

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-22.06- 05.02/2/G5.00.1/ PhD /OK6-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 33 / 1

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Державного університету
«Житомирська політехніка»

протокол від __ __ р. № _

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

для проведення практичних занять
з навчальної дисципліни

«Математичне моделювання у наукових дослідженнях»

для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «доктор філософії»
спеціальності G5 «Електроніка, електронні комунікації,
приладобудування та радіотехніка»
освітньо-наукова програма «Електронні комунікації та радіотехніка»
факультет інформаційно-комп'ютерних технологій
кафедра комп'ютерних технологій у медицині та телекомунікаціях

Рекомендовано на засіданні
кафедри комп'ютерних
технологій у медицині та
телекомунікаціях
21 серпня 2025 р., протокол №8

Розробники: к.т.н., доцент кафедри комп'ютерних технологій у
медицині та телекомунікаціях ЦИПОРЕНКО Віталій, ЦИПОРЕНКО
Валентин, д.т.н., професор кафедри комп'ютерних технологій у
медицині та телекомунікаціях ЖУРАВСЬКИЙ Юрій

Житомир
2025

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-22.06- 05.02/2/G5.00.1/ PhD /OK6-2025
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 33 / 2</i>

Зміст

Практична робота №1. Аналіз та математичне моделювання лінійних електричних схем	3
Практична робота №2. Дослідження та математичне моделювання проходження сигналів через фільтри	9
Практична робота №3. Моделювання передавальних характеристик пристроїв	13
Практична робота №4. Математичне моделювання детектування різних сигналів	19
Практична робота №5. Моделювання роботи швидкого кореляційно-інтерферометричного радіопеленгатора з 64-елементною антенної решіткою	22
Практична робота №6. Дослідження та побудова комп'ютерної мережі невеликого підприємства	30
Література	33

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-22.06- 05.02/2/G5.00.1/ PhD /OK6-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 33 / 3

Практична робота №1

Аналіз та математичне моделювання лінійних електричних схем

Мета. Навчитись проводити дослідження шляхом математичного моделювання, побудова моделей.

Задачі:

1.1. Обчислити напругу на R і C RC-ланцюга шляхом вирішення диференційного рівняння чисельними методами (явним методом Ейлера).

1.2. Обчислити напругу на виході інтегруючого ланцюга на основі частотної характеристики ланцюга K(jω).

1.3. Обчислити напругу на виході RC-ланцюга, використовуючи імпульсну перехідну характеристику h(t).

1.4. Будь-яким методом виконати аналіз проходження через RC-ланцюг імпульсу з експоненціальними фронтами.

Короткі теоретичні відомості

Найпростіший RC-ланцюжок для аналізу перехідних процесів описується диференціальним рівнянням:

$$\frac{dU_C(t)}{dt} = \frac{U_{in}(t) - U_C(t)}{RC},$$

де $U_C(t)$ – напруга на ємності;
 $U_{in}(t)$ – напруга на вході ланцюга;
 RC – постійна часу ланцюга.

У частотній області RC-ланцюга описуються частотною характеристикою:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-22.06- 05.02/2/G5.00.1/ PhD /OK6-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 33 / 4

$K(j\omega) = \frac{1}{1 + j \cdot \omega \cdot RC}$ – інтегруючий ланцюг (або фільтр нижніх частот).

$K(j\omega) = \frac{j \cdot \omega \cdot RC}{1 + j \cdot \omega \cdot RC}$ – диференційований ланцюг (або фільтр верхніх частот).

Для такого найпростішої ланцюга очевидні співвідношення:
 $U_{-C}(t) = U_{-in}(t) - U_{-R}(t)$, $U_{-R}(t) = U_{-in}(t) - U_{-C}(t)$.

Необхідно сформулювати тим чи іншим способом на вході RC-ланцюга прямокутний імпульс.

Хід виконання роботи

1.1. Обчислити напругу на R і C RC-ланцюга шляхом вирішення диференційного рівняння чисельними методами (явним методом Ейлера).

$$U_{-C_{t+1}} = U_{-C_t} + \frac{U_{-in_{t+1}} - U_{-C_t}}{RC} \cdot \Delta t$$

(При поданні вхідного і вихідного сигналів у вигляді векторів крок інтегрування $\Delta t = 1$).

Побудувати залежності напруги на C і R (тобто напруги на виході інтегруючого та диференціюючого ланцюга), рис. 1.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-22.06- 05.02/2/G5.00.1/ PhD /OK6-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 33 / 5

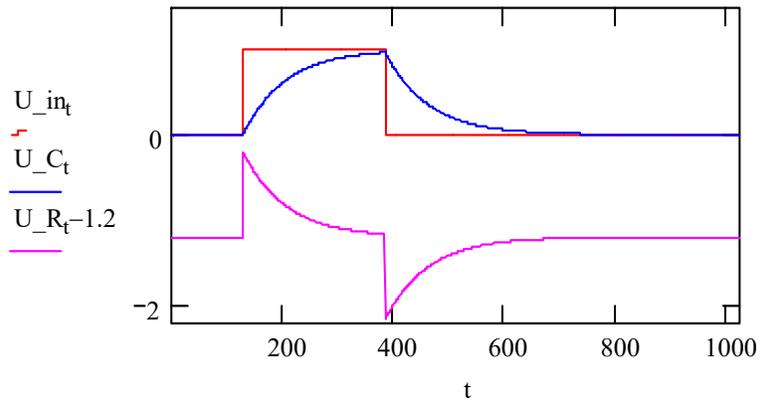


Рис.1. Перехідні процеси в RC-ланцюгу

1.2. Обчислити напругу на виході інтегруючого ланцюга на основі частотної характеристики ланцюга $K(j\omega)$.

$$S_{ВИХ}(j\omega) = S_{ВХ}(j\omega) \cdot K(j\omega)$$

Для обчислення слід попередньо виконати ШПФ (FFT) вхідного сигналу і за-тим розрахувати спектр сигналу на виході ланцюга:

Оскільки спектр вхідного сигналу, отриманий після FFT, дискретний, то і частотну характеристику ланцюга $K(j\omega)$ слід також представити в дискретній формі (в індексах спектра, по-лучанин по FFT). Для цього безперервну частоту ω має бути поданий у вигляді:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot k \cdot \frac{1}{T},$$

де k – індексація гармонік спектра вхідного сигналу, T – інтервал моделювання.

