

**621.38
Ш350**

Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія



Швець Є.Я.
Юдачов А.В.
Турба М.М.

ВАКУУМНА ТА ПЛАЗМОВА ЕЛЕКТРОНІКА

ЧАСТИНА 2

ЕЛЕКТРОННО–ПРОМЕНЕВІ ПРИЛАДИ

Навчально–методичний посібник

*для студентів спеціальності 6.090804
«Фізична та біомедична електроніка»*

Запоріжжя
2010

Міністерство освіти та науки України
Запорізька державна інженерна академія

*Затверджено до друку
рішенням вченої ради ЗДІА,
протокол №xx від xx.xx.20xxр.*

ВАКУУМНА ТА ПЛАЗМОВА ЕЛЕКТРОНІКА

ЧАСТИНА 2

ЕЛЕКТРОННО–ПРОМЕНЕВІ ПРИЛАДИ

Навчально–методичний посібник

*для студентів спеціальності 6.090804
«Фізична та біомедична електроніка»*

*Рекомендовано до видання
на засіданні кафедри ФБМЕ,
протокол № від .10.2010р.*

ББК621.38
УДК III 360

Вакуумна та плазмова електроніка Частина 2. Електронно–променеві прилади. Навчально–методичний посібник для студентів спеціальності 6.0908.04 «Фізична та біомедична електроніка» /Укладачі Є.Я. Швець, А.В.Юдачов, Турба М.М. – Запоріжжя: Видавництво ЗДІА, 2010р. – 127 с.

Укладачі *Є.Я. Швець, к.т.н., професор*
А.В. Юдачов, ст. викладач
М.М. Турба, к.ф.м.н., професор

Відповідальний за випуск: *зав. кафедрою ФБМЕ*
к.т.н., проф. Є.Я.Швець

У посібнику містяться теоретичні відомості стосовно методів формування електронного променя, його керування та відхилення, принципів дії та конструкції електронно–променевих приладів. Приведені питання для самоконтролю і підготовки до тестування з основних розділів відповідної навчальної програми.

Рецензенти:

Корнич Г.В., д.ф.м.н., професор, завідувач кафедри системного аналізу та обчислювальної математики Запорізького національного технічного університету
Гусев В.О. д.т.н., професор, завідувач кафедри електронної техніки Севастопольського національного технічного університету

Зміст

Вступ.....	4
1 Електронно–променеві прилади	5
1.1 Призначення і конструкції ЕПП	5
1.2 Конструкція електронної гармати з електростатичним фокусуванням променя	8
1.3 Конструкція електронної з гармати електромагнітним фокусуванням променя	12
1.4 Параметри і характеристики електронних гармат.....	14
1.5 Системи відхилення електронного променя в ЕПТ	16
1.5.1 Електростатична відхиляюча система.....	16
1.5.2 Електромагнітна відхиляюча система	22
1.6 Екрани ЕПТ	29
1.6.1 Екрани приймальних ЕПТ.....	29
1.7 Приймальні ЕПТ	42
1.7.1 Осцилографічні ЕПТ.....	43
1.7.2 Кінескопи.....	46
1.7.3 ЕПТ спеціального призначення	68
1.7.4 Основні параметри і маркування ЕПТ	80
1.8 Передавальні ЕПТ.....	86
1.8.1 Принципи отримання телевізійного сигналу і основні вимоги до передавальних ЕПТ	87
1.8.2 Передавальні ЕПТ миттєвої дії.....	92
1.8.3 Передавальні ЕПТ з накопиченням заряду	94
1.8.4 Передавальні ЕПТ з накопиченням заряду та перенесенням зображення	100
Питання для самоконтролю і підготовки до тестування	114
Додаток 1.....	119
Умовно – графічні позначення (УГП) ЕПП.....	119
Рекомендована література.....	121

Вступ

Навчально-методичний посібник з дисципліни «Вакуумна і плазмова електроніка» ч. 2. «Електронно–променеві прилади» відповідає вимогам навчального плану спеціальності 6.0908.04 «Фізична та біомедична електроніка» і змісту навчальної програми дисципліни «Вакуумна і плазмова електроніка».

У частині 2. «Електронно–променеві прилади» навчального посібника викладені методи формування та відхилення електронного променя в електровакуумних приладах. Розглянуто конструкції різних типів відхиляючих систем, їх параметри, характеристики, переваги і недоліки. Також розглянуті типи, конструкції і характеристики екранів електронно–променевих приладів. Розглянуто принципи дії і конструкції різних типів приймальних, передавальних і запам'ятовуючих електронно–променевих приладів, а також їх характеристики, параметри і області їх застосування.

При вивченні курсу «Вакуумна і плазмова електроніка» необхідні знання окремих розділів попередніх дисциплін - вища математика:

- теорія алгебри і диференціальних рівнянь;
- диференціальне і інтегральне числення;
- фізика:
 - молекулярна фізика,
 - кінетична теорія газів,
 - електростатика
 - електродинаміка,
 - магнетизм
- теорія електронних кіл:
 - електричні ланцюги постійного струму,
 - електричні ланцюги змінного струму,
 - перехідні процеси в ланцюгах із зосередженими параметрами,
 - електричні ланцюги з розподіленими параметрами,
 - електричні ланцюги з нелінійними елементами.

Посібник призначений для студентів денної та заочної форми навчання.

1 Електронно–променеві прилади

Електронно–променеві прилади (ЕПП), клас електровакуумних приладів, призначених для різного роду перетворень інформації, яка представлена у формі електричних або світлових сигналів. Особливість таких приладів – використання потоку електронів, які сфокусовані у вузький пучок (електронний промінь), керований як по інтенсивності, так і по положенню в просторі. У типовому ЕПП поперечний перетин електронного променя складає не більше 5мм, довжина його може складати десятки сантиметрів.

Оскільки електронний промінь розташовується, як правило, уздовж балона ЕПП останні називаються електронно–променевими трубками (ЕПТ).

1.1 Призначення і конструкції ЕПП

Розрізняють чотири основних типу ЕПП призначених для:

1. перетворення електричного сигналу в оптичне випромінювання (приймальні ЕПП)
2. перетворення оптичне випромінювання в електричний сигнал (передавальні ЕПП),
3. перетворення електричного сигналу в електричний сигнал (комутаторні ЕПП).

Залежно від способу фокусування і відхилення електронного променя розрізняють ЕПТ:

1. З *електростатичним управлінням*, в яких електронний промінь фокусується і відхиляється електричним полем;
2. З *електромагнітним управлінням*, в яких промінь фокусується і відхиляється магнітним полем;
3. З *комбінованою* системою фокусування і відхилення електронного променя (фокусування електричним, а відхилення магнітним полем, або навпаки).

За функцією перетворення ЕПТ діляться на наступні основні групи:

1. **Осцилографічні трубки**, що служать для спостереження і зняття осцилограм електричних сигналів. Ці трубки в основному застосовуються у вимірювальній техніці;
2. **Індикаторні трубки**, призначені для реєстрації електричних сигналів в радіонавігаційних і радіолокаційних пристроях;
3. **Кінескопи**, призначені для перетворення електричного телевізійного сигналу у видиме зображення. Ці електронно-променеві трубки з успіхом використовуються також в пристроях виведення інформації ЕОМ третього і четвертого поколінь;
4. **Запам'ятовуючі трубки**, які використовувані для запису і зберігання інформації в електронному вигляді;
5. **Знакодруючі трубки** (характрони), призначені для відтворення на екрані букв, цифр і інших знаків з подальшою реєстрацією інформації фотографічним способом;
6. **Електронно-оптичні перетворювачі** (ЕОП), які використовуються для перетворення і підсилення оптичних зображень;
7. **Електронно-променеві перемикачі**, які призначені для комутації електричних ланцюгів за допомогою електронного променя.

До складу будь-якої електронно-променевої трубки входить електронна гармата **2**, яка служить для формування електронного променя і дозволяє змінювати його інтенсивність, пристрій для відхилення променя **3** і екрану **4**.

На рисунку 1.1 показано конструкція ЕПТ.

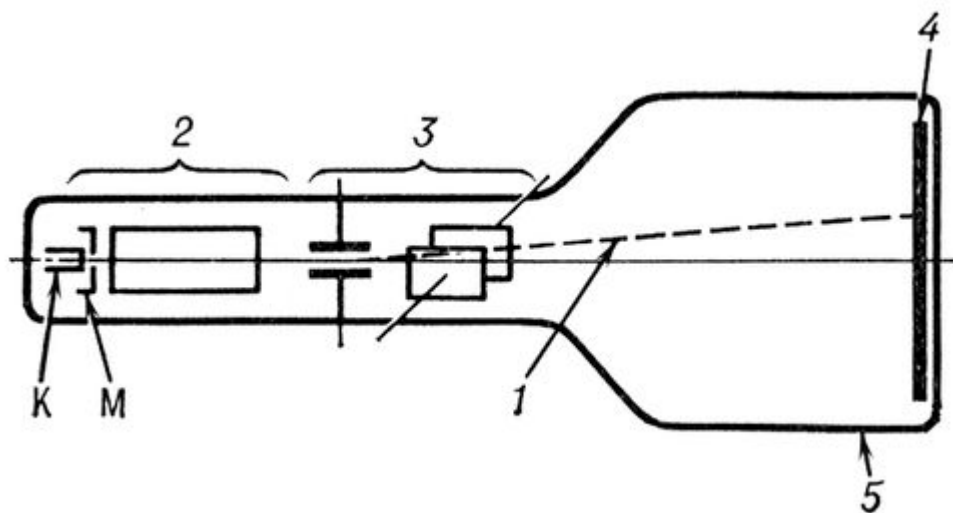


Рисунок 1.1 – Конструкція ЕПТ

Електронний промінь **1**, який створений електронною гарматою **2**, пройшовши через відхиляючий пристрій **3**, потрапляє на екран **4**. Екран **4** покритий з внутрішньої сторони люмінофором, який світиться при бомбардуванні його електронами. Матеріали люмінофорів можуть емітувати вторинні електрони у вакуумний простір ЕПТ під дією променя електронів (вторинна емісія) і створювати область просторового заряду (ОПЗ) біля екрану. Поле ОПЗ може істотно знижувати швидкість електронів в промені, а, відповідно, і яскравість свічення екрану. Для усунення впливу поля ОПЗ поряд з екраном розташований аквадаг **5** який нейтралізує поле ОПЗ. Аквадаг є графітовим шаром на внутрішній поверхні колби ЕПТ, на який подається позитивна напруга, величиною співрозмірною з величиною напруги електроду який фокусує електронний промінь. Якщо мішень ЕПТ є люмінесцентним екраном, виготовленим з люмінофорів, то така ЕПТ здатна візуалізувати електричні сигнали. Якщо в якості мішень використовувати світлочутливий шар, що змінює свої електричні властивості (наприклад, електропровідність) під дією світла, то ЕПТ з такими мішенями здатні здійснювати зворотне перетворення двовимірного оптичного зображення в послідовність телевізійних сигналів.

Залежно від призначення і принципу дії ЕПТ можуть мати не одну, а декілька електронних гармат і відрізнятися від простих

значною конструктивною складністю при збереженні основного принципу – взаємодії керованих електронних потоків з екранами.

1.2 Конструкція електронної гармати з електростатичним фокусуванням променя

Електронна гармата - це система електродів, яка дозволяє одержати направлений і сфокусований потік електронів (електронний промінь).

Конструкція простої електронної гармати, яка формує електронний промінь, представлена на рисунку 1.2. Вона складається з катода 1, модулятора 2, першого анода 3, другого анода 4.

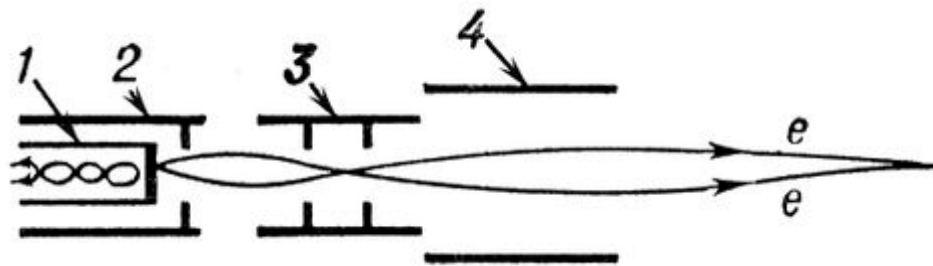
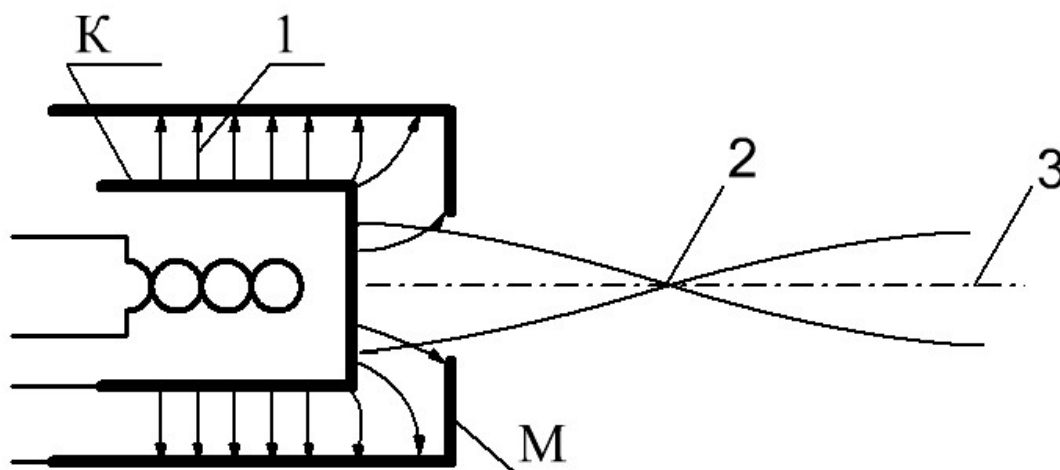


Рисунок 1.2 – Конструкція електронної гармати

Катод 1 непрямого нагріву тарілчастого типу виконується з дуже малою бічною емітуючою поверхнею. Зовні катод оточений циліндровим екраном, який знаходиться під потенціалом катода і його край виступає трохи вперед по відношенню до поверхні, яка емітує електрони. Таким чином, екран зменшує розсіювання емітованих катодом електронів і покращує термоізоляцію катода.

Модулятор 2 у формі циліндрового стакану з отвором в центрі на його дні служить для управління інтенсивністю електронного променя аналогічно сітці, яка керує електронним потоком в електровакуумних приладах. На модулятор подається негативна (по відношенню до катода) напруга, яка складає десятки вольт. Під дією поля, створеного цією напругою, електрони притискаються до осі ЕПП і сходяться в точці 2 на деякій відстані від модулятора (рис. 1.3).

Таким чином, виконується попереднє фокусування потоку електронів.



1– силові лінії електричного поля, 2 – точка фокусу, 3 – вісь ЕПП.

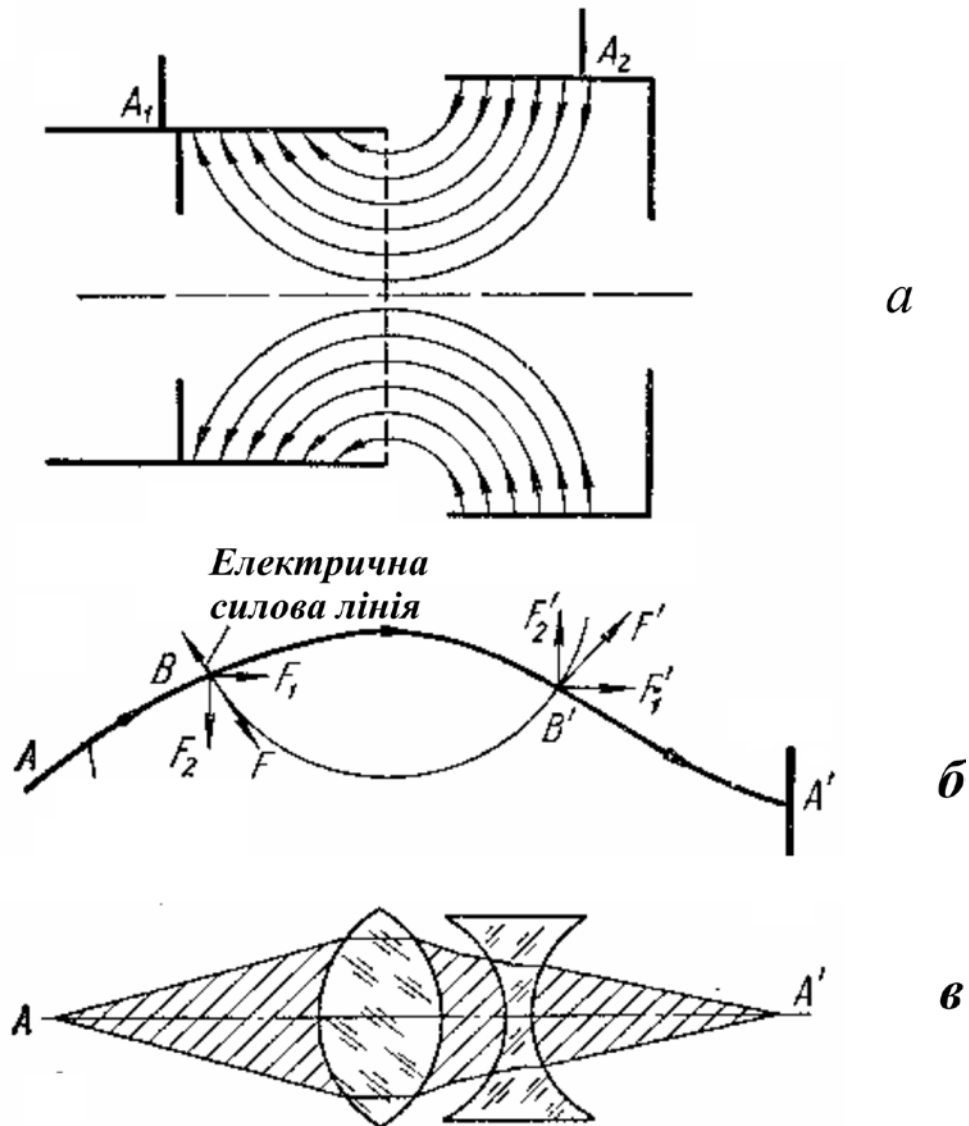
Рисунок 1.3 – Фокусування електронного потоку катода полем модулятора

Крім того, електричне поле модулятора є гальмуючим для емітованих електронів, отже, змінюючи величину негативної напруги на модуляторі, можна змінювати щільність електронного променя і тим самим регулювати яскравість свічення екрану. Подальший рух електронів до екрану і їх фокусування у вузький промінь здійснюється системою двох анодів.

Перший анод 3 електронної гармати має вид порожнистого циліндра і має декілька діафрагм. Він знаходиться під позитивним потенціалом в $500 \div 700\text{В}$ по відношенню до катода і забезпечує необхідну величину швидкості електронів в промені і називається прискорюючим електродом. Таким чином, із зміною потенціалу електроду, який прискорює електрони, змінюється швидкість (енергія) електронів в промені, що також приводить до зміни яскравості свічення екрану в приймальнях ЕПТ.

Другий анод 4 електронної гармати також має вид порожнистого циліндра з більшим діаметром ніж діаметр першого анода. Він знаходиться під позитивним потенціалом в $1500 \div 3000\text{В}$ по

відношенню до катода і забезпечує отримання сфокусованого в точку променя в місці його падіння на екран і називається фокусуючим електродом. Схема системи двоханодного фокусування приведена на рис. 1.4.



а – електричні силові лінії між анодами, б – траєкторія руху електрона в полі анодів, в – оптичний еквівалент системи двох анодів.

Рисунок 1.4 – Фокусування електронного потоку системою з двома анодами.

Оскільки потенціал другого анода 4 вище ніж потенціал першого анода 3 те силові лінії електричного поля між ними будуть направлені від другого анода до першого.

На електрон, що потрапляє в електричне поле, діє сила, направлена в кожній точці поля по дотичній до силової лінії. Наприклад, на електрон, що знаходиться в точці B , діє сила F , направлена по дотичній до силової лінії електричного поля між першим і другим анодами. Силу F можна розкласти на дві складові: подовжню F_1 і поперечну F_2 . Подовжня складова сили F_1 прискорює рух електрона уздовж осі трубки, а поперечна складова сили F_2 притискує його до осі трубки. В точці B' на ділянці другого анода подовжня складова сили F_1' як і раніше прискорює електрон у напрямі екрану, але поперечна складова сили F_2' відхиляє його від осі трубки.

Отже, дія системи анодів еквівалентно дії такої оптичної системи, що складається із збірної лінзи і лінзи, яка розсіює (рис. 1.4, в). Тому систему анодів електронно–променевої трубки, яка фокусує електрони, ще називають *електростатичною лінзою*. Необхідно підкреслити, що дія лівої частини електростатичної лінзи, яка збирає електрони, не рівнозначна дії правої частини електростатичної лінзи, яка їх розсіює, оскільки швидкість електрона в крапці B на ділянці першого анода менше, ніж в крапці B' на ділянці другого анода. Чим менша швидкість, тим довше знаходиться електрон у відхиляючому полі і тим більше отримане їм відхилення.

Отже, дію лівої частини електростатичної лінзи, яка збирає електрони більше за дію правої частини електростатичної лінзи, яка розсіює їх, і електрони будуть сходитися в одній точці (A') на осі трубки на деякій відстані від анодів. Змінюючи величину напруги на першому аноді, можна змінювати електричне поле між анодами і тим самим переміщати точку фокусу уздовж осі трубки, добиваючись поєднання її з поверхнею екрану. При цьому на екрані трубки з'являється різко окреслена пляма малого діаметру, що світиться.

Оскільки в процесі фокусування електронний потік взаємодіє з електричним полем, то такі ЕПТ одержали назву трубок з електростатичним фокусуванням електронного променя.

1.3 Конструкція електронної з гармати електромагнітним фокусуванням променя

Фокусування електронного потоку в промінь можна проводити і за допомогою магнітного поля. Для цього застосовують магнітні поля, створювані спеціальними котушками. Конструкція електронно–променевої трубки з магнітним фокусуванням показана на рис. 1.5.

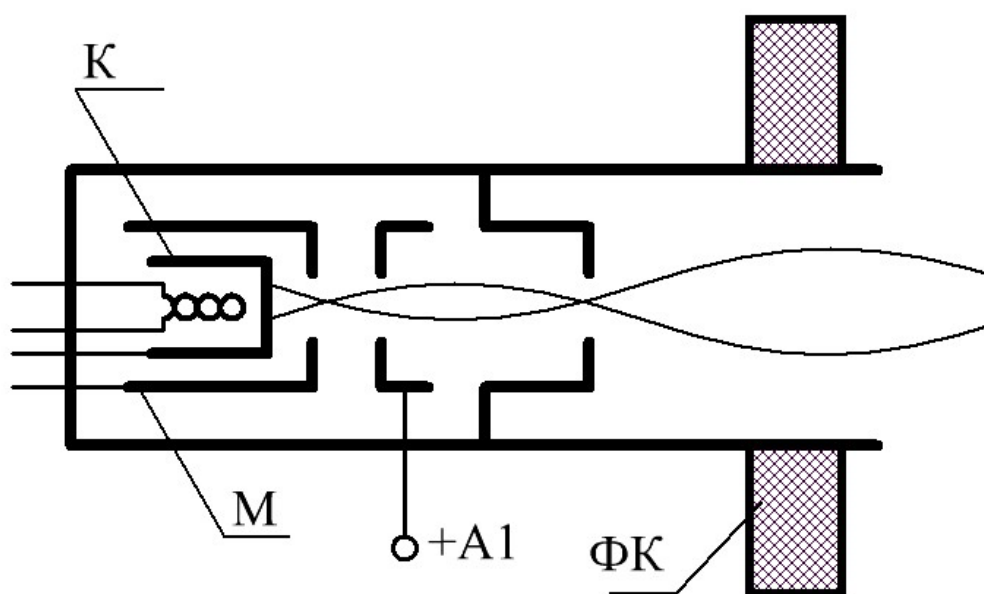


Рисунок 1.5 – Конструкція електронно–променевої трубки з магнітним фокусуванням променя

Електронна гармата складається з катода K , модулятора M і анода A_1 . Призначення електродів і їхній вплив на електронний потік аналогічні ЕПТ з електростатичним фокусуванням променя. Для фокусування променя ЕПТ на її горловину за анодом A_1 встановлюється фокусуюча котушка ФК.

У колі котушки яка фокусує електронний промінь (ФК) забезпечується протікання постійного струму, що створює навколо котушки неоднорідне магнітне поле.

Схема фокусування електронного променя магнітним полем зображена на рис. 1.6.

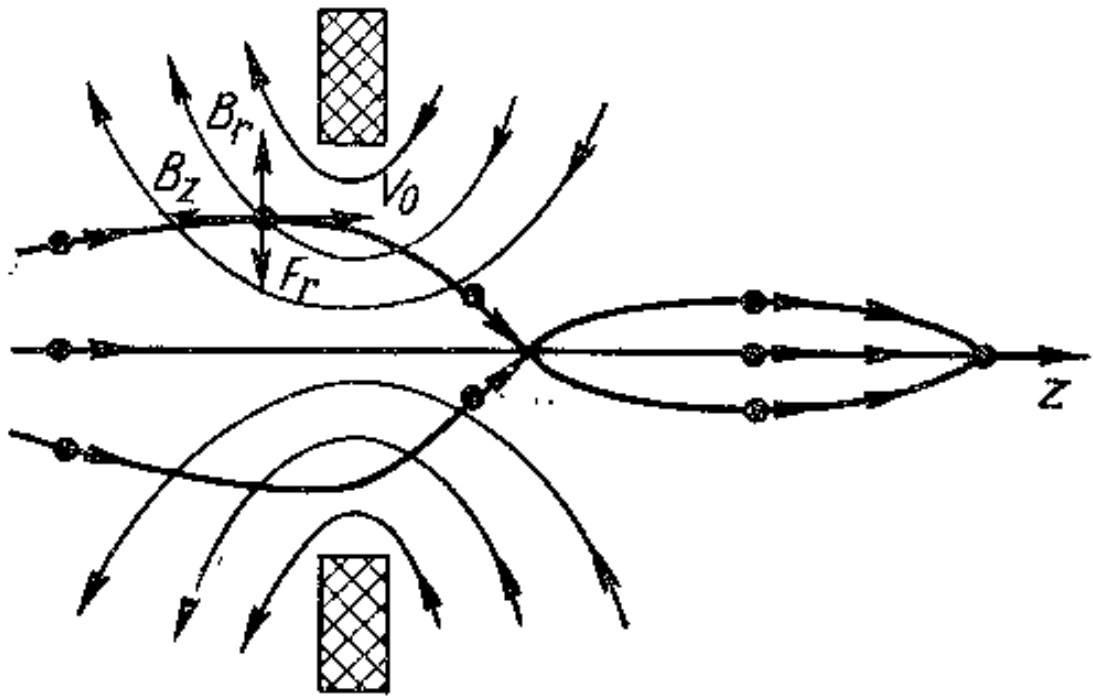


Рисунок 1.6 – Фокусування електронного променя магнітним полем

Неоднорідне магнітне поле ФК має осьову складову вектора індукції B_z і радіальну складову B_r . На електрони, що влітають у фокусуюче магнітне поле з швидкістю V_0 , діє сила

$$F = eV_0B_r,$$

яка перпендикулярна як до вектора V_0 , так і до вектора B_r і закручує електрони навколо осі z . Обертання електрона навколо осі z зумовлює появу сили взаємодії електрона з осьовою складовою магнітного поля B_z , яка завжди направлена до осі z і величина її тим більше, чим далі видалений електрон від осі. Сумісна дія сил F і F_r призводить до того, що траєкторія електронів приймає вид спіралі. Регулюванням величини струму, що протікає через фокусуючу котушку, можна змінювати величину магнітної індукції, а, отже, сили F_r , добиваючись того, щоб траєкторії електронів перетиналися в площині екрану.

1.4 Параметри і характеристики електронних гармат

Електронні гармати, що входять до складу ЕПТ мають наступні параметри – первеанс, швидкість і енергія електронів на виході електронної гармати.

Первеанс P є мірою інтенсивності електронних потоків. Величина його дорівнює відношенню струму електронного потоку до анодної напруги (в ступені трьох других), яка прискорює електрони:

$$P = I/U^{3/2}.$$

Струми електронних пучків в слабкострумових електронних гарматах, мають значення в межах від десятків мікроампер до десятків ампер.

Швидкість електронів на виході електронної гармати:

$$V = \sqrt{2e \frac{U_a}{m}},$$

де e – заряд електрона, m – маса електрона, U_a – напруга на другому аноді (електроді, який фокусує електрони).

Енергія електронів на виході електронної гармати визначається формулою:

$$Q = \frac{mV^2}{2},$$

і може доходити до сотень ***кЕВ***.

Однією з основних характеристик електронно–променевих гармат є їх *модуляційна характеристика*.

Модуляційна характеристика відображає залежність струму електронного променя або яскравості свічення екрану від напруги між модулятором і катодом (аналогічно анодно–сітковій характеристиці тріода). Типовий вид модуляційної характеристики показаний на рис. 1.7.

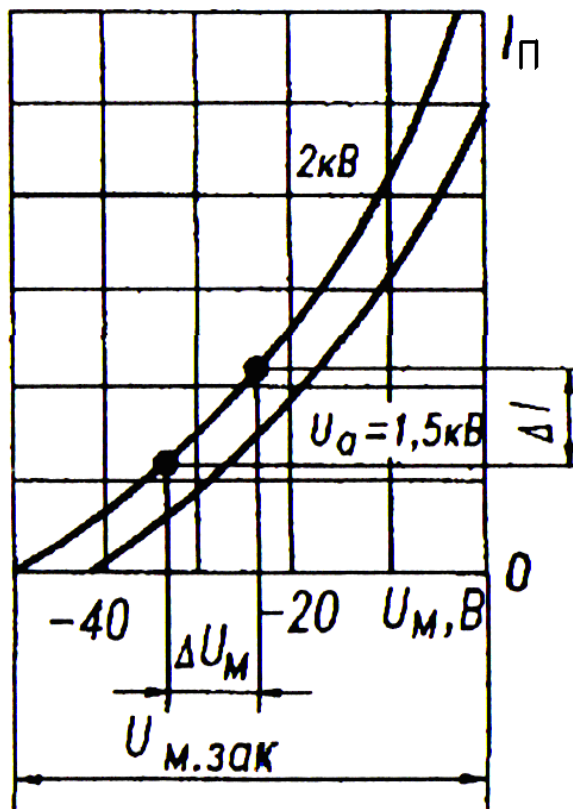


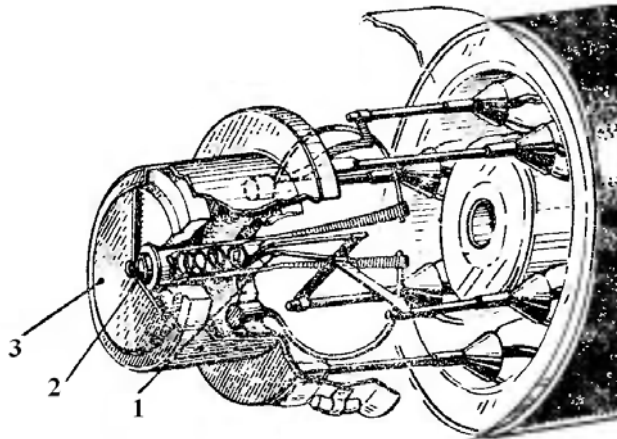
Рисунок 1.7 – Модуляційна характеристика ЕПТ

Зміна негативного потенціалу на модуляторі міняє величину мінімуму потенціалу у катода і струм променя. Це приводить до зміни яскравості свічення екрану. Із зростанням напруги U_a яка прискорює електрони, зменшується потенційний бар'єр у катода, що викликає збільшення струму променя, яскравості свічення екрану і напруги відсічи $U_{M\text{ від}}$. Напруга відсічи струму променя $U_{M\text{ від}}$ визначається величиною напруги між катодом і модулятором ЕПТ при якому сила струму променя дорівнює нулю. Вплив напруги модулятора на струм променя оцінюється **крут изною модуляційної характ ерист ики** (аналогічно крутизні анодно-сіткової характеристики триода).

$$S_M = \left. \frac{\Delta I_a}{\Delta U_i} \right|_{U_a = \text{const}} .$$

Видно, що значення S_M залежить від режиму ЕПТ.

