

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

ОСЦИЛОГРАФИ

ТА МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ РАДІОТЕХНІЧНИХ ВЕЛИЧИН

Навчальний посібник

*Рекомендувала Науково-методична рада
Національного університету “Львівська політехніка”*

Львів
Видавництво Львівської політехніки
2014

УДК 621.317.755
ББК 32.842я2
О-923

Автори:

Ю.Я. Бобало, доктор технічних наук, професор;
Л.А. Недоступ, доктор технічних наук, професор;
М.Д. Кіселичник, кандидат технічних наук, професор;
О.В. Надобко, кандидат технічних наук, доцент

Рецензенти:

Яцук В.О., доктор технічних наук, професор, Національний університет “Львівська політехніка”;
Шклярський В.І., доктор технічних наук, професор, Національний університет “Львівська політехніка”;
Паракуда В.В., кандидат технічних наук, доцент, ДП НДІ “Система”

*Рекомендувала Науково-методична рада
Національного університету “Львівська політехніка”
(Протокол № 2/2014 від 13.01.2014 р.)*

Бобало Ю.Я.

О-923 Осцилографи та методи вимірювання радіотехнічних величин: навч. посібник / Ю. Я. Бобало, Л. А. Недоступ, М. Д. Кіселичник, О. В. Надобко. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2014. – 88 с.
ISBN 978-617-607-550-9

Описано основні напрями розвитку осцилографії – однієї з найважливіших ділянок сучасної метрології. Наведено параметри осцилографів, структурні схеми, пояснення принципу дії. Звернуто увагу на питання вибору осцилографів для дослідження конкретних фізичних величин та на методи їх вимірювання. Також розглянуто питання практичного застосування цифрового осцилографа.

Для студентів напрямів підготовки “Радіотехніка”, “Телекомунікації” та “Радіоелектронні апарати”, а також для студентів інших технічних напрямів.

УДК 621.317.755
ББК 32.842я2

© Бобало Ю.Я., Недоступ Л.А.,
Кіселичник М.Д., Надобко О.В., 2014
© Національний університет
“Львівська політехніка”, 2014

ISBN 978-617-607-550-9

ПЕРЕДМОВА

Осцилограф – найпоширеніший вимірювальний прилад, який використовується в усіх галузях науки і техніки. Це пояснюється тим, що візуальне спостереження процесів на екрані електронно-променевої трубки дає досліднику велику кількість інформації. Останні десятиріччя стали стадією інтенсивного розвитку осцилографів. З приладів для спостереження і якісного дослідження процесів вони перетворилися на засоби вимірювання з високими метрологічними характеристиками. На підприємствах України створено нові типи осцилографів із істотно розширеними функціональними й експлуатаційними можливостями. У конструюванні нових осцилографів переважає тенденція мініатюризації, використання мікропроцесорів, розширення номенклатури.

У посібниках та підручниках для підготовки спеціалістів радіотехнічних спеціальностей вивченню осцилографів і осцилографічних методів вимірювання приділено недостатньо уваги. А технічна література, попри високий професійний рівень, не має належної методичної цілісності, тому в навчальному процесі її не можна використовувати. Тому виникла необхідність у виданні навчального посібника про осцилографи й осцилографічні методи вимірювання для студентів радіотехнічних спеціальностей, програми навчання яких передбачають вивчення цих питань на II–III курсах.

У посібнику детально розглянуто призначення, технічні характеристики, принцип роботи та використання деяких типів осцилографів, зокрема цифрового, які застосовують для проведення лабораторних практикумів з дисциплін радіотехнічного спрямування на кафедрі теоретичної радіотехніки та радіовимірювань Національного університету “Львівська політехніка”.

1. КЛАСИФІКАЦІЯ ОСЦИЛОГРАФІВ

Електронно-променеві осцилографи відрізняються за призначенням, принципом дії, характером досліджуваних сигналів, характеристиками точності, конструкцією, умовами експлуатації.

Осцилографи загального призначення використовують для осцилографування і вимірювання параметрів різноманітних сигналів у широкому діапазоні амплітуд, частот і тривалостей, тому їх називають універсальними. Більшість з них розраховані на роботу як у нормальних умовах, так і за значного відхилення від них.

Багатоканальні осцилографи дають змогу на екрані електронно-променевої трубки одержувати зображення двох і більше сигналів, які подаються на відповідні канали. Це забезпечується комутацією каналів або використанням спеціальних багатопроменевих трубок.

Запам'ятовуючі осцилографи дають змогу зберігати (запам'ятовувати) на певний час досліджуваний сигнал для подальшого відтворення. В цих осцилографах використовують запам'ятовуючі електронно-променеві трубки або цифрові пристрої запам'ятовування і обробки інформації. Можливість запам'ятовування сигналів широко використовують, досліджуючи одноразові процеси.

Широкосмугові осцилографи використовують для дослідження коротких імпульсів (тривалістю менше за $10\div 15$ нс) у реальному масштабі часу. В цих осцилографах електронно-променеві трубки мають відхиляючі системи типу "біжуча хвиля", зі смугою пропускання 5000 МГц і більше.

Стробоскопічними осцилографами проводять дослідження в нано- і пікосекундному діапазонах тривалостей імпульсів, використовуючи звичайні низькочастотні електронно-променеві

трубки. Цього досягають розтягуванням у часі (стисканням у частотній області) досліджуваного сигналу без спотворення його форми. Стробоскопічні осцилографи характеризуються високою чутливістю, але забезпечують перетворення часового масштабу тільки для сигналів, які повторюються. Тому для дослідження разових процесів вони непридатні.

Спеціальні осцилографи призначені для цільового використання, наприклад, для досліджень телевізійних, радіолокаційних, медичних пристроїв, проведення вимірювань у системах автоматичного контролю, керування тощо.

2. ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСЦИЛОГРАФІВ

Основні технічні характеристики осцилографів розподіляються на параметри каналів Y, X, Z, параметри, які визначаються електронно-променевою трубкою, параметри калібраторів амплітуди, часу тощо.

Параметрами каналу вертикального відхилення є коефіцієнт відхилення K_d , час наростання напруги τ_ϕ та смуга пропускання.

Коефіцієнт відхилення K_d визначається з рівняння:

$$U_{ex} = K_d \cdot h,$$

де U_{ex} – вхідна напруга, В;

h – відхилення променя, мм.

Коефіцієнт відхилення K_d є каліброваною величиною і може змінюватись із кратністю 1, 2 і 5. Плавне регулювання дає змогу встановлювати будь-яке некаліброване значення коефіцієнта відхилення між сусідніми каліброваними значеннями.

Час наростання напруги τ_ϕ визначає перехідну характеристику каналу Y осцилографа. Зв'язок між верхньою граничною частотою пропускання f_g (МГц) і часом наростання (перехідною характеристикою) τ_ϕ описується співвідношенням

$$\tau_\phi = \frac{350}{f_g}, \text{ нс.}$$

Нижня гранична частота f_n у більшості осцилографів досягає 0 Гц, оскільки як підсилювачі в каналі Y використовують підсилювачі постійного струму. Основним параметром каналу горизонтального відхилення є коефіцієнт розгортки K_g , який визначається рівнянням

$$K_g = \frac{T_n}{l_t},$$

де T_n – тривалість прямого ходу розгортки, с;

l_t – довжина відрізка горизонтальної осі трубки, яка відповідає тривалості прямого ходу променя, мм.

Таблиця 2.1

Технічні характеристики деяких типів універсальних осцилографів

Тип осцилографа	Функціональні можливості	Робоча частина екрана, мм	Смуга пропускання, МГц	Коефіцієнт відхилення	Коефіцієнт розгортки	Основна похибка напруги	Основна похибка часових інтервалів
1	2	3	4	5	6	7	8
C1-93	Однопроменевий двоканалний	100×120	0÷15	$5 \times 10^{-3} \div 10$	$0.2 \times 10^{-6} \div 0.1$	± 5	± 5
C1-98	Двоканальний з автоматизацією процесу вимірювання	80×100	0÷50	$5 \times 10^{-3} \div 50$	$0.1 \times 10^{-6} \div 0.5$	± 5	± 5
C1-99	Однопроменевий двоканалний	100×120	0÷100	$2 \times 10^{-3} \div 5$	$5 \times 10^{-8} \div 1$	± 5	± 5
C1-100	Одноканальний з цифровим відліком	80×100	0÷50	$5 \times 10^{-3} \div 5$	$0.1 \times 10^{-6} \div 0.2$	± 10	± 10
C1-101	Одноканальний	30×40	0÷5	$5 \times 10^{-3} \div 5$	$0.1 \times 10^{-6} \div 0.2$	± 10	± 10
C1-107	Одноканальний осцилограф - мультиметр	40×60	0÷5	$10 \times 10^{-3} \div 20$	$0.1 \times 10^{-6} \div 0.1$	± 10	± 10
MOS-620FG	Двоканальний	80×100	0÷20	$5 \times 10^{-3} \div 5$	$0.2 \times 10^{-6} \div 0.5$	± 3	± 3

Коефіцієнт розгортки є масштабним коефіцієнтом для вимірювання часових інтервалів. За його допомогою визначають час, за який промінь проходить відстань, що дорівнює одній поділці по горизонталі. Коефіцієнт розгортки є каліброваним коефіцієнтом. У більшості осцилографів він може змінюватись із кратністю 1; 2; 5. Канал Z характеризується діапазонами напруги і частоти, які використовують для модуляції променя за яскравістю. Параметри входу Z – вхідний опір і ємність каналу.

Параметри, які визначаються електронно-променевою трубкою: робоча площа екрана, діаметр світлової плями, геометричні спотворення, чутливість до зовнішніх електричних та магнітних полів, рівень рентгенівського випромінювання, час післясвічення тощо.

Короткі технічні характеристики осцилографів наведено у табл. 2.1.

3. ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВІ ТРУБКИ

3.1. Загальні відомості

Електронно-променева трубка (ЕПТ) – це пристрій, який складається з джерела електронів, що формуються в тонкий промінь, системи відхилення цього променя у двох ортогональних площинах X і Y та екрана, на який потрапляє відхилений промінь. Свічення екрана у цих місцях, куди потрапляє промінь, є індикацією його відхилення.

Схему сучасної електронно-променевої трубки показано на рис. 3.1. Всі елементи трубки розміщені у скляній колбі, з якої відкачане повітря до тиску $10^5 - 10^6$ мм рт. ст. Електронний потік створює катод 2, який розжарюється підігрівачем 1. Модулятор 3 має від'ємний відносно катода потенціал. Він обмежує потік електронів, що проходить через отвір у його центральній частині. Зміною цієї напруги можна змінювати інтенсивність потоку, а отже, і яскравість зображення на екрані.

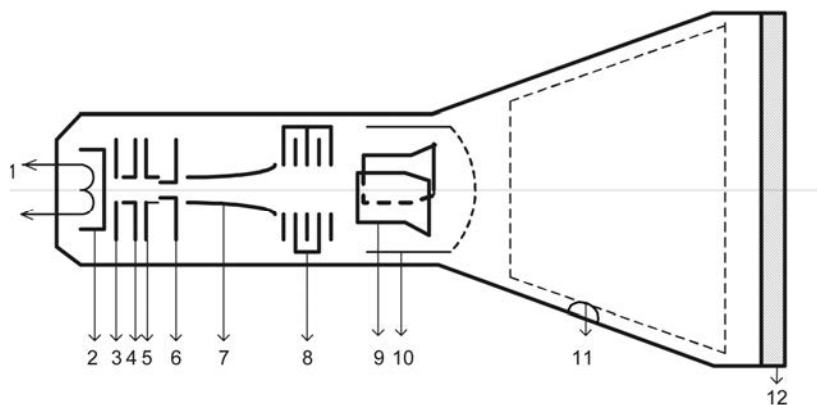


Рис. 3.1. Електронно-променева трубка

Перший анод 4 має високий позитивний потенціал, який прискорює рух електронів і надає їм кінетичну енергію, достатню

для фокусування. Фокусувальний електрод 5 створює таку конфігурацію електричного поля, яка забезпечує стискання електронного потоку в тонкий промінь.

Другий анод 6 має конструкцію диска з центральним отвором невеликого діаметра-діафрагми. Він є перепорою для розсіяних нефокусованих електронів і тому запобігає їх проходженню вздовж осі й засвіченню екрана. На другий анод подається вища додатна напруга, ніж на перший анод і фокусувальний електрод. На цьому закінчується формування променя.

Електроди 7 є пластинами вертикального відхилення електронного променя (по осі Y). Найчастіше проміжок між ними збільшується з віддаленням від катода. До цих пластин підводиться досліджувана напруга. Трубки з такою системою відхилення працюють у діапазоні частот від 0 до 500 МГц. До пластин горизонтального відхилення 9 підводиться напруга з каналу X. Електроди 8 використовують для зменшення астигматизму.

Оскільки електронно-променеві трубки для осцилографів повинні мати гранично високу чутливість, використовувати високі прискорювальні напруги для відхилення променя по осях Y і X недоцільно. Але за малих прискорювальних напруг енергія променя і свічення екрана будуть недостатніми. Це особливо помітно за великих швидкостей переміщення променя.

Для підвищення його енергії використовують прискорення за допомогою прискорювальної високої напруги, яка діє на промінь після його відхилення.

Найпростішим способом утворення післяприскорення є встановлення третього анода біля екрана трубки 11. Прикладена до нього доволі висока напруга (3000–20000 В) забезпечує збільшення яскравості, але одночасно зменшує чутливість. Це пояснюється тим, що між аквадаговим шаром третього анода та іншими електродами, що перебувають під нижчим потенціалом, виникає електростатичне поле, силові

лінії якого утворюють двоопуклу лінзу, яка притискає відхилений промінь до осі Z. Внаслідок цього чутливість трубки зменшується. Для деякої компенсації цього негативного явища використовують спіральний третій анод. Спіраль у вигляді аквадагового покриття наноситься на внутрішню поверхню колби між відхиляючими пластинами і третім анодом. Вона має опір 100÷1000 МОм, що забезпечує поступовий спад напруги третього анода вздовж трубки і зменшення ефекту електростатичної лінзи.

Щоб зменшити геометричні спотворення зображення сигналів на екрані трубки, використовують сферичний електрод у вигляді металеві сітки 10. Цей електрод разом із третім анодом утворює еквіпотенціальний простір, який діє як розсіювальна лінза. У результаті відхилений пластинами промінь, пройшовши через сітку, ще більше відхиляється від осі Z.

Кількісно статична чутливість трубки ε за відхиленням променя h оцінюється відношенням

$$\varepsilon = \frac{h}{U_{\text{відх.}}},$$

де $U_{\text{відх.}}$ – відхиляюча напруга, прикладена до пластин.

Особливістю електронно-променевих трубок, які використовуються в осцилографах, є залежність чутливості від частоти. Ця залежність оцінюється динамічною чутливістю ε_d :

$$\varepsilon_d = \varepsilon \frac{\sin(\pi f \tau_{np})}{\pi f \tau_{np}},$$

де f – частота напруги, прикладеної до пластин;

τ_{np} – час пролітання електроном системи відхилення.

Залежність відносної чутливості трубки від частоти показано на рис. 3.2.

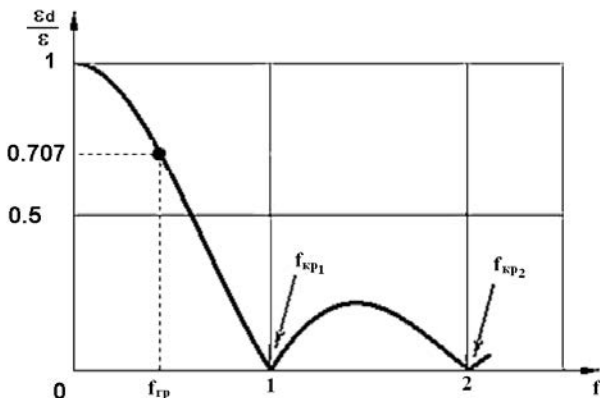


Рис. 3.2. Залежність відносної чутливості відхилення електронно-променевої трубки від частоти

Для характеристики частотних властивостей трубки користуються поняттям критичної частоти $f_{кр}$ та граничної частоти. Критичними частотами $f_{кр.1}, f_{кр.2}, \dots, f_{кр.n}$ є частоти, на яких чутливість ϵ_d дорівнює нулю. Зрозуміло, що $f_{кр.2} = 2f_{кр.1}$; $f_{кр.3} = 3f_{кр.1}$... Критична частота залежить від прискорювальної напруги трубки і довжини відхиляючих пластин.

Гранична частота $f_{гр}$ визначає смугу пропускання трубки, в межах якої чутливість зменшується у 1,41 разу. На неї впливає також ємність пластин відносно корпусу, ємність між пластинами, індуктивність ввідів. Чутливість електронно-променевих трубок сучасних осцилографів з описаною системою відхилення становить $1 \div 10$ мм/В.

До основних світлових параметрів трубок належать:

- діаметр світлової плями за оптимальної яскравості;
- максимальна яскравість свічення екрана;
- колір свічення;
- час післясвічення.

Описані вище пристрої фокусування електронного променя забезпечують діаметр світлової плями до часток міліметра. Світлові параметри трубок великою мірою визначаються екраном – внутрішньою поверхнею дна колби, покритою шаром люмінофора 12. Це покриття перетворює енергію електронного променя на

енергію світла, яке сприймається оком. Енергетичний вихід люмінофорів зазвичай не перевищує 10÷15 %, й більша частина енергії світла спрямована всередину трубки. Для збільшення яскравості свічення екрана поверхню люмінофора покривають тонким шаром металу (алюмінівання екрана). Такий провідний шар вирівнює потенціали на всій поверхні, і крім того, завдяки хорошим дзеркальним властивостям, спрямовує свічення верхньої поверхні люмінофора у бік оператора. Яскравість і контрастність зображення при цьому істотно зростають.

Важливим параметром є колір свічення екрана. Для осцилографів, зображення з екрана яких фотографується, підбирають блакитний колір екрана. Він найбільше впливає на фотоплівку. Якщо прилад призначений для візуального спостереження сигналів, люмінофор повинен світитись білим або жовто-зеленим світлом. Він забезпечує більшу яскравість і відповідає найбільшій спектральній чутливості ока.

За тривалістю післясвічення екрани (люмінофори) умовно поділено на п'ять груп: з дуже коротким післясвіченням (менше 10^{-5} с), з коротким післясвіченням (10^{-5} ÷ 10^{-2} с), із середнім післясвіченням (10^{-2} ÷ 10^{-1} с), з тривалим післясвіченням (10^{-1} ÷16 с), з дуже тривалим післясвіченням (понад 16 с). Екрани перших трьох груп відрізняються тільки хімічним складом люмінофорів. Для екранів четвертої та п'ятої груп використовують двошарові покриття люмінофорами. Перший шар люмінофора наносять з тривалим післясвіченням, а на нього наносять шар катодолюмінофора, який світиться синім або фіолетовим світлом. Цим забезпечується двоступеневе збудження люмінофора: електронний промінь збуджує енергію катодолюмінофора, а вона викликає збудження жовтого фотолюмінофора з тривалим післясвіченням.

3.2. Запам'ятовуючі електронно-променеві трубки

Запам'ятовуючі електронно-променеві трубки (потенціалоскопи) з діелектричною мішенню працюють за принципом нанесення електричного заряду на її поверхню за допомогою тонкого електронного променя і зберігання цього заряду протягом певного часу. Схематичне зображення такої трубки подано на рис. 3.3.

