МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ ЗВ'ЯЗКУ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ЗВЯЗКУ ім. О.С.ПОПОВА

Кафедра метрології, стандартизації та сертифікації

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДЛЯ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ з модуля 1:
«Вимірювання параметрів інформаційних сигналів у системах зв'язку»,
№ 1 «Вимірювання параметрів електричних сигналів за допомогою осцилографа»,
№ 2 «Калібрування електронних осцилографів»
ТА ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАВДАННЯ
№ 1 «Метрологічне забезпечення дослідження електричних процесів і вимірювання їх параметрів»
з дисципліни «Вимірювання у системах зв'язку»

Частина II

за напрямом
0924 – Телекомунікації, 0907 – Радіотехніка

Затверджено
методичною радою
ОНАЗ академії зв'язку
ім. О.С. Попова

Одеса 2009

УДК 621.396.08 План НМВ 2008/2009

Укладачі:
Лабораторна робота № 1
Богун В.Д.
Козаченко М.Т.
Козаченко Л.О.
Лабораторна робота № 2
Богун В.Д.
Козаченко М.Т.
Вольська Т.С.
Індивідуальне завдання № 1
Козаченко Л.О.
Серебрін В.Л.
Вольська Т.С.

У методичних вказівках до лабораторних робіт та індивідуального завдання розглянуто питання дослідження форми електричних сигналів і вимірювання їх параметрів. Показано основні метрологічні та експлуатаційні характеристики осцилографів, джерела похибок вимірювання амплітудних та частотно–часових параметрів досліджуваних сигналів, а також оцінку похибок вимірювання. Розглянуто операції повірки (калібрування) осцилографів та методики їх виконання, способи обробки результатів вимірювань. Показано створення математичних моделей для сигналів, які відображуються на екрані осцилографа.

Вказівки розраховані на студентів технічних спеціальностей всіх форм навчання.

Схвалено
на засіданні кафедри МСС
та рекомендовано до друку.
Протокол № 4 від 27.10.2008 р.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛІНИ

Дисципліна «Вимірювання у системах зв'язку» включена до стандартів освіти і забезпечує базову підготовку студентів напряму 6.0924 «Телекомунікації» за спеціальностями: «Телекомунікаційні системи", «Інформаційні мережі зв'язку».

Дисципліна має 2,5 кредиту ESTS, модулів – 2, змістових модулів – 4, загальна кількість годин – 90, у тому числі: лекції – 24 год.; лабораторні заняття – 22 год.; самостійна робота та індивідуальна робота – 44 год.; семестр 2.3, вид контролю залік).

Лабораторні роботи № 1 «Вимірювання параметрів електричних сигналів за допомогою осцилографа», № 2 «Калібрування електронних осцилографів» та індивідуальне завдання № 1 «Метрологічне забезпечення дослідження електричних процесів і вимірювання їх параметрів» входять до складу залікового модуля 1 «Вимірювання параметрів інформаційних сигналів у системах зв'язку».

Структура залікового модуля 1

Змістовий модуль	Лекції (годин)	Заняття		Самостійна робота (у тому числі ІНДЗ)	Індивідуальна робота
		практичні	лабораторні		
Модуль 1: „Вимірювання параметрів інформаційних сигналів у системах зв'язку", кредитів ESTS – 1,5., годин 50. Навчальний час: лк – 14 г., , лб – 12г.					
1. Основи теорії вимірювань. Вимірювання напруги, струму і потужності	2 4	-	4	8	-
2. Дослідження електричних сигналів за допомогою осцилографа	4	-	4	8	-
3. Вимірювання частоти та часових інтервалів	4	-	4	8	-
Разом 1-й модуль, год.	**14**	**-**	**12**	**24**	**-**

ЗМІСТ ЗМІСТОВИХ МОДУЛІВ

2.1. Основи теорії вимірювань. Вимірювання напруги, струму і потужності.

Загальні положення. Алгоритмізація вимірюваних перетворень. Формалізація способів вимірювання. Аналіз впливу метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки на вимірювання. Аналогові вимірювальні перетворення. Аналого-цифрове перетворення. Реалізація аналого-цифрового перетворення.

Вимірювання постійного струму. Вимірювання напруги постійного струму. Вимірювання напруги змінного струму. Вимірювання напруги аналоговими електронними вольтметрами. Вимірювання напруги цифровими вольтметрами. Програмовані цифрові вольтметри. Вимірювання потужності. Метрологічне забезпечення засобів вимірювання напруги, струму і потужності.

2.2. Дослідження електричних сигналів. Вимірювання частоти та часових інтервалів

Загальні відомості. Часовий аналіз сигналів. Види осцилографічних розгорток. Синхронізація розгортки. Вимірювання параметрів досліджуваних сигналів. Особливості осцилографування наносекундних імпульсів і сигналів надвисоких частот. Застосування мікропроцесорів в осцилографах. Цифрові запам'ятовуючі осцилографи. Перспективи розвитку засобів вимірювальної техніки для часового аналізу сигналів. Спектральний аналіз сигналів. Метрологічне забезпечення засобів вимірювальної техніки для дослідження електричних сигналів.

Методи вимірювання частоти і часових інтервалів. Вимірювання інтервалів часу методом дискретної лічби. Цифровий спосіб вимірювання частоти. Використання мікропроцесорів в електронно-лічильних частотомірах. Адаптивні електронно-лічильні частотоміри. Метрологічне забезпечення засобів вимірювальної техніки для вимірювання частоти. Особливості вимірювань частотно-часових параметрів сигналів цифровими частотомірами на високих частотах.

Перелік лабораторних робіт модуля 1

	Тема	**Годин**
1	Експериментальне дослідження параметрів періодичних напруг складної форми з використанням вольтметрів, метрологічне забезпечення та калібрування.	4
2	Вимірювання параметрів інформаційних сигналів за допомогою осцилографа, метрологічне забезпечення та калібрування.	4
3	Дослідження характеристик цифрових частотомірів. Вибір режимів роботи. Метрологічне забезпечення та калібрування.	4
	Усього:	**12**

ВХІДНІ ВИМОГИ ДО ВИВЧЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ №1, №2 І ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАВДАННЯ №1

Зміст знань: принцип дії електронно-променевої трубки, генераторів лінійно-змінної напруги, способи синхронізації. Методи вимірювання параметрів електричних сигналів за допомогою осцилографа. Похибки вимірювань параметрів сигналів.

Зміст умінь: визначати абсолютну та відносну похибки вимірювань параметрів сигналів, джерела похибок електронних, аналогових та цифрових осцилографів, вимірювати амплітуду, частоту та період періодичних сигналів, записувати математичні моделі сигналів, які спостерігаються.

ВИХІДНІ ЗНАННЯ ТА УМІННЯ З ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

Внаслідок виконання лабораторної роботи студент повинен:

– ***знати*** принцип дії, структурну схему, призначення основних блоків універсального осцилографа, види розгорток та способи синхронізації. Засвоїти основні метрологічні та експлуатаційні характеристики осцилографів, джерела похибок вимірювання амплітудних та частотно – часових параметрів досліджуваних сигналів; визначення повірки (калібрування) засобів вимірювальної техніки, операції повірки (калібрування) осцилографів та методики їх виконання, методи обробки результатів вимірювань.

– ***уміти:*** отримувати стійке зображення на екрані осцилографа, виконувати вимірювання параметрів сигналів за допомогою осцилографа та розраховувати сумарні похибки результатів вимірювання. Виконувати основні операції з повірки універсальних осцилографів, визначати похибки вимірювання коефіцієнта відхилення за вертикаллю $К_{відх}$ коефіцієнта розгортки $К_р$, визначати нерівномірності частотної характеристики, нелінійності амплітудної характеристики, визначати час наростання фронту імпульсу. Уміти визначати якісні показники електронних осцилографів і їх відповідність нормованим метрологічним характеристикам; створювати математичні моделі для сигналів, які відображаються на екрані осцилографа.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИГНАЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ОСЦИЛОГРАФА

1. МЕТА РОБОТИ

1.1. Набути практичних навичок вимірювання параметрів сигналів за допомогою осцилографа та визначення сумарної похибки результатів вимірювання.

1.2. Навчитися визначати оптимальний коефіцієнт відхилення ($К_{відх}$) та оптимальний коефіцієнт розгортки ($К_р$) виходячи з МХ осцилографа.

1.3. Навчитися оцінювати похибку і частоти сигналу.

2. КЛЮЧОВІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1. Загальні відомості про універсальні осцилографи

Електронно-променеві універсальні осцилографи призначені для візуального спостереження миттєвих значень досліджуваних електричних сигналів, а також вимірювання їхніх параметрів. За допомогою осцилографів вимірюють параметри постійної та змінної напруги, часові інтервали, фазові зрушення та параметри форми електричних процесів. Різні модифікації універсальних осцилографів дозволяють спостерігати та вимірювати параметри електричних сигналів у широкому діапазоні: напруг – від часток мілівольта до сотень вольтів; тривалості – від одиниць наносекунд до декількох секунд.

Відповідно до ГОСТу 22737 розрізняють наступні види осцилографів:

– *Універсальний осцилограф* – осцилограф, у якому досліджуваний сигнал подається через канал вертикального відхилення (атенюатори, підсилювачі) на вертикально відхиляючу систему ЕПТ (електронно-променевої трубки). Горизонтальне відхилення здійснюється генератором розгортки.

– *Стробоскопічний осцилограф* – осцилограф, що використовується для зображення форми сигналу шляхом впорядкованого (або випадкового) відбору миттєвих значень досліджуваного сигналу та здійснювання часового перетворення сигналу.

– *Запам'ятовуючий осцилограф* – осцилограф, що за допомогою спеціального пристрою, наприклад, ЕПТ із пам'яттю або електронного запам'ятовуючого пристрою, дозволяє зберігати на певний час досліджуваний сигнал чи при необхідності представляти його для одноразового або багаторазового візуального спостереження, а також для подальшої обробки.

– *Багатоканальний осцилограф* – осцилограф, у якому електронно-променева трубка має два або більше електронних променя, керованих окремо або спільно.

– *Осцилограф зі змінними блоками (багатофункційний)* – осцилограф, у якого заміною змінних блоків можна змінити його параметри, наприклад смугу пропускання, коефіцієнти відхилення і розгортки, та (або) розширити

функційні можливості, і (або) одержати специфічні функції, наприклад аналізатор спектра, характеріограф, рефлектометр.

Універсальні осцилографи за призначенням розділяються на багатофункціональні зі змінними блоками (С1-70, С1-74,С1-122); широкосмугові (С1-75, С1-93, С1-97); низькочастотні (С1-72, С1-76,С1-94); двопроменеві (С1-117, С1-157, С1-164); осцилографи-мультиметри (СК1-95, СК1-110, СК1-111,СК1-112).

Принцип відображення форми досліджуваного сигналу полягає в тому, що на екрані електронно-променевої трубки яскрава точка описує траєкторію, що відповідає функційній залежності значення напруги від часу. Горизонтальна (часова) координата відображається шляхом подачі на горизонтально відхиляючі пластини напруги, значення якої змінюється пропорційно часу. Відхилення променя у вертикальному напрямку здійснюється напругою, поданою на вертикально відхиляючі пластини електронно-променевої трубки. Значення цієї напруги пропорційно миттєвому значенню напруги досліджуваного сигналу.

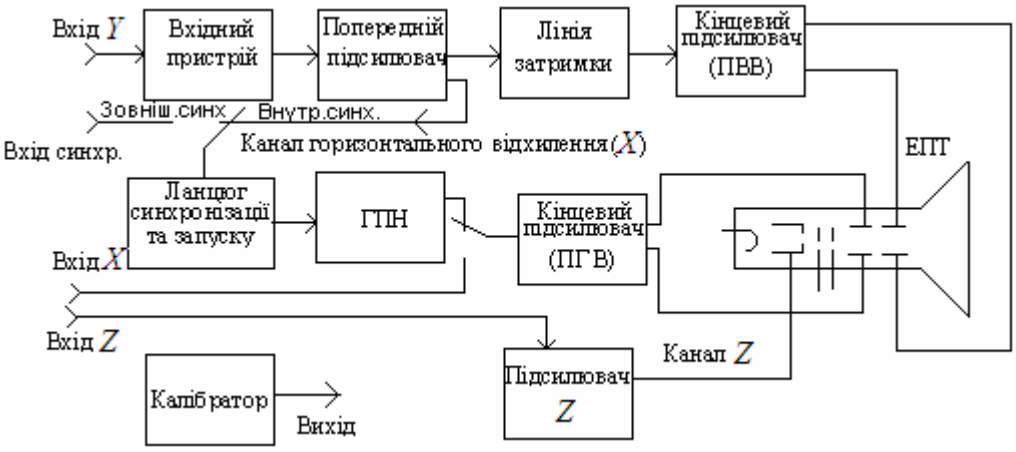


Рисунок 2.1 – Структурна схема універсального осцилографа

Типова структурна схема універсального осцилографа (рис. 2.1) включає такі основні вузли:

– електронно-променеву трубку (ЕПТ) і три канали:

– канал вертикального відхилення (КВВ), (канал *Y*);

– канал горизонтального відхилення (КГВ), (канал *X*);

– канал модуляції яскравості променя (КМЯ), (канал *Z*).

Для збільшення точності вимірювання параметрів сигналу у складі осцилографа застосовуються пристрої, які називаються калібраторами напруги і часових інтервалів.

2.1.1. *Канал вертикального відхилення* (канал *Y*) служить для передачі напруги джерела досліджуваного сигналу на вертикально відхиляючі пластини і містить вхідний пристрій, попередній та кінцевий підсилювачі і лінію затримки.

Вхідний пристрій призначений для узгодження джерела сигналу з наступними ланцюгами як за рівнем сигналу, так і за вихідними і вхідними опорами, і може бути виконаний як з закритим, так і з відкритим входом.

Найважливішим елементом пристрою є високоомний широкосмуговий дільник напруги, побудований за резисторно – ємнісною схемою.

Попередній підсилювач здійснює посилення вимірювання сигналу при одночасному забезпеченні мінімального рівня власних шумів у робочій смузі частот, а також узгодження параметрів сигналу з параметрами лінії затримки, перетворення сигналу з несиметричного в симетричний, регулювання амплітуди.

Важливими характеристиками підсилювача є: дрейф вихідної напруги; рівень власних шумів; параметри частотної та перехідної характеристики; нелінійність амплітудної характеристики.

Лінія затримки служить для того, щоб затримати досліджуваний сигнал на час, обумовлений затримкою в ланцюгах синхронізації й підсилення та необхідним часом затримки відносно початку розгортки. Це дозволяє спостерігати фронт сигналу при синхронізації розгортки самим досліджуваним сигналом.

Кінцевий підсилювач забезпечує посилення досліджуваного сигналу до значення, достатнього для відхилення променя ЕПТ за вертикаллю в межах екрана. До нього пред'являються вимоги мінімального спотворення сигналу на всьому частотному та амплітудному діапазонах.

2.1.2. *Канал горизонтального відхилення* (канал *X*) призначений для формування та передачі напруги розгортки пилкоподібної форми на горизонтально відхиляючі пластини. Структурна схема КГВ включає генератор розгортаючої напруги, кінцевий підсилювач, блок синхронізації та запуску розгортки.

Генератор розгортаючої напруги має три режими роботи: неперервної розгортки, який використовують для спостереження синусоїдних і імпульсних сигналів з невеликою шпаруватістю; режим чекаючої розгортки для спостереження імпульсних сигналів з великою або змінною шпаруватістю і режим одиночної розгортки – для спостереження одиночних сигналів. Деякі осцилографи мають спеціальний режим роботи розгортки, названий розтяжкою. При роботі в цьому режимі зменшення значення коефіцієнта розгортки здійснюється за рахунок збільшення коефіцієнта підсилення кінцевого підсилювача, що приводить до розтяжки розміру зображення за горизонталлю.

2.1.3. *Блок синхронізації та запуску* генератора розгортки призначений для одержання стійкого зображення сигналу на екрані осцилографа шляхом прив’язування початку розгортки до характерних точок спостережуваного сигналу. При непреривному режимі розгортки цей процес називається синхронізацією розгортки, а в режимі, що чекає, і одиночному запуску – запуском.

2.1.4. *Калібратор осцилографа*, призначений для калібрування коефіцієнтів відхилення та розгортки, являє собою генератор сигналу з нормованими значеннями його амплітуди і періоду проходження. Вихідний сигнал калібратора може мати одне або ряд фіксованих значень відповідного параметра. Такі калібратори можуть використовуватися в осцилографах як джерела еталонного сигналу при вимірюванні параметрів досліджуваного сигналу методом порівняння.

Основними параметрами калібраторів є: номінальне значення (ряд значень) відтвореного параметра, основна похибка калібратора, що в 2-3 рази

менше похибки коефіцієнта відхилення і розгортки; нестабільність амплітуди та частоти повторення каліброваного сигналу.

2.2. Характеристики електронно-променевої трубки

Робоча частина екрана – частина екрана, у межах якої гарантуються параметри осцилографа.

Геометричні спотворення – спотворення, що проявляються у вигляді деформації зображення в межах робочої частини екрана, наприклад, трапецієвидне спотворення.

Яскравість – характеристика випромінювання поверхні екрана ЕПТ, що виражається у кд/м^2.

Непаралельність променів (багатопроменевих осцилографів) – кут між лініями двох горизонтальних і вертикальних розгорток променів, вимірюваний у частині екрана, загальної для цих променів.

2.3. Характеристики каналу вертикального відхилення і його параметри

Основними характеристиками каналу вертикального відхилення є:

– діапазон вхідних напруг;
– діапазон частот;
– діапазон значень коефіцієнта відхилень;
– амплітудно-частотна характеристика (АЧХ);
– перехідна характеристика (ПХ);
– амплітудна характеристика (АХ);
– вхідний активний опір;
– вхідна ємність.

Для кожної з перерахованих характеристик встановлюється ряд параметрів, що визначають їхні властивості.

Коефіцієнт відхилення – $К_{відх}$ встановлює співвідношення між значенням вхідної напруги $U_{вх}$ і вертикальним розміром відповідної ділянки зображення h

$$К_{відх} = \frac{U_{вх}}{h}, \text{ В/поділ.}$$

Вхідний активний опір – опір постійному струму на вході осцилографа.

Вхідна ємність – ємність відносно корпуса на вході осцилографа.

2.4. Параметри та характеристики каналу горизонтального відхилення (КГВ)

Неперервна розгортка – режим роботи генератора розгортки, коли розгортка періодично запускається навіть при відсутності сигналу запуску.

Чекаюча розгортка – режим роботи генератора розгортки, коли розгортка запускається тільки при наявності сигналу запуску.

Затримана розгортка – режим роботи генератора розгортки, коли розгортка починається з певною затримкою після запускаючого сигналу.

Розтяжка – зміна в певне число раз масштабу за горизонталлю з метою збільшення зображення за шириною екрана.

Нелінійність розгортки – зміна коефіцієнта розгортки в межах робочої частини екрана відносно його фактичного значення в центральній частині екрана.

Коефіцієнт розгортки $К_р$ установлює співвідношення між тривалістю сигналу $T_с$ і горизонтальним розміром l відповідної ділянки зображення

$$К_р = \frac{T_с}{l}\left[\frac{\text{мс}}{\text{поділ}}\right]; \left[\frac{\text{мкс}}{\text{поділ}}\right].$$

2.5. Методи вимірювання параметрів імпульсного сигналу за допомогою осцилографа. Похибки вимірювання

Вимірювання амплітудних і часових параметрів сигналу за допомогою осцилографа виконується непрямим способом. За масштабною сіткою, яка зображена на екрані ЕПТ, підраховують лінійні розміри зображення сигналу у вертикальному та горизонтальному напрямках, і за відомими коефіцієнтами, які встановлюють кількісні співвідношення між параметрами сигналу та відповідними параметрами зображення, обчислюються амплітудні та часові характеристики сигналу. Цими коефіцієнтами є коефіцієнти відхилення та розгортки.

Осцилографічні вимірювання амплітуди імпульсу і його тривалості можуть бути здійснені двома методами: методом безпосередньої оцінки та методом порівняння. Перший метод припускає використання осцилографа як вимірювального приладу з нормованими метрологічними характеристиками. При вимірюванні методом порівняння осцилограф використовується як пристрій порівняння (компаратор).

2.5.1. *Вимірювання амплітуди імпульсу методом безпосередньої оцінки.*

Напруга імпульсного сигналу подається на вхід *Y*. Встановлюється необхідний режим розгортки й синхронізації, а також таке значення коефіцієнта відхилення $К_{відх}$, при якому на екрані ЕПТ спостерігається стійке зображення імпульсу, що займає за вертикаллю не менше 40% робочого поля екрана. За масштабною сіткою відраховують розмір зображення h (у поділках). Амплітудне значення напруги U_m, обчислюється за формулою:

$$U_m = h \cdot К_{відх}, \quad \text{якщо імпульс однополярний;} \qquad (2.1)$$

$$U_m = (h / 2) \cdot К_{відх}, \quad \text{якщо імпульс двополярний.} \qquad (2.2)$$

Сумарна похибка каналу вертикального відхилення визначається за формулою:

$$\delta_{Um} = \sqrt{\delta^2_{К_{âäõ}} + \delta^2_{â³çU} + \delta^2_{ïîõ}}\ , \qquad (2.3)$$

де $\delta_{Ê_{âäõ}}$ – похибка коефіцієнта відхилення;

$\delta_{â³çU}$ – візуальна похибка відліку;

$\delta_{ïîõ}$ – похибка, обумовлена нерівномірністю ПХ.

Похибка коефіцієнта відхилення визначається наступними складовими:

$$\delta_{\text{Êâ³äõ}} = \sqrt{\delta^2_{\text{êà}} + \delta^2_{\text{íà}} + \delta^2_{\text{â³çU}}}\ , \qquad (2.4)$$

де $\delta_{\text{êà}}$ – похибка калібратора амплітуди;

$\delta_{\text{íà}}$ – похибка, викликана нелінійністю амплітудної характеристики тракту вертикального відхилення.

Візуальна похибка відліку $\delta_{\text{â³çU}}$ визначається похибкою суміщення ліній променя з рисками шкали масштабної сітки та похибкою відліку положення лінії променя відносно поділок шкали. Значення відносної похибки відліку у відносних одиницях буде дорівнювати:

$$\delta_{\text{â³çU}} = \sqrt{\left(\frac{1/5 \cdot b}{h}\right)^2 + \left(\frac{1/3 \cdot b}{h}\right)^2}\ , \qquad (2.5)$$

де h – величина зображення для заданого значення U_m, в мм.

b – ширина лінії промення, в мм.

Оцінимо можливе значення візуальної похибки при розмірі зображення h.

Наприклад, якщо у осцилографа h = 80 мм та b = 0,8 мм, одержимо:

$$\delta_{\text{â³ç}} = 0{,}0039 \text{ або } \delta_{\text{â³ç}} = 0{,}39\%\ .$$

Похибка через нерівномірність ПХ (мінімальне значення якої для більшості осцилографів не перевищує ширини лінії променя, а максимальне 3%) перебуває у межах 1–3 %.

Найбільше значення має похибка коефіцієнта відхилення, яка, наприклад, для осцилографів 2-го й 3-го класів становить, відповідно 4% й 10 %.

