

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторної роботи
«Електронний осцилограф та його застосування для
вимірювання параметрів сигналів»
з дисципліни

«Метрологія, стандартизація та сертифікація»
для студентів спеціальності G5 «Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка» (освітні програми «Радіоелектронні апарати та засоби», «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки», «Інженерія та програмування в радіоелектроніці», «Інформаційні мережі зв'язку») та G7 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» (освітня програма «Автоматизація, мехатроніка та робототехніка») усіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Електронний осцилограф та його застосування для вимірювання параметрів сигналів» з дисципліни «Метрологія, стандартизація та сертифікація» для студентів спеціальностей G5 «Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка» та G7 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» всіх форм навчання. / уклад.: О.Ю. Малий, О.О. Піроженко, В.Ф. Онищенко. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2026. – 20 с.

Укладачі: Олександр МАЛИЙ, к.т.н., доцент, зав. каф. ІТЕЗ;
Олександр ПИРОЖЕНКО, ст. викладач каф. ІТЕЗ;
Вадим ОНИЩЕНКО, к.ф.-м.н., доцент каф. ІТЕЗ.

Рецензент: Наталія ФУРМАНОВА, к.т.н., доцент, декан факультету ІБЕК

Відповідальний за випуск: Олександр МАЛИЙ, к.т.н., доцент, зав. каф. ІТЕЗ

Затверджено
на засіданні кафедри ІТЕЗ
протокол № 9 від 27.03.26 р.

Рекомендовано до видання
НМК ФІБЕК
протокол № 7 від 9.04.26 р.

ЗМІСТ

1 Підготовка до роботи	4
2 Порядок виконання роботи.....	5
3 Зміст звіту.....	7
4 Контрольні питання.....	8
5 Короткі теоретичні відомості	9
5.1 Різновиди та сфери використання осцилографів	9
5.2 Структура та принцип дії осцилографа	10
5.3 Технічні та метрологічні характеристики універсального осцилографа	14
5.4 Осцилографічні виміри	15
5.5 Похибки осцилографічних вимірів	16
Перелік джерел посилань.....	19
Додаток А. Визначення параметрів імпульсу	20

ЕЛЕКТРОННИЙ ОСЦИЛОГРАФ ТА ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛІВ

Мета роботи - вивчити структуру побудови та принцип дії універсального осцилографа, набути навичок з вимірювання амплітудних та тимчасових параметрів сигналів.

1 ПІДГОТОВКА ДО РОБОТИ

1. Користуючись рекомендованою літературою та розділом 5 даних методичних вказівок, ознайомтеся з призначенням, різновидами та сферами використання електронних осцилографів; вивчіть принцип дії універсального осцилографа і ознайомтеся з номенклатурою його технічних і метрологічних характеристик; вивчіть питання вимірювань амплітудних та часових параметрів сигналів за допомогою осцилографа; дайте відповідь на контрольні питання (див. розділ 4).

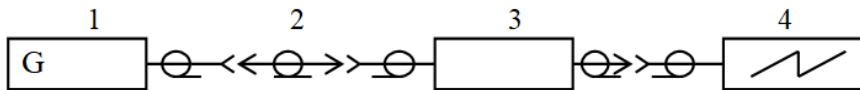
2. Побудуйте діаграми напруг $U_y(t)$ і $U_x(t)$ сигналів, які необхідно подати на вертикально відхиляючі (Y) та горизонтально відхиляючі (X) пластини електронно-променевої трубки (ЕПТ), щоб на екрані ЕПТ отримати зображення цифри, що відповідає номеру виконуваного варіанта.

3. Запропонуйте методику вимірювання часу затримки імпульсного сигналу, що подається від генератора імпульсів на чотириполюсник, за допомогою одноканального осцилографа. Зобразити схему вимірів.

2 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. За технічними описами осцилографа та вимірювальних генераторів ознайомтеся: з органами управління засобів вимірювань; порядком їхньої підготовки до роботи; порядком виконання вимірів.