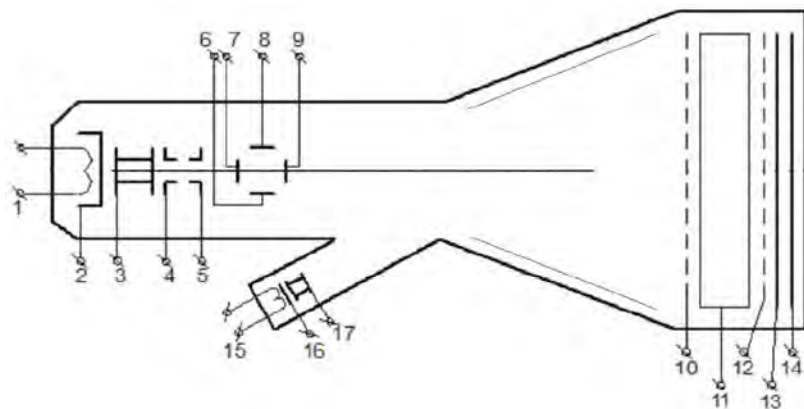


Рис. 3.3. Запам'ятовуюча електронно-променева трубка з діелектричною мішенню (потенціалоскопом): 1 – нагрівач катода високої енергії електронів; 2 – катод; 3 – керуючий електрод; 4, 5 – перший та другий аноди; 6÷9 – відхиляюча система; 10 – іонний відбивач; 11 – коліматор (розсіювач); 12 – колектор; 13 – мішень; 14 – екран; 15 – підігрівач катода низької енергії електронів; 16 – катод; 17 – керуючий електрод

Особливістю більшості запам'ятовуючих трубок є два катоди, один із них утворює потік електронів високої енергії, другий – потік малої енергії. Перший катод використовують у режимі запису інформації, другий – у режимі відтворення.

Мішень, розміщену між колектором та екраном, виготовляють з дрібноструктурної металевої сітки, покритої шаром високоякісного діелектрика. Це покриття перед записом інформації заряджають до певного потенціалу так, що заряд рівномірно розподіляється по всій поверхні. Під час записування сфокусований пучок електронів з енергією 1000–3000 еВ викликає на поверхні мішені вторинну електронну емісію, внаслідок якої в опромінених місцях накопичується позитивний заряд і напруга стає більшою від відпираючої. У цих місцях відтворювальний потік електронів проходить до екрана і засвічує його. На екрані утворюється зображення, що відповідає проекції потенціального рельєфу, який утворився на мішені у процесі запису.

Тривалість зберігання і відтворення інформації у таких трубок від декількох хвилин до декількох десятків годин.

3.3. Електронно-променеві трубки з розподіленою системою відхилення

Щоб зменшити падіння чутливості у разі збільшення частоти, використовують відхиляючі системи електронно-променевих трубок, що працюють за принципом лінії затримки, в яких утворюється режим біжучої хвилі. Такі системи являють собою сукупність декількох пар коротких відхиляючих пластин, що створюють ємності C , з'єднані індуктивностями L_d (рис. 3.4).

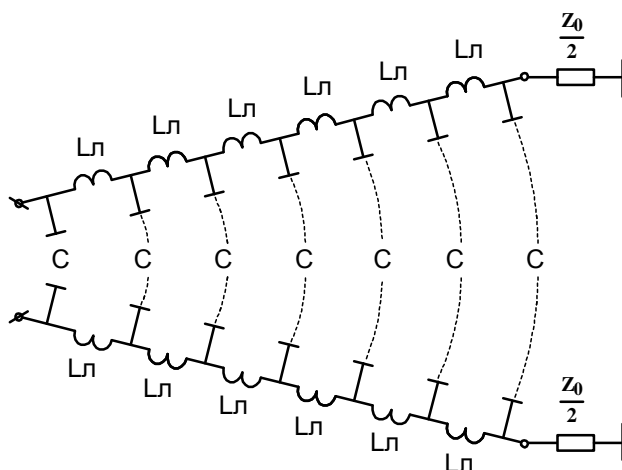


Рис. 3.4. Електрична схема відхиляючої системи з розподіленими параметрами

Якщо вихідний опір кінцевого каскаду підсилювача вертикального відхилення R_n , хвильовий опір лінії затримки $Z_0 = \sqrt{\frac{L_d}{C}}$ та опір навантаження R_n рівні між собою, то сигнал від підсилювача Y поширюватиметься вздовж лінії без відбиття. Якщо ж час затримки кожної секції $\tau_i = \sqrt{L_d C}$ підібрати таким, що дорівнює часу пролітання електронів між двома секціями, то чутливість такої системи збільшуватиметься пропорційно до кількості секцій. Це пояснюється

тим, що відхилення електронного променя і дія електричного поля пластин у разі виконання вищевказаної умови будуть синфазними. Внаслідок цього частотна характеристика такої трубки буде значно ширшою, ніж трубки з суцільними відхиляючими пластинами.

Електричну схему вихідного каскаду підсилювача Y електронного осцилографа з трубкою з розподіленою системою відхилення показано на рис. 3.5. Опори в колах колекторів транзисторів VT_3 і VT_4 , $R_{к3}$ і $R_{к4}$ дорівнюють $Z_0 / 2$. Суми цих двох опорів утворюють навантаження відхиляючої системи, що дорівнює її хвильовому опору. Це забезпечує проходження хвилі вздовж системи без відбиття.

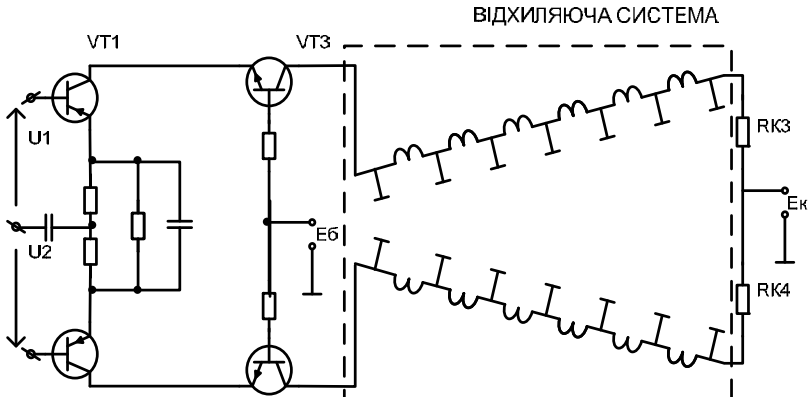


Рис. 3.5. Схема вихідного каскаду осцилографа з електронно-променевою трубкою з відхиляючою системою з розподіленими параметрами

Для зменшення втрат світла і підвищення яскравості свічення екрана ЕПТ використовують скловолоконні екрани, електронно-променеві трубки з фотоелектронними підсилювачами яскравості й трубки з мікроканальними пластинами [1].

4. СТРУКТУРНІ СХЕМИ ОСЦИЛОГРАФІВ

4.1. Загальні відомості

Більшість сучасних осцилографів мають структурну схему, що складається з електронно-променевої трубки (ЕПТ), каналу вертикального відхилення електронного променя (канал Y), каналу горизонтального відхилення (канал X) і каналу керування променем за яскравістю (канал Z). Структурну схему одноканального осцилографа показано на рис. 4.1.

Сигнал або напруга, які досліджують електронним осцилографом, подають на вхід каналу Y і підсилюють підсилювачем вертикального відхилення (підсилювачем Y). Цей підсилювач має смугу пропускання від 0 до 500 МГц і називається підсилювачем постійного струму. Підсилена напруга подається на вертикально відхиляючі пластини ЕПТ. Досліджуючи сигнали з великою постійною складовою, вхід осцилографа можна зробити “закритим”. Для цього на вході вмикається розділювальний конденсатор. Якщо вхідна напруга велика, використовують атенюатор з каліброваним коефіцієнтом ділення. Електрична схема атенюатора забезпечує постійний вхідний опір осцилографа не менше ніж 1 МОм за вхідної ємності 5÷40 пФ. Лінія затримки (ЛЗ) забезпечує можливість спостереження коротких передніх фронтів імпульсів, тривалість яких менша за 1÷5 мкс. Вона розділяє підсилювач Y на дві частини – попередню і кінцеву. У попередньому підсилювачі передбачено плавне регулювання підсилення, калібрування коефіцієнта відхилення і зміщення зображення на ЕПТ по вертикалі. З попереднього підсилювача знімається сигнал для синхронізації розгортки.

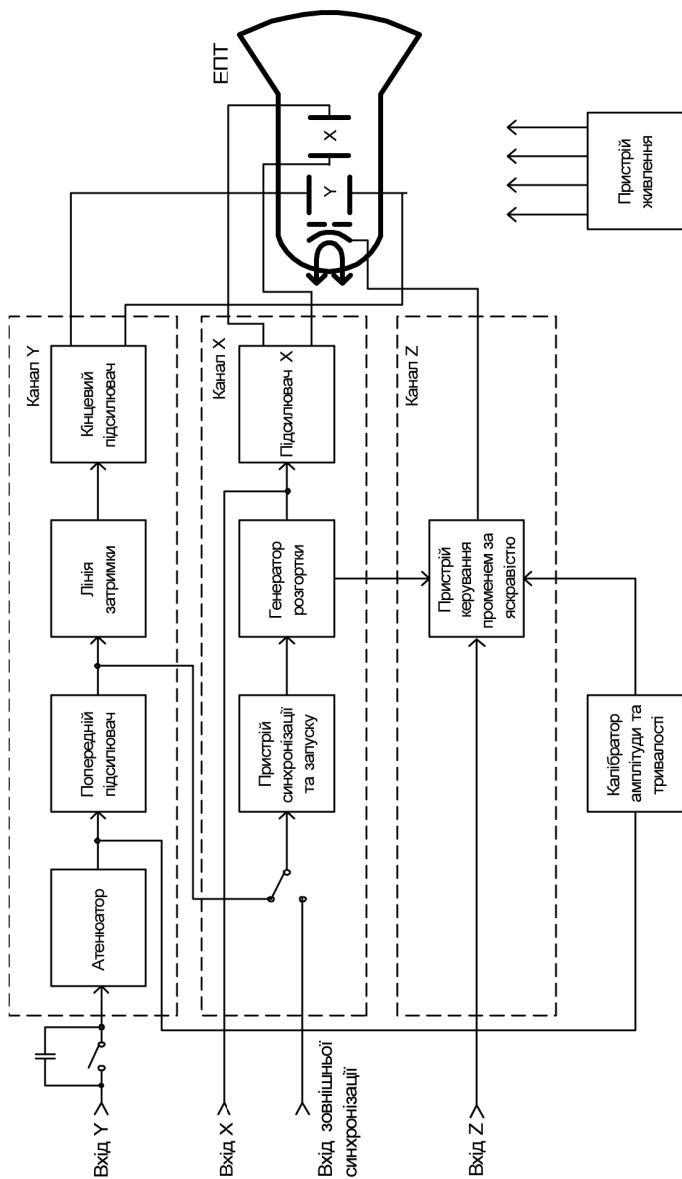


Рис. 4.1. Структурна схема одноканального осцилографа

На горизонтально відхилаючі пластини ЕПТ подається напруга з каналу Х. Для створення ефекту лінійної розгортки використовується пилкоподібна напруга, вироблена генератором розгортки. Ця напруга забезпечує переміщення електронного променя в горизонтальному напрямку із заданою швидкістю. Залежно від характеру досліджуваних процесів (періодичних або імпульсних) застосовується періодична або чекаюча розгортка. Щоб за періодичної розгортки зображення на екрані було нерухомим, використовується синхронізація генератора розгортки досліджуваним сигналом. Для цього на генератор пилкоподібної напруги подають короткі синхронізуючі імпульси U_{ci} , сформовані з досліджуваного сигналу U_c . Ці імпульси забезпечують рівність або кратність періоду сигналу T_c і періоду розгортки T_p . Доцільне співвідношення цих періодів зображено на рис. 4.2.

$$T_p/T_c=1, 2, 3, 4, 5.$$

Режим чекаючої розгортки використовують для дослідження імпульсних сигналів з малим заповненням. У цьому режимі генератор розгортки запускається тільки після приходу запускаючого імпульсу $U_{зан.}$, який формується із сигналу U_c .

Синхронізацію періодичної та запуск чекаючої розгортки можливо здійснити від зовнішніх джерел. Для цього використовують вхід "Зовнішня синхронізація".

Пристрій керування променем за яскравістю здебільшого є підсилювачем напруги, яка подається на модулюючий електрод або катод ЕПТ і відпирає або запирає електронний промінь. У сучасних осцилографах передбачено можливість модуляції яскравості зображення за допомогою зовнішнього модулюючого сигналу, що істотно розширює можливості приладів. Використовуючи зовнішній або внутрішній сигнал, можна підсвітити і спостерігати лише ті частини зображення, які збігаються у часі з модулюючим сигналом.

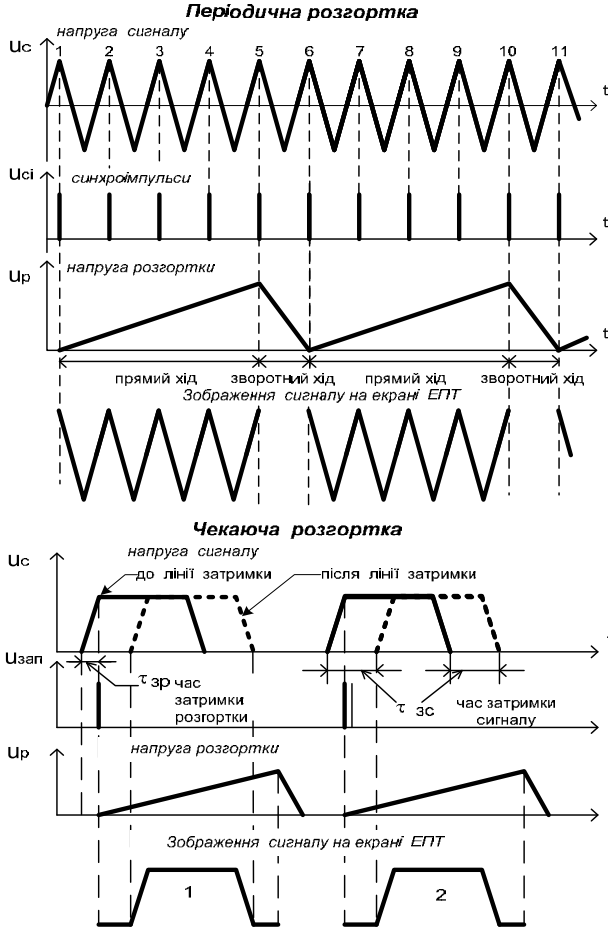


Рис. 4.2. Формування зображення сигналу в осцилографі

Функціональні можливості осцилографа можна істотно розширити, використавши як індикатор двопробеневу ЕПТ. Такий осцилограф дає змогу одночасно спостерігати два електричних процеси, порівнювати миттєві значення напруг і визначати часові співвідношення.

Структурну схему двопробеневого осцилографа показано на рис. 4.3.

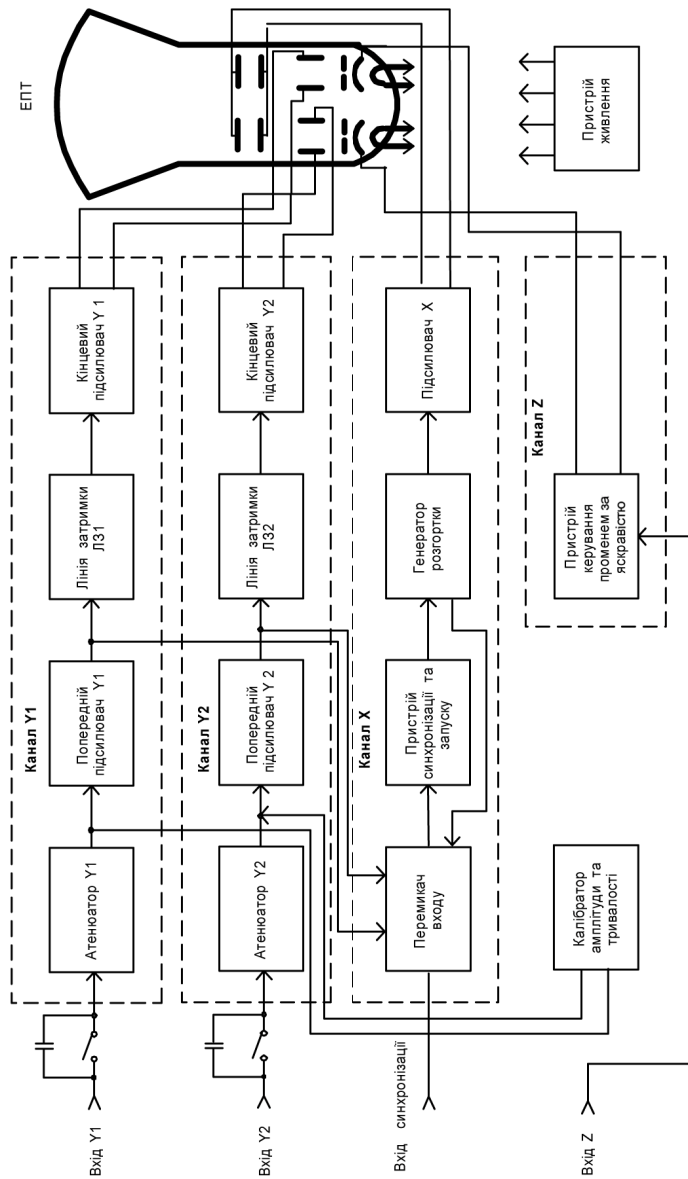


Рис. 4.3. Структурна схема двохпроменевого осцилографа

Двопроменева ЕПТ має всередині спільної колби дві електронні гармати зі своїми горизонтально та вертикально відхиляючими пластинами. Тому органи керування, призначені для встановлення необхідної яскравості, фокусування, зменшення астигматизму, передбачені для кожного променя.

Двопроменевий осцилограф має два ідентичних канали Y (Y_1 і Y_2). Як і в однопроменевих осцилографах, кожний канал складається з атенюатора, підсилювача Y та лінії затримки. Вихід підсилювача каналу Y_1 з'єднаний з вертикально відхиляючими пластинами одного з променів, а вихід підсилювача Y_2 – з вертикально відхиляючими пластинами другого променя. У попередньому підсилювачі кожного каналу забезпечується плавне регулювання підсилення, калібрування коефіцієнта відхилення, переміщення променя по вертикалі.

Завдяки загальному генератору розгортки для двох променів і підсилювачу X осцилограми двох одночасно досліджуваних процесів зображаються в одному масштабі часу. Синхронізацію періодичної та запуск чекаючої розгортки передбачено сигналом, одержаним з підсилювача одного з каналів Y .

4.2. Двоканальні осцилографи

Два електричних процеси можна одночасно спостерігати на екрані однопроменевої ЕПТ, використовуючи електронний комутатор, який по черзі під'єднує “Вхід Y_1 ” і “Вхід Y_2 ” до лінії затримки підсилювача вертикального відхилення. Структурну схему двоканального осцилографа показано на рис. 4.4. У зв'язку з тим, що схеми одноканального і двоканального осцилографів майже ідентичні, зупинимось на роботі електронного комутатора.

