

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З КУРСУ «СТАТИСТИЧНА РАДІОФІЗИКА»**

для студентів спеціальності
6.040204-01 – Радіофізика і електроніка

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 1 від 20.06.2012 р.

Харків
НТУ «ХПІ»

2012

Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу «Статистична радіофізика»
для студентів спеціальності Радіофізика і електроніка / уклад. Д.В. Котов,
О.В. Богомаз. – Х. : НТУ «ХП», 2012. – 40 с.

Укладачі: Д.В. Котов
О.В. Богомаз

Рецензент Ю.І. Под'ячий

Кафедра радіоелектроніки

ВСТУП

Методичні вказівки охоплюють всі основні розділи курсу «Статистична радіофізика».

Створені на кафедрі радіоелектроніки макети та спеціалізовані комп'ютерні програми дозволяють проводити експериментальні та теоретичні дослідження статистичних характеристик випадкових процесів – законів розподілу, числових характеристик, авто- та взаємкореляційних функцій.

Кожна робота передбачає дослідження зазначених характеристик спочатку за допомогою макета та вимірювальних приладів. Після цього проводяться теоретичні розрахунки, результати яких порівнюються з даними експерименту.

Окрім досліджень статистичних характеристик випадкових сигналів, розглядається також їх зміна при проходженні сигналів крізь лінійні та нелінійні кола з постійними параметрами. Подальший аналіз отриманих результатів сприяє більш глибокому розумінню особливостей лінійних та нелінійних перетворень випадкових сигналів.

Експериментальне та теоретичне вивчення властивостей кореляційних функцій випадкових сигналів й особливостей вимірювання таких функцій дозволяє студентам набути корисних навичок в галузі кореляційного оброблення випадкових сигналів, що має велике значення в роботі сучасного радіофізика.

Кожна лабораторна робота містить контрольні запитання для перевірки знань засвоєного матеріалу.

Лабораторні роботи цілком відповідають вимогам навчального плану та навчальної програми курсу «Статистична радіофізика», розробленого для студентів спеціальності «Радіофізика і електроніка».

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1

ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИПАДКОВИХ СИГНАЛІВ

Мета роботи

1. Ознайомитися з практичними особливостями вимірювань статистичних характеристик випадкових сигналів.

1.1.2 Дослідити числові характеристики та закони розподілу випадкових сигналів.

1.1. Опис лабораторної установки та методик вимірювань

Лабораторна установка містить:

- спеціалізований лабораторний макет, лицеву панель якого зображено на рис. 1.1;
- осцилограф С1-93.

Лабораторна установка дозволяє отримати одновимірний закон розподілу (одновимірну інтегральну функцію розподілу), одновимірний диференційний закон розподілу (одновимірну густину ймовірності), дисперсію та середнє значення для таких випадкових сигналів:

- гармонічного з випадковою фазою, рівномірно розподіленою в інтервалі від 0 до 2π ;
- періодичної послідовності симетричних «трикутних» сигналів з нульовим середнім значенням і випадковою затримкою t_0 , рівномірно розподіленою в межах періоду сигналу T (рис. 1.2).
- шуму з нормальним законом розподілу;
- суми декількох (від двох до чотирьох) описаних вище незалежних випадкових сигналів.

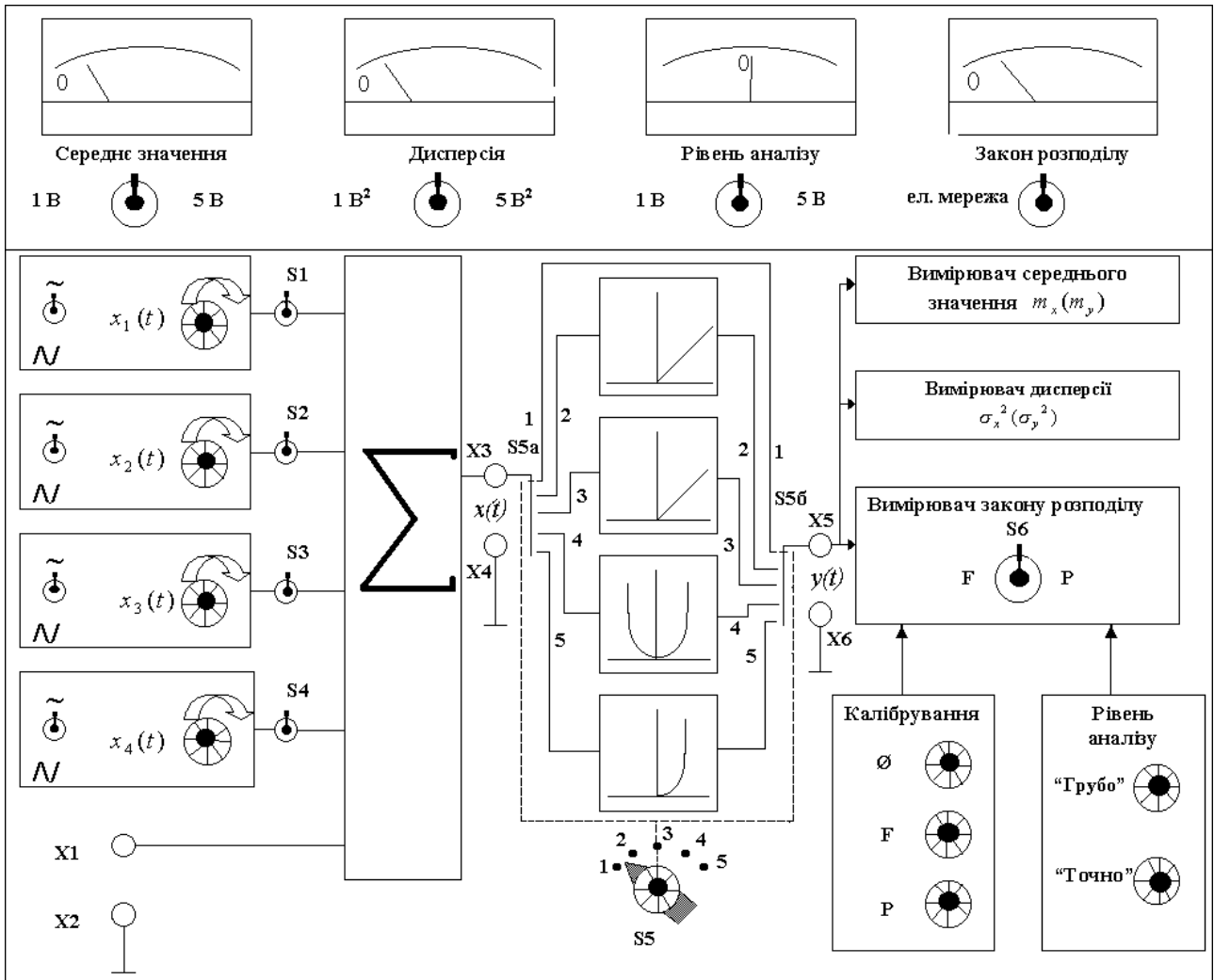


Рисунок 1.1

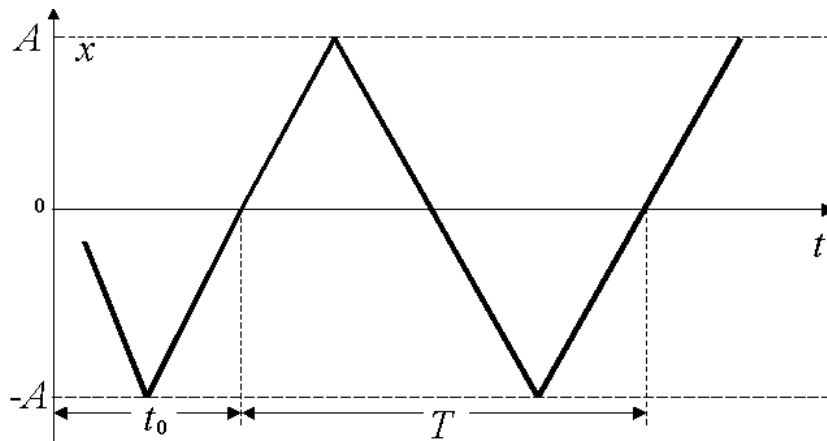


Рисунок 1.2

Передбачено можливість дослідження статистичних характеристик сигналів, які отримують шляхом пропускання вищезгаданих випадкових сигналів крізь такі безінерційні нелінійні кола:

- двобічний лінійний ключ з характеристикою

$$y = a|x|, \quad a = \text{const};$$

- одnobічний лінійний ключ з характеристикою

$$y = \begin{cases} ax, & x \geq 0, \quad a = \text{const} \\ 0, & x < 0 \end{cases};$$

- двобічний квадратор з характеристикою

$$y = bx^2, \quad b = \text{const};$$

- одnobічний квадратор з характеристикою

$$y = \begin{cases} bx^2, & x \geq 0, \quad b = \text{const} \\ 0, & x < 0 \end{cases}.$$

На горизонтальній панелі лабораторного макета (див. рис. 1.1) розміщено:

- тумблери, що дозволяють обирати вид випадкового сигналу (гармонічний або «трикутний»), а також регулятори величини цих сигналів;
- тумблери S1–S4 для вибору потрібної кількості сигналів;
- перемикач S5 для вибору типу нелінійного елемента;
- тумблер S6 для вибору закону розподілу, який потрібно виміряти (інтегральний або диференційний).

На вертикальній панелі лабораторного макета розташовано стрілкові вимірювачі середнього значення, дисперсії, індикатори рівня аналізу та законів розподілу. Під вимірювачами розміщено відповідні тумблери, за допомогою яких встановлюють потрібні межі вимірювань.