На рис. 1.8 показана конструкція електронної гармати ЕПТ з магнітним фокусуванням променя.



1 – підігрівач катода непрямого підігріву, 2 – тарілчастий катод, 3 – модулятор.

Рисунок 1.8 – Конструкція електронної гармати з магнітним фокусуванням променя

1.5 Системи відхилення електронного променя в ЕПТ

Відхиляюча система (ВС) призначена для управління рухом електронного променя по екрану шляхом одночасного відхилення променя в двох взаємно перпендикулярних напрямках – вертикальному і горизонтальному. Якщо для відхилення променя використовується електричне поле, то відхиляюча система називається електростатичною. Якщо для відхилення променя використовується магнітне поле, то відхиляюча система називається магнітною.

1.5.1 Електростатична відхиляюча система

Електростатична відхиляюча система складається з двох паралельних пластин завдовжки l , які розташовані один від одного на відстані d , як це показано на рис. 1.9.

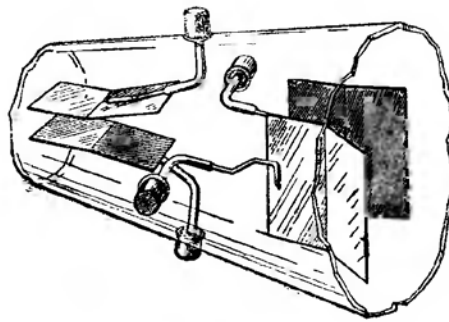


Рисунок 1.9 – Конструкція електростатичної відхиляючої системи ЕПТ

Якщо між пластинами прикладена напруга U , то між ними виникає електричне поле, напруженість якого дорівнює $E = -\frac{U}{d}$ (рис. 1.10). На електрон, що влетів у відхиляючу систему зі швидкістю $V = \sqrt{2e \frac{U_a}{m}}$ діє сила $F = -qE$.

Рівняння руху електрона має вигляд:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -qE$$

або

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = \eta \frac{U}{d}.$$

Враховуючи, що час прольоту пластини $\tau = \frac{l}{V}$, для поперечної швидкості електрона виходить наступний вираз:

$$V_x = \frac{\eta U}{d} \cdot \frac{l}{V}.$$

Таким чином, тангенс кута відхилення електронного променя при проходженні їм відхиляючої системи дорівнює

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{V_x}{V} = \frac{\eta U}{d} \cdot \frac{l}{V^2} = \frac{l \cdot U}{2d \cdot U_a}.$$

Далі електрон потрапляє в екіпотенціальний простір і рухається по прямій лінії. На екрані він відхилиться від нульового положення

на величину $D=L \cdot \operatorname{tg} \alpha$. Дві пари пластин утворює електростатичну відхиляючу систему конденсаторного типу.

Перша пара, розташована ближче до екрану, відхиляє промінь по осі X , а друга пара по осі Y . При одночасній подачі напруги на обидві пластини промінь відхиляється одночасно в двох напрямках.

Одним з основних параметрів будь-якої відхиляючої системи є **чутливість** S , яка показує, на яку відстань переміщується промінь по екрану ЕПТ при зміні дії (напруги або струму) на відхиляючу систему. Чутливість S електростатичної відхиляючої системи виражається в міліметрах (переміщення) на вольт (зміна напруги на відхиляючих пластинах) і визначається за формулою:

$$S = \frac{h}{U} = \frac{l \cdot D}{2d \cdot U_a},$$

де : l, d – довжина відхиляючих пластин і відстань між ними; D – відстань між відхиляючими пластинами і екраном.

Залежність чутливості від всіх величин, що входять в дану формулу, пояснює рис. 1.10.

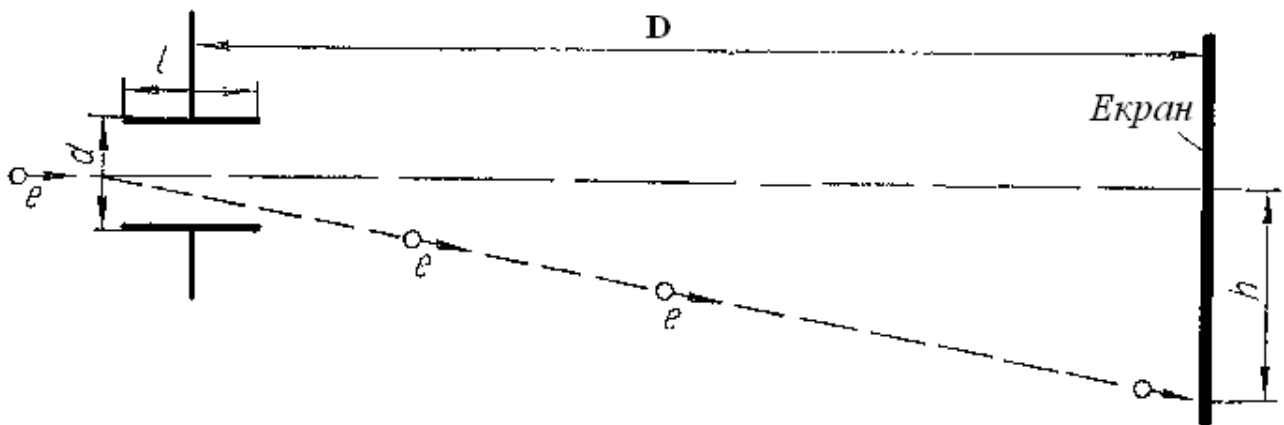


Рисунок 1.10 – До пояснення залежності чутливості електронно-променевої трубки від її конструктивних розмірів

Із збільшенням l електрон довше летить у відхиляючому полі і тому одержує велике відхилення. А при одному і тому ж кутовому відхиленні зсув світлової плями на екрані зростає із збільшенням відстані D . Якщо ж збільшити відстань між пластинами d , то напруженість поля між пластинами зменшиться і це викличе

зниження чутливості відхиляючої системи. Збільшення величини напруги U_a також викличе зниження чутливості відхиляючої системи, оскільки при цьому зросте швидкість руху електронів між пластинами.

У сучасних електростатичних відхиляючих системах величина чутливості знаходиться в межах $0,1 \div 1$ мм/В. Чутливість трубки в горизонтальному (S_x) і вертикальному (S_y) напрямках неоднакова, оскільки вертикально відхиляюча пара пластин розташована далі від екрану, ніж горизонтально відхиляюча пара пластин.

У ЕПТ, в яких потрібна висока чутливість ВС, виходячи з малих габаритів приладу не можна використовувати високий потенціал прискорення електронів на першому аноді U_a . Зниження потенціалу на першому аноді U_a приведе до зниження яскравості плями, що світиться, на екрані ЕПТ. У деяких приладах ця суперечність розв'язується таким чином. Електронна гармата створює потік порівняно повільних електронів, які легко відхиляються в полі ВС і тільки тоді одержують додаткове прискорення. Електроди, що створюють поле, яке прискорює електрони, часто виконуються у вигляді суцільного провідного покриття **1** на більшій частині внутрішньої поверхні колби (рис. 1.11) і окремого провідного кільця **2**, нанесеного також на внутрішню поверхню колби в безпосередній близькості від екрану.

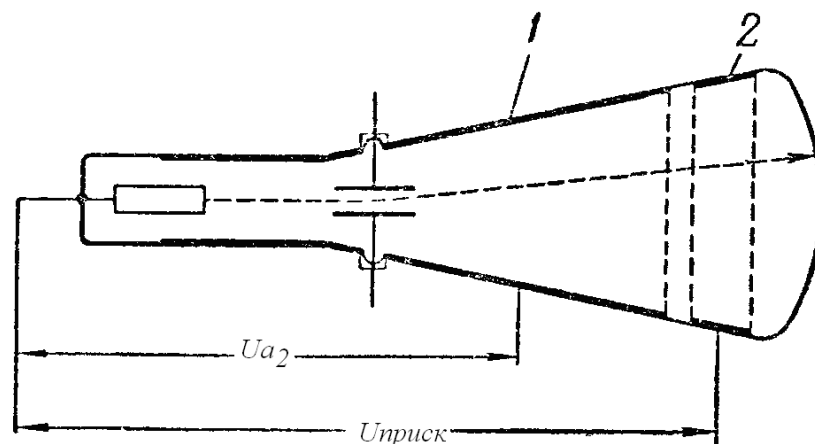
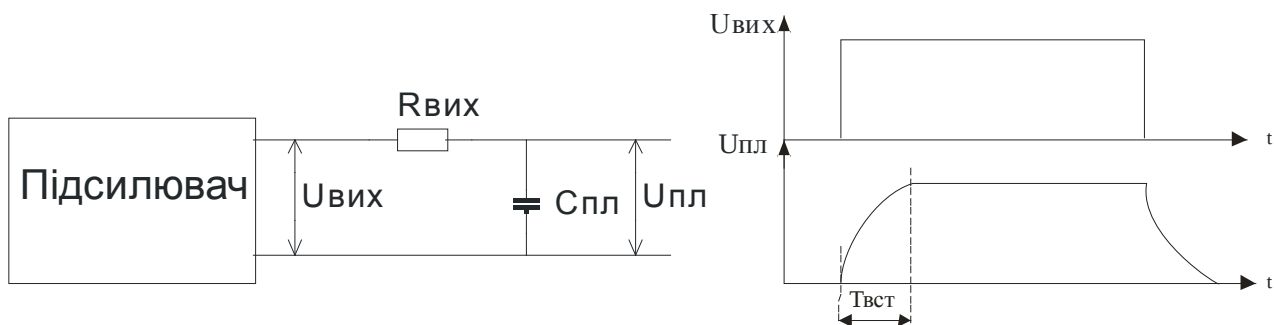


Рисунок 1.11 – Конструкція ЕПТ з додатковим прискорюючим електродом

Потенціал електроду *1* рівний потенціалу другого аноду, а потенціал кільцевого електроду значно вищий за потенціал другого аноду. У деяких типах електронно–променевих приладів з подальшим прискоренням створюється ряд таких кілець з напругою, що поступово збільшується, причому напруга на останньому електроді може досягати $10\div 15$ **кВ**. Таким шляхом можна одержати десятиразове збільшення яскравості свічення без істотного зменшення чутливості ВС приладу.

Іншим основним параметром електростатичної відхиляючої системи є її **швидкодія**, яка характеризується часом необхідним для зміни напруженості поля між відхиляючими пластинами. Напруга, що подається на відхиляючі пластини для відхилення променя на всю величину екрану ЕПТ, складає (залежно від типу ЕПТ), величину $100\div 200$ В. Для отримання напруги таких величин застосовуються підсилювачі, виконані на транзисторах. Еквівалентна схема електростатичної ВС, представлена на рис 1.12, дозволяє проаналізувати вплив окремих її елементів на форму напруги на пластинах ВС.



$R_{вих}$ – вихідний опір підсилювача, $C_{пл}$ – ємність між пластинами ВС

Рисунок 1.12 – До визначення швидкодії електростатичної відхиляючої системи ЕПТ

Припускаючи, що сигнал на виході підсилювача ($U_{вих}$) є ідеальним прямокутним імпульсом, визначимо вплив величин вихідного опору підсилювача ($R_{вих}$) і ємності між пластинами ОС

(Спл) на необхідний час для отримання на пластинах ОС стабільної величини відхиляючої напруги. Вихідний опір підсилювача і ємність між пластинами ОС утворюють інтегруючий ланцюг. Напруга на конденсаторі, який утворений пластинами ОС і вакуумним проміжком змінюється (наростає) за експоненціальним законом (перехідний процес). Час встановлення ($T_{вст}$) необхідний час для отримання на пластинах ОС стабільної величини відхиляючої напруги (статичний режим) називається тривалістю перехідного процесу і визначається формулою

$$T_{вст} = 4 \div 10 (R_{вих} \cdot C_{пл}).$$

Таким чином, на час зміни напруженості поля між відхиляючими пластинами впливають вихідний опір підсилювача і місткість між відхиляючими пластинами ВС ЕПТ.

Для збільшення швидкодії електростатичної ОС ЕПТ зменшують ємність між відхиляючими пластинами шляхом зменшення їх розмірів (площі) і збільшення відстані між пластинами, але при цьому знижується чутливість ВС ЕПТ і необхідні більш високі значення напруги на пластинах ВС.

Крім чутливості, важливішими параметрами ЕПТ є яскравість свічення екрану, тривалість після свічення і кут відхилення променя.

Яскравість ь свічення екрану – це сила світи, випромінюваного 1м^2 поверхні екрану, що світиться, у напрямі спостерігача. Яскравість свічення екрану сучасних осцилографічних ЕПТ складає декілька десятків кандел на квадратний метр.

Тривалість ь післясвічення – це час, необхідний для спаду яскравості свічення від первинної величини до мінімального значення після припинення електронного бомбардування екрану. Умовно, залежно від складу люмінофора, тривалість післясвічення ділять на п'ять груп:

- 1) менш 10^{-5} с – дуже коротке післясвічення;
- 2) от 10^{-5} до 10^{-2} с – коротке;
- 3) от 10^{-2} до 0,1 с – середнє;

- 4) от 0,1 до 16 с – тривале;
- 5) більш 16 с – дуже тривале.

Кут відхилення променя – це величина кутової міри, на яку необхідно відхилити електронний промінь від осі ЕПТ при якій він потрапляє на край екрану.

До переваг ЕПТ з електростатичним управлінням променем слід віднести високу швидкодію ОС (можливість осцилографіювання швидкозмінних процесів), мала потужність, споживана ланцюгами управління променем (окрім ланцюга підігріву катода). ЕПТ з електростатичним управлінням променем застосовуються як осцилографічні трубки для побудови електронно–променевих осцилографів – пристроїв, які дозволяють візуалізувати (спостерігати) форму електричних сигналів. Принцип його дії розглядається в курсах «Метрологія» або «Електрорадіовимірювання».

До недоліків ЕПТ з електростатичним управлінням променем відноситься наявність на її електродах достатньо високої напруги небезпечних для життя людини. У зв'язку з цим ланцюги, які сполучають виводи ЕПТ з рештою схеми повинні мати якісну ізоляцію, здатну тривало витримувати високі напруги.

1.5.2 Електромагнітна відхиляюча система

Для відхилення потоку електронів від осі ЕПТ окрім електричних застосовують магнітні поля. Конструкція електронно–променевої трубки з магнітним фокусуванням і магнітним відхиленням показана на рис.1.13.

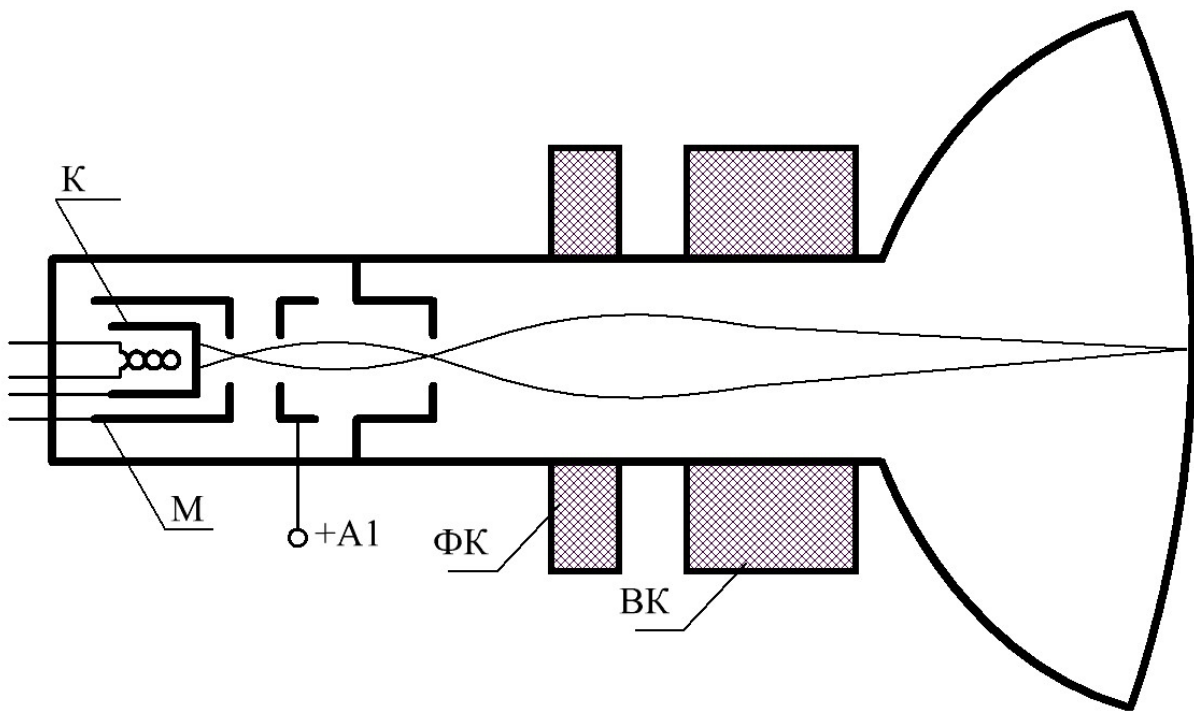


Рисунок 1.13 – Конструкція ЕПТ з магнітним управлінням променя

Електронна гармата ЕПТ складається з катода K , модулятора M і анодів A_1 і A_2 (анод A_2 усередині балона сполучений з графітовим покриттям – аквадагом). У котушці (ФК), яка фокусує електрони в промінь, протікає постійний струм, що створює навколо котушки неоднорідне магнітне поле. Система відхилення складається з відхиляючих котушок (ВК), розташованих перпендикулярно один до одного і до осі трубки. Ці котушки створюють магнітні поля, силові лінії яких взаємно перпендикулярні.

Для відхилення електронного променя по вертикалі і горизонталі використовуються дві пари котушок, розташованих взаємно перпендикулярно (рис.1.14) і які мають єдину конструкцію, яка називається **магнітною відхиляючою системою**.

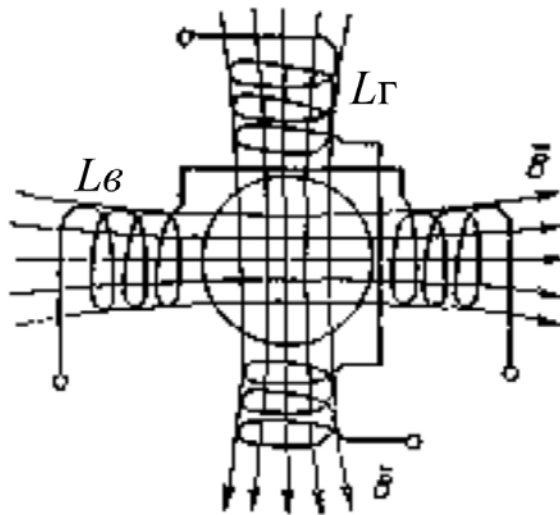


Рисунок 1.14 – Розташування котушок магнітної відхиляючої системи

На рис. 1.15 показане магнітне поле відхиляючої котушки, силові лінії якого направлені у бік спостерігача перпендикулярно до площини рисунка.

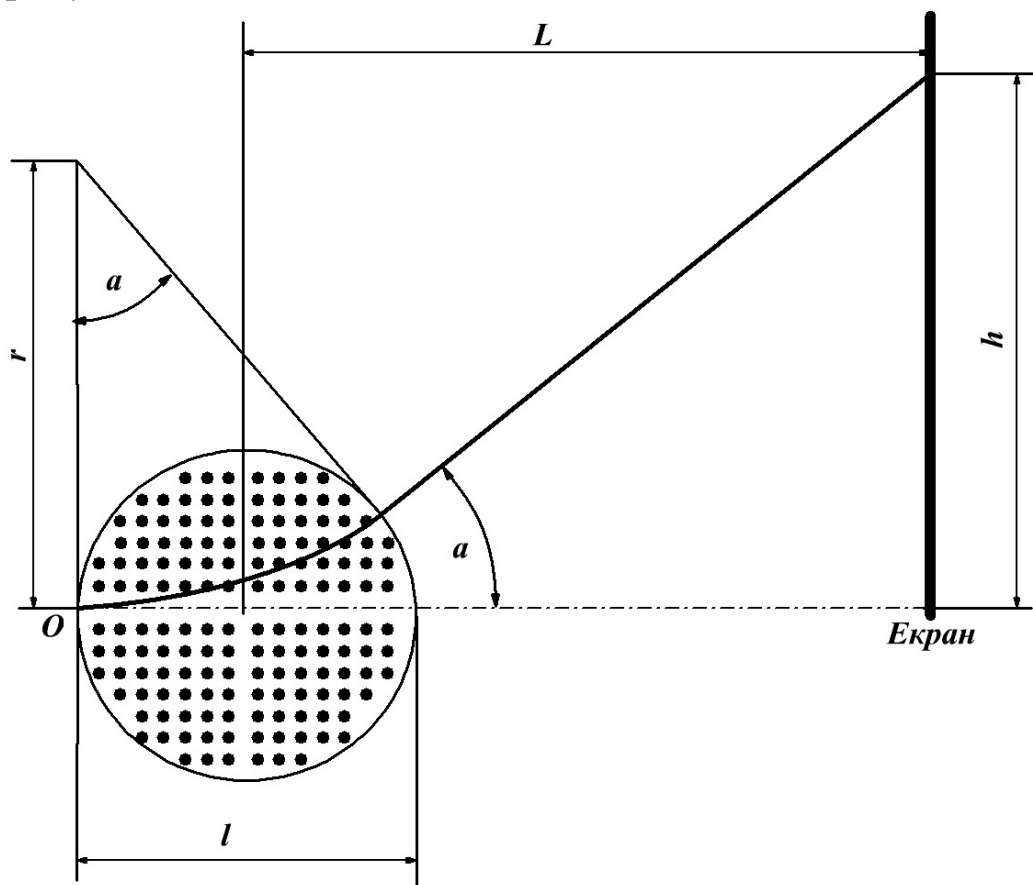


Рисунок 1.15 – Відхилення електронів променя магнітним полем

Електрон, що потрапляє в однорідне магнітне поле з швидкістю V_0 , перпендикулярної до напруженості поля, рухається по колу, радіус якого визначається виразом

$$r = \frac{m_e V_0}{eH}.$$

Після виходу з поля котушок електрон рухатиметься до екрану по дотичній до кола в точці виходу і попадає на екран в точку, віддалену від центру на деяку відстань. Величина відхилення променя від центру екрану тим більше, чим менший радіус дуги кола, по якому рухаються електрони у відхиляючому полі, тобто чим більше напруженість магнітного поля H . При малих кутах відхилення електронів величина відхилення променя на екрані ЕПТ пов'язана з напруженістю відхиляючого поля залежністю

$$h = \frac{\sqrt{\frac{e}{2m_e}} IL}{\sqrt{U_{a2}}} H,$$

де I – протяжність магнітного поля; L – відстань від центру відхиляючої системи до екрану; U_{a2} – напруга на другому аноді.

Напруженість магнітного поля пропорційна числу ампер–витків відхиляючої котушки

$$B_e = k \cdot n_{откл} \cdot I_{откл}$$

величина відхилення променя при цьому складає

$$h = \frac{\gamma \cdot L}{\sqrt{U_{a2}}} \cdot n_{откл} \cdot I_{откл}$$

$$\text{де } \gamma = lk \sqrt{\frac{e}{2m_e}}$$

Таким чином, при магнітному управлінні величина відхилення променя обернено пропорційна $\sqrt{U_{a2}}$, тоді як при електростатичному управлінні величина відхилення обернено пропорційна U_{a2} . Це означає, що при магнітному управлінні променем чутливість до

відхилення менше залежить від величини напруги прискорення, ніж при електростатичному управлінні. Внаслідок цього в трубках з магнітним управлінням вдається одержати кут відхилення $\alpha \approx 57^\circ$, а, отже, великі відхилення h при невеликій довжині трубки L .

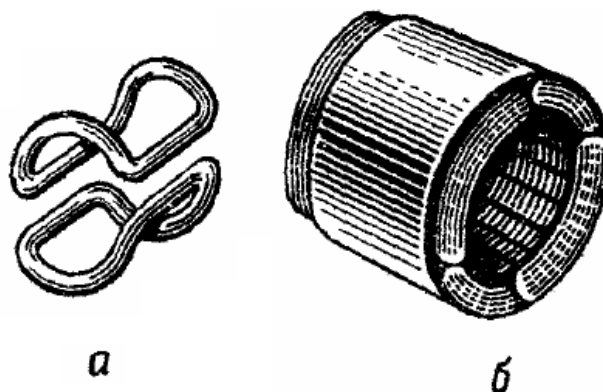
Чутливість електромагнітної ОС показує, на яку кількість міліметрів відхилиться світова пляма на екрані ЕПТ при зміні магніторушійної сили на один ампер–виток і визначається по формулі

$$S_M = h / (n_{откл} \cdot I_{откл}) = \frac{\gamma \cdot l}{\sqrt{U_a}}.$$

Чутливість S_M знаходиться в межах одиниць міліметрів на ампер–виток.

Конструкція відхиляючих котушок.

Відхиляючі котушки з феромагнітними сердечниками дозволяють збільшити щільність потоку магнітних силових ліній в необхідному просторі. Котушки з феромагнітними сердечниками (рис 1.16б) застосовуються тільки при низькочастотних відхиляючих сигналах, оскільки із збільшенням частоти відхиляючої напруги зростають втрати в сердечнику.



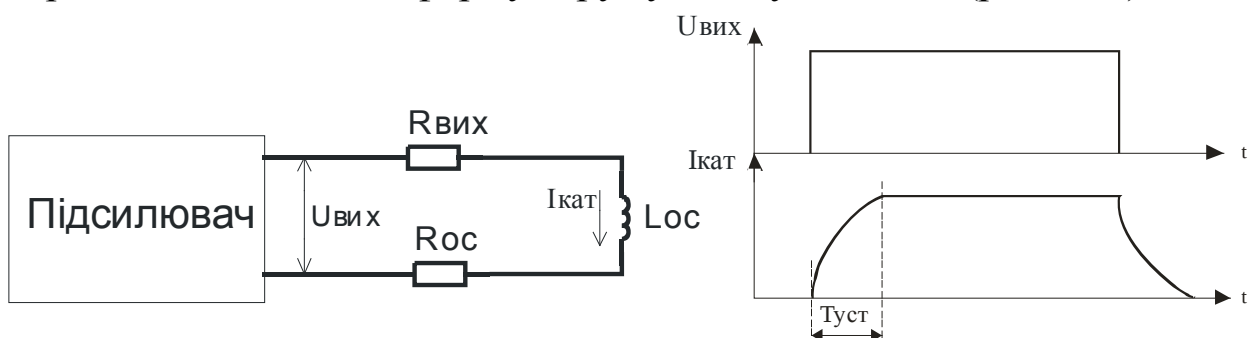
a – форма обмотки магнітної ВС, *б* – відхиляюча система із зовнішнім магнітопроводом

Рисунок 1.16 – Внешний вид катушек магнитной ОС

У телевізійних і радіолокаційних електронно–променевих трубках звичайно застосовуються відхиляючі котушки без осердя

(рис 1.16а). Прагнучи одержати більш однорідне магнітне поле, краї котушки відгортають, а саму котушку формують за формою горловини трубки. Витки в котушці розподіляють нерівномірно, з числом витків на краях в $2\div 3$ рази більше, ніж у середині. Для зменшення поля розсіювання котушки без осердя звичайно встановлюють в сталевий екран.

Швидкодія електромагнітної відхиляючої системи характеризується необхідним часом для зміни напруженості магнітного поля у відхиляючих котушках. Напруженість магнітного поля котушки залежить від кількості витків котушки і сили струму того, що протікає через неї. Сила струму у відхиляючих котушках для відхилення променя на всю величину екрану ЕПТ може досягати (залежно від типу ЕПТ) $10\div 20\text{А}$. Для отримання струмів таких величин застосовуються спеціальні підсилювачі струму. Еквівалентні схеми електромагнітної ВС дозволяють проаналізувати вплив окремих елементів на форму струму в котушках ВС (рис 1.17).



$R_{вих}$ – вихідний опір підсилювача, $L_{ос}$ – індуктивність котушок ВС, $R_{ос}$ – опір котушок ВС

Рисунок 1.17 – До визначення швидкодії електромагнітної ОС ЕПТ

Припускаючи, що сигнал на виході підсилювача ($U_{вих}$) є ідеальним прямокутним імпульсом, визначимо вплив величин вихідного опору підсилювача ($R_{вих}$), індуктивності котушок ВС ($L_{ос}$) і опір котушок ВС ($R_{ос}$) на необхідний час для отримання в котушках ОС стабільної величини відхиляючого струму. Вихідний опір підсилювача, опір котушок ВС і індуктивність котушок ВС

утворюють інтегруючий ланцюг. Струм в котушках ОС змінюється (наростає) за експоненціальним законом (перехідним процес). Час ($T_{вст}$) необхідний час для отримання в котушках ОС стабільної величини відхиляючого струму (статичний режим) визначається формулою

$$T_{вст} = 4 \div 10 \left(\frac{L}{R_{A\tilde{E}\tilde{O}} + R_{\tilde{I}\tilde{N}}} \right).$$

Таким чином, на тривалість часу зміни напруженості магнітного поля котушок впливають вихідний опір підсилювача, індуктивність і опір відхиляючих котушок ВС ЕПТ.

Для збільшення швидкодії електромагнітної ВС ЕПТ необхідно зменшувати індуктивності відхиляючих котушок, але при цьому знижується чутливість ВС ЕПТ і потрібні більш високі значення струмів у відхиляючих котушках ВС.

До переваг ЕПТ з електромагнітним управлінням променем слід віднести високу чутливість ВС (можливість створення ЕПТ з великим кутом відхилення), малі величини напруги, які необхідні для живлення котушок ВС. Зовнішнє розташування ОС щодо електронно–променевої трубки дозволяє обертати її навколо осі трубки. Така ЕПТ має вищу надійність за рахунок зменшення кількості виведень, які проходять крізь скло балона.

До недоліків ЕПТ з електромагнітним управлінням променем слід віднести значні величини струмів в котушках ОС, що приводить до збільшення габаритів і потужності джерел живлення, а також порівняно низька швидкодія. Їх використання неможливо при відхиляючій напрузі з частотою більш $10 \div 20$ кілогерц, тоді як ЕПТ з електростатичним відхиленням мають верхню частотну межу близько десятків мегагерців і вище.

ЕПТ з електромагнітним управлінням променем застосовуються як кінескопи в приймачах телевізійного зображення, індикаторах радіолокаційних станцій і інших областях, де не потрібна висока швидкодія ЕПТ.