2.5.2. *Вимірювання тривалості імпульсу методом безпосередньої оцінки.*

Напруга імпульсного сигналу подається на вхід Y. Органами регулювання осцилографа домагаються такого стійкого зображення імпульсу, при якому його рівень, що дорівнює $0{,}5U_m$, розташовується на центральній горизонтальній лінії шкали та займає не менше 40% її довжини. За масштабною сіткою відлічується довжина зображення імпульсу l, поділ.

Тривалість періоду розраховується за формулою:

$$T_{\text{вим}} = \text{К}_{\text{р}} \cdot l. \qquad (2.6)$$

Сумарна похибка вимірювання періоду ($\delta_{\text{Т}}$) визначають за формулою:

$$\delta_{\text{Т}} = \sqrt{\delta^2_{\text{К}_{\text{д}}} + \delta^2_{\text{â³çíC}} + \delta^2_{\text{íïõ}}}\ , \qquad (2.7)$$

де $\delta_{\text{Кр}}$ – допустима похибка коефіцієнта розгортки, що наводиться в метрологічних характеристиках осцилографа.

$$\delta_{\text{â³çU}} = \sqrt{\left(\frac{1/5 \cdot b}{l}\right)^2 + \left(\frac{1/3 \cdot b}{l}\right)^2}\ . \qquad (2.8)$$

3. КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

3.1. Поясніть, на чому заснований принцип дії аналогового осцилографа?
3.2. Перелічіть статичні параметри осцилографа.
3.3. Перелічіть динамічні параметри осцилографа.
3.4. Сформулюйте визначення коефіцієнта відхилення.
3.5. Сформулюйте визначення коефіцієнта розгортки.
3.6. Перелічіть джерела похибки каналу вертикального відхилення.
3.7. Перелічіть джерела похибки каналу горизонтального відхилення.
3.8. Поясніть, що таке нерівномірність амплітудно-частотної характеристики і як вона визначається ?

4. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Вибрати варіант домашнього завдання згідно номера прізвища в журналі групи. Завдання наведені в Додатку А.

5. ЛАБОРАТОРНЕ ЗАВДАННЯ

5.1. Ознайомтеся з устаткуванням на робочому місці і отримайте у викладача допуск до роботи.

5.2. Ознайомтеся з органами управління осцилографа і підготуйте його до роботи; встановіть на середині екрана лінію розгортки достатньої яскравості і сфокусуйте зображення.

5.3. Підключіть генератор досліджуваного сигналу до входу *Y* осцилографа.

5.4. Встановіть коефіцієнт відхилення $К_{відх}$, такий, який отримано при виконанні домашнього завдання (або такий, який заданий викладачем).

5.5. Отримайте на екрані стійке зображення досліджуваного сигналу використовуючи режим внутрішньої або зовнішньої синхронізації.

5.6. Для 3-х – 4-х значень *h* виміряйте амплітудне значення напруги. Результати занести до табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Результати вимірювання амплітуди досліджуваного сигналу

$К_{відх}$, В/поділ	*h*, поділ	$U_{m вим}$, В	δ_{Um}, %	ΔU_m, В	Результат вимірювання напруги $U_m \pm \Delta U_m$
де ΔU_m – абсолютна похибка вимірювання амплітуди сигналу					

5.7. Виміряйте період і частоту досліджуваного сигналу. Для цього напругу сигналу подайте на вхід осцилографа і отримайте стійке зображення

при коефіцієнті розгортки, який вказано в домашньому завданні (або задано викладачем).

5.8. Виконайте вимірювання для 3-х – 4-х значень l, що відповідають періоду сигналу ($T_c = l \cdot К_р$). Результати вимірювання занести до табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати вимірювання часових параметрів досліджуваного сигналу

$К_р$, мс/поділ (мкс/поділ)	l, поділ	$T_{вим}$, мс (мкс)	δ_T,%	ΔT, мс (мкс)	f, Гц	Результат вимірювання періоду $T_{вим} \pm \Delta T$

6. Протокол лабораторної роботи (№ ... назва ...)

6.1. Мета експерименту.

6.2. Перелік використовуваної апаратури (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 – Використана апаратура

Найменування приладу	Тип	Заводський номер	Метрологічні характеристики		
			клас точності	діапазон вимірювання	діапазон частот

6.3. Схема вимірювання.

6.4. Результат вимірювання ФВ.

6.5. Висновки. Зробити висновок про величини похибок результатів вимірювання U_m і $T_{вим}$

7. Література

1. Вимірювання у системах зв’язку. Підручник / Л.В. Коломієць, М.Т. Козаченко і др. – Одеса: ТОВ «ВМВ», 2009.

2. Метрология, стандартизация и измерения в технике связи: Учеб. пособие для вузов / Б.П. Хромой, А.В. Кандинов, А.Л. Сенявский и др.; Под ред. Б.П. Хромого. – М.: Радио и связь, 1986.

3. Современная осциллография и осциллографические измерения. В.П. Дьяканов – М.: СОЛОН – Пресс, 2005.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2
КАЛІБРУВАННЯ УНІВЕРСАЛЬНИХ ОСЦИЛОГРАФІВ

1. МЕТА РОБОТИ

1.1. Вивчити методику визначення якісних показників електронних осцилографів та їх відповідність нормованим метрологічним характеристикам осцилографа.

1.2. Навчитися виконувати основні операції з калібрування універсальних осцилографів, визначати похибки вимірювання коефіцієнта відхилення $К_{відх}$, коефіцієнта розгорнення $К_р$, визначати нерівномірності частотної характеристики, нелінійності амплітудної характеристики, визначати час наростання фронту імпульсу.

2. КЛЮЧОВІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1. При калібруванні осцилографа проводять:

1) зовнішній огляд;

2) випробування;

3) визначення метрологічних характеристик:

– визначення похибки коефіцієнта відхилення;

– визначення похибки вимірювання напруги;

– визначення похибки коефіцієнта розгортки;

– визначення похибки вимірювання часових інтервалів;

– визначення параметрів перехідної характеристики;

– визначення параметрів амплітудно-частотної характеристики.

Основні терміни та їх визначення наведені в ГОСТ 22737.

2.2. *Амплітудно-частотною характеристикою* тракту вертикального відхилення називається залежність модуля коефіцієнта відхилення від частоти вхідного синусоїдного сигналу за умови незмінності його рівня (рис. 2.1). Основні параметри АЧХ наступні:

– *смуга пропускання* – діапазон частот, у межах якого коефіцієнт відхилення відрізняється не більш, ніж на 3 дБ від його значення на опорній частоті;

– *нерівномірність АЧХ* – різниця між значеннями коефіцієнта відхилення на обумовленій й опорній частотах, виражена у відсотках. Нерівномірність нормується для нормальної й розширеної області частот;

– *нормальна область АЧХ* – діапазон частот, у межах якого нерівномірність АЧХ не перевищує похибки коефіцієнта відхилення;

– *розширена область АЧХ* – діапазон частот, у межах якого нерівномірність АЧХ не перевищує 10%;

– *опорна частота* – частота, не менш ніж в 20 разів менша верхньої межової частоти смуги пропускання.

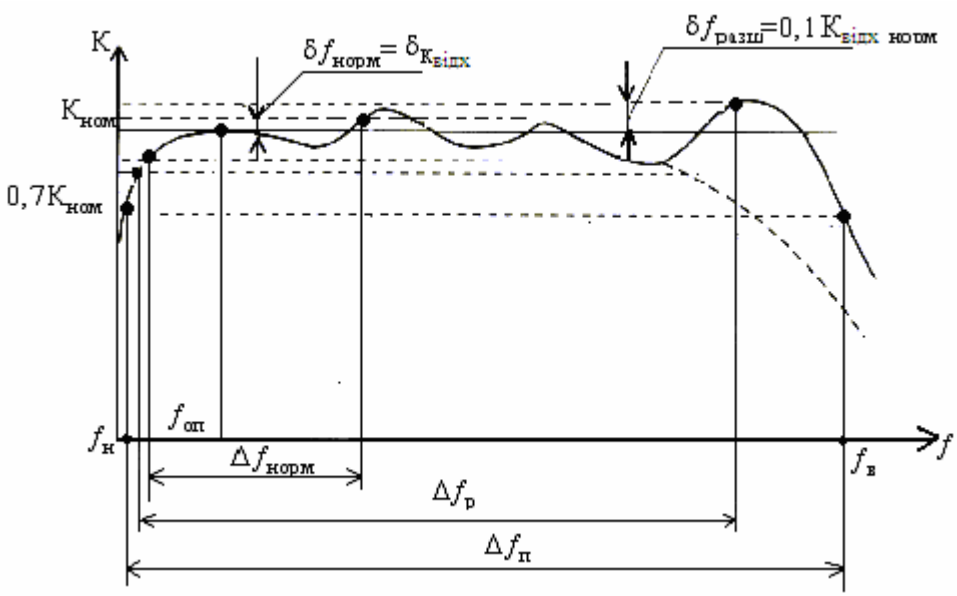


Рисунок 2.1 – Амплітудно-частотна характеристика каналу вертикального відхилення

$f_{ïï}$ – опорна частота; $\Delta f_ï$ – смуга пропускання; $\Delta f_{норм}$ – нормальний діапазон АЧХ; $\Delta f_р$ – розширений діапазон АЧХ; $f_в$ – верхня гранична частота смуги пропускання; $f_н$ – нижня гранична частота смуги пропускання; $\delta f_{íîðì}$ – нерівномірність АЧХ у нормальній області частот; $\delta k_{â³äõ}$ – похибка коефіцієнта відхилення; $\delta f_р$ – нерівномірність АЧХ у розширеній області частот.

Перехідна характеристика каналу вертикального відхилення наведена на рис. 2.2.

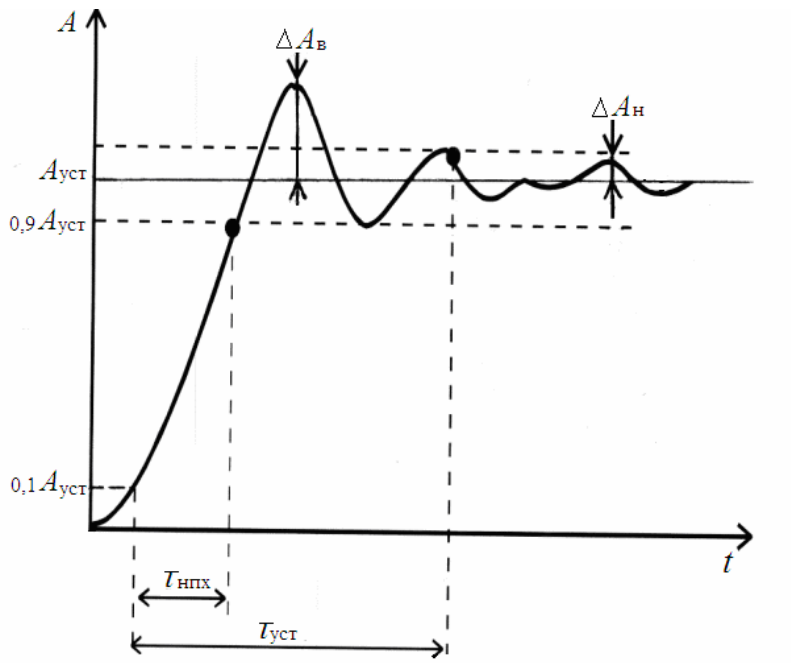


Рисунок 2.2 – Перехідна характеристика каналу вертикального відхилення

Викиди – різниця між максимальними (після часу наростання) і постійним значеннями ПХ.

При вимірюванні тривалості фронтів імпульсів, порівнянних із часом наростання ПХ, нормованою для осцилографа, тривалість фронту зображення $\tau_и$ збільшується в порівняними з $\tau_ô$ вимірюваного сигналу й уточнюється за виразами:

$$\tau_{ôç} = \sqrt{\tau_í^2 + \tau_ô^2} \text{ ,звідки, } \tau_ô = \sqrt{\tau_з^2 - \tau_{íîõ}^2} \text{ ,}$$

де $\tau_{ôç}$ – тривалість фронту зображуваного імпульсу;

$\tau_ô$ – тривалість фронту вимірюваного імпульсу;

$\tau_{íîõ}$ – час наростання перехідної характеристики.

Параметри амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) і перехідної характеристики (ПХ) взаємно пов'язані. Ця залежність для різних параметрів АЧХ і ПХ наводиться нижче.

Для забезпечення найбільш вірогідного зображення форми імпульсу на екрані осцилографа (при відсутності викидів), зменшення посилення на вищих частотах каналу *Y* при дворазовому збільшенні частоти повинно становити не більше 0,6 дБ. У цьому випадку:

$$\tau_í = \frac{350}{f_В}; \quad äå - f_В\,[ÌÃö].$$

З метою підвищення рівномірності АЧХ у межах смуги пропускання й одержання максимальної ширини смуги при максимальному коефіцієнті підсилення кінцевого каскаду, вводиться корекція АЧХ перед її спадом до рівня мінус 3 дБ (рис. 2.3, а). (Пунктирною лінією показані АЧХ (див. рис. 2.3, а) і ПХ (див. рис. 2.3, б) при відсутності корекції). Ця корекція є причиною появи викидів на ПХ (див. рис. 2.3, б) при дослідженні імпульсів із тривалістю фронту, меншою $\tau_í$. При тривалості фронту значно більше $\tau_í$ викиду на зображенні не спостерігається.

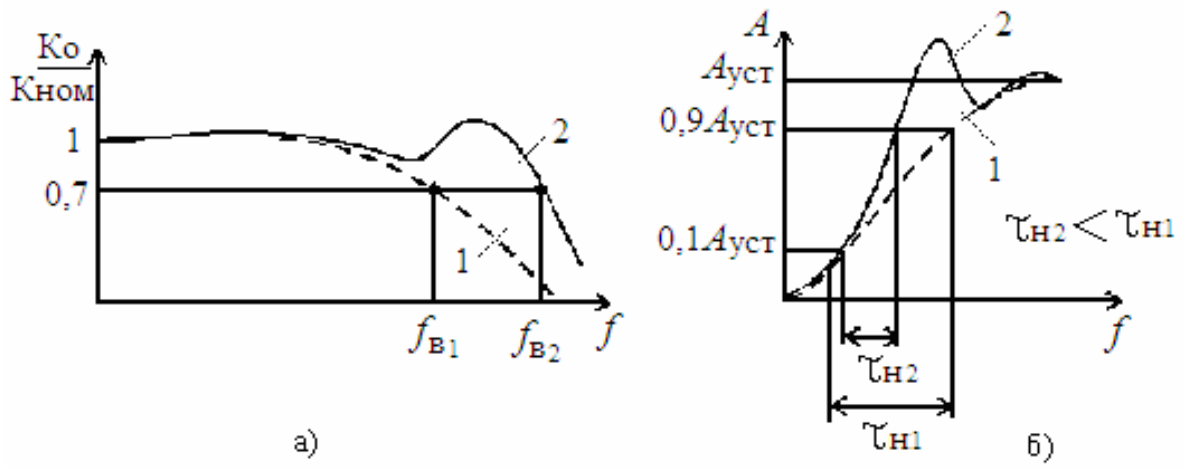


Рисунок 2.3 – Амплітудно-частотна (а) і перехідна (б) характеристики:
1 – при відсутності корекції АЧХ; 2 – із введенням корекції АЧХ.

Спад плоскої частини зображення імпульсу $\Delta A_{сп}$ обумовлюється впливом кінцевого значення розділювальної ємності вхідного ланцюга при закритому вході осцилографа. Наявність ємності приводить до спаду АЧХ в області низьких частот. Для осцилографів із закритим входом регламентуються значення спаду вершини ПХ й (або) значення низької частоти АЧХ при нерівномірності мінус 3 дБ.

Для спаду менше 20%, зв'язок між нижнім значенням смуги пропускання АЧХ ($f_н$) і значенням спаду $\Delta A_{сп}$ визначається наближеним співвідношенням:

$$\Delta A_{ñï} = 2\pi f_í \cdot \tau_з ,$$

де τ_i – тривалість імпульсу.

Якщо досліджуваний імпульс має спад, рівний $\Delta A_{спі}$, то спад плоскої вершини зображення $\Delta A_{ÇÎÁ}$ на екрані ЕПТ буде визначатися рівнянням:

$$\Delta A_{ÇÎÁ} = \Delta A_{ñïç} + \Delta A_{ñï} .$$

Амплітудною характеристикою КВО називається залежність розміру зображення за вертикаллю ЕПТ від рівня вхідного сигналу (рис. 2.4). Реальна амплітудна характеристика відрізняється від ідеальної (лінійної). Ця відмінність викликана нелінійністю характеристик підсилювачів й ЕПТ.

Нелінійність тракту вертикального відхилення приводить до того, що для різних розмірів зображень за вертикаллю A_x, коефіцієнт відхилення має різні значення:

$$\hat{E}_{â^3äõ} = \frac{1}{\mathrm{tg}\alpha_x},$$

де α_x – кут нахилу прямої, що з'єднує початок координат із точкою кривої на рівні *Ax*. Це приводить до похибки вимірювання напруги. Калібрування коефіцієнта відхилення, тобто установлення його номінального значення, яке наведено для одного розміру зображення (як правило, для максимального $A_{мах}$), не виключає похибки від нелінійності. У НТД на осцилографи звичайно нормується нелінійність КВО, що не перевищує 10%.

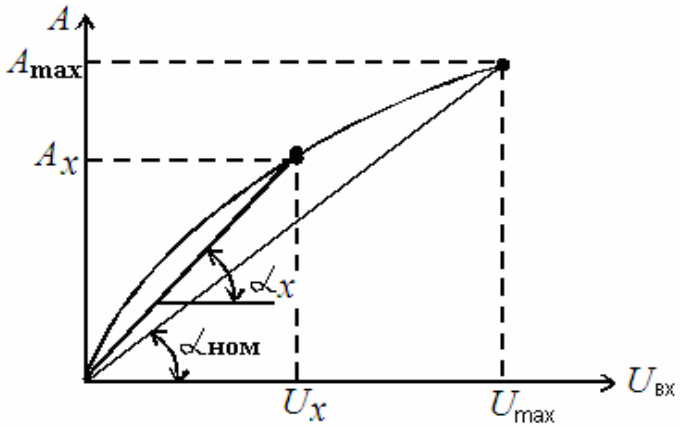


Рисунок 2.4 – Амплітудна характеристика КВО

2.3. Для калібрування використовуються такі засоби вимірювання: пристрій для калібрування вольтметрів; вольтметри перемінного струму; електронно-лічильний частотомір; імпульсний калібратор осцилографів; генератор імпульсів; генератор сигналів.

Використовувані засоби калібрування повинні задовольняти наступним вимогам: допустима похибка вимірювання (для еталонного приладу) не повинна перевищувати 1/3 допустимої похибки обумовленого параметра осцилографа, який калібрується. Крім того, повинні бути дотримані відповідні співвідношення між параметрами імпульсів генератора й параметрами перехідної характеристики осцилографа, установлені ДСТУ 8.311.

У даній лабораторній роботі калібрування осцилографа виконується за скороченою програмою з використанням навчальних засобів вимірювальної техніки.

2.4. При калібруванні осцилографа в першу чергу проводиться зовнішній огляд, при якому встановлюється відсутність механічних пошкоджень будь-яких елементів, які забезпечують роботу осцилографа, а також наявність чіткої фіксації всіх перемикачів при збігу з відповідними написами на панелі приладу.

Методика калібрування осцилографа, що відповідає ДЕРЖСТАНДАРТУ, наведена в додатку А.

У лабораторній роботі необхідно виконати такі метрологічні операції

2.5. Випробування.

2.5.1. Осцилограф переводять в режим безперервної розгортки і перевіряють: наявність лінії розгортки електронного променя на екрані електронно – променевої трубки (ЕПТ); регулювання яскравості й фокусування променя; зсув променя в горизонтальному й вертикальному напрямках.

2.5.2. За допомогою генератора сигналів синусоїдної й прямокутної форм проводиться перевірка працездатності осцилографа для всіх значень коефіцієнтів розгортки й відхилення. Змінюючи амплітуду вихідного сигналу генератора, перевіряють працездатність для всіх значень коефіцієнта відхилення. Змінюючи частоту вихідного сигналу генератора, перевіряють працездатність для всіх значень коефіцієнта розгортки.

2.5.3. Визначення похибки коефіцієнта відхилення $К_{відх}$ й коефіцієнта розгортки $К_р$ здійснюють методом порівняння показань осцилографа, який калібрується, і еталонного засобу вимірювальної техніки, похибка якого менше похибки осцилографа, що калібрується, не менше, ніж у три рази.

2.5.4. Похибка коефіцієнта відхилення $К_{відх}$ визначають способом прямого вимірювання напруги, що подається від вимірювального генератора. Осцилограф, що калібрується, переводять у режим неперервної розгортки. Частоту синусоїдного сигналу встановлюють рівною 1 кГц. Напругу на вході осцилографа вимірюють еталонним вольтметром. Вимірювання проводять для кожного значення $К_{відх}$. Висота зображення повинна становити не менше 40...80% довжини робочої ділянки за вертикаллю. Схема вимірювання наведена на рис. 2.5.

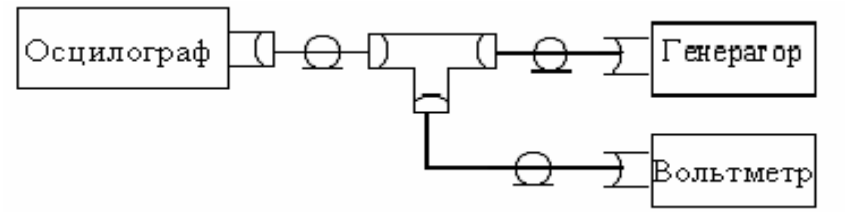


Рисунок 2.5 – Схема вимірювання похибки коефіцієнта відхилення

Похибку визначають за формулою:

$$\delta_{\text{âïäõ}} = \frac{\hat{E}_{\text{âïäõ}} - (\hat{E}_{\text{âïäõ}})_{\text{ä}}}{(\hat{E}_{\text{âïäõ}})_{\text{ä}}} \cdot 100\%,$$

де $К_{відх}$ – коефіцієнт відхилення, установлений на передній панелі;

$(К_{відх})_д = \dfrac{U_д}{h}$ – дійсне значення коефіцієнта розгортки;

$U_д$ – дійсне середньоквадратичне значення напруги;

h – відхилення променя за вертикаллю (установлюють, як правило, дорівнює не менше 2/3 шкали ЕПТ). При визначенні $(К_{відх})_д$ при біполярному сигналі необхідно брати h /2.

2.5.5. Похибку коефіцієнта розгортки $К_р$ визначають способом прямого вимірювання часових інтервалів, які задаються вимірювальним генератором. Період сигналу на вході осцилографа вимірюють еталонним цифровим частотоміром. Осцилограф, що калібрується, переводять у режим безперервної розгортки, а частотомір – у режим вимірювання періоду. Для калібрування коефіцієнта розгортки встановлюють таке значення частоти генератора, при якому розмір зображення одного періоду за горизонталлю займає не менше 2/3 довжини екрана. Вимірювання ведуться для кожного піддіапазону розгортки й не менш ніж у п'ятьох точках усього діапазону вимірюваних часових інтервалів включаючи дві крайніх точки. Схема вимірювання наведена на рис. 2.6.

