

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

**С. Я. Жук,
С. В. Вишневий**

ТЕХНОЛОГІЇ ОПТИМАЛЬНОГО ОБРОБЛЕННЯ СИГНАЛІВ. ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

Навчальний посібник

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
за освітньою програмою «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи»,
спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніки

Електронне мережне навчальне видання

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2022

Рецензенти

Лисенко О.І., докт. техн. наук, проф. кафедри телекомунікацій, НН ІТС, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Лащевська Н.О., канд. техн. наук, доц. кафедри прикладної радіоелектроніки, РТФ, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Відповідальний
редактор

Вишневий С.В., канд. техн. наук

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 6 від 24.06.2022 р.)
за поданням Вченої ради радіотехнічного факультету
(протокол № 06/2022 від 06.06.2022 р.)*

Навчальний посібник містить умови завдань для лабораторних робіт, які передбачені для виконання в рамках вивчення дисципліни «Технології оптимального оброблення сигналів». В посібнику представлені приклади алгоритмів обробки сигналів, які написані на мові програмування середовища інженерних розрахунків MATLAB, що дозволяє вивчити особливості та деталі реалізації алгоритмів з метою опанування відповідних підходів та методів. Крім того, представлені в посібнику програмні рішення можуть бути базисом для розробки програмної частини складних апаратно-програмних комплексів аналізу та обробки цифрових сигналів, що дозволяє не тільки опанувати теоретичні основи розглянутих підходів в галузі оптимальної обробки сигналів, але й використовувати їх для практичного застосування у відповідній галузі науки та техніки.

Для студентів всіх форм навчання, які навчаються за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка» радіотехнічного факультету. Може бути використаний для навчання студентів за іншими спеціальностями.

Реєстр. № 21/22-942. Обсяг 2,6 авт. арк.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Перемоги, 37, м. Київ, 03056
<https://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© С. Я. Жук, С. В. Вишневий
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1 «ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛІВ З ДИСКРЕТНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ».....	6
2. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2 «АНАЛІЗ МАРКОВСЬКИХ МОДЕЛЕЙ ГАУСІВСЬКИХ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ».....	20
3. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3 «ДОСЛІДЖЕННЯ КОРЕЛЯЦІЙНОГО ПРИЙМАЧА І УЗГОДЖЕНОГО ФІЛЬТРУ».....	35
4. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4 «ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИМАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ВИЯВЛЕННЯ»	54
5. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5 «ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИМАЛЬНИХ РОЗРІЗНЮВАЧІВ СИГНАЛІВ»	64
6. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6 «ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИМАЛЬНОГО ВИМІРЮВАЧА ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛУ».....	79
7. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7 «ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ФІЛЬТРУ КАЛМАНА В ДИСКРЕТНОМУ ЧАСІ»	89
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	99
ДОДАТОК А. ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 1	100
ДОДАТОК Б. ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 2	102
ДОДАТОК В. ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 3	104
ДОДАТОК Г. ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 4	106
ДОДАТОК Д. ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 5	108
ДОДАТОК Е. ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 6	110
ДОДАТОК Є. ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 7	112

ВСТУП

Посібник містить перелік завдань для їх виконання в рамках проведення лабораторних робіт. Завдання, що представлені в посібнику, орієнтовані на виконання студентами, які навчаються за освітньою програмою «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи» спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка», а також може бути використаний для інших освітніх програм, які передбачають опанування технологій, що пов'язані із оптимальним обробленням сигналів.

Метою виконання завдань лабораторних робіт є:

- практичне закріплення матеріалу, що вивчається в рамках теоретичного лекційного курсу дисципліни;
- набуття навиків роботи по реалізації відповідних методів обробки сигналів на персональних електронно-обчислювальних машинах (ЕОМ);
- практичне засвоєння методики математичного моделювання при рішенні задач оптимальної обробки сигналів в радіотехнічних комп'ютеризованих системах;
- вивчення сучасних програмних засобів для виконання наукових та інженерних розрахунків на персональних ЕОМ.

Технічне забезпечення занять передбачає використання IBM-PC-сумісних персональних ЕОМ та використання пакету прикладних програм для інженерних обчислень MATLAB.

Теми занять охоплюють основні розділи лекційного курсу, а саме:

- статистичні характеристики і математичні моделі сигналів та завад;
- основи теорії синтезу оптимальних радіотехнічних систем;
- методи оптимального виявлення та розрізнення сигналів;
- методи оптимального оцінювання параметрів сигналів;
- методи оптимальної фільтрації сигналів.

Кожна лабораторна робота містить приклади моделювання різноманітних задач обробки сигналів і передбачає проведення наукових та інженерних розрахунків, на основі яких студенти самостійно виконують ряд аналогічних завдань. По завершенню виконання лабораторної роботи необхідно оформити звіт із представленими в ньому результатами. Кожен студент повинен оформити індивідуальний звіт, в якому необхідно відмітити мету лабораторної роботи, привести отримані результати досліджень, надати їх пояснення та подати ґрунтовні висновки. Оформивши звіт, необхідно захистити лабораторну роботу викладачу. За результатами захисту за кожен лабораторну роботу нараховуються рейтингові бали відповідно до рейтингової системи оцінювання. Тематика різних лабораторних робіт взаємопов'язана, тому для успішного опанування дисципліни необхідно в повному обсязі виконувати кожен лабораторну роботу тим самим здобуваючи відповідні практичні знання та навички по темі лабораторної роботи. До наступного лабораторного заняття доречно допускати лише тих студентів, які виконали всі попередні лабораторні роботи, оформили звіт та провели захист результатів виконання лабораторної роботи, тим самим підтвердивши засвоєння відповідних тем навчального матеріалу дисципліни.

Під час виконання лабораторних робіт обов'язково потрібно дотримуватися загальних правил безпеки при роботі із персональними ЕОМ. При виконанні лабораторних робіт на базі навчальної лабораторії, студентам категорично забороняється самостійно (без узгодження із викладачем) виконувати будь-які перемикання апаратури, а також забороняється порушувати встановлені правила безпеки.

1. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1 «ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛІВ З ДИСКРЕТНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ»

Мета роботи: вивчити характеристики сигналів з дискретною модуляцією, ознайомитися із кореляційною функцією та функцією спектральної щільності потужності.

При підготовці до лабораторної роботи необхідно опрацювати відповідний лекційний матеріал, особливу увагу приділивши аналітичним залежностям, які описують кореляційні функції (КФ) та функції спектральної щільності потужності (СЦП), а також ознайомитися із енергетичними характеристиками вказаних сигналів. Студентам необхідно вивчити програму, код якої представлено нижче, за допомогою якої виконуються завдання лабораторної роботи. В ході опрацювання поставлених завдань необхідно вивчити особливості застосування бібліотечних функцій MATLAB, що використовуються для визначення КФ, а також для виконання обрахунків за допомогою швидкого перетворення Фур'є (ШПФ):

- `xcorr()` — функція для визначення оцінки КФ сформованих сигналів;
- `fft()` — функція, що реалізує ШПФ;
- `ifft()` — функція, що реалізує зворотне ШПФ;
- `rand()` — функція, що використовується для формування двійкових інформаційних сигналів із заданою ймовірністю появи.

Лістинг програми, що реалізує дослідження властивостей сигналів із амплітудною маніпуляцією (АМн), фазовою маніпуляцією (ФМн) та частотною маніпуляцією (ЧМн), наведений нижче. Представлена програмна реалізація дозволяє вивчити яким чином на практиці можуть бути застосовані процедури дослідження властивостей сигналів з різними видами модуляції (маніпуляції):

```

clear;
clc;
close all;
NS=input('Введіть тривалість сигналу NS='); %Тривалість сигналу
KS=64; %Число сигналів
N=NS*KS; %Довжина реалізації
N2=N/2;
%Fm= input('Введіть Fm=')
Fm=30;
dt=1/(2*Fm),
f1=10; %Крок дискретизації по часу
f2=8;
A=input('Введіть A=')
%A=2;
t=(0:N-1)*dt;
ff1 = 1/(dt*(N-1)) * (0:N2-1);
df = 1/(dt*(N-1)), %Крок дискретизації по частоті

%Аналіз відеоімпульсу
Vi=zeros(1,N);
for i=1:NS
    Vi(i)=A;
end
figure;
subplot(221); plot(t(1:4*NS),Vi(1:4*NS),'r'),
title('Відеоімпульс'), xlabel('t,s');

VS = fft(Vi);
Viabs = abs(VS)*dt;
Viabs2 = Viabs.^2;
Viabs2=Viabs2./(NS*dt);
subplot(222);
plot(ff1(1:4*NS),Viabs(1:4*NS),'g',ff1(1:4*NS),Viabs2(1:4*NS),'r'),
title('Спектр і ЩП відеоімпульсу'), xlabel('f,HZ');

HViK = ifft(VS.*conj(VS));
HViK=HViK/NS;
subplot(223); plot(t(1:4*NS),HViK(1:4*NS),'r'),
title('КФ відеоімпульсу'), xlabel('t,s');
subplot(224);
plot(ff1(1:2*NS),10*log(Viabs(1:2*NS)),'g',ff1(1:2*NS),10*log(Viabs2(1:2*NS)),'r'),
title('Спектр і ЩП відеоімпульсу в log-масштабі'), xlabel('f,HZ');
pause

%Аналіз радіоімпульсу
Vi=zeros(1,N);
for i=1:NS
    Vi(i)=A*sin(2*pi*f1*(i-1)*dt);
end

figure;
subplot(221);
plot(t(1:4*NS),Vi(1:4*NS),'g'),
title('Радіоімпульс'), xlabel('t,s');
VS = fft(Vi); Viabs = abs(VS)*dt; Viabs2 = Viabs.^2; Viabs2=Viabs2./(NS*dt);
subplot(222);
plot(ff1(8*NS:12*NS),Viabs(8*NS:12*NS),'g',ff1(8*NS:12*NS),Viabs2(8*NS:12*NS),'b'),
title('Спектр і ЩП радіоімпульсу'), xlabel('f,HZ');

```

```

HViK = ifft(VS.*conj(VS));
HViK=HViK./NS;

subplot(223); plot(t(1:4*NS),HViK(1:4*NS), 'g'),
title('КФ радіоімпульсу'), xlabel('t,s');
subplot(224);
plot(ff1(8*NS:12*NS),10*log(Viabs(8*NS:12*NS)), 'g',ff1(8*NS:12*NS),10*log(Viabs2
(8*NS:12*NS)), 'b'),
title(' Спектр і СШП радіоімпульсу в log-масштабі '), xlabel('f,HZ');
pause

%Маніпульовані сигнали;
Vsamp=zeros(1,N);
sA=zeros(1,N);
sP=zeros(1,N);
sW=zeros(1,N);

for k=0:KS-1
    if rand > .5
        for i=k*NS+1:(k+1)*NS
            Vsamp(i)=A;
            sA(i)=A*sin(2*pi*f1*(i-1)*dt);
            sP(i)=A*sin(2*pi*f1*(i-1)*dt);
            sW(i)=A*sin(2*pi*f1*(i-1)*dt);
        end
    else
        for i=k*NS+1:(k+1)*NS
            Vsamp(i)=-A;
            sA(i)=0;
            sP(i)=-A*sin(2*pi*f1*(i-1)*dt);
            sW(i)=A*sin(2*pi*f2*(i-1)*dt);
        end
    end
end
end

figure;
subplot(411); plot(t,Vsamp, 'r'),title('Інформаційний сигнал'), xlabel('t,s');
subplot(412); plot(t,sA, 'b'),title('АМн сигнал'), xlabel('t,s');
subplot(413); plot(t,sP, 'b'),title('ФМн сигнал'), xlabel('t,s');
subplot(414); plot(t,sW, 'g'),title('ЧМн сигнал'), xlabel('t,s');
pause

% Аналіз інформаційного сигналу
VH = fft(Vsamp);
VHabs = abs(VH).*dt;
VHabs = VHabs.^2;
VHabs = VHabs./(N*dt);
HVHK = ifft(VH.*conj(VH));
HVHK=HVHK./N;

figure;
subplot(221);
plot(t(1:N2),HVHK(1:N2), 'g'),title('КФ інформаційного сигналу'), xlabel('t,s');
subplot(222);
plot(ff1,VHabs(1:N2), 'b'), title('СШП інформаційного сигналу'), xlabel('f,HZ');
subplot(223);
plot(t(1:4*NS),HVHK(1:4*NS), 'g'),title(' КФ інформаційного сигналу'),
xlabel('t,s');
subplot(224);

```

```

plot(ff1(1:2*NS), VHabs(1:2*NS), 'g'), title('СЩП інформаційного сигналу'), xlabel('f, Hz');
pause

% Аналіз АМн сигналу
H = fft(sA); HA = abs(H).*dt; HA = HA.^2; HA = HA./(N*dt);
HAK = ifft(H.*conj(H));
HAK =HAK ./N;

figure;
subplot(221);
plot(t(1:N2), HAK(1:N2), 'g'), title('КФ АМн сигналу'), xlabel('t, s');
subplot(222);
plot(ff1, HA(1:N2), 'b'), title('СЩП АМн сигналу'), xlabel('f, Hz');
subplot(223);
plot(t(1:4*NS), HAK(1:4*NS), 'g'), title('КФ АМн сигналу'), xlabel('t, s');
subplot(224);
plot(ff1(8*NS:12*NS), HA(8*NS:12*NS), 'g'), title('СЩП АМн сигналу'), xlabel('f, Hz');
pause

% Аналіз ФМн сигналу
H = fft(sP);
HP = abs(H).*dt;
HP =HP.^2;
HP=HP./(N*dt);
HPK = ifft(H.*conj(H));
HPK =HPK ./N;

figure;
subplot(221);
plot(t(1:N2), HPK(1:N2), 'b'), title('КФ ФМн сигналу'), xlabel('t, s');
subplot(222);
plot(ff1, HP(1:N2), 'b'), title('СЩП ФМн сигналу'), xlabel('f, Hz');
subplot(223);
plot(t(1:4*NS), HPK(1:4*NS), 'g'), title('КФ ФМн сигналу'), xlabel('t, s');
subplot(224);
plot(ff1(8*NS:12*NS), HP(8*NS:12*NS), 'g'), title('СЩП ФМн сигналу'), xlabel('f, Hz');
pause

% Аналіз ЧМн сигналу
H = fft(sW);
HW = abs(H).*dt;
HW = HW.^2;
HW = HW./(N*dt);
HWK = ifft(H.*conj(H));
HWK = HWK ./N;

figure;
subplot(221);
plot(t(1:N2), HWK(1:N2), 'b'), title('КФ ЧМн сигналу'), xlabel('t, s');
subplot(222);
plot(ff1, HW(1:N2), 'b'), title('СЩП ЧМн сигналу'), xlabel('f, Hz');
subplot(223);
plot(t(1:4*NS), HWK(1:4*NS), 'g'), title('КФ ЧМн сигналу'), xlabel('t, s');
subplot(224);
plot(ff1(8*NS:12*NS), HW(8*NS:12*NS), 'g'), title('СЩП ЧМн сигналу'), xlabel('f, Hz');

```

При виконанні завдань лабораторної роботи необхідно ознайомитися із представленою програмною реалізацією, вивчити особливості виконання обрахунків основних характеристик, які досліджуються в лабораторній роботі, а саме розібратися яким чином відбувається визначення кореляційної функції та функції спектральної щільності потужності сигналів. Вміти пояснити деталі реалізації, а також отримані результати моделювання.

Етапи виконання лабораторної роботи

1. Аналіз КФ та СЩП відеоімпульсу

1.1. Відповідно до варіанту ввести тривалість імпульсу (параметр NS в коді програми). Значення вхідних параметрів для кожного варіанту наведені в Додатку А.

1.2. Відповідно до варіанту задати амплітуду імпульсу A .

1.3. Отримати і занести в звіт графік відеоімпульсу. Визначити тривалість відеоімпульсу. Приклад графічного відображення відеоімпульсу для параметрів $NS = 64$, $A=4$ показано на рис. 1.1.

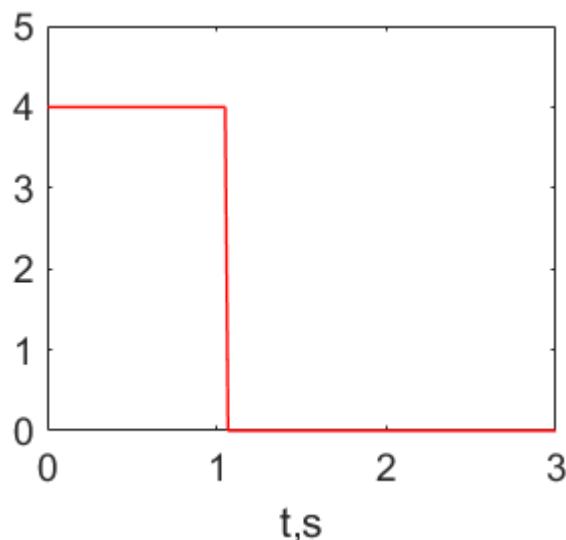


Рис. 1.1 — Відеоімпульс

1.4. Отримати і занести в звіт графік КФ відеоімпульсу. Приклад графіку КФ приведений на рис. 1.2. Записати аналітичний вираз для КФ

відеоімпульсу. Розрахувати дисперсію і порівняти її із отриманою на основі аналізу графіку КФ.

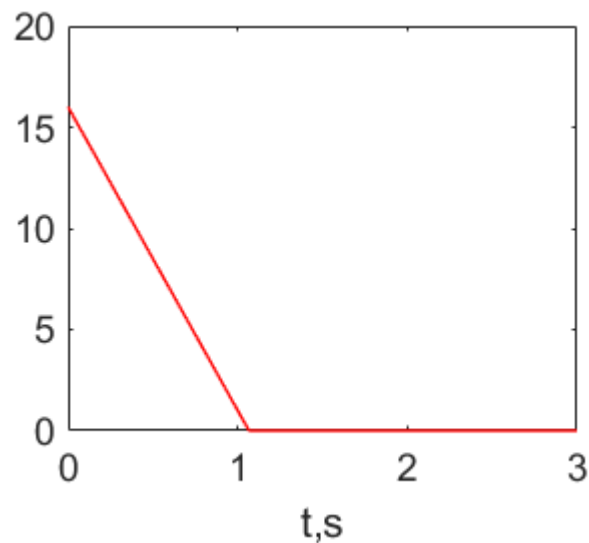


Рис. 1.2 — Кореляційна функція одиночного відеоімпульсу

1.5. Отримати і занести в звіт графіки спектру та СЩП відеоімпульсу в звичайному (лінійному) масштабі (рис. 1.3,а), а також у логарифмічному масштабі (рис. 1.3,б). Записати аналітичний вираз для СЩП відеоімпульсу. Розрахувати максимальне значення і ширину СЩП і порівняти із отриманими на графіках.

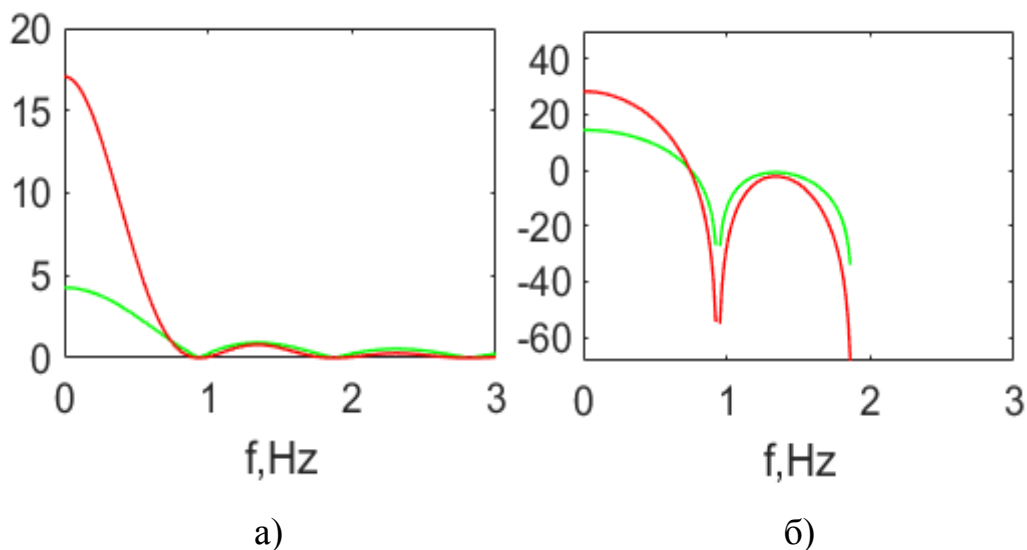


Рис. 1.3 — Амплітудний спектр (зелена крива) та спектральна щільність потужності (червона крива) відеоімпульсу в лінійному масштабі (а) та в логарифмічному масштабі (б)

2. Аналіз КФ та СЦП радіоімпульсу

2.1. Отримати і занести в звіт графік радіоімпульсу. Порівняти з графіком відеоімпульсу. Приклад радіоімпульсу показаний на рис. 1.4.

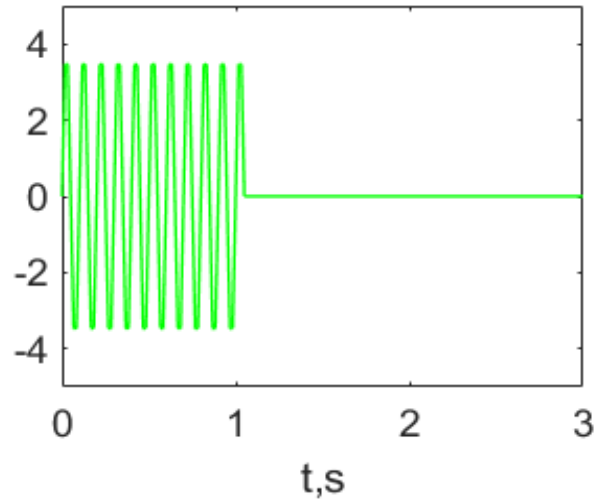


Рис. 1.4 — Радіоімпульс

2.2. Отримати і занести в звіт графік КФ радіоімпульсу (рис. 1.5). Записати аналітичний вираз для КФ радіоімпульсу. Розрахувати дисперсію і порівняти із дисперсією визначеною по графіку КФ.

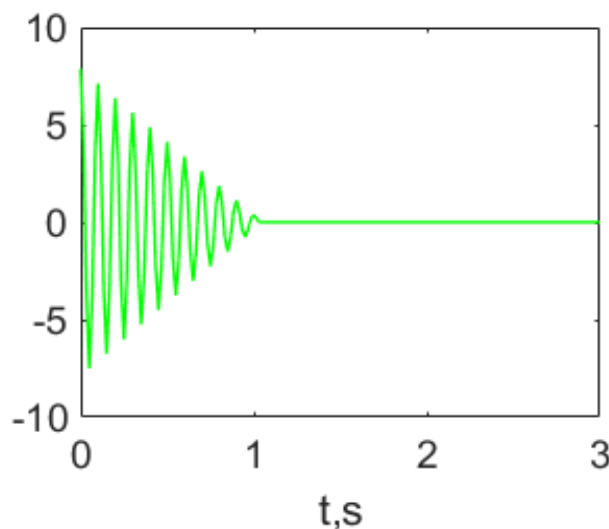


Рис. 1.5 — Кореляційна функція одиночного радіоімпульсу

2.3. Отримати і занести в звіт графіки спектру та СЦП радіоімпульсу в звичайному (лінійному) масштабі (рис. 1.6,а) і в логарифмічному

масштабі (рис. 1.6,б). Записати аналітичний вираз для СЦП радіоімпульсу. Розрахувати максимальне значення і ширину СЦП та порівняти з отриманими на графіках.

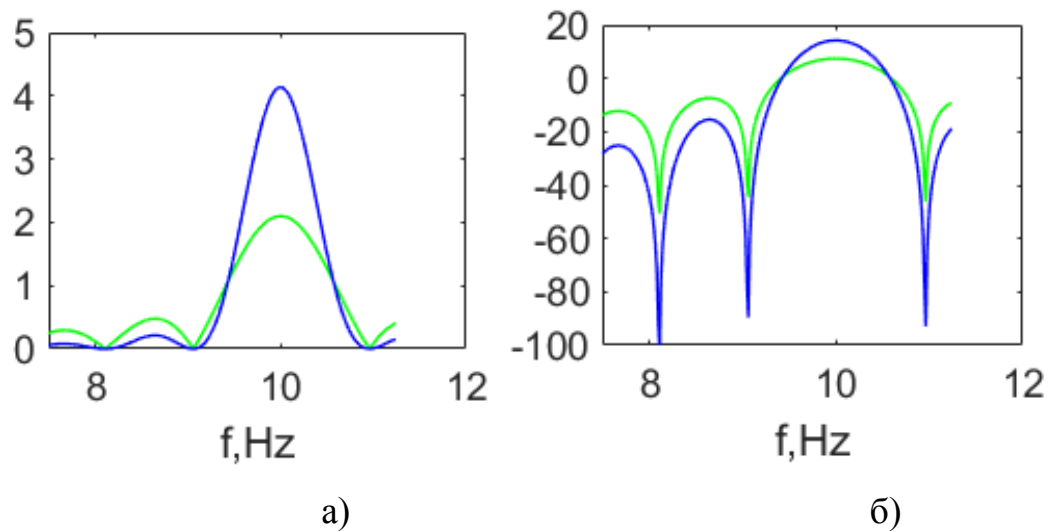


Рис. 1.6 — Амплітудний спектр (зелена крива) та спектральна щільність потужності (синя крива) радіоімпульсу в лінійному масштабі (а) та в логарифмічному масштабі (б)

3. Аналіз часових реалізацій інформаційного сигналу, а також сигналів із амплітудною маніпуляцією (АМн), фазовою маніпуляцією (ФМн) і частотною маніпуляцією (ЧМн)

3.1. Отримати і занести в звіт графік інформаційного сигналу, що представляє собою випадкову послідовність відеоімпульсів. Приклад реалізації інформаційного сигналу представлено на рис. 1.7.

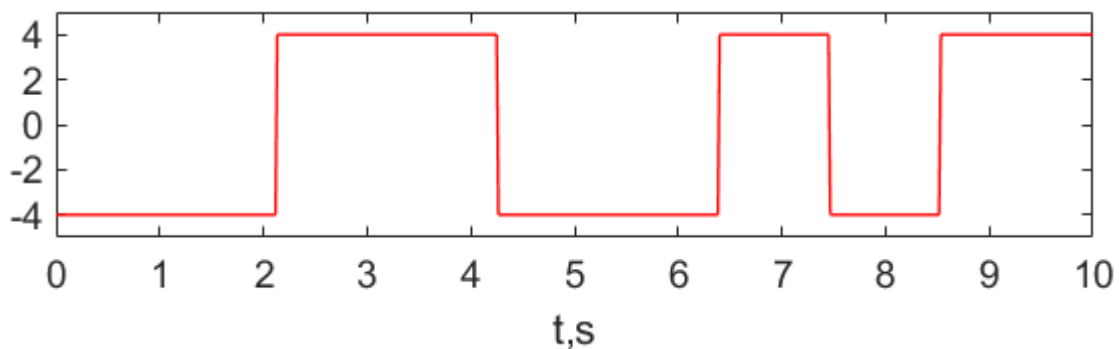


Рис. 1.7 — Приклад реалізації інформаційного сигналу

3.2. Отримати, вивчити і занести в звіт графік АМн-сигналу. Приклад вигляду сигналу із амплітудною маніпуляцією показаний на рис. 1.8.

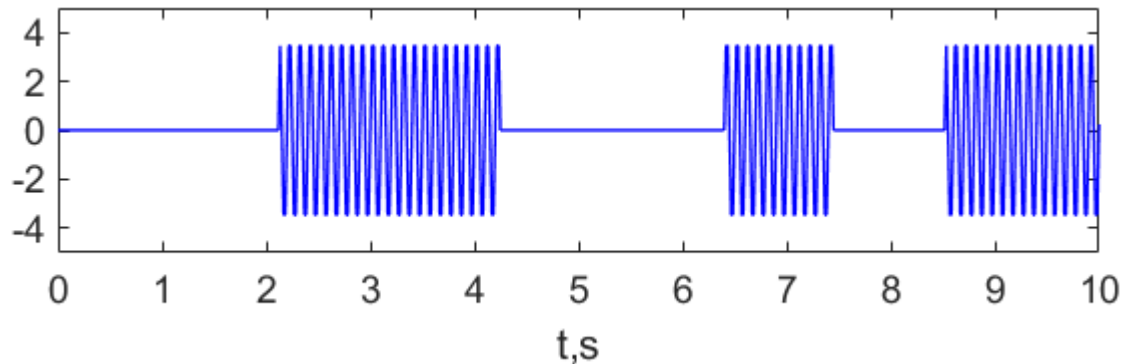


Рис. 1.8 — Приклад реалізації АМн-сигналу

3.3. Отримати, вивчити і занести в звіт графік ФМн-сигналу. Приклад сигналу із фазовою маніпуляцією показано на рис. 1.9. При аналізі графіку треба звернути увагу як змінюється фаза сигналу в моменти зміни амплітуди інформаційного сигналу. Зробити висновки щодо особливостей сигналів із фазовою маніпуляцією.

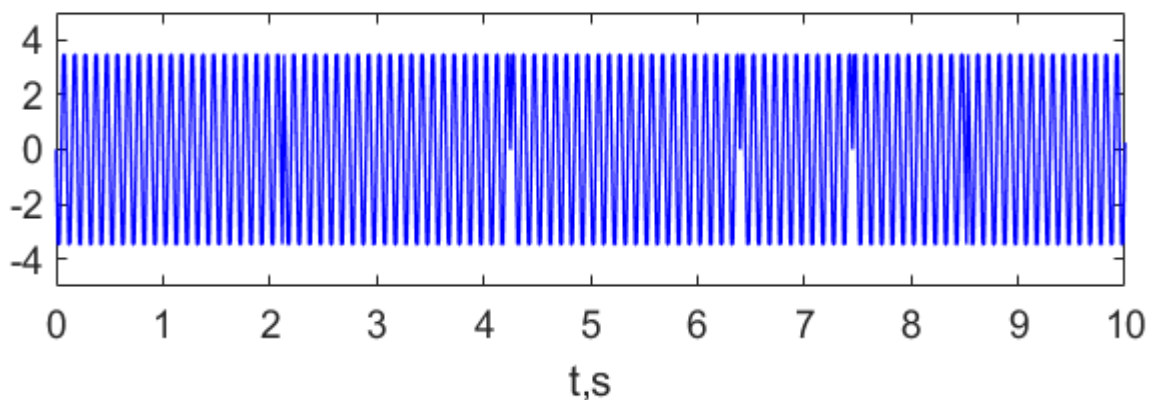


Рис. 1.9 — Приклад реалізації ФМн-сигналу

3.4. Отримати, вивчити і занести в звіт графік ЧМн-сигналу. Приклад сигналу із частотною маніпуляцією показано на рис. 1.10. При аналізі графіку треба звернути увагу як змінюється частота сигналу в моменти зміни амплітуди інформаційного сигналу. Зробити висновки щодо особливостей сигналів із частотною маніпуляцією.