2. Зберіть схему вимірювань відповідно до рис.2.1 і, встановивши параметри сигналів генератора відповідно до табл. 2.1, досягайте стійкого зображення 1-3 періодів сигналу на екрані осцилографа.



1 - генератор вимірювальних сигналів Г4; 2 – радіочастотний кабель РК-50; 3 - навантаження прохідне; 4 - осцилограф С1-.

Рисунок 2.1 – Схема сполук №1

Таблиця 2.1 - Таблиця варіантів

№ варіанти	Параметри вихідних сигналів генератора Г4-		Параметри вихідних імпульсів генератора Г5-		
	Частота (МГц)	Діюча напруга (мВ)	Частота (кГц)	Тривалість (мкс)	Амплітуда (В)
1	0.1	35.0	100.0	3.0	5.0
2	0.2	70.0	30.0	10.0	2.5
3	0.5	105.0	10.0	30.0	5.0
4	1.0	140.0	100.0	3.0	0.75
5	2.0	175.0	1000.0	0.3	0.5
6	4.0	220.0	1.0	10.0	0.25
7	5.0	35.0	100.0	0.1	5.0

3. Виконайте вимірювання амплітудного напруження U_a та періоду коливань T гармонійного сигналу, *реалізуючи умови мінімізації похибки* вимірювань.

4. Зберіть схему вимірювань №2 відповідно до рисунку 2.2 і, встановивши параметри імпульсних сигналів відповідно до таблиці 2.1, досягайте стійкого зображення одного імпульсу.

5. Виконайте вимірювання амплітудної напруги U_a , тривалості фронту t_ϕ , та тривалості імпульсу t_i , *реалізуючи умови мінімізації похибки* вимірювань.



1 - вимірювальний генератор Г5-2; 2 - кабель радіочастотний; 3 - навантаження прохідне; 4 - осцилограф С1-.

Рисунок 2.2 - Схема сполук №2

6. Занесіть результати вимірів у таблицю 2.2 та покажіть їх викладачеві.

Таблиця 2.2 – Результати вимірювань

Тип ВГ	Вим. параметр	Знач. параметру	Масштаб зображення та розміри ділянки зображення			
			k_y (В/діл)	h_y (діл)	k_x (мкс/діл)	l_x (діл)
Г4-	U_a	?	?	?	-	-
	T	?	-	-	?	?
Г5-	U_a	?	?	?	-	-
	t_n	?	-	-	?	?
	t_ϕ	?	-	-	?	?

З ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Мета роботи.
2. Діаграми напруги за пунктом 1.2.
3. Схема вимірювання часу затримки за пунктом 1.3.
4. Схема з'єднань засобів вимірювань за пунктом 2.2.
5. Результати вимірів в таблиці 2.2.
6. Висновки, що відображають вимоги до техніки осцилографування, виходячи з умови *мінімізації всіх похибок* виміру:
1) як вибрати осцилограф за метрологічними характеристиками? 2) як включити його до схеми вимірювань? як підготувати його до роботи
Як виміряти параметри сигналу?

4 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

- 4.1. Перерахуйте різновиди електронних осцилографів та охарактеризуйте сфери їх застосування.
- 4.2. Поясніть за структурною схемою принцип дії універсального осцилографа.
- 4.3. Від чого залежить кількість періодів сигналу, що ви бачите на екрані осцилографа.
- 4.4. За якої умови зображення на екрані осцилографа нерухоме.
- 4.5. Що таке «коефіцієнт відхилення» та «коефіцієнт розгортання» та як вони визначаються?
- 4.6. Що таке «синхронізація» і з якою метою вона виконується під час проведення вимірювань електронним осцилографом?
- 4.7. Як змінюється масштаб зображення на екрані осцилографа по осі X та по осі Y?
- 4.8. Поясніть призначення та область застосування розгортки, що чекає.
- 4.9. Навіщо служить лінія затримки, використовувана у каналі вертикального відхилення променя?
- 4.10. Поясніть призначення всіх входів осцилографа (Y, X, зовнішня синхронізація, Z) та наведіть приклади, коли ці входи використовують.
- 4.11. Перерахуйте причини, внаслідок яких сигнал, що досліджується, відтворюється на екрані осцилографа з спотвореннями.
- 4.12. За яких умов похибка вимірювань лінійних розмірів осцилограми є мінімальною?
- 4.13. Перерахуйте нормовані метрологічні характеристики каналу вертикального відхилення осцилографа.
- 4.14. Перерахуйте нормовані метрологічні характеристики каналу розгортки.
- 4.15. Продемонструйте порядок підготовки осцилографа до роботи.
- 4.16. Які метрологічні характеристики необхідно враховувати під час вибору осцилографа для конкретного вимірювального завдання?

