

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**(Київський політехнічний інститут)**  
**Кафедра електронних приладів та пристроїв**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**  
**ЩОДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З ДИСЦИПЛІНИ**  
**“ЕЛЕКТРОНІКА ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ. ЕЛЕКТРОННО-**  
**ПРОМЕНЕВІ ПРИЛАДИ ТА ПРИСТРОЇ”**

для студентів спеціальності  
6.05080201 «Електронні прилади та пристрої»  
усіх форм навчання

Київ-2014

Електроніка перетворювальних систем. Електронно-променеві прилади та пристрої [Текст]: метод. рекомендації щодо викон. лаборатор. робіт для студ. спеціальності 6.05080201 «Електронні прилади та пристрої» усіх форм навчання / Уклад. О.В.Терлецький. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 55 с.

*Гриф надано Методичною радою факультету електроніки НТУУ «КПІ»  
(Протокол № від 26.05. 2014 р.)*

Навчальне видання

**Електроніка перетворювальних систем. Електронно-променеві  
прилади та пристрої**

**Методичні рекомендації**

щодо виконання лабораторних робіт

для студентів спеціальності

6.05080201 «Електронні прилади та пристрої»

усіх форм навчання

Укладач: *О.В. Терлецький, канд. техн. наук., доц.*

Відповідальний  
редактор: *Л.Д. Писаренко, д-р. техн. наук., проф.*

Рецензент: *В.С. Лазебний, канд. техн. наук., доц.*

## ЗМІСТ

	Стор
Вступ	4
1. Лабораторна робота № 1. Дослідження частотних характеристик осцилографічних електронно-променевих приладів.....	4
2. Лабораторна робота №2. Дослідження процесів формування електронним променем потенціального рельєфу на діелектричних мішенях електронно-променевих приладів.....	13
3. Лабораторна робота №3. Дослідження електричних і світлотехнічних параметрів осцилографічних електронно-променевих приладів.....	29
4. Лабораторна робота №4. Дослідження просторово-частотної характеристики передавального електронно-променевого приладу відіконного типу.....	41
Список літератури.....	55

## **Вступ**

Електроніка, яка є нині однією з найпотужніших галузей промисловості, у вирішальній мірі визначає темпи науково-технічного прогресу. Розвиток електронної промисловості безпосередньо пов'язаний з виробництвом нових електронних приладів, створенням і вдосконаленням сучасних технологій, серед яких важливе місце займають електронно-променеві прилади і пристрої.

Електронно-променеві прилади і пристрої, використовувані для перетворення і відображення інформації, знаходять широке застосування в різних галузях науки і техніки: радіолокації, медицині, телебаченні, астрономії, зв'язку, космічній техніці, ядерній фізиці, електронній мікроскопії і так далі. Крім того, впродовж декількох останніх десятиліть сформувалася ще одна самостійна область - електронно-променева технологія. У цій новій області електронні пучки безпосередньо використовуються для здійснення технологічних процесів. Можливості застосування електронно-променевої технології простягаються від отримання субмікронних структур в мікроелектроніці до виплавки великих злитків в металургії.

Курс "Електронно-променеві прилади і пристрої" має на меті розширити професійну підготовку студентів в області розробки і практичного застосування електронних приладів і пристроїв, принцип дії яких заснований на формуванні електронних пучків і взаємодії їх з поверхнею приймача електронів. В цьому плані цикл лабораторних робіт направлений на закріплення та поглиблення теоретичних знань відносно конструктивних особливостей та принципів дії електронно-променевих приладів та пристроїв, набуття студентами практичних навичок роботи з приладами та пристроями даного типу, експериментального вимірювання їх основних параметрів та характеристик з застосуванням сучасних методик та вимірювального обладнання.

## 1. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

**Тема:** Дослідження частотних характеристик осцилографічних електронно-променевих приладів.

**Мета роботи:** ознайомитися з конструктивними особливостями осцилографічних ЕПП, призначених для дослідження високочастотних періодичних електричних сигналів, та методикою вимірювання їх частотних характеристик.

### 1.1. Теоретичні положення.

#### 1.1.1. Осцилографічні електронно-променеві прилади з бланкувальними пластинами.

Осцилографічні ЕПП призначені для графічного представлення форми електричних сигналів та вимірювання їх параметрів. Принцип роботи осцилографічних ЕПП полягає в наступному. Вхідний електричний сигнал, що досліджується, подають на вертикальні відхиляючі пластини осцилографічного ЕПП. На горизонтальні відхиляючі пластини осцилографічного ЕПП подається періодична пилкоподібна напруга горизонтальної розгортки, яка синхронізована з частотою вхідного сигналу, що досліджується. Відповідно до пилкоподібної відхиляючої напруги, прикладеної до горизонтальних відхиляючих пластин, електронний пучок зміщується по екрану зліва направо (зі сторони спостерігача) з постійною швидкістю, а потім швидко повертається в початкове положення. На прямому ході горизонтальної розгортки електронний промінь відхиляється у вертикальному напрямі відповідно до амплітуди вхідного сигналу, що досліджується. При цьому на екрані осцилографічного ЕПП електронний промінь періодично відтворює форму вхідного сигналу, що досліджується.

Прямий хід розгортки електронного променя є інформаційний (відтворюється форма вхідного сигналу), а зворотній хід розгортки електронного променя гасять, щоб не створювати зайве світіння екрана. Для

цього на модулятор (або на катод) електронного прожектора подають запираючий імпульс тривалістю, яка дорівнює часу зворотного ходу електронного променя. У звичайних осцилографічних трубках амплітуда імпульсу запирання складає -150В.

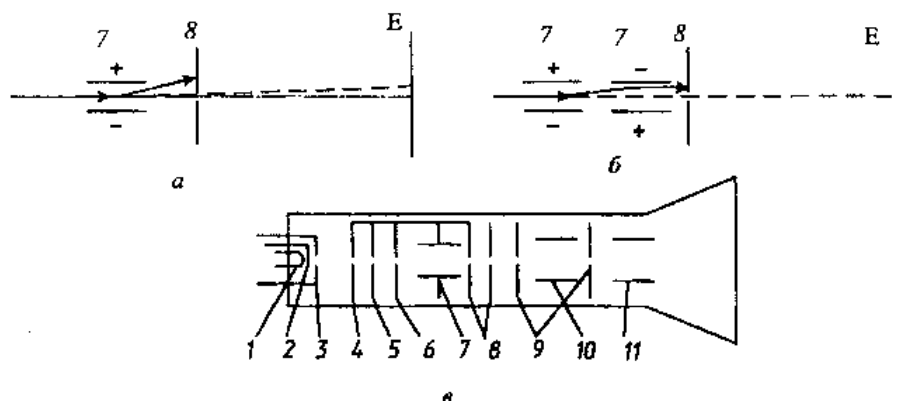


Рис. 1.1. Осцилографічна трубка з бланкувальними пластинами:

БП - бланкувальні пластини; D - діафрагма; E - екран; 1 - підігрівач; 2 - катод; 3 - модулятор; 4 - прискорюючий електрод; 5 - перший анод; 6 - другий анод; 7 - бланкувальні пластини; 8 - діафрагми; 9 - екрануючі діафрагми; 10 - вертикальні відхиляючі пластини; 11 - горизонтальні відхиляючі пластини.

Для гасіння зворотного ходу розгортки електронного променя в осцилографічних ЕПП також використовують електронний прожектор з бланкувальними пластинами і діафрагмою з отвором (рис. 2.1, а). Щоб електронний промінь не попадав на екран, досить перервати його, відхиливши відносно отвору діафрагми. Амплітуда відхиляючого імпульсу, який гасить зворотний хід електронного променя, в цьому випадку становитиме всього 5 В.

Бланкувальні пластини з діафрагмою розташовують між другою лінзою прожектора і відхиляючими пластинами. При цьому виявляється, що на початку відхилення пучок дещо змінює кут, відхиляється від осі і на екрані з'являється риска. Для усунення цього явища треба, щоб при відхиленні пучок падав на діафрагму паралельно осі. Для цього ставлять ще одну пару пластин, на яку подають імпульс гасіння зворотного ходу з протилежним

знаком, внаслідок чого пучок перед діафрагмою змінює траєкторію і падає на діафрагму під кутом  $90^\circ$  (рис. 1.1, б). Можна обійтися однією парою пластин, але тоді за діафрагмою ставлять на деякій відстані ще одну діафрагму з отвором, яка перехоплює відхилений пластинами пучок (рис. 2.1, в).

### 1.1.2. Високошвидкісні осцилографічні трубки.

Звичайні осцилографічні трубки здатні реєструвати електричні сигнали в смузі приблизно від 0 до 10 мГц. Подальше збільшення частоти пов'язане із зростанням швидкості переміщення електронного променя по мішені, що спричиняє зменшення яскравості світіння екрана, яке пропорційне щільності струму пучка  $j$ , анодній напрузі  $U_a$ , де  $n=2$ , і часу комутації елемента мішені електронним променем. Яскравість світіння екрану  $B$  визначається рівнянням:

$$B = K j U_a^2 \tau ,$$

де  $K$  - коефіцієнт, що визначає якість люмінофора;  $\tau$  - час комутації елемента мішені електронним пучком.

Оскільки  $j = I / \left( \frac{\pi \cdot d^2}{4} \right)$ ,  $\tau = d / v$  ,

маємо  $B = K \frac{4 I U_a^2}{\pi d v}$  ,

де  $I$  - сила струму електронного пучка;  $d$  - діаметр плями електронного променя в площині екрану на рівні  $0,5j$ ;  $v$  - швидкість руху електронного променя по екрану.

Таким чином, яскравість світіння люмінофору  $B$  пропорційна якості люмінофору  $K$ , силі струму електронного променя  $I$ , квадрату анодного напруги  $U_a$  та обернено пропорційна швидкості руху пучка по мішені  $v$ .

Щоб при збільшенні швидкості  $v$  зберегти яскравість світіння екрану, доводиться збільшувати анодну напругу, але при цьому буде зменшуватися чутливість електростатичної відхиляючої системи, яка для паралельних пластин дорівнює  $S = aL / 2dU_a$  , де  $a$  - довжина пластин;  $L$  - відстань від

центра пластин до екрана і  $d$  - відстань між пластинами. Для підвищення яскравості світіння екрану при дослідженні високочастотних електричних сигналів використовують системи “після прискорення” електронів, які забезпечують додаткове прискорення електронів електронного пучка потенціалом третього анода вже після проходження ними відхиляючих пластин. На третій анод подається потенціал, що значно (іноді до 10 разів) перевищує потенціал другого анода, що дозволяє набагато збільшити швидкість і енергію електронів електронного променя при взаємодії їх з люмінофором екрану осцилографічного ЕПП. При цьому можна істотно збільшити швидкість руху електронного пучка по екрану (швидкість запису) і, відповідно, розширити частотний діапазон роботи осцилографічного ЕПП.

Особливості конструкції трубок з системою “після прискорення” показані на рис. 2.2. На рис. 2.2,а показана конструкція системи “після прискорення” електронів, яка виконана у вигляді провідникового циліндричного анода  $A_3$ , нанесеного методом напилення на внутрішню поверхню колби осцилографічного ЕПП. Недоліком такої конструкції є утворення між другим і третім анодами імерсійної лінзи, яка відхиляє пучок до осі і спотворює форму плями електронного променя в площині екрана. Для того, щоб в просторі між другим і третім анодами не виникало електронної лінзи, застосовується конструкція, в якій потенціал між другим і третім анодами змінюється плавно за допомогою високоомної провідної доріжки у вигляді спіралі, нанесеної на внутрішню поверхню конічної частини колби осцилографічного ЕПП (рис. 2.2, б).

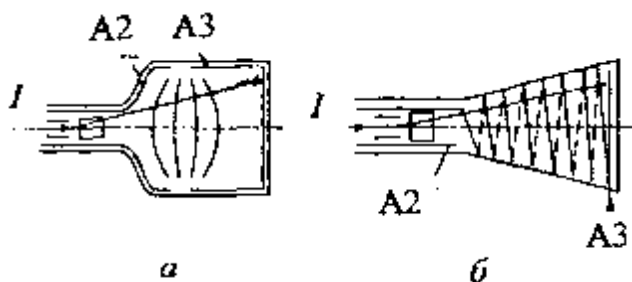


Рис. 1.2. Осцилографічні ЕПП з після прискоренням електронів електронного променя: а - з циліндричним третім анодом; б - зі

розподіленим прискоренням електронів; А2 - другий анод; А3 - третій анод.

Подальше збільшення швидкості запису і граничної частоти сигналу обмежує відхиляюча електростатична система. Звичайні відхиляючі пластини розраховані на те, щоб за час прольоту електрона в області пластин сигнал, що подається на пластини, істотно не змінюється. Тільки в цьому випадку відхилення пучка буде пропорційно миттєвому значенню сигналу. Приблизно можна прийняти допустимий час прольоту електрона в полі відхиляючих пластин, який дорівнює 0,1 періоду вхідного періодичного сигналу. Зменшити час прольоту електронів в полі відхиляючих пластин і збільшити за рахунок цього частотний діапазон осцилографічного ЕПП можна було б зменшенням довжини пластин або збільшенням швидкості електронів пучка. Однак в обох випадках при цьому зменшується чутливість відхиляючої системи.

Для високочастотних осцилографічних ЕПП була створена спеціальна конструкція вертикальної відхиляючої системи, в якій вхідний сигнал, що досліджується, поширюється у вигляді біжучої хвилі. Така система відхилення електронного променя побудована на відрізку «довгої лінії», параметри якої розраховуються таким чином, щоб швидкість поширення фази вхідного сигналу у відхиляючій системі і швидкість руху електронів пучка в відхиляючій системі була б приблизно однаковою. При цьому відбувається взаємодія кожного елемента довжини пучка з певною фазою сигналу.