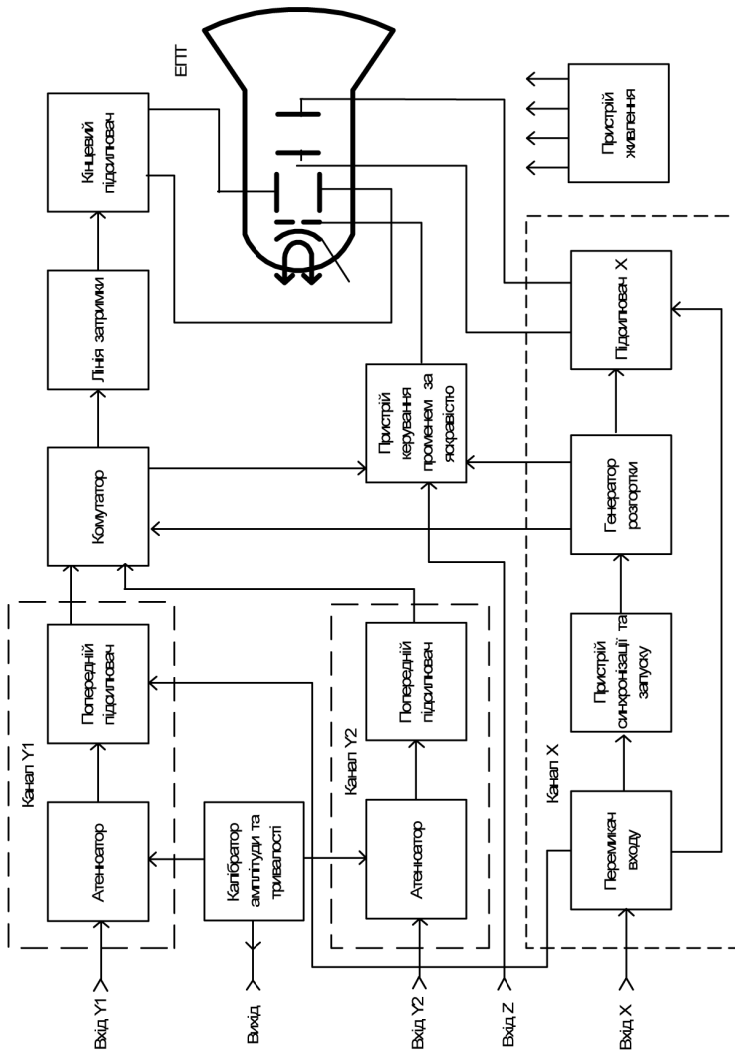


Рис. 4.4. Структурна схема двоканального осцилографа

Комутатор може працювати в одному з п'яти режимів: “Г”, “П”, “Г+П”, “Перервно”, “По черзі”. Режим встановлюється перемикачем, розміщеним на передній панелі приладу. У режимах “Г” і “П” на екрані ЕПТ спостерігається тільки один сигнал, який підводиться до входу каналу Y_1 або входу каналу Y_2 .

У режимі алгебраїчного підсумовування “Г+П” можна досліджувати суму або різницю двох сигналів, компенсувати постійну складову сигналу одного каналу, подаючи постійну напругу на другий канал.

У режимах “Перервно” і “По черзі” на екрані ЕПТ спостерігаються сигнали обох каналів. У першому випадку сигнали перемикаються з частотою 100 кГц. У другому – сигнали перемикаються після кожного прямого ходу розгортки. Протягом першого прямого ходу сигнал на ЕПТ подається з каналу Y_1 , а впродовж наступного прямого ходу – з каналу Y_2 .

4.3. Осцилографи з автоматизацією процесу керування

Як і розглянуті вище осцилографи, автоматизовані осцилографи мають канали Y , X , Z з аналогічним функціональним призначенням. Відрізняються вони тільки тим, що в ці канали введено додаткові пристрої, щоб автоматизувати деякі трудомісткі операції керування осцилографом. До таких операцій належать: вибір оптимального коефіцієнта відхилення в каналі Y , забезпечення синхронізації та вибір оптимального коефіцієнта розгортки у каналі X , додаткове регулювання яскравості ЕПТ у каналі Z . Крім того, автоматизовані осцилографи мають пристрої знакової індикації, які забезпечують виведення інформації про встановлення коефіцієнтів відхилення і розгортки безпосередньо на екран ЕПТ. Вибрати ці параметри можна також дистанційно, що дає змогу використовувати прилади в автоматизованих вимірювальних системах і комплексах [2].

Структурну схему осцилографа з автоматизацією процесу керування зображено на рис. 4.5.

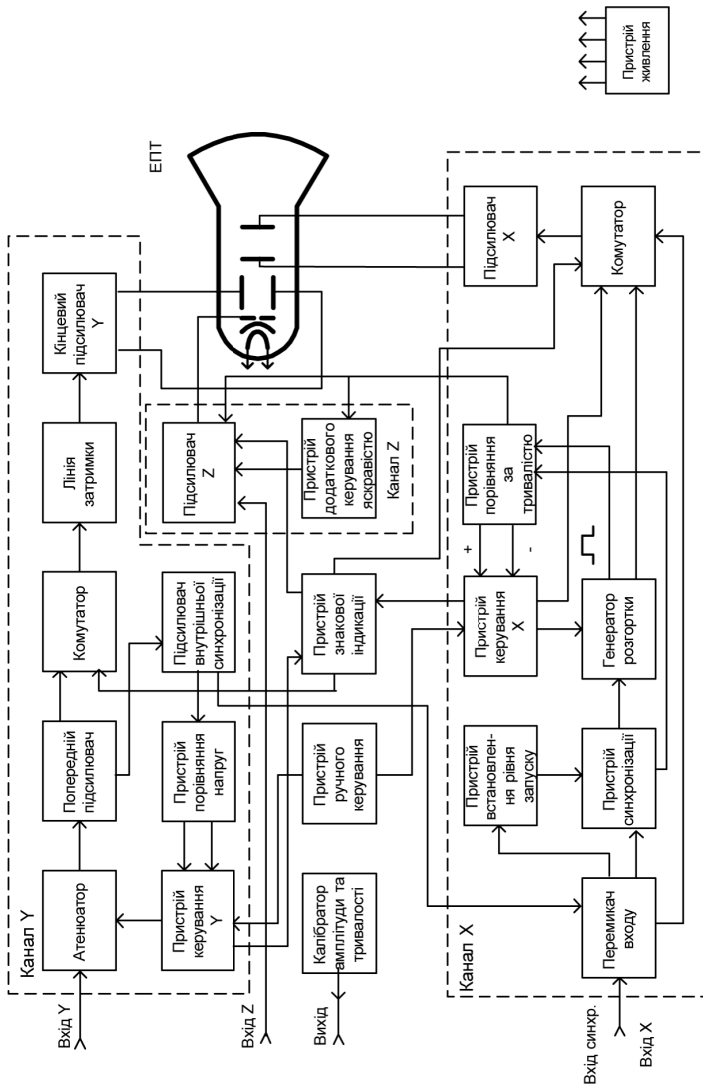


Рис. 4.5. Структурна схема осцилографа з автоматизацією процесу керування

Коефіцієнт відхилення каналу Y змінюється за допомогою атенюатора. Вертикальний розмір осцилограми і розмах досліджуваного сигналу на вході попереднього підсилювача пов'язані такими співвідношеннями:

$$h_{max} = \frac{U'_{max}}{K_Y}; \quad h_{min} = \frac{U'_{min}}{K_Y}, \quad (1)$$

де h_{max} , h_{min} – максимально і мінімально допустимі вертикальні розміри зображення сигналу;

K_Y – коефіцієнт відхилення каналу Y ;

U'_{max} , U'_{min} – розмах сигналу, що відповідає максимальному і мінімальному розмірам осцилограми.

Для отримання осцилограми розмах сигналу U_c на вході попереднього підсилювача повинен задовольняти умову

$$U'_{max} > U_c > U'_{min}. \quad (2)$$

З цього співвідношення випливає, що для автоматичного вибору коефіцієнта відхилення каналу Y необхідно порівняти розмах сигналу на вході попереднього підсилювача з напругою, що відповідає вертикальним розмірам осцилограми h_{max} і h_{min} , і на основі результатів порівняння сформулювати команду керування коефіцієнтом K_Y . Ці операції виконують пристрої порівняння напруг і керування атенюатором. Піковий детектор пристрою порівняння працює так, що постійна напруга на його виході дорівнює розмаху сигналу на вході. Ця постійна напруга надходить одночасно на два компаратори, які порівнюють їх з двома опорними напругами $U_{on.1}$ і $U_{on.2}$. Якщо виконується умова (2), сигнали на виходах компараторів мають нульове значення. Якщо умова (2) порушується, то на виході одного з компараторів з'являється напруга, яка є командою зменшення або збільшення коефіцієнта відхилення. Ця команда передається у пристрій керування. Коефіцієнт відхилення змінюється згідно з рядом чисел 1, 2, 5, 10, 20, 50. Сигнали (коди) з виходу дешифратора пристрою керування надходять у пристрій знакової індикації, який формує символи (цифри і букви), що відображаються на екрані ЕПТ.

Щоб забезпечити автоматичний вибір коефіцієнта розгортки, у пристрій синхронізації введено спеціальну схему, яка формує вимірювальний імпульс. Тривалість цього імпульсу дорівнює періоду досліджуваного сигналу T_c , а фронт збігається з початком прямого ходу розгортки тривалістю T_n .

Умовою оптимального розміщення сигналу на екрані ЕПТ є

$$0,8T_n > T_c > 0,3T_n. \quad (3)$$

З умови (3) випливає, що для автоматичного вибору коефіцієнта розгортки $K_p = T_n/L_w$, де L_w – розмір екрана ЕПТ по горизонталі, необхідно порівняти тривалість сигналу з тривалістю прямого ходу розгортки і в разі необхідності скорегувати K_p для виконання умови (3). Ці операції виконують пристрої порівняння за тривалістю і керування каналом Х.

За допомогою пристрою знакової індикації на екрані ЕПТ виписуються символи “1”, “2”, “5”, “0”, букви “n”, “μ”, “m”, “v”, “s” і знак “>”, що сигналізує про порушення калібрування. Сполученням окремих символів формують позначення, які розкривають значення коефіцієнтів відхилення і розгортки, наприклад, “100 mV”, “20 nS” тощо. Значення коефіцієнта відхилення відображається в лівому верхньому куті, а коефіцієнта розгортки – у правому. Ця інформація може виводитись і на спеціальне табло.

4.4. Стробоскопічні осцилографи

Наносекундні імпульси і коливання НВЧ можуть досліджуватись за допомогою стробоскопічних осцилографів, в яких досліджуваний сигнал штучно “розтягується” у часі. Зображення сигналу на екрані ЕПТ такого осцилографа отримують зчитуванням окремих дискретних значень сигналу, тому осцилограма утворюється у вигляді сукупності світлих точок.

Основним пристроєм осцилографа є стробоскопічний перетворювач, у якому відбувається дискретизація сигналу U_c за допомогою коротких строб-імпульсів U_{ci} . Принцип стробоскопічного перетворення сигналу показано на рис. 4.6. В результаті

амплітудної модуляції сигналом U_c строб-імпульсів U_{ci} утворюється напруга U_m , яка потім перетворюється на сукупність точок, що відтворюють на екрані ЕПТ форму досліджуваного сигналу $U_{вих}$.

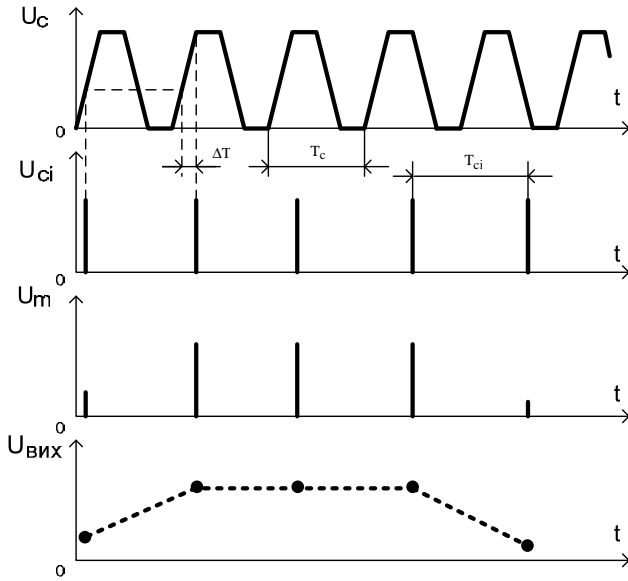


Рис. 4.6. Стробоскопічне перетворення сигналу

Коефіцієнт трансформації масштабу часу K_{mp} визначається так:

$$K_{mp} = \frac{T_{ci}}{\Delta T},$$

де T_{ci} – період надходження строб-імпульсів;

ΔT – крок зчитування.

Коефіцієнт K_{mp} визначає кількість строб-імпульсів, які беруть участь в утворенні зображення імпульсу сигналу $U_{вих}$. Він може набувати доволі великих значень $10^7 \div 10^8$.

Структурну схему стробоскопічного осцилографа показано на рис. 4.7. Підкреслимо, що стробоскопічні осцилографи використовують для дослідження сигналів, що повторюються [3, 4].

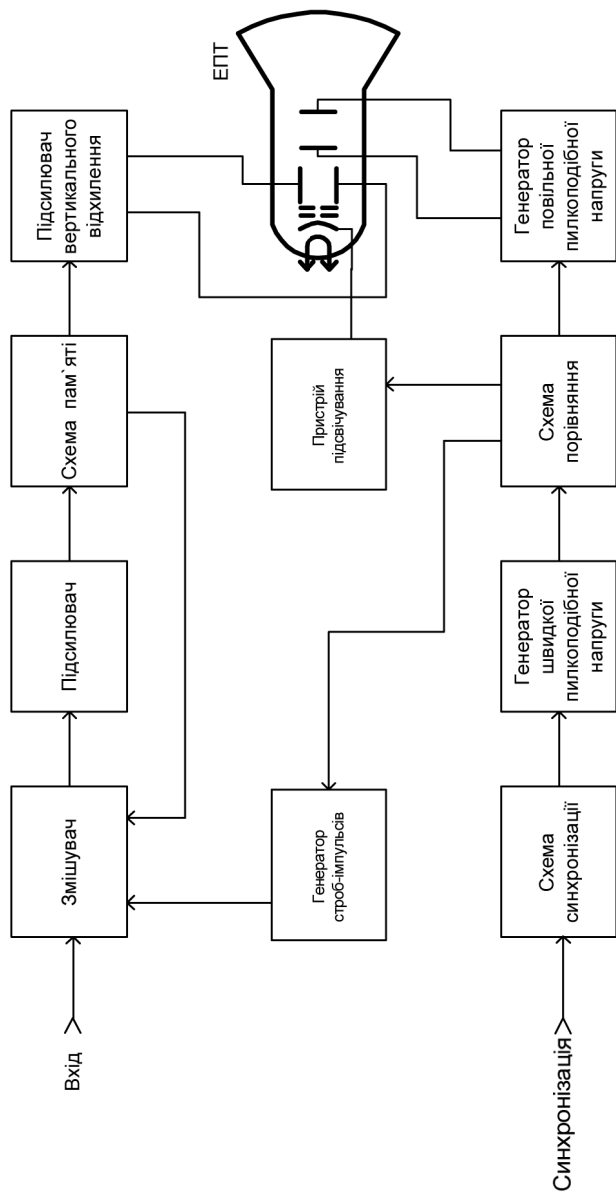


Рис. 4.7. Структурна схема стробоскопічного осцилографа

4.5. Цифрові осцилографи

Осцилографи, розглянуті вище, є аналоговими пристроями, що працюють у реальному масштабі часу, без перетворення сигналів у цифрову форму для подальшого аналізу. Сучасному інженеру простого відображення коливань на екрані ЕПТ без детального їх аналізу недостатньо. У багатьох випадках необхідно досліджувати форму сигналу або режими роботи схем і окремих елементів до моменту їх спрацювання або відмови, аналізувати осцилограми, виконуючи комплекс обчислювальних операцій. У цифрових осцилографах здійснюється повна цифрова обробка сигналу, що дає змогу автоматизувати весь процес керування приладом, а також процеси вимірювання і обробки результатів [3, 5].

Принцип дії цих приладів ґрунтується на цифровій обробці досліджуваних сигналів, миттєве значення яких попередньо перетворюється на відповідні коди і записується у пам'яті, а потім підлягає математичній і логічній обробці. Отримані результати у вигляді графіків або таблиць виводяться на пристрої відображення інформації або на зовнішні периферійні пристрої.

Ширшими функціональними можливостями характеризуються програмовані осцилографи, які мають можливість не тільки обробляти масиви цифрових даних, записаних у пам'яті, але й автоматично керувати режимами роботи приладу згідно із заданими програмами.

Структурну схему цифрового осцилографа показано на рис. 4.8.

Основні функціональні пристрої цифрового осцилографа: вхідний пристрій, центральний процесор, аналого-цифровий перетворювач, запам'ятовуючий пристрій, генератор керуючих імпульсів, пристрій відображення інформації, інтерфейсний блок.

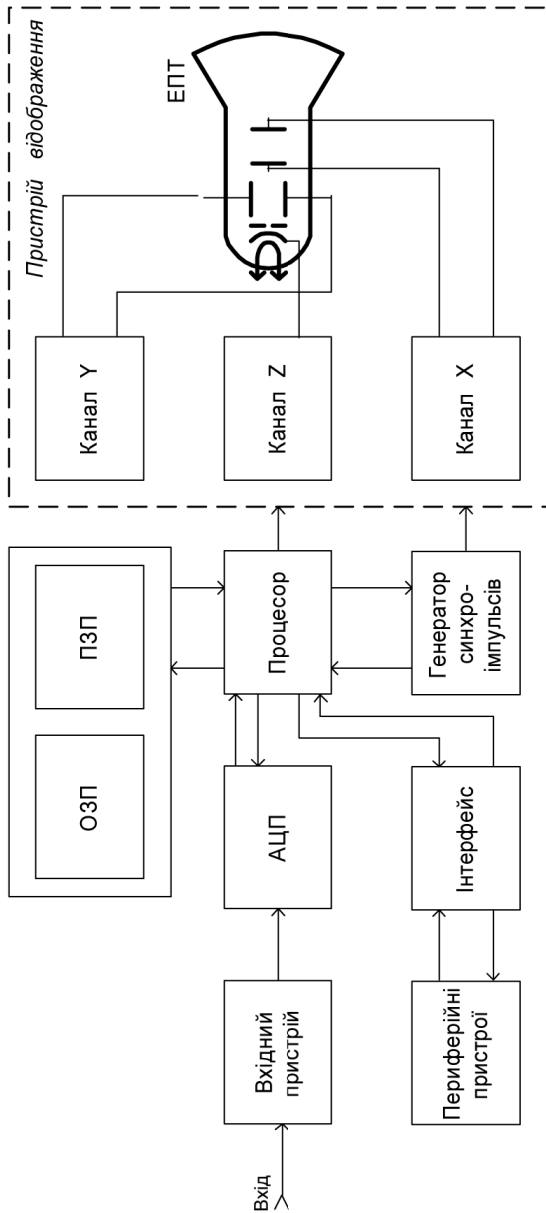


Рис. 4.8. Структурна схема цифрового осцилографа

Запам'ятовуючий пристрій складається з оперативного запам'ятовуючого пристрою (ОЗП), призначеного для запису масиву цифрових даних про значення досліджуваного сигналу, і постійно запам'ятовуючого пристрою (ПЗП) програм керування і обробки масиву даних. До складу осцилографа можуть також входити цифро-аналоговий перетворювач для виведення вимірювальної інформації в аналоговій формі, пристрої самотестування і самодіагностики, процесори тощо.

Аналого-цифрове перетворення сигналу відбувається за двома координатами: за рівнем і за часом. Тому перетворювач у дискретні моменти часу за командою з центрального процесора трансформує миттєві значення сигналу у відповідні цифрові коди, які записуються ОЗП. Так формуються масив даних про амплітудні та інші значення сигналу у дискретні моменти часу та їх часова шкала. Ця інформація вводиться у центральний процесор для математичної та логічної обробки, згідно з програмами, записаними в ПЗП. Масиви даних можуть надходити на вхід процесора, оминаючи ОЗП. У цьому випадку часова шкала формується безпосередньо у процесорі.

Якщо необхідно, частина пам'яті ОЗП використовується для запису проміжних результатів обробки або для запису додаткової оперативної інформації.

Центральний процесор реалізується на базі мікропроцесора або мікро-ЕОМ. Результати обробки інформації у цифровому або аналоговому вигляді виводяться на пристрої відображення інформації або на інтерфейсний блок для передавання на периферійні пристрої.

