

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**С. М. Єсаулов, О. Ф. Бабічева**

**ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ**  
**ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

*(для здобувачів 3–4 курсів усіх форм навчання  
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності  
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)*



**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2023**

**Єсаулов С. М.** Діагностування електрообладнання транспортних засобів :  
конспект лекцій для здобувачів 3–4 курсів усіх форм навчання першого  
(бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 141 – Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка / С. М. Єсаулов, О. Ф. Бабічева; Харків. нац.  
ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова,  
2023. – 101 с.

Автори:

канд. техн. наук, доц. С. М. Єсаулов,

канд. техн. наук, доц. О. Ф. Бабічева

Рецензент

**А. К. Бабіченко**, кандидат технічних наук, професор кафедри  
«Автоматизація технологічних систем та екологічного моніторингу»  
Харківського національного технічного університету «ХПІ»

*Рекомендовано кафедрою електричного транспорту,  
протокол № 12 від 07.12.2020*

© С. М. Єсаулов, О. Ф. Бабічева, 2023

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023

## ЗМІСТ

|                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                                                             | 5  |
| ТЕМА 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ІЗ<br>ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯМ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ЇХНЯ<br>ДІАГНОСТИКА ..... | 6  |
| 1.1 Характеристика компонентів електрообладнання .....                                                                 | 6  |
| 1.2 Характеристика електроприводів спеціального обладнання<br>транспортних засобів .....                               | 9  |
| 1.3 Схеми контролю, керування і сигналізації електрообладнання .....                                                   | 10 |
| 1.4 Принципові електричні схеми електрообладнання.....                                                                 | 12 |
| 1.5 Пошук несправностей в електромеханічному обладнанні .....                                                          | 17 |
| 1.6 Ручний спосіб пошуку несправностей в електричних схемах .....                                                      | 18 |
| ТЕМА 2 ДІАГНОСТИЧНІ ПАРАМЕТРИ, ЇХНІЙ ВИБІР І<br>ВИМІРЮВАННЯ .....                                                      | 22 |
| 2.1 Класифікація діагностичних параметрів .....                                                                        | 22 |
| 2.2 Вибір вимірюваних величин і засобу їхнього контролю.....                                                           | 24 |
| 2.3 Аналогові величини і пристрої для їхнього виміру .....                                                             | 25 |
| 2.4 Пошук несправностей в аналогових пристроях електрообладнання .....                                                 | 28 |
| 2.5 Дискретні пристрої електрообладнання .....                                                                         | 28 |
| 2.6 Параметричні властивості дискретних схем автоматики .....                                                          | 31 |
| 2.7 Пошук несправностей і діагностика параметрів дискретних схем .....                                                 | 33 |
| ТЕМА 3 ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ У<br>ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБАХ .....                                          | 36 |
| 3.1 Електромеханічні датчики-перетворювачі.....                                                                        | 36 |
| 3.2 Гідравлічні і пневматичні перетворювачі .....                                                                      | 36 |
| 3.3 Акустичні датчики .....                                                                                            | 38 |
| 3.4 Гальваномагнітні перетворювачі Холу і Гауса.....                                                                   | 40 |
| 3.5 Перетворювачі на основі ефекту Баркгаузена .....                                                                   | 41 |
| 3.6 Вихрові, індуктивні перетворювачі .....                                                                            | 42 |
| 3.7 Магнітопружні перетворювачі .....                                                                                  | 44 |
| 3.8 Індукційні перетворювачі (віброзаходи) .....                                                                       | 44 |
| 3.9 Електрохімічні перетворювачі .....                                                                                 | 45 |
| 3.10 Перетворювачі на основі напівпровідникових елементів .....                                                        | 47 |
| 3.11 Перетворювачі електричних величин.....                                                                            | 48 |
| 3.12 Комплекти перетворювачів технологічних величин.....                                                               | 49 |
| ТЕМА 4 АНАЛОГОВІ КОМПОНЕНТИ ЕЛЕКТРОННОГО ОБЛАДНАННЯ...                                                                 | 51 |
| 4.1 Суматори.....                                                                                                      | 51 |
| 4.2 Диференціатори.....                                                                                                | 53 |

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.3 Помножувачі.....                                                    | 54 |
| 4.4 Логарифмічні підсилювачі.....                                       | 55 |
| 4.5 Спеціальні обчислювальні схеми.....                                 | 56 |
| 4.6 Захист аналогових обчислювальних пристроїв від перешкод.....        | 57 |
| ТЕМА 5 ЦИФРОВІ КОМПОНЕНТИ ЕЛЕКТРОННОГО ОБЛАДНАННЯ .....                 | 60 |
| 5.1 Система логічних елементів .....                                    | 60 |
| 5.2 Цифрові схеми і їхня діагностика .....                              | 63 |
| ТЕМА 6 КОМБІНОВАНІ СХЕМИ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ.....                         | 64 |
| 6.1. Склад комбінованого електрообладнання.....                         | 64 |
| ТЕМА 7 РОЗРОБКА БЛОК-СХЕМ АЛГОРИТМІВ ДІАГНОСТУВАННЯ.....                | 69 |
| 7.1 Графічне представлення алгоритмів діагностування.....               | 69 |
| 7.2 Вибір етапів діагностування електроустаткування.....                | 69 |
| 7.3 Складання блок-схеми алгоритму діагностування.....                  | 70 |
| ТЕМА 8 МОДЕЛЮВАННЯ КОМПОНЕНТІВ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ.....                   | 72 |
| 8.1 Моделювання дискретних електричних пристроїв .....                  | 72 |
| 8.2 Моделювання аналогових пристроїв .....                              | 74 |
| 8.3 Мехатронні системи на транспорті .....                              | 79 |
| ТЕМА 9 РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ ДІАГНОСТИКИ<br>ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ .....     | 81 |
| 9.1 Підготовка алгоритму пошуку несправностей і діагностики .....       | 81 |
| 9.2 Бінарні системи діагностики.....                                    | 82 |
| 9.3 Кодування несправностей .....                                       | 86 |
| ТЕМА 10 РОЗРОБКА ДІАГНОСТИЧНИХ БЛОКІВ І СТАЦІОНАРНИХ<br>СТЕНДІВ.....    | 88 |
| 10.1 Реалізація сховової логіки діагностики .....                       | 88 |
| 10.2 Діагностика гібридних електричних схем.....                        | 89 |
| ТЕМА 11 ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ..                | 91 |
| 11.1 Розрахунок і вибір компонентів для діагностичних пристроїв .....   | 91 |
| 11.2 Технічний дизайн діагностичних пристроїв .....                     | 93 |
| ТЕМА 12 ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ДІАГНОСТИЧНОГО ПРИСТРОЮ.....                 | 96 |
| 12.1 Визначення економічної ефективності пристрою .....                 | 96 |
| 12.2 Облік тенденцій розвитку техніки із засобами самодіагностики ..... | 98 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....                                    | 99 |

## ВСТУП

Діагностика електрообладнання і пошук несправностей в ланцюгах керування електромеханічних пристроїв займає важливе місце при технічному обслуговуванні й ремонті транспортних засобів. Постійне зростання числа електричних блоків і різних спеціальних електронних пристроїв, що впроваджуються на транспорті, в корені змінили прийоми діагностики, засновані раніше на ручних інтуїтивних методах. Нині діагностування транспорту виконується висококваліфікованим персоналом, що розуміє і досконально знає влаштування електричного обладнання, правила його експлуатації, і використовує при цьому вбудовані або автономні засоби автоматичного діагностування електричних схем.

В курсі лекцій дисципліни «Діагностика електрообладнання транспортних засобів» *переслідується мета* допомогти студентам зрозуміти принципи створення електричних схем електрообладнання різного призначення і пошуку в них несправних компонентів, навчитися синтезувати алгоритми пошуку несправностей, вибирати технічні засоби для реалізації алгоритмів діагностики, правильно експлуатувати й ідентифікувати результати вимірів, отримані за допомогою автоматичного діагностичного обладнання.

В результаті вивчення курсу студент *повинен знати* компоненти основного і спеціального обладнання для реалізації автоматичних засобів діагностики конкретних блоків і вузлів електрообладнання на транспортних засобах, *уміти* експлуатувати діагностичне обладнання, *знати* перспективні напрями розвитку засобів діагностики на транспорті, застосування яких доцільне в муніципальному господарстві.

Для освоєння розділів курсу «Діагностика електрообладнання транспортних засобів» будуть потрібні знання, придбані з дисциплін: «Фізика», «Хімія», «Математика», «Теорія автоматичного керування», «Мікросхемотехніка», «Електрообладнання транспортних засобів», «Мікропроцесорні пристрої».

Дисципліна «Діагностика електрообладнання транспортних засобів» представлена у системі дистанційного навчання на базі конструктора Moodle.

Конспект лекцій включає ряд тем для вивчення дисципліни «Діагностика електрообладнання транспортних засобів» для здобувачів 3–4 курсів за освітньо-професійною програмою «Електромеханіка» першого (бакалаврського) рівня навчання.

# **ТЕМА 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ІЗ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯМ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ЇХНЯ ДІАГНОСТИКА**

*Структура технологічних об'єктів* – сукупність впорядкованих зв'язків між компонентами спеціалізованих транспортних засобів з електрообладнанням, призначених для механізації різних робіт, перевезення вантажів і пасажирів.

*Технічна діагностика* – встановлення і вивчення ознак, що характеризують наявність дефектів в машинах, пристроях, вузлах, елементах і тому подібне, для пророцтва можливих відхилень в режимах їх роботи, а також розробка методів і засобів виявлення і локалізації дефектів.

*Діагностика електрообладнання* – дисципліна, що відображає принципи встановлення ознак несправностей компонентів електричних схем електрообладнання і розробки засобів для їх виявлення і локалізації.

## **1.1 Характеристика компонентів електрообладнання транспортних засобів**

*Транспортні засоби або транспорт* (transporto – переміщаю) – галузь виробничої діяльності, що здійснює перевезення людей або вантажів. Розрізняють наземний, водний і повітряний транспорт. Наземні види – автомобілі, електротранспорт і трубопроводи. Авто- і електротранспорт за призначенням можна розділити на: загального користування (сфера звернення населення), не загального користування (внутрішньовиробнича сфера), спеціалізований (механізація певного виду робіт і послуг).

*Транспортні засоби (ТЗ)* із спеціальним електромеханічним обладнанням в муніципальних умовах використовуються для виконання різних видів робіт за участю людини або самостійно. Асортимент таких ТЗ постійно збільшується. Спеціалізовані транспортні засоби (СТЗ) мають різне електрообладнання, що експлуатується за допомогою енергоустановок на базі авто- і електромобілів або контактної мережі міського електротранспорту.

*Контактна мережа (КМ)* електротранспорту є багатокілометровими ділянками дрітної електричної мережі й рейковими шляхами, що забезпечують життєдіяльність транспортних комунальних підприємств. Усі КМ з'єднуються з тяговими підстанціями (ТП), що містять дороге обладнання, призначене для перетворення електричної енергії високовольтного ланцюга живлення 10/8 кВ в напругу постійного струму (600 В), розраховану на використання споживачів з різними величинами навантаження.

Для захисту електрообладнання транспорту від струмів короткого замикання (КЗ) і ненормованих умов експлуатації в природних умовах, використовуються складні інтелектуальні засоби автоматики, що забезпечують своєчасне відключення обладнання від випрямних агрегатів, включення засобів примусового охолодження агрегатів, включення пристроїв сповіщення обслуговуючого персоналу, центральних і районних диспетчерських пунктів (ЦДП) і (РДП) і багато що інше.

Усі види транспорту складають парк рухомих одиниць (РО) транспортного підприємства, на базі якого пропонуються послуги з перевезення пасажирів і вантажів. Авто- і електромобілі, оснащені спеціальним електрообладнанням і експлуатуються в різних природних умовах, що негативно впливає на їх технічний стан. Очевидно, що на найбільш зношені частини ТЗ впливають зовнішні чинники: запиленість, вологість, порушення умов експлуатації та ін. У таких умовах технічний стан електрообладнання необхідно регулярно контролювати, не допускаючи його експлуатацію за наявності дефектів.

Виявлення дефектів в електрообладнанні виробляється при щоденному технічному обслуговуванні (ЩТО) транспортних засобів. Проведення ЩТО виконується на ділянках, оснащених засобами ручного, напівавтоматичного і автоматичного діагностування (рис. 1.1).

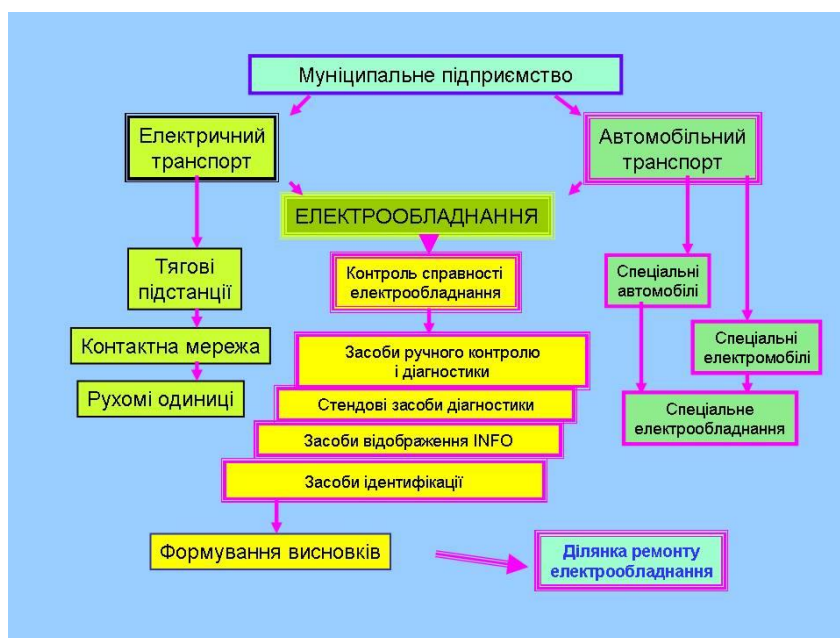


Рисунок 1.1 – Транспортне електрообладнання і його діагностика

Діагностичне обладнання є автономними вимірювальними приладами або індикаторами. При діагностиці складних пристроїв використовують оригінальні за конструкцією стенди із спеціальними приладами для контролю,

автоматичної обробки інформації й відображення результатів вимірів. При цьому транспортний засіб оснащується тільки спеціальними елементами для «знімання» початкової інформації.

Важливу роль при цьому має технічна підготовка персоналу, який зобов'язаний знати експлуатовану техніку, припускати термін її зносу, уміти правильно користуватися діагностичними приладами і стендами, ідентифікувати дані отриманих вимірів.

Компоненти діагностичного контролю забезпечують формування найважливішої інформації про справність електрообладнання. Отримана завершальна інформація зазвичай в електронному вигляді передається в базу даних для використання її усіма зацікавленими підрозділами (ділянки обслуговування і ремонту). Діагностична інформація в сукупності відображає:

1 – характеристику електрообладнання, терміни введення її в експлуатацію і обслуговування;

2 – хронологічний облік усіх виявлених несправностей і усунення їх з вказівкою дати і виконавців виконаних робіт;

3 – перелік і терміни ремонту або заміни компонентів обладнання з вказівкою виконавців проведених робіт.

Електронні записи зберігаються в базі даних, мають захист від коригування, але доступні для публікації і тиражування зацікавленими користувачами.

Плановий пошук можливих несправностей грає важливу роль для будь-якого підприємства, оскільки обслуговування ТЗ і ремонт окремих компонентів у нормовані терміни, забезпечує безперебійну надійну експлуатацію транспорту за будь-яких умов.

У зв'язку з різноманітністю технологічних прийомів і оригінальністю інженерних рішень при проектуванні спеціального електрообладнання для муніципальних підприємств, очевидно, що неможливо створити універсальний засіб діагностики для усіх видів електрообладнання. Технічні пристрої для діагностики електричних машин і механізмів створюється силами регіональних проектних організацій за участю персоналу самих користувачів електрообладнання.

З розвитком напівпровідникової техніки було створено безліч приймальних елементів (датчиків технологічних величин), за допомогою яких трапилася нагода створювати унікальне обладнання для систем автоматики різного призначення. Отримали інтенсивний розвиток і засоби діагностики технологічних об'єктів. Безліч діагностичних засобів створена в автомобільній галузі, в якій такі пристрої дозволяють не лише виявляти дефекти, але і вибирати оптимальні умови експлуатації, контролювати міру зносу окремих



блоків і вузлів, попереджати експлуатацію в аварійних ситуаціях і багато що інше.

Мікропроцесорна техніка стала невід'ємною частиною практично усіх нових розробок на транспорті. Автомобілі оснащуються бортовими комп'ютерами, що виконують також функції вбудованого діагностичного експерта. Більше 100 точок контролю, передбачених на різних вузлах і блоках автомобіля, дозволяють не лише вести багатовимірний аналіз параметрів експлуатації транспортного засобу, але і вибирати при цьому найбільш оптимальні режими, забезпечуючи тим правильну експлуатацію усього обладнання.

## **1.2 Характеристика електроприводів спеціального обладнання транспортних засобів**

*Електрична машина* – пристрій, що відображає взаємозв'язок між електричною і механічною системами, призначеними для перетворення енергії з однієї форми в іншу.

До базових компонентів електрообладнання слідє віднести всі електричні вузли і блоки транспортних засобів, на основі яких створюються засоби механізації для муніципального господарства.

*Двигуни* – машини, що перетворюють електричну енергію в механічну.

*Генератори* – машини, що перетворюють механічну енергію, що підводиться до валу, в електричну (постійного і змінного струму, автомобільні генератори та ін.).

*Перетворювачі* – машини, що перетворюють електричну енергію з певними параметрами (вид струму, напруга, частота) в електричну енергію з іншими аналогічними параметрами.

*Виконавчі двигуни* – електричні двигуни служать для перетворення електричного керуючого сигналу, що підводиться до них, в механічне переміщення валу (двофазні і трифазні асинхронні двигуни, синхронні машини, двигуни постійного струму, крокові двигуни, двигуни редукторів, одно- і трифазні сельсини та ін.).

Електричні машини постійного струму набули поширення в установках різної потужності від доль вата до тисяч кіловат. Основною гідністю таких машин є можливість плавного регулювання швидкості обертання валу в широкому діапазоні швидкостей. Популярність таких машин обумовлена можливістю застосування електромеханічних пристроїв на їх базі з електричним живленням від автономних джерел постійного струму

(автомобільних акумуляторів, випрямних агрегатів, пересувних генераторів постійного струму та ін.).

*Електромашини змінного струму* (синхронні і асинхронні) у ряді випадків можуть працювати як в синхронному, так і в асинхронному режимах.

*Синхронні машини* (СМ) або *синхронні двигуни* (СД) – ротор обертається із швидкістю (синхронно) обертання магнітного поля статора. Такі машини з потужністю від доль ватів до мільйонів кіловат знайшли застосування при рішенні дуже широкого кола прикладних завдань. Найбільш популярні СМ в пересувних електростанціях, автономних джерелах електроенергії, на технологічних об'єктах з насосами (пересувні спеціалізовані машини для ремонту водопровідної і каналізаційної мереж), повітродувках, мішалках і тому подібне практично з будь-якою необхідною потужністю електромеханічного приводу.

*Асинхронні машини* (АМ) – ротор такого двигуна обертається відносно ведучого поля з постійним відставанням (несинхронний).

Надійні в роботі економічні *асинхронні безколекторні двигуни* різної потужності застосовуються в більшості технічних пристроїв, експлуатація яких передбачена з живленням від мережі промислової частоти.

Асинхронні машини з фазним і короткозамкнутим ротором використовуються досить часто, але найбільш поширені з них останні, оскільки відрізняються простотою конструкції і високою надійністю в роботі.

*Редукторні реактивні СД* – є мікродвигунами, за допомогою яких можна отримати низьку синхронну швидкість при стандартній частоті або значно нижчу швидкість, ніж дають звичайні реактивні двигуни при підвищених частотах. Застосування електромагнітної редукції в СД усуває необхідність використання механічних редукторів, забезпечуючи тим малошумність конструкцій і їх високу надійність.

*Сельсини* – спеціальні електричні машини, що використовують для передачі на відстань величин кутового переміщення з високою мірою точності. Сельсини використовують в засобах автоматики і на технологічних об'єктах для точних кутових переміщень виконавчих органів і механізмів.

Двигуни, генератори, виконавчі двигуни змінного і постійного струму обов'язково оснащуються системами керування і регулювання.

### **1.3 Схеми контролю, керування і сигналізації електрообладнання**

У системах контролю, керування і автоматичного регулювання спеціалізованих транспортних засобів значне місце займають електричні

прилади, блоки апаратури і пристроїв, що забезпечують рішення завдань контролю, керування, регулювання, захисту, сигналізації конкретних технологічних процесів і компонентів використовуваного в них електромеханічного обладнання.

У будь-якому навіть найпростішому пристрої на базі електродвигуна обов'язково є вимикач напруги, запобіжник, засіб сигналізації подачі напруги та ін.

Розробка принципів електричних схем завжди містить певний елемент творчості розробника і вимагає умілого застосування класичних елементарних ланцюгів і функціональних вузлів, а також використання елементної бази, що постійно оновлюється, щоб створити оптимальне технічне рішення з урахуванням вимог електричних установок, що висувуються до схем і пристроїв.

*Схема* – конструкторський документ (креслення), в якому складові частини виробу – елементи і зв'язки між ними зображені умовно.

У принципів електричних схемах такими елементами є резистори, конденсатори, транзистори, мікросхеми і тому подібне. Коли говорять про несправність схеми, очевидно, що йдеться не про креслення, а про саме електрообладнання з елементами, зображеними на схемі.

Уміння читати схеми лежить в основі підготовки фахівців, що займаються пошуком несправностей і усуненням їх в експлуатованому електрообладнанні. Існує декілька типів схем, за допомогою яких здійснюється детальне вивчення електричних конструкцій і пристроїв.

*Структурна схема* – визначає основні функціональні частини пристрою або окремих його блоків.

*Функціональна схема* – роз'яснює процеси, що протікають в кожній з частин пристрою.

*Принципова (повна) схема* – визначає повний склад елементів і зв'язків між ними і дає детальне уявлення про принцип роботи пристрою.

*Система автоматичного контролю* – сукупність приймальних елементів, перетворювачів і вимірювальних пристроїв, призначених для виміру поточних значень базових технологічних величин, тісно пов'язаними з ходом технологічного процесу або його окремих стадій.

*Система керування* – сукупність керованого об'єкту і пристрою керування (комплекс засобів збору, обробки, передачі інформації, формування керуючого сигналу або команд, сигналів сповіщення та ін.), дія яких спрямована на підтримку або поліпшення умов експлуатації технологічного об'єкту.

*Схема сигналізації* – сукупність компонентів, що забезпечують безперервний контроль і сповіщення про порушення нормального режиму

експлуатації технологічного об'єкту за допомогою електромеханічних, світлових і звукових сигналів.

На технологічних об'єктах з електроприводами як приймальні елементи часто використовують невеликі електричні машини.

*Крокові двигуни* (КД) – імпульсні або синхронні електродвигуни з переривчастим обертанням ротора, яке точно відповідає числу і порядку імпульсів, що подаються на керувальні обмотки (фази). Ці двигуни малої потужності відрізняються швидкодією, простотою, надійністю, точністю і малими габаритами. КД застосовуються в засобах автоматики і автоматизованих приводах з числовим програмним керуванням дискретної дії. Для зменшення кроку реалізації в таких електричних машинах використовують електромагнітну редукцію, що дозволяє підвищити швидкодію за рахунок зменшення часу на переміщення ротора при відробітки кроку, але крутий момент при цьому помітно знижується.

*Магнесини* – магнітоелектричні безконтактні сельсини, призначені для синхронної передачі обертання валів виконавчих пристроїв і механізмів в системах з малопотужними індикаторними пристроями автоматики.

*Тахогенератори* (ТХГ) – макрогенератори постійного струму з незалежним збудженням або з постійними магнітами. Застосовуються для отримання електричного сигналу (напруга) пропорційного швидкості обертання валу. ТХГ використовують в схемах автоматизації технологічними об'єктами, стабілізації швидкості обертання приводів, системах стеження та ін.

У зв'язку з постійно зростаючим асортиментом електромеханічних пристроїв, що створюються для потреб працівників муніципального господарства, безперервно росте і асортимент електричних машин, використовуваних у новому обладнанні. Відмінною рисою нових виробів є застосування в них вбудованих компонентів, які спрощують розробку засобів контролю і автоматизації, що дає передумову створення електромеханічних пристроїв, експлуатація яких можлива без участі оператора людини (роботи, маніпулятори та ін.).

## **1.4 Принципові електричні схеми електрообладнання**

Електрообладнання сучасних транспортних засобів є складним комплексом взаємопов'язаних електротехнічних і електронних систем, приладів і пристроїв, що забезпечують надійне функціонування двигуна, трансмісії і ходової частини, спеціального електромеханічного обладнання, безпеки руху, автоматизації робочих процесів автомобіля або електромобіля,

комфортні умови для водія, пасажирів або персоналу, обслуговуючого спеціальне навісне і додаткове обладнання.

*Електрообладнання* включає наступні системи і пристрої: електропостачання; пуску електростартера двигуна; освітлення, світлової і звукової сигналізації; електронні системи керування агрегатами і блоками; інформації і контролю технічного стану усього використовуваного обладнання транспортного засобу і його агрегатів; електроприводів; пригнічення радіоперешкод; комутаційні, захисні пристрої та електропроводку.

У систему електропостачання входять генераторна установка і акумуляторна батарея. До системи пуску електростартера відносять акумуляторну батарею, електростартер, реле керування (додаткові реле і реле блокування) і електротехнічні пристрої для полегшення пуску двигуна. Система запалення в карбюраторному двигуні забезпечує роботу двигуна, в яку входять свічки, котушка запалення, переривник-розподільник, датчик-розподільник, напівпровідниковий комутатор, додатковий резистор, високовольтні дроти, наконечники і так далі.

*Система освітлення і світлової сигналізації* об'єднують освітлювальні прилади (фари головного освітлення), освітлювальні ліхтарі (габаритні вогні, показники повороту, стоп-сигнали, ліхтарі заднього ходу, освітлення робочих місць та ін.) і різні реле управління ними.

*Система інформації і контролю* включає датчики і показники тиску масла, температури охолоджуючої рідини, рівня палива в баку, спідометр, тахометр, сигнальні (контрольні) лампи, датчики положення механічних приводів, валів, виконавчих механізмів та ін.

Електропривод (електродвигуни, моторедуктори, мотонасоси) знаходить усе більше застосування в системах склоочистки, опалювання, вентиляції, передпускового підігрівання двигуна, підйому і опускання скла, антени радіостанції для зв'язку з диспетчером, дзеркал заднього виду, блокування дверей і склопідйомників.

*Комутаційна і захисна апаратура*: вимикачі, перемикачі, сполучні панелі і роз'ємні з'єднання.

Розвиток електрообладнання тісно пов'язаний з широким застосуванням напівпровідникової електроніки і мікропроцесорів, що забезпечують автоматизацію і оптимізацію робочих процесів, велику безпеку руху, зниження токсичності відпрацьованих газів і поліпшення умов роботи водіїв та персоналу, обслуговуючого спеціальне обладнання.

У спеціалізованих автомобілях муніципального призначення для очищення вулиць від снігу і вологого прибирання, вивезення відходів, обслуговування паркового господарства та ін. застосовується обладнання, яке

характеризується збільшенням числа споживачів електроенергії від бортової мережі автомобіля або автономного джерела електричного живлення. У зв'язку з цим на зміну колишньому електроустаткуванню приходять нові, складніші за конструкцією і схемним рішенням електричні та електронні вироби і системи. Від технічного стану усього електрообладнання багато в чому залежить експлуатаційна потужність будь-якого транспортного засобу і продуктивність обладнання при виконанні певного виду робіт.

*Контактно-релейні схеми (КРС)* – є складання об'ємної конструкції, виконані на контактних і релейних елементах. Роботу таких пристроїв можна контролювати і спостерігати, що ілюструє лабораторний стенд ПЭ-ДД (пакет програм SinSys) (рис. 1.2).

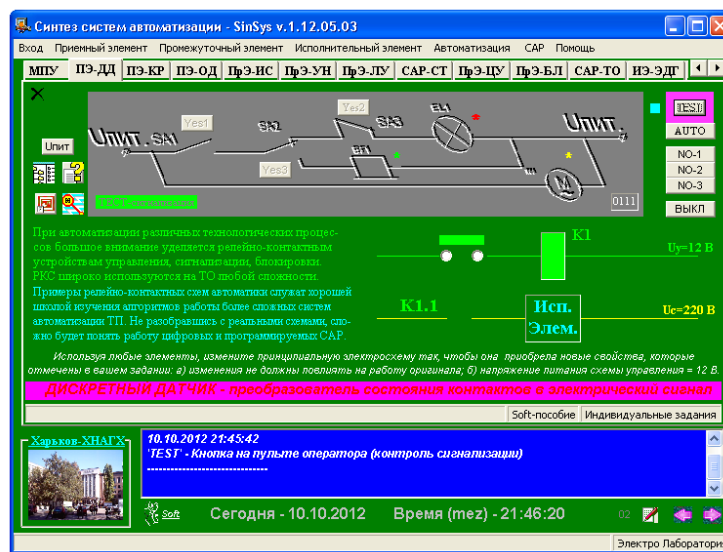


Рисунок 1.2 – Електронний стенд для вивчення роботи КРС

КРС реалізують часто дуже складні алгоритми керування різними виконавчими механізмами. КРС можуть містити засоби контролю електричних величин, сигналізації їх гранично допустимих рівнів, захисту, блокування та ін. Стан контактів окремих елементів схеми дозволяє зрозуміти роботу таких пристроїв, а тому вивчення реальних КРС рекомендоване для початку освоєння прикладної схемотехніки, що утілює ідеї розробників в транспортне обладнання.

*Безконтактні (логічні) схеми (ЛС)* – реалізують складні алгоритми автоматичного контролю, регулювання і сигналізації робочих процесів на транспортних засобах за допомогою електронних логічних пристроїв виконаних на базі твердотілих напівпровідникових мікросхем і елементів. Ці пристрої є виробами навісного друкарського монтажу (плати) з малими вагою і різними габаритними розмірами. Привабливою стороною таких пристроїв є функціональність, економічність, надійність роботи без планового

обслуговування в широкому інтервалі температур довкілля. У відмінності від КРС роботу компонентів в таких схемах неможливо спостерігати без спеціальних засобів – «тест-індикаторів», що підключаються до пристроїв через спеціальні роз'єми.

Роботу логічного пристрою можна спостерігати за допомогою стенду ПРЭ-ЛУ (пакет програм SinSys) (рис. 1.3).

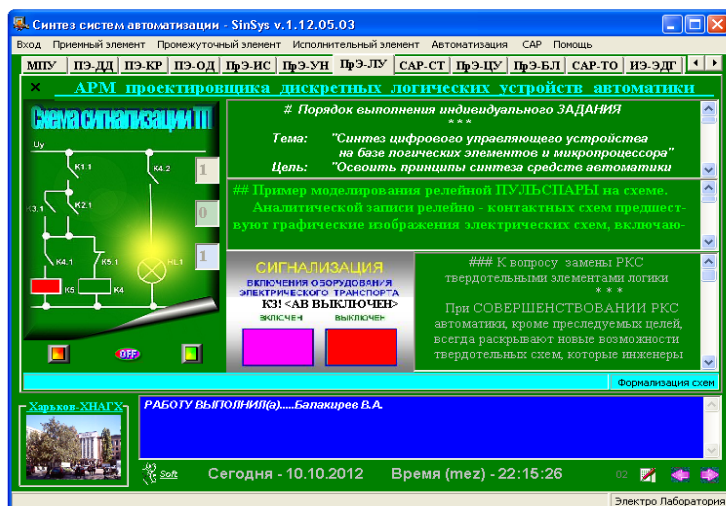


Рисунок 1.3 – Електронний стенд для вивчення роботи логічних пристроїв

У електронному обладнанні транспортних засобів часто можна зустріти гібридні схеми, в яких спільно використовуються контактні й напівпровідникові елементи (контактно-транзисторна система запалення).