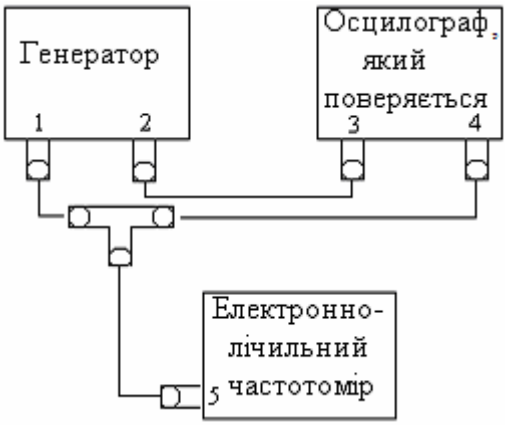


Рисунок 2.6 – Схема визначення похибки коефіцієнта розгортки

Похибка вимірювання коефіцієнта розгорнення визначають за формулою:

$$\delta_{\hat{E}_\partial} = \frac{\hat{E}_\partial - (\hat{E}_\partial)_{\text{ä}}}{(\hat{E}_\partial)_{\text{ä}}} \cdot 100\%,$$

де $К_р$ – номінальне значення коефіцієнта розгортки (встановлюється на передній панелі осцилографа);

$(К_р)_д = \frac{T_д}{l}$ – дійсне значення коефіцієнта розгортки;

$T_д$ – період досліджуваного сигналу, який вимірюється цифровим частотоміром;

l – число поділок в одному періоді досліджуваного сигналу.

2.5.6. Визначення нерівномірності амплітудно-частотної характеристики тракту вертикального відхилення проводиться у всіх положеннях перемикача “ВОЛЬТ/ДЕЛ” шляхом подачі на вхід підсилювача вертикального відхилення сталої за амплітудою синусоїдної напруги від вимірювального генератора й контролю цієї вхідної напруги еталонним вольтметром. Схема вимірювання наведена на рис. 2.5.

Величину зображення на частоті 100 кГц встановлюють рівною п'яти поділкам за вертикаллю.

Амплітуда напруги на вході підсилювача вертикального відхилення підтримується постійною й контролюється за допомогою еталонного вольтметра, який підключається безпосередньо на вході підсилювача за допомогою екранованого трійника.

Перед вимірюванням підсилювач вертикального відхилення повинен бути збалансований і відкалібрований. Режим роботи генератора розгортки – неперервний.

Нерівномірність амплітудно-частотної характеристики тракту вертикального відхилення визначається за формулою:

$$N = 20\lg\frac{h_{max}}{h_{min}},$$

де h_{max} – максимальне зображення на екрані за вертикаллю у нормованій смузі частот;

h_{min} – мінімальне зображення на екрані за вертикаллю у нормованій смузі частот.

Результат калібрування задовільний, якщо нерівномірність амплітудно-частотної характеристики тракту вертикального відхилення у нормованій смузі частот не перевищує допустимого значення, вказаного в метрологічних характеристиках осцилографа, що калібрується.

Аналогічні вимірювання проводяться у всіх положеннях перемикача “ВОЛЬТ/ДЕЛ”.

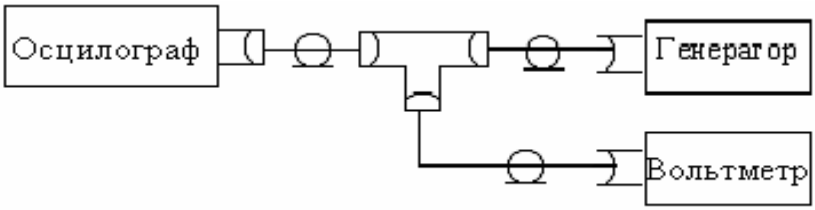


Рисунок 2.7 – Схема вимірювання нерівномірності амплітудно-частотної характеристики КВО

2.5.7. Нелінійність амплітудної характеристики перевіряють подачею на вхід каналу *Y* такого сигналу імпульсної або синусоїдної форми, щоб у центрі екрана зображення займало одну поділку. Частоту проходження випробувального сигналу вибирають близькою або рівною опорній (середній) частоті. За опорну приймають частоту, що не менш ніж в 20 разів менша, верхньої границі частотного діапазону каналу *Y*. Вимірювання здійснюють при середньому положенні ручки плавного регулювання підсилення. Вимірюють розмір зображення випробувального сигналу в поділках шкали в різних місцях робочої частини екрана при переміщенні його за вертикаллю від нижньої верхньої межі.

Нелінійність амплітудної характеристики у відсотках:

$$\beta_a = (h_н - 1) \cdot 100 \ \%, \qquad (2.4)$$

де $h_н$ – розмір, що найбільш відрізняється від одної поділки шкали зображення випробувального сигналу в будь-якому місці робочої частини екрана уздовж осі *Y*.

2.5.8. Час зростання перехідної характеристики – це інтервал часу, протягом якого перехідна характеристика (ПХ) зросте від 0,1 до 0,9 амплітудного значення. ПХ будь-якого чотириполюсника – це графічне відображення реакції на його виході на ідеальний перепад струму або напруги на його вході. В осцилографі ПХ спостерігається безпосередньо на екрані ЕПТ, якщо на вхід каналу *Y* подається випробувальний сигнал від генератора випробувальних імпульсів з параметрами, які відповідають ідеальному перепаду напруги. Вимірювання варто проводити при швидкості розгортки 0,1 мкс/поділ.

3. КЛЮЧОВІ ПИТАННЯ

3.1. За якими ознаками класифікують електронні осцилографи?

3.2. Якою повинна бути амплітуда напруги, що подається на пластини ЕПТ осцилографа, щоб промінь відхилявся за вертикаллю на весь екран?

3.3. З яких міркувань вибирається коефіцієнт відхилення в осцилографі?

3.4. З яких міркувань обрана смуга частот каналу *Y*? Чому вона дорівнює в досліджуваному осцилографі?

3.5. З яких міркувань обрана смуга частот каналу *X*? Чому вона дорівнює в досліджуваному осцилографі?

3.6. Поясніть, як визначають похибки вимірювання коефіцієнта відхилення $K_{відх}$.

3.7. Поясніть, як визначають похибки вимірювання коефіцієнта розгортки $K_р$.

3.8. Поясніть, як визначають нелінійність амплітудної характеристики.

3.9. Поясніть, як визначають час зростання перехідної характеристики.

4. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

4.1. Ознайомтеся з технічним описом досліджуваного осцилографа .

4.2. Запишіть у робочій зошит метрологічні характеристики осцилографа, який калібрується.

4.3. Наведіть зображення АЧХ каналу вертикального відхилення й назвіть основні параметри АЧХ.

4.4. Наведіть зображення ПХ каналу вертикального відхилення й назвіть основні параметри ПХ.

4.5. Перелічіть операції калібрування електронного осцилографа.

4.6. Розробіть план виконання лабораторного завдання.

4.7. Підготуйтеся до обговорення питань розділу 3.

5. ЛАБОРАТОРНЕ ЗАВДАННЯ

5.1.Ознайомтеся з устаткуванням на робочому місці й уточніть план виконання лабораторного завдання.

5.2.Заповніть табл. 6.1.

5.3.Проведіть перевірку працездатності осцилографа.

5.4.Визначте похибку коефіцієнта відхилення $К_{відх}$ за п. 2.5.4 (експериментальні дані занести в таблицю 6.2 протоколу калібрування).

5.5.Визначите похибку коефіцієнта розгортки $К_р$ за п. 2.5.5 (експериментальні дані занести в табл. 6.3 протоколу калібрування).

5.6.Визначте нерівномірність АЧХ каналу *Y* за п. 2.5.6 (експериментальні дані занести в табл. 6.4 протоколу калібрування).

5.7. Визначте нелінійність амплітудної характеристики за п. 2.5.7.

5.8.Результати калібрування запишіть до протоколу калібрування осцилографа.

6. ПРОТОКОЛ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ (№ ...НАЗВА...)

6.1. Мета експерименту.

6.2. Перелік використовуваної апаратури за табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Використовувана апаратура

Найменування приладу	Тип	Заводський номер	Метрологічні характеристики		
			припустима похибка	діапазон вимірювання	частотний діапазон

6.3. Схеми вимірювання (рис. 2.5... …2.6).
6.4. Протокол калібрування осцилографа.

ПРОТОКОЛ

калібрування електронного осцилографа типу _____№_____

який належить_____

каліброваного “_____”_____200__р. _____
Еталони _____
Зовнішній огляд _____
Випробування_____

Умови калібрування
Температура навколишнього середовища _____
Відносна вологість повітря_____%
Атмосферний тиск _____мм рт.ст.
Час попереднього прогріву_____хв.
Напруга мережі _____В
Частота напруги мережі_____

Таблиця 6.2 – Визначення похибки $К_{відх}$

$К_{відх}$, В/поділ	h, поділ	$U_д$, В	$(К_{відх})_д$, В/поділ	$\delta_{Квідх}$, %	Величина НМХ, %
10					
5					
…					

Висновок:

Таблиця 6.3 – Визначення похибки $К_р$

$К_р$, мс/поділ	l, поділ	$T_д$, мс	$(К_р)_д$, мс/поділ	$\delta_{Кр}$, %	Величина НМХ, %
10					
5					
…					

Висновок:

Таблиця 6.4 – Визначення нерівномірності амплитудно-частотної характеристики підсилювача вертикального відхилення (ПВВ).

$K_{відх}$ / Частота	0,02 В/ДЕЛ	0,05 В/ДЕЛ	0,1 В/ДЕЛ	0,2 В/ДЕЛ	0,5 В/ДЕЛ	1 В/ДЕЛ	2 В/ДЕЛ	5 В/ДЕЛ	10 В/ДЕЛ
	h, діл	*h*, діл	*h*, діл	*h*, діл	*h*, діл	*h*, діл	*h*, діл	*h*, діл	*h*, діл
20 Гц									
100 Гц									
1 кгц									
10 кгц									
100 кгц									
150 кгц									
200 кгц									
1 МГц									

Висновок:

Загальний висновок про придатність осцилографа:

Калібрування виконано _____ «___» _____ 200 _ р.

ПІБ

Протокол перевірив_____

ДОДАТОК А

1. Випробування

1.1. Допускається проводити випробування відразу після включення осцилографа.

1. 2. Випробування проводять за допомогою генератора імпульсів.

Генератор імпульсів повинен видавати на виходах напруги, які забезпечують перевірку працездатності осцилографа для всіх значень коефіцієнтів розгортки й відхилення в різних режимах роботи каналів вертикального й горизонтального відхилення. Допускається використання декількох типів генераторів імпульсів, які перекривають необхідні діапазони.

1.3. Перевірка роботи осцилографа в режимі неперервної розгортки. Осцилограф переводять в режим неперервної розгортки і перевіряють: наявність лінії розгортки електронного променя на екрані електронно-променевої трубки (ЕПТ); регулювання яскравості й фокусування променя; зсув променя в горизонтальному й вертикальному напрямках.

1.4. Перевірка роботи органів регулювання коефіцієнта розгортки (рис. А.1)

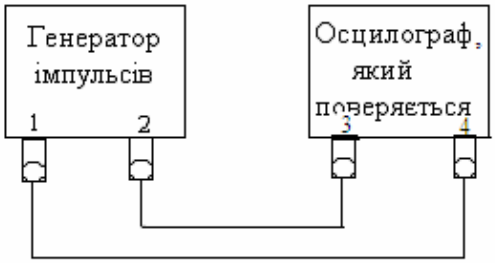


Рисунок А.1 – Схема калібрування роботи органів регулювання:
1 – вихід синхронізуючих імпульсів; 2 – вихід основних імпульсів;
3 – вхід підсилювача; 4 – вхід синхронізації

Осцилограф, що калібрується переводять у режим зовнішнього запуску, генератор імпульсів – у режим внутрішнього запуску. Встановлюють середнє значення коефіцієнта відхилення, амплітуду основного імпульсу генератора, яка відповідає чотирьом поділками шкали ЕПТ за вертикаллю, мінімальне фіксоване значення коефіцієнта розгортки, тривалість основного імпульсу генератора, яка відповідає п'яти розподіламшкали ЕПТ за горизонталлю, максимально можливу частоту повторення основних імпульсів генератора. Органами регулювання амплітуди синхронізуючих імпульсів генератора, затримки основних імпульсів генератора й, при необхідності, органами регулювання синхронізації осцилографа, що калібрується, домагаються стійкого зображення імпульсів на екрані ЕПТ. При досягненні ширини

зображення імпульсу одній поділці, тривалість імпульсу збільшують так, щоб ширина зображення на екрані ЕПТ знову рівнялася п'яти поділкам за горизонталлю. Частоту повторення імпульсів відповідно зменшують мінімального значення частоти повторення імпульсів синхронізації осцилографа, що калібрується. При одному, на вибір оператора, фіксованому значенні коефіцієнта розгортки перевіряють працездатність плавного регулювання коефіцієнта розгортки.

1.5. Перевірка роботи осцилографа в режимі внутрішнього запуску.

Засоби вимірювань з'єднують, як і при виконанні п. 1.4

Осцилограф, що калібрується, переводять у режим внутрішнього запуску. Встановлюють середнє значення коефіцієнта відхилення, амплітуду основного імпульсу генератора, як у п.1.4. Регулюванням рівня синхронізації осцилографа, що калібрується, домагаються стійкого зображення імпульсу на екрані ЕПТ. Зменшення амплітуди основних імпульсів генератора до мінімального значення, установленого для осцилографа, що калібрується не повинно приводити до зриву синхронізації. При необхідності допускається проводити додаткове регулювання рівня синхронізацій.

1.6. Перевірка роботи органів регулювання коефіцієнта відхилення.

Засоби вимірювань з'єднують як і при виконанні п. 1.4.

Встановлюють середнє значення коефіцієнта розгортки, амплітуду основного імпульсу генератора, яка відповідає п'яти поділкам шкали ЕПТ за вертикаллю, мінімальне фіксоване значення коефіцієнта відхилення осцилографа, що калібрується, тривалість основного імпульсу генератора, що відповідає п'яти – шести поділкам шкали ЕПТ за горизонталлю. Органами регулювання синхронізації й затримки генератора, що калібрується, домагаються стійкого зображення імпульсу на екрані ЕПТ. Збільшуючи фіксоване значення коефіцієнта відхилення, спостерігають зменшення висоти зображення імпульсу на екрані ЕПТ. При досягненні висоти імпульсу однієї поділки за вертикаллю, амплітуду основних імпульсів генератора збільшують так, щоб висота зображення імпульсу на екрані ЕПТ дорівнювалася п'яти поділкам за вертикаллю. При одному, на вибір перевіряючого, фіксованому значенні коефіцієнта відхилення перевіряють працездатність плавного регулювання коефіцієнта відхилення.

1.7. Визначення метрологічних параметрів

1.7.1. Визначення ширини лінії променя

Ширину лінії променя у вертикальному напрямку визначають методом непрямого вимірювання за допомогою генератора імпульсу (рис. А.2).

Осцилограф, що калібрується, переводять в режим неперервної розгортки, генератор імпульсів – у режим внутрішнього запуску. Встановлюють коефіцієнт розгортки в межах 2 – 10 мкс/поділок, період проходження імпульсів генератора 40 – 200 мкс, тривалість імпульсів 10 – 50 мкс, амплітуду імпульсів 2 – 5 В, коефіцієнт відхилення 5 В/поділок.

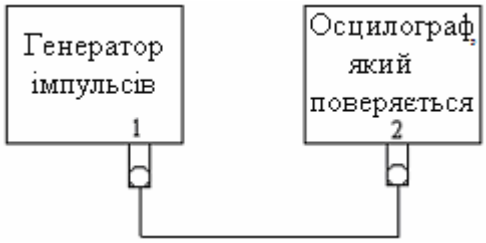


Рисунок А.2 – Схема визначення ширини лінії променя
у вертикальному напрямку:
1 – вихід основних імпульсів; 2 – вихід підсилювача

На екрані ЕПТ спостерігають дві горизонтальних лінії. За допомогою органів управління зсуву зображення за вертикаллю переміщають до верхньої межі робочої ділянки екрана ЕПТ.

Змінюють амплітуду імпульсів до значення U_1, при якому світні лінії стикаються. Ширину лінії променя за вертикаллю $d_в$ у поділках обчислюють за формулою:

$$d_в = U_1 / К_{відх},$$

де U_1 – амплітуда імпульсів, В; $К_{відх}$ – коефіцієнт відхилення за вертикаллю, В/поділ.

1.7.2. Ширину лінії променя в горизонтальному напрямку визначають методом непрямого вимірювання за допомогою генератора імпульсів і джерела пилкоподібної напруги (рис. А.3).

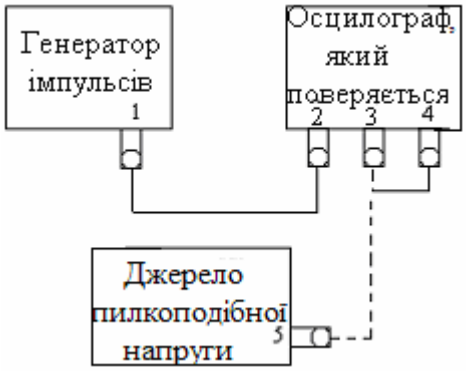


Рисунок А.3 – Схема визначення ширини лінії променя
в горизонтальному напрямку:
1 – вихід основних імпульсів; 2 – вхід підсилювача «Y»; 3 – вхід підсилювача «X»; 4 – вихід напруги розгортки; 5 – вихід пилкоподібної напруги

При відсутності в осцилографі, що калібрується, виходу пилкоподібної напруги розгортки допускається використання допоміжного осцилографа, що має такий вихід, або зовнішнього джерела пилкоподібної напруги каліброваної тривалості.

Встановлюють режим роботи й значення параметрів за п. 1.6.1. На екрані ЕПТ спостерігають дві вертикальних лінії. Змінюючи значення коефіцієнта відхилення, встановлюють висоту зображення ліній, найбільш близьку до

максимальної довжини робочої ділянки шкали ЕПТ за горизонталлю. Коефіцієнт відхилення за горизонталлю $К_р$ обчислюють за формулою:

$$К_р = U_2 / l ,$$

де U_2 – амплітуда імпульсів на виході генератора, В; l – довжина зображення за горизонталлю в поділках.

Змінюють амплітуду імпульсів д значення U_3, при якому дві вертикальних лінії, які світяться, стикаються. Ширину лінії променя $d_в$ за горизонталлю обчислюють за формулою:

$$d_в = U_3 / К_р$$

Ширину лінії променя у вертикальному й горизонтальному напрямках визначають у середині й на границях робочої ділянки ЕПТ.

1.7.3. Похибку коефіцієнта відхилення визначають способом непрямого вимірювання дійсного значення коефіцієнта відхилення за допомогою генератора імпульсів або установки для калібрування вольтметрів (рис. А.4), або методом прямого вимірювання за допомогою імпульсного калібратора осцилографів (рис. А.5).

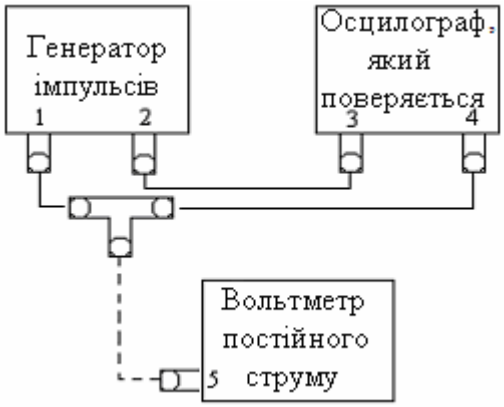


Рисунок А.4 – Схема визначення похибки коефіцієнта відхилення методом непрямого вимірювання:
1 – вихід основних імпульсів; 2 – вихід синхронізуючих імпульсів; 3 – вхід синхронізації; 4 – вхід підсилювача; 5 – вхід вольтметра

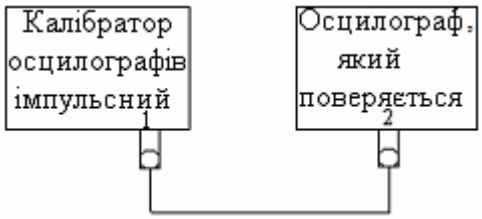


Рисунок А.5 – Схема прямого вимірювання за допомогою імпульсного калібратора осцилографів:
1 – вихід калібратора напруги; 2 – вхід підсилювача

Осцилограф, що калібрується, переводять у режим внутрішнього запуску, генератор імпульсів – у режим зовнішнього запуску. Встановлюють частоту повторення імпульсів генератора або частоту сигналу установки для калібрування вольтметрів, рівну 1000 Гц, максимальну тривалість основних

імпульсів генератора, максимальне фіксоване значення коефіцієнта відхилення осцилографа, амплітуду імпульсів генератора або амплітуду сигналу на виході установки для калібрування вольтметрів, що відповідає мінімальному парному числу h_{min} поділок шкали ЕПТ за вертикаллю.

Відповідними органами регулювання осцилографа домагаються стійкого зображення на екрані ЕПТ. Регулюванням рівня синхронізації зривають синхронізацію розгортки осцилографа. На екрані ЕПТ спостерігають дві лінії: нижню, що відповідає вихідному рівневі в паузі, верхню – амплітуді основного імпульсу генератора.

При використанні установки для калібрування вольтметрів на екрані ЕПТ спостерігають світну смугу, висота якої відповідає подвоєній амплітуді синусоїдного сигналу. Органами регулювання зсуву променя осцилографа лінії розташовують так, щоб нижня лінія зображення збіглася з позначкою h_{min} / 2 нижче центральної лінії шкали.

Суміщення ліній з позначками шкали проводять за однаковими межами ліній (верхньою й нижньою).

Регулюють амплітуду сигналу на виході генератора імпульсів або установки для калібрування вольтметрів так, щоб висота зображення дорівнювала h_{min} поділок шкали ЕПТ за вертикаллю. Відраховують значення амплітуди основних імпульсів генератора U_1 або значення амплітуди синусоїдного сигналу на виході установки для калібрування вольтметрів U'_1. Дійсне значення коефіцієнта відхилення обчислюють за формулою:

$$К_{відх} = U_1 / h \text{ або } К_{відх} = U'_1 / h,$$

де $К_{відх}$ – дійсне значення коефіцієнта відхилення виражене в (одиницях напруги / одиниці довжини або одиниця напруги / поділ.);

h – висота зображення, виражена в одиницях довжини або поділках.

Аналогічно коефіцієнт відхилення визначають для всіх значень висоти, що дорівнюють парному числу поділок, а також для найбільшого значення висоти в межах робочої ділянки екрана за вертикаллю.

Дійсні значення інших коефіцієнтів відхилення визначають при висоті зображення сигналів, що дорівнює парному числу поділок і складає 60 – 100% робочої ділянки екрана.

1.7.4. Похибку коефіцієнта розгортки визначають методом непрямого вимірювання дійсного значення коефіцієнта розгортки за допомогою генератора сигналів, генератора імпульсів й електронно-лічильного частотоміра або спосообом прямих вимірювань за допомогою імпульсного калібратора осцилографів.

Електронно – лічильний частотомір використовують, при необхідності, для підвищення точності установки частоти (періоду) сигналів генераторів.

Коефіцієнти розгортки, що не перевищують 5 мкс/поділ., вимірюють за схемою рис. А.6.