Як пристрої відображення інформації використовують ЕПТ або матричні індикаторні панелі (світлодіодні, газорозрядні, на основі рідких кристалів тощо). Графічна інформація відображається на них у вигляді світлих плям (точок), кожна з яких відповідає миттєвому значенню досліджуваного сигналу в дискретні моменти часу. Часова шкала може відтворюватись як у реальному масштабі, так і у режимі уповіль-

неного або прискореного відтворення. Завдяки потужному математичному забезпеченню, відповідним процесорам і запам'ятовувачим пристроям сучасні цифрові осцилографи виконують функції аналізатора перехідних процесів, цифрового мультиметра, аналізатора логічних станів, сигнатурного аналізатора, аналізатора спектра, вимірювача гармонічних складових тощо. Цифровий осцилограф, на відміну від аналогового, може використовуватись для дослідження інфранизькочастотних процесів. При цьому відображення інформації може проводитись не в реальному масштабі часу, а у стиснутому в необмежену кількість разів. Цифрові осцилографи використовують для спостереження і аналізу одноразових сигналів на частотах до сотень МГц, а також періодичних коливань частотою до НВЧ-діапазону.

4.6. Запам'ятовуючі осцилографи

Широке використання запам'ятовувачих осцилографів пояснюється їх перевагами над звичайними осцилографами. Вони дають змогу візуально спостерігати процеси, які рідко повторюються, і одноразові процеси, зокрема випадкові, без фотографування. Ці осцилографи характеризуються доволі великим часом зберігання і відтворення без втрати якості зображення. Можливість регулювання часу відтворення дає змогу використовувати ці осцилографи для деяких специфічних вимірювань, наприклад, досліджувати сигнали за малих швидкостей розгортки.

Структурна схема запам'ятовуючого осцилографа мало відрізняється від схеми звичайного осцилографа. Приклад такої схеми показано на рис. 4.9.

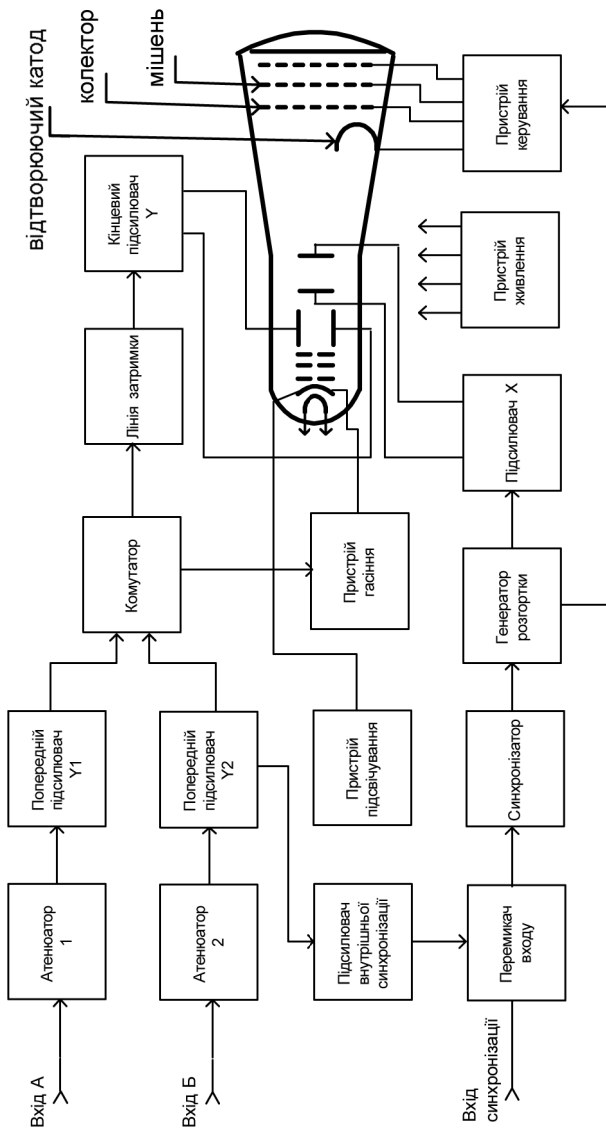


Рис. 4.9. Структурна схема запам'ятовуючого осцилографа

5. ДВОКАНАЛЬНИЙ ОСЦИЛОГРАФ MOS-620FG

5.1. Основні технічні характеристики осцилографа

Основні технічні характеристики осцилографа MOS-620FG наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Технічні характеристики	Значення
Робоча частина екрана	80×100 мм
Кількість каналів	2
Коефіцієнти відхилення каналів	Від 5 мВ/Діл до 5 В/Діл (10 положень із ряду 1–2–5)
Границі допустимої відносної похибки коефіцієнтів відхилення кожного каналу	± 3 % ± 5 %
– за ×5 MAG	
Смуга пропускання	Від 0 до 20 МГц
– за ×5 MAG	Від 0 до 7 МГц
Параметри перехідної характеристики кожного каналу:	
– час наростання	17,5 нс
– за ×5 MAG	50 нс
– викиди	± 5 % (при 10 мВ/Діл) Додатково ± 5 % за інших спотворень або для інших коефіцієнтів відхилення
Максимальна вхідна напруга	300 В (частота не більше за 1 кГц)
Режими каналу вертикального відхилення	CH1: тільки сигнал каналу CH1 CH2: тільки сигнал каналу CH2 DUAL: одночасне відображення каналів CH1 і CH2 ALT або CHOP за будь-якого коефіцієнта розгортки ADD: CH1+CH2 (алгебр. сума)
Коефіцієнти розгортки	Від 0,2 мкс/Діл до 0,5 с/Діл (20 положень із ряду 1–2–5)

Технічні характеристики	Значення
Границі допустимої відносної похибки коефіцієнтів розгортки	$\pm 3 \%$
– за $\times 10 \text{ MAG}$	$\pm 5 \%$
Параметри входу:	
– вхідний опір	1 МОм
– вхідна ємність	25 пФ
Режими синхронізації:	AUTO, NORM, TV-V, TV-H
Вхід Z:	
– чутливість	5 В
– частотний діапазон	Від 0 до 2 МГц
– вхідний опір	47 кОм
– макс. вхідна напруга	30 В, частота менше за 1 кГц
Калібратор	Амплітуда меандра $2 \text{ В} \pm 2 \%$, частота 1 кГц

5.2. Органи керування та регулювання, їх призначення

На рис. 5.1 зображено передню панель осцилографа MOS-620FG. На ній органи керування та регулювання об'єднано в чотири групи: органи керування ЕПТ, органи керування каналами вертикального відхилення (VERTICAL), органи керування горизонтальною розгорткою (HORIZONTAL), органи керування та вибору режимів синхронізації (TRIGGER). Розглянемо їх призначення.

Електронно-променева трубка:

6 – кнопка **POWER** – увімкнення/вимкнення осцилографа.

5 – світлодіодний індикатор – індикатор увімкнення живлення приладу.

7, 22 – перемикачі **VOLTS/DIV** – перемикачі для вибору коефіцієнтів вертикального відхилення (10 положень від 5 мВ/Діл до 5 В/Діл).

МОДЕЛЬ MOS-6XXX FG

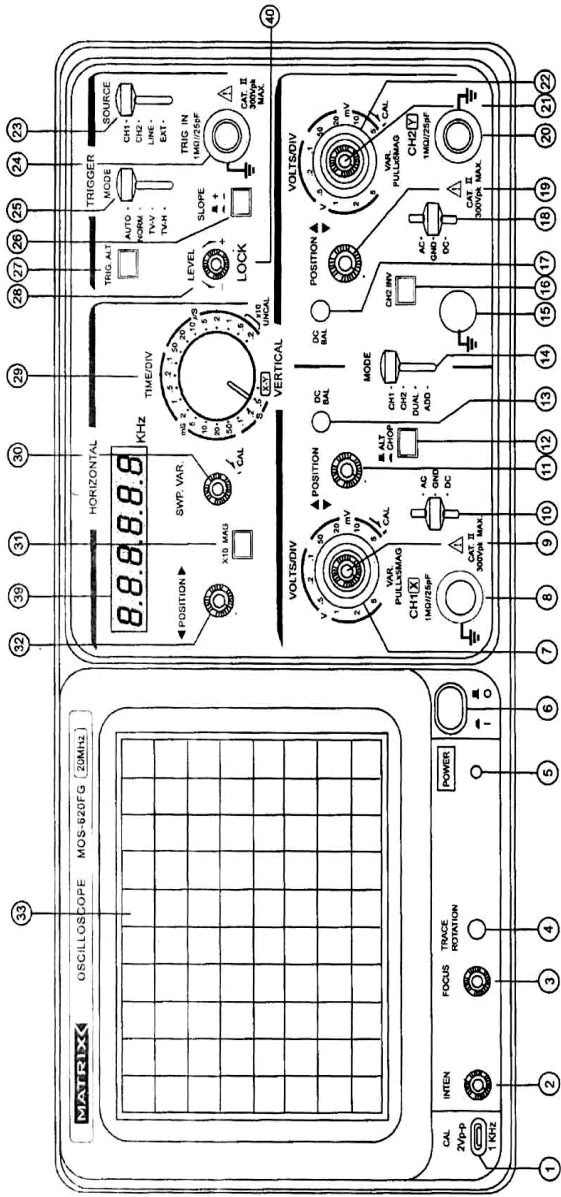


Рис. 5.1. Передняя панель осциллографа MOS-620FG (органы керування та регулювання)

- 2 – регулятор **INTEN** – регулятор яскравості.
- 3 – регулятор **FOCUS** – фокусування зображення.
- 4 – регулятор **TRACE ROTATION** – резистор для вирівнювання лінії розгортки паралельно до ліній сітки екрана.
- 33 – фільтр – фільтр для покращання візуального сприйняття зображення.

Канал вертикального відхилення:

8 – вхід **CH1** **X** – вхідний роз'єм каналу вертикального відхилення CH1 (першого каналу). Для режиму X-Y – це роз'єм для осі X.

20 – вхід **CH2** **Y** – вхідний роз'єм каналу вертикального відхилення CH2 (другого каналу). Для режиму X-Y – це роз'єм для осі Y.

10, 18 – перемикачі **AC-GND-DC** – перемикачі вибору режиму зв'язку входу і вертикального підсилювача:

AC – закритий вхід, зв'язок за змінним струмом;

GND – вхід вертикального підсилювача заземлений, вхідний роз'єм осцилографа від'єднаний від підсилювача;

DC – відкритий вхід, зв'язок за постійним струмом.

9, 21 – регулятори **VARIABLE** – плавне регулювання коефіцієнтів вертикального відхилення. В положенні **CAL** значення коефіцієнта відповідає каліброваному значенню (нанесене на панелі поряд з перемикачем **VOLTS/DIV**). Якщо потягнути ручку регулятора на себе (положення **x5 MAG**), то чутливість підсилювача збільшується в п'ять разів.

13, 17 – регулятори **CH1 і CH2 DC BAL** – регулятори для балансування атенюатора коефіцієнтів вертикального відхилення.

11, 19 – регулятори **POSITION** – регулювання вертикального положення зображення.

14 – перемикач **VERT MODE** – перемикач вибору режиму роботи підсилювачів каналів CH1 і CH2:

CH1 – осцилограф працює в одноканальному режимі (працює тільки канал CH1);

CH2 – осцилограф працює в одноканальному режимі (працює лише канал CH2);

DUAL – осцилограф працює у двоканальному режимі (працюють канали CH1 і CH2);

ADD – режим відображення алгебраїчної суми (CH1+CH2) або різниці (CH1-CH2) сигналів, поданих на відповідні канали. Для отримання різниці сигналів (CH1-CH2) потрібно додатково натиснути кнопку **CH2 INV** (позиція 16 на рис. 5.1).

12 – кнопка ALT/CHOP. Якщо у двоканальному режимі кнопка не натиснена, то відбувається по чергове перемикання каналів синхронно із запуском розгортки, сигнали каналів CH1 і CH2 відображаються на екрані по чергово (рекомендується використовувати у разі великої швидкості розгортки). Якщо у двоканальному режимі кнопка натиснута, то відбувається переривчасте перемикання каналів, несинхронне із запуском розгортки (рекомендується використовувати у разі малої швидкості розгортки).

16 – кнопка CH2 INV. Якщо кнопка натиснута, то вхідний сигнал каналу CH2 інвертується. В режимі **ADD** інвертується вхідний сигнал каналу CH2 і сигнал синхронізації від каналу 2.

Синхронізація:

24 – вхід EXT TRIG IN – вхідний роз'єм для під'єднання сигналу зовнішнього запуску. Для реалізації цього режиму потрібно встановити перемикач **SOURCE** (позиція 23) в положення **EXT**.

23 – перемикач SOURCE – перемикач вибору одного із внутрішніх джерел сигналу синхронізації або зовнішнього сигналу, який подається на роз'єм **EXT TRIG IN**:

CH1: якщо перемикач **VERT MODE** (позиція 14) перебуває в положенні **DUAL** або **ADD**, то канал CH1 стає внутрішнім джерелом сигналу синхронізації;

CH2: Якщо перемикач **VERT MODE** (позиція 14) в положенні **DUAL** або **ADD**, то канал CH2 стає внутрішнім джерелом сигналу синхронізації.

Кнопка TRIG.ALT (позиція 27): якщо перемикач **VERT MODE** (позиція 14) у положенні **DUAL** або **ADD** і при цьому натиснута кнопка **TRIG.ALT** (позиція 27), то за положення перемикача **SOURCE** (позиція 23) **CH1** або **CH2** один із цих каналів стає внутрішнім джерелом синхронізації.

LINE: для вибору мережі живлення як внутрішнього джерела сигналу синхронізації.

EXT: для вибору як джерела синхронізації зовнішнього сигналу, поданого на вхід **EXT TRIG IN**.

26 – кнопка SLOPE – кнопка вибору полярності сигналу запуску:

+ : запуск відбувається, коли сигнал синхронізації перетинає рівень синхронізації в додатному напрямку;

– : запуск відбувається, коли сигнал синхронізації перетинає рівень синхронізації у від’ємному напрямку.

28 – регулятор LEVEL – призначений для отримання стабільного зображення сигналу на екрані осцилографа.

40 – положення LOCK регулятора LEVEL – у разі повертання ручки **регулятора LEVEL** у крайнє положення за годинниковою стрілкою до фіксації осцилограф автоматично підтримуватиме рівень синхронізації, не потребуючи ручного регулювання.

25 – перемикач TRIGGER MODE – перемикач вибору режиму синхронізації:

AUTO: режим автоматичного запуску розгортки за відсутності сигналу синхронізації або якщо частота сигналу синхронізації менша за 25 Гц.

NORM: за відсутності сигналу синхронізації запуск розгортки не відбувається. Використовують такий режим для спостереження сигналів із частотою, меншою за 25 Гц.

TV-V: цей режим використовують для спостереження кадрового телевізійного сигналу.

TV-H: цей режим використовують для спостереження рядкового телевізійного сигналу.

Горизонтальна розгортка:

29 – перемикач TIME/DIV – для вибору коефіцієнта горизонтальної розгортки (20 положень від 0,2 мкс/Діл до 0,5 с/Діл).

Положення X-Y: в цьому положенні перемикача прилад працює у режимі X-Y.

30 – регулятор SWP.VAR – ручка плавного регулювання коефіцієнта розгортки. Якщо регулятор встановлено в положення **CAL**, то коефіцієнт горизонтальної розгортки має каліброване значення, яке задають перемикачем **TIME/DIV**.

31 – кнопка ×10 MAG – після натискання цієї кнопки зображення сигналу розтягується в 10 разів.

32 – регулятор POSITION – регулювання горизонтального переміщення осцилограми.

Інші органи керування:

1 – вивід CAL – вихід сигналу калібрування: меандр з каліброваним значенням амплітуди 2 В і частотою 1 кГц.

15 – вивід GND – для заземлення корпусу осцилографа.

39 – частотомір – для відображення частоти сигналу синхронізації.

Задня панель осцилографа:

роз'єм Z AXIS INPUT – вхідний роз'єм для під'єднання зовнішнього сигналу для модуляції яскравості;

роз'єм CH1 OUTPUT – вихід сигналу, аналогічного до сигналу каналу CH1, з коефіцієнтом 20 мВ/Діл за навантаження 50 Ом;

перемикач LINE VOLTAGE – для вибору напруги живлення.

5.3. Підготовка приладу до роботи

Одноканальний режим роботи.

Перед увімкненням осцилографа в мережу рекомендується встановити перемикачі й органи регулювання в положення, вказані в табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Позначення на передній панелі	Номер позиції на рис. 5.1	Рекомендоване положення
POWER	6	Вимкнено (OFF)
INTEN	2	Середнє
FOCUS	3	Середнє
VERT MODE	14	CH1
ALT/CHOP	12	Відтиснута (ALT)
CH2 INV	16	Відтиснута
POSITION	11 і 19	Середнє
VOLTS/DIV	7 і 22	0.5 V/DIV
VARIABLE	9 і 21	CAL (за годинниковою стрілкою)
AC-GND-DC	10 і 18	GND
SOURCE	23	CH1
SLOPE	26	+
TRIG.ALT	27	Відтиснута
TRIGGER MODE	25	AUTO
TIME/DIV	29	0,5 мс/DIV
SWP.VER	30	CAL
POSITION	32	Середнє
X10 MAG	31	Відтиснута
LEVEL	28	LOCK

Після встановлення всіх перемикачів та регуляторів у відповідні положення виконайте такі дії:

1. Натисніть кнопку **POWER**. Повинен засвітитися індикатор увімкнення мережі. Приблизно через 20 секунд на екрані має з'явитися лінія розгортки. Якщо вона не з'явилась через 60 секунд, перевірте ще раз установки всіх перемикачів та регуляторів.

2. Підберіть оптимальну яскравість та фокусування променя за допомогою регуляторів **INTEN** і **FOCUS** відповідно.

3. Лінію розгортки сумістіть з центральною горизонтальною лінією сітки екрана за допомогою регуляторів **CH1 POSITION** і **TRACE ROTATION** (для цього регулятора потрібний спеціальний інструмент).

4. Під'єднайте пробник до входу **CH1** і доторкніться наконечником пробника до виходу калібратора **CAL 2Vp-p**.

5. Встановіть перемикач **AC-GND-DC** у положення **AC**. На екрані ЕПТ повинен з'явитися сигнал у вигляді меандра.

6. Регулятором **FOCUS** потрібно добитись максимально чіткого зображення.

7. Встановіть перемикачі **VOLTS/DIV** і **TIME/DIV** в такі положення, щоб можна було спостерігати сигнал у межах екрана.

8. Регуляторами **POSITION** (позиція 11) і **POSITION** (позиція 32) можна переміщати зображення сигналу по вертикалі та горизонталі для зручності вимірювання амплітуди і періоду. Калібровані значення амплітуди та частоти меандра становлять 2 В та 1 кГц відповідно.

Описані вище процедури обов'язкові й проводяться кожен раз під час використання осцилографа.

Розглянутий одноканальний режим роботи передбачав використання каналу CH1. Дії з організації одноканального режиму для каналу CH2 аналогічні.

Двоканальний режим.

1. Перемикач **VERT MODE** переведіть у положення **DUAL**. На екрані повинна спостерігатися картина: канал CH1 – меандр сигналу калібратора; канал CH2 – лінія розгортки, оскільки ніякий сигнал на цей канал не подається.

2. Подайте на вхід каналу CH2 сигнал калібратора, як для каналу CH1.

3. Встановіть перемикач **AC-GND-DC** у положення **AC**.

4. Регуляторами **POSITION** (позиції 11, 19) потрібно отримати на екрані зображення двох меандрів відповідно від каналів CH1 і CH2.

