

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник директора з навчально-методичної
роботи
ЗПО «Дніпровський професійний
технологічний коледж»



_____ Сергій ГОРДІЄНКО

«28» _____ серпня _____ 2026 р.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ

СИГНАЛИ І ПРОЦЕСИ В РАДІОТЕХНІЦІ

Викладач - Володимир ПУСТОВОЙТ

Спеціальність: G5 Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка

Рівень освіти: Фаховий молодший бакалавр

Методичні вказівки розроблені для здобувачів фахової передвищої освіти спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка». Практичний курс загальним обсягом **22 години** спрямований на закріплення теоретичних знань з дисципліни «Сигнали і процеси в радіотехніці» та набуття стійких навичок роботи з контрольно-вимірювальною апаратурою.

Основна частина робіт виконується у середовищі комп'ютерного моделювання електронних схем **Electronics Workbench (NI Multisim)**, що дозволяє безпечно та наочно досліджувати складні радіотехнічні процеси, знімати спектрограми, осцилограми та амплітудно-частотні характеристики.

Правила техніки безпеки при виконанні робіт:

1. До виконання практичних робіт допускаються здобувачі освіти, які пройшли інструктаж з техніки безпеки при роботі в комп'ютерному класі та лабораторії радіовимірювань.
2. При роботі з апаратними генераторами та осцилографами забороняється торкатися струмоведучих частин схеми та роз'ємів кабелів під напругою.
3. Вмикати вимірювальні прилади та макети в мережу живлення дозволяється лише після перевірки схеми викладачем.
4. Забороняється самостійно розкривати корпуси приладів, змінювати комутацію мережевих кабелів комп'ютерів.
5. У разі виявлення запаху горілої ізоляції, іскріння або збоїв у роботі обладнання слід негайно вимкнути живлення та повідомити викладача.

Вимоги до оформлення звітів

За результатами кожної роботи здобувач оформлює індивідуальний звіт, який повинен містити:

- Назву, мету роботи та перелік обладнання.
- Короткі теоретичні відомості (основні розрахункові формули).
- Схеми дослідження (скріншоти з Multisim або креслення за ДСТУ).
- Таблиці з результатами вимірювань.
- Побудовані графіки (осцилограми, спектрограми, АЧХ, ФЧХ).
- Обґрунтовані висновки та письмові відповіді на контрольні запитання.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1 (2 години)

Тема: Дослідження часових діаграм відео- та радіосигналів за допомогою осцилографа

Мета: Ознайомитись з основними параметрами детермінованих періодичних сигналів, навчитись працювати з віртуальними генераторами сигналів та осцилографами у середовищі Electronics Workbench, експериментально визначити часові параметри імпульсів.

Забезпечення: ПК, ПЗ Electronics Workbench / NI Multisim.

1. Теоретичні відомості

Електричний сигнал — це фізичний процес, що змінюється в часі і просторі, параметри якого містять інформацію. Детермінованим називають сигнал, миттєве значення якого в будь-який момент часу достовірно відоме.

Найважливішими часовими параметрами періодичного сигналу є:

- T — період повторення (с).
- $f = 1/T$ — частота (Гц).
- U_m — максимальна (амплітудна) напруга.
- τ_i — тривалість імпульсу.

Для прямокутної послідовності імпульсів важливим параметром є **шпаруватість (Q)** або коефіцієнт заповнення (**D**):

$$Q = T / \tau_i; \quad D = (\tau_i / T) \cdot 100\%$$

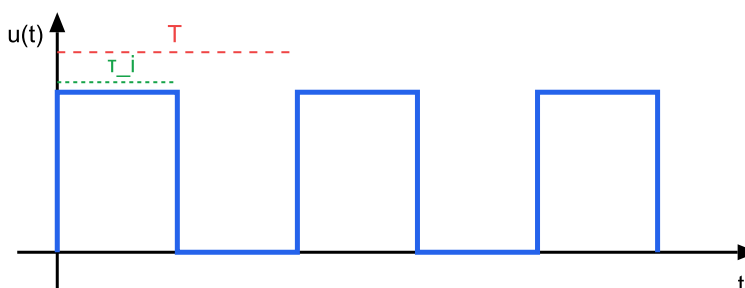


Рис. 1.1. Параметри періодичної послідовності прямокутних імпульсів (відеосигнал)

Радіосигналом називають високочастотне коливання, один або декілька параметрів якого (амплітуда, частота, фаза) змінюються за законом переданого повідомлення. Відеосигнал — це сигнал, спектр якого починається від нульових або дуже низьких частот.