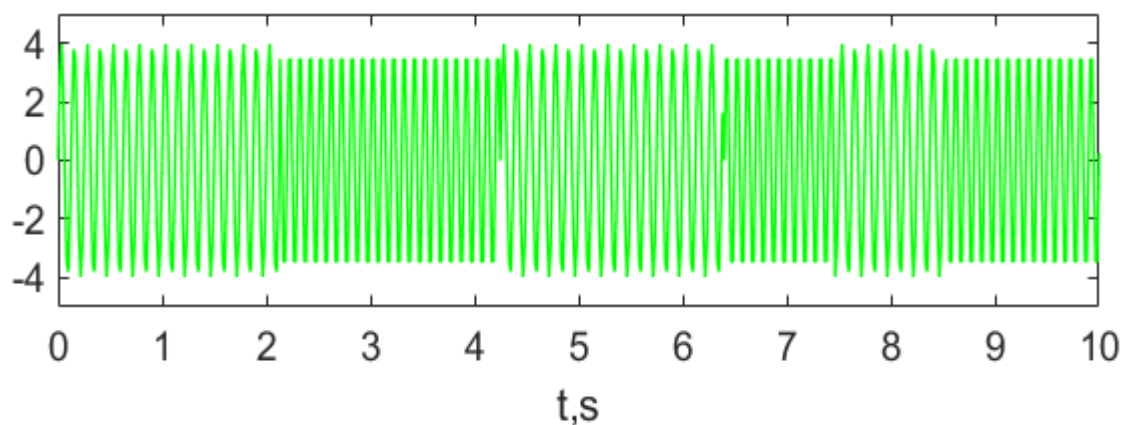


Рис. 1.10 — Приклад реалізації ЧМн-сигналу

4. Аналіз КФ та СЦП інформаційного сигналу

4.1. Отримати і занести в звіт графік КФ інформаційного сигналу. Порівняти із графіком КФ одиночного відеоімпульсу. В звіті лабораторної роботи необхідно зробити відповідні висновки та описати процедуру визначення КФ довільного інформаційного сигналу на основі його реалізації. Приклад КФ інформаційного сигналу (фрагмент реалізації якого показано на рис. 1.7) представлено на рис. 1.11.

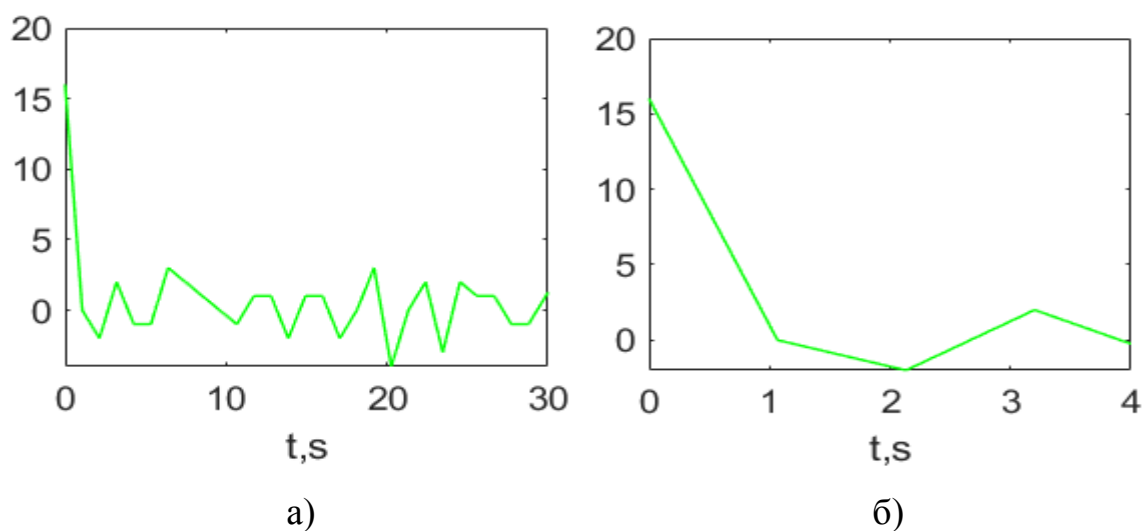


Рис. 1.11 — Приклад КФ інформаційного сигналу (а). Фрагмент графіку КФ інформаційного сигналу для більш детального аналізу (б)

4.2. Отримати і занести в звіт графік СЦП інформаційного сигналу. Порівняти із графіком СЦП відеоімпульсу. Зробити висновки стосовно

отриманих результатів. Приклад графіку СЩП для інформаційного сигналу (фрагмент реалізації якого показано на рис. 1.7) приведено на рис. 1.12.

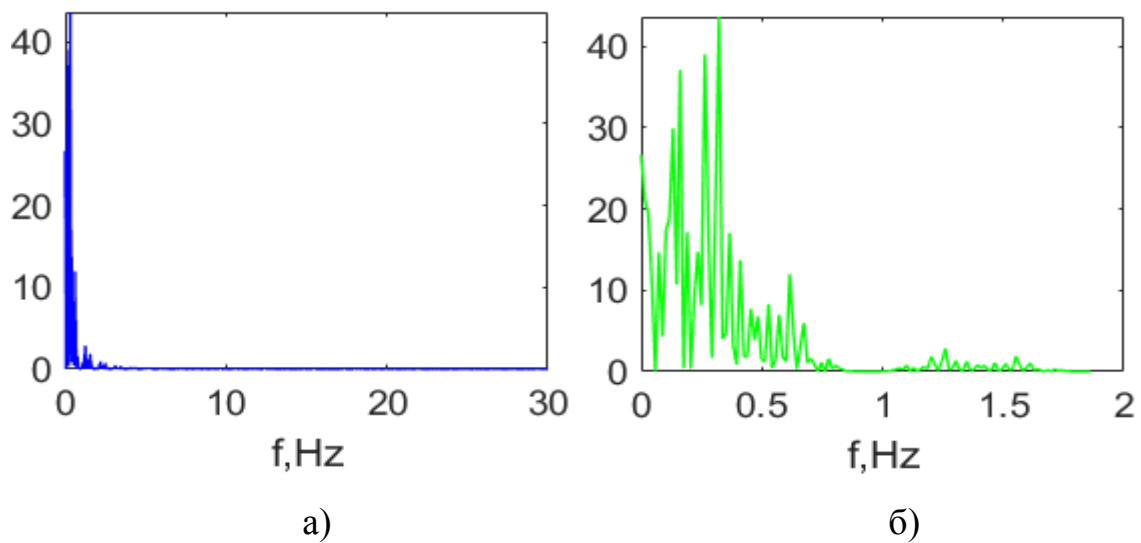


Рис. 1.12 — Приклад графіку СЩП інформаційного сигналу (а). Фрагмент графіку СЩП для більш детального аналізу (б)

5. Аналіз КФ та СЩП АМн-сигналу

5.1. Отримати і занести в звіт графік КФ АМн-сигналу. Записати аналітичний вираз для КФ АМн-сигналу. Розрахувати середні потужності АМн-сигналу, носійної та балансно-модульованої складових і порівняти із отриманими на графіку. Приклад КФ АМн-сигналу (фрагмент якого показано на рис. 1.8) представлено на рис. 1.13.

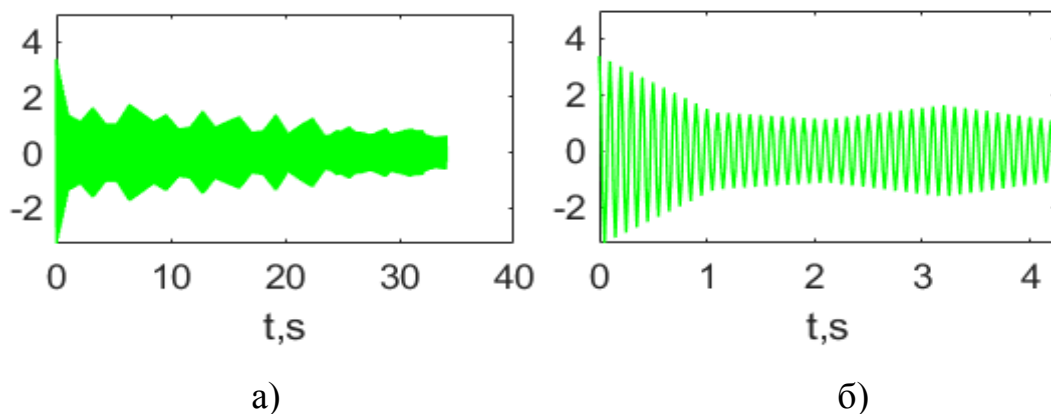


Рис. 1.13 — Приклад графіку КФ АМн-сигналу (а). Фрагмент графіку КФ для більш детального аналізу (б)

5.2. Отримати і занести в звіт графік СЦП АМн-сигналу, а також записати аналітичний вираз для СЦП. Розрахувати ширину СЦП і порівняти із отриманою при аналізі графіку. Порівняти із графіком СЦП радіоімпульсу. Приклад графіка СЦП для АМн-сигналу показано на рис. 1.14.

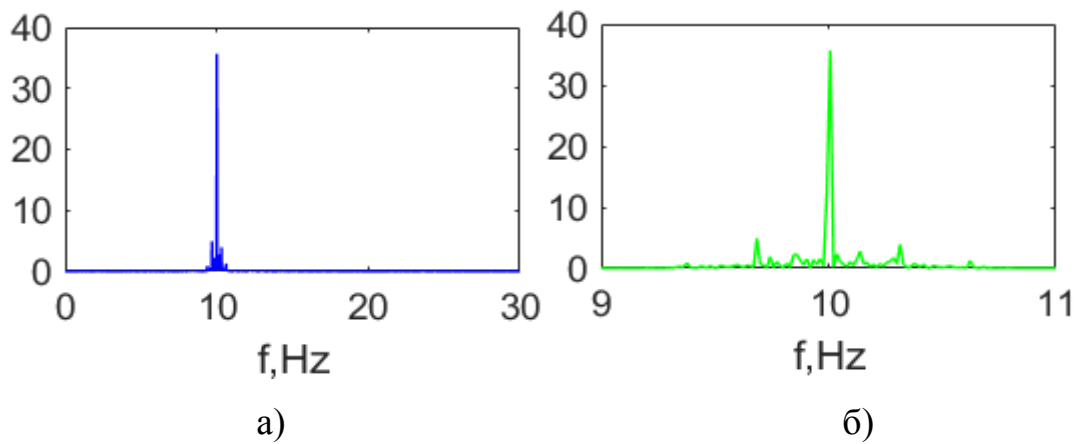


Рис. 1.14 — Приклад графіку СЦП АМн-сигналу (а). Фрагмент графіку СЦП для більш детального аналізу (б)

6. Аналіз КФ та СЦП ФМн-сигналу

6.1. Отримати і занести в звіт графік КФ ФМн-сигналу. Записати аналітичний вираз для КФ ФМн-сигналу. Розрахувати середню потужність ФМн-сигналу і порівняти із отриманою при аналізі графіку. Приклад КФ ФМн-сигналу (фрагмент якого показано на рис. 1.9) представлено на рис. 1.15.

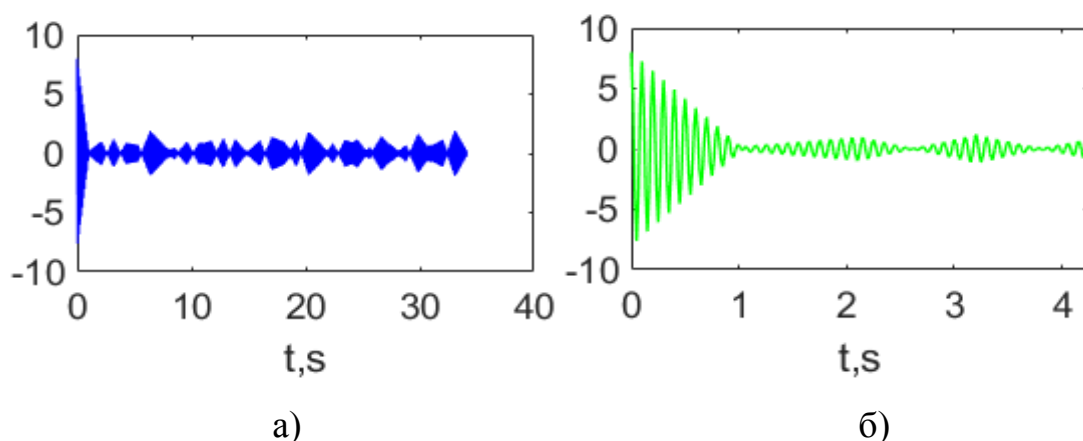


Рис. 1.15 — Приклад КФ ФМн-сигналу (а). Фрагмент графіку КФ для більш детального аналізу (б)

6.2. Отримати і занести в звіт СЦП ФМн-сигналу. Записати аналітичний вираз для СЦП ФМн-сигналу. Розрахувати ширину СЦП і порівняти із отриманою при аналізі графіку. Порівняти із СЦП радіоімпульсу. Зробити висновки. Приклад графіка СЦП для ФМн-сигналу показано на рис. 1.16.

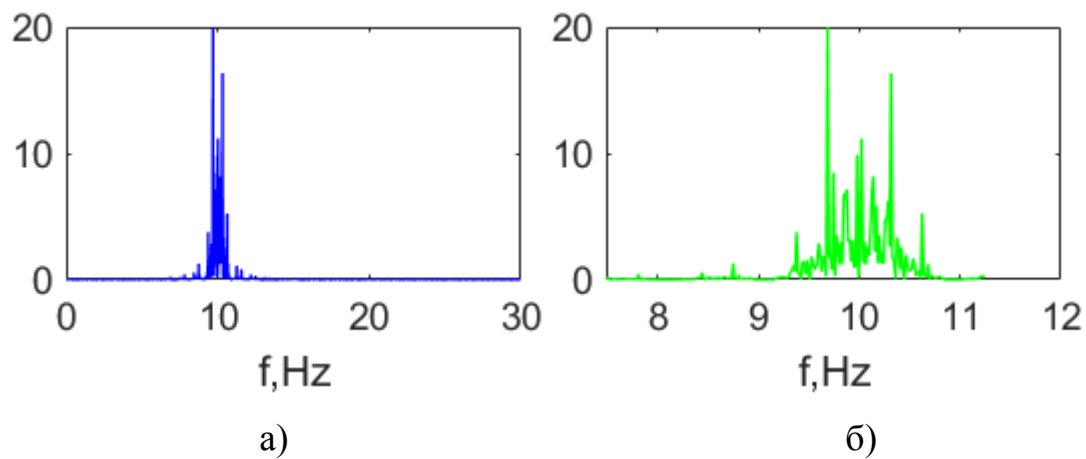


Рис. 1.16 — Приклад графіку СЦП ФМн-сигналу (а). Фрагмент графіку СЦП для більш детального аналізу (б)

7. Аналіз КФ та СЦП ЧМн-сигналу

7.1. Отримати і занести в звіт графік КФ ЧМн-сигналу. Записати аналітичний вираз для КФ ЧМн-сигналу. Розрахувати середні потужності ЧМн-сигналу, носійних і балансно-модульованих складових та порівняти із отриманими при аналізі графіку. Приклад КФ ЧМн-сигналу на рис. 1.17.

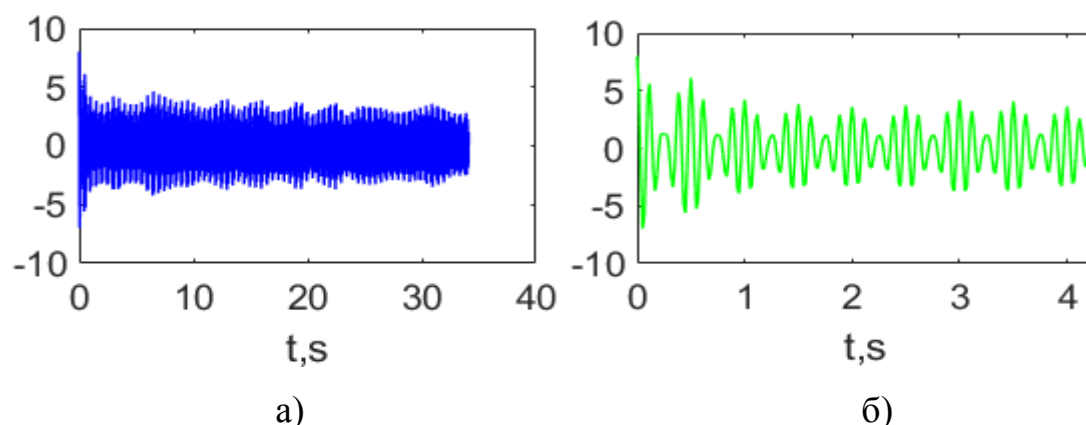


Рис. 1.17 — Приклад КФ ЧМн-сигналу (а), фрагмент графіку КФ для більш детального аналізу (б)

7.2. Отримати із занести в звіт СЦП ЧМн-сигналу. Записати аналітичний вираз для СЦП ЧМн-сигналу. Розрахувати ширину СЦП і порівняти із отриманою при аналізі графіку. Розрахувати мінімальну ширину СЦП ЧМн-сигналу. Приклад графіку СЦП для ЧМн-сигналу показано на рис. 1.18.

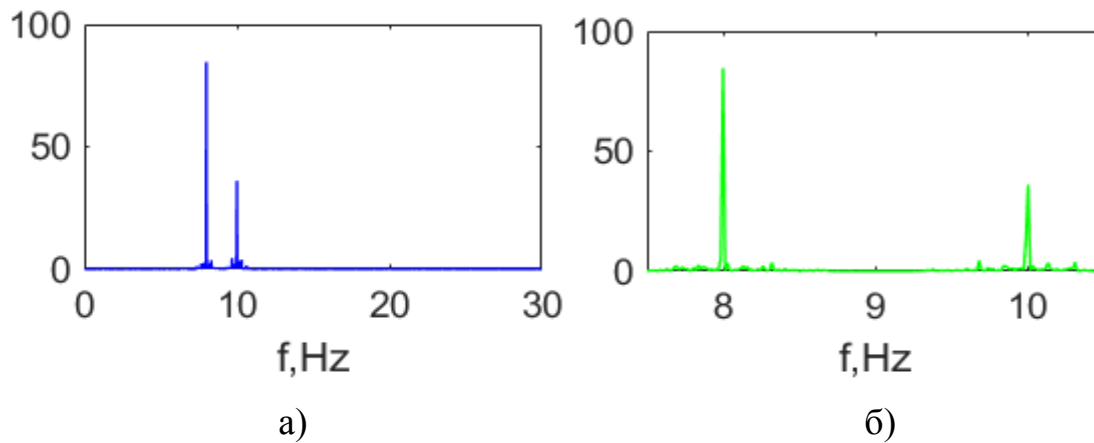


Рис. 1.18 — Приклад графіку СЦП ЧМн-сигналу (а), фрагмент графіку СЦП для більш детального аналізу (б)

7.3. Побудувати таблицю, в якій відобразити значення середніх потужностей АМн, ФМн та ЧМн сигналів та їх складових для обраного варіанту початкових значень параметрів NS та A .

Контрольні запитання до лабораторної роботи № 1

1. Наведіть приклад одиночного відеоімпульсу та одиночного радіоімпульсу. Яка між ними різниця?
2. Що таке модуляція? Які види модуляцій вам відомі? Наведіть приклади сигналів із різними видами модуляцій.
3. Що таке кореляційна функція? Як визначити автокореляційну функцію сигналу?
4. Запишіть вирази для знаходження прямого та зворотного перетворення Фур'є.
5. Що таке спектр? Як визначити спектральну щільність потужності сигналу?
6. Як визначити дисперсію сигналу по графіку автокореляційної функції?

2. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2 «АНАЛІЗ МАРКОВСЬКИХ МОДЕЛЕЙ ГАУСІВСЬКИХ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ»

Мета роботи: навчитись виконувати моделювання та проводити аналіз гаусівських випадкових процесів.

При підготовці до лабораторної роботи необхідно опрацювати лекційний матеріал по відповідній темі, особливу увагу приділивши питанню щільності ймовірності векторних випадкових гаусівських процесів і марковських гаусівських випадкових процесів (ГВП).

В ході виконання лабораторної роботи необхідно ознайомитися із алгоритмом формування ГВП, що реалізований в наведеному нижче лістингу програми. При цьому, в ході роботи програми генерується ГВП із КФ, що описується наступною формулою:

$$R(\tau) = \sigma^2 e^{-\omega_1 |\tau|} \left(\cos(\omega_0 |\tau|) - \frac{\omega_1}{\omega_0} \sin(\omega_0 |\tau|) \right), \quad (2.1)$$

де $\omega_0 = 2\pi f_0$ — центральна частота; $\omega_1 = (\tau_k \Delta t)^{-1}$; τ_k — час кореляції; Δt — інтервал дискретизації; σ^2 — дисперсія гаусівського випадкового процесу.

Відліки випадкового процесу, який характеризується КФ (2.1), моделюються за допомогою наступного виразу:

$$y(k) = a_0 v(k) + a_1 v(k-1) + b_1 y(k-1) + b_2 y(k-2), \quad (2.2)$$

де $v(k)$ — збуджуюча послідовність, яка представляє собою послідовність відліків некорельованого гаусівського шуму з нульовим математичним очікування і дисперсією рівною одиниці — $N(0,1)$; a_0, a_1, b_1, b_2 — параметри моделі, які мають бути задані заздалегідь, і для ГВП із КФ, що описується формулою (2.1), ці параметри визначаються за допомогою наступних виразів:

$$b_1 = 2\rho \cos(\omega_0 \Delta t), \quad (2.3)$$

де $\rho = e^{-\omega_1 \Delta t}$;

$$b_2 = -\rho^2; \quad (2.4)$$

$$a_0 = \sigma\beta; \quad (2.5)$$

$$a_1 = \sigma \frac{\varphi_0}{\beta}; \quad (2.6)$$

де параметр β знаходиться наступним чином:

$$\beta = \sqrt{\frac{\varphi_1 - \sqrt{\varphi_1^2 - 4\varphi_0^2}}{2}},$$

де параметри φ_0 та φ_1 розраховуються за допомогою формул:

$$\varphi_0 = \rho(\rho^2 - 1)\cos(\omega_0\Delta t) - \frac{\omega_1}{\omega_0}\rho(\rho^2 + 1)\sin(\omega_0\Delta t);$$

$$\varphi_1 = 1 - \rho^4 + 4\rho^2 \frac{\omega_1}{\omega_0}\sin(\omega_0\Delta t)\cos(\omega_0\Delta t).$$

Важливим класом марковських моделей є авторегресійні моделі лінійного прогнозу, де кожен відлік випадкового процесу є лінійною комбінацією p попередніх відліків і вхідного шуму збудження:

$$y(k) = \sum_{i=1}^p a_i y(k-i) + bv(k), \quad (2.7)$$

де a_i , $i=1, \dots, p$ та b — параметри моделі, які обраховуються із використанням системи рівнянь Юла-Уокера для авторегресійного процесу, та мають вигляд:

$$R(0) = \sum_{i=1}^p a_i R(i) + b^2; \quad (2.8)$$

$$R(m) = \sum_{i=1}^p a_i R(m-i), \quad m=1, \dots, p. \quad (2.9)$$

Шляхом вирішення системи рівнянь (2.9) визначаються параметри моделі a_i , $i=1, \dots, p$. З урахуванням знайдених коефіцієнтів, за допомогою виразу (2.8) розраховується параметр b . Виконавши вказані розрахунки, можна використовувати модель (2.7) для процесу моделювання та аналізу ГВП.

Перед виконанням завдань лабораторної роботи, необхідно вивчити питання знаходження оцінки КФ заданої реалізації ГВП із використанням відповідних бібліотечних функцій MATLAB, і вміти їх застосовувати в програмній реалізації відповідних алгоритмів.

Також необхідно ознайомитися із бібліотечною функцією `as2poly()`, яка може використовуватися для знаходження параметрів марковської моделі.

Потрібно вміти реалізовувати фрагменти програм, які передбачають обчислення оцінки КФ за допомогою функції `xcorr()` (або ж шляхом написання власної функції, яка виконує визначення оцінки КФ) при аналізі отриманої реалізації марковської моделі, тобто при аналізі згенерованої послідовності відліків випадкового процесу.

Також передбачається, що за результатами виконання лабораторної роботи № 1, методика обчислення оцінки СЦП була опанована, таким чином, в ході виконання відповідних завдань лабораторної роботи № 2 необхідно самостійно написати фрагмент програми для знаходження оцінки СЦП із використанням бібліотечних функцій MATLAB, тим самим розширивши функціонал програми, яка представлена в лістингу нижче, і реалізує етапи дослідження ГВП, що мають бути реалізовані в ході виконання лабораторної роботи № 2.

Лістинг програми, що використовується для дослідження ГВП

В наведеному лістингу приводиться приклад програмної реалізації, яка використовується для аналізу ГВП.

В ході виконання лабораторної роботи необхідно вивчити основні деталі реалізації приведених алгоритмів, виконати відповідні дії, які передбачені пунктами завдань лабораторної роботи, а також, в разі необхідності, внести відповідні зміни в представлений програмний код при реалізації окремих пунктів завдань лабораторної роботи.

Представлений лістинг програми дозволяє вивчити особливості реалізації моделі, яка описується виразами (2.1)—(2.6), а також передбачає опанування методик по моделюванню авторегресійної (АР) моделі, що описується виразами (2.7)—(2.9).

```
clear;
close all;
clc;

N=input('Введіть число відліків реалізації N(2^L)=');
N2=N/2;

nm=input('Введіть порядок марковської моделі nm=');
nm=nm+1;

i=sqrt(-1);
DeltaT=1/8000;
w=pi*[0:N2-1]/N2;
OM=exp(-i*[0:nm-1]*w);
w=[];

%Вхідні параметри КФ ГВП
w0=input('Введіть частоту w0 (Гц)=');
Tau=input('Введіть час кореляції Tau (число тактів)=');
CKB=input('Введіть СКВ =');

w0=6.28*w0;
w1=1/(DeltaT*Tau);

%Розрахунок СШП та КФ ГВП
delw=4000/(N2-1);
d0=w0/w1;
for k=1:N2
    d=6.28*(k-1)*delw/w1;
    dp=(d+d0)^2;
    dm=(d-d0)^2;
    SPMt(k)=(4*CKB^2/w1)*(1+d0^2)/((1+dp)*(1+dm));
    w(k)=(k-1)*delw;
    Kft(k)=CKB^2*exp(-w1*(k-1)*DeltaT)*(cos(w0*(k-1)*DeltaT)-w1*sin(w0*(k-1)*DeltaT)/w0);
    t1(k)=(k-1)*DeltaT;
end

maxSPMt=max(SPMt);
SPMtlog=10*log(SPMt./maxSPMt);

figure;
subplot(211), plot(t1,Kft,'g'), title('Теоретична КФ'), xlabel('t,s');
subplot(212), plot(w,SPMt,'g'), title('Теоретична СШП'), xlabel('f,Hz');
pause

%Розрахунок параметрів формуючого фільтра ГВП
gamma0=w0*DeltaT;
gamma1=w1*DeltaT;
ro=exp(-gamma1);
```

```

alfa1=1-ro^4+(4*ro^2*w1*sin(gamma0)*cos(gamma0)/w0);
alfa0=(ro*(ro^2-1)*cos(gamma0))-(w1*(1+ro^2)*ro*sin(gamma0)/w0);
b2=-ro^2;
b1=2*ro*cos(gamma0);
alfa=sqrt((alfa1-sqrt(alfa1^2-4*alfa0^2))/2);
a1=CKB*alfa0/alfa;
a0=CKB*alfa;

%Формування реалізації ГВП
y(1)=0;
y(2)=0;
v(2)=randn;
t(1)=0;
t(2)=DeltaT;
for k=3:N
    v(1)=randn;
    y(k)=a0*v(1)+a1*v(2)+b1*y(k-1)+b2*y(k-2);
    v(2)=v(1);
    t(k)=k*DeltaT;
end

%побудова часової реалізації ГВП
figure;
subplot(111), plot(t,y), title('Реалізація ГВП y'), xlabel('t,s');
pause

%розрахунок та побудова КФ
akf=xcorr(y);
akf=akf/(N-1);

figure;
subplot(211), plot(t1,KFt,'g',t1,akf(N:(N+N2-1)),'b'),
title('КФ оцінена по реалізації y, КФ теоретична'), xlabel('t,s');
pause

%розрахунок та побудова СЩП
Y=fft(y);
PH=angle(Y);
Pyy=Y.*conj(Y);
maxP=max(Pyy);
Pyy=10*log(Pyy/maxP);
f=8000/N*(0:(N2-1));
Y=[];

subplot(212), plot(f,Pyy(1:N2),'b',w,SPMtlog,'g'),
title('СЩП оцінена по реалізації y, СЩП теоретична'), xlabel('f,HZ');
pause

%2. РОЗРАХУНОК ТА АНАЛІЗ МАРКОВСЬКОЇ МОДЕЛІ
%розрахунок параметрів марковської моделі на основі алгоритма Дарбіна
for l1=1:nm-1
    for l2=1:l1
        R(l1,l2)=akf(N+l1-l2);
        R(l2,l1)=R(l1,l2);
    end
    P(l1)=akf(N+l1);
end

```

```

R, pause %Кореляційна матриця
A=P/R;
A, pause %Вектор коефіцієнтів передбачення моделі
B=R(1,1)-A*P';
B, pause %Дисперсія помилки передбачення
B1=sqrt(B);

A1(1)=1;
for l=2:nm
    A1(l)=-A(l-1);
end

%масив значень кореляційної функції для ac2poly
for l2=1:nm
    r1(l2)=akf(N+l2-1);
end

%розрахунок AP-моделі (nm-1)-го порядку
[a,e]=ac2poly(r1), pause

%Побудова СЩП марковської моделі і порівняння з
%експериментальною та заданою СЩП
for ii=1:N2;
    H(ii)=1./(a*OM(:,ii))';
end
HH=(abs(H).^2);

%Формування симетричної СЩП
for k=1:N2
    HH1(k)=HH(k);
end

HH1(N2+1)=0;
for k=2:N2
    HH1(k+N2)=HH(N2+2-k);
end
maxH=max(HH);
HH=10*log(HH./maxH);

f=8000/N*(0:(N2-1));

figure;
subplot(211), plot(f,Py(1:N2),'b',f,HH(1:N2),'r',w,SPMtlog,'g'),
title('СЩП моделі, СЩП теоретична, СЩП оцінена по реалізації y'),
xlabel('f,Hz'); pause
H1 = ifft(HH1);
HAK1= real(H1)*B;
subplot(212), plot(t1,KFt,'g',t1,HAK1(1:N2),'r'),
title('КФ моделі, КФ теоретична'), xlabel('t,s');
pause

%3.ФОРМУВАННЯ ТА АНАЛІЗ МОДЕЛЬНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ГВП
%Формування модельної реалізації
ev=zeros(nm-1,1);

for ii=1:N
    ev1=A*ev+B1*randn(1,1);

```

```

z(ii)=ev1;

for k=nm-1:-1:2
    ev(k)=ev(k-1);
end

ev(1)=ev1;
end

figure;
subplot(211), plot(t,z), title('Реалізація АР моделі'), xlabel('t,s');
pause

%розрахунок і побудова КФ
akf=xcorr(z);
akf=akf/(N-1);
subplot(223), plot(t1,KFt,'g',t1,akf(N:(N+N2-1)),'b'),
title('КФ теоретична, КФ оцінена по реалізації АР моделі'), xlabel('t,s');
pause

%розрахунок СШП по КФ
Yakf=fft(akf);
Pakf=abs(Yakf);
maxPakf=max(Pakf);
Pakf=10*log(Pakf/maxPakf);

for l2=1:N2
    Pak(l2)=Pakf(2*l2-1);
end
subplot(224), plot(f,Pak(1:N2),'b',f,HH(1:N2),'r'),
title('СШП моделі, СШП оцінена по реалізації АР моделі'), xlabel('f,HZ');
pause

%4.ВИЗНАЧЕННЯ ПОМИЛКИ МОДЕЛЮВАННЯ МАРКОВСЬКОЇ МОДЕЛІ
KFt=KFt./KFt(1);
HAK1=HAK1./HAK1(1);

figure;
subplot(111), plot(t1,KFt,'r',t1,HAK1(1:N2),'b'),
title('Нормовані. КФ теоретична, КФ моделі'), xlabel('t,s');
pause

SIZE = 50;
if SIZE > N2
    SIZE = N2;
end

DE=0;
for k=1:SIZE
    DE=DE+abs(KFt(k)-HAK1(k));
end
DE, pause

```

Етапи виконання лабораторної роботи

1. Аналіз кореляційної функції та спектральної щільності потужності гаусівського випадкового процесу

1.1. Запустити програму, лістинг якої приведений вище. Програма реалізує план проведення експериментального дослідження ГВП. Задати довжину реалізації ГВП. Цей параметр позначений як N . Значення довжини реалізації потрібно задавати як 2 у відповідній степені, наприклад $2^{10} = 1024$.