5 КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

5.1 Різновиди та сфери використання осцилографів

Електронний осцилограф - прилад для спостереження електричних сигналів та вимірювань їх параметрів за допомогою електронно-променевої трубки (ЕЛТ), що використовує відхилення одного або декількох електронних променів для отримання зображення функціональних залежностей змінних величин, однією з яких зазвичай є час.

Основна перевага осцилографів – їхня універсальність, тобто. здатність виміряти різні параметри сигналів, спостерігаючи повний сигнал.

Існують різні види осцилографів. Залежно від призначення вони поділяються на осцилографи реального часу (група С1-), швидкісні та стробоскопічні (С7-), що запам'ятовують (С8-), спеціальні та обчислювальні (С9-).

Осцилограф реального часу (С1-) - осцилограф, в якому досліджуваній сигнал, що надходить на вхід Y, подається через масштабні перетворювачі сигналів (підсилювачі, атенюатори) вертикально відхиляють пластини ЕЛТ. Горизонтальне відхилення променя здійснюється генератором розгортки за лінійним законом. Використовується на дослідження сигналів в частотному діапазоні від 0 до 500 МГц.

Стробоскопічний осцилограф (С7-) - осцилограф, який використовує зображення сигналу упорядкований (або випадковий) відбір миттєвих значень досліджуваного сигналу і здійснює тимчасове перетворення сигналу. Він дозволяє досліджувати дуже швидкі процеси нано- та пікосекундної тривалості. Недолік стробоскопічного осцилографа полягає в тому, що він може досліджувати лише періодично повторювані сигнали невеликої шпаруватості.

Запам'ятовуючий осцилограф (С8 -) - осцилограф, який за допомогою спеціального пристрою дозволяє зберігати на певний час досліджуваній сигнал. Запам'ятовують осцилографи використовують для аналізу одноразових сигналів, що рідко повторюються.

Спеціальний осцилограф (С9 -) - осцилограф, що містить специфічні вузли та призначений для цільового застосування (для телевізійних вимірювань, обчислювальний і т.п.).

5.2 Структура та принцип дії осцилографа

Структурна схема осцилографа реального часу представлена на рисунку 5.1 і включає **три основні канали**: канал вертикального відхилення променя (КВП), канал горизонтального відхилення променя (КГП) і канал яскравості (КЯ).

Основою будь-якого осцилографа є електронно-променева трубка (ЕПТ), на екрані якої відтворюється досліджуваний сигнал. У всіх ЕПТ є катод, який випускає пучок електронів (промінь). Промінь фокусується і прискорюється двома парами пластин, які можуть відхиляти його у горизонтальному (Х) та вертикальному (Y) напрямках. При відсутності напруги на пластинах, що відхиляють, пучок електронів фокусується в центрі ЕПТ. У місці удару променя об екран ЕПТ, який покритий люмінофором, утворюється пляма, що світиться [1].

Якщо до пластин горизонтального відхилення прикласти пилкоподібну напругу достатньої амплітуди, то на екрані електронний промінь креслитиме практично горизонтальну лінію (при відсутності напруги на пластинах, що вертикально відхиляють). **Відхилення променя в горизонтальному напрямку, що лінійно пов'язане з часом, називають розгорткою**. Під час зворотного ходу розгортки пучок електронів відключається і вмикається знову на початку наступного періоду пилкоподібного сигналу. Якщо до пластин горизонтального відхилення підведено пилкоподібну напругу, а до пластин вертикального відхилення - досліджуваний періодичний сигнал, то на екрані ЕПТ можна бачити зображення сигналу, яке називають осцилограмою (рис. 5.2). Як очевидно з рис.5.2, щоб одержати на екрані нерухомого одноконтурного зображення сигналу необхідно виконати умову $T_p = n \cdot T_c$, де T_p – період розгортки, T_c – період сигналу, n - ціле число. При цьому на екрані спостерігатиметься n періодів сигналу. Для примусового виконання цієї умови призначено систему синхронізації (див. рис.5.1).