На рис. 2.3 показані два різновиди високочастотних відхиляючих систем. На рис. 2.3а зображена LC сповільнююча система, яка з одного боку збуджується сигналом, а з іншою - навантажена на хвильовий опір для усунення відбиття сигналу, тобто сигнал, що досліджується у відхиляючій системі розповсюджується у вигляді «біжучої хвилі» і повністю поглинається у хвильовому навантаженні. Швидкість руху електронів пучка повинна приблизно дорівнювати фазовій швидкості поширення сигналу в системі вертикального відхилення електронного променя. Така система

застосовується для діапазону частот вхідних сигналів до 300 мГц. Для реєстрації більш високочастотних сигналів (декілька ГГц) застосовується відхиляюча система рис. 2.3, б, в), яка являє собою спіральну лінію у вигляді стрічки 3, намотаної на керамічні штапики 1 (рис. 2.3.в). Нижня відхиляюча пластина 4 (рис. 2.3, б) виготовлена з міді. Приблизно можна вважати, що коефіцієнт сповільнення зміни фази сигналу відносно перетину електронного променя, що рухається в полі відхиляючих пластин, дорівнює відношенню довжини одного витка стрічки на крок спіралі.

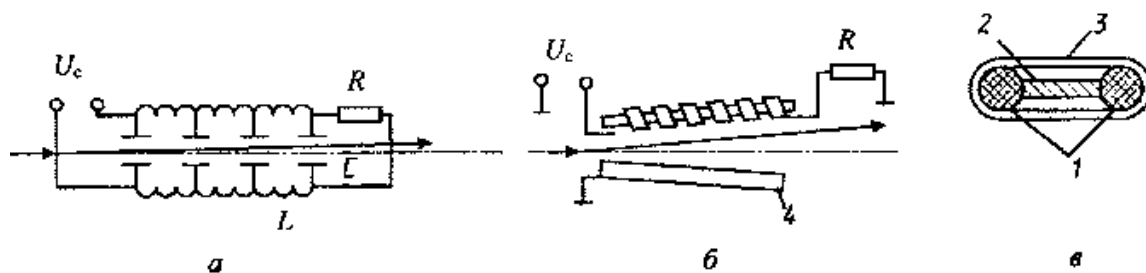


Рис. 1.3. Відхиляючі «сповільнюючі» системи: а - LC-система з зосередженими параметрами; б - система з розподіленими параметрами; в - поперечний перетин спіралі: 1 - керамічні штапики, 2 - верхня відхиляюча пластина, 3 - мідна стрічка; 4 - нижня відхиляюча пластина.

## 1.2. Програма роботи.

1.2.1. Ознайомитися з апаратурою для дослідження частотних характеристик осцилографічних ЕПП.

1.2.2. Виконати вимірювання перехідної характеристики осцилографів, заданих викладачем.

1.2.3. Провести розрахунок амплітудно-частотних характеристик осцилографів, що задіяні у даній роботі.

1.2.4. Оформити звіт, представивши схему установки, експериментальні результати вимірювань у вигляді таблиць і графіків, результати розрахунку амплітудно-частотних характеристик. Зробити необхідні висновки.

1.2.5. Відповісти на контрольні питання і здати залік по лабораторній роботі.

### 1.3. Порядок виконання роботи.

1.3.1. З'єднати вихід генератора імпульсів з входом осцилографа С1-64. Вихід сигналу синхронізації генератора імпульсів з'єднати з входом синхронізації осцилографа. Включити тумблери «Мережа» на генераторі імпульсів і осцилографі. Перевести осцилограф в режим зовнішньої синхронізації. За допомогою регулювання «Стаб.» і «Рівень» добитися стійкого зображення імпульсного сигналу на екрані осцилографічного ЕПП.

1.3.2. Вибрати тривалість розгортки осцилографа таким чином, щоб передній фронт імпульсу був максимально розтягнутий по ширині екрана осцилографічної трубки.

1.3.3. З урахуванням тривалості розгортки і коефіцієнта множення виміряти 10 значень перехідної характеристики осцилографічного ЕПП і занести їх в протокол лабораторної роботи. Для більш точної апроксимації перехідної характеристики поліноміальною функцією необхідно по дві точки вибрати на пологих ділянках перехідної характеристики.

1.3.4. Підключити послідовно до генератора імпульсів осцилографи, що надані викладачем, і дослідити їх реакцію на ступінчатий вхідний тестовий сигнал. Результати вимірювань занести в протокол лабораторної роботи.

1.3.5. Експериментальні данні перехідних характеристик осцилографічних ЕПП, що досліджувалися, апроксимувати поліноміальними функціями. Для апроксимації перехідних характеристик використати поліноміальну функцію, наприклад,  $h(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3$ . Метод апроксимації та порядок апроксимуючого поліному вибрати такими, щоб забезпечити мінімальну похибку апроксимації експериментальних даних.

1.3.6. Шляхом диференціювання апроксимуючої функції перейти від перехідної характеристики осцилографічного ЕПП до його імпульсної характеристики:  $g(t) = \frac{dh(t)}{dt}$ .

1.3.7. За допомогою перетворення Фур'є визначити нормовані амплітудно-частотні характеристики осцилографічних ЕПП, що досліджуються.

$$K(j\omega) = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} g(t)e^{-j\omega t} dt}{\int_{-\infty}^{+\infty} g(t) dt},$$

де  $\omega = 2\pi f$ . Частоту  $f$  змінювати в діапазоні 1-20 мГц з кроком 1 мГц. Розраховані амплітудно-частотні характеристики занести в протокол лабораторної роботи.

1.3.9 Провести аналіз результатів розрахунку амплітудно-частотних і визначити, який із досліджуваних осцилографів є найбільш високочастотний. Також визначити з чим пов'язані розбіжності розрахованих граничних частот осцилографічних ЕПП з граничними частотами, що наведені в паспортних даних на ці прилади.

#### 1.4. Контрольні питання.

1. Які фактори обмежують частотні властивості осцилографічних ЕПП.
2. Особливості конструкції відхиляючих пластин високочастотних трубок. За рахунок чого вдається розширити частотний діапазон високошвидкісних осцилографічних ЕПП?
3. Що собою являє система «після прискорення» і для чого її використовують в осцилографічних ЕПП?
4. Що таке перехідна характеристика осцилографічного ЕПП і яким чином її можна експериментально визначити?
5. Що є критерієм вибору методу апроксимації результатів експериментального вимірювання перехідної характеристики та вибору порядку апроксимуючого полінома?
6. Що таке імпульсна характеристика і як вона пов'язана з перехідною характеристикою об'єкта дослідження?
7. Як визначити межі інтегрування при визначенні інтегралу Фур'є?
8. Що таке бланкувальні пластини і для чого вони використовуються в осцилографічних ЕПП ?

**Література:** 2. с.381-399; 3, с.384-393; 6, с.241-260.

## 2. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

**Тема:** Дослідження процесів формування електронним променем потенціального рельєфу на діелектричних мішенях електронно-променевого приладів.

**Мета роботи:** ознайомитися з процесами формування потенціального рельєфу на діелектричних мішенях електронно-променевого приладів та пристроїв в режимах стирання, запису та зчитування інформації на основі осцилографічного запам'ятовуючого електронно-променевого приладу (ЗЕПП) з видимим зображенням.

### 2.1. Опис лабораторної установки.

Лабораторну установку для дослідження процесів формування електронним променем потенціального рельєфу на діелектричній мішені запам'ятовуючого ЕПП в режимах стирання, запису та зчитування інформації (рис. 2.1) виконано на основі запам'ятовуючого осцилографа типу С8-12А та запам'ятовуючого осцилографічного ЕПП з видимим зображенням типу 13ЛН10. Установка містить канал вертикального відхилення записуючого електронного променя, що складається з вхідного ланцюга попереднього підсилювача і кінцевого підсилювача відхилення «У», канал синхронізації, що включає в себе вхідний ланцюг, підсилювач внутрішньої синхронізації і синхронізатор, канал горизонтального відхилення, що складається з генератора горизонтальної розгортки і кінцевого підсилювача відхилення «Х», формувач імпульсу підсвічування прямого ходу горизонтальної розгортки електронного променя, блок керування режимами роботи запам'ятовуючого ЕПП, блок живлення, калібратор, вольтметр, осцилограф.

Імпульсно-періодичний сигнал, що формується калібратором осцилографа С8-12А, подається у вхідний ланцюг каналу вертикального відхилення записуючого електронного променя, що складається з вхідних рознімів, перемикачів режимів входу і чутливості відхилення. Потім досліджуваний сигнал надходить у попередній підсилювач для підсилення.

У попередньому підсилювачі є регулювання підсилення і балансу каскадів підсилення за постійним струмом. З виходу попереднього підсилювача сигнал надходить у кінцевий підсилювач відхилення «У», виходи якого підключені до вертикальних відхиляючих пластин ЗЕПП. Установка працює в режимі внутрішньої синхронізації, при цьому досліджуваний сигнал з попереднього підсилювача через підсилювач внутрішньої синхронізації надходить у канал синхронізації.

Для отримання розгортки зображення на екрані ЗЕПП по координаті часу слугує канал горизонтального відхилення. У разі зовнішньої синхронізації сигнал запуску подається у вхідний ланцюг каналу синхронізації, що складається з вхідних рознімів, атенюаторів, перемикачів полярності і виду синхронізації. Синхронізатор осцилографа працює в режимі внутрішньої синхронізації або в режимі зовнішньої синхронізації і формує сигнал синхронізації, який надходить у генератор розгортки «Х». Генератор розгортки формує пилкоподібну лінійну напругу для відхилення записуючого променя ЗЕПП по координаті «Х». При цьому електронний промінь переміщується вздовж координати «Х» пропорційно часу. Генератор має регулювання режимів роботи і тривалості розгортки.

Вихідні сигнали генератора розгортки (пилкоподібна напруга та імпульс підсвічування) надходять відповідно на кінцевий підсилювач відхилення «Х» і формувач імпульсу підсвічування. Підсилювач відхилення «Х» посилює пилкоподібну напругу до значення, потрібного для отримання належного масштабу зображення на екрані ЗЕПП по координаті «Х».

Блок керування забезпечує потрібний вибір режиму роботи запам'ятовувального вузла ЗЕПП: стирання, запис і відтворення досліджуваного сигналу.

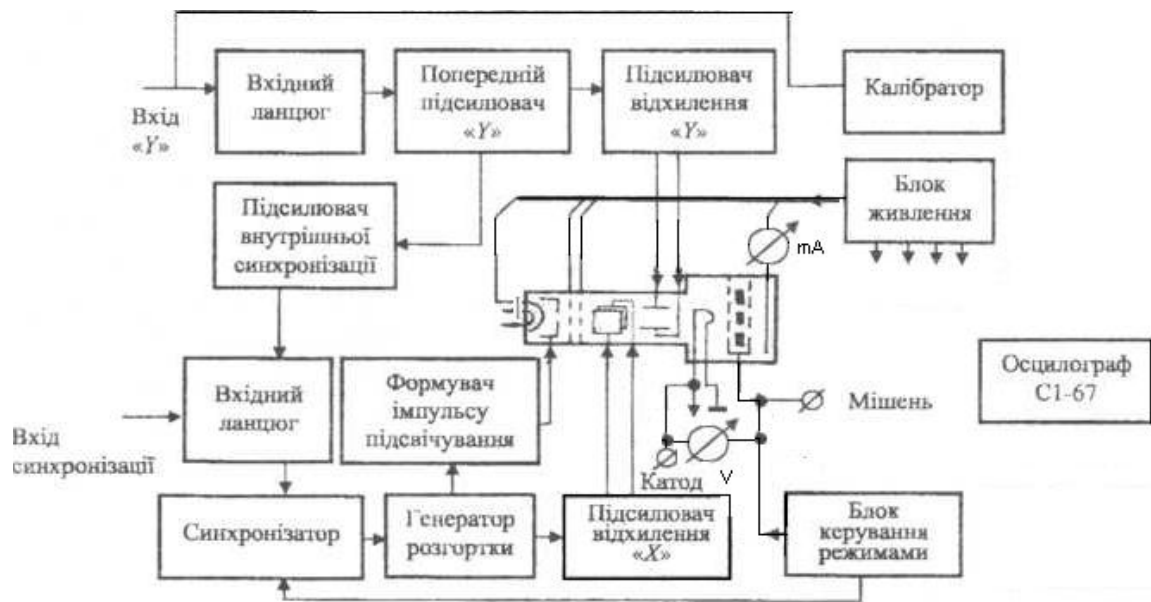


Рис. 2.1. Структурна схема установки для дослідження процесів формування потенціального рельєфу на мішені запам'ятовуючої осцилографічної трубки

Для вимірювання потенціалів на підкладці діелектричної мішені ЗЕПІ використовують вольтметр, який включений між катодом відтворювального прожектора і підкладкою діелектричної мішені, а для вимірювання струму в ланцюгу живлення екрану ЗЕПІ слугує мікроамперметр. За допомогою осцилографа контролюють амплітуду та тривалість імпульсу стирання на підкладці діелектричної мішені відносно катоду відтворювального прожектора у режимі автоматичного стирання інформації.

## 2.2. Запам'ятовувальні осцилографічні півтонові трубки.

Запам'ятовуючі осцилографічні півтонові трубки застосовують у запам'ятовуючих осцилографах, призначених для реєстрації неперіодичних і швидкоплинних процесів. Основна вимога до таких приладів - велика швидкість запису та достатній час відтворення запису.

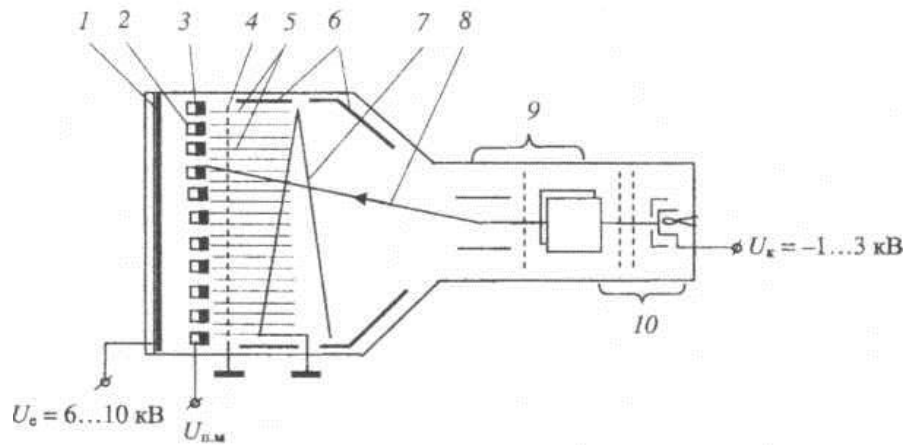


Рис. 2.2. Конструкція запам'ятовуючого осцилографічного ЕПП типу 13ЛН10: 1 - люмінесцентний екран; 2 - металева сітчаста підкладка мішені; 3 - діелектрик; 4 - колекторна сітка; 5 - траєкторії електронів відтворюючого прожектора; 6 - колімуюча система; 7 - відтворюючий прожектор; 8 - записуючий електронний промінь; 9 - відхиляюча система; 10 - записуючий електронний прожектор.