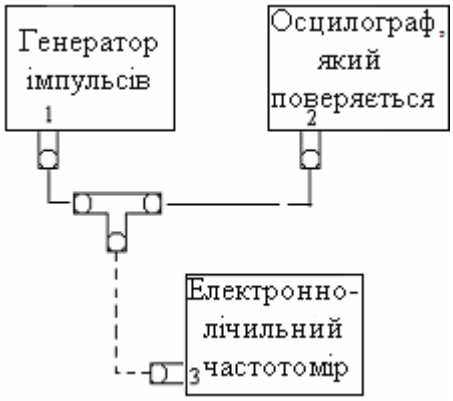


Рисунок А.6 – Схема вимірювання коефіцієнта розгортки,
що не перевищує 5 мкс/ поділ:
1 – вихід генератора сигналів; 2 – вхід підсилювача; 3 – вхід частотоміра

Осцилограф, що калібрується, переводять у режим неперервної розгортки, встановлюють середнє значення коефіцієнта відхилення, амплітуду сигналів на виході генератора, що відповідає не менше 40% робочої ділянки ЕПТ за вертикаллю, мінімальне значення коефіцієнта розгортки, період сигналу, відповідаючий одній поділці шкали ЕПТ за горизонталлю.

Регулюючи рівень синхронізації, домагаються стійкого зображення синусоїдного сигналу на екрані ЕПТ. Змінюють частоту сигналу на виході генератора й затримку розгортки так, щоб довжина зображення, розташованого на початку робочої ділянки ЕПТ за горизонталлю парного числа періодів синусоїдного сигналу $l_{\min}$ дорівнювала найменшій допустимій довжині $l_{доп\ \min}$, поділки.

Суміщення зображення з позначками шкали проводять у точках, що мають максимальну крутість і для однакових границь лінії променя. Відраховують за шкалою генератора або вимірюють за допомогою електронно – лічильного частотоміра частоту синусоїдного сигналу. Дійсне значення коефіцієнта розгортки $К_р$ обчислюють за формулою:

$$К_р = 1 / f,$$

де $К_р$ – дійсне значення коефіцієнта розгортки виражене (одиницях часу / одиницы довжини або одиницях часу / поділ., f – значення частоти в Гц).

Коефіцієнт розгортки, що перевищує 5 мкс/поліл., вимірюють за схемою на рис. А.7.

Осцилограф, що калібрується, переводять у режим внутрішнього запуску, встановлюють середнє значення коефіцієнта відхилення, амплітуду сигналів на виході генератора, що відповідає не менше 80% робочої ділянки ЕПТ за вертикаллю, період повторення імпульсів, що відповідає 0,2 поділки шкали ЕПТ за горизонталлю.

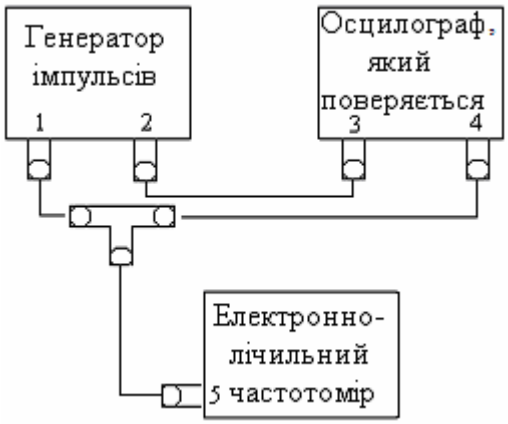


Рисунок А.7 – Схема вимірювання коефіцієнта розгортки,
що перевищує 5 мкс/поділ
1 – вихід основних імпульсів; 2 – вихід синхронізуючих імпульсів;
3 – вхід синхронізації; 4 – вхід підсилювача; 5 – вхід частотоміра

Регулюючи рівень синхронізації осцилографа і генератора, домагаються стійкого зображення імпульсів на екрані ЕПТ. Змінюють частоту повторення й затримку імпульсів генератора так, щоб довжина зображення, розташованого на початку робочої ділянки ЕПТ за горизонталлю парного числа періодів синусоїдного сигналу $ls_{\min}$, дорівнювала $l_{\min}$ поділок шкали ЕПТ за горизонталлю.

Електронно-лічильним частотоміром вимірюють частоту повторення або період T повторення основних імпульсів генератора й обчислюють дійсне значення коефіцієнта розгортки $К_р$ за формулою:

$$К_р = 1 / f, \text{ або } К_р = T.$$

Аналогічно визначають коефіцієнт розгортки для всіх значень висоти, що дорівнюються парному числу поділок, а також для найбільшого значення висоти в межах робочої ділянки екрана за горизонталлю. Вимірювання проводять для всіх фіксованих значень коефіцієнта розгортки осцилографа, що калібрується.

Коефіцієнт розгортки при використанні еталонного імпульсного калібратора осцилографів вимірюють за схемою на рис. А.8

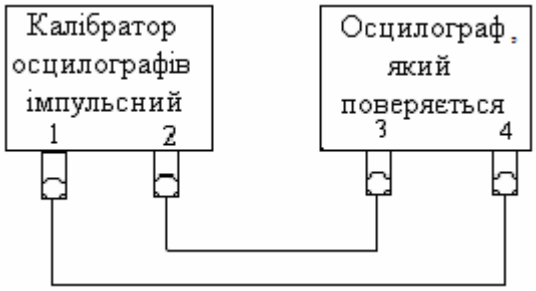


Рисунок А.8 – Схема вимірювання коефіцієнта розгортки при застосуванні
імпульсного калібратора осцилографів:
1 – вихід калібратора часових інтервалів; 2 – вихід синхронізуючих імпульсів;
3 – вхід синхронізації; 4 – вхід “*Y* ”осцилографа

Індивідуальне завдання №1
МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ І ВИМІРЮВАННЯ ЇХНІХ ПАРАМЕТРІВ

1. КЛЮЧОВІ ПОЛОЖЕННЯ

1.1. Електронно-променевий осцилограф – прилад, призначений для візуального спостереження електричних сигналів, а також вимірювання їхніх параметрів з використанням засобу відображення форми сигналів.

На екрані електронно-променевої трубки (ЕПТ) осцилографа одержують зображення (осцилограму) досліджуваного сигналу у вигляді функційної залежності напруги від часу $u = f(t)$ (часової діаграми) або функційної залежності двох величин $u_1 = f(u_2)$. Для одержання часової діаграми необхідно, щоб промінь переміщувався за вертикаллю пропорційно миттєвому значенню напруги сигналу, а за горизонталлю – з постійною швидкістю. Таке осцилографування забезпечується подачею на пластини, відхиляючі промінь вертикально, досліджуваного сигналу, а на пластини, відхиляючі промінь горизонтально – пилкоподібного. У тих випадках, коли процес розглядається не в залежності від часу, а як функція іншого процесу, на пластини, відхиляючі промінь вертикально, подається сигнал u_1, а на пластини, відхиляючі промінь горизонтально, – сигнал u_2.

В ідеальному випадку форма зображення сигналу на екрані, його амплітудні й часові співвідношення повинні б точно відповідати досліджуваному електричному сигналу. Насправді ж підключення осцилографа в тій або іншій ступені впливає на протікання процесів, а їхня форма спотворюється під час перетворення у видиме на екрані зображення електронного сигналу. Ступінь і характер спотворень визначаються параметрами осцилографа. Нормування цих параметрів дозволяє оцінити спотворення, внесені приладом, урахувати їх при необхідності або знехтувати ними, якщо вони незначно змінюють форму досліджуваного процесу.

1.2. Основною причиною похибки відтворення форми сигналу є лінійні й нелінійні спотворення, що вносяться каналом Y (каналом вертикального відхилення) осцилографа. Лінійні спотворення нормуються параметрами амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) або перехідної характеристики (ПХ), а нелінійні – нелінійністю амплітудної характеристики каналу Y.

До нормованих параметрів АЧХ осцилографа належать: смуга пропускання – діапазон частот, у якому АЧХ має спад не більше 3 дБ відносно значення на опорній частоті (як опорні частоти звичайно приймають частоту 1 кГц); нормальний діапазон – діапазон частот, у межах якого нерівномірність АЧХ не перевищує похибки коефіцієнта відхилення, і опорна частота – частота, на якій спад АЧХ відсутній.

Значення спаду АЧХ у децибелах знаходять за формулою:

$$N = 20\lg(h_{f_{\text{îñ}}} / h_{f_{\text{âèì}}}), \qquad (1.1)$$

де $h_{fïï}$, $h_{f\ âèì}$ – розміри зображення на опорній частоті і на частоті, для якої вимірюється спад АЧХ.

При визначенні лінійних спотворень за смугою пропускання використовуються поняття нижньої ($f_н$) і верхньої ($f_в$) межових частот. Смугою пропускання є діапазон частот, розташований між верхньою й нижньої межовими частотами: $\Delta f = f_в - f_н$. Так як $f_н << f_в$, то ширина смуги пропускання цього каналу дорівнює значенню верхньої межової частоти $\Delta f = f_в$. Частота $f_н$ визначає спотворення горизонтальних або ділянок великої тривалості, які повільно змінюються, а частота $f_в$ – спотворення крутості фронту і зрізу досліджуваного сигналу. Чим менше значення $f_н$ і чим більше $f_в$, тим менше спотворення горизонтальних ділянок і крутості фронту і зрізу сигналу.

1.3. При дослідженні імпульсних процесів зручніше характеризувати осцилограф не АЧХ, а параметрами ПХ. ПХ будь-якого чотириполюсника прийнято називати графічне відображення реакції на його виході на ідеальний перепад (сходинку) струму або напруги на його вході. В осцилографі ПХ спостерігається безпосередньо на екрані ЕПТ при подачі на вхід каналу *Y* іспитового імпульсу, що наближається за своїми параметрами до ідеального перепаду напруги.

Звичайно нормуються такі параметри ПХ (рис. 1.1, а): час наростання $\tau_н$ – інтервал часу, протягом якого ПХ зростає від 10 до 90% усталеного значення; викид – частина ПХ, що перевищує її усталене значення; спад вершини – зменшення сталого значення ПХ на заданому часовому інтервалі, яке визначається при закритому вході осцилографа; нерівномірність – відхилення ПХ від лінії усталеного значення. Нерівномірність знаходять на ділянці ПХ після закінчення часу встановлення $\tau_в$, протягом якого припиняються перехідні процеси, викликані проходженням фронту випробувального імпульсу. Викид виражають у відсотках від усталеного значення й знаходять за формулою $\delta_{вик} = h_в/h_н$, де $h_і$ – амплітуда імпульсу; $h_в$ – викид.

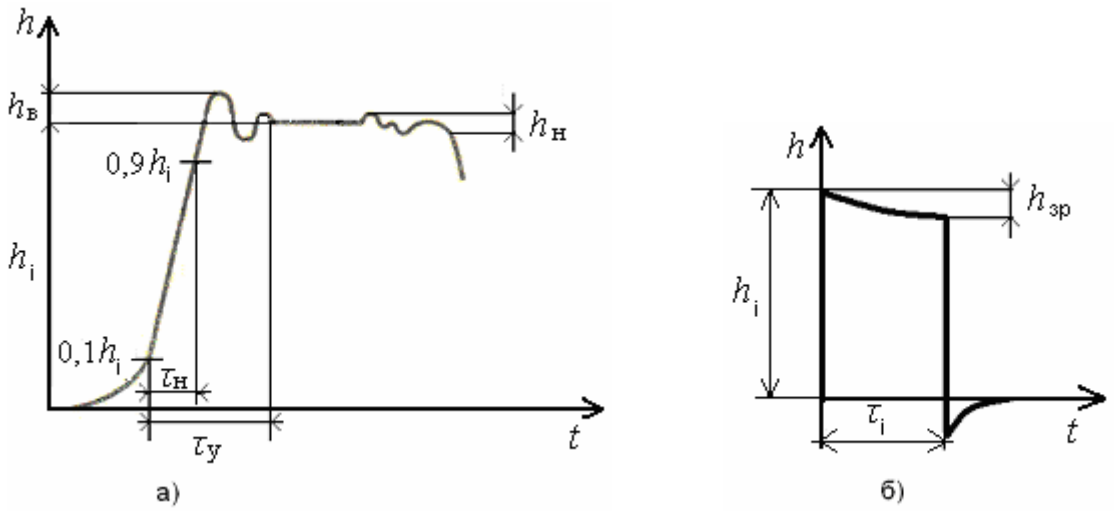


Рисунок 1.1 – Параметри ПХ (а) і визначення спаду вершини (б)

Знаючи параметри АЧХ, можна визначити параметри ПХ, і, навпаки, за відомими параметрами ПХ легко знайти межові частоти АЧХ. Зв'язок між верхньою межовою частотою смуги пропускання й часом наростання ПХ установлюється співвідношенням

$$f_{в} \approx 350 / \tau_{н}. \qquad (1.2)$$

Тут частота $f_{в}$ виражена в мегагерцах, а час $\tau_{н}$ – у наносекундах. Нижня межова частота смуги пропускання й спад вершини пов'язані в такий спосіб:

$$f_{н} \approx \delta_{сп}/2\pi\tau_{i}, \qquad (1.3)$$

де $\delta_{сп} = h_{сп}/h_{i}$ – відносний спад вершини (рис. 1.1,*б*).

Формула (1.2) дозволяє встановити співвідношення між $f_{н}$ і $\delta_{сп}$ з похибкою не більше 10% за умови, що $\tau_{i} < 0{,}2\tau_{з}$, де $\tau_{з}$ – постійна часу заряду розділювального конденсатора на закритому вході осцилографа.

Значення викиду на ПХ пов'язане з формою частотної характеристики в області високих частот. Для зменшення викиду необхідно, щоб спад частотної характеристики був плавним.

1.4. В ідеальному випадку, при лінійній характеристиці каналу *Y* і завдяки електростатичній системі відхилення променя, між відхиленням променя *h* і напругою на вході *Y* існує лінійна залежність

$$U_{вх} = K_{відх} \cdot h. \qquad (1.4)$$

Коефіцієнт пропорційності $K_{відх}$ називають коефіцієнтом відхилення й використовують для визначення напруги $U_{вх}$ за обмірюваним на екрані осцилографа значенням *h*. Коефіцієнт відхилення характеризується діапазоном зміни, основною й додатковою похибками і виражається в одиницях вимірювання напруги, віднесених до одиниць вимірювання довжини або поділок шкали на екрані осцилографа (В/поділ, мВ/поділ, В/см, мВ/см). Змінюють коефіцієнт відхилення каліброваними ступенями з кратністю 1; 2 і 5.

Нормованими параметрами осцилографа є всі калібровані значення коефіцієнта відхилення і їхніх похибок. При проведенні повірки осцилографа вимірюють напругу $U_{вх}$, відхилення *h* і за формулою (1.4) визначають дійсне значення коефіцієнта $(K_{відх})_{д}$. Похибку коефіцієнта відхилення обчислюють за формулою:

$$\delta_{\hat{E}_{âíäõ}} = \frac{\hat{E}_{âíäõ} - \left(\hat{E}_{âíäõ}\right)_{ä}}{\left(\hat{E}_{âíäõ}\right)_{ä}} \; 100\%. \qquad (1.5)$$

1.5. Важливими параметрами осцилографа є вхідний опір $R_{вх}$ і включена паралельно йому вхідна ємність $C_{вх}$ каналу *Y*. Наявність вхідного опору, який залежіть від частоти, змінює АЧХ і ПХ і, відповідно амплітуду та форму сигналу в досліджуваному пристрої. Ступінь спотворення сигналу залежить від

властивостей досліджуваного пристрою і від параметрів входу осцилографа. Чим більше вхідний опір і чим менша вхідна ємність, тим менше їхній вплив на роботу досліджуваного пристрою. Опір $R_{вх}$ сучасного осцилографа звичайно дорівнює 1 МОм. Вхідну ємність при конструюванні приладу намагаються зробити мінімальною. Її значення для різних моделей коливається в межах 20...40 пФ. Для її зменшення до 8...10 пФ застосовуються виносні пробники.

1.6. Діапазони частот і часових інтервалів сигналів, які дозволяє досліджувати осцилограф, залежать не тільки від параметрів АЧХ і ПХ приладу, але й від діапазону тривалостей його часової розгортки. Тривалістю розгортки прийнято називати час прямого ходу розгортки, за який промінь перетинає всю робочу частину екрана в горизонтальному напрямку. В залежності від протяжності ділянки сигналу тривалість розгортки повинна встановлюватися такою, щоб забезпечувався достатній для зручного спостереження і вимірювання розмір ділянки за горизонталлю.

Необхідна максимальна тривалість розгортки пов'язана з нижньою межовою частотою $f_н$ смуги пропускання каналу X або з найбільшою протяжністю горизонтальної ділянки досліджуваного сигналу, яка може із допустимим спадом відтворюватися на екрані ЕПТ.

У сучасних конструкціях осцилографів тривалість прямого ходу розгортки $T_р$ звичайно задається у вигляді коефіцієнтів розгортки

$$К_р = T_р / l, \tag{1.6}$$

де l – довжина відрізка горизонтальної осі, що відповідає тривалості $T_р$.

Коефіцієнт розгортки характеризується діапазоном зміни, основною і додатковою похибками та виражається в одиницях часу, віднесених до одиниць довжини або до поділок шкали екрана осцилографа (мс/поділ, мкс/поділ).

1.7. При осцилографічних дослідженнях параметри електричних сигналів визначають за їх осцилограмами, тому вірогідність результатів вимірювань залежить від точності їхнього відтворення на екрані ЕПТ. Похибка відтворення обумовлена лінійними (частотними) і нелінійними спотвореннями сигналів.

На величину і характер спотворень істотно впливає форма ПХ. Час встановлення визначає мінімальну тривалість сигналу прямокутної форми, параметри якого можуть бути виміряні за допомогою осцилографа з такою ж точністю, що і параметри сигналів великої тривалості.

Лінійні спотворення оцінюють за параметрами перехідної характеристики осцилографа. Сигнали відтворюються зі спотвореннями, якщо тривалість або період їхнього повторення одного порядка з часом наростання ПХ. У більшості випадків імпульс відтворюється із похибкою не більше 2%, якщо тривалість його фронту (зрізу) не менше ніж у п'ять разів перевищує час наростання ПХ осцилографа.

Тривалість прямокутного імпульсу визначається

$$T_{імп} = К_р \cdot l, \tag{1.7}$$

де l – кількість поділок, відповідаючих довжині імпульсу.

Сумарна похибка вимірювання часових інтервалів $\delta_{\Sigma} = \sqrt{\text{íÂ}^2_{\text{êàëèáð}} + \text{íÂ}^2_{\text{ïåðåòâ}}}$, де $\delta_{перетв}$ = 0,125β, β – коефіцієнт нелінійності напруги розгортки, $\delta_{калібр}$ – визначається із НМХ осцилографа.

При осцилографічних вимірюваннях тривалості фронту й зрізу прямокутних або трапецієвидних імпульсів наближено визначають за формулою:

$$\tau_{\hat{o}} \approx \sqrt{\tau^2_{\hat{o}(\hat{i})} - \tau^2_{\acute{i}}}\ , \qquad (1.8)$$

де $\tau_{ф(о)}$ – тривалість фронту (зрізу), обмірювана за осцилограмою,

$\tau_н$ – час наростання ПХ осцилографа. Точність результатів розрахунків за формулою (1.8) підвищується зі збільшенням відношення $\tau_{ф(о)} / \tau_н$.

На точність вимірювань можуть вплинути вхідний опір і вхідна ємність приладу. Активна складова вхідного опору осцилографа $R_{вх}$ і вихідний опір джерела сигналу $R_{дж}$ утворять дільник напруги, що вносить додаткову похибку вимірювання

$$\delta = [R_{дж} /(R_{дж} + R_{вх})]\cdot 100\%. \qquad (1.9)$$

Якщо виконується умова $R_{вх} \geq 100\ R_{дж}$, то додаткова похибка не перевищує 1%. Тому при проектуванні осцилографа прагнуть забезпечити високий опір входу. Звичайно $R_{вх}$ = 1МОм.

Вхідна ємність $C_{вх}$ обумовлює похибки вимірювання напруги на високих частотах і тривалості фронту (зрізу) імпульсів. При подачі імпульсу сигналу із тривалістю фронту $\tau_ф$, на вході осцилографа одержують імпульс, час наростання якого

$$\tau_{\hat{o}\,\hat{a}\tilde{o}} \approx \sqrt{\tau^2_{\hat{o}} + (2{,}2 R_{\ddot{a}\ae}\tilde{N}_{\hat{a}\tilde{o}})^2}\ , \qquad (1.10)$$

Відносна похибка відтворення фронту

$$\text{íÂ} = \left(\tau_{\hat{o}\hat{a}\tilde{o}} - \tau_{\hat{o}}\right) \Big/ \tau_{\hat{o}} \cdot 100\%, \qquad (1.11)$$

Вхідна ємність приладів значна і становить 20 – 40 пФ, а разом зі з'єднувальним кабелем 100 ... 150 пФ. Для її зниження застосовують виносні дільники й активні пробники, при цьому $C_{вх} \approx 10$ пФ.

Нелінійні спотворення визначаються нелінійністю амплітудної характеристики підсилювачів *X* і *Y*, нелінійними і геометричними спотвореннями, які вносить ЕПТ. Їхній вплив на точність вимірювань залежить від обраних при побудові осцилографа методів вимірювання напруги і часових інтервалів. Слід зазначити, що шкала осцилографа наноситься на осьових лініях екрана ЕПТ, тому при вимірюваннях необхідно зміщувати ділянку осцилограми, що характеризує досліджуваний параметр, у центр екрана, що зменшує похибку вимірювання осцилографом, обумовлену геометрією ЕПТ.

1.8. При вимірюванні часових інтервалів найбільш широкого поширення набули методи вимірювань, які використовують лінійну залежність миттєвого значення пилкоподібного сигналу (розгортальної напруги) від часу. Найчастіше застосовують спосіб каліброваного коефіцієнта розгортки, при якому перед

вимірюваннями осцилограф калібрують за коефіцієнтом розгортки, подаючи на його вхід калібрувальний сигнал з відомим періодом (тривалістю) від вбудованого калібратора тривалості. У процесі вимірювання за шкалою екрана визначають лінійні розміри осцилограми за горизонталлю, а також значення часових інтервалів досліджуваного сигналу.

Сумарну похибку вимірювань часових інтервалів даним способом становлять похибки, що виникають при калібруванні розгортки (похибки калібрувального сигналу, його суміщення з лініями шкали, коефіцієнта розгортки в некалібруємих положеннях перемикача діапазону розгортки і похибки через нестабільність швидкості розгортки), при встановленні розміру зображення за шкалою екрана, а також похибки, обумовлені нелінійністю розгортки і лінійних спотворювань каналу *Y*.

Процес визначення лінійних розмірів осцилограми за горизонталлю аналогічний процесу визначення розмірів за вертикаллю, що описаний раніше. Для цього процесу характерні похибки суміщення і відліку, значення яких приблизно такі ж, що і при вимірюваннях напруги.

1.9. Осцилографи можна використати також для вимірювання інших параметрів сигналів, наприклад, для вимірювання фазових зсувів, коефіцієнта амплітудної модуляції і т.ін.

Осцилографічний спосіб вимірювання фазових зсувів можна реалізувати способами лінійної, синусоїдної і кругової розгортки. Перші два є найпоширенішими.

При лінійній розгортці вимірювання фазових зсувів здійснюється двопроменевим або двоканальним осцилографом, у канали вертикального відхилення якого подають напруги $u_1 = U_1 \sin(\omega t + \varphi_1)$ й $u_2 = U_2 \sin(\omega t + \varphi_2)$; генератор розгортки осцилографа включений. Після зрівнювання обох напруг осцилограма буде мати вигляд, представлений на рис. 1.2.