*Програмовані пристрої (мікропроцесорні, мікроконтролери)* – є складними технічними пристроями на базі великих інтегральних схем є автономні або бортові комп'ютери, функціональні властивості яких визначаються програмним забезпеченням. Гідністю таких пристроїв є можливість технічної реалізації пристроїв з високим «інтелектом», модернізація яких досягається шляхом вдосконалення їх програмного забезпечення. Такі пристрої мають вбудовані засоби самодіагностики і сповіщення користувачів з використанням попередньо розробленого переліку можливих несправностей, що представляють ідентифікаційну базу тільки для конкретного пристрою. Публікація умовних номерів несправностей на дисплеях або моніторах, на жаль, може бути розшифрована тільки фахівцем, який добре знає структуру мікропроцесорного пристрою і розуміє мову програмного забезпечення. Як і в ЛС для діагностики мікроконтролерів передбачаються спеціально розроблені «тест-індикатори», що підключаються до пристроїв через спеціальні тест-роз'єми.

Приклад програмованого пристрою, що забезпечує обробку даних від декількох датчиків, можна спостерігати на стенді ПрЭ-БЛ (пакет програм SinSys) (рис. 1.4).

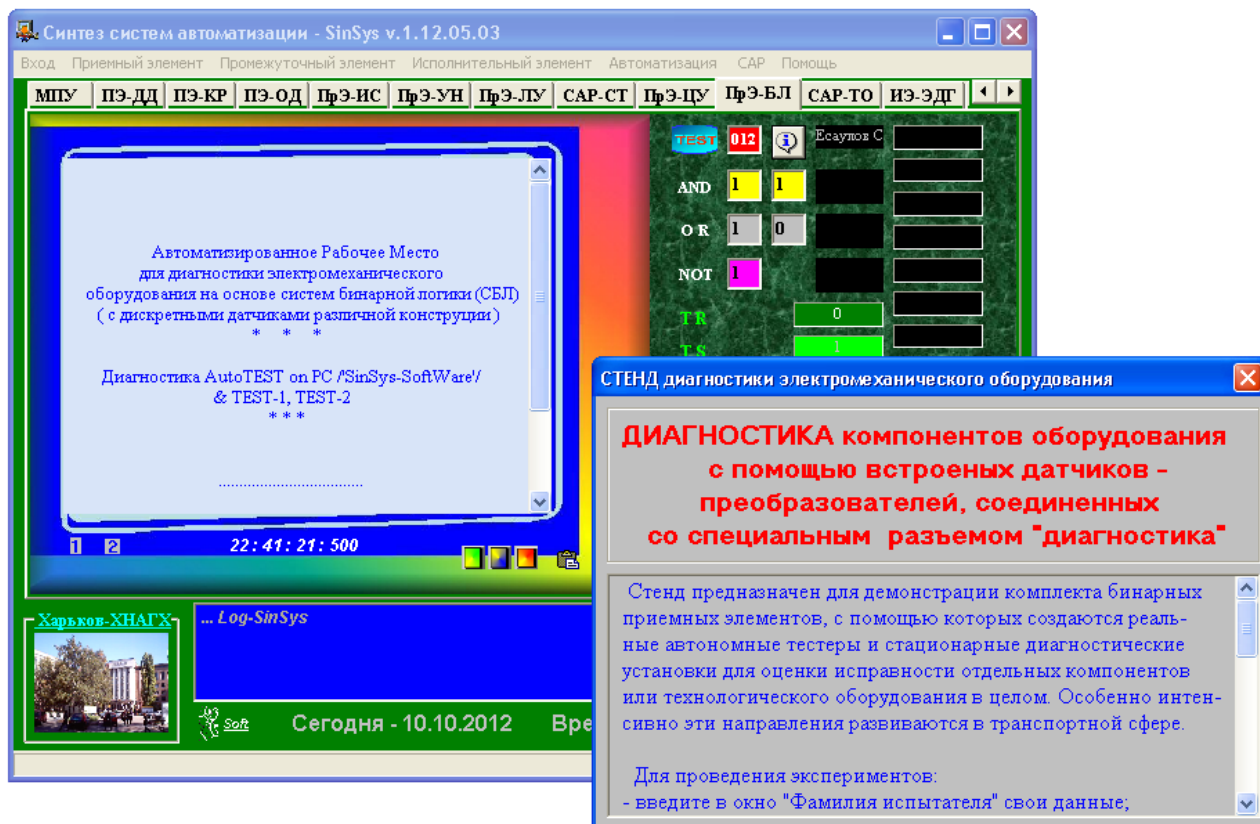


Рисунок 1.4 – Стенд (АРМ) програмної обробки початкових даних від декількох приймалень елементів

Цей стенд оснащений також засобами, що демонструють перегляд бази цих умовних позначень можливих несправностей комп'ютера. Доступ до цієї інформації не передбачений для усіх користувачів (кнопки «1» – TEST – 1; «2» – TEST – 2).

Розглянуті приклади ілюструють різницю схем електрообладнання між варіантами, використовуваними на транспортних засобах, що зайвий раз вказує про високий рівень вимог до технічної підготовки персоналу, обслуговуючого і виконуючого ремонт електрообладнання сучасного електромеханічного обладнання, особливо, спеціального призначення.

На рисунку 1.5 ілюструється реальна схема електрообладнання автомобіля, в якій представлена електрична машина-генератор (1), реле (2) контактно-релейної схеми керування, блок стабілізації бортової мережі, виконаний на напівпровідникових елементах (3), блок керування, контролю і діагностики окремих компонентів схеми (4) на інтегральних мікросхемах, панель контролю і сигналізації робочих параметрів автомобіля (5), що містить



показувальні вимірювальні прилади, засоби світлової індикації, сигналізації і аудіовипромінювачі.

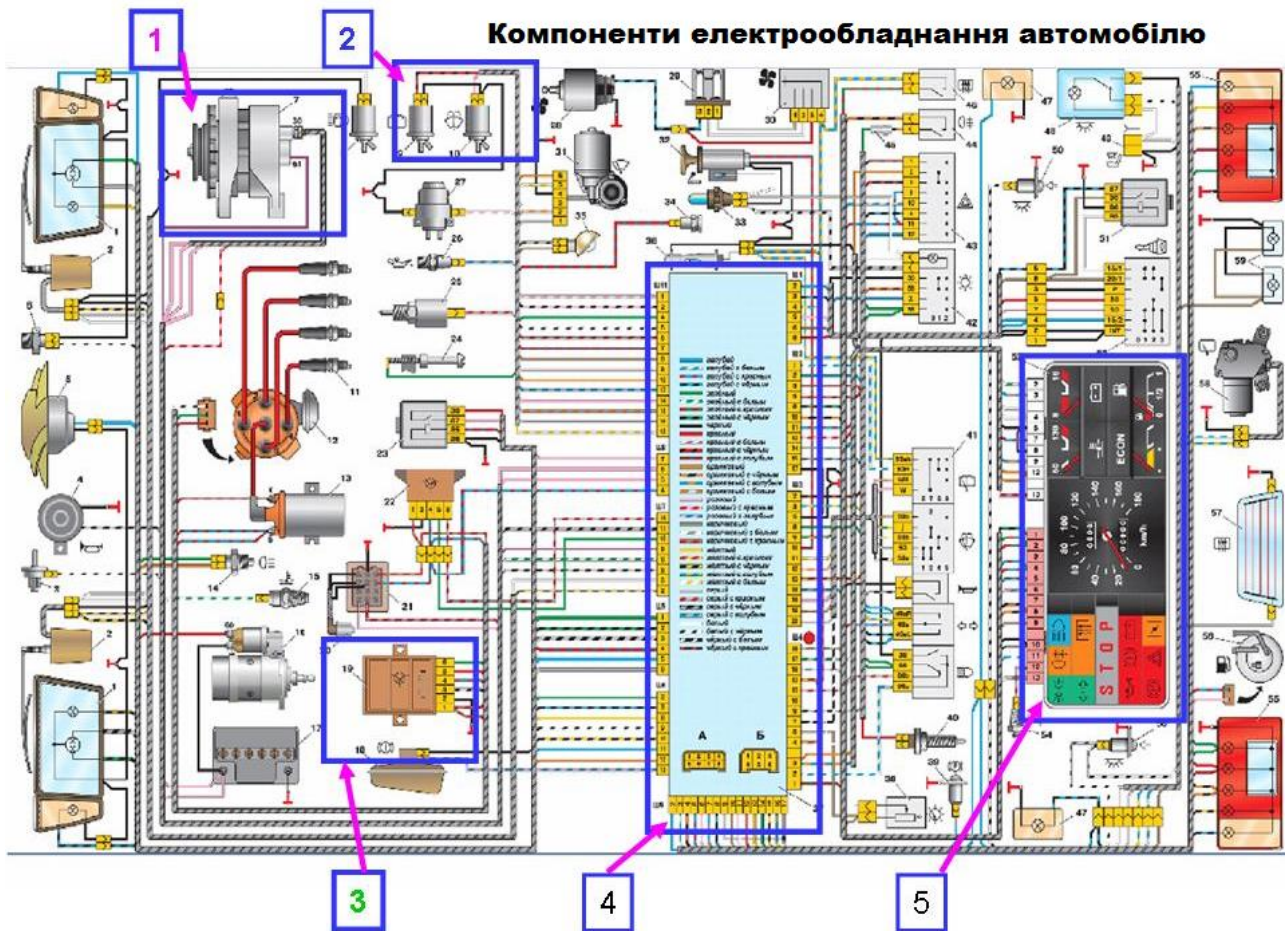


Рисунок 1.5 – Принципова схема електрообладнання автомобіля:  
1 – електрогенератор; 2 – реле; 3 – напівпровідниковий блок стабілізації бортової мережі; 4 – блок керування з клемми діагностики;  
5 – панель контролю і сигналізації параметрів.

### 1.5 Пошук несправностей в електромеханічному обладнанні

*Електромеханічне обладнання* – це комплект технічних засобів, в якому електрична енергія перетворюється у відповідне механічне лінійне або кутове переміщення, що забезпечує виконання необхідної роботи. Як такі пристрої найбільш популярні електричні приводи (електродвигуни) різної потужності з редукторами на валу і виконавчими механізмами.

Взаємозв'язок механічних і електричних компонентів в такому обладнанні відрізняється складністю при діагностуванні й пошуку можливих несправностей.

Традиційно варіанти діагностування ділять на 2 роздільні операції:

– діагностування механічної частини;

– діагностування електричної частини.

Механічна частина відрізняється тим, що, розібравши будь-який блок на складові елементи, деякі дефекти в них нерідко виявляються візуально, параметри інших окремих елементів можна виміряти, визначити їх неприпустимі відхилення. Інші дефекти, що відносяться до прихованих, можна виявити лише за допомогою спеціальних пристроїв (ультразвукові дефектоскопи, тепловізори, рентгеноскопи та ін.). Алгоритм (послідовності операцій) пошуку несправностей в механічному обладнанні шляхом його розбирання, огляду, вимірів дозволяє перевірити справність будь-якого елемента і відразу сформулювати висновки про доцільність ремонту або заміни кожного з них. Після усунення дефектів зборка усіх елементів пристрою виробляється в порядку зворотному порядку прийнятому при розбиранні.

Електрична частина в усіх електромеханічних пристроях відрізняється оригінальністю, оскільки є електрообладнання різного призначення, виконання, розміщення. Навіть однакові за функціональністю електричні схеми завжди відрізняються використовуваною елементною базою і монтажем окремих частин схеми. У електричних схемах утілюються оригінальні ідеї розробників, а їх реалізація, монтаж і компонування не завжди передбачають простий доступ до здійснення прямих вимірів електричних величин. У електричних схемах різного призначення в більшості випадків несправні елементи на вигляд нічим не відрізняються від справних. Пошук дефектів в таких пристроях можливий тільки за допомогою різних засобів виміру, контролю і діагностики. Послідовність операцій пошуку несправностей (алгоритм) в кожному випадку залежить від багатьох взаємопов'язаних чинників (характеристика і прояв несправності при експлуатації пристрою; число електричних компонентів, що впливають на прояв виявленої несправності; елемент схеми, що реалізовує несправність; другорядні елементи, сприяючі прояву цієї несправності і т. п.). Ці чинники і будуть в кожному конкретному випадку визначати свої прийоми пошуку несправностей.

Нині багато електричних блоків, виконаних на друкувальних платах, не припускають навіть часткове їх розбирання, що істотно ускладнює не лише пошук можливих несправностей, але і їх усунення.

## **1.6 Ручний спосіб пошуку несправностей в електричних схемах**

Прояв несправностей в електричних схемах характеризується збоями в роботі пристрою, порушенням теплового режиму окремих компонентів при експлуатації пристрою в нормованих умовах, невірним виконанням команд керування або повною відмовою в роботі.

Електричні несправності можна підрозділити на два типи:

1. Немає з'єднання там, де воно має бути. Це обрив ланцюга, який виявляється вольтметром, амперметром, тестером.

2. Існує з'єднання там, де його не повинно бути. Цю несправність називають коротким замиканням (КЗ), яке призводить до збільшення струму, механічних дій, нагріву провідникового ланцюга і окремих елементів. Така несправність може бути викликана багатьма причинами, а тому процес її визначення складнішим, а повернення електричного ланцюга в нормальний робочий стан називатиметься *технічною діагностикою*.

Технічна діагностика, наприклад, пошуку причин КЗ включатиме:

- перевірку цілісності провідника (вимір опір);
- вимір потенціалу в двох точках ланцюга (вимір напруги);
- наявність струму через ділянку ланцюга (вимір струму);
- аналіз вимірних величин опору, напруги і струму.

У кожному окремому випадку рекомендується перевіряти напругу на входах, потім в спеціальних точках контролю (вказуються в документації виробника). У вимкненому стані перевіряють справність запобіжників, пристроїв захисту, цілісність ланцюгів і опір ізоляції. Після цього перевіряється схема під напругою.

При цьому діагностика силових керуючих ланцюгів відрізнятиметься одна від одної.

Перевірка силового ланцюга передбачає (обладнання з великими струмами навантаження): живлення (вольтметр), що підводиться до ланцюга; перевірку коректного функціонування пристроїв захисту (індикатори, тестери); візуальна перевірка цілісності провідників і кабелю (перевірка знеструмленої мережі «на обрив» і опір ізоляції за допомогою вимірника опорів); перевірка на іскріння і запах гару; перевірка цілісності ланцюга під напругою (вольтметри з певною точністю, індикатори, контрольні лампи).

При первинній діагностиці схеми витягається інформація про можливу несправність компонентів конкретного вузла або блоку. Щоб уникнути будь-яких нових дефектів при включенні обладнання для виконання необхідних вимірів і тестування обов'язково необхідно знеструмити усю схему або її пошкоджену частину.

Діагностика керуючих ланцюгів (слабкострумне обладнання) передбачає перевірку: наявності і відповідності номіналам джерела живлення (вольтметр, амперметр); правильної роботи дискретних елементів, реле, таймерів, перемикачів та ін. за допомогою вимірювальних пристроїв (осцилограф, індикатори); візуальна перевірка цілісності провідникових ланцюгів; перевірка з'єднань дротів і клем; перевірка логічної послідовності перемикання

контактних пристроїв (релейних, твердотілих); перевірка установки часу таймерів (електронний секундомір, індикатори, вольтметри з різними межами вимірів, тестер).

У керуючих ланцюгах схеми при включенні живлення слід використовувати передбачені органи керування для скидання блоку в «0» (коли немає формування керуючих величин). При знеструмленому керуючому пристрої запустити тестову команду і наслідувати рекомендації (документація розробника) для первинного пошуку несправностей схеми, відмічаючи момент їх прояву. Після цього включити керуючий пристрій і виробляти діагностування за попередньо підготовленою програмою.

Схема на рисунку 1.6 ілюструє приклад пошуку несправностей в ній за допомогою різних вимірювальних приладів.

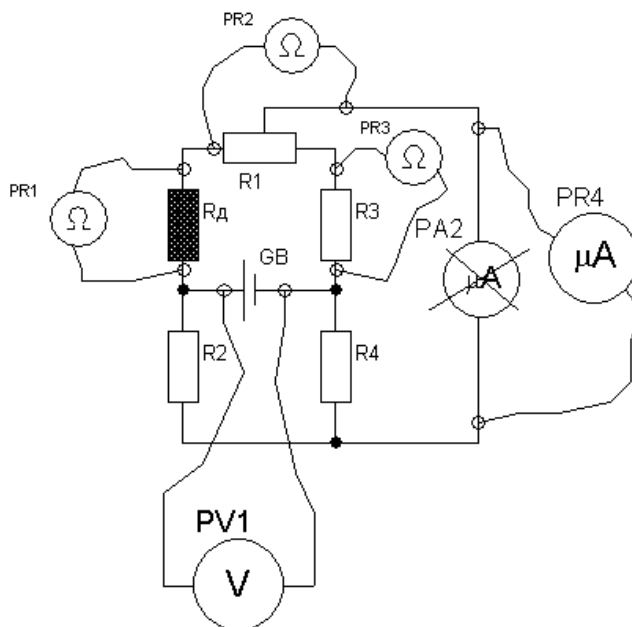


Рисунок 1.6 – Схема пошуку несправних елементів за допомогою переносних приладів контролю:

*PV, PR – вимірювальні прилади*

*Рекомендації для пошуку несправностей у вимірювальній схемі:*

1. Справність джерела живлення GB перевірити за допомогою автономного вольтметра PV1 з межами виміру відповідними рівню напруги на клеммах GB.

2. Для перевірки справності показуючого приладу PA2 слід відключити його від схеми і замінити переносним засобом контролю PR4, що забезпечує вимір розрахункової величини струму в діагоналі моста (приблизно 70% шкали для вимірюваного параметра, тобто для виміру величини 7В потрібний прилад з межами виміру від 0 В до 10 В і т. п.).

3. Для загальної перевірки справності датчика  $R_d$  та інших резисторів в схемі слід скористатися омметром, підключаючи його по черзі паралельно резисторам. При необхідності резистори демонтують з будь-якого боку, згідно із схемою їх включення.

Такий багатоетапний підхід майже завжди забезпечує збереження обладнання, застерігає обслуговуючий персонал від невірних дій і реалізації нових неполадок.

Ручний спосіб пошуку несправностей відрізняється трудомісткістю, вимагає уваги і умілого застосування вимірювальних пристроїв.

## **ТЕМА 2 ДІАГНОСТИЧНІ ПАРАМЕТРИ, ЇХНІЙ ВИБІР І ВИМІРЮВАННЯ**

### **2.1 Класифікація діагностичних параметрів**

Технічне діагностування електрообладнання на транспорті спрямоване в цілому на рішення однієї або декількох завдань: визначення технічного стану за принципом «справно – несправно», пошук і локалізацію місця несправності; на прогнозування вірогідності безвідмовної роботи. Данні завдання вирішуються шляхом проведення робіт по діагностичному забезпеченню електрообладнання транспортних засобів на всіх стадіях розробки, виробництва, експлуатації, капітального ремонту, зберігання та ін.

Діагностичне забезпечення – комплекс взаємопов'язаних методів пошуку несправностей, нормативів, апаратурних і програмних засобів, процесів діагностування, систем метрологічного забезпечення використовуваних методів і засобів технічного діагностування.

Придатність компонентів електрообладнання для їх періодичного контролю досягається за рахунок зручного і простого підключення датчиків різних величин, вибором ефективних методів пошуку несправностей і контролю, введення в схеми вбудованих датчиків і локальних засобів діагностики, комплектування ТЗ бортовими засобами контролю, що видають у будь-який момент часу інформацію про технічний стан відповідних вузлів і блоків. Найбільший інтерес при цьому представляють комплексне використання різних засобів діагностики.

Вимоги до параметрів і методів діагностування включають вимоги до кількісного і якісного складу діагностичних параметрів і до алгоритму пошуку несправностей.

Методи діагностування визначають виходячи зі встановлених завдань і показників діагностування. При цьому використовується діагностична модель об'єкту, правила виміру діагностичних параметрів, їх аналіз і обробка отриманих даних.

З усього різноманіття діагностичних параметрів вибирають і використовують в практичних цілях тільки ті, які відрізняються однозначністю, стабільністю, доступністю і зручністю виміру, інформативністю і технологічністю. Разом з бортовими системами діагностування як і раніше удосконалюються зовнішні засоби технічної діагностики, що являються часто оперативними і ефективними при використанні їх на лініях експлуатації транспорту.

Класифікація діагностичних параметрів (рис. 2.1) враховує технологічні процеси, умови експлуатації пристроїв та ін. чинники, а тому може змінюватися.

В цілому діагностичні параметри (ДП) можна розділити на 3 групи:

- визначувані *в робочих процесах* (відносяться до основних технологічних);
- *супутні* – самостійні, але проявляючи себе тільки при реалізації основних технологічних процесів;
- *електричні* – характеризуються електричними величинами в схемах електрообладнання.

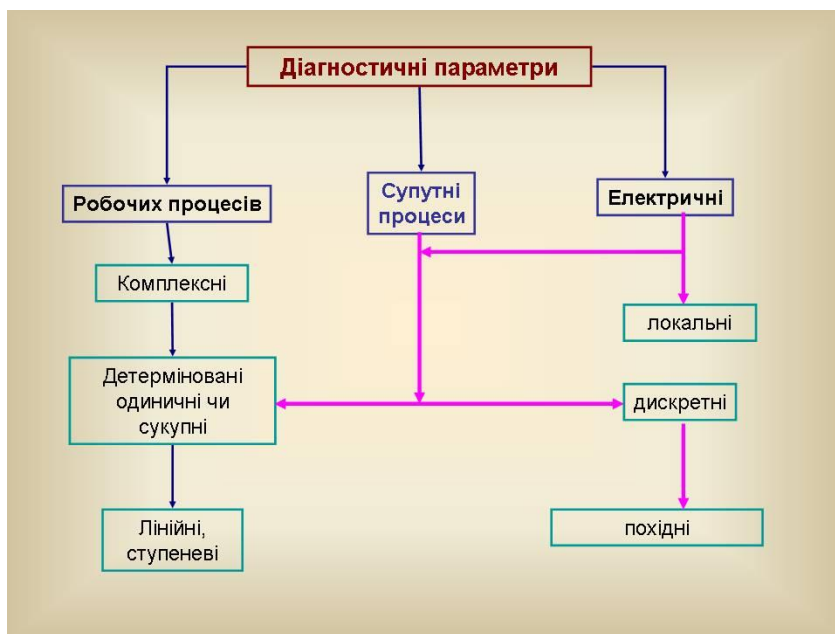


Рисунок 2.1 – Класифікація діагностичних параметрів

*Комплексні* – коли справність обладнання можна визначити за декількома параметрами виміряними одночасно.

*Локальні* – пов’язані з конкретними елементами схеми, окремими вузлами і блоками, діагностування яких виконують автономними пристроями.

*Детерміновані, одиничні, сукупні* – відрізняються постійністю, незалежно від умов експлуатації електрообладнання.

*Лінійні, ступеневі* – відмінною рисою їх є можливість розробки математичних описів процесів придатних для розробки цифрових засобів діагностики.

*Дискретні* – до них відносяться засоби якісного аналізу справності каскадів, блоків, вузлів і пристроїв.

*Похідні* – залежать від дискретних величин, які з дискретними параметрами мають тісний функціональний взаємозв’язок.

## 2.2 Вибір вимірюваних величин і засобу їхнього контролю

Для оцінки технічного стану компонентів електрообладнання вибирають структурні параметри і параметри, які можна використовувати як діагностичні. «Імовірнісні ваги» структурних параметрів за різними умовами експлуатації електричних схем визначають за даними статистичних відмов. При постійному вдосконаленні електрообладнання на транспорті «імовірнісні ваги» визначають за допомогою Інтернет-форумів фахівців конкретного напрямку.

Вибір діагностичних параметрів для оцінки справності компонентів електрообладнання здійснюють з рекомендованої номенклатури (нормативно-технічна документація), а частіше за даними Інтернет-форумів.

На діючому електрообладнанні найбільш популярні величини контролю – струм  $I$ , напруга  $U$ , коефіцієнт потужності  $\cos\varphi$ . В трифазній мережі виміру піддається величина  $U\phi$ , а  $Un$  визначається як похідна:

$$Un = U\phi \cdot 1,732 . \quad (2.1)$$

Також визначаються й інші аналогічні параметри

$$In = I\phi \cdot 1,732 ; \quad (2.2)$$

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot 1,732 . \quad (2.3)$$

У силових керуючих ланцюгах постійного струму такі електричні величини вимірюються за допомогою приладів, а тому їх діагностування може здійснюватися без пошуку похідних величин шляхом використання комплектів приладів для ланцюгів високої і низької напруги.

Усі прилади, призначені для виконання прямих вимірів (шкала таких приладів відградуєвана в одиницях виміру контрольованої величини Вольт, Ампер, Ом та ін.), відрізняються точністю і межами вимірів. Якщо визначається потужність споживача електричної енергії, то доводиться використовувати вольтметр для виміру напруги  $U$  і амперметр для виміру струму  $I$ . Добуток результатів вимірів за допомогою вибраних приладів дозволить знайти шуканий параметр  $P$  – потужність. Визначимо помилку вимірів  $R_0$  для такого вимірювального пристрою:

$$P = U \cdot I , \quad (2.4)$$



$$\frac{\Delta P}{\Delta U} = \frac{\Delta(UI)}{\Delta U} = I, \quad (2.5)$$

$$\frac{\Delta P}{\Delta U} = \frac{\Delta(UI)}{\Delta I} = U. \quad (2.6)$$

При  $P=1000\text{Вт}$ ,  $\Delta = \pm 1\text{Вт}$ ,  $P_{\text{сер}} = 0,95$ ,  $\eta = 0,1\%$  ( $K_n = 0,1$ ) знайдемо

$$R_0 = \left[ \left( \frac{\Delta(UI)}{\Delta U} \right)^2 \cdot R_U^2 + \left( \frac{\Delta UI}{\Delta I} \right)^2 \cdot R_I^2 \right]^{0,5}, \quad (2.7)$$

$$R_0 = [5^2 \cdot 0,2^2 + 200^2 \cdot 0,005^2]^{0,5} = [1 + 1]^{0,5} = 1\text{Вт}.$$

Враховуючи існуючі класи точності вимірювальних показувальних приладів: 0,01...0,06 – перевірочні прилади; 0,1...0,06 – зразкові прилади; 1,0...4,0 – широкого застосування, можна укласти, що наш прилад з  $R_0=1\text{Вт}$  для величини 1000Вт складає 0,1% (відповідає класу 0,1).

Клас точності вимірювальних приладів вказується на циферблаті й табло.

### 2.3 Аналогові величини і пристрої для їхнього виміру

Особливістю багатьох технологічних величин є необхідність їх безперервного контролю при експлуатації обладнання за допомогою технічних засобів, що формують аналогові інформаційні сигнали.

*Аналоговий сигнал* – електрична величина, що безперервно змінюється в часі без стрибків і переривань.

Технологічні величини, що безперервно міняються, у ряді випадків не можна контролювати, користуючись прямими їх вимірами. Для вирішення таких завдань широкого поширення набули непрямі методи вимірів за допомогою датчиків-перетворювачів, що забезпечують перетворення технологічної величини в зручний для виміру і подальшої обробки електричний сигнал («температура – напруга», «рівень рідини – струм», «висока напруга – напруга», «тиск – напруга» і т. п.). Оскільки сам вимір у такому разі носить непрямий характер, то шкалу показуючого приладу такого вимірювального пристрою необхідно спеціальним чином відградувати в одиницях вимірюваної величини, тісно взаємопов'язаної з параметром контролю.

На рисунку 2.2, а наведена мостова схема на резисторах (неврівноважений міст) для контролю технологічного параметра за допомогою резистивного датчика  $R_d$  (котушка з мідного або платиного дроту, захищена від агресивних дій на неї довкілля), що розміщується в контрольованому середовищі. Наприклад, з допомогою  $R_d$  можна безперервно вимірювати температуру будь-якого об'єкту або агресивного середовища. Показувальний прилад  $PA1$  – міліамперметр такого пристрою градується в одиницях виміру температури із попередньо заданими інтервалами  $T = 0 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;  $0 \dots 100 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $-20 \dots +40 \text{ } ^\circ\text{C}$  і кроком  $\Delta T = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;  $5 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;  $1 \text{ } ^\circ\text{C}$  і т. п.

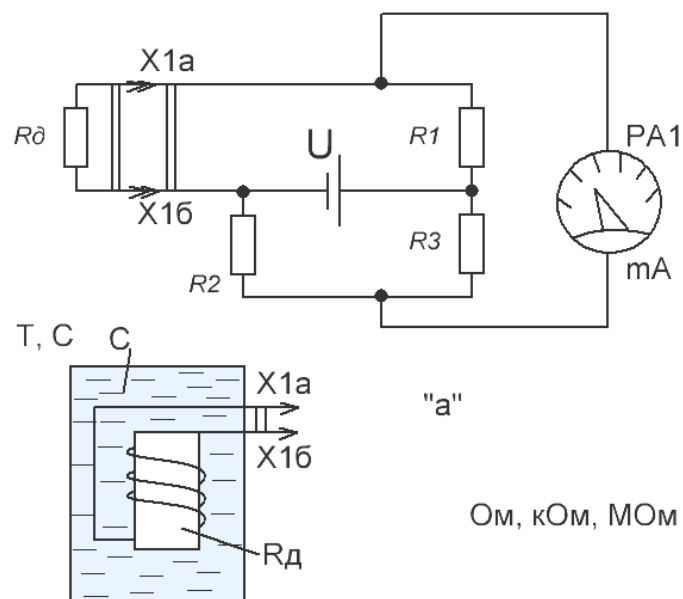


Рисунок 2.2 – Мостова схема датчика-перетворювача

Подібні схеми використовують для перевірки резистивних датчиків та інших аналогічних елементів електричних схем. Стенд для діагностики резистивних елементів завжди складатиметься з вимірювальної схеми, а перевірочні датчики  $R_d$  підключатимуться до нього через рознімний пристрій.

На рисунку 2.3, 2.4 представлені мостові схеми змінного струму. У цих схемах  $T1$  і  $T2$  – трансформатори призначені для перетворення напруги генератора або мережі електроживлення в напругу живлення схеми. Мостова схема на конденсаторах містить  $C1$  – еталонний конденсатор і  $C2$  – контрольований (що повіряється) конденсатор або датчик-перетворювач місткості контрольованого параметра. Резистори  $R4$  –  $R6$  – призначені для налаштування (балансування) мостової схеми змінного струму з показувальним приладом  $PA2$ , включеного до діагоналі моста. На рисунку 2.3 ілюструється практичне застосування конденсаторного датчика  $C2$  для контролю, наприклад, кліренсу робочої поверхні культиватора при механізованій обробці ґрунту в

парку, контролі пасажиропотоку, стан вантажів при їх транспортуванні та ін. При такому застосуванні датчика  $C2$  його місткість залежить від відстані між його обкладаннями. Якщо використовувати протидіючу пружину (рис. 2.4)  $П1$  для повернення рухливого обкладання конденсатора в початкове положення, то такий датчик-перетворювач може використовуватися для контролю тягових характеристик електричних машин, положення валу виконавчого органу та ін.