У приладах цього типу запис форми досліджуваного сигналу здійснюють сфокусованим записуючим електронним променем у вигляді потенціального рельєфу на поверхні сітчастої діелектричної мішені приладу. Відтворюється записана осцилограма на люмінесцентному екрані приладу за допомогою широкого однорідного пучка повільних електронів, який з рівномірною густиною струму опромінює всю поверхню діелектричної мішені. Цей пучок повільних електронів формує відтворюючий прожектор. Тому прилади цього типу мають, як мінімум, два електронні прожектори: записуючий і відтворюючий. Конструкцію запам'ятовуючого осцилографічного ЕПП типу 13ЛН10 показано на рис. 2.2.

Конструкція ЗЕПП містить записуючий 10 і відтворюючий 7 прожектори, електростатичну відхиляючу систему 9, за допомогою якої записуючий електронний промінь 8 розгортається відносно поверхні мішені. Сітчаста мішень (рис. 2.3) являє собою дрібно структурну сітку з провідникових прутків 1 завтовшки 0,02...0,04 мм з кроком 0,1...0,2 мм, покриту з боку прожектора шаром діелектрика 2 з великим коефіцієнтом вторинної

електронної емісії. На відстані 0,2...0,3 мм від поверхні діелектричної мішені (рис. 2.2) знаходиться колекторна сітка 4, що виконує роль колектора вторинних електронів і бар'єрної сітки. Колекторна сітка усуває засів поверхні діелектричної мішені приладу вторинними електронами. Зображення записаної осцилограми відтворюється на люмінесцентному екрані 1, до якого прикладена висока напруга 6...10кВ. Для забезпечення ортогонального підходу електронів відтворюючого прожектора до поверхні діелектричної мішені використовують колімуючу лінзу 6.

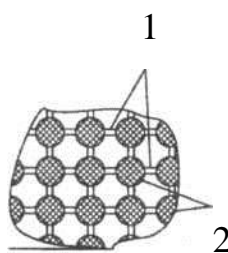


Рис. 2.3. Фрагмент сітчастої мішені ЗЕПП з видимим зображенням:

1 - прутки металевої сітки-підкладки; 2 - діелектрик

Відтворюючий прожектор діє безперервно і створює широкий пучок повільних електронів, що опромінують одночасно всю поверхню мішені. Проходячи крізь отвори сітчастої мішені, електрони відтворюючого прожектора прискорюються і потрапляють на екран приладу, зумовлюючи його світіння. Велика різниця потенціалів між катодом відтворюючого прожектора 7 і люмінесцентним екраном 1 (6... 10 кВ) дозволяє отримати досить високу яскравість зображення осцилограми досліджуваного сигналу. Велика прозорість сітчастої мішені (більше 60 %) дозволяє пропускати на екран значні струми відтворюючого пучка електронів, що так само сприяє отриманню високої яскравості зображення.

Відтворюючий прожектор являє собою катод прямого розжарення, складений із двох провідникових кілець «К», між якими у певній послідовності натягнуті тонкі паралельні одна одній вольфрамові нитки «Н».

До кілець підводиться змінна напруга 6,3В (рис. 2.4).

Катод прямого розжарення відтворюючого прожектора і колекторна сітка являють собою плоску систему електродів, що забезпечує ортогональність падіння електронів на мішень. Падіння напруги вздовж вольфрамових ниток розжарення катода (не екіпотенціальність катода) створює розкид швидкостей серед електронів, що зменшує крутість керуючої характеристики приладу по зчитуванню, особливо в області потенціалу запирання (рис. 2.5). Тому розподілений катод відтворювального прожектора застосовують тільки у разі порівняно невеликих розмірів мішені (приблизно до 120 мм), причому спосіб підключення ниток прямого розжарення до джерела живлення (див. рис. 3.4) має створювати протилежне одне одному падіння напруги в двох сусідніх нитках.



Рис. 2.4. Розподілений катод прямого розжарення відтворювального прожектора: Н - нитки розжарення; К - металеві кільця

Електрони записуючого прожектора через отвори сітки-мішені потрапляють також і на екран, створюючи світіння елементів екрану, що збуджуються електронним променем записуючого прожектора. Тому, якщо вимкнути відтворюючий прожектор, то запам'ятовуючий ЕПП буде працювати як звичайна осцилографічний ЕПП, що здатний відтворювати на екрані періодичні електричні сигнали.

Основними характеристиками, що визначають роботу приладу під час запису і відтворення осцилограми досліджуваного сигналу, є вторинно-емісійна і керуюча характеристики діелектричної мішені приладу. Вторинно-

емісійна характеристика мішені ЗЕПП (див. рис. 2.5, *a*) показує залежність діючого коефіцієнта вторинної електронної емісії діелектрика мішені від його потенціалу при комутації елемента мішені електронним променем. Ця характеристика дозволяє визначити величину і знак заряду, нанесеного електронним променем на елемент мішені, що комутується електронним променем.

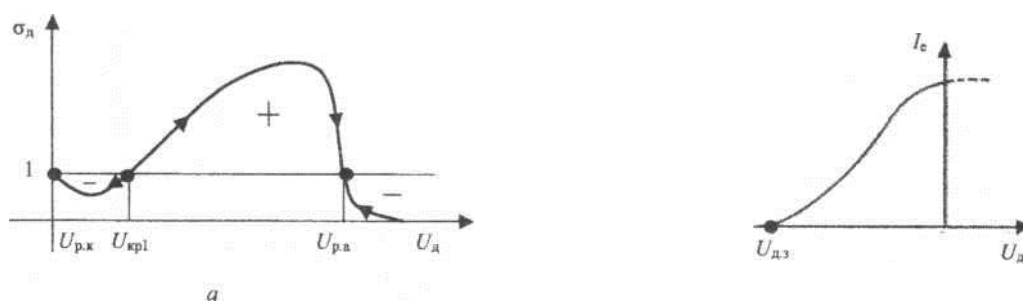


Рис. 2.5. Вторинно-емісійна (*a*) і керуюча (*б*) характеристики мішені ЗЕПП

Керуюча характеристика мішені ЗЕПП (див. рис. 2.5, *б*) показує залежність значення струму екрана від потенціалу діелектрика мішені приладу. Слід зазначити, що керуюча характеристика також залежить і від потенціалу підкладки мішені в режимі зчитування, тобто ЗЕПП має сімейство керуючих характеристик для різних значень потенціалів підкладки мішені в режимі зчитування.

Конструкція блока мішені дозволяє створити такий електричний режим роботи, за якого електрони відтворювального прожектора проходять мішень тільки через отвори сітки і не взаємодіють з діелектриком мішені. При цьому електричне поле діелектричної мішені приладу працює як електронний затвор, прозорість якого для електронів відтворюючого прожектора визначається від'ємним значенням потенціалу діелектрика мішені. Цим забезпечується тривале відтворення запису (режим неруйнівного зчитування). При неруйнівному зчитуванні поле в площині мішені неоднорідне: потенціал поверхні діелектрика - нижче, а потенціал в отворах

сітки - вищий за потенціал катода відтворюючого прожектора. Від'ємний потенціал поверхні діелектрика створюється нанесенням на нього від'ємного заряду в режимі стирання, а додатний потенціал в отворах сітки утворюється за рахунок додатних потенціалів колекторної сітки, екрана і, головним чином, сітки-підкладки, витки якої знаходяться безпосередньо біля отворів (рис. 2.6).

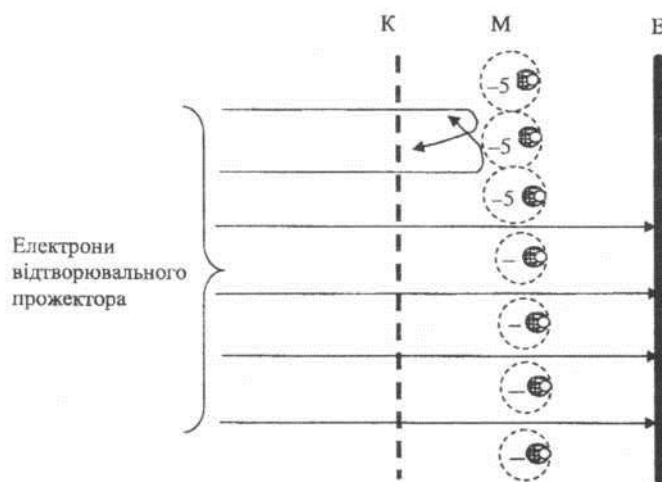


Рис. 2.6. Сіткове керування електронами відтворювального прожектора: К - колекторна сітка; М - діелектрична мішень; Е- екран

**Примітка.** Пунктиром показано електростатичне поле біля діелектричних елементів мішені ЗЕПП.

Із рис. 2.6 видно, що на ділянках мішені, де потенціал діелектрика нижчий за потенціал запирання мішені (мінус 5 В), утворюється електричне поле, яке перешкоджає проходженню електронів відтворювального прожектора на екран. На цих ділянках мішені екран світитися не буде. На ділянках мішені, де потенціал діелектрика вищий за потенціал запирання мішені, електрони відтворюючого прожектора проходять крізь сітчасту мішень і потрапляють на екран, збуджуючи його світіння. Таким чином, потенціальний рельєф мішені керує потоком електронів відтворюючого прожектора.

Принцип роботи приладу даного типу такий. Для формування потенціального рельєфу мішені, відповідного формі вхідного сигналу, що

досліджується, потрібно заздалегідь підготувати мішень до запису. Підготовка мішені полягає у вирівнюванні потенціального рельєфу по всій поверхні мішені і зміщенні його нижче потенціалу запирання керуючої характеристики мішені приладу по зчитуванню (рис. 2.5, б). Підготовка мішені до запису в цьому приладі суміщена з режимом стирання раніше записаної інформації і реалізується електронним променем відтворюючого прожектора.

У режимі стирання на підкладку мішені подають додатний імпульс амплітудою, наприклад, +5 В. При цьому за рахунок ємнісного зв'язку між поверхнею діелектрика та підкладкою мішені потенціал діелектрика мішені зміщується в область додатних значень відносно потенціалу катода  $U_K$  відтворюючого прожектора. Електрони відтворюючого прожектора починають взаємодіяти з діелектриком мішені. Вторинно-емісійна характеристика мішені (див. рис. 2.5, а) показує, що діюче значення коефіцієнта вторинної електронної емісії менше одиниці і на діелектрик мішені електрони відтворювального прожектора наносять від'ємний заряд. При цьому потенціал поверхні діелектрика знижується і тяжіє до катодного рівноважного потенціалу  $U_{PK} = 0$  (див. рис. 2.5, а). Після досягнення рівноважного потенціалу коефіцієнт вторинної електронної емісії дорівнює одиниці, і перезарядні процеси на мішені припиняються. Таким чином, діелектрик мішені рівномірно заряджений по всій поверхні і має потенціал  $U_D$ , який дорівнює мінус 5В по відношенню до потенціалу підкладки мішені.

Після закінчення режиму стирання на підкладці мішені встановлюється потенціал, який відповідає режиму зчитування, наприклад, нуль. При цьому за рахунок ємнісного зв'язку потенціал діелектрика мішені зміщується в область від'ємних значень і становить мінус 5В відносно потенціалу катода відтворювального прожектора, який має потенціал  $U_K = 0$  В. Після закінчення режиму стирання потенціал діелектрика  $U_D$  нижчий за потенціал запирання мішені  $U_{зап}$  (див. рис. 2.5, б), і всі електрони відтворюючого прожектора відбиваються від'ємним полем мішені і потрапляють на колекторну сітку.

Тому після закінчення режиму стирання екран приладу залишається темним.

Запис вхідного сигналу здійснюється записуючим гостро сфокусованим електронним променем у режимі швидких електронів ( $\sigma_d > 1$ ). Під час запису відкривається записуючий прожектор, потенціал катода  $U_K$  якого дорівнює мінус 2,5 кВ. На горизонтальні відхиляючі пластини подається пилкоподібна напруга розгортки, а на вертикальні - вхідний сигнал. При енергії електронів 2,5 кеВ, коефіцієнт вторинної електронної емісії більше одиниці ( $\sigma_d > 1$ ), тому на елементи мішені, які комутує записуючий електронний промінь, наноситься додатний заряд. У місцях проходження записуючого електронного променя потенціал поверхні діелектрика  $U_d$  стає вищим за потенціал запирання  $U_{зап}$  (див. рис. 2.5, б) і на екрані виникає світіння (осцилограма), що збуджується електронами відтворюючого прожектора. Ці електрони проникають в отвори сітки-мішені тільки на тих її ділянках, де потенціал  $U_d$  вищий за потенціал запирання, тобто де зроблено запис. Оскільки потенціали елементів діелектрика мішені знаходяться в області від'ємних значень по відношенню до потенціалу катода відтворюючого прожектора, то електрони відтворюючого прожектора не потрапляють на діелектрик і не руйнують запис. Електрони відтворюючого прожектора, які пройшли через елементи мішені, де зроблений запис осцилограми, прискорюються високим потенціалом люмінофорного екрана і збуджують його світіння.

Час, протягом якого можна спостерігати осцилограму обмежений появою світіння ділянок екрана, де запис не проводився. Це пояснюється підвищенням потенціалу діелектрика під дією заряду додатних іонів, які виникають унаслідок іонізації молекул залишкових газів електронами відтворюючого пучка електронів.

Основні дані осцилографічного запам'ятовувального ЕПП 13ЛН10: швидкість запису не менше 4 000 км/с, час відтворення зображення 1 хв, яскравість зображення  $>1\text{кд/м}^2$ , ширина лінії осцилограми  $>1$  мм. Другий анод заземлений, на катод записуючого прожектора подається напруга мінус

2,5 кВ, а на екрані потенціал 4 кВ.