1.6 Екрани ЕПТ

Для перетворення енергії електронного променя в оптичне випромінювання (у приймальних ЕПТ), або оптичного випромінювання в електричний сигнал (у передавальних ЕПТ), на торцевій поверхні ЕПТ (напроти електронної гармати) розташований екран.

1.6.1 Екрани приймальних ЕПТ

Для перетворення енергії електронного променя в оптичне випромінювання екран покривають речовинами, які здатні світитися при бомбардуванні їх потоком електронів. Це явище носить назву *кат одолюмінесценції*, а речовини, які мають таку здатність, називаються катодолюмінофорами.

Люмінофори

У загальному понятті **люмінофори** (від латинського *lumen* – світло і грецького *phoros* – несучий), тверді і рідкі речовини, здатні світитися під дією різного роду збуджень. По типу збудження розрізняють фотолюмінофори, рентгенолюмінофори, радіолюмінофори, катодолюмінофори, електролюмінофори, люмінофори змішаних типів (наприклад, $\text{ZnS}\cdot\text{Cu}$ є фото–, катодо– і електролюмінофором). По хімічній природі розрізняють органічні люмінофори – (органолюмінофори), і неорганічні – (фосфори). Фосфори, що мають кристалічну структуру, називаються кристалофосфорами.

Характер свічення, його інтенсивність, спектральний склад, а також здібність до фосфоресценції, тобто до свічення після припинення бомбардування електронами – всі ці характерні риси катодолюмінесценції залежать, в першу чергу, від властивостей самої речовини катодолюмінофора (надалі люмінофора). Крім того,

характер свічення залежить також від швидкості електронів і від щільності електронного потоку. Свічення люмінофора може бути обумовлено як властивостями основної речовини, так і наявністю домішок – активатора і отруйника. Активатори дозволяють управляти спектральною характеристикою екрану і утворюють в основній речовині (підставі) *центри свічення* (зерна). Отруйники, навпаки, погіршують оптичні властивості люмінофора, проте дозволяють управляти тривалістю післясвічення. Назва активованих люмінофорів складається з назви підстави і назви активаторів, наприклад: **ZnS·Cu**, **Co** позначає люмінофор **ZnS** (сульфід цинку), активований **Cu** (мідь) і **Co** (кобальт). Якщо підстава змішана, то перераховують спочатку назви підстав, а потім активаторів (наприклад, **ZnS**, **CdS·Cu**, **Co**). Залежно від умов застосування пред'являються певні вимоги до тих або інших параметрів люмінофорів: типу збудження, спектру збудження (для фотолюмінофорів), спектру випромінювання, виходу випромінювання (відношенню випромінюючої енергії до поглиненої), часових характеристик (часу збудження свічення і тривалості післясвічення). Найбільшу різноманітність параметрів можна одержати у *крист аллофосфорів*, варіюючи активатори (в основному важкі метали) і склад підстави, причому залежно від концентрації активаторів властивості люмінофорів в значній мірі міняються.

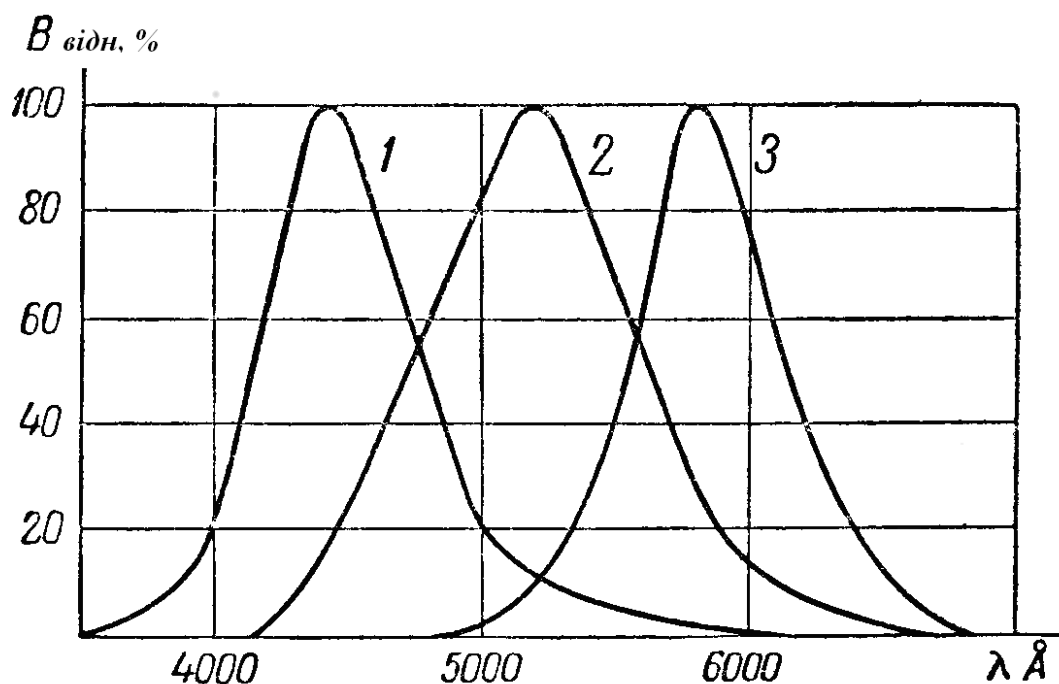
Для виготовлення екранів осцилографічних ЕПТ звичайно застосовується люмінофор **ZnS** (сульфід цинку) активований **Ag** (сріблом), **Cu** (міддю) або **Mn** (марганцем) а також ортосилікат цинку (віллеміт). Також люмінофори застосовують для виготовлення екранів чорно–білих і кольорових *кінескопів*. Для цього підбирають такі люмінофори, щоб їх свічення мало спектральний розподіл, близький до розподілу денного світла (для чорно–білих кінескопів). Для кольорових кінескопів розроблені люмінофори, що дають три основні кольори свічення: синій (**ZnS·Ag**), зелений (**ZnSe·Ag**), червоний [**Zn₃(PO₄)₂·Mn**].

При бомбардуванні екрану електронами не вся енергія електронного променя перетворюється люмінофором в корисне оптичне випромінювання. Частина енергії перетворюється безпосередньо на теплову енергію, викликаючи нагрівання того місця екрану, на яке падає електронний пучок. У електронно–променевих приладах з великою енергією електронного променя теплова потужність, що розсіюється на екрані, може бути настільки велика, що при нерухомій плямі відбувається «випалювання» люмінофора, тобто місцеве руйнування екрану. У таких приладах електронний пучок не можна залишати нерухомим під час дії приладу. Деяка частина енергії витрачається на вибивання вторинних електронів з речовини люмінофора. Ці повільні електрони покидають екран і відводяться переважно до аквадагу, що знаходиться під потенціалом другого анода, причому екран набуває деякого певного потенціалу по відношенню до катода.

Оптичне випромінювання люмінофора не є у власному сенсі білим світлом навіть у тому випадку, якщо суб'єктивно свічення люмінофора здається білим. Спектр свічення люмінофора завжди має яскраво виражені спектральні складові, тобто є лінійчатим або смугастим. На рис 1.18 показані спектральні характеристики випромінювання сульфїду цинку (світло–синє свічення) з домішками різних речовин як активаторів.

З рис.1.18 видно, що, марганець як активатор істотно зрушує максимум у бік довших хвиль, тобто додає свіченню зелений відтінок.

Найбільш поширеним матеріалом для отримання зеленого свічення, загальноприйнятого в осцилографічних ЕПТ, є віллеміт (ортосилікат цинку). Спектральний максимум для віллеміта лежить у області довжин хвиль біля 5200 А.



1– срібло, 2– мідь, 3 – марганець

Рисунок 1.18 – Спектральні характеристики сульфідів цинку з активаторами

Максимальна спектральна чутливість людського ока знаходиться в цій же області, чим і визначається вибір цього матеріалу як люмінофора. Спектральний склад випромінювання віллеміта, як і взагалі простих чистих люмінофорів, майже не залежить від умов збудження, (енергії електронів і потужності електронного пучка).

Основні характеристики люмінофорів

Основними характеристиками люмінофора є яскравість свічення екрану, спектральна характеристика, світлова віддача (світловидатність), роздільна здатність і інерційність. Враховується діапазон лінійної залежності між щільністю струму електронного променя і люмінесценцією.

Яскравість свічення $B(\text{кд}/\text{м}^2)$ визначається силою світла, випромінюваного з одиниці площі в напрямі перпендикулярному до поверхні екрану. Люмінофор починає світитися, коли напруга (U_0)

яка прискорює електрони, перевершує деяку граничну величину. Вона залежить від роду люмінофора, методу його виготовлення. Так, для люмінофора CuS **гранична напруга** U_0 складає 300 В, для люмінофора ZnS – 170 В. Між яскравістю екрану B , щільністю струму променя J і потенціалом екрану U існує наступна залежність:

$$B = pJ (U - U_0)^2,$$

де U_0 – потенціал виникнення свічення, коефіцієнт p – залежить від типу люмінофора. Ця умова виконується, якщо щільність струму променя не перевищує $0,1 \text{ мА/см}^2$.

Спектральна характеристика люмінофорів вибирається залежно від того, з яким фотоприймачем працює екран. При цьому добиваються найбільшого значення коефіцієнта використання світлового потоку приймачем випромінювання. Цей коефіцієнт визначається за формулою:

$$k = \frac{\int_0^{\infty} b(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} b(\lambda) d\lambda},$$

де $V(\lambda)$ – спектральна чутливість приймача (ока);

$b(\lambda)$ – спектральна яскравість свічення екрану. Для екрану з люмінофору $\text{ZnS} + \text{CdS} : \text{Ag}$ $k = 0,7$.

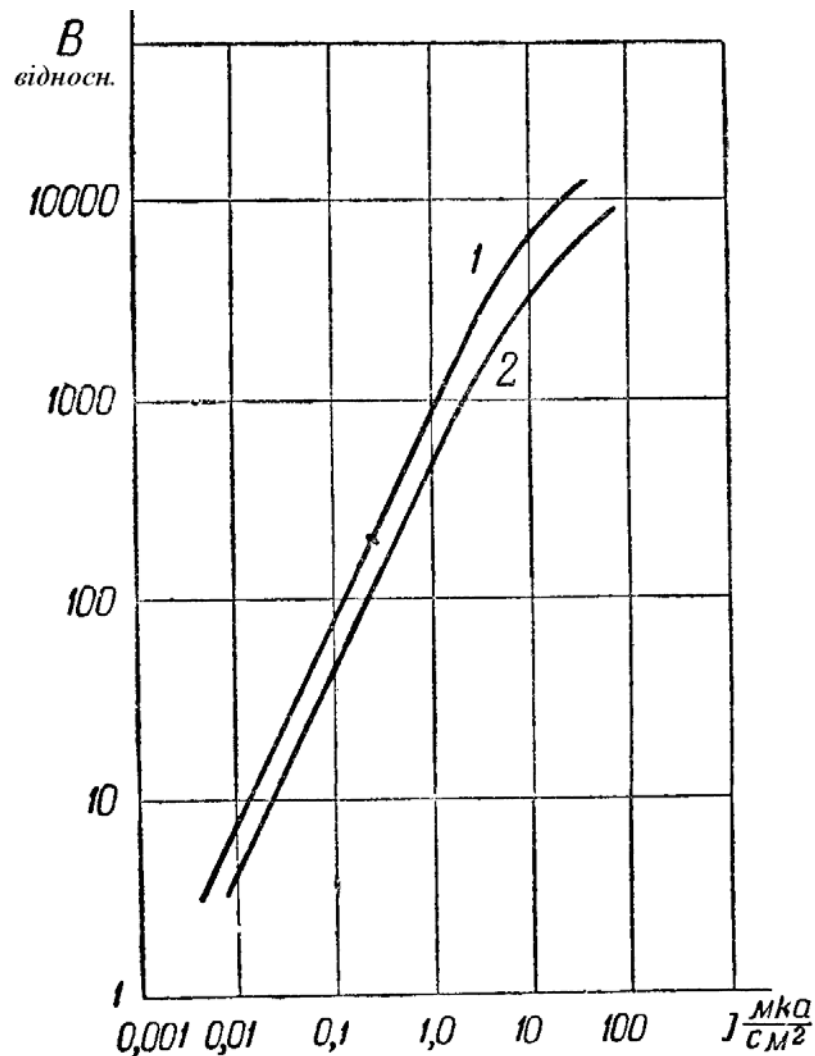
Якщо зображення на екрані повинно спостерігатися оком людини, то спектральну характеристику люмінофора прагнуть сумістити з кривої видимості ока. Якщо фотоприймачем є фотоплівка, то зручніше використовувати свічення люмінофора в синій області, де квантовий вихід фотоматеріалів має великі значення.

Світлова віддача (залежність яскравості свічення від потужності збудження) - це відношення світлового потоку, що випромінюється екраном, до потужності падаючого електронного променя: $C = B_s / I_{\text{л}} U_{\text{А}}$ [кд/Вт]. У електронній гарматі за допомогою управляючого електроду (модулятора) здійснюється зміна щільності

струму електронного пучка, швидкість електронів, падаючих на екран, при цьому визначається, головним чином, напругою на електроді, який прискорює електрони і є практично незмінною. Тому для оцінки якості екрану ЕПТ як перетворювача електричної енергії в оптичне випромінювання, важливо знати залежність яскравості свічення плями від щільності струму в електронному пучку.

Оскільки кожний з електронів, які мають одну і ту ж енергію, при спрощеному розгляді повинен давати ефект, не залежний від дії решти електронів, повна світлова енергія, що віддається люмінофором, повинна була б бути строго пропорційної кількості електронів, падаючих на люмінофор. Іншими словами, повний світловий потік, що віддається плямою, повинен бути строго пропорційним повному струму електронного пучка. Яскравість світлової плями також повинна бути пропорційна щільності струму електронного пучка. Тому світлові характеристики ЕПТ, тобто залежності яскравості світлової плями від управляючої напруги повинні б бути лінійними в межах лінійності характеристики електронної гармати. Насправді при деякій граничній щільності струму в електронному пучку ця лінійність порушується. Спостерігається явище так званого **насичення** люмінофора. Це явище настає при щільності струму (J) приблизно $0,1 \text{ mA/cm}^2$. Для деяких люмінофорів щільність струму, при якій настає насичення, може бути дещо вища.

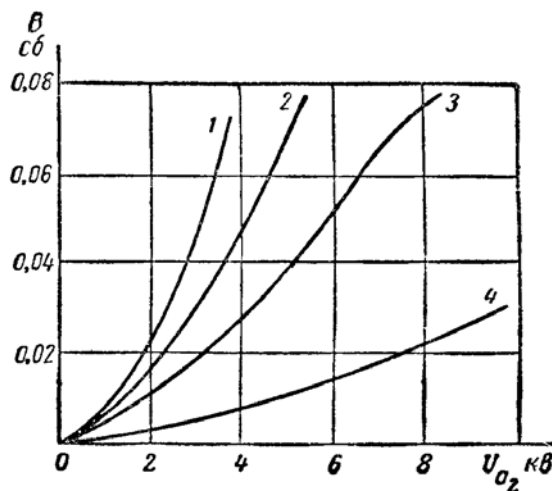
На рис. 1.19 приведені залежності яскравості свічення від щільності струму при постійній напрузі прискорення електронів для деяких люмінофорів, явище насичення яких виразно помітно. Проте при щільності струму, що не викликає насичення, залежність майже точно підкоряється лінійному закону. Таким чином, лінійність світлових характеристик ЕПТ можуть бути цілком задовільними.



1 – для ZnSAg при $U_{a2} = 4\text{кВ}$, 2 – [ZnCd] SA при $U_{a2} = 4\text{кВ}$

Рисунок 1.19 – Залежність яскравості свічення люмінофора від щільності струму електронного променя j

Залежність яскравості свічення люмінофорів від напруги прискорення електронів також ураховується при конструюванні ЕПТ. На рис. 1.20 показана залежність яскравості свічення від енергії електронів (напруги прискорення електронів) для вільметового екрану при різній щільності струму.



1 – $j=20\text{мкА/см}^2$, 2 – $j=10\text{мкА/см}^2$, 3 – $j=5\text{мкА/см}^2$, 4 – $j=1\text{мкА/см}^2$

Рисунок 1.20 – Залежність яскравості свічення люмінофора від напруги прискорення електронів для віллемітового екрану при різній щільності струму j

Яскравість дуже істотно залежить від напруги прискорення електронів яскравість росте швидше, ніж зростає напруга. Тому в тих електронно–променевих приладах, в яких потрібна висока яскравість (проекційні телевізійні трубки, фотографічні трубки для реєстрації процесів, які мають велику швидкість і т. ін.), використовуються напруги прискорення електронів, що досягають $10 \div 15$ кВ. У звичайних електронно–променевих приладах потенціал прискорення електронів коливається від 700 до 2500 В.

Іншою важливою характеристикою люмінофорів є його *інерційність*. Це явище виявляється в тому, що яскравість його свічення запізнюється за часом по відношенню до зміни щільності струму променя. Для дослідження цього явища подамо на управляючий електрод (модулятор) ЕПТ прямокутний імпульс, амплітудні характеристики якого відповідають рівням повного закриття (напруга відсічення) і рівню номінального струму променя ЕПТ. Відображаючи зміну яскравості свічення люмінофора в часі, констатуємо, що яскравість плями зростає плавно при відкритті ЕПТ і спадає плавно при її закритті. Час, необхідний для отримання стабільної яскравості свічення люмінофора після відкриття ЕПТ,

називається часом **розгорання**. Час спаду яскравості після припинення дії електронів променя, називається часом **післясвічення** або періодом **фосфоресценції**. На рис. 1.21 показана схематична крива розгорання і післясвічення вільміта при прямокутному імпульсі струму променя тривалістю 25 мсек.

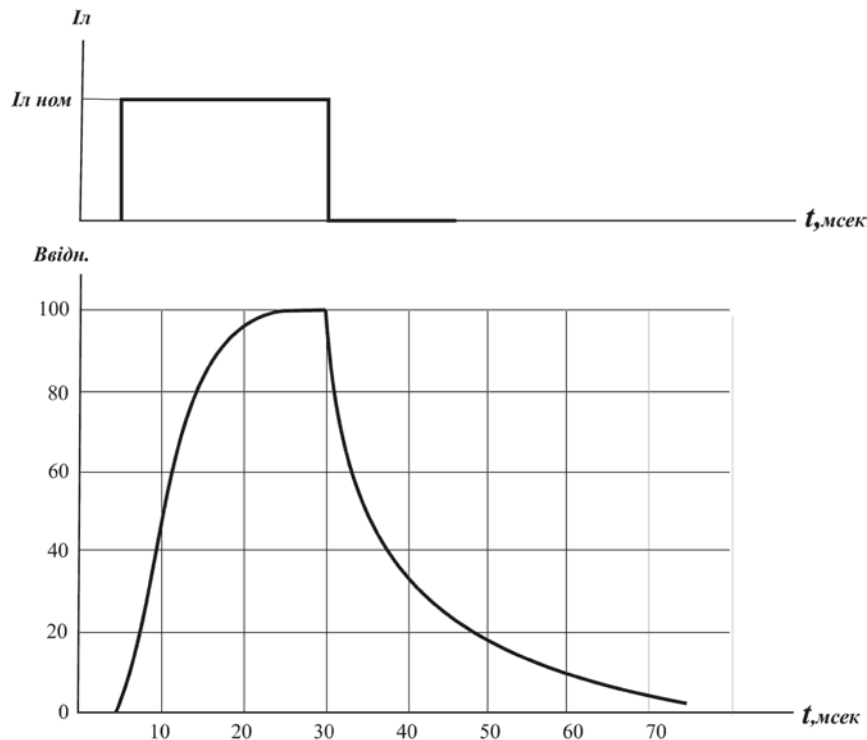


Рисунок 1.21 – Зміна яскравості свічення люмінофора при прямокутному імпульсі струму електронного променя

Час розгорання у всіх випадках застосування ЕПТ повинен бути по можливості менше. У теж час, період загасання часто використовується для створення так званого післясвічення екрану. З цієї точки зору розрізняють три основних типи екранів – екрани з малим післясвіченням, екрани з середнім післясвіченням і екрани з великим післясвіченням. Екрани з виключно малим післясвіченням використовуються в телевізійній техніці і осцилографічних ЕПТ, призначених для реєстрації швидко протікаючих процесів. У звичайних осцилографічних ЕПТ використовуються екрани з середнім післясвіченням. Екрани з великим післясвіченням застосовуються в тих випадках, коли потрібне на більш менш

тривалий час зберегти слід променя, що світиться, на екрані осцилографа.

Час розгорання для всіх люмінофорів відносно дуже малі, тому при звичайних технічних застосуваннях може не братися до уваги.

Процес спаду яскравості свічення розрізняється як за швидкістю, так і за формою кривою спаду. Характерною межею кривих спаду є те, що спочатку яскравість зменшується дуже швидко, а потім процес зменшення яскравості стає повільнішим («хвіст післясвічення»). Саме така крива спаду характерна для найбільш поширеного люмінофора – віллеміта. Потрібно відзначити, що для люмінофорів типу механічних сумішей в процесі спаду свічення змінюється також і його колір. У осцилографічних ЕПТ «хвіст» післясвічення не завдає істотної шкоди зображенню. У телевізійних приладах (кінескопах) він може бути дуже шкідливий, оскільки приводить до утворення деякої середньої освітленості екрану, що зменшує контрастність зображення. Крім того, на зображенні можуть виходити своєрідні світлові хвости, наступні за швидко рухомим яскравим зображенням. Завдання зниження небажаного післясвічення в даний час ще не може вважатися повністю вирішеним. На відміну від цього, завдання створення люмінофорів з великим післясвіченням легко вирішується. Звичайно використовуються багат шарові екрани з післясвіченням, принцип дії яких можна ілюструвати на прикладі двошарового екрану. У двошаровому екрані перший шар, нанесений безпосередньо на скло, є власне екраном, що створює післясвічення, але збуджується він не безпосередньо електронним пучком, а світловим випромінюванням плями, що утворюється на другому шарі, виконаному з іншого люмінофора. Цей другий шар і піддається дії електронного пучка. Внутрішній шар звичайно виконується з люмінофора, що дає інтенсивне синє свічення при малій інерції. Післясвітлячий підшар дає зелено–жовте свічення з великим часом загасання. Таким чином, тут шар з післясвіченням по суті є перетворювачем світлової енергії однієї довжини хвилі в світлову енергію з іншою довжиною хвилі. На екрані такої ЕПТ яскрава синя

світова пляма, що утворюється електронним пучком, супроводжується менш яскравим, але тривалим жовто–зеленим слідом.

Роздільна здатність цих екранів обмежена і залежить від товщини шару, зернистості люмінофора, способу виготовлення екрану і типу пов'язуючої речовини. Обмеження роздільної здатності принципово різне для двох типів екранів – одержаних методом осадження і безструктурних.

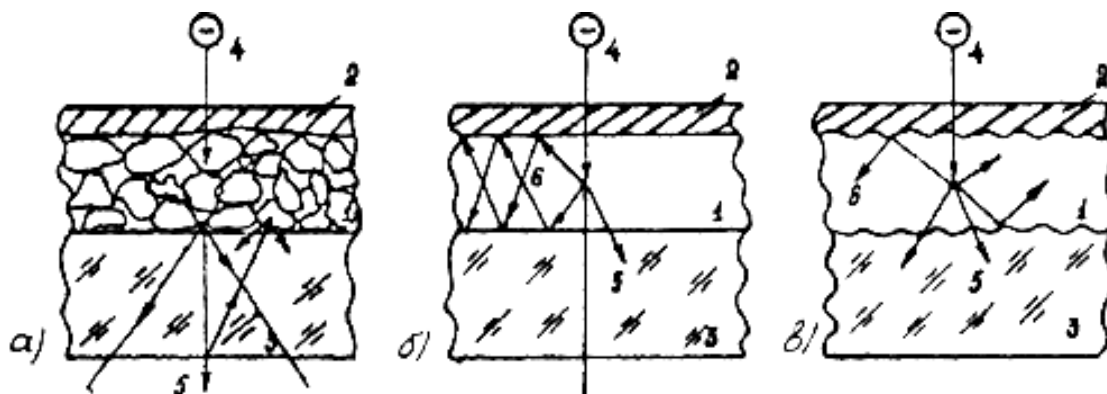
Роздільна здатність сучасних екранів складає біля 15 мкм ($20 \div 40$ пар лін/мм), дрібнозернистих екранів – біля 7,2 мкм (120 пар лін/мм). Вона в $5 \div 10$ разів більше розміру зерен люмінофора, одержаних осадженням (розмір зерен – $1 \div 50$ мкм). Екрани, що не мають зернистої структури (безструктурні), мають роздільну здатність на порядок вище. Так, хорошу чіткість зображення вдається одержати на екрані з монокристалічного фтористого кальцію, активізованого тербієм. Спектр люмінесценції такого екрану добре співпадає з кривої видимості ока. Дозвіл у нього доходить до 700 пар лін/мм, але при дуже малій світловидатності – 1,3 кд/Вт.

Роздільна здатність екрану знижується із–за внутрішнього віддзеркалення світла в скляній підкладці екрану. Хоча алюмінієва плівка усуває вплив віддзеркалення всередину приладу, контраст при цьому може знижуватися до 20% із–за багатократного віддзеркалення в товщі екрану.

Конструкція екранів приймальних ЕПТ

Шар люмінофора наноситься на внутрішню поверхню екрану в колбі двома способами – або шляхом осадження з водних суспензій, або шляхом пульверизації суспензії люмінофора в рідині, що швидко випаровується, з невеликою добавкою пов'язуючої речовини. Розрізняють тонкоструктурні порошкові екрани (рис 1.22,а), а також безструктурні екрани, що складаються з однорідного

люмінесцентного шару, наприклад, екрани сублімата, монокристали (вольфрамів кальцію).



a – порошковий екран; *б* – безструктурний екран з полірованою поверхнею; *в* – безструктурний екран з матовою поверхнею; 1 – люмінофор; 2 – плівка алюмінію; 3 – скляна підкладка; 4 – електронний промінь; 5 – прямі світлові промені; 6 – розсіяні світлові промені

Рисунок 1.22 – Конструкція катодолюмінесцентних екранів

Для порошкового екрану існує оптимальна товщина шару люмінофора, при якій світловий потік з передньої сторони екрану є найбільшим. При великій товщині світловий потік до спостерігача зменшується із-за розсіяння і поглинання в шарі люмінофора. При малій товщині люмінофора в ньому є просвіти і порушуваний світловий потік також малий.

Плівки (безструктурні екрани) відрізняються, в порівнянні з порошковими екранами, вищою прозорістю, при цьому їх зовнішня сторона може бути полірованою або матовою.

У прозорих плівках люмінофора з гладкою поверхнею (рис.1.22,б) значна частина світла розповсюджується уздовж плівки, виходячи з неї на торцях. Кількість світла, що виходить з підкладки у бік спостерігача, залежить від співвідношення між коефіцієнтами заломлення підкладки і плівки люмінофора. Так, для плівки сульфиду цинку ($n = 2,4$) на склі ($n = 1,5$) кількість світла, що виходить з підкладки до спостерігача, складає лише 5%.

Неполіровані матові плівки люмінофора (рис. 1.22,в) забезпечують вищу яскравість, ніж поліровані, що пояснюється розсіюванням світла на зовнішній матовій поверхні люмінофора. Проте таке розсіювання створює світловий потік який монотонно зменшується навколо елемента, що світиться, це пояснює низький рівень передачі контрасту.

Оскільки в приладах спостереження при підсиленні світла вирішальну роль грає чутливість пристрою до перепаду яскравості (контрасту), ту перевагу віддають яскравішим екранам, хоч і із збиток роздільної здатності. Найбільш яскраві екрани виходять при осадженні, але за рахунок зернистої структури їх дозвіл мало, оскільки зерна світяться по-різному при однаковому збудженні.

З метою повністю використовувати роздільну здатність зорової системи спостерігача яскравість свічення екрану повинна складати величину декілька десятків кандел на квадратний метр. Для збільшення світловидатності шар люмінесцентної речовини з боку падіння електронного променя покривають металевим дзеркалом (рис.1.22). За допомогою такого дзеркала світловий потік відображається у бік спостереження. Незначна втрата енергії через те, що електрони повинні проникати через тонкий шар металу, може не враховуватися, бо виграш в світловидатності навіть при достатньо товстих шарах металу виявляється значним. Оптимальна величина шару алюмінію, використовуваного для дзеркала, при напрузі 10 кВ составляет 0,05 мкм. При напрузі 20 кВ – 0,1 мкм. Така плівка забезпечує підсилення світлового потоку в 2,2 рази.

У потоці негативно заряджених частинок, рухомих від катода до екрану, крім електронів, що володіють невеликою масою, є негативні іони, що мають значну масу, які погано відхиляються магнітним полем і потрапляють на центральну частину екрану, руйнуючи його. Внаслідок цього в центрі екрану утворюється темна пляма, звана іонною. Іонна пляма з'являється звичайно через 100÷200 годин роботи і з часом все більше темніє, роблячи ЕПТ непридатної для використання.

Надійним захистом люмінофора від дії негативних іонів є плівка алюмінію. Тому на екранах до складу конструкції, яких входить алюмінієва плівка іонна пляма не виникає. У трубках, у яких екран не має алюмінієвої плівки, для боротьби з виникненням іонної плями застосовують *іонні пастки*. Конструкція однієї з таких пасток показаний на рис. 1.23.

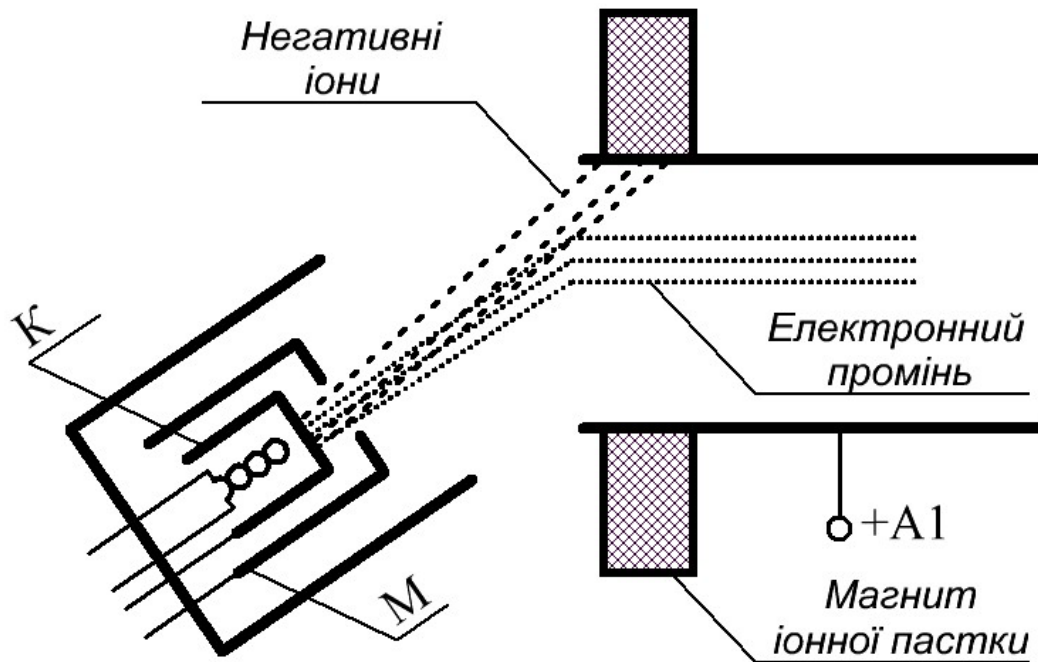


Рисунок 1.23 – Конструкція іонної пастки

Електронна гармата встановлюється під кутом до осі трубки, на горловину якої надягає постійний магніт. Магнітне поле відхиляє електрони і направляє їх уздовж осі трубки, а негативні іони відхиляються слабо і потрапляють на анод трубки. Для нормальної роботи трубки з іонною пасткою потрібна правильна установка магніту на горловині трубки, що забезпечує найбільше проходження електронного променя через електронний прожектор.