Значення вхідних параметрів для кожного варіанту наведені в Додатку Б.

1.2. Задати порядок марковської моделі. Цей параметр позначений як nm . Наприклад, обрати $nm = 7$.

1.3. Відповідно до варіанту задати наступні параметри КФ:

- 1) центральна частота (параметр w_0);
- 2) час кореляції (параметр Tau);
- 3) середнє квадратичне відхилення (параметр $СКВ$).

1.4. Виконати аналіз графіку КФ (оцінити дисперсію та періодичність функції), а також проаналізувати графік СЩП (оцінити центральну частоту та ширину спектру) і відобразити результати у звіті. Приклади графіків КФ та СЩП для випадку коли $N=1024$, $nm=5$, $w_0=500$ Гц, $Tau=10$, $СКВ=2$, показані на рис. 2.1 та рис. 2.2 відповідно.

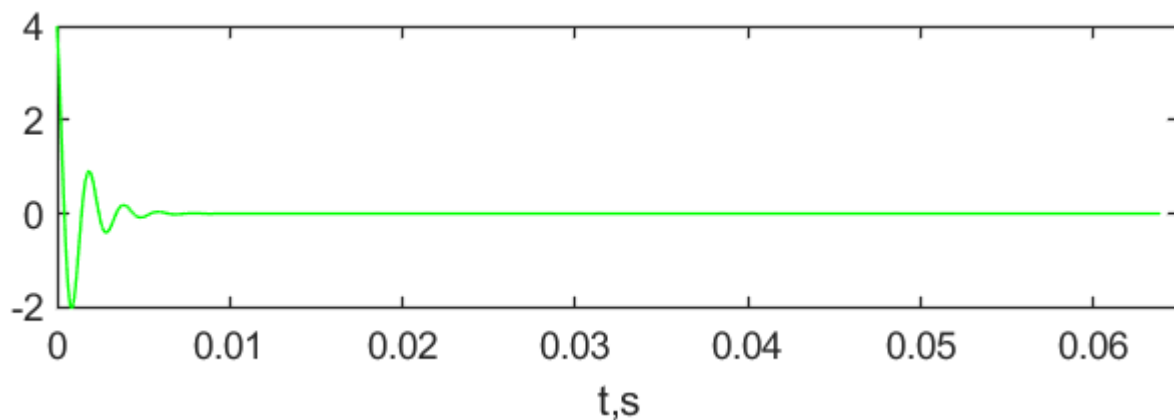


Рис. 2.1 — Приклад графіку КФ, що описується виразом (2.1), при наступних заданих параметрах: $N=1024$, $w_0=500$ Гц, $Tau=10$, $СКВ=2$

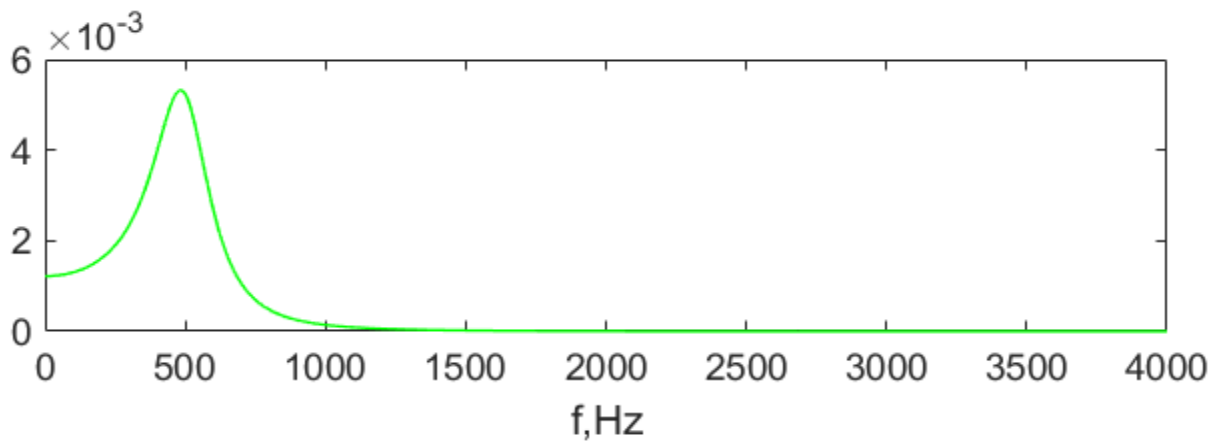


Рис. 2.2 — Приклад графіку теоретичної СЦП випадкового процесу, що характеризується КФ, яка описується виразом (2.1)

1.5. Отримати реалізацію ГВП, що характеризується КФ (2.1). Приклад такої реалізації для варіанту значень відповідних параметрів, що були задані в пункті 1.4, показано на рис. 2.3.

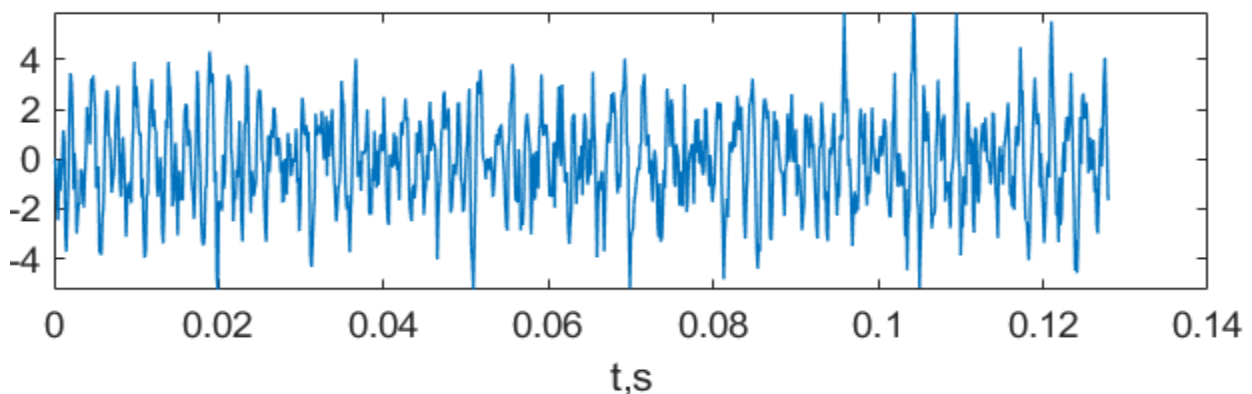


Рис. 2.3 — Реалізація ГВП

1.6. Виконати порівняння графіку теоретичної КФ, що побудований на основі використання аналітичної залежності (2.1) із графіком КФ, яка була оцінена на основі сформованої реалізації ГВП на рис. 2.3. Занести графіки у звіт та надати відповідні коментарі. Приклад графіків показаний на рис. 2.4.

1.7. Виконати порівняння графіку теоретичної СЦП із графіком СЦП, що була оцінена на основі сформованої реалізації ГВП на рис.2.3. Занести графіки у звіт та надати відповідні коментарі. Приклад графіків показаний на рис. 2.5.

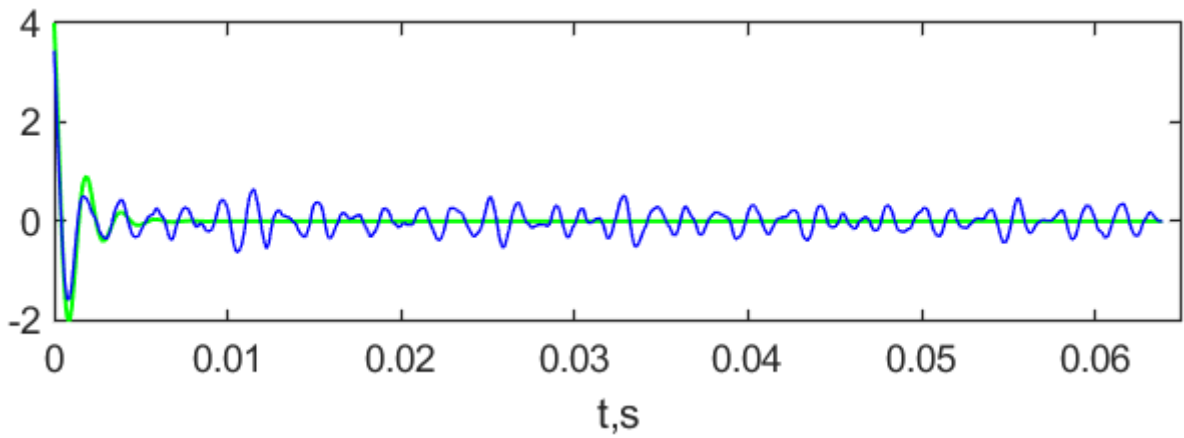


Рис. 2.4 — Теоретична КФ (зелена крива), а також КФ, що була оцінена на основі реалізації ГВП (синя крива)

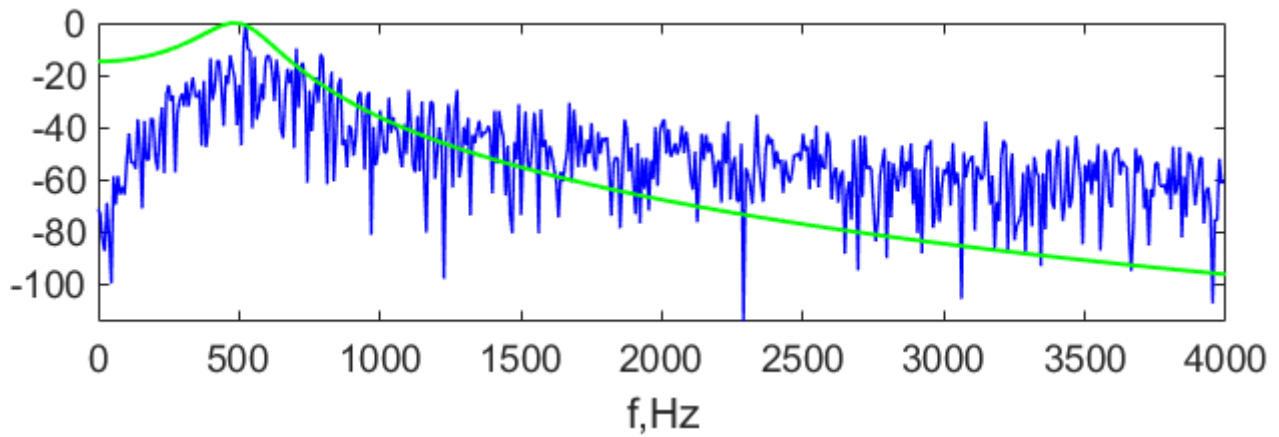


Рис. 2.5 — Теоретична СЦП (зелена крива), а також СЦП, що була оцінена на основі реалізації ГВП (синя крива)

1.8. Отримати та відобразити у звіті кореляційну матрицю R для nt перетинів ГВП. Наприклад, для заданих у пункті 1.4 значень вхідних параметрів, відповідна матриця буде мати вигляд:

3.4428	2.4474	1.3257	0.3065	-0.5833
2.4474	3.4428	2.4474	1.3257	0.3065
1.3257	2.4474	3.4428	2.4474	1.3257
0.3065	1.3257	2.4474	3.4428	2.4474
-0.5833	0.3065	1.3257	2.4474	3.4428

1.9. Записати у звіті вираз для nm -мірної щільності ймовірності ГВП.

1.10. Отримати та відобразити у звіті вектор коефіцієнтів прогнозу A марковської моделі, що отримані шляхом рішення системи рівнянь Юла-Уокера (2.9). Наприклад, для заданих у пункті 1.4 значень вхідних параметрів, вектор коефіцієнтів прогнозу буде містити наступні значення:

0.7771 -0.1134 -0.0225 -0.0599 -0.1675

1.11. Отримати та відобразити у звіті дисперсію помилки прогнозу B марковської моделі, що була отримана шляхом рішення рівняння Юла-Уокера (2.8). Наприклад, для заданих у пункті 1.4 значень вхідних параметрів, дисперсія помилки прогнозу B дорівнює 1.4553.

1.12. Отримати і записати у звіт параметри марковської моделі, що отримані шляхом застосування бібліотечної функції MATLAB `ac2poly()`. Результат порівняти із значеннями, що були отримані в пункті 1.10. Наприклад, для заданих у пункті 1.4 значень вхідних параметрів, застосування функції `ac2poly()` дозволить отримати вектор параметрів моделі з такими значеннями:

1.0000 -0.7771 0.1134 0.0225 0.0599 0.1675

1.13. Виконати порівняння графіків теоретичної СЦП, оціненої СЦП на основі реалізації ГВП, показаної на рис. 2.3, а також СЦП моделі. Приклад графіків показано на рис. 2.6. Отримані графіки занести в звіт і надати відповідні коментарі.

1.14. Виконати порівняння графіку КФ для марковської моделі із графіком теоретичної КФ. Приклад графіків показаний на рис. 2.7. Отримані графіки занести в звіт і надати відповідні коментарі.

1.15. Виконати аналіз отриманого на основі марковської моделі графіка реалізації ГВП. Порівняти із графіком на рис. 2.3. Графік відобразити в звіті лабораторної роботи. Приклад графіку реалізації ГВП на основі марковської моделі показано на рис. 2.8.

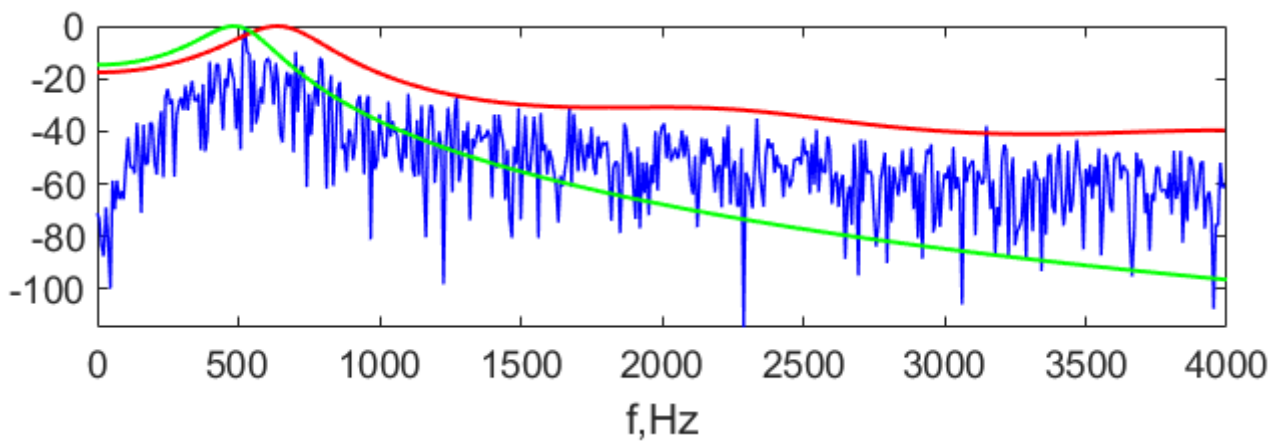


Рис. 2.6 — Теоретична СПП (зелена крива), СПП оцінена на основі реалізації ГВП (синя крива), СПП моделі (червона крива)

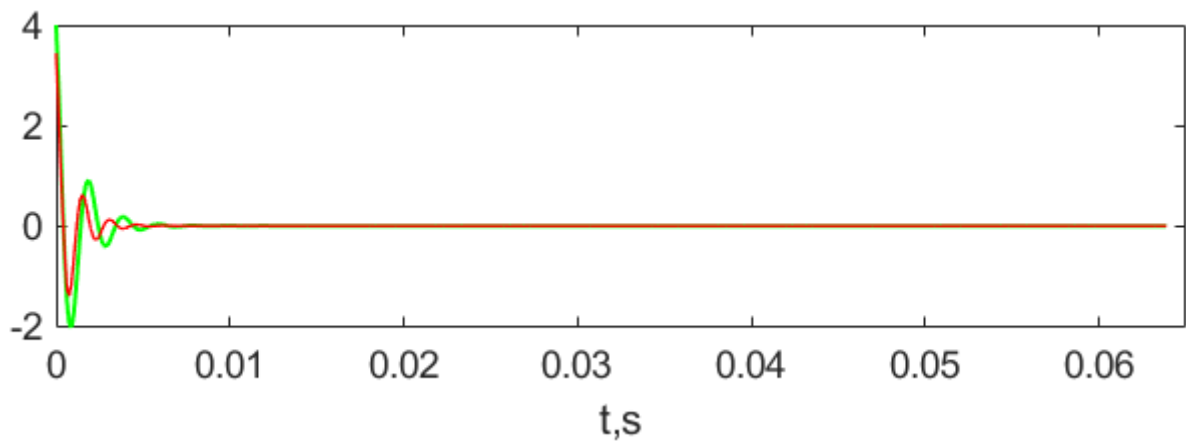


Рис. 2.7 — Теоретична КФ (зелена крива), КФ моделі (червона крива)

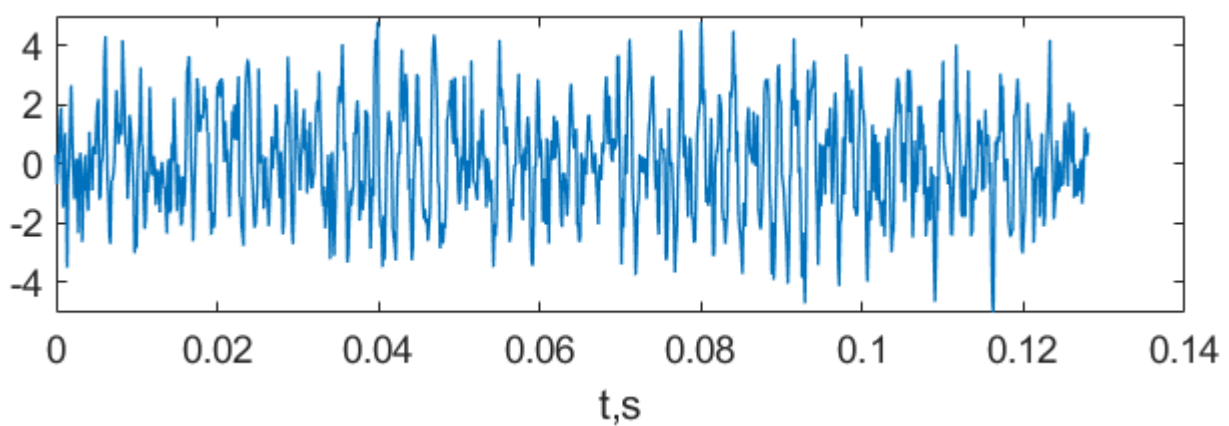


Рис. 2.8 — Реалізація ГВП, що отримана на основі марковської моделі, яка описується виразом (2.7), параметри для якої визначались в пункті 1.10 та в пункті 1.11

1.16. Порівняти графіки теоретичної КФ та КФ, що оцінена по реалізації ГВП на основі моделі (2.7), приклад реалізації якої показано на рис. 2.8. Графіки занести в звіт, а також надати коментарі щодо отриманих результатів. Приклади графіків, які потрібно отримати, показано на рис. 2.9.

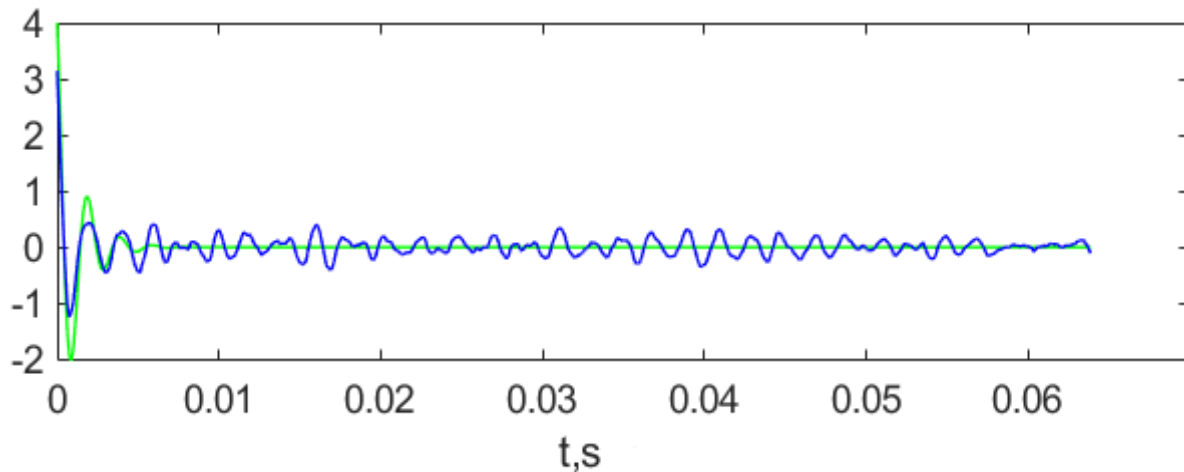


Рис. 2.9 — Графік теоретичної КФ (зелена крива) і графік КФ, що оцінена по реалізації ГВП на основі авторегресійної моделі (2.7) (синя крива)

1.17. Порівняти графіки СЦП моделі та СЦП, що оцінена по реалізації ГВП на основі моделі (2.7), приклад реалізації якої показано на рис. 2.8. Отримані графіки занести в звіт та надати коментарі щодо отриманих результатів. Приклади графіків, що необхідно отримати, показано на рис. 2.10.

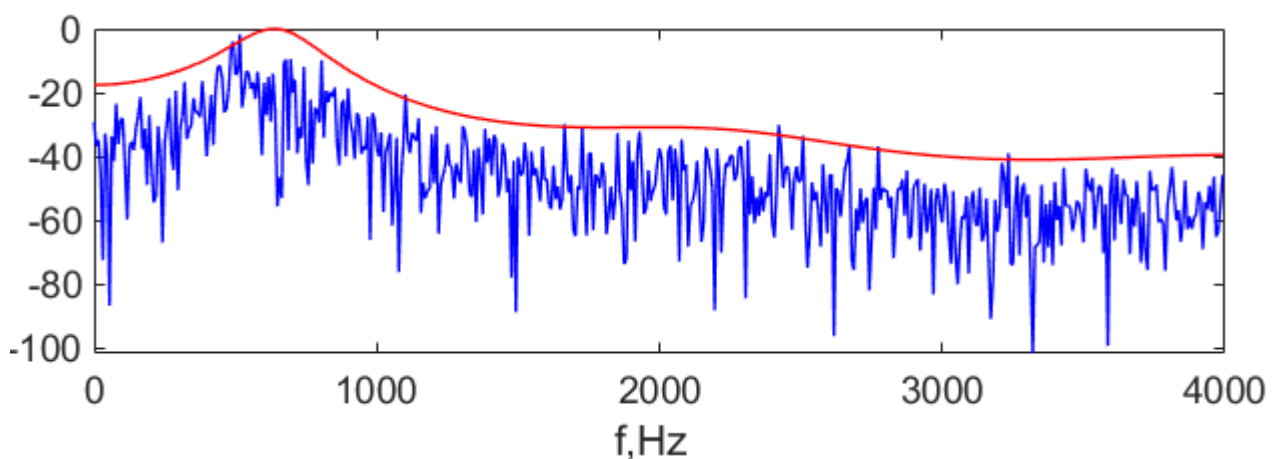


Рис. 2.10 — Графік СЦП моделі (червона крива) і графік СЦП оціненої по реалізації ГВП на основі авторегресійної моделі (2.7) (синя крива)

2. Дослідження залежності помилки від порядку марковської моделі

2.1. Запустити програму, яка реалізує план проведення експерименту, і представлена у наведеному вище лістингу. Встановити кількість відліків реалізації N рівним 4096.

2.2. Встановити значення порядку моделі $nm=1$.

2.3. Значення параметрів w_0 , τ та CKB задавати відповідно до варіанту.

Отримати значення помилки моделі DE , що розраховується за допомогою виразу:

$$DE = \sum_{i=1}^n |R_{теор}(i) - R_{мод}(i)|,$$

де $R_{теор}$ — теоретична кореляційна функція, $R_{мод}$ — кореляційна функція моделі.

Виконати виміри 10 значень помилки моделі, запускаючи програму 10 разів, для заданого значення порядку моделі nm . Результати занести в табл. 1.

2.4. Виконати пункти 2.1—2.3 для кожного значення порядку моделі $nm=4, 7, 10, 13, 16$. Результати занести в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 — Значення помилки моделі

Порядок моделі, <i>nm</i>	Помилка моделі, <i>DE</i>										<i>m</i> _ε	<i>σ</i> _ε
	номер запуску програми для визначення помилки моделі											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
<i>nm</i> =1												
<i>nm</i> =4												
<i>nm</i> =7												
<i>nm</i> =10												
<i>nm</i> =13												
<i>nm</i> =16												

2.5. Для кожної вибірки помилки моделі при заданому порядку моделі nt визначити математичне очікування помилки моделі m_ϵ , а також СКВ помилки σ_ϵ . Результати занести в табл. 1.1 Побудувати графік залежності m_ϵ від порядку моделі nt , а також побудувати графік залежності σ_ϵ від порядку моделі nt . Зробити висновки.

Контрольні запитання до лабораторної роботи № 2

1. Поясніть яким чином можна оцінити кореляційну функцію на основі отриманої реалізації випадкового процесу? Продемонструйте методику знаходження кореляційної функції на прикладі.
2. Що таке час кореляції? Зобразіть схематично функцію кореляції із малим та великим значеннями часу кореляції.
3. Поясніть методику знаходження параметрів марковської моделі, яка описується виразом (2.7).
4. На основі результатів, що отримані в пунктах 2.4 та 2.5, прокоментуйте яким чином змінюється помилка моделі в залежності від порядку моделі?.
5. Де може бути застосована марковська модель, що описується виразом (2.7)?
6. Чи можна визначити спектральну щільність потужності, знаючи автокореляційну функцію? Якщо так, тоді поясніть яким чином це можна зробити?

3. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3 «ДОСЛІДЖЕННЯ КОРЕЛЯЦІЙНОГО ПРИЙМАЧА І УЗГОДЖЕНОГО ФІЛЬТРУ»

Мета роботи: навчитися основам теорії проектування оптимальних радіотехнічних пристроїв та дослідження характеристик кореляційного приймача та узгодженого фільтру.

При підготовці до виконання лабораторної роботи необхідно опанувати лекційний матеріал по даній темі. Особливу увагу необхідно приділити виду сигналів на виході кореляційного приймача і узгодженого фільтру.

Етапи виконання лабораторної роботи

1. Дослідження кореляційного приймача і узгодженого фільтру для одиначного відеоімпульсу

1.1. Ознайомитися із програмою OptprmV1, за допомогою якої моделюється робота кореляційного приймача і узгодженого фільтру для одиначного відеоімпульсу. Розібратися із застосуванням бібліотечної функції `fft()` середовища MATLAB, яка використовується для обчислення амплітудно-частотного і фазо-частотного спектрів сигналу і для амплітудно-частотної і фазо-частотної характеристик узгодженого фільтру. Ознайомитися із реалізацією процедури чисельного інтегрування із використанням методу прямокутників.

Лістинг програми OptprmV1:

```
clear;
close all;
clc;

NS=256;
N=2*NS;
N2=N/2;
A=input('Введіть A=')
T=input('Введіть T=')
dt=T/(N-1)
Fm=1/(2*dt);
ff1 = 1/(dt*(N-1)) * (0:N2-1);
```

```

t=(0:N-1)*dt;
%Сигнал;
s0=zeros(1,N);
for i=1:NS
    s0(i)=A;
end

%Завада
CKBn=input('Введіть СКВn=')
n=CKBn.*randn(1,N);

%Сигнал+Завада
s=s0+n;
figure;
subplot(221); plot(t,s0,'--+r',t,n,'-.b'),
title('Сигнал, Завада'), xlabel('t,s'); grid;

%Кореляційний інтеграл
pr=s.*s0;
KInt=zeros(N);
KInt(1)=pr(1)*dt;

for i=2:NS
    KInt(i)=KInt(i-1)+pr(i)*dt;
end

integral_T=KInt(NS);

for i=NS+1:N
    KInt(i)=integral_T;
end

subplot(222); plot(t,s,'r',t,pr,'b',t,KInt,'g'),
title('Спостереження, Добуток, Інтеграл'), xlabel('t,s'); grid;

%Імпульсна характеристика узгодженого фільтра
h=zeros(1,N);
for i=0:NS-1
    h(i+1)=s0(NS-i);
end

subplot(223); plot(t,h,'-.ob'),
title('Імпульсна х-ка Узг.Фільтра'), xlabel('t,s'); grid;

%Реалізація узгодженого фільтра - згорткою
c=conv(s,h);
c=c.*dt;
t1=(0:2*N-2)*dt;

subplot(224); plot(t,c(1:N),'r'),
title('Згортка'), xlabel('t,s'); grid; pause

% АЧС і ФЧС сигналу
S = fft(s0);
Sabs = abs(S);
Sangl = angle(S);

figure;

```

```

subplot(221); plot(ffl(1:32),Sabs(1:32),'b'), title('АЧС сигналу'),
xlabel('F,Hz');
grid;
subplot(222); plot(ffl(1:32),Sangl(1:32),'g'),title('ФЧС сигналу'),
xlabel('F,Hz');
grid;

% АЧХ і ФЧХ узгодженого фільтру
H = fft(h);
Habs = abs(H);
Hangl = angle(H);
subplot(223);plot(ffl(1:32),Habs(1:32),'b'), title('АЧХ Узг.Фільтру'),
xlabel('F, Hz');
grid;
subplot(224); plot(ffl(1:32),Hangl(1:32),'g'), title('ФЧХ Узг.Фільтру')
xlabel('F,Hz');
grid;

```

1.2. Запустити в MATLAB програму OptprmV1.