Макет містить чотири генератори взаємозалежних сигналів (гармонічних або «трикутних») з випадковою рівномірно розподіленою початковою фазою (початковою затримкою), та амплітудою (висотою), що регулюється в межах від 0 до 6 В. Частота сигналів приблизно дорівнює 10 кГц. Лінійний суматор із п'ятьма входами дозволяє одержати (та спостерігати на клеммах X3–X4) суму вказаних випадкових сигналів $x(t)$. На один із входів суматора через клеми X1–X2 можна подавати шумовий сигнал із нормальним (або будь-яким іншим) законом розподілу від зовнішнього генератора (наприклад, Г2-59).

З виходу суматора сигнал $x(t)$, залежно від положення перемикача S5, може бути поданий або на вимірювач параметрів безпосередньо – положення «1», або через одне з чотирьох вищезгаданих нелінійних кіл – положення «2». Сигнал на виході нелінійного кола $y(t)$ можна спостерігати за допомогою осцилографа (С1-93) на клеммах X5–X6.

Принцип вимірювання середнього значення сигналу $x(t)$ засновано на усередненні сигналу за часом за допомогою інтегруючого RC-кола. Середнє значення визначають за показами вбудованого в макет стрілкового вольтметра, що вимірює напругу в межах від 0 до 5 В.

Дисперсія сигналів вимірюється відповідно до схеми (рис. 1.3).

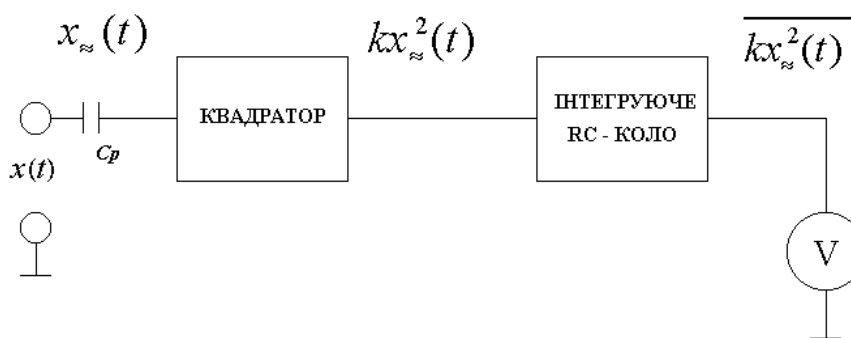


Рисунок 1.3

Розділовий конденсатор C_p не пропускає постійну складову сигналу m_x на вхід квадратора, тому процес на вході квадратора завжди буде центрованим:

$$x_{\approx}(t) = x(t) - m_x.$$

На виході квадратора утворюється сигнал

$$kx_{\approx}^2(t),$$

де k – постійний коефіцієнт.

Напруга на виході інтегруючого RC-кола, яка пропорційна дисперсії досліджуваного сигналу, вимірюється стрілковим вольтметром. Межі вимірювань – до 5 В^2 .

Методика апаратного аналізу законів розподілу, яка використовується в лабораторній установці, передбачає вимірювання відносного часу перебування реалізації випадкового сигналу в заданому інтервалі значень.

Схему вимірювання функції розподілу $F(x)$ наведено на рис. 1.4, а епюри напруги, що пояснюють принцип вимірювання цієї функції, – на рис. 1.5.

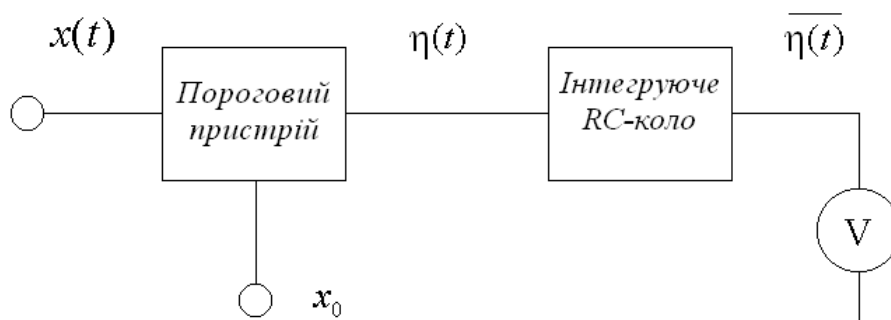


Рисунок 1.4

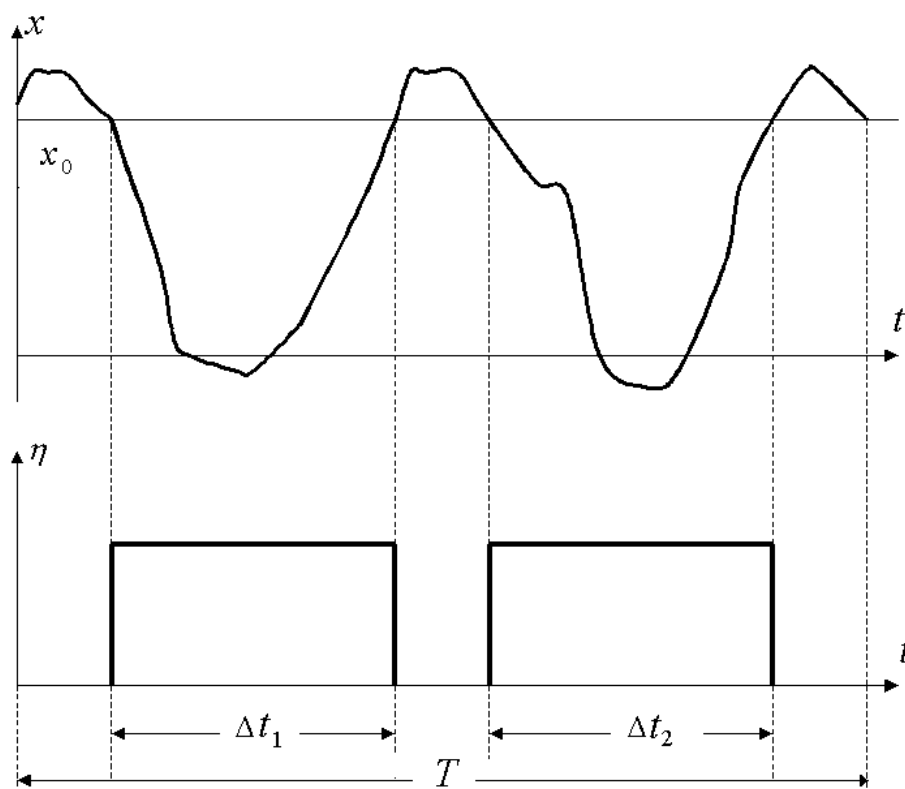


Рисунок 1.5

Характеристика порогового пристрою описується такими співвідношеннями:

$$\eta(t) = \begin{cases} 1, & x(t) \leq x_0, \\ 0, & x(t) > x_0. \end{cases}$$

Для стаціонарних ергодичних випадкових сигналів значення функції розподілу $F(x_0)$ дорівнює відносному часу перебування реалізації нижче рівня x_0 :

$$F(x_0) = p\{x(t) \leq x_0\} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{\sum \Delta t_i}{T},$$

де $p\{x(t) \leq x_0\}$ – ймовірність перебування реалізації не вище рівня x_0 ; Δt_i – величина i -го інтервалу часу, впродовж якого виконується умова $x(t) \leq x_0$; T – час спостережень.

У цьому випадку час T має порядок сталої часу інтегруючого RC-кола, а постійна складова напруги на виході цього кола $\bar{\eta}(t)$ пропорційна значенням функції $F(x_0)$. Змінюючи значення порогового рівня x_0 ручками «Рівень аналізу» («Грубо» та «Точно»), можна експериментально визначити функцію $F(x_0)$. Значення рівня аналізу реєструється вольтметром з межами вимірювань ± 1 та ± 5 В, а значення функції $F(x)$ вимірює вольтметр «Закон розподілу» (тумблер S6 в цьому випадку має знаходитися в положенні «F»).

Необхідно зазначити, що перед початком вимірювань функції $F(x)$, потрібно обов'язково провести калібрування вимірювача. Калібрування здійснюється за допомогою ручок «Рівень аналізу», а також «Ø» та «F» на лицевій панелі макета.

Схему вимірювача густини ймовірності $p(x)$ наведено на рис. 1.6, а епюри напруги, що пояснюють принцип вимірювання функції, – на рис. 1.7.

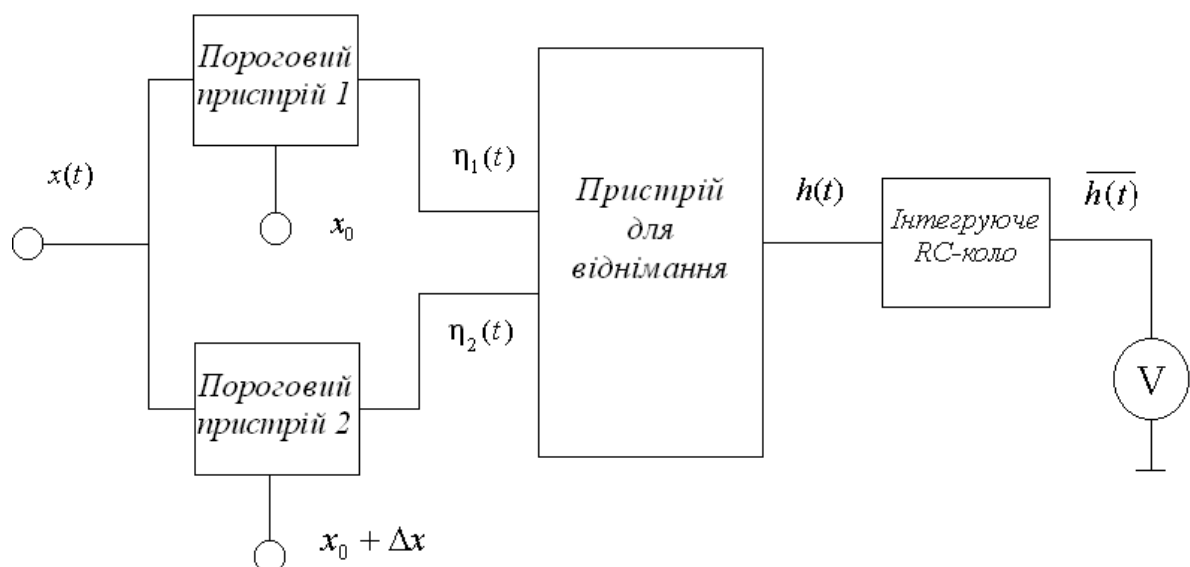


Рисунок 1.6

Тумблер S6 має заходитися в положенні «Р».

