;	235
системи порядкування кабелів	busbar distribution system	
сідловий термінал	cable management systems: 442-02	296
соленоїд	saddle terminal: 442-06-09	56
стала часу	solenoid: 151-13-16	62
стаціонарна розетка	time constant; τ 111-13-06	68
стиковий контакт	fixed socket-outlet: 442-03-04	242
стійкість до збурень	butt contact: 441-15-14	38
стовпчиковий термінал	immunity to a disturbance: 161-01-20	137
струм витоку у землю	pillar terminal: 442-06-22	55
струм пробоя на землю	earth leakage current: 442-01-24	151
струм уставки	earth fault current: 442-01-23	151
струмообмежувальна вставка	current setting: 441-16-46	82, 198
запобіжника	current-limiting fuse-link: 441-18-10	165
струмообмежувальний відмикач	current-limiting circuit-breaker: 441-14-21	165
ступінь забруднення	pollution degree: 60664-1, 3.13	142
ступінь захисту	degree of protection: 60529, 3.3	125
субмініатюрна вставка	sub-miniature fuse-link: 60127, 3.6	184, 191
Т		
твердотільне реле	solid-state relay: 444-01-06	226
температурний пристрій керування; TCU	temperature control unit; TCU	255
теплова рівновага	thermal equilibrium	148
тепловий розчіплювач	thermal overload release: 441-16-39	196
тепловий ударник	thermal striker	255
термінал	terminal: 442-06-05	27, 28
термінал під пайку	solder terminal: 442-06-20	59
топкий елемент	fuse-element: 441-18-08	186
трансформатор напруги	voltage transformer: 321-03-01	289
трансформатор напруги з неугрунтованою первинною обмоткою	unearthed voltage transformer: 321-03-02	289
трансформатор напруги з угрунтованою первинною обмоткою	earthed voltage transformer: 321-03-02	289
трансформатор струму	current transformer: 321-02-01	286
трансформатор струму на прохідному ізоляторі	bushing type current transformer: 321-02-02	288
трансформатор струму опорного типу	support type current transformer: 321-02-08	287
трансформатори струму для мереж низької напруги (різновиди)		287
трекінг	tracking: 60947-1, 2.5.64	142
тримач вставки	fuse-carrier: 441-18-13	186
тримач запобіжника	fuse-holder: 441-18-14	186
трифазні короткі замикання		161
У		
увід побутового (або іншого) приладу	appliance inlet: 442-07-03	233, 241
увідний фідер; увід	incoming feeder: 605-02-11	269
удар електричним струмом	electric shock: 195-01-04	100
ударник (запобіжника)	striker: 441-18-18	191
угрунтовальна конструкція	earthing arrangement: 195-02-20	114
умовний струм короткого замикання	conditional short-circuit current: 441-17-20	163

умовний струм нерозтоплення	conventional non-fusing current: 441-18-27	187
умовний струм нерозчіплення	conventional non-tripping current: 60947-1, 2.5.30	199
умовний струм розтоплення	conventional fusing current: 441-18-28	187
умовний струм розчіплення	conventional tripping current: 60947-1, 2.5.31	199
умовний тепловий струм в оболонці	conventional enclosed thermal current, I_{the} : 60947-1, 4.3.2.1	150
умовний тепловий струм на відкритому повітрі	conventional free air thermal current; I_{th} : 60947-1, 4.3.2.1	150
умовний час (для відмикачів)	conventional time: 60898-1, 60947-1	199, 203
умовний час (для запобіжників)	conventional time: 60269-1, 2.5.30, 2.5.31	188
усталений стан	steady state: 101-14-01	68
утримуюча обмотка	hold in coil	75
уявний імпеданс	apparent impedance: 131-12-44	24
Ф		
фідер	feeder: 601-02-08	268
фітинги (для кабельних труб)	conduit fitting: 442-02-04	296
формувальний самонарізний гвинт	thread-forming tapping screw: 60898-1, 3.3.22	60
функція роз'єднання	isolation; isolating function: 826-17-01	88, 119
Х		
характеристика пропущеного струму	cut-off (current) characteristic; let-through (current) characteristic: 441-17-14	166
Ц		
цифрове маркування терміналів контактних елементів комутаційних апаратів з двома положеннями	terminal marking of contact elements for switching devices with two positions (numerical): 60947-1, L3	178
Ч		
час відмикання (спрацьовування)	break-time: 441-17-39	198
час горіння дуги	arcing time: 441-17-37	165
час розчіплення	tripping time: 60947-2, 2.16	198
часо-струмова зона	time-current zone: 441-17-25; 60269-1, 2.3.17	187
часо-струмова характеристика	time-current characteristic: 441-17-13; 60269-1, 2.3.16	187
час розмикання	opening time: 60947-2, 2.16	198
Ш		
шайба Гровера	Grover washer	54
шарнірний випробувальний палець	jointed test finger: 60529	127
швидкодіючі відмикачі постійного струму	high-speed DC circuit-breakers	250, 251
шина	bar: 151-12-29	291
шихтований сердечник	laminated (magnetic) core: 151-14-03	69
шнуровий комплект	cord set: 442-07-04	241, 242
штировий контакт (з'єднувача)	plug contact	233
Щ		
щуп доступу	access probe: 60529, 3.8	121
Я		
якір (електромагніта)	armature	62
ярмо (електромагніта)	yoke: 151-14-04	65