2. Порядок виконання роботи

1. Запустіть програму Multisim (Electronics Workbench).
2. Винесіть на робоче поле генератор функцій (Function Generator) та двоканальний осцилограф (Oscilloscope).
3. З'єднайте прямий вихід генератора (+) з каналом А осцилографа, а спільний дріт (-) — із заземленням.
4. Налаштуйте генератор на видачу синусоїдального сигналу з частотою $f = 5$ кГц та амплітудою $U_m = 10$ В.
5. Увімкніть симуляцію. Налаштуйте розгортку осцилографа по осі Х (Timebase) так, щоб на екрані відображалось 2-3 повних періоди сигналу (наприклад, 50 мкс/поділку).
6. За допомогою маркерів осцилографа виміряйте період T . Розрахуйте частоту за вимірним періодом і порівняйте із заданою. Занесіть результати у Таблицю 1.1.
7. Переключіть генератор у режим прямокутних імпульсів. Змініть шпаруватість (Duty Cycle) на 25%. Виміряйте амплітуду, період та тривалість імпульсу. Розрахуйте шпаруватість Q .

3. Результати вимірювань

Таблиця 1.1. Дослідження часових параметрів сигналів

Форма сигналу	Задана частота, кГц	Вимірний період T , мкс	Розрахункова частота, кГц	Виміряна тривалість τ_i , мкс	Шпаруватість Q
Синусоїда	5			-	-
Прямокутний (D=50%)	10				
Прямокутний (D=25%)	10				

4. Контрольні запитання

1. Дайте визначення детермінованого електричного сигналу.
2. Яка залежність існує між періодом та частотою коливань?
3. Чим відрізняється шпаруватість від коефіцієнта заповнення?
4. У чому полягає принципова різниця між відео- та радіосигналом?
5. Як за допомогою екрана осцилографа виміряти пікову напругу (розмах) сигналу?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2 (2 години)

Тема: Побудова спектрограм амплітуд та фаз для періодичної послідовності імпульсів

Мета: Оволодіти методом спектрального аналізу періодичних сигналів на основі ряду Фур'є, дослідити залежність ширини спектру та амплітуд гармонік від шпаруватості імпульсів.

1. Теоретичні відомості

Будь-який складний періодичний сигнал $s(t)$ з періодом T , який задовольняє умовам Діріхле, можна подати у вигляді суми нескінченного гармонічного ряду (ряду Фур'є):

$$s(t) = A_0 / 2 + \sum [A_n \cos(n\omega_1 t) + B_n \sin(n\omega_1 t)]$$

де $\omega_1 = 2\pi / T$ — основна (перша) гармоніка, n — номер гармоніки ($n = 1, 2, 3, \dots$).

Частіше використовують амплітудно-фазову форму ряду Фур'є:

$$s(t) = C_0 + \sum C_n \cos(n\omega_1 t - \varphi_n)$$

Сукупність амплітуд C_n утворює **амплітудний спектр** сигналу, а сукупність початкових фаз φ_n — **фазовий спектр**. Спектр періодичного сигналу завжди є лінійчастим (дискретним), тобто гармоніки існують лише на частотах, кратних основній частоті f_1 .

Особливості спектру прямокутних імпульсів:

Амплітуди гармонік прямокутної послідовності (відеоімпульсів) змінюються за законом функції $|\sin(x)/x|$. Відстань між спектральними лініями дорівнює $F = 1/T$. Огинаюча спектру перетинає нуль на частотах, кратних $1/\tau_i$.