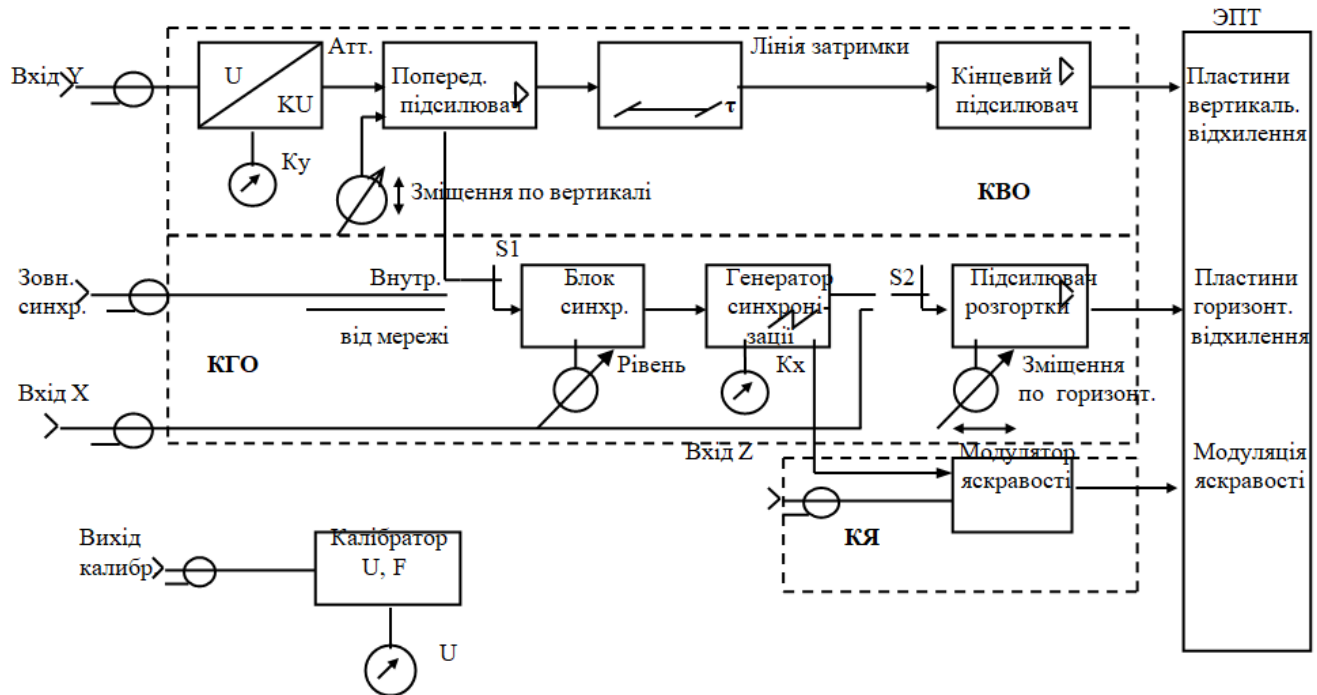
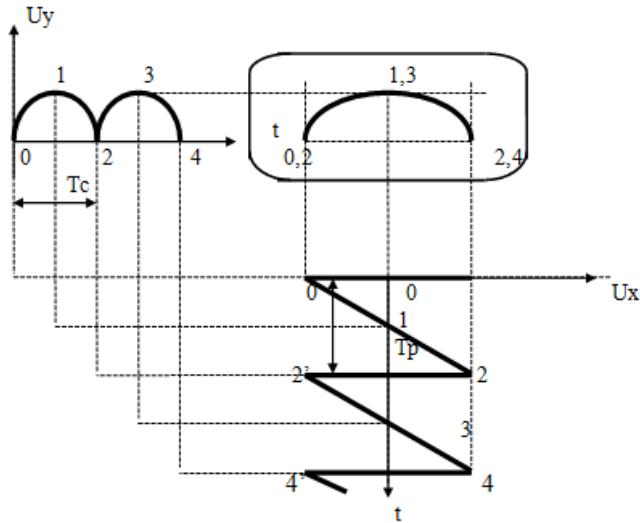
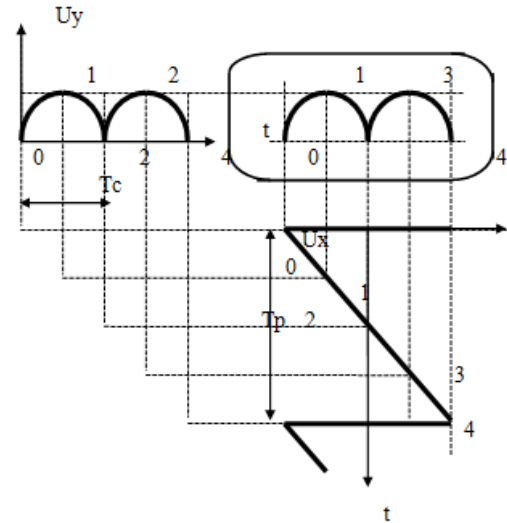