### **2.3. Програма роботи**

2.3.1. Ознайомитися зі структурною схемою і описом вимірювальної установки (див. рис. 2.1) для дослідження процесів формування електронним променем потенціального рельєфу на діелектричній мішені приладу в режимах стирання та запису інформації.

2.3.2. Ознайомитись з панеллю керування режимами роботи осцилографічного ЗЕПП з видимим зображенням.

2.3.3. На рис.2.7 представлена панель керування режимами роботи осцилографічного ЗЕПП з видимим зображенням і позначені основні елементи регулювання, які використовують для вибору режимів стирання, запису та відтворення інформації. Інші елементи керування, наприклад, підсилення вхідного сигналу, параметри розгортки, елементи синхронізації, фокусування променя та інші, відповідають аналогічним елементам регулювання звичайного осцилографа.

2.3.4. Виконати вимірювання сімейства керуючих характеристик мішені ЗЕПП для різних значень потенціалу мішені в режимі зчитування. Значення потенціалів мішені в режимі зчитування осцилограми задає викладач.

2.3.5. Провести запис імпульсного сигналу, що подається на вхід запам'ятовуючого осцилографа з внутрішнього генератора (калібратора) для різних значень потенціалів підкладки мішені в режимі зчитування осцилограми. Дослідити залежність часу відтворення запису від параметрів режиму старання та підготовки мішені до запису інформації. Параметри режимів стирання та підготовки мішені до запису брати відповідно до п.2.4.

2.3.6. Оформити звіт, в теоретичній частині якого подати схему установки, опис конструкції осцилографічного ЗЕПП, режимів стирання, запису та неруйнівного зчитування інформації, методики вимірювання керуючих характеристик мішені. Результати вимірювань представити у вигляді таблиць і графіків. Пояснити отримані результати та зробити висновки по роботі.

Устан. потенціалу мішені в режимі стирання	Кнопка «Стирання» в ручному режимі	Устан. потенціалу мішені в режимі зчитування	Кнопка «Запис» в ручному режимі	Регулятор автоматичного стирання
--	------------------------------------	--	---------------------------------	----------------------------------

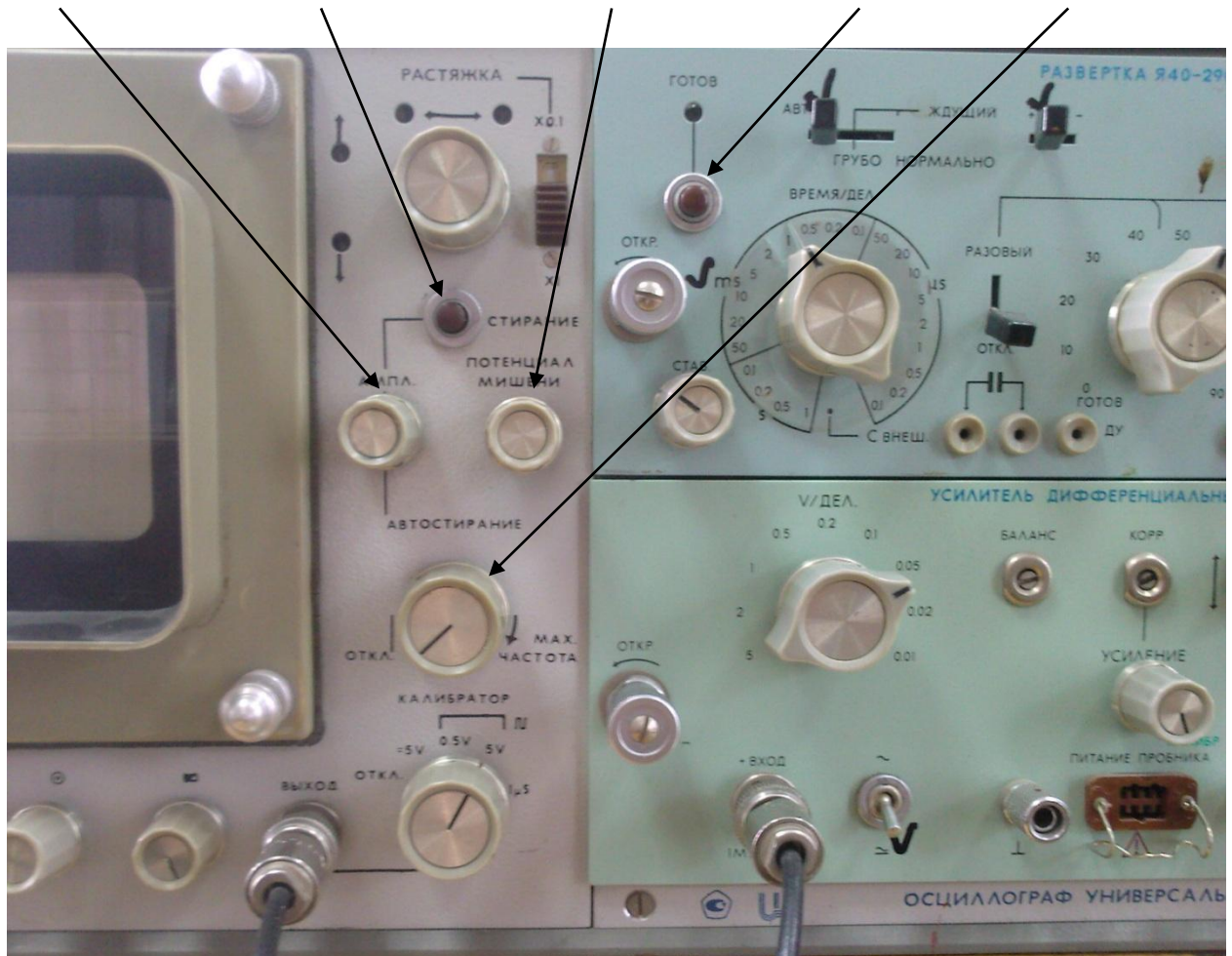


Рис.2.7. Панель керування режимами роботи ЗЕПП.

2.3.7. Відповісти на контрольні запитання і скласти залік з лабораторної роботи.

## 2.4. Порядок виконання роботи

2.4.1. Ознайомитися з конструкцією, принципом роботи, основними параметрами і характеристиками осцилографічного запам'ятовувального ЕПП з видимим зображенням.

2.4.2. Увімкнути і настроїти установку для дослідження параметрів, характеристик і електричних режимів роботи ЗЕПП 13ЛП10 : Вольтметр показує потенціал підкладки мішені в режимі зчитування, а при натисненні кнопки „Стирання” в ручному режимі управління - потенціал підкладки мішені в режимі стирання. Мікроамперметр показує струм в ланцюгу екрану ЗЕПП

(рис.1).

2.4.3. Для вимірювання сімейства керуючих характеристик осцилографічного запам'ятовуючого ЕПП відповідно до п. 3.4 програми роботи використовувати наступну методику:

- Потенціометр установки потенціалу мішені в режимі зчитування „Потенціал мішені” повернути в право до упору, а потенціометр установки потенціалу підкладки мішені в режимі стирання „Ампл” – в крайнє ліве положення. При цьому екран запам'ятовуючого ЕПП повинен бути рівномірно засвічений. Натиснувши кнопку „Стирання” установити потенціал підкладки мішені  $U_{м.ст.} = 0В$ . Відпустити кнопку „Стирання” і потенціометром установки потенціалу мішені в режимі зчитування „Потенціал мішені” встановити потенціал підкладки мішені в режимі зчитування, заданий викладачем для вимірювання керуючої характеристики, наприклад,  $U_{м.зч.} = 0В$ . Установку потенціалу мішені проводити поступово, підтримуючи рівномірне світіння екрану. При цьому потенціал діелектрика мішені  $U_{д}$  відносно потенціалу катода дорівнює нулю, а мікроамперметр показує струм  $I_{Е}$  екрана ЗЕПП. Ці значення занести у відповідну таблицю експериментальних даних.
- Встановити потенціал підкладки мішені в режимі стирання (регулятор „Ампл”)  $U_{м.ст.} = 0.5В$ . Після відпускання кнопки „Стирання” фіксувати миттєве мінімальне значення струму в ланцюгу екрана  $I_{Е}$ . При цьому потенціал діелектрика мішені  $U_{д}$  відносно потенціалу катода відтворюючого прожектора буде дорівнювати мінус 0.5В. Змінювати потенціал підкладки мішені, додаючи по пів вольта і фіксуючи миттєве значення струму після відпускання кнопки „Стирання” до тих пір, доки величина струму  $I_{Е}$  не перестане змінюватись. Занести отримані дані в таблицю.
- Встановити задані викладачем потенціали підкладки мішені при зчитуванні і виміряти за вищенаведеною методикою сімейство керуючих характеристик мішені осцилографічного ЗЕПП для заданих викладачем потенціалів мішені в режимах зчитування.

2.4.4. По п.3.5. програми лабораторної роботи дослідження провести за наступною методикою:

- Встановити потенціал підкладки мішені в режимі зчитування 0В, а потенціал підкладки мішені в режимі стирання (натиснути кнопку „Ампл”) встановити 5В. Подати з виходу калібратора на вхід блоку диференційного підсилювача імпульсний сигнал амплітудою 2В. Регулятор „Підсилення” встановити в положення 0,1. Відпустити кнопку „Стирання” і натиснути кнопку „Запис”. Після режиму стирання екран повинен бути темним, а після режиму запису на екрані повинна з’явитися осцилограма імпульсного сигналу. При необхідності якість осцилограми можна поліпшити регулюванням «Яскравість» (струм) та «Фокусування» записуючого променя. Крім того, регуляторами „Рівень” та „Стаб.” при необхідності налаштувати внутрішню синхронізацію розгортки вхідним сигналом.

- Виміряти час відтворення записаної осцилограми, фіксуючи його від моменту запису до моменту появи паразитного засвічування екрану в місцях, де запис не був проведений.

- Провести запис осцилограми і фіксацію часу відтворення осцилограми для значень потенціалів мішені, заданих викладачем. При цьому потенціали підкладки мішені в режимі „Стирання” за допомогою потенціометра „АМПЛ” встановлювати на один вольт вище за потенціал, при якому на відповідних керуючих характеристиках по п.3.4 струм екрану дорівнював нулю. Занести результати вимірювання часу відтворення запису в протокол лабораторної роботи.

2.4.5. Дослідження роботи осцилографічного ЗЕПП в автоматичному режимі:

- Включити автоматичний режим роботи осцилографа поворотом регулятора автоматичного стирання „Автостирання” вправо. Потенціометр часу відтворення - у положення мінімального значення частоти стирання. Під час роботи установки в цьому режимі періодично стирається записана інформація і мішень приладу підготовлюється до подальшого запису. При цьому повинно бути чути клацання реле, а на екрані повинна періодично

з'являтися осцилограма імпульсно-періодичного сигналу, що поданий на вхід запам'ятовуючого осцилографа. Якщо це не відбувається, то регуляторами „Рівень” та „Стаб.” при необхідності налаштувати внутрішню синхронізацію розгортки осцилографа.

- Встановити перемикач тривалості розгортки у положення 1 мс/см. Потенціометром „Яскравість” отримати на екрані зображення імпульсного сигналу калібратора. Регулюванням потенціометрів «ЗСУВ» підсилювача вертикального відхилення і розгортки каналу горизонтального відхилення записуючого електронного променя встановити зручне для спостереження положення зображення на екрані. Не допускати великої яскравості світіння екрана, щоб уникнути пропалювання мішені та екрана записуючим електронним променем. Нормальною вважають яскравість світіння екрана, за якої яскравість фронтів імпульсів значно менша яскравості вершин імпульсів.

- Записана осцилограма стирається подачею додатного імпульсу в ланцюг мішені ЗЕПП відносно катода відтворювального прожектора. Для вимірювання параметрів імпульсу стирання підключити додатковий осцилограф до відповідних клем „Мішень” і „ $\perp$ ”, які знаходяться на корпусі блока вимірювальних приладів. Налаштувати внутрішню синхронізацію та підсилення додаткового осцилографа таким чином, щоб можна було виміряти амплітуду і тривалість імпульсу стирання. Занести данні вимірювання в протокол лабораторної роботи.

## **2.5. Контрольні запитання**

- Для дослідження яких сигналів призначені осцилографічні запам'ятовуючі ЕПП з видимим зображенням?
- Що таке діючий коефіцієнт вторинної електронної емісії і що він визначає?
- Від чого залежить потенціал діелектрика мішені запам'ятовуючого ЕПП?
- Від чого залежить швидкість запису?

- Яким чином і за рахунок чого відбувається стирання та підготовка мішені приладу до запису?
- Яким чином відбувається запис осцилограми сигналу, що досліджується, в приладах даного типу?
- Чим обмежений час відтворення запису?
- Поясніть, чому в режимі зчитування електрони відтворювального прожектора потрапляють тільки в отвори сітчастої мішені і не можуть потрапити на поверхню діелектрика мішені.

**Література:** 4, с. 232-247; 5.

### 3. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

**Тема:** Дослідження електричних і світлотехнічних параметрів осцилографічних електронно-променевих приладів.

**Мета роботи:** ознайомитися з параметрами, конструкцією, режимами роботи і методами вимірювань основних електричних і світлотехнічних параметрів осцилографічних ЕПП.

#### 3.1. Теоретичні відомості.

##### 3.1.1. Призначення і особливості конструкції осцилографічних ЕПП.

Осцилографічні ЕПП призначені для графічного представлення форми електричного сигналу, що досліджується. Майже всі сучасні осцилографічні ЕПП мають плоский екран, що забезпечує високу лінійність відхилення променя по всьому його полю. Осцилографічні ЕПП виробляють з розмірами екрана 3...23см. Кут відхилення променя в трубках з електростатичною відхиляючою системою дорівнює  $12^{\circ}$ ... $18^{\circ}$ . Виводи фокусуючої і відхиляючої систем розташовані по колу на цокольній частині колби приладу. У деяких типах осцилографічних ЕПП виводи відхиляючої системи розміщені на циліндричній поверхні горловини колби. Виводи електродів ЕПП виготовляють з ковара, близького по коефіцієнту термічного розширення до скла.