Рівень спрацьовування першого порогового пристрою дорівнює x_0 , а другого – $x_0 + \Delta x$ (для макета $\Delta x = 0,05$ В).

Вихідні сигнали порогових пристроїв $\eta_1(t)$ та $\eta_2(t)$ надходять на пристрій для віднімання, на виході якого утворюється імпульсний сигнал

$$h(t) = \eta_1(t) - \eta_2(t).$$

Сумарна тривалість імпульсів $h(t)$ на відрізку часу T пропорційна ймовірності перебування значень досліджуваного сигналу в інтервалі від x_0 до $x_0 + \Delta x$:

$$p\{x_0 \leq x(t) \leq x_0 + \Delta x\} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{\sum \Delta t_i}{T}.$$

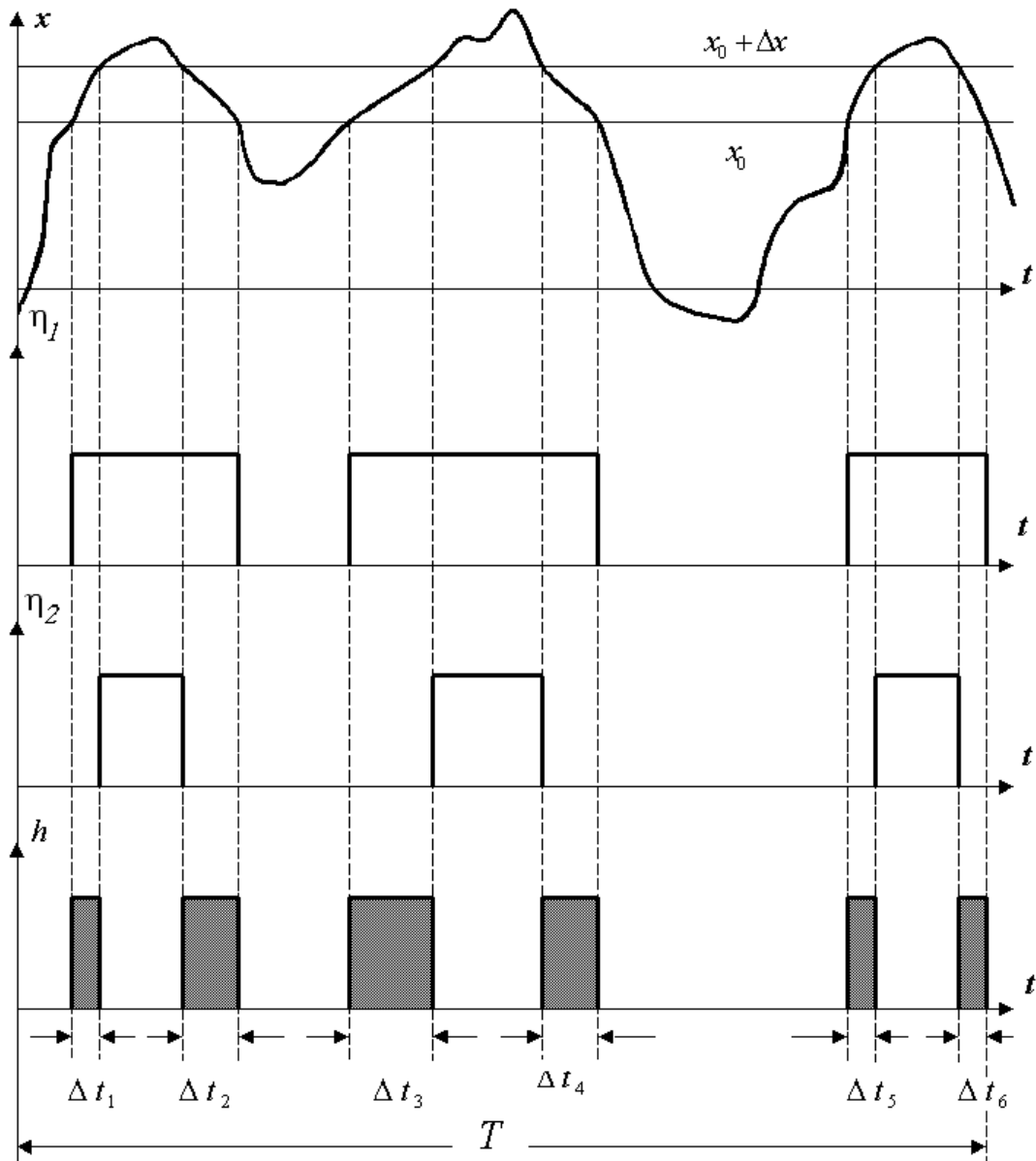


Рисунок 1.7

Величина постійної складової напруги на виході інтегруючого кола:

$$\bar{h}(t) = p\{x_0 \leq x(t) \leq x_0 + \Delta x\} \approx p(x_0)\Delta x.$$

Змінюючи рівень аналізу x_0 (ручки «Рівень аналізу» – «Точно» та «Грубо»), можна визначити форму функції $p(x)$. Абсолютні значення густини ймовірності обчислюють, виходячи з необхідної умови $\int_{-\infty}^{+\infty} p(x)dx = 1$.

1.2. Порядок виконання експериментальної частини

Експериментальна частина лабораторної роботи складається з двох етапів.

На першому етапі виконуються дослідження законів розподілу випадкових сигналів та вимірювання середнього значення й дисперсії цих сигналів за допомогою лабораторного макета та вимірювальних приладів.

На другому етапі виконуються дослідження статистичних характеристик вищезгаданих сигналів за допомогою створеної на кафедрі радіоелектроніки комп'ютерної програми Slusign.

Методичні вказівки до макетного дослідження

1) Виміряти функцію розподілу $F(x)$, густину ймовірності $p(x)$, середнє значення та дисперсію σ_x^2 «трикутного» коливання з випадковою початковою затримкою і висотою $A = 1$ В та $A = 0,5$ В.

- Зробити початкові установки:
 - підключити осцилограф С1-93 до клем Х3–Х4;
 - вимкнути тумблерами S1–S4 генератори випадкових сигналів від входів суматора;
 - встановити тумблери вибору виду сигналу в положення «▲▼»;
 - повернути регулятори рівня сигналів до упору проти годинникової стрілки.
 - встановити перемикач S5 в положення «1»;
 - перевести тумблер S6 у положення «F»;
 - встановити ручки регулятора рівня аналізу «Грубо» та «Точно» у середнє положення.
- Провести калібрування вимірювача функції розподілу. Для цього зробити таке:
 - встановити ручкою «Точно» стрілку вимірювача рівня аналізу на ліву половину шкали (рівень аналізу повинен мати якомога менше за абсолютною величиною від'ємне значення). Встановити ручкою

«Калібрування \emptyset » стрілку вимірювача закону розподілу на нульову позначку;

- встановити ручкою «Точно» стрілку вимірювача рівня аналізу в праву половину шкали (рівень аналізу повинен мати якомога менше за абсолютною величиною додатне значення). Встановити ручкою «Калібрування F» стрілку вимірювача закону розподілу на позначку «100», що відповідає умові $F(x) = 1$.
- Підключити тумблером S1 генератор «трикутного» сигналу $x_1(t)$ до входу суматора. Встановити висоту сигналу $x(t) = x_1(t)$ на виході суматора $A = 1$ В. Значення A виміряти за допомогою осцилографа.
- Визначити за показниками відповідних стрілкових індикаторів середнє значення та дисперсію сигналу σ_x^2 .
- Записати значення рівня аналізу, для яких $F(x) = 0; 0,1; 0,2; \dots 0,8; 0,9; 1,0$. Результати вимірювань подати у вигляді таблиці.
- Перевести тумблер S6 в положення «р». При напрузі рівня аналізу близько 5 В (додатному чи від'ємному) ручкою «Калібрування \emptyset » встановити стрілку вимірювача закону розподілу на нульову позначку, а при напрузі рівня аналізу, яка дорівнює нулю, ручкою «Калібрування P» встановити на вимірювачі зручне для відліку значення.
- Виміряти значення $p(x)$ для 5 – 10 рівнів аналізу. Результати вимірювань подати у вигляді таблиці.

2) Виміряти функцію розподілу $F(x)$, густину ймовірності $p(x)$, середнє значення та дисперсію σ_x^2 для таких сигналів:

- «трикутний» сигнал з висотою $A = 0,5$ В;
- сума двох «трикутних» сигналів з висотами $A_1 = A_2 = 1$ В;
- сума трьох «трикутних» сигналів з висотами $A_1 = A_2 = A_3 = 1$ В;
- сума чотирьох «трикутних» сигналів з висотами $A_1 = A_2 = A_3 = A_4 = 1$ В;
- сума двох «трикутних» сигналів при $A_1 = 1$ В; $A_2 = 0,5$ В;

- гармонічне коливання з випадковою фазою та амплітудою $A = 0,5 \text{ В}$.

При вимірюваннях користуватися методикою, що описана для вимірювання функції розподілу $F(x)$, густини ймовірності $p(x)$, середнього значення та дисперсії σ_x^2 «трикутного» коливання.