5. Якщо кнопка **ALT/CHOP** не натиснута (режим ALT), то вхідні сигнали каналів CH1 і CH2 відображаються на екрані по чергово під час кожного запуску розгортки. Такий режим доцільно використовувати для двоканального спостереження

сигналу на коротких розгортках. Якщо кнопка **ALT/CHOP** натиснута (режим **CHOP**), то вхідні сигнали каналів **CH1** і **CH2** перемикаються з частотою 250 кГц незалежно від розгортки. Цей режим використовують, коли тривалість розгортки велика.

ЗАУВАЖЕННЯ. За двоканального режиму роботи (**DUAL** або **ADD**) сигнал каналу **CH1** або **CH2** за допомогою перемикача **SOURCE** вибирають як сигнал синхронізації. Якщо сигнали каналів **CH1** і **CH2** мають близькі частоти, то зображення обох каналів буде стабільним. В іншому випадку тільки сигнал, зафіксований перемикачем **SOURCE**, матиме стабільне зображення. І лише коли кнопка **TRIG.ALT** натиснута, зображення двох каналів буде стабільним.

Компенсація пробника.

Треба пам'ятати, що якщо операцію з компенсації пробника не виконано, то це може призвести до спотворення форми досліджуваного сигналу, а відповідно до похибок вимірювань. Компенсацію пробника здійснюють у такій послідовності:

1. Під'єднайте пробник 10:1 до вхідного роз'єму **BNC** каналу **CH1** або **CH2** і встановіть перемикач **VOLTS/DIV** у положення 50 мВ/Діл.

2. Під'єднайте наконечник пробника до виходу **CAL** калібратора.

3. За допомогою змінного конденсатора на пробнику отримайте оптимальне зображення меандра з мінімальними спотвореннями.

Балансування атенюатора (DC BAL).

Виконується так:

1. Встановіть перемикач **AC-GND-DC** обох каналів у положення **GND**, а перемикач **TRIGGER MODE** у положення **AUTO**.

2. Встановіть лінію розгортки по центру екрана.

3. Встановлюючи перемикач **VOLTS/DIV** у положення 5–10 мВ, за допомогою регулятора **DC BAL** потрібно добитись, щоб лінія розгортки залишалась на місці.

5.4. Практичні рекомендації з використання осцилографа

Наведемо деякі практичні рекомендації, які дають змогу максимально ефективно використати функціональні можливості осцилографа і забезпечити відповідний рівень точності вимірювань.

1. Перемикач вибору коефіцієнта вертикального відхилення **VOLTS/DIV** встановлюйте в таке положення, щоб у межах екрана (по вертикалі) можна було спостерігати максимальний розмах досліджуваного сигналу.

2. Встановлюйте перемикач **TIME/DIV** у таке положення, щоб можна було спостерігати один період або потрібну кількість періодів сигналу. Якщо кількість зафіксованих періодів велика, рекомендується перейти на більшу швидкість розгортки. Якщо на екрані спостерігається лінія, треба перейти на нижчі швидкості розгортки. Такий ефект виникає, якщо тривалість розгортки менша від періоду сигналу і тому лише частина сигналу буде відображена на екрані. Ця частина для багатьох форм сигналів може виглядати як майже пряма лінія.

Рекомендації щодо вибору режимів перемикача MODE:

AUTO: у цьому положенні вмикається автоматичний режим запуску, генератор розгортки запускається за відсутності сигналу синхронізації. Після появи сигналу синхронізації генератор автоматично перемикається на запуск від цього сигналу. Цей режим зручний тим, що уможливорює попереднє налаштування осцилографа для спостереження форми сигналу, коли інші режими малоефективні. Після налаштування приладу рекомендується перейти до режиму **NORM** як чутливішого. Автоматичну синхронізацію доцільно використовувати під час вимірювання постійних напруг або роботи з сигналами малої амплітуди, оскільки рівень таких сигналів недостатній для запуску розгортки.

NORM: у цьому положенні перемикача **MODE** вмикається режим нормальної роботи генератора розгортки. Запуск розгортки відбувається, коли сигнал вибраного джерела синхронізації досягає порогового рівня, який встановлюється регулятором **TRIG LEVEL**. У такому разі схема виробляє однократний імпульс запуску розгортки, після якого генератор переходить у стан очікування наступного імпульсу. В режимі **ALT**, режимі **NORM** і за двоканальної роботи осцилографа зображення не буде на екрані, якщо хоча би один із сигналів каналу 1 або каналу 2 недостатній для запуску.

TV-V: це положення перемикача дає змогу використати кадровий синхроімпульс для запуску розгортки. Рекомендований для дослідження складного відеосигналу, дає можливість спостерігати структуру кадру або рамку відеосигналу. За швидкості розгортки 2 мс/Діл на екрані буде кадр відеосигналу, а за 5 мс/Діл – рамка (два суміжні кадри).

TV-H: встановлення перемикача **MODE** в це положення дає змогу використати рядковий синхроімпульс для запуску розгортки. Також рекомендується для дослідження відеосигналу, спостереження структури рядка відеосигналу. Швидкість розгортки 2 мс/Діл дає змогу побачити увесь рядок відеосигналу. Використовуючи додатково регулятор **SWP VAR**, можна вивести на екран точно потрібну кількість рядків.

Рекомендації з вибору режимів перемикача SOURCE.

Цей перемикач призначений для вибору джерела синхронізації.

CH1: режим внутрішньої синхронізації, використовується найчастіше.

CH2: за такого режиму сигнал, який надходить від вхідного роз'єму на вхід попереднього підсилювача, також подається на вхід схеми запуску за допомогою перемикача **VERT MODE**. Оскільки запуск здійснюється самим вимірюваним сигналом, то на екрані ЕПТ отримують стійке зображення форми цього сигналу. В режимах **DUAL** і **ADD** вибір джерела синхронізації здійснюється перемикачем **SOURCE**.

LINE: як внутрішнє джерело сигналу синхронізації вибирають мережу живлення. Цей режим рекомендується застосовувати, коли досліджуваний сигнал пов'язаний з частотою мережі живлення.

EXT: як джерело синхронізації використовується сигнал, що подається на вхідний роз'єм зовнішнього запуску.

Призначення перемикача TRIG.ALT.

Цей перемикач використовується для увімкнення почергового запуску розгортки в двоканальному режимі роботи осцилографа (не використовується в режимах CH1, CH2 і ADD). У разі почергового запуску розгортки (двоканальний режим) після кожного запуску розгортки відбувається зміна джерела сигналу синхронізації: канал 1 або канал 2. Цей режим можна використати, наприклад, для порівняння амплітуд, форм або періодів двох сигналів, різних за частотою. Водночас такий режим непридатний для фазових вимірювань або вимірювання часових співвідношень сигналів. Для таких вимірювань запуск розгортки здійснюють тим самим синхронізуючим сигналом для обох досліджуваних сигналів.

Якщо кнопки **CHOP** і **TRIG.ALT** одночасно натиснуті, то синхронізація розгортки неможлива.

Використання кнопки $\times 10$ MAG.

Часто виникає потреба детальніше проаналізувати невеликий фрагмент зображення сигналу. Для цього можна використати більшу швидкість розгортки. Однак якщо фрагмент зображення не на початку розгортки, то він може зміститись за межі екрана. Щоб цього не сталося, потрібно натиснути кнопку **$\times 10$ MAG**. Тоді зображення сигналу розтягнеться в десять разів вправо і вліво від центра екрана, і можна буде побачити виділений фрагмент сигналу. Коефіцієнт розгортки у такому разі обчислюється так:

(Значення, встановлене перемикачем TIME/DIV) $\times 1/10$.

Отже, мінімальний коефіцієнт розгортки 0,2 мкс/Діл можна знизити до 20 нс/Діл.

Використовуючи кнопку **×10 MAG**, можна розтягнути будь-яку частину сигналу, перемістивши її регулятором **POSITION** (позиція 32) у центр екрана.

Використання режиму X-Y.

Режим **X-Y** встановлюється перемикачем **TIME/DIV** – крайнє ліве положення проти годинникової стрілки. При цьому канал 1 стає входом для сигналу осі X, а канал 2 – входом для сигналу осі Y. Зміщення по осях здійснюється за допомогою регуляторів **POSITION** (позиція 32) для осі X і **CH2 POSITION** (позиція 19) для осі Y. Регулювання коефіцієнта відхилення по вертикалі (вісь Y) здійснюється перемикачем **CH2 VOLTS/DIV** і регулятором **VAR**. Коефіцієнт відхилення по горизонталі (вісь X) регулюють перемикачем **CH1 VOLTS/DIV** і регулятором **VAR**.

Режим **X-Y** дає змогу провести вимірювання, які принципово неможливі в разі звичайної розгортки. Приклад типового використання цього режиму – це вимірювання амплітудно-частотної характеристики, коли вісь Y відображає амплітуду сигналу, а вісь X – його частоту.

Інші рекомендації щодо використання осцилографів серії **MOS-6XX** містять інструкції з експлуатації цих приладів.

Методи вимірювання радіотехнічних величин із застосуванням універсальних осцилографів, зокрема осцилографа **MOS-620FG**, детально розглянуто в розділі 7, а також у [4, 6].

6. ЦИФРОВИЙ ЗАПАМ'ЯТОВУЮЧИЙ ОСЦИЛОГРАФ DS 5152 CA

Вивчити принцип роботи цифрових осцилографів (ЦО) та набути навичок їх практичного використання пропонуємо на прикладі цифрового запам'ятовуючого осцилографа DS 5152 CA.

Осцилографи RIGOL серії DS 5000, до якої входить названий вище ЦО, є сьогодні високоефективними приладами для перевірки, налаштування та вимірювання і контролю параметрів складних електронних пристроїв. Моделі цієї серії вдало поєднують дуже високу продуктивність вимірювання та реєстрації сигналів, простоту використання, а також можливість їх сумісної роботи з іншим обладнанням. Класичні елементи керування, великий екран і графічне меню забезпечують інтуїтивний інтерфейс керування приладом. Інтеграція з операційною системою Windows надає додаткові можливості щодо спеціального налаштування й істотного розширення функціональних можливостей цих приладів загалом.

Цифрові запам'ятовуючі осцилографи RIGOL серії DS 5000 виготовляються у вигляді малогабаритних приладів, які візуально відображають досліджувані сигнали і уможливають їх реєстрацію та вимірювання параметрів. Ці прилади використовують у виробництві електронної техніки, під час її технічного обслуговування в умовах експлуатації, в дослідницьких та проектних лабораторіях для тестування різних цифрових схем (ліній, каналів), діагностики і пошуку несправностей, а також широко застосовують для навчання та набуття навичок з цифрової осцилографії.

6.1. Основні технічні характеристики осцилографа DS 5152 CA

- Кількість каналів: 2.
- Смуга пропускання: 150 МГц.
- Кольоровий рідкокристалічний екран з роздільною здатністю 320×240.
- Швидкість вибірки: 1 Гвиб/с.
- Еквівалентна швидкість вибірки: 50 Гвиб/с.
- Меню автоустановки.
- Широкі можливості виконання вимірювань (до 20 автоматичних вимірювань).
- Автокалібрування.
- Запам'ятовування десяти осцилограм сигналів і десяти установок.
- Функція сканування із затримкою.
- Координатний графік.
- Вмонтована функція FFT (швидке перетворення Фур'є), лічильник частоти.
- Цифровий фільтр із LPF, HPF, BPF, BRF.
- 50 Ом або 1 МОм вибір вхідного імпедансу.
- Pass/Fail функція.
- Синхронізація осцилографа за фронтом, відеосинхронізація, синхронізація за імпульсом відповідної тривалості.
- Математичні функції: додавання, віднімання, множення, ділення.
- Багатомовний інтерфейс користувача.

6.2. Передня панель осцилографа та інтерфейс користувача

Загальний вигляд передньої панелі осцилографів серії DS 5000 подано на рис. 6.1. На панель винесено кнопки і ручки регулювання (рис. 6.2). Наведемо їх призначення.

Кнопки MENU: MEASURE (Вимірювання), CURSOR (Курсор), ACQUIRE (Збір даних), DISPLAY (Екран), STORAGE (Збереження), UTILITY (Сервіс).

Кнопки VERTICAL: меню CH1, CH2, MATH і REF, кнопка OFF може фіксувати форму хвилі або меню, яке в цей момент є активним.

Кнопки HORIZONTAL: горизонтальне MENU (Меню).

Кнопки TRIGGER: пускове MENU (Меню), 50 % (50 % рівень запуску) і FORCE (Форсований запуск).

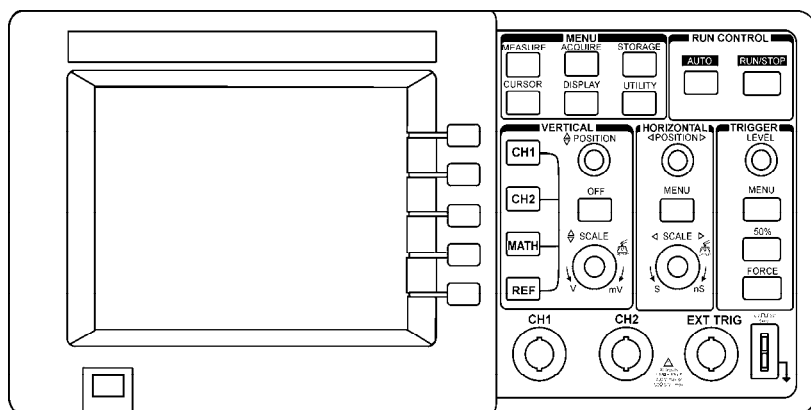


Рис. 6.1. Передня панель осцилографів RIGOL серії DS 5000

Кнопки RUN CONTROL: керуючі кнопки AUTO (Автоустановка) і RUN/STOP (Пуск/Стоп) – кнопки запуску і зупинки реєстрації.

Кнопки функціональні: п'ять сірих кнопок праворуч від екрана, які встановлюють вибір операції в активному меню в цей момент часу.

Ручки регулювання: для настроювання по вертикалі або по горизонталі POSITION (Положення), SCALE (Масштаб) і LEVEL (Рівень) в області TRIGGER.

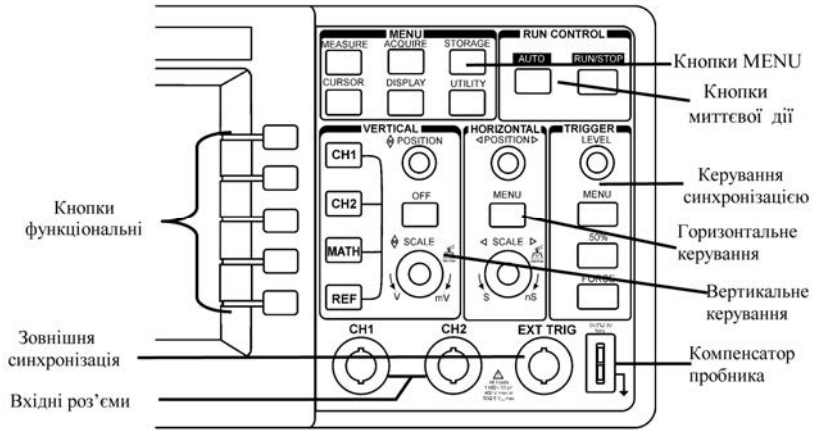


Рис. 6.2. Органи керування, винесені на передню панель

Принцип організації інтерфейсу користувача ілюструє рис. 6.3.

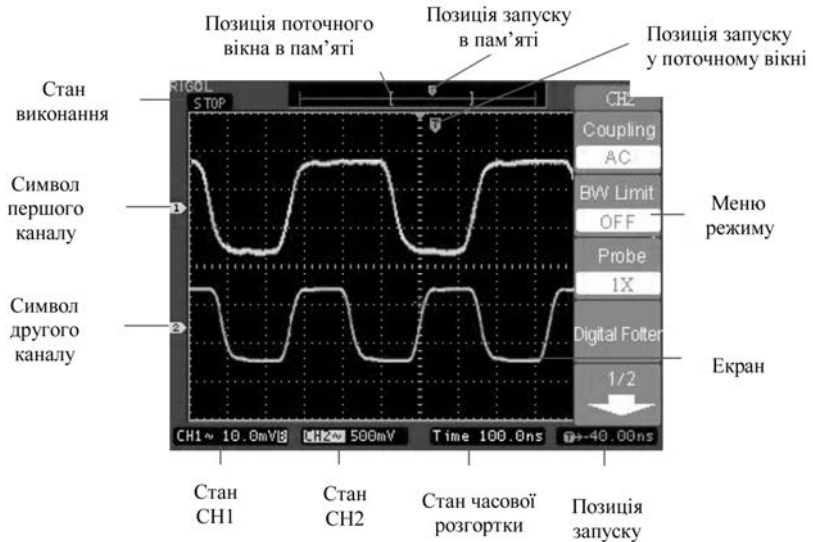


Рис. 6.3. Інтерфейс користувача

ЗАУВАЖЕННЯ. Надалі поле навколо назви кнопки позначатиме кнопки передньої панелі, а назва з тінню – “м’які” кнопки. Наприклад, **CH1** – кнопка передньої панелі, позначена як **CH1** у частині передньої панелі VERTICAL, **Coupling** – “м’яка” кнопка. Слово Coupling розміщене вверху меню на екрані.

6.3. Перевірка функцій осцилографа

Для перевірки працездатності осцилографа пропонуємо виконати швидко функціональну перевірку:

1. Увімкніть прилад.

Увімкніть прилад і дочекайтесь завершення перевірок. Натисніть кнопку **STORAGE** (рис. 6.4), виберіть **Setups** вверху поля меню й натисніть **Factory** меню.

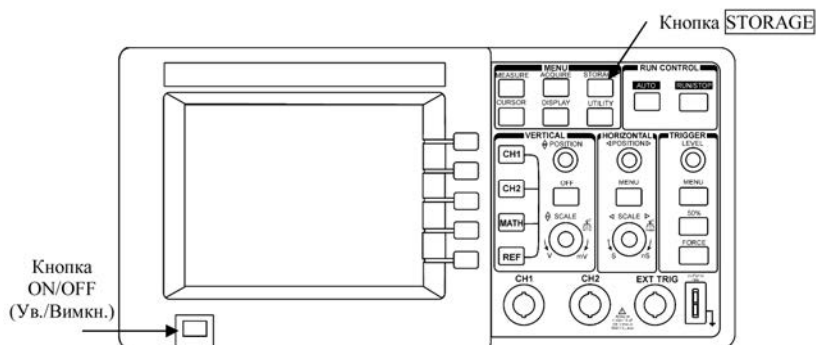


Рис. 6.4. Проведення функціональної перевірки

2. Подайте сигнал.

1 Встановіть на пробнику перемикач у положення 10X (рис. 6.5) і під'єднайте його до каналу 1 (роз'єм CH1) осцилографа (рис. 6.6).

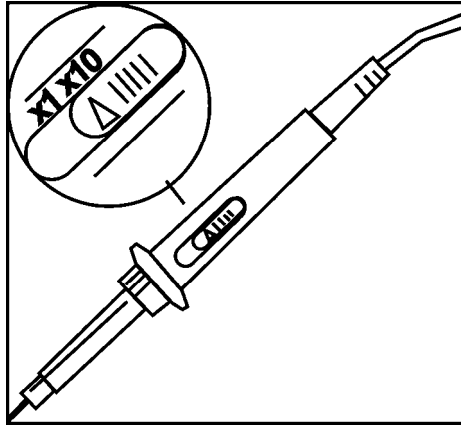


Рис. 6.5. Вибір величини загасання пробника

Під'єднайте наконечник пробника і вивід заземлення до роз'єму PROBE COMP (Компенсація пробників) (рис. 6.6).