Координатну сітку наносять на внутрішню поверхню скла екрана колби. Така сітка підвищує точність відліку, оскільки в цьому випадку відсутній паралакс. Колір світіння і значною мірою яскравість світіння екрана залежать від властивостей люмінофора. Широко застосовують одношарові екрани з люмінофором на основі сульфідів цинку і кадмію, зеленуватим світінням і середнім часом післясвітіння ( $10^{-2}$ ... $10^{-1}$  сек.). У трубках з тривалим післясвітінням застосовують екрани з декількома шарами люмінофора різного складу. Осцилографічний ЕПП і електрична схема його включення показані на рис. 4.1.

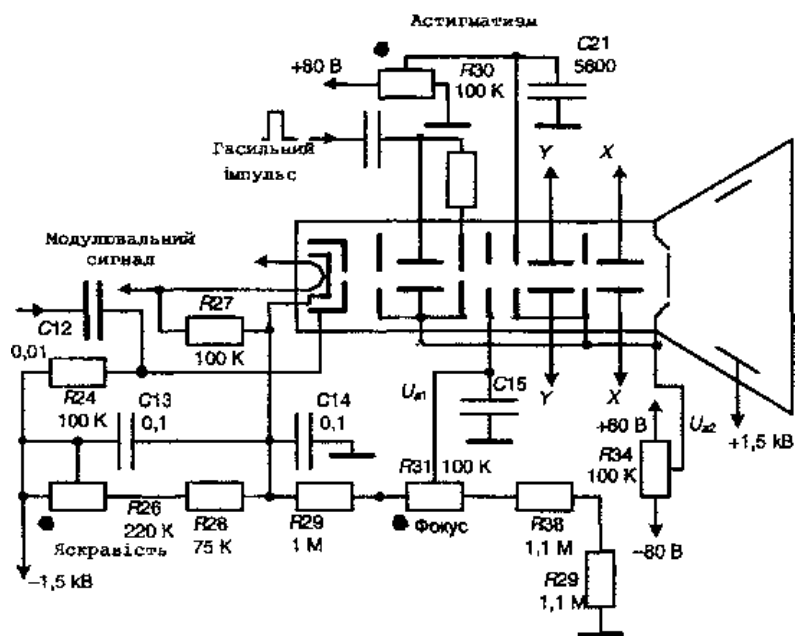


Рис. 3.1. Схема включення осцилографічного ЕПП.

Електронний прожектор приладу побудований по двох лінзовій схемі. Перша лінза утворюється катодом, модулятором і прискорюючим електродом. Вона являє собою імерсійний об'єктив і служить для формування кроссовера (схрещення) електронного променя. Друга лінза утворюється прискорюючим електродом, першим і другим анодами і є фокусуною лінзою електронного прожектора, яка відтворює кроссовер в площині екрана ЕПП.

У прожекторах осцилографічних ЕПП частина електронного струму урізається діафрагмами електродів: спочатку поблизу вихідної діафрагми прискорюючого електрода, потім перед входом пучка в зону відхиляючих пластин. Це дозволяє зменшити сферичну аберацію електронного променя в області другої лінзи і знизити його спотворення в зоні відхиляючих пластин. Крім того, вирізування центральної частини катодного струму в області кроссовера знижує крутизну модуляційної характеристики трубки. У окремих типах осцилографічних ЕПП урізається 38% катодного струму при нульовому потенціалі модулятора відносно катода. Ці особливості роботи осцилографічних ЕПП висувають дуже жорсткі вимоги до емісійної стабільності катода, особливо у його центральній частині.

У осцилографічних ЕПП використовують електростатичну систему відхилення. Якість відхилення пучка залежить від різних чинників: конструкції пластин, їх взаємного розташування, способів екранування, якості джерел живлення і інше. У процесі відхилення електронного променя відхиляючими пластинами спотворюється форма перетину променя з круглого в еліпсоїдальну (так званий астигматизм відхилення), який виправляють за допомогою спеціального електрода регулювання астигматизму.

В осцилографічних ЕПП для підвищення яскравості світіння екрана і збереження прийнятної чутливості широко застосовується система "після прискорення" електронів електронного променя після його відхилення. При цьому яскравість світіння екрана для більшості типів люмінофора росте приблизно пропорційно квадрату прискорюючої напруги.

### **3.1.2. Електричний режим роботи ЕПП.**

Катод і модулятор трубки з'єднуються з мінусом джерела живлення першого анода. Позитивний потенціал цього джерела живлення зазвичай заземлений. Тому ці електроди по відношенню до землі (шасі) знаходяться під великим негативним потенціалом (-800...-1500 В). Такий спосіб підключення електродів осцилографічних ЕПП дозволяє значно спростити схему живлення відхиляючих пластин, середня напруга яких дорівнює напрузі другого анода. Високовольтні джерела завжди стабілізовані, коефіцієнт пульсацій напруги у них зазвичай не перевищує 5%.

Модулятор трубки, на який відносно катоду подається від'ємна напруга, з'єднується з генератором імпульсів гасіння зворотного ходу електронного пучка (при відсутності бланкувальних пластин). Яскравість світіння екрана регулюється зміною від'ємної напруги на модуляторі відносно катоду осцилографічного ЕПП.

Напруга фокусуємого електрода завжди нижче напруги другого анода. Параметри подільника в ланцюгу живлення першого анода (фокусуємого електрода) підбирають таким чином, щоб в середньому положенні ручки потенціометра "Регулювання фокуса" встановлювалося середнє значення

діапазону регулювання напруги. Для осцилографічних трубок з електростатичним відхиленням напругу модулятора і фокусуємого електрода (першого анода) відраховують відносно потенціалу катода, а напруги всіх інших електродів трубки - відносно середнього потенціалу відхиляючих пластин, який дорівнює потенціалу другого анода.

### **3.1.3. Основні параметри осцилографічних ЕПП.**

Рівень якості ЕПП оцінюється за результатами вимірювання їх електричних і світлотехнічних параметрів, норми і методи контролю яких обумовлюють в нормативно-технічній документації. Параметри ЕПП поділяються на електро- і світлотехнічні. До електротехнічних відносяться: напруга запирання, напруга модуляції, емісія катода, роздільна здатність, нелінійність відхилення, геометричні спотворення, швидкість запису та інше. До світлотехнічних параметрів відносяться: яскравість і рівномірність яскравості світіння екрана, контрастність зображення, тривалість післясвітіння та інше.

#### **3.1.3.1. Електротехнічні параметри.**

Більшість електричних параметрів перевіряється в кожному приладі при проведенні приймально-здавальних випробувань.

Напруга запирання. Для більшості типів ЕПП значення напруг запирання визначають експериментально за результатами вимірювання потенціалу модулятора, при якому зникає сфокусована пляма на екрані ЕПП, або струм катода ЕПП буде дорівнювати значенню 1 мкА..

Напруга модуляції - це діапазон зміни напруги на керуючому електроді (модуляторі або катоді приладу), при якому яскравість світіння екрана або величина струму електронного променя ЕПП змінюється від рівня запирання до заданого номінального значення. Цей параметр визначає крутість модуляційної характеристики приладу.

Роздільна здатність - величина, що характеризує здатність ЕПП відображати на екрані дрібні деталі зображення. У осцилографічних ЕПП роздільна здатність вимірюється частіше за все методом стислого растра. За

цим методом зменшують розмір растрової розгортки по кадру доти, поки рядки растра перестануть розрізнятися. При цьому роздільна здатність  $R$  оцінюється як відношення вертикального чи горизонтального розмірів екрана ЕПП  $h_n$ , помноженого на число рядків  $Z$  растра, до висоти стислого растра  $h_c$ , тобто

$$R = \frac{zh_n}{h_c}$$

Нелінійність відхилення. При контролі цього параметра вимірюють чутливість до відхилення при зміщенні електронного променя в межах робочої частини екрана. Відносна нелінійність відхилення

$$X_s = \frac{2(S_1 - S_2)100\%}{S_1 + S_2}$$

де  $S_1, S_2$  - чутливість до відхилення, виміряна на відстані, що дорівнює відповідно 25% і 75% від половини робочої частини екрана.

Нелінійність відхилення може бути слідством дії різних чинників, однак основний вплив надає нерівномірність розподілу електричного поля в області відхилення променя. У нормативно-технічній документації на осцилографічні ЕПП зазвичай вказують нелінійність відхилення в межах 4-6%. Нелінійність відхилення обмежує можливість застосування електростатичних відхиляючих систем в трубках з великим кутом відхилення.

Геометричні спотворення, як правило, виникають внаслідок порушення паралельності відхиляючих пластин або зміщення відхиляючої системи відносно оптичної осі приладу. При наявності на екрані шкали відліку геометричні спотворення контролюють, визначаючи неспівпадіння лінії розгортки з відповідною лінією шкали. При цьому вимірюють напруги  $U_1$  і  $U_2$  відхиляючих пластин, необхідні для суміщення з границею шкали найбільш і найменше видалених точок лінії розгортки. Відносні геометричні спотворення розгортки розраховують по формулі:

$$\Gamma = \frac{2(U_1 - U_2)100\%}{S_1 + S_2}$$

### 3.1.3.2. Світлотехнічні параметри ЕПП.

Контроль світлотехнічних параметрів ЕПП, зокрема, таких, як яскравість і рівномірність світіння по полю екрана та інших, в більшості випадків проводиться при періодичних випробуваннях осцилографічного приладу. Для партії приладів 100%-й контроль цих параметрів недоцільний, оскільки значення їх гарантуються конструкцією приладу. Однак багато якісних характеристик екрана, наприклад, рівномірність світіння, наявність окремих дефектів люмінофора, ширина лінії розгортки променя, якість фокусування променя перевіряються в кожному осцилографічному ЕПП.

Яскравість світіння екрана - один з основних параметрів електронно-променевого приладу, що залежить від енергетичної "віддачі" люмінофора, спектральної характеристики і питомого навантаження люмінофорного шару, способу нанесення екрана і режимів його збудження. Залежність яскравості світіння екрана від режимів збудження визначається рівнянням

$$B = kj(U_a - U_0)^n ,$$

де  $k$  - константа, яка залежить від властивостей люмінофора;  $U_a$  - напруга анода;  $U_0$  - мінімальна напруга анода, при якій виникає світіння люмінофора;  $n$  - коефіцієнт нелінійності ( $n=1...2$ );  $j$  - щільність струму променя.

Яскравість світіння екрана вимірюється фотометром. Режим вимірювання обмовляється в ТУ на ЕПП.

Контрастність зображення визначається відношенням яскравості світлого, збудженого до заданого рівня поля випробувального зображення, до яскравості темного, не збудженого поля, при виключенні впливу зовнішнього засвічення екрана ЕПП:

$$k = \frac{(B_B - B_B)}{B_T - B_B} ,$$

де  $B_B$ ,  $B_T$  - яскравість відповідно в білій і темній смугах,  $B_B$  - яскравість зовнішнього засвічення екрана при запертому осцилографічному ЕПП.

Норми на величину контрастності зображення задаються в технічних умовах (ТУ) на ЕПП.

Нерівномірність яскравості світіння екрана являє собою відхилення

яскравості світіння екрана по його площі від середнього значення яскравості. Вимірюють яскравість світіння ряду ділянок растра, наприклад, по діагоналі або вздовж рядків, і визначають максимальну і мінімальну яскравість ділянок по площі растра:

де  $V_1$ ,  $V_2$  - відповідно максимальна і мінімальна яскравість ділянок екрана ЕПП.

Електричний режим, розмір плями, тип розгортки променя при вимірюванні встановлюються відповідно до вимог, обумовлених в ТУ на даний тип ЕПП.

### **3.2. Програма роботи.**

3.2.1. Ознайомитися з органами управління і вимірювальними приладами установки для дослідження електричних і світлотехнічних параметрів осцилографічних ЕПП. Зовнішній вигляд стенду для дослідження параметрів та характеристик осцилографічного ЕПП представлений на рис. 4.2.

3.2.2. Виконати вимірювання відповідно до програми.

3.2.3. Оформити звіт, представивши схему установки і результати вимірювань у вигляді таблиць і графіків. Зробити необхідні висновки.

3.2.4. Відповісти на контрольні питання і здати залік по лабораторній роботі.

### **4.3. Порядок виконання роботи.**

4.3.1. Ознайомитися з конструкцією, принципом роботи і основними електричними і світлотехнічними параметрами осцилографічних ЕПП.