Тоді $K(j\omega)$ набирає вигляду, наприклад, для інтегруючого ланцюга:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-22.06- 05.02/2/G5.00.1/ PhD /OK6-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 33 / 6

$$KF_k := \frac{1}{1 + i \cdot 2 \cdot \pi \cdot k \cdot \frac{1}{T} \cdot RC}$$

Після обчислення спектра сигналу на виході виконати зворотне перетворення (IFFT) і побудувати форму вихідної напруги.

Повторити обчислення сигналу на виході, але вже для диференціюються ланцюга.

1.3. Обчислити напругу на виході RC-ланцюга, використовуючи імпульсну перехідну характеристику $h(t)$.

Оскільки імпульсна перехідна характеристика пов'язана з частотною характеристикою перетворення Фур'є:

$$h(t) = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \int K(j\omega) \cdot \exp(2 \cdot \pi \cdot \omega \cdot t) \cdot d\omega$$

тоді для отримання $h(t)$ досить виконати зворотне перетворення Фур'є (IFFT) від частотної характеристики $K(j\omega)$, звісно, представлені вектором.

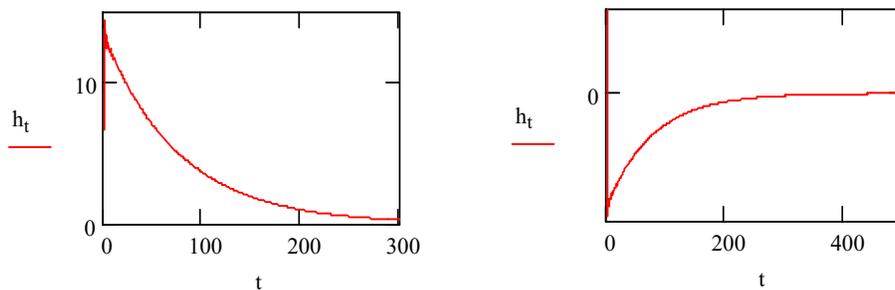


Рис.2. Імпульсна перехідна характеристика $h(t)$ ланцюга, що інтегрує і диференціює відповідно

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-22.06-05.02/2/G5.00.1/PhD /OK6-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 33 / 7

Сигнал на виході ланцюга при використанні $h(t)$ обчислюється через інтеграл Дюамеля:

$$U_{out}(t) = \int_0^t U_{in}(\tau) \cdot h(t - \tau) \cdot d\tau .$$

При чисельних обчисленнях сигнал на виході розраховується як дискретна згортка вхідного сигналу і $h(t)$:

$$U_{out}_t = \frac{1}{T} \cdot \sum_{k=0}^t U_{in}_k \cdot h_{t-k} .$$

Результати аналізу по п.4.1.1, 4.1.2 та 4.1.3. подати в одному файлі з єдиним описом параметрів вхідного імпульсу. Очевидно, що результати аналізу – «часові діаграми» при всіх методах повинні бути ідентичними.

1.4. Будь-яким методом виконати аналіз проходження через RC-ланцюг імпульсу з експоненціальними фронтами.

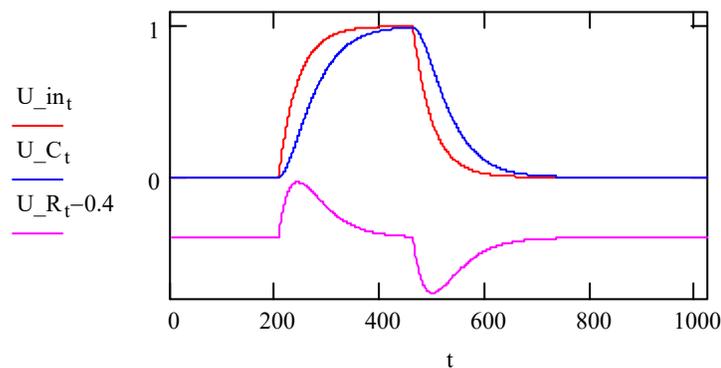


Рис.3. Форми напруг в RC-ланцюга для вхідного імпульсу з експонентними фронтами

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-22.06- 05.02/2/G5.00.1/ PhD /OK6-2025
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 33 / 8</i>

Визначити зв'язок між амплітудою сигналу на виході ланцюга, що диференціює і «постійної часу» формування фронту.

Зміст звіту. Звіт повинен містити:

1. Результати досліджень.
2. Результати розрахунків та відповідні графіки.
3. Зробити висновки: про об'єм виконаної роботи, чи досягнена мета роботи, чи практичні результати співпали з теоретичними.

Контрольні питання

1. Визначте сутність об'єкту моделювання.
2. Визначте сутність гіпотези.
3. Визначте сутність моделі.
4. Визначте мету моделювання.
5. Визначте ознаку адекватності моделі.
6. Визначте умову проведення моделювання.
7. Визначте кінцеву мету етапу аналізу системи при її зовнішньому проектуванні.
8. Визначте сутність математичної моделі.
9. Визначте сутність фізичної моделі.
10. Визначте сутність програмної моделі.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-22.06- 05.02/2/G5.00.1/ PhD /OK6-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 33 / 9

Практична робота №2

Дослідження та математичне моделювання проходження сигналів через фільтри

Мета. Дослідження та математичне моделювання проходження сигналів через фільтри

Задачі:

2.1. Розрахувати сигнал на виході ідеального фільтра на основі його частотної характеристики $K(j\omega)$.

2.2. Вирахувати імпульсну передавальну характеристику ідеального фільтра.

Хід виконання роботи

Результати обчислення сигналу на виході РЕУ шляхом розрахунку за коефіцієнтом передачі в частотній області $K(j\omega)$ і по імпульсній перехідній характеристиці $h(t)$ - не обов'язково завжди будуть збігатися.

Для ілюстрації цього положення проведемо моделювання проходження сигналу у вигляді прямокутного імпульсу через ідеальний фільтр.

Сформувати прямокутний відеоімпульс.

Обчислити по FFT спектр сигналу.