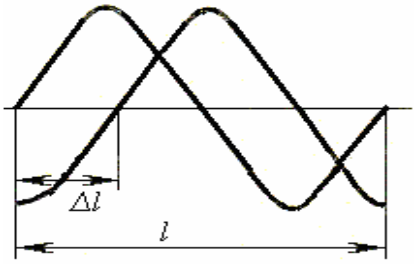


Рисунок 1.2 – Осцилографічний метод визначення фазових зсувів

Фазовий зсув обчислюють за формулою $\varphi = 360\Delta T/T$, підставляючи виміряні довжини відрізків l і Δl, що відповідають T і ΔT.

Для визначення коефіцієнта модуляції осцилографічним способом можна користуватися трьома видами розгортки: лінійною, синусоїдною й круговою. При лінійній розгортці в канал вертикального відхилення подається високочастотне модульоване коливання, а частота розгортки встановлюється в 2...3 рази нижчою частоти сигналу, який модулює. На екрані з'являється осцилограма модульованого коливання (рис. 1.3,а) у вигляді $u = f(t)$.

З осцилограми видно, що коефіцієнт модуляції

$$M = [(U_{макс} - U_{мін}) / (U_{макс} + U_{мін})] \cdot 100\%, \quad (1.12)$$

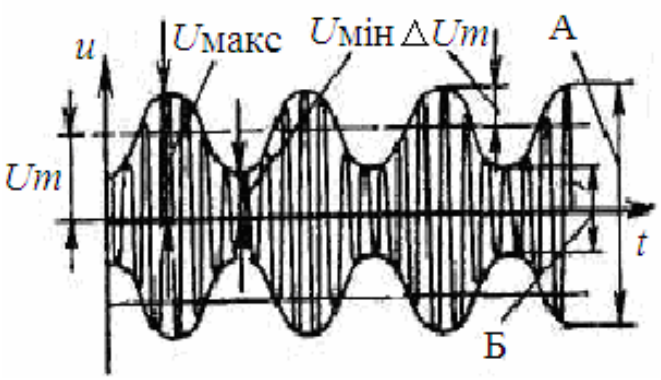


Рисунок 1.3 – Амплітудно-модульоване коливання

Вимірявши за допомогою масштабної сітки максимальне відхилення променя $A = 2U_{max}$ і мінімальне $Б = 2U_{min}$, відповідно до формули (1.12), одержимо

$$M = [(A - B)/(A + B)] \cdot 100\%, \quad (1.13)$$

Для одержання нерухомої осцилограми генератор розгортки синхронізується моделюючою напругою.

1.10. В основу рішення про вибір конкретного типу осцилографа для проведення експерименту беруться його технічні і метрологічні характеристики. Однак знання цих паспортних даних осцилографа недостатньо, тому що вони не завжди дають очевидне уявлення про характер і ступінь спотворення осцилограми.

Перш ніж вибрати осцилограф, треба:

– вивчити вимірювальну задачу. При цьому визначають характер сигналу -періодичний або імпульсний, ширину його спектра, межові частоти, час наростання або спаду, щілинність, амплітуду напруги і т.п. Оцінюють параметри ланцюга досліджуваного об'єкта, до якого підключається осцилограф: активну й реактивну складову опору, наявність і значення постійної складової напруги;

– на основі вивчення вимірювального завдання сформулювати вимоги до характеристик і параметрів осцилографа і здійснити його вибір.

2. ПРИКЛАД РІШЕННЯ ЗАВДАННЯ № 2

На підставі результатів спостереження графічного зображення процесу і отриманих чисельних значень параметрів процесу, можна скласти математичну модель досліджуваного коливання.

Наприклад, у результаті дослідження встановлено, що процес зміни напруги протягом часу відображається на екрані осцилографа графіком рис. 2.1. Із цього графіка видно, що процес є коливальним і має форму напруги, що змінюється лінійно. За рахунок введення сигналу зовнішньої синхронізації вважаємо початком відліку центр координатних осей.

Користуючись каліброваними коефіцієнтами осей ($К_{відх}$ – В/см, мВ/см, В/поділ, мВ/поділ і $К_р$ – мс/поділ, мкс/поділ), легко виміряти параметри процесу *U(t)* (період *T,* тривалість імпульсу τ, пікове значення напруги U_m).

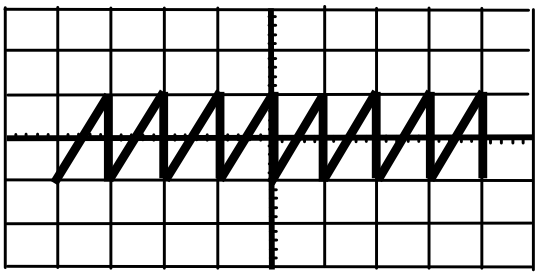


Рисунок 2.1 – Умова завдання 2

Визначимо амплітуду і період сигналу. Відповідно до умов завдання $К_{відх}$ = 2*В/* поділ, $К_р$ =5 мкс /поділ.

$$U_m = К_{відх} \cdot h = 2В/поділ \cdot 1\ поділ = 2\ В,$$
$$Т = К_р \cdot l, = 5\ мкс/поділ \cdot 1\ поділ = 5\ мкс.$$

На підставі виконаного аналізу форми сигналу *U(t)* і визначення кількісних параметрів, можна створити математичну модель досліджуваного процесу.

Запишемо математичну модель досліджуваного процесу в загальному вигляді

$$u(t) = k\left(t - T/2\right); \quad t\ (0,Т), \quad де \quad k = \frac{2U_m}{Т}.$$

Підставивши значення *k,* одержимо: $u(t) = \frac{2U_m}{T}\left(t - T/2\right)$.

Виконаємо перевірку:

а) $t = 0$; $U(t) = -\frac{2U_m}{T} \cdot T/2 = -U_m$;

б) $t = Т$; $U(t) = \frac{2U_m}{T} \cdot T - \frac{2U_m}{T} \cdot T/2 = U_m$, що відповідає осцилограмі.

Для визначених за умовою значень U_m і T

$$u(t) = \frac{2 \cdot 2}{5}\left(t - 5/2\right) = \frac{4}{5}(t - 2{,}5).$$

Останній вираз служить досить вірогідною математичною моделлю досліджуваного процесу.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа №1 „Измерение параметров электрических сигналов с помощью осциллографа” 54
Приложение А..... 63
Приложение Б 65
Лабораторная работа №2 „Калибровка универсальных осциллографов”..... 66
Приложение А..... 78
Индивидуальное задание №1 „Метрологическое обеспечение исследования электрических процессов и измерение их параметров”..... 86
Варианты индивидуального задания №1 „Метрологическое обеспечение исследования электрических процессов и измерение их параметров” 94

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ОСЦИЛЛОГРАФА

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.4. Приобрести практические навыки в измерении параметров сигналов с помощью осциллографа и в определении суммарной погрешности результатов измерения.
1.5. Научиться определять оптимальный коэффициент отклонения ($К_{откл}$) и оптимальный коэффициент развертки ($К_р$), исходя из МХ осциллографа.
1.6. Научиться оценивать погрешность измерения напряжения и частоты сигнала.

2 КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1 Общие сведения об универсальных осциллографах

Электронно-лучевые универсальные осциллографы предназначены для визуального наблюдения мгновенных значений исследуемых электрических сигналов, а также для измерения их параметров. С помощью осциллографов измеряют амплитудные и временные параметры сигналов постоянного и переменного тока, а также параметры формы различных сигналов. Различные модификации универсальных осциллографов позволяют наблюдать и измерять параметры электрических сигналов в широком диапазоне: напряжений от долей милливольта до сотен вольт; длительности от единиц наносекунд до нескольких секунд.

В соответствии с ГОСТ 22737 различают следующие виды осциллографов:

Универсальный осциллограф – осциллограф, в котором исследуемый сигнал подается через канал вертикального отклонения (аттенюаторы, усилители) на вертикально отклоняющую систему ЭЛТ. Горизонтальное отклонение луча осуществляется генератором развертки.

Стробоскопический осциллограф – осциллограф, который используется для изображения формы сигнала путем упорядоченного (или случайного) выбоа мгновенных значений исследуемого сигнала и осуществления временного преобразования сигнала.

Запоминающий осциллограф – осциллограф, который с помощьюспециального устройства, например, ЭЛТ с памятью или электронного запоминающего устройства, позволяет хранить определенное время исследуемый сигнал или при необходимости представлять его для одноразового либо многократного визуального наблюдения или для последующей обработки.

Многоканальный осциллограф – осциллограф, в котором электронно-лучевая трубка имеет два или более электронных луча, управляемых отдельно или совместно.

Осциллограф со сменными блоками (многофункциональный) – осциллограф, в котором заменой сменных блоков можно изменить его параметры, например, полосу пропускания, коэффициенты отклонения и развертки, и (или) расширить функциональные возможности, и (или) получить специфические функции, например, анализатор спектра, характериограф, рефлектометр.

Универсальные осциллографы по назначению делятся на многофункциональные со сменными блоками (С1-70, С1-74,С1-122); широкополосные (С1-75, С1-93, С1-97); низкочастотные (С1-72, С1-76,С1-94); двулучевые (С1-117, С1-157, С1-164); осциллографы-мультиметры (СК1-95, СК1-110, СК1-111,СК1-112).

Принцип отображения формы исследуемого сигнала заключается в том, что на экране электронно-лучевой трубки светящаяся точка описывает траекторию, которая соответствует функциональной зависимости значения напряжения от времени. Горизонтальная (временная) координата отображается путем подачи на горизонтально отклоняющие пластины напряжения, значения которого изменяются прямо пропорционально времени. Отклонение луча в вертикальном направлении осуществляется напряжением, поданным на вертикально отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки. Значение этого напряжения пропорционально мгновенному значению напряжения исследуемого сигнала.

Типичная структурная схема универсального осциллографа (рисунок 2.1) включает следующие основные узлы:

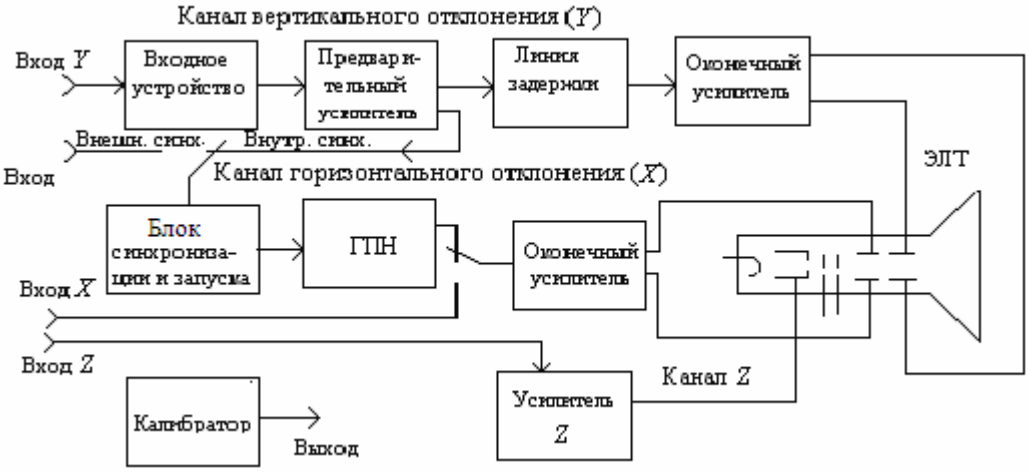


Рисунок 2.1 – Структурная схема универсального осциллографа

– электронно-лучевую трубку (ЭЛТ) и три канала:
– канал вертикального отклонения (КВО) (канал *Y*);
– канал горизонтального отклонения (КГО) (канал *X*);
– канал модуляции яркости луча (КМЯ) (канал *Z*).

Для увеличения точности измерения параметров сигнала в составе осциллографа применяются устройства, которые называются калибраторами напряжения и временных интервалов.

2.1.1 *Канал вертикального отклонения* (канал *Y*) служит для передачи напряжения источника исследуемого сигнала на вертикально отклоняющие пластины и содержит: входное устройство, предварительный и оконечный усилители и линию задержки.

Входное устройство предназначено для согласования источника сигнала с исследуемыми цепями, как по уровню сигнала, так и по выходным и входным сопротивлениям, и может быть выполнено как с закрытым, так и открытым входом.

Важнейшим элементом входного устройства является высокоомный широкополосный делитель напряжения, построенный по резистивно-емкостной схеме.

Предварительный усилитель осуществляет усиление измеряемого сигнала при одновременном обеспечении минимального уровня собственных шумов в рабочей полосе частот, а также согласование параметров сигнала с параметрами линии задержки, преобразование несимметричного сигнала в симметричный, регулировку амплитуды.

Важными характеристиками усилителя являются: дрейф выходного напряжения; уровень собственных шумов; параметры частотной и переходной характеристик; нелинейность амплитудной характеристики.

Линия задержки служит для того, чтобы задержать исследуемый сигнал на время, обусловленное задержкой в цепях синхронизации и усиления и необходимым временем задержки относительно начала развертки. Это позволяет наблюдать фронт сигнала при синхронизации развертки самим исследуемым сигналом.

Оконечный усилитель обеспечивает усиление исследуемого сигнала до значения, достаточного для отклонения луча ЭЛТ по вертикали в пределах экрана. К нему предъявляются требования минимального искажения сигнала во всем частотном и амплитудном диапазонах.

2.1.2 *Канал горизонтального отклонения* (канал *X*) предназначен для формирования и передачи напряжения развертки пилообразной формы на горизонтально отклоняющие пластины. Структурная схема КГО включает генератор развёртки напряжения, генератор пилообразного напряжения ГПН, оконечный усилитель, блок синхронизации и запуска развертки.

Генератор развертывающего напряжения имеет три режима работы*:* непрерывной развертки, который используют для наблюдения синусоидальных и импульсных сигналов с небольшой скважностью; режим ждущей развертки для наблюдения импульсных сигналов с большой или переменной скважностью, и режим одиночной развертки – для наблюдения одиночных сигналов. Некоторые осциллографы имеют специальный режим работы развертки, названный *растяжкой*. При работе в этом режиме уменьшение значения коэффициента развертки осуществляется за счет увеличения

коэффициента усиления оконечного усилителя, что приводит к растяжке размера изображения по горизонтали.

2.1.3 *Блок синхронизации и запуска* генератора развертки предназначен для получения устойчивого изображения сигнала на экране осциллографа путем привязки начала развертки к характерным точкам наблюдаемого сигнала. При непрерывном режиме развертки этот процесс называется синхронизацией развертки, а в ждущем режиме и одиночном запуске – запуском.

2.1.4 *Калибратор осциллографа*, предназначен для калибровки коэффициентов отклонения и развертки, представляет собой генератор сигнала с нормируемыми значениями его амплитуды и периода прохождения. Исходный сигнал калибратора может иметь одно или ряд фиксированных значений соответствующего параметра. Такие калибраторы могут использоваться в осциллографах как источники эталонного сигнала при измерении параметров исследуемого сигнала методом сравнения.

Основными параметрами калибраторов являются: номинальное значение (ряд значений) отображаемого параметра, основная погрешность калибратора, которая в 2-3 раза меньше погрешности коэффициента отклонения и развертки; нестабильность амплитуды и частоты калиброванного сигнала.

2.2 Характеристики электронно-лучевой трубки

Рабочая часть экрана – часть экрана, в пределах которой гарантируются параметры осциллографа.

Геометрические искажения – искажения, которые проявляются в виде деформации изображения в пределах рабочей части экрана, например, трапецеидальные искажения.

Яркость – характеристика излучения светящейся поверхности экрана ЭЛТ, которая выражается в кд/м^2.

Непараллельность лучей (многолучевых осциллографов) – угол между линиями двух горизонтальных и вертикальных разверток лучей, измеряемый в части экрана, общей для этих лучей.

2.3 Характеристики канала вертикального отклонения и его параметры

Основными характеристиками канала вертикального отклонения являются:

– диапазон входных напряжений;
– диапазон частот;
– диапазон значений коэффициента отклонений;
– амплитудно-частотная характеристика (АЧХ);
– переходная характеристика (ПХ);
– амплитудная характеристика (АХ);
– активное входное сопротивление;
– входная емкость.

Для каждой из перечисленных характеристик устанавливается ряд параметров, которые определяют их свойства.

Коэффициент отклонения $К_{откл}$ устанавливает соотношение между значением входного напряжения $U_{вх}$ и вертикальным размером соответствующего участка изображения *h:*

$$К_{откл} = \frac{U_{вх}}{h}\left[В/дел\right].$$

Активное входное сопротивление – сопротивление постоянному току на входе осциллографа.

Входная емкость – емкость относительно корпуса на входе осциллографа.

2.4 Параметры и характеристики канала горизонтального отклонения (КГО)

Непрерывная развертка – режим работы генератора развертки, когда развертка периодически запускается и при отсутствии сигнала запуска.

Ждущая развертка – режим работы генератора развертки, когда развертка запускается только при наличии сигнала запуска.

Задержанная развертка – режим работы генератора развертки, когда развертка начинается с определенной задержкой после запускающего импульса.

Растяжка – изменение в определенное число раз масштаба по горизонтали с целью увеличения изображения по ширине экрана.

Нелинейность развертки – изменение коэффициента развертки в пределах рабочей части экрана относительно его фактического значения в центральной части экрана.

Коэффициент развертки $К_р$ устанавливает соотношение между длительностью сигнала $T_с$ и горизонтальным размером l соответствующего участка изображения:

$$К_р = \frac{T_с}{l}\left[\frac{мс}{дел}\right]; \left[\frac{мкс}{дел}\right].$$

2.5 Методы измерения параметров импульсного сигнала с помощью осциллографа. Погрешности измерения

Измерение амплитудных и временных параметров сигнала с помощью осциллографа выполняется косвенным способом. По масштабной сетке, изображенной на экране ЭЛТ, отсчитывают линейные размеры изображения сигнала в вертикальном и горизонтальном направлениях, и по известным коэффициентам, которые устанавливают количественные соотношения между

параметрами сигнала и соответствующими параметрами изображения, вычисляются амплитудные и временные характеристики сигнала. Этими коэффициентами являются коэффициенты отклонения и развертки.

Осциллографические измерения амплитуды импульса и его длительности могут быть осуществлены двумя методами: методом непосредственной оценки и методом сравнения. Первый метод допускает использование осциллографа как измерительного прибора с нормируемыми метрологическими характеристиками. При измерении методом сравнения осциллограф используется в качестве устройства сравнения (компаратора).

2.5.1 *Измерение амплитуды импульса методом непосредственной оценки.* Напряжение импульсного сигнала подается на вход *Y*. Устанавливается необходимый режим развертки и синхронизации, а также такое значение коэффициента отклонения $К_{откл}$, при котором на экране ЭЛТ наблюдается устойчивое изображение импульса, которое занимает по вертикали не менее 40% рабочего поля экрана. По масштабной сетке отсчитывают размер изображения *h* (в делениях). Амплитудное значение напряжения U_m, вычисляем по формуле:

$$U_m = h \cdot K_{откл}, \tag{2.1}$$

если импульс однополярный;

$$U_m = (h / 2) \cdot K_{откл}, \tag{2.2}$$

если импульс двухполярный.

Суммарная погрешность канала вертикального отклонения определяется по формуле:

$$\delta_{Um} = \sqrt{\delta^2_{K_{îòêë}} + \delta^2_{âèçU} + \delta^2_{ñîõ}}\ , \tag{2.3}$$

где $\delta_{\hat{E}_{îòêë}}$ – погрешность коэффициента отклонения;

$\delta_{âèçU}$ – визуальная погрешность отсчёта;

$\delta_{ñîõ}$ – погрешность, обусловленная неравномерностью ПХ.

Погрешность коэффициента отклонения определяется следующими составляющими:

$$\delta_{\hat{E}_{îòêë}} = \sqrt{\delta^2_{êà} + \delta^2_{íà} + \delta^2_{âèçU}}\ , \tag{2.4}$$

где $\delta_{êà}$ – погрешность калибратора амплитуды;

$\delta_{íà}$ – погрешность, вызванная нелинейностью амплитудной характеристики тракта вертикального отклонения.

Визуальная погрешность отчета $\delta_{âèçU}$ определяется погрешностью совмещения линий луча со штрихами шкалы масштабной сетки и погрешностью отсчета положения линии луча к делениям шкалы. Значение относительной погрешности отсчета в относительных единицах будет равно:

$$\delta_{\text{âèç}.U} = \sqrt{\left(\frac{1/5 \cdot b}{h}\right)^2 + \left(\frac{1/3 \cdot b}{h}\right)^2}, \qquad (2.5)$$

где h – величина изображения для заданного значения U_m, мм.
b – ширина линии луча, мм.

Оценим возможное значение визуальной погрешности при величине изображения h.

Например, если у осциллографа h = 80 мм и b = 0,8 мм, получим:

$$\delta_{\text{âèç}} \approx 0{,}0039 \quad \text{или} \quad \delta_{\text{âèç}} = 0{,}39\ \% .$$

Погрешность из-за неравномерности ПХ (минимальное значение которой для большинства осциллографов не превышает ширины линии луча, а максимальное 3%) находится в пределах 1-3 %.

Самое большое значение имеет погрешность коэффициента отклонения, которая, например, для осциллографов 2-го и 3-го классов равна, соответственно, 4 и 10 %.

2.5.2. *Измерение длительности импульса методом непосредственной оценки.* Напряжение импульсного сигнала подается на вход Y. Органами регулирования осциллографа добиваются такого устойчивого изображения импульса, при котором его уровень, равный $0{,}5U_m$, размещается на центральной горизонтальной линии шкалы и занимает не менее 40% ее длины. По масштабной сетке отсчитываются длина изображения импульса l, дел.

Длительность периода рассчитывается по формуле:

$$T_{\text{изм}} = \text{К}_{\text{р}} \cdot l. \qquad (2.6)$$

Суммарная погрешность измерения периода (δ_T) определяется по формуле:

$$\delta_T = \sqrt{\delta^2_{K_\partial} + \delta^2_{\text{âèçτ}} + \delta^2_{\text{íîõ}}}, \qquad (2.7)$$

где $\delta_{\text{Кр}}$ – допустимая погрешность коэффициента развертки, которая приводится в метрологических характеристиках осциллографа.

$$\delta_{\text{âèç}.\tau} = \sqrt{\left(\frac{1/5 \cdot b}{l}\right)^2 + \left(\frac{1/3 \cdot b}{l}\right)^2}. \qquad (2.8)$$

3 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

3.1. Объясните, на чем основан принцип действия аналогового осциллографа?

3.2. Перечислите статические параметры осциллографа.

3.3. Перечислите динамические параметры осциллографа.

3.4. Дайте определение коэффициента отклонения.

3.5. Дайте определение коэффициента развертки.

3.6. Перечислите источники погрешности канала вертикального отклонения.

3.7. Перечислите источники погрешности канала горизонтального отклонения.

3.8. Объясните, что такое неравномерность амплитудно-частотной характеристики и как она определяется.

4 ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

Выбрать вариант домашнего задания согласно номеру фамилии в журнале группы. Задания приведены в Приложении А.

5 ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

5.1.Ознакомьтесь с приборами на рабочем месте и получите у преподавателя допуск к работе.

5.2 Ознакомьтесь с органами управления осциллографа и подготовьте его к работе; установите на середине экрана линию развертки достаточной яркости и сфокусируйте изображение.

5.3. Подключите генератор исследуемого сигнала ко входу *Y* осциллографа.