4.3.2. Включити стенд і встановити відповідні потенціали в такій послідовності:

- включити тумблер "Сеть" на панелі блоку БУ-1. При цьому повинна загорітися індикаторна лампочка, розташована поряд з тумблером на передній панелі цього блоку;
- встановити перемикач роду роботи на передній панелі блоку „Крест-Растр” в положення "Луч";
- включити тумблери ввімкнення потенціалів відповідних електродів

осцилографічного ЕПП на панелі БУ-2 та БУ-3. При цьому повинні загорітися сигнальні світло діоди . Встановити потенціали на електродах осцилографічного ЕПП відповідно табл. 3.1;

Таблиця 3.1

Електроди осцилографічного ЕПП	Накал	Модулятор	Катод	Екран	Фокус	А3	А4	Післяприскорення
Потенціал початкової установки	6,3В	-360 В	-350 В					3 кВ

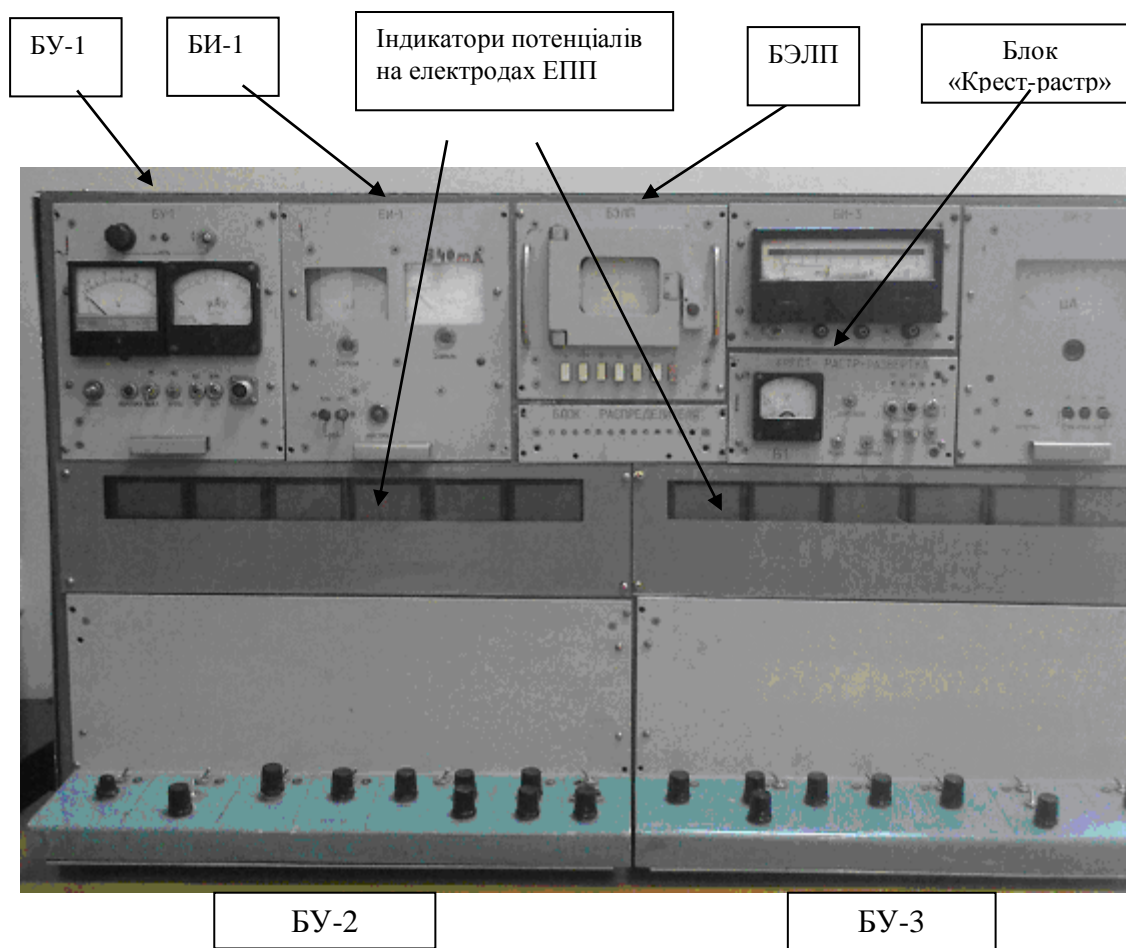


Рис.3.2. Зовнішній вигляд стану для дослідження параметрів та характеристик осцилографічного ЕПП.

3.3.3. Виміряти модуляційну характеристику осцилографічного ЕПП. Модуляційна характеристика показує залежність струму катода від потенціалу

модулятора відносно потенціалу катода ЕПП:

- Струм катода вимірювати міліамперметром, який встановлений в блоці БИ-1. На панелі цього блоку встановити діапазон вимірювання міліамперметра 500 мА. Струм катода вимірюється при натисненні відповідної кнопки на панелі цього блоку. Встановити режим роботи «Крест».
- Встановити потенціал катода заданий викладачем. На модуляторі встановити потенціал, що дорівнює потенціалу катода. При цьому струм катода буде максимальний, а напруга між катодом і модулятором буде дорівнювати нулю. Занести ці значення в таблицю експериментального вимірювання модуляційної характеристики.
- Зменшувати потенціал модулятора відносно потенціалу катода з шагом по 5В (8-10 вимірювань) і фіксувати в таблиці відповідне значення струму катода. Змінювати потенціал модулятора до тих пір, поки струм катоду не стане дорівнювати нулю (1 мкА).
- Змінити потенціал катода (значення потенціалу катоду задає викладач) и провести повторно вимірювання модуляційної характеристики. Отримані значення занести в протокол лабораторної роботи.

#### 3.3.4. Виміряти електричні параметри осцилографічного ЕПП:

Перевірити положення і фокусування електронного променя. Установити перемикач В1 положення "о" на передній панелі блоку „Крест-Растр” і повільним обертанням ручки потенціометра "Модулятор" в блоці БУ-2 зменшувати від'ємну напругу на модуляторі відносно катода до відкриття прожектора осцилографічного ЕПП. При цьому на екрані ЕПП повинна з'явитися яскрава пляма. Змінюючи при необхідності потенціали фокусуємого електрода і третього анода добитися отримання на екрані ЕПП сфокусованої яскравої плями електронного променя. При оптимальному фокусуванні променя занести значення потенціалів електродів ЕПП в протокол лабораторної роботи.

**Увага!** Щоб уникнути руйнування люмінофорного шару екрану не допускати дуже яскравого світіння сфокусованої плями променя на екрані

осцилографічного ЕПП, особливо при нерухомому промені. Зменшувати струм електронного променя збільшенням від'ємного потенціалу на модуляторі ЕПП відносно катоду.

3.3.5. Визначити похибку юстування електронно-оптичної системи осцилографічного ЕПП, перевірити чутливість і не лінійність відхилення. Встановити перемикач "Вид роботи" на панелі блоку БЕПП в положення "○" (Статична точка). При цьому на відхиляючі пластини примусово подаються потенціали, що дорівнюють нулю. Не змінюючи потенціали інших електродів ЕПП визначити величину відхилення плями електронного променя від центру масштабної сітки екрану як по координаті X, так і по координаті Y.

3.3.6. Виміряти чутливість відхилення електронного променя по координатах "X" і "Y";

- Встановити перемикач роду роботи ЕПП в положення „-○-” Змінюючи напругу на відхиляючих пластинах (8-10 значень в сторону від'ємних та 8-10 значень в сторону додатних значень) і контролюючи відхиляючу напругу по цифровому індикатору "Пласт. X", виміряти лінійкою зміщення точки по координаті X.

- Повернути електронний промінь в центр екрана. Змінюючи напругу на відхиляючих пластинах "Y" (8-10 значень в сторону від'ємних та 8-10 значень в сторону додатних значень) і контролюючи відхиляючу напругу по цифровому індикатору "Пласт. Y", виміряти зміщення точки по координаті "Y".

- Результати вимірювань занести в таблицю протоколу лабораторної роботи, побудувати графіки, визначити чутливість і нелінійність відхилення електронного променя по координатах "X" і "Y".

3.3.7. Виміряти не лінійність відхилення електронного променя:

- При положенні перемикач роду роботи ЕПП в положення „-○-” змістити пляму електронного променя по координаті «X» на 25% від половини робочої частини екрана. Змінюючи напругу на відхиляючих пластинах «Y» (8-10 значень в сторону від'ємних та 8-10 значень в сторону додатних значень) і

контролюючи відхиляючу напругу по цифровому індикатору "Пласт. Y", виміряти лінійкою зміщення точки по координаті Y. Те ж саме зробити при відхиленні променя на 75% від половини робочої частини екрана. Отримані данні занести в протокол лабораторної роботи.

- Змістити пляму електронного променя по координаті «Y» на 25% від половини робочої частини екрана. Змінюючи напругу на відхиляючих пластинах «X» (8-10 значень в сторону від'ємних та 8-10 значень в сторону додатних значень) і контролюючи відхиляючу напругу по цифровому індикатору "Пласт. X", виміряти лінійкою зміщення точки по координаті X. Те ж саме зробити при відхиленні променя по координаті «Y» на 75% від половини робочої частини екрана. Отримані данні занести в протокол лабораторної роботи.

- Розрахувати не лінійність відхилення електронного променя по координатах «X» та «Y».

### 3.3.8. Перевірити перпендикулярність установки пластин X і Y.

Перемикач роду роботи на передній панелі блоку БЕПП встановити в положення "Хрест". На екрані ЕПП, що досліджується, повинні спостерігатися дві взаємно перпендикулярні лінії (хрест). При необхідності регулюванням потенціалу модулятора встановити яскравість зображення „хреста”. Ручками "Підсилення X-Y" блоку "Хрест-растр" встановити необхідний розмір зображення „хреста”. Правильність установки відхиляючих пластин ЕПП перевірити по взаємній перпендикулярності ліній "хреста".

### 3.3.9. Визначити роздільну здатність осцилографічного ЕПП:

Перемикач роду роботи на БЕПП встановити в положення "Растр". При цьому на екрані приладу рядки растра будуть знаходитися в горизонтальному положенні. Встановити необхідний розмір растра по вертикалі і горизонталі. Необхідне число рядків (50 або 100) встановлюється за допомогою кнопок на передній панелі блоку "Хрест-растр". Для отримання вертикального растра досить перемикач роду роботи на БЕПП перевести в положення "Растр II".

Роздільну здатність ЕПП в горизонтальному та вертикальному напрямках виміряти методом стислого растра. Значення граничної роздільної здатності ЕПП (число ліній на діаметр екрана) занести в протокол лабораторної роботи.

3.3.8. Зробити необхідні розрахунки та побудувати характеристики і графіки.

### **3.4. Контрольні питання.**

3.4.1 Описати конструкцію і принцип роботи осцилографічного ЕПП .

3.4.2 Назвати основні параметри і характеристики осцилографічних ЕПП .

3.4.3 Дайте визначення чутливості. Від чого вона залежить? Чому чутливість "X" і "Y" пластин різні?

3.4.4 Від чого залежить яскравість світіння люмінофора екрана осцилографічного ЕПП?

3.4.5 Що таке вигоряння і стомлення екрана?

3.4.6 Люмінофор хороший діелектрик. Поясніть, як встановлюється потенціал люмінофора при опроміненні його електронним променем.

3.4.7 Намалюйте модуляційну характеристику і поясніть, від чого залежить її крутизна і потенціал запирання.

**Література:** 2, 3, 5.

## 4. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

**Тема:** Дослідження просторово-частотної характеристики передавального електронно-променевого приладу відіконного типу.

**Мета роботи:** ознайомитися з конструкцією, режимами роботи, основними параметрами і характеристиками передавального телевізійного електронно-променевої приладу відіконного типу, а також з методами дослідження його просторово-частотної характеристики.

### 4.1. Теоретичні відомості

#### 4.1. Призначення і конструкція відікона

Передавальний телевізійний електронно-променевий прилад призначений для перетворення оптичного зображення об'єкта в телевізійний електричний відео сигнал.

Основні елементи відікона (рис. 4.1): електронний прожектор, призначений для формування сфокусованого пучка електронів, відхиляюча система для відхилення електронного променя та фоточутлива мішень, що перетворює видиме зображення об'єкта на потенціальний рельєф пропорційно освітленості елементів мішені. Для фокусування і відхилення електронного променя використовують електромагнітну фокусуєчо-відхиляючу систему. В приладах даного типу широко застосовують також дефлекторні електростатичні системи відхилення електронного променя.

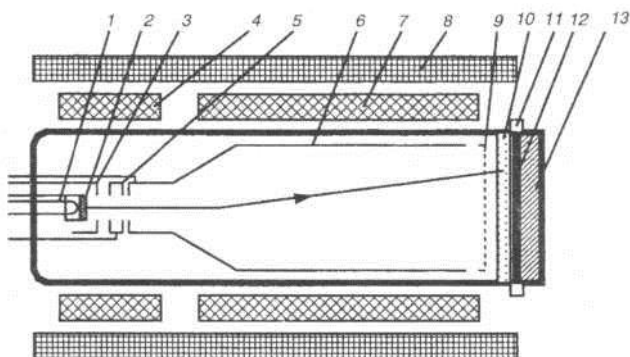


Рис. 4.1. Конструкція відікона

Джерелом електронів електронного прожектора є оксидний катод непрямого розжарення 2, який підігріває вольфрамова спіраль розжарення

1. За допомогою модулятора 3 здійснюється керування струмом електронного променя. Система електродів: катод 2, модулятор 3 і перший анод 5, являє собою імерсійний об'єктив. Електронний прожектор відикона побудований зі штучним кроссовером, яким є отвір діафрагми першого анода (діаметр отвору близько 30 мкм). Електроди першого та другого анодів утворюють імерсійну лінзу. Фокусуюча котушка 8 створює однорідне подовжнє магнітне поле, за допомогою якого електрони пучка, що пройшли в отвір діафрагми, фокусуються в площині мішені. В екіпотенціальному просторі, що утворює другий анод 6, відхиляюча система, що складається з двох пар відхиляючих котушок 7, створює поперечне магнітне поле, що відхиляє електронний промінь у двох взаємно перпендикулярних напрямках – горизонтальному і вертикальному. Коректуюча котушка 4 слугує для суміщення електронного променя з віссю електронно-оптичної системи, тобто для усунення похибок збирання і виготовлення елементів електронного прожектора відикона.

Другий анод 6 являє собою довгий циліндр, призначений для екранування електронною пучка від зовнішніх електростатичних полів. Потенціал другого анода вищий за потенціал першого анода 5. Дрібно-структурна провідникова сітка 9 призначена для вирівнювання поля перед мішенню і колімації пучка. Крім того, ця вирівнююча сітка забезпечує відбір вторинних електронів, що утворюються внаслідок взаємодії електронного променя з поверхнею діелектричної мішені приладу. Потенціал сітки є найвищим в електронно-променевої системі відикона і складає приблизно 600 В.

Під час виготовлення мішені спочатку на скляну планшайбу-підкладку 13 наносять тонкий провідниковий прозорий для світла шар з двооксиду олова 12, який називають сигнальною пластиною. Остання має кільцевий вивід 11, через який на мішень подають відповідний потенціал та знімають вихідний сигнал приладу. На сигнальну пластину наносять шар фото провідника 10 завтовшки 3÷5 мкм. В якості фото провідника застосовують,

наприклад, стибніт, який має великий темновий опір.