3) Виміряти закон розподілу $F(x)$, густину ймовірності $p(x)$ нормального шуму. Для цього:

- підключити відповідний вихід генератора шуму Г2-59 до клем X1–X2;
- вимкнути від суматора тумблерами S1–S4 вбудовані в лабораторний макет генератори випадкових сигналів;
- подати на вхід суматора нормальний відеOSHUM з шириною енергетичного спектра 20 кГц та дисперсією $\sigma_x^2 = 1,25 \text{ В}^2$ (контролювати дисперсію за відповідним стрілковим індикатором);
- виміряти функцію розподілу $F(x)$ та густину ймовірності $p(x)$ за методикою, що описана для вимірювання функції розподілу $F(x)$ та густини ймовірності $p(x)$ «трикутного» коливання.

Методичні вказівки до комп'ютерного дослідження

Розрахунки виконуються на персональному комп'ютері після завершення макетного дослідження.

Програма «Закони розподілу та параметри випадкових сигналів» (Slusign) дозволяє визначати функцію розподілу, густину ймовірності, середнє значення та дисперсію сигналів, що найбільш часто зустрічаються. Також передбачено можливість подання у вигляді таблиць і графіків залежностей вказаних статистичних параметрів і характеристик від параметрів сигналів.

Для виконання комп'ютерного дослідження необхідно:

- обрати згідно з вказівками викладача вид та параметри сигналу, що потрібно дослідити (зазвичай вид сигналу та його параметри обираються такими, що використовувалися при макетних дослідженнях);

- записати формулу для функції розподілу $F(x)$ та переписати таблицю обчислених значень цієї функції, зарисувати її графік;
- записати формулу для густини ймовірності сигналу $p(x)$ та переписати таблицю обчислених значень цієї функції, зарисувати її графік;
- записати формулу для обчислення середнього значення m_x і дисперсії σ_x^2 сигналу, що досліджується, та їхні обчислені для заданого випадку значення;
- повторити комп'ютерне дослідження для інших сигналів.

1.3. Зміст звіту

Звіт повинен містити: схему лабораторної установки, перелік вимірювальних приладів, формули для розрахування законів розподілу, середнього значення та дисперсії випадкових сигналів, функціональні схеми вимірювачів законів розподілу, середнього значення та дисперсії, результати вимірювань законів розподілу та дисперсії у вигляді таблиць, графіки законів розподілу, що були виміряні та обчислені за допомогою комп'ютерної програми Slusign, висновки щодо порівняння теоретичних й експериментальних результатів та аналіз можливих причин деяких їх відмінностей.

Контрольні запитання

1. Назвіть найважливіші статистичні характеристики випадкових сигналів та дайте їм визначення.
2. Дайте визначення терміну «стаціонарний випадковий процес».
3. Що таке ергодичність того чи іншого випадкового сигналу?
4. Назвіть основні властивості функції розподілу та густини ймовірності випадкових сигналів.
5. Як за відомою функцією густини ймовірності визначити інтегральну функцію розподілу?

6. Як за відомою інтегральною функцією розподілу визначити функцію густини ймовірності?
7. Дайте визначення одновимірній характеристичній функції розподілу ймовірності випадкового сигналу. Для чого її використовують?
8. Як визначається дисперсія суми двох статистично незалежних випадкових сигналів?
9. Поясніть з фізичної точки зору характер експериментально отриманих у цій роботі залежностей.
10. Запишіть формулу для густини ймовірності нормального закону розподілу. Накресліть графік цієї функції. Назвіть основні властивості нормального розподілу.
11. Як можна сформувати випадковий сигнал за законом розподілу Сімпсона?
12. Сформулюйте центральну межу теорему теорії ймовірності.
13. Поясніть принцип роботи вимірювачів середнього значення, дисперсії, інтегрального та диференційного законів розподілу.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2

ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИПАДКОВИХ СИГНАЛІВ, ЯКІ ПРОЙШЛИ КРІЗЬ НЕЛІНІЙНІ БЕЗІНЕРЦІЙНІ КОЛА

Мета роботи

1. Виміряти функції розподілу та числових характеристик випадкових сигналів, що пройшли крізь безінерційні нелінійні кола з різноманітними зовнішніми характеристиками.

2. Дослідити особливості, які з'являються в статистичних характеристиках сигналів, що пройшли крізь нелінійні кола.

2.1. Опис лабораторної установки

Лабораторна установка містить:

- спеціалізований лабораторний макет, лицеву панель якого зображено на рис. 1.1;
- генератор низькочастотного відеошуму Г2-59;
- осцилограф С1-93.

Детальний опис лабораторної установки наведено в лабораторній роботі 1.

З виходу суматора трикутний або гармонічний сигнал $x(t)$, що подається на вхід суматора з одного з чотирьох вбудованих генераторів незалежних сигналів, залежно від положення перемикача S5 може бути поданий на вимірювач статистичних характеристик через одне з чотирьох нелінійних кіл – положення перемикача «2–5». Сигнал на виході нелінійних кіл $y(t)$ можна спостерігати на клеммах X5–X6. При використанні двоканального осцилографа С1-93 можна одночасно спостерігати сигнал $x(t)$ на вході нелінійного елемента та сигнал $y(t)$ на його виході. Це дозволяє визначити коефіцієнти a і b характеристик нелінійних елементів, що використовуються.

Принцип роботи вимірювача законів розподілу, середнього значення та дисперсії описаний в лабораторній роботі 1.

2.2. Порядок виконання експериментальної частини

Експериментальна частина лабораторної роботи складається з двох етапів.

На першому етапі виконується дослідження законів розподілу випадкових сигналів на виході безінерційних елементів із різними зовнішніми характеристиками та вимірювання середнього значення й дисперсії цих сигналів за допомогою лабораторного макета та вимірювальних приладів.

На другому етапі виконується розрахунок статистичних характеристик вищезгаданих сигналів за допомогою створеної на кафедрі радіоелектроніки комп'ютерної програми Statist.

Методичні вказівки до макетного дослідження

1) Визначити значення коефіцієнтів a і b зовнішніх характеристик нелінійних елементів. Для цього потрібно:

- Перевести перемикач S5 в положення «1».
- Підключити один з генераторів «трикутних» коливань до входу суматора тумблером S1 (або будь-яким з S1–S4), вимкнувши всі інші.
- Підключити сигнальний кабель I-го каналу осцилографа C1-93 до клем X3–X4, а II-го каналу – до клем X5–X6.
- Зробити початкові установки режиму осцилографа C1-93. Для цього:
 - натиснути кнопку перемикача режиму роботи осцилографа « $\rightarrow\rightarrow$ »;
 - встановити внутрішню синхронізацію, натиснувши кнопки «Внутр. І» і «~»;
 - встановити режим автоматичної розгортки, для чого перевести ручку «АВТ. ЖДУЩ.» у положення «АВТ.» і натиснути кнопку « \odot »;




- встановити перемикачами «V/дел» коефіцієнт відхилення по вертикалі в обох каналах 0,5 В/поділ.;
 - встановити коефіцієнт відхилення променя по горизонталі $K_x = 20 \text{ мс / поділ.}$;
 - встановити перемикач режиму роботи входу обох каналів осцилографа в положення « \perp ».
 - сумістити лінію розгортки обох каналів із центральною віссю координатної сітки за допомогою ручок переміщення променя по вертикалі;
 - встановити перемикач режиму роботи входу обох каналів у положення « \approx » (відкритий вхід).
- Встановити регулятором рівня сигналу внутрішнього генератора $x(t)$ максимальне значення сигналу 1 В. Проконтролювати це за зображенням на першому каналі осцилографа.
 - Спостерігати суміщені зображення сигналів $x(t)$ і $y(t)$ на вході та виході відповідних нелінійних елементів за допомогою перемикача S5. Коефіцієнти a і b знайти, порівнюючи ці сигнали.

2) Виміряти статистичні характеристики сигналів на виході всіх чотирьох нелінійних елементів, якщо на їх вхід подається «трикутний» сигнал із максимальним значенням $A = 1 \text{ В}$. Для цього:

- Переглянути та зарисувати осцилограми сигналів на вході та виході заданого нелінійного елемента.
- Визначити середнє значення та дисперсію сигналів $y(t)$ за показниками відповідних стрілкових приладів.
- Виміряти функцію розподілу $F(y)$. Для цього потрібно:
 - перевести тумблер S6 в положення «F»;
 - встановити ручки регулятора рівня аналізу «Грубо» і «Точно» в середнє положення;
 - вимкнути тимчасово сигнал $x(t)$ тумблером;

- провести калібрування вимірювача функції розподілу (лабораторна робота 1);
 - увімкнути одним з тумблерів S1–S4 «трикутний» сигнал і встановити за зображенням на осцилографі його амплітуду $A = 1$ В;
 - виміряти $F(y)$, задаючи значення рівнів аналізу, для яких $F(y)$ змінюється в межах від 0 до 1 (5–10 точок). Результати вимірювань подати у вигляді таблиці.
- Виміряти густину ймовірності $p(y)$. Для цього потрібно:
- перевести тумблер S6 в положення «Р»;
 - провести калібрування вимірювача густини ймовірності (лабораторна робота 1). Якщо у виразі для $p(y)$ є дельта-функція, то під час досліджень зашкалювання стрілки індикатора допустиме;
 - виміряти значення $p(x)$ для 5–10 рівнів аналізу. Результати вимірювань подати у вигляді таблиці.

3) Виміряти статистичні характеристики сигналів на виході всіх чотирьох нелінійних елементів, якщо на їх вхід подається гармонічний сигнал з амплітудою $A = 1$ В. Для цього:

- Перевести на одному із зовнішніх генераторів випадкових сигналів тумблер «/» в положення «», підключити цей генератор відповідним тумблером до входу суматора (інші генератори повинні бути від нього відключені) та регулятором рівня сигналу за осцилограмою $x(t)$ встановити амплітуду сигналу $A = 1$ В.
- Провести дослідження згідно з рекомендаціями для «трикутного» сигналу.

4) Виміряти статистичні характеристики сигналів на виході всіх чотирьох нелінійних елементів, якщо на їх вхід подається нормальний шум. Для цього:

- Вимкнути тумблерами S1–S4 всі генератори.
- Підключити до клем X1–X2 вихід генератора шуму Г2-59 і подати на вхід суматора нормальний відеошум з шириною енергетичного спектра

20 кГц та дисперсією $\sigma_x^2 = 1 \text{ В}^2$. Значення дисперсії контролювати за показаннями відповідного індикатора.