Рисунок 5.1 – Структурна схема універсального осцилографа реального часу



а)

тривалість розгортки T_r
дорівнює періоду сигналу T_c



б)

тривалість розгортки T_r
дорівнює двом періодам сигналу T_c

Рисунок 5.2 - Отримання осцилограми сигналу

Якщо $T_r \neq n \cdot T_c$, то в кожен новий період розгортки електронний промінь не переміщатиметься по одній траєкторії і на екрані вийде зображення сімейства зрушених один щодо одного кривих, що спостерігаються в сукупності як прямокутник.

У сучасних осцилографіях застосовуються такі **види розгортки**:

- **автоколивальна** - коли розгортка періодично запускається та за відсутності сигналу запуску генератора розгортки; автоколивальна розгортка використовується при дослідженні синусоїдальних сигналів та імпульсних сигналів малої шпаруватості;

- **очікуюча** - коли розгортка запускається тільки при надходженні на генератор розгортки сигналу запуску; очікуюча розгортка використовується при дослідженні імпульсів, що впливають з великою шпаруватістю і неперіодичних імпульсних сигналів;

- **одноразова** - коли запуск генератора розгортки здійснюється один раз від вхідного сигналу після натискання зовнішньої кнопки, розташованої на лицьовій панелі; Одноразова розгортка дозволяє виявити одноразові імпульсні сигнали.

- **затримана** - коли розгортка починається із затримкою (часто регульованою) після сигналу запуску; затримана розгортка швидша, ніж основна розгортка, що дозволяє розтягувати окремо вибрану ділянку сигналу і досліджувати його детальніше.

Для того, щоб мати можливість спостерігати фронт імпульсу з самого початку, необхідно, щоб надходження імпульсу на вертикально відхиляючі пластини було кілька затримано по відношенню до початку розгортки, що і виконує лінія затримки (рис. 5.1).

Замість пилкоподібної напруги з генератора розгортки за допомогою перемикача S2 на горизонтально відхиляють пластини може бути поданий будь-який зовнішній сигнал через вхід X. Таке підключення використовується, наприклад, при вимірюванні частоти способом фігур Лісаж, фазового зсуву, для спостереження вольтамперних характеристик нелінійних елементів.

На вхід «Зовнішн. синхр.» подають сигнали від зовнішнього джерела для запуску розгортки генератора. Така необхідність виникає, наприклад, при вимірюваннях тимчасового зсуву між імпульсами або часу затримки поширення сигналу ланцюгах.