1.3. Відповідно до варіанту задати амплітуду відеоімпульсу А. Значення вхідних параметрів для кожного варіанту наведені в Додатку В.

1.4. Відповідно до варіанту ввести тривалість відеоімпульсу T .

1.5. Записати у звіт отримане значення кроку дискретизації dt , що відображене в командному вікні MATLAB.

1.6. Задати значення середнього квадратичного відхилення завади (параметр $СКВn$) рівним 0.1.

1.7. Розрахувати спектральну щільність потужності еквівалентного білого шуму N_0 .

1.8. Розрахувати відношення Сигнал/Шум на виході кореляційного приймача.

1.9. Вивести на екран монітору та занести у звіт наступні графіки:

а) графік сигналу та графік завади;

б) графік спостереження (суміш сигналу та завади); графік сигналу на виході помножувача; графік сигналу на виході інтегратора;

в) графік імпульсної характеристики узгодженого фільтру;

г) графік сигналу на виході узгодженого фільтру.

Порівняти сигнали на виході кореляційного приймача і узгодженого фільтру та зробити висновки.

Приклади сигналів, які необхідно отримати, показані на рис. 3.1. Отримані результати відображено для випадку наступних вхідних параметрів: $A=4$, $T=2$, $CKBn=0.1$.

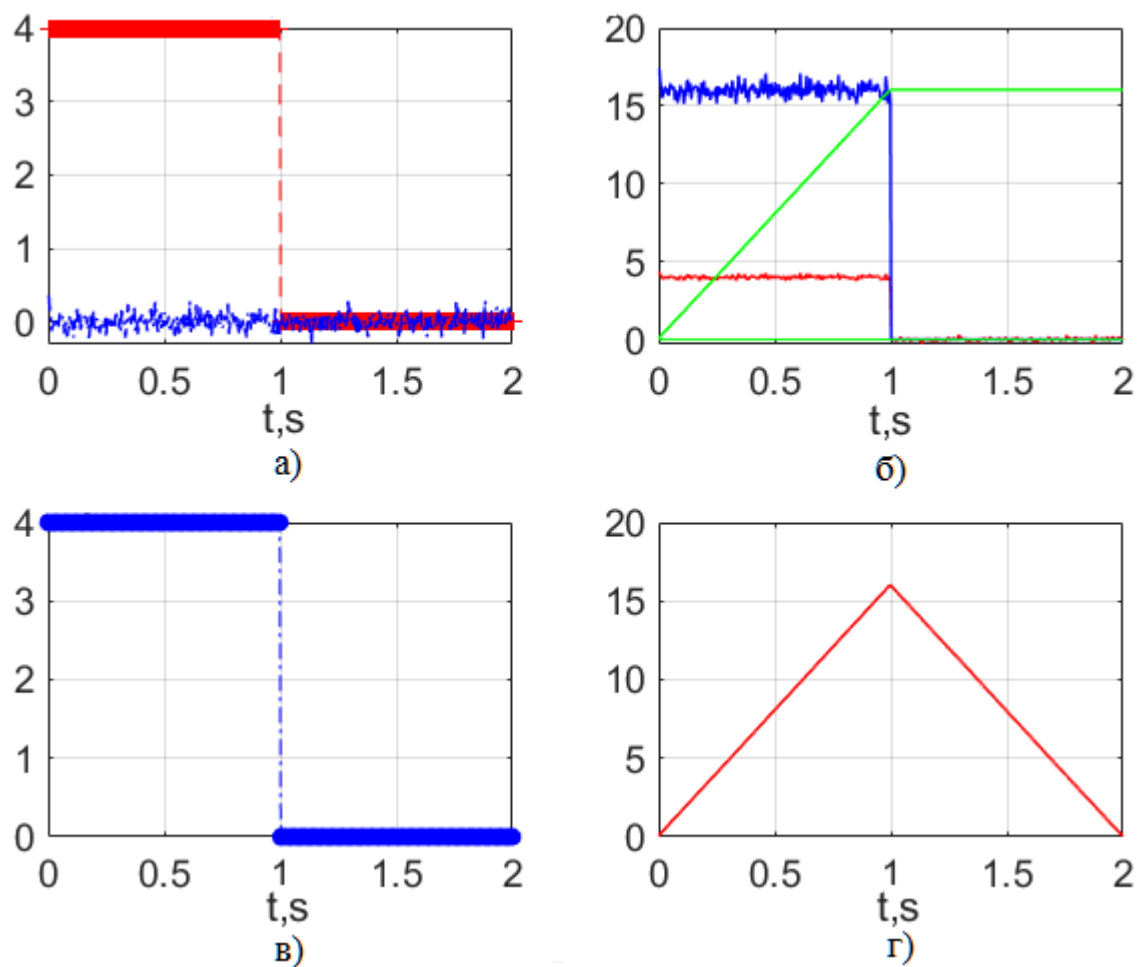


Рис. 3.1 — Приклади графіків: сигнал (червона ламана лінія), завада (синя крива) (а); спостереження (червона крива), сигнал на виході помножувача (синя крива), сигнал на виході інтегратора (зелена ламана лінія) (б); імпульсна характеристика узгодженого фільтра (в); сигнал на виході узгодженого фільтра (г)

1.10. Вивести на екран монітору та занести в звіт графіки:

- а) амплітудно-частотного спектру сигналу;
- б) фазо-частотного спектру сигналу;
- в) амплітудно-частотної характеристики узгодженого фільтра;

г) фазо-частотної характеристики узгодженого фільтру.

На основі отриманих результатів зробити відповідні висновки. Приклади графіків приведені на рис. 3.2.

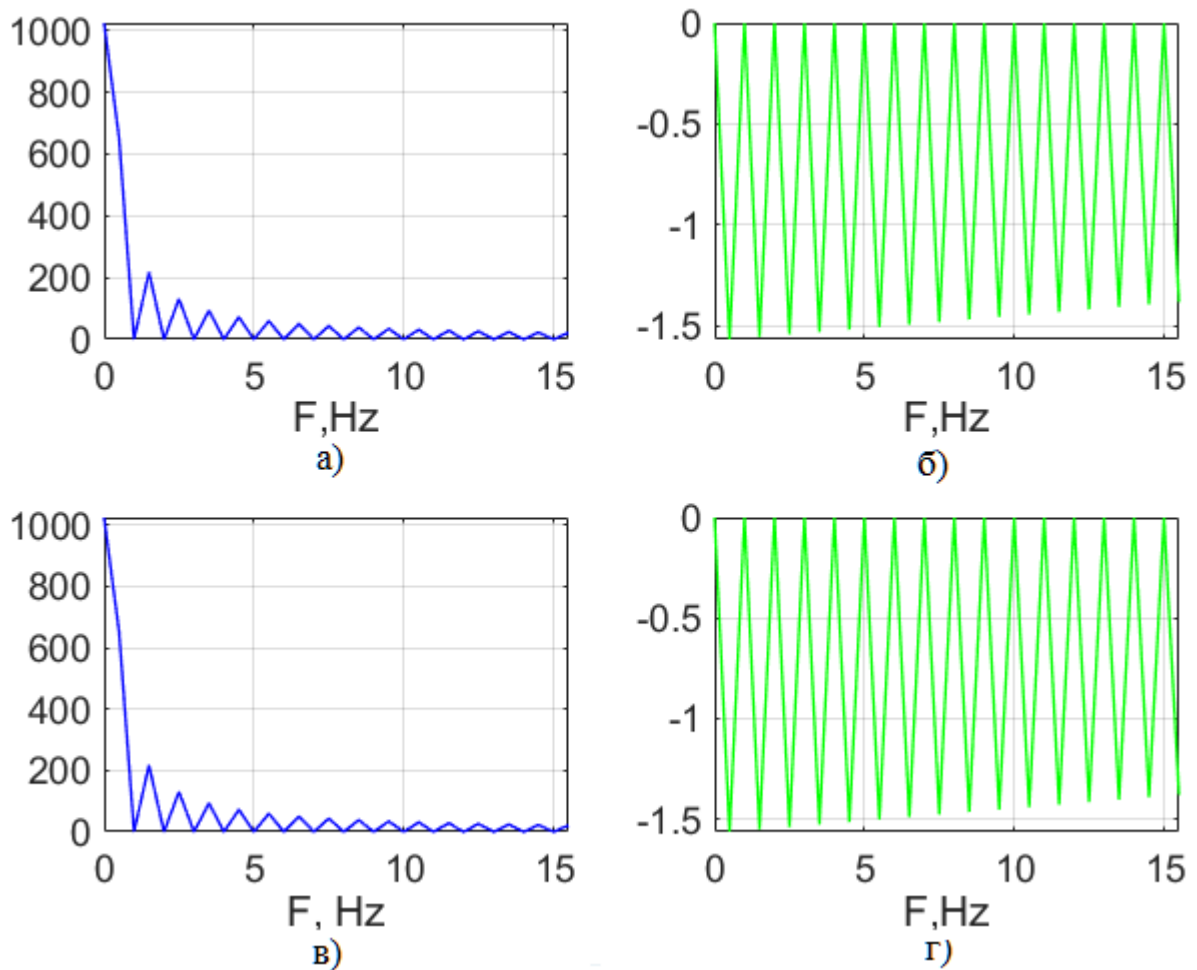


Рис. 3.2 — Амплітудно-частотний спектр сигналу (а); фазо-частотний спектр сигналу (б); амплітудно-частотна характеристика узгодженого фільтру (в); фазо-частотна характеристика узгодженого фільтру (г)

1.11. Повторно виконати пункти завдання 1.2—1.9, задавши СКВ завади (параметр $СКВn$) на вході пристрою, рівним $E_s/3$, де E_s — це енергія сигналу. Розрахувати значення відношення Сигнал/Шум. Результати відобразити у звіті та надати відповідні висновки.

2. Дослідження кореляційного приймача і узгодженого фільтру для пачки з чотирьох відеоімпульсів

2.1. Ознайомитися із програмою OptprmV4, за допомогою якої виконується дослідження результату роботи кореляційного приймача та узгодженого фільтру при обробці пачки відеоімпульсів.

Лістинг програми OptprmV4:

```
clear;
close all;
clc;

NS=256;
NS4=NS/4;
N=2*NS;
N2=N/2;
A=input('Введіть A=')
T=input('Введіть T=')
dt=T/(N-1)
Fm=1/(2*dt);
ff1 = 1/(dt*(N-1)) * (0:N2-1);
t=(0:N-1)*dt;
KOD(1)=1;
KOD(2)=1;
KOD(3)=-1;
KOD(4)=1;

%Сигнал;
s0=zeros(1,N);
for i=1:NS4
    s0(i)=A*KOD(1);
end

for i=NS4+1:2*NS4
    s0(i)=A*KOD(2);
end

for i=2*NS4+1:3*NS4
    s0(i)=A*KOD(3);
end

for i=3*NS4+1:4*NS4
    s0(i)=A*KOD(4);
end

%Завада
CKBn=input('Введіть CKBn=')
n=CKBn.*randn(1,N);

%Сигнал+Перешкода
s=s0+n;
subplot(221); plot(t,s0,'--r',t,n,'-.b'),
title('Сигнал, Завада'), xlabel('t,s'); grid;
```

```

%Кореляційний інтеграл
pr=s.*s0;
KInt=zeros(N);
KInt(1)=pr(1)*dt;

for i=2:NS
    KInt(i)=KInt(i-1)+pr(i)*dt;
end

integral_T=KInt(NS);

for i=NS+1:N
    KInt(i)=integral_T;
end

subplot(222); plot(t,s,'r',t,pr,'b',t,KInt,'g'),
title('Спостереження, Добуток, Інтеграл'), xlabel('t,s'); grid;

%Імпульсна характеристика узгодженого фільтра
h=zeros(1,N);
for i=0:NS-1
    h(i+1)=s0(NS-i);
end

subplot(223); plot(t,h,'-.ob'),
title('Імпульсна х-ка Узг.Фільтра'), xlabel('t,s'); grid;

%Реалізація узгодженого фільтра - згорткою
c=conv(s,h);
c=c.*dt;
t1=(0:2*N-2)*dt;

subplot(224); plot(t,c(1:N),'r'),
title('Згортка'), xlabel('t,s'); grid;
pause

% АЧС та ФЧС сигналу
S = fft(s0);
Sabs = abs(S);
Sangl = angle(S);

figure;
subplot(221); plot(ff1(1:32),Sabs(1:32),'b'), title('АЧС сигналу'),
xlabel('F,Hз'); grid;
subplot(222); plot(ff1(1:32),Sangl(1:32),'g'),title('ФЧС сигналу'),
xlabel('F,Hз'); grid;

% АЧХ та ФЧХ узгодженого фільтра
H = fft(h);
Habs = abs(H);
Hangl = angle(H);
subplot(223);plot(ff1(1:32),Habs(1:32),'b'), title('АЧХ Узг.Фільтра'),
xlabel('F,Hз'); grid;
subplot(224); plot(ff1(1:32),Hangl(1:32),'g'), title('ФЧХ Узг.Фільтра'),
xlabel('F,Hз'); grid;

```

2.2. Запустити в MATLAB програму OptprmV4.

2.3. Відповідно до варіанту задати амплітуду відеоімпульсу A .

2.4. Відповідно до варіанту ввести тривалість T пачки з чотирьох відеоімпульсів.

2.5. Записати у звіт отримане значення кроку дискретизації dt , що відображене в командному вікні MATLAB.

2.6. Задати значення середнього квадратичного відхилення завади (параметр $CKBn$) рівним 0.1.

2.7. Розрахувати відношення Сигнал/Шум на виході кореляційного приймача.

2.8. Вивести на екран монітору та занести у звіт графіки:

- а) сигналу та завади;
- б) спостереження (суміш сигналу та завади); сигналу на виході помножувача; сигналу на виході інтегратора;
- в) імпульсної характеристики узгодженого фільтру;
- г) сигналу на виході узгодженого фільтру.

Порівняти сигнали на виході кореляційного приймача і узгодженого фільтру та зробити висновки. Порівняти результати із отриманими в першій частині лабораторної роботи.

Приклади сигналів, які необхідно отримати, показано на рис. 3.3. Отримані результати відображено для випадку наступних вхідних параметрів: $A=4$, $T=2$, $CKBn=0.1$.

2.9. Вивести на екран монітору та занести в звіт графіки:

- а) амплітудно-частотного спектру сигналу;
- б) фазо-частотного спектру сигналу;
- в) амплітудно-частотної характеристики узгодженого фільтру;
- г) фазо-частотної характеристики узгодженого фільтру.

На основі отриманих результатів зробити відповідні висновки. Порівняти з аналогічними результатами першої частини роботи. Приклади графіків приведено на рис. 3.4.

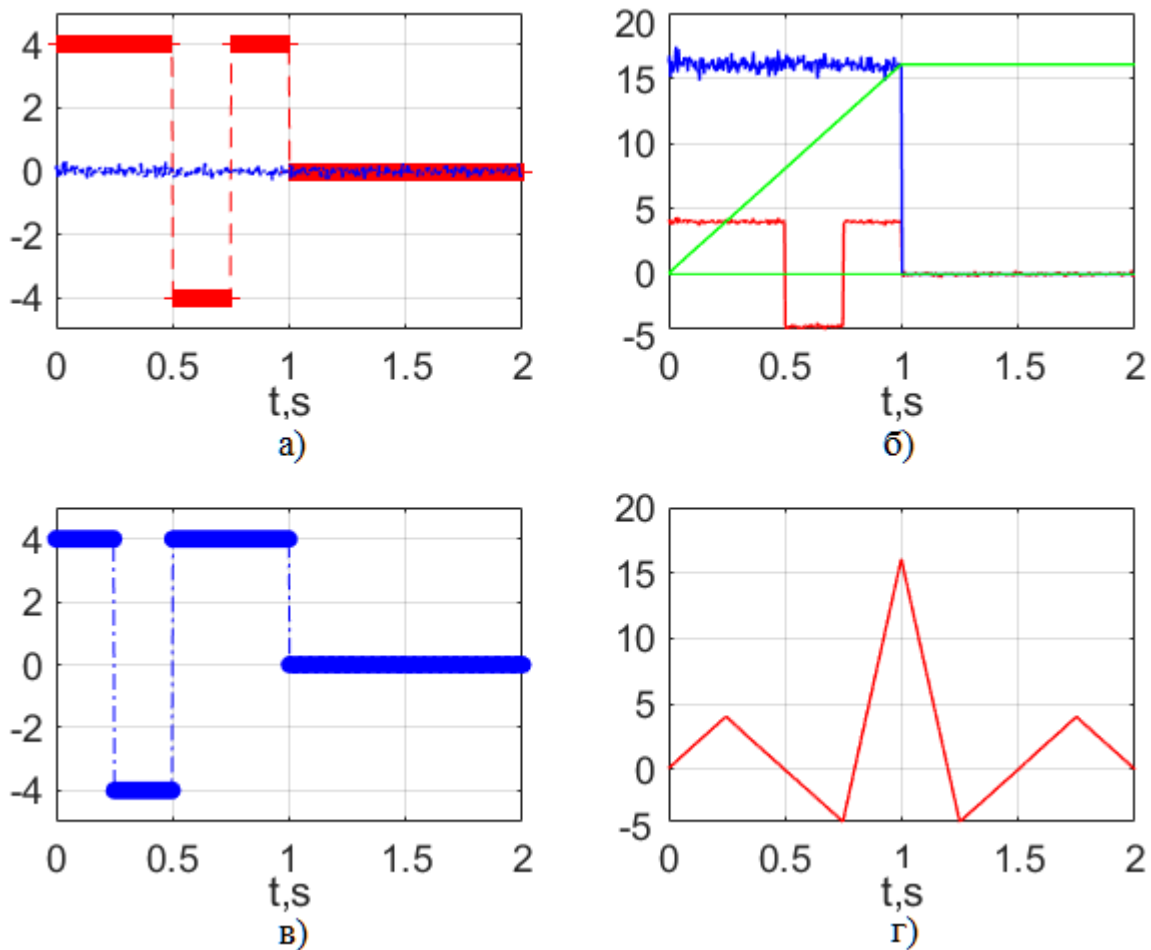


Рис. 3.3 — Приклади графіків: сигнал (червона ламана лінія), завада (синя крива) (а); спостереження (червона крива), сигнал на виході помножувача (синя крива), сигнал на виході інтегратора (зелена ламана лінія) (б); імпульсна характеристика узгодженого фільтра (в); сигнал на виході узгодженого фільтра (г). Графіки отримані при значеннях вхідних параметрів: $A=4$, $T=2$, $CKBn=0.1$

2.10. Повторно виконати пункти 2.2—2.8 при СКВ завади на вході пристрою рівному $E_s/3$, де E_s — це енергія сигналу. Розрахувати значення відношення Сигнал/Шум. Результати відобразити у звіті.

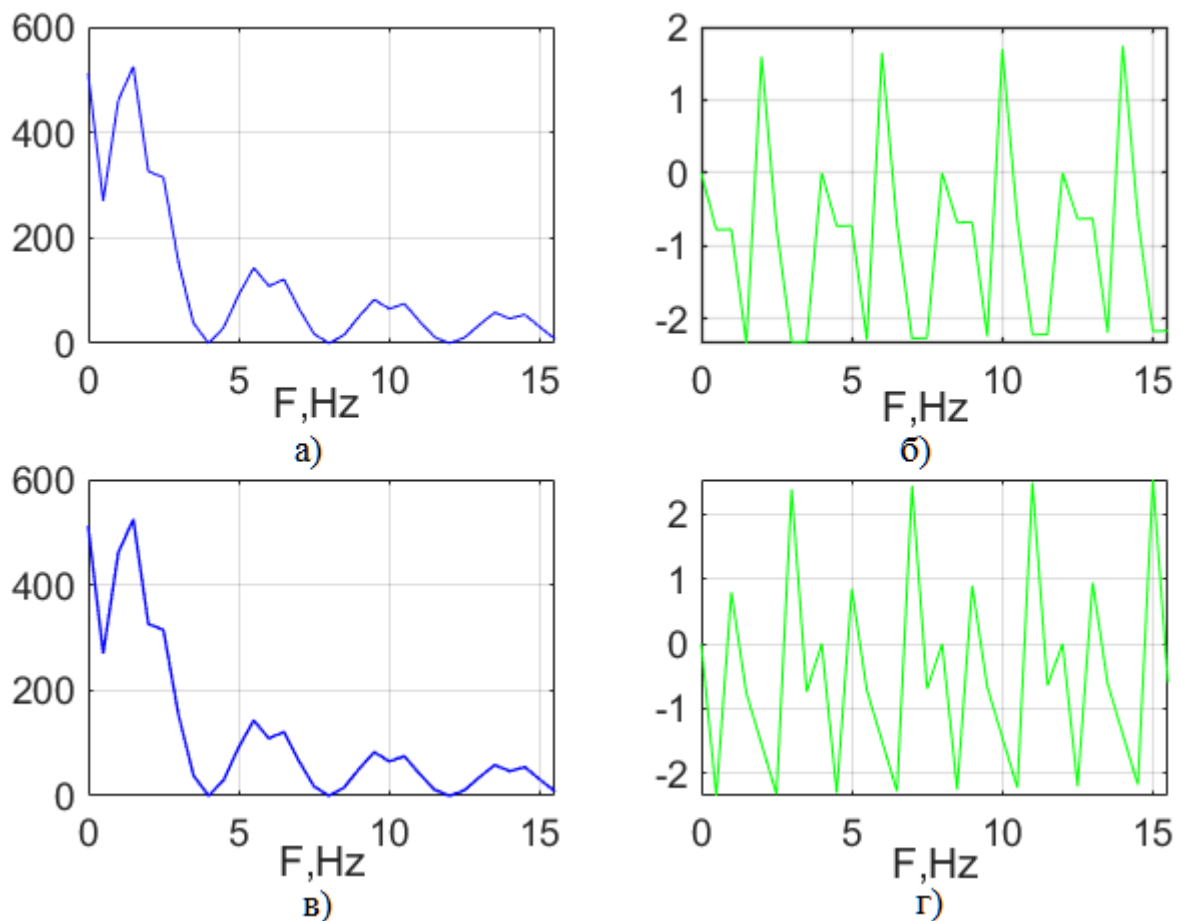


Рис. 3.4 — Амплітудно-частотний спектр сигналу (а); фазо-частотний спектр сигналу (б); амплітудно-частотна характеристика узгодженого фільтру (в); фазо-частотна характеристика узгодженого фільтру (г)

3. Дослідження кореляційного приймача і узгодженого фільтру для одиночного радіоімпульсу

3.1. Ознайомитися із програмою OptprmR1, за допомогою якої моделюється робота кореляційного приймача і узгодженого фільтру для одиночного радіоімпульсу.

Лістинг програми OptprmR1:

```
clear;
close all;
clc;
```

```
NS=256;
N=2*NS;
N2=N/2;
```

```

A=input('Введіть A=')
T=input('Введіть T=')
dt=T/(N-1),
Fm=1/(2*dt);
ff1 = 1/(dt*(N-1)) * (0:N2-1);
t=(0:N-1)*dt;
f0=3.9921875;

%Сигнал;
s0=zeros(1,N);
for i=1:NS
    s0(i)=A*sin(2*pi*f0*(i-1)*dt);
end

%Завада
CKBn=input('Введіть CKBn=')
n=CKBn.*randn(1,N);

%Сигнал+Завада
s=s0+n;
subplot(221); plot(t,s0,'r',t,n,'b'),
title('Сигнал, Завада'), xlabel('t,s'); grid;

%Кореляційний інтеграл
pr=s.*s0;
KInt=zeros(N);
KInt(1)=pr(1)*dt;

for i=2:NS
    KInt(i)=KInt(i-1)+pr(i)*dt;
end
integral_T=KInt(NS);
for i=NS+1:N
    KInt(i)=integral_T;
end

subplot(222); plot(t,s,'r',t,pr,'b',t,KInt,'g'),
title('Спостереження, Добуток, Інтеграл'), xlabel('t,s'); grid;

%Імпульсна характеристика узгодженого фільтра
h=zeros(1,N);
for i=0:NS-1
    h(i+1)=s0(NS-i);
end
subplot(223); plot(t,h,'b'),
title('Імпульсна х-ка Узг.Фільтра'), xlabel('t,s'); grid;

%Реалізація узгодженого фільтра - згорткою
c=conv(s,h);
c=c.*dt;
t1=(0:2*N-2)*dt;

subplot(224); plot(t,c(1:N),'r'),
title('Згортка'), xlabel('t,s'); grid;
pause
% АЧС та ФЧС сигналу
S = fft(s0);
Sabs = abs(S);
Sangl = angle(S);

```

```

figure;
subplot(221); plot(ffl(1:64),Sabs(1:64),'b'), title('АЧС сигналу'),
xlabel('F,Hз'); grid;
subplot(222); plot(ffl(1:64),Sangl(1:64),'g'),title('ФЧС сигналу'),
xlabel('F,Hз'); grid;

% АЧХ та ФЧХ узгодженого фільтра
H = fft(h);
Habs = abs(H);
Hangl = angle(H);
subplot(223);plot(ffl(1:64),Habs(1:64),'b'), title('АЧХ Узг.Фільтру'),
xlabel('F,Hз'); grid;
subplot(224); plot(ffl(1:64),Hangl(1:64),'g'), title('ФЧХ Узг.Фільтру')
xlabel('F,Hз'); grid;

```

3.2. Запустити в MATLAB програму OptprmR1.

3.3. Відповідно до варіанту задати амплітуду радіоімпульсу A .

3.4. Відповідно до варіанту ввести тривалість радіоімпульсу T .

3.5. Записати у звіт отримане значення кроку дискретизації dt , що відображене в командному вікні MATLAB.

3.6. Задати значення середнього квадратичного відхилення завади (параметр $CKBn$) рівним 0.1.

3.7. Розрахувати спектральну щільність потужності еквівалентного білого шуму N_0 .

3.8. Розрахувати відношення Сигнал/Шум на виході кореляційного приймача.

3.9. Вивести на екран монітору та занести у звіт наступні графіки:

- а) сигналу та завади;
- б) спостереження (суміш сигналу та завади); сигналу на виході помножувача; сигналу на виході інтегратора;
- в) імпульсної характеристики узгодженого фільтру;
- г) сигналу на виході узгодженого фільтру.

Порівняти сигнали на виході кореляційного приймача і узгодженого фільтру і зробити висновки. Приклади сигналів, які необхідно отримати, показані на рис. 3.5. Отримані результати відображені для випадку наступних вхідних параметрів: $A=4$, $T=2$, $CKBn=0.1$.

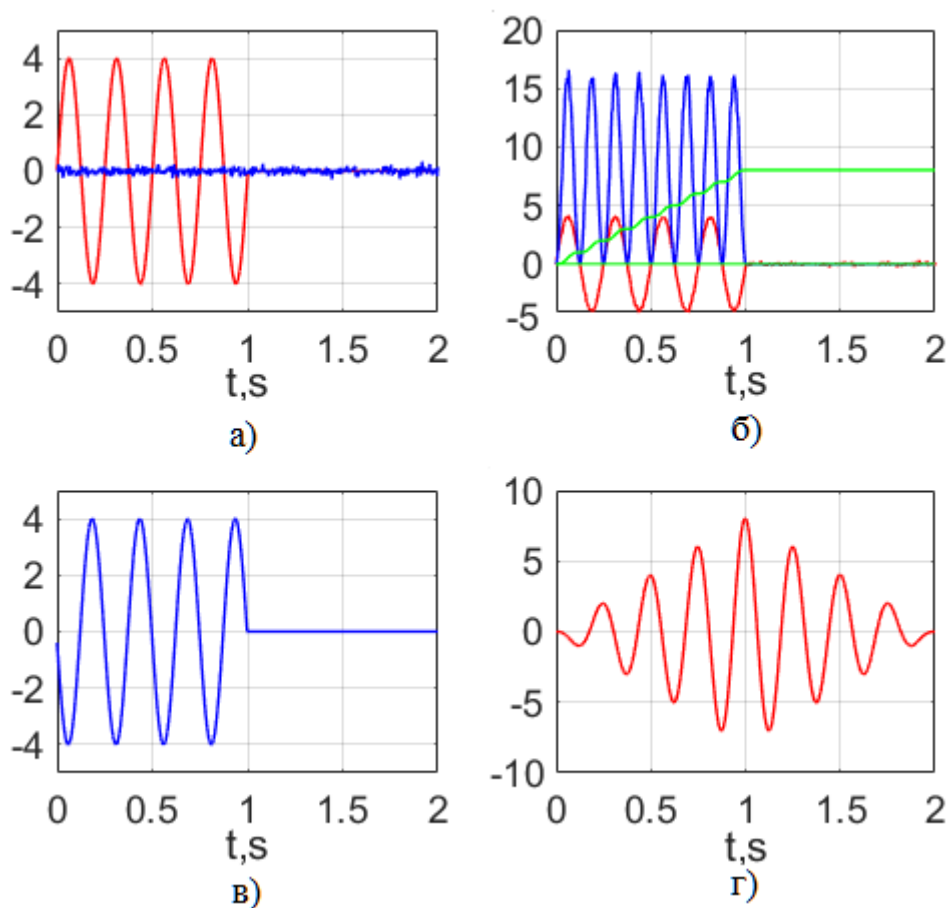


Рис. 3.5 — Приклади графіків: сигнал (червона крива), завада (синя крива) (а); спостереження (червона крива), сигнал на виході помножувача (синя крива), сигнал на виході інтегратора (зелена крива) (б); імпульсна характеристика узгодженого фільтра (синя крива) (в); сигнал на виході узгодженого фільтра (червона крива) (г). Графіки отримані при значеннях вхідних параметрів: $A=4$, $T=2$, $CKBn=0.1$

3.10. Вивести на екран монітору та занести в звіт графіки:

- а) амплітудно-частотного спектру сигналу;
- б) фазо-частотного спектру сигналу;
- в) амплітудно-частотної характеристики узгодженого фільтра;
- г) фазо-частотної характеристики узгодженого фільтра.

На основі отриманих результатів зробити відповідні висновки. Приклади графіків приведені на рис. 3.6.