1.7 Приймальні ЕПТ

Приймальні ЕПТ відносяться до пристроїв, які перетворюють електричний сигнал в оптичне зображення. У групу приймалень ЕПТ входять осцилографічні трубки, кінескопи і ЕПТ спеціального призначення.

1.7.1 Осцилографічні ЕПТ

Осцилографічні ЕПТ призначені для роботи у складі електронних осцилографів і призначені для візуалізації і реєстрації електричних сигналів, що змінюються в часі, а також вимірювання амплітуди, тривалість і інших параметрів. З метою фотографічної або візуальної реєстрації сигналів осцилографічні ЕПТ застосовується також і іншій радіотехнічній, електротехнічній, медичній, науковій апаратурі. Перша осцилографічна ЕПТ виготовлена німецьким фізиком К. Брауном в 1897 (так звана трубка Брауна).

У осцилографічних ЕПТ, як правило, використовується електростатичне управління (відхилення променя). Прийнятне значення чутливості і добра якість фокусування забезпечується при напрузі другого анода рівного $1,5 \div 2$ кВ. За цих умов необхідна яскравість свічення екрану ЕПТ досягається при струмах променя $0,05 \div 0,1$ мА. Схема включення трубки приведена на рис. 1.24.

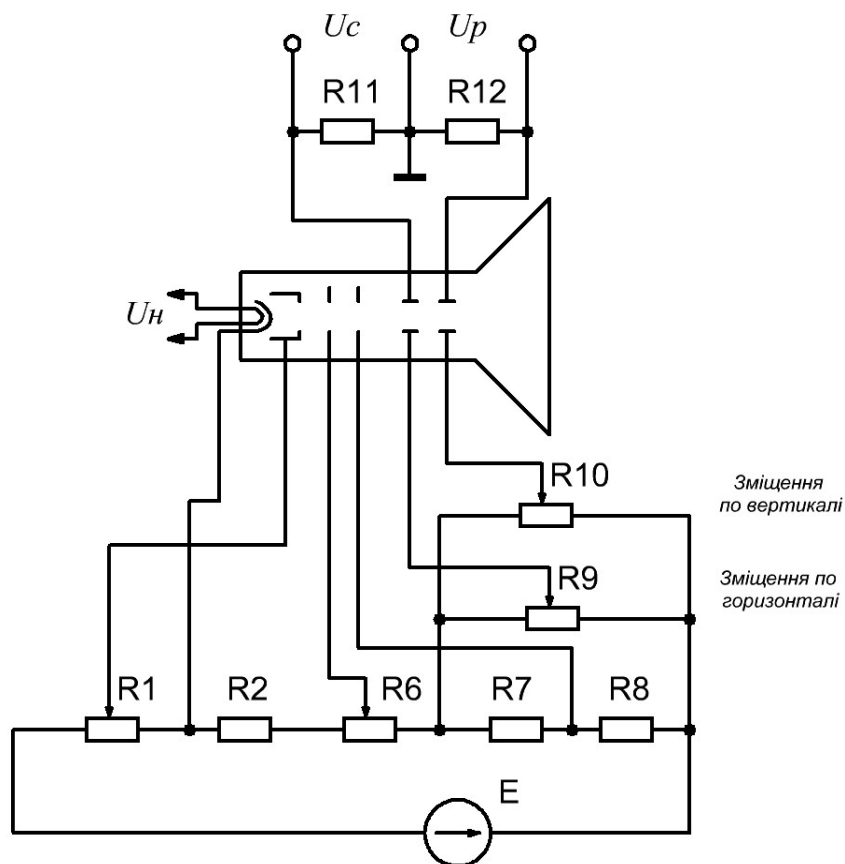
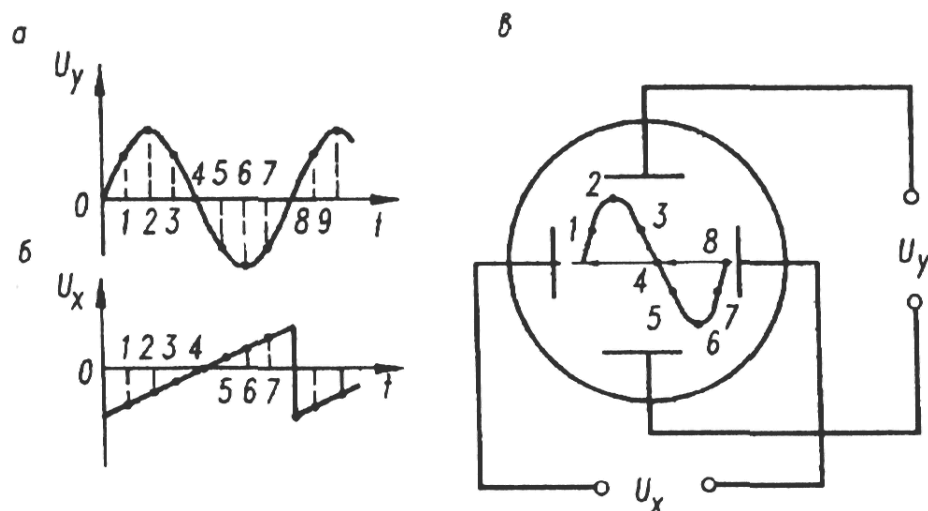


Рисунок 1.24 – Схема включення осцилографічної ЕПТ з електростатичним управлінням променем

Живлення ланцюгів ЕПТ здійснюється від джерела E , через високоомний дільник, що складається з постійних резисторів $R2, R7, R8$ і потенціометрів $R1, R6, R9, R10$. З резистивного дільника напруги необхідної величини подаються на всі електроди трубки. На модулятор, подають негативну щодо катода напругу в декілька десятків вольт. Регулюванням цієї напруги за допомогою потенціометра $R1$ змінюють яскравість свічення екрану.

По характеру реєстрованих сигналів і особливостям їх відтворення основні типи осцилографічних ЕПТ підрозділяють на низькочастотні, широкосмугові (високо – і надвисокочастотні), запам'ятовуючі, багатопроменеві, та трубки з радіальним відхиленням променя. Низькочастотні осцилографічні ЕПТ розраховані на смугу частот досліджуваних сигналів в діапазоні від нуля до десятків $Mгц$, широкосмугові осцилографічні ЕПТ дозволяють досліджувати сигнали в смузі частот від нуля до декількох $Ггц$.

Для отримання на екрані ЕПТ зображення до горизонтально-відхиляючих пластин (звичайне це пластини, що мають меншу чутливість) підводиться напруга, що лінійно змінюється U_x , – **напруга розгортки**, а до вертикально-відхиляючих пластин – напруга досліджуваного сигналу U_y (рис. 1.25).



a – напруга на вертикально-відхиляючих пластинах; $б$ – напруга на горизонтально-відхиляючих пластинах; $в$ – зображення на екрані ЕПТ

Рисунок 1.25 – Ілюстрація отримання зображення на екрані осцилографічної трубки

Під дією напруги розгортки та напруги вхідного сигналу промінь викреслює на екрані лінію, на якій цифрами 1,2, ... 8 відмічені точки, відповідні точкам, вказаним на тимчасових діаграмах напруги U_x і U_y .

Верхня гранична частота досліджуваних сигналів обмежується впливом часу прольоту електронів між відхиляючими пластинами на чутливість ЕПТ, інерційністю процесів розгорання люмінофора і перехідними процесами в ланцюгах ВС. Якщо за час прольоту електронів $t_{np} = l/v$ відхиляюча напруга встигає помітно змінитися, то зменшуються відхилення променя а, отже, і чутливість ЕПТ. Аналіз показує, що гранична частота $f_{\text{ПРЕД}}$, на якій чутливість зменшується на 10%, визначається за формулою

$$f_{\text{ПРЕД}} = 7.5 \frac{\sqrt{U_a}}{l}.$$

Для звичайних значень l і U_a ця формула дає значення $f_{\text{ПРЕД}}$, що становить сотні мегагерц. Практично ж вона значно менше із-за впливу індуктивностей виведень і ємності між пластинами ВС, і складає десятки мегагерц. Крім того, із зростанням частоти досліджуваних сигналів збільшується швидкість переміщення електронного променя по екрану, що приводить до зменшення яскравості свічення люмінофора із-за інерційності процесів його розгорання. Оскільки збільшення яскравості свічення екрану і граничної частоти трубки за рахунок підвищення напруги на другому аноді недоцільно (знижується чутливість трубки), застосовують системи, що збільшують швидкість електронів вже відхиленого променя. Такі ЕПТ називають трубками з **післяприскоренням**.

Для осцилографування високочастотних коливань використовують відхиляючі системи з хвилею, що біжить, в яких відхиляюче поле рухається уздовж пучка із швидкістю електронів (використовуються в широкосмугових ЕПТ).

Для одночасного спостереження різних електричних процесів застосовують багатопроменеві трубки, що дозволяють одержувати на

екрані зображення декількох сигналів одночасно. В даний час промисловістю випускаються ЕПТ, що мають в одному балоні частіше всього 2, 5, або 10 незалежних низькочастотних електронно–оптичних систем формування променів.

1.7.2 Кінескопи

Кінескоп (від грець. *kínesis* – рух і *skoréo* – дивлюся), приймальна телевізійна ЕПТ, яка служить для відтворення телевізійних зображень. Кінескопи використовуються для спостережень чорно–білих і кольорових зображень безпосередньо або за допомогою проектування зображень на великий екран. Для отримання телевізійного зображення необхідно виконати дві умови: організувати телевізійний растр і промодулювати щільність струму електронного променя відповідно до телевізійного сигналу. Для виконання першої умови використовується *раст рова розгорт ка*, при якій промінь прокреслює послідовно горизонтальні рядки (рядкова розгортка) з одночасним їх зсувом у вертикальному напрямі (кадрова розгортка). Для модуляції величини щільності струму електронного променя напруга телевізійного сигналу прикладається між катодом і модулятором кінескопа. При цьому одночасно із зміною щільності струму в промені мінятиметься і яскравість зображення на екрані кінескопа.

Існує дві групи кінескопів: кінескопи для відтворення монохромного зображення (чорно–білі кінескопи) і кінескопи для відтворення кольорового зображення.

Кінескопи монохромного зображення

Кінескопи по своїй конструкції є ЕПТ з комбінованим управлінням променя, оскільки фокусування здійснюється електростатичним полем, а відхилення – магнітним (рис 1.26).

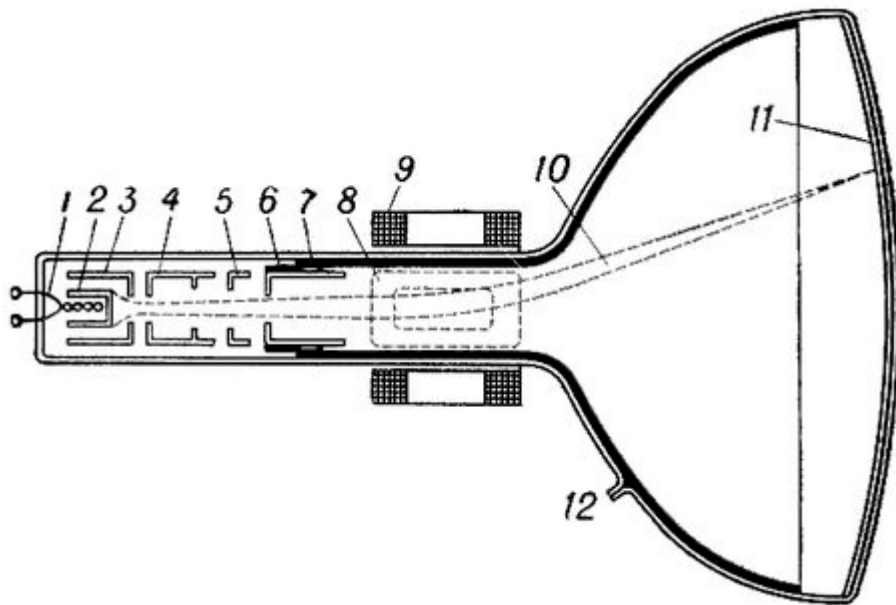


Рисунок 1.26 – Конструкція монохромного кінескопу

На рис 1.26 цифрами позначені: 1 – нитка підігрівача катода; 2 – катод; 3 – модулятор; 4 – електрод прискорення електронів; 5 – перший анод; 6 – другий анод; 7 – провідне покриття (аквадаг); 8 – котушки вертикального відхилення променя; 9 – котушки горизонтального відхилення променя; 10 – електронний промінь; 11 – екран; 12 – виведення другого анода.

Таким чином, до складу кінескопа входять: електронна гармата з електростатичним фокусуванням променя, магнітна відхиляюча система, люмінесцентний екран з малим часом післясвічення. Близьке до білого свічення екрану досягається застосуванням двох люмінофорів, що дають (при свіченні) додаткові кольори. Звичайно використовують активований сріблом сульфід цинку (синє свічення) і активований сріблом або міддю цинко–кадмієвий сульфід (жовте свічення).

До кінескопів, на відміну від осцилографічних трубок, пред'являються свої специфічні вимоги, пов'язані з необхідністю отримання чіткого неспотвореного зображення. Вони визначають конструктивні особливості кінескопів.

Чіткість зображення забезпечується, перш за все, малим розміром світлової плями (необхідне число рядків повинне

поміщатися на екрані без накладення один на одного). Розміри плями не повинні змінюватися при його переміщенні по екрану. Крім того, потрібна дуже висока яскравість плями. Все це здійснюється за рахунок ускладнення конструкції електронного прожектора і системи фокусування.

Основні причини, що викликають дефокусування променя і обмеження зменшення розмірів світлової плями – це кінцеві розміри поверхні катода яка емітує електрони, наявність у емітованих електронів початкових швидкостей під різними кутами до осі трубки і виникнення в промені сил відштовхування електронів один від одного як однойменних зарядів. Крім цього на діаметр світлової плями впливає величина негативної напруги на управляючому електроді: чим вона більша, тобто чим менше щільність електронів в промені і яскравість плями, тим менше діаметр плями. Тому в кінескопах, де на управляючий електрод подається телевізійний сигнал, що змінює яскравість, вплив зміни яскравості на розмір крапки, що світиться, і чіткість зображення особливо помітно. Для зменшення розмірів плями і усунення впливу регулювання яскравості і відхилення променя на фокусування в електронний прожектор вводять додаткові електроди. Між модулятором і анодом поміщають екрануючий електрод E у вигляді диска з отвором в центрі і подають на нього невелику позитивну напругу – порядку 250 В (рис. 1.27).

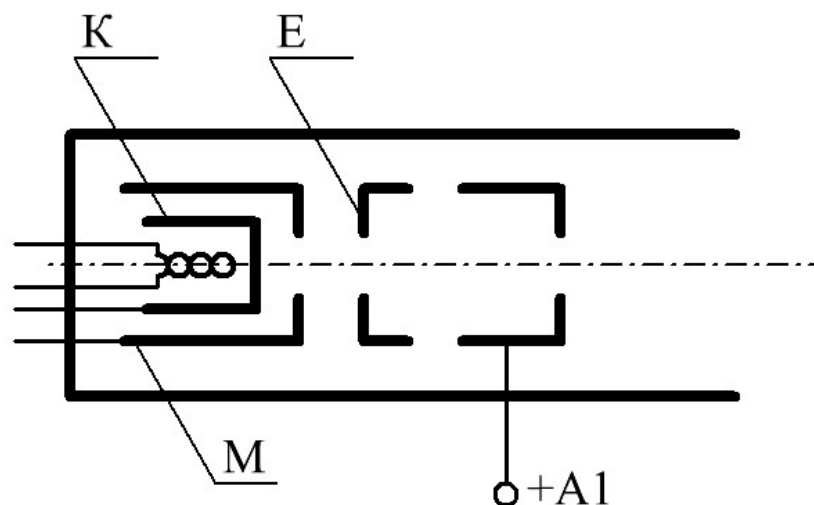


Рисунок 1.27 – Конструкція тетродного прожектора

Він усуває вплив анодної напруги на дію модулятора, який управляє яскравістю променя. Такий прожектор називають *т ет родним*.

Ще більш довершений *пент одний прож ект ор*, в який введений додатковий електрод прискорення $A_{\text{прис}}$. Він розташований між модулятором і першим анодом за відсутності екрануючого електроду (рис. 4.28) або між екрануючим електродом і першим анодом.

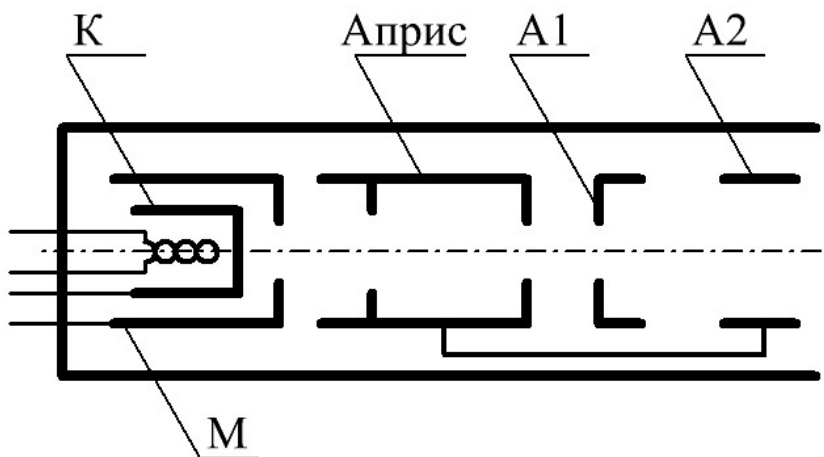


Рисунок 1.28 – Конструкція пентодного прожектора

Електрод що прискорює електрони променя має форму довгого циліндра з двома діафрагмами і електрично сполучений з другим анодом. Він усуває вплив регулювання яскравості на фокусування променя.

При збільшенні щільності струму і яскравості плями на екрані фокусування променя погіршується із-за збільшення розштовхуючих сил між однойменними зарядами. Розсіання пучка електронів зменшується при підвищенні напруги на електроді прискорення і другому аноді. Тому в кінескопах застосовують високу напругу на цих електродах (близько 20 кВ) для отримання достатньої яскравості зображення і малого розміру світлової плями.

Використання складних електронних прожекторів і систем фокусування дозволяє одержати на екрані однаково високу чіткість зображення різної яскравості.

Товщина дна колби впливає на чіткість, контрастність і яскравість зображення за рахунок поглинання частини світла, яке випромінюється люмінофором і утворення ореолів. Ореол утворюється за рахунок повного внутрішнього віддзеркалення світла, що випускається люмінофором, від зовнішньої поверхні дна (рис. 1.29).

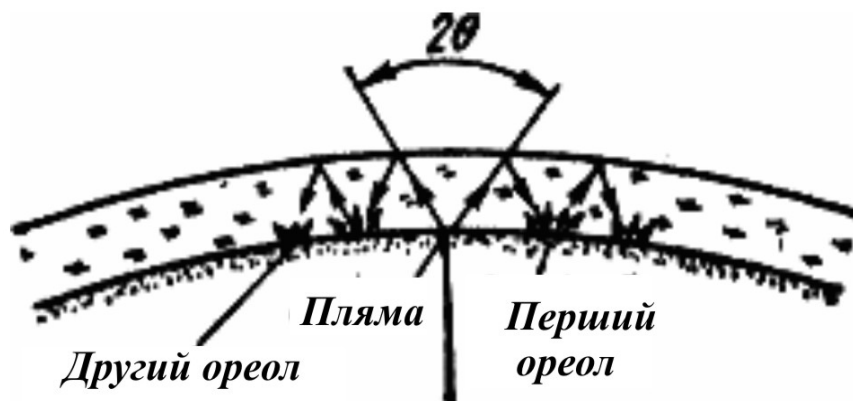


Рисунок 1.29 – До утворення ореолу на екрані кінескопа

Світло від люмінофора виходить назовні лише при порівняно невеликому куті (порядка 40°). Отже, більше половини всього світла, що випускається люмінофором, частково йде на утворення ореолів, а частково дифузно розсівається в товщі скла. І те і інше знижує контрастність і чіткість зображення. Очевидно, зниження контрастності буде більш виражено при значних діаметрах ореолів. З рис.1.29 видно, що радіус ореолу r

$$r = 2d \operatorname{tg}\theta,$$

де d – товщина скла дна колби.

Оскільки зменшення товщини дна колби лімітується механічною міцністю колби кінескопа, звичайно діаметр першого (найбільш яскравого) ореолу складає близько 20 мм, що може помітно зменшити контрастність. Тому вплив ореолу на якість зображення можна зменшити тільки за рахунок поглинання частини світла в товщі скла дна колби. Такий спосіб зменшення яскравості ореолу супроводжується деяким зменшенням яскравості всього

зображення. Проте, враховуючи, що шлях світла в склі, який створює ореол, порівняно великий (від екрану до зовнішньої поверхні скла, від неї – до люмінофора і назад), а світло від екрану, що виходить назовні, проходить крізь скло тільки один раз, ослаблення ореолів подібним способом можна вважати виправданим.

Щоб збільшити чутливість ВС кінескопа, горловину трубки роблять мінімально можливого діаметру. Це дає можливість розташувати діаметрально протилежні котушки ближче один до одного і підвищити напруженість магнітного поля усередині трубки при заданому значенні ампер–витків.

Для отримання в телевізійних приймачах досить великого зображення екрани кінескопів повинні мати більш великі розміри, ніж в осцилографічних трубках. Прагнення зменшити габарити телевізійного приймача при одночасному збільшенні розміру екрану привело до використання балонів з прямокутним дном, на яке наноситься, відповідно, прямокутний екран.

Небажано також засвічування екрану світлом, яке випромінюється зображенням, що відбувається із–за віддзеркалення цих променів від стінок балона на екран. Щоб ослабити засвічування екрану, перехід від горловини до розширеної частини трубки роблять не плавним конусоподібним, а спеціальної форми, що різко розширюється.

Основні типи кінескопів, що виготовляються до теперішнього часу, для безпосереднього спостереження чорно–білих зображень мають прямокутну форму екрану з розмірами по діагоналі 6, 11, 16, 23 см (для переносних транзисторних телевізорів), і 35, 43, 47, 59, 61, 65 и 67 см. для стаціонарних телевізорів.

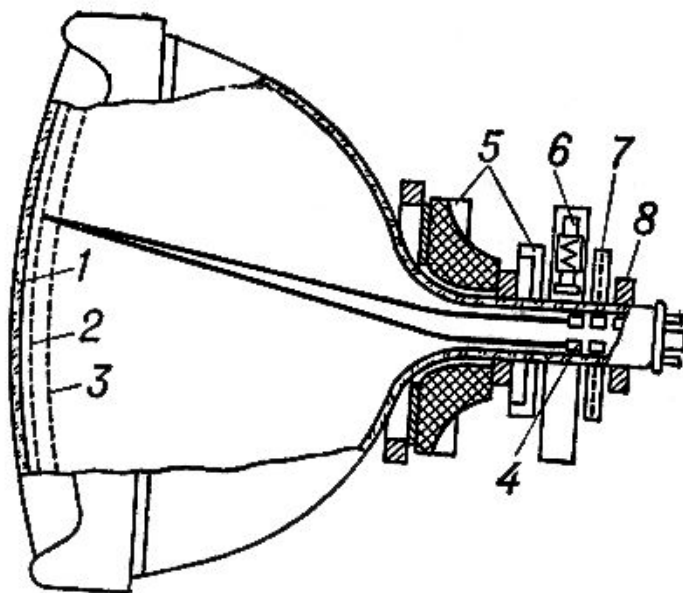
Кінескопи кольорового зображення

Один з параметрів, який несе інформацію про спостережуваний предмет, є його колір. При вивченні дисципліни «Фізика» детально розглянуті питання спектру і методи отримання різних кольорів

(адитивний і субтрактивний) використовуючи так звані основні кольори (червоний, зелений, синій).

У кінескопах кольорового зображення реалізується адитивний метод синтезу кольору. Тому конструкція кольорових кінескопів (рис 1.30) подібно до конструкції чорно-білих з тією відмінністю, що до його складу обов'язково входять три окремі електронні гармати – кожна на свій колір. На екран кінескопа обов'язково нанесено три типу люмінофору, які світяться, відповідно, червоним (R), зеленим (G) і синім (B) кольором. Перед екраном на шляху електронів встановлена кольороподільна маска.

Катоди, модулятори та електроди прискорення електронів кожної електронної гармати мають незалежні виведення на цоколі кінескопа. Всі три електроди фокусування сполучені усередині колби разом і мають загальний вивід на цоколі трубки. Анод є також загальним для всіх прожекторів. Він виконується у вигляді графітового покриття на склі колби усередині розтруба і передньої частини горловини.



1 – екран; 2 – люмінофорні крапки (тріади); 3 – дрібноструктурна кольороподільна маска; 4 – електронна гармата; 5 – відхиляюча система; 6 – система радіального зведення променів; 7 – магніт чистоти кольору; 8 – магніт зсуву променя

Рисунок 1.30 – Схематична конструкція кольорового кінескопа

Для отримання на екрані кінескопа кольорового зображення використовується результат змішення червоної, зеленої і синій (Red, Green, Blue – RGB) складових, які мають різні інтенсивності. Тому на внутрішню поверхню екрану кінескопа наносяться три типу люмінофорних елементів, що дають люмінесценцію відповідного спектрального діапазону. У кінескопах в основному застосовуються два види люмінофорних елементів – круглої форми (точкові) і у вигляді смуг. Для правильного відтворення колірної гамми на екрані кінескопа промені електронних гармат повинні потрапляти на зерна відповідного люмінофора. Для цих цілей до складу кінескопа входить кольороподільна маска. Залежно від виду люмінофорного елементу кольороподільна маска має відповідну конструкцію і відповідне розташування електронних гармат. На підставі цих ознак кінескопи діляться на кінескопи з мозаїчним екраном і дельтовидним розташуванням електронних гармат і кінескопи з планарним розташуванням електронних гармат і щілинною маскою.

Кінескопи з мозаїчним екраном і дельтовидним розташуванням прожекторів

Точки люмінофорних елементів в таких кінескопах розташовуються на екрані в строгій послідовності, утворюючи так звані мозаїчні тріади (рис 1.31). У кожену тріаду входить по одній червоній, зеленій і синій точці, які розташовані по кутах рівностороннього трикутника. Діаметр люмінофорної точки дорівнює $0,45 \div 0,43$ мм.

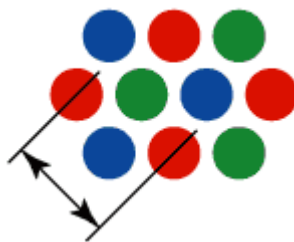


Рисунок 1.31 – Розташування зерен окремих люмінофорів у тріаді мозаїчного екрану

Недотримання необхідної точності розташування точок люмінофора, навіть їх невеликий зсув убік від заданого положення на екрані, неминуче приведе до спотворення відтворення кольорів.

Перед екраном на відстані 12мм від нього розміщується кольороподільна маска (3) (рис. 1.30). Її призначення – забезпечити проходження променів тільки на свої групи люмінофорних крапок. Маска забезпечує, наприклад, попадання червоного електронного променя тільки на червоні люмінофорні крапки і перешкоджає попаданню цього променя на зелені і сині точки. Так само йде справа і з двома іншими променями. Принцип дії маски пояснюється на рис. 1.32

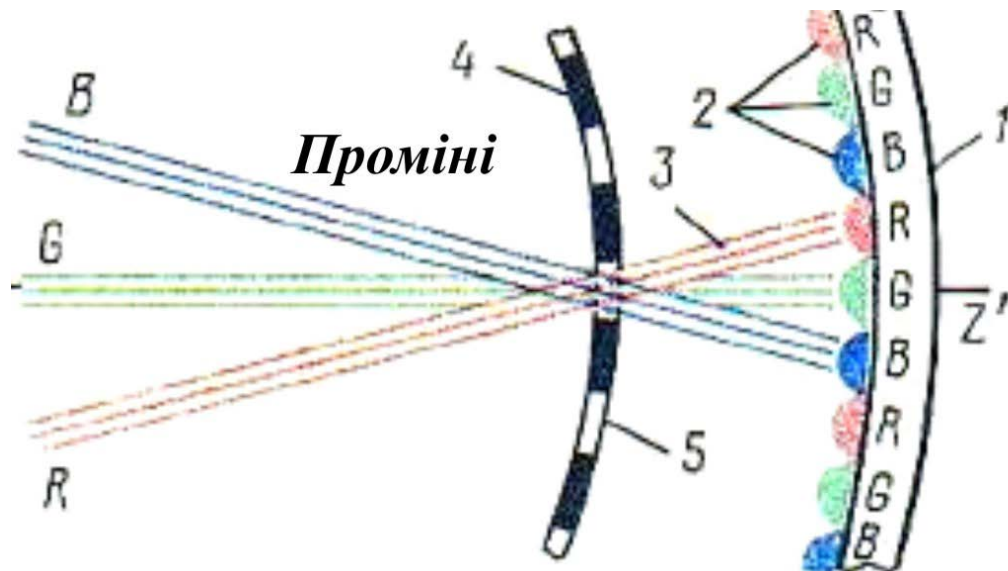


Рисунок 1.32 – Принцип действия цветоделительной маски

Маска 4 є тонким сталевим листом, (рис 1.33) завтовшки приблизно 0,15 мм, з безліччю круглих регулярно розташованих отворів (їх діаметр в середньому 0,3 мм), причому їх число рівне числу елементів розкладання (не менше 500 тис. отворів). Як правило, більшість сучасних тінювих масок виготовляють з інвару. Інвар (InVar) – магнітний сплав заліза (64%) з нікелем (36%). Цей матеріал має гранично низький коефіцієнт теплового розширення, тому, не дивлячись на те, що електронні промені нагрівають маску, вона не робить негативного впливу на якість передачі кольорів.

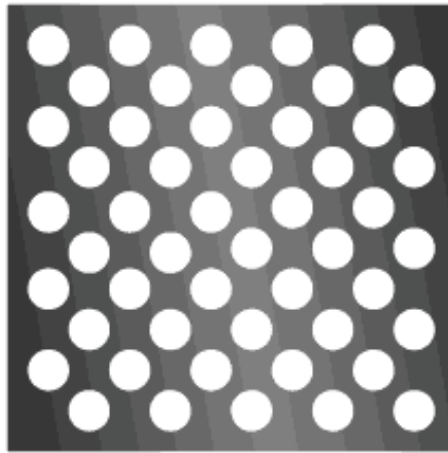


Рисунок 1.33 – Зовнішній вигляд тіньової кольороподільної маски

У відрегульованому кінескопі за наявності рядкової і кадрової розгортки всі три промені разом повинні проходити через один і той же черговий отвір і потрапляти на люмінофорні елементи тільки однієї тріади. Після проходження крізь отвір промені розходяться, потрапляючи кожен на свою точку люмінофора. З цією метою, в кінескопі катоди всіх трьох електронних прожекторів розташовуються під взаємними кутами в 120° (дельтовидне розташування електронних гармат) в площині, перпендикулярної осі трубки і нахилені до осі кінескопа під кутом 1° . Нахил електронних прожекторів забезпечує сходження (зведення) трьох променів в площині тіньової маски.