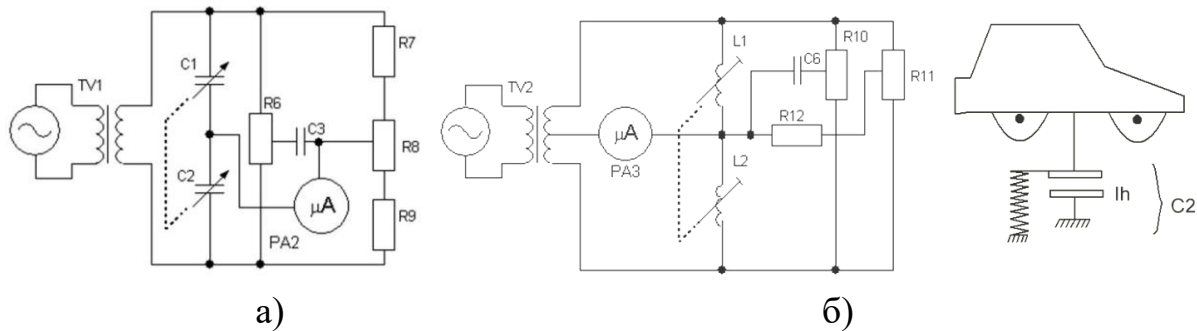


Рисунок 2.3 – Мостові схеми змінного струму

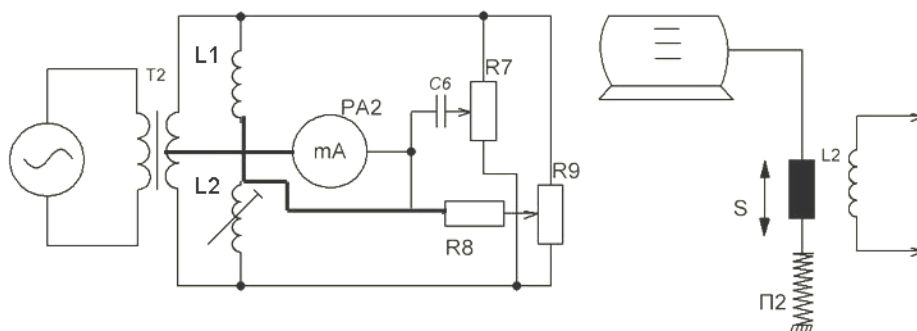


Рисунок 2.4 – Індуктивна мостова схема змінного струму

На рисунку 2.4 зображена мостова схема змінного струму для контролю індуктивності. Резистори  $R7$  і  $R9$  служать для установки меж виміру контрольованого параметра при різних величинах  $L1$  і  $L2$ . Показувальний прилад  $PA2$  в діагоналі моста забезпечує спостереження зміни контрольованої величини.

Приклад визначення тягових властивостей електроприводу ЕП реалізується за допомогою індуктивного датчика  $L2$  виконаного з передатним механізмом, що включає плунжер (рухоме осердя з матеріалу з магнітними властивостями) і протидіючої пружини  $П2$ . Механічне зміщення плунжера котушки  $S$  усередині котушки впливає на величину її індуктивності, що і служить непрямою мірою визначення тягової характеристики електричної машини. Налаштовувальні параметри передавального механічного пристрою визначаються в електричній частині схеми, виконаної у вигляді індуктивної мостової схеми.

## 2.4 Пошук несправностей в аналогових пристроях електрообладнання

Пошук несправностей і діагностика параметрів розглянутих аналогових датчиків-перетворювачів при можливих відмовах і некоректній роботі схем виконується за допомогою засобів контролю електричних величин в плечах мостової вимірювальної схеми. Оскільки показувальний прилад  $PA2$  в схемах використовується як вимірник контрольованої величини, то він одночасно виконує роль індикатора правильного налаштування мостової схеми (балансування схеми). Така чудова властивість показуючого приладу забезпечує автоматичний контроль справності усіх елементів вимірювальної схеми, оскільки дефекти в будь-якому з елементів негайно будуть відмічені показувальним приладом у вигляді зміщення настроювальних параметрів схеми. Крім того, за допомогою  $PA2$  не вимагається контроль роботи механічних передавальних елементів, відхилення настановних параметрів в яких завжди легко можуть компенсуватися налаштуваннями самого вимірювального моста. Така універсальність у вимірювальних схемах давно була помічена фахівцями-проектувальниками засобів діагностики, які в сучасних розробках широко використовують якісні параметри електричних схем в ролі параметрів діагностики для реалізації пристроїв самодіагностики електрообладнання.

## 2.5 Дискретні пристрої електрообладнання

Дискретні електричні схеми відрізняються від аналогових тим, що сигнали команд в них від органів керування, приймальних і проміжних елементів формуються періодично (короткочасно).

*Дискретний сигнал* – електрична величина, що змінюється через деякі проміжки часу або періодично скачками.

На рисунку 2.5 ілюструється схема включення виконавчих елементів – електричних машин ( $M1 - M3$ ) за допомогою кнопки  $S1$  і проміжних реле, які забезпечують можливість дистанційного керування електродвигунами і безпеку роботи обслуговуючого персоналу. Проміжні реле ( $K1 - K3$ ) відносяться до дискретних елементів, оскільки спрацьовують, якщо на їх керуючі обмотки подається напруга живлення  $U_y$  відповідна напрузі спрацьовування. У виконавчій частині схеми – силовому ланцюзі з напругою живлення  $U_c$  електроприводів при замиканні контактів реле станеться дискретне спрацьовування електродвигунів. На жаль, словесний опис роботи схеми не завжди повно відображає процеси в електричних ланцюгах при роботі дискретних схем керування електродвигунами.

Роботу дискретних елементів зручно ілюструвати за допомогою трапецій – часових діаграм, що відображують роботу, як окремих елементів, так і взаємозв'язок усіх елементів схеми в часі.

На рисунку 2.6 ілюструється часова діаграма роботи проміжного реле, яка відображає процеси, що відбуваються у будь-який момент часу при спрацьовуванні і відпуску якоря реле. Вигляд трапеції визначається процесами намагнічування і розмагнічування осердя електромагніту реле.

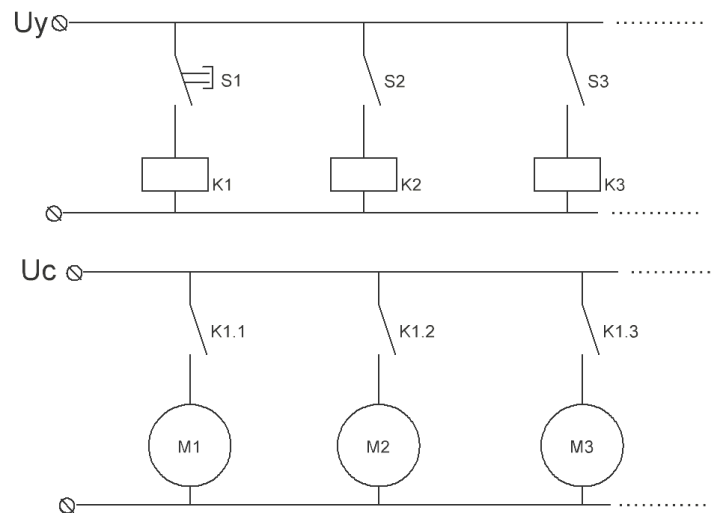


Рисунок 2.5 – Приклад схеми з дискретними елементами:

$U_y$ ,  $U_c$  – напруга живлення керуючої й силової частини схеми електрообладнання;  $S_1$  –  $S_3$  – контактні елементи;  $K_1$  –  $K_3$  – проміжні реле;  $M_1$  –  $M_3$  – електричні машини

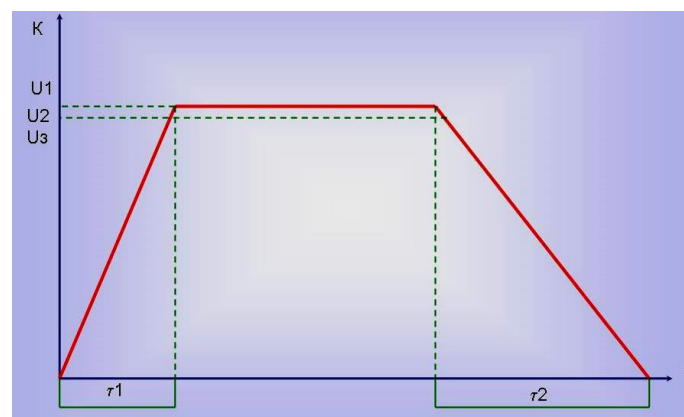


Рисунок 2.6 – Приклад діаграми роботи проміжного реле

Діаграма роботи реле має вигляд трапеції з переднім і заднім фронтами неоднакового нахилу. Затримка включення електромеханічних реле  $\tau_1$  пояснюється процесами намагнічування сердечника електромагніту і впливом ЕРС самоіндукції котушки. Включення реле відбувається при збільшенні

напруги  $U_1$ , утримання якоря можливе в інтервалі величин напруги живлення від  $U_1$  до  $U_2$ . Величина напруги  $U_3$  характеризує відключення реле, а сам задній фронт із затримкою  $\tau_2$  характеризує тривалість в часі процесу розмагнічування сердечника електромагніту реле при відключенні джерела живлення. Роботу усіх проміжних реле можна представити таблицею взаємодії (табл. 2.1). Найбільшого поширення набули таблиці включення і налаштування контактів (часових, програмних) реле.

Таблиця 2.1 – Взаємодія компонентів схеми

| <b>S1</b> | <b>K1</b> | <b>K2</b> | <b>K3</b> | <b>M1</b> | <b>M2</b> | <b>M3</b> |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1         | 1         | 0         | 0         | 1         | 0         | 0         |
| 1         | 1         | 1         | 0         | 1         | 1         | 0         |
| 1         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         |

Таку таблицю (табл. 2.1) зручно використовувати при пошуку несправностей і складанні програми перевірки обладнання. На жаль, таблиця взаємодії не дає уявлення про важливіші параметри, на які слід звертати увагу при діагностиці і пошуку несправностей схем. Більшу наочність при цьому мають діаграми взаємодії компонентів схем (рис. 2.7), за допомогою яких настроюють дискретне обладнання, визначають несправності, усувають причини неточної роботи та ін.

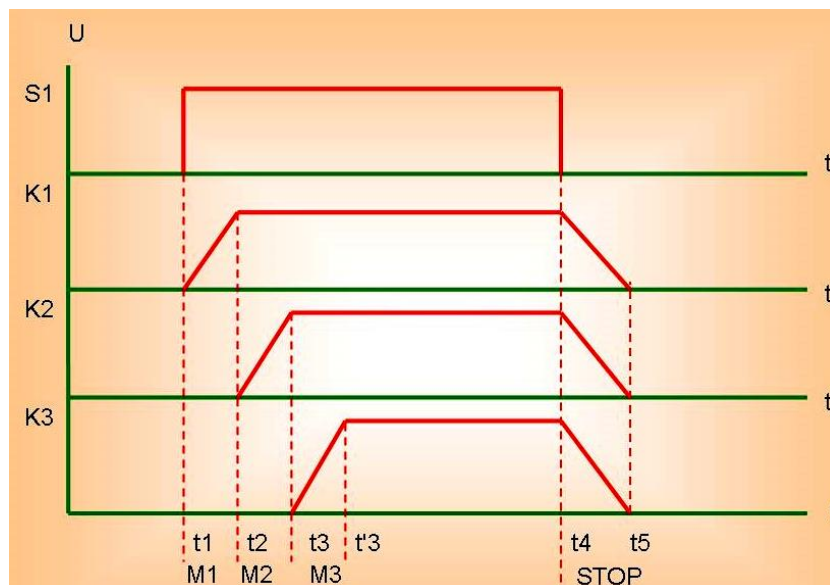


Рисунок 2.7 – Діаграма взаємодії компонентів схеми

На діаграмі по осі  $U$  відкладаються величини напруги, при яких спрацьовують виконавчі елементи  $K1 - K3$  в частині керуючої схеми.

$S1$  – діаграма включення в  $t1$  (по вісі  $t$ ) ЕД контакту тумблера.

*K1* – діаграма роботи однойменного реле, на яку напругу живлення подається у момент часу  $t_1$  і в  $t_2$  замикаються його робочі контакти.

*K2* – діаграма однойменного реле, на яке в  $t_2$  подається напруга живлення, а в  $t_3$  воно замикає контакти і комутує ланцюг живлення реле *K3*.

*K3* – діаграма роботи однойменного реле.

При відключенні *S1* реле *K1* знеструмлюється, після чого відключаються реле *K2* і *K3*. Оскільки електромагнітні системи в цих реле мають приблизно однакові властивості, то на діаграмі у момент часу  $t_4$  відбувається знеструмлення усіх реле, а в  $t_5$  – одночасне відключення усіх реле *K1* – *K3* і електричних машин, відповідно.

З діаграми видно, що схема реалізує часові затримки при включенні електричних двигунів, але відключення останніх відбувається одночасно.

Властивість таких схем зручно використовувати в тих випадках, коли пусковий струм, електричних двигунів, що одночасно включаються, може перевищувати допустимі величини, а засоби захисту від К.З. при цьому помилково спрацьовуватимуть і відключатимуть електрообладнання без реальних на те причин. Тому незначні за тривалістю інтервали часу  $t_1$ – $t_2$ ,  $t_2$ – $t_3$ ,  $t_3$ – $t'_3$ , коли реалізується затримка включення проміжних реле, дозволяють набути бажаних властивостей керуючих пристроїв при включенні декількох електродвигунів одночасно.

## 2.6 Параметричні властивості дискретних схем автоматики

Розглянемо різні схеми включення реле на рисунку 2.8 та їхню роботу.

Електромагнітні реле постійного струму *K1* і *K2* працюють з паралельно включеними діодами *VD1* і *VD2* і струмообмежувальними резисторами *R1* і *R2*. *K3* – з паралельно включеним конденсатором *C1*. На часових діаграмах  $U = f(t)$  включення напруги живлення реле фіксується реєстратором в момент  $t_1$ , а відключення – по заданому фронту прямокутника. Діаграми *K1* – *K3* відбивають роботу реле без додаткових елементів, діаграми *K1c* – *K3c* – діаграми даних схем.

Для реле *K1*, враховуючи полярність джерела *U*, *VD1* включений зустрічно і знаходиться в закритому стані. В цьому випадку *VD1* має високий внутрішній опір і ніяк не впливає на роботу *K1* (пасивний стан). Тому передні фронти для *K1* і *K1c* в інтервалі  $t_1$  –  $t_2$  повторюються. При відключенні *U* (задній фронти трапеції для *K1* обумовлений проявом ЕРС самоіндукції із зворотним знаком прикладеним до клем *U*. Для ЕРС *VD1* відкритий і через нього з резистором *R1* протікає струм. Цей струм утримує *K1* у включеному стані. Під час  $t_3$  –  $t_4$  – формується часова затримка відключення *K1c*.

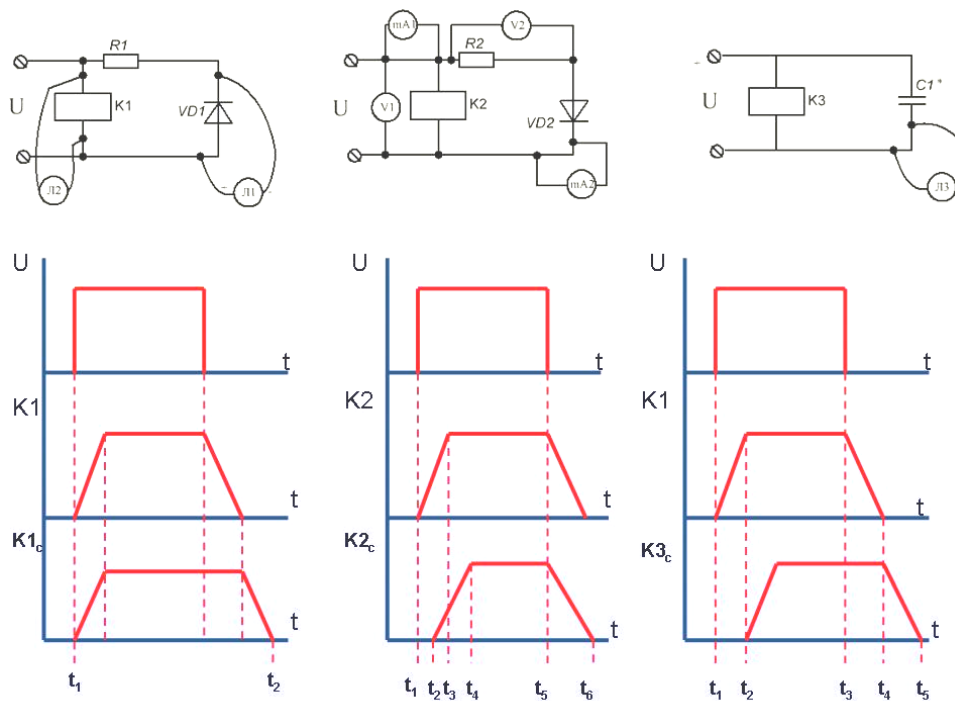


Рисунок 2.8 – Схеми і діаграми роботи дискретних елементів

Згідно полярності джерела живлення  $K2$  працює з  $VD2$ , який знаходиться у відкритому стані (мінімальний внутрішній опір елементу). При подачі напруги на  $K2$  ланцюг ( $R2+VD2$ ) впливає на величину струму через  $K2$  (активний стан). На діаграмі цей активний взаємозв'язок елементів відображений часовим інтервалом  $t2 - t4$ , що характеризує часову затримку при включенні  $K2c$ . При відключенні  $U$  (джерела живлення) задні фронти трапецій  $K2$  і  $K2c$  на діаграмі ідентичні. Для  $K2c$  це обумовлено байдужістю створюваної ЕРС самоіндукції, яка із зворотною полярністю додається до клема  $U$  з  $K2$  і  $VD2$ , але діод із зворотним включенням, при цьому має великий внутрішній опір. Тому робота  $K2c$  нічим не відрізняється від роботи  $K2$ .

Для схеми з  $K3$  важливо враховувати процеси, що відбуваються в конденсаторі, що підключається до джерела постійного струму. При підключенні  $U$  до  $K3$  через конденсатор  $C1$  протікає струм  $I_c$  який заряджає його і в початковий момент має максимальне значення. У міру накопичення статичної електрики на обкладаннях конденсатора  $C1$  величина струму  $I_c$  знижується до «0» (рис. 2.9).

Інтервал часу від 0 до  $t''$  (рис. 2.9б) відображає процес заряду конденсатора  $C$ , який у свою чергу відображається на роботі  $K3c$ . У інтервалах  $t1 - t2$  для  $K3c$  виникає часова затримка при включенні  $K3c$ . При відключенні  $U$  (задній фронт прямокутника) формується інтервал  $t4 - t5$ , часова затримка при відключенні  $K3c$ . На діаграмі (трапеція) це параметр обумовлений розрядом конденсатора  $C$  на котушку реле  $K3c$ .



Розглянуті схеми включення реле популярні в КРС. Схеми з  $K1$  – для реалізації часових затримок після виключення електрообладнання ; з  $K2$  – для часових затримок при включенні електрообладнання , а також захисту обмоток реле від їх пробую при відключенні джерела живлення оскільки. ЕРС може досягати значних величин, що перевищують розрахункову величину  $U$  джерела живлення.

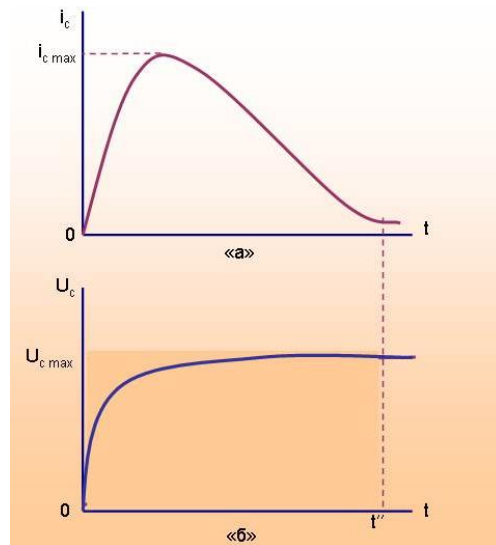


Рисунок 2.9 – Заряд конденсатора:

а – зміна струму в ланцюзі конденсатора;

б – накопичення заряду на обкладаннях конденсатора.

З конденсаторами схеми застосовуються при включенні різного обладнання, регулюючи часові затримки шляхом заміни місткості конденсатора  $C$ , враховуючи, що із збільшенням місткості конденсатора, тривалість часових затримок збільшується при включенні й виключенні керуючої схеми.

Параметричний контроль роботи дискретних схем таких пристроїв часто складно виконати за допомогою аналогових показувальних приладів. Найбільш популярним засобом для контролю роботи елементів дискретних схем є запам'ятовуючий осцилограф (комп'ютерні пристрої).

*Осцилограф* – вимірювальний прилад для спостереження залежностей між двома або декількома величинами (електричними або перетвореними в електричні), що швидко міняються в часі.

## 2.7 Пошук несправностей і діагностика параметрів дискретних схем

Пошук несправностей і діагностика дискретних пристроїв традиційними засобами виміру струму і напруги на окремих елементах схеми та виконавчих пристроях часто не дає позитивних результатів. Найпереважніше

використовувати для цього спеціальні стенди з засобами формування керуючих сигналів і реєстрацією часових інтервалів.

На рисунку 2.10 наведена схема стенду для перевірки електромагнітних реле. Амперметр і вольтметр служать для контролю джерела живлення з напругою спрацьовування реле  $K_i$ . За допомогою мілісекундоміра реєструється час спрацьовування нормально замкнутих (НЗ) і нормально розімкнених (НР) контактів. Експлуатація стенду можлива в автономному режимі на будь-якому технологічному об'єкті. Перевірочне реле демонтується або підключається до стенду за допомогою спеціального діагностичного роз'єму.

Діагностична частина стенду з джерелом живлення  $U_{CT}$  містить засоби включення схеми за допомогою спареного вимикача  $S1, S2$ , таймерів  $T'$  і  $T''$ , і провідників із затисками для підключення до контактів повіряного реле  $K_{i,2}$ . При включенні живлення  $U_y$  напруга  $U_{CT}$  подається на таймер  $T'$ , який спрацьовує при включенні  $K_{i,1}$ , фіксуючи величину  $\tau_1$ . При відключенні схеми спрацьовує таймер  $T''$ , який залишається у включеному стані доки не відокремляться контакти  $K_{i,2}$ , фіксуючі відповідну часову затримку  $\tau_2$ .

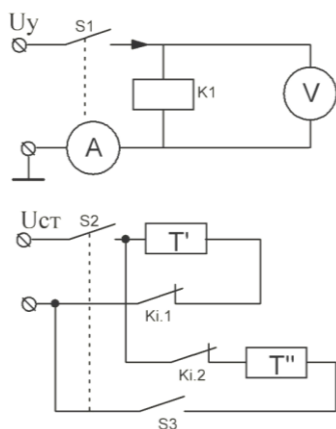


Рисунок 2.10 – Приклад стенду для перевірки електромагнітних реле

При діагностиці будь-якої складності пристроїв на базі КРС необхідно враховувати помилки приладів виміру, точність яких на порядки має бути вище, щоб контролювати роботу багатьох взаємопов'язаних елементів при спрацьовуванні різних дискретних компонентів схеми.

На рисунку 2.8 ілюструються приклади використання ручних приладів для контролю напруги, струму та ін. по місцю розміщення електрообладнання або окремих його частин. Застосування переносного омметра для вимірів опорів  $VD1, K1$  та ін., цілісність провідників ліній зв'язку, відсутність коротких замикань в окремих ланцюгах приладами  $Л1$  і  $Л2$  припускає частковий демонтаж елементів схем. Так, щоб переконатися в цілісності котушки  $K1$  реле необхідно буде від'єднати від схеми (демонтувати).

Вольтметри  $V1$ ,  $V2$  з різними межами виміру напруги, міліамперметри  $mA1$ ,  $mA2$  різного класу точності використовують для перевірки джерел живлення  $U$  і виміри струмів в різних провідникових лініях зв'язку схем.

Наприклад, за допомогою  $V2$  можна виміряти падіння напруги на  $R2$  і струм в ланцюзі за допомогою  $mA2$ . Залежно від результатів вимірів визначають справність резистора  $R2$  і діода  $VD2$ .

У схемі з  $K3$  справність  $C$  можна виконати переносним омметром  $L3$ , включивши його в розрив ланцюга конденсатора. Оскільки причиною несправності конденсаторів може бути «втрата місткості», то в таких випадках допомога переносних засобів контролю може виявитися проблематичною, оскільки вимагається точний вимір номінального значення елементу.

Розглянуті раніше діаграми на реальному електрообладнанні отримують за допомогою осцилографів. При цьому слід зазначити, що реальні осцилограми можуть істотно відрізнятися від теоретичних залежностей.

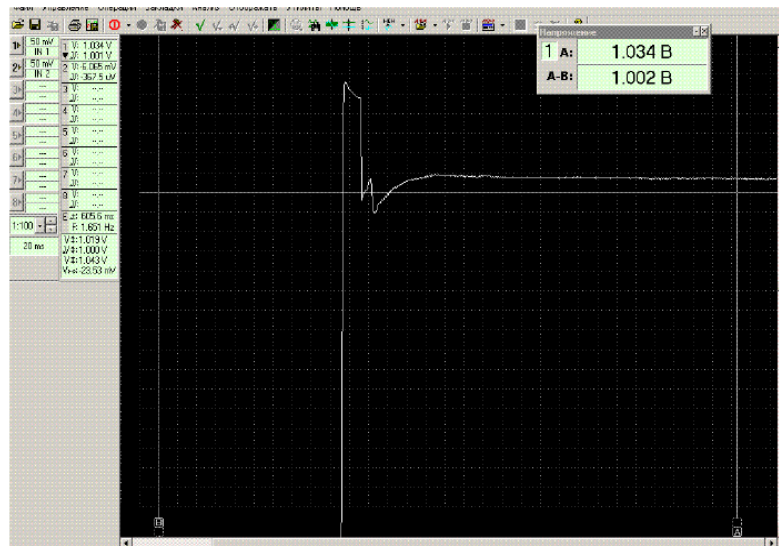


Рисунок 2.11 – Осцилограма заряду конденсатора, отримана за допомогою комп'ютерного осцилографа

Щоб виявляти недоліки і розпізнавати несправності в схемах за допомогою таких графічних ілюстрацій вимагаються глибоке розуміння процесів, що відбуваються в електричних схемах, впливи окремих елементів схем на формування сигналів-відгуків і досвід роботи з такими інструментами.

*Ідентифікація* – встановлення відповідності розпізнаваного відхилення параметра схеми своєму зразку заздалегідь очікуваному результату (ідентифікатору).

## ТЕМА 3 ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ У ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБАХ

Різноманітність електромеханічного обладнання, вживаного на транспортних засобах, стала причиною розробки безлічі вимірювальних перетворювачів, що є єдиними технічними засобами для практичної побудови будь-яких вимірювальних пристроїв.

*Вимірювальний перетворювач* – технічний пристрій, побудований на певному фізичному принципі дії, виконуючий певне вимірювальне перетворення тільки однієї технологічної величини.

*Функція вимірювального перетворювача* – залежність вихідної величини (внутрішній опір, місткість, індуктивність та ін.) від вхідної (температури, тиски, рівня та ін.), що описується аналітичним вираженням або графіком.

### 3.1 Електромеханічні датчики-перетворювачі

Принцип роботи електромеханічних перетворювачів заснований на перетворенні подовжніх або перестановочних переміщень окремих елементів механізмів або середовищ в електричний сигнал.

Роль таких датчиків можуть виконувати передатні механізми із змінними резисторами для контролю рівнів рідини в закритих місткостях і посудинах, поплавцеві пристрої, механічні кінцеві вимикачі та інші засоби електричного блокування, що знайшли поширення в самих різних механічних пристроях і пристосуваннях.

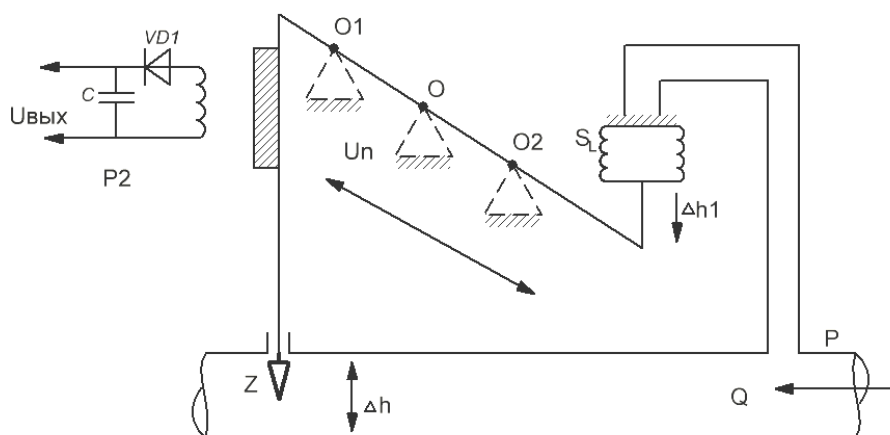
### 3.2 Гідравлічні і пневматичні перетворювачі

На транспорті гідравлічні і пневматичні технічні пристрої застосовуються для дозованої подачі палива, приведення в дію механізмів гальмування і безпеки, перетворення мускульної сили людини для керування транспортом (приводи керма, гальм, підйомні домкрати та ін.). Такі системи відрізняються герметизацією усіх компонентів, усередині яких використовується рідке або газове робоче середовище.

На рисунку 3.1 наведена схема регулювальника тиску в системі подачі рідини або газу.

До складу системи входять магістраль для подачі робочого середовища з витратою  $Q$ , сигнальний трубопровід  $P$ , що сполучає основний трубопровід з сильфоном (датчиком-перетворювачем  $S_L$ ), регульований передатний механізм

(O1, 0, O2), тяга із засувкою Z і плунжером усередині індуктивного датчика-перетворювача P2.



Рисунку 3.1 – Система стабілізації подачі рідини або газу

При допустимих змінах  $Q$  у вихідній частині магістралі тиск  $P_2$  підтримується на заданому рівні за допомогою засувки  $Z$ , переміщуваної в перерізі трубопроводу в межах величини  $\Delta h$ . Залежність контрольованих параметрів в цьому пристрої можна представити у вигляді

$$\left. \begin{aligned} U_{\text{вых}} &= f(P) \\ h &= f(P_1 - P_2) \\ U_{\text{вых}} &= f(h) \end{aligned} \right\}. \quad (3.1)$$

Щоб підтримувати заданий параметр постійним ( $P_2 = \text{const}$ ) в схему внесено чутливий елемент  $S_L$  – сельсин. При змінах тиску вільна частина його переміщається на величину  $\Delta h_1$ . За допомогою передатного механізму  $S_L$  і  $Z$ , і обраної вісі обертання між точками  $O1$  і  $O2$ , досягається певний коефіцієнт передачі.

$$K_n^* = f\left(\frac{0-01}{0-02}\right), \quad (3.2)$$

що забезпечує вибір заданого значення  $\Delta h_1$ . Таким чином, без використання сторонньої енергії реалізується стабілізація тиску  $P_2 = \text{const}$  в магістралі шляхом переміщення виконавчого елемента  $Z$  на величину  $\Delta h$ .

Контроль роботи такого пристрою здійснюється за допомогою індуктивного датчика  $S$ , що складається з осердя, розміщеного на тязі засувки  $Z$  і вимірника індуктивності з аналоговим випрямлячем ( $VD1, C$ ), вихідний сигнал якого залежить від положення плунжера (осердя) в котушці.