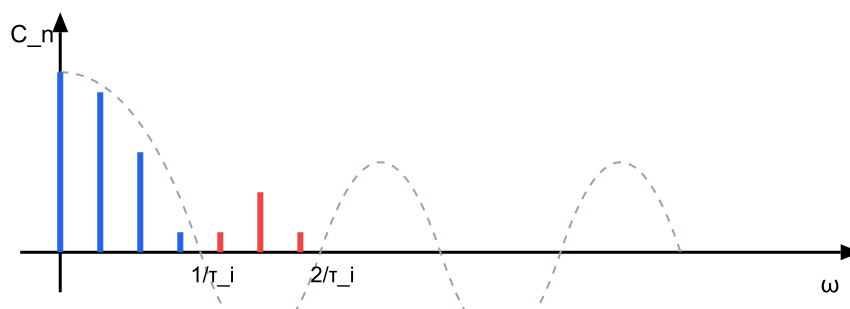


Рис. 2.1. Лінійчастий спектр періодичної послідовності імпульсів

2. Порядок виконання роботи

1. Зберіть схему, що складається з генератора імпульсів та Аналізатора спектру (Spectrum Analyzer).
2. Налаштуйте генератор на прямокутні імпульси, частота 1 кГц, амплітуда 5 В.
3. Встановіть шпаруватість (Duty Cycle) рівною 50% (меандр).
4. Відкрийте панель Аналізатора спектру. Налаштуйте діапазон частот від 0 до 15 кГц (Span = 15 kHz). Увімкніть лінійний масштаб (Lin) для осі амплітуд.
5. За допомогою маркера аналізатора виміряйте амплітуди перших п'яти гармонік (на частотах 1 кГц, 2 кГц, 3 кГц і т.д.).
6. Змініть шпаруватість на 25% ($Q = 4$) та повторіть вимірювання амплітуд гармонік. Запишіть, які гармоніки зникли (дорівнюють нулю).

3. Результати вимірювань

Таблиця 2.1. Амплітуди спектральних складових

Номер гармоніки, n	Частота, кГц	Амплітуда C_n , В	
		Шпаруватість Q=2 (50%)	Шпаруватість Q=4 (25%)
0 (Пост. склад.)	0		
1	1		
2	2		
3	3		
4	4		
5	5		

4. Контрольні запитання

1. Чому спектр періодичного сигналу є дискретним (лінійчастим)?
2. Як впливає зменшення тривалості імпульсу (при незмінному періоді) на ширину його спектру?
3. Чому у спектрі меандру ($Q=2$) відсутні парні гармоніки?
4. Яка гармоніка несе найбільшу енергію у спектрі прямокутних імпульсів?
5. Що таке постійна складова спектру і чому вона дорівнює для меандру амплітудою 5 В?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3 (4 години)

Тема: Розрахунок та моделювання спектральної щільності одиночного імпульсу

Мета: Вивчити перехід від ряду Фур'є до інтеграла Фур'є, засвоїти поняття спектральної щільності неперіодичного сигналу, дослідити залежність ефективної ширини спектру від тривалості імпульсу.

1. Теоретичні відомості

Для неперіодичних сигналів (наприклад, одиночного імпульсу) період повторення $T \rightarrow \infty$. При цьому відстань між сусідніми спектральними лініями $\Delta\omega = 2\pi/T$ прямує до нуля. Спектр стає суцільним (неперервним).

Неперіодичний сигнал описується за допомогою прямого та оберненого перетворень Фур'є. Функція, що описує суцільний спектр, називається **спектральною щільністю** (комплексним спектром) $S(\omega)$:

$$S(\omega) = \int s(t) e^{-j\omega t} dt \quad (\text{межі від } -\infty \text{ до } +\infty)$$

Для одиночного прямокутного відеоімпульсу з амплітудою U_m та тривалістю τ_i , симетричного відносно осі ординат ($t=0$), спектральна щільність є дійсною функцією:

$$S(\omega) = U_m \tau_i \cdot \frac{\sin(\omega \tau_i / 2)}{\omega \tau_i / 2}$$