Задати та побудувати частотну характеристику ідеального НЧ - фільтра з прямокутною характеристикою:

$$KF_k := \text{if}(k < N_k, 1, 0)$$

де N_k - число гармонік спектра, що обмежуються ідеальним фільтром.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-22.06- 05.02/2/G5.00.1/ PhD /OK6-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 33 / 10

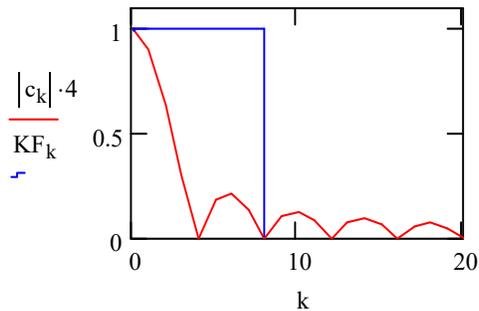


Рис.4. Огинаюча амплітудного спектра прямокутного імпульсу і частотна характеристика ідеального НЧ - фільтра (тут фільтр пропускає гармоніки двох пелюсток спектра вхідного сигналу)

2.1. Розрахувати сигнал на виході ідеального фільтра на основі його частотної характеристики $K(j\omega)$.

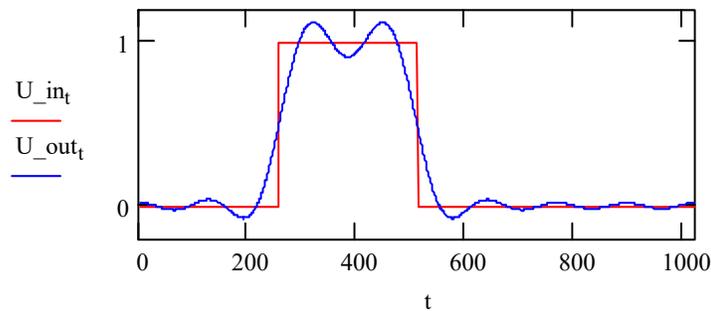


Рис.5. Результат обчислення сигналу на виході ідеального фільтра через частотну характеристику $K(j\omega)$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-22.06- 05.02/2/G5.00.1/ PhD /OK6-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 33 / 11

2.2. Вирахувати імпульсну передавальну характеристику ідеального фільтра:

$$h := \text{IFFT}(KF)$$

і розрахувати сигнал на виході ідеального фільтра через $h(t)$:

$$U_{\text{out}_t} := \frac{1}{T} \cdot \sum_{i=0}^t U_{\text{in}_i} \cdot h_{t-i}$$

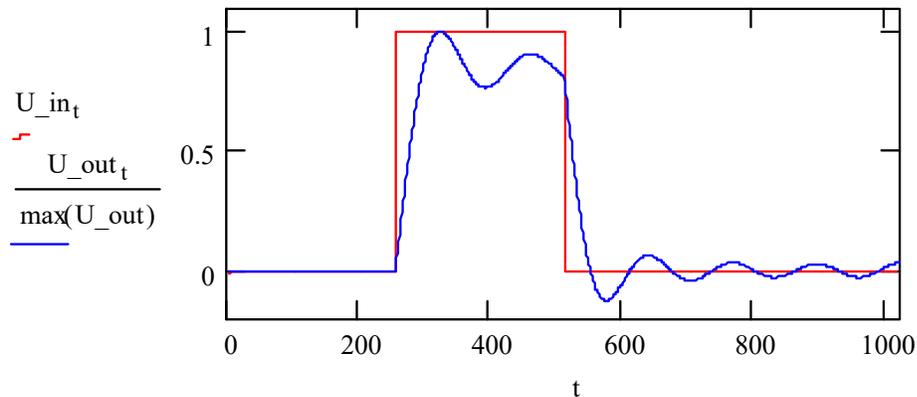


Рис.6. Сигнал на виході ідеального фільтра при розрахунку по $h(t)$

Примітка: при розрахунку перехідних процесів в середовищі MathCAD часто слід нормувати сигнал на виході (див. рис.19).

Висновок за результатами моделювання: розрахунок сигналів на виході РЕУ в стаціонарному режимі можна виконувати як на ос-нованні $K(j\omega)$, так і $h(t)$. При аналізі перехідних процесів слід використовувати $h(t)$.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-22.06- 05.02/2/G5.00.1/ PhD /OK6-2025
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 33 / 12</i>

Зміст звіту. Звіт повинен містити:

1. Результати досліджень.
2. Результати розрахунків та відповідні графіки.
3. Зробити висновки: про об'єм виконаної роботи, чи досягнена мета роботи, чи практичні результати співпали з теоретичними.

Контрольні питання

1. Визначте перевагу моделювання порівняно з натурним випробуванням.
2. Визначте основну перевагу програмних моделей.
3. Дайте визначення властивості детермінованого сигналу.
4. Дайте визначення властивості випадкового сигналу.
5. Визначіть основну ознаку часових моделей сигналів.
6. Визначіть основну ознаку спектральних моделей.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-22.06- 05.02/2/G5.00.1/ PhD /OK6-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 33 / 13

Практична робота №3 Моделювання передавальних характеристик пристроїв

Мета. Дослідження та математичне моделювання передавальних характеристик пристроїв

Задачі:

3.1. Змоделювати радіоімпульс.

3.2. Виконати ШПФ радіоімпульса і представити спектр сигналу і АЧХ коливального контуру, налаштованого на несучу частоту вхідного сигналу.

3.3. Обчислити перехідну імпульсну характеристику $h(t)$ для контуру звороним перетворенням Фур'є (IFFT) від частотної характеристики.

3.4. Проаналізувати вплив добротності контуру Q на вихідний сигнал

Тут для аналізу перехідних процесів використовувати в якості фільтра паралельний резонансний контур з частотною характеристикою:

$$KF(j\omega) := \frac{1}{Q} \frac{1}{1 + i \cdot \frac{1}{Q} \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right) - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}$$

1. Змоделювати радіоімпульс:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-22.06-05.02/2/G5.00.1/PhD /OK6-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 33 / 14

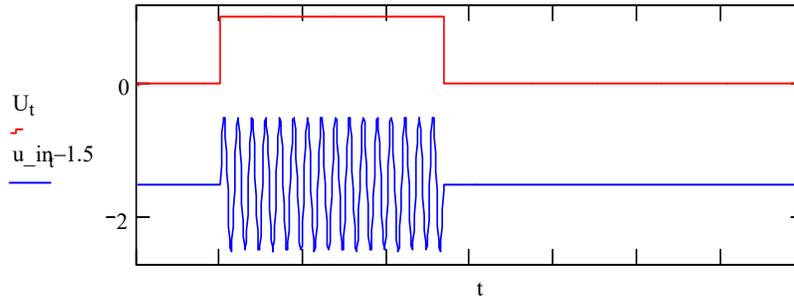


Рис. 7. Модулюючий відеоімпульс і радіоімпульс

2. Виконати ШПФ радіоімпульса і представити спектр сигналу і АЧХ коливального контуру, налаштованого на несучу частоту вхідного сигналу:

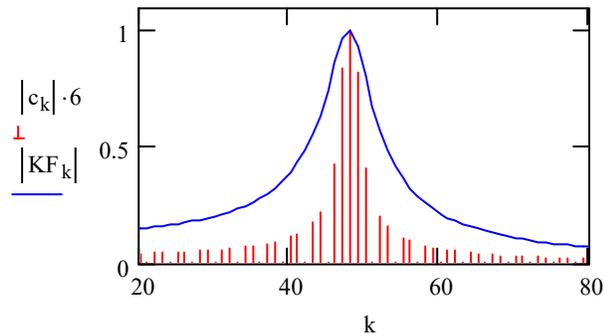


Рис. 8. Амплітудний спектр радіоімпульсу і АЧХ паралельного коливального контуру

Якщо тривалість імпульсу і частота заповнення задані у вигляді:

$$\tau_i := \frac{T}{n_i} \quad f_0 := \frac{n_i f}{\tau_i}$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-22.06- 05.02/2/G5.00.1/ PhD /OK6-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 33 / 15

(n_i - частина інтервалу T для формування імпульсу; n_f - число періодів частоти f_0 в пре-справі імпульсу τ_i), то частота несучої i , отже, частота настройки контуру ω_0 в індекс спектра по FFT буде дорівнює $\omega_0 = n_f * \tau_i$.

3. Обчислити перехідну імпульсну характеристику $h(t)$ для контуру звороним перетворенням Фур'є (IFFT) від частотної характеристики:

$$h := \text{IFFT}(KF)$$

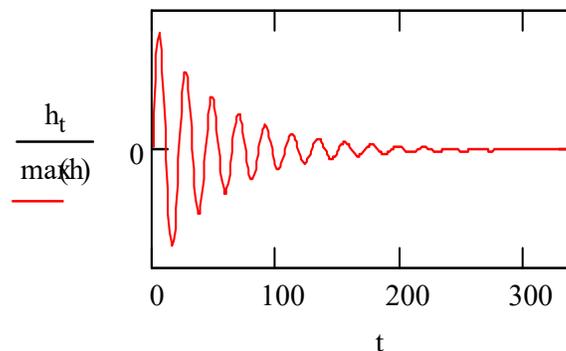


Рис. 9. Нормована $h(t)$ резонансного (паралельного) контуру

4. Використовуючи $h(t)$, обчислити сигнал на виході:

$$u_{out}_t := \frac{1}{T} \cdot \sum_{k=0}^t u_{in}_k \cdot h_{t-k}$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-22.06-05.02/2/G5.00.1/PhD /OK6-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 33 / 16

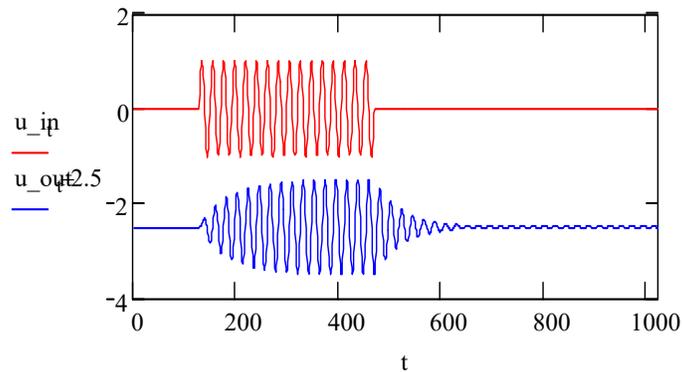


Рис. 10. Сигнал на виході паралельного контуру при його налаштуванні на несучу частоту вхідного сигналу

5. Проаналізувати вплив добротності контуру Q на вихідний сигнал.

Проаналізувати вплив настройки контуру на частоту вихідного сигналу.

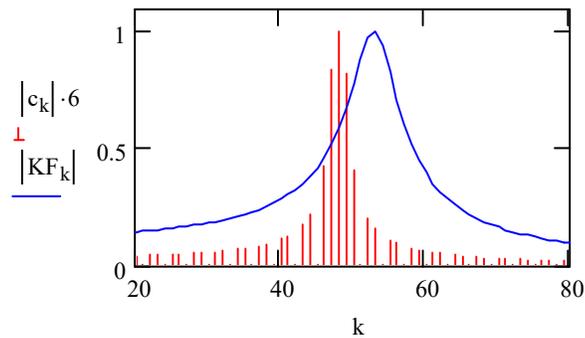


Рис. 11. Розстройка контуру щодо несучої частоти

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-22.06- 05.02/2/G5.00.1/ PhD /OK6-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 33 / 17

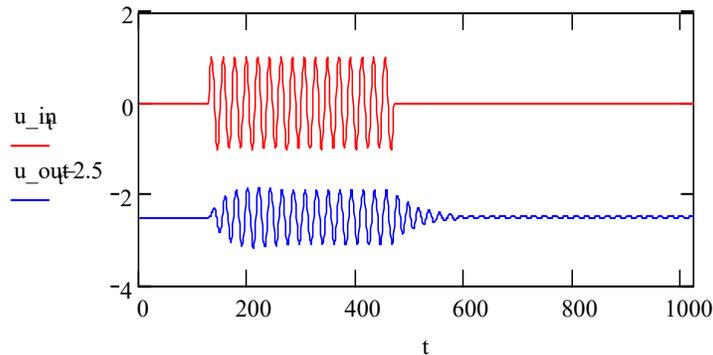


Рис. 12. Сигнал на виході контуру при розладі його щодо несучої частоти

Зміст звіту. Звіт повинен містити:

1. Результати досліджень.
2. Результати розрахунків та відповідні графіки.
3. Зробити висновки: про об'єм виконаної роботи, чи досягнена мета роботи, чи практичні результати співпали з теоретичними.