Підбираючи рівень напруги  $U_n$  живлення датчика, вибирають лінійний характер залежності (3.1). Такі датчики забезпечують лінійну залежність між  $U_{вих}$  і  $\Delta h$  (рис. 3.2) з рівнем вихідного сигналу, що досягає значення від 1мВ до 5В.



Рисунок 3.2 – Вихідний сигнал датчика при варіюванні тиску

Крутизна характеристики залежить від магнітних властивостей датчика і коефіцієнта передачі механізму  $K_n^*$ .

Аналогічно реалізуються електромагнітні датчики для діагностики і контролю роботи пневмомеханічного обладнання в автономному режимі. До важливих достоїнств таких пристроїв слід віднести простоту їх реалізації, надійність в експлуатації. Наладка таких пристроїв не вимагає високої кваліфікації обслуговування персоналу.

### 3.3 Акустичні датчики

Акустичні датчики реалізують ефект Допплера, початок застосування яких відноситься до 1842 р. Ефект Допплера пов'язаний із зрушенням частоти сигналу залежно від відношення його передачі й повернення від рухомого предмета або технологічного об'єкту (ТО).

Схему акустичного вимірювального перетворювача ілюструє рисунок 3.3.

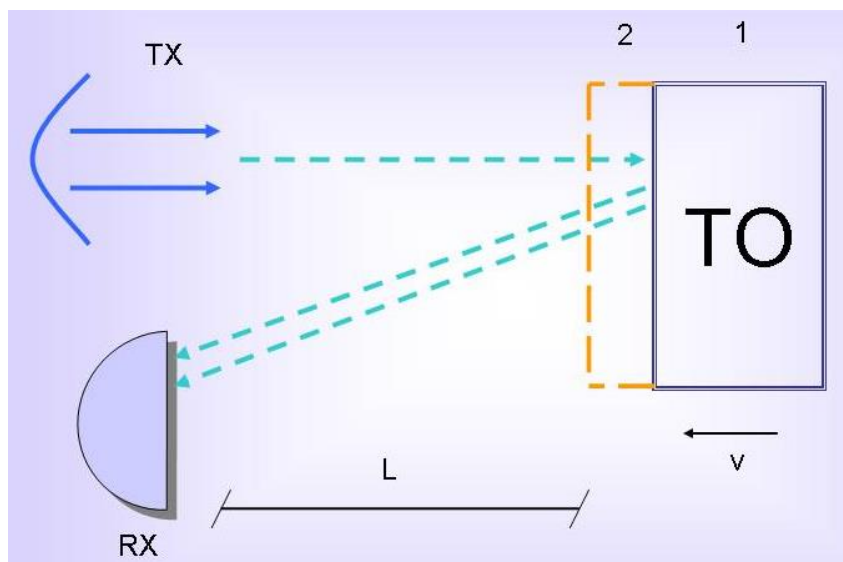


Рисунок 3.3 – Принцип створення акустичного перетворювача:

1 – початковий стан ТО; 2 – переміщення ТО в просторі;

TX – випромінювач (передавач); RX – приймач

Початкова відстань  $L$  між передавачем TX і ТО в точці 1. RX приймає відбитий сигнал на ТО. При швидкості руху ТО з величиною  $u$  через певний час  $t$  об'єкт переміститься в точку 2:

$$t = \frac{L}{u}, \quad (3.3)$$

$$L_1 = L - ut. \quad (3.4)$$

Зменшення (збільшення) відстані між ТО і відповідно TX і впливатиме на результат виміру.

В цьому випадку час  $t_1$  визначиться залежністю:

$$t_1 = \frac{T + (L - vT)}{u}, \quad (3.5)$$

де  $T$  – період імпульсу від випромінювача TX, досягаючий приймач RX;

$T_{pez}$  – період реєстрації запишеться вираженням:

$$T_{pez} = t_1 - t = T \left( 1 - \frac{v}{u} \right), \quad (3.6)$$

де  $u$  – швидкість руху об'єкту.

Таким чином, функція Допплера пов'язує швидкість хвилі випромінювача  $v$  із швидкістю руху об'єкту  $u$  :

$$f_{\text{дон}} = f \left( 1 + \frac{v}{u} \right). \quad (3.7)$$

*Датчики на ефекті Допплера* безконтактні, найчастіше виконані у вигляді автономних пристроїв, прості у використанні і залежно від вибраної частоти випромінювача ( $v$ ) ефективно працюють в умовах великого числа перешкод.

На транспорті для контролю лінійної швидкості руху оснащуються автономними реєстраторами, що реалізують функцію залежності (3.7).

### 3.4 Гальваномагнітні перетворювачі Холу і Гауса

Принцип дії гальваномагнітних перетворювачів (ГМП) заснований на фізичних ефектах, що виникають в твердих тілах, які знаходяться в магнітному полі. *Ефект Холу* полягає у виникненні поперечної різниці потенціалів (ЕРС Холу) на бічних гранях пластини, а *ефект Гауса або магніторезистивний ефект* проявляється в зміні електричного опору пластини. Обидва ефекти обумовлено зміною траєкторії руху заряджених часток в магнітному полі, виникають одночасно, пов'язані між собою так, що кожен з них приводить до послаблення іншого.

*Пластина датчика* – чотириполюсник (рис. 3.4), оснащується електродами 1, 2 і 3, 4, розміщувани на гранях. Якщо на пластину діє сила Лоренца  $F = e\mathbf{v}\mathbf{B}$  магнітної індукції, то на гранях перетворювача можна виявити різницю потенціалів.

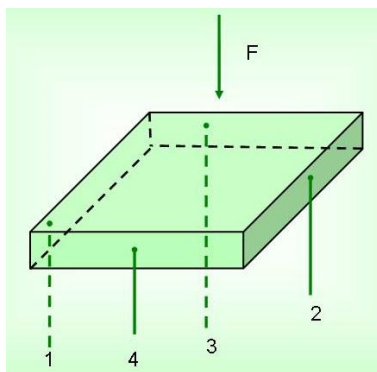


Рисунок 3.4 – Принцип створення гальваномагнітних датчиків

Причиною такого явища є перерозподіл носіїв зарядів в пластині під дією сили  $F$ . В датчику до торців пластини 1, 2 – струмовим електродам,



підключають джерело ЕРС (різниця потенціалів), а друга група електродів 3, 4 – в центральній частині подовжніх граней, служить для виявлення змінювальної провідності пластини. У таких датчиках ефект пов'язаний з властивостями вживаного матеріалу, яким використовуються напівпровідники або матеріали з феромагнітними властивостями (ферити) та іншими чинниками. Габаритні розміри датчиків змінюються від 0,1 мм до 0,001 мм. При цьому допустимий струм в таких матеріалах, як ситал та індій може бути від 5 до 50мА. Такі значні струми нескладно контролювати досить простими засобами виміру.

Датчики Холу і Гауса відрізняються лише вибором матеріалу і формою самої пластини, служать на транспорті як ідеальні засоби контролю швидкості обертання валів, подовжнє переміщення виконавчих елементів і роботи елементів обладнання з кутовим і подовжнім переміщенням їх виконавчих частин.

### 3.5 Перетворювачі на основі ефекту Баркгаузена

Неоднорідність структури феромагнітного зразка може бути обумовлена його руйнуванням, локальними немагнітними включеннями, що може служити параметром контролю дефектів обладнання, яке містить такі компоненти.

Феромагнітні зразки можна штучно створювати, наносючи на виріб обладнання шар матеріалу з магнітними властивостями, стан якого надалі контролювати на основі перемагнічування його за допомогою магнітів різного виконання.

На рисунку 3.5 зображений комплект перетворювача для контролю зразка деталі машини.

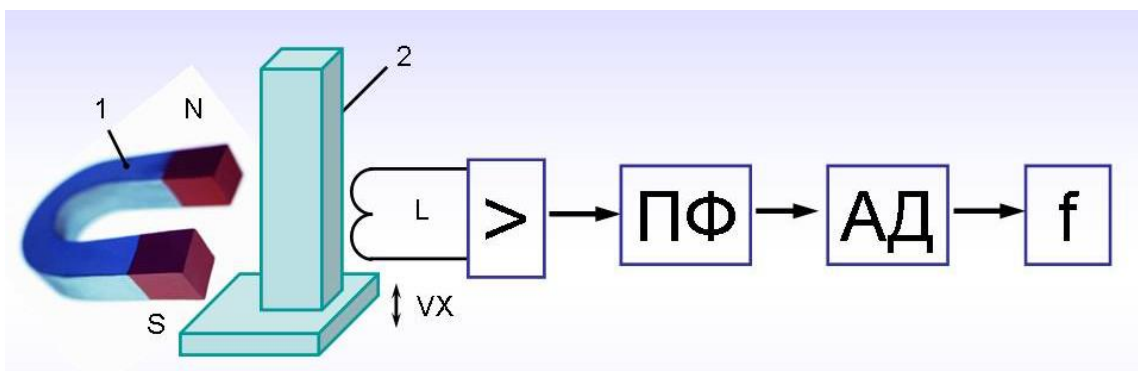


Рисунок 3.5 – Принцип реалізації перемагнічування ефекту Баркгаузена

Зразок 2 з феромагнітними властивостями знаходиться в полі дії постійного магніту 1. Силкові магнітні лінії замикаються через зразок. При переміщенні намагніченого зразка 2 з швидкістю  $Vx$  на ній порушуються межі

намагніченої ділянки. У прохідній котушці  $L$  при цьому індукуються імпульси ЕРС. Далі ЕРС посилюється, подається на смуговий фільтр (ПФ) і на амплітудний дискримінатор (АД). Оскільки реєстрація ведеться в певному спектрі частот за допомогою ПФ, то АД реєструє сигнали певної частоти. Якщо властивості об'єкту 2 міняються – частота дотримання імпульсів  $f$  також зазнає зміни.

Стационарні випадкові процеси, що виникають в комплекті перетворювача з елементами 1, 2 і котушкою індуктивності  $L$ , і є інформативними параметрами технічного стану контролюваного об'єкту.

На рисунку 3.6 представлений запис амплітуди сигналів певної частоти  $f(t)$ , які тісно пов'язані з феромагнітними властивостями контролюваного зразка 2.

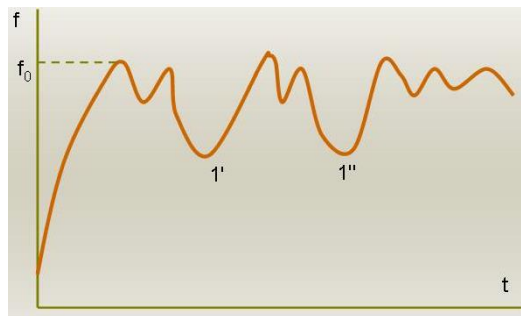


Рисунок 3.6 – Реєстрація амплітуди імпульсів при перемагнічуванні зразка

Пікові значення говорять про високу провідність, а западини – про порушення цих властивостей. Якщо контролюється гальванічне покриття, наприклад, валів виконавчих механізмів, то величина варіювання параметра  $f_0$  (точок  $1'$  і  $1''$ ) говорить про неякісний стан їх робочої поверхні, пов'язаних із зносом при експлуатації, дефектами при виготовленні, ремонті і т. п.

Результати вимірів, отримані такими засобами контролю, вимагають спеціальних прийомів ідентифікації їх, без чого «розшифрувати» записи амплітудних значень не представиться можливим.

### 3.6 Вихрові, індуктивні перетворювачі

Вихрові, індуктивні перетворювачі є сукупністю індуктивних котушок, що створюють магнітні поля, еквівалентні постійному магніту з полюсами  $N-S$ . При вільному розміщенні котушки індуктивне поле зазнає деформації і легко контролюється в експерименті звичайним компасом.

Якщо на шляху магнітно-силових ліній розмістити магнітно-провідний матеріал – поле деформується і може впливати на аналогічні властивості елементів, що знаходяться в зоні його дії (рис. 3.7).

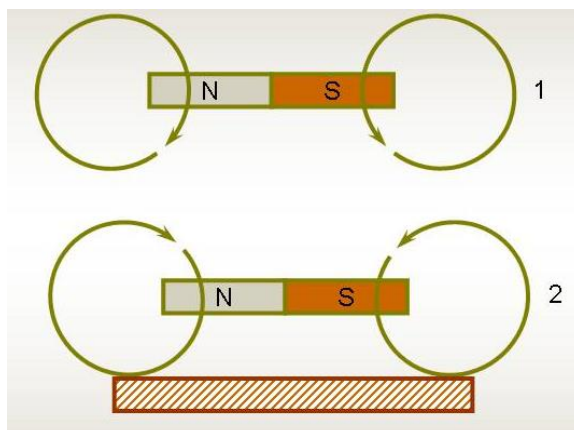


Рисунок 3.7 – Індуктивні перетворювачі магнітних полів

Електромагнітне поле може створюватися джерелами низьких частот до 100 кГц. У таких випадках у відмінності від джерел магнітного поля постійного рівня спостерігатиметься проникнення магнітного поля в середу контролю. Як параметр контролю в таких випадках використовується величина, яка залежить від частоти генерації, магнітних властивостей  $\mu$  і  $\gamma$  – витрат на виході зразка.

При *високочастотних* коливаннях (починаючи з 500 кГц), будь-який зразок (металева пластина, прут) активно починають проявляти власні індуктивні і місткісні властивості.

Такий принцип закладений у ряді приладів, які дозволяють безконтактно контролювати: розміри металевих виробів, якість і товщину покриттів металу іншим металом, дефекти поверхонь у вигляді подряпин, тріщин, сколов, раковин.

До недоліків таких методів відносять залежність результатів вимірів від температури, стабілізація якої не завжди представляється можливою.

### 3.7 Магнітопружні перетворювачі

Принцип перетворення магнітопружних перетворювачів заснований на зміні магнітної проникності феромагнітних тіл залежно від механічної напруги (магнітопружний ефект), що виникає в них, обумовленої дією на феромагнітні тіла механічних сил (що розтягують, стискають, скручують).

На рисунку 3.8, а зображений принцип створення датчиків з магнітопружним ефектом. На котушку  $E1$  подається напруга змінної частоти, а з котушки  $E2$  знімається ЕРС, що наводиться магнітним полем. Якщо під дією сили  $P$  зразок деформується, то відбувається зміна траєкторії магнітних силових ліній (рис. 3.8, б), які і будуть причиною зміни параметра  $E2$ .

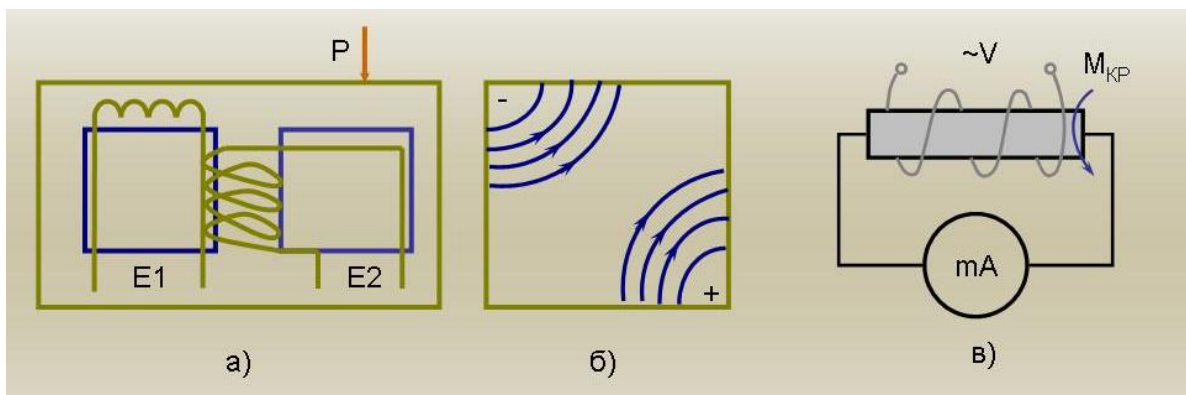


Рисунок 3.8 – Принцип створення датчиків з магнітопружним ефектом

Датчики Видемана стали найпопулярнішими, які використовуються для контролю технічного стану валів різних конструкцій, що деформуються під впливом крутного моменту згідно (рис. 3.8, в). Датчик в такому пристрої забезпечує отримання необхідних даних без спеціальних пристроїв, оскільки його роль виконує сам об'єкт контролю. Величина струму, контрольована міліамперметром, що сполучається з торцевими поверхнями подовжнього зразка, при частоті в полі збудження від 1 кГц до 10 кГц і навантаженнях  $10^{-2} \text{ Н / м}$  досягає 30 мкА (20 мВ). Такі пристрої відносяться до засобів неруйнівного контролю зразків, але при реалізації вимагають джерела змінного магнітного поля.

### 3.8 Індукційні перетворювачі (віброзаходи)

Індукційні перетворювачі (ІП) засновані на використанні явища електромагнітної індукції. У загальному випадку вони є котушкою з осердям, яка характеризується деяким узагальненим параметром, залежним від площі

поперечного перерізу, магнітної проникності середовища й інших чинників, і ЕРС.

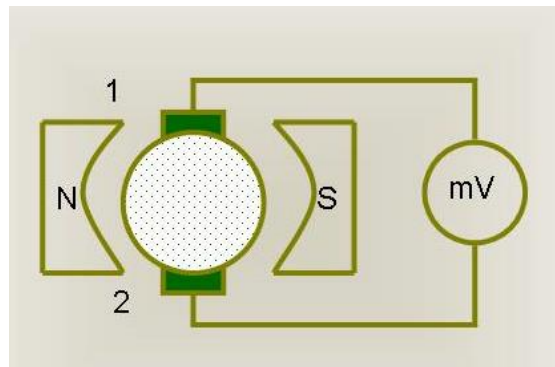


Рисунок 3.9 – Принцип пристрою вібровимірювача:

1 – магніт; 2 – полюсний наконечник;

mV – вимірювальний прилад, сполучений до вимірювальної обмотки

ІП влаштовані таким чином, що, знаходячись в зоні зовнішніх магнітних силових ліній (1 – магніт, 2 – полюсний наконечник) своїм полем створюють опір зовнішньому магнітному потоку. При зустрічній дії полів вимірюються віброприскорення або вібропереміщення контрольованих об'єктів.

Контроль амплітудних параметрів ведеться чутливим мілівольтметром. При цьому самі віброзаходи потребують спеціальних засобів захисту від зовнішніх полів, для чого розробляються спеціальні екрануючі корпуси.

Якщо зразок індукційного перетворювача замінити рідиною, то такий перетворювач дозволить вимірювати витрати рідин і газів.

Головним достоїнством таких пристроїв є відсутність прямого контакту датчика з контрольованим середовищем. Такі умови дозволяють надійно експлуатувати вібровимірювачі багато років без обслуговування.

### 3.9 Електрохімічні перетворювачі

*Електрохімічні перетворювачі або осередки (ЕХП)* складаються з заповненого електролітом осередку і електродної системи з двох або декількох електродів, що включаються у вимірювальну схему.

Електрохімічний осередок характеризується розвиванням нею ЕРС, падінням напруги від струму, що проходить, електричним зарядом, опором, місткістю й індуктивністю. Виділяючи залежність між одним з цих параметрів і вимірюваною величиною, можна створювати перетворювачі для виміру складу і концентрації речовин в рідинах, часу, тиску, переміщення, швидкості, прискорення та інших фізичних величин.

Параметри будь-якого ЕХП залежать від природи і складу електроліту і електродів, хімічних перетворень, температури, швидкості переміщення розчину та інших чинників. При розміщенні в рідині електроду, що має властивості обміну іонами з рідиною: позитивні іони виділяються на електроді, заряджаючи його позитивно відносно розчину. Практично можна виміряти потенціали будь-яких електродів. Початком відліку (умовний нуль) вважається потенціал «водневого електроду» відносно розчину з нормальною активністю водневих іонів. ЕРС ЕХП визначатиметься для міді – +0,34 В, для цинку – -0,76 В тощо.

Приклад використання скляного електроду для визначення кислотності рідини ілюструється на рисунку 3.10.

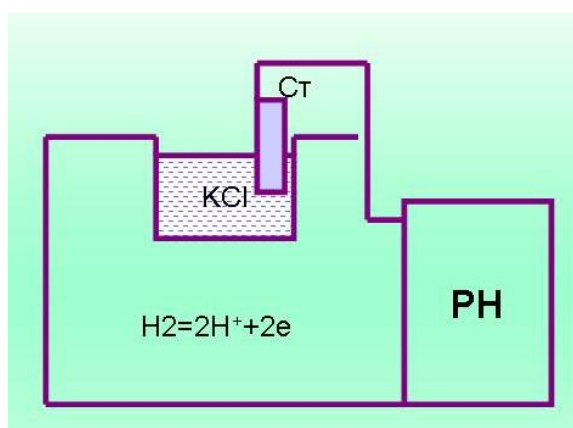


Рисунок 3.10 – Вимірник рН води

При розміщенні в рідині електроду, що має властивості обміну іонами з рідиною, осередок має електричні властивості.

Визначення ЕРС здійснюють за формулою Нернсту

$$E = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln f_c, \quad (3.8)$$

$$F = E_0 + \frac{0,058}{n} \ln f_c, \quad (3.9)$$

де  $R$  – універсальна газова постійна;

$T$  – абсолютна температура;

$n$  – валентність іонів;

$F$  – число Фарадея;

$C$  – концентрація іонів;

$f$  – коефіцієнт, що визначає властивості середовища, простішим вираженням залежності (3.8), а  $E_0$  визначається при 18 °С розчину.

Найбільш популярні мембранні ЕХП, створені на основі спеціальних матеріалів, що пропускають одні іони і затримують інші. Мембранні ЕРС уявляють величезний інтерес, оскільки синтезуються для селективного контролю іонів певних компонентів в рідких середовищах.

ЕХП знайшли застосування в техніці діагностування різного обладнання, в якому використовуються охолоджуючі рідини, розчини кислот, лугів та ін.

### 3.10 Перетворювачі на основі напівпровідникових елементів

Налагоджений випуск напівпровідникових елементів з відомими стабільними електричними характеристиками дозволяє у ряді випадків використовувати як датчики. Малі габарити, економічність і широкий температурний інтервал можливої експлуатації напівпровідників притягає увага багатьох проектувальників, засобів контролю різного призначення, що займаються розробкою.

Приклад створення засобів візуального контролю гранично допустимих значень струму і напруги за допомогою фотодіодів і стабілітронів представлений стендом «ПЭ-ОД» (електронна лабораторія SinSys).

На рисунку 3.11 ілюструється схема контролю параметрів, пов'язаних з тиском рідини в герметичній системі. У звужуючому пристрої або фільтрі з тиском на вході  $q_1$  вихідна величина цього параметра визначатиметься величиною  $q_2$ . Різниця між  $q_1$  і  $q_2$  зазвичай пов'язана з наявністю в рідині твердих часток забруднень, що накопилися при тривалій експлуатації робочої рідини.

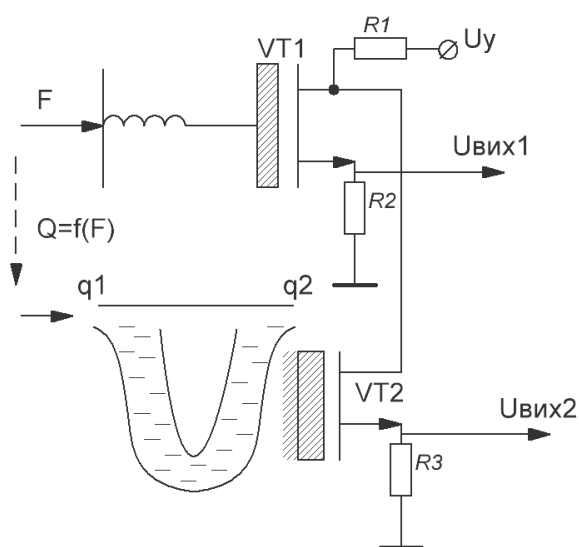


Рисунок 3.11 – Схема контролю електричних параметрів

Взаємозв'язок тиску рідини, концентрації домішок, впливи температури та інших чинників на такі середовища зазвичай описуються системами рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} U_{\text{вх}1} &= f(F) \\ U_{\text{вх}2} &= f(c) \\ U_{\text{вх}3} &= f(n) \end{aligned} \right\}. \quad (3.10)$$

Використання таких математичних описів в прикладному плані вимагає застосування спеціального обладнання, оснащеного засобами моделювання і автоматизованого розрахунку.

Проте реалізація такого завдання істотно спрощується при використанні польових транзисторів.  $VT1$  і  $VT2$  реєструють «електричне поле», що створюється затвором, яке пов'язане з елементами схеми контролю  $F$  і  $Q$ .

Оскільки  $U_{\text{вх}1}$  і  $U_{\text{вх}2}$  є функціями величин  $F$  тиску і концентрації домішок  $C$ , то шуканий результат вимірів в такому пристрої може бути отриманий за допомогою аналогових обчислювальних пристроїв, що виконуються на операційних схемах.

Задане число вихідних сигналів буде з різною мірою корелювати з початковою інформацією, які можна використовувати не лише в засобах контролю, але і в пошуку несправностей і діагностиці такого електронного обладнання.

### 3.11 Перетворювачі електричних величин

Перетворювачі струму і напруги набули найширшого поширення в електрообладнанні різного призначення.

У ланцюгах змінного струму як перетворювачі використовуються трансформатори струму та напруги і індуктивні дільники напруги. Вторинна напруга і струм в таких пристроях може бути 100 В, 100/(3<sup>0,5</sup>) В, 150 В і 1 А, 2 А, відповідно.

У ланцюгах постійного струму використовуються пасивні на резисторах і активні на базі напівпровідникових елементів дільники напруги, шунти, електронні вольтметри і амперметри з оптичними індикаторами дискретної дії, розраховані для контролю різних величин вимірюваних параметрів.



### 3.12 Комплекти перетворювачів технологічних величин

При комплексній оцінці технічного стану транспортних засобів передбачено використання комплектів різних приймальних елементів, за допомогою яких виконується багатовимірний аналіз технічного стану багатьох блоків і вузлів технологічних об'єктів одночасно.

Перш ніж створювати систему діагностики необхідно скласти загальну таблицю потреби контролю технологічних величин (рис. 3.12).

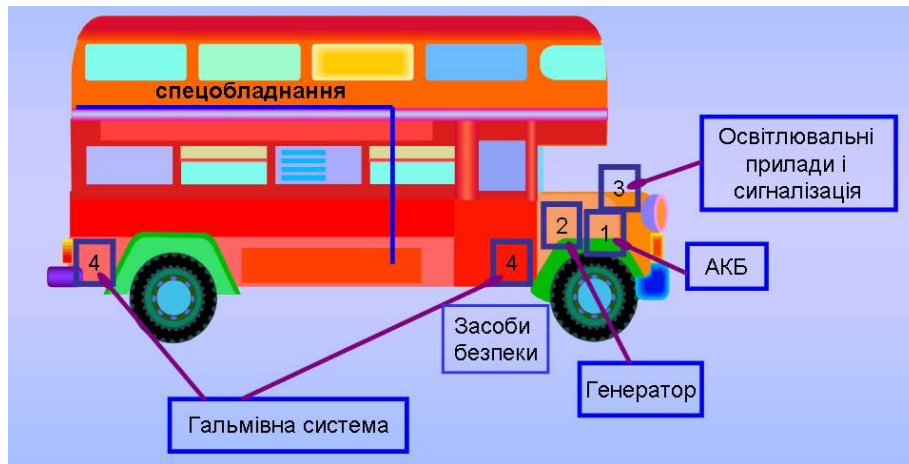


Рисунок 3.12 – Структурна схема технологічного обладнання на транспорті

Таблиця 3.1 – Таблиця контролю робочих параметрів транспортного засобу

| №                                 | Технологічне обладнання ТЗ              | Датчик-перетворювач                       | Принцип реалізації                                                                                                       |
|-----------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                 | 2                                       | 3                                         | 4                                                                                                                        |
| <b>Базовий транспортний засіб</b> |                                         |                                           |                                                                                                                          |
| 1                                 | Бортова мережа:<br>– АКБ<br>– генератор | «Напруга – напруга»;<br>«Струм – напруга» | електромагнітні показувальні прилади: перетворення $V \rightarrow V$ , $I \rightarrow V$ (оптопари)                      |
| 2                                 | Засоби освітлення і сигналізації        | «Струм – напруга»                         | оптопари $V \rightarrow V$ , $I \rightarrow V$                                                                           |
| 3                                 | Гальмівна система і засоби безпеки      | «Тиск – напруга»                          | гідроелектричні, пневмоелектричні на базі сильфону або п'єзодатчика: перетворення $R \rightarrow P$ чи $P \rightarrow R$ |

Продовження таблиці 3.1

| 1                        | 2                                        | 3                                                                    | 4                                                             |
|--------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| <b>Спецобладнання ТС</b> |                                          |                                                                      |                                                               |
| 4                        | Паливний бак для спеціальних потреб      | «Рівень палива – напруга»                                            | поплавцевий з реостатом $H \rightarrow R$                     |
| 5                        | Електричний дизель-генератор             | «Крутний момент, – напруга»                                          | магнітопружний перетворювач $M_{KP} \rightarrow U$            |
| 6                        | Щит керування та контролю і сигналізації | «Напруга – напруга»;<br>«Струм – напруга»;<br>«Потужність – напруга» | реєструвальні показувальні прилади контролю величин $U, I, P$ |

## ТЕМА 4 АНАЛОГОВІ КОМПОНЕНТИ ЕЛЕКТРОННОГО ОБЛАДНАННЯ

На практиці контролю технологічних величин на транспорті й на різних технологічних об'єктах широко застосовуються аналогові обчислювальні пристрої для обробки початкової інформації, що представляє електричні величини різного рівня. Раніше розглянуті резистивні, ємнісні й індуктивні вимірювальні схеми з реально існуючими датчиками-перетворювачами знайшли практичне застосування для формування інформаційних сигналів виду «параметр – електрична величина».

### 4.1 Суматори

Суматори виконують складання електричних величин і часто застосовуються в схемах для отримання результатів виміру декількома датчиками-перетворювачами. *За принципом дії суматори поділяються на інвертувальні, не інвертувальні і диференціювальні.*

На рисунку 4.1, а ілюструється суматор, виконаний на аналоговій мікросхемі DA1. На вхід цього пристрою підключено декілька датчиків, контролюючих декілька фізичних величин (струм, напруга та ін.), що є уніфікованими рівнями напруги (10; 5; 2,5 В та ін.). Коефіцієнт передачі за кожним із входів визначається параметрами резисторів  $R_1 - R_n$  і резистора в лінії зворотного зв'язку  $R_4$ . Вихідний сигнал  $U_{вих}$  визначається вираженням (4.1), у якому коефіцієнт посилення  $K_i$  визначається відношенням (4.2):

$$U_{вих} \approx - \sum_{i=1}^n K_i U_{вих}, \quad (4.1)$$

$$K_i = \frac{R_4}{R_i}. \quad (4.2)$$

Справність такого компонента схеми залежить від усіх елементів, що входять в схему. Для контролю і налаштування такого каскаду використовують лабораторні засоби виміри, що включають вимірники струму, напруги і осцилограф. У експлуатованих пристроях зручно застосовувати оптичний індикатор вихідного сигналу (на схемі реалізований світлодіодом VD1 із стабілітроном VD2). Такий компонент в схемі не впливає на настроювальні параметри каскаду, але дозволяє контролювати його справність на діючому електрообладнанні.