- Провести дослідження згідно з рекомендаціями для «трикутного» сигналу.

Методичні вказівки до комп'ютерного дослідження.

Розрахунки виконуються на персональному комп'ютері після завершення макетного дослідження.

Програма «Закони розподілу та параметри випадкових сигналів, що пройшли крізь нелінійні елементи кіл» (Statist) дозволяє визначити функцію розподілу, густину ймовірності, середнє значення та дисперсію сигналів, що пройшли крізь нелінійні елементи кіл. Також передбачено можливість подання у вигляді таблиць і графіків залежностей вказаних статистичних параметрів і характеристик як від параметрів сигналів, так і від параметрів зовнішніх характеристик нелінійних елементів.

Для виконання комп'ютерного дослідження потрібно:

- обрати згідно з вказівками викладача вид нелінійного елемента й параметри його зовнішньої характеристики, а також вид та параметри сигналу, що потрібно дослідити (зазвичай параметри нелінійного елемента та сигналу обираються такими, що використовувалися при макетних дослідженнях);
- записати аналітичні формули, що описують зовнішню характеристику нелінійного елемента;
- зарисувати епюри сигналів на вході та виході нелінійного елемента;
- записати формулу для функції розподілу $F(y)$ та переписати таблицю обчислених значень цієї функції, зарисувати її графік;
- записати формулу для густини ймовірності сигналу $p(y)$ та переписати таблицю обчислених значень цієї функції, зарисувати її графік;

- записати формулу для обчислення середнього значення m_y і дисперсії σ_y^2 сигналу, що досліджується, та їхні обчислені для заданого випадку значення;
- повторювати дії комп'ютерного дослідження для інших нелінійних елементів та сигналів.

2.3. Зміст звіту

Звіт повинен містити схему лабораторної установки, перелік вимірювальних приладів, формули для розрахунку законів розподілу, середнього значення та дисперсії випадкових сигналів на виході нелінійних елементів (додаток), результати вимірювань у вигляді таблиць, графіки законів розподілу, що були виміряні та обчислені, висновки щодо порівняння теоретичних та експериментальних досліджуваних характеристик і параметрів сигналів аналіз можливих причин деяких їх відмінностей.

Контрольні запитання

1. Як при проходженні випадкового сигналу крізь безінерційне нелінійне коло змінюється характер його реалізацій?
2. Чи змінюється при проходженні випадкового сигналу крізь безінерційне нелінійне коло закон розподілу, середнє значення та дисперсія цього сигналу?
3. Поясніть, як знайти функцію розподілу $F(y)$ та густину ймовірності $p(y)$, середнє значення та дисперсію сигналу на виході безінерційного нелінійного елемента з заданою характеристикою $y = f(x)$ за умови, що на вхід елемента подається сигнал із відомою густиною ймовірності $p(x)$?
4. На вхід нелінійного безінерційного кола з заданою зовнішньою характеристикою $y(x)$ подано «трикутне» коливання з випадковою рівномірно розподіленою в межах періоду початковою затримкою та висотою A . Зобразіть

сигнал на виході цього кола та поясніть, як зміняться статистичні характеристики цього сигналу порівняно з сигналом на вході кола.

Приклади зовнішніх характеристик нелінійних кіл:

$$\text{а) } y = \begin{cases} 0, & x < 0, \\ ax, & 0 \leq x \leq x_0, \quad a = \text{const}, \quad x_0 < A, \\ y_0, & x > x_0; \end{cases}$$

$$\text{б) } y = b\sigma(x), \quad b = \text{const};$$

$$\text{в) } y = b\sigma|x - x_0|, \quad x_0 < A;$$

$$\text{г) } y = \begin{cases} \sqrt{ax}, & 0 < x \leq A, \quad a = \text{const}, \\ 0, & x \leq 0, \end{cases}$$

де $\sigma(x)$ – функція Хевісайда.

5. Чи змінюється в загальному випадку автокореляційна функція (АКФ) сигналу після його проходження крізь нелінійне коло?

6. Чи залежить від вигляду зовнішньої характеристики нелінійного елемента ефективна ширина енергетичного спектра сигналу, що проходить крізь цей елемент?

7. Якщо центрований процес проходить крізь нелінійний елемент, чи залишиться він центрованим у загальному випадку? Обґрунтуйте свою відповідь.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3

ДОСЛІДЖЕННЯ КОРЕЛЯЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЦІОНАРНИХ ВИПАДКОВИХ СИГНАЛІВ

Мета роботи

1. Експериментально дослідити автокореляційні функції (АКФ) стаціонарних ергодичних випадкових сигналів.
2. Експериментально підтвердити основні властивості перетворення Вінера-Хінчина.

3.1. Опис лабораторної установки

Лабораторна установка містить:

- спеціалізований лабораторний макет (корелятор), лицеву панель якого зображено на рис. 3.1;
- генератор низькочастотного шуму Г2-37;
- генератор гармонічних та імпульсних коливань Г3-112/1;
- осцилограф С1-93;
- електронний мілівольтметр В3-38;
- електронний частотомір Ч3-57.

Лабораторний корелятор дозволяє вимірювати авто- та взаємокореляційні функції стаціонарних ергодичних випадкових сигналів в інтервалі затримок від 0 до 6 мкс з кроком 0,4 мкс (усього 16 значень).

Для визначення АКФ досліджуваний сигнал подається на клеми Х3–Х4, а для вимірювання взаємокореляційних функцій (ВКФ) сигнали подаються на клеми Х3–Х4 і Х1–Х2. Рівень сигналу, який надходить на клеми Х1–Х2, регулюється за допомогою атенюатора. Тумблером S1 здійснюється вибір функції, яку необхідно виміряти (АКФ чи ВКФ).

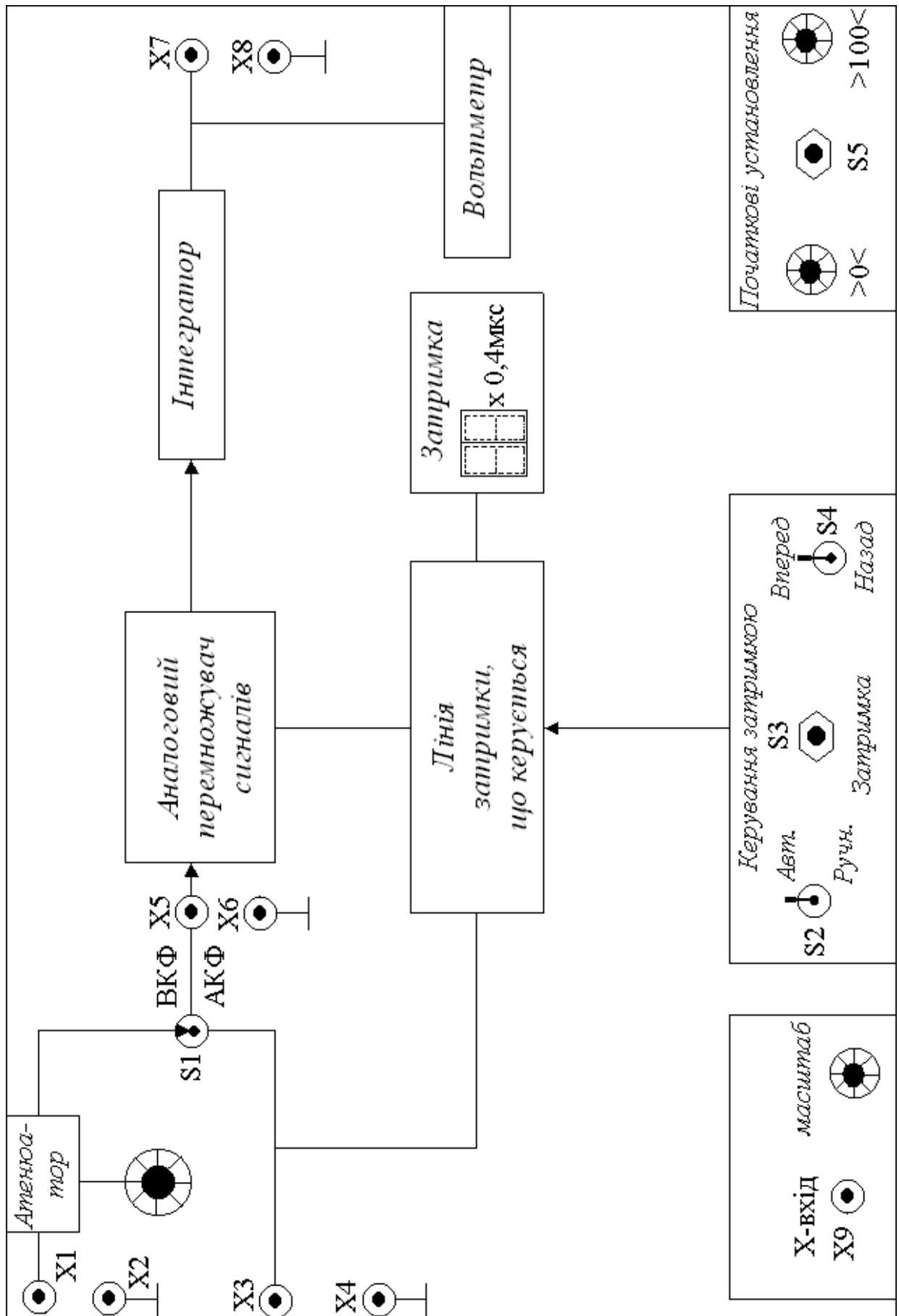


Рисунок 3.1

Зміна величини затримки сигналу може здійснюватися вручну або автоматично залежно від положення тумблера S2 «Авт.-Ручн.»