Контрольні питання

1. Визначіть функціонал взаємозв'язку часової та спектральної моделей неперіодичного сигналу.
2. Визначіть спектральну густину вихідного сигналу $W_{вих}(t)$ лінійної системи з частотною передаточною характеристикою $H(f)$ при відомій спектральній густині $W_{вх}(t)$ вхідного сигналу.
3. Визначіть ознаку вузько смугового сигналу для відомих його середньої частоти f_0 і ширини Δf спектра.
4. Визначіть модель лінійної системи з постійними параметрами в частотній області визначення.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-22.06- 05.02/2/G5.00.1/ PhD /OK6-2025
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 33 / 18</i>

5. Визначіть модель одиничного відеоімпульса без затримки тривалістю π в середовищі MathCad.
6. Визначіть модель імпульсного сигналу з амплітудою U_m , тривалістю π і затримкою π в середовищі MathCad.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-22.06- 05.02/2/G5.00.1/ PhD /OK6-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 33 / 19

Практична робота №4

Математичне моделювання детектування різних сигналів

Мета. Дослідження та математичне моделювання передавальних характеристик пристроїв

Задачі:

4.1. Ознайомитися з роботою амплітудного детектора, дослідити його основні характеристики та параметри.

4.3. Ознайомитися з математичним моделюванням роботи частотного детектора в середовищі MathCad.

Хід виконання роботи

1. Ознайомитися з роботою амплітудного детектора, моделювання якого виконано в середовищі MathCad.

Амплітудний детектор є нелінійним елементом і його моделювання математичні методами, розглянутими вище, являє собою певну складність.

2. Для аналізу сигналу на виході АМ детектора в середовищі MathCad слід скористатися тією чи іншою математичною моделлю детектора.

Виходячи з фізичних міркувань, діод детектора можна уявити як ідеальний елемент з постійним значенням опору у відкритому стані і нескінченно великим опором в закритому стані. Тоді робота детектора може бути представлена як заряд і розряд ємності з різними постійними часу і сигнал на виході розрахувати як напруга на С шляхом вирішення диференційного рівняння:

3. У файлі «Детектування АМ сигналу» і використана дана модель детектора.

Визначити вплив постійних часу RC1 і RC2 на напругу на виході детектора.

$$U_{out_{t+1}} := U_{out_t} + \frac{U_{in_t} - U_{out_t}}{\text{if}(U_{out_t} < U_{in_t}, RC1, RC2)} \quad 19$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-22.06- 05.02/2/G5.00.1/ PhD /OK6-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 33 / 20

4. Виконати згладжування напруги на виході детектора, для чого змоделювати підключення до виходу найпростішої RC - ланцюга (ФНЧ). Сигнал на виході ФНЧ також розрахувати як рішення диференціального рівняння.

5. Розрахувати коефіцієнт нелінійних спотворень вихідного сигналу. Для цього ви-конати ШПФ сигналу на виході RC - ланцюга U_{outF} і визначити відношення суми гармонік $2F$, $3F$ і $4F$ до гармоніці основної частоти модуляції F .

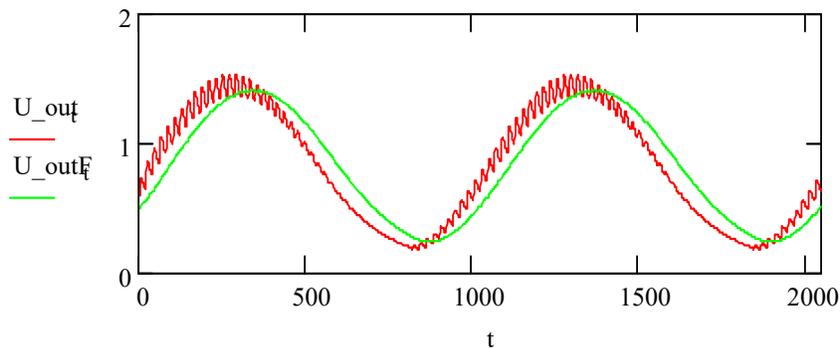


Рис. 13. Згладжування сигналу на виході детектора RC-ланцюгом

6. Визначити максимальне значення постійної часу ланцюга розряду детектора RC_2 , що забезпечує коефіцієнт нелінійних спотворень не більше 4%.

7. Ознайомитися з математичним моделюванням роботи частотного детектора в середовищі MathCad по файлу «Частотний детектор (в MathCad)».

Визначити вплив значення добротності на частотну характеристику двох контурів, включених зустрічно, і її вплив на сигнал на виході детектора.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-22.06- 05.02/2/G5.00.1/ PhD /OK6-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 33 / 21

Варіюючи добротністю і відносною розладу контурів налаштувати частотний детектор для детектування ЧМ сигналу при девіації 8% від несучої.

Пояснити причину різних величин розстроювань верхнього і нижнього контурів.

Зміст звіту. Звіт повинен містити:

1. Результати досліджень.
2. Результати розрахунків та відповідні графіки.
3. Зробити висновки: про об'єм виконаної роботи, чи досягнена мета роботи, чи практичні результати співпали з теоретичними.

Контрольні питання

1. Визначіть модель імпульсного сигналу з амплітудою U_m , тривалістю t_i і затримкою t в середовищі MathCad.
2. Визначіть вид вбудованої функції середовища MathCad, що доцільно використати при моделюванні імпульсних відеосигналів.
3. Визначіть модель радіоімпульсу в середовищі MathCad.
4. Дайте визначення енергетичного спектра неперіодичного детермінованого сигналу із спектральною густиною $S(jf)$.
5. Як зміниться ширина спектра відеоімпульса при зменшенні його тривалості в два рази.
6. Визначіть основну властивість періодичних сигналів.
7. Що таке моделювання та детектування сигналів.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-22.06- 05.02/2/G5.00.1/ PhD /OK6-2025
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 33 / 22</i>

Практична робота №5

Моделювання роботи швидкого кореляційно-інтерферометричного радіопеленгатора з 64-елементною антенної решіткою

Мета. Навчитись проводити дослідження характеристик пристроїв пасивної радіолокації шляхом моделювання.

Задачі:

5.1. Дослідити етапи побудови моделі пеленгатора.

5.2. Дослідити залежність СКВ оцінки пеленгу для моделі кореляційно-інтерферометричного радіопеленгатора з 64-елементною антенної решіткою від основних параметрів.

Короткі теоретичні відомості

Сучасні кореляційно-інтерферометричні радіопеленгатори зазвичай використовують нерухомі антени.

Для стаціонарних і мобільних станцій радіомоніторингу найбільшого поширення в даний час набула схема з двома каналами прийому. Структурна схема такого кореляційного інтерферометра представлена на рис. 14.