На рисунку 4.1, б ілюструються криві  $P1 - P3$ , які відбивають поведінку вхідних величин в часі. Крива  $U_{вих}$  пропорційна сумі вхідних сигналів суматора. Перевищення параметра  $P3$  у момент часу відображає ненормований характер поведінки взаємозв'язаної з  $P3$ . Аналогічний процес відмічений в  $t_2$  – перевищення параметра  $P2$ . Такі процеси супроводжуються відображенням елементу схеми  $VD1$ , що представлено прямокутними залежностями в часі, співпадаючими з поведінкою контрольованих технологічних величин (перевищення рівня  $U_0$  – нормованого значення). Незважаючи на невисоку селективність вживаного оптичного індикатора, очевидна подвійна роль його застосування, як для реєстрації ненормованих параметрів, так і при несправності самого каскаду.

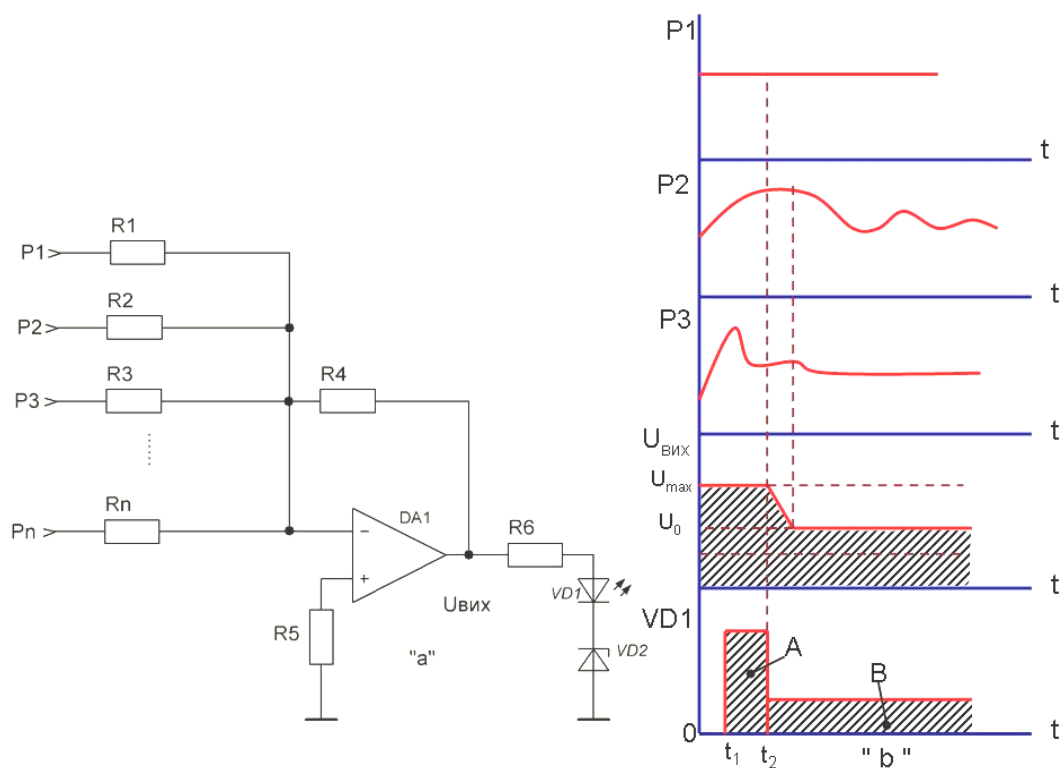


Рисунок 4.1 – Схема аналогового суматора з індикатором

*Переваги:* простота реалізації; економічність; висока чутливість.

*Недоліки:* низька точність, вплив перешкод на результати вимірів.

Пошук несправностей в таких пристроях виконується за допомогою спеціальних засобів, що формують тестові сигнали аналогічні реальному об'єкту, що дозволяють виміряти електричні характеристики напівпровідникових елементів, які входять в схему, та ін.

## 4.2 Диференціатори

Передавальна функція ідеального диференціатора має вигляд:

$$U_{вих}(p) \approx p\tau U_{вх}(p), \quad (4.3)$$

де  $\tau$  – постійна часу диференціювання;

$U_{вх}$  – вхідний сигнал;

$U_{вих}$  – вихідний сигнал.

Схема такого блоку представлена на рисунку 4.2.

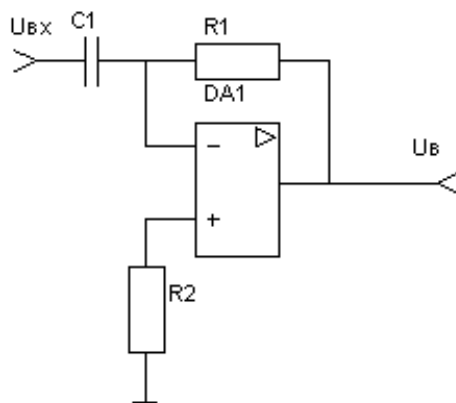


Рисунок 4.2 – Схема диференціатора

На жаль, цей пристрій відрізняється низькою завадозахищеністю, тому частіше використовують схеми, що містять елементи боротьби з перешкодами і відрізняються більшою стійкістю до зовнішніх дій (рис. 4.3) або складніші рішення.

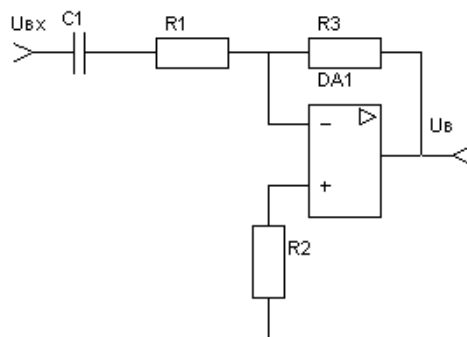


Рисунок 4.3 – Схема завадозахищеного диференціатора

У ряді випадків диференціатори поєднують з суматорами, що дозволяє виконувати відразу дві операції диференціювання і підсумовування електричних величин.

У таких пристроях можливе застосування раніше розглянутого засобу оптичної індикації для візуального контролю поведінки технологічних параметрів і справності самих каскадів схем.

Пошук несправностей в таких пристроях виконується за допомогою спеціальних засобів, що формують тестові сигнали аналогічні реальному об'єкту і дозволяють виміряти електричні характеристики напівпровідникових елементів, що входять в схему.

### 4.3 Помножувачі

Помножувачі реалізують добуток двох співмножників будь-якого знаку. Часто використовують помножувачі змінної вхідної величини на різні коефіцієнти, щоб отримати сигнал з певною корекцією. Приклад простого помножувача ілюструє схема на рисунку 4.4. З достатньою мірою точності каскад забезпечує рішення завдань, коли вимагається вхідну величину множити на різні постійні коефіцієнти згідно з вираженням

$$U_{вих} \approx K_i(P1) - U(P2). \quad (4.4)$$

Перетворення вхідної величини  $U_{вих}$  виробляється за допомогою такого електронного пристрою, в якому необхідний коефіцієнт множення  $K_i$  визначається параметрами елементу в ланцюзі зворотного зв'язку, виконаного на транзисторі VT1:

$$K(P1) = \frac{R_{VT1}}{R_3}. \quad (4.5)$$

Використовуючи декілька таких схем, трапляється нагода вирішувати аналогічні завдання з декількома вхідними величинами згідно залежності

$$\left. \begin{aligned} P'_1 &= P_1 \cdot K_1 \\ P''_1 &= P_1 \cdot K_2 \\ P'''_1 &= P_1 \cdot K_n \end{aligned} \right\}. \quad (4.6)$$

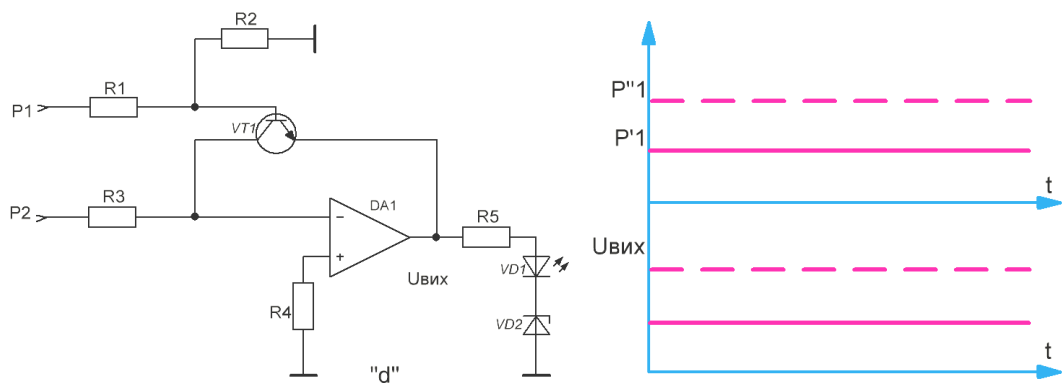


Рисунок 4.4 – Схема помножувача з вибором коефіцієнта множення

Пошук несправностей в таких пристроях виконується за допомогою спеціальних засобів, що представляють собою випробувальні стенди стаціонарного або мобільного виконання.

#### 4.4 Логарифмічні підсилювачі

Логарифмічні підсилювачі широко використовуються в різних перетворювачах для лінеаризації вимірюваних величин. Точні логарифмічні підсилювачі включають схеми, що забезпечують апроксимацію вхідних електричних величин або їх спеціальне додаткове перетворення. Прості схеми логарифмічного і антилогарифмічного підсилювачів представлені на рисунках 4.5, 4.6.

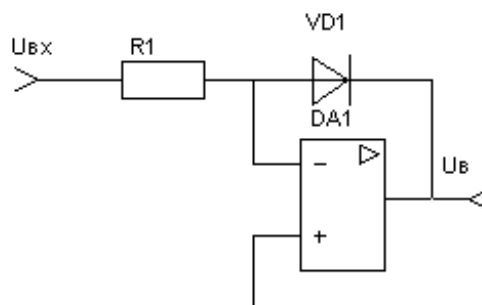


Рисунок 4.5 – Схема логарифмічного підсилювача

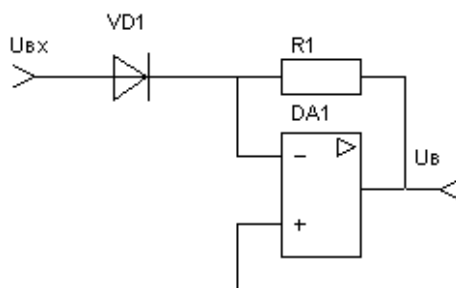


Рисунок 4.6 – Схема антилогарифмічного підсилювача

Для схеми логарифмічного підсилювача вихідний сигнал каскаду визначатиметься залежністю

$$U_{\text{в}} = n \log U_{\text{вх}} + n \log(R1), \quad (4.7)$$

де  $n$  – коефіцієнт, залежний від електричних властивостей діода  $VD1$ .

Очевидно, що для забезпечення роботи діода в області малих струмів (умова стабільності його параметрів) опір резистора  $R1$  необхідно вибирати великої величини (при малій вхідній напрузі). У свою чергу вхідний струм  $I_0$  операційного підсилювача має бути на порядок менше мінімального струму, що протікає через діод.

Для схеми антилогарифмічного підсилювача передавальна функція матиме вигляд

$$U_{\text{в}} = -I_0 R1^{(U_{\text{вх}} / n)}. \quad (4.8)$$

Зважаючи на складну технічну реалізацію таких пристроїв пошук несправностей в них можливий тільки на спеціально обладнаних стендах фахівцями, що мають високу кваліфікацію і досвід ремонту і налагодження їх.

#### 4.5 Спеціальні обчислювальні схеми

Спеціальні схеми розробляються для вирішення приватних завдань, що відносяться тільки до конкретного технологічного об'єкту. Зазвичай їх створюють за допомогою відомих схем, але які відрізняються новими прикладними властивостями.

Наприклад, для обліку короткочасно існуючих у вимірювальних лініях імпульсів різної амплітуди і тривалості обчислювальні пристрої оснащуються спеціальними реєстраторами. У таких пристроях короткочасні вхідні імпульси не лише реєструються, але і перетворюються для обліку при розрахунках величин корисних сигналів.

На рисунку 4.7 представлений реєстратор електричних імпульсів, виконаний із застосуванням відомого диференціатора. У цій схемі імпульс  $P2$  через конденсатор  $C1$  і резистор  $R3$  поступає на вхід операційного підсилювача  $DA1$ . Міняючи коефіцієнт передачі каскаду (вибір параметрів  $VT1$ ) підбирається рівень вхідного сигналу, при якому реєстратор імпульсу повинен «спрацювати» – забезпечити формування вихідного сигналу без урахування імпульсу, що впливає на якість роботи вимірювальної схеми.



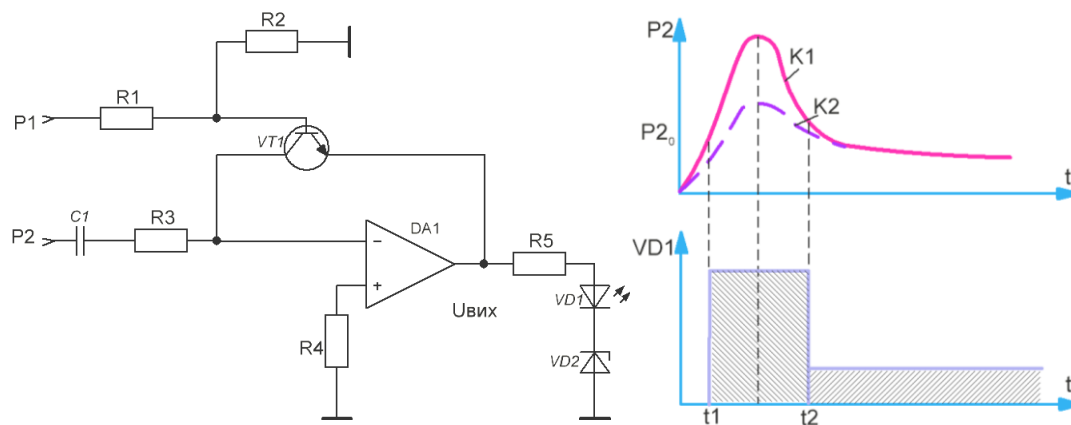


Рисунок 4.7 – Схема реєстратора електричних імпульсів

Таким чином реєструється похідна величина вхідного сигналу і формується імпульс для коригування вихідного сигналу, залежний від параметрів вхідного ланцюга (конденсатора  $C1$  і резистора  $R3$ ):

$$U_{вих} = \frac{\tau dU_{ex}}{dt} \approx \tau \frac{\Delta U_{ex}}{t_2 - t_1}, \quad (4.9)$$

$$R'_3 = f(R_1, R_2), \quad (4.10)$$

$$\tau = C_1 R_3. \quad (4.11)$$

Пошук несправностей в таких пристроях виконується за допомогою тестових приладів або стендів, що дозволяють реалізувати джерела сигналів адекватні реальному об'єкту для кожного вхідного ланцюга окремо.

#### 4.6 Захист аналогових обчислювальних пристроїв від перешкод

У раніше розглянутих прикладах зверталася увага на зовнішні чинники, впливом яких не можна нехтувати при експлуатації засобів, що забезпечують перетворення і вимір електричних величин.

Транспортні засоби з навісним обладнанням експлуатуються в умовах, коли можуть знаходитися різні зовнішні джерела електромагнітних перешкод. Джерелами істотних перешкод є електричні зварювальні установки, колекторні електричні двигуни, контактори та інші пристрої. Для боротьби з перешкодами застосовують різні і спеціальні схеми. На рисунку 4.8 блок-схема вимірювального пристрою, в якому окрім датчика технологічного параметра (ДТП), вимірювальної схеми (ВС) і масштабного підсилювача (формував нормованого сигналу  $U_H$ ), передбачений змішувач (ЗМ). У змішувачі за допомогою сигналу з нормованим рівнем  $U_H''$  від спеціального генератора

(генератор стандартних сигналів – ГСС), реалізується модуляція інформаційного сигналу. Вихідний сигнал цього каскаду визначатиметься залежністю, в якій інформативною є його амплітуда.

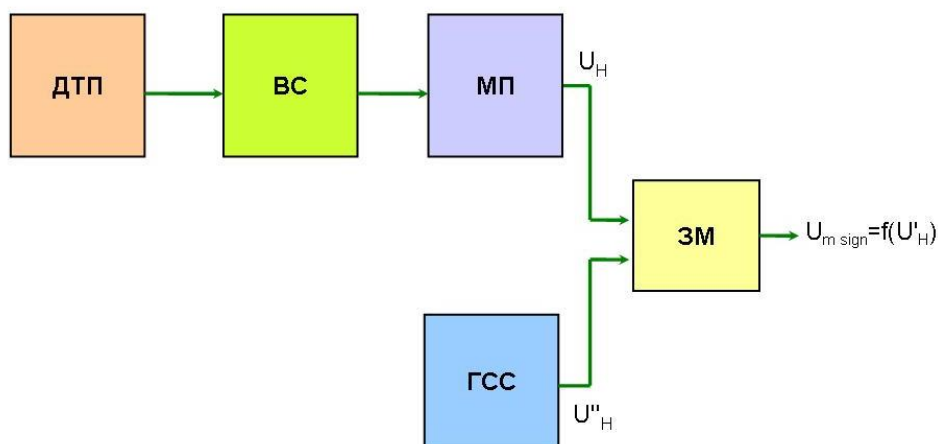


Рисунок 4.8 – Блок-схема пристрою для захисту інформації від перешкод:

ДТП – датчик технологічного параметра, ВС – вимірювальна схема, МП – масштабний підсилювач, ГСС – генератор стандартних сигналів, ЗМ – змішувач

На рисунку 4.9 зображена схема суматора з модулятором інформаційного сигналу від датчика, який виконаний на мікросхемах  $DA1$ ,  $DA2$ . Змішувач на транзисторах  $VT1$  і  $VT2$  виконаний таким чином, що на входи транзисторів подаються сигнали від двох джерел: на  $VT1$  – нормований рівень від датчика, а на  $VT2$  – сигнал від генератора на логічному елементі  $DA2$ .

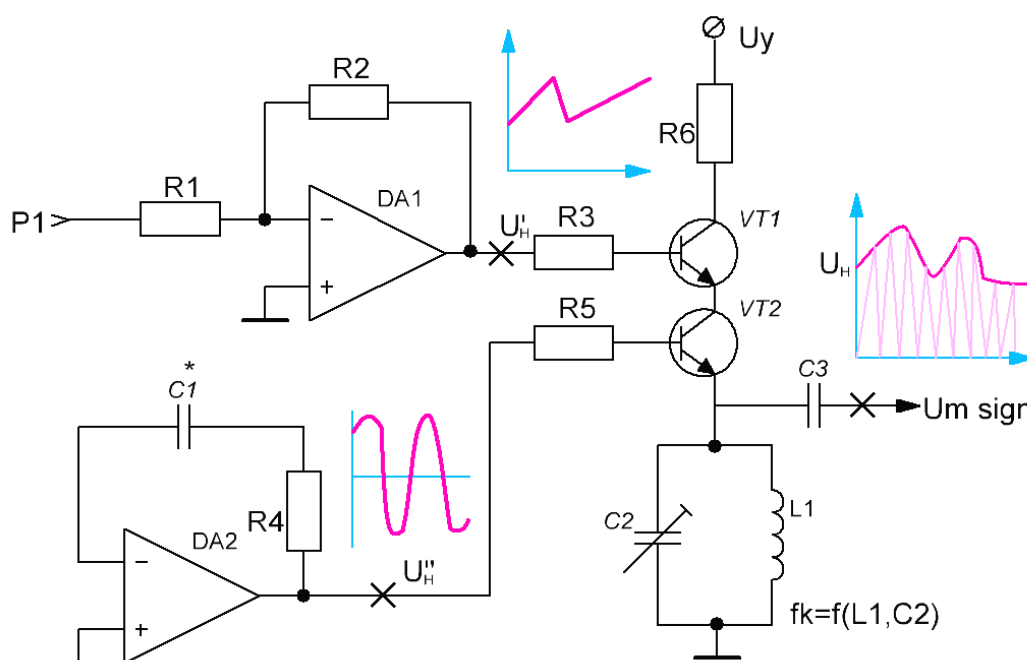


Рисунок 4.9 – Принцип отримання модульованого сигналу

За допомогою конденсатора  $C1$  виконується налаштування коливального контуру на виході пристрою залежно від обраної частоти генерації, на якій виконується передача інформації на відстань і подальша обробка її в приймачі.

Незважаючи на простоту, такий пристрій забезпечує захист інформації від перешкод, змінює частоту генерації, враховуючи спектр частот уражених перешкодами в конкретних умовах експлуатації вимірювального пристрою.

Пошук несправностей в таких пристроях виконується за допомогою комплектів приладів на стендах, оснащених необхідними засобами для формування і виміру синусоїдальних гармонійних сигналів, імпульсів різної форми і тривалості, виміру електричних характеристик напівпровідникових приладів.

## ТЕМА 5 ЦИФРОВІ КОМПОНЕНТИ ЕЛЕКТРОННОГО ОБЛАДНАННЯ

### 5.1 Система логічних елементів

Система існуючих логічних елементів має такі особливості:

- на входах і виходах логічних елементів діють тільки потенціальні сигнали;
- з виходу одного елемента на вхід іншого передаються як перехідні, так і встановлені значення сигналів;
- реалізується обмежений набір булевих функцій: НІ, АБО, І, НІ- АБО, НІ-І та ін., що полегшує застосування автоматизованих методів проектування (дивитися програму SinSys ► меню: допомога, САПР – система автоматизованого проектування схем).

Потенціальні елементи розрізняють за схемою технічною ознакою – способом з'єднання транзисторів, діодів і резисторів між собою в межах однієї схеми типового базового елемента. Сукупність із загальною ознакою побудови утворюють вид схемної логіки.

Логіка роботи логічного елемента (ЛЕ) Ч АБО И (OR): на два входи X1 і X2 подаються вхідні сигнали (табл. 5.1). Функцію Y можна записати для довільного числа вхідних змінних

$$Y = X1 \vee X2 \vee \dots \vee X_n. \quad (5.1)$$

Схема двоходового елемента АБО, його умовне графічне зображення і часові діаграми роботи показані на рисунку 5.1.

Таблиця 5.1 – Залежність вихідного сигналу ЛЕ < АБО >

| X1 | X2 | Y |
|----|----|---|
| 0  | 0  | 0 |
| 0  | 1  | 1 |
| 1  | 0  | 1 |
| 1  | 1  | 1 |

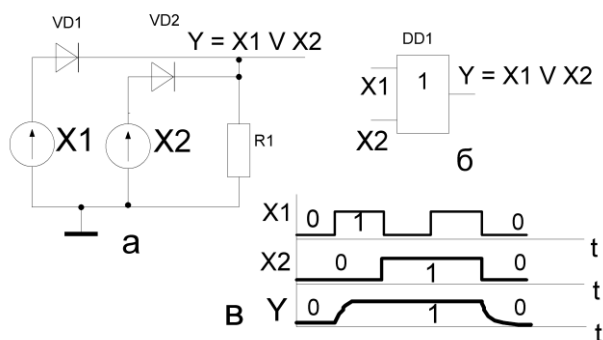


Рисунок 5.1 – Елемент < АБО >:

а – схема; б – умовне графічне зображення; в – часові діаграми роботи

Ілюстрація роботи ЛЕ АБО <OR> представлена в програмі SinSys ► електронна лабораторія «ПрЭ-БЛ».

Логіка роботи ЛЕ І (AND) подана в таблиці 5.2. На основі логіки одержують вираз для вихідної булевої функції елемента  $Y = X1 \cdot X2$ . Функцію  $Y$  для довільного числа входних змінних можна записати:

$$Y = X1 \cdot X2 \cdot \dots \cdot X_n. \quad (5.2)$$

Таблиця 5.2 – Залежність вихідного сигналу ЛЕ <I>

| X1 | X2 | Y |
|----|----|---|
| 0  | 0  | 0 |
| 0  | 1  | 0 |
| 1  | 0  | 0 |
| 1  | 1  | 1 |

На рисунку 5.2 показані схема, графічне зображення і часові діаграми роботи ЛЕ <I>.

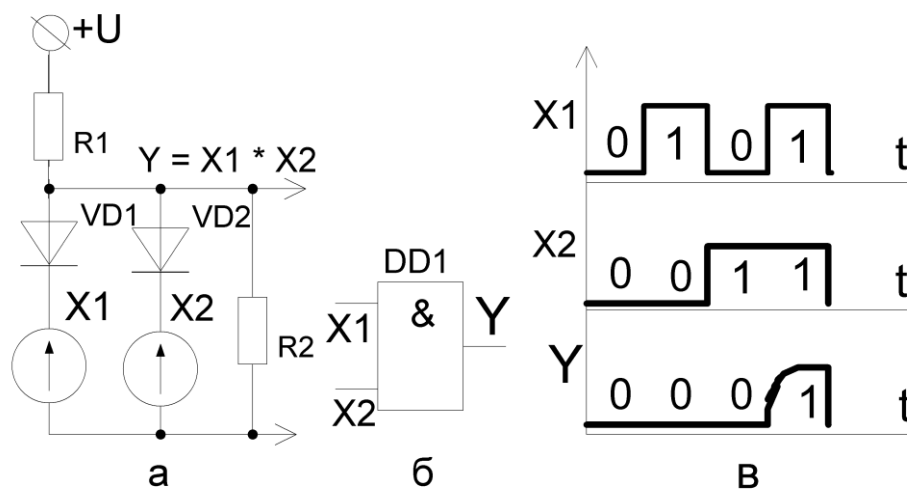


Рисунок 5.2 – Елемент <I>:

а – схема; б – умовне графічне зображення; в – часові діаграми роботи

Високий рівень напруги  $U$  на виході діодного елемента  $I$  встановлюється тільки при одночасній подачі на обидва входи високих рівнів напруги при яких закриваються кремнієві діоди  $VD1$  і  $VD2$ . При цьому від джерела живлення  $U$  через резистор  $R1$  і  $R2$  протікає струм навантаження

$$I = \frac{U}{R1 + R2}, \quad (5.3)$$

і встановлюється значення високого рівня вихідної напруги  $U_{BP}$

$$U_{BP} = I \cdot R2 = \frac{U \cdot R2}{R1 + R2}. \quad (5.4)$$

Ілюстрація роботи ЛЕ <AND> представлена в програмі SinSys ► електронна лабораторія «ПрЭ-БЛ».

Логіку роботи елемента <НІ> (НЕ, NOT) або інвертора ілюструє таблиця істинності (табл.5.3). На основі таблиці 5.3 одержують вираз для вихідної булевої функції  $Y = \bar{X}$ .

Таблиця 5.3 – Залежність вихідного сигналу ЛЕ НІ

| X | Y |
|---|---|
| 0 | 1 |
| 1 | 0 |

Схема елемента <НІ>, його умовне графічне зображення і часові діаграми роботи показані на рисунку 5.3. Схема елемента <НІ> (транзисторний ключ): транзистор VT1; резистори в колі колекторного навантаження  $R_K$  і бази  $R_B$ ;  $U$  – джерело живлення.

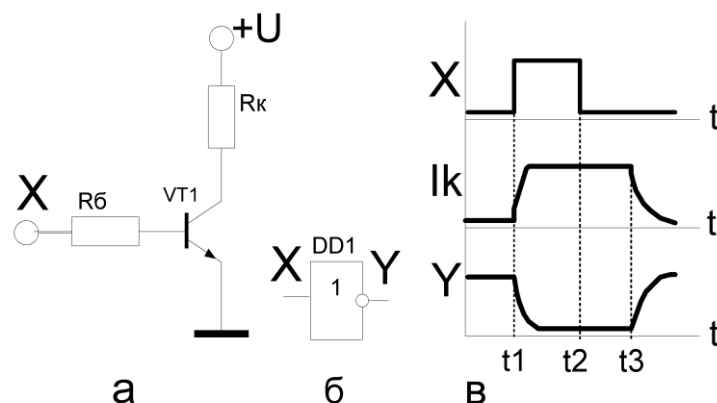


Рисунок 5.3 – Елемент <НІ>:

а – схема; б – умовне графічне позначення; в – часові діаграми роботи

Транзистор VT1 може знаходитися в трьох основних режимах: відсікання колекторного струму (закритий стан), насичення (відкритий стан) і активної роботи (посилення). У режимі відсікання колекторний і базовий переходи закриті (на вхід поданий низький рівень напруги), у колі колектора протікає дуже малий обернений струм колекторного переходу і на колекторі транзистора встановлюється високий рівень напруги.

Ілюстрація роботи ЛЕ <NOT> представлена в програмі SinSys ► електронна лабораторія «ПрЭ-БЛ».

## 5.2 Цифрові схеми і їхня діагностика

У базових і аналогічних інших логічних пристроях формування необхідних сигналів здійснюється тільки у тому випадку, якщо спостерігається певна відповідність в часі імпульсів, що поступають на входи цифрових схем. Синхронність роботи джерел і приймачів імпульсів є головною умовою коректного функціонування усіх цифрових пристроїв.

Оскільки імпульси електричних сигналів в лініях зв'язку існують короткочасно, то їх контролювати можна тільки за допомогою спеціальних вимірювальних пристроїв, у складі яких обов'язково представлені багатопробеневі осцилографи, генератори імпульсів різної форми з регульованою частотою, вольтметри, міліамперметри та інші автономні тестові пристрої.

*Цифрові пристрої* – дискретні електричні схеми, виконані на базі логічних та інших дискретних елементів.

При пошуку несправностей в цифрових схемах застосовують засоби реалізації спеціальних логік. Найефективніша логіка пошуку несправностей реалізується програмованими логічними контролерами (ПЛК), які повторюють релейну дискретну логіку, а сам принцип *реалізації сходової логіки діагнозу* має назву від релейної логіки, що реалізовує послідовність дій, які становлять основу сходового логічного програмування.

## ТЕМА 6 КОМБІНОВАНІ СХЕМИ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

### 6.1 Склад комбінованого електрообладнання

Комбіновані електричні схеми відносяться до найбільш поширених в електрообладнанні. Обумовлено це використанням слабкострумівих компонентів з силовим електрообладнанням. До складу комбінованих схем входять аналогові й цифрові компоненти, засоби захисту від перешкод, фільтри, підсилювачі потужності, безконтактні комутатори та ін.

У транспортних засобах на базі автомобіля (рис. 6.1) використовують різне електрообладнання з бортовими джерелами живлення – генератор, акумуляторна батарея (АБ).

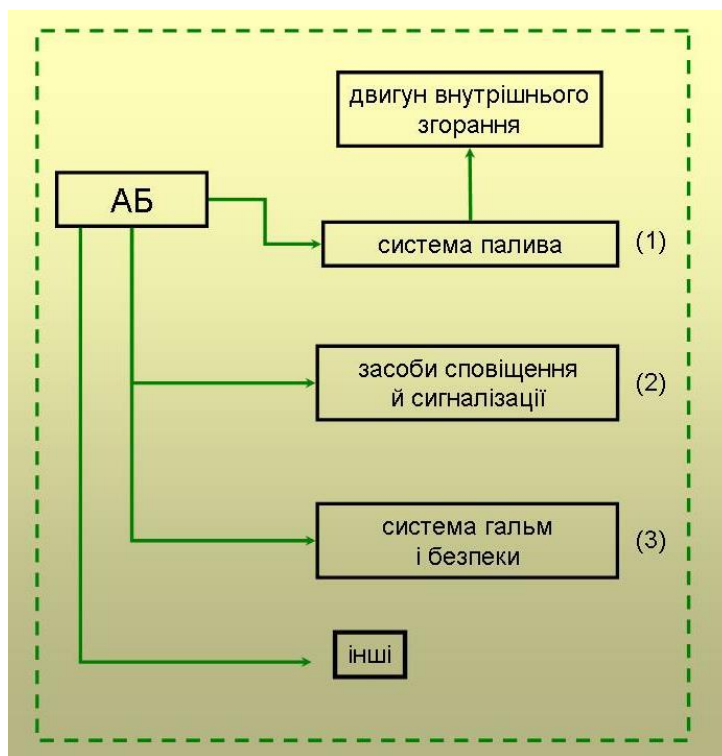


Рисунок 6.1 – Комбіноване електрообладнання ТЗ

Двигун внутрішнього згорання оснащений системою запалення, в якій є контактний або безконтактний перетворювач високої напруги (1).