У сучасних кольорових кінескопах отвори в масці робляться не циліндровими, а конічними (рис. 1.34). Було встановлено, що циліндрова форма отворів призводить до зниження контрастності зображення, порушення правильності відтворення кольорів. На рис. 1.34а частина електронного променя abc , потрапляючи на край отвору, відбивається убік, потрапляючи на невідповідні цьому променю елементи люмінофора. При конічній формі отворів, що мають більший діаметр, звернений до екрану, подібне віддзеркалення відсутнє (рис. 1.34б). Менший діаметр конуса отвору рівний приблизно 0,25 мм, а більший – 0,33 мм.

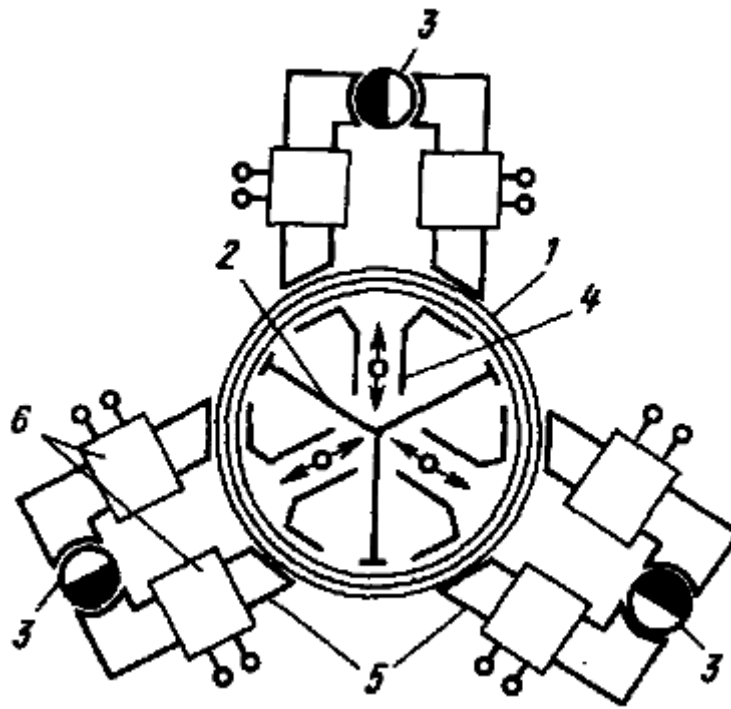


Рисунок 1.34 – Вплив форми отвору в масці на якість перенесення кольорів

Система зведення променів кінескопа з дельтовидним розташуванням прожекторів

Одне з основних завдань кольорового кінескопа полягає в правильному поєднанні трьох зображень в основних кольорах, що створюють кольорове зображення. Якщо поєднання не досягнуте, то на контурах чорно-білого зображення з'являються кольорові окантовки, а на переходах кольорового зображення виникають змішані кольори. Завдання поєднання трьох зображень в основних кольорах розв'язується за допомогою магнітної системи зведення променів (рис 1.35).

У горловині кінескопа за анодами трьох електронних гармат встановлений циліндр зведення променів, в якому розташовані три пари полюсних наконечників, кожна з яких охоплює відповідний промінь. Пари полюсних наконечників екрановані один від одного магнітними екранами, які розташовані усередині горловини кінескопа. Циліндр зведення електрично сполучений з анодами, а також з внутрішнім графітовим покриттям балона кінескопа і екраном за допомогою трьох контактних пружин.



1 – горловина кінескопа; 2 – внутрішній магнітний екран; 3 – магніти статичного зведення; 4 – полюсні наконечники циліндра зведення; 5 – зовнішні полюсні наконечники; 6 – котушки динамічного зведення по рядках і по кадрах (стрілками показані напрями переміщення променів при обертанні магнітів статичного зведення)

Рисунок 1.35 – Схема системи зведення променів кінескопа з дельтовидним розташуванням електронних гармат

Зовні до горловини кінескопа під кутом 120° (так само розташовані прожектори) підходять три пари магнітопроводів статичного і динамічного зведення променів, силові лінії яких проходять через скло горловини і створюють між полюсними наконечниками магнітне поле. У плоскій частині кожного сердечника магніту статичного зведення є виїмка, в якій закріплений циліндровий постійний магніт, виконаний з фериту. Поворот цього магніту змінює величину і напрям магнітного поля між внутрішніми полюсними наконечниками циліндра зведення. При цьому відповідний промінь зміщується радіально під кутом 120° по відношенню до двох інших променів. Для зведення трьох променів в одному отворі маски треба мати можливість зміщувати хоч би один

промінь в напрямі, перпендикулярному радіальному. Для вирішення цього завдання прийнято зміщувати синій промінь (рис. 1.36).

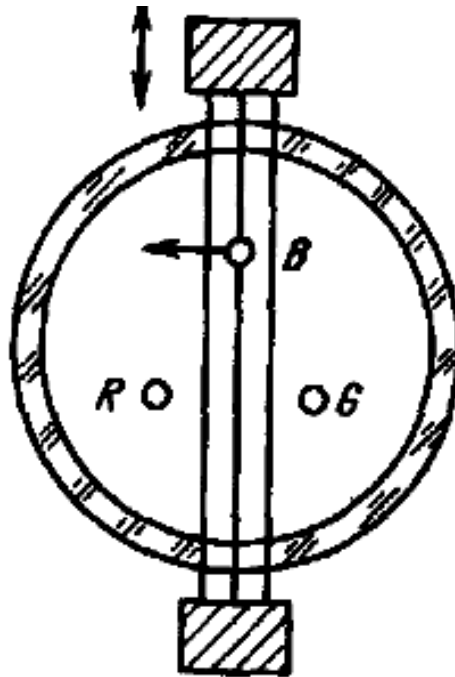


Рисунок 1.36 – Схема зсуву синього променя за допомогою електромагніту

Регулятор бічного зсуву синього променя є постійним магнітом циліндрової форми, вмонтованим в пластмасову ручку. Створюваний їм магнітний потік замикається через полюсні наконечники і магнітопровід з фериту, розташований між магнітом бічного зсуву і горловиною кінескопа. Поворот постійного магніту міняє величину і напрям зсуву синього променя по горизонталі.

Статичний бічний зсув синього променя може здійснюватися не постійним магнітом, а за допомогою електромагнітів, розташованих в системі зведення променів, що дозволяє усунути вплив поля магніту бічного зсуву синього променя на червоний і зелений промені. На кожному осерді електромагнітів є котушка для статичного бічного зсуву синього променя і котушка для додаткового динамічного зведення синіх вертикалей. Рис. 1.37 ілюструє принцип зсуву синього променя за допомогою електромагнітів.

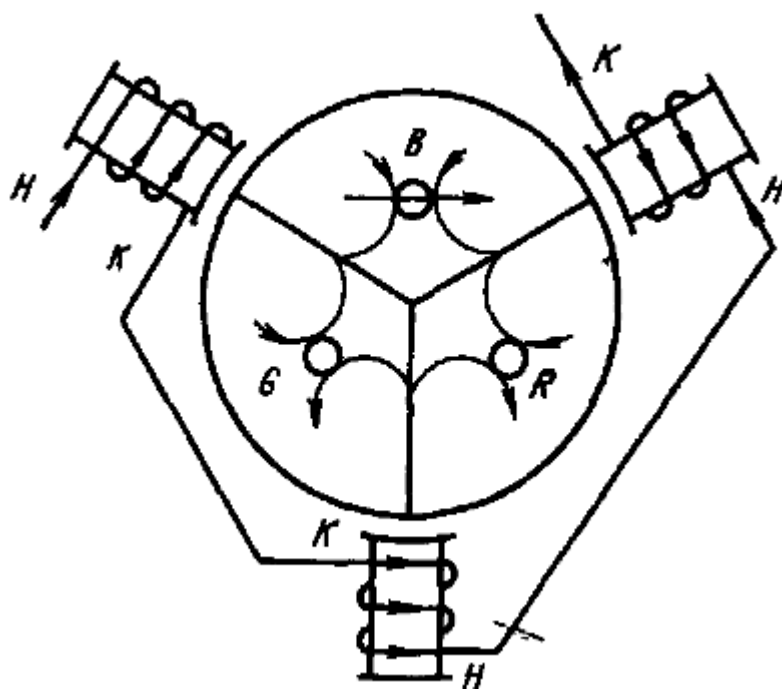


Рисунок 1.37 – Зсуви синього променя за допомогою електромагнітів

Синій промінь перетинається сумарним магнітним полем бічних електромагнітів (при «зустрічному» включенні обмоток котушок). Магнітне поле направлене уздовж вертикального радіусу і синій промінь переміщається в горизонтальному напрямі. Червоний і зелений промені перетинаються різницеvim магнітним полем, що створюється бічними і нижнім електромагнітами. Оскільки система симетрична щодо вертикалі, результуюче поле у області червоного і зеленого променів рівне нулю і не робить впливу на їх переміщення.

Три магніти статичного зведення червоного, зеленого і синього променів, а також магніт зсуву синього променя дозволяють звести три промені в площині маски в центрі екрану. Це зведення називається статичним, оскільки суміщає промені за відсутності сигналів рядкової і кадрової розгортки.

Зведення трьох променів в процесі розгортки виявляється складнішим завданням, ніж статичне зведення. Три електронні промені відхиляються загальною відхиляючою системою. Для того, щоб зведення променів зберігалось в процесі розгортки по всьому полю екрану, треба, щоб відстань від «центру відхилення» променів

(насправді центру відхилення променів, як такого, не існує – є зона відхилення променів) до площини маски залишалася постійною при всіх кутах відхилення. Проте в сучасних кінескопах з практично плоскими екранами і масками ця умова не виконується. При відхиленні промені зводитимуться (перетинатися) на поверхні уявної сфери з радіусом R , приблизно рівним відстані від центру відхилення променів до маски по осі кінескопа. Проте радіуси кривизни екрану і маски значно більше радіусу цієї сфери. Тому відхилені від осі кінескопа і зведені на поверхні згаданої сфери промені на деякій відстані від маски знову розійдуться і пройдуть на екран не через один отвір, а через віддалені один від одного отвори і потраплять на люмінофорні точки різних тріад.

При розгортці по горизонталі червоний R і зелений G промені зміщуються вище горизонтальній лінії, а синій – нижче (рис. 1.37). При розгортці по вертикалі червоний промінь виявляється правішим, а зелений – лівішим вертикальної лінії. Для поєднання променів в одній крапці синій промінь треба завжди зміщувати вгору, червоний – вліво і вниз під кутом 30° , зелений – управо і вниз під кутом 30° . Розбіжність променів в центрі екрану менша, ніж на краях растру.

Слід зазначити, що відхиляюча система кольорового масочного кінескопа – складний пристрій, виготовлення якого вимагає високої точності.

На чистоту кольору впливає точність установки відхиляючої системи. У разі неправильної установки відхиляючої системи (рис. 1.38) щодо точки відхилення променя, з якої експонувався екран, червоний промінь потрапляє на зелений люмінофор, а зелений – на синій. Для регулювання положення відхиляючої системи передбачена можливість її переміщення по горловині кінескопа.

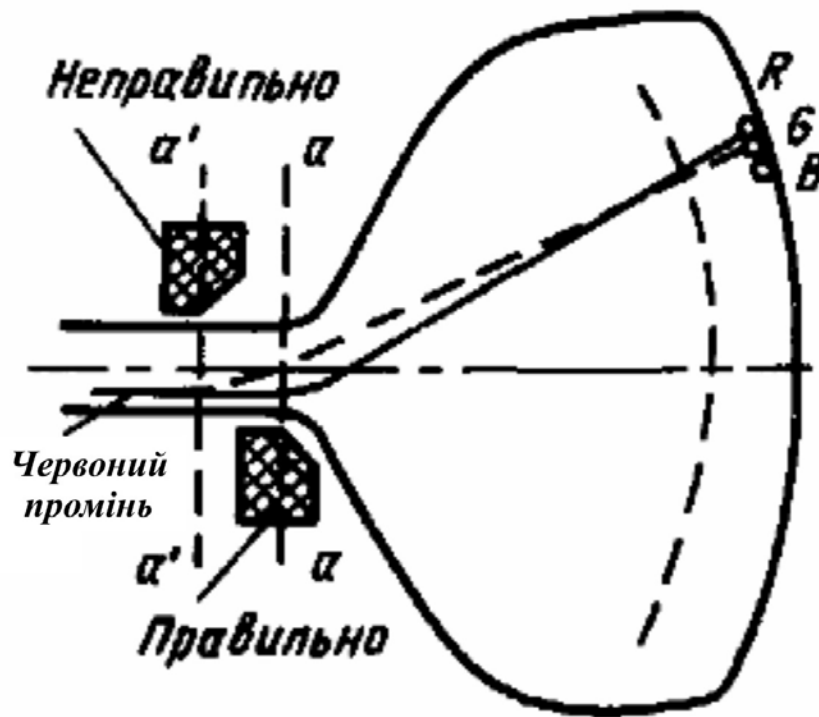


Рисунок 1.38 – Вплив положення відхиляючої системи на чистоту кольору

Чистота кольору залежить також від орієнтації кінескопа щодо зовнішніх магнітних полів, зокрема магнітного поля Землі. Воно впливає на чистоту кольору так само, як неправильна установка відхиляючої системи. Оскільки магнітне поле Землі впливає практично однаково на всі промені, вони потрапляють повністю або частково на невідповідні люмінофорні крапки. Поле компенсації створюється за допомогою магніту чистоти кольору (рис. 1.39), який складається з двох діаметрально намагнічених кілець, що поміщаються на горловині кінескопа, або безпосередньо за магнітом радіального зведення променів, або позаду магніту синього променя. Одна половина кільця має північний полюс, інша – південний. Кільця повертаються разом або незалежно один від одного. Поворот обох магнітів навколо горловини зрушує промені навколо осі. Розсовуючи або зрушуючи кільця, можна відхиляти промені в напрямі, перпендикулярному напрямку силових ліній.

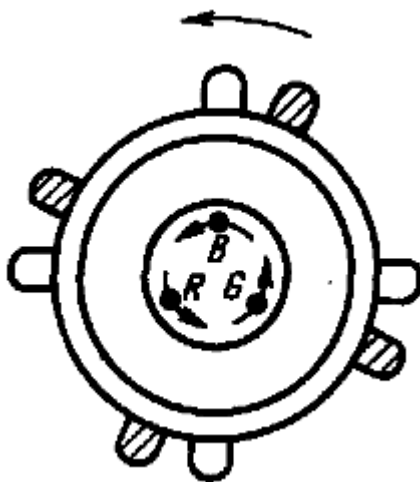


Рисунок 1.39 – Принцип дії магніту чистоти кольору. Стрілками показані напрями: зсуви електронних променів по відношенню до осі кінескопа

Основними недоліками таких кінескопів є складна система зведення променів, що приводить до спотворень чистоти кольору і появи кольорових окантовок, особливо по краях екрану, і, недостатня світловидатність екрану, пов'язана з малою прозорістю кольороподільної маски. Ці недоліки в основному були усунені в кінескопах з планарним розташуванням електронних гармат і щілинною маскою.

Кінескопи з планарним розташуванням електронних гармат і щілинною маскою

У таких кінескопах електронні гармати розташовуються в одній горизонтальній площині (планарно). Вісь центральної (зеленої) гармати співпадає з віссю симетрії кінескопа. Дві інші гармати розташовані симетрично щодо центральної (зеленої) гармати. Таке розташування прожекторів значною мірою спрощує зведення променів.

Проходження променів в кінескопах з планарним розташуванням електронних гармат приведене рис. 1.40.

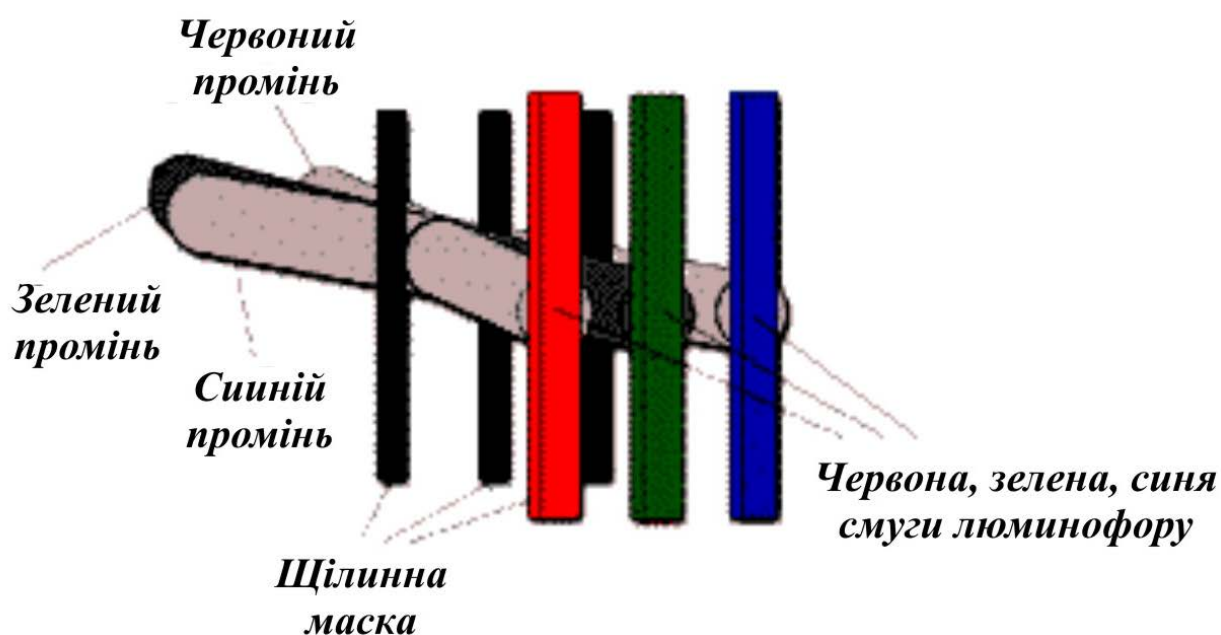


Рисунок 1.40 – Хід променів у кінескопах з планарним розташуванням електронних гармат

Точне попадання кожного з променів на люмінофорні елементи свого кольору, забезпечується так званою **щілинною маскою**. На відміну від тіньової маски щілинна маска має не круглі отвори, а вертикальні прорізи (щілини), що мають для міцності маски горизонтальні перемички (рис 1.41).

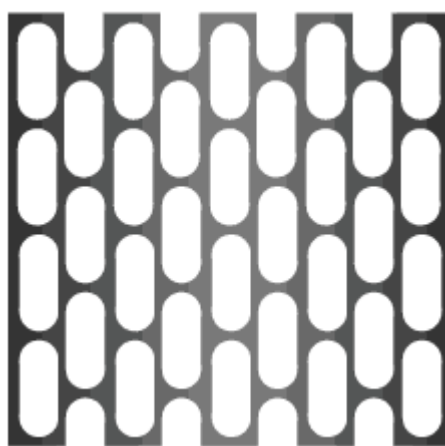


Рисунок 1.41 – Зовнішній вигляд щілинної маски планарного кінескопа

Щілинна маска прозоріша, чим маска дельта кінескопів, що приводить до збільшення яскравості свічення екрану. Така конструкція маски дозволяє уникнути порушення чистоти кольору

при деформації маски із-за нагріву, в результаті тривалої роботи кінескопу. Люмінофор в планарних кінескопах наноситься у вигляді вертикальних смужок (рис. 1.42) з чергуванням трьох основних кольорів.

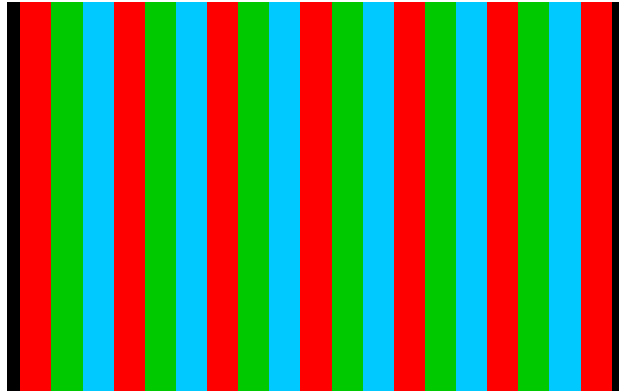


Рисунок 1.42 – Розташування смуг люмінофора на екрані планарного кінескопа

Це дозволяє поліпшити чистоту кольору в порівнянні з масочними кінескопами, оскільки зрушення променя по вертикалі не приводить до зміни кольору свічення.

Система зведення променів планарного кінескопа

У кінескопах з планарним розташуванням прожекторів для регулювання статичного зведення використовують магнітостатичний пристрій (МСП), який розміщений на горловині кінескопа і складається з двох пар кільцевих магнітів. Магніти виконані з барієвого фериту, який має малу проникність, і не роблять впливу на відхиляюче поле. Цим же пристроєм забезпечується однорідність кольоровості по полю екрану. Динамічне зведення променів в кінескопі з самозведенням забезпечується конструкцією відхиляючої системи. Тому окрім відхиляючої системи на горловині кінескопа розміщується магнітостатичний пристрій (МСП), який включає магніт чистоти кольору, магніти статичного зведення і симетрування растру. МСП встановлюється за відхиляючою системою кінескопа, тобто ближче до його цоколя.

Магніти статичного зведення застосовуються двох типів: чотирьохполюсні і шестиполюсні. Дія полів чотирьохполюсного магніту дозволяє одночасно наближати «червоний» і «синій» промені до «зеленого» або при зміні напрямку магнітного поля видаляти ці промені від нього. Дія полів шестиполюсних магнітів, забезпечує одночасний зсув «червоного» і «синього» променів управо або вліво відносно "зеленого" променя. При цьому «зелений» промінь залишається нерухомим. Обертаючи кільцеві магніти, можна компенсувати неточності установки електронних гармат і забезпечувати зведення променів в одну крапку в центрі екрану, тобто статичне зведення.

Магніти регулювання чистоти кольору і симетрування растру створюють вертикально направлені магнітні поля і тому дозволяють зміщувати одночасно всі три промені по горизонталі. Магніт чистоти кольору діє так само, як в кінескопі з дельтоподібно-розташованими електронними гарматами.

Вибухобезпечність кінескопів

Розробка кінескопів з прямокутними екранами і великими кутами відхилення променя дала поштовх створенню системи захисту кінескопів від мимовільного руйнування (вибуху) скла оболонки кінескопа під дією атмосферного тиску (екран кінескопа з діагоналлю 61 см випробовує тиск близько двох тонн). Оскільки поверхня екрану і конуса більше поверхні бічних стінок кінескопа, тому дія атмосферного тиску на екран і конус (рис. 1.43) призводить до того, що бічні стінки розтягуються і прагнуть деформуватися назовні.

Скло погано чинить опір розтягуванню. Тому в кутках балона кінескопа можуть виникати неприпустимі розтягуючі зусилля. Якщо на бічній поверхні балона є дефекти, наприклад подряпини, міцність балона різко погіршується, атмосферний тиск деформує кінескоп, і він вибухає. Осколки скла екрану летять всередину конуса (у телевізор), а осколки конуса – їм назустріч.

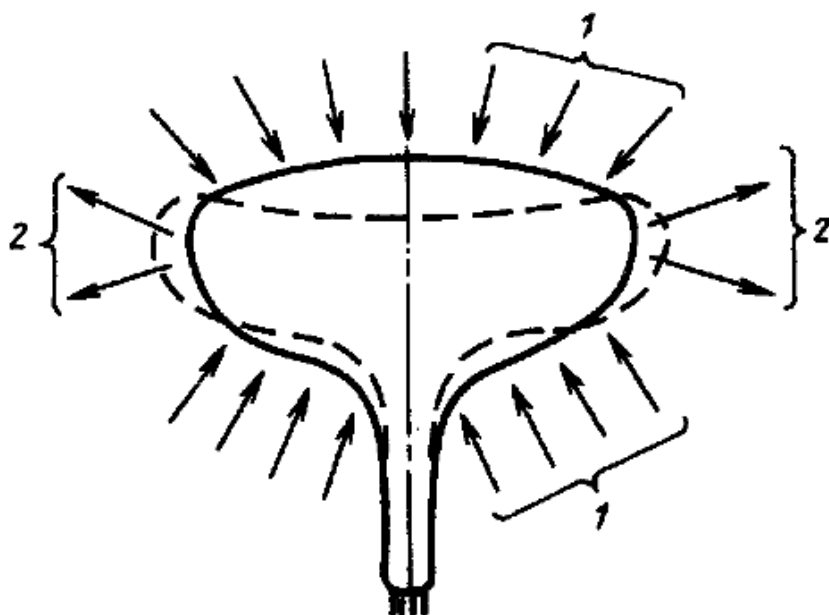
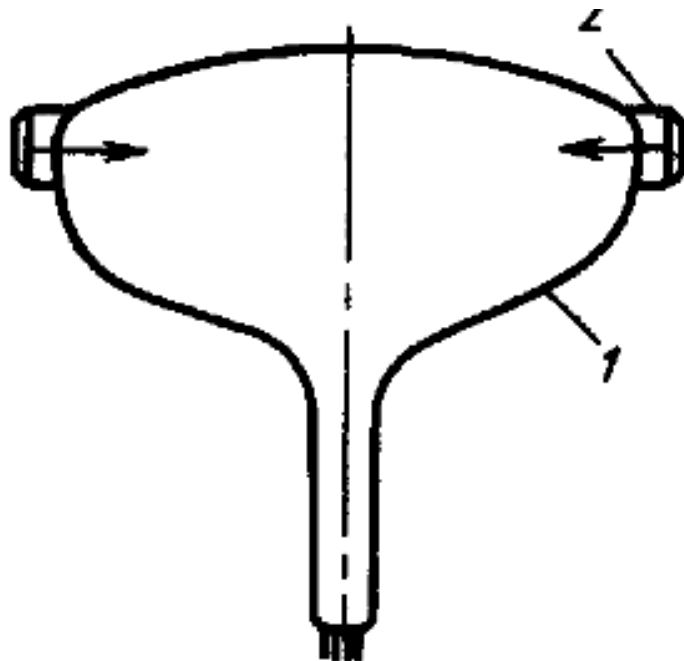


Рисунок 1.43 – Стиснення балона кінескопа атмосферним тиском.

Щоб нейтралізувати розтягуючі зусилля, використовують вибухозахисний бандаж (рис. 1.44), який стискає бічні поверхні балона; стрілками показано напрям стискаючого зусилля.



1 – балон кінескопа; 2 – вибухозахисний бандаж

Рисунок 1.44 – Дія системи захисту від вибуху кінескопа

Створення вибухозахищених кінескопів дозволило відмовитися від захисних стекол, що раніше застосовувалися в телевізорах. Це

дало можливість істотно зменшити глибину телевізора і одержати вигаи в яскравості і контрастності зображення. Захист від вибуху мають всі сучасні великогабаритні кінескопи.

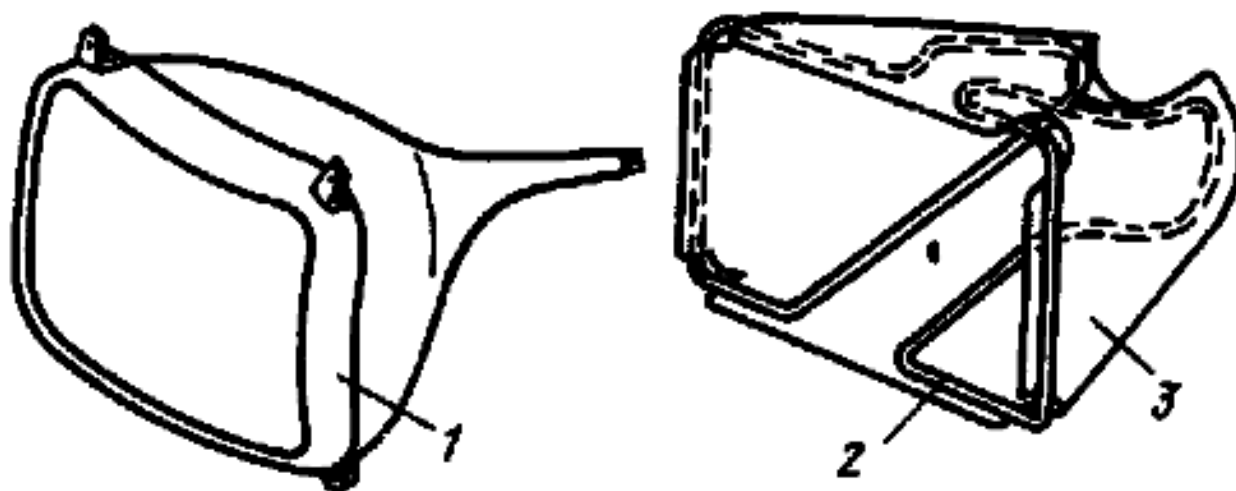
Вибухозахисний бандаж не призначений для використання як декоративний елемент телевізора і обов'язково з'єднується із зовнішнім провідним покриттям і загальним дротом телевізора.

Системи розмагнічування масок кольорових кінескопів

При установці телевізора, а також після випадкових дій сильних магнітних полів необхідно розмагнічувати маску кінескопа. Поле намагніченої маски (і інших сталевих деталей і вузлів телевізора) відхиляє електронні промені, що проходять через отвір маски, і порушує чистоту кольору. Цей ефект особливо помітно позначається на однорідності червоного кольору. Розмагнічування маски проводиться за допомогою пристрою, який складається з котушки у вигляді кільця великого діаметру, що містить декількох витків дроту, через яку пропускають змінний струм з частотою промислової мережі. Пристрій розташовують поряд з екраном кінескопа і після його включення плавно віддаляють від нього, проводячи кругові рухи.

Для усунення впливу зовнішніх магнітних полів і магнітного поля Землі використовуються екрануючий кожух (рис. 1.45) і обід кріплення навколо екрану. Що екранує кожух і обід виконують із сталі з високою магнітною проникністю. Вони також повинні бути розмагнічені.

При установці телевізора в квартирі і включенні домашніх електроприладів кожух і обід можуть виявитися знов намагніченими. Тому розмагнічування кожуха і обода проводиться автоматично за допомогою петлі розмагнічування, поміщеної між балоном кінескопа і екрануючим кожухом (рис. 1.45).



1 – кріпильний обід (система вибухозахисту); 2 – петля розмагнічування;
3 – екрануючий кожух

Рисунок 1.45 – Елементи екранування і розмагнічування маски кольорових кінескопів

По цій петлі при включенні і виключенні телевізора пропускається плавно затухаючий змінний струм промислової частоти. Петля розмагнічування розмагнічує також маску кінескопа. У схемах автоматичного розмагнічування використовуються нелінійні елементи (варістори, терморезистори), які ефективно працюють тільки в «холодному» телевізорі. Тому не рекомендується проводити повторне розмагнічування кінескопа шляхом виключення і швидкого включення телевізора.

1.7.3 ЕПТ спеціального призначення

Для виконання спеціальних функцій (запам'ятовування інформації, формування тестових сигналів і т.п.) в електроніці знайшли застосування ЕПТ спеціального призначення.

До ЕПТ спеціального призначення відносяться:

- індикаторні (для радіолокаційних і навігаційних пристроїв),
- знакодруючі (для відтворення алфавітно-цифрової інформації),
- запам'ятовуючі ЕПТ (для зберігання і відтворення записаної інформації).