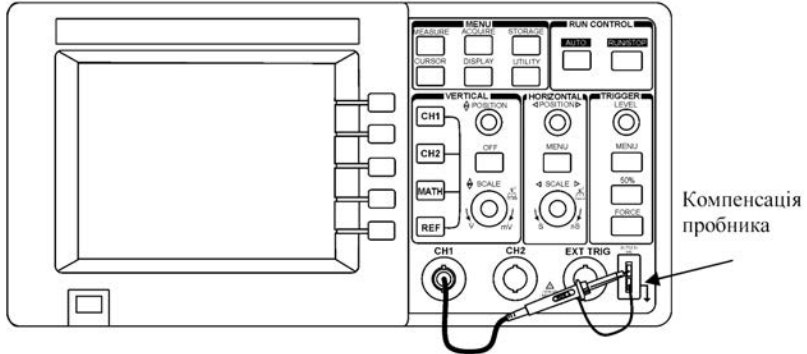


Рис. 6.6. Приєднання пробника до осцилографа

2 Встановіть на пробнику загасання 10X. Для цього натисніть **CH1** → **Probe** → 10X.

3 Натисніть кнопку **AUTO**. Через декілька секунд на екрані з'явиться меандр амплітудою 3 В і частотою 1 кГц.

4 Натисніть кнопку **OFF** для вимкнення каналу 1, а потім кнопку **CH2** для увімкнення каналу 2. Повторіть кроки 2 і 3.

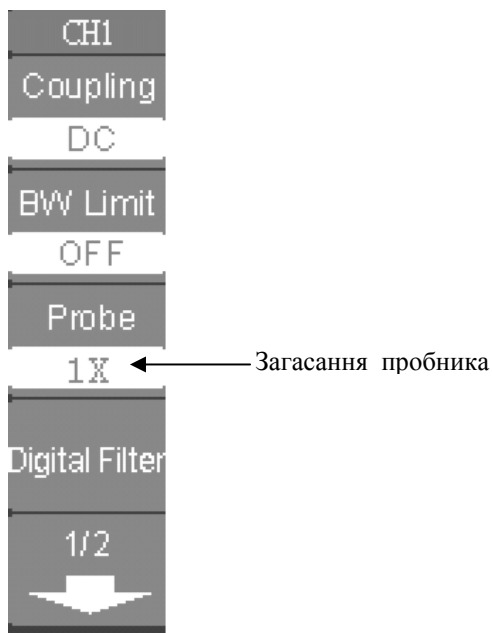


Рис. 6.7. Екранне меню перевірки функціонування осцилографа

ЗАУВАЖЕННЯ. Для збереження працездатності приладу максимальна вхідна напруга не повинна перевищувати 400 В, якщо вхідний опір становить 1 МОм, або 5 В для вхідного опору 50 Ом.

6.4. Компенсація пробника

Ця операція виконується для узгодження пробника з входом осцилографа. Проводити її рекомендується кожного разу, коли пробник під'єднують до каналу осцилографа.

1. У меню каналу 1 встановіть значення загасання пробника 10X. Встановіть на пробнику перемикач у положення 10X і під'єднайте його до каналу 1 осцилографа.

Під'єднайте наконечник пробника і вивід заземлення до роз'єму PROBE COMP (Компенсація пробників), ввімкніть 1, а потім натисніть **AUTO**.

2. Перевірте форму отриманого на екрані сигналу (рис. 6.8).

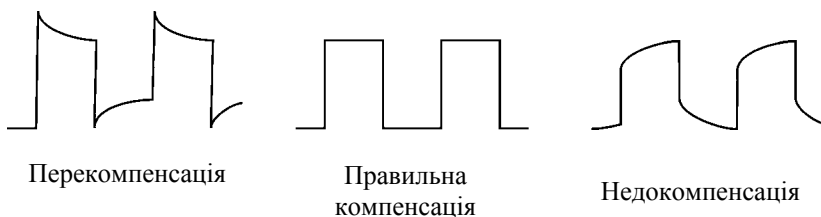


Рис. 6.8. Варіанти осцилограм під час виконання операції з узгодження пробника

3. Якщо необхідно, проведіть регулювання пробника (рис. 6.9).

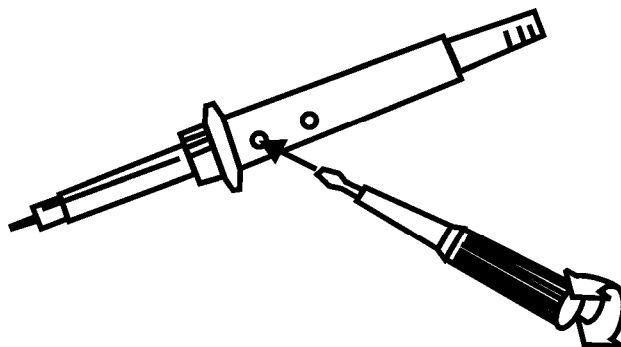


Рис. 6.9. Виконання операції регулювання пробника

4. За необхідності повторіть налаштування.

6.5. Режим автоматичного спостереження сигналу

Осцилограф має функцію автоустановок, яка забезпечує режим автоматичного настроювання осцилографа для оптимального спостереження сигналу. Цією функцією рекомендують користуватися, якщо частота сигналу ≥ 50 Гц. Функція автоустановок реалізується так:

1. Подайте сигнал на вхід каналу 1 осцилографа.
2. Натисніть **AUTO**. Після натискання кнопки **AUTO** осцилограф автоматично змінює установку передньої панелі, зокрема здійснюється автоматичне настроювання вертикального і горизонтального масштабів зображення, а також усіх параметрів синхронізації.

6.6. Настроювання вертикальної системи

На рис. 6.10 зображено кнопки вертикальної системи: кнопки вибору каналів CH1 і CH2, MATH (Математика), REF (Опорні сигнали) і ручки регулювання по вертикалі POSITION (Положення), SCALE (Масштаб). Для ознайомлення з функціями кнопок і ручок регулювання по вертикалі і рядком поточного стану пропонуємо виконати такі процедури.

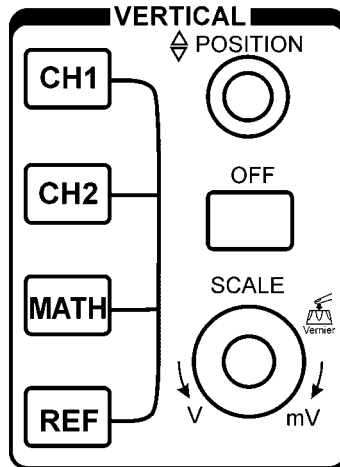


Рис. 6.10. Органи керування та регулювання вертикальної системи

1. Вирівнювання сигналу по центру екрана за допомогою ручки **POSITION** (Положення).

Ручка **POSITION** переміщує сигнал вертикально, вона відкалібрована. Звернемо увагу, що після повороту **POSITION** величина напруги фіксується упродовж порівняно короткого часу, вказуючи, як далеко початок відліку розміщений від центра екрана. Переконайтесь також, що точка відліку в лівій частині дисплея переміщається синхронно з поворотом ручки **POSITION**.

РЕКОМЕНДАЦІЯ: Якщо в канал подається сигнал постійного струму, то можна швидко виміряти його величину, просто відзначаючи його відстань від початку відліку. Якщо ж у канал подається сигнал змінного струму, то постійна складова сигналу блокується, що дає змогу використати більшу чутливість каналу, а отже, краще відобразити саме змінну складову.

2. Змінійте вертикальні настроювання і зверніть увагу, що кожна така зміна по-різному впливає на рядок поточного стану.

За рядком поточного стану на екрані можна швидко визначити стан вертикальних настроювань.

- Змінійте вертикальний масштаб ручкою **SCALE** (Масштаб) і зверніть увагу, що це викликає синхронні зміни рядка стану.

- Натисніть **CH1**. “М’яке” меню кнопки з’явиться на екрані й канал 1 вмикається (або залишається, якщо він уже увімкнений).

- Перемикайте кожен із п’яти “м’яких” кнопок і зауважте, яка кнопка змінює рядок стану на екрані. Канали 1 і 2 мають “м’яку” кнопку, яка дає змогу за допомогою ручки **SCALE** (Масштаб) змінювати вертикальний розмір кроку. Натисніть “м’яку” кнопку **Volts/Div**. Після цього можна змінювати розмір кроку, зменшуючи **Fine** (Точно) або збільшуючи **Coarse** (Грубо).

- Щоб вимкнути канал, натисніть **OFF**.

ЗАУВАЖЕННЯ. За допомогою кнопки **OFF** можна також вимкнути екранне меню.

РЕКОМЕНДАЦІЯ: Кнопка **Coarse/Fine** – кнопка швидкого вибору команд (без звернення до меню). Можна встановити Coarse/Fine (Грубо/Точно) вертикальне настроювання не лише в позиції Volts/Div меню **CH1** або **CH2**, а також натискаючи вертикальну ручку **SCALE**.

6.7. Настроювання горизонтальної системи

На рис. 6.11 показано кнопку меню і ручки регулювання горизонтальної системи. Рекомендується ознайомитись з цими органами керування, а також із відповідними змінами рядка поточного стану.

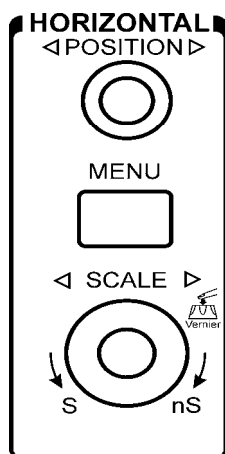


Рис. 6.11. Органи керування та регулювання горизонтальної системи

1. Поверніть ручку **SCALE (Масштаб) і зверніть увагу, які відбулися зміни в рядку поточного стану.**

Горизонтальна ручка **SCALE** (Масштаб) змінює швидкість розгортки в послідовності 1–2–5, і ці значення відображаються на екрані в рядку поточного стану.

ЗАУВАЖЕННЯ. Діапазон розгортки для осцилографів серії DS 5000 від 1 нс/Діл до 50 с/Діл. У режимі сканування із затримкою може досягати навіть 10 пс/Діл. Вказані характеристики для різних моделей осцилографів можуть відрізнятися.

РЕКОМЕНДАЦІЯ: Delayed Scan – кнопка швидкого вибору команд (без звернення до меню). Натискання ручки **SCALE** (Масштаб) у горизонтальній області настроювання на передній панелі – другий спосіб входу або виходу із режиму сканування із затримкою. Ця процедура еквівалентна таким операціям меню: **MENU** → **Delayed**.

2. Горизонтальна ручка POSITION (Положення) регулює горизонтальне положення сигналів.

3. Натисніть MENU (Меню) для відображення меню **TIME** (Час).

У цьому меню можна увійти або вийти із режиму розгортки із затримкою, встановити екран у формат Y-T або X-Y і встановити горизонтальною ручкою **POSITION** (Положення) осцилограф у режим **Trig-Offset** (Зміщення запуску) або **Holdoff** (Затримка).

РЕКОМЕНДАЦІЯ щодо настроювання горизонтального положення:

Trig-Offset (Зміщення запуску): За цієї установки позиція запуску змінюватиметься горизонтально, якщо повертати ручку **POSITION** (Положення).

Holdoff (Затримка): Коректують час затримки, повертаючи ручку **POSITION** (Положення).

6.8. Синхронізація осцилографа

На рис. 6.12 показано область настроювання синхронізації на передній панелі осцилографа, де розмішена ручка рівня і три “м’які” кнопки.

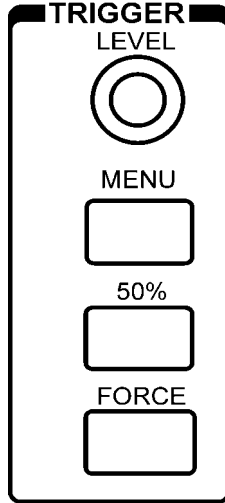


Рис. 6.12. Органи керування синхронізацією та її регулювання

1. Поверніть ручку LEVEL (Рівень) і зверніть увагу на зміни, які відбуваються на екрані.

Під час повертання ручки LEVEL (Рівень) або натискання кнопки меню 50 % впродовж короткого часу на екрані фіксується така інформація. Спочатку значення рівня запуску відображається в лівій нижній частині екрана. Якщо запуск від сигналу постійного струму, то відображається значення напруги. Якщо запуск від сигналу змінного струму або від низько-частотних компонент, то відображається як процент від діапазону запуску. Крім того, рядок на екрані показує місцезнаходження рівня запуску.

2. Змінійте настроювання синхронізації та зверніть увагу, що кожна така зміна по-різному впливає на рядок поточного стану.

Натисніть MENU (Меню) в області настроювання синхронізації. На екрані з'являться “м'які” кнопки, якими можна вибрати потрібні установки синхронізації (рис. 6.13).

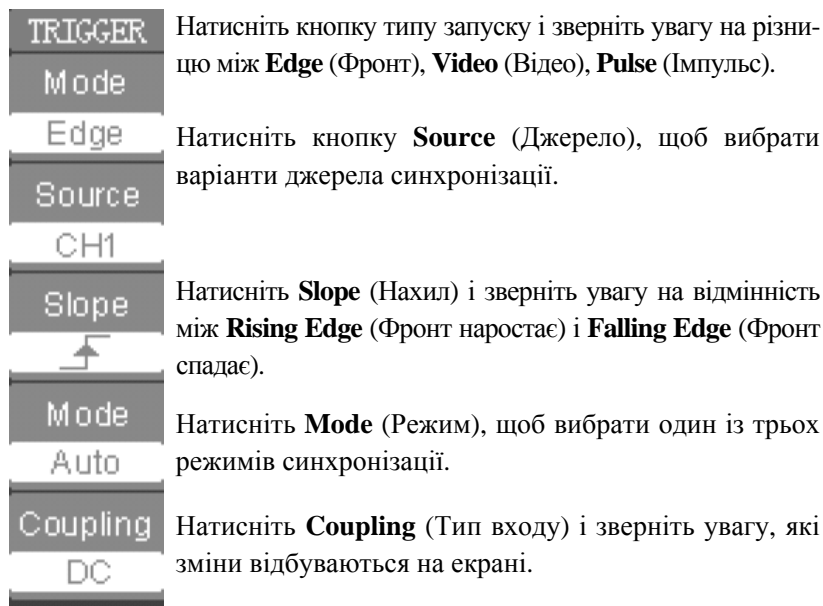


Рис. 6.13. Варіант екранного меню для вибору режимів синхронізації

3. Натисніть кнопку **50 %**.

Це керуюча кнопка, після натискання якої осцилограф встановлює рівень запуску посередині між піками сигналу синхронізації.

4. Натисніть **FORCE** (Форсований запуск).

Після натискання цієї кнопки збирання даних закінчується незалежно від сигналу синхронізації. Ця кнопка не діє, якщо реєстрація даних уже була зупинена.

6.9. Приклади використання осцилографа

Приклад 1. Потрібно швидко отримати зображення досліджуваного сигналу та виміряти частоту, період і амплітудне значення.

Для швидкого відображення сигналу виконайте такі дії:

1. Встановіть на пробнику і в каналі рівень загасання на 10X.
2. Подайте сигнал на канал 1 (CH1) за допомогою пробника.
3. Натисніть кнопку **AUTO**.

Параметри керування сигналом у цьому режимі роботи (вертикальні, горизонтальні й синхронізація) осцилограф встановить автоматично. Якщо необхідно оптимізувати зображення сигналу, параметри керування можна змінювати також вручну.

Вибір режиму автоматичних вимірювань

Для автоматичного вимірювання частоти сигналу, періоду, амплітуди виконайте такі дії:

1. Вимірювання амплітуди:

– Натисніть **MEASURE** → **Source** → **CH1**, щоб встановити джерело вимірювань.

– Натисніть **Voltage** → **Voltage/3**, щоб вибрати сторінку вимірювань

– Натисніть **Vpp** (Пікова амплітуда), щоб вибрати режим пікових вимірювань.

Результат вимірювання буде зафіксований на екрані.

2. Вимірювання частоти:

– Натисніть **Time** → **Time1/3**, щоб вибрати сторінку вимірювання.

– Натисніть **Freq**, щоб вибрати режим вимірювання частоти.

3. Вимірювання періоду:

– Натисніть **Time** → **Time1/3**, щоб вибрати сторінку вимірювання.

– Натисніть **Period**, щоб вибрати режим вимірювання періоду.

ЗАУВАЖЕННЯ. Результати вимірювання частоти, періоду та амплітуди відображаються на екрані й періодично оновлюються.

Приклад 2. Вимірювання затримки поширення сигналу під час проходження його через задану схему.

Спочатку встановіть на пробнику і в каналі загасання на 10X і під'єднайте вхідний сигнал до каналу 1 (CH1), а вихідний сигнал схеми до каналу 2 (CH2).

Виконайте такі дії:

1. Отримання зображення сигналів (CH1 та CH2):

– Натисніть **AUTO**.

– Для коректування вертикального й горизонтального масштабу використайте ручку **SCALE** (Масштаб) і встановіть необхідні діапазони на екрані.

– Натисніть **CH1** для вибору каналу 1. Повертаючи вертикальну ручку **POSITION** (Положення), скоректуйте вертикальне положення сигналу каналу 1.

– Натисніть **CH2** для вибору каналу 2. Повертаючи вертикальну ручку **POSITION** (Положення), скоректуйте вертикальне положення сигналу каналу 2.

2. Автоматичне вимірювання часу затримки сигналу:

– Натисніть **MEASURE** → **Source** → **CH1**, щоб вибрати джерело вимірювань.

– Натисніть **Time**, щоб вибрати вид вимірювань.

– Натисніть **Time3/3**, щоб вибрати сторінку вимірювань.

– Натисніть **Delay 1** → **2** \lceil , щоб відобразити результат на екрані (рис. 6.14).

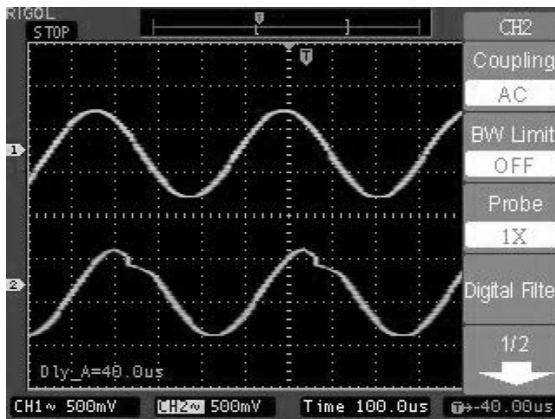


Рис. 6.14. Приклад вимірювання затримки сигналу

Приклад 3. Реєстрація одиничного сигналу.

Для настроювання осцилографа в режим реєстрації одиничного сигналу виконайте такі дії:

1. Подайте сигнал на вхід CH1 осцилографа.

2. Встановіть відповідний режим синхронізації, для цього:

- Натисніть кнопку **MENU** в області керування синхронізацією, щоб відобразити меню.

- Натисніть **Edge** (Фронт), щоб вибрати режим синхронізації.

- Натисніть **Slope** (Нахил) і виберіть **Rising** (Наростання).

- Натисніть **Source** (Джерело) і виберіть канал 1 (**CH1**).

- Натисніть **Mode** (Режим) і виберіть **Single** (Одиничний).

- Натисніть **Coupling** (Тип зв'язку) і виберіть **DC** (Постійний струм).

- Для коректування вертикального й горизонтального масштабів скористайтеся ручкою **SCALE** (Масштаб) і встановіть потрібні діапазони для сигналу.

- Повертаючи ручку **LEVEL** (Рівень), скоректуйте рівень синхронізації.

3. Натисніть **RUN/STOP** (Пуск/Стоп) для запуску режиму реєстрації.

Якщо режим синхронізації встановлено правильно, на екрані з'явиться зображення сигналу. Натисканням кнопки **RUN/STOP** (Пуск/Стоп) можна стерти зображення на екрані й повернути схему синхронізації в початковий стан.