#### 4.1.2 Принцип дії мішені відикона

Потенціал сигнальної пластини під час роботи відикона становить 10...30 В. За рахунок ємнісного зв'язку в момент вмикання відикона потенціал поверхні фото провідника зі сторони електронного променя

зміщується в область додатних значень по відношенню до потенціалу катода електронного прожектора, який дорівнює нулю. Електронний промінь сканує поверхню

мішені по закону телевізійної растрової розгортки і послідовно рядок за рядком комує елементи мішені в режимі повільних

електронів при діючому коефіцієнті вторинної електронної емісії, значення якого менше одиниці (рис. 4.2). У більшості випадків роботи відиконів робоча ділянка вторинно-емісійної характеристики знаходиться між значеннями потенціалу діелектрика  $U_{p.k.}$  та  $U_{kp1}$ . Тобто на діелектричну мішень відикона електронний промінь наносить від'ємний заряд і потенціал поверхні мішені знижується і тяжіє до рівноважного потенціалу катода. В результаті між сигнальною пластинною та поверхнею мішені виникає різниця потенціалів 10...30В, тобто кожен елемент мішені виявляється зарядженим до напруги, яка подана на сигнальну пластину. Фотопровідник має високий темновий опір і тому за інтервал часу між послідовними комутаціями при затемненій мішені кожен елемент мішені розрядиться через внутрішній опір фото провідника на незначну величину. При повторній комутації (в наступному кадрі телевізійної растрової розгортки) електронний промінь за рахунок вторинної електронної емісії підзарядить кожен елемент мішені до катодного рівноважного потенціалу  $U_{p.k.}$ . Властивості мішені ідентичні по всій поверхні і тому всі елементи мішені за час кадрової розгортки розрядяться через внутрішній опір приблизно на однакову (незначну)

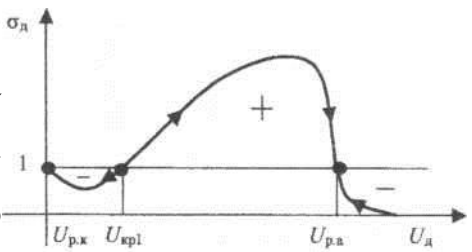


Рис.4.2. Вторинно-емісійна характеристика мішені відикона

величину, а при комутації електронним променем в наступному кадрі відповідно підзарядяться на таку ж величину. Всяка зміна зарядів на діелектричній мішені відикона супроводжується протіканням в ланцюгу сигнальної пластини відповідного струму, який на резисторі навантаження  $R_n$  формує вихідний сигнал приладу. При затемненій мішені цей струм називають темновим струмом відикона.

Якщо на мішень спрямувати оптичне зображення (просторовий розподіл освітленості по полю мішені), то внаслідок зміни провідності елементів мішені у відповідності з їх освітленістю (внутрішній фотоефект) потенціал елементів поверхні мішені підвищуватиметься залежно від їх освітленості, тобто елементи мішені за рахунок внутрішнього фотоефекту розряджатимуться за період кадрової розгортки на різну величину. В результаті оптичне зображення на мішені перетворюється на відповідний потенціальний рельєф. Електронний пучок під дією відхиляючого магнітного поля розгортається в растр, тобто послідовно зліва направо і рядок за рядком (зверху вниз) протягом кадру телевізійної растрової розгортки комутує елементи мішені по всій її поверхні. Унаслідок комутації потенціал кожного елемента мішені знов зміщується до потенціалу катода (нуля), при цьому на елемент мішені наноситься негативний заряд, значення якого пропорційне глибині потенціального рельєфу мішені. Вихідний сигнал виникає на резисторі  $R_n$ , увімкненому в ланцюг сигнальної пластини, унаслідок протікання електричного струму по ланцюгу:  $+U_{c.p.}$ ,  $R_n$ , сигнальна пластина, ємнісний струм заряду ємності мішені, електронний промінь, катод, земля, мінус  $U_{c.p.}$ . При цьому єдиною умовою лінійного перетворення інформації на мішені відикона є те, що за час комутації електронним променем елемента мішені його потенціал має досягти катодного рівноважного потенціалу, тобто нуля. Вихідний сигнал із резистора  $R_n$  через конденсатор подається на попередній підсилювач каналу формування телевізійного сигналу.

### 4.1.3. Параметри і характеристики відикона.

**Струм сигналу.** Струм сигналу передавальної трубки визначає основні параметри і характеристики відео тракту телевізійної системи. Під струмом сигналу розуміють струм на виході трубки, модульований відповідно до розподілу освітленості на світлочутливому шарі мішені трубки. Максимальна сила струму сигналу відповідає максимальному перепаду освітленості оптичного зображення, тобто перепаду освітленості від найбільш світлої до найбільш темної ділянки зображення. Тому для вимірювання струму сигналу трубки використовують зображення, що містить чорно-білі перепади освітленості.

**Нерівномірність сигналу по полю зображення.** Під цим параметром розуміють відхилення значення сигналу по полю мішені (у разі рівномірної освітленості мішені) від його середнього значення в процентах. Нерівномірність сигналу безпосередньо впливає на якість відтворення телевізійного зображення, оскільки після перетворення відеосигналу на екрані приймальної телевізійної трубки станеться спотворення яскравості деталей зображення відповідно до рівня нерівномірності сигналу по полю мішені відикона.

Причинами нерівномірності сигналу є нерівномірності товщини світлочутливого шару мішені відикона та електричних властивостей мішені, пов'язані з особливостями технології, і не ідентичність умов комутації електронним променем на різних ділянках поверхні мішені. У разі відхилення електронного променя від осі трубки відбувається деяка його розфокусованість, що призводить до збільшення поверхні елемента мішені та зменшення густини струму електронного променя, що комутує мішень. При нелінійності пилкоподібного струму у відхиляючих котушках рядкової розгортки змінюється швидкість переміщення електронного променя по поверхні мішені і відповідно змінюється час комутації елемента мішені. Суттєвий вплив на значення амплітуди відеосигналу має також неортогональність падіння електронів на мішень у випадку відхилення

променя від осі трубки.

**Нерівномірність фону по полю зображення.** Під нерівномірністю фону сигналу розуміють повільні зміни вихідного струму трубки по полю зображення під час рівномірно освітленої або повністю затемненої поверхні мішені. Нерівномірність фону зумовлена тими ж причинами, що і нерівномірність сигналу по полю зображення й оцінюється відношенням максимальної зміни вихідного струму трубки по полю рівномірно освітленої (або темної) мішені, яку називають сигналом фону, до номінального значення струму сигналу трубки.

**Інерційність.** Під інерційністю розуміють запізнення змін сигналу трубки відносно відповідних змін освітленості на світлочутливому шарі. У відиконах інерційність має дві складові: фотоелектричну і комутаційну.

Фотоелектрична складова інерційності обумовлена тим, що потенціальний рельєф кожної точки мішені приладу формується протягом телевізійного кадру. При цьому зміни вхідного оптичного сигналу у цей проміжок часу інтегруються на кожному елементі мішені і не відображаються у вихідному сигналі.

Комутаційна інерційність виникає внаслідок неповного зчитування потенціального рельєфу електронним променем, що комутує поверхню мішені. У зв'язку з великою ємністю мішені і малим струмом пучка потенціальний рельєф не повністю згладжується (досягає рівноважного потенціалу - потенціалу катода), тому в наступному кадрі під час зчитування потенціального рельєфу виникає залишковий сигнал від потенціального рельєфу попередніх телевізійних кадрів.

Властивості фото провідників такі, що зі збільшенням їх чутливості зростає комутаційна складова інерційності. Тому найбільш чутливі відикони мають велику інерційність, що обмежує їх застосування в телебаченні.

### **Частотно-контрастна характеристика і роздільна здатність відикона.**

Роздільна здатність або просторова фільтрація оптичного сигналу

визначається частотно-контрастною характеристикою (ЧКХ) відикона, яка показує залежність контрасту елементів зображення від їх геометричних розмірів (просторової частоти). Існують різні методи визначення ЧКХ такі як, експериментальне визначення контрасту оптичних штрихових мір зображень тестових випробувальних таблиць (наприклад, ТИТ-0249), визначення ЧКХ по крутому перепаду яскравості тестового оптичного зображення. Ці методи дозволяють експериментально визначити ЧКХ діючої системи технічного зору, виконаної на основі конкретного типу сенсора зображення.

Роздільну здатність визначають за частотно-контрастною характеристикою відикона (рис. 4.3), яка показує залежність значення модуляції вихідного сигналу відикона від просторової частоти штрихів. Зі збільшенням просторової частоти штрихів значення модуляції вихідного сигналу відикона зменшується в наслідок перекриття декількох штрихів апертурою електронного променя.

Частотно-контрастну характеристику ЕПП називають апертурною характеристикою, оскільки вона визначається переважно апертурними характеристиками електронного променя: розмірами і формою перетину електронного променя в площині мішені, розподілом густини струму за його перетином (рис. 4.4).

Роздільна здатність передавального ЕПП визначає здатність передавати найдрібніші деталі оптичного зображення з мінімально допустимим для візуального сприйняття контрастом. Роздільна здатність відикона залежить від діаметра перетину електронного променя в площині мішені (апертури) та розміру робочої ділянки поверхні мішені передавального ЕПП. Оскільки рядки растра розташовані горизонтально, то роздільна здатність приладу у вертикальному напрямку буде обмежена насамперед кількістю рядків  $N$  розгортки телевізійного растру, а в горизонтальному - апертурою електронного променя. Тому роздільну здатність відикона визначають, за вертикальним штриховим клином, а також за групами паралельних

вертикальних штрихових мір з різною щільністю штрихів телевізійної випробувальної таблиці, наприклад, ТИТ-0249 (рис.3.6). В телебаченні роздільна здатність відикона визначається кількістю помітних телевізійних (чорна + біла) ліній вертикального штрихового клину, зведеною до вертикального розміру зображення телевізійної випробувальної таблиці ТИТ-0249, вписаного в фоточутливу мішень відикона. При цьому визначають межу між розрізненими і нерозрізненими штрихами вертикального штрихового клину або групами штрихових мір, що відповідає граничній роздільній здатності відикона. Однак при цьому потрібно враховувати вплив на результати вимірювань частотної характеристики телевізійного каналу .

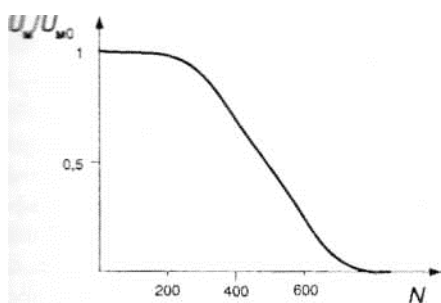


Рис.4.3. Просторово-частотна характеристика відикона

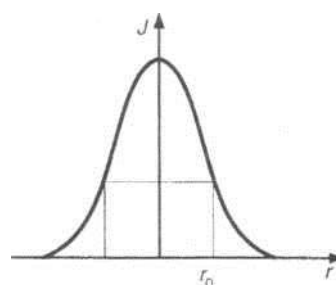


Рис.4.4. Розподіл густини струму за перетином електронного променя в площині мішені.

Просторово-частотну характеристику відикона можна визначити по за допомогою перетворення Фур'є від імпульсної характеристики відикона.

**Світлова характеристика (характеристика „світло – сигнал”).** Під світловою характеристикою розуміють залежність вихідного сигналу відикона від освітленості фото чутливої мішені. Цю характеристику прийнято апроксимувати функцією

$$I_c = \kappa E^\gamma$$

$I_c$  - струм сигналу;  $E$  - освітленість мішені;  $\kappa$  - постійний коефіцієнт, що залежить від чутливості трубки;  $\gamma$  - постійний коефіцієнт, що визначає нелінійність світлової характеристики.

Якщо  $\gamma = 1$ , то світлова характеристика лінійна (до певної границі освіт-

леності). Такі відикони застосовують у кольоровому телебаченні. Для звичайних відиконів  $\gamma = 0,7$ , тобто зі збільшенням освітленості крутість характеристики *світло - сигнал* меншає. Це дозволяє збільшити динамічний діапазон освітленості і кількість градацій яскравості, а за малої освітленості, де крутість більша, - поліпшити якість зображення за рахунок збільшення контрасту.

**Загальна і контрастна чутливість.** Під загальною чутливістю розуміють мінімальну освітленість на мішені, за якої забезпечуються паспортні параметри відикона (струм сигналу, відношення сигналу до шуму, роздільна здатність, інерційність тощо). Чим менша потрібна освітленість, тим вища загальна чутливість ЕПП. Природно, що загальна чутливість передавальної трубки визначає її область застосування.

Під контрастною чутливістю розуміють здатність відикона забезпечувати формування вихідного сигналу від мінімального перепаду освітленості на мішені в умовах зовнішнього підсвічування, тобто від значення мінімального приросту освітленості на мішені приладу, за якого реєструється відповідний приріст вихідного сигналу при забезпеченні паспортних параметрів приладу: відношення сигнал/шум, роздільної здатності, інерційності тощо.

#### **4.1.4. Устаткування для дослідження параметрів та характеристик відикона**

Структурну схему випробувальної установки для дослідження параметрів і характеристик відикона показано на рис.4.4. Випробувальна установка містить передавальну телевізійну камеру, світлову шафу з телевізійною випробувальною таблицею ТИТ 0249, телевізійний монітор ВК-25, телевізійний осцилограф С9-1 і вольтметр ВК7-9. За допомогою світлової шафи встановлюють потрібну освітленість телевізійної випробувальної таблиці ТИТ-0249, зображення якої фокусують через об'єктив телевізійної передавальної камери на фото чутливий шар мішені відикона. Відповідно до освітленості на мішені відикона формується

потенціальний рельєф, який зчитується сфокусованим електронним променем. При цьому електронний промінь сканує мішень за законом телевізійної растрової розгортки і формує вихідний сигнал відикона, який через відео підсилювач надходить на відповідні входи телевізійного монітора ВК-25 і телевізійного осцилографа С9-1. Осцилографом С9-1 вимірюють параметри сигналу на виході відео підсилювача. Враховуючи, що відео підсилювач є лінійною ланкою, можна вважати вихідний сигнал відео підсилювача пропорційним вихідному сигналу відикона і будувати експериментальні характеристики відикона у відносних одиницях, прийнявши за одиницю максимальне значення відеосигналу від чорно-білого перепаду яскравості протяжних елементів телевізійної випробувальної таблиці ТИТ-0249..