Амплітуда зображення визначається напругою на пластинах вертикального відхилення. Якщо воно занадто велике, його можна зменшити вхідним аттенюатором, що регулюється. Підсилювачі тракту вертикального відхилення променя служать посилення малих вхідних сигналів до 2000 раз.

5.3 Технічні та метрологічні характеристики універсального осцилографа

Для опису властивостей осцилографів, визначальних їх можливості дослідження сигналів і які впливають вибір потрібної моделі, використовують такі параметри:

- параметри, пов'язані з ЕПТ: робоча частина екрана; товщина лінії променя;

- параметри каналу вертикального відхилення: діапазон значень коефіцієнта відхилення k_y (В/діл); похибка встановлення коефіцієнта відхилення (%) чи основна похибка вимірювань напруги (%); вхідний активний опір та вхідна ємність каналу Y ; час наростання перехідної характеристики каналу Y (нс) чи верхня межа смуги пропускання (МГц);

- параметри каналу розгортки: діапазон значень коефіцієнта розгортки k_x (час/діл); похибка встановлення коефіцієнта розгортки (%) або похибка вимірів часових інтервалів (%); параметри синхронізації;

- параметри калібраторів напруги, частоти та/або часу наростання сигналу.

Слід зазначити, що такий параметр, як верхня межа смуги пропускання каналу Y (f_b , МГц), важливий при вимірюваннях амплітуди гармонійних сигналів, у той час як час наростання перехідної характеристики каналу Y ($t_{\text{нпх}}$, нс) – при вимірюваннях тривалості фронту імпульсів. Співвідношення між цими двома параметрами визначається наближеним виразом:

$$f_b = \frac{0,35}{f_{\text{нпх}}}, \quad (5.1)$$

де f_b задано в МГц,

$t_{\text{нпх}}$ - в нс.

5.4 Осцилографічні виміри

Як вимірювальний прилад осцилограф використовують для прямих вимірювань амплітудних та часових параметрів сигналу (амплітуди імпульсу, викиду на вершині, спаду вершини, тривалості фронту та зрізу імпульсу, тривалості імпульсу, періоду повторення, інтервалів між двома імпульсами тощо). Крім того, осцилограф використовують для непрямих вимірювань параметрів сигналів - частоти повторення, фазового зсуву, коефіцієнта амплітудної модуляції та ін.

Вимірювання будь-якого амплітудного параметра сигналу *методом безпосередньої оцінки* зводиться до вимірювання за допомогою шкали, нанесеної на екран ЕПТ, лінійного розміру ділянки осцилограми, що цікавить, по вертикалі h_y . Результат вимірювань визначають множенням отриманого значення h_y коефіцієнт відхилення по вертикалі k_y , що визначає масштаб зображення:

$$U = k_y \left(\frac{B}{\text{діл}} \right) \cdot h_y (\text{діл}). \quad (5.2)$$

Калібрування відлікового пристрою коефіцієнта відхилення h_y виконується за допомогою калібратора напруги, вбудованого в осцилограф.

Аналогічним чином, вимірювання часових інтервалів зводиться до вимірювань лінійних розмірів ділянок осцилограми, що цікавлять, по горизонталі l_x з подальшим множенням отриманого значення на коефіцієнт розгортки k_x :

$$t = k_x \left(\frac{\text{час}}{\text{діл}} \right) \cdot l_x (\text{діл}). \quad (5.3)$$

Для правильних вимірювань параметрів сигналу необхідно чітко представляти їхню сутність. Так, під фронтом імпульсу розуміють наростаючу ділянку імпульсу між рівнями 10% та 90% його амплітуди. Під тривалістю імпульсу розуміють інтервал між наростаючим і спадаючими ділянками імпульсу, що визначається на рівні 50% його амплітуди (див. додаток А).

Крім цього, перед проведенням вимірювань необхідно на екрані ЕПТ отримати таке зображення сигналу, при якому його спотворення були б мінімальними [2].