Основними його елементами є: антенна решітка, антенний комутатор, двоканальний когерентний радіоприймач, блок аналого-цифрової обробки, що складається з двох АЦП та блоку цифрового оброблення сигналів (ЦОС). Двоканальний приймач має два входи: перший називатимемо сигнальним, другий – опорним. Антенний комутатор послідовно підключає до входів двоканального приймача пари елементів АР, вибрані згідно алгоритму пеленгування. Для забезпечення когерентного прийому сигналів на змішувачі обох каналів прийому подається одна і та ж високочастотна напруга, що формується синтезатором частот.

Інтерферометр з цифровим приймачем, число когерентних каналів якого рівне числу антенних елементів (АЕ), реалізує

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-22.06-05.02/2/G5.00.1/PhD /OK6-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 33 / 23

моноімпульсний метод пеленгування. Такий пеленгатор забезпечує найбільшу швидкість обчислення пеленгів, але складний, дорогий у виготовленні і налаштуванні. Важливим завданням, яке необхідно вирішити в моноімпульсному пеленгаторі, є виконання вимоги ідентичності амплітудно-частотних і фазочастотних характеристик приймальних каналів. Звичайно це завдання вирішується шляхом періодичного калібрування за допомогою тестового зондуєчого сигналу невеликої потужності, що подається в приймальні канали.

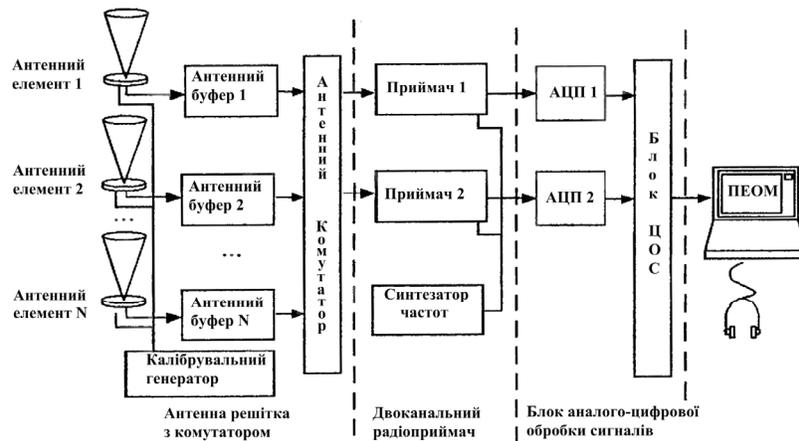


Рис. 14. Структурна схема багатоканального кореляційно-інтерферометричного радіопеленгатора

Основні функції двоканального приймача: перетворення частоти радіосигналу, що приймається, і первинна фільтрація по побічних каналах прийому, тобто функція підготовки прийнятого радіосигналу до перетворення в цифровий вигляд.

У блоці аналого-цифрової обробки виконуються основні обчислювальні операції по алгоритму цифрової обробки. Персональна ЕОМ, що входить до складу інтерферометра, виконує функції керування, обчислення, а також здійснює відображення результатів.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-22.06- 05.02/2/G5.00.1/ PhD /OK6-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 33 / 24

Принцип роботи інтерферометра оснований на порівнянні фаз поля в просторово рознесених точках з метою визначення орієнтації поверхні рівних фаз, однозначно пов'язаної з напрямом поширення від ДРВ. Збільшення кількості просторово рознесених пар точок, що відрізняються між собою відстанню «рознесення» або базою і кутовою орієнтацією в просторі, дозволяє збільшити інформацію про структуру хвилі, що приймається, і відповідно підвищити якість формування кутового просторового спектра радіосигналу. АЕ, що є датчиками поля, розташовуються, як правило, в площині пеленгування (азимутної площини), що пов'язано з можливостями технічної реалізації ідентичних фазових центрів кожного АЕ. Для забезпечення однозначності пеленгування в круговій зоні необхідно мати принаймні три АЕ, розташованих в площині пеленгування. Враховуючи необхідність сканування в межах 360° з однаковою якістю вимірювань, АР повинна бути симетричною щодо її фазового центру. До симетричних плоских АР відносяться еквідистантні одна-та багатокільцеві АР з центральним антенним елементом або без нього.

Радіопеленгування проводиться за максимумом взаємної кореляційної функції, що буде коли різниця Δt часу поширення сигналів від ДРВ до обох антен компенсується часом $\tau_{ЛЗ}$ регульованої лінії затримки.

За оціненим числовим значенням часу $\hat{\tau}_{ЛЗ}$, яке можна визначити за максимальним рівнем напруги на виході корелятора шляхом регулювання вручну або автоматично часу лінії затримки, можна визначити кут α між напрямком на ДРВ і напрямком антенної бази d із виразу:

$$\cos \alpha = \frac{c \cdot \hat{\tau}_{ЛЗ}}{d}.$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-22.06- 05.02/2/G5.00.1/ PhD /OK6-2025
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 33 / 25</i>

В цілому кореляційні інтерферометри на сьогодні є найперспективніші серед радіопеленгаторних систем, що зумовлено їхніми наступними суттєвими перевагами [6–8]:

- якісне радіопеленгування практично будь-яких видів радіосигналів, у тому числі, ширококутових зі складними видами модуляції;

- можливість оброблення та розрізнення одночасно двох або декількох сигналів в одному частотному каналі, причому як когерентних (у процесі приймання багатопроменевого випромінювання одного й того ж ДРВ), так і некогерентних (у процесі приймання радіосигналів від декількох ДРВ, спектри яких перекриваються);

- наявність ефективних методів зменшення інструментальних похибок, зумовлених взаємним впливом антенних елементів і місцевих умов, які можуть враховуватися для будь-яких типів антенних решіток;

- відсутність обмежень на конфігурацію АР радіопеленгатора, що дозволяє застосовувати складні решітки з широкою зоною однозначного радіопеленгування і високою розрізнявальною здатністю як у горизонтальній, так і у вертикальній площинах;

- більша, ніж у фазових радіопеленгаторів, стійкість до впливу когерентних радіозавад і завад у сумісному каналі.

Крім перерахованих переваг, кореляційні інтерферометри допускають поширене застосування методів цифрового оброблення сигналів на всіх стадіях визначення пеленгу.

Основні недоліки кореляційних інтерферометрів:

- складність реалізації, що викликана двоканальним прийманням сигналів, внаслідок чого виникає необхідність конструювання спеціальних ширококутових двоканальних радіоприймачів або дороблення існуючих;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-22.06-05.02/2/G5.00.1/PhD /OK6-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 33 / 26

– необхідність забезпечення в радіоприймальних каналах радіоприймачів якомога більшої ідентичності комплексних коефіцієнтів передачі;

– неповний, порівняно з амплітудними радіопеленгаторами з вузькою ДС, захист від когерентних радіозавад і завад у сумісному каналі;

– висока обчислювальна складність і в результаті низька швидкодія або великі апаратні витрати, тобто необхідність для точної оцінки затримки в реальному масштабі часу використання багатоканальної кореляційної системи обробки інформації.