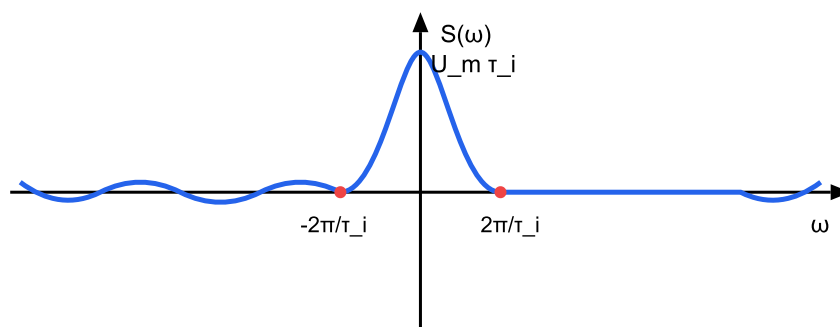


Рис. 3.1. Спектральна щільність одиночного прямокутного імпульсу

Ефективна ширина спектру

Енергія неперіодичного сигналу розподілена по всьому нескінченному діапазону частот. Однак на практиці спектр обмежують **ефективною шириною Δf_{ef}** , в якій зосереджена основна частина енергії сигналу (зазвичай понад 90%). Для прямокутного імпульсу лівова частка енергії знаходиться в межах головної пелюстки, ширина якої дорівнює $\Delta f = 1 / \tau_i$.

Властивості спектральної щільності

Спектральний аналіз неперіодичних сигналів значно спрощується завдяки теоремам перетворення Фур'є:

- **Теорема лінійності:** Спектр суми сигналів дорівнює сумі їх спектрів.
- **Теорема затримки (зсуву у часі):** Затримка сигналу на час t_0 не змінює його амплітудного спектру, але додає до фазового спектру лінійний зсув $-\omega t_0$.
- **Теорема зміни масштабу часу:** Стиснення сигналу в часі у a разів призводить до розширення його спектру у a разів, із пропорційним зменшенням модуля спектральної щільності. Це фундаментальний закон теорії інформації: чим коротший сигнал, тим ширша смуга частот потрібна для його передачі.

2. Попереднє розрахункове завдання

Дано одиночний прямокутний відеоімпульс амплітудою $U_m = 10$ В. Тривалість імпульсу τ_i для вашого варіанта наведено у таблиці. Необхідно:

1. Розрахувати значення модуля спектральної щільності на нульовій частоті $S(0)$.
2. Визначити частоту, на якій спектральна щільність вперше перетинає нуль (ширину головної пелюстки Δf).

Приклад розрахунку ($\tau_i = 100$ мкс):

$$S(0) = U_m \cdot \tau_i = 10 \cdot 100 \cdot 10^{-6} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ В/Гц}.$$

$$\text{Перший нуль спектру: } f_0 = 1 / \tau_i = 1 / 100 \cdot 10^{-6} = 10 \text{ кГц}.$$

3. Порядок виконання комп'ютерного моделювання

Оскільки ідеально одиночний імпульс у середовищах моделювання реалізувати складно, ми будемо імітувати його за допомогою періодичної послідовності з **дуже великою шпаруватістю** (період значно більший за тривалість імпульсу, $T \gg \tau_i$). У цьому випадку спектральні лінії розташовуються настільки щільно, що огинаюча лінійчастого спектру збігається з формою суцільного спектру одиночного імпульсу.

1. Зберіть схему з імпульсного генератора (Pulse Voltage) та аналізатора спектру.
2. Встановіть амплітуду імпульсу 10 В.
3. Встановіть період $T = 10$ мс (частота 100 Гц). Це забезпечить щільне розташування ліній (кожні 100 Гц).
4. Встановіть тривалість імпульсу (Pulse Width) $\tau_i = 50$ мкс.
5. Увімкніть моделювання. На аналізаторі спектру встановіть Span (смугу огляду) від 0 до 60 кГц.
6. За допомогою маркера знайдіть частоти, де амплітуда спектру падає до мінімуму (нуля). Це межі пелюсток. Виміряйте частоту першого та другого нулів.
7. Збільште тривалість імпульсу до $\tau_i = 100$ мкс. Знову виміряйте частоти нулів спектру. Занесіть результати в таблицю.

4. Результати вимірювань

Таблиця 3.1. Залежність ширини спектру від тривалості імпульсу

Тривалість імпульсу τ_i , мкс	Розрахункова ширина гол. пелюстки, кГц	Виміряна частота першого нуля, кГц	Виміряна частота другого нуля, кГц
50			
100			
200			

5. Контрольні запитання

1. Як математично записується спектральна щільність амплітуд для одиночного імпульсу?
2. У чому полягає різниця між лінійчастим та суцільним спектром?
3. Як зміниться ширина головної пелюстки спектру, якщо імпульс стиснути в часі у 2 рази?
4. Що означає від'ємне значення функції спектральної щільності у другій пелюстці? Як це відображається на фазовому спектрі?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4 (2 години)

Тема: Розрахунок інтервалу кореляції та побудова графіка АКФ імпульсних сигналів

Мета: Ознайомитися з основами кореляційного аналізу сигналів, розрахувати автокореляційну функцію для детермінованого відеоімпульсу та дослідити її властивості.