5.5 Похибки осцилографічних вимірів

Похибка вимірювання параметрів сигналу методом безпосередньої оцінки за допомогою осцилографа складається з трьох складових. Як очевидно з виразів (5.2) і (5.3), двома такими складовими є похибка вимірювань лінійного розміру ділянки осцилограми h_y або l_x , і навіть неточне значення масштабу зображення сигналу, тобто. похибка встановлення коефіцієнта відхилення по вертикалі k_y чи коефіцієнта розгортки k_x . Третьою складовою є похибка отримання самої осцилограми на екрані ЕПТ, обумовлена відмінністю зображення сигналу від реального сигналу, що розповсюджується по електричним ланцюгам, що досліджуються.

Похибка вимірювань лінійних розмірів ділянки осцилограми (візуальна похибка) складається з неточності поєднання кривої з ризиками шкали та неточності відліку положення осцилограми щодо шкали. Вона має випадковий характер і може бути оцінена за виразом:

$$\delta_{\text{виз}} = \frac{0.4 \cdot b}{h_y} \cdot 100\%, \quad (5.4)$$

де b - товщина лінії променя (у частках поділу шкали);

h_y - розмір ділянки осцилограми (поділ).

З виразу (5.4) випливає, що візуальна похибка тим менша, чим менше товщина променя b і чим більший розмір h_y . Таким чином, **при вимірюваннях параметрів сигналів слід досягати максимальних розмірів зображення в межах робочої частини екрана і ретельно фокусувати ЕПТ промінь.**

Похибка встановлення коефіцієнта δk_y (і розгортки δk_x) визначається похибкою калібратора δk , що використовується для калібрування осцилографа, та похибки суміщення сигналу калібратора з поділами ЕПТ $\delta_{\text{виз}}$. Оскільки така похибка має випадковий характер, її можна оцінити за виразом

$$\delta k_y = \pm \sqrt{\delta k^2 + \delta_{\text{виз}}^2}. \quad (5.5)$$

Для мінімізації даної похибки при калібруванні осцилографа **слід домагатися максимальних розмірів зображення калібраційного сигналу в межах робочої частини шкали.** За умови,

що спотворення осцилограми сигналу відсутні, а складові $\delta_{\text{виз}}$ та δk_y – випадкові, загальна похибка вимірювань:

$$\delta_{\text{заг}} = \pm \sqrt{\delta k_y^2 + \delta_{\text{виз}}^2}. \quad (5.6)$$

Похибка через відмінність осцилограми сигналу від реального сигналу обумовлена двома причинами: приєднанням вхідних ланцюгів осцилографа до досліджуваного електричного ланцюга та кінцевою смугою пропускання каналу вертикального відхилення (або кінцевим часом наростання його перехідної характеристики).

Для з'єднання осцилографа з ланцюгами, що досліджуються, найчастіше використовують коаксіальний кабель, який перешкоджає наведенням на вхідний ланцюг паразитних сигналів. Типовий 50-омний коаксіальний кабель, розімкнений на кінці, має ємність близько 100 пФ/м, яка спільно з вхідною ємністю осцилографа порядку (30-100) пФ сильно навантажує ланцюг, що досліджується. Крім того, неузгоджений коаксіальний кабель може резонувати на частоті, яка залежить від його довжини, що може спотворювати сигнал. Тому схеми з'єднань, представлені на рисунку 2.1 та рисунку 2.2, можна використовувати лише при дослідженні гармонійних сигналів низької частоти (0,3-1,0) МГц та імпульсних сигналів з великою тривалістю фронту (0,3-1,0) мкс.

Для точної передачі форми високочастотних гармонійних сигналів або імпульсних сигналів з малою тривалістю фронту **необхідно**, щоб **лінія передачі** між джерелом сигналу осцилографом була **узгоджена** ($R_{\text{вх}} = \rho_{\text{л}}$), тобто. вхідний опір осцилографа має дорівнювати хвильовому опору лінії передачі (коаксіального кабелю).

Якщо ж об'єкт вимірювань має високий вихідний опір і не здатний працювати на 50-омне узгоджувальне навантаження, для дослідження сигналу використовують пробники (щупи), які включають межу об'єктом вимірювань і 50-омним навантаженням, які мають високий вхідний опір.