5.4.Установите коэффициент отклонения $К_{откл}$, который был получен при выполнении домашнего задания (или тот, который задан преподавателем)

5.5.Получите на экране устойчивое изображение исследуемого сигнала, используя режим внутренней или внешней синхронизации.

5.6.Для 3-х – 4-х заданных преподавателем значений напряжения сигнала измерьте амплитудное значение напряжения при оптимальном значении $К_{откл}$, определите относительную погрешность измерения (2.3) и запишите результаты в табл. 5.1.

Таблица 5.1 – Результаты измерения амплитуды исследуемого сигнала

$К_{откл}$, В/дел	h, дел	$U_{m\,изм}$, В	δ_{Um}, %	ΔU_m, В	Результат измерения напряжения $U_m \pm \Delta U_m$

– где ΔU_m – абсолютная погрешность измерения амплитуды сигнала.

5.7 Измерьте период и частоту исследуемого сигнала. Для этого напряжение сигнала подайте на вход осциллографа и получите устойчивое изображение при коэффициенте развертки, который указан в домашнем задании (или задан преподавателем).

5.8.Выполните измерения для 3-х – 4-х значений *l,* которые соответствуют периоду сигнала ($T_c = l \cdot К_р$). Результаты измерений запишите в табл. 5.2.

Таблица 5.2 – Результаты измерения временных параметров исследуемого сигнала

$К_р$, мс/дел (мкс/дел)	*l*, деле-ние	$T_{изм}$, мс, (мкс)	δ_T, %	ΔT, мс (мкс)	*f*, Гц	Результат измерения периода $T_{изм} \pm \Delta T$

– где ΔT – абсолютная погрешность измерения периода сигнала.

6. ПРОТОКОЛ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ (№ ...НАЗВАНИЕ …)

6.1. Цель эксперимента.

6.2. Перечень используемой аппаратуры в табл. 6.1.

Таблица 6.1 – Используемая аппаратура

Наименование прибора	Тип	Заводской номер	Метрологические характеристики			
			Класс точности	Диапазон измерения	Цена деления	

6.3. Схема измерения.

6.4 Результат измерения ФВ

6.5. Выводы. В выводе сделать заключение о величинах погрешностей результатов измерения U_m и $T_{изм}$.

7. ПЕРЕЧЕНЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вимірювання у системах зв’язку. Підручник / Л.В. Коломієць, М.Т. Козаченко, і др. – Одеса: ТОВ «ВМВ», 2009.

2. Хромой Б.П., Кандинов А.В. и др. Метрология, стандартизация и измерения в технике связи. – М.: Радио и связь, 1986.

3. Дьяканов В.П. Современная осциллография и осциллографические измерения. – М.: СОЛОН – Пресс. 2005.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2
КАЛИБРОВКА УНИВЕРСАЛЬНЫХ ОСЦИЛЛОГРАФОВ

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Изучить методику определения качественных показателей электронных осциллографов и их соответствие нормируемым метрологическим характеристикам осциллографа.

1.2. Научиться выполнять основные операции по калибровке универсальных осциллографов, определять погрешности измерения коэффициента отклонения $K_{откл}$, коэффициента развертки $К_р$, определять неравномерности частотной характеристики, нелинейности амплитудной характеристики, определять время нарастания фронта импульса.

2 КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При калибровке осциллографа проводят:

1) внешний осмотр;

2) опробование;

3) определение метрологических характеристик:

– определение погрешности коэффициента отклонения;

– определение погрешности измерения напряжения;

– определение погрешности коэффициента развертки;

– определение погрешности измерения временных интервалов;

– определение параметров переходной характеристики;

– определение параметров амплитудно-частотной характеристики.

Амплитудно-частотной характеристикой тракта вертикального отклонения называется зависимость модуля коэффициента отклонения от частоты входного синусоидального сигнала при условии неизменности его уровня (рис. 2.1). Основные параметры АЧХ следующее:

– *полоса пропускания* – диапазон частот, в пределах которого коэффициент отклонения отличается не более, чем на 3 дБ от его значения на опорной частоте;

– *неравномерность АЧХ* – разница между значениями коэффициента отклонения на обусловленной и опорной частотах, выраженная в процентах. Неравномерность нормируется для нормальной и расширенной области частот;

– *нормальная область АЧХ* – диапазон частот, в пределах которого неравномерность АЧХ не превышает погрешности коэффициента отклонения;

– *расширенная область АЧХ* – диапазон частот, в пределах которого неравномерность АЧХ не превышает 10%;

– *опорная частота* – частота, не менее чем в 20 раз меньше верхней предельной частоты полосы пропускания.

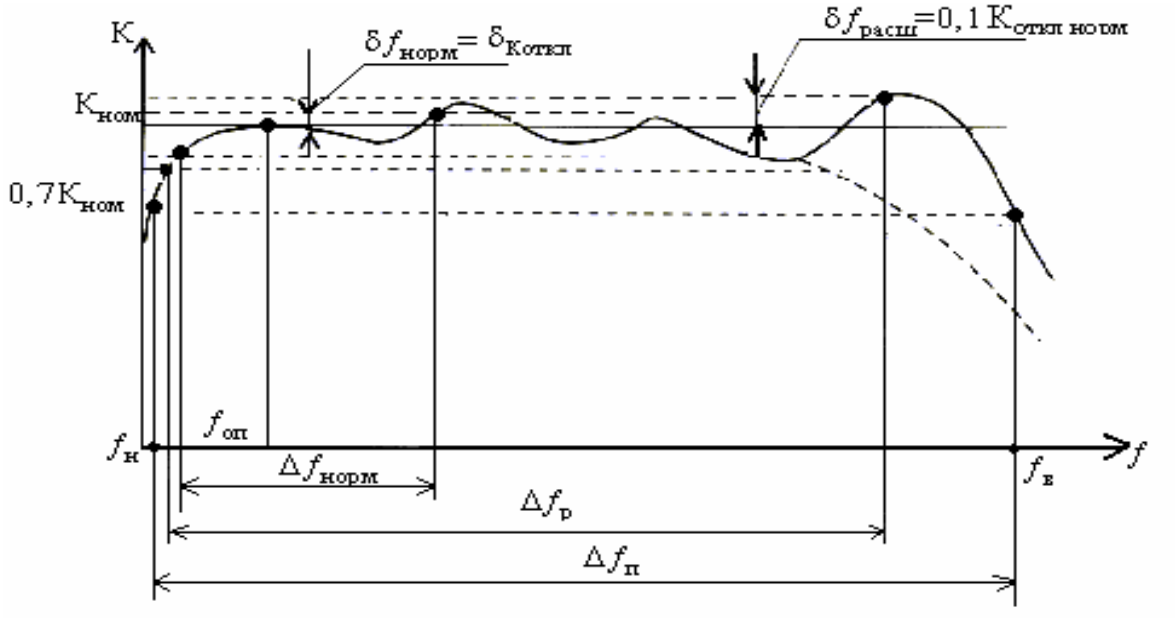


Рисунок 2.1 – Амплитудно-частотная характеристика канала вертикального отклонения

$f_{оп}$ – опорная частота; $\Delta f_п$ – полоса пропускания; $\Delta f_{норм}$ – нормальный диапазон АЧХ; $\Delta f_р$ – расширенный диапазон АЧХ; $f_в$ – верхняя предельная частота полосы пропускания; $f_н$ – нижняя предельная частота полосы пропускания; $\delta f_{íîðì}$ – неравномерность АЧХ в нормальной области частот; $\delta k_{îòêë}$ – погрешность коэффициента отклонения; $\delta f_р$ – неравномерность АЧХ в расширенной области частот.

Переходная характеристика канала вертикального отклонения приведена на рис 2.2

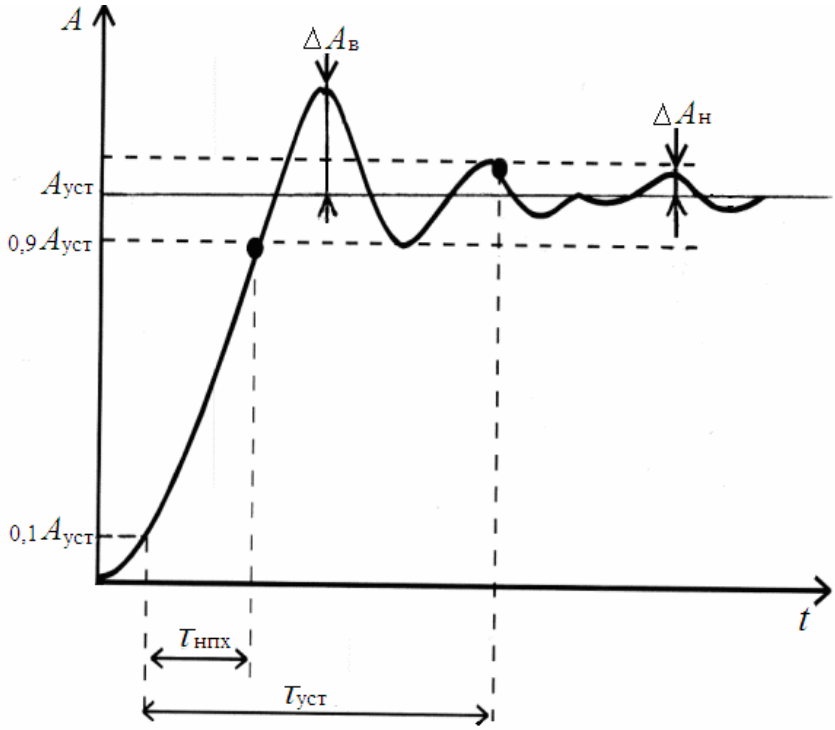


Рисунок 2.2 – Переходная характеристика канала вертикального отклонения

Выбросы – разница между максимальными (после времени нарастания) и постоянными значениями ПХ;

При измерении длительности фронтов импульсов, сравнимых со временем нарастания ПХ, нормируемой для осциллографа, длительность фронта изображения $\tau_и$ увеличивается по сравнению с $\tau_ф$ измеряемого сигнала и уточняется по выражениям:

$$\tau_и = \sqrt{\tau_í^2 + \tau_ô^2}\,, \quad \text{откуда,}\ \tau_ô = \sqrt{\tau_è^2 - \tau_í^2}\,,$$

где τ_u – длительность фронта изображаемого импульса;

$\tau_ô$ – длительность фронта измеряемого импульса;

$\tau_í$ – время нарастания переходной характеристики.

Параметры амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) и переходной характеристики (ПХ) взаимно связаны. Эта зависимость для разных параметров АЧХ и ПХ приводится ниже.

Для обеспечения наиболее достоверного изображения формы импульса на экране осциллографа (при отсутствии выбросов), уменьшение усиления на высших частотах канала *Y* при двукратном увеличении частоты должно составлять не более 0,6 дБ. В этом случае:

$$\tau_н = \frac{350}{f_в}\,, \text{ где } f_В\,[\text{МГц}];$$

С целью повышения равномерности АЧХ в пределах полосы пропускания и получения максимальной ширины полосы при максимальном коэффициенте усиления оконечного каскада вводится коррекция АЧХ перед ее спадом к уровню минус 3 дБ (рис. 2.3, а). (Пунктирной линией показаны АЧХ (см. рис. 2.3, а) и ПХ (см. рис. 2.3, б) при отсутствии коррекции). Эта коррекция является причиной появления выбросов на ПХ (см. рис. 2.3, б) при исследовании импульсов с длительностью фронта, меньшей $\tau_í$. При длительности фронта значительно больше $\tau_í$ выбросов на изображении не наблюдается.

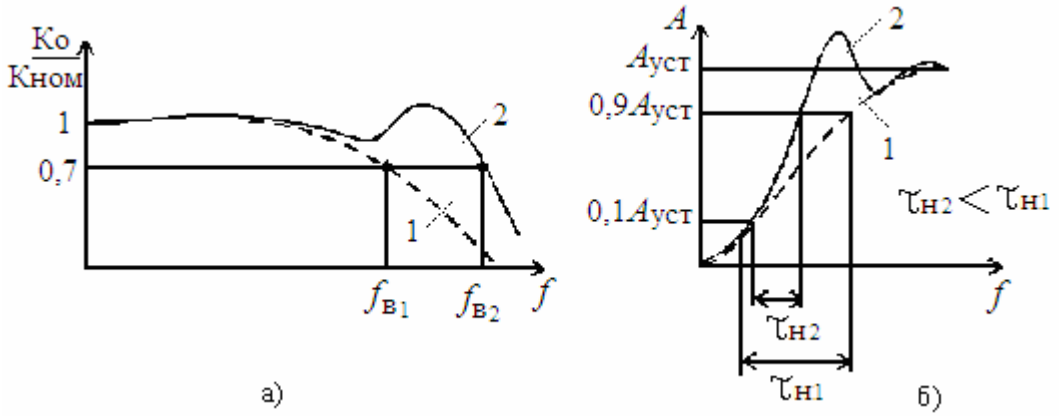


Рисунок 2.3 – Амплитудно-частотная (а) и переходная (б) характеристики
1 – при отсутствии коррекции АЧХ; 2 – с введением коррекции АЧХ

Спад плоской части изображения импульса $\Delta A_{сп}$ определяется влиянием конечного значения разделительной емкости входной цепи при закрытом входе осциллографа. Наличие емкости приводит к спаду АЧХ в области низких частот. Для осциллографов с закрытым входом регламентируются значения спада вершины ПХ и (или) значение низкой частоты АЧХ при неравномерности минус 3 дБ.

Для спада меньше 20%, связь между нижним значением полосы пропускания АЧХ ($f_н$) и значением спада $\Delta A_{ñï}$ определяется приближенным соотношением:

$$\Delta A_{ñï} = 2\pi f_í \cdot \tau_u ,$$

где $\tau_è$ – длительность импульса.

Если исследуемый импульс имеет спад, равный $\Delta A_{ñïè}$, то спад плоской вершины изображения $\Delta A_{èç}$ на экране ЭЛТ будет определяться равенством

$$\Delta A_{èç} = \Delta A_{ñïè} + \Delta A_{ñï} .$$

Амплитудной характеристикой КВО называется зависимость размера изображения по вертикали ЭЛТ от уровня входного сигнала (рис. 2.4). Реальная амплитудная характеристика отличается от идеальной (линейной). Это отличие вызвано нелинейностью характеристик усилителей и ЭЛТ.

Нелинейность тракта ВО приводит к тому, что для разных размеров изображений по вертикали A_x, коэффициент отклонения имеет разные значения:

$$\hat{E}_{îòêë} = \frac{1}{\mathrm{tg}\alpha_x},$$

где α_x – угол наклона прямой, которая соединяет начало координат с точкой кривой на уровне A_x.

Это приводит к погрешности измерения напряжения. Калибровка коэффициента отклонения, т.е установка его номинального значения, проведенная для одного размера изображения (как правило, для максимального $A_{мах}$), не исключает погрешности от нелинейности. В НТД на осциллографы обычно нормируется нелинейность КВО, которая не превышает 10%.

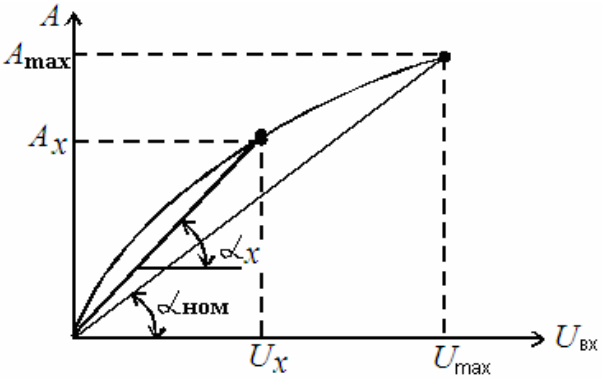


Рисунок 2.4 – Амплитудная характеристика КВО

2.3. Для калибровки используются следующие средства измерения: установка для калибровки вольтметров; вольтметры переменного тока;

электронно-счетный частотомер; импульсный калибратор осциллографов; генератор импульсов; генератор сигналов.

Используемые средства калибровки должны удовлетворять следующим требованиям: допустимая погрешность измерения (для эталонного прибора) не должна превышать 1/3 допустимой погрешности определяемого параметра калибруемого осцилографа. Кроме того, должны быть выдержаны соответствующие соотношения между параметрами импульсов генератора и параметрами переходной характеристики осциллографа, установленные ГОСТ 8.311.

В данной лабораторной работе калибровка осциллографа выполняется по сокращенной программе с использованием учебных средств измерительной техники.

2.4 При калибровке осциллографа в первую очередь проводится внешний осмотр, при котором устанавливается отсутствие механических повреждений любых элементов, которые обеспечивают работу осциллографа, а также наличие четкой фиксации всех переключателей при совпадении с соответствующими надписями на панели прибора.

Методика калибровки осциллографа, соответствующая ГОСТ, приведена в приложении А.

В лабораторной работе необходимо выполнить следующие метрологические операции

2.5 Опробование.

2.5.1 Осциллограф переводят в режим непрерывной развертки и проверяют: наличие линии развертки электронного луча на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ); регулировку яркости и фокусировки луча; сдвиг луча в горизонтальном и вертикальном направлениях.

2.5.2 С помощью генератора сигналов синусоидальной и прямоугольной форм напряжения производится проверка работоспособности осциллографа для всех значений коэффициентов развертки и отклонения. Изменяя амплитуду выходного сигнала генератора, проверяют работоспособность осциллографа для всех значений коэффициента отклонения. Изменяя частоту выходного сигнала генератора, проверяют работоспособность для всех значений коэффициента развертки.

2.5.3 Определение погрешности коэффициента отклонения по вертикали и коэффициента развертки осуществляют методом сравнения показаний калибруемого осциллографа и эталонного средства измерительной техники, погрешность которого меньше погрешности калибруемого не менее, чем в три раза.

2.5.4 Погрешность коэффициента отклонения $К_{откл}$ определяют способом прямого измерения напряжения, которое подается от измерительного генератора. Калибруемый осциллограф переводят в режим непрерывной развертки. Частоту синусоидального сигнала устанавливают равной 1 кГц. Напряжение на входе осциллографа измеряют эталонным вольтметром.

Измерения проводят для каждого значения $К_{откл}$. Высота изображения должна составлять не менее 40...80% длины рабочего участка по вертикали. Схема измерения приведена на рис. 2.5.

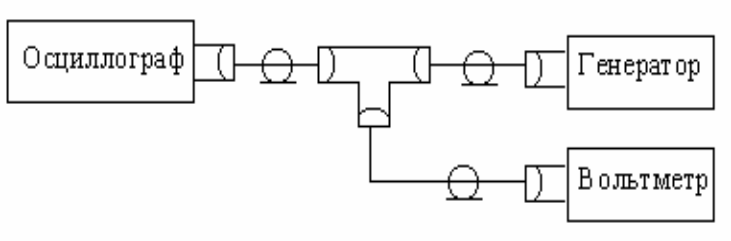


Рисунок 2.5 – Схема измерения погрешности коэффициента отклонения

Погрешность определяют по формуле:

$$\delta_{\hat{E}\hat{I}\grave{o}\hat{e}\ddot{e}} = \frac{\hat{E}_{\hat{I}\grave{o}\hat{e}\ddot{e}} - (\hat{E}_{\hat{I}\grave{o}\hat{e}\ddot{e}})_{\ddot{a}}}{(\hat{E}_{\hat{I}\grave{o}\hat{e}\ddot{e}})_{\ddot{a}}} \cdot 100\%,$$

где $К_{откл}$ – коэффициент отклонения, установленный на передней панели;

$(К_{откл})_д = \dfrac{U_д}{h}$ – действительное значение коэффициента развертки;

$U_д$ – действительное среднеквадратичное значение напряжения;

h – отклонение луча по вертикали (устанавливают, как правило, не менее 2/3 шкалы ЭЛТ). При определении $(К_{откл})_д$ при биполярном сигнале необходимо брать h /2.

2.5.5. Погрешность коэффициента развертки определяют способом прямого измерения временных интервалов, которые задаются измерительным генератором. Период сигнала на входе осциллографа измеряют эталонным цифровым частотомером. Калибруемый осциллограф переводят в режим непрерывной развертки, а частотомер в режим измерения периода. Для калибровки коэффициента развертки устанавливают такое значение частоты генератора, при котором размер изображения одного периода по горизонтали занимает не менее 2/3 длины экрана. Измерения ведутся для каждого поддиапазона развертки и не менее чем в пяти точках всего диапазона измеряемых временных интервалов, включая две крайних точки. Схема измерения приведена на рис. 2.6.

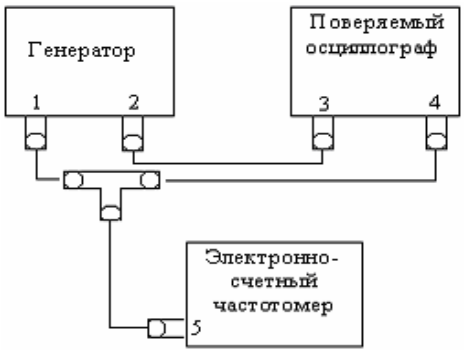


Рисунок 2.6 – Схема определения погрешности коэффициента развертки

Погрешность измерения коэффициента развертки определяют по формуле:

$$\delta_{\hat{E}_{\partial}} = \frac{\hat{E}_{\partial} - (\hat{E}_{\partial})_{ä}}{(\hat{E}_{\partial})_{ä}} \cdot 100\% ,$$

где $К_р$ – номинальное значение коэффициента развертки (устанавливается на передней панели осциллографа);

$(К_р)_д = \frac{T_д}{l}$ – действительное значение коэффициента развертки;

$T_д$ – период исследуемого сигнала, измеряемый цифровым частотомером;

l – число делений в одном периоде исследуемого сигнала.

2.5.6 Определение неравномерности амплитудно-частотной характеристики тракта вертикального отклонения проводится во всех положениях переключателя “ВОЛЬТ/ДЕЛ.” путем подачи на вход усилителя вертикального отклонения постоянного по амплитуде синусоидального напряжения от измерительного генератора и контроля этого входного напряжения эталонным вольтметром. Схема измерения приведена на рис. 2.7.

Величину изображения на частоте 100 кГц устанавливают равной пяти делениям по вертикали.

Амплитуда напряжения на входе усилителя вертикального отклонения поддерживается постоянной и контролируется с помощью эталонного вольтметра, который подключается непосредственно на входе усилителя с помощью экранированного тройника.

Перед измерением усилитель вертикального отклонения должен быть сбалансирован и откалиброван. Режим работы развёртки – непрерывный.

Неравномерность амплитудно-частотной характеристики тракта вертикального отклонения определяется по формуле:

$$N = 20\lg\frac{h_{\max}}{h_{\min}},$$

где $h_{\max}$ – максимальное изображение на экране по вертикали в нормируемой полосе частот;

$h_{\min}$ – минимальное изображение на экране по вертикали в нормируемой полосе частот.

Результат калибровки удовлетворителен, если неравномерность амплитудно-частотной характеристики тракта вертикального отклонения в нормируемом диапазоне частот не превышает допустимого значения, указанного в метрологических характеристиках калибруемого осциллографа.

Аналогичные измерения проводятся во всех положениях переключателя “ВОЛЬТ/ДЕЛ.”.