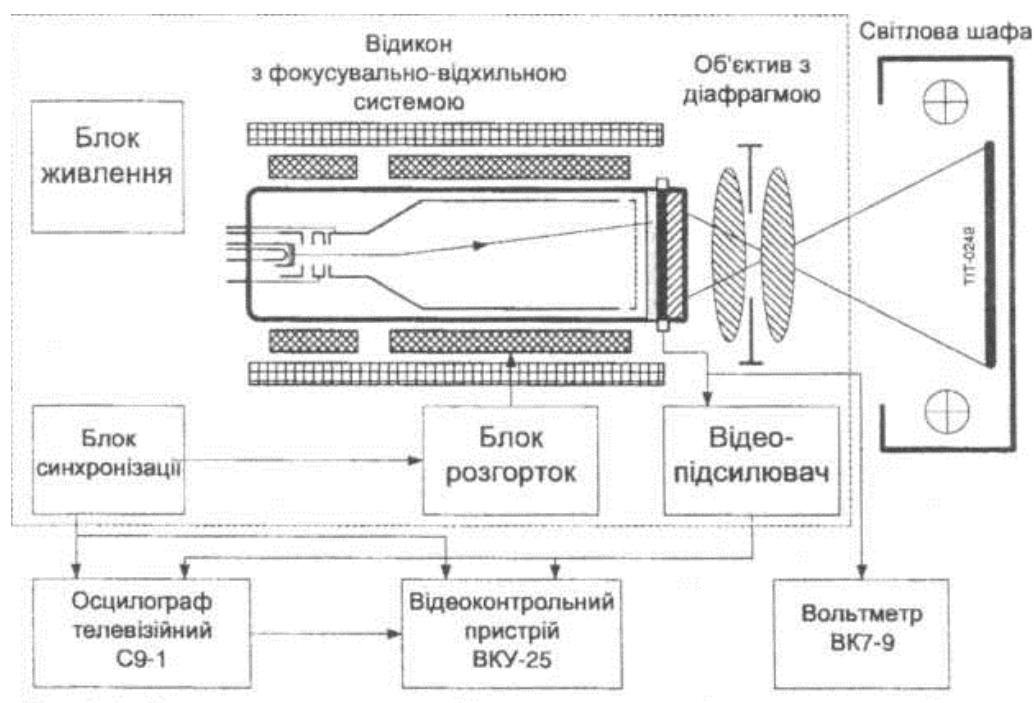
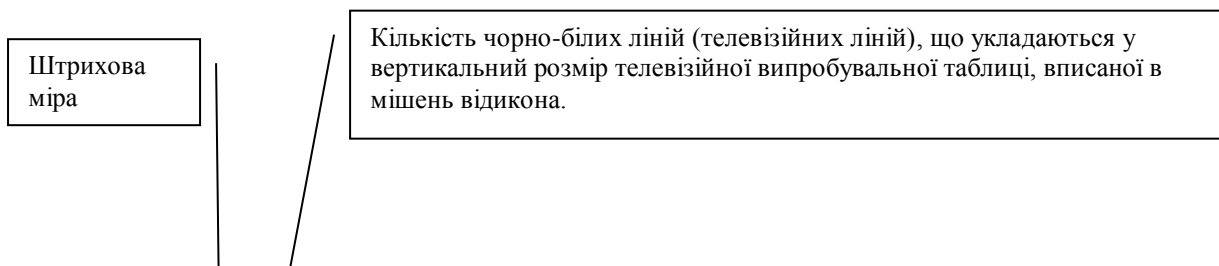


Рис. 4.5. Блок-схема випробувальної установки для дослідження параметрів і характеристик відикона



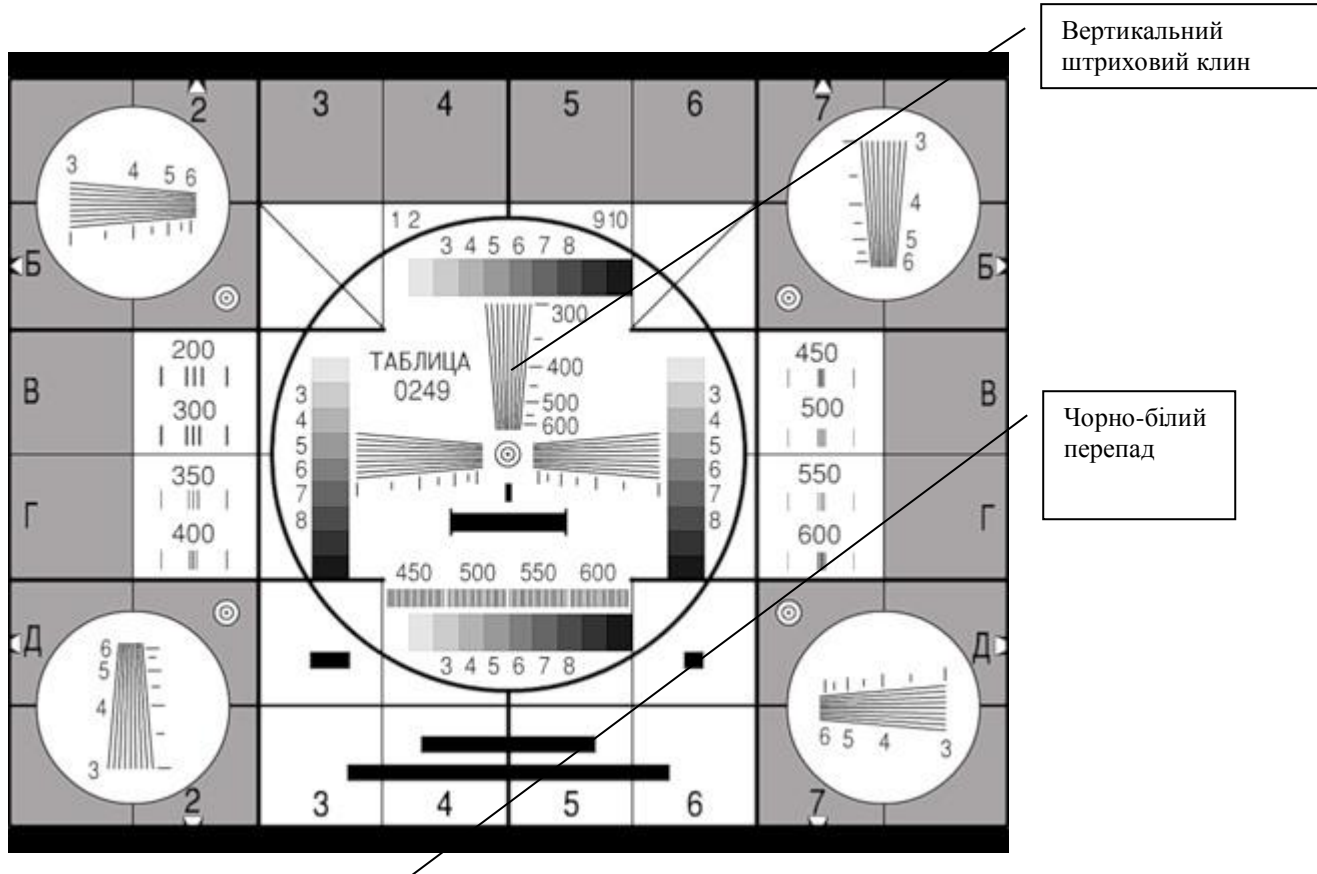


Рис. 4.6. Телевізійна випробувальна таблиця ТІТ- 0249.

#### 4.4. Програма роботи

4.4.1 Підготувати установку для дослідження параметрів і характеристик відикона:

- зібрати або перевірити схему вимірювальної установки відповідно до рис. 3.5;

- увімкнути вимірювальну установку і прилади, що входять до її складу;

- установити оптимальну освітленість телевізійної випробувальної таблиці ТІТ-0249, що знаходиться в світловій шафі, контролюючи якість зображення на екрані відео контрольного пристрою.

4.4.2 Перевірити наявність на зображенні випробувальної таблиці імпульсу підсвічування рядка, що формується блоком виділення рядка телевізійного осцилографа С9-1. Якщо підсвічування рядка відсутнє, то перевести перемикач синхронізації осцилографа в положення «Внутрішня» і за допомогою регуляторів «Стаб» та «Рівень» добитися стабільної осцилограми

на екрані осцилографа. Перевести перемикач синхронізації осцилографа в положення «БВС», увімкнути блок виділення строки (БВС) і перевірити наявність підсвічування строки растра на зображення телевізійної випробувальної таблиці ТИТ-0249.

4.4.3 Виміряти частотно-контрастну характеристику (ЧКХ) відикона за допомогою штрихового клину та штрихових мір телевізійної випробувальної таблиці ТИТ-0249:

- перемикачами блока виділення рядка телевізійного осцилографа С9-1 вивести імпульс підсвічування виділеного рядка на вертикальний штриховий клин зображення телевізійної випробувальної таблиці.
- підібрати параметри розгортки осцилографа та регулюванням «Затримка» установити імпульс підсвічування таким чином, щоб він трохи перекривав штрихи вертикального штрихового клину ТИТ-0249. При цьому відеосигнал виділеної ділянки рядка телевізійного зображення відтворюється на екрані осцилографа;
- виміряти осцилографом С9-1 п'ять-шість значень модуляції відеосигналу штрихами штрихового клина, послідовно переміщуючи імпульс підсвічування від широкої частини клина до вузької. Праворуч від штрихового клина вказано відповідну кількість телевізійних ліній, зведену до вертикального розміру телевізійної випробувальної таблиці, вписаної в мішень відикона;
- за результатами вимірювань побудувати у відносних одиницях залежність модуляції відеосигналу від кількості телевізійних ліній, тобто просторово-частотну характеристику відикона  $K=f(N_{\text{ТВЛ}})$ , де  $K = \frac{U_m}{U_{m_0}}$ ,  $U_m$  – модуляція відео сигналу штрихами штрихового клину для відповідної кількості телевізійних ліній  $N_{\text{ТВЛ}}$ ;  $U_{m_0}$  - значення сигналу від чорно-білого перепаду телевізійного зображення.

4.4.4 Визначити частотно-контрастну характеристику відикона по крутому перепаду яскравості тестового оптичного зображення:

- встановити імпульс підсвічування виділеної ділянки рядка на чорно-білий перепад яскравості зображення телевізійної випробувальної таблиці. За допомогою осцилографа С9-1 виміряти перехідну характеристику відикона як його реакцію на ступінчатий перепад яскравості оптичного зображення (5-6 значень перехідної характеристики занести в протокол лабораторної роботи).
- апроксимувати експериментальні данні перехідної характеристики відикона поліноміальною функцією. Для апроксимації перехідної характеристики використати поліноміальну функцію, наприклад,  $h(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3$ . Метод апроксимації та порядок апроксимуючого поліному вибрати такими, щоб забезпечити мінімальну похибку апроксимації експериментальних даних.
- Шляхом диференціювання апроксимуючої функції перейти від перехідної характеристики відикона до його імпульсної характеристики:  $g(t) = \frac{dh(t)}{dt}$ .
- за допомогою перетворення Фур'є визначити нормовану амплітудно-частотну характеристику відикона, що досліджуються.

$$K(j\omega) = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} g(t)e^{-j2\pi f \cdot t} dt}{\int_{-\infty}^{+\infty} g(t) dt},$$

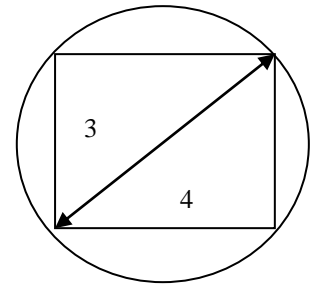


Рис.4.7 Телевізійний растр, вписаний в мішень відикона.

Частоту  $f$  змінювати в діапазоні 1-20 мГц з кроком 1 мГц. Розраховану амплітудно-частотну характеристику занести в протокол лабораторної роботи.

- перейти від частоти  $f$  до просторової частоти  $f_x = f \cdot v_l$ , де  $v_l = L_p / t_p$ ,  $L_p$  - довжина рядка зчитування,  $t_p = 52$  мкс - час прямого ходу рядка телевізійної растрової розгортки. Діаметр мішені відикона  $\varnothing = 25$  мм.
- побудувати частотно-контрастну характеристику відикона  $K = f(N_{\text{ТВЛ}})$ , враховуючи, що один період просторової частоти буде дорівнювати одній

парі (чорна+біла) телевізійних ліній. При визначені частотно-контрастної характеристики привести кількість телевізійних ліній до вертикального розміру телевізійного растру, вписаного в мішень відикона (рис.4.7).

4.4.5 Порівняти частотно-контрастні характеристики відикона, отримані різними методами.

#### **4.5. Порядок виконання роботи**

1. Ознайомитися зі схемою установки для дослідження параметрів, характеристик і електричних режимів роботи відикона (див. рис. 4.4) та приладами, що входять до її складу: телевізійним осцилографом з блоком виділення рядка С9-1, передавальною телевізійною камерою, відео контрольним пристроєм ВК-25.
2. Виконати вимірювання відповідно до програми.
3. Оформити звіт, подавши схему установки і результати вимірювань у вигляді таблиць і графіків. Зробити потрібні висновки.
4. Відповісти на контрольні запитання і скласти залік з лабораторної роботи.

#### **4.6. Контрольні питання**

1. Опишіть роботу вимірювальної установки за схемою (див. рис. 3.4).
2. Чим пояснити підвищення чутливості передавальних ЕПП, які працюють з накопиченням зарядів?
3. На якому фізичному ефекті засновано роботу мішені відикона?
4. Принцип роботи передавальної електронно-променевої трубки.
5. Назвіть основні параметри і характеристики відикона.
6. Назвіть основні області застосування відикона.
7. Поясніть отримані характеристики.
8. Від чого залежить роздільна здатність відикона?

**Література:** [1; 3, с. 436-439, 451-456; 4, с. 247-259; 6, с. 70-94; 7, с. 147-156].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРИ:

1. Гдалин В.С. Измерение параметров телевизионных передающих и приемных трубок. – М.: Сов. радио, 1978.
2. Жигарев А.А. Электронная оптика и Электронно-лучевые приборы. – М.: Высш. шк., 1972. -537 с.
3. Жигарев А.А., Шамаева Г.Г. Электронно-лучевые и фотоэлектронные устройства. – М.: Высш. шк., 1982. -463 с.
4. 4.Электрoвакуумные приборы и основы их конструиpования: Учебн. Для техникумов./А.Г.Гуртовнтик, Е.Г.Точинский, Ф.М.Яблонский. – М.: Энергоиздат, 1988. – 424 с.
5. Денбновецкий С.В., Семенов Г.Ф. Запоминающие трубки в устройствах обработки информации. – М.: Сов. радио, 1973. – 472 с.
6. Шмаков П.В. Телевидение. – М.: Связь, 1979. – 424 с.
7. Домбругов Р.М. Телевидение. – К.: Вища шк., 1988. -215с.