Зміна величини затримки вручну здійснюється послідовним натисканням кнопки S3 «Затримка», а напрямок зміни величини затримки (у більший чи менший бік) залежить від положення тумблера S4 «Вперед-Назад». Індикація часу затримки здійснюється за допомогою вбудованого в макет цифрового індикатора.

Автоматична зміна величини затримки проводиться раз на одну секунду.

Індикація вимірних значень АКФ (або ВКФ) здійснюється за допомогою вбудованого в макет електронного вольтметра або за допомогою осцилографа, який можна підключити до клем X7–X8. Калібрування показників вольтметра здійснюється за допомогою органів керування «Початкові установки», а нормування зображення на екрані осцилографа – ручкою «Масштаб». В останньому випадку напруга розгортки, що змінюється за ступеневим законом, з клеми X9 надходить на X-вхід осцилографа.

3.2. Порядок виконання експериментальної частини

1) Увімкнути лабораторний корелятор, інші прилади та зробити початкові установки. Для цього потрібно:




- Встановити на панелі лабораторного корелятора тумблер S1 у положення «АКФ», тумблер S2 – у положення «Ручн.», тумблер S4 – у положення «Вперед».
- Підключити вхід одного з Y-каналів осцилографа С1-93 до клем X7–X8, а вихід X9 на панелі корелятора з'єднати з X-входом осцилографа. Перемикач типу синхронізації осцилографа встановити в положення « \ominus X», а перемикач множника розгортки – в положення « $\blacksquare \times 0,2$ ». Установити коефіцієнт відхилення відповідного Y-каналу рівним 0,5 В/поділ.

- Установити кнопкою S3 на індикаторі затримки число «07». Знайти на екрані осцилографа точку, що світиться, та відповідними органами управління осцилографа розмістити її у центрі екрана. Кнопкою S3 на панелі корелятора встановити на індикаторі затримки число «15», а ручкою «Масштаб» добитися, щоб точка, що світиться на екрані осцилографа, відставала від центра екрана приблизно на 3,5 поділки координатної сітки.

2) Виміряти нормовану АКФ (коефіцієнт кореляції) гармонічного сигналу з випадковою початковою фазою. Для цього потрібно:

- Подати гармонічне коливання з частотою $f_0 = 250$ кГц і амплітудою 1 В з виходу генератора ГЗ-112/1 на клеми X3–X4 корелятора. Частоту сигналу контролювати частотоміром ЧЗ-57, який підключено до клем X5–X6, а напругу – мілівольтметром ВЗ-38.
- Провести нормування АКФ, що вимірюється. Для цього потрібно:
 - встановити кнопкою S3 на індикаторі затримки число «00»;
 - встановити ручкою «>0<» стрілку вбудованого вольтметра в нульове положення при натиснутій кнопці S5;
 - відпустити кнопку S5 і ручкою «>100<» встановити стрілку вольтметра на відмітку шкали «100» (крайнє положення праворуч).
- Спостерігати візуально на екрані осцилографа поведінку АКФ досліджуваного сигналу при автоматичній зміні значення затримки сигналу (тумблер S2 знаходиться в положенні «Авт.»).
- Перевести тумблер S2 у положення «Ручн.». Змінювати кнопкою S3 затримку сигналу від 0 до 6 мкс через кожні 0,4 мкс, реєструючи відповідні значення АКФ за допомогою вбудованого вольтметра. Дані вимірювань подати у вигляді таблиці.

3) Виміряти нормовану АКФ меандру з частотою $F_0 = 250$ кГц. Для цього потрібно:

- Перевести тумблер «/» на передній панелі генератора ГЗ-112/1 в положення «».

- Провести нормування АКФ, що вимірюється, у відповідності з вказівками для гармонічного сигналу. У разі, якщо, не вдається встановити стрілку вбудованого вольтметра на відмітку «100», збільшити рівень сигналу від генератора.
 - Спостерігати візуально на екрані осцилографа поведінку АКФ досліджуваного сигналу при автоматичній зміні значення затримки сигналу (тумблер S2 знаходиться в положенні «Авт.»).
 - Перевести тумблер S2 у положення «Ручн.». Змінювати кнопкою S3 затримку сигналу від 0 до 6 мкс через кожні 0,4 мкс, реєструючи відповідні значення АКФ за допомогою вбудованого вольтметра. Дані вимірювань подати у вигляді таблиці.
- 4) Виміряти нормовану АКФ нормального відеошуму. Для цього:
- Подати відеошум з ефективною шириною енергетичного спектра $\Delta F = 600$ кГц та з середньоквадратичним відхиленням $\sigma_x = 1000$ мВ з виходу генератора Г2-37 на клеми Х3–Х4 корелятора. Вимкнути частотомір ЧЗ-57 від клем Х5–Х6.
 - Спостерігати візуально на екрані осцилографа поведінку АКФ досліджуваного сигналу при автоматичній зміні значення затримки сигналу (тумблер S2 знаходиться в положенні «Авт.»).
 - Перевести тумблер S2 у положення «Ручн.». Змінювати кнопкою S3 затримку сигналу від 0 до 6 мкс через кожні 0,4 мкс, реєструючи відповідні значення АКФ за допомогою вбудованого вольтметра. Дані вимірювань подати у вигляді таблиці.
 - Повторити вимірювання нормованої АКФ нормального відеошуму з ефективною шириною енергетичного спектра $\Delta F = 20$ кГц.

3.3. Розрахункове завдання

1) Обчислити та побудувати графік коефіцієнта кореляції гармонічного сигналу з випадковою початковою фазою за формулою:

$$R_x(\tau) = \cos 2\pi f_0 \tau.$$

Тут взяти частоту гармонічного коливання $f_0 = 250$ кГц; розрахунки проводити для значень затримки τ від 0 до 6,0 мкс з кроком 0,4 мкс.

2) Обчислити та побудувати графік коефіцієнту кореляції меандру з випадковою початковою затримкою та частотою $F_0 = 250$ кГц за формулою:

$$R_x(\tau) = \begin{cases} 1 - 4F_0\tau, & 0 \leq \tau \leq \frac{1}{2F_0}, \\ 4F_0\tau - 3, & \frac{1}{2F_0} < \tau \leq \frac{1}{F_0}. \end{cases}$$

Значення затримки τ , для яких проводяться розрахунки, від 0 до 6,0 мкс з кроком 0,4 мкс.

3) Обчислити та побудувати графік коефіцієнту кореляції (нормовану АКФ) відеошуму за формулою:

$$R_x(\tau) = \frac{\sin 2\pi\Delta F\tau}{2\pi\Delta F\tau}.$$

Тут взяти ширину енергетичного спектра відеошуму $\Delta F = 600$ кГц (та 20 кГц). Значення затримки τ , для яких проводяться розрахунки, від 0 до 6,0 мкс з кроком 0,4 мкс

3.4. Зміст звіту

Звіт повинен містити схему лабораторної установки, перелік вимірювальних приладів, результати експериментальних досліджень (таблиці та графіки АКФ), формули для розрахунку АКФ для всіх сигналів, що досліджувалися, результати

розрахунків АКФ за цими формулами, порівняльний аналіз експериментальних даних та результатів розрахунків, висновки.

Контрольні запитання

1. Дати визначення кореляційної функції випадкового сигналу.
2. У чому відмінність авто- та взаємкореляційних функцій?
3. Які особливості мають АКФ періодичних випадкових сигналів?
4. Що таке інтервал кореляції випадкового процесу? Поясніть його фізичний сенс.
5. Як знайти АКФ суми двох незалежних ергодичних випадкових сигналів?
6. Поясніть, що таке енергетичний спектр стаціонарного випадкового сигналу, його фізичний сенс.
7. Який зв'язок існує між інтервалом кореляції та ефективною шириною енергетичного спектру випадкового сигналу?
8. Запишіть формули перетворення Вінера-Хінчина та поясніть зміст цих перетворень.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ПРОХОДЖЕННЯ «БІЛОГО ШУМУ» КРІЗЬ ЛІНІЙНІ КОЛА З ПОСТІЙНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Мета роботи

1. Експериментально визначити автокореляційні функції (АКФ) відгуку лінійних кіл із постійними параметрами на «білий шум».
2. Дослідити залежність АКФ від параметрів кіл (RC-кола 1-го порядку та LRC-кола 2-го порядку – фільтрів нижніх частот).

4.1. Опис лабораторної установки

Лабораторна установка містить:

- спеціалізований лабораторний макет, лицеву панель якого зображено на рис. 4.1;
- генератор низькочастотного відеошуму Г2-59;
- генератор гармонічних коливань Г3-112/1;
- електронний мілівольтметр В3-38;
- цифровий мілівольтметр В7-16А;
- осцилограф С1-93.

Лабораторний макет містить корелятор, який дозволяє вимірювати значення АКФ сигналів для затримок від 0 до 3,8 мкс з кроком 0,2 мкс (всього 20 значень), лінійний суматор двох сигналів, інтегруюче коло R1C1 та послідовий коливальний контур R1L1C2.

Час затримки сигналу в кореляторі відображається на цифровому індикаторі, що розміщений на лицевій панелі макета. Значення елементів C1, C2, R2 можна змінювати за допомогою кнопочних перемикачів. За допомогою перемикача П1 проводиться вибір кола, на яке подається випадковий сигнал.