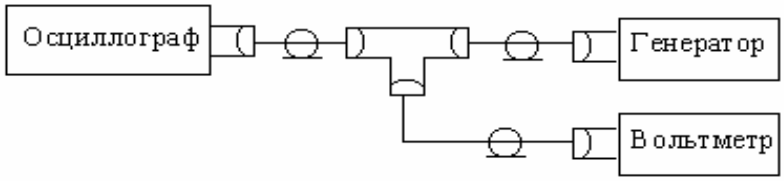


Рисунок 2.7 – Схема измерения неравномерности амплитудно-частотной характеристики КВО

2.5.7 Нелинейность амплитудной характеристики проверяют подачей на вход канала *Y* такого сигнала импульсной или синусоидальной формы, чтобы в центре экрана изображение занимало одно деление. Частоту прохождения испытательного сигнала, выбирают близкой или равной опорной (средней) частоте. За опорную принимают частоту, которая не менее чем в 20 раз меньше, чем верхняя граница частотного диапазона канала *Y*. Измерения осуществляют при среднем положении ручки плавной регуляции усиления. Измеряют размер изображения испытательного сигнала в делениях шкалы в разных местах рабочей части экрана при перемещении его по вертикали от нижней до верхней границы.

Нелинейность амплитудной характеристики в процентах:

$$\beta_a = (h_н - 1) \cdot 100 \quad \%, \tag{2.4}$$

где $h_н$ – наиболее отличающийся от одного деления шкалы размер изображения испытанного сигнала в любом месте рабочей части экрана вдоль оси *Y*.

2.5.8 Время нарастания переходной характеристики – это интервал времени, на протяжении которого переходная характеристика (ПХ) возрастает от 0,1 до 0,9 амплитудного значения. ПХ любого четырехполюсника – это графическое отображение реакции на его выходе на идеальный перепад тока или напряжения на его входе. В осциллографе ПХ наблюдается непосредственно на экране ЭЛТ, если на вход канала *Y* подается испытательный сигнал от генератора испытательных импульсов с параметрами, которые соответствуют идеальному перепаду напряжения. Измерение рекомендуется проводить при скорости развертки 0,1 мкс/дел.

3 КЛЮЧЕВЫЕ ВОПРОСЫ

3.1 По каким признакам классифицируют электронные осциллографы?

3.2 Какой должна быть амплитуда напряжения, которая подается на пластины ЭЛТ осциллографа, чтобы луч отклонялся по вертикали на весь экран?

3.3 Из каких соображений выбирается коэффициент отклонения в осциллографе?

3.4 Из каких соображений выбрана полоса частот канала *Y*? Чему она равна в исследуемом осциллографе?

3.5 Из каких соображений выбрана полоса частот канала *X*? Чему она равна в исследуемом осциллографе?

3.6 Поясните, как определяют погрешности измерения коэффициента отклонения $K_{откл}$?

3.7 Поясните, как определяют погрешности измерения коэффициента развертки $K_р$?

3.8 Поясните, как определяют нелинейность амплитудной характеристики?

3.9 Поясните, как определяют время нарастания переходной характеристики?

4 ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

4.1 Ознакомьтесь с техническим описанием исследуемого осциллографа.

4.2 Запишите в рабочую тетрадь метрологические характеристики калибруемого осциллографа.

4.3 Приведите изображение АЧХ канала вертикального отклонения и назовите основные параметры АЧХ.

4.4 Приведите изображение ПХ канала вертикального отклонения и назовите основные параметры ПХ.

4.6 Перечислите операции калибровки электронного осциллографа

4.7 Разработайте план выполнения лабораторного задания.

4.8 Подготовьтесь к обсуждению вопросов раздела 3.

5 ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

5.1 Ознакомьтесь с оборудованием на рабочем месте и уточните план выполнения лабораторного задания.

5.2 Заполните табл. 6.1

5.3 Проведите проверку работоспособности осциллографа.

5.4 Определите погрешность коэффициента отклонения $К_{откл}$ по п. 2.5.4 (экспериментальные данные внести в табл. 6.2 протокола калибровки).

5.5 Определите погрешность коэффициента развертки $К_р$ по п. 2.5.5 (экспериментальные данные внести в табл. 6.3 протокола калибровки).

5.6 Определите неравномерность АЧХ канала *Y* по п. 2.5.6 (экспериментальные данные внести в табл. 6.4 протокола калибровки).

5.7 Определите нелинейность амплитудной характеристики по п. 2.5.7.

5.8 Результаты калибровки запишите в протокол калибровки осциллографа.

6 ПРОТОКОЛ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ (№ …НАЗВАНИЕ ...)

6.1 Цель эксперимента.

6.2 Перечень используемой аппаратуры в табл. 6.1

Таблица 6.1 – Применяемые приборы

Наименование прибора	Тип	Заводской номер	Метрологические характеристики			
			Допустимая погрешность	Диапазон измерения	Частотный диапазон	

6.3 Схемы измерения (рис. 2.5…2.6).

6.4 Протокол калибровки осциллографа.

ПРОТОКОЛ

калибровки электронного осциллографа типа _____№_____

принадлежащего_____

калиброванного “_____”_____200__г. _____

Эталоны _____

Внешний осмотр _____

Опробование_____

Условия калибровки

Температура окружающей среды _____

Относительная влажность воздуха_____%

Атмосферное давление _____мм рт. ст.

Время предыдущего прогрева_____мин.

Напряжение сети _____В

Частота напряжения сети_____

Таблица 6.2 – Определение погрешности $К_{откл}$

$К_{откл}$, В/дел	h дел	$U_д$, В	$(К_{откл})_д$, В/дел	$\delta_{Коткл}$, %	Величина НМХ, %
10					
5					
…					

Вывод:

Таблица 6.3 – Определение погрешности $К_р$

$К_р$, мс/дел	l дел	$T_д$, мс	$(К_р)_д$, мс/дел	$\delta_{Кр}$, %	Величина НМХ, %
10					
5					
…					

Вывод:

Таблица 6.4 – Определение неравномерности амплитудно-частотной характеристики усилителя вертикального отклонения (УВО)

$K_{откл}$ / Частота	0,02 В/ДЕЛ	0,05 В/ДЕЛ	0,1 В/ДЕЛ	0,2 В/ДЕЛ	0,5 В/ДЕЛ	1 В/ДЕЛ	2 В/ДЕЛ	5 В/ДЕЛ	10 В/ДЕЛ
	h, дел	*h*, дел	*h*, дел	*h*, дел	*h*, дел	*h*, дел	*h*, дел	*h*, дел	*h*, дел
20 Гц									
100 Гц									
1 кГц									
10 кГц									
100 кГц									
150 кГц									
200 кГц									
1 МГц									

Вывод:

Общий вывод о пригодности осциллографа:

Калибровка выполнена _____ « ___ » _____ 200 __ г.
Ф.И.О.

Протокол проверил: _____

ПРИЛОЖЕНИЕ А

1. Опробование

1.1. Допускается проводить опробование сразу после включения осциллографа.

1.2 Опробование проводят с помощью генератора импульсов.

Генератор импульсов должен выдавать на выходах напряжения, которые обеспечивают проверку работоспособности осциллографа для всех значений коэффициентов развертки и отклонения в различных режимах работы каналов вертикального и горизонтального отклонения. Допускается использование нескольких типов генераторов импульсов, которые перекрывают необходимые диапазоны.

1.3 Проверка работы осциллографа в режиме непрерывной развертки. Осциллограф переводят в режим непрерывной развертки и проверяют: наличие линии развертки электронного луча на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ); регулировку яркости и фокусировки луча; сдвиг луча в горизонтальном и вертикальном направлениях.

1.4 Проверка работы органов регулировки коэффициента развертки (рис. А.1)

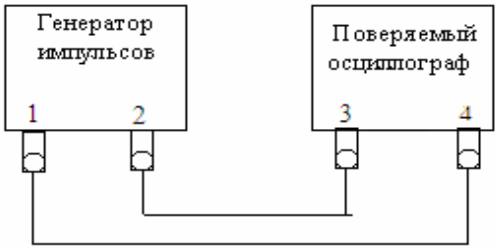


Рисунок А.1 – Схема калибровки работы органов регулировки:
1 – выход синхронизирующих импульсов; 2 – выход основных импульсов;
3 – вход усилителя; 4 – выход калибратора осциллографа;
5 – вход синхронизации

Калибруемый осциллограф переводят в режим внешнего запуска, генератор импульсов – в режим внутреннего запуска. Устанавливают среднее значение коэффициента отклонения, амплитуду основного импульса генератора, которая соответствует четырем делениям шкалы ЭЛТ по вертикали, минимальное фиксированное значение коэффициента развертки, длительность основного импульса генератора, которая соответствует пяти делениям шкалы ЭЛТ по горизонтали, максимально возможную частоту повторения основных импульсов генератора. Органами регулировки амплитуды синхронизирующих импульсов генератора, задержки основных импульсов генератора и при необходимости, органами регулировки синхронизации калибруемого осциллографа, добиваются устойчивого изображения импульсов на экране ЭЛТ. При достижении ширины изображения импульса одному делению длительность импульса увеличивают так, чтобы ширина изображения на экране

ЭЛТ опять равнялась пяти делениям по горизонтали. Частоту повторения импульсов соответственно уменьшают до минимального значения частоты повторения импульсов синхронизации калибруемого осциллографа. При одном, на выбор оператора, фиксированном значении коэффициента развертки проверяют работоспособность плавной регулировки коэффициента развертки.

1.5 Проверка работы осциллографа в режиме внутреннего запуска.

Средства измерений соединяют, как и при выполнении п. 1. 4

Калибруемый осциллограф переводят в режим внутреннего запуска. Устанавливают среднее значение коэффициента отклонения, амплитуду основного импульса генератора, как в п. 1.4. Регулировкой уровня синхронизации калибруемого осциллографа добиваются устойчивого изображения импульса на экране ЭЛТ. Уменьшение амплитуды основных импульсов генератора до минимального значения, установленного для калибруемого осциллографа, не должно приводить к срыву синхронизации. При необходимости допускается проводить дополнительную регулировку уровня синхронизации.

1.6 Поверка работы органов регулировки коэффициента отклонения.

Средства измерений соединяют, как и при выполнении п. 1.4

Устанавливают среднее значение коэффициента развертки, амплитуду основного импульса генератора, которая соответствует пяти делениям шкалы ЭЛТ по вертикали, минимальное фиксированное значение коэффициента отклонения калибруемого осциллографа, длительность основного импульса генератора, которая соответствует пяти-шести делениям шкалы ЭЛТ по горизонтали. Органами регулировки синхронизации и задержки калибруемого осциллографа добиваются устойчивого изображения импульса на экране ЭЛТ. Увеличивая фиксированное значение коэффициента отклонения, наблюдают уменьшение высоты изображения импульса на экране ЭЛТ. При достижении высоты импульса одного деления по вертикали амплитуду основных импульсов генератора увеличивают так, чтобы высота изображения импульса на экране ЭЛТ опять равнялась пяти делениям по вертикали. При одном, на выбор поверителя, фиксированном значении коэффициента отклонения проверяют работоспособность плавной регулировки коэффициента отклонения.

1.7 Определение метрологических параметров

1.7.1 Определение ширины линии луча

Ширину линии луча в вертикальном направлении определяют методом косвенного измерения с помощью генератора импульса (рис. А.2)

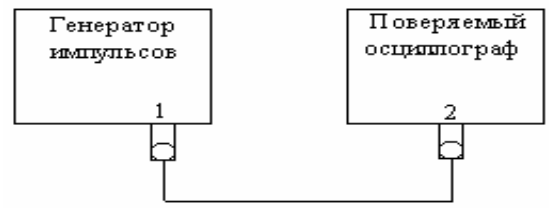


Рисунок А.2 – Схема определения ширины линии луча
в вертикальном направлении
1 – выход основных импульсов; 2 – выход усилителя

Калибруемый осциллограф переводят в режим непрерывной развертки, генератор импульсов – в режим внутреннего запуска. Устанавливают коэффициент развертки в пределах 2 – 10 мкс/дел, период прохождения импульсов генератора 40 – 200 мкс, длительность импульсов 10 – 50 мкс, амплитуду импульсов 2 – 5 В, коэффициент отклонения 5 В/дел.

На экране ЭЛТ наблюдают две горизонтальных линии. С помощью органов управления сдвига изображения по вертикали перемещают изображение к верхней границе рабочего участка экрана ЭЛТ.

Изменяют амплитуду импульсов до значения U_1, при котором светящиеся линии соприкасаются. Ширину линии луча по вертикали $d_в$ в делениях вычисляют по формуле:

$$d_в = U_и / К_{откл},$$

где $U_и$ – амплитуда импульсов, В; $К_{откл}$ – коэффициент отклонения по вертикали, В/дел.

1.7.2 Ширину линии луча в горизонтальном направлении определяют способом косвенного измерения с помощью генератора импульсов и источника пилообразного напряжения (рис. А.3)

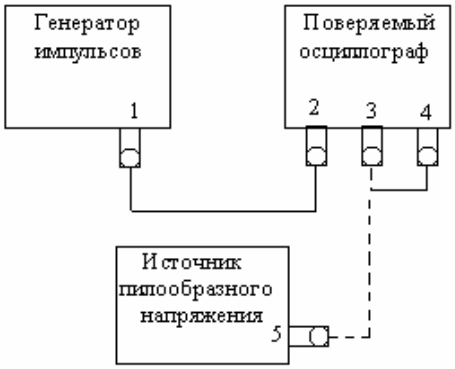


Рисунок А.3 – Схема определения ширины линии луча
в горизонтальном направлении
1 – выход основных импульсов; 2 – вход усилителя «Y»; 3 – вход усилителя;
4 – выход напряжения развертки «X»; 5 – выход пилообразного напряжения

При отсутствии в калибруемом осциллографе выхода пилообразного напряжения развертки допускается использование вспомогательного осциллографа, который имеет такой выход, или внешнего источника пилообразного напряжения калиброванной длительности.

Устанавливают режим работы и значения параметров по п. 1.6.1. На экране ЭЛТ наблюдают две вертикальных линии. Изменяя значение коэффициента отклонения, устанавливают высоту изображения линий, наиболее близкую к максимальной длине рабочего участка шкалы ЭЛТ по горизонтали. Коэффициент отклонения по горизонтали $К_р$ вычисляют по формуле:

$$К_р = U_2 / l,$$

где U_2 – амплитуда импульсов на выходе генератора, В; l – длина изображения по горизонтали в делениях.

Изменяют амплитуду импульсов до значения U_3, при котором две вертикальных линии, которые светятся, соприкасаются. Ширину линии луча $d_в$ по горизонтали вычисляют по формуле:

$$d_в = U_3 / К_р.$$

Ширину линии луча по вертикальному и горизонтальному направлениям определяют в середине и на границах рабочего участка ЭЛТ.

1.7.3 Погрешность коэффициента отклонения определяют способом косвенного измерения действительного значения коэффициента отклонения с помощью генератора импульсов или установки для калибровки вольтметров (рис. А.4) или методом прямого измерения с помощью импульсного калибратора осциллографов (рис. А.5).

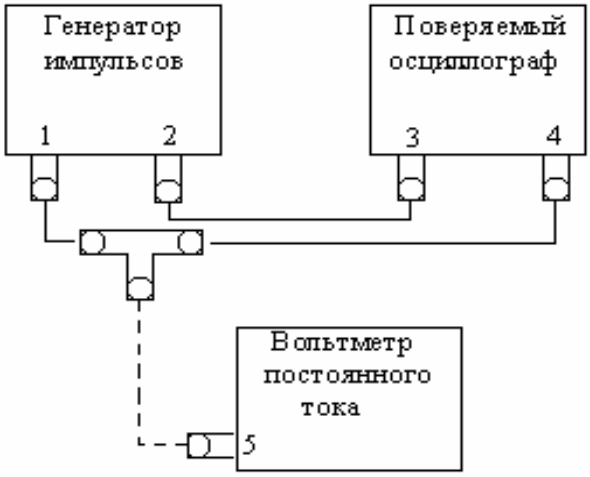


Рисунок А.4 – Схема определения погрешности коэффициента отклонения методом косвенного измерения

1 – выход основных импульсов; 2 – выход синхронизирующих импульсов; 3 – вход синхронизации; 4 – вход усилителя; 5 – вход вольтметра

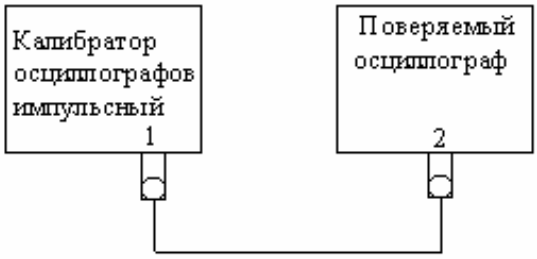


Рисунок А.5 – Схема прямого измерения с помощью импульсного калибратора осциллографов
1 – выход калибратора напряжения; 2 – вход усилителя

Калибруемый осциллограф переводят в режим внутреннего запуска, генератор импульсов – в режим внешнего запуска. Устанавливают частоту повторения импульсов генератора или частоту сигнала установки для калибровки вольтметров, равную 1000 Гц, максимальную длительность основных импульсов генератора, максимальное фиксированное значение коэффициента отклонения осциллографа, амплитуду импульсов генератора или амплитуду сигнала на выходе установки для калибровки вольтметров, соответствующую минимальному четному числу h_{min} делений шкалы ЭЛТ по вертикали.

Соответствующими органами регулировки осциллографа добиваются устойчивого изображения на экране ЭЛТ. Регулировкой уровня синхронизации срывают синхронизацию развертки осциллографа. На экране ЭЛТ наблюдают две линии: нижнюю, соответствующую исходному уровню в паузе, верхнюю – амплитуде основного импульса генератора.

При использовании установки для калибровки вольтметров на экране ЭЛТ наблюдают светящуюся полосу, высота которой соответствует удвоенной амплитуде синусоидального сигнала. Органами регулировки смещения луча осциллографа линии располагают так, чтоб нижняя линия изображения совпала с отметкой h_{min} / 2 ниже центральной линии шкалы.

Совмещения линий с отметками шкалы проводят по одинаковым границам линий (верхней и нижней).

Регулируют амплитуду сигнала на выходе генератора импульсов или установки для калибровки вольтметров так, чтобы высота изображения была равна h_{min} делений шкалы ЭЛТ по вертикали. Отсчитывают значение амплитуды основных импульсов генератора U_1 или значение амплитуды синусоидального сигнала на выходе установки для калибровки вольтметров U'_1. Действительной значение коэффициента отклонения вычисляют по формуле:

$$К_{откл} = U_1 / h \text{ или } К_{откл} = U'_1 / h,$$

где $К_{откл}$ – действительное значение коэффициента отклонения, выраженное в (единицах напряжения / единицы длины или единицах напряжения / деление)

h – высота изображения, выраженное в (единицах длины или делениях).

Коэффициент отклонения аналогично определяют для всех значений высоты, равных четному числу делений, а также для наибольшего значения высоты в пределах рабочего участка экрана по вертикали.

Действительные значение других коэффициентов отклонения определяют при высоте изображения сигналов, равной четному числу делений и составляющей 60 – 100% рабочего участка экрана.

1.7.4 Погрешность коэффициента развертки определяют методом косвенного измерения действительного значения коэффициента развертки при помощи генератора сигналов, генератора импульсов и электронно-счетного частотомера или способом прямых измерений при помощи калибратора осциллографов импульсного.

Электронно-счетный частотомер используют при необходимости для повышения точности установки частоты (периода) сигналов генераторов. Коэффициенты разверток, не превышающие 5 мкс/дел, измеряют по схеме рис. А.6.

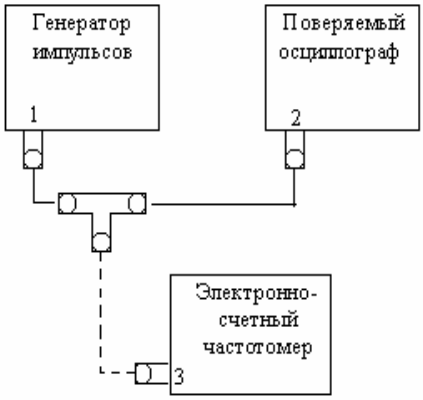


Рисунок А.6 – Схема измерения коэффициента развертки, который не превышает 5 мкс/дел
1 – выход генератора сигналов; 2 – вход усилителя; 3 – вход частотомера;

Калибруемый осциллограф переводят в режим непрерывной развертки, устанавливают среднее значение коэффициента отклонения, амплитуду сигналов на выходе генератора, соответствующую не менее 40% рабочего участка ЭЛТ по вертикали, минимальное значение коэффициента развертки, период сигнала, соответствующий одному делению шкалы ЭЛТ по горизонтали.

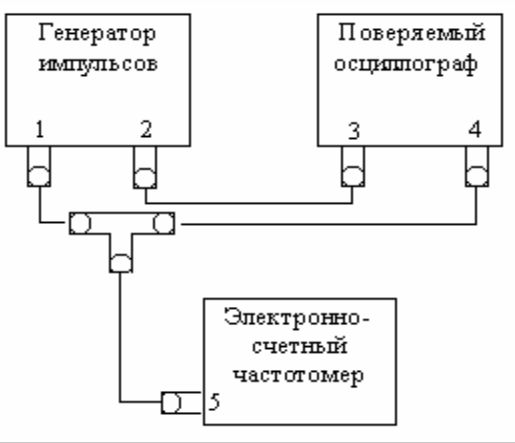
Регулируя уровень синхронизации, добиваются устойчивого изображения синусоидального сигнала на экране ЭЛТ. Изменяют частоту сигнала на выходе генератора и задержку развертки так, чтобы длина изображения, расположенного в начале рабочего участка ЭЛТ по горизонтали четного числа периодов синусоидального сигнала $l_{\min}$ была равна наименьшей допустимой длине $l_{\text{доп}\,\min}$, деления.

Совмещения изображения с отметками шкалы проводят в точках, имеющих максимальную крутизну и для одинаковых границ линии луча. Отсчитывают по шкале генератора или измеряют при помощи электронно-счетного частотомера частоту синусоидального сигнала. Действительное значение коэффициента развертки $К_р$ вычисляют по формуле:

$$К_р = 1 / f,$$

где $К_р$ – действительное значение коэффициента развертки выраженное в единицах времени / единицы длины или единицах времени / деления;
f – значение частоты в Гц.

Коэффициент развертки, который превышает 5 мкс/дел., измеряют по схеме на рис. А.7.



РисунокА.7 – Схема измерения коэффициента развертки, который превышает 5 мкс/деление
1 – выход основных импульсов; 2 – выход синхронизирующих импульсов
3 – вход синхронизации; 4 – вход усилителя; 5 – вход частотомера

Калибруемый осциллограф переводят в режим внутреннего запуска, устанавливают среднее значение коэффициента отклонения, амплитуду сигналов на выходе генератора, соответствующую не менее 80% рабочего участка ЭЛТ по вертикали, период повторения импульсов, соответствующий 0,2 деления шкалы ЭЛТ по горизонтали.

Регулируя уровень синхронизации осциллографа и генератора, добиваются устойчивого изображения импульсов на экране ЭЛТ. Изменяют частоту повторения и задержку импульсов генератора так, чтобы длина изображения, расположенного в начале рабочего участка ЭЛТ по горизонтали четного числа периодов синусоидального сигнала ls_{min} была равна l_{min} делений шкалы ЭЛТ по горизонтали.