Приклад 4. Виконання курсорних вимірювань

Для швидкого вимірювання характеристик сигналів за часом і амплітудою зручно використовувати курсори. Розглянемо варіант використання курсорів для дослідження переходного процесу.

Вимірювання частоти коливального перехідного процесу під час наростання фронту сигналу:

1. Натисніть кнопку **CURSOR** (Курсор) для відображення меню курсора.
2. Натисніть **Mode** (Режим) і виберіть режим Manual (Ручний).
3. Натисніть **Type** (Тип) і виберіть **Time** вимірювання часу.
4. Повертаючи вертикальну ручку **POSITION** (Положення), розмістіть курсор А на перший максимум (пік) коливального перехідного процесу (рис. 6.15).
5. Повертаючи вертикальну ручку **POSITION** (Положення), розмістіть курсор В на другий максимум (пік) коливального перехідного процесу (рис. 6.15).

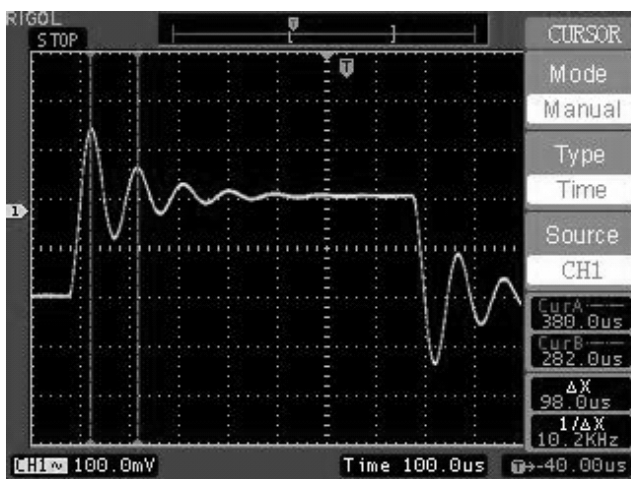


Рис. 6.15. Вимірювання частоти перехідного процесу за допомогою курсорів

У меню курсора можна побачити дельта-час і частоту коливального перехідного процесу.

Вимірювання амплітуди коливального перехідного процесу

Для вимірювання амплітуди виконайте такі дії:

1. Натисніть кнопку **CURSOR** (Курсор) для відображення меню курсора.

2. Натисніть **Mode** (Режим) і виберіть режим **Manual** (Ручний).

3. Натисніть **Type** (Тип) і виберіть **Voltage** (Напруга).

4. Повертаючи вертикальну ручку **POSITION** (Положення), розмістіть курсор А на найвищий пік коливального перехідного процесу (рис. 6.16).

5. Повертаючи вертикальну ручку **POSITION** (Положення), переведіть курсор В на найнижчий пік коливального перехідного процесу (рис. 6.16).

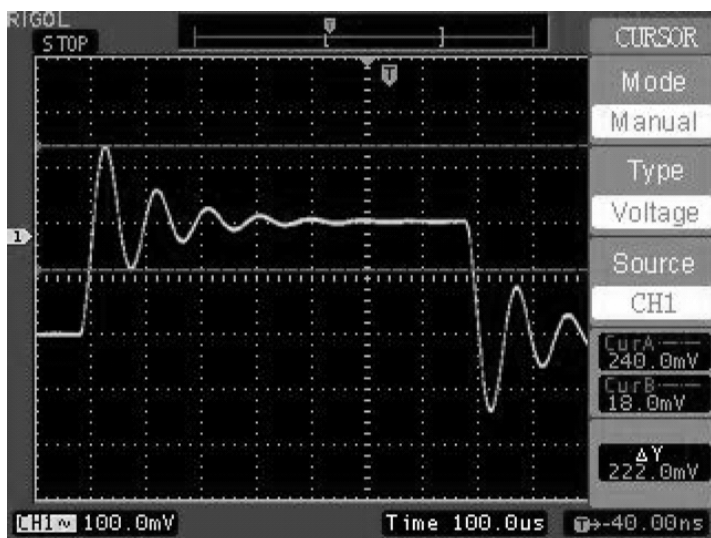


Рис. 6.16. Вимірювання амплітуди перехідного процесу за допомогою курсорів

У меню курсора будуть відображені результати таких вимірювань:

- Дельта-напруга (Пікова амплітуда коливального перехідного процесу).

- Напруга в точці курсора 1.

- Напруга в точці курсора 2.

Приклад 5. Використання формату X-Y.

Типовим прикладом використання такого формату є вимірювання зсуву фаз:

1. Встановіть загасання в меню пробника 10X. На пробнику встановіть перемикач у положення 10X.

2. Під'єднайте вхідний сигнал до каналу 1 (CH1), а вихідний сигнал до каналу 2 (CH2).

3. Якщо канали не відображені, то натисніть кнопки **CH1** і **CH2**.

4. Натисніть **AUTO**.

5. Поворотом вертикальної ручки **SCALE** встановіть однакову амплітуду сигналу на кожному каналі.

6. Натисніть **MENU** в області керування по горизонталі для відображення меню.

7. Натисніть “м’яку” кнопку **Time Base** (Масштаб часу) і виберіть формат X-Y.

Після виконання усіх дій на екрані з’явиться фігура Ліссажу.

8. Вертикальними ручками **SCALE** (Масштаб) і **POSITION** (Положення), якщо необхідно, скоректуйте зображення, щоб можна було правильно зафіксувати потрібні розміри.

9. За відповідними розмірами еліпса (рис. 6.17) обчисліть різницю за формулою

$$\theta = \pm \arcsin (A/B), \text{ або } \pm \arcsin (C/D).$$

Якщо основна вісь еліпса розміщена в I і III квадрантах, то різниця фаз θ лежить у діапазоні $(0 \sim \pi/2)$ або $(3\pi/2 \sim 2\pi)$. Якщо основна вісь буде в II і IV квадрантах, то θ – у межах $(\pi/2 \sim \pi)$ або $(\pi \sim 3\pi/2)$. Інші рекомендації з вимірювання фазових зсувів подано в наступному розділі.

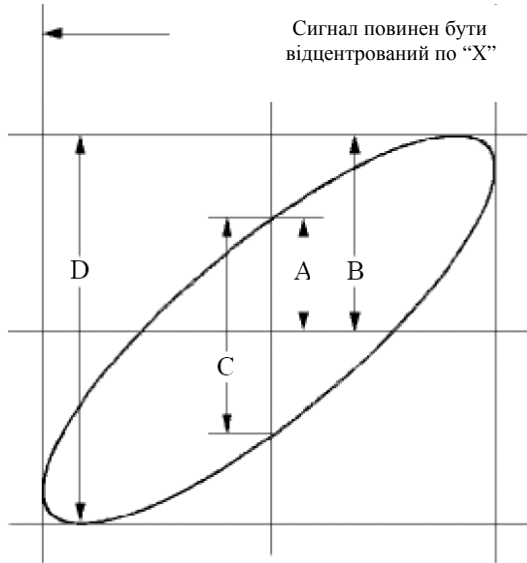


Рис. 6.17. Вигляд осцилограми в разі використання формату X-Y

Для детальнішого ознайомлення з іншими функціями осцилографа рекомендуємо скористатися інструкцією користувача.

7. ОСЦИЛОГРАФІЧНІ МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

7.1. Вимірювання напруг

Сигнал подається на вхід осцилографа, позначений $\text{---}\oplus$.

Перемикач коефіцієнта відхилення встановлюється у положення, за якого амплітуда сигналу максимальна і зображення міститься у межах робочої частини екрана. Для одержання стійкого зображення встановлюється відповідний рівень синхронізації. Положення перемикача коефіцієнта розгортки вибирають таким, щоб на екрані ЕПТ спостерігалось декілька періодів сигналу. Ручки “ \updownarrow ” і “ \leftrightarrow ” поставити в положення, за якого мінімальний рівень сигналу збігається з нижньою лінією сітки, а один з максимумів – з центральною вертикальною лінією (рис. 7.1). Ручка плавного регулювання коефіцієнта відхилення повинна бути в крайньому правому положенні. Для визначення напруги необхідно відстань між розмаховими точками зображення помножити на встановлене значення коефіцієнта відхилення. Використовуючи виносний подільник, треба враховувати зменшення ним сигналу.

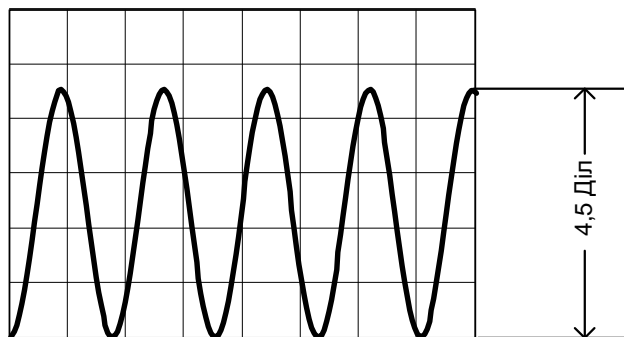


Рис. 7.1. Вимірювання змінної напруги

Приклад: розмах вертикального відхилення 4,5 поділки, виносний подільник має коефіцієнт ділення 1:10, перемикач коефіцієнта відхилення у положенні 0,1. Амплітудне значення напруги: $(4,5 \text{ Діл} : 2) \times 10 \times 0,1 \text{ В} / \text{Діл} = 2,25 \text{ В}$.

Під час вимірювання постійної напруги режим роботи генератора розгортки повинен бути автоматичним. Ручкою “↑” встановити нульову лінію на одну з крайніх горизонтальних ліній шкали з урахуванням полярності. Коефіцієнт відхилення повинен бути таким, щоб промінь прописував лінію у межах екрана. Далі процес вимірювання такий, як і під час вимірювання змінної напруги (рис. 7.2).

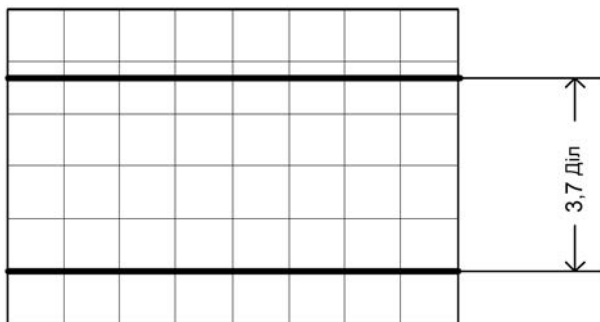


Рис. 7.2. Вимірювання постійної напруги

Підвищити точність вимірювання напруги можливо, використавши компенсаційний метод. Цей метод реалізується за наявності осцилографа з диференціальним входом. На перший вхід Y_1 подається досліджувана напруга. На другий (інвертуючий) вхід Y_2 подається постійна опорна напруга від регульованого джерела. Ця напруга контролюється цифровим вольтметром або іншим вимірювальним пристроєм. Зміною опорної напруги переміщують по вертикалі сигнал відносно вибраного рівня від мінімуму до максимуму. Різниця значень опорної напруги дорівнює розмаху сигналу.

Метод порівняння досліджуваної напруги зі зразковою реалізовано у деяких осцилографіях вітчизняного і зарубіжного виробництва (наприклад, СІ-108 і 7854 фірми Tektronix). У цих осцилографіях за допомогою електронних комутаторів на екрані разом із сигналом формуються дві яскраві мітки, положення яких у межах екрана може незалежно змінювати оператор. Відстань між мітками по вертикалі відповідає певній нарузі. Процес вимірювання зводиться до розміщення міток у необхідних місцях зображення сигналу і проведення відліку напруги. Методом порівняння напруг можна зменшити похибку вимірювання до $1 \div 2$ %.

7.2. Вимірювання різниці фаз

Виміряти різницю фаз двох сигналів однієї частоти можна, використовуючи двоканальний режим однопроменевого осцилографа або двопробеневи осцилограф. Цим методом можна скористатись у діапазоні частот, який відповідає смузі пропускання каналу Y.

Опорний сигнал подається на вхід каналу I, а досліджуваний сигнал – на вхід каналу II (рис. 7.3). Генератор розгортки переводиться в автоматичний режим з внутрішньою синхронізацією. Для під'єднання сигналів до осцилографа використовують кабелі з однаковим часом затримки. Ручками “↑” зображення сигналів розташовують симетрично до горизонтальної лінії. Вимірюється різниця по горизонталі між відповідними точками сигналу в поділках шкали (рис. 7.4). Фазовий зсув визначають за формулою

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{|a-b|}{|a-c|} \cdot 360^\circ.$$

Похибка вимірювання різниці фаз таким методом ± 10 %.

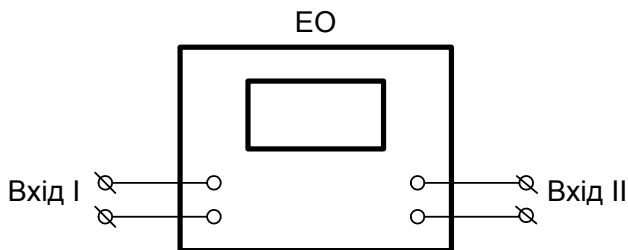


Рис. 7.3. Схема вимірювання різниці фаз двоканальним осцилографом

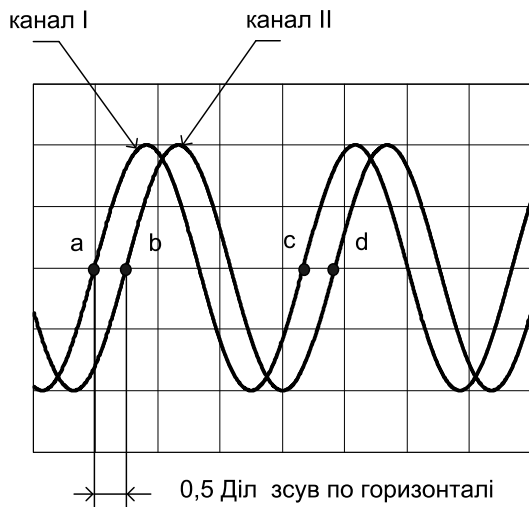


Рис. 7.4. Вимірювання різниці фаз двох напруг

Метод вимірювання різниці фаз X-Y може використовуватись для визначення фазової різниці двох сигналів на частотах до 100 кГц (рис. 7.5). У такому разі один із синусоїдальних сигналів забезпечує горизонтальне відхилення променя, а другий сигнал – вертикальне. Величину фазового зсуву визначають за фігурами Ліссажу (рис. 7.6)

$$\varphi = \arcsin \frac{A}{B}$$

або

$$\varphi = \arctg \frac{a}{b}$$

Для точнішого визначення фазової різниці необхідно врахувати власний фазовий зсув підсилювачів X і Y φ_0 . Тоді

$$U_1(t) = U \cos(\omega t + \varphi_1)$$

або

$$U_2(t) = U \cos(\omega t + \varphi_2)$$

$$\varphi = \arcsin \frac{A}{B} - \varphi_0$$

або

$$\varphi = 2\arctg \frac{a}{b} - \varphi_0$$

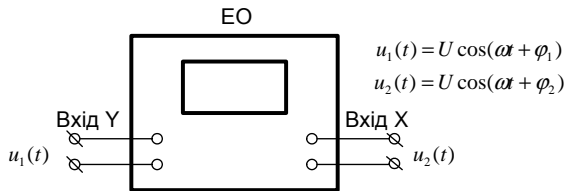


Рис. 7.5. Схема вимірювання різниці фаз

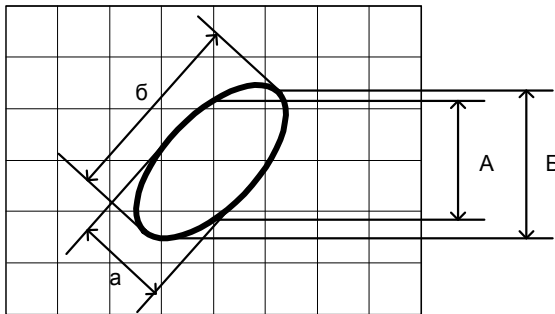


Рис. 7.6. Фігура Ліссажу під час вимірювання різниці фаз X-Y

У більшості сучасних осцилографів власний фазовий зсув підсилювачів X і Y не перевищує декількох градусів, тому в розрахунках беруть $\varphi_0=2^0$.

7.3. Вимірювання часових інтервалів

Вимірювання часових інтервалів передбачає вимірювання тривалості імпульсів або окремих їх частин, періоду, часового інтервалу між імпульсами тощо.

Вимірювання часових інтервалів проводиться як за внутрішньої, так і за зовнішньої синхронізації, у режимах автоматичної та чекаючої розгортки. Перемикач коефіцієнта відхилення встановлюється у таке положення, коли зображення сигналу максимальне і міститься у межах екрана. Після цього встановлюють відповідний коефіцієнт розгортки і синхронізацію. Вимірюється відстань між точками зображення a і b (рис. 7.7). Для знаходження часового інтервалу відстань між точками a і b необхідно помножити на встановлений коефіцієнт розгортки. Згідно з рис. 7.7, якщо $K_p=0,1$ мс/Діл

$$\tau = 5 \text{ Діл} \cdot 0,1 \frac{\text{мс}}{\text{Діл}} = 0,5 \text{ мс.}$$

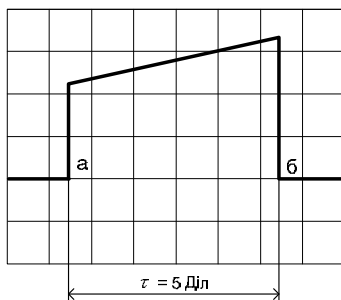


Рис. 7.7. Вимірювання часового інтервалу між двома точками сигналу

Ручка плавного регулювання тривалості розгортки при цьому повинна бути у крайньому правому положенні.

У двоканальних осцилографах із затримкою розгортки є можливість виділити підсвічену ділянку сигналу для детальнішого його вивчення (рис. 7.8).

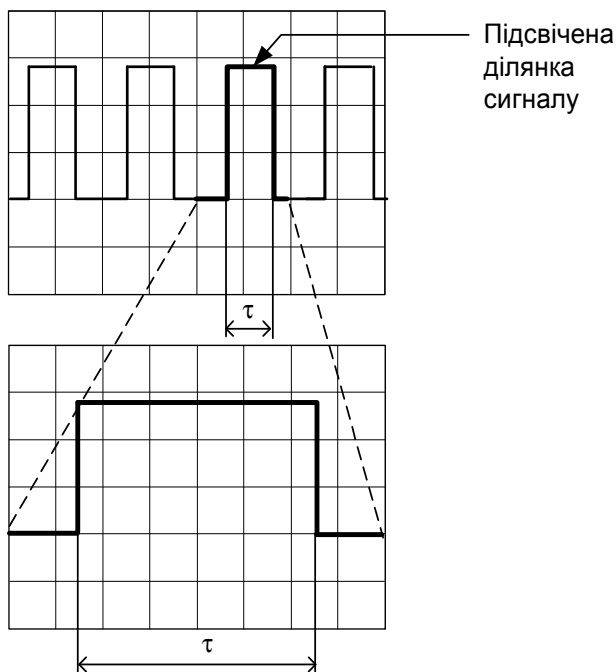


Рис. 7.8. Вимірювання часового інтервалу з розтягненням підсвіченої ділянки

7.4. Вимірювання параметрів імпульсів

Нормованими параметрами імпульсу, які підлягають вимірюванню за допомогою електронного осцилографа, є (рис. 7.9):

τ_{ϕ} – тривалість переднього фронту імпульсу – інтервал часу, протягом якого напруга зростає з 0,1 до 0,9 встановленої величини;

τ_3 – тривалість заднього фронту імпульсу (тривалість зрізу) – інтервал часу, упродовж якого напруга знижується з 0,9 до 0,1 встановленої величини;

τ_i – тривалість імпульсу, визначається на рівні 0,5 встановленої величини;

δ – нерівномірність вершини, визначається співвідношенням

$$\delta = \frac{h_g}{U},$$

де U – номінальна величина імпульсу.