1. Теоретичні відомості

Кореляційний аналіз застосовується для оцінки ступеня подібності сигналу з його власною зміщеною в часі копією (або з іншим сигналом). Для детермінованих сигналів з кінцевою енергією використовується **автокореляційна функція (АКФ)**, яка позначається $R(\tau)$, де τ — час затримки (зсуву).

Математично АКФ визначається як інтеграл від добутку сигналу на його копію, зсунуту на час τ :

$$R(\tau) = \int s(t) \cdot s(t - \tau) dt \quad (\text{межі від } -\infty \text{ до } +\infty)$$

Основні властивості АКФ:

- Функція є парною: $R(\tau) = R(-\tau)$. Вона симетрична відносно осі ординат.
- Максимальне значення АКФ досягається при відсутності зсуву ($\tau = 0$) і чисельно дорівнює повній енергії сигналу: $R(0) = E$.
- **Теорема Вінера-Хінчина:** АКФ і спектральна щільність енергії сигналу $W(\omega) = |S(\omega)|^2$ пов'язані між собою перетворенням Фур'є. Це означає, що АКФ не містить інформації про фазовий спектр сигналу.

АКФ одиночного прямокутного імпульсу з амплітудою U_m та тривалістю τ_i має вигляд рівнобедреного трикутника з основою $2\tau_i$ та висотою $E = U_m^2 \cdot \tau_i$.

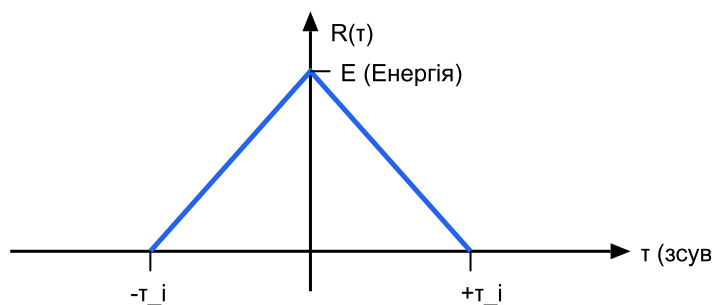


Рис. 4.1. Автокореляційна функція прямокутного імпульсу

2. Завдання для розрахунково-графічної роботи

Оскільки пряме апаратне вимірювання АКФ потребує спеціалізованих корелометрів із лініями затримки та перемножувачами, робота виконується аналітично-графічним методом.

Завдання 1. Для заданого варіанта (див. табл. 4.1) прямокутного відеоімпульсу необхідно:

1. Обчислити енергію сигналу E (значення АКФ при $\tau = 0$).
2. Побудувати графік АКФ у масштабі на міліметровому папері (або в звіті).
3. Визначити інтервал кореляції τ_k (час зсуву, при якому АКФ спадає до нуля).

Таблиця 4.1. Варіанти завдань

Номер варіанта	Амплітуда імпульсу U_m , В	Тривалість імпульсу τ_i , мс
1, 6, 11	5	2
2, 7, 12	10	1
3, 8, 13	2	5
4, 9, 14	15	0.5
5, 10, 15	8	4

3. Контрольні запитання

1. Що фізично показує значення автокореляційної функції?
2. Чому максимум АКФ завжди знаходиться в точці $\tau = 0$?
3. Як розраховується енергія прямокутного імпульсу?
4. У чому полягає суть теореми Вінера-Хінчина?
5. Чим відрізняється взаємкореляційна функція (ВКФ) від автокореляційної (АКФ)?



**ДНІПРОВСЬКИЙ
ПРОФЕСІЙНИЙ
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
КОЛЕДЖ**

ЗАКЛАД ПРОФЕСІЙНОЇ ОСВІТИ

Документ містить ознайомчий фрагмент.

**Повна версія доступна в електронній
бібліотеці закладу після входу в особистий
кабінет студента.**