Электронно-счетным частотомером измеряют частоту повторения или период T повторения основных импульсов генератора и вычисляют действительное значение коэффициента развертки $К_р$ по формуле:

$$К_р = 1 / f \text{ или } К_р = T.$$

Коэффициент развертки аналогично определяют для всех значений высоты, равных четному числу делений, а также для наибольшего значения высоты в пределах рабочего участка экрана по горизонтали. Измерения проводят для всех фиксированных значений коэффициента развертки калибруемого осциллографа.

Коэффициент развертки при использовании эталонного импульсного калибратора осциллографов измеряют по схеме на рис. А.8.

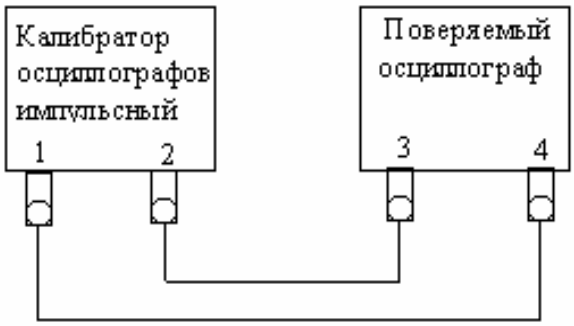


Рисунок А.8 – Схема измерения коэффициент развертки при применении калибратора осциллографов импульсного
1 – выход калибратора временных интервалов; 2 – выход синхронизирующих импульсов; 3 – вход синхронизации; 4 – вход “*Y* ”осциллографа

Индивидуальное задание №1
Метрологическое обеспечение исследования электрических процессов и измерение их параметров

1 КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Электронно-лучевой осциллограф – прибор, предназначенный для визуального наблюдения электрических сигналов, а также измерения их параметров с использованием средства отображения формы сигналов.
На экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) осциллографа получают изображение (осциллограмму) исследуемого сигнала в виде функциональной зависимости напряжения от времени $u = f(t)$ (временной диаграммы) или функциональной зависимости двух величин $u_1 = f(u_2)$. Для получения временной диаграммы необходимо, чтобы луч перемещался по вертикали пропорционально мгновенному значению напряжения сигнала, а по горизонтали – с постоянной скоростью. Такое осциллографирование обеспечивается подачей на вертикально отклоняющие пластины исследуемого сигнала, а на горизонтально отклоняющие – пилообразного. В тех случаях, когда процесс рассматривается не во времени, а как функция другого процесса, на вертикально отклоняющие пластины подается сигнал u_1, а на горизонтально отклоняющие сигнал – u_2.

В идеальном случае форма изображения сигнала на экране, его амплитудные и временные соотношения должны в точности соответствовать исследуемому электрическому сигналу. В действительности же подключение осциллографа в той или иной степени влияет на течение процессов, а их форма искажается во время преобразования электрического сигнала в видимое на экране изображение. Степень и характер искажений определяются параметрами осциллографа. Нормирование этих параметров позволяет оценить искажения, вносимые прибором, учесть их при необходимости или пренебречь ими, если они незначительно изменяют форму исследуемого процесса.

1.2 Основной причиной погрешности воспроизведения формы сигнала являются линейные и нелинейные искажения, вносимые каналом Y осциллографа (каналом вертикального отклонения). Линейные искажения нормируются параметрами амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) или переходной характеристики (ПХ), а нелинейные – нелинейностью отклонения амплитудной характеристики канала Y.

К нормируемым параметрам. АЧХ осциллографа принадлежат: полоса пропускания – диапазон частот, в котором АЧХ имеет спад не более 3 дБ относительно значения на опорной частоте (в качестве опорной частоты обычно принимают частоту 1 кГц); нормальный диапазон – диапазон частот, в пределах которого неравномерность АЧХ не превышает погрешности коэффициента отклонения, и опорная частота – частота, на которой спад АЧХ отсутствует.

Значение спада АЧХ в децибелах находят по формуле

$$N = 20\lg(h_{fïï} / h_{fèçì}), \qquad (1.1)$$

где $h_{fоп}, h_{fизм}$ – размеры изображения на опорной частоте и на частоте, для которой измеряется спад АЧХ.

При определении линейных искажений в полосе пропускания используются понятия нижней ($f_н$) и верхней ($f_в$) граничных частот. Полосой пропускания является диапазон частот, расположенный между верхней и нижней граничными частотами: $\Delta f = f_в - f_н$. Так как $f_н << f_в$, то ширина полосы пропускания этого канала равна значению верхней граничной частоты $\Delta f = f_в$. Частота $f_н$ определяет искажения горизонтальных или медленно меняющихся участков большой длительности, а частота $f_в$ – искажения крутизны фронта и среза исследуемого сигнала. Чем меньше значение $f_н$ и чем больше $f_в$, тем меньше искажение горизонтальных участков и крутизны фронта и среза сигнала.

1.3 При исследовании импульсных процессов удобнее характеризовать осциллограф не АЧХ, а параметрами ПХ. ПХ любого четырехполюсника принято называть графическое отображение реакции на его выходе на идеальный перепад (ступеньку) тока или напряжения на его входе. В осциллографе ПХ наблюдается непосредственно на экране ЭЛТ при подаче на вход канала Y испытательного импульса, приближающегося по своим параметрам к идеальному перепаду напряжения.

Обычно нормируются следующие параметры ПХ (рис. 1.1,а): время нарастания $\tau_н$ – интервал времени, в течение которого ПХ нарастает от 10 до 90% установившегося значения; выброс – часть ПХ, превышающая ее установившееся значение; спад вершины – уменьшение установившегося значения ПХ на заданном временном интервале, определяемое при закрытом входе осциллографа; неравномерность – отклонение ПХ от линии установившегося значения. Неравномерность находят на участке ПХ после окончания времени установления $\tau_у$, в течение которого прекращаются переходные процессы, вызванные прохождением фронта испытательного импульса. Выброс выражают в процентах от установившегося значения и находят по формуле $\delta_{выб} = h_в/h_н$.

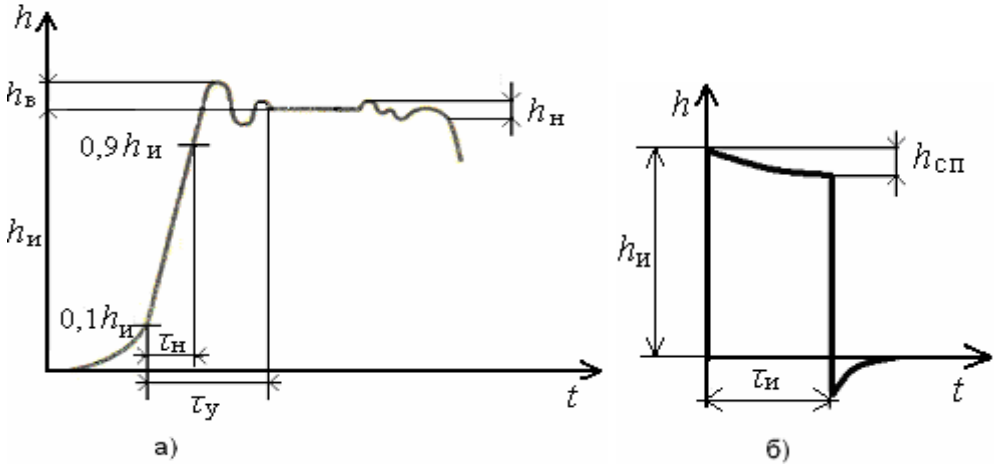


Рис. 1.1 – Параметры ПХ (а) и определение спада вершины (б) – где $h_и$ – амплитуда импульса; $h_в$ – выброс

Зная параметры АЧХ, можно определить параметры ПХ, и, наоборот, по известным параметрам ПХ легко найти граничные частоты АЧХ. Связь между верхней граничной частотой полосы пропускания и временем нарастания ПХ устанавливается соотношением

$$f_в \approx 350/\tau_н, \qquad (1.2)$$

Здесь частота $f_в$ выражена в мегагерцах, а время $\tau_н$ – в наносекундах. Нижняя граничная частота полосы пропускания и спад вершины связаны следующим образом:

$$f_н \approx \delta_{сп}/2\pi\tau_и, \qquad (1.3)$$

где $\delta_{сп} = h_{сп}/h_и$ – относительный спад вершины (рис 1.1,б).

Формула (1.2) позволяет установить соотношение между $f_н$ и $\delta_{сп}$ с погрешностью не более 10% при условии, что $\tau_и < 0{,}2\tau_с$, где $\tau_с$ – постоянная времени заряда разделительного конденсатора на закрытом входе осциллографа.

Значение выброса на ПХ связано с формой частотной характеристики в области высоких частот. Для уменьшения выброса необходимо, чтобы спад частотной характеристики был плавным.

1.4. В идеальном случае, при линейной характеристике Y и благодаря электростатической системе отклонения луча, между отклонением луча h и напряжением на входе Y существует линейная зависимость

$$U_{вх} = К_{откл} \cdot h \qquad (1.4)$$

Коэффициент пропорциональности $К_{откл}$ называют коэффициентом отклонения и используют для определения напряжения $U_{вх}$ по измеренному на экране осциллографа значению h. Коэффициент отклонения характеризуется диапазоном изменения, основной и дополнительными погрешностями и выражается в единицах измерения напряжения, отнесенных к единицам измерения длины или делениям шкалы на экране осциллографа (В/см, мВ/см, В/дел, мВ/дел). Изменяют коэффициент отклонения калиброванными ступенями с кратностью 1; 2 и 5.

Нормируемыми параметрами осциллографа являются все калиброванные значения коэффициента отклонения и их погрешности. При поверке осциллографа измеряют напряжение $U_{вх}$ и отклонение h и по формуле (1.5) определяют действительное значение коэффициента $(К_{откл})_д$. Погрешность коэффициента отклонения вычисляют по формуле

$$\delta_{К_{откл}} = \frac{К_{откл} - (К_{откл})_д}{(К_{откл})_д}\ 100\%. \qquad (1.5)$$

1.5 Важными параметрами осциллографа являются входное сопротивление $R_{вх}$ и включенная параллельно ему входная емкость $C_{вх}$ канала Y. Наличие входного сопротивления, зависящего от частоты, изменяет АЧХ и ПХ и, соответственно, амплитуду и форму сигнала в исследуемом устройстве. Степень искажения сигнала зависит от свойств исследуемого устройства и от параметров входа осциллографа. Чем больше входное сопротивление и чем меньше входная емкость, тем меньше их влияние на работу исследуемого устройства. Сопротивление $R_{вх}$ современного осциллографа обычно равно 1

МОм. Входную емкость при конструировании прибора стараются сделать минимальной. Ее значение для различных моделей колеблется в пределах 20 ... 40 пФ. Для ее уменьшения до 8 ... 10 пФ применяются выносные пробники.

1.6 Диапазоны частот и временных интервалов сигналов, которые позволяет исследовать осциллограф, зависят не только от параметров АЧХ и ПХ прибора, но и от диапазона длительностей его временной развертки. Длительностью развертки принято называть время прямого хода развертки, за которое луч пересекает всю рабочую часть экрана в горизонтальном направлении. В зависимости от протяженности участка сигнала длительность развертки должна устанавливаться такой, чтобы обеспечивался достаточный для удобного наблюдения и измерения размер участка по горизонтали.

Необходимая максимальная длительность развертки связана с нижней граничной частотой $f_н$ полосы пропускания канала X или с наибольшей протяженностью горизонтального участка исследуемого сигнала, который может с допустимым спадом воспроизводиться на экране ЭЛТ

В современных конструкциях осциллографов длительность прямого хода развертки $T_р$ обычно задается в виде коэффициентов развертки.

$$К_р = T_р / l_T \qquad (1.6)$$

где l_T – длина отрезка горизонтальной оси, соответствующая длительности $T_р$.

Коэффициент развертки характеризуется диапазоном изменения, основной и дополнительными погрешностями и выражается в единицах времени, отнесенных к единицам длины или к делениям шкалы экрана осциллографа (мс/дел; мкс/дел).

1.7 При осциллографических исследованиях параметры электрических сигналов определяют по их осциллограммам, поэтому достоверность результатов измерений зависит от точности их воспроизведения на экране ЭЛТ. Погрешность воспроизведения обусловлена линейными (частотными) и нелинейными искажениями сигналов.

На величину и характер искажений существенно влияет форма ПХ. Время установления определяет минимальную длительность сигнала прямоугольной формы, параметры которого могут быть измерены при помощи осциллографа с такой же точностью, что и параметры сигналов большой длительности.

Линейные искажения оценивают по параметрам переходной характеристики осциллографа. Сигналы воспроизводятся с искажениями, если длительность или период их повторения одного порядка с временем нарастания ПХ. В большинстве случаев импульс воспроизводится с погрешностью не более 2%, если длительность его фронта (среза) не менее, чем в пять раз превышает время нарастания ПХ осциллографа.

Длительность прямоугольного импульса определяется

$$T_{имп} = К_р \cdot l, \qquad (1.7)$$

где l – количество делений соответствующих длине импульса.

Суммарная погрешность измерения временных интервалов $\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta^2_{êàëèáð} + \delta^2_{ïðåîáð}}$, где $\delta_{преобр}$ = 0,125β, β – коэффициент нелинейности напряжения развертки, $\delta_{калибр}$ – определяется из НМХ осциллографа.

При осциллографических измерениях длительности фронта и среза прямоугольных или трапецеидальных импульсов приближенно определяют по формуле:

$$\tau_{ô} \approx \sqrt{\tau^2_{ô(î)} - \tau^2_{í}}, \qquad (1.8)$$

где $\tau_{ф(о)}$ – длительность фронта (среза), измеренная по осциллограмме,
$\tau_{н}$ – время нарастания ПХ осциллографа. Точность результатов расчетов по формуле (1.8) повышается с увеличением отношения $\tau_{ф(о)} / \tau_{н}$.

На точность измерений могут повлиять входное сопротивление и входная емкость прибора. Активная составляющая входного сопротивления осциллографа $R_{вх}$ и выходное сопротивление источника сигнала $R_{ист}$ образуют делитель напряжения, который вносит дополнительную погрешность измерения

$$\delta = [R_{ист} / (R_{ист} + R_{вх})] \cdot 100\%, \qquad (1.9)$$

Если выполняется условие $R_{вх} \geq 100\ R_{ист}$, то дополнительная погрешность не превышает 1%. Поэтому при проектировании осциллографа стремятся обеспечить высокое сопротивление входа. Обычно $R_{вх}$ = 1МОм.

Входная емкость $C_{вх}$ обусловливает погрешности измерения напряжении на высоких частотах и длительности фронта (среза) импульсов. При подаче импульса сигнала с длительностью фронта $\tau_{ф}$ на входе осциллографа получают импульс, время нарастания которого

$$\tau_{ô\,âõ} \approx \sqrt{\tau^2_{ô} + (2{,}2 R_{èñò} \tilde{N}_{âõ})^2}, \qquad (1.10)$$

Относительная погрешность воспроизведения фронта

$$\delta = \left(\tau_{ôâõ} - \tau_{ô} \big/ \tau_{ô} \right) \cdot 100\%. \qquad (1.11)$$

Входная емкость приборов значительна и составляет 20 – 40 пФ, а вместе с соединительным кабелем 100 ... 150 пФ. Для ее снижения применяют выносные делители и активные пробники, при этом $C_{вх} \approx 10$ пФ

Нелинейные искажения определяются нелинейностью амплитудной характеристики усилителей *X* и *Y*, нелинейными и геометрическими искажениями, вносимыми ЭЛТ. Их влияние на точность измерений зависит от выбранных при построении осциллографа методов измерений напряжении и временных интервалов. Следует отметить, что шкала осциллографа наносится на осевых линиях экрана ЭЛТ, поэтому при измерениях необходимо смещать участок осциллограммы, характеризующий исследуемый параметр, в центр экрана, что уменьшает погрешность измерения осциллографом, обусловленную геометрией ЭЛТ.

1.8 При измерении временных интервалов наиболее широкое распространение получили способы измерений, которые используют линейную зависимость мгновенного значения пилообразного сигнала (развертывающего

напряжения) от времени. Чаще всего применяют способ калиброванного коэффициента развертки, при котором перед измерениями осциллограф калибруют по коэффициенту развертки, подавая на его вход калибровочный сигнал с известным периодом (длительностью) от встроенного калибратора длительности. В процессе измерений по шкале экрана определяют линейные размеры осциллограммы по горизонтали, а также значения временных интервалов исследуемого сигнала.

Суммарную погрешность измерений временных интервалов данным способом составляют погрешности, возникающие при калибровке развертки (погрешности калибровочного сигнала, его совмещения с линиями шкалы, коэффициента развертки в некалибруемых положениях переключателя диапазона развертки и погрешность из-за нестабильности скорости развертки), при установлении размера изображения по шкале экрана, а также погрешности, обусловленные нелинейностью развертки и линейными искажениями канала *Y*.

Процесс определения линейных размеров осциллограммы по горизонтали аналогичен процессу определения размеров по вертикали, который описан ранее. Для этого процесса характерны погрешности совмещения и отсчета, значения которых примерно такие же, что и при измерениях напряжения.

1.9 Осциллографы можно использовать также для измерения других параметров сигналов, например, для измерения фазовых сдвигов, коэффициента амплитудной модуляции и др.

Осциллографический способ измерения фазовых сдвигов можно реализовать способами линейной, синусоидальной и круговой развертки. Первые два являются наиболее распространенными.

При линейной развертке измерение фазовых сдвигов осуществляется двухлучевым или двухканальным осциллографом, в каналы вертикального отклонения которого подают напряжения $u_1 = U_1 \sin(\omega t + \varphi_1)$ и $u_2 = U_2 \sin(\omega t + \varphi_2)$; генератор развертки осциллографа включен. После уравнивания обоих напряжений осциллограмма будет иметь вид, представленный на рис.1.2.

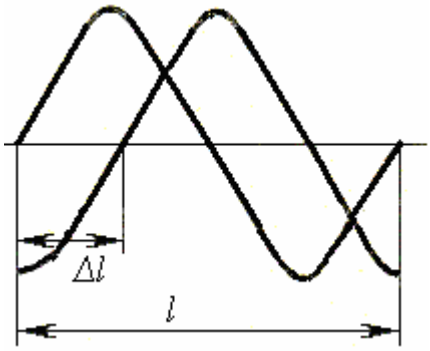


Рис 1.2. Осциллографический метод определения фазовых сдвигов

Фазовый сдвиг вычисляют по формуле $\varphi = 360\Delta T/T$, подставляя измеренные длины отрезков l и Δl, соответствующие T и ΔT.

Для определения коэффициента модуляции осциллографическим способом можно пользоваться тремя видами развертки: линейной,

синусоидальной и круговой. При линейной развертке в канал вертикального отклонения подается высокочастотное модулированное колебание, а частота развертки устанавливается в 2 … 3 раза ниже модулирующей частоты. На экране появляется осциллограмма модулированного колебания (рисунок 1.3,а) в виде $u = f(t)$.

Из осциллограммы следует, что коэффициент модуляции

$$M = [(U_{макс} - U_{мин}) / (U_{макс} + U_{мин})] \cdot 100\%, \qquad (1.12)$$

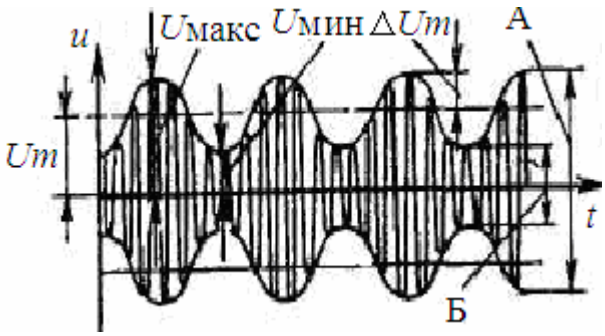


Рисунок 1.3 – Амплитудно-модулированные колебания

Измерив при помощи масштабной сетки максимальное отклонение луча А = $2U_{макс}$ и минимальное Б = $2U_{мин}$, согласно формуле (1.12), получим

$$M = [(A - B)/(A + B)] \cdot 100\% \qquad (1.13)$$

Для получения неподвижной осциллограммы генератор развертки синхронизируется модулирующим напряжением.

1.10 В основу решения о выборе конкретного типа осциллографа для проведения эксперимента ставятся его технические и метрологические характеристики. Однако знание этих паспортных данных осциллографа недостаточно, так как они не всегда дают очевидное представление о характере и степени искажения осциллограммы.

Прежде, чем выбрать осциллограф, следует:

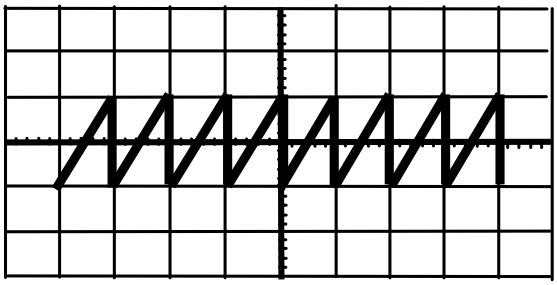
– изучить измерительную задачу. При этом определяют характер сигнала периодический или импульсный, ширину его спектра, граничные частоты, время нарастания или спада, скважность, амплитуду напряжения и т.п. Оценивают параметры цепи исследуемого объекта, к которому подключается осциллограф: активную и реактивную составляющие сопротивления, наличие и значение постоянной составляющей напряжения;

– на основе изучения измерительной задачи формулируют требования к характеристикам и параметрам осциллографа и осуществить его выбор.

2. ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАНИЯ № 2

На основании результатов наблюдения графического изображения процесса и полученных численных значений параметров процесса можно составить математическую модель исследуемого колебания.

Пусть, например, в результате исследования установлено, что процесс изменения напряжения на протяжении времени отображается на экране осциллографа графиком рисунка 2.1. Из этого графика видно, что процесс является колебательным и имеет форму линейно изменяющегося напряжения. За счет введения сигнала внешней синхронизации считаем началом отсчета центр координатных осей.



Пользуясь калиброванными коэффициентами осей ($К_{откл}$ – В/см, мВ/см, В/дел, мв/ дел и $К_р$ – мс/ дел, мкс/ дел), легко измерить параметры процесса *U(t)* (период *T,* продолжительность импульса τ, пиковое значение напряжения U_m).

Рис. 2.1 Условие задания 2

Определим амплитуду и период сигнала. В соответствии с условиями задачи $К_{откл}$ = 2В/дел, Кр =5 мкс/дел.

$U_m = К_{откл} \cdot h =$ 2В/дел·1дел =2В $\qquad T = К_р \cdot l$, =5 мкс/дел·1 дел = 5 мкс.

На основании выполненного анализа формы сигнала $U(t)$ и определения количественных параметров можно создать математическую модель исследуемого процесса.

Запишем математическую модель исследуемого процесса в общем виде

$u(t) = k\left(t - T/2\right)$; $\quad t\ (0, T)$, $\qquad$ где $k = \dfrac{2U_m}{T}$.

Подставив значения k, получим: $u(t) = \dfrac{2U_m}{T}\left(t - T/2\right)$

Выполним проверку:

а) $t = 0$; $U(t) = -\dfrac{2U_m}{T} \cdot T/2 = -U_m$;

б) $t = T$; $U(t) = \dfrac{2U_m}{T} \cdot T - \dfrac{2U_m}{T} \cdot T/2 = U_m$, что соответствует осциллограмме.

Для определенных по условию значений *Um* и *T*

$$u(t) = \frac{2 \cdot 2}{5}\left(t - 5/2\right) = \frac{4}{5}(t - 2{,}5).$$

Последнее выражение служит достаточно достоверной математической моделью исследуемого процесса.