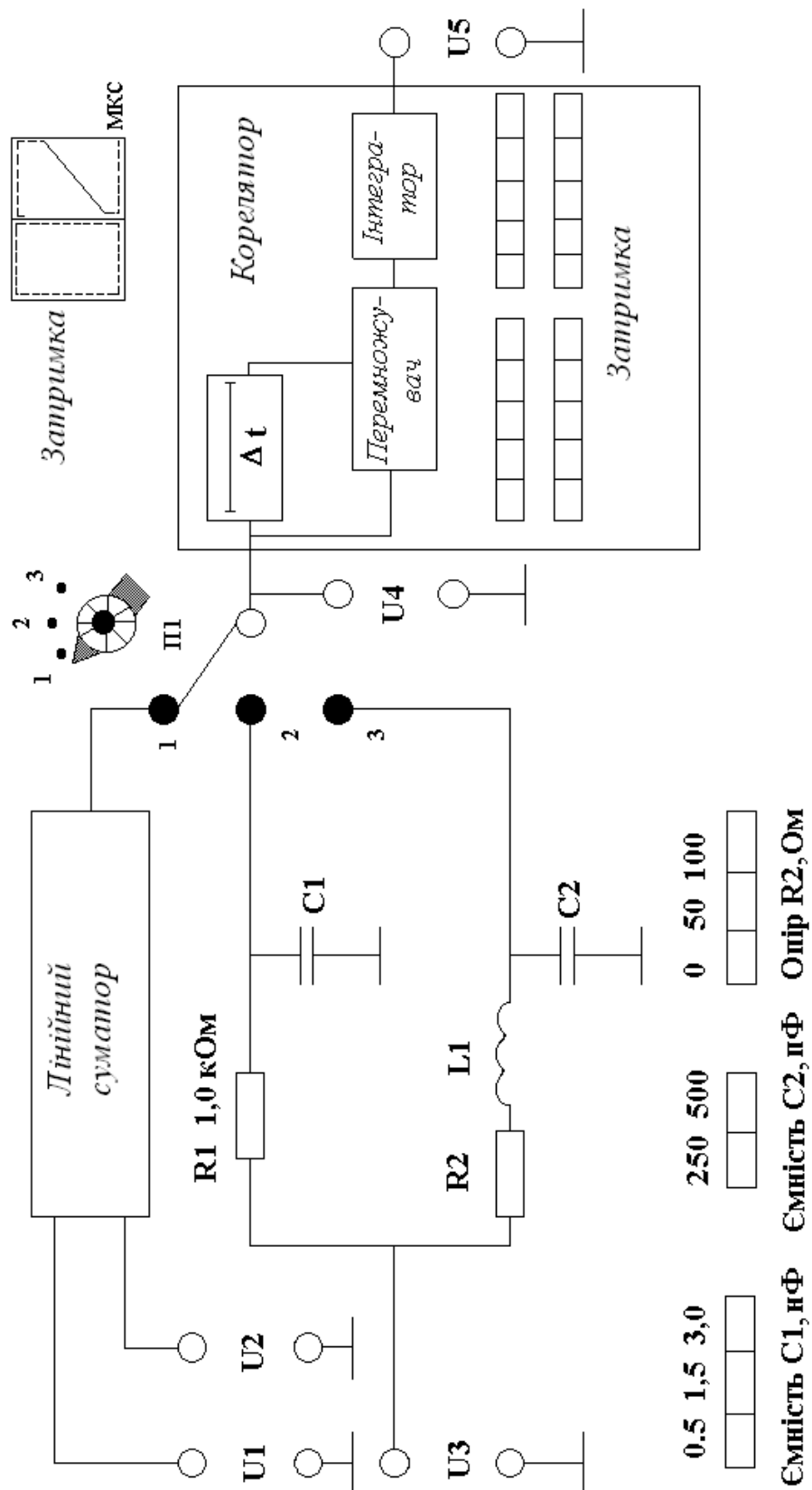


Рисунок 4.1

4.2. Порядок виконання експериментальної частини

Експериментальна частина лабораторної роботи складається з двох етапів.

На першому етапі виконуються дослідження АКФ випадкових сигналів на виході лінійних кіл з постійними параметрами за допомогою лабораторного макета та вимірювальних приладів.

На другому етапі виконуються дослідження АКФ вищезгаданих сигналів за допомогою створеної на кафедрі радіоелектроніки комп'ютерної програми Correlat.

Методичні вказівки до макетного дослідження

1) Увімкнути лабораторний макет, прилади для вимірювання та провести початкові установки. Для цього потрібно:

- Підключити цифровий мілівольтметр В7-16 до клем U_5 . Перевести перемикач «Род работы» мілівольтметра у положення «0 В» і ручкою « $\leftrightarrow 0 \leftarrow$ » встановити нулі на всіх розрядах індикатора. Перевести перемикач «Род работы» у положення « \blacktriangledown » і ручкою « \blacktriangledown » встановити на цифровому індикаторі число, яке вказано на передній панелі мілівольтметра. Звернути увагу на розташування коми. Перемикач «Род работы» перевести в положення «1 В», а перемикач «Межа вимірювань» – в положення «1». Мілівольтметр готовий до роботи. Надалі під час виконання лабораторної роботи ці початкові установки потрібно час від часу перевіряти.
- Перевести перемикач П1 в положення «2». Кнопковим перемикачем корелятора встановити затримку $\tau = 0$. При цьому на індикаторі затримки висвічується число «00». Звернути увагу на те, щоб інші 19 кнопок перемикача «Затримка» не були натиснутими.

2) Виміряти амплітудно-частотну характеристику (АЧХ) інтегруючого RC-кола. Для цього потрібно:

- Підключити до клем U_3 вихід генератора ГЗ-112/1, а до клем U_4 – мілівольтметр ВЗ-38.

- Кнопковим перемикачем установити $C_1 = 1,5$ нФ.
- Вимірювати АЧХ кола, змінюючи частоту генератора від 20 Гц до 400 кГц та записуючи покази мілівольтметра ВЗ-38. Виміряти 10–15 точок характеристики. Результати вимірювань занести до таблиці.
- Виміряти АЧХ RC-кола при значеннях ємності 0,5 нФ і 3,0 нФ.

3) Виміряти АКФ $B_y(\tau)$ сигналу на виході RC-кола. Для цього потрібно:

- Підключити до клем U_4 замість мілівольтметра ВЗ-38 вхід одного з Y-каналів осцилографа С1-93. Встановити значення ємності $C_1 = 1,5$ нФ.
- Підключити вихід генератора Г2-59 до клем U_3 макета. Перемикач «0–1» на передній панелі генератора встановити в положення «0». Перемикач «Діапазон спектра» перевести в положення «600 кГц». Ручку регулятора рівня відеошуму повернути проти годинникової стрілки до упору. Атенюатором рівня встановити послаблення вихідного сигналу 10 дБ. Натиснути кнопку « \blacklozenge », при цьому починає світитися світлодіод, який розташований поруч. Генератор готовий до роботи.
- Повільно підвищуючи рівень сигналу генератора, добитися, щоб значення напруги, що вимірюється вольтметром В7-16А, становило близько 300 мВ.
- 4.3.1.3.4 Виміряти АКФ відеошуму, змінюючи затримку τ від 0 до 3,8 мкс через кожні 0,2 мкс за допомогою кнопкового перемикача «Затримка». При цьому необхідно стежити, щоб у процесі зміни затримки τ була натиснута лише одна кнопка. Значення затримки відображається на вбудованому в макет цифровому індикаторі, а вихідна напруга корелятора – на цифрових індикаторах мілівольтметра В7-16А. Результати вимірювань занести до таблиці. Спостерігати на екрані осцилографа характер досліджуваного шумового сигналу.
- Повторити вимірювання АКФ сигналу на виході RC-кола для значень ємності C_1 0,5 і 3,0 нФ.

4) Виміряти резонансну частоту та визначити смугу пропускання кола R1L1C2. Для цього потрібно:

- Перевести перемикач П1 у положення «3». Встановити значення ємності $C_2 = 500$ пФ і опору $R_2 = 50$ кОм, натиснувши відповідні кнопки.
- До клем U_3 підключити вихід генератора ГЗ-112/1, а до клем U_4 – мілівольтметр ВЗ-38.
- Змінюючи частоту генератора, визначити її резонансне значення F_p за максимальними показниками мілівольтметра ВЗ-38. Вихідну напругу генератора краще підібрати такою, щоб при резонансі вихідна напруга кола, що досліджується, U_p не перевищувала 1 В.
- Визначити частоти F_H і F_B , які відповідають межам смуги пропускання досліджуваного кола за умови, що напруга на його виході становить

$$U_H = U_B = \frac{U_p}{\sqrt{2}} \approx 0,7U_p.$$

- Повторити вимірювання резонансної частоти та визначення смуги пропускання кола R1L1C2 при $R_2 = 50$ Ом і $C_2 = 250$ пФ, $R_2 = 0$ Ом і $C_2 = 500$ пФ, $R_2 = 100$ Ом і $C_2 = 500$ пФ.
- 5) Виміряти АКФ $B_y(\tau)$ сигналу на виході R1L1C2 кола. Для цього потрібно:
- Підключити до клем U_4 замість мілівольтметра ВЗ-38 вхід одного з Y-каналів осцилографа С1-93. Обрати $C_2 = 500$ пФ, $R_2 = 50$ Ом.
 - Підключити вихід генератора Г2-59 до клем U_3 макета. Перемикач «Діапазон спектра» перевести в положення «6,5 МГц». Ручку регулятора рівня шуму повернути проти годинникової стрілки до упору. Атенюатором встановити послаблення вихідного сигналу 10 дБ.
 - Встановити кнопковим перемикачем затримку сигналу $\tau = 0$.
 - Повільно підвищуючи рівень сигналу генератора, добитися, щоб значення напруги, що вимірюється вольтметром В7-16А, становило близько 300 мВ.
 - Виміряти АКФ шуму на виході досліджуваного кола. Спостерігати на екрані осцилографа шумовий сигнал на виході кола, що досліджується,

звернути увагу на його виражений коливальний характер (з частотою F_p).

- Повторити вимірювання АКФ сигналу на виході R1L1C2 кола при $R_2 = 50 \text{ Ом}$ і $C_2 = 250 \text{ пФ}$, $R_2 = 0 \text{ Ом}$ і $C_2 = 500 \text{ пФ}$, $R_2 = 100 \text{ Ом}$ і $C_2 = 500 \text{ пФ}$.

Методичні вказівки до комп'ютерного дослідження

Розрахунки виконуються на персональному комп'ютері після завершення макетного дослідження.