Засоби освітлення, світлової сигналізації і сповіщення (2), системи гальм і безпеки (3) включають базове гідравлічне або пневматичне обладнання і спеціальні електричні підсилювачі-перетворювачі.

Окрім вищезгаданих на ТЗ може використовуватись інше електричне обладнання для керування навісним або додатковим спецобладнанням. До таких пристроїв слід віднести електронні підсилювачі, бортові комп'ютери з



усіма периферійними компонентами, автоматичні блоки контролю, керування, сигналізації із засобами ручного керування і багато що інше.

1. **Система запалення** на рисунку 6.2 у своєму складі містить напівпровідниковий підсилювач потужності на  $VT1$ , навантаженням якої слугує котушка запалення  $L_{K3}$ . Як переривник в контактній схемі застосовують контакт  $K_3$  з розрядним конденсатором  $C1$ . В безконтактних пристроях  $R_1$  і  $C1$  підключається до транзистора в результаті ефект розряду досягається через безконтактний транзистор, що працює в ключовому режимі. У таких схемах термін служби комутаційних елементів істотно зростає.

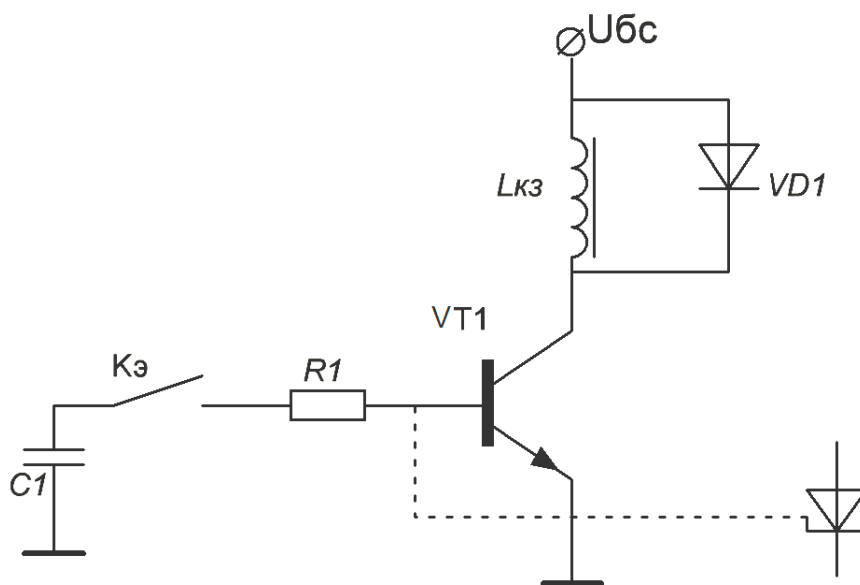


Рисунок 6.2 – Підсилювач потужності системи запалення

Причини несправностей в схемах запалення можуть бути пов'язані з будь-яким з елементів, що входить в пристрій:  $K_3$ ,  $C$ ,  $VT1$ ,  $L_{K3}$ . Інтегральний принцип пошуку несправностей полягає в контролі режиму роботи транзистора  $VT1$ , для чого контролюють струм, споживаний каскадом.

На рисунку 6.3 наведена схема транзисторного підсилювача із засобами контролю струму і дискретним індикатором на логічному елементі  $DD1$ . Залежно від обраних параметрів роботи індикатора падіння напруги на резисторі  $R4$  виникне тільки при виході з ладу транзистора  $VT1$  (пробої транзистора).

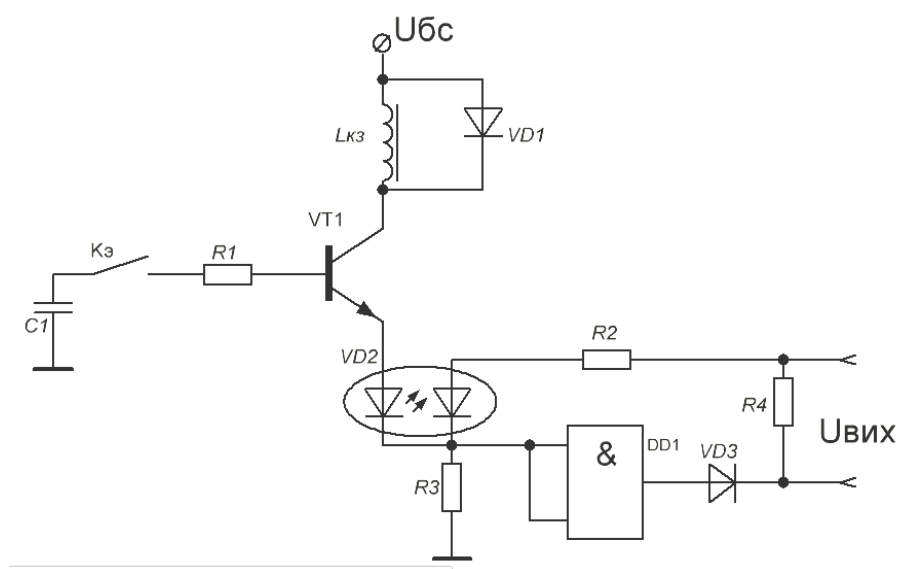


Рисунок 6.3 – Система запалення з індикатором несправності

В усіх інших випадках, коли VT1 справний, індикатор не функціонує. Такий простий сигналізатор зручно розміщувати безпосередньо на автомобілі. Сам пристрій буде автономним засобом діагностування системи запалення.

2. **Обладнання освітлення і сигналізації** включає фари ближнього і дальнього світла, габаритні ліхтарі, покажчики повороту і багато інших освітлювальних приладів. На рисунку 6.4 ілюструється ланцюг живлення ламп розжарювання EL1 – EL4 фар з роздільними вимикачами S1.1 – S2.2.

Струм в ланцюзі живлення освітлювальних приладів має розрахункове значення при справності усіх компонентів електрообладнання .

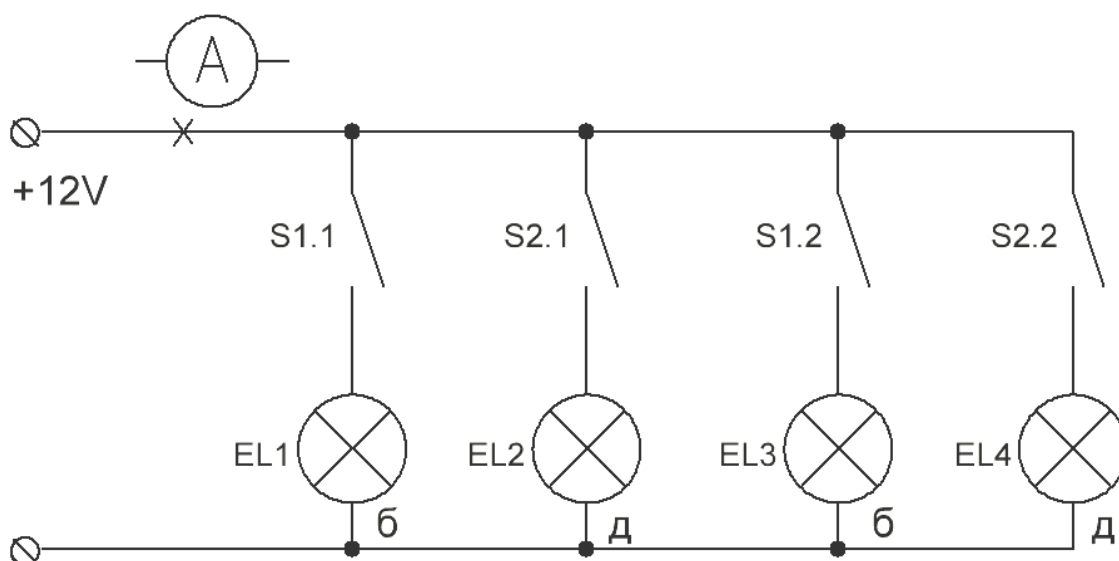


Рисунок 6.4 – Схема включення фар далекого і ближнього світла

Нормоване значення споживаного схемою струму можна визначити, користуючись залежностями:

$$I_{\Phi Б} = \frac{U_{AB}}{R_1 + R_2}, \quad (6.1)$$

$$I_{\Phi Д} = \frac{U_{AB}}{R'_1 + R'_2}, \quad (6.2)$$

де  $U_{AB}$  – напруга бортової мережі;

$R_1, R_2$  – опір ланцюга при «ближньому світлі»;

$R'_1, R'_2$  – опір ланцюга при «далекому світлі».

Дискретну різницю величин струму в ланцюзі живлення фар можна контролювати за допомогою автономного засобу – оптичного амперметра, виконаного на базі оптопари.

Приклад реалізації такого пристрою наведений на рисунку 6.5.

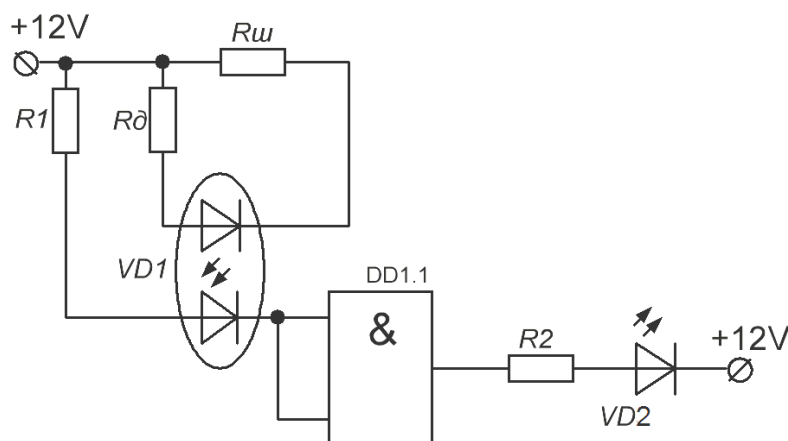


Рисунок 6.5 – Автономний індикатор справності приладів освітлення

Дискретний сигнал від оптопари VD1 подається на вхід елементу DD1.1, навантаженням якого є світлодіод VD2. При певних значеннях  $R_{III}$  і  $R_0$  (залежать від експлуатаційних параметрів фар при ближньому або дальньому світлі) фотодіод VD2 не індукуватиме при справному обладнанні. Будь-які несправності викличуть індикацію VD2.

Такий автономний засіб діагностування може бути розміщений на самому автомобілі для будь-якого аналогічного електричного приладу, перевірка справності якого виконується систематично при щоденному технічному обслуговуванні (ЩТО).

3. Обов'язковою частиною щоденного технічного огляду є **системи гальм і безпеки**. У більшій частині автомобілів система гальм має гідравлічний, пневматичний або комбінований принцип дії.

Для контролю стану, наприклад, гідравлічної системи доцільно використовувати показувальні прилади (манометри) або комбіновані пристрої з

датчиками, що перетворюють тиск в електричний сигнал (тензометричні й резистивні датчики).

Резистивний датчик тиску на базі сільфону ілюструється на рисунку 6.6.

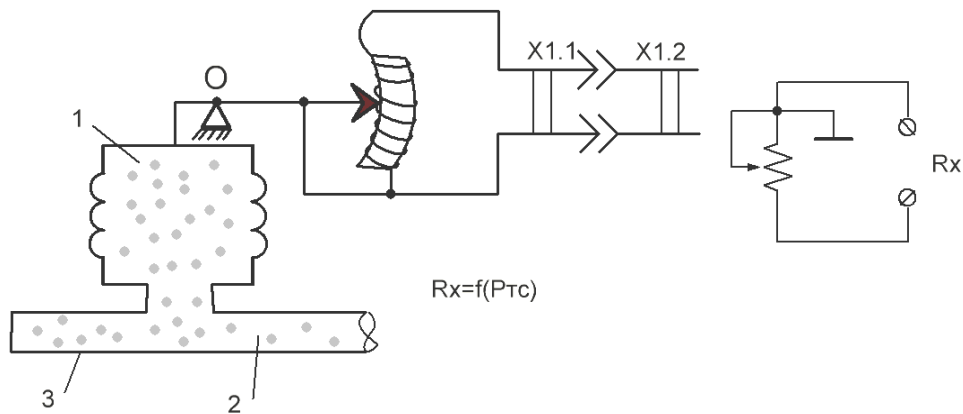


Рисунок 6.6 – Датчик сільфону тиску

Сильфон 1 (гофрований патрубок з повним корпусом) взаємопов'язаний з гідросистемою 2. Під впливом тиску 3 контрольованого середовища сильфон деформується на величину  $h$ .

При деформації сільфону 1, зміщується рухливий елемент реостата, вихідний опір якого буде тісно взаємопов'язаний з параметром контролю. Контроль величини  $R_x$  дозволяє створювати не лише засоби контролю, але справність усіх компонентів, що входять до складу такого вимірника тиску.

На рисунку 6.7 зображена блок-схема індикатора справності реостатного манометра, що складається з реостатного датчика, вимірювальної схеми ВС, масштабного підсилювача МП, показуючого приладу ПП з індикаторами.

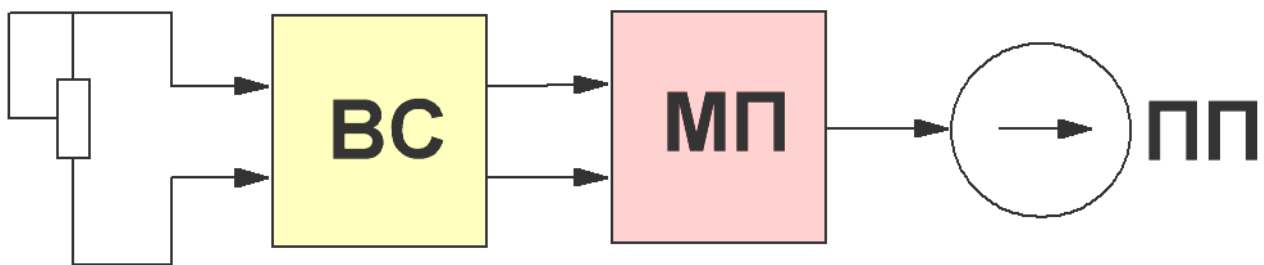


Рисунок 6.7 – Блок-схема реостатного манометра з індикатором справності

## ТЕМА 7 РОЗРОБКА БЛОК-СХЕМ АЛГОРИТМІВ ДІАГНОСТУВАННЯ

### 7.1 Графічне представлення алгоритмів діагностування

*Блок-схема* – упорядкована сукупність різних графічних форм, що символізують певні операції, які поєднані між собою стрілками, що показують напрямок розвитку подій у програмі за певними умовами.

Блоки умовно можна розділити на:

- 1) блоки початку і кінця алгоритму (овальна форма);
- 2) блоки обробки даних (прямокутна форма);
- 3) блоки перевірки умов (ромбовидна форма з двома точками виходу).

За структурою блок-схеми алгоритмів вирішення завдань діагностування електрообладнання ТО розділяють на *лінійні, гілкові й циклічні*.

*Концептуальна блок-схема* – це перерахування в логічному порядку найважливіших подій процесу діагностування.

*Функціональна блок-схема* – відображає сукупність процесів або операцій, деталізація яких залежить від технічних засобів, що використовують при діагностуванні електрообладнання.

### 7.2 Вибір етапів діагностування електрообладнання

Розробка блок-схеми алгоритму діагностування електрообладнання при цьому має на увазі реалізацію декількох етапів :

1. Визначення технічного стану пристрою, що діагностується.
2. Пошук і локалізація обладнання , що має відмови або несправності.
3. Прогнозування залишкового ресурсу пристрою після ремонту.

В автомобілях і електромобілях, використовуваних для механізації ручної праці в муніципальному господарстві, основними компонентами електрообладнання є: базове електрообладнання транспортного засобу і спеціалізоване електрообладнання , використовуване для механізації виконувальних робіт (електроприводи, блоки керування, допоміжні електротехнічні засоби).

При складанні алгоритму діагностування при ЩТО необхідно:

1. Розглянути прийоми діагностування базового електрообладнання ТЗ (вузли і блоки, несправність яких забороняє експлуатацію ТЗ: системи запалення, АКБ, генератор, стартер, системи гальм і безпеки, освітлювальні й сигнальні прилади та ін.);

2. Розглянути прийоми діагностування спеціального електрообладнання ТЗ (додаткові АКБ і генератор, блок контролю, керування й сигналізації автономної бортової мережі, пневматичні і гідравлічні пристрої з електроприводами і перетворювачами, та ін.).

3. Вивчити взаємозв'язок діагностичних параметрів в усіх групах електрообладнання (загальні діагностичні параметри, системи блокування, засобу контролю, сигналізації).

4. Вибрати методики аналізу отриманих результатів вимірів придатні, що для реалізації їх технічними засобами.

### **7.3 Складання блок-схеми алгоритму діагностування**

Для реалізації алгоритмів діагностики технічними засобами часто застосовують математичні описи, що відображають роботу окремих компонентів електричних схем, які допомагають синтезувати обладнання для виконання пошуку несправностей і діагностики їх технічного стану.

Якщо передбачається автономний принцип пошуку несправностей і діагностування, то в цьому випадку передбачається застосування вбудовуваних датчиків, що розміщуються прямо на електрообладнанні. Такі компоненти діагностичних пристроїв повинні мати відповідне виконання для надійної довготривалої експлуатації їх під впливом довкілля. За відсутністю датчиків-перетворювачів, що серійно випускаються, доцільно передбачити їх проектування і виготовлення. У тому випадку, якщо автономний варіант діагностики складно реалізувати розглядається варіант виготовлення стаціонарного діагностичного стенду. В цьому випадку компоненти електрообладнання до стенду повинні будуть підключатися за допомогою роз'ємів.

Розглянуті вище чинники необхідно враховувати, оскільки від них залежить можливість реалізації розробленого алгоритму діагностики.

Приклад блок-схеми алгоритму діагностики електрообладнання наведений на рисунку 7.1.

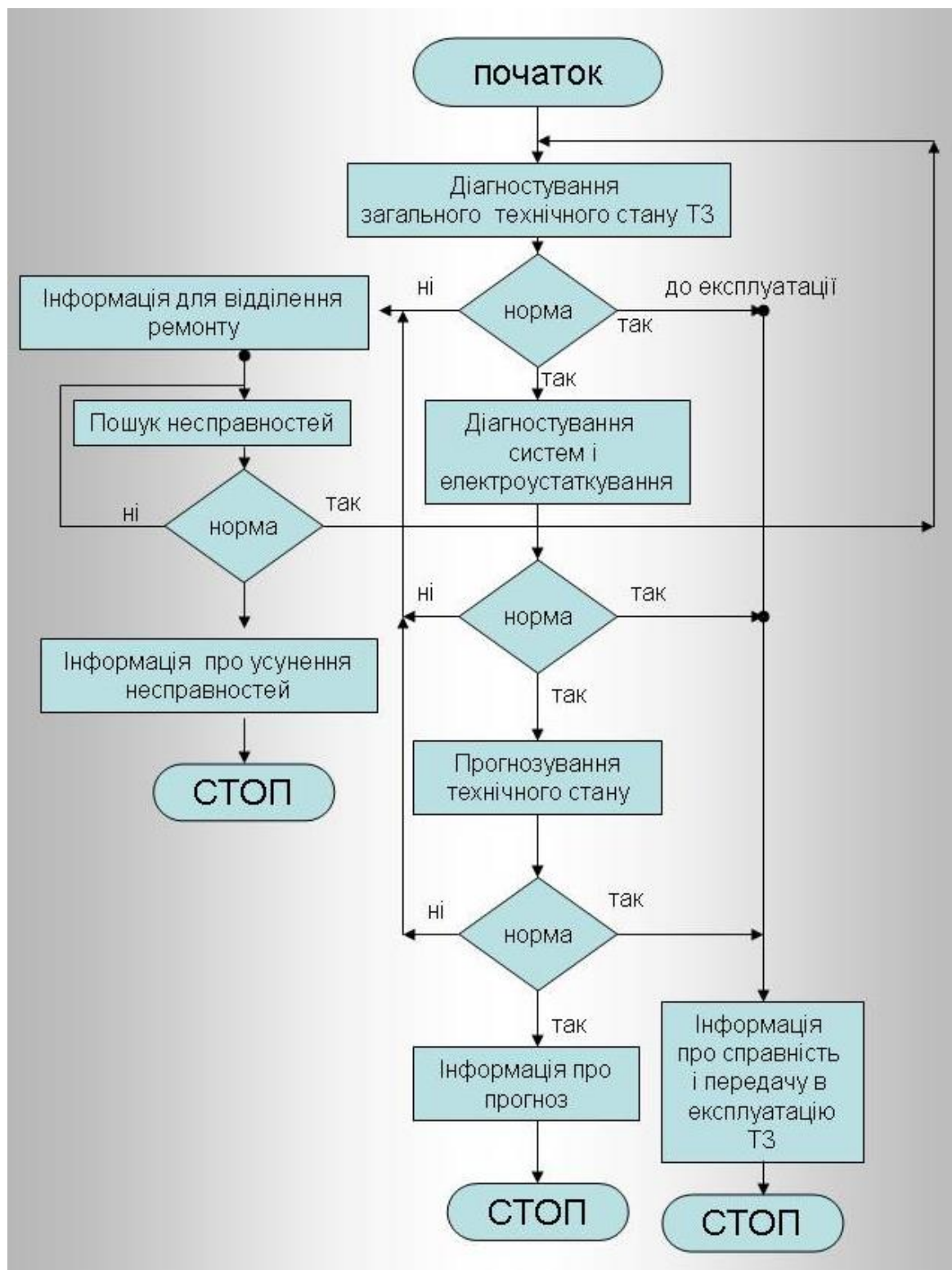


Рисунок 7.1 – Блок-схема алгоритму діагностики спеціального електрообладнання

## ТЕМА 8 МОДЕЛЮВАННЯ КОМПОНЕНТІВ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

### 8.1 Моделювання дискретних електричних пристроїв

Найчастіше до них відносяться схеми включення електроприводів, які містять: керуючі пристрої з кнопками, тумблерами, засобами блокування, контролю, сигналізації.

Для КРС на рисунку 8.1 можливі несправності можуть бути пов'язані з електродвигуном  $M$ , проміжними реле  $K1$ ,  $K2$  і елементами комутації. У кожному окремому випадку пошук несправностей припускає реалізацію свого оригінального алгоритму. Очевидно, що вся програма пошуку можливих несправностей може включати декілька самостійних взаємопов'язаних операцій.

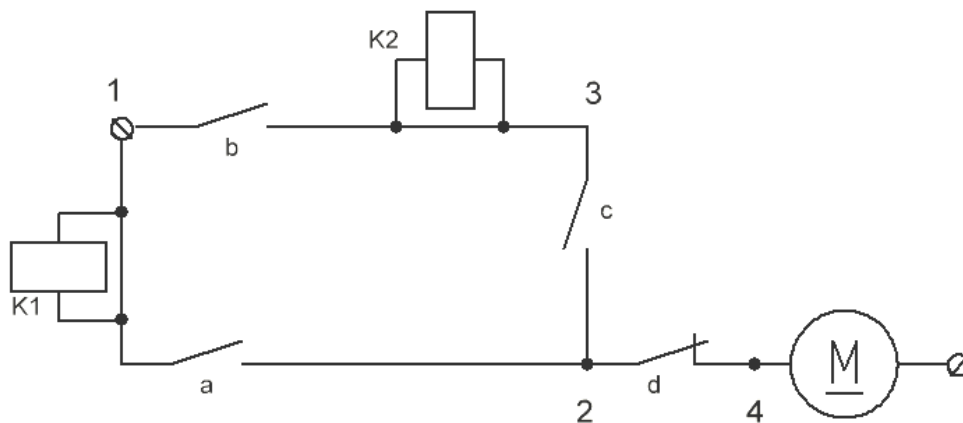


Рисунок 8.1 – Моделювання несправності КРС

На рисунку 8.1 контактні елементи позначені  $a, b, c, d$  служать для керування електродвигуном  $M$  тільки при виконанні певних умов. Для випадку з несправним електродвигуном  $M$  виконаємо моделювання такої ситуації, скориставшись квадратичною матрицею такого стану схеми.

Квадратична матриця матиме рівну кількість рядків і стовпців відповідних числу вузлів в схемі (відмічені цифрами 1 – 4). При цьому справні елементи в схемі позначаються в стверджуючому вигляді, а несправні – інверторами.

При складанні загального рівняння – математичного опису несправності, користуються традиційними прийомами.

З'єднання елементів на схемі відзначається буквою і вноситься до матриці (з'єднання між точками 1 і 2 позначені елементом  $a$ ).



Оскільки між точками 3 і 4 немає електричного з'єднання, то в матриці ця умова фіксується у вигляді «0». Для даної схеми стан елементу  $d$  відмічений інверсією  $\bar{d}$ , що відрізняється від стверджуючих станів  $a, b, c$ .

Визначник між вузлами 1 і 4 запишемо, викресливши з матриці 1-й рядок і 4 стовпець. Для вирішення поставленого завдання скористаємося правилом рішення матриці.

Головний визначник матриці для ланцюга 1–4 матиме вигляд:

$$\Delta_{14} = \begin{vmatrix} a & 1 & c \\ b & c & 1 \\ 0 & \bar{d} & 0 \end{vmatrix} = a \begin{vmatrix} c & 1 \\ \bar{d} & 0 \end{vmatrix} + b \begin{vmatrix} 1 & c \\ \bar{d} & 0 \end{vmatrix}. \quad (8.1)$$

Логічне рівняння запишеться у вигляді:

$$f_M = a\bar{d} \vee b\bar{d}c = \bar{d}(a \vee bc). \quad (8.2)$$

Загальне рівняння (8.2) є математичним описом конкретного пристрою несправності, що допускається. Користуючись законами і аксіомами алгебри, представимо функціональну схему, що реалізовує логічний пристрій, який визначає несправність в розглянутій схемі:

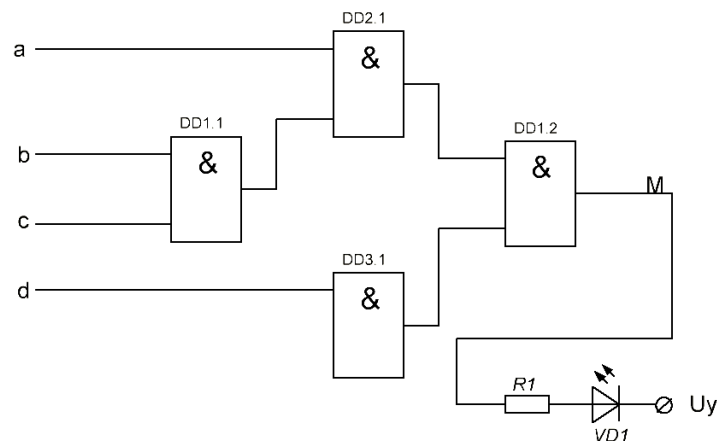


Рисунок 8.2 – Логічний діагностуючий пристрій

Схема на рисунку 8.2 реалізована на логічних елементах (логічні мікросхеми). Такий компактний пристрій з індикатором VD1 дозволяє оповіщати користувача про виниклу несправність, пов'язану тільки з електричним двигуном.

Для проектування аналогічного пристрою, що забезпечує контроль справності будь-якого іншого елементу схеми, необхідно розробити додатковий математичний опис, реалізація якого дозволить створити аналогічний сигналізатор справності чергового компонента схеми.

Аналогічні моделі можна отримати за допомогою таблиць істинності, але їх застосування часто обмежене громіздкістю таблиць, що реалізуються у вигляді:

$$u_{эл} \rightarrow 2^u > 2^5 = 32 > 2^8 = 256. \quad (8.3)$$

*Переваги автономних логічних схем діагностики:* економічні, займають мало місця, не порушують логіку роботи основного електротехнічного обладнання, не вимагають додаткового огляду і обслуговування, безпомилково ідентифікують виниклі несправності, не потребують кваліфікованого обслуговуючого персоналу.

*Недоліки:* для реалізації вимагають додаткових матеріальних витрат.

## 8.2 Моделювання аналогових пристроїв

Спеціальна техніка часто є комбінацією електричного і механічного обладнання. Для діагностування справності такого обладнання часто користуються електронними засобами, в яких реалізуються математичні моделі електромеханічних пристроїв.

При математичному моделюванні комбінованих пристроїв завжди розглядаються певні умови експлуатації (умови обмеження). Існує безліч математичних методів моделювання статички і динаміки аналогових пристроїв. У кожному конкретному випадку розробники переслідують певну мету отримати: статичні залежності – для контролю і оптимізації умов експлуатації об'єкта; динамічні – оцінити поведінку об'єкту в умовах дії на них різних зовнішніх чинників.

Загальний принцип застосування електронних моделей для діагностування електрообладнання полягає в тому, що діагностичний пристрій контролює технологічний об'єкт (ТО) і його математичну модель (МТО), а за результатами вимірів ідентифікується можлива несправність в електрообладнанні (рис. 8.3).

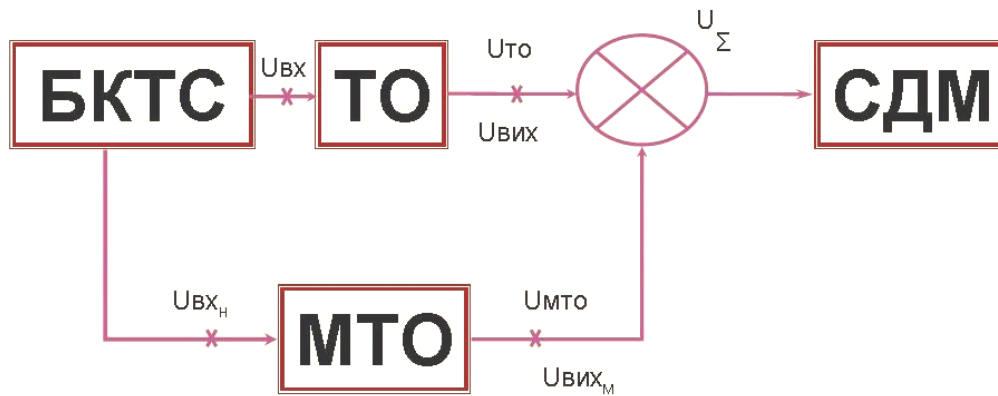


Рисунок 8.3 – Моделювання несправностей аналогового обладнання

Засоби діагностики з математичними описами аналогових об'єктів в більшості випадків результати вимірів ідентифікують з декількома можливими несправностями, які поділяються на: нормовані або допустимі; неприпустимі, що вимагають термінової зупинки об'єкта; випадкові, якими можна нехтувати, але врахувати і проаналізувати причину виникнення при повторенні.

$$\Delta\Sigma = U_{TO} - U_{MTO}, \text{ при } \Delta\Sigma \begin{cases} > 0 - \text{неприпустимі (STOP)} \\ > 0 - \text{припустимі (очікувані)} \\ < 0 - \text{випадкові, виправлюючі} \end{cases} \quad (8.4)$$

У аналогових логічних пристроях від блоку керівних тест-сигналів БКТС, випробувальні сигнали поступають на об'єкт ТО і його модель МТО. Вихідні сигнали  $U_{TO}$  і  $U_{MTO}$  порівнюють в обчислювальному блоці, а результат обробки початкових даних поступає на систему аналізу діагностичних модулів (СДМ) – блок аналогових або цифрових логічних експертів. За допомогою СДМ виконується аналіз та ідентифікація результатів вимірів, але висновки електронного експерта формуються тільки для переважаючої умови  $0 < \Delta\Sigma = 0 > 0$ , відповідного тільки одній причині несправності. При цьому передбачається, що реальний об'єкт і його модель адекватні (виконуються нормовані умови експлуатації ТО).