Хід виконання роботи

1. Відкрити MathCad модель безпошукового кореляційно-інтерферометричного пеленгатора з багатоелементною лінійною антенною решіткою та двосигнальним прийомом (другий сигнал виступає в ролі завади), рис. 15.

1. Задаємо початкові умови

Задаємо кут приходу радіосигналу в межах від 0 до 180°

$$\theta_{grad} := 60$$

Переводимо градуси в радіани

$$\theta_{rad} := \frac{\theta_{grad} \cdot \pi}{180} \quad \theta_{rad} = 1.0472$$

Задаємо антенну базу, м:

$$b_a := 0.05$$

Задаємо константу швидкості світла, м/с:

$$c := 299792458$$

Отримуємо значення затримки, що відповідає цим початковим даним, с:

$$r := \frac{b_a \cdot \cos(\theta_{rad})}{c} \quad r = 8.3391 \times 10^{-11}$$

Additional calculations shown on the right side of the window:

$$\theta_{2grad} := 54$$

$$\theta_{2rad} := \frac{\theta_{2grad} \cdot \pi}{180} \quad \theta_{2rad} = 0.94248$$

$$r_2 := \frac{b_a \cdot \cos(\theta_{2rad})}{c} \quad r_2 = 9.8032 \times 10^{-11}$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-22.06- 05.02/2/G5.00.1/ PhD /OK6-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 33 / 27

Рис. 15 Початкові умови пеленгування пеленгатора з багатоелементною лінійною антенною

2. Задати початкові дані дослідження – напрямок (кут) приходу радіосигналу θ , величину антенної бази b_a .

3. Задаємо параметри сигналів 1 та 2 радіоканалів $S(t)$.

4. Задаємо параметри цифрового оброблення (дискретизації) – частоту дискретизації Fd , кількість набраних відліків N , віконні функції Wk , на які множаться масиви відліків прийнятих радіовипромінювань для подальшого спектрального аналізу за допомогою Швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) (FFT).

5. Задаємо параметри нормального адитивного шуму радіоканалів.

6. Задаємо параметри ШПФ.

7. Виконуємо кореляційне оброблення сигналів радіоканалів.

8. Виконуємо оцінку пеленга θ_{vimir} , та похибки пеленгування як різницю між заданим та отриманим значенням: $\theta_{grad} - \theta_{vimir}$. Повторити дослід 30 разів за допомогою перерахування аркуша маткад, комбінація клавіш (Ctrl+F9) та визначити СКВ оцінки пеленгу, рис 16.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-22.06-05.02/2/G5.00.1/PhD /OK6-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 33 / 28

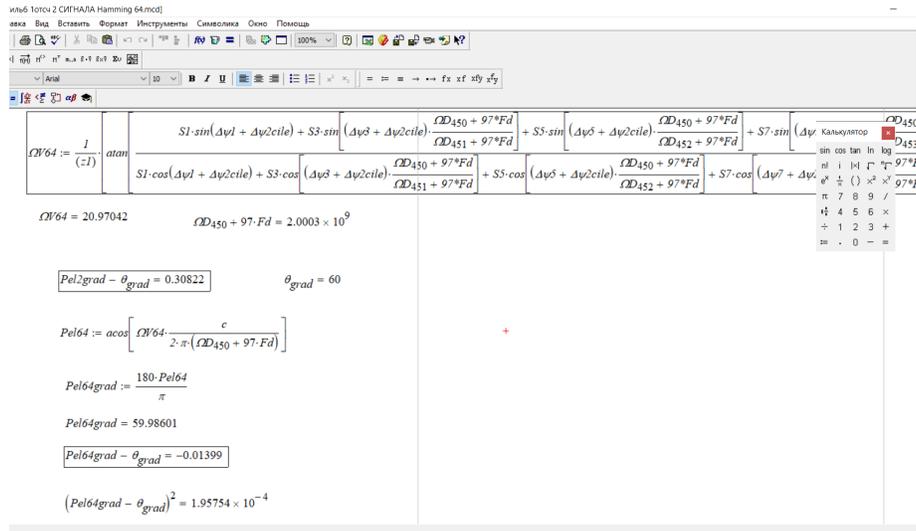


Рис. 16. Кореляційна безпошукова оцінка пеленга з використанням 64-елементної лінійної антенної решітки

9. Дослідити залежність СКВ оцінки пеленгу для моделі кореляційно-інтерферометричного радіопеленгатора з 64-елементною антенною решіткою від наступних параметрів:

- 9.1. Напрямку θ ;
- 9.2. Частоти сигналу (100-3000МГц з кроком 100);
- 9.3. Вхідного відношення сигнал / шум, дБ;
- 9.4. Просторове рознесення за напрямком між сигналом і завадою;
- 9.5. Тип вікна часового спектрального аналізу;
- 9.6. Тип вікна просторового спектрального аналізу.

Зміст звіту. Звіт повинен містити:

1. Результати досліджень.
2. Результати розрахунків та відповідні графіки, їх аналіз.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-22.06- 05.02/2/G5.00.1/ PhD /OK6-2025
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 33 / 29</i>

3. Зробити висновки: про об'єм виконаної роботи, чи досягнена мета роботи, чи практичні результати співпали з теоретичними.

Контрольні питання

1. Як перевести коефіцієнт підсилення з децибел дБ в рази за напругою та потужністю?
2. Задачі ведення радіотехнічної розвідки
3. Методи ведення радіотехнічної розвідки.
4. Що таке виявлення радіоелектронних засобів
5. Як роблять пошук за напрямком та частотою
6. Які основні параметри статистичної оцінки
7. Що таке математичне очікування?
8. Що таке СКВ?
9. Як оцінити дисперсію оцінки для масиву випадкових даних?