При осцилографуванні гармонійних сигналів кінцева смуга пропускання каналу вертикального відхилення викликає похибку вимірювань амплітуди гармонійних сигналів. Умовою мінімізації цієї похибки є співвідношення:

$$f_B \geq (3 - 5)f_{c \max} . \quad (5.7)$$

При осцилографуванні імпульсних сигналів спотворення фронту та зрізу імпульсу досліджуваного сигналу за рахунок перехідної характеристики осцилографа $t_{\text{нпх}}$ не виникають, якщо використовується осцилограф, що має значення даної метрологічної характеристики^

$$t_{\text{нпх}} = \frac{t_{\text{фс}}}{(5 \div 10)} , \quad (5.8)$$

де $t_{\text{фс}}$ – тривалість фронту досліджуваного сигналу.

Якщо ця умова не виконується, а тривалість фронту сигналу, виміряна по екрану осцилографа, дорівнює $t_{\text{фкр}}$, то справжнє значення тривалості фронту імпульсу може бути визначено за наближеним співвідношенням:

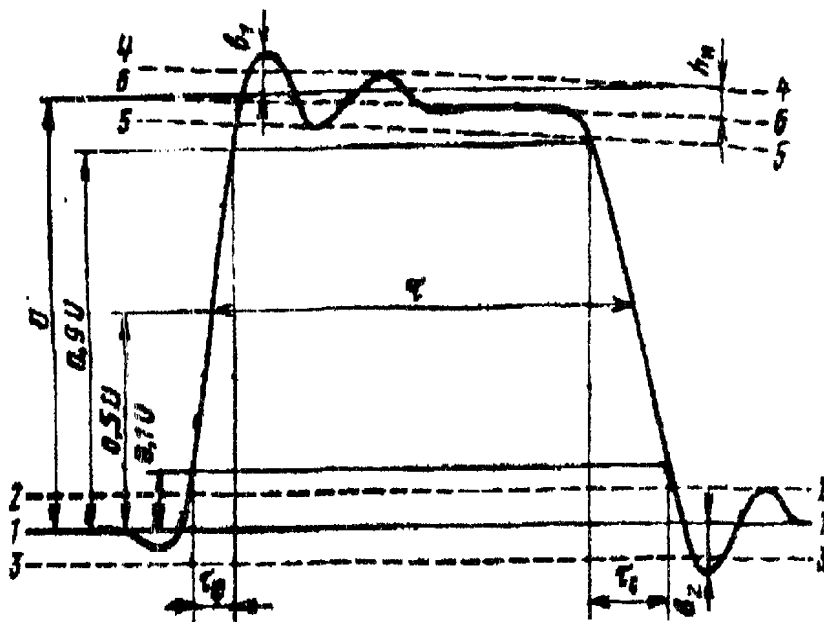
$$t_{\text{фн}} \approx +\sqrt{t_{\text{фкр}}^2 - t_{\text{нпх}}^2} . \quad (5.9)$$

Перелік джерел посилань

1. Метрологія та вимірювальна техніка: підручник / Є. С. Поліщук, М. М. Дорожовець, В. О. Яцук та ін.; за ред. Є. С. Поліщука. 2-ге вид., доповн. та переробл. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. 544 с.

2. Основи метрології та вимірювальної техніки: у 2 т. Т. 2: Вимірювальна техніка: навч. посіб. / М. М. Дорожовець, В. П. Мотало, Б. І. Стадник та ін.; за ред. Б. І. Стадника. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. 652 с.

ДОДАТОК А ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ІМПУЛЬСУ



- 1-1 - вихідний рівень сигналу в паузі;
- 2-2, 3-3 - нерівномірність вихідного рівня в паузі;
- 6-6 - усереднена вершина імпульсу;
- 4-4, 5-5 - нерівномірність вершини імпульсу;
- b_1 - викид на вершині імпульсу;
- b_2 - вибіг після імпульсу;
- h_{11} - нахил вершини імпульсу;
- U - амплітуда імпульсу;
- τ_f - тривалість фронту імпульсу;
- τ_3 - тривалість зрізу імпульсу;
- τ - тривалість імпульсу.