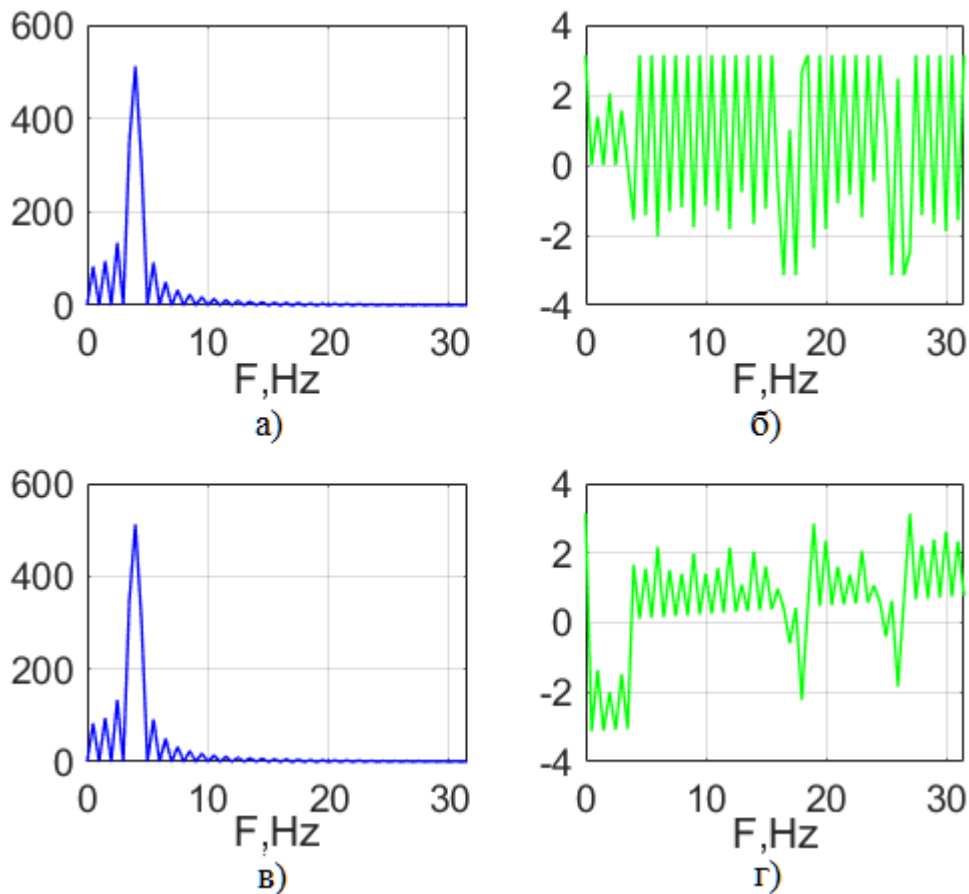


Рис. 3.6 — Амплітудно-частотний спектр сигналу (а); фазо-частотний спектр сигналу (б); амплітудно-частотна характеристика узгодженого фільтру (в); фазо-частотна характеристика узгодженого фільтру (г)

3.11. Повторно виконати пункти 3.2—3.9 при СКВ завади на вході пристрою рівному $E_s/3$, де E_s — це енергія сигналу. Розрахувати значення відношення Сигнал/Шум. Результати відобразити у звіті.

4. Дослідження кореляційного приймача і узгодженого фільтру для пачки радіоімпульсів

4.1. Ознайомитися із програмою OptprmR4, за допомогою якої виконується дослідження результату роботи кореляційного приймача та узгодженого фільтру при обробці пачки радіоімпульсів.

Лістинг програми OptprmR4:

```

clear;
close all;
clc;

NS=256;
NS4=NS/4;
N=2*NS;
N2=N/2;
A=input('Введіть A=')
T=input('Введіть T=')
dt=T/(N-1)
Fm=1/(2*dt);
ff1 = 1/(dt*(N-1)) * (0:N2-1);
t=(0:N-1)*dt;
f0=3.9921875;
%f0=7.984375;
KOD(1)=1;KOD(2)=1;KOD(3)=-1;KOD(4)=1;

%Сигнал;
s0=zeros(1,N);
for i=1:NS4;s0(i)=A*KOD(1)*sin(2*pi*f0*(i-1)*dt);end
for i=NS4+1:2*NS4;s0(i)=A*KOD(2)*sin(2*pi*f0*(i-1)*dt);end
for i=2*NS4+1:3*NS4;s0(i)=A*KOD(3)*sin(2*pi*f0*(i-1)*dt);end
for i=3*NS4+1:4*NS4;s0(i)=A*KOD(4)*sin(2*pi*f0*(i-1)*dt);end

%Завада
CKBn=input('Введіть SKOn=')
n=CKBn.*randn(1,N);

%Сигнал+Завада
s=s0+n;
subplot(221); plot(t,s0,'r',t,n,'b'),
title('Сигнал, Завада'), xlabel('t,s'); grid;

%Кореляційний інтеграл
pr=s.*s0;
KInt=zeros(N);
KInt(1)=pr(1)*dt;
for i=2:NS
    KInt(i)=KInt(i-1)+pr(i)*dt;
end

integral_T=KInt(NS);

for i=NS+1:N
    KInt(i)=integral_T;
end

subplot(222); plot(t,s,'r',t,pr,'b',t,KInt,'g'),
title('Спостереження, Добуток, Інтеграл'), xlabel('t,s'); grid;

%Імпульсна характеристика узгодженого фільтра
h=zeros(1,N);
for i=0:NS-1
    h(i+1)=s0(NS-i);
end

subplot(223); plot(t,h,'b'),
title('Імпульсна х-ка Узг.Фільтра'), xlabel('t,s'); grid;

```

```

%Реалізація узгодженого фільтра - згорткою
c=conv(s,h);
c=c.*dt;
t1=(0:2*N-2)*dt;
subplot(224); plot(t,c(1:N),'r'),
title('Згортка'), xlabel('t,s'); grid; pause

% АЧС та ФЧС сигналу
S = fft(s0);
Sabs = abs(S);
Sangl = angle(S);

figure;
subplot(221); plot(ffl(1:64),Sabs(1:64),'b'), title('АЧС сигналу'),
xlabel('F, Hz'); grid;
subplot(222); plot(ffl(1:64),Sangl(1:64),'g'),title('ФЧС сигналу'),
xlabel('F, Hz'); grid;

% АЧХ та ФЧХ узгодженого фільтра
H = fft(h);
Habs = abs(H);
Hangl = angle(H);
subplot(223);plot(ffl(1:64),Habs(1:64),'b'), title('АЧХ Узг.Фільтру'),
xlabel('F, Hz'); grid;
subplot(224); plot(ffl(1:64),Hangl(1:64),'g'), title('ФЧХ Узг.Фільтру')
xlabel('F, Hz'); grid;

```

4.2. Запустити в MATLAB програму OptprmR4.

4.3. Відповідно до варіанту задати амплітуду радіоімпульсу A .

4.4. Відповідно до варіанту задати тривалість T пачки з чотирьох радіоімпульсів.

4.5. Записати у звіт отримане значення кроку дискретизації dt , що відображене в командному вікні MATLAB.

4.6. Задати значення середнього квадратичного відхилення завади (параметр $CKBn$) рівним 0.1.

4.7. Розрахувати відношення Сигнал/Шум на виході кореляційного приймача.

4.8. Вивести на екран монітору та занести у звіт графіки:

а) сигналу та завади;

б) спостереження (суміш сигналу та завади); сигналу на виході помножувача; сигналу на виході інтегратора;

в) імпульсної характеристики узгодженого фільтру;

г) сигналу на виході узгодженого фільтру.

Порівняти сигнали на виході кореляційного приймача і узгодженого фільтру і зробити висновки. Порівняти результати з результатами, що отримані в третій частині лабораторної роботи роботи.

Приклади сигналів, які необхідно отримати, показано на рис. 3.7. Отримані результати відображено для випадку наступних вхідних параметрів: $A=4$, $T=2$, $CKBn=0.1$.

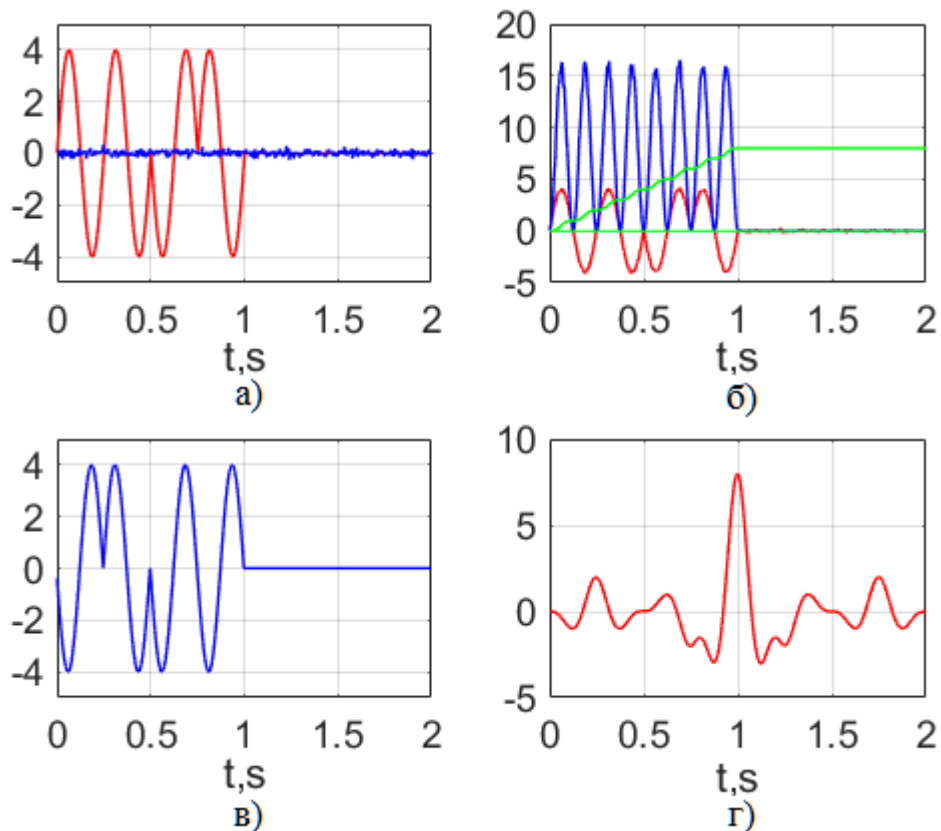


Рис. 3.7 — Приклади графіків: сигнал (червона крива), завада (синя крива) (а); спостереження (червона крива), сигнал на виході помножувача (синя крива), сигнал на виході інтегратора (зелена лінія) (б); імпульсна характеристика узгодженого фільтру (в); сигнал на виході узгодженого фільтру (г). Графіки отримані при значеннях вхідних параметрів: $A=4$, $T=2$, $CKBn=0.1$

4.9. Вивести на екран монітору та занести в звіт графіки:

а) амплітудно-частотного спектру сигналу;

- б) фазо-частотного спектру сигналу;
- в) амплітудно-частотної характеристики узгодженого фільтру;
- г) фазо-частотної характеристики узгодженого фільтру.

На основі отриманих результатів зробити відповідні висновки. Порівняти з аналогічними результатами третьої частини роботи. Приклади графіків приведені на рис. 3.8.

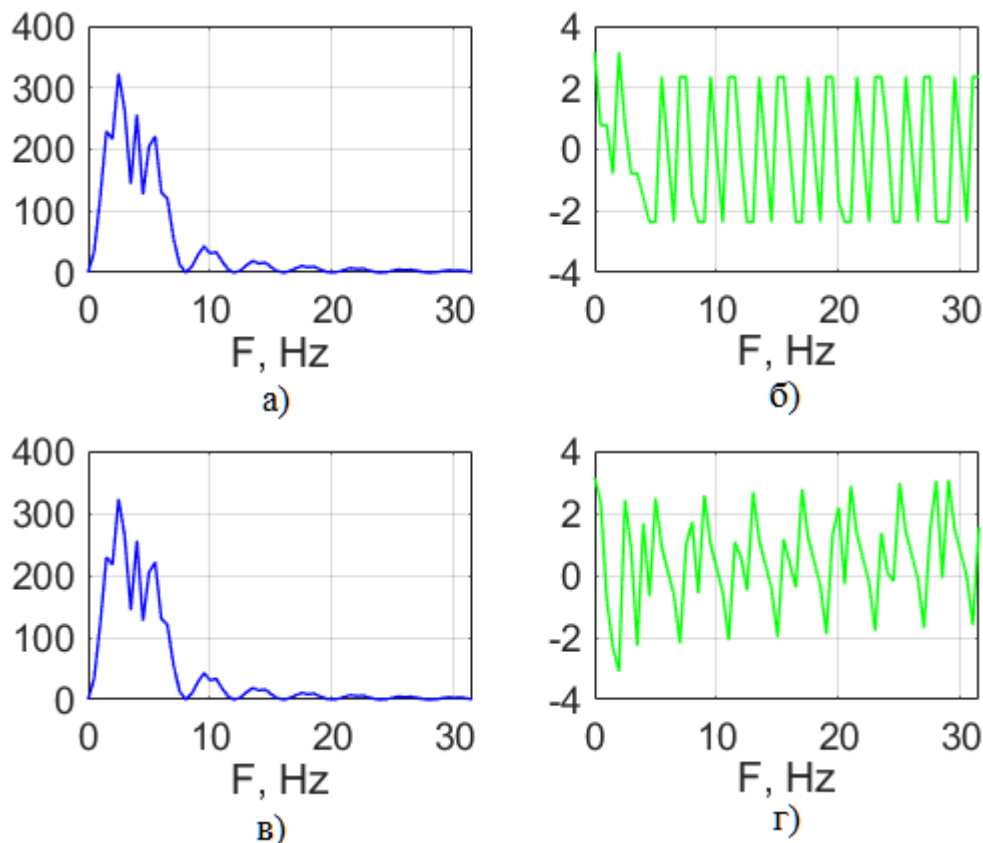


Рис. 3.8 — Амплітудно-частотний спектр сигналу (а); фазо-частотний спектр сигналу (б); амплітудно-частотна характеристика узгодженого фільтру (в); фазо-частотна характеристика узгодженого фільтру (г)

4.10. Повторно виконати пункти 4.2—4.8 при СКВ завади на вході пристрою рівному $E_s/3$, де E_s — це енергія сигналу. Розрахувати значення відношення Сигнал/Шум. Результати відобразити у звіті.

Контрольні запитання до лабораторної роботи № 3

1. Що таке узгоджений фільтр? Яку форму має імпульсна характеристика узгодженого фільтру?
2. Що таке згортка? Графічно поясніть принцип знаходження згортки. Запишіть формулу знаходження згортки.
3. Поясніть принцип функціонування кореляційного приймача. Яким чином визначається кореляційний інтеграл в лабораторній роботі?
4. Для вирішення яких задач можуть застосовуватися узгоджений фільтр та кореляційний приймач?
5. Як визначити відношення Сигнал/Шум на виході кореляційного приймача?
6. Як визначити енергію одиночного радіоімпульсу? Продемонструйте на прикладі знаходження енергії одиночного радіоімпульсу.
7. Як визначити енергію пачки радіоімпульсів? Продемонструйте на прикладі знаходження енергії пачки радіоімпульсів.
8. Як визначити енергію одиночного відеоімпульсу? Продемонструйте на прикладі знаходження енергії одиночного відеоімпульсу.
9. Як визначити енергію пачки відеоімпульсів? Продемонструйте на прикладі знаходження енергії пачки відеоімпульсів.

4. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4 «ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИМАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ВИЯВЛЕННЯ»

Мета роботи: здобути навички в реалізації методів проектування оптимальних пристроїв виявлення, вивченні методики моделювання радіотехнічних пристроїв в середовищі MATLAB, дослідженні характеристик оптимального пристрою виявлення.

При підготовці до виконання лабораторної роботи необхідно повторити лекційний матеріал по темі лабораторної роботи, особливу увагу приділивши аналітичним залежностям, які використовуються для опису щільності ймовірності на виході кореляційного приймача, а також методиці синтезу оптимального пристрою виявлення по критерію Неймана-Пірсона.

Етапи виконання лабораторної роботи

1. Дослідження теоретичних характеристик оптимального пристрою виявлення

1.1. Ознайомитися із програмою ObnarT, за допомогою якої по заданій ймовірності помилкової тривоги PL розраховується значення нормованого порогу H_{norm} і ймовірність виявлення сигналу PD оптимальним по критерію Неймана-Пірсона пристроєм виявлення.

Розібрати особливості застосування бібліотечної функції `normcdf()` для обчислення інтегралу ймовірності $p=F(x)$, а також функції `norminv()` для обчислення аргументу інтегралу ймовірності $x=F^{-1}(p)$.

Лістинг програми ObnarT:

```
clear;
close all;
clc;
PL=input('Введіть ймовірність хибної тривоги PL=');
%Нормований поріг
Hnorm=norminv(1-PL,0,1)
K=12;%Кількість точок графіка
```

```

h=zeros(1,K);
h(1)=0.0;
for i=1:K-1
    h(i+1)=h(i)+0.5;
end
h
% Ймовірність виявлення сигналу
PD = normcdf(h-Hnorm)
plot(h,PD), title('PD'), xlabel('h');
grid;

```

1.2. Запустити в MATLAB програму ObnarT.

1.3. Відповідно до варіанту ввести ймовірність помилкової тривоги PL .
Значення вхідних параметрів для кожного варіанту наведені в Додатку Г.

1.4. Занести у звіт розраховане значення нормованого порогу H_{norm} .
Записати в звіті формулу, яка дозволяє розрахувати значення нормованого порогу.

1.5. Занести в звіт масив значень параметру $h = \sqrt{2E_s/N_0}$ і відповідні їм значення ймовірності виявлення сигналу PD . Записати формулу по якій вона розраховується.

1.6. Занести у звіт графік розрахованої залежності $PD=f(h)$. Приклад графіку для випадку заданого значення ймовірності помилкової тривоги $PL=0.1$ показано на рис. 4.1.

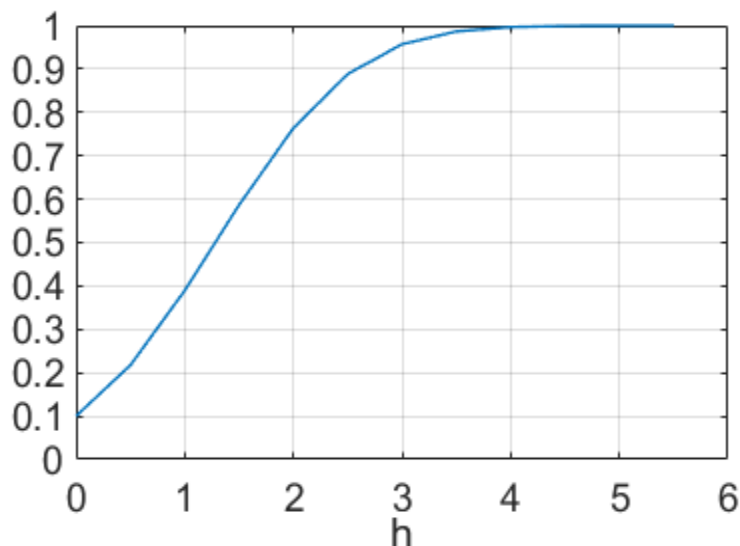


Рис. 4.1 — Залежність ймовірності виявлення сигналу PD від значення порогу h

2. Дослідження сигналів в різних точках структурної схеми оптимального пристрою виявлення

2.1. Ознайомитися із програмою ObnarRis, яка дозволяє вивчити вид сигналів в різних точках структурної схеми оптимального пристрою виявлення.

Розібратися із особливостями застосування функції `normpdf()` для побудови гаусівської щільності ймовірності.

Лістинг програми ObnarRis:

```
clear;
close all;
clc;

N=256; %Число відліків сигналу
M=2; %Число випробувань
f0=5; %Носійна частота сигналу

A=input('Введіть A=')
T=input('Введіть T=') %тривалість сигналу
dt=T/(N-1) %Крок дискретизації
L=1;

Hnorm=input('Введіть значення порогу Hnorm=')
t=(0:N-1)*dt;
t1=(0:2*N-1)*dt;

%Сигнал;
s0=A*sin(2*pi*f0.*t);
h=input('Введіть h=')

%Розрахунок Es, N0, CKBn, CKBqn, H
Es=A^2*T/2;
N0=2*Es/h^2;
Dn=N0/(2*dt);
CKBn=sqrt(Dn)
Dqn=N0*Es/2;
CKBqn=sqrt(Dqn)
H=Hnorm*CKBqn

for i=1:2*N;
    Hmas(i)=H;
end

figure;
subplot(211); plot(t,s0,'g'),
title('Сигнал'), xlabel('t,c');
pause

for m=1:M
    %Завада
    n=CKBn.*randn(1,N);
```

```

%Сигнал+Завада
if L==1
    s=s0+n;
    L=L-1;
else
    s=n;
end

subplot(212); plot(t,n,'b',t,s,'r'),
title('Спостереження, Завада'), xlabel('t,c');
pause

%Кореляційний інтеграл
pr=s.*s0;
KInt=zeros(N);
KInt(1)=pr(1)*dt;

for i=2:N
    KInt(i)=KInt(i-1)+pr(i)*dt;
end

integral_T=KInt(N);

for l=1:N
    Smas(l+(m-1)*N)=s(l);
end

for l=1:N
    PRmas(l+(m-1)*N)=pr(l);
end

for l=1:N
    KIntmas(l+(m-1)*N)=KInt(l);
end
end

figure;
subplot(221); plot(t1,Smas,'g'),
title('Спостереження'), xlabel('t,c');
subplot(222); plot(t1,PRmas,'g'),
title('Добуток'), xlabel('t,c');
subplot(223); plot(t1,KIntmas,'g',t1,Hmas,'r'),
title('Інтеграл, Попір'), xlabel('t,c');

x=[-20:0.2:30];

fq0=normpdf(x,0,CKBqn);
fq1=normpdf(x,Es,CKBqn);

subplot(224); plot(x,fq0,'b',x,fq1,'r'),
title('fq0, fq1'); grid;

```

2.2. Запустити в MATLAB програму ObnarRis.

2.3. Відповідно до варіанту ввести амплітуду радіоімпульсу A .

2.4. Відповідно до варіанту ввести тривалість радіоімпульсу T .

2.5. Записати у звіт отримане значення кроку дискретизації dt .

2.6. Ввести розраховане програмою ObnarT значення нормованого порогу H_{norm} .

2.7. Ввести значення параметру h , яке відповідає великому значенню відношення Сигнал/Шум . Для цього, використовувати отриману залежність $PD=f(h)$ і обмеження $PD \geq 0.99$.

2.8. Занести у звіт розраховане значення енергії сигналу E_s . Записати формулу по якій вона визначається.

2.9. Занести в звіт значення СЦП завади N_0 , що розрахована для заданого параметру h Записати формулу по якій визначається СЦП завади.

2.10. Занести в звіт розраховане СКВ завади на вході пристрою виявлення (параметр $СКВn$). Записати формулу по якій воно визначається.

2.11. Занести в звіт розраховане СКВ шумової складової на виході корелятора (параметр $СКВqn$). Записати формулу по якій воно визначається.

2.12. Занести в звіт розраховане абсолютне значення порогу H . Записати формулу по якій він визначається.

2.13. Отримати і занести в звіт графік радіоімпульсу, який підлягає виявленню. Приклад радіоімпульсу показаний на рис. 4.2.

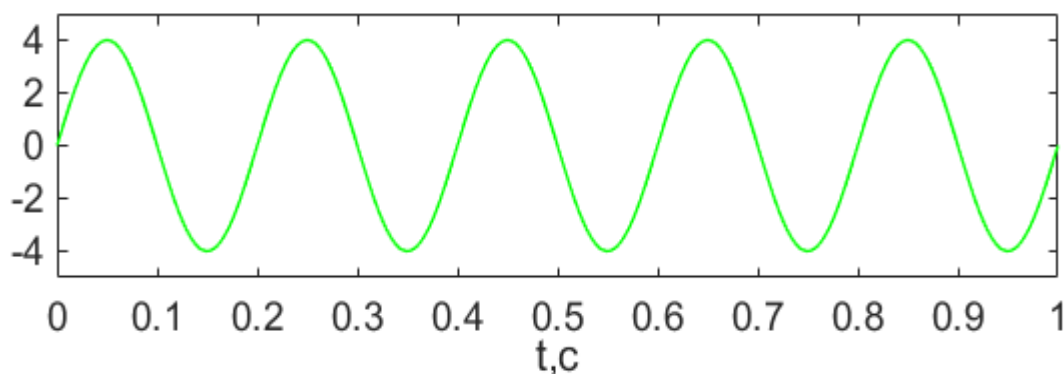


Рис. 4.2 —Радіоімпульс, що підлягає виявленню

2.14. Отримати та занести в звіт графік завади, а також графік спостереження на вході пристрою виявлення при наявності в суміші корисного сигналу. Приклад відповідних графіків показано на рис.4.3.

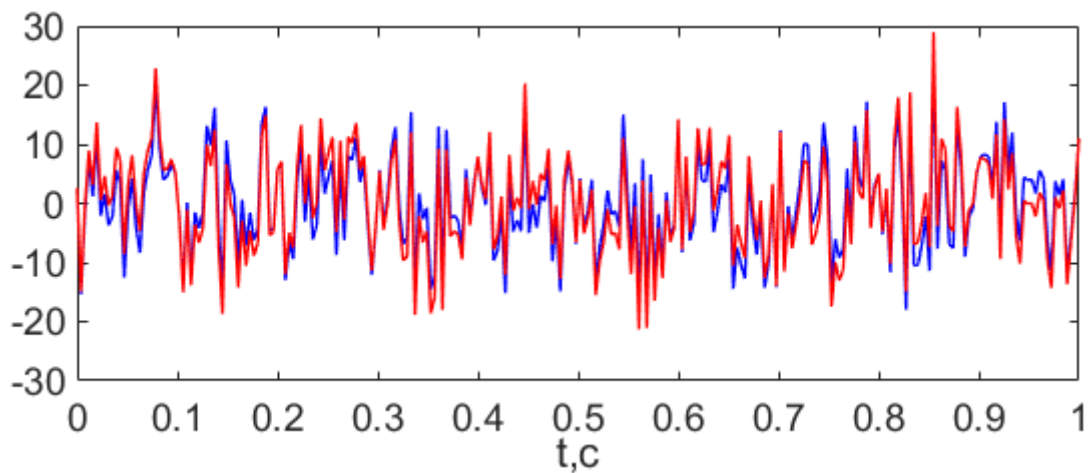


Рис. 4.3 — Графік завади (синя крива) та графік суміші, що містить корисний сигнал (червона крива)

2.15. Отримати та занести в звіт графік спостереження, при відсутності в суміші корисного сигналу. Приклад графіку показано на рис. 4.4.

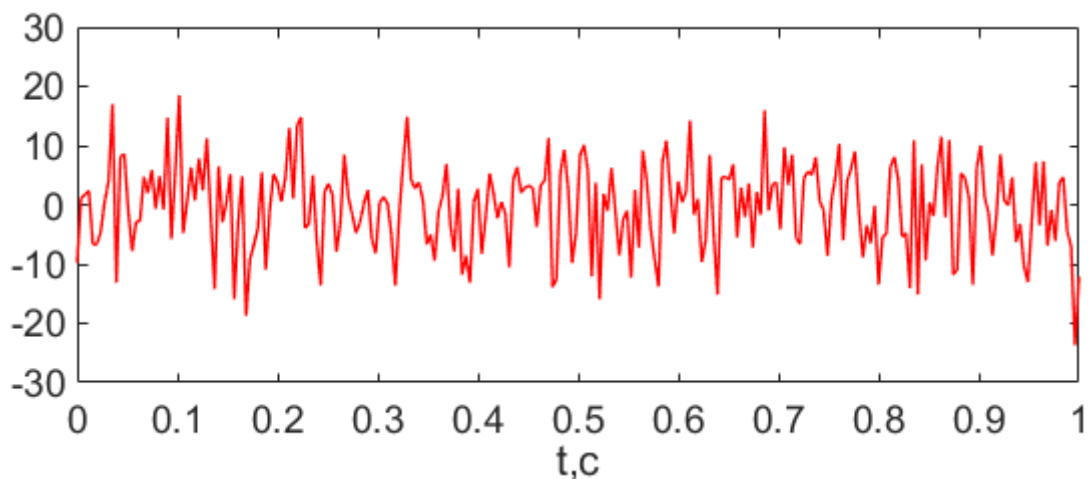


Рис. 4.4 — Графік спостереження, що не містить корисного сигналу

2.16. Отримати та занести в звіт наступні графіки:

- а) спостереження на вході пристрою виявлення;
- б) сигнал на виході помножувача;
- в) сигнал на виході корелятора;

г) щільності ймовірності для сигнальної f_{q1} і шумової f_{q0} складових.

Приклади графіків показано на рис. 4.5.

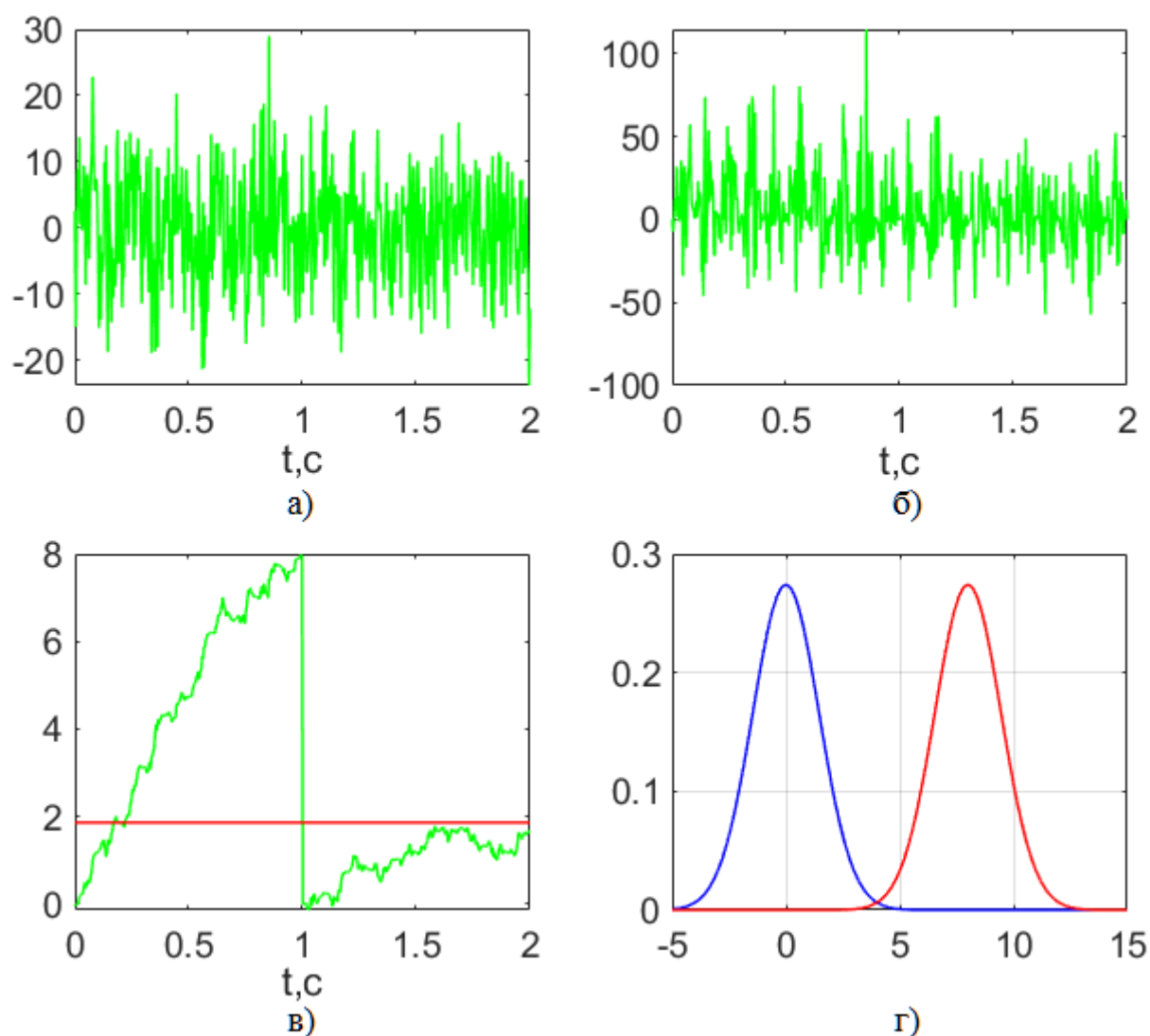


Рис. 4.5 — Спостереження на вході пристрою виявлення (а); сигнал на виході помножувача (б); сигнал на виході корелятора (в); щільності ймовірності для сигнальної (червона крива) і шумової (синя крива) складових

2.17. Виконати пункти 2.2—2.16 для параметру h , який відповідає малому значенню відношення Сигнал/Шум. Для вибору значення параметру h використовувати отриману залежність $PD=f(h)$ і обмеження $PD \leq 0.7$.