Індикаторними називають ЕПТ, які використовуються в індикаторах, радіолокаційних і навігаційних пристроях. Вибір типу ЕПТ для індикатора залежить від вигляду і об'єму інформації, що відображається на індикаторі. Наприклад, при визначенні тільки віддалення ($D_{ц}$) до об'єкту в індикаторі може бути використана звичайна осцилографічна трубка. Широкого поширення набули трубки для індикаторів кругового огляду (ІКО). У цих індикаторах застосовують радіально-кругову розгортку, при якій промінь розгортається по радіусу екрану з одночасним поворотом на деякий кут.

Радіолокаційні сигнали позитивної полярності, поступають на модулятор і відображаються на екрані у вигляді відмітки (рис.1.46), такої яскравості, що дозволяє визначати дальність $D_{ц}$ і азимут $\beta_{ц}$.

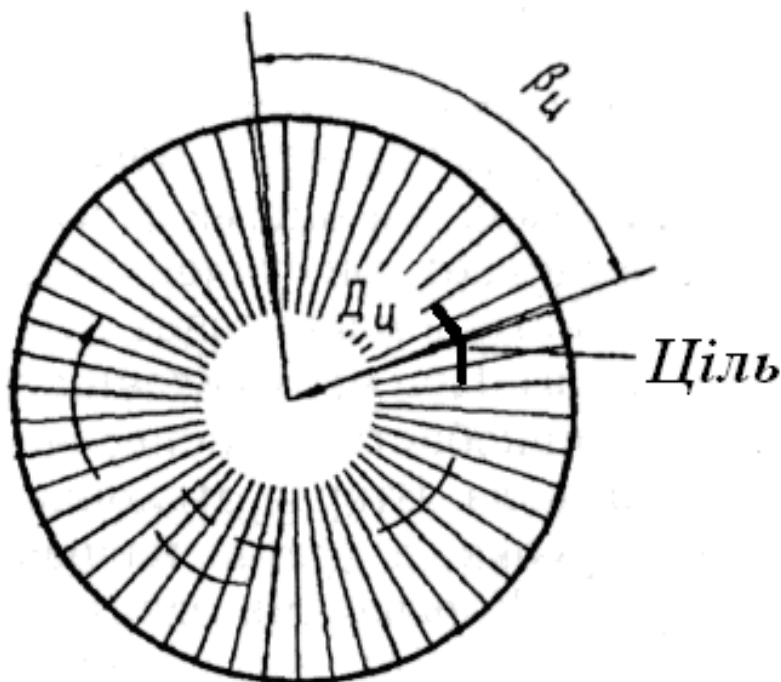


Рисунок 1.46 – Індикатор з радіально-круговою розгорткою

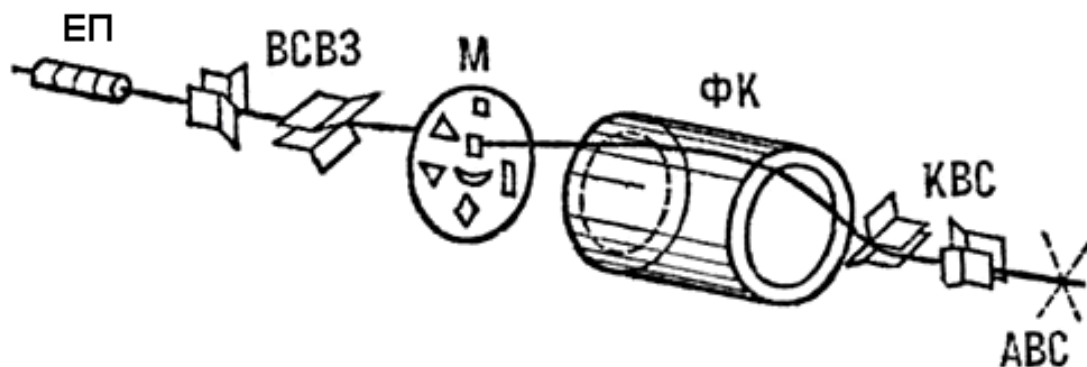
Оскільки швидкість обертання лінії розгортки невелика (вона дорівнює швидкості обертання антени), екран трубки повинен мати тривале післясвічення люмінофора. Для отримання великої яскравості свічення екрану і хорошого фокусування в трубках для ІКО застосовують високу напругу прискорення електронів променя. Тому виведення анода роблять через бічну стінку колби. Тривале післясвічення досягається використанням двошарових каскадних екранів. Наприклад, індикаторна трубка 31ЛМ32В з магнітним керуванням променя має екран жовто-оранжевого свічення, тривалість післясвічення якого складає від 4 до 15 с.

Для підвищення об'єму інформації, що відображається на екрані, і полегшення її сприйняття розроблені трубки з кольоровим зображенням. Наприклад, двопроменева трубка 20ЛМ1Е має двобарвний екран (оранжевого і зеленого свічення), що дозволяє одержувати на ньому відмітки різних кольорів.

Знакодруюча ЕПТ, (ЕПТ із знаковою індикацією) - індикаторна електронно-променева трубка, на екрані якої в місці падіння променя висвічується умовне позначення електричного сигналу, що поступив, у вигляді знаку (символу, букви або цифри). Знакодруючою ЕПТ користуються у разі, коли необхідно з великою швидкістю відтворювати і оновлювати знакову інформацію, наприклад для доповнення в кодованій формі радіолокаційних даних про повітряну обстановку, в електронних системах посадки літаків в крупних аеропортах і т.і. Розрізняють знакодруючі ЕПТ миттєвої дії (характрон), і знакодруючі ЕПТ із запам'ятовуванням знаків (тайпотрон). Електронно-оптична система обох типів знакодруючих ЕПТ однакова.

У знакодруючій ЕПТ миттєвої дії (характроні) (рис. 1.47) електронний промінь, що виходить з електронного прожектора ЕП, проходить через електростатичну відхиляючу систему вибору знаку ВСВЗ (першу адресну систему) і потрапляє на певне місце матриці М – металеві пластини з отворами у формі різних знаків. Промінь одночасно перекриває лише один вибраний знак матриці. Після

проходження матриці промінь набуває в поперечному перетині вигляду знаку, через який він пройшов. Потім електронний промінь, пройшовши котушку фокусування ФК, потрапляє в компенсуючу відхиляючу систему КВС, що повертає його на вісь характрона. Далі промінь проходить через другу адресну відхиляючу систему АВС (магнітну або електростатичну), що направляє його в певне місце екрану трубки, де і висвічується знак, відповідний сигналу, що поступив в неї.



ЕП – електронний прожектор; ВСВЗ – відхиляюча система вибору знаку; М – матриця знаків (букв, цифр); ФК – котушка фокусування; КВС – компенсуюча відхиляюча система; АВС – адресна відхиляюча система

Рисунок 1.47 – Електронно–оптична система знакодруючої трубки

Екран знакодруючої ЕПТ найчастіше має двохарову структуру. Безпосередньо на скло трубки наноситься шар люмінофора, що володіє при опромінюванні жовтим свіченням з різним часом післясвічення від доль секунди до декількох десятків секунд. На перший шар наноситься другий, в якому при попаданні на нього електронного променя виникає блакитне свічення, збудливе свічення першого шару. Екрани звичайно мають круглу форму і діаметр до 500 мм. У характрона знак відтворюється тільки протягом часу дії електронного променя, що записує знаки, і часу післясвічення екрану.

Знакодруюча ЕПТ із запам'ятовуванням знаків (тайпотрон) відрізняється від характрона додатковим введенням сітчастої мішені, яка запам'ятовує інформацію, перед екраном такого ж типа, як в

електронно–променевої трубки (з пам'яттю), з видимим зображенням на екрані, і джерела широкого електронного променя (відтворюючого прожектору), що одночасно висвічує на екрані всі знаки, записані на мішені. Електронний промінь який записує інформацію в тайпотроні проходить через один із знаків матриці і набуваючи в перетині форми вибраного знаку, прямує в задане місце сітчастої бістабільної мішені пам'яті, розташованої перед люмінесцентним екраном; і на поверхні мішені він створює потенційний рельєф, відповідний формі знаку. Електрони широкого відтворюючого пучка, що опромінює всю мішень, проходять крізь неї тільки на тих ділянках, на яких проведений запис, і відтворюють зображення записаних знаків на екрані, одночасно підтримуючи записаний потенційний рельєф (протягом тривалого проміжку часу – до декількох годин). Час запису одного знаку ~ 40 мксек. Стирання зображення проводиться одночасно зі всієї мішені; час стирання ~ 50 мсек. У тайпотрона одного разу записані знаки світяться на екрані практично необмежений час, аж до моменту штучного їх стирання.

Запам'ятовуюча ЕПТ володіє здатністю зберігати протягом певного часу електричні сигнали. Запам'ятовуючи ЕПТ застосовується:

- для запису і багатократного відтворення нестационарних процесів, порівняння сигналів (при неможливості їх одночасного отримання)
- виділення (селекції) рухомих цілей в радіолокаційних індикаторах, при перетворення радіолокаційних сигналів, в телевізійні, в пристроях оперативної пам'яті ЕОМ і т.і.

Розрізняють запам'ятовуючи ЕПТ, в яких:

- записана інформація видається у формі електричних сигналів (графекони і ін.)
- записані сигнали перетворюються в зображення на екрані (потенциалоскопи з видимим зображенням і ін.).

У всіх видах запам'ятовуючих ЕПТ відбуваються наступні процеси:

- підготовка до запису – «стирання» записаного раніше сигналу;
- запис сигналу у вигляді розподілу зарядів (потенційного рельєфу) на поверхні діелектричної пластини;
- збереження сигналу протягом необхідного часу – «запам'ятовування» сигналу;
- відтворення сигналу у будь-який час – «зчитування».

Потенціалоскоп

У *потенціалоскопах* приймачем електронів служить діелектрична мішень. Запис сигналів здійснюється накопиченням зарядів на поверхні мішені. В процесі такого запису створюється потенційний рельєф, відповідний записуваній інформації.

В даний час розроблено велике число конструкцій потенціалоскопів, в яких використовуються різні способи запису і зчитування електричних сигналів. Вони широко застосовуються в радіолокації, телебаченні, рахунково-вирішальних пристроях, вимірювальній техніці і в інших областях. У радіолокації найбільшого поширення набули потенціалоскопи з бар'єрною сіткою (*радікони*).

У більшості потенціалоскопов застосовують електростатичне фокусування і магнітне відхилення променя. Для забезпечення необхідної роздільної здатності електронний прожектор повинен давати пляму з достатньо малим діаметром (приблизно 0,1 мм.).

Спрощена конструкція і можлива схема включення потенціалоскопа з бар'єрною сіткою показані на рис. 1.48. Напруги, вказані на схемі, відлічуються щодо загальної точки схеми.

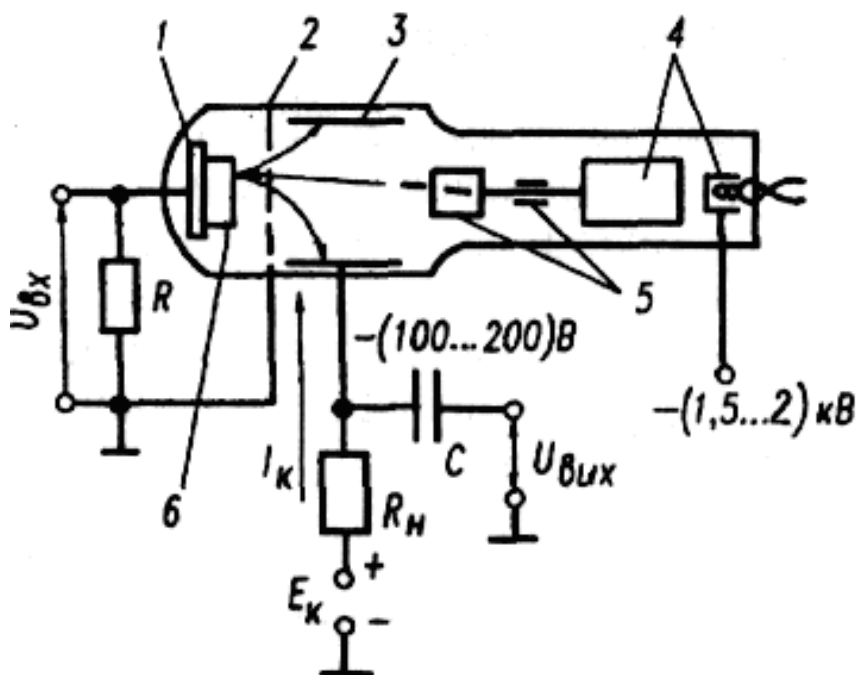


Рисунок 1.48 – Структура і схема включення потенціалоскопа

Потенціалоскоп складається з електронного прожектора 4, що відхиляє системи 5 і приймача електронів. Приймачем електронів служить діелектрична мішень 6, одержувана, наприклад, нанесенням фтористого магнію на сигнальну металеву пластинку 1. Поблизу мішені розташована дрібноструктурна сітка 2, яка звичайно заземляється. На внутрішню поверхню колби нанесений шар графіту 3, званий **колект ором**. Напруга колектора на 100...200В вище напруги бар'єрної сітки, що забезпечується включенням в ланцюг колектора джерела живлення E_K і резистора навантаження R_H .

Записувані сигнали (у вигляді імпульсів) поступають на сигнальну пластину, а вихідні знімаються з резистора навантаження R_H . Електронний промінь, сформований електронним прожектором, досягає діелектричної мішені і переміщається по ній за допомогою відхиляючої системи. Електрони променя вибивають з діелектричної мішені вторинні електрони, які, притягуючись колектором, створюють струм колектора I_K . Оскільки енергія електронів променя складає 1,5...2 кеВ (потенціал катода рівний 1,5...2 кВ), то коефіцієнт вторинної емісії мішені σ_m перевищує одиницю. Тому на поверхні мішені з боку катода накопичується позитивний заряд, і потенціал

мішені підвищується. Внаслідок цього між мішенню і бар'єрною сіткою створюється електричне поле, гальмуюче вторинні електрони. У міру накопичення заряду встановлюється рівновага, при якій струм колектора стає рівним струму променя, а поверхня мішені набуває позитивного потенціалу U_p , який зветься **рівноважним**. Звичайно рівноважний потенціал складає 2...7В. Швидкості розгортки і струм променя вибирають так, щоб рівноважний потенціал встановлювався за один цикл розгортки.

Для зчитування записаних сигналів електронний промінь розгортають по мішені за відсутності вхідного сигналу. У момент проходження променем ділянки, потенціал якого менше рівноважного (що відповідає запису позитивного імпульсу), електричне поле, гальмуюче вторинні електрони, зменшується. При цьому росте число вторинних електронів, що йдуть через сітку на колектор, і на мішені накопичується позитивний заряд, потенціал, що підвищує її, до рівноважного. В результаті зростання струму колектора збільшується падіння напруги на резисторі навантаження R_H , зменшується напруга на колекторі і з виходу потенціалоскопа знімається негативний імпульс.

Якщо промінь потрапляє на ділянку із записом негативного імпульсу, гальмуюче електричне поле в просторі між сіткою і мішенню підсилюється. Струм колектора зменшується, на мішені накопичується негативний заряд, і її потенціал знижується до рівноважного значення. Падіння напруги на резисторі навантаження R_H зменшується, а на вихідних контактах з'являється імпульс напруги позитивної полярності. Отже, при зчитуванні потенційний рельєф стирається, а на виході потенціалоскопа відтворюються імпульси з полярністю, протилежної полярності записаних сигналів.

Часто потенціалоскоп з бар'єрною сіткою використовують при безперервному надходженні вхідних імпульсів. Режим роботи потенціалоскопа в цих умовах називають **режимом віднімання**. У режимі віднімання одночасно відбуваються процеси запису імпульсів, які поступають, і відтворення записаних раніше. Оскільки

полярність вихідного імпульсу при записі протилежна полярності вихідного імпульсу при відтворенні, на вихідних контактах потенціалоскопа в режимі віднімання з'являються сигнали, пропорційні різниці напруги вихідних імпульсів запису і зчитування.

Для поліпшення параметрів потенціалоскопа в режимі віднімання необхідно зменшити його прохідну ємність, тобто ємність між колектором і сигнальною пластиною. Це досягається введенням екрануючої сітки. Прикладом віднімаючого потенціалоскопа є запам'ятовуюча ЕПТ ЛН9, що має електростатичне фокусування і магнітне відхилення променя.

Залежно від функцій, що виконуються потенціалоскопом, можуть бути використані і інші режими його роботи.

Графekon

До запам'ятовуючих ЕПТ, відносяться також *графекони*, в яких використовується запис збудженою електропровідністю. Вони мають два прожектори, один з яких - записуючий, а інший - зчитування. У односторонній конструкції графекону обидва прожектори розташовані з одного боку діелектричної мішені (рис 1.49). Прожектор зчитування нахилений відносно записуючого прожектора на кут, близький 30° .

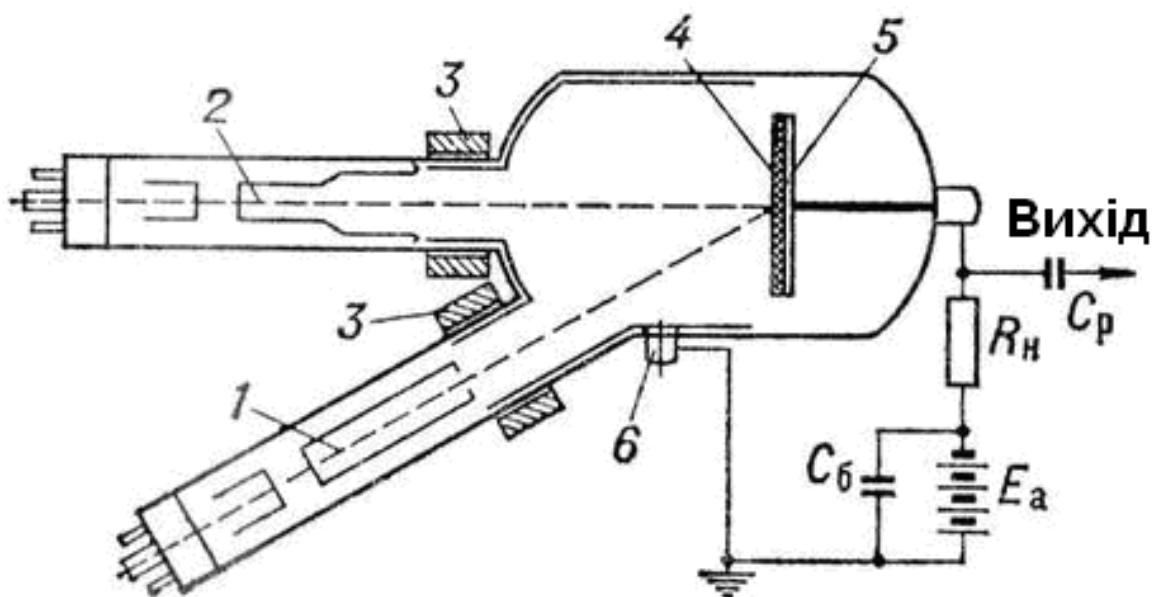


Рисунок 1.49 – Структура і схема включення графекона

На рис. 1.49 наведено: 1 – промінь зчитування; 2 – промінь запису; 3 – відхиляючі системи розгортки променя; 4 – діелектричний шар; 5 – електропровідна пластина; 6 – колектор; E_a – джерело негативної напруги на електропровідній (сигнальній) пластині; C_6 – блокувальний конденсатор; R_n – опір навантаження, на виведеннях якого утворюється електрична напруга вихідного сигналу; C_p – розділовий конденсатор.

Перед початком роботи графekonа проводять растрову розгортку променя зчитування. Електрони цього променя володіють енергією приблизно 1 кеВ, тому вони викликають вторинну емісію електронів з поверхні мішені, причому коефіцієнт вторинної емісії $\sigma_m > 1$. Вторинні електрони притягуються колектором, виконаним у вигляді графітового шару на внутрішній поверхні колби, унаслідок чого поверхня мішені набуває рівноважного позитивного потенціалу. У цьому стані мішень можна розглядати як плоский заряджений конденсатор, одним з обкладань якого є сигнальна пластина, а інший – заряджена поверхня мішені. Після закінчення підготовчої розгортки промінь зчитування вимикають.

При записі сигналів проводять растрову розгортку записуючого променя. Електрони цього променя мають енергію приблизно 10 кеВ, тому вони проникають в глиб мішені і викликають явище збудженої електропровідності, тобто різко зменшують опір опроміненої ділянки мішені. Під час запису між сигнальною пластиною і колектором включають негативну напругу, що становить декілька десятків вольт. Явище збудженої провідності викликає частковий розряд опроміненої ділянки мішені, тобто на цій ділянці утворюється потенційна «яма». Ступінь розряду і глибина «ями» залежать від щільності струму променя. Тому при подачі напруги сигналу на модулятор записуючого прожектора в процесі розгортки променя на мішені створюється потенційний рельєф, відповідний формі сигналів. Після закінчення кадру запису промінь вимикають. Записаний рельєф може зберігатися тривалий час (до декількох десятків діб).

Зчитування проводять за допомогою променя зчитування за відсутності додаткової напруги між сигнальною пластиною і колектором. Процес зчитування відбувається так само, як і в радиконе, проте опір навантаження включають в ланцюг сигнальної пластини. Крім того, завдяки великій глибині запису (вона обмежується величиною негативної напруги між сигнальною пластиною і колектором) в графеконе можливо багатократне зчитування.

Для зменшення спотворень, що вносяться відхиляючими системами, застосовують двосторонню конструкцію графекона. У цій конструкції прожектори розташовуються по обидві сторони мішені. Прикладом графеконів односторонньої конструкції є ЕПТ ЛН102, двосторонньої – ЛН104. У обох графеконів напруга прискорення зчитування $U_{зчит} = 1$ кВ, а променя запису $U_{зан} = 10$ кВ.

Графекони застосовуються для перетворення радіолокаційної інформації, в телевізійні відеосигнали, телевізійних сигналів одного стандарту в іншій і т.і.

Запам'ятовуючі трубки з видимим зображенням

Запам'ятовуючі трубки з видимим зображенням забезпечують перетворення одноразових електричних сигналів у видиме зображення, яке зберігається протягом тривалого часу. Конструкція запам'ятовуючої трубки з видимим зображенням показаний на рис. 1.50.

На дно колби такої ЕПТ нанесений люмінесцентний екран 1, перед яким розташовується мішень 2. Як мішень використовується дрібноструктурна сітка, провідники якої з одного боку покриті діелектриком 3. Поблизу діелектрика розміщується колекторна сітка 4. Трубка містить два електронні прожектори: зчитування і запису.

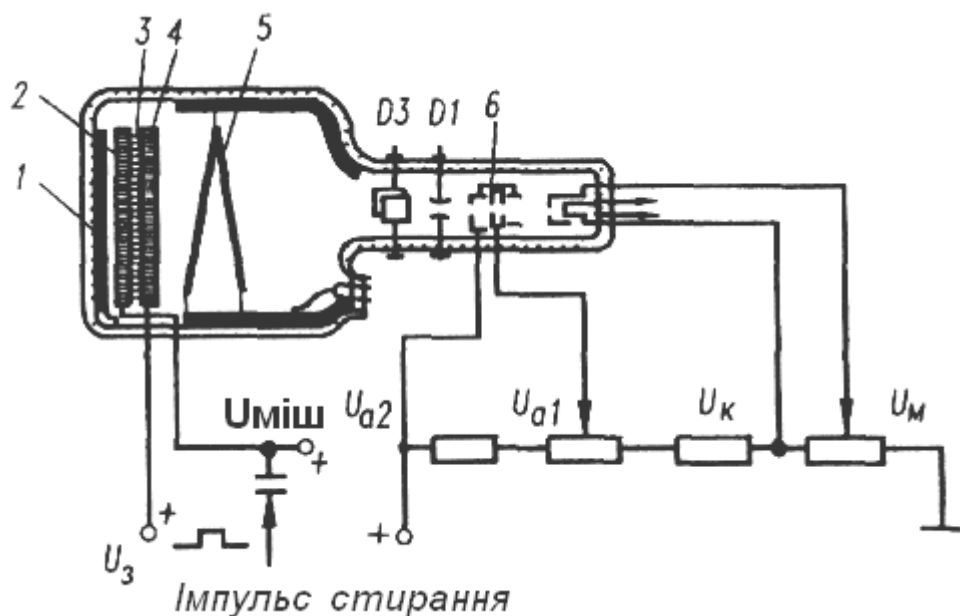


Рисунок 1.50 – Конструкція і схема включення запам'ятовуючої ЕПТ, з видимим зображенням

Прожектор зчитування, який створює широкий електронний потік у простому випадку є спеціальним катодом 5.

Прожектор запису забезпечує отримання електронного променя за допомогою системи фокусування 6 і його переміщення по поверхні мішені за допомогою електростатичної відхиляючої системи.

Прожектор зчитування безперервно опромінює мішень електронами. Умови проходження цих електронів до люмінесцентного екрану через мішень визначаються потенціалом діелектрика мішені. При деякому негативному потенціалі, так званому **потенціалом відсічі**, електрони через мішень не проходять і люмінесцентний екран не світиться. Потенціал діелектрика мішені змінюється в процесі запису сигналів електронами записуючого променя.

Перед записом зображення на сітку мішені подається позитивний імпульс, амплітуда якого перевищує значення потенціалу відсічі. Під дією цієї напруги електрони відтворюючого прожектора починають осідати на поверхні діелектрика, знижуючи його потенціал до потенціалу катода прожектора зчитування.

Після припинення дії імпульсу діелектрик виявляється зарядженим негативно до потенціалу нижчого, ніж потенціал закриття. Тому електрони відтворюючого прожектора не потрапляють на люмінофор і екран не світиться.

Під дією напруги на відхиляючих пластинах, електронний промінь записуючого прожектора переміщається по мішені. Енергія електронів цього променя забезпечує коефіцієнт вторинної емісії (σ) діелектрика більше одиниці.

Вторинні електрони, що покинули діелектрик, відводяться за допомогою колекторної сітки і потенціал діелектрика в тих місцях, де пробігав записуючий промінь, підвищується, і стає вище потенціалу відсічі.

Через ділянки мішені з підвищеним потенціалом електрони прожектора зчитування проходять на люмінесцентний екран, створюючи на ньому зображення.

Оскільки поверхня діелектрика негативна по відношенню до катода відтворюючого прожектора, то електрони на діелектрик не потрапляють і його потенціал не змінюється. Це дозволяє одержувати у продовж значного часу відтворення зображення, а хороші ізоляційні властивості діелектрика сприяють тривалому зберіганню потенційного рельєфу на мішені. Наприклад, у запам'ятовуючій ЕПТ 13ЛН8 час збереження записаної інформації не менше семи діб, а час відтворення зображення досягає тридцяти хвилин.

1.7.4 Основні параметри і маркування ЕПТ

Приймачем інформації, що відображається на екрані відтворюючих ЕПТ, є зорова система людини. У зв'язку з цим показники якості зображення на їх екранах повинні бути узгоджені з основними характеристиками зору.

Параметри відтворюючих ЕПТ можна розділити на наступні категорії:

- габаритні (діаметр або діагональ екрану, кут відхилення променя),
- яскравісні (яскравість, контраст, контрастність і число відтворних градацій яскравості),
- колірні (кольоровість основних кольорів свічення екрану; однорідність кольоровості або чистота кольору основних кольорів; баланс білого кольору свічення),
- часові (частота оновлення зображення на екрані ЕПТ; час післясвічення екрану кінескопа).

Одним з основних параметрів будь-якої відтворюючої ЕЛТ є площа її екрану, оскільки від площі екрану залежить кількість відтворної інформації. У зв'язку з тим, що осцилографічні ЕПТ мають, як правило, круглий екран в їх позначенні указують діаметр екрану в сантиметрах. У випадку, якщо осцилографічна ЕПТ має прямокутний екран в паспортних даних указують його габарити. Для кінескопів завжди указують величину діагоналі екрану, оскільки їх екрани завжди прямокутні і співвідношення ширини екрану до його висоти (формат кадру) рівний $4/3$. Вибір такого формату обумовлений особливостями зорового аналізатора (очі) людини. Для кінескопів немало важливим параметром є кут відхилення променя, оскільки від величини даного параметра залежить подовжній розмір кінескопа (чим більший кут відхилення променя, тим менше його подовжня довжина).

На рис. 1.51 показано вплив довжини ЕПТ при незмінному розмірі її екрану від кута відхилення променя.

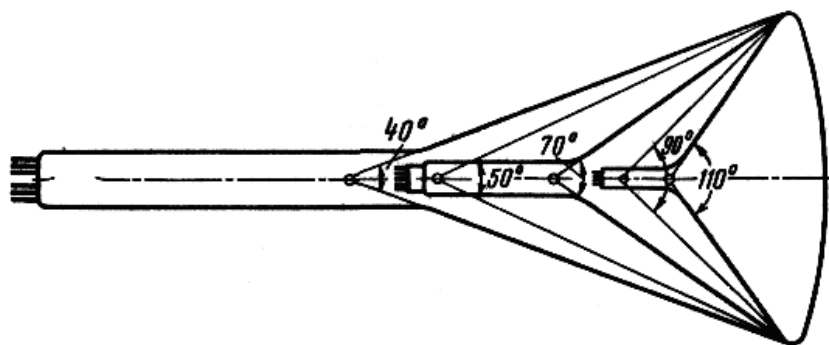


Рисунок 1.51 – Вплив кута відхилення променя на довжину ЕПТ

Отже, із збільшенням кута відхилення променя в кінескопах зменшується його довжина і, відповідно, глибина телевізійних приймачів. В даний час випускають кінескопи з кутом відхилення до 110° .

Також у кінескопів до основних параметрів відноситься такий параметр як роздільна здатність. Оскільки на екрані кінескопів відтворюється телевізійне зображення, для того, щоб не була помітна рядкова структура розгортки зображення, число рядків розкладання або роздільна здатність кінескопа по вертикалі (рис. 1.52) повинна бути не менше

$$Z = \frac{\beta}{\alpha_c},$$

де β – кут зору, α_c – гострота зору.

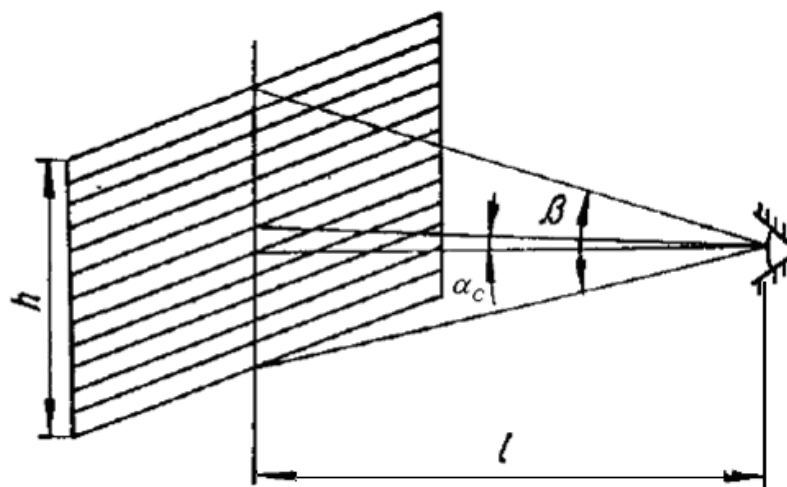


Рисунок 1.52 – До вирішальної здібності ока при спостереженні телевізійного зображення

З урахуванням залежності гостроти зору від умов спостереження об'єктів на екрані кінескопа (контрастність і яскравість зображення) гостроту зору у середньому вважають рівною $1,5...2^\circ$. Таким чином, необхідне число рядків розкладання для екранів великих кінескопів (величина діагоналі $(D)=61\text{см}$) $Z_1 = 600$ рядків, при малих екранах ($D=16\text{ см}$) може бути понижено до $Z_2 = 200$ строк. У кольорових кінескопах роздільна здатність обмежується перетином електронного променя, кроком отворів тіньової маски і структурою екрану.