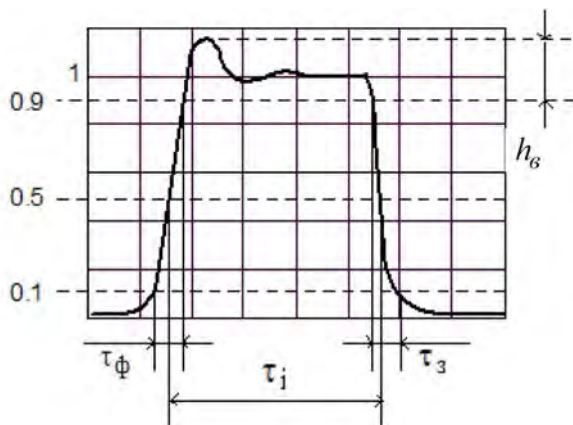


Рис. 7.9. Вимірювання параметрів імпульсу

Під час дослідження коротких імпульсів треба враховувати, що тривалість фронту τ_ϕ визначається через виміряну осцилографом величину τ_g таким співвідношенням:

$$\tau_\phi \cong \sqrt{\tau_g^2 - \tau_n^2},$$

де τ_n – передній фронт перехідної характеристики каналу Y осцилографа.

7.5. Вимірювання частоти періодичного сигналу

Для вимірювання частоти періодичного сигналу використовують одно- або двоканальні осцилографи з каліброваними або некаліброваними тривалостями розгортки.

У першому випадку, тобто коли коефіцієнти розгортки калібровані, частота f_c визначається як величина, обернена до періоду T_c , який вимірюють за методом вимірювання часових інтервалів.

У випадку використання осцилографів з некаліброваними розгортками або за необхідності визначення частоти сигналу з вищою точністю вимірювання проводять за допомогою додаткового джерела каліброваної за частотою напруги. При цьому можливі такі варіанти.

Частоту f_c за лінійної розгортки вимірюють модуляцією променя ЕПТ за яскравістю за допомогою зовнішнього генератора, який генерує напругу з частотою $f_{кн} > f_c$ (рис. 7.10). Зображення періоду сигналу T_c складається з n міток. Тоді

$$f_c = \frac{f_{кн}}{n}; T_c = nt.$$

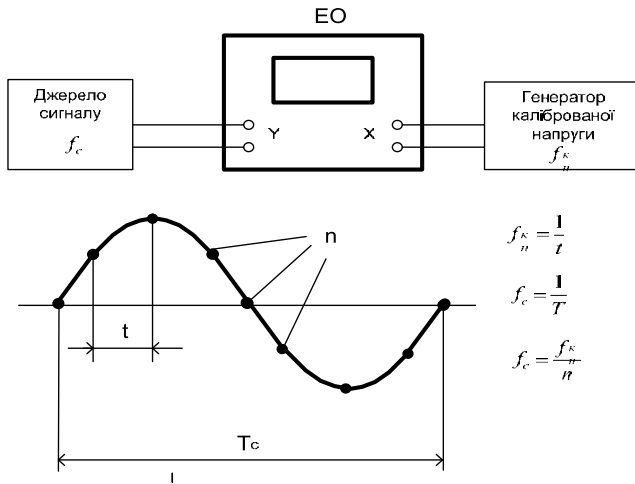


Рис. 7.10. Вимірювання частоти з використанням лінійної розгортки і модуляції променя за яскравістю

Вимірювання частоти f_c за синусоїдальної розгортки передбачає створення за допомогою фазозсувної ланки колоподібної або еліпсоподібної розгортки (рис. 7.11). Напругою зовнішнього генератора здійснюється модуляція променя з частотою $f_{кн}$.

$$\text{Якщо } f_c < f_{кн}, \text{ то } f_c = \frac{f_{кн}}{n}.$$

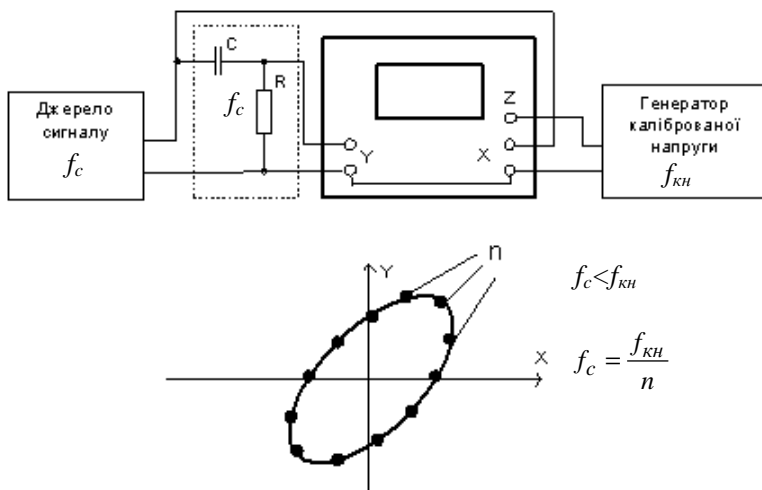


Рис. 7.11. Вимірювання частоти з використанням синусоїдальної (колової) розгортки

7.6. Вимірювання коефіцієнта амплітудної модуляції

Вимірювання коефіцієнта амплітудної модуляції m проводять за допомогою відліку максимального і мінімального розміру зображення амплітудно-модульованого сигналу безпосередньо у поділках шкали (рис. 7.12), користуючись формулою

$$m = \left| \frac{A - B}{A + B} \right| \cdot 100 \%.$$

Для вимірювання коефіцієнта амплітудної модуляції можна користуватись і синусоїдальною розгорткою. Для цього вмикають генератор розгортки осцилографа, а на його вхід X подають модулюючу напругу. На екрані осцилографа виникає зображення у вигляді трапеції (рис. 7.13), за яким і визначають величини А і Б.

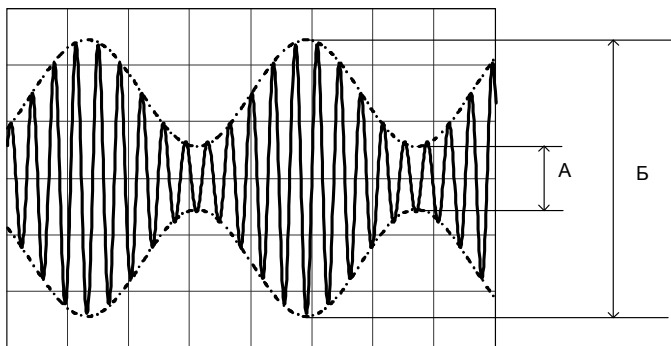


Рис. 7.12. Визначення коефіцієнта модуляції m амплітудно-модульованого сигналу, якщо розгортка осцилографа лінійна

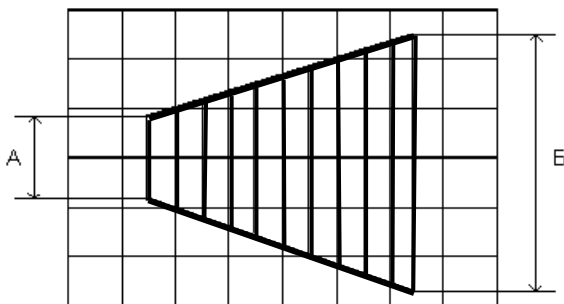


Рис. 7.13. Визначення коефіцієнта модуляції m амплітудно-модульованого сигналу, якщо розгортка осцилографа синусоїдальна

8. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИБОРУ ОСЦИЛОГРАФА

Наведені у технічній документації характеристики електронних осцилографів дають змогу оптимально вибрати прилад залежно від специфіки поставлених завдань, умов експлуатації та інших вимог, які необхідно враховувати під час організації досліджень. Спершу визначають електричні характеристики, зважаючи на їх відповідність параметрам сигналу, забезпечення необхідної точності відтворення на екрані й кількісної оцінки форми.

Однією з основних причин похибки відтворення форми досліджуваного сигналу є лінійні спотворення, що визначаються параметрами перехідної характеристики (ПХ) та амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) каналу Y .

Тому під час вибору осцилографа доцільно враховувати такі рекомендації: перехідна характеристика каналу осцилографа повинна характеризуватись часом зростання τ_n , у п'ять разів меншим від фронту дзвоноподібного імпульсу, в десять разів – трикутного імпульсу, в чотири рази – трапецеїдального імпульсу. Тоді похибка відтворення амплітуди, часу зростання напруги і тривалості імпульсного сигналу не перевищить $1 \div 2$ %.

Нерівномірність АЧХ каналу Y безпосередньо впливає на точність вимірювання напруги синусоїдального сигналу. Тому, якщо потрібно визначити за допомогою електронного осцилографа напругу синусоїдального сигналу, використовують такий прилад, щоб частота сигналу не виходила за межі смуги пропускання каналу Y . Для забезпечення при цьому мінімальної похибки необхідно, щоб частота сигналу була у межах смуги частот, для якої спад АЧХ не перевищує похибки коефіцієнта відхилення. Ця умова виконується, якщо верхня частота смуги пропускання f_s каналу Y осцилографа у п'ять разів більша від частоти сигналу.

Досліджуючи сигнали малих рівнів, осцилограф вибирають за мінімальним коефіцієнтом відхилення, найменшим розміром зображення по вертикалі, для якого ще гарантується допустима

похибка вимірювання, рівнем власних шумів каналу Y та дрейфом нульової лінії по вертикалі. Якщо напруга сигналу велика, враховується максимальний коефіцієнт відхилення і допустима напруга, яка може бути подана на вхід каналу Y. Сума постійної напруги і розмаху змінної напруги не повинна перевищувати допустиму вхідну напругу для вибраного типу осцилографа.

Діапазон зміни каліброваних коефіцієнтів розгортки повинен забезпечити для усіх досліджуваних часових інтервалів розмір зображення по горизонталі, що гарантує необхідну точність вимірювання.

Вибираючи осцилограф для дослідження коротких імпульсів з великим періодом, необхідно враховувати мінімальну частоту розгортки, на якій забезпечується достатня яскравість зображення.

Якщо на екрані ЕПТ необхідно спостерігати передній фронт імпульсу, треба підбирати осцилограф з відповідною затримкою сигналу в каналі Y.

Щоб зменшити вплив осцилографа на досліджуваний пристрій, необхідно забезпечити малу вхідну ємність і великий опір каналу Y. Для цього краще використовувати осцилографи з виносними подільниками.

У деяких випадках осцилограф необхідно приєднувати до досліджуваного об'єкта, забезпечуючи узгодження хвильових опорів. Для цього доцільно використовувати осцилографи, які мають узгоджені низькоомні входи або спеціальні кабелі з узгоджувальним навантаженням.

Істотно ширші технічні та функціональні можливості сучасних цифрових осцилографів. Вибір цих засобів вимірювань для дослідження сигналів дає змогу отримати якісніше зображення, запам'ятати його, виділити та детально розглянути окремі ділянки зображення, повніше реалізувати принцип автоматизації процесів вимірювання, застосувати для дослідження та аналізу сигналів обчислювальну техніку тощо. Вказані переваги сприяють усе ширшому практичному використанню саме цифрових осцилографів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

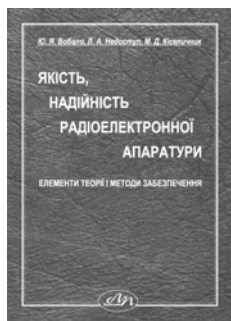
1. Найденов А. И. Электронно-лучевые осциллографы / А. И. Найденов, В. А. Новополюський. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 232 с.
2. Гейратс В.Ю. Осциллограф с программным управлением / В.Ю Гейратс, Д. Толлмен // Электроника. – 1988. – № 6. – С. 28–41.
3. Ризенман М. Цифровые осциллографы – конкуренты аналоговых приборов (обзор) / М. Ризенман // Электроника. – 1988. – № 6. – С. 56–65.
4. Недоступ Л.А. Осцилографи і осцилографічні методи вимірювання: навч. посіб. / Л.А. Недоступ, М.Д. Кіселичник. – К.: ІСД ВО, 2003. – 43 с.
5. Victor J. Hansen. Digital Bandpass oscilloscope / United States Patent, 4,802,098. Jan. 31, 1989.
6. Дорожовець М. Основи метрології та вимірювальної техніки: підручник: у 2 т. / М. Дорожовець, В. Мотало, Б. Стадник, В. Василюк, Р. Борек, А. Ковальчик; за ред. Б. Стадника. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2005. – Т. 2. Вимірювальна техніка. – 656 с.

ЗМІСТ

Передмова	3
1. Класифікація осцилографів	4
2. Основні технічні характеристики осцилографів	6
3. Електронно-променеві трубки	9
3.1. Загальні відомості	9
3.2. Запам'ятовуючі електронно-променеві трубки.....	13
3.3. Електронно-променеві трубки з розподіленою системою відхилення	15
4. Структурні схеми осцилографів	17
4.1. Загальні відомості	17
4.2. Двоканальні осцилографи	22
4.3. Осцилографи з автоматизацією процесу керування.....	24
4.4. Стробоскопічні осцилографи	27
4.5. Цифрові осцилографи	30
4.6. Запам'ятовуючі осцилографи	33
5. Двоканальний осцилограф MOS-620FG	35
5.1. Основні технічні характеристики осцилографа	35
5.2. Органи керування та регулювання, їх призначення	36
5.3. Підготовка приладу до роботи.....	41
5.4. Практичні рекомендації з використання осцилографа.....	45
6. Цифровий запам'ятовуючий осцилограф DS 5152 CA.....	49
6.1. Основні технічні характеристики осцилографа DS 5152 CA	50
6.2. Передня панель осцилографа та інтерфейс користувача ...	50
6.3. Перевірка функцій осцилографа.....	53
6.4. Компенсація пробника.....	55
6.5. Режим автоматичного спостереження сигналу.....	57

6.6. Настроювання вертикальної системи	57
6.7. Настроювання горизонтальної системи	59
6.8. Синхронізація осцилографа.....	60
6.9. Приклади використання осцилографа.....	62
7. Осцилографічні методи вимірювання фізичних величин.....	70
7.1. Вимірювання напруг	70
7.2. Вимірювання різниці фаз.....	72
7.3. Вимірювання часових інтервалів.....	75
7.4. Вимірювання параметрів імпульсів.....	76
7.5. Вимірювання частоти періодичного сигналу	78
7.6. Вимірювання коефіцієнта амплітудної модуляції.....	79
8. Рекомендації щодо вибору осцилографа.....	81
Список літератури	83

Книги для навчання і роботи!



За ред. Л. А. Недоступа
**ЯКІСТЬ, НАДІЙНІСТЬ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ
АПАРАТУРИ. ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ І МЕТОДИ
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

Монографія. – 2013. – 196 с.
ISBN 978-617-607-481-6

Розглянуто системний підхід до підвищення ефективності процесів забезпечення якості та надійності радіоелектронної апаратури. За результатами проведених досліджень розроблено елементи теорії комплексної оптимізації цих процесів з використанням функціональних і економічних критеріїв і наскрізних математичних моделей. Викладено особливості формування і моделювання потоків виробничих дефектів і їх перетворення на потоки відмов апаратури в процесі експлуатації.

Книга може бути корисною для студентів старших курсів як навчальний посібник, а також для широкого кола спеціалістів, які займаються питаннями забезпечення якості та надійності радіоелектронної апаратури та інших видів техніки.



За ред. проф. Ю. Я. Бобала, проф. Б. А. Мандзія
**МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ АНАЛІЗУ
ЕЛЕКТРОННИХ КІЛ**

Навчальний посібник. – 2013. – 320 с.
ISBN 978-617-607-355-0

Розглянуто основні поняття теорії та математичні моделі радіоелектронних кіл, математичні моделі зовнішньої дії на електронне коло, лінійні кола з постійними параметрами, нелінійні кола та лінійні кола з розподіленими параметрами.

Для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються на базових напрямках, пов'язаних з обробленням та пересиланням інформації, поданої у вигляді електричних сигналів.

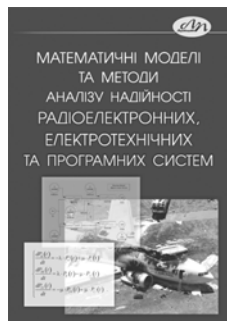
Рекомендувало Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів базових напрямів “Радіотехніка”, “Електронні апарати”, “Телекомунікації”, “Електроніка”, “Комп’ютерні науки”, “Лазерна та оптоелектронна техніка”.

Бобало Ю. Я. та ін.
МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ АНАЛІЗУ
НАДІЙНОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ,
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ТА ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ

Монографія. – 2013. – 300 с.
ISBN 978-617-607-468-7

Висвітлено питання, які стосуються оцінки показників надійності складних радіоелектронних та електротехнічних систем, а також надійності програмного забезпечення, що є складовою сучасних програмно-апаратних систем. Основну увагу звернуто на початковий етап життєвого циклу технічних систем, на якому розробник визначає концепцію забезпечення їх надійності.

Монографія становить інтерес для розробників відповідних технічних систем, наукових працівників, аспірантів, які займаються питаннями забезпечення та прогнозування надійності, а також для студентів, які готуються до майбутньої професійної діяльності у сфері надійнісного проектування.



Бобало Ю. Я. та ін.
ОСНОВИ ТЕОРІЇ ЕЛЕКТРОННИХ КІЛ

Підручник – 2008. – 332 с.
ISBN 978-966-553-815-8

Висвітлено основні поняття теорії сигналів, розкрито базові положення теорії електричних кіл, описано їхні компоненти. Значну увагу приділено аналізу електронних кіл, а також перетворенням сигналів в електронних колах.

Видання охоплює всі три види занять з теорії електронних кіл. Кожний розділ закінчується питаннями для самоконтролю, прикладами розв'язання типових задач та задачами для самостійного розв'язування.

Додано електронний підручник, який ґрунтується на двох попередніх виданнях. Він містить три частини, перша з яких значною мірою повторює попередні видання, а дві інші – дають студентіві змогу здійснити комп'ютерну самооцінку отриманих знань, а також підготуватись до виконання лабораторних робіт.

Для студентів ВНЗ III–IV рівнів акредитації, які навчаються на базових напрямках “Комп'ютерні науки”, “Мікро- та наноелектроніка”, “Електронні пристрої та системи”, “Оптоелектроніка” тощо і вивчають курс “Основи теорії електронних кіл” або подібні курси.

Затверджено Міністерством освіти і науки України.



Видавництво Львівської політехніки

вул. Ф. Колесси, 2, корп. 23 А, м. Львів, 79000
тел. +380 32 2582146, факс +380 32 2582136, <http://vlp.com.ua>, vmr@vlp.com.ua



НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Бобало Юрій Ярославович
Недоступ Леонід Аврамович
Кіселичник Мирослав Дмитрович
Надобко Олег Васильович

**ОСЦИЛОГРАФИ
ТА МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ
РАДІОТЕХНІЧНИХ ВЕЛИЧИН**

Редактор Оксана Чернигевич
Коректор Наталія Колтун
Технічний редактор Лілія Саламін
Комп'ютерне верстання Марти Гарасимів
Художник-дизайнер Анна Христонько

Здано у видавництво 16.01.2014. Підписано до друку 12.02.2014.
Формат 60×84¹/₁₆. Папір офсетний. Друк офсетний.
Умовн. друк. арк. 5,12. Обл.-вид. арк. 4,60.
Наклад 200 прим. Зам. 140013.

Видавець і виготівник: Видавництво Львівської політехніки
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4459 від 27.12.2012 р.

вул. Ф. Колесси, 2, Львів, 79000
тел. +380 32 2582146, факс +380 32 2582136
vlp.com.ua, ел. пошта: vnr@vlp.com.ua