3. Експериментальне дослідження характеристик оптимального пристрою виявлення

3.1. Ознайомитися із програмою ObnarE, за допомогою якої методом Монте-Карло для розрахованого значення нормованого порогу H_{norm} перевіряються ймовірність помилкової тривоги PL і ймовірність виявлення сигналу PD .

Лістинг програми ObnarE:

```
close all;
clear;
clc

N=256; %Число відліків сигналу
M=100; %Число випробувань 1000
f0=5; %Несійна частота сигналу
A=input('Введіть A=')
T=input('Введіть T=') %Тривалість сигналу
dt=T/(N-1); %Крок дискретизації
t=(0:N-1)*dt;
L=input('Введіть 1 при наявності сигналу або 0 при його відсутності. L=')
Hnorm=input('Введіть значення порога Hnorm=')

%Сигнал;
s0=A*sin(2*pi*f0.*t);

h=input('Введіть h=')
%Розрахунок Es, N0, СКВn, СКВqn, H
Es=A^2*T/2;
N0=2*Es/h^2;
Dn=N0/(2*dt);
СКВn=sqrt(Dn);
Dqn=N0*Es/2;
СКВqn=sqrt(Dqn);
H=Hnorm*СКВqn;

for i=1:N
    Hmasiv(i)=H;
end
P=0;
for i=1:M
    %Завада
    n=СКВn.*randn(1,N);

    %Сигнал+Завада
    if L==1
        s=s0+n;
    else
        s=n;
    end

    %Кореляційний інтеграл
    pr=s.*s0;
```

```

KInt=zeros(N);
KInt(1)=pr(1)*dt;

for i=2:N
    KInt(i)=KInt(i-1)+pr(i)*dt;
end

integral_T=KInt(N);

if integral_T>=H
    P=P+1;
end
end
P=P/M

```

3.2. Запустити в MATLAB програму ObnarE.

3.3. Відповідно до варіанту ввести амплітуду радіоімпульсу A .

3.4. Відповідно до варіанту ввести тривалість радіоімпульсу T .

3.5. Надати параметру L значення 0, що відповідає відсутності сигналу в суміші.

3.6. Задати розраховане програмою ObnarT значення нормованого порогу H_{norm} .

3.7. Ввести значення параметра h рівним 0.001.

3.8. Записати розраховане експериментальне значення ймовірності помилкової тривоги PL . Порівняти із заданим у варіанті завдання значенням.

3.9. Виконати пункти 3.2—3.8 для випадку наявності сигналу (параметр $L=1$), для таких значень параметра h : 0.5, 1, 1.5,..., 4.5, 5, 5.5. Отриманий масив експериментальної ймовірності виявлення сигналу PD занести в звіт, побудувати графік і порівняти з теоретичними значеннями, отриманими за допомогою програми ObnarT в першій частині роботи.

Контрольні запитання до лабораторної роботи № 4

1. Що собою представляє пристрій виявлення? Наведіть структурну схему пристрою виявлення. Для яких задач може застосовуватися пристрій виявлення?

2. Яким чином розраховується кореляційний інтеграл? Приведіть формулу. Для яких цілей необхідно визначати кореляційних інтеграл?
3. Назвіть відомі вам критерії оптимальності? В чому полягає суть критерію Неймана-Пірсона?
4. Запишіть формулу по якій визначається спектральна щільність потужності завади, яка моделювалася в даній лабораторній роботі.
5. Запишіть формулу за допомогою якої можна визначити енергію радіоімпульсу?

5. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5 «ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИМАЛЬНИХ РОЗРІЗНЮВАЧІВ СИГНАЛІВ»

Мета роботи: навчитися застосовувати на практиці методики моделювання радіотехнічних пристроїв в MATLAB та проводити дослідження характеристик оптимальних розрізнявачів сигналів.

При підготовці до лабораторної роботи необхідно опрацювати лекційний матеріал, приділивши увагу сигналам на виході оптимальних розрізнявачів при обробці сигналів з амплітудною модуляцією (АМ), частотною модуляцією (ЧМ) та фазовою модуляцією (ФМ), а також аналітичним залежностям, які описують щільність ймовірності сигналу на виході оптимального розрізнявача та ймовірність помилки розрізнення АМ, ЧМ і ФМ сигналів.

Етапи виконання лабораторної роботи

1. Дослідження ймовірності помилки розрізнення АМ, ЧМ, ФМ сигналів по критерію максимальної правдоподібності

1.1. Ознайомитися із програмою RazlT, за допомогою якої розраховується ймовірність помилок розрізнення АМ, ЧМ, ФМ сигналів по критерію максимальної правдоподібності.

Лістинг програми RazlT:

```
clear;
close all;
clc;
K=13;%Число точок графіка
h= zeros(1,K);
h(1)=0.0;
for i=1:K-1
    h(i+1)=h(i)+5;
end
h, pause
format short e
Pe_AM =1-normcdf(sqrt(h./4)), pause %Ймовірність помилки АМ
Pe_FM =1-normcdf(sqrt(h./2)), pause % Ймовірність помилки ЧМ
Pe_PM =1-normcdf(sqrt(h)), pause % Ймовірність помилки ФМ
semilogy(h,Pe_AM,'b',h,Pe_FM,'g',h,Pe_PM,'r'),
title('Pe АМ, Pe ЧМ, Pe ФМ'), xlabel('h');grid; axis([0 60 1e-6 0.5 ])
```

1.2. Запустити в MATLAB програму RazIT.

1.3. Занести в звіт масив значень параметру відношення Сигнал/Шум (параметр h).

1.4. Занести в звіт масив значень ймовірності помилки розрізнення АМ сигналу Pe_AM .

1.5. Занести в звіт масив значень ймовірності помилки розрізнення ЧМ сигналу Pe_FM .

1.6. Занести в звіт масив значень ймовірності помилки розрізнення ФМ сигналу Pe_PM .

1.7. Занести в звіт графіки розрахованої ймовірності помилки розрізнення АМ, ЧМ, ФМ сигналів по критерію максимальної правдоподібності. Приклад графіків показано на рис. 5.1.

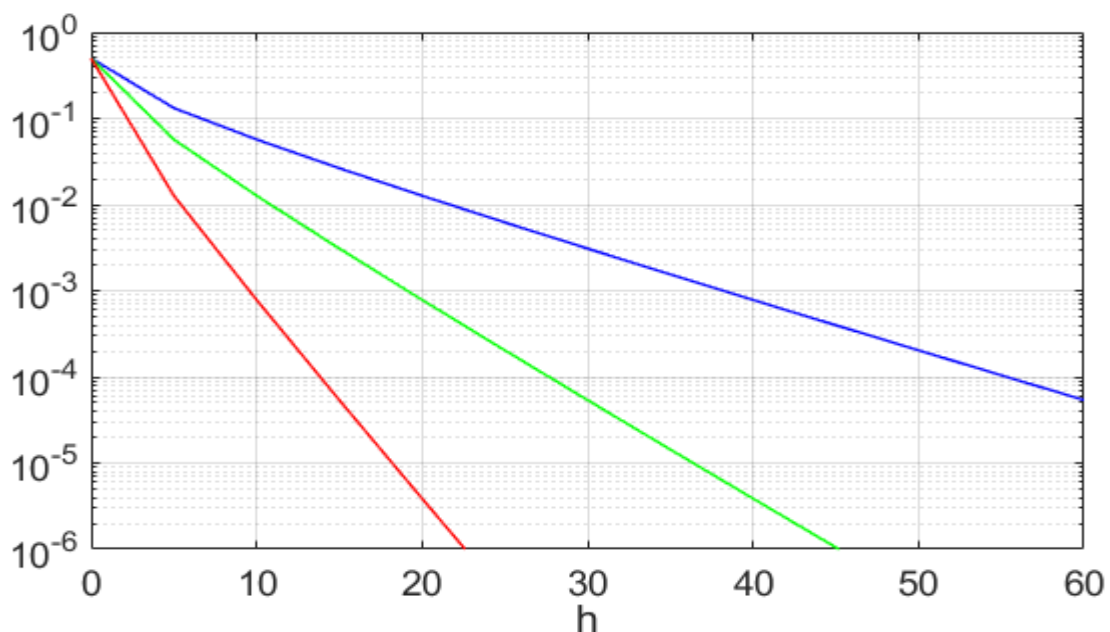


Рис. 5.1 — Графіки ймовірності помилки розрізнення по критерію максимальної правдоподібності для: АМ сигналу (синя крива), ЧМ сигналу (зелена крива), ФМ сигналу (червона крива)

1.8. Записати формули по яких визначається ймовірність помилки розрізнення для АМ, ЧМ та ФМ сигналів по критерію максимальної правдоподібності.

2. Дослідження сигналів в різних точках структурної схеми оптимальних розрізнявачів АМ, ЧМ, ФМ сигналів по критерію максимальної правдоподібності

2.1. Ознайомитися із програмою RazlRis_AM, яка дозволяє вивчити вид сигналів в різних точках структурної схеми оптимального розрізнявача АМ сигналів.

Лістинг програми RazlRis_AM:

```
clear;
close all;
clc;

N=256; %Число відліків сигналу
M=2; %Число випробувань
f0=5; %Носійна частота сигналу
A=input('Введіть A=')
T=input('Введіть T=') %Тривалість сигналу
dt=T/(N-1) %Крок дискретизації
L=1;
t=(0:N-1)*dt;
t1=(0:2*N-1)*dt;

%Сигнал;
s0=A*sin(2*pi*f0.*t);
h2=input('Введіть h2=')

%Розрахунок Es, N0, СКВn, СКВqn, H
Es=A^2*T/2;
Ese=Es/2;
N0=2*Es/h2;
Dn=N0/(2*dt);
СКВn=sqrt(Dn)
Dqne=N0*Ese;
СКВqne=sqrt(Dqne)
H=Es/2

for i=1:2*N
    Hmas(i)=H;
end

figure;
subplot(211); plot(t,s0,'g'),
title('Сигнал'), xlabel('t,c'); pause
for m=1:M

    %Завада
    n=СКВn.*randn(1,N);

    %Сигнал+Завада
    if L==1
        s=s0+n;
        L=L-1;
```

```

else
    s=n;
end
subplot(212); plot(t,n,'b',t,s,'r'),
title('Завада, Спостереження'), xlabel('t,c'); pause

%Кореляційний інтеграл
pr=s.*s0;
KInt=zeros(N);
KInt(1)=pr(1)*dt;
for i=2:N
    KInt(i)=KInt(i-1)+pr(i)*dt;
end

integral_T=KInt(N); %, pause

for l=1:N;
    Smas(l+(m-1)*N)=s(l);
end

for l=1:N
    PRmas(l+(m-1)*N)=pr(l);
end

for l=1:N
    KIntmas(l+(m-1)*N)=KInt(l);
end
end

figure;
subplot(221); plot(t1,Smas,'g'),
title('Спостереження'), xlabel('t,c');
subplot(222); plot(t1,PRmas,'g'),
title('Добуток'), xlabel('t,c');
subplot(223); plot(t1,KIntmas,'g',t1,Hmas,'r'),
title('Інтеграл. Попір'), xlabel('t,c');
x=[-10:0.2:20];
fq2=normpdf(x,0,CKBqne);
fq1=normpdf(x,Es,CKBqne);
subplot(224); plot(x,fq2,'b',x,fq1,'r'),
title('fq2, fq1'); grid;

```

2.2. Запустити в MATLAB програму RazlRis_AM.

2.3. Відповідно до варіанту ввести амплітуду радіоімпульсу A . Значення вхідних параметрів для відповідного номеру варіанту наведено в Додатку Д.

2.4. Відповідно до варіанту ввести тривалість радіоімпульсу T .

2.5. Записати у звіт отримане значення кроку дискретизації dt .

2.6. Ввести значення відношення Сигнал/Шум (параметр $h2$) рівним 100.

2.7. Занести у звіт розраховане значення енергії сигналу E_s . Записати формулу по якій розраховується енергія сигналу.

2.8. Занести у звіт розраховане значення СЩП завади N_0 для заданого значення відношення Сигнал/Шум. Записати формулу по якій вона розраховується.

2.9. Занести у звіт розраховане СКВ завади на вході пристрою виявлення (параметр $СКВn$). Записати формулу по якій воно розраховується.

2.10. Занести у звіт розраховане СКВ сигналу на виході корелятора (параметр $СКВqne$). Записати формулу по якій воно розраховується.

2.11. Занести у звіт розраховане значення порогу H по критерію максимальної правдоподібності. Записати формулу по якій він розраховується.

2.12. Отримати та занести у звіт графік радіоімпульсу (рис. 5.2).

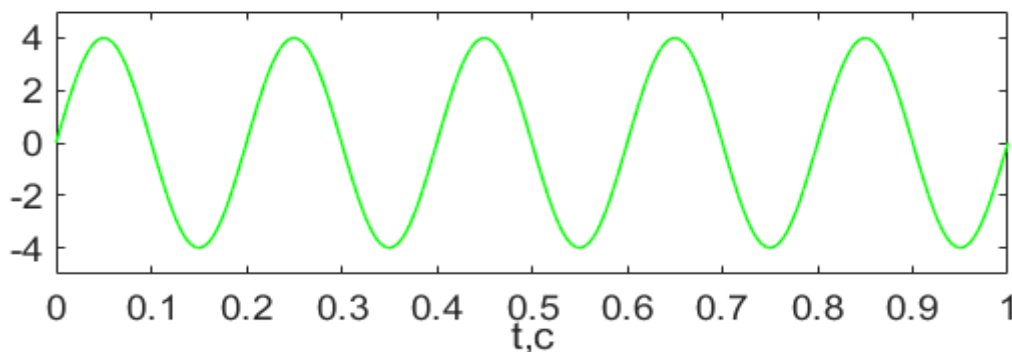


Рис. 5.2 — Радіоімпульс

2.13. Отримати і занести в звіт графіки корисного сигналу, завади і реалізації, що спостерігається на вході розрізнявача за умови, що мають місце гіпотези H_1 і H_2 відповідно (рис. 5.3).

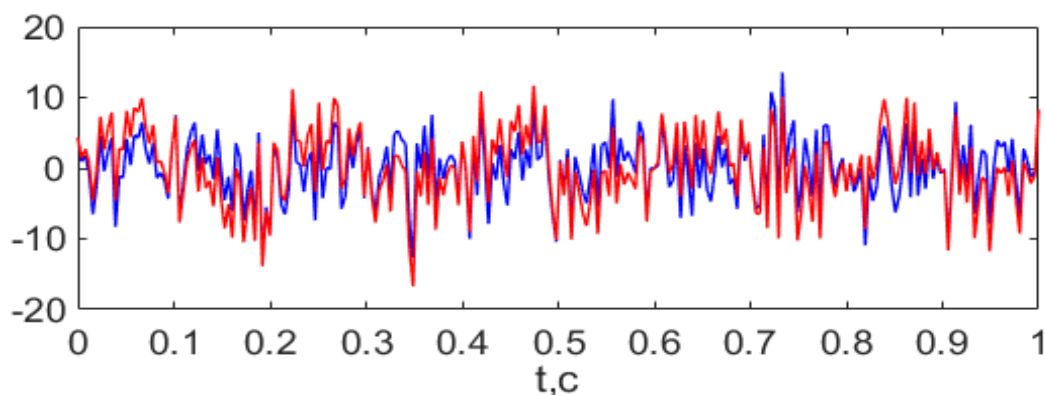


Рис. 5.3 — Графік завади (синя крива) та спостереження (червона крива)

2.14. Отримати і занести в звіт наступні графіки:

а) спостереження на вході розрізнявача;

б) сигнал на виході помножувача;

в) сигнал на виході інтегратора;

г) щільності ймовірності f_{q1} та f_{q2} у момент знімання інформації за умови, що мають місце гіпотези H_1 та H_2 відповідно.

Приклади графіків показано на рис. 5.4.

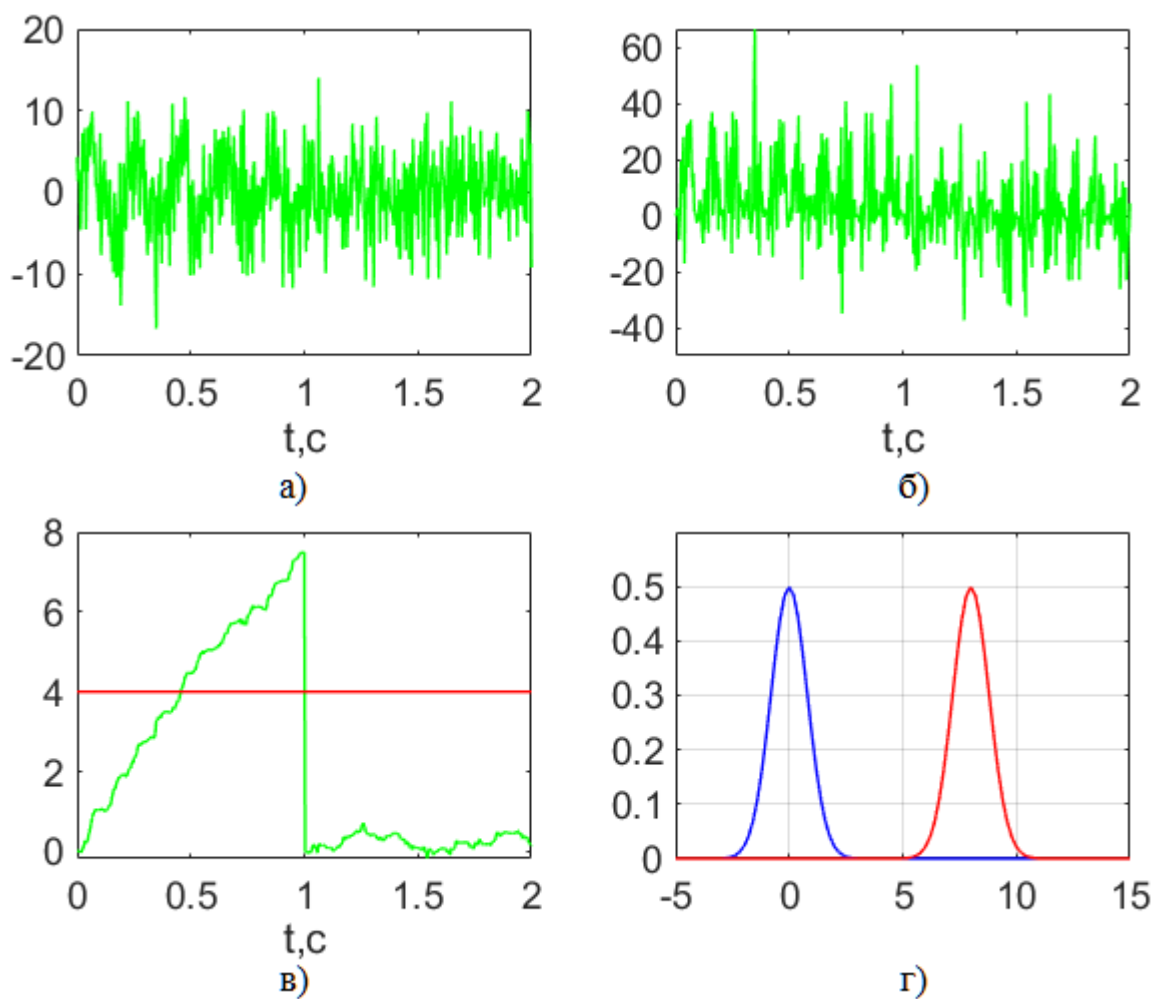


Рис. 5.4 — Сигнал на вході розрізнявача (а); сигнал на виході помножувача (б); сигнал на виході інтегратора (в); щільності ймовірності f_{q1} та f_{q2} при гіпотезі H_1 та H_2

2.15. Ознайомитися із програмою RazlRis_FM, що використовується для дослідження оптимального розрізнявача ЧМ сигналів.

Лістинг програми RazlRis_FM:

```
clear;
close all;
clc;

N=256; %Число відліків сигналу
M=2; %Число випробувань
f1=5;
f2=10;
A=input('Введіть A=')
T=input('Введіть T=') %Тривалість сигналу
dt=T/(N-1) %Крок дискретизації
L=1;
t=(0:N-1)*dt;
t1=(0:2*N-1)*dt;

%Сигнал;
s1=A*sin(2*pi*f1.*t);
s2=A*sin(2*pi*f2.*t);
h2=input('Введіть h2=')

%Розрахунок Es, N0, CKBn, CKBqn
Es=A^2*T/2;
Ese=Es;
N0=2*Es/h2;
Dn=N0/(2*dt);
CKBn=sqrt(Dn)
Dqne=N0*Ese;
CKBqne=sqrt(Dqne)
H=0

for i=1:2*N
    Hmas(i)=H;
end

for m=1:M;

    %Завада
    n=CKBn.*randn(1,N);

    %Сигнал+Завада
    if L==1
        s=s1+n;
        L=L-1;

        figure;
        subplot(211); plot(t,s1,'g'),
        title('Сигнал'), xlabel('t,c');
        subplot(212); plot(t,n,'b',t,s,'r'),
        title('Завада, Спостереження'), xlabel('t,c'); pause
    else
        s=s2+n;
        figure;
        subplot(211); plot(t,s2,'g'),
        title('Сигнал'), xlabel('t,c');
        subplot(212); plot(t,n,'b',t,s,'r'),
        title('Завада, Спостереження'), xlabel('t,c'); pause
    end
end
```

```

%Кореляційний інтеграл1
pr=s.*s1;
KInt=zeros(N);
KInt(1)=pr(1)*dt;

for i=2:N
    KInt(i)=KInt(i-1)+pr(i)*dt;
end

%Кореляційний інтеграл2
pr2=s.*s2;
KInt2=zeros(N);
KInt2(1)=pr2(1)*dt;
for i=2:N
    KInt2(i)=KInt2(i-1)+pr2(i)*dt;
end

integral_T=KInt(N)-KInt2(N);

for l=1:N
    Smas(l+(m-1)*N)=s(l);
end

for l=1:N
    PRmas(l+(m-1)*N)=pr(l)-pr2(l);
end

for l=1:N
    KIntmas(l+(m-1)*N)=KInt(l)-KInt2(l);
end

end

figure;
subplot(221); plot(t1,Smass,'g'),
title('Спостереження'), xlabel('t,c');
subplot(222); plot(t1,PRmas,'g'),
title('Добуток'), xlabel('t,c');
subplot(223); plot(t1,KIntmas,'g',t1,Hmas,'r'),
title('Інтеграл. Попір'), xlabel('t,c');

x=[-30:0.2:30];

fq2=normpdf(x,-Ese,CKBqne);
fq1=normpdf(x,Ese,CKBqne);
subplot(224); plot(x,fq2,'b',x,fq1,'r'),
title('fq2, fq1'); grid;

```

2.16. Запустити в MATLAB програму RazlRis_FM. Виконати пункти завдань 2.3—2.14 для дослідження оптимального розрізнявача ЧМ сигналів. За результатами дослідження зробити висновки.

2.17. Ознайомитися із програмою RazlRis_PM, що використовується для дослідження оптимального розрізнявача ФМ сигналів.

Лістинг програми RazlRis_PM:

```
clear;
close all;
clc;

N=256; %Число відліків сигналу
M=2; %Число випробувань
f0=5; %10; %Несуча частота сигналу
A=input('Введіть A=')
T=input('Введіть T=') %Тривалість сигналу
dt=T/(N-1) %Крок дискретизації
L=1;
t=(0:N-1)*dt;
t1=(0:2*N-1)*dt;

%Сигнал;
s0=A*sin(2*pi*f0.*t);
h2=input('Введіть h2=')

%Розрахунок Es, N0, СКВn, СКВqn, H
Es=A^2*T/2; %Енергія сигналу
Ese=2*Es;
N0=2*Es/h2;
Dn=N0/(2*dt);
CKBn=sqrt(Dn)
Dqne=N0*Ese;
CKBqne=sqrt(Dqne)
H=0

for i=1:2*N
    Hmas(i)=H;
end

for m=1:M

    %Завада
    n=CKBn.*randn(1,N);

    %Сигнал+Завада
    if L==1
        s=s0+n;
        L=L-1;

        figure;
        subplot(211); plot(t,s0,'g'),
        title('Сигнал'), xlabel('t,c');
        subplot(212); plot(t,n,'b',t,s,'r'),
        title('Завада, Спостереження'), xlabel('t,c'); pause
    else
        s=-s0+n;

        figure;
        subplot(211); plot(t,-s0,'g'),
        title('Сигнал'), xlabel('t,c');
        subplot(212); plot(t,n,'b',t,s,'r'),
        title('Завада, Спостереження'), xlabel('t,c'); pause
    end
end
```

```

%Кореляційний інтеграл1
pr=s.*s0;
KInt=zeros(N);
KInt(1)=pr(1)*dt;

for i=2:N
    KInt(i)=KInt(i-1)+pr(i)*dt;
end

%Кореляційний інтеграл2
pr2=s.*(-s0);
KInt2=zeros(N);
KInt2(1)=pr2(1)*dt;

for i=2:N
    KInt2(i)=KInt2(i-1)+pr2(i)*dt;
end

integral_T=KInt(N)-KInt2(N);

for l=1:N
    Smas(l+(m-1)*N)=s(l);
end

for l=1:N
    PRmas(l+(m-1)*N)=pr(l)-pr2(l);
end

for l=1:N
    KIntmas(l+(m-1)*N)=KInt(l)-KInt2(l);
end

end

figure;
subplot(221); plot(t1,Smas,'g'),
title('Спостереження'), xlabel('t,c');
subplot(222); plot(t1,PRmas,'g'),
title('Добуток'), xlabel('t,c');
subplot(223); plot(t1,KIntmas,'g',t1,Hmas,'r'),
title('Інтеграл. Попір'), xlabel('t,c');

x=[-30:0.2:30];

fq2=normpdf(x,-Ese,CKBqne);
fq1=normpdf(x,Ese,CKBqne);
subplot(224); plot(x,fq2,'b',x,fq1,'r'),
title('fq2, fq1'); grid;

```

2.18. Запустити в MATLAB програму RazlRis_PM. Виконати пункти завдань 2.3—2.14 для дослідження оптимального розрізнявача ФМ сигналів.

Порівняти отримані результати із результатами дослідження обробки АМ та ЧМ сигналів. Зробити висновки.

3. Експериментальне дослідження ймовірності помилки розрізнення АМ, ЧМ, ФМ сигналів по критерію максимальної правдоподібності

3.1. Ознайомитися із програмою RazlE_AM, за допомогою якої методом Монте-Карло розраховується ймовірність помилки розрізнення АМ сигналів по критерію максимальної правдоподібності.

Лістинг програми RazlE_AM:

```
clear;
close all;
clc;

N=256; %Число відліків сигналу
M=10000; %Число випробувань 1000
f0=5; %Несійна частота сигналу
A=input('Введіть A=')
T=input('Введіть T=') %Тривалість сигналу
dt=T/(N-1); %Крок дискретизації
t=(0:N-1)*dt;

%Сигнал;
s0=A*sin(2*pi*f0.*t);
h2=input('Введіть h2=')

%Розрахунок Es, N0, CKBn, H
Es=A^2*T/2;
N0=2*Es/h2;
Dn=N0/(2*dt);
CKBn=sqrt(Dn);
H=Es/2;
PeAM=0;
for i=1:M
    %Завада
    n=CKBn.*randn(1,N);

    %Сигнал+Завада
    if rand>.5
        L=1;
        s=s0+n;
    else
        L=0;
        s=n;
    end

    %Кореляційний інтеграл
    pr=s.*s0;
    KInt=zeros(N);
    KInt(1)=pr(1)*dt;
    for i=2:N
        KInt(i)=KInt(i-1)+pr(i)*dt;
    end

    integral_T=KInt(N);
```

```

if integral_T>=H
    LD=1;
else
    LD=0;
end

if L~=LD
    PeAM=PeAM+1;
end
end
PeAM=PeAM/M

```

3.2. Запустити в MATLAB програму RazlE_AM.

3.3. Відповідно до варіанту задати амплітуду радіоімпульсу A .

3.4. Відповідно до варіанту ввести тривалість радіоімпульсу T .

3.5. Ввести значення відношення Сигнал/Шум (параметр $h2$) рівним 5.

3.6. Записати розраховане експериментальне значення ймовірності помилки розрізнення і порівняти з теоретичним значенням.

3.7. Виконати пункти 3.3—3.6 для значення параметру $h2$, що дорівнює відповідно 10, 15, 20. Отриманий масив значень експериментальної ймовірності помилки розрізнення занести у звіт, побудувати графік і порівняти із теоретичними значеннями, отриманими за допомогою програми RazlT в першій частині роботи.

3.8. Ознайомитися із програмою RazlE_FM, за допомогою якої методом Монте-Карло розраховується ймовірність помилки розрізнення ЧМ сигналів по критерію максимальної правдоподібності.