Контрольні питання

1. Завдання пасивної радіолокації і методи її проведення
2. Методи пошуку радіоелектронних засобів по частоті і напрямку
3. Методи вимірювання часових і частотних параметрів випромінювань
4. Принципи побудови моноімпульсних пеленгаторів
5. Цифрові кореляційно-інтерферометричні моноімпульсні пеленгатори це...
6. Цифрові SDR-приймачі і їх застосування апаратури пасивної локації
7. Аналіз точності і швидкодії засобів пасивної локації
8. Як перевести коефіцієнт підсилення з разів в децибел дБ за напругою та потужністю?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-22.06- 05.02/2/G5.00.1/ PhD /OK6-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 33 / 30

Практична робота №6 Дослідження та побудова комп'ютерної мережі невеликого підприємства

Мета. Навчитись проводити дослідження та виконувати побудову комп'ютерної мережі невеликого підприємства.

Задачі:

1. Пояснити, як створюється, налаштовується та перевіряється невелика мережа безпосередньо пов'язаних сегментів.
2. Освоїти етапи проектування і побудова мережі з нуля.

Довідкова інформація /Сценарій

Приклад топології мережі організації малого та середнього розміру на рисунку 17.

Хід виконання роботи

– Ваш дизайн повинен включати мінімум один маршрутизатор Cisco 4321, чотири різні комутатори Cisco – 2960 і інші, чотири ПК.

– Повністю налаштуйте мережу і використовуйте IPv4 або IPv6 (підмережа повинна бути включена як частина вашої схеми адресації).

– Перевірте мережу за допомогою принаймні п'яти команд show.

– Захистіть мережу за допомогою SSH, захищених паролів і паролів на консольній лінії (мінімум).

Створіть критерії, які будуть використовуватися для неформального оцінювання колегами. Представте свій Capstone Project на заняттях та дайте відповідь на запитання колег та інструктора!

Необхідні ресурси

- Cisco Packet Tracer
- Критерії, створені студентом / групою, для оцінки завдання/

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-22.06- 05.02/2/G5.00.1/ PhD /OK6-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 33 / 31

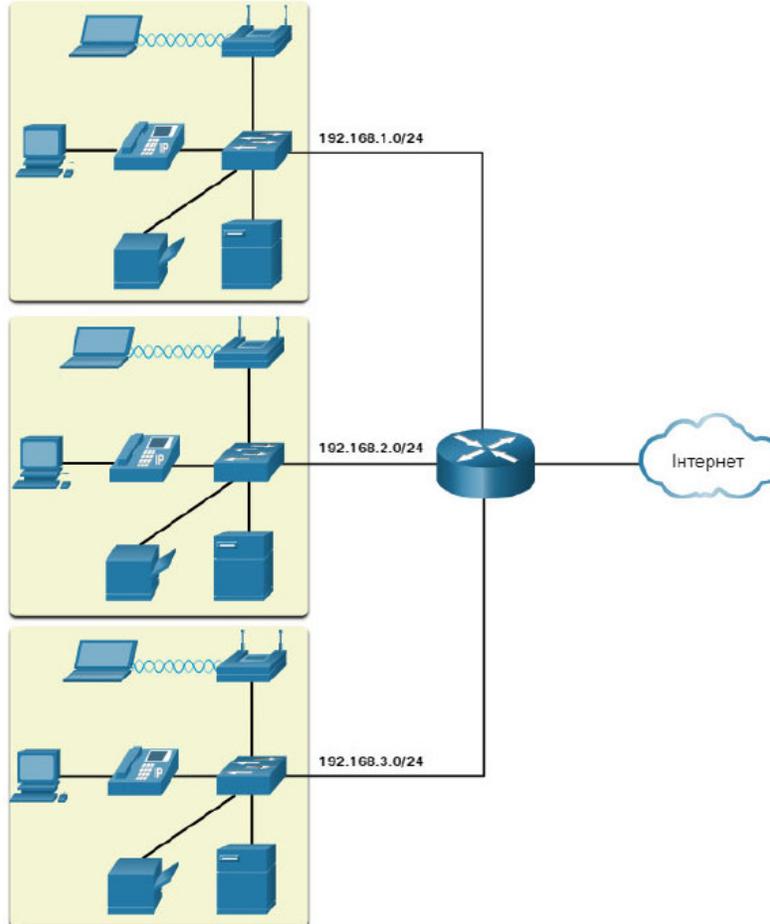


Рис. 17. Приклад топології мережі організації малого та середнього розміру на рисунку

Зміст звіту

1. Назва роботи, цілі і задачі роботи.
2. Модель мережі у Packet Tracer.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-22.06- 05.02/2/G5.00.1/ PhD /OK6-2025
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 33 / 32</i>

3. Лістинг виконання завдань і відповіді на запитання.
4. Висновки.

Запитання для самоперевірки

1. Що було найважчою частиною цього завдання? Запишіть тут свою відповідь.
2. Чому, на вашу думку, мережна документація настільки важлива у цьому завданні і в реальному світі?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-22.06- 05.02/2/G5.00.1/ PhD /OK6-2025
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 33 / 33</i>

Список літератури

1. Нікітіна Людмила, Яценко Ірина. Моделі та методи прийняття рішень: навчальний посібник / Л. Нікітіна І. Яценко. – Харків: НТУ «ХП», 2023. – 179 с.
2. Ніколюк П. К. Моделювання систем: навчальний посібник для здобувачів вищої освіти спеціальності 122 Комп'ютерні науки. Вінниця: ДонНУ, 2023. – 228 с.
3. Уривський Л.О., Мошинська А.В., Осипчук С.О. Імітаційне моделювання систем і процесів у телекомунікаціях: навч. посіб. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 202 с.
4. Інтелектуальне моделювання нелінійних динамічних процесів в керуванні, кібербезпеці, телекомунікаціях: підручник / В.І. Корнієнко, О.Ю. Гусєв, О. В. Герасіна. – Міністерство освіти і науки України, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка». – Дніпро, НТУ «ДП», 2020. – 531 с.
5. Основи та методи цифрової обробки сигналів: від теорії до практики: навч. посібник / Ушенко Ю.О., М.С. Гавриляк, М.В. Талах, В.В. Дворжак. – Чернівці : Чернівецький нац. ун-т ім. Ю. Федьковича. – 2021. – 308 с.
6. Ципоренко В. В. Алгоритмічно-програмні методи обробки сигналів та відеозображень для мобільного комплексу радіомоніторингу. Монографія / В.В. Ципоренко, Ю.О. Подчашинський, В.Г. Ципоренко, О.О. Лугових. – Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2020. – 300 с.
7. Виклюк Я. І., Камінський Р. М., Пасічник В. В. Моделювання складних систем: посібник. - Львів: Видавництво «Новий Світ – 2000», 2020. – 404 с.