Програма «Дослідження результатів проходження «білого шуму» крізь лінійні кола з постійними параметрами» (Correlat) дозволяє визначити АКФ сигналів, що пройшли крізь вищезгадані лінійні кола. Передбачено можливість подання у вигляді таблиць і графіків залежностей АКФ від параметрів лінійних кіл, що досліджуються.

Для виконання комп'ютерного дослідження потрібно послідовно виконувати рекомендації програми, отримуючи теоретичні АКФ на виході кіл, що розглядалися в макетній частині роботи. Обов'язково потрібно записувати формули для АКФ та вирази для всіх додаткових параметрів, які необхідно знати для обчислення АКФ. Також необхідно зарисовувати графіки обчислених АКФ для всіх параметрів кіл, які використовувалися під час виконання макетних досліджень.

4.3. Зміст звіту

Зміст повинен містити схему лабораторної установки, перелік вимірювальних приладів, результати експериментальних досліджень (таблиці та графіки), результати розрахунків АКФ за допомогою комп'ютерної програми, порівняльний аналіз отриманих результатів, висновки.

Контрольні запитання

1. Як визначити енергетичний спектр, АКФ і дисперсію сигналу на виході лінійного чотириполюсника за відомим спектром вхідного сигналу?

2. Відоме математичне сподівання m_x стаціонарного ергодичного сигналу на вході лінійного чотириполіюсника. Як визначити математичне сподівання вихідного сигналу?

3. Дати визначення АКФ імпульсної характеристики $B_g(\tau)$ лінійного чотириполіюсника.

4. Відома АКФ вхідного сигналу і АКФ імпульсної характеристики $B_g(\tau)$ лінійного чотириполіюсника. Визначити АКФ вихідного сигналу.

5. Яким чином можна визначити взаємкореляційну функцію (ВКФ) між вхідним та вихідним сигналами лінійного чотириполіюсника?

6. Що можна сказати про закон розподілу сигналу на виході лінійного чотириполіюсника, якщо ширина його смуги пропускання значно менша за ширину енергетичного спектра вхідного сигналу?

7. Поясніть характер змін АКФ сигналу на виході лінійних кіл, що досліджуються в цій роботі, при зміні величин опору, ємності та індуктивності елементів кіл.

8. Чи можливо визначити енергетичний спектр сигналу на виході лінійного чотириполіюсника, якщо відома його імпульсна характеристика та АКФ вихідного сигналу?

9. В чому полягає зміст прямої та зворотної теорем про згортку?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М. : Наука, 1960. – 576 с.
2. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы: учебник для вузов / И.С. Гоноровский. – М. : Сов. радио, 1977. – 608 с.
3. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: учебник для вузов / С.И. Баскаков. – М. : Высшая школа, 1988. – 448 с.
4. Филипский Ю.К. Случайные сигналы в радиотехнике / Ю.К. Филипский. – К. : Вища школа, 1986. – 126 с.
5. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника / В.И. Тихонов. – М. : Сов. радио, 1966. – 678 с.

ДОДАТОК

Статистичні характеристики випадкових сигналів на виході нелінійних кіл

Таблиця Д.1 – Двобічний ключ

Вид сигналу	Параметри			
	m_y	σ_x^2	$F(y)$	$p(y)$
Гармонічне коливання	$\frac{2}{\pi} aA$	$0,0947(aA)^2$	$\begin{cases} \frac{2}{\pi} \arcsin(\frac{y}{aA}), 0 \leq y \leq aA \\ 0, y < 0 \\ 1, y > aA \end{cases}$	$\begin{cases} \frac{2}{\pi \sqrt{(aA)^2 - y^2}}, 0 \leq y \leq aA \\ 0, y \notin [0, aA] \end{cases}$
“Трикутне” коливання	$\frac{1}{2} aA$	$\frac{1}{12} (aA)^2$	$\begin{cases} \frac{y}{aA}, 0 \leq y \leq aA \\ 0, y < 0 \\ 1, y > aA \end{cases}$	$\begin{cases} \frac{1}{aA}, 0 \leq y \leq aA \\ 0, y \notin [0, aA] \end{cases}$
Нормальний шум	$\sqrt{\frac{2}{\pi}} a\sigma_x$	$0,3634(a\sigma_x)^2$		$\begin{cases} \frac{2}{\sqrt{2\pi} a\sigma_x} e^{-\frac{y}{2\sigma_x^2 a^2}}, y \geq 0 \\ 0, y < 0 \end{cases}$

Таблиця Д.2 – Двобічний квадратор

Вид сигналу	Параметри			
	m_y	σ_x^2	$F(y)$	$p(y)$
Гармонічне коливання	$\frac{bA^2}{2}$	$\frac{(bA^2)^2}{4}$	$\begin{cases} \frac{2}{\pi} \arcsin(\frac{y}{bA^2}), 0 \leq y \leq bA^2 \\ 0, y < 0 \\ 1, y > bA^2 \end{cases}$	$\begin{cases} \frac{1}{\pi \sqrt{bA^2 y - y^2}}, 0 \leq y \leq bA^2 \\ 0, y \notin [0, bA^2] \end{cases}$
“Трикутне” коливання	$\frac{bA^2}{3}$	$\frac{4(bA^2)^2}{45}$	$\begin{cases} \frac{1}{A} \sqrt{\frac{y}{b}}, 0 \leq y \leq bA^2 \\ 0, y < 0 \\ 1, y > bA^2 \end{cases}$	$\begin{cases} \frac{1}{2A\sqrt{by}}, 0 \leq y \leq bA^2 \\ 0, y \notin [0, bA^2] \end{cases}$
Нормальний шум	$b\sigma_x^2$	$2(b\sigma_x^2)^2$		$\begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_x \sqrt{by}} e^{-\frac{y}{2b\sigma_x^2}}, y \geq 0 \\ 0, y < 0 \end{cases}$

Таблиця Д.3 – Однобічний ключ

Вид сигналу	Параметри			
	m_y	σ_x^2	$F(y)$	$p(y)$
Гармонічне коливання	$\frac{aA}{\pi}$	$0,149(aA)^2$	$\begin{cases} \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \arcsin\left(\frac{y}{aA}\right), 0 \leq y \leq aA \\ 0, y < 0 \\ 1, y > aA \end{cases}$	$\begin{cases} \frac{1}{2} \delta(y) + \frac{1}{\pi \sqrt{(aA)^2 - y^2}}, 0 \leq y \leq aA \\ 0, y \notin [0, aA] \end{cases}$
“Трикутне” коливання	$\frac{aA}{4}$	$0,104(aA)^2$	$\begin{cases} \frac{1}{2} + \frac{y}{2aA}, 0 \leq y \leq aA \\ 0, y < 0 \\ 1, y > aA \end{cases}$	$\begin{cases} \frac{1}{2} \delta(y) + \frac{1}{2aA}, 0 \leq y \leq aA \\ 0, y \notin [0, aA] \end{cases}$
Нормальний шум	$\frac{a\sigma_x}{\sqrt{2\pi}}$	$0,341(a\sigma_x)^2$		$\begin{cases} \frac{1}{2} \delta(y) + \frac{2}{\sqrt{2\pi} a \sigma_x} e^{-\frac{y}{2\sigma_x^2 a^2}}, y \geq 0 \\ 0, y < 0 \end{cases}$

Таблиця Д.4 – Однобічний квадратор

Вид сигналу	Параметри			
	m_y	σ_x^2	$F(y)$	$p(y)$
Гармонічне коливання	$\frac{bA^2}{2}$	$\frac{(bA^2)^2}{8}$	$\begin{cases} \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \arcsin\left(\frac{y}{bA^2}\right), 0 \leq y \leq bA^2 \\ 0, y < 0 \\ 1, y > bA^2 \end{cases}$	$\begin{cases} \frac{1}{2} \delta(y) + \frac{1}{2\pi \sqrt{bA^2 y - y^2}}, 0 \leq y \leq bA^2 \\ 0, y \notin [0, bA^2] \end{cases}$
“Трикутне” коливання	$\frac{bA^2}{6}$	$\frac{13(bA^2)^2}{180}$	$\begin{cases} \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{y}}{2A\sqrt{b}}, 0 \leq y \leq bA^2 \\ 0, y < 0 \\ 1, y > bA^2 \end{cases}$	$\begin{cases} \frac{1}{2} \delta(y) + \frac{1}{4A\sqrt{by}}, 0 \leq y \leq bA^2 \\ 0, y \notin [0, bA^2] \end{cases}$
Нормальний шум	$\frac{b\sigma_x^2}{2}$	$1,25(b\sigma_x^2)^2$		$\begin{cases} \frac{1}{2} \delta(y) + \frac{1}{2\sqrt{2\pi} \sigma_x \sqrt{by}} e^{-\frac{y}{2b\sigma_x^2}}, 0 \leq y < \infty \\ 0, y < 0 \end{cases}$

ЗМІСТ

ВСТУП	3
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1 ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИПАДКОВИХ СИГНАЛІВ	4
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2 ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИПАДКОВИХ СИГНАЛІВ, ЯКІ ПРОЙШЛИ КРІЗЬ НЕЛІНІЙНІ БЕЗІНЕРЦІЙНІ КОЛА	16
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3 ДОСЛІДЖЕННЯ КОРЕЛЯЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЦІОНАРНИХ ВИПАДКОВИХ СИГНАЛІВ	23
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4 ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ПРОХОДЖЕННЯ «БІЛОГО ШУМУ» КРІЗЬ ЛІНІЙНІ КОЛА З ПОСТІЙНИМИ ПАРАМЕТРАМИ	29
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	36
ДОДАТОК	37

Навчальне видання

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З КУРСУ «СТАТИСТИЧНА РАДІОФІЗИКА»**

для студентів спеціальності
6.040204-01 – Радіофізика і електроніка

Укладачі: Д. В. Котов
О. В. Богомаз

Роботу до видання рекомендувала О. Г. Глебова

Відповідальний за випуск

Редактор О.В. Козюк