Лістинг програми RazlE_FM:

```

clear;
close all;
clc;

N=256; %Число відліків сигналу
M=10000; %Число випробувань 1000
f1=5;
f2=10;
A=input('Введіть A=')
T=input('Введіть T=') %Тривалість сигналу
dt=T/(N-1); %Крок дискретизації
t=(0:N-1)*dt;

%Сигнал;
s1=A*sin(2*pi*f1.*t);
s2=A*sin(2*pi*f2.*t);
h2=input('Введіть h2=')

```

```

%Розрахунок Es, N0, CKBn
Es=A^2*T/2;
N0=2*Es/h2;
Dn=N0/(2*dt);
CKBn=sqrt(Dn);
H=0;
PeFM=0;

for i=1:M
    %Завада
    n=CKBn.*randn(1,N);

    %Сигнал+Завада
    if rand>.5
        L=1;
        s=s1+n;
    else
        L=0;
        s=s2+n;
    end

    %Кореляційний інтеграл1
    pr=s.*s1;
    KInt=zeros(N);
    KInt(1)=pr(1)*dt;

    for i=2:N
        KInt(i)=KInt(i-1)+pr(i)*dt;
    end

    %Кореляційний інтеграл2
    pr2=s.*s2;
    KInt2=zeros(N);
    KInt2(1)=pr2(1)*dt;

    for i=2:N
        KInt2(i)=KInt2(i-1)+pr2(i)*dt;
    end
    integral_T=KInt(N)-KInt2(N);

    if integral_T>=H
        LD=1;
    else
        LD=0;
    end

    if L~=LD
        PeFM=PeFM+1;
    end
end
PeFM=PeFM/M

```

3.9. Запустити в MATLAB програму RazlE_FM.

3.10. Виконати пункти 3.3—3.7. Результати відобразити в звіті. Зробити висновки щодо отриманих результатів.

3.11. Ознайомитися із програмою RazlE_PM, за допомогою якої методом Монте-Карло розраховується ймовірність помилки розрізнення ФМ сигналів по критерію максимальної правдоподібності.

Лістинг програми RazlE_PM:

```
clear;
close all;
clc;

N=256; %Число відліків сигналу
M=10000; %Число випробувань 1000
f0=5; %Несійна частота сигналу
A=input('Введіть A=')
T=input('Введіть T=') %Тривалість сигналу
dt=T/(N-1); %Крок дискретизації
t=(0:N-1)*dt;

%Сигнал;
s0=A*sin(2*pi*f0.*t);
h2=input('Введіть h2=')

%Розрахунок Es, N0, СКВn
Es=A^2*T/2; %Енергія сигналу
N0=2*Es/h2;
Dn=N0/(2*dt);
СКВn=sqrt(Dn);
H=0;
PePM=0;

for i=1:M
    %Завада
    n=СКВn.*randn(1,N);

    %Сигнал+Завада
    if rand > .5
        L=1;
        s=s0+n;
    else
        L=0;
        s=-s0+n;
    end

    %Кореляційний інтеграл
    pr=s.*s0;
    KInt=zeros(N);
    KInt(1)=pr(1)*dt;

    for i=2:N
        KInt(i)=KInt(i-1)+pr(i)*dt;
    end

    %Кореляційний інтеграл2
    pr2=s.*(-s0);
    KInt2=zeros(N);
    KInt2(1)=pr2(1)*dt;
```

```

for i=2:N
    KInt2(i)=KInt2(i-1)+pr2(i)*dt;
end

integral_T=KInt(N)-KInt2(N);

if integral_T>=H
    LD=1;
else
    LD=0;
end

if L~=LD
    PePM=PePM+1;
end
end
PePM=PePM/M

```

3.12. Запустити в MATLAB програму RazlE_PM.

3.13. Виконати пункти 3.3—3.7. Результати відобразити в звіті. Зробити висновки.

Контрольні запитання до лабораторної роботи № 5

1. Поясніть принципи амплітудної, частотної та фазової модуляції.
2. Сигнал з яким видом модуляції характеризується найбільшою завадозахищенністю: АМ, ЧМ, ФМ? Відповідь обґрунтуйте.
3. Зобразіть структурну схему пристрою розрізнення двійкових сигналів. Поясніть призначення відповідних компонентів. Поясніть принцип роботи пристрою розрізнення.
4. Навіщо в лабораторній роботі при реалізації моделі роботи пристрою розрізнення необхідно обраховувати кореляційний інтеграл? Запишіть формулу по якій обраховується кореляційний інтеграл.
5. Поясніть яким чином визначається значення порогу, який використовується в процесі вирішення задачі розрізнення двійкових сигналів?

6. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6 «ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИМАЛЬНОГО ВИМІРЮВАЧА ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛУ»

Мета роботи: закріпити знання по методикам проектування оптимальних вимірювачів параметрів сигналів, вивчити методики моделювання радіотехнічних пристроїв з використанням MATLAB, а також дослідити характеристики оптимальних вимірювачів сигналів.

При підготовці до лабораторної роботи необхідно повторити лекційний матеріал по даній темі, особливу увагу приділивши питанням структури оптимальних вимірювачів неенергетичних параметрів сигналів та аналітичним залежностям, що описують щільність ймовірності сигналу на виході оптимального вимірювача та дисперсію помилки вимірювання.

Етапи виконання лабораторної роботи

1. Дослідження дисперсії помилки оцінки неенергетичного параметру сигналу по критерію максимальної правдоподібності

1.1. Ознайомитися із програмою OptizmT за допомогою якої розраховується дисперсія помилки оцінки неенергетичного параметру сигналу по критерію максимальної правдоподібності.

Лістинг програми OptizmT:

```
clear;
close all;
clc;

A=input('Введіть A=')
a=input('Введіть a=')
Es=A^2*sqrt(3.14/(2*a))
K=13;%Кількість точок на графіку
h2= zeros(1,K); %sqrt(BCШ)
h2(1)=1;

for i=1:K-1
    h2(i+1)=h2(i)+4;
end
```

```

for i=1:K
    N0(i)=2*Es/h2(i);
    D_et_teor(i)=N0(i)/(A^2*sqrt(3.14*a*2));
    CKB_et_teor(i)=sqrt(D_et_teor(i));
end
format short e
h2, pause
D_et_teor, pause
CKB_et_teor, pause
figure;

subplot(211); plot(h2,D_et_teor,'--r')
title('Дисперсія помилки оцінки часу приходу сигналу'), xlabel('h2');grid;
pause
subplot(212); plot(h2,CKB_et_teor,'--r')
title('СКВ помилки оцінки часу приходу сигналу'), xlabel('h2');
grid;

```

1.2. Запустити в MATLAB програму OptizmT.

1.3. Відповідно до варіанту задати параметр A . Значення вхідних параметрів для кожного варіанту наведені в Додатку Е.

1.4. Відповідно до варіанту задати параметр a .

1.5. Занести у звіт значення енергії сигналу Es .

1.6. Занести у звіт масив значень відношення Сигнал/Шум.

1.7. Занести у звіт масив розрахованих значень дисперсії помилки оцінки часу приходу сигналу (параметр D_{et_teor}) та побудувати графік. Приклад графіку показаний на рис. 6.1.

1.8. Занести у звіт масив розрахованих значень СКВ помилки оцінки часу приходу сигналу (параметр CKB_{et_teor}) та побудувати графік. Приклад графіку показаний на рис. 6.2.

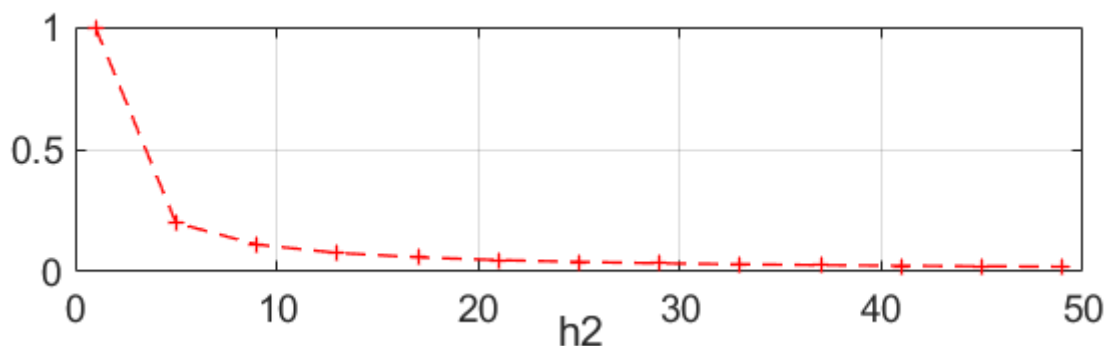


Рис. 6.1 — Дисперсія помилки оцінки часу приходу сигналу в залежності від значення відношення Сигнал/Шум

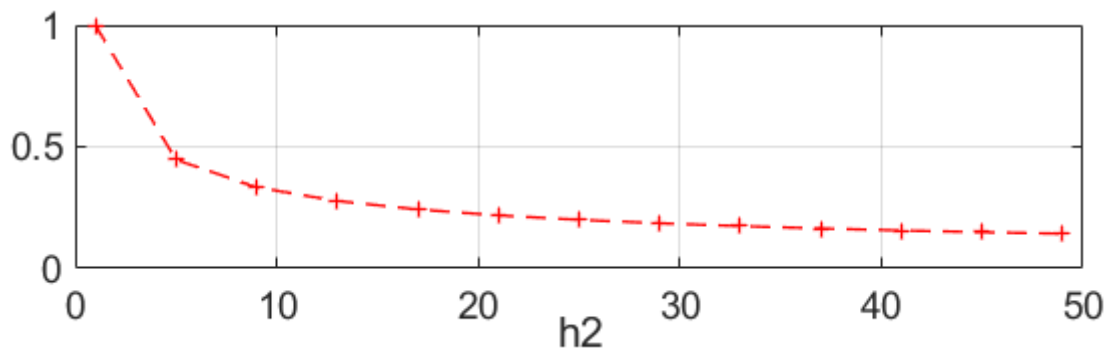


Рис. 6.2 — СКВ помилки оцінки часу приходу сигналу в залежності від значення відношення Сигнал/Шум

1.9. Записати формулу по якій визначається дисперсія помилки оцінки неенергетичного параметра сигналу по критерію максимальної правдоподібності при великих значеннях відношення Сигнал/Шум.

2. Дослідження сигналів на вході і виході оптимального вимірювача

2.1. Ознайомитися із програмою OptizmRis, яка дозволяє вивчити вигляд і характеристики сигналів на вході і виході оптимального вимірювача. Розібратися із особливостями моделювання дзвіновидного імпульсу, а також ознайомитися із застосуванням функції MATLAB `conv()` для реалізації процедури узгодженої фільтрації.

Лістинг програми OptizmRis:

```
clear;
close all;
clc;

N=64;
N2=N/2;
Nq=N*2;
A=input('Введіть A=');
a=input('Введіть a=');
Tim=2/sqrt(a);
T=4*Tim;
dt=T/(N-1), pause
Fm=1/(2*dt);

t=(0:N-1)*dt;
tq=(0:Nq-1)*dt;
i=sqrt(-1);
Es=A^2*sqrt(3.14/(2*a))
qs2Max=-A^2*sqrt(3.14*a/2)
```

```

%Сигнал s0
for n=1:N
    s0(n)=A*exp(-a*((n-N2)*dt)^2);
end

%Імпульсна характеристика ss
for n=1:N
    ss(n)=s0(N+1-n);
end

figure;
subplot(221); plot(t,s0,'--g');
title('Корисний сигнал'), xlabel('t,s'); grid;

%Сигнальна складова
qs=conv(s0,ss);
qs(Nq)=0;
qs=qs.*dt;

subplot(222); plot(tq,qs,'--r');
title('qs'), xlabel('t,s'); grid;

%Перша похідна
S0=fft(qs);
for n=1:N
    P(n)=0+i*(6.28*(n-1)*Fm/(N-1));
end

P(N+1)=0+0*i;

for n=1:N-1
    P(N+n+1)=conj(P(N+1-n));
end

for n=1:Nq
    S1(n)=S0(n)*P(n);
end

qs1=ifft(S1);

subplot(223); plot(tq,real(qs1),'--r');
title('qs1'), xlabel('t,s'); grid;

%Друга похідна
for n=1:Nq
    S2(n)=S0(n)*P(n)^2;
end

qs2=ifft(S2);

subplot(224); plot(tq,qs2,'--r');
title('qs2'), xlabel('t,s'); grid; pause

h2=input('Введіть h2=')
N0=2*Es/h2

```

```

Dn=N0/(2*dt);
CKBn=sqrt(Dn), pause
Dqn=N0*Es/2;
CKBqn=sqrt(Dqn), pause

%Завада
n=CKBn.*randn(1,N);

%Сигнал+Завада
s=s0+n;

figure;
subplot(221); plot(t,s0,'--g',t,n,'-.b'),
title('Сигнал. Завада'), xlabel('t,s'); grid;
subplot(223); plot(t,s,'--g'),
title('Спостереження'), xlabel('t,s'); grid;

%Щумова складова
qn=conv(n,ss);
qn(Nq)=0;
qn=qn.*dt;
subplot(222); plot(tq,qs,'--r',tq,qn,'--b');
title('qs, qn'), xlabel('t,s'); grid;

%узгоджений фільтр
q=conv(s,ss);
q(Nq)=0;
q=q.*dt;
subplot(224); plot(tq,q,'--r');
title('q'), xlabel('t,s'); grid; pause

imax=1;
qmax=q(1);
for n=2:Nq
    if q(n)>qmax
        imax=n;
        qmax=q(n);
    end
end

e=imax-N, pause
et=e*dt

```

2.2. Запустити в MATLAB програму OptizmRis.

2.3. Відповідно до варіанту ввести параметр A .

2.4. Відповідно до варіанту ввести параметр a .

2.5. Записати у звіт отримане значення кроку дискретизації dt .

2.6. Занести у звіт розраховане значення параметра qs_{2max} .

2.7. Отримати і занести у звіт та виконати аналіз таких графіків:

а) корисний сигнал на вході вимірювача;

- б) сигнальна складова на виході вимірювача;
- в) перша похідна сигнальної складової;
- г) друга похідна сигнальної складової.

Приклади графіків показані на рис. 6.3.

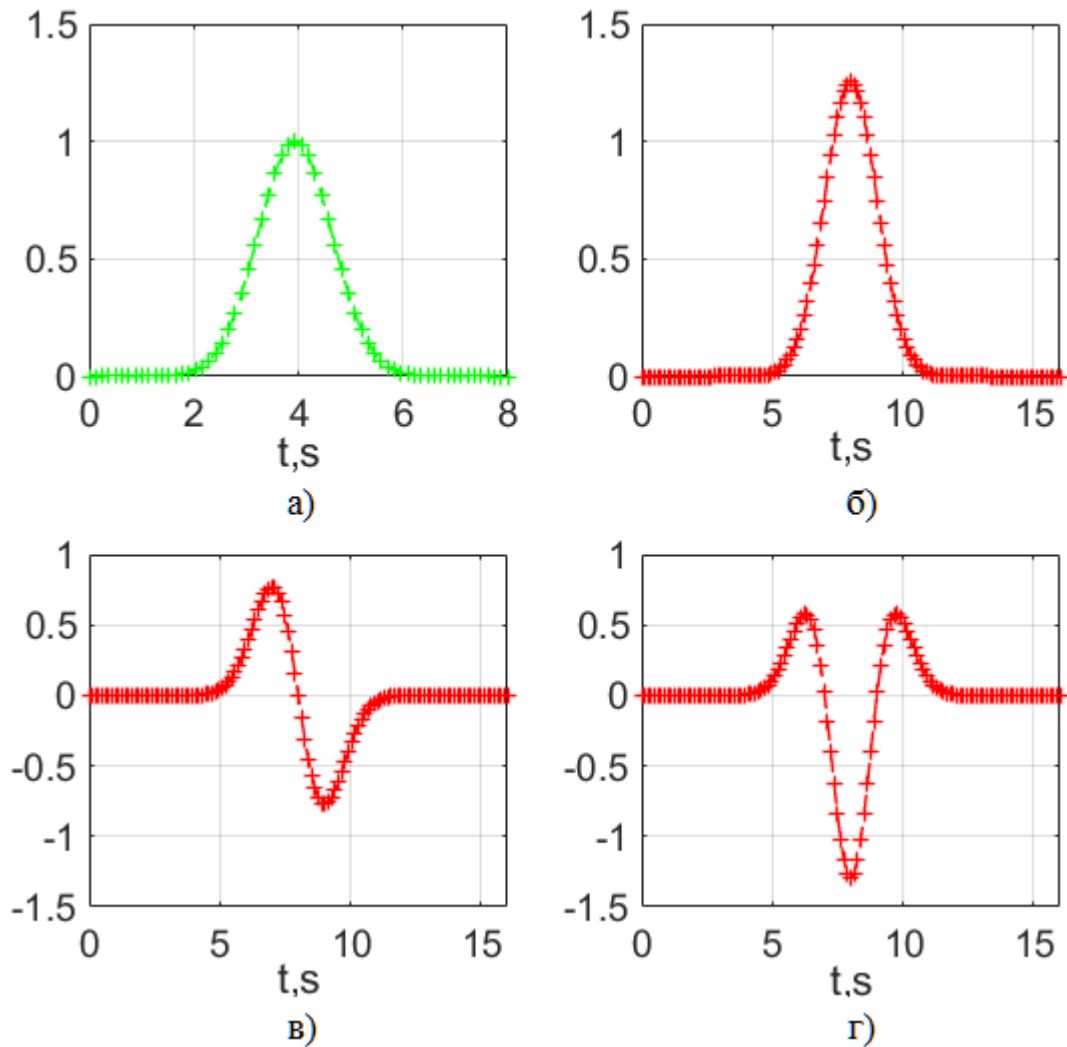


Рис. 6.3 — Корисний сигнал (а); сигнальна складова (б); перша похідна сигнальної складової (в); друга похідна сигнальної складової (г)

2.8. Ввести значення відношення Сигнал/Шум (параметр $h2$) рівним 45.

2.9. Для заданого значення відношення Сигнал/Шум, занести в звіт розраховане значення СЦП завади N_0 . Записати формулу, по якій визначається СЦП завади.

2.10. Занести у звіт розраховане СКВ завади на вході оптимального вимірювача (параметр $СКВ_n$). Записати формулу, по якій воно визначається.

2.11. Занести у звіт розраховане СКВ шумової складової на виході оптимального вимірювача (параметр $СКВ_{qn}$). Записати формулу, по якій воно визначається.

2.12. Отримати і занести в звіт графіки:

- а) корисного сигналу та завади на вході вимірювача;
- б) спостереження на вході вимірювача;
- в) сигнальну та шумову складові на виході вимірювача;
- г) вихідний сигнал вимірювача.

Приклади графіків показано на рис. 6.4.

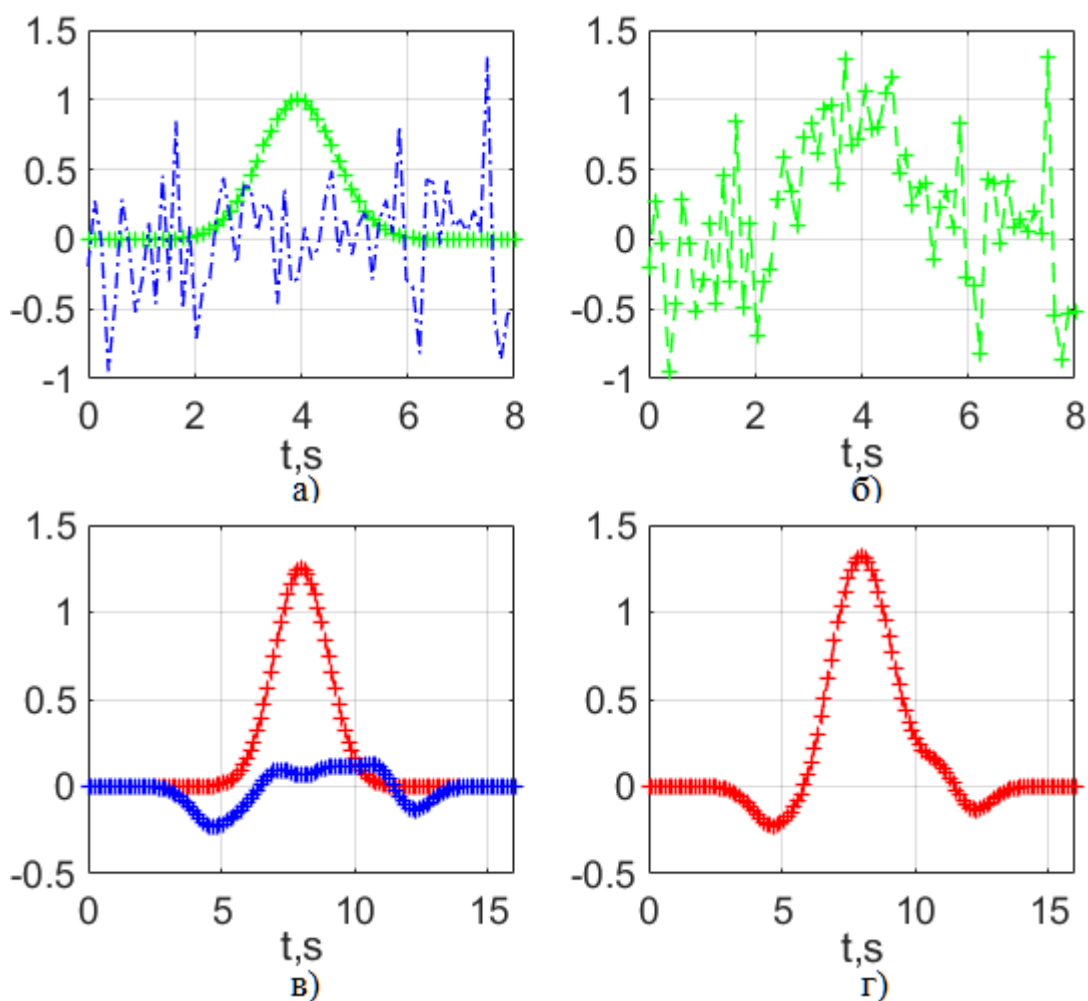


Рис. 6.4 — Корисний сигнал та завада (а); спостереження (б); сигнальна та шумова складові (в); вихідний сигнал вимірювача (г)

2.13. Занести у звіт значення помилки визначення часу приходу сигналу (параметри e та et).

2.14. Виконати пункти 2.9—2.13 для значення відношення Сигнал/Шум, що дорівнює 9.

3. Експериментальне дослідження дисперсії помилки оцінки неенергетичного параметру сигналу по критерію максимальної правдоподібності

3.1. Ознайомитися із програмою OptizmE за допомогою якої методом Монте-Карло розраховуються математичне очікування, дисперсія та СКВ помилки оцінки неенергетичного параметру сигналу по критерію максимальної правдоподібності.

Лістинг програми OptizmE:

```
clear;
close all;
clc;

M=1000;
N=64;
N2=N/2;
Nq=N*2;
A=input('Введіть A=')
a=input('Введіть a=')
Tim=2/sqrt(a);

T=4*Tim;
dt=T/(N-1);
Fm=1/(2*dt);
t=(0:N-1)*dt;
tq=(0:Nq-1)*dt;
i=sqrt(-1);

%Сигнал s0;
for n=1:N
    s0(n)=A*exp(-a*((n-N2)*dt)^2);
end

%Імпульсна характеристика ss
for n=1:N
    ss(n)=s0(N+1-n);
end

%Сигнальна складова
qs=conv(s0,ss);
qs(Nq)=0;
qs=qs.*dt;
```

```

h2=input('Введіть h2=')
Es=A^2*sqrt(3.14/(2*a));
N0=2*Es/h2;
Dn=N0/(2*dt);
CKBn=sqrt(Dn);

me=0; de=0;
for m=1:M

    % Завада
    n=CKBn.*randn(1,N);

    %Сигнал+Завада
    s=s0+n;

    %Шумова складова
    qn=conv(n,ss);
    qn(Nq)=0;
    qn=qn.*dt;

    %Узгоджений фільтр
    q=conv(s,ss);
    q(Nq)=0;
    q=q.*dt;

    imax=1;
    qmax=q(1);

    for n=2:Nq
        if q(n)>qmax
            imax=n;
            qmax=q(n);
        end
    end

    e=imax-N;
    [me,de]=disper(m,e,me,de);
end

format short e
m_en=me;
CKB_en=sqrt(de);
m_et=me*dt
D_et=de*(dt^2)
CKB_et=sqrt(de)*dt

```

3.2. Ознайомитися із функцією `disper()`, яка використовується для обчислення математичного очікування та дисперсії в ході проведення дослідження і викликається в програмі OptizmE.

Лістинг функції `disper()`:

```

function [m1,d1] = disper(i,x,m,d)
b=x-m; b=b*b;
c=i-1;

```

```

if i>2
    d1=(d*(c-1)+b)/c;
else
    d1=b+d;
end
m1=(m*c+x)/i;

```

3.3. Запустити в MATLAB програму OptizmE.

3.4. Ввести відповідно до варіанту параметр A .

3.5. Відповідно до варіанту ввести параметр a .

3.6. Ввести значення відношення Сигнал/Шум (параметр $h2$) рівним 1.

3.7. Записати розраховані експериментально значення математичного очікування, дисперсії та СКВ помилки оцінки.

3.8. Виконати пункти 3.3—3.7 для решти значень відношення Сигнал/Шум (параметр $h2$), отриманих в першій частині роботи. Отримані значення занести у звіт, побудувати графіки і порівняти з теоретичними значеннями, що отримані за допомогою програми OptizmT в першій частині роботи.

Контрольні запитання до лабораторної роботи № 6

1. Де може застосовуватися вимірювач параметрів сигналу, принципи функціонування якого досліджуються в лабораторній роботі?
2. Які параметри сигналу відносяться до енергетичних, а які до неенергетичних? Які параметри оцінюються в даній лабораторній роботі?
3. Поясніть принцип оцінювання затримки приходу сигналу при радіотехнічних вимірюваннях?
4. Як виконується оцінка помилки вимірювання параметрів сигналу в даній лабораторній роботі?
5. Який вид сигналу використовується в даній лабораторній роботі для дослідження процесу оцінювання часу приходу сигналу?
6. Як залежить СКВ помилки оцінювання часу приходу сигналу від значення відношення Сигнал/Шум?

7. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7 «ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ФІЛЬТРУ КАЛМАНА В ДИСКРЕТНОМУ ЧАСІ»

Мета роботи: закріпити знання по методиках проектування оптимальних лінійних фільтрів в дискретному часі, ознайомитися із методиками моделювання радіотехнічних пристроїв з використанням MATLAB, дослідити характеристики оптимальних лінійних фільтрів в дискретному часі.

На етапі підготовки до лабораторної роботи необхідно опанувати теоретичний матеріал по даній темі, приділивши особливу увагу аналітичним залежностям, що описують алгоритм калманівської фільтрації в дискретному часі, а також ознайомитися із структурою фільтра Калмана та показниками, які використовуються для оцінки якості фільтрації. Крім того, необхідно повторити особливості виконання лабораторної роботи № 2 та проаналізувати отримані в ній результати. У даній лабораторній роботі досліджена раніше реалізація марковського гаусівського випадкового процесу в дискретному часі спотворюється некорельованою гаусівською завадою і далі отримана суміш обробляється оптимальним чином за допомогою алгоритму калманівської фільтрації.

Етапи виконання лабораторної роботи

1. Формування марковської моделі повідомлення по заданій реалізації випадкового процесу

1.1. Ознайомитися із програмою LR_FK за допомогою якої по сформованій реалізації випадкового процесу розраховуються параметри марковської моделі. Отримані параметри за допомогою команди `save` зберігаються у файл. Дані із файлу використовуються на наступних етапах виконання лабораторної роботи.

Лістинг програми LR_FK:

```
clear;
close all;
clc;

% 1.ФОРМУВАННЯ і АНАЛІЗ РЕАЛІЗАЦІЇ ГВП З ЗАДАНОЮ КФ і СЩП
N=1024;
N2=N/2;
nm=input('Введіть порядок марковської моделі nm=');
nm=nm+1;
i=sqrt(-1);
DeltaT=1/8000;
w=pi*[0:N2-1]/N2;
OM=exp(-i*[0:nm-1]*w);
w=[];

%Вихідні параметри КФ ГВП
w0=input('Введіть частоту w0 (Гц)=');
Tau=input('Введіть час кореляції Tau(число тактів)=');
CKB=input('Введіть СКВ =');
w0=6.28*w0;
w1=1/(DeltaT*Tau);

%Розрахунок СЩП і КФ ГВП
delw=4000/(N2-1);
d0=w0/w1;
for k=1:N2
    d=6.28*(k-1)*delw/w1;
    dp=(d+d0)^2;
    dm=(d-d0)^2;
    SPMt(k)=(4*CKB^2/w1)*(1+d0^2)/((1+dp)*(1+dm));
    w(k)=(k-1)*delw;
    KFt(k)=CKB^2*exp(-w1*(k-1)*DeltaT)*(cos(w0*(k-1)*DeltaT)-w1*sin(w0*(k-1)*DeltaT)/w0);
    t1(k)=(k-1)*DeltaT;
end
maxSPMt=max(SPMt);
SPMtlog=10*log(SPMt./maxSPMt);

%Розрахунок параметрів формулюючого фільтра ГВП
gamma0=w0*DeltaT;
gamma1=w1*DeltaT;
ro=exp(-gamma1);
alfa1=1-ro^4+(4*ro^2*w1*sin(gamma0)*cos(gamma0)/w0);
alfa0=(ro*(ro^2-1)*cos(gamma0))-(w1*(1+ro^2)*ro*sin(gamma0)/w0);
b2=-ro^2;
b1=2*ro*cos(gamma0);
alfa=sqrt((alfa1-sqrt(alfa1^2-4*alfa0^2))/2);
a1=CKB*alfa0/alfa;
a0=CKB*alfa;

%Формування реалізації ГВП
y(1)=0;
y(2)=0;
v(2)=randn;
t(1)=0;
t(2)=DeltaT;
```

```

for k=3:N
    v(1)=randn;
    y(k)=a0*v(1)+a1*v(2)+b1*y(k-1)+b2*y(k-2);
    v(2)=v(1);
    t(k)=k*DeltaT;
end

%побудова часової реалізації ГВП
figure;
subplot(311), plot(t,y), title('Реалізація y'), xlabel('t,s');
pause

%розрахунок КФ
akf=xcorr(y);
akf=akf/(N-1);

%розрахунок СЩП
Y=fft(y);
PH=angle(Y);
Pyy=Y.*conj(Y);
maxP=max(Pyy);
Pyy=10*log(Pyy/maxP);
f=8000/N*(0:(N2-1));
Y=[];

%2.РОЗРАХУНОК І АНАЛІЗ МАРКОВСЬКОЇ МОДЕЛІ
%розрахунок параметрів марковської моделі на основі алгоритма Дарбіна
for l1=1:nm-1
    for l2=1:l1
        R(l1,l2)=akf(N+l1-l2);
        R(l2,l1)=R(l1,l2);
    end
    P(l1)=akf(N+l1);
end

%Вектор коефіцієнтів передбачення моделі
A=P/R;
A, pause

%Дисперсія помилки передбачення
B=R(1,1)-A*A';
B, pause
B1=sqrt(B);

% збереження параметрів моделі у файл MOD
save MOD nm A B B1

A1(1)=1;
for l=2:nm
    A1(l)=-A(l-1);
end

%Побудова СЩП марковської моделі і порівняння з
%експериментальною СЩП
for ii=1:N2
    H(ii)=1./(A1*OM(:,ii))';
end
HH=(abs(H).^2);

```

```

%Формування симетричної СЩП
for k=1:N2
    HH1(k)=HH(k);
end
HH1(N2+1)=0;
for k=2:N2
    HH1(k+N2)=HH(N2+2-k);
end
maxH=max(HH);
HH=10*log(HH./maxH);%log-масштаб

f=8000/N*(0:(N2-1));
subplot(312), plot(f,HH(1:N2),'r',f,Pyy(1:N2),'g'),
title('СЩП моделі, СЩП оцінена по реалізації y'), xlabel('f,Hз');

H1 = ifft(HH1);
HAK1= real(H1)*B;
subplot(313), plot(t1,akf(N:(N+N2-1)),'g',t1,HAK1(1:N2),'r'),
title('КФ моделі, КФ оцінена по реалізації y'), xlabel('t,s');

```

1.2. Запустити в MATLAB програму LR_FK.