До характеристик яскравості кінескопів (як кольорових так і монохромних), належать: безпосередньо яскравість (L) і контрастність (K) а також спеціальні характеристики, властиві кольоровим кінескопам: чистота основних кольорів і білого кольору; однорідність кольоровості по полю екрану; баланс білого кольору; якість зведення променів.

Для спостереження зображення без стомлення зору в умовах відсутності зовнішнього світла достатня середня яскравість зображення $30...40\text{ кд/м}^2$. При цьому яскравість світлих ділянок зображення складає 100кд/м^2 , а темних ділянок – 10кд/м^2 . Максимальну яскравість свічення екрану визначають світловидатність люмінофора і швидкістю електронів променя. Мінімальна яскравість створюється розсіяними електронами, при цьому струм променя дорівнює нулю.

Згідно рис. 1.53 (залежність порогу контрасту від яскравості фону) витікає, що при полі зору біля 4° і при яскравості телевізійних зображень від 5 до 300 кд/м^2 поріг контрасту мінімальний і лежить в межах $K_{\text{пор}}(\Delta L/L) = 0.02\div 0.05$.

Контрастність телевізійного зображення визначається як відношення максимальної яскравості екрану до мінімальної

$$K_{TV} = \frac{L_{\max}}{L_{\min}}.$$

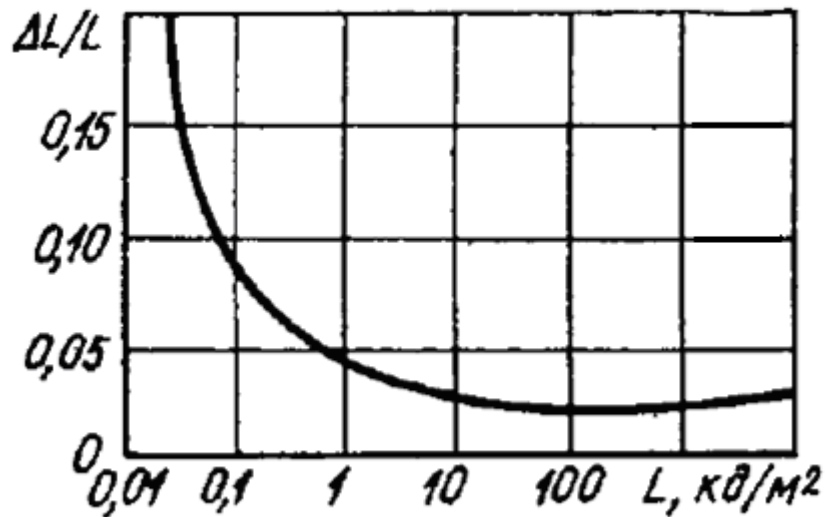


Рисунок 1.53 – Залежність порогу контрасту від яскравості фону

Величина контрастності зображення вважається хорошою, якщо $K_{TV} = 40$ і відмінної, якщо $K_{TV} = 80 \div 100$.

За наявності зовнішнього фонового світла (L_{ϕ}) контрастність зображення різко знижується відповідно до виразу вигляду:

$$K = \frac{(L_{\max} + L_{\phi})}{(L_{\min} + L_{\phi})}.$$

Застосування для екранів димчастого скла з коефіцієнтом пропускання світла $\nu = 0.4 \div 0.6$ дозволяє підвищити контрастність, оскільки при проходженні через скло світло від зображення доходить до спостерігача ослабленим в ν раз, а зовнішнє світло проходить через скло двічі і послаблюється в ν^2 раз.

В результаті контрастність зображення дорівнює

$$K = \frac{(\nu L_{\max} + \nu^2 L_{\phi})}{(\nu L_{\min} + \nu^2 L_{\phi})}.$$

Баланс білого кольору. Координати кольоровості основних кольорів, що є у кінескопа, визначають частку їх яскравості при відтворенні опорного білого кольору. Встановлений для кінескопа білий колір (L_w) при колірній температурі 6500°K виходить при пропорціях яскравості основних кольорів:

$$L_W = 0,222L_R + 0,707L_G + 0,071 L_B.$$

Існує два види балансу білого кольору – баланс статичний і баланс динамічний.

Статичний баланс білого кольору характеризує ступінь відповідності кольору свічення екрану кольору свічення еталонного джерела білого при установці будь-якого значення яскравості відтворного зображення.

Динамічний баланс білого кольору характеризує збереження правильного відтворення білого кольору на всіх градаціях яскравості телевізійного зображення.

Порушення статичного балансу білого кольору приводить до фарбування зображень ахроматичних безбарвних об'єктів; порушення динамічного балансу білого кольору викликає появу стороннього колірного забарвлення.

Часові параметри кінескопа характеризуються частотою кадрової розгортки (частотою зміни кадрів). Для отримання злитого (однорідного) зображення на екрані необхідно щоб частота зміни кадрів була вища, ніж критична частота злиття мигань зображення. Величина критичної частоти злиття мигань для зорового аналізатора (очі) людини складає величину $45 \div 50$ Гц, яка в свою чергу залежить від швидкості протікання біоелектричних процесів в організмі людини. Максимальна величина частоти зміни кадрів в кінескопі обмежена величиною інерційності люмінофора. Тобто час післясвічення люмінофора повинен бути менше ніж період зміни (оновлення) кадрів зображення на екрані кінескопа. Отже, величина часу післясвічення люмінофора для отримання нормального зображення на екрані кінескопа повинно складати не більше 0,02с. В даний час використовувані люмінофори дозволяють одержати величину часу післясвічення екранів кінескопів 0,01с. Таким чином, частота зміни кадрів (кадрової розгортки) на екрані сучасних кінескопів може досягати величини 100 Гц. Це дозволяє одержувати високоякісні телевізійні зображення.

Система маркування приймалень ЕПТ складається з буквених і цифрових елементів. Першим елементом маркування є число, що позначає діаметр (для кінескопів – діагональ) екрану ЕПТ в сантиметрах. У другому елементі позначення використовується поєднання букв, які указують вигляд ЕПТ і метод відхилення електронного променя:

- ЛО – осцилографічні і індикаторні ЕПТ з електростатичним відхиленням променя;
- ЛМ – осцилографічні і індикаторні ЕПТ з магнітним відхиленням променя;
- ЛК – кінескопи;
- ЛН – запам'ятовуючі ЕПТ.

Третій елемент – порядковий номер приладу. Четвертий елемент – буква, яка указує колір свічення екрану:

- "Б" або "В" – білий,
- "М" – голубий,
- "И" – зелений,
- "Ц" – синій, зелений, червоний.

1.8 Передавальні ЕПТ

Передавальна ЕПТ виконує функцію протилежну кінескопу – перетворює оптичне зображення в послідовність електричних імпульсів (телевізійний відеосигнал) амплітуда яких пропорційна освітленості окремих ділянок зображення яке відлягає передаванню. Дія передавальних ЕПТ всіх типів засновано на *фотоефекті* (зовнішньому або внутрішньому). При зовнішньому фотоефекті перетворюючим фоточутливим елементом в передавальних ЕПТ служить фотокатод, який при освітленні випускає електрони, при внутрішньому – фоточутлива мішень, що змінює при освітленні свою електричну провідність.

1.8.1 Принципи отримання телевізійного сигналу і основні вимоги до передавальних ЕПТ

Для отримання телевізійного відеосигналу, який відповідає оптичному зображенню, розташованому на певній площі, необхідно організувати аналіз яскравості окремих його ділянок (при передачі монохромного зображення) і аналіз яскравості основних кольорів окремої ділянки (при передачі кольорового зображення). Цей процес в телебаченні називається розгорткою зображення. Звичайно телевізійна розгортка є лінійною. Розкладання і синтез зображення здійснюються по рядках (промінь рухається зліва направо) і по полях (промінь рухається зверху вниз). Окрема горизонтальна послідовність елементів розкладання (або синтезу) утворює *т елевізійний рядок*, а сукупність рядків розкладання (синтезу) всього зображення – його растр. На час зворотного ходу розгортки промені передавальної і приймальної трубок гасяться, і передача інформації про зображення не проводиться.

У загальному випадку можливі три способи розгортки зображення:

- переміщення оптичного зображення щодо нерухомого фотоелемента;
- переміщення фотоелемента щодо нерухомого оптичного зображення;
- електричне перемикавання (комутація) сигналів від безлічі нерухомих фотоелементів, на які спроектовано оптичне зображення.

У сучасних передавальних ЕПТ застосовують електронну розгортку зображення, при якій розкладання останнього відбувається на окремі рядки, ширина яких визначається товщиною електронного променя. Швидкість розгортки може досягати досить великих значень, оскільки електронний промінь можна рахувати практично неінерційним. Таким чином, передавальну трубку можна представити як сукупність фотоелементів, на які проектується окремі елементи

зображення, що передається. Сигнали від кожного фотоелемента в процесі розгортки по черзі обпитуються для отримання необхідної тимчасової послідовності.

Передавальні ЕПТ можна розділити на:

- ЕПТ без перенесення зображення;
- ЕПТ з перенесенням зображення на сигнальну мішень.

У передавальних ЕПТ (іконоскоп і ортикон) без перенесення зображення електронний промінь розгортає оптичне зображення, спроектоване на фоточутливу поверхню.

У передавальних ЕПТ (типу суперіконоскоп і суперортикон) з перенесенням зображення електронний промінь розгортає електронне зображення, перенесене з фотокатода на спеціальну сигнальну мішень.

Крім того, за способом формування відеосигналу, передавальні ЕПТ розрізняють на:

- системи миттєвої (прямої) дії,
- системи з накопиченням заряду.

Передавальні ЕПТ, у яких величина електричних імпульсів, пропорційна яскравості передаваних елементів зображення в конкретний момент часу, називаються системами миттєвої або прямої дії. До них відносяться диссектор і система з променем, що біжить. Трубки іншої групи (іконоскоп, ортикон, відікон) засновані на принципі накопиченні заряду (у перебігу передачі одного кадру зображення), тому вони одержали назву систем з накопиченням заряду. Протягом цього часу завдяки фотоефекту заряджають мініатюрні конденсатори, утворені окремими ділянками фотокатода і так званою сигнальною мішенню.

Оскільки передавальні ЕПТ є першим (вхідним) елементом телевізійного тракту, що сприймає зображення яке підлягає передаванню, до передавальних телевізійних трубок пред'являється ряд загальних вимог.

Перш за все, для отримання високоякісного зображення необхідно, щоб відношення корисного сигналу, що несе інформацію

про зображення, до паразитного сигналу (шуму) було достатньо великим. Джерелом шуму є як сама передавальна ЕПТ, так і інші елементи телевізійного тракту. Встановлено, що дефекти зображення, що викликаються шумами, стають непомітними для ока при відношенні сигнал/шум $\varphi \geq 100$. Задовільне зображення ще може бути одержано при $\varphi \approx 10$. Вказані межі відношення сигнал/шум, що забезпечують отримання досить хороших зображень, є умовними і можуть змінюватися залежно від характеру об'єкту зображення якого передається, середньої освітленості фону і інших чинників.

Важливою вимогою, що пред'являється до передавальної ЕПТ, є висока роздільна здатність, що визначає найменші розміри деталей зображень, які можуть бути відтворені. Роздільна здатність передавальної трубки, виражена числом помітних рядків, що укладаються на всьому зображенні, повинна бути не нижче прийнятого телевізійного стандарту (наприклад, в мовному телебаченні 500÷600 рядків).

Якість зображення значною мірою визначається числом помітних ступенів градацій яскравості (півтонів). Добре адаптоване на середню яскравість зображення око може розрізнити до 100 градацій яскравості. Проте контрастна чутливість ока, що визначає число різних градацій яскравості, залежить від середньої яскравості всього зображення. Чим менша середня яскравість, тим нижче контрастна чутливість ока. Тому бажано, щоб передавальна трубка забезпечувала достатньо велике число (не менше 10) різних ступенів градації яскравості саме при низькій і середній яскравості зображення.

Однією з основних характеристик передавальних трубок є залежність величини корисного сигналу від освітленості відповідного елемента фотокатода, що сприймає оптичний потік від об'єкту. Ця залежність називається характеристикою «світло – сигнал» або світловою характеристикою передавальної ЕПТ. Для правильної передачі зображення, тобто для відтворення на екрані кінескопа розподілу яскравості, відповідного розподілу яскравості по поверхні

об'єкту зображення якого передається, передавальна характеристика «світло – сигнал – світло» всього телевізійного тракту повинна бути лінійною.

Вважаючи, що оскільки проміжні ланки телевізійного тракту – підсилювачі відеосигналу від передавальної трубки до кінескопа – мають лінійні характеристики ($\gamma_y = 1$), оптимальною характеристикою «світло – сигнал» передавальної трубки є залежність

$$i_{BC} = k_1 E^{\gamma_{\text{пт}}},$$

де i_{BC} – струм відеосигналу, що створюється передавальною ЕПТ; E – освітленість фотокатода передавальної ЕПТ; $\gamma_{\text{пт}}$ – показник ступеня рівняння, що описує залежність вихідного сигналу (струму) передавальної ЕПТ від освітленості фотокатода.

Вимога лінійності всього телевізійного тракту – від передавальної трубки до кінескопа – приводить до співвідношення

$$\gamma_{\text{пт}} \gamma_y \gamma_k = 1,$$

яке при $\gamma_y = 1$ дає оптимальне значення $\gamma_{\text{пт}} = 0,3 \div 0,4$. Зразковий вид оптимальної характеристики «світло – сигнал» передавальної ЕПТ показаний на рис. 1.54.

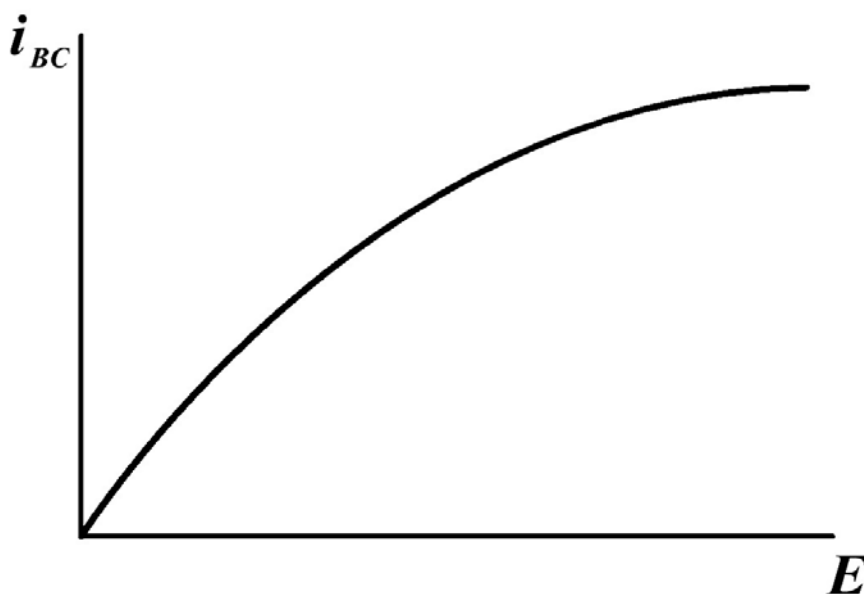


Рисунок 1.54 – Характеристика світло – сигнал передавальної ЕПТ

Вона є оптимальної для можливості передачі великого числа градацій яскравості, оскільки при такій формі кривої в умовах малої освітленості невеликі зміни E викликають більші зміни відеосигналу, ніж при значних величинах освітленості. Реальні передавальні ЕПТ мають світлові характеристики, що істотно відрізняються від оптимальної. Крім того, ці характеристики не однозначні, змінюючись при зміні змісту передаваного зображення (розподілу і розмірів світлих і темних місць, контрасту і т. д.). Тому в телевізійному тракті між передавальною трубкою і кінескопом доводиться вводити елементи γ -корекції, що виправляють невідповідність характеристик передавальної і приймальної трубок оптимальним залежностям.

Передавальна ЕПТ повинна володіти достатньо високою чутливістю. Чутливість трубки оцінюють мінімальною освітленістю фотокатода, при якій ще забезпечується відношення сигнал/шум, відповідне задовільному відтворенню зображення. Чим вища чутливість, тим менше освітленість об'єкту, зображення якого задовільно передається даною трубкою. Вимога високої чутливості особливо важлива в трубках, використовуваних для передачі позастудійних (натурних) об'єктів.

Однією з вимог, що пред'являються до передавальних трубок, є мала інерційність. Залишковий сигнал від раніше переданого кадру зображення не повинен бути помітний при передачі чергового кадру, оскільки інакше при передачі зображень рухомих об'єктів виникнуть сильні спотворення.

Крім того, передавальна ЕПТ повинна задовольняти вимогам рівномірності фону, відсутності паразитних сигналів, а також бажано, щоб передавальна трубка відтворювала рівень чорного, тобто той початковий рівень, від якого проводиться відлік абсолютної величини відеосигналу.

1.8.2 Передавальні ЕПТ миттєвої дії

Однієї з перших передавальних ЕПТ, що одержали практичне застосування, був прилад почергової (миттєвого) дії, так званий диссектор.

Конструкція диссектору показаний на рис. 1.55.

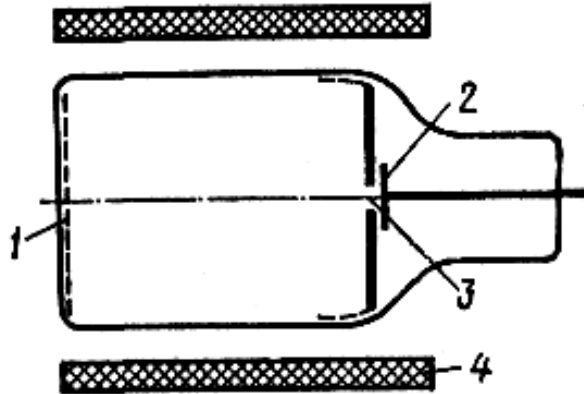


Рисунок 1.55 – Конструкція диссектору

У цьому приладі оптичне зображення проектується на напівпрозорий фотокатод 1, сформований на внутрішній поверхні плоского дна циліндрової колби. Напроти фотокатода розташований металевий екран з діафрагмою 3, діаметр якої рівний по величині одному елементу телевізійного зображення. На екран подається позитивна напруга, внаслідок чого між фотокатодом і екраном створюється достатньо однорідне подовжнє електростатичне поле, яке прискорює фотоелектрони у напрямі екрану. Вся ЕПТ розміщена в подовжньому однорідному магнітному полі. Магнітне поле переносить електронне зображення з фотокатода на екран. За допомогою двох пар відхиляючих котушок 4, які живляться змінними пилкоподібними струмами, з частотою рядкової і кадрової розгортки, електронне зображення в площині екрану переміщується так, що з діафрагмою по черзі поєднуються послідовно рядок за рядком, – всі елементи зображення. Очевидно, у будь-який момент часу крізь отвір проходить фотострум, відповідний освітленості одного елементу зображення. Таким чином, в ланцюзі колектора 2, встановленого за

діафрагмою, формується послідовність імпульсів електричного струму, тобто створюється відеосигнал. Величина відеосигналу, визначувана кількістю електронів, що пройшли крізь діафрагму екрану, буде тим більше, чим більше площа цього отвору. Іншими словами, чутливість диссектора буде тим вище, чим більша площа елемента зображення, тобто чим нижче роздільна здатність. Зв'язок між чутливістю і роздільною здатністю є принциповим недоліком систем почергової дії.

Із-за недостатньої чутливості (за наявності прийнятної роздільної здатності) диссектори не можна використовувати в системах мовного телебачення, навіть для студійних передач. Проте простота конструкції (відсутність прожектора) і експлуатації робить диссектор зручною ЕПТ для установок промислового телебачення з низьким стандартом розкладання і невисокою роздільною здатністю.

Для підвищення чутливості диссектора приймач електронів (колектор) замінюють входним електродом фотоелектронного помножувача. Особливо зручно використовувати в диссекторах каналні помножувачі у вигляді тонкої трубки з напівпровідного скла. Для зменшення габаритів диссектора трубку каналного помножувача згортають в спіраль. Конструкція такого диссектора показаний на рис 1.56.

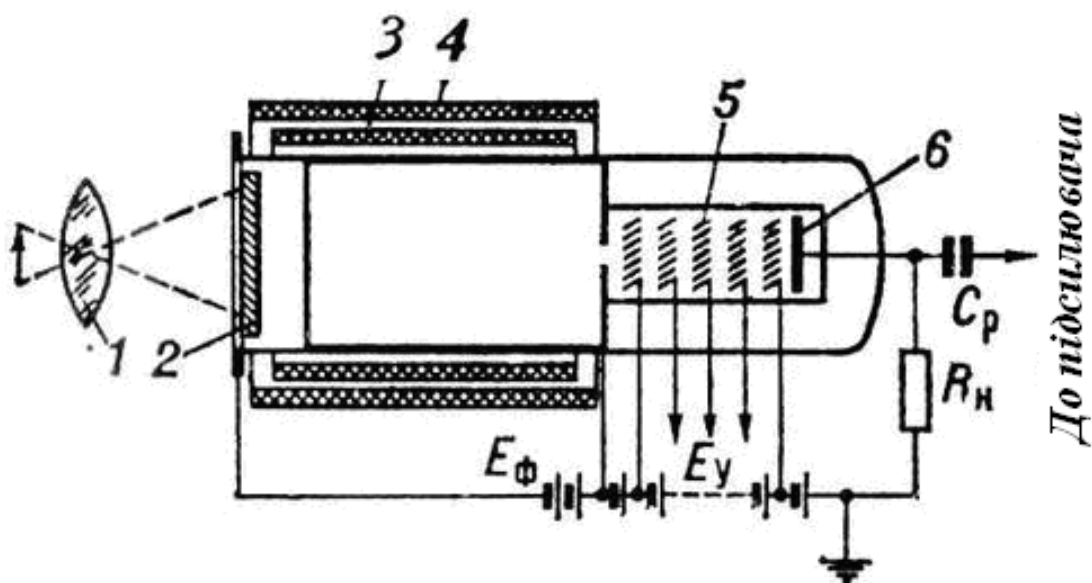


Рисунок 1.56 – Конструкція диссектора з фотоелектронним помножувачем

Цифрами на рис. 1.56 позначені: 1 – об'єктив; 2 – фотокатод; 3 – відхиляюча котушка; 4 – котушка фокусування; 5 – електронний помножувач; 6 – колектор електронного помножувача; E_{ϕ} – джерело постійної напруги, котушки фокусування; E_y – джерело постійної напруги електронного помножувача; R_H – опір навантаження; C_p – розділовий конденсатор по постійному струму.

1.8.3 Передавальні ЕПТ з накопиченням заряду

Мала чутливість систем почергової дії визначається тим, що для формування відеосигналу в кожен момент часу використовується малий фотострум з одного елементу зображення. У системах з накопиченням заряду для формування відеосигналу служить електричний заряд, що утворюється на фоточутливій поверхні за час передачі одного кадру зображення, тобто всіх елементів зображення, що дозволяє істотно підвищити чутливість передавальної системи і поліпшити відношення сигнал/шум. Принцип накопичення заряду в телевізійних передавальних ЕПТ не відрізняється від принципу створення потенційного рельєфу на мішені запам'ятовуючих ЕПТ. У телевізійних трубках з накопиченням заряду оптичне зображення проектується на поверхню фоточутливої мішені. При цьому за рахунок емісії фотоелектронів на цій поверхні створюється потенційний рельєф, який при скануванні (розгортці) його електронним променем перетвориться в послідовність електричних імпульсів. Отже, передавальна ЕПТ з накопиченням заряду є запам'ятовуючою трубкою, для якої характерний запис інформації за рахунок фотоелектронної емісії мішені і зчитування за допомогою розгортки поверхні мішені електронним променем. У трубках з накопиченням заряду електрони, що безперервно випускаються фотокатодом в процесі проектування на нього оптичного зображення, використовуються для заряду елементарних конденсаторів, що утворюються елементами фоточутливої мішені і сигнальної пластини. При розгортці електронним променем заряджені

конденсатори розряджаються, створюючи послідовність електричних імпульсів. Якщо величина накопичених елементарними конденсаторами зарядів пропорційна світловим потокам, падаючим на кожен елемент фотокатода, розрядні струми конденсаторів правильно передаватимуть розподіл освітленості по поверхні фотокатодів.

Оскільки заряд конденсаторів відбувається протягом всього проміжку часу, поки промінь розгортки пробіжить $n-1$ елементів зображення, можна чекати, що сигнал при розряді конденсатора буде в n раз більше сигналу від кожного елемента в системах миттєвої дії.

При відношенні сторін телевізійного зображення 4:3 число елементів зображення $n = 4/3N^2$, де N – число рядків (телевізійний стандарт). Таким чином, ефект накопичення заряду теоретично дозволяє підвищити чутливість передавальної ЕПТ з накопиченням заряду більш ніж в N^2 раз, тобто при розкладанні зображення на 600 рядків – майже в 400000 раз.

Іконоскоп

Першим приладом, в якому використовувався ефект накопичення заряду, була передавальна трубка – іконоскоп (від грец. *eikón* – зображення і *skoréo* – дивлюся, розглядаю). Конструкція іконоскопа схематично показаний на рис. 1.57.

У іконоскопі світловий потік від об'єкту через оптичну систему 1 падає на світлочутливу мішень – слюдяну пластину 2 з мозаїкою 1, яка складається з ізольованих один від одного мініатюрних фотокатодів із зерен срібла, покритих цезієм або оксидом цезію. На іншу сторону слюдяної пластини 1 нанесений металевий шар 3.

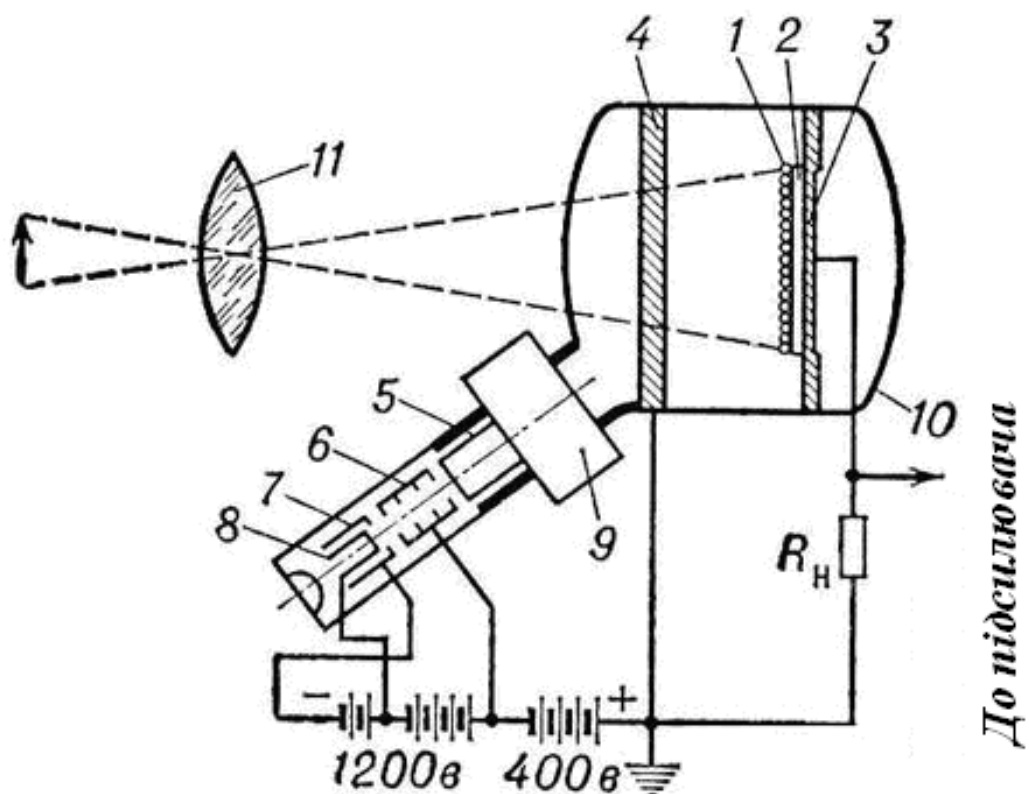


Рисунок 1.57 – Конструкція іконоскопа

За рахунок виникнення фотоemisії на поверхні пластини 2 виникає характерний розподіл електричних зарядів – потенційний рельєф. Емітовані фотоелектрони збираються колектором 4. Кожен фотокатод з металевим шаром утворює конденсатор. Електронний промінь, енергія електронів якого складає біля 1кэВ ($I_{\text{л}} = 1\text{мкА}$), оббігає мозаїку мішені в певній послідовності, яка задається характером телевізійної розгортки. Енергія електронного променя достатня для забезпечення коефіцієнта вторинної emisії мішені $\sigma > 1$, при виконанні цієї умови електронний промінь розряджає кожен конденсатор через резистор $R_{\text{н}}$ (опір навантаження). Імпульси струмів конденсаторів, що розряджаються, формують відеосигнал.

Виграш в чутливості у іконоскопа опинився в 20÷30 раз нижче за розрахунковий за рахунок не насиченості фотострум струму вторинних електронів мішені.

Для нормальної роботи іконоскопа потрібен високий рівень освітленості (не менше 5000 лк). Саме іконоскопи увійшли в основу перших вітчизняних систем мовного телебачення.

У 1933 ученими П.В. Тімофєєвим і П.В. Шмаковим винайдена передавальна ЕПТ з перенесенням електронного зображення з суцільним фотокатодом на діелектричній накопичувальній мішені. Прилад одержав назву суперіконоскопа або "трубки Шмакова–Тімофєєва" (рис. 1.58). Він мав на порядок вищу чутливість і високу якість передачі зображення, у порівнянні з іконоскопом.

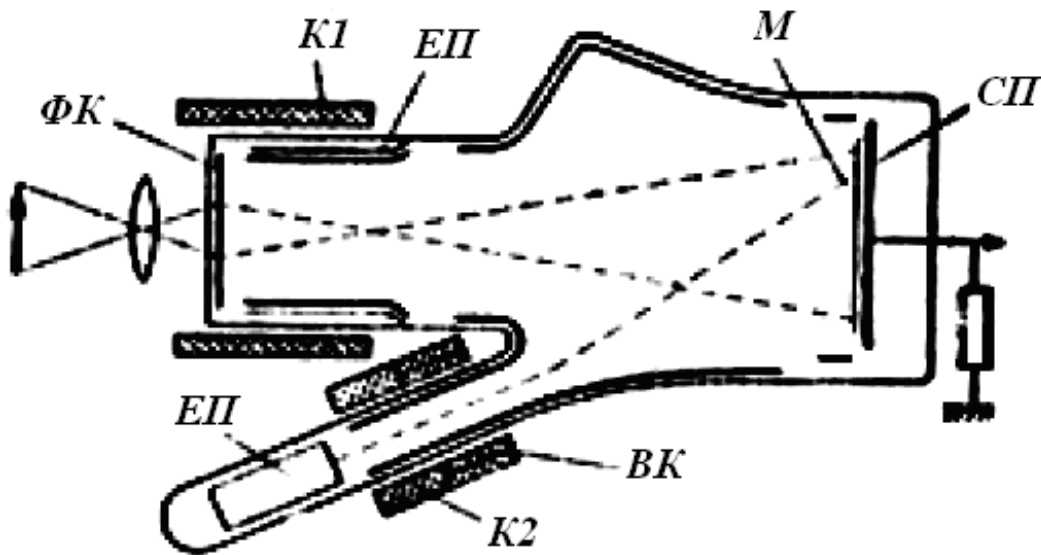


Рисунок 1.58 – Конструкція суперіконоскопа

Оптичне зображення проектується на фотокатод ФК. Число емітованих фотоелектронів, пропорційно освітленості окремих ділянок зображення. Таким чином формується електронне зображення, яке за допомогою магнітної лінзи *К1* проектується на мішень *М*. Мішень є діелектричною пластиною із слюди, поверхня якої покривається матеріалом з високим коефіцієнтом вторинної електронної емісії. На протилежну сторону мішені наноситься металевий шар, який і формує сигнальну пластину. При освітленні фотокатода відбувається процес накопичення заряду за рахунок перенесення електронного зображення з фотокатода. Цей процес підсилюється за рахунок великого значення вторинної електронної емісії.