Якщо реалізується ненормований режим експлуатації ТО, то в МТО передбачено декілька параметрів, коригування яких дозволяє отримати нову модель, що адекватно описує процеси в ТО.

Таким чином, перебудовувана електронна МТО може забезпечувати комплексне діагностування і електричної і механічної частин обладнання, хоча ідентифікація причин для  $\Delta\Sigma > 0$  і  $< 0$  потребуватиме додаткової обробки отриманих результатів вимірів. У будь-якому випадку такий пристрій істотно

скорочує час пошуку несправностей, попереджає експлуатацію об'єкту в ненормованих умовах, не допускає поломок його.

Найбільш прийнятним варіантом реалізації таких засобів діагностики з моделюванням об'єктів є розробка спеціалізованих стендів, в яких статичними і динамічними математичними описами для певного типу електромеханічного обладнання є системи рівнянь для різних умов експлуатації аналогічних пристроїв.

Найбільший інтерес викликають засоби діагностики, які забезпечують апроксимацію експериментальних даних і отримання математичних описів.

У такому діагностичному обладнанні статичні і динамічні характеристики ТО задаються за допомогою КТС, що моделює нормований і інші режими експлуатації ТО. Після внесення тест-сигналів реєструють вихідні величини  $U_{вих}$ ,  $U_{вих.м}$ , часові інтервали, виконують графічну інтерпретацію залежностей (рис. 8.4), визначають необхідні параметри і отримують математичні описи ТО:

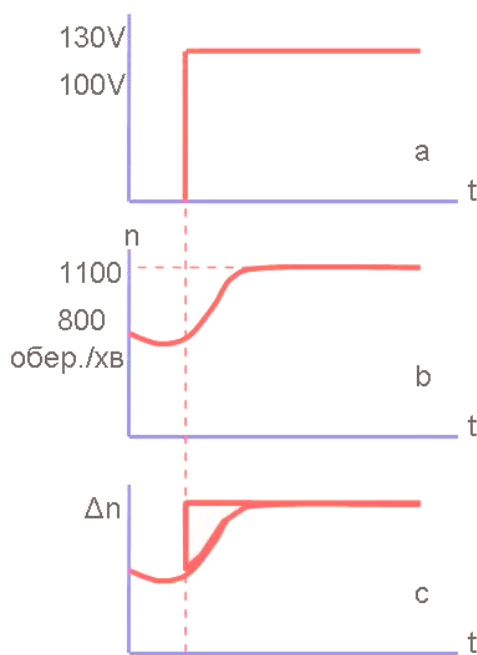


Рисунок 8.4 – Графічна інтерпретація тестування ТО

Залежність  $n$  від  $t$  на рисунку 8.4а є результатом ступінчастого збурення на вході ТО, яке, наприклад, для двигуна було отримано стрибкоподібною зміною напруги живлення на його керуючій обмотці від 100 В до 130 В.

Вигляд характеристики на рисунку 8.4b відображає початок перехідного процесу в момент  $t_1$  при внесенні збурення, коли число обертів дорівнює 800. Сталий режим в  $t_2$  (далі зміна числа обертів не спостерігається), характеризується новим рівнем  $n = 1100$  обер./хв. Аналогічним чином

реєструються і  $U_{вих.м}$ . На рис.8.4 с  $\Delta n$  від  $t$  відбивають динамічні властивості ТО (одночасно реєструються на ТО і МТО).

Невідповідність виражається різницею:

$$\Delta n = n_{ТО} - n_{МТО}. \quad (8.4)$$

Для обробки отриманих даних в динаміці зручно користуватися передавальними функціями вигляду

$$W(p) = \frac{K}{Tp + 1} \quad (8.5)$$

для аперіодичної ланки або комбінацією таких виразів для складних ТО.

Вид перехідної характеристики відповідає перехідному процесу в аперіодичній ланці.

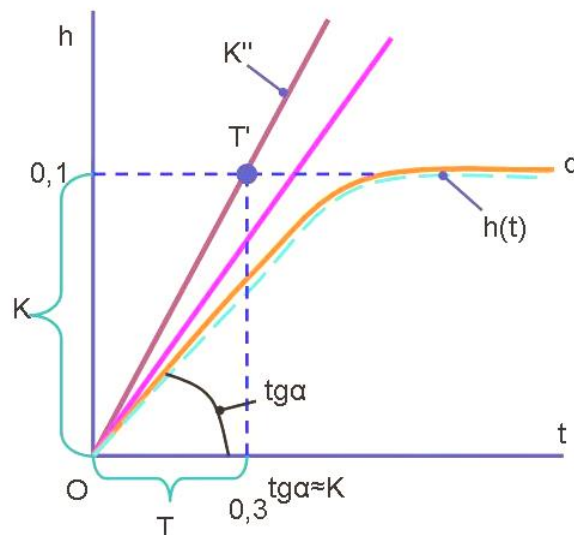


Рисунок 8.5 – Визначення параметрів графічним способом

На рисунку 8.5 показані прийоми графічного визначення динамічних параметрів (8.5) ТО за його часовою характеристикою ( $tg\alpha$  – величина пропорційна коефіцієнту посилення об'єкта діагностування). Так, якщо з початку перехідного процесу  $O$  до кривої перехідного процесу провести дотичну  $K''$ , а сталий режим  $U_H$  продовжити на вісь ординат – отримаємо коефіцієнт посиленні ТО  $K = 0,1$ , а спроектувавши на вісь абсцис (вісь часу) – отримаємо постійну часу ТО  $T = 0,3$ . Для нашого прикладу (8.5) матиме вигляд:

$$W(p) = \frac{0,1}{0,3p + 1}. \quad (8.6)$$

Формула (8.6) – передавальна функція ТО, де  $p$  – оператор диференціювання. Теоретичну часову характеристику можна побудувати, скориставшись залежністю:

$$h(t) = K \cdot \exp\left(-\frac{t}{T}\right). \quad (8.7)$$

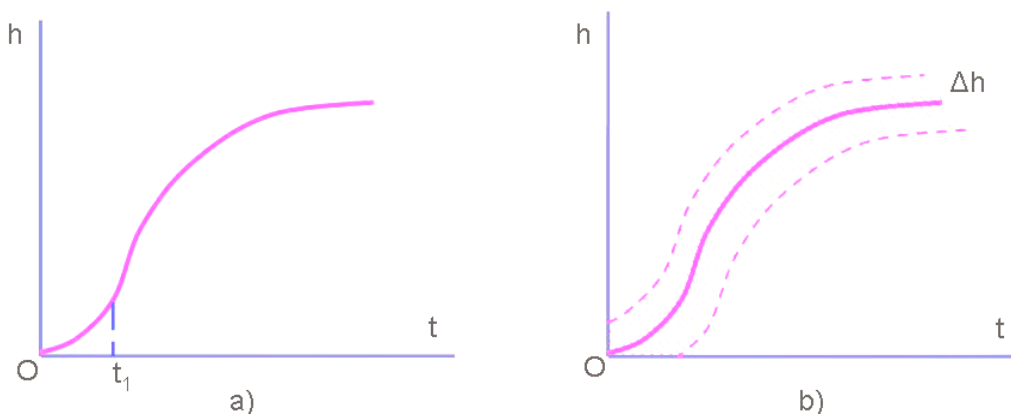


Рисунок 8.6 – Часова характеристика:

*a – експериментальна; b – теоретична з областю варіативної (помилки)*

На рисунку 8.6, b часова характеристика  $h(t)$  – перехідна характеристика отримана за допомогою математичної моделі ТО може використовуватися як «перебудовувана модель» з динамічними властивостями, що змінюються.

У ряді випадків використовують перехідну характеристику виду:

$$W(p) = \frac{K \exp(-p \cdot \tau)}{Tp + 1}, \quad (8.8)$$

для якої додатково визначають час запізнювання  $\tau$  – «запізнювання» реакції ТО на тест-сигнал збурення. Теоретичну часову характеристику для такого об'єкту отримують за формулою

$$h(t) = K \cdot \exp\left(\frac{t - \tau}{T}\right). \quad (8.9)$$

Розглянуті приклади моделювання динамічних ланок ТО і отримання адекватного математичного опису ТО, які потрібні на діючих стендах діагностики електрообладнання, що виконуються за допомогою обчислювальної техніки.

*Переваги:* доступність коригування параметрів математичних описів, можливість застосування їх до ТО з різними технічними характеристиками (потужність, габарити, навантаження та ін.).

*Недолік:* складно врахувати зовнішні дії на ТО, знос компонентів, стохастичний характер умов експлуатації та ін.

### **8.3 Мехатронні системи на транспорті**

*Мехатроніка* – це нова галузь науки і техніки, присвячена створенню й експлуатації машин та систем з комп'ютерним керуванням рухом, яка базується на знаннях в області механіки, електроніки і мікропроцесорної техніки, інформатики і комп'ютерного керування рухом машин та агрегатів.

Сучасний термін «Мехатроніка» («Mechatronics») був введений фірмою Yaskawa Electric в 1969 році і зареєстрований як торговельна марка в 1972 році. Це поняття в єдиному словосполученні означає інтеграцію знань у відповідних галузях науки і техніки, яка дозволила зробити якісний стрибок в створенні техніки нових поколінь і виробництві новітніх видів систем і обладнання.

*Мехатронні пристрої* – сукупність механічних і електронних пристроїв, виконаних у вигляді моноблока або багатофункціонального електромеханічного пристрою.

Електромеханічна частина включає механічні ланки і передачі, робочий орган, електродвигуни, сенсори і додаткові електротехнічні елементи (гальма, муфти). Механічний пристрій призначений для перетворення рухів ланок в необхідний рух робочого органу. Електронна частина складається з мікроелектронних пристроїв, силових перетворювачів і електроніки вимірювальних ланцюгів. Сенсори призначені для збору даних про фактичний стан зовнішнього середовища і об'єктів робіт, механічного пристрою і блоку приводів з наступною первинною обробкою і передачею цієї інформації в пристрій комп'ютерного керування (ПКК). До складу ПКК мехатронної системи зазвичай входять комп'ютер верхнього рівня і контролери керування рухом.

Мехатронні пристрої акумулюють в собі найунікальніші приймальні елементи, мініатюрні датчики і сенсори, гібридні перетворювачі різних фізичних величин, мініатюрні виконавчі електричні приводи різної потужності. Такі пристрої в першу чергу знаходять застосування при аваріях, пожежах, катастрофах в службах порятунку і ліквідації аварій, що входять в муніципальні структури. Більшість мехатронних роботів створюються на базі надійних транспортних засобів, незамінне застосування яких було на Чорнобильській атомній станції (вибух четвертого енергоблоку 26 квітня 1986р.) і при аварії на АЕС «Фукусіма-1» в Японії, що сталася в результаті землетрусу 11 березня 2011 року.

Сукупність механічних і електронних елементів, перші з яких є виконавчими пристроями, а другі – формувачами сигналів керування в сучасних технічних рішеннях представляються багатофункціональними блоками, синхронна робота яких досягається тільки за допомогою обчислювальних модулів на базі мікропроцесорів і мікроконтролерів.

У мехатронічних пристроях найбільш поширено використання електронних засобів *самодіагностики* (вбудовані діагностичні компоненти електромеханічних систем).



## ТЕМА 9 РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ ДІАГНОСТИКИ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

### 9.1 Підготовка алгоритму пошуку несправностей і діагностики

Для підготовки алгоритму пошуку несправностей і діагностики електрообладнання необхідно виконати ранжирування усіх параметрів контролю за мірою їх важливості, об'єднуючи при цьому окремі вузли і блоки у взаємопов'язані групи.

Для ТЗ:

- елементи бортової електричної мережі;
- засоби експлуатації двигуна;
- засоби освітлення і сигналізації;
- електроприводи системи гальм і безпеки.

Для спецобладнання:

- елементи бортової електричної мережі спецобладнання;
- електроприводи спеціального призначення (ЕСП);
- засоби контролю, керування й сигналізації (ЗККС);
- засоби ручного керування електрообладнанням м.

Загальну блок-схему пошуку несправностей можна представити в наступному вигляді (рис. 9.1):

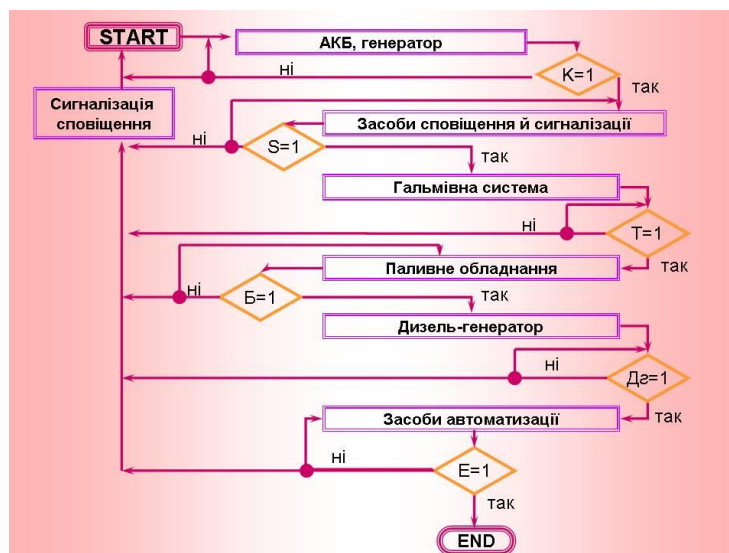


Рисунок 9.1 – Блок-схема алгоритму пошуку несправностей

Розглядаючи кожну окрему групу, представлену в блок-схемі, вивчається можливість контролю параметричних величин технічними засобами і можливість автоматизації спостереження й реєстрації їх. В результаті виконання такої роботи, представляється можливим підготувати ескізний

проект розміщення усіх датчиків-перетворювачів на транспортному засобі (рис. 9.2).

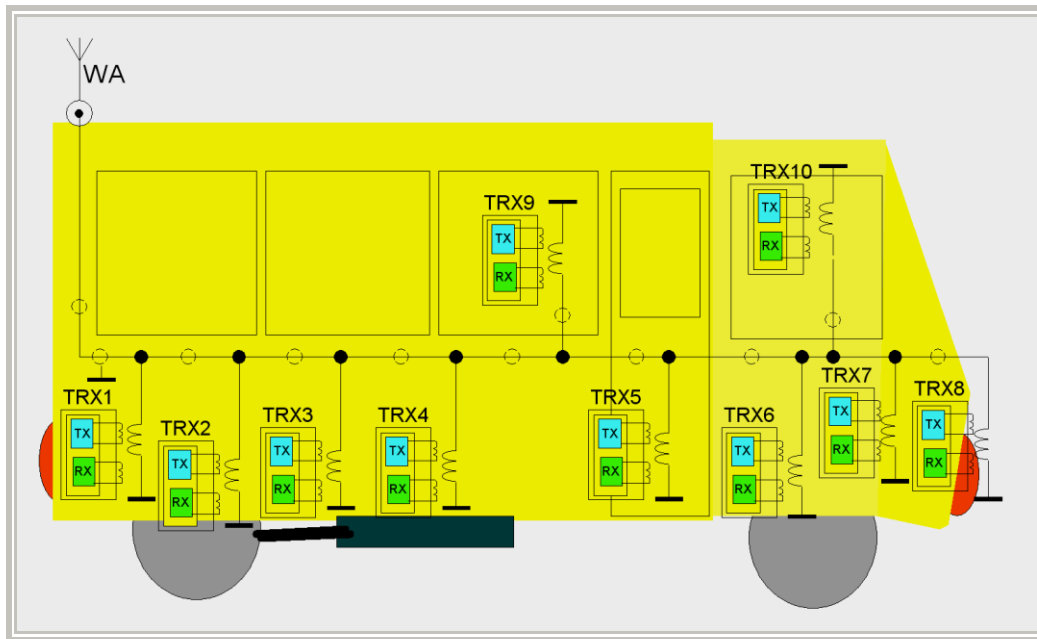


Рисунок 9.2 – Приклад розміщення датчиків в автомобілі:  
TRXi – дискретні датчики-перетворювачі контрольованих параметрів

## 9.2 Бінарні системи діагностики

*Бінарні засоби діагностики (БЗД)* знайшли широке застосування при автоматизації методик пошуку несправностей і діагностування електрообладнання. Головним достоїнством БЗД є простота їх конструкції й реалізації. Усі БЗД складаються з датчиків-перетворювачів і аналізаторів інформації, що отримуються з них. У БЗД контролюються області допустимих значень усіх параметрів, вихід за які розцінюються як несправність і служить причиною формування сигналу (коду) виду «справно – несправно» для обслуговуючого персоналу або використання в системі автоматичного керування обладнанням.

На схемі (рис. 9.3) ілюструється варіант БЗД АКБ і генератора ТЗ.

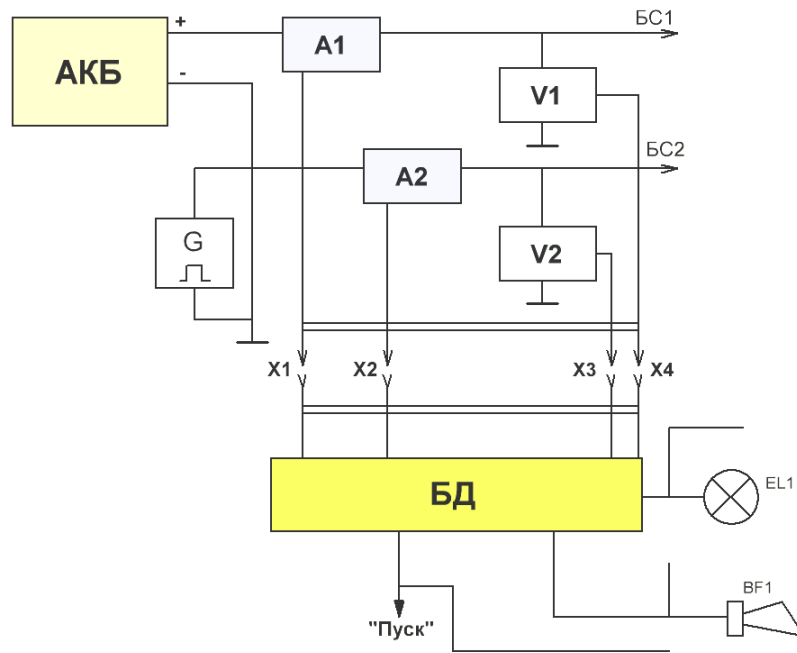


Рисунок 9.3 – Блок-схема бінарного пристрою діагностики:  
«Пуск» – лінія включення БЗД; *EL1* – елементи сигналізації;  
*G* – генератор тактових імпульсів

У різних ділянках бортової мережі *BC1*, *BC2* розміщуються дискретні вимірники струму – *A1*, *A2* і напруги – *V1*, *V2*. Якщо значення напруги в лініях контролю відповідають нормованим значенням датчики *V1* і *V2* формують сигнали високого рівня. Датчики струму *A1* і *A2* за відсутності навантаження формують рівні вихідних сигналів прийнятих «нульовими». Такий стан зберігається при усіх режимах навантажень експлуатації електрообладнання, якщо вони не перевищують допустимі величини. Будь-які перевищення струму в контрольованих ділянках супроводжуються сигналами сповіщення, які використовуються в засобах сигналізації, регулювання або запам'ятовуються для їх аналізу електронними експертами або фахівцями.

Таким чином, високі рівні сигналів від *A1* і *A2* будуть причинами формування сигналів тривоги, що поступають на роз'єми *X1* і *X2* (роз'єми діагностики) тільки в екстрених випадках.

БЗД є автономними дискретними логічними пристроями з одним або декількома датчиками, засобами сигналізації або роз'ємом для підключення електронного експерта. Розміщення засобів сигналізації на БЗД у ряді випадків переважне технічне рішення, оскільки локальні індикатори не лише служать засобами сповіщення, але і візуально вказують місце несправності, що виявила себе. Такі пристрої часто об'єднуються на транспорті в єдині системи самодіагностики або системи бортової діагностики (СБД або OBD, Європейська система бортової діагностики – EOBD).

Європейська бортова діагностика (EOBD) – система керування ТЗ, що забезпечує безперервну оцінку сигналів, що отримуються від різних датчиків і виконавчих механізмів, встановлених на різних блоках і вузлах ТЗ.

Сучасні системи самодіагностики можуть згенерувати і зберігати більше 100 кодів несправностей, число яких безперервно збільшується. Слід розуміти, що можливості СБД не безмежні. Несправності, що реєструються деякими датчиками, не обов'язково призводять до позитивного результату визначення причини несправності. Проте, інформація від СБД у будь-якому випадку підлягає аналізу.

Взаємозв'язок параметрів контролю і сигналів сповіщення зручно представляти таблицями (табл. 9.1), якими зручно користуватися при моделюванні дискретних СБД.

Таблиця 9.1 – Фрагмент взаємозв'язку параметрів контролю і сигналів сповіщення в БЗД

| A1 | A2 | V1 | V2 | G | EL1 | BF1 |
|----|----|----|----|---|-----|-----|
|    |    |    |    |   |     |     |
|    |    |    |    |   |     |     |
| 0  | 0  | 0  | 1  | 0 | 1   | 0   |
| 0  | 0  | 1  | 0  | 0 | 1   | 0   |
| 1  | 1  | 1  | 1  | 1 | 0   | 1   |

Приклади рівнянь для реалізації БЗД:

– моделювання умов індикації *EL1*

$$Y_{EL1} = \overline{A1} \wedge \overline{A2} \wedge \overline{V1} \wedge V2 \vee \overline{A1} \wedge \overline{A2} \wedge V1 \wedge \overline{V2}; \quad (9.1)$$

– рівняння, що відображає умову дозволу експлуатації електрообладнання :

$$Y_{Пуск} = \overline{A1} \wedge \overline{A2} \wedge V1 \wedge V2; \quad (9.2)$$

– рівняння, що описує неприпустимий режим експлуатації електрообладнання :

$$Y_{BF1} = A1 \wedge A2 \wedge V1 \wedge V2. \quad (9.3)$$

щоб через контакти 1, 2 здійснити ручну діагностику мереж, а через контакти 3, 4, 5 та ін. для підключення зовнішнього засобу діагностики – «тестер діагностики».

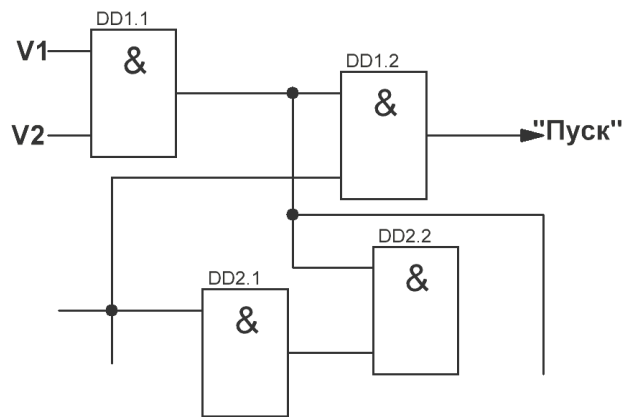


Рисунок 9.3 – Фрагмент функціональної схема для контролю напруги в лініях живлення бортової мережі ТЗ

Функціональна схема реалізується на мікросхемах, є платою, що монтується безпосередньо на ТЗ. Сигнал «Пуск» формується схемою як «дозволювальний», використовуваний в системі блокування електрообладнання.

Системи рівнянь (9.1) – (9.3) для складного електрообладнання зазвичай реалізуються в автономних електронних пристроях (тестерах), якими користується обслуговуючий персонал в стаціонарних засобах діагностування або на лініях експлуатації транспорту. При такому варіанті реалізації БЗД усі датчики-перетворювачі з'єднуються з роз'ємом «Діагностика» на ТЗ, через який вони підключаються до автономного тестера.

У тестерах прийнята умовна система сигналів сповіщення, яка детально описується для користувачів в документації, що додається.

Приклад варіанту формування можливих сигналів в бінарній системі діагностики електрообладнання ТЗ (рис. 9.3) представлений в таблиці 9.2.

Таблиця 9.2 – Сигнали сповіщення і причини можливих несправностей

| Сигнал                                  | Причина несправності                   |
|-----------------------------------------|----------------------------------------|
| EL1 – безперервний                      | Несправність в лінії живлення БС1      |
| EL1 – миготливий                        | Коротке замикання в лінії живлення БС1 |
| BF1 – безперервний                      | Несправність в лінії живлення БС2      |
| BF1 – переривчастий                     | Коротке замикання в лінії живлення БС2 |
| EL1 – безперервний + BF1 – безперервний | Розряд АКБ                             |
| EL1 – миготливий + BF1 – переривчастий  | Заборона на експлуатацію ТЗ            |
| EL1 + BF1 – не відображають             | Норма                                  |
| «Пуск»                                  | Дозвіл експлуатації ТЗ                 |

На підставі «візуальної» інформації, що отримується за допомогою засобів реалізації БЗД, оператори і експлуатаційники мають досить повне уявлення про стан електрообладнання.

Для підвищення достовірності результатів вимірів приймальні пристрої в БЗД є сукупністю датчиків-перетворювачів і обчислювальних пристроїв, що реалізуються на базі напівпровідникових суматорів, інтеграторів, логарифматорів та ін. Приклад схеми датчика-перетворювача з компаратором наведений на рисунку 9.4.

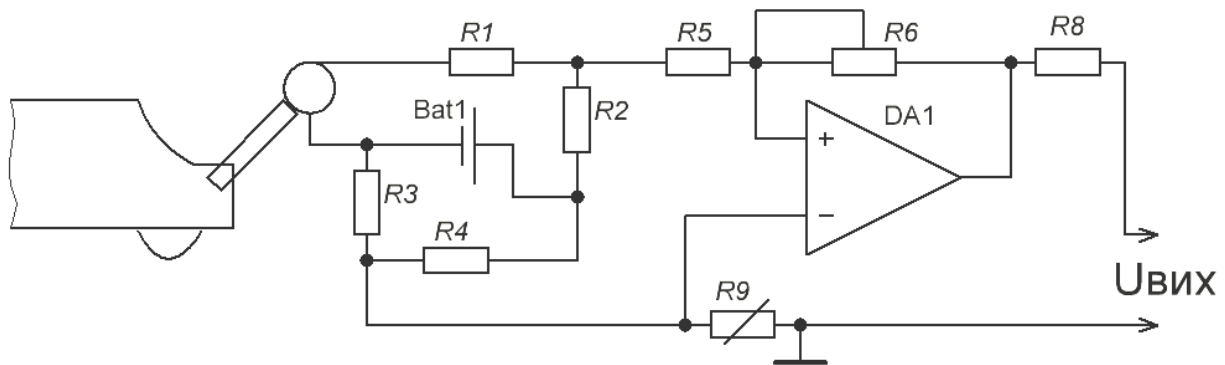


Рисунок 9.4 – Датчик-перетворювач з компаратором на операційній схемі

Датчик температури (рис. 9.4) є електронним компонентом схеми що містить резистивний термоперетворювач  $R_t$ , вимірювальний міст і масштабний підсилювач-компаратор на мікросхемі DA1. Таке технічне рішення забезпечує стабільність отримуваних результатів виміру в умовах значного перепаду температури довкілля, дії джерел перешкод, нестабільності джерел живлення та ін.

*Переваги БЗД:* простота реалізації автономних засобів діагностики і самодіагностики електрообладнання, їх надійність і економічність.

*Недоліки БЗД:* вимагають ретельного налаштування вимірювальних схем, додаткових вимірювальних коштів при налагодженні, досвіду фахівців, обслуговуючих БЗД.

### 9.3 Кодування несправностей

У розроблюваних і функціонуючих системах діагностики електронні модулі СБД формують умовні коди несправностей, які визначаються самим виробником.

«Повільні коди» виявлених несправностей формуються досить повільно і їх реєстрація здійснюється за допомогою різних засобів індикації (світлодіоди, контрольні лампи, аудіовипромінювачі).

«Швидкі коди» – інформаційні повідомлення про несправності, що формуються з великою швидкістю, реєстрація яких здійснюється цифровими прочитувальними пристроями (FCR).

Приклад кодування несправностей за допомогою формувача бінарного коду ілюструється в таблиці 9.3.

Формат і тип даних, що виводяться, визначається виготівником ТЗ і автономного обладнання для діагностики несправностей. У цифрових пристроях FCR реалізуються тільки можливі для діагностування несправності.

Таблиця 9.3 – Відповідність вхідних наборів і несправностей ТО

| Вхідний набір | Несправність обладнання ТО                                                   |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------|
| 00010000      | $Y(I)$ – струм короткого замикання або перевантаження                        |
| 00001000      | $Y(T)$ – критичне значення температури                                       |
| 00000100      | $Y(F)$ – несправність освітлювальних приладів                                |
| 00000010      | $Y(P1)$ – несправність приводу перших дверей                                 |
| 00011000      | $Y(I, T)$ – критичні експлуатаційні параметри тягового двигуна               |
| 00010100      | $Y(I, F)$ – несправність компонентів засобів освітлення пасажирського салону |
| 00000011      | $Y(P1, P2)$ – несправність приводів двох дверей                              |
| 00001001      | <b>WARNING</b>                                                               |
| 00011001      | <b>STOP</b>                                                                  |

## ТЕМА 10 РОЗРОБКА ДІАГНОСТИЧНИХ БЛОКІВ І СТАЦІОНАРНИХ СТЕНДІВ

### 10.1 Реалізація сходової логіки діагностики

Найефективніше реалізується логіка пошуку несправностей на базі програмованих логічних контролерів (ПЛК), які повторюють релейну дискретну логіку, а сам принцип реалізації носить назву *сходової логіки діагнозу*, який отримує назву від релейної логіки, в якій послідовність дій керування, складає основу сходового логічного програмування.

Розглядаючи засоби самодіагностики, слід пам'ятати, що вбудовуване обладнання не повинне стати причиною виходу з ладу спеціальних засобів при їх експлуатації і повинно відповідати вимогам що пред'являються до них галузевими стандартами.

Блок-схема компонентів самодіагностики ТЗ може мати вигляд: механічне обладнання (МО) з електроприводом (ЕП); керуючий пристрій (КП) ЕП; засоби самодіагностики із засобами сигналізації (ЗС) і засобу блокування (ЗБл) (рис. 10.1).

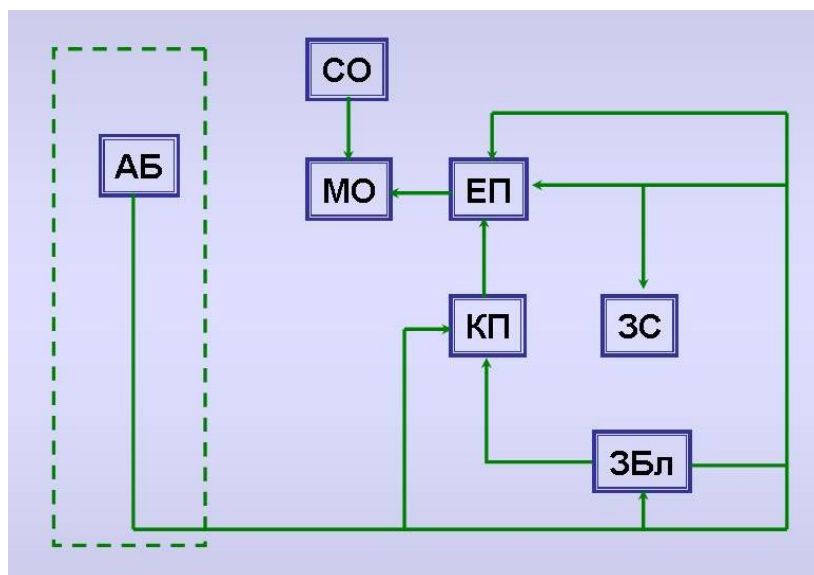


Рисунок 10.1 – Блок-схема електронних засобів самодіагностики ТЗ

Система самодіагностики (СС) реагує на відхилення параметрів від їх нормованих значень, сповіщає про експлуатаційні умови МО, сигналізує режими «небезпечно», «аварія» та ін. або запам'ятовує код виявленої несправності.