1.3. Задати порядок моделі (параметр nm). Наприклад, $nm=7$. Значення вхідних параметрів для кожного варіанту наведені в Додатку Є.

1.4. Відповідно до варіанту задати наступні параметри:

- центральну частоту ω_0 ;
- час кореляції (параметр Tau);
- СКВ гаусівського випадкового процесу.

1.5. Отримати і відобразити в звіті графік реалізації ГВП із заданими параметрами (рис. 7.1).

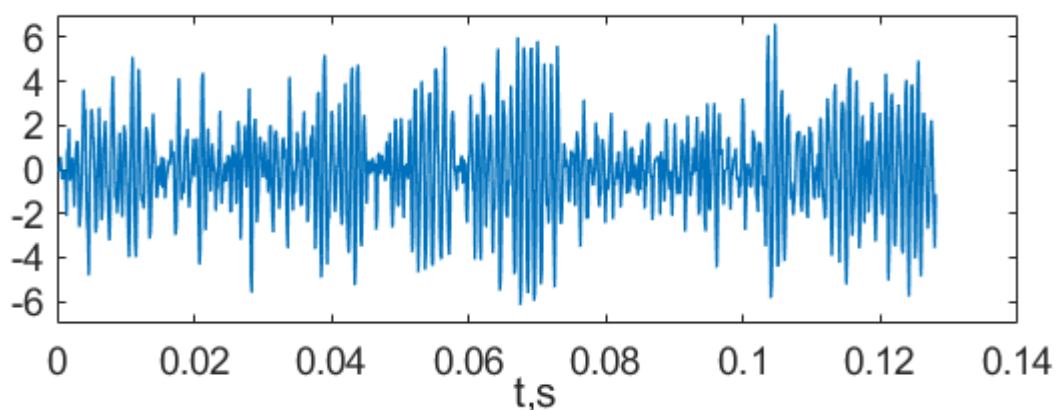


Рис. 7.1 — Реалізація ГВП

1.6. Отримати і занести в звіт графік СЦП моделі і графік СЦП, яка оцінена на основі сформованої реалізації. Порівняти графіки між собою. Приклад графіків показано на рис. 7.2.

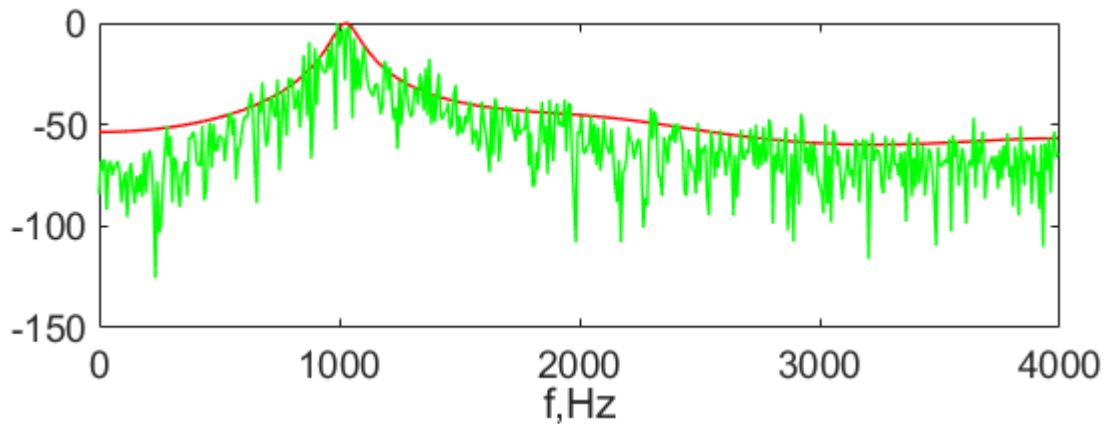


Рис. 7.2 — СЦП моделі (червона крива); СЦП оцінена на основі реалізації ГВП (зелена крива)

1.7. Отримати і відобразити в звіті графік КФ моделі і графік КФ, яка оцінена на основі сформованої реалізації. Порівняти графіки між собою. Приклад графіків показано на рис. 7.3.

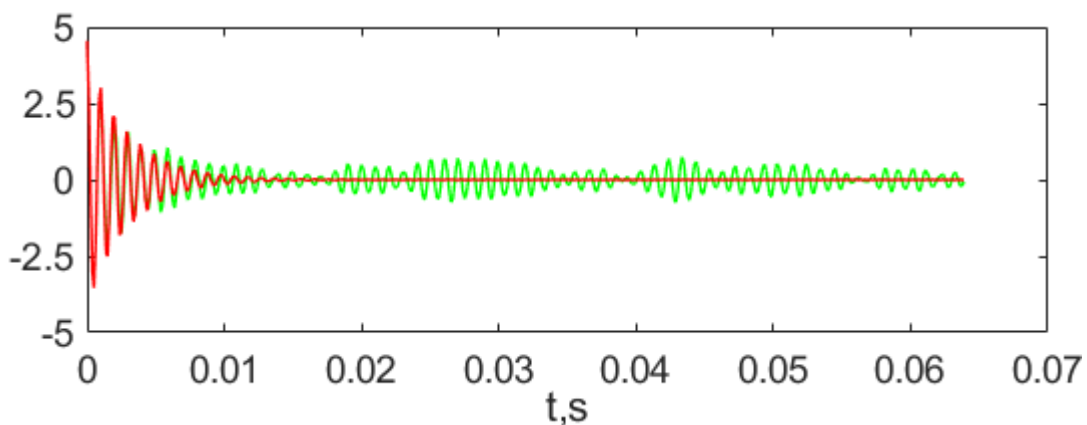


Рис. 7.3 — КФ моделі (червона крива); КФ оцінена на основі реалізації ГВП (зелена крива)

1.8. Вивести і записати у звіт вектор коефіцієнтів передбачення A марковської моделі, які отримані шляхом рішення системи рівнянь Юла-Уокера.

1.9. Вивести і записати у звіт дисперсію помилки передбачення B марковської моделі, що розрахована за допомогою рішення рівнянь Юла-Уокера.

2. Дослідження фільтру Калмана

2.1. Ознайомитися із програмою FK за допомогою якої реалізується алгоритм калмановської фільтрації і досліджуються характеристики фільтру Калмана. Зчитування із файлу попередньо збережених параметрів моделі відбувається за допомогою використання команди `load`. В ході дослідження особливостей функціонування фільтра Калмана необхідно розібратися із наступними питаннями:

- моделювання реалізації марковського гаусівського випадкового процесу із заданими кореляційними характеристиками на основі моделі, представленої в просторі станів;
- моделювання рівняння спостереження;
- моделювання алгоритму калмановської фільтрації;
- обчислення методом Монте-Карло математичного очікування і дисперсії помилки фільтрації сигналу. Для цього використовується функція `disper()` деталі реалізації якої вивчалися в лабораторній роботі № 6.

Лістинг програми FK:

```
%Фільтр Калмана
clear;
close all;
clc;

M=input('Введіть M=') %число випробувань
N=input('Введіть N=') %кількість відліків в повідомленні
r=input('Введіть r=') %СКВ помилки вимірювання
R2=r^2;

%зчитати з файлу параметри nm, A, B, B1
load MOD
nm=nm-1;

F=zeros(nm,nm);
F(1,:)=A;
```

```

for ii=1:nm-1
    F(ii+1,ii)=1;
end

F, pause
G=B1;
Q=B;
xom=zeros(1,N);
xod=zeros(1,N);
xzm=zeros(1,N);
xzd=zeros(1,N);

for i=1 : M
    x=zeros(nm,1);
    xo=zeros(nm,1);
    Po=eye(nm,nm);
    Po=Po.*R2;

    for n=1 : N
        x=F*x;
        x(1)=x(1)+ G*randn(1,1);
        xm(n)=x(1);
        y(n)=x(1) + r*randn(1,1);
        xz=F*xo;
        Pz=F*Po*F'; Pz(1,1)=Pz(1,1)+ Q;
        pzd(n)=Pz(1,1);
        [xzm(n), xzd(n)]=disper(i,xz(1)-x(1),xzm(n),xzd(n));
        K=Pz(:,1)./(Pz(1,1)+R2);
        Po=Pz-K*Pz(:,1)';
        pod(n)=Po(1,1);
        xo=xz+K.*(y(n) - xz(1));
        om(n)=xo(1);
        [xom(n), xod(n)]=disper(i,xo(1)-x(1),xom(n),xod(n));
    end
end

t=1:N;
figure;
subplot(311);
plot(t,xm,'r',t,y,'b',t,om,'g'),title('Повідомлення, Спостереження, Оцінка'),
xlabel('n'),ylabel('x');
subplot(312);
plot(t,xzm,'g',t,sqrt(xzd),'b',t,sqrt(pzd),'r'),title('Помилка прогнозу'),
xlabel('n'),ylabel('СКВ*');
subplot(313);
plot(t,xom,'g',t,sqrt(xod),'b',t,sqrt(pod),'r'),title('Помилки оцінки'),
xlabel('n'),ylabel('СКВ\wedge ');

```

2.2. Запустити в MATLAB програму FK.

2.3. Задати значення кількості випробувань методом Монте-Карло (параметр M). Значення параметру M обирати не меншим ніж 100.

2.4. Задати значення кількості відліків в сигналі повідомлення (параметр N). Значення параметру N обирати не меншим ніж 200.

2.5. Задати значення середньоквадратичного відхилення помилки вимірювання (параметр r). Обрати значення параметру r , що рівне величині параметру СКВ, який задавався в пункті 1.4 в першій частині лабораторної роботи.

2.6. Занести у звіт перехідну матрицю моделі повідомлення в просторі станів (матриця F). Проаналізувати залежність між розміром матриці F та порядком моделі, який задавався в пункті 1.3 в першій частині лабораторної роботи.

2.7. Отримати та відобразити в звіті графіки повідомлення, спостереження та оцінки. Приклад графіків показано на рис. 7.4.

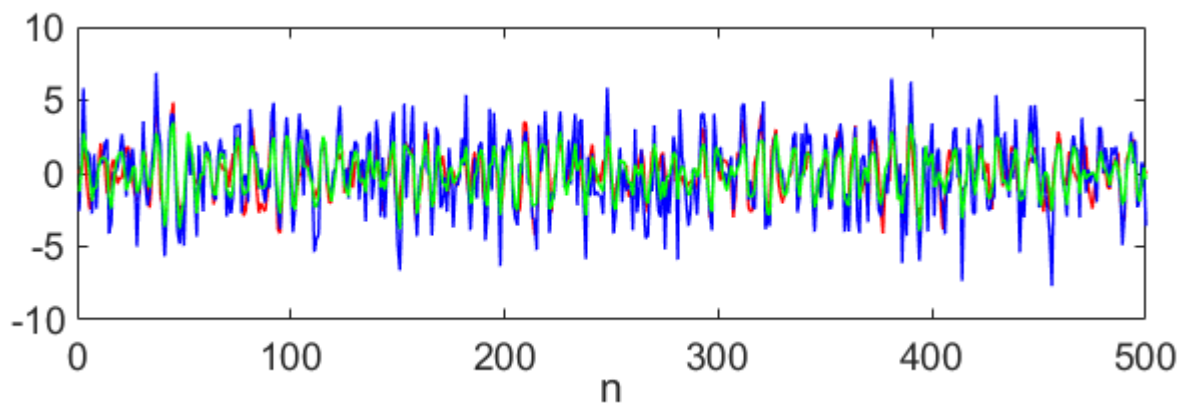


Рис. 7.4 — Повідомлення (червона крива), спостереження (синя крива), оцінка (зелена крива)

2.8. Отримати та відобразити в звіті графіки: СКВ помилки передбачення, що розраховане фільтром Калмана, а також математичне очікування та СКВ помилки передбачення, що отримані методом Монте-Карло (рис. 7.5).

2.9. Отримати та відобразити в звіті графіки: СКВ помилки оцінки, яке розраховане фільтром Калмана, а також математичне очікування та СКВ помилки оцінки, які отримані методом Монте-Карло (рис. 7.6). Виконати аналіз графіків та порівняти із результатами, що отримані в пункті 2.8. Зробити висновки.

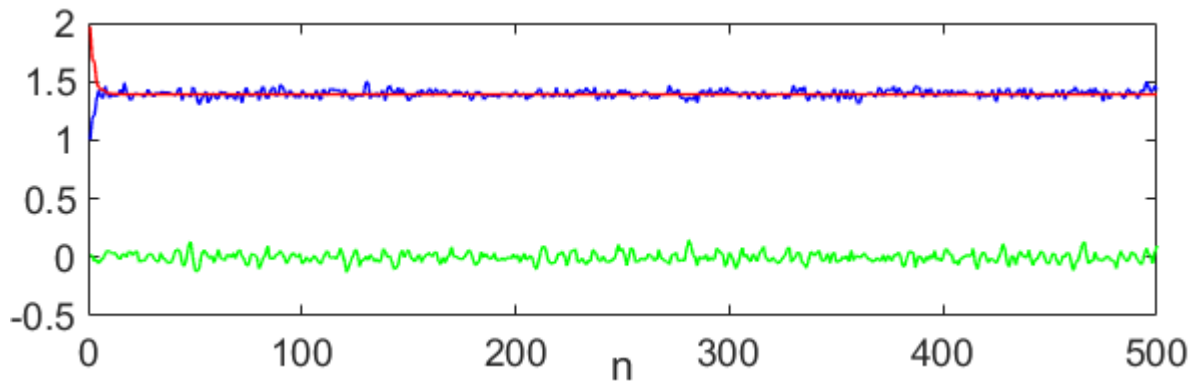


Рис. 7.5 — СКВ помилки передбачення, яке обчислене фільтром Калмана (червона крива), СКВ помилки передбачення, яке обчислене методом Монте-Карло (синя крива), математичне очікування помилки передбачення, яке обчислене методом Монте-Карло (зелена крива)

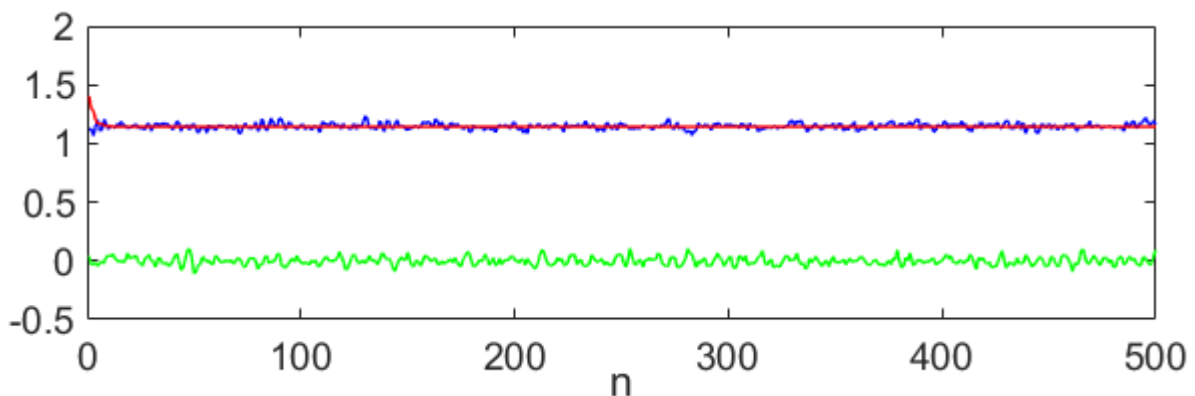


Рис. 7.6 — СКВ помилки оцінки, яке обчислене фільтром Калмана (червона крива), СКВ помилки оцінки, яке обчислене методом Монте-Карло (синя крива), математичне очікування помилки оцінки, яке обчислене методом Монте-Карло (зелена крива)

Контрольні запитання до лабораторної роботи № 7

1. Поясніть яким чином формуються значення перехідної матриці моделі повідомлення?
2. Поясніть принцип функціонування фільтра Калмана?
3. Чим відрізняється передбачення від апостеріорної оцінки?

4. Які види завад дозволяє фільтрувати калманівський фільтр?
5. Поясніть яким чином, використовуючи графіки, що отримані в ході виконання лабораторної роботи, можна оцінити кількісні показники якості фільтрації сигналу?
6. Поясніть суть методу Монте-Карло, який застосовується в лабораторній роботі?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Прокопенко І.Г. Статистична обробка сигналів: навч. посіб. МОНУ/ І.Г. Прокопенко. — К.: НАУ, 2011. — 220 с.
2. Методи та засоби обробки сигналів. Навчальний посібник./ Г. Д. Братченко, Б. В. Перелигін , О. В. Банзак, Н. Ф. Казакова, Д. В. Григор'єв — Одеса: Типографія-видавництво «Плутон», 2014. — 452 с.
3. Оптимізація проектування радіотехнічних систем: метод. вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Оптимізація проектування радіотехнічних систем» для студ. радіотехнічного ф-ту / Уклад.: С.Я. Жук — К.: НТУУ "КПІ", 2012. — 26 с.
4. MATLAB and Simulink for Signal Processing [Електронний ресурс] — Режим доступа: <https://www.mathworks.com/solutions/signal-processing.html>. — Дата доступа: 06.06.2022.

ДОДАТОК А. ВАРІАНТИ ЗАЗДАНЬ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 1

В таблиці А.1 наведені значення вхідних параметрів — тривалість імпульсу NS та амплітуда імпульсу A .

Номер варіанту для відповідного студента визначається його порядковим номером в списку академічної студентської групи.

Якщо лабораторна робота виконується в різних академічних студентських групах, то значення амплітуди A потрібно обирати із відповідного стовбця для відповідної академічної студентської групи.

Таблиця А.1 — Вхідні параметри

Номер варіанту	Тривалість імпульсу NS	Амплітуда, A		
		академ. група 1	академ. група 2	академ. група 3
1.	32	1	10	2
2.	64	2	9	4
3.	96	3	8	6
4.	128	4	7	8
5.	160	5	6	10
6.	192	6	5	12
7.	224	7	4	1
8.	256	8	3	3
9.	224	9	2	5
10.	192	10	1	7
11.	160	1	10	9
12.	128	2	9	11
13.	96	3	8	2

Таблиця А.1 — Вхідні параметри (продовження)

Номер варіанту	Тривалість імпульсу NS	Амплітуда, А		
		академ. група 1	академ. група 2	академ. група 3
14.	128	8	3	12
15.	160	9	2	1
16.	192	10	1	3
17.	224	1	10	5
18.	256	2	9	7
19.	224	3	8	9
20.	192	4	7	11
21.	160	5	6	2
22.	128	6	5	4
23.	96	7	4	6
24.	64	8	3	8
25.	32	9	2	10

ДОДАТОК Б. ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 2

В таблиці Б.1 наведені значення вхідних параметрів — центральна частота (параметр w_0), час кореляції (параметр Tau), середнє квадратичне відхилення (параметр $СКВ$). Номер варіанту для відповідного студента визначається його порядковим номером в списку академічної студентської групи. Якщо лабораторна робота виконується в різних академічних студентських групах, то значення параметру $СКВ$ потрібно обирати із відповідного стовбця для відповідної академічної студентської групи.

Таблиця Б.1 — Вхідні параметри

Номер варіанту	Центральна частота, Гц	Час кореляції (к-ть тактів)	$СКВ$		
			академ. група 1	академ. група 2	академ. група 3
1.	500	50	5	10	15
2.	600	45	5	10	15
3.	800	40	5	10	15
4.	900	35	5	10	15
5.	1000	30	5	10	15
6.	1100	25	5	10	15
7.	1200	20	5	10	15
8.	1300	15	5	10	15
9.	1400	10	5	10	15
10.	1500	5	5	10	15
11.	1600	50	5	10	15
12.	1700	45	5	10	15
13.	1800	40	5	10	15

Таблиця Б.1 — Вхідні параметри (продовження)

Номер варіанту	Централь- на частота, $\Gamma\text{ц}$	Час кореля- ції (к-ть тактів)	<i>СКВ</i>		
			академ. група 1	академ. група 2	академ. група 3
14.	1900	35	5	10	15
15.	2000	30	5	10	15
16.	2100	25	5	10	15
17.	2200	20	5	10	15
18.	2300	15	5	10	15
19.	2400	10	5	10	15
20.	2500	5	5	10	15
21.	2600	50	5	10	15
22.	2700	45	5	10	15
23.	2800	40	5	10	15
24.	2900	35	5	10	15
25.	3000	30	5	10	15

ДОДАТОК В. ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 3

В таблиці В.1 наведені значення вхідних параметрів — амплітуда імпульсу A та тривалість імпульсу T . Номер варіанту для відповідного студента визначається його порядковим номером в списку академічної студентської групи. Якщо лабораторна робота виконується в різних академічних студентських групах, то значення параметрів A та T потрібно обирати із відповідного стовбця для відповідної академічної студентської групи.

Таблиця В.1 — Вхідні параметри

Номер варіанту	академ. група 1		академ. група 2		академ. група 3	
	A	T	A	T	A	T
1.	1	2	1	1	2	1
2.	2	2	3	1	2	2
3.	3	2	5	1	2	3
4.	4	2	7	1	2	4
5.	5	2	9	1	2	5
6.	6	2	1	2	3	1
7.	1	3	3	2	3	2
8.	2	3	5	2	3	3
9.	3	3	7	2	3	4
10.	4	3	9	2	3	5
11.	5	3	1	3	4	1
12.	6	4	3	3	4	2
13.	1	4	5	3	4	3

Таблиця В.1 — Вхідні параметри (продовження)

Номер варіанту	академ. група 1		академ. група 2		академ. група 3	
	<i>A</i>	<i>T</i>	<i>A</i>	<i>T</i>	<i>A</i>	<i>T</i>
14.	2	4	7	3	4	4
15.	3	4	9	3	4	5
16.	4	4	1	4	5	1
17.	5	4	3	4	5	2
18.	6	4	5	4	5	3
19.	1	5	7	4	5	4
20.	1	2	1	1	2	1
21.	2	2	3	1	2	2
22.	3	2	5	1	2	3
23.	4	2	7	1	2	4
24.	5	2	9	1	2	5
25.	6	2	1	2	3	1

ДОДАТОК Г. ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 4

В таблиці Г.1 наведені значення вхідних параметрів — амплітуда імпульсу A , тривалість імпульсу T , ймовірність помилкової тривоги PL . Номер варіанту визначається порядковим номером студента в списку академічної групи. Якщо лабораторна робота виконується в різних академічних студентських групах, то значення параметрів A , T , PL потрібно обирати із відповідного стовбця для відповідної академічної студентської групи.

Таблиця Г.1 — Вхідні параметри

Номер варіанту	академ. група 1			академ. група 2			академ. група 3		
	A	T	PL	A	T	PL	A	T	PL
1.	2	2	0.05	2	1	0.05	2	1	0.15
2.	3	2	0.05	2	2	0.1	2	2	0.15
3.	4	2	0.05	2	3	0.15	2	3	0.15
4.	5	2	0.05	2	4	0.2	2	4	0.15
5.	2	3	0.05	3	1	0.05	3	1	0.15
6.	3	3	0.05	3	2	0.1	3	2	0.15
7.	4	3	0.05	3	3	0.15	3	3	0.15
8.	5	3	0.05	3	4	0.2	3	4	0.15
9.	2	4	0.05	4	1	0.05	4	1	0.15
10.	3	4	0.05	4	2	0.1	4	2	0.15
11.	4	4	0.05	4	3	0.15	4	3	0.15
12.	5	4	0.05	4	4	0.2	4	4	0.15
13.	2	2	0.1	5	1	0.05	5	1	0.15

Таблиця Г.1 — Вхідні параметри (продовження)

Номер варіанту	академ. група 1			академ. група 2			академ. група 3		
	<i>A</i>	<i>T</i>	<i>PL</i>	<i>A</i>	<i>T</i>	<i>PL</i>	<i>A</i>	<i>T</i>	<i>PL</i>
14.	2	2	0.05	2	1	0.05	2	1	0.15
15.	3	2	0.05	2	2	0.1	2	2	0.15
16.	4	2	0.05	2	3	0.15	2	3	0.15
17.	5	2	0.05	2	4	0.2	2	4	0.15
18.	2	3	0.05	3	1	0.05	3	1	0.15
19.	3	3	0.05	3	2	0.1	3	2	0.15
20.	4	3	0.05	3	3	0.15	3	3	0.15
21.	5	3	0.05	3	4	0.2	3	4	0.15
22.	2	4	0.05	4	1	0.05	4	1	0.15
23.	3	4	0.05	4	2	0.1	4	2	0.15
24.	4	4	0.05	4	3	0.15	4	3	0.15
25.	5	4	0.05	4	4	0.2	4	4	0.15

ДОДАТОК Д. ВАРІАНТИ ЗАДАнь ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 5

В таблиці Д.1 наведені значення вхідних параметрів — амплітуда імпульсу A та тривалість імпульсу T . Номер варіанту для відповідного студента визначається його порядковим номером в списку академічної студентської групи. Якщо лабораторна робота виконується в різних академічних студентських групах, то значення параметрів A та T потрібно обирати із відповідного стовбця для відповідної академічної студентської групи.

Таблиця Д.1 — Вхідні параметри

Номер варіанту	академ. група 1		академ. група 2		академ. група 3	
	A	T	A	T	A	T
1.	1	1	6	1	5	1
2.	1	2	5	1	4	2
3.	1	3	4	1	4	1
4.	1	4	3	1	3	4
5.	1	5	2	1	3	3
6.	1	6	1	1	3	2
7.	2	1	4	2	3	1
8.	2	2	3	2	2	6
9.	2	3	3	3	2	5
10.	2	4	3	4	2	4
11.	2	5	2	2	2	3
12.	2	6	1	3	2	2
13.	3	1	2	4	2	1

Таблиця Д.1 — Вхідні параметри (продовження)

Номер варіанту	академ. група 1		академ. група 2		академ. група 3	
	<i>A</i>	<i>T</i>	<i>A</i>	<i>T</i>	<i>A</i>	<i>T</i>
14.	3	2	2	4	4	2
15.	3	3	1	4	1	1
16.	3	4	2	5	2	1
17.	4	1	1	5	3	1
18.	4	2	2	6	4	1
19.	5	1	1	6	5	1
20.	1	6	5	1	2	6
21.	1	5	4	2	1	5
22.	1	4	4	1	2	5
23.	1	3	3	4	1	4
24.	1	2	3	3	2	4
25.	1	1	3	2	1	3

ДОДАТОК Е. ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 6

В таблиці Е.1 наведені значення вхідних параметрів — амплітуда імпульсу A та параметр a . Номер варіанту для відповідного студента визначається його порядковим номером в списку академічної студентської групи. Якщо лабораторна робота виконується в різних академічних студентських групах, то значення параметрів A та a потрібно обирати із відповідного стовбця для відповідної академічної студентської групи.

Таблиця Е.1 — Вхідні параметри

Номер варіанту	академ. група 1		академ. група 2		академ. група 3	
	A	a	A	a	A	a
1.	1	0.1	1	0.2	4	10
2.	2	0.1	1	0.4	4	8
3.	3	0.1	1	0.6	4	6
4.	4	0.1	1	0.8	4	4
5.	1	0.3	1	1.0	4	2
6.	2	0.3	2	0.2	4	1
7.	3	0.3	2	0.4	3	10
8.	4	0.3	2	0.6	3	8
9.	1	0.5	2	0.8	3	6
10.	2	0.5	2	1.0	3	4
11.	3	0.5	3	0.2	3	2
12.	4	0.7	3	0.4	3	1
13.	1	0.7	3	0.6	2	10

Таблиця Е.1 — Вхідні параметри (продовження)

Номер варіанту	академ. група 1		академ. група 2		академ. група 3	
	<i>A</i>	<i>T</i>	<i>A</i>	<i>T</i>	<i>A</i>	<i>T</i>
14.	2	0.7	3	0.8	2	8
15.	3	0.7	4	1.0	2	6
16.	4	0.7	4	0.2	2	4
17.	1	0.9	4	0.4	2	2
18.	2	0.9	4	0.6	2	1
19.	3	0.9	4	0.8	1	10
20.	4	0.9	4	1.0	1	8
21.	4	0.6	4	0.7	2	7
22.	3	4	3	1	1	0.3
23.	2	0.4	2	0.9	1	5
24.	1	10	1	8	2	0.5
25.	2	0.1	2	0.8	3	3

ДОДАТОК Є. ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 7

В таблиці Б.1 наведені значення вхідних параметрів — центральна частота (параметр w_0), час кореляції (параметр Tau), середнє квадратичне відхилення (параметр $СКВ$). Номер варіанту для відповідного студента визначається його порядковим номером в списку академічної студентської групи. Якщо лабораторна робота виконується в різних академічних студентських групах, то значення параметру $СКВ$ потрібно обирати із відповідного стовбця для відповідної академічної студентської групи.

Таблиця Є.1 — Вхідні параметри

Номер варіанту	Центральна частота, Гц	Час кореляції (к-ть тактів)	СКВ		
			академ. група 1	академ. група 2	академ. група 3
1.	500	50	5	10	15
2.	600	45	5	10	15
3.	800	40	5	10	15
4.	900	35	5	10	15
5.	1000	30	5	10	15
6.	1100	25	5	10	15
7.	1200	20	5	10	15
8.	1300	15	5	10	15
9.	1400	10	5	10	15
10.	1500	5	5	10	15
11.	1600	50	5	10	15
12.	1700	45	5	10	15
13.	1800	40	5	10	15

Таблиця Є.1 — Вхідні параметри (продовження)

Номер варіанту	Централь- на частота, <i>Гц</i>	Час кореля- ції (к-ть тактів)	СКВ		
			академ. група 1	академ. група 2	академ. група 3
14.	1900	35	5	10	15
15.	2000	30	5	10	15
16.	2100	25	5	10	15
17.	2200	20	5	10	15
18.	2300	15	5	10	15
19.	2400	10	5	10	15
20.	2500	5	5	10	15
21.	2600	50	5	10	15
22.	2700	45	5	10	15
23.	2800	40	5	10	15
24.	2900	35	5	10	15
25.	3000	30	5	10	15