ЗМІСТ

Передмова	3
Вступ	9

Глава 1

Функції, частини та класифікація електричних апаратів

1.1. Ключові особливості міжнародної термінології щодо електричної апаратури	13
1.1.1. Міжнародний електротехнічний словник та інші термінологічні джерела	13
1.1.2. Аббревіатури та літерні позначення	16
1.1.3. Особливості формулювання деяких термінів українською мовою	17
1.2. Функції та основні частини електричних апаратів	31
1.2.1. Функції електричних апаратів	31
1.2.2. Головне коло, коло керування, допоміжне коло, полюс та порт	33
1.2.3. Контакти електричних апаратів	35
1.2.4. Дугогасні системи комутаційних апаратів	43
1.2.5. Термінали електричних апаратів	54
1.2.6. Актuatorи комутаційних апаратів	61
1.2.7. Узагальнена структура полюсу комутаційного апарата	80
1.3. Тенденції ринку та класифікація електричних апаратів	83
1.3.1. Розвиток виробництва електричної енергії та тенденції ринку електричних апаратів	83
1.3.2. Класифікація електричних апаратів	86

Глава 2

Електрична апаратура та безпечне використання електричної енергії

2.1. Електробезпека: система захисту від згубної дії електричної енергії	97
2.1.1. Види небезпек, що виникають при застосуванні електричної енергії	97
2.1.2. Негативні фактори впливу електричного струму на організм людини	99
2.1.3. Способи захисту від прямих та непрямих дотиків	102
2.2. Захисне уземлення та роль захисних електричних апаратів у системах захисного уземлення	109
2.2.1. Захисне уземлення. Мережі із уземленою та ізольованою нейтраллю	109
2.2.2. Класифікація типів захисного уземлення розподільних систем. Принцип тривіневого захисту	113
2.3. Захисні властивості та захищеність електричної апаратури	119
2.3.1. Захисні властивості електричної апаратури	119
2.3.2. Захищеність електричної апаратури від проникнення сторонніх предметів та вологи	125

Глава 3

Вимоги до електричних апаратів. Умови роботи. Позначення та маркування

3.1. Вимоги до електричних апаратів	129
3.1.1. Класифікація вимог до електричних апаратів	129
3.1.2. Вимоги щодо безпечності конструкцій електричних апаратів	131
3.1.3. Загальні експлуатаційні вимоги до електричних апаратів	139
3.2. Умови роботи електричних апаратів.....	147
3.2.1. Нормальні умови роботи електричних апаратів	147
3.2.2. Ненормальні умови роботи електричних апаратів	151
3.2.3. Робота електричних апаратів при коротких замиканнях. Струмообмеження та інтеграл Джоуля.....	155
3.3. Позначення та маркування електричних апаратів	173
3.3.1. Позначення електричних апаратів та інших елементів електричних кіл	173
3.3.2. Маркування електричних апаратів	176
3.3.3. Кольорове кодування та маркування.....	181

Глава 4

Електромеханічна апаратура. Призначення та застосування

4.1. Електромеханічні комутаційні апарати низької напруги	185
4.1.1. Запобіжники.....	186
4.1.2. Роз'єднувачі, вимикачі та комбінації із запобіжниками	192
4.1.3. Відмикачі промислового застосування	195
4.1.4. Відмикачі для побутових та аналогічних електроустановок.....	201
4.1.5. Відмикачі, керовані різницевиими струмами	207
4.1.6. Контактори та пускачі.....	212
4.1.7. Апарати кіл керування	218
4.1.8. Електромагнітні реле	226
4.1.9. Промислові з'єднувачі та з'єднувальні пристрої	233
4.1.10. Вимикачі та з'єднувачі побутового застосування	237
4.2. Електромеханічні комутаційні апарати середньої напруги	243
4.2.1. Відмикачі	243
4.2.2. Роз'єднувачі та перемикачі уземлення	252
4.2.3. Вимикачі-роз'єднувачі.....	253
4.2.4. Запобіжники.....	254
4.2.5. Комбінації із запобіжниками.....	256
4.2.6. Контактори.....	257
4.3. Електромеханічні комутаційні апарати високої напруги	259
4.3.1. Відмикачі	259
4.3.2. Роз'єднувачі.....	266
4.4. Комплектні пристрої та суміжне обладнання	267
4.4.1. Розподільні пристрої низької напруги.....	267
4.4.2. Розподільні пристрої середньої напруги	275
4.4.3. Розподільні пристрої високої напруги.....	279
4.4.4. Допоміжне обладнання комплектних пристроїв	283
Список літератури	302
Предметний покажчик	305