*ЗБл* – обов’язковий компонент для усіх спеціалізованих ТЗ. Їх призначення – заборонити експлуатацію ЕП, а через нього і МО, якщо не виконані певні умови.

КП для СО може мати складну структуру залежно від умов експлуатації електромеханічного обладнання ТЗ.

## 10.2 Діагностика гібридних електричних схем

Електрообладнання гібридного виконання містить компоненти, виконані на різній елементній основі. Цей чинник істотним чином впливає на складання і реалізацію блок-схем діагностики таких пристроїв. Прикладом такого пристрою, може служити імпульсна система плавного регулювання швидкості провідного валу електродвигуна (рис. 10.2).

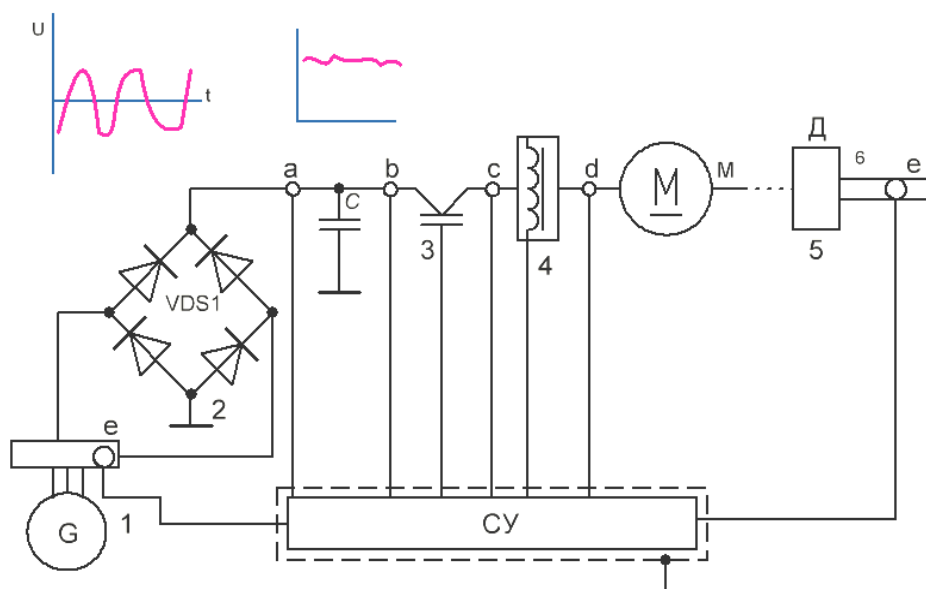


Рисунок 10.2 – Схема частотного керування електроприводом

Гідністю електродвигунів постійного струму і асинхронних з плавним регулюванням швидкості обертання валу є можливість практичного застосування гнучких технічних прийомів для вибору економічно вигідних умов експлуатації таких машин. Широкий асортимент електродвигунів, дозволяє на їх основі створювати самі різні за габаритами електроприводи (ЕП).

На жаль, асинхронні електродвигуни потребують спеціальних схем активного керування, основними компонентами яких є: джерело змінного струму – генератор 1, підключений до випрямляча 2, на виході якого пульсує напруга, що згладжується фільтром С. Після фільтру в схемі використовується інвертор 3, на виході якого залежно від керуючих імпульсів системи керування

(СК) формуються вихідні імпульси з різною частотою дотримання. Вихід інвертора через високочастотний фільтр 4 підключається до ЕП.

Сам ЕП сполучений механічним виконавчим механізмом 5, взаємопов'язаним з технологічним об'єктом 6. Якщо двигун працює з постійним навантаженням на валу, то таку схему досить настроїти одного разу. Якщо навантаження носять випадковий характер і змінюються стохастичним чином в значних межах, схема керування ЕП потребуватиме систематичної перебудови. Перебудову можна виконувати, заздалегідь збираючи інформацію від датчиків  $D$  на виконавчому пристрої 5 і керуючому електрообладнанні (електричні параметри живлячої мережі). Повна інформація вимагає аналізу параметрів і в проміжних точках пристрою  $a, b, c, d$ .

Розглянутий приклад ілюструє складність реалізації системи керування електроприводом, який полягає в об'ємному характері збираної і оброблюваної інформації про функціонування усіх компонентів схеми, застосування оригінального розрахунку з допустимою помилкою керуючих величин для інвертора, які постійно оновлюватимуться.

Наведена схема досить повно відображає складність таких пристроїв і подій, що відбуваються усередині самої схеми. Якщо параметри регулювання керуючого параметра визначатимуться з неприпустимою помилкою, не виключено, що економічні показники при використанні такого пристрою негативно вплинуть на рентабельність (великі витрати енергії на тепло через нагрів випрямляча та інвертора).

Очевидно, що такі засоби автоматики потребують засобів діагностики, без яких взагалі неможливо їх налаштувати.

Створити універсальну систему діагностування для такого обладнання не представляється можливим. Поки реалізація деяких Windows-додатків з програмними осцилографами підтверджує можливість застосування типових алгоритмів з покроковою діагностикою і прийомами налагодження, можуть використовуватися як базові для виконання таких робіт підготовленими фахівцями.

Розглянутий приклад доводить, що нині існують актуальні завдання, вирішення яких може бути досягнуте при умілому використанні нових технологій у вимірювальній техніці і засобах діагностики електрообладнання.

## ТЕМА 11 ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ

### 11.1 Розрахунок і вибір компонентів для діагностичних пристроїв

Приклад використання для реалізації алгоритмів діагностики електромеханічного обладнання програмованих пристроїв примушує звернути увагу на те, що якість їх роботи залежить від використовуваних приймальних елементів, формувачів уніфікованих величин, математичних методів обробки початкової інформації і розрахунку різних керуючих сигналів та ін.

При проектуванні засобів діагностики необхідно враховувати статичні й динамічні властивості компонентів. При цьому самі елементи мають бути мініатюрними, мати стабільні параметри, не робити негативну дію на основне технологічне обладнання при його експлуатації.

На спеціалізованих ТЗ особлива увага приділяється стабільності параметрів бортової електричної мережі, до якої підключаються споживачі різної потужності з різним характером умов їх експлуатації.

Так, наприклад, при конструюванні бортового джерела живлення (БДЖ) заздалегідь необхідно визначити параметри всіх передбачуваних споживачів електроенергії. До них відносяться: резистивні датчики (5 В; 0,01 А); магнітні, індукційні перетворювачі (~5–100 В; 0,01–0,3 А); диференціальні датчики-перетворювачі (~12 В; 0,12 А); оптичні перетворювачі; підсилювачі-нормалізатори; засоби сигналізації (лампи, світлодіоди); аналогові, дискретні, мікропроцесорні пристрої; засоби примусового охолодження і багато що інше.

З переліку видно, що ці та інші компоненти схем мають різні характеристики навантажень, які й приймаються як базові при розрахунку БДЖ.

Повна потужність трансформатора визначається як сума потужностей споживачів, що підключаються до кожної вторинної обмотки:

$$P_{TP} = U_1 \cdot I_1 + U_2 \cdot I_2 + \dots \quad (11.1)$$

До конструктивних параметрів відносяться коефіцієнт використання трансформатора  $K_{ИТ}$  і число обмоток, які повинні розміститися на осерді та ін.

Для розрахунку імпульсного джерела живлення зручно скористатися програмою SinSys (меню <БП-ИТ>) (рис. 11.1), яка допоможе отримати необхідні конструктивні дані для імпульсного трансформатора на осерді, що серійно випускається, виконаного у вигляді тора (рис. 11.2).

Синтез систем автоматизации - SinSys v 1.12.05.03

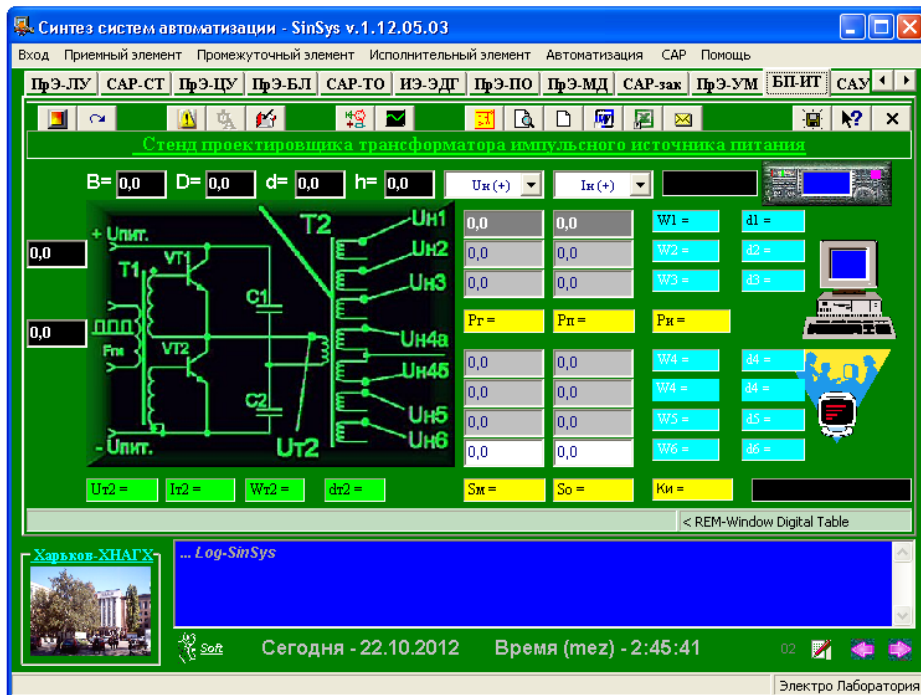


Рисунок 11.1 – Інтерфейс програми розрахунку блоку живлення для діагностичного обладнання ТЗ

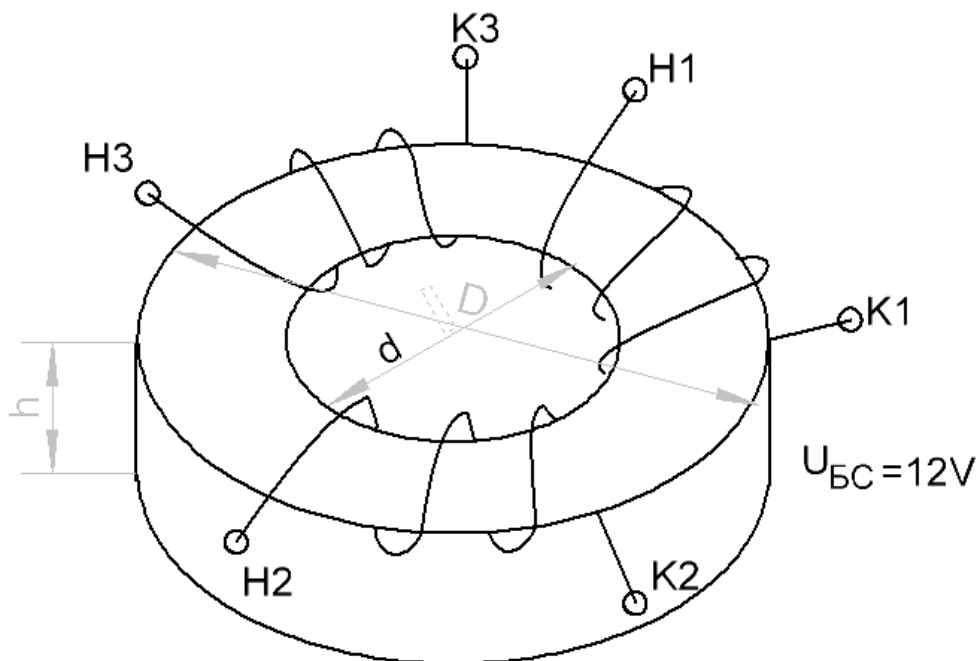


Рисунок 11.2 – Конструкція осердя імпульсного трансформатора

Для серійних інженерних розрахунків розроблені комп'ютерні програми, якими зручно користуватися не лише при конструюванні електрообладнання,

але й при ремонті його, оскільки нерідко доводиться знаходити заміну компоненту схеми, що вийшов з ладу, іншим аналогічним компонентом, тільки після виконання певного об'єму типових розрахунків.

## 11.2 Технічний дизайн діагностичних пристроїв

*Технічна діагностика* – галузь знань, що включає відомості про методи і засоби оцінки технічного стану машин, механізмів, обладнання, конструкцій та інших технічних об'єктів.

Оскільки діагностичне обладнання реалізується на базі напівпровідникових елементів і мікросхем, то такі пристрої завжди відрізняються компактністю і є вбудованими в експлуатоване електрообладнання плати з роз'ємами або малогабаритними корпусними виробами з набором друкованих плат з одно- або двостороннім монтажем елементів, оснащених роз'ємами різної конструкції.

Якщо компоненти схеми при експлуатації електрообладнання можуть нагріватися, то їх забезпечують радіаторами (ребристі металеві кріпильні деталі з великою площею поверхні) і малогабаритними електродвигунами для примусового охолодження. Корпус виконується з металу з елементами для надійного і жорсткого кріплення його безпосередньо на обладнанні ТЗ.

Для захисту від радіоперешкод в таких пристроях використовуються фільтри різної конструкції та екрануючі елементи. Монтаж компонентів повинен виконуватися з урахуванням можливого демонтажу його, доступу для виконання наладки, ручної діагностики, ремонту і заміни елементів, що вийшли з ладу. Дизайн автономного блоку діагностики наведений на рисунку 11.3.

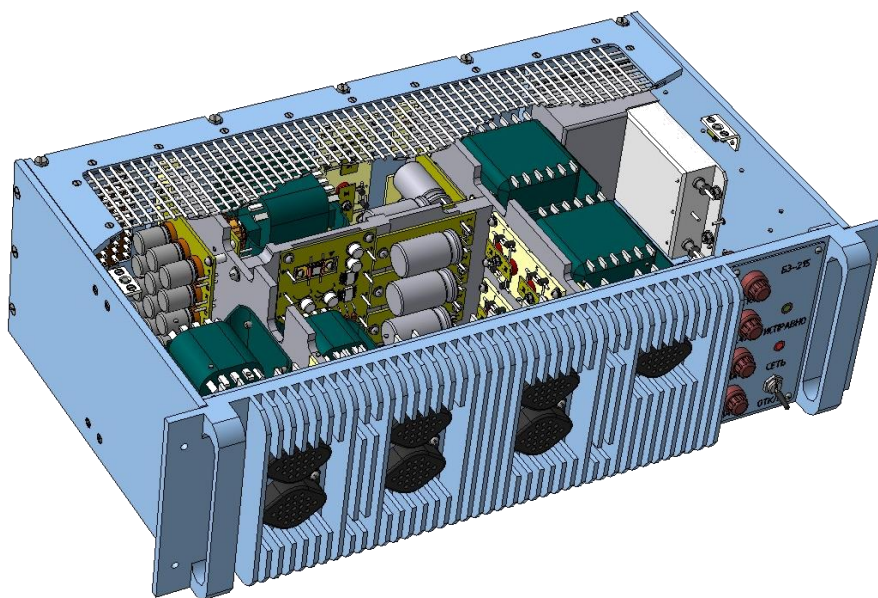


Рисунок 11.3 – Дизайн автономного блоку діагностики електрообладнання

Важливим компонентом діагностичного обладнання є панель керування, яка може розміщуватися безпосередньо на пристрої (передня панель), на пульті оператора ТЗ, у вигляді виносного блоку і т. п.

При розробці передньої панелі враховуються усі органи керування, якими повинні будуть користуватися оператор, засоби сигналізації, кнопки, перемикачі режимів роботи та ін.

Технічний дизайн панелей керування завжди вимагає особливої уваги при їх проектуванні, оскільки від компонування елементів багато в чому залежить зручність в користуванні, простота освоєння прийомів, що реалізують алгоритм діагностування електрообладнання, швидке звикання до розташування органів управління сигналізації.

Слово дизайн прийшло до нас з англійського і має безліч значень: розробляти; створювати; призначати; проектувати; розраховувати. В принципі технічний дизайн це теж саме, але тільки робиться він з певним наміром. Це деяка суміш мистецтва, творчого підходу, сучасних технологій і маркетингу. Іншими словами, технічний дизайн – це втілення творчих ідей в комерційних цілях, тобто наприклад, з метою збільшення продажів товару.

Важливими чинниками технічного дизайну є: привабливість виробу, визначувана вибором колірної гамми матеріалів, зовнішній вигляд усіх елементів, використання нових технологічних рішень. Ці та інші чинники грають дуже важливу роль при визначенні споживчого попиту на конкретний виріб, конкурентоспроможність пристрою на ринку аналогічних технічних засобів і тому подібне.

Для діагностичного пристрою з переліком компонентів в таблиці 11.1 приклад підготовки ескізу панелі керування ілюструється на рисунку 11.4.

Таблиця 11.1 – Перелік компонентів діагностичного прибудую для розміщення їх на пульті

| Призначення компоненту                             | Виконання                        | Напис пояснення                                |
|----------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------|
| 1                                                  | 2                                | 3                                              |
| Включення пристрою                                 | Кнопковий вимикач                | «ВКЛ.»                                         |
| Перевірка приймальних елементів                    | Сенсорні вимикачі                | «Датчики»                                      |
| Перевірка виконавчих елементів і обладнання        | Кнопкові вимикачі із поверненням | «Обладнання»                                   |
| Включення режимів роботи діагностичного обладнання | Кнопкові вимикачі                | «Ручний»<br>«Автомат»<br>«Вибірково»<br>«СТОП» |

Продовження таблиці 11.1

| 1                                 | 2                              | 3                                                                                                                                                                    |
|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Засоби сигналізації               | Світлодіоди кольорові          | «Вкл»<br>«Перевірка датчиків»<br>«Перевірка<br>спецобладнання»<br>«Ручний»<br>«Автомат»<br>«Селективно»<br>«ПЕРЕВІРИТИ»<br>«РЕМОНТ»<br>«НОРМА»<br>«ОПАСНО»<br>«СТОП» |
| Засоби відображення<br>інформації | Мнемосхема чи екран<br>дисплею | Символьна<br>мультиплікація                                                                                                                                          |
| Пам'ятка оператора                | Табличка ламінована            | HELP                                                                                                                                                                 |

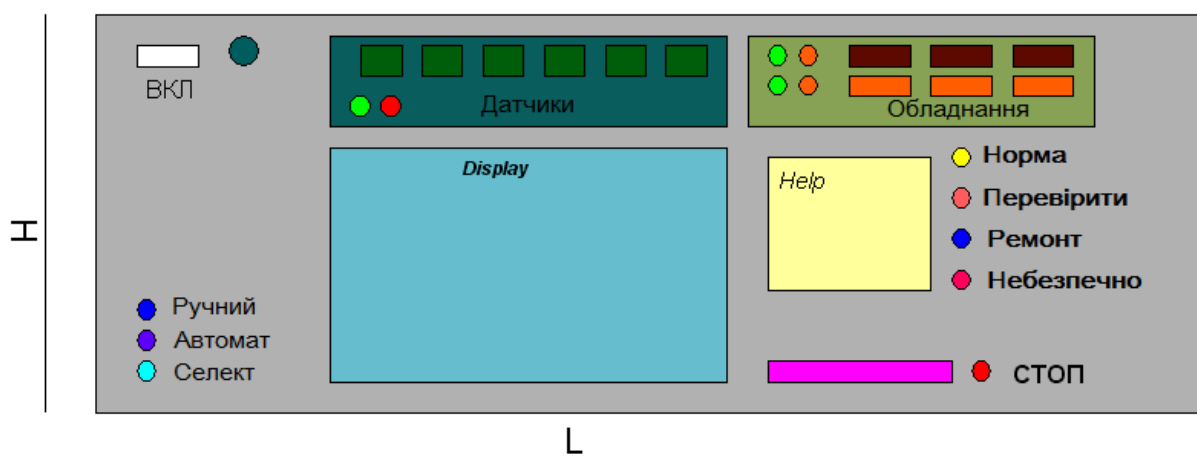


Рисунок 11.4 – Ескізний проект пульта керування автоматичного діагностичного пристрою для спеціального транспортного засобу:  
L, Н – габаритні розміри пульта

## **ТЕМА 12 ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ДІАГНОСТИЧНОГО ПРИБОРУ**

Роль економічного аналізу полягає в отриманні певних нових характеристик, що дозволяють отримати обґрунтовані досягнення мети в проєктованих або експлуатованих технічних засобах.

### **12.1 Визначення економічної ефективності пристрою**

Технічне обслуговування транспортних засобів і систем – це комплекс робіт, що проводяться обслуговуючим персоналом в цілях підтримки в справному стані і готовності до застосування усього обладнання за призначенням із заданою ефективністю. Основними функціями операторів є підготовка технічних засобів до роботи, контроль за їх роботою і огляд техніки після закінчення роботи.

Істотне ускладнення сучасної техніки висуває великі вимоги до професійних знань і навичок, загальної культури і психологічних якостей операторів. Тому ефективність технічних засобів слід розглядати як єдину систему техніки і людини на усіх етапах розробки і експлуатації обладнання у взаємозв'язку із зовнішнім середовищем.

При очевидній доцільності застосування пристроїв для технічної діагностики електрообладнання, які допускають мінімальні простой ТЗ при обслуговуванні, має бути наукове обґрунтоване рішення про прийняття таких пристроїв для їх експлуатації спільно з ТЗ. При цьому розглядаються три чинники: технічний, економічний і організаційний, серед яких економічний займає важливе місце.

Попередній економічний аналіз визначається обліком основних фінансових витрат, супроводжуючих реалізацію технічних засобів діагностики електрообладнання.

Витрати на впровадження засобів технічної діагностики включають: розробку проєкту; дослідження приймальних компонентів, датчиків, сенсорів; експериментальне проєктування електричних принципових схем; реалізацію алгоритмів діагностики у вигляді програмного забезпечення для мікроконтролера; розробка засобів самодіагностики; монтаж обладнання ; наладка пристрою діагностики; перевірочні випробування ТО із засобами діагностики, пуско-налагоджувальні роботи та ін.

Експлуатаційні витрати розглядають в двох варіантах, визначуваних витратами до і після впровадження засобів діагностики.



Для визначення первинних економічних показників засобів технічної діагностики зручно скористатися програмою SinSys (меню <САУ-ТП>) (рис. 12.1).

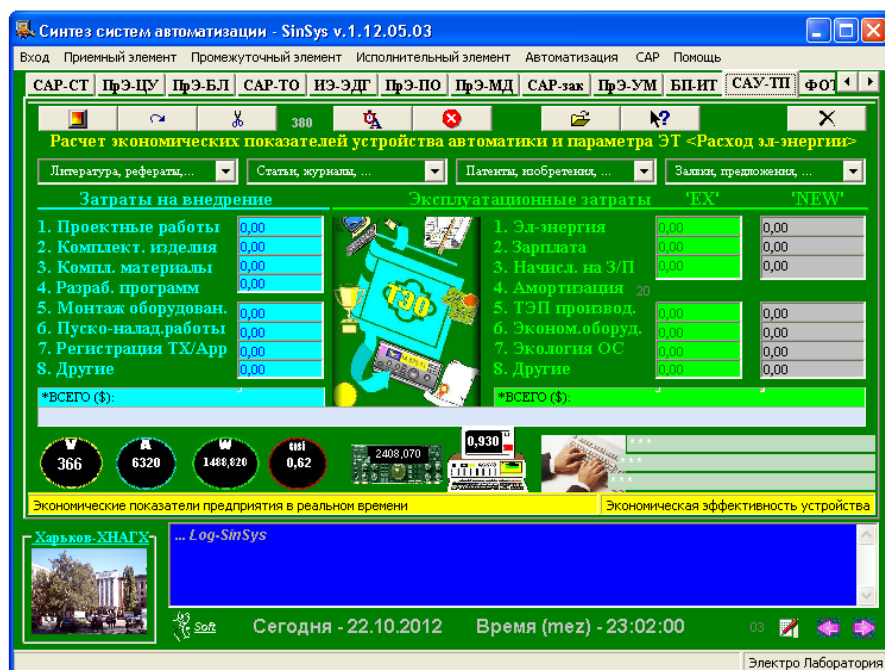


Рисунок 12.1 – Интерфейс програми для розрахунку економічних показників

У сучасних засобах діагностики економічні показники використовуються як початкова інформація для аналізу справності електрообладнання в реальному часі. Один з прикладів такого технічного рішення наведений в програмі SinSys (рис. 12.1).

Електронний засіб самодіагностики визначає ненормовані режими експлуатації енергоспоживачів, фіксує економію і перевитрату споживаної електроенергії, перевантаження в мережі, короткі замикання та ін.

Пасивний принцип роботи таких засобів діагностики полягає в представленні усієї інформації тільки на табло і електронних журналах реєстрації подій для користувачів, оскільки активні функції захисту обладнання від коротких замикань та ін. чинників виконують автономні засоби автоматики на лініях електропостачання.

Окрім вказаних функцій засобу самодіагностики контролюють справність датчиків, стежать за виконанням графіків планових ремонтів, реєструють збої в роботі електрообладнання і багато що інше.

## 12.2 Облік тенденцій розвитку техніки із засобами самодіагностики

Сучасні технічні рішення мають високу інтеграцію, що полягає в тому, що при проектуванні електрообладнання в єдиний функціональний модуль можуть входити два або більш елементів можливо навіть різної фізичної природи. Іншими словами, на стадії проектування традиційні структури машин перетворюються в сукупність декількох самостійних модулів гібридної конструкції.

Найбільш популярні мехатронні модулі й електронні системи з невід’ємними від них засобами самодіагностики знаходять широке застосування в наступних областях:

- верстатобудування і обладнання для автоматизації технологічних процесів;
- робототехніка (промислова і спеціальна);
- авіаційна, космічна і військова техніка;
- автомобілебудування (антиблокувальні системи гальм, системи стабілізації руху автомобіля і автоматичного паркування, засобу безпеки);
- нетрадиційні транспортні засоби (електровелосипеди, вантажні візки, електроролери, інвалідні коляски);
- офісна техніка (копіювальні і факсимільні апарати);
- елементи обчислювальної техніки (принтери, плотери, дисководи);
- медичне обладнання (реабілітаційне, клінічне, сервісне);
- побутова техніка (пральні, швацькі, посудомийні та інші машини);
- мікромашини (для медицини, біотехнології, засобів телекомунікацій);
- контрольно-вимірювальні пристрої і машини;
- фото- і відеотехніка;
- тренажери для підготовки пілотів і операторів;
- шоу-індустрія і паркове обладнання (системи звукового і світлового оформлення).

З вищесказаного виходить, що засоби діагностики поширюються на усі сфері діяльності людини, оскільки актуальність і практична цінність таких пристроїв вже доведена в усіх прикладних сферах. Тому при розробці нових діагностичних пристроїв постійно використовуватимуться усі сучасні досягнення науки і техніки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Варварин В. К. Выбор и наладка электрооборудования / В. К. Варварин. – М. : Форум, 2008. – 240 с.
2. Павлович С. Н. Ремонт и обслуживание электрооборудования. / С. Н. Павлович, Б. И. Фираго. – Санкт-Петербург : Высшая школа, 2009. – 248 с.
3. Кисаримов Р. А. Наладка электрооборудования. Справочник. / Р. А. Кисаримов. – Санкт-Петербург : РадиоСофт, 2003. – 352 с.
4. Моисеев Ю. А. Технологическая надежность сложного изделия и ее отработка. / Ю. А. Моисеев, С. В. Челышев. – М. : Едиториал УРСС, 2003. – 176 с.
5. Михеев Г. М. Цифровая диагностика высоковольтного электрооборудования. / Г. М. Михеев. – М. : Додэка XXI, 2008. – 304 с.
6. Добров В. В. Диагностика неисправностей легкового автомобиля / В. В. Добров. – М. : АСТ, 2006. – 60 с.
7. Литвиненко В. В. Электрооборудование автомобилей ВАЗ-2110, ВАЗ-2111, ВАЗ-2112. / В. В. Литвиненко. – М. : За Рулем, 2007. – 168 с.
8. Система управления двигателями ВАЗ-2111 (1.5 л 8 кл.), 21214-11 (1.7 л 8 кл.) с распределенным последовательным впрыском топлива под нормы токсичности ЕВРО-2. – М. : Автоваз, 2004. – 176 с.
9. ЭСУД автомобилей LADA KALINA, 110, NIVA с контроллером М7.9.7 ЕВРО-3. Устройство и диагностика. / [П. Л. Козлов, А. В. Куликов, А. Е. Рекунов, П. Н. Христов та др.]. – М. : Автоваз, 2006. – 228 с.
10. Аринин И. Н. Диагностирование технического состояния автомобилей / И. Н. Аринин. – М. : За рулем, 2004. – 138 с.
11. Chowanietz E. Automobile electronics. / E. Chowanietz. – Society of Automotive Engineers, Inc, 1995. – 246 pp.
12. Shufi Mizutani Car electronics. / Shufi Mizutani. – Nippondenso Co, Ltd. 1992. – 280 pp.
13. Tom Denton Automobile electrical and electronic systems. / Tom Denton. – Society of Automotive Engineers, Inc., 1995. – 312 pp.
14. William B. Ribbens. Understanding automotive electronics. / William B. Ribbens. – Butterworth-Heinemann, 1998. – 434 pp.
15. Scan tool and lab scope guide. – Chek-Chart Publication, 1997. – 123 pp.
16. Allan Wm. Bonnicksen Vehicle electronic systems and fault diagnosis. / Allan Wm. Bonnicksen. – STS Press, 1998. – 225 pp.
17. Ronald K. Jurgen. Automotive electronics handbook. / Ronald K. Jurgen. – McGraw-Hill, Inc, 1999. – 1000 pp.

18. Система управления двигателями ВАЗ-2122 и ВАЗ-2112 (1,5 л) с распределенным впрыском топлива. Руководство по техническому обслуживанию и ремонту. – Издательство третий Рим, 1999. – 168 с.
19. Ютт В. Е. Электрооборудование автомобилей : учебник для студентов вузов. – 2 изд., перераб. и доп. / В. Е. Ютт. – М. : Транспорт 2000. – 320 с.
20. Система управления двигателями ВАЗ-2122 и ВАЗ-2112 (1,5 л) с распределенным впрыском топлива. Руководство по техническому обслуживанию и ремонту – Издательство третий Рим, 1999. – 168 с.
21. James D. Preparation guide for the advanced engine performance specialist test / James D. – (L1), 1998. – 110 pp.
22. Engine performance diagnosis and tune-up. – Chek-Chart, 1998. – 507 pp.
23. Соснин Д. А. Автотроника : учеб. пособ. / Д. А. Соснин. – М. : «Солон-Р», 2001. – 272 с.

*Електронне навчальне видання*

**ЄСАУЛОВ Сергій Михайлович,  
БАБІЧЕВА Ольга Федорівна**

# **ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

## **КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

*(для здобувачів 3–4 курсів усіх форм навчання  
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності  
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)*

Відповідальний за випуск *Ю. П. Бархаєв*

*За авторською редакцією*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2021, поз. 91Л

---

Підп. до друку 09.11.2021. Формат 60 × 84/16.

Ум. друк. арк. 6,0.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: office@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.