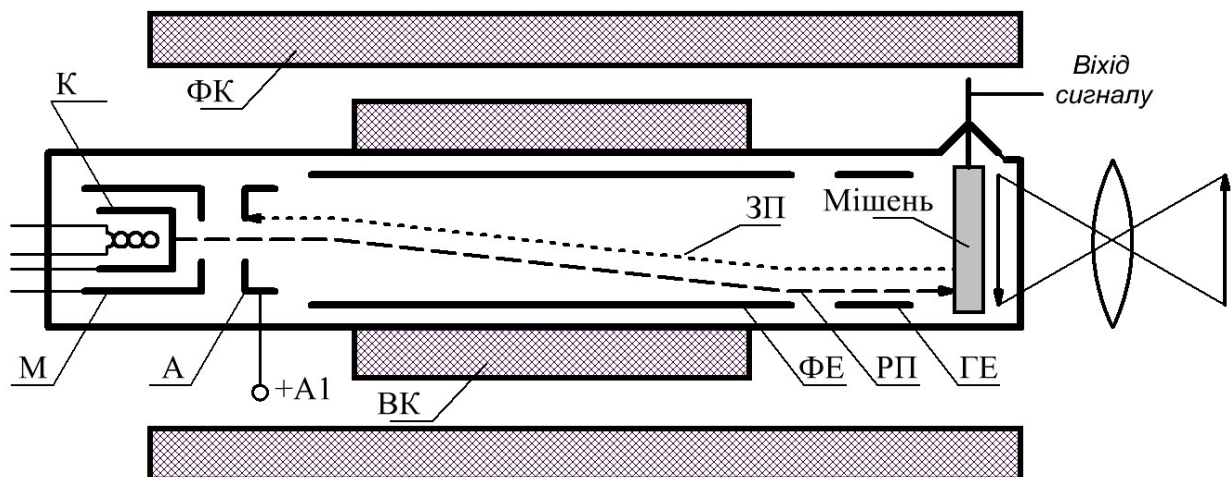
Накопичувані на елементарних ємностях заряди «прочитуються» електронним променем. Електронний промінь

формується електронною гарматою *ЕП*, та системою фокусування, що складається з магнітної лінзи *К2* і відхиляючих котушок *ВК*. Розряд елементарних ємностей супроводжується протіканням струму відеосигналу в ланцюзі сигнальної пластини *СП*. Насичену фотоемісію одержують при застосуванні променя розгортки з електронами, що володіють малими швидкостями, або "повільними електронами". В цьому випадку коефіцієнт вторинної емісії мінімальний.

Першої передавальної ЕПТ з накопиченням заряду і з насиченим струмом фотоелектронної емісії був ортикон.

Ортикон

У 1939 році американські інженери А. Роуз і Х. Ямс запропонували конструкцію передавальної трубки типу ортикон. Ортикон (від грец. *orthos* – прямий, *eikon* – зображення) працює на зовнішньому фотоефекті, і в ньому падіння променя розгортки відбувається перпендикулярно (ортогонально) площині мішені (рис. 1.59).



К – катод, М – модулятор, А – перший анод, ФЕ – електрод фокусування, ГЕ – гальмуючий електрод, ФК – котушка фокусування, ВК – відхиляюча котушка, РП – промінь розгортки, ЗП – зворотний промінь.

Рисунок 1.59 – Конструкція ортикону

Ортикон збирається в циліндровій колбі, яка має з однієї сторони горловину для розміщення електронного прожектора, з іншої – дно з полірованого оптичного скла, через яке проектується на мішень оптичне зображення.

Прожектор ортикону з електростатичним фокусуванням має другий анод у вигляді довгого циліндра або утворюється провідним покриттям внутрішньої поверхні колби. Перед мішенню (з боку прожектора) встановлений гальмуючий електрод – короткий циліндр або кільце провідного покриття з окремим виводом. Потенціал цього електроду ($100 \div 200$ В щодо катода прожектора) забезпечує коефіцієнт вторинної емісії $\sigma < 1$. Всю колбу поміщають в подовжнє однорідне магнітне поле, що додатково фокусує електронний промінь і що забезпечує при розгортці променя по мішені перпендикулярне падіння електронів на її поверхню (що і визначило назву приладу).

При розгортці неосвітленої поверхні мішені пучком повільних електронів її потенціал починає знижуватися, оскільки для енергії первинних електронів $\varepsilon_1 < eU_{\text{крп}}$ коефіцієнт вторинної емісії мішені менше одиниці. Очевидно, рівновага настає після досягнення мішенню потенціалу катода (нуля). При цьому електрони променя перестають доходити до мішені і, відбиваючись від неї, уловлюються провідним покриттям.

При проектуванні на мішень оптичного зображення з поверхні її починають випускатися фотоелектрони. Наявність поля прискорення робить фотоелектронну емісію насиченою, і всі фотоелектрони йдуть на провідне покриття або другий анод прожектора. Завдяки відходу фотоелектронів елементи мішені заряджають позитивно, потенціал мішені підвищується (не рівноважний запис). Оскільки число фотоелектронів пропорційно падаючому на мішень світловому потоку, заряд, що накопичується елементами мішені, відтворюватиме розподіл яскравості зображення. Таким чином, на поверхні мішені створюється потенційний рельєф, причому найбільш світлим місцям зображення відповідатиме найбільший позитивний потенціал.

При розгортці електронним променем освітленої поверхні мішені електрони нейтралізують накопичений позитивний заряд, елементарні конденсатори розряджаються, і в ланцюзі сигнальної пластини створюється відеосигнал, тобто електронний промінь перезаряджає елементи мішені, доводячи їх потенціал до рівноважного значення (перезарядне зчитування).

Очевидно, для доведення потенціалу мішені до рівноважного значення число електронів, що приходять на даний елемент мішені, повинно дорівнювати числу тих фотоелектронів, що пішли з цього елемента. Надмірні електрони пучка не зможуть дійти до мішені і будуть уловлені провідним покриттям.

Оскільки в ортikonі фотоелектронна емісія є насиченою, відсутній ефект перерозподілу зарядів, що згладжує потенційний рельєф на мозаїці і чутливість ортikonу виявляється у декілька разів більше чутливості іконоскопа

Світлова характеристика ортikonу лінійна ($\gamma = 1$).

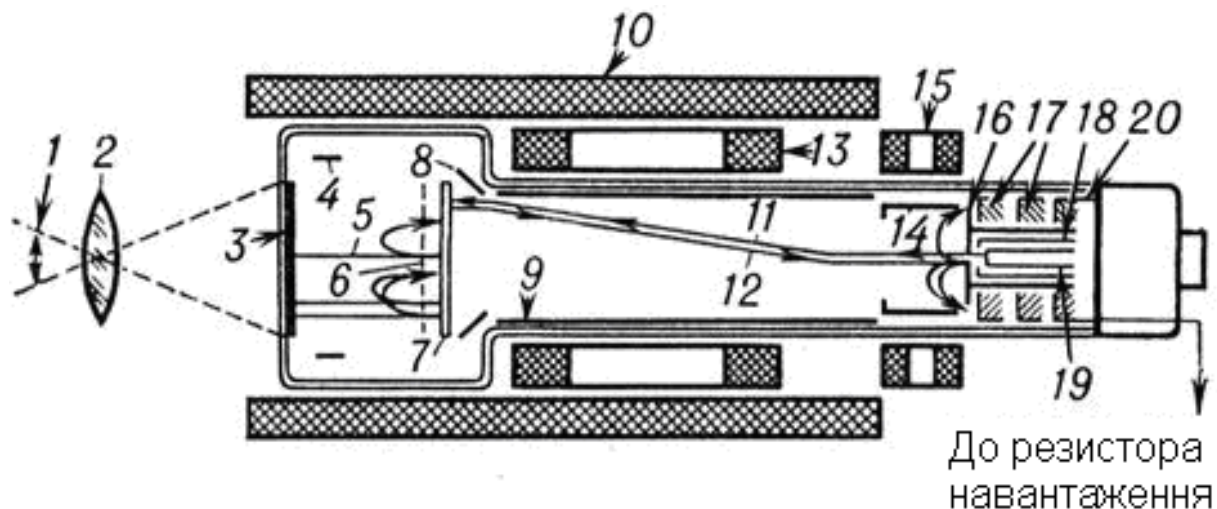
Іконоскоп і ортikon були першими, практично вживаними передавальними трубками з накопиченням заряду. Проте, вони мали певні недоліки, зокрема недостатню чутливість, особливо для телепередач в позастудійних умовах.

Тому були запропоновані більш довершені передавальні трубки: на базі іконоскопа був створений суперіконоскоп, на базі ортikonу – суперортikon. У цих трубках використано електронне підсилення зображення шляхом перенесення його з фотокатода на мішень.

1.8.4 Передавальні ЕПТ з накопиченням заряду та перенесенням зображення

У 1945 році радянський вчений Г.В. Броуде представив конструкцію передавальної ЕПТ з накопиченням заряду, перенесенням зображення з фотокатода на двосторонню мішень, в якому зчитування зображення відбувалося променем з повільними

електронами і подальшим підсиленням відеосигналу вторинно-електронним помножувачем. Ця конструкція одержала назву суперортикон (рис 1.60).



1 – телевізійний об'єкт; 2 – об'єктив; 3 – фотокатод; 4 – електрод прискорення електронів; 5 – потік фотоелектронів; 6 – сітка мішені; 7 – плівка мішені; 8 – електрод, що створює гальмуюче поле; 9 – електрод фокусування; 10 – катушка фокусування; 11 – електронний промінь зчитування; 12 – зворотний промінь; 13 – відхиляюча катушка; 14 – циліндр вторинного електронного помножувача (ВЕП); 15 – катушка корекції; 16 – анод електронного прожектора (перший динод ВЕП); 17 – діоди ВЕП; 18 – управляючий електрод прожектора; 19 – термокатод прожектори; 20 – колектор ВЕП.

Рисунок 1.60 – Конструкція суперортикону

Особливістю суперортикону є наявність двосторонньої мішені, з одного боку якої проводиться запис – накопичення заряду, а з іншою – зчитування. Так само як і в ортikonі, в цій трубці застосовуються нерівноважний запис і перезарядне зчитування.

У суперортikonі використані наступні чинники, що дозволяють значно збільшити чутливість: суцільний високочутливий фотокатод, ефективне уловлювання сіткою вторинних електронів з мішені (при невеликому освітленні), перезарядне зчитування променем повільних електронів ($\sigma < 1$), вторинно-електронне підсилення сигналу. Завдяки перерахованим чинникам чутливість сучасного суперортикону в сотні і тисячі разів вище за чутливість іконоскопа і в деяких випадках може перевищувати чутливість ока.

Всі елементи суперортикону розміщують в довгій циліндровій колбі порівняно невеликого діаметру. З боку мішені колбу роблять ширшою. Ця частина колби закінчується плоским дном з оптичного скла, на внутрішню поверхню якого наносять суцільний напівпрозорий шар – фотокатод (3). Велика частина внутрішньої поверхні вузької частини колби має провідне покриття (аналог аквадагу) з потенціалом анода прожектора. Прожектор суперортикону повинен забезпечувати отримання променя з силою струму $1 \div 2$ мкА при його діаметрі в площині мішені $30 \div 40$ мкм. Прожектор звичайно виконують по тріодній схемі.

Анодна діафрагма прожектора має отвір діаметром 30 – 50 мкм. За діафрагмою промінь 11 формується подовжнім однорідним магнітним полем котушки 10 в промінь з майже паралельними траєкторіями електронів. Таким чином, діаметр променя визначається в основному діаметром анодної діафрагми. Зовнішня поверхня анодної діафрагми є першим емітером вторинно–електронного помножувача.

Для відхилення променя служать дві пари довгих котушок 13, що створюють приблизно однорідні поперечні поля. Крім того, у області анода прожектора зовні трубки встановлюють котушки корекції (підстроювання) 15, що створюють короткі поперечні магнітні поля. Зміною струму цих котушок можна в невеликих межах відхиляти промінь для підбору якнайкращого режиму проходження електронів крізь анодну діафрагму, а також впливати на електрони, що повертаються від мішені, для забезпечення якнайповнішого уловлювання їх першим емітером помножувача 16 – анодною діафрагмою прожектора.

Двосторонньою мішенню 7 є тонкої $4 \div 5$ мкм пластини, виконаної із спеціального скла з підвищеною електропровідністю. Завдяки дуже малій товщині мішені її поперечний опір виявляється невеликим і потенційний рельєф, що формується на одній стороні мішені, переходить за рахунок поперечної провідності на іншу її сторону. В той же час поверхневий (продовжний) опір мішені є

достатньо великим і помітного «розтікання» заряду по поверхні мішені за час передачі кадру не відбувається. Таким чином, потенційний рельєф, створений при записі на стороні мішені, зверненої до фотокатода, переходить на іншу її сторону (звернену до прожектора). При цьому поперечна провідність мішені забезпечує повну відповідність розподілу потенціалу на обох сторонах мішені, а великий подовжній опір перешкоджає швидкому згладжуванню потенційного рельєфу.

Для відбору вторинних електронів з мішені з боку запису (секція перенесення зображення) в безпосередній близькості до поверхні мішені встановлюють дрібноструктурну сітку 6. Поверхня мішені і розташована поблизу неї сітка утворюють конденсатор, що накопичує електричний заряд при записі.

Зображення з фотокатода переноситься на мішень подовжнім магнітним полем. Це поле є продовженням поля фокусування, що формує електронний промінь зчитування з другого боку мішені. Для отримання високої чутливості всі електрони, емітовані фотокатодом, повинні досягти мішені, тобто фотоелектронна емісія повинна бути насиченою. Для отримання насиченого фотоструму використовують електростатичне поле що прискорює електрони, яке утворюється сіткою і циліндром мішені, по відношенню до яких фотокатод має негативний потенціал ($-200 \div 500$ В).

При розгортці променем 11 повільних електронів неосвітлена поверхня мішені поступово заряджає електронами, що приходять ($\sigma < 1$), набуваючи рівноважного потенціалу, приблизно рівного потенціалу катода прожектора (нулю). При проектуванні оптичного зображення на фотокатод електронне зображення, що виникає за рахунок фотоелектронної емісії 5, переноситься магнітним полем на мішень. Фотоелектронна емісія є насиченою – всі електрони, емітовані катодом, доходять до мішені. Енергія електронів при напрузі прискорення $300 \div 400$ В виявляється достатньою для виконання умови $\sigma > 1$. Таким чином, в секції перенесення відбувається підсилення зображення в декілька разів. Унаслідок

відходу вторинних електронів на поверхні мішені створюється позитивний потенційний рельєф. Оскільки проектування оптичного зображення на мішень відбувається безперервно, потенційний рельєф формується протягом передачі одного кадру, тобто ефект накопичення заряду використовується повною мірою. Завдяки поперечній провідності мішені потенціал іншої її сторони (зверненої до прожектора) також змінюється, отже, має місце нерівноважний запис.

При розгортці променем 11 повільних електронів ($\sigma < 1$) потенціал поверхні мішені знижується за рахунок компенсації позитивного заряду електронами променя розгортки. Оскільки промінь зчитування змінює заряд, накопичений на мішені, зчитування в суперортроні є перезарядним.

При затемненому фотокатоді, тобто у відсутність зображення, потенційний рельєф на мішені не створюється. При розгортці неосвітленої поверхні мішені променем повільних електронів потенціал її прагне до рівноважного значення, рівного потенціалу катода прожектора (нулю). При цьому електрони променя зчитування відбиватимуться від поверхні мішені, і повертатися до прожектора. Подовжнє магнітне поле повертає відбиті електрони 12 на анодну діафрагму прожектора 16, що є першим емітером електронного помножувача. Електростатичне поле другого емітера направляє вторинні електрони з діафрагми прожектора на другий емітер. У формуванні цього поля бере участь також циліндр помножувача. З другого емітера електрони прямують на третій емітер і т. д., з останнього емітера – на колектор (анод) помножувача. Коефіцієнт підсилення помножувача може досягати декількох тисяч.

За наявності на мішені потенційного рельєфу, відповідного розподілу освітленості по поверхні фотокатода, частина електронів пучка зчитування витрачається на компенсацію позитивного заряду, накопиченого на мішені. Внаслідок цього струм електронів, що повертаються з мішені, стає меншим. Очевидно, чим більший

накопичений на даному елементі мішені позитивний заряд, тим менший струм, що йде з цього елемента на вхід помножувача.

Таким чином, неосвітленим елементам мішені відповідає максимальний вихідний струм, найбільш яскраво освітленим елементам – мінімальний струм. Отже, полярність відеосигналу суперортикону інверсна в порівнянні з полярністю відеосигналів раніше розглянутих трубок.

Для ідеального суперортикону величина відеосигналу повинна бути пропорційна світловому потоку, падаючому на фотокатод. Інакше кажучи, характеристика світло – сигнал повинна бути лінійною у всьому можливому діапазоні зміни яскравості зображення.

Проте ідеальні умови можуть існувати лише при малому освітленості. Тільки перша умова – насиченість струму фотокатода – приблизно виконується навіть при порівняно великому освітленні унаслідок значної різниці потенціалів між фотокатодом і сіткою мішені. В той же час напруженість поля між поверхнею мішені і сіткою дуже мала і при накопиченні на поверхні мішені позитивного заряду поле може змінити напрям, тобто струм вторинних електронів не насичений. Точно також при великих величинах накопиченого заряду промінь зчитування може «не встигнути» повністю перезарядити елементи мішені. Ці чинники призводять до того, що із зростанням освітленості фотокатода пропорційність між освітленістю і величиною відеосигналу порушується, збільшення амплітуди вихідного сигналу відстає від зростання освітленості – характеристика світло – сигнал стає нелінійною.

Зразковий вид реальної світлової характеристики суперортикону показаний на рис. 1.61.

Як видно, характеристика сигнал світла близька до лінійної тільки при дуже малому освітленості фотокатода. Із зростанням освітленості крутизна характеристики падає.

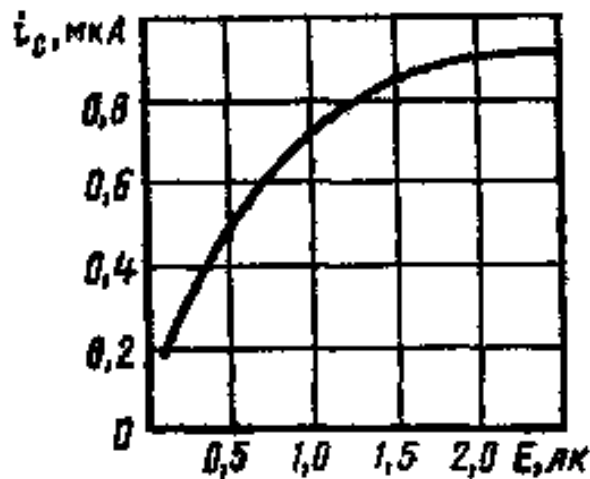


Рисунок 1.61 – Характеристика світло – сигнал суперортикону

Таким чином, реальна характеристика світло – сигнал суперортикону близька до оптимальної. При малій освітленості завдяки великій крутизні можлива передача достатньої кількості градацій яскравості. При великій освітленості світлова характеристика йде полого і можна припустити, що подальше збільшення освітленості (у нелінійній області світлової характеристики) зробить неможливим формування відеосигналу.

Проте досвід експлуатації суперортикону показав, що і при освітленості фотокатода, істотно великих відповідним нелінійній області світлової характеристики, ця ЕПТ цілком задовільно відтворює градації яскравості. Більш того, при роботі за нелінійною областю світлової характеристики відношення сигнал/шум навіть зростає, якість зображення поліпшується.

Не дивлячись на ряд переваг, що забезпечують суперортикону широке застосування, він має деякі недоліки, до яких в першу чергу слід віднести збільшення відносного рівня шуму при малій освітленості об'єкту передачі.

Великий відносний рівень шуму при малій освітленості пояснюється тим, що в суперортиконі темним місцям зображення відповідає найбільший струм електронів, що повертаються до прожектора. Із збільшенням струму електронів, що повертаються до помножувача, збільшується і шум. В той же час корисний сигнал при слабо освітленому фотокатоді виявляється дуже невеликим, оскільки

глибина потенційного рельєфу на мішені при цьому мала. Таким чином, із зменшенням корисного сигналу шум зростає, тобто відношення сигнал/шум зменшується.

Відікон

Висока чутливість суперортикону досягається за рахунок підсилення сигналу фотокатода в секції перенесення і вторинно–електронного підсилення вихідного сигналу. Проте чутливість фотокатода, що перетворює оптичний сигнал в електричний залишається невеликою. В той же час для перетворення світлової енергії в електричну широко застосовуються твердотільні перетворювачі – фоторезистори і фотодіоди, дія яких заснована на внутрішньому фотоефекті, і що мають чутливість, в сотні разів більшу в порівнянні з чутливістю фотоелементів із зовнішнім фотоефектом.

Ще в 1925 році радянським фізиком А.А. Чернишевим було висловлена ідея створення приладу типу "світ – сигнал" з накопиченням заряду, дія якого заснована на внутрішньому фотоефекті.

Проте створення передавальних ЕПТ з використанням фотоелементів з внутрішнім фотоефектом як перетворювач оптичного зображення в електричний сигнал стало можливим лише після того, як були розроблені і освоєні у виробництві напівпровідникові фотоелементи з малою інерцією.

Передавальна ЕПТ з напівпровідниковою фотопровідною мішенню називається **відіконом**. У відіконах використовується накопичення заряду і перезарядне зчитування. Конструкція відікона схематично показаний на рис. 1.62.

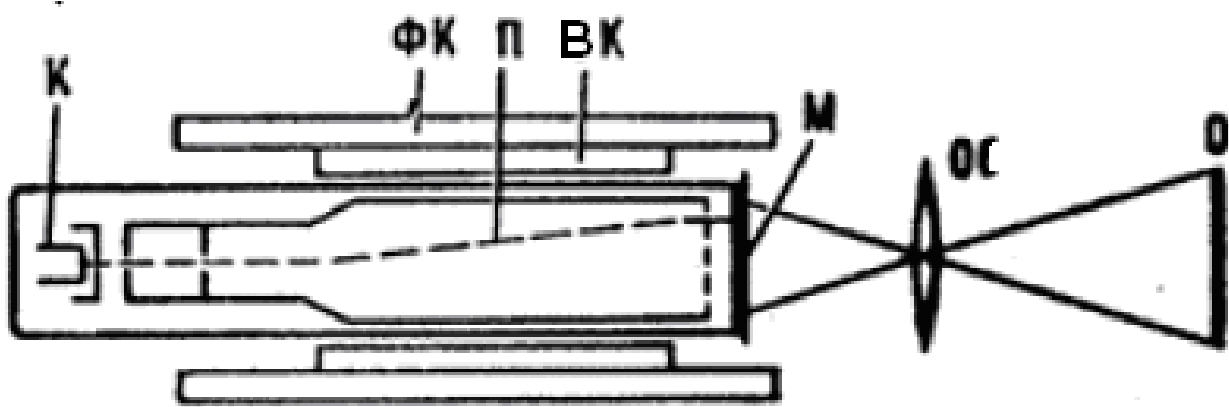


Рисунок 1.62 – Конструкція від ікону

У циліндровій скляній трубці поміщається електронний прожектор, який створює промінь **П** діаметром $20 \div 30$ мкм при струмі $< 1 \text{ мкА}$. У багатьох типах відіконів для додаткового фокусування електронного пучка служить подовжнє однорідне магнітне поле, яке створюється довгою котушкою **ФК**, надітою на трубку. Наявність подовжнього магнітного поля сприяє також перпендикулярному падінню променя на мішень (як в ортikonі). Відхилення променя здійснюється двома парами відхиляючих котушок **ВК**. Існують також відікони з чисто електростатичним фокусуванням променя і електростатичними відхиляючими пластинами.

Протилежне прожектору дно колби виготовляють з плоского полірованого скла; па цьому дні утворюється прозора сигнальна пластина, і фотопровідна мішень **М**. На сигнальну пластину методом вакуумного запилення наносять фотопровідний шар, який створює мішень відікона. Матеріалом мішені служать тонкі шари напівпровідникових матеріалів: аморфний селен, трисірчиста сурма, окисел свинцю з добавкою сірчистого свинцю, а також германій і кремній. В якості сигнальної пластини служить або нанесений на скло шар окислу олова, або тонкий прозорий шар металу – золота або платини.

Вибір матеріалу мішені значною мірою обумовлений необхідністю мати певну спектральну характеристику, достатньо високу фоточутливість і малу інерційність. Фотопровідний шар

повинен володіти достатньо високим темновим питомим опором ($10^{11} \div 10^{12}$ Ом•см), оскільки інакше можливо згладжування потенційного рельєфу (зрівнювання потенціалів сусідніх елементів) і зменшення роздільної здатності передавальної ЕПТ. Перед мішенню з боку прожектора встановлюють дрібноструктурну сітку, яка вирівнює електростатичне поле. Ця сітка виконує також функцію колектора вторинних електронів, вибитих з мішені.

Відікон може працювати в наступних режимах:

- розгортки поверхні мішені променем повільних електронів;
- розгортки поверхні мішені променем швидких електронів.

При розгортці поверхні мішені променем повільних електронів потенціал сигнальної пластини на десятки вольт перевищує потенціал катода прожектора. У відсутність комутуючого променя (при закритому прожекторі) за рахунок провідності фотопровідного шару поверхня мішені набуває потенціалу сигнальної пластини. При розгортці неосвітленої поверхні мішені променем повільних електронів ($\sigma < 1$) потенціал її прагне до рівноважного значення, приблизно рівного потенціалу катода прожектора. У проміжку між комутаціями потенціал елементів мішені лише злегка підвищується, оскільки темновий опір фотопровідного шару R дуже великий. Таким чином, електронний промінь, доводячи потенціал поверхні мішені до рівноважного значення, заряджає елементарні конденсатори – між сигнальною пластиною СП і поверхнею мішені створюється різниця потенціалів (рис 1.63).

При проектуванні крізь сигнальну пластину оптичного зображення опір мішені зменшуватиметься згідно розподілу освітленості, причому, чим яскравіше освітлений елемент мішені, тим менше буде поперечний опір фотошару в цій крапці. Тому в проміжку між комутаціями потенціал світлих елементів мішені підвищиться значно більше, чим потенціал темних елементів.

потенційний рельєф, що перетворюється при комутації елементів променем у відеосигнал в ланцюзі сигнальної пластини.

Оскільки світлова характеристика фоторезисторів нелінійна (чутливість зменшується із зростанням освітленості), характеристика світло – сигнал відікона близька до оптимальної. По чутливості відікони наближаються до суперортіконів. Відікони завдяки простоті конструкції і достатньо високим параметрам широко використовують в промислових телевізійних і пересувних установках. Недоліками «простих» відіконів є помітна інерційність і температурна залежність параметрів.

Значне удосконалення відікона стало можливим за рахунок заміни фоторезисторної мішені на фотодіодну, тобто на напівпровідникову мішень, що має закриваючий шар (електронно–дірковий перехід).

Першою передавальною трубкою з мішенню, що має закриваючий шар, яка одержала практичне застосування, був плюмбікон (названий за матеріалом мішені – PbO, PbS). Конструкція плюмбікона аналогічно відікону, відмінність полягає лише в особливостях мішені. Мішень створюється на плоскому дні колби, протилежному прожектору. Провідною підкладкою мішені (сигнальною пластиною) є прозорий шар окислу олова, нанесений на внутрішню поверхню дна колби.

На провідну підкладку наносять шар напівпровідника (окисел свинцю, сірчистий свинець), що має $p-i-n$ -структуру, причому n -слой прилягає до підкладки, а p -слой розташовується з боку прожектора. Товщина шару напівпровідника дорівнює $10 \div 20$ мкм. До провідної підкладки мішені підводять невелику ($20 \div 30$ В) позитивну (щодо катода прожектора) напругу. Розгортка здійснюється добре сфокусованим променем повільних (енергія $300 \div 500$ еВ) електронів з енергією $300 \div 500$ еВ.

При розгортці неосвітленої поверхні мішені електронним променем потенціал її (з боку прожектора) доводиться до рівноважного значення, рівного потенціалу катода прожектора (нулю,

$\sigma < 1$); при цьому заряджає бар'єрна ємність мішені. При проектуванні на мішень оптичного зображення (крізь прозору підкладку SnO_2) у шарі напівпровідника генеруються пари дірка–електрон, причому існуюче в шарі електричне поле за рахунок викривлення енергетичних зон в і–області практично миттєво розносить різнойменні носії заряду, що утворилися, в різні боки. Це забезпечує насиченість фотоструму і, отже, високу чутливість. Носії заряду, що генеруються при освітленні, дифундують до поверхневих шарів, розряджають елементарні конденсатори, причому розряд відбувається за час передачі кадру, тобто є ефект накопичення заряду.

При комутації електронним променем освітлених елементів мішені потенціал їх знову доводиться до рівноважного значення, але зарядний струм елемента мішені буде тим більше, чим «повніше» розрядився елементарний конденсатор, тобто чим яскравіше був освітлений даний елемент. Отже, зарядний струм змінюватиметься відповідно до розподілу освітленості мішені і за рахунок цього буде сформований відеосигнал. Таким чином, принцип перетворення оптичного зображення у відеосигнал в плюмбіконах аналогічний використаному у відіконах.

Важливою особливістю плюмбікона є незалежність виду характеристики «світло – сигнал» від змісту зображення – світлова характеристика лінійна в широкому діапазоні зміни (більше трьох порядків) освітленості, спектральна характеристика близька до кривої чутливості ока. По чутливості плюмбікон наближається до суперортикону, але він має значно менший рівень шуму, особливо при невеликій освітленості. Темновий струм плюмбікона дуже малий ($\sim 10^{-9}$ А), інерційність плюмбікона менша, ніж у середніх відіконів (залишковий сигнал в другому кадрі менше 10%). Крім того, плюмбікон в порівнянні з суперортиконом є значно простішою трубкою, як по конструкції, так і в експлуатації.

Переваги плюмбікона забезпечили широке розповсюдження цього приладу, особливо для передачі кольорового зображення.

Пізніше з'явився різновид відіконів, відмітною особливістю яких був склад мішені. Саме склад мішені багато в чому визначав характеристики відікона.

Кадмікон – відікон, мішень якого виготовлена на основі селеніду кадмію (CdSe). Мішень кадмікона чутлива в широкій області спектру, який охоплює весь видимий діапазон, а також УФ діапазон і рентгенівську область. Максимум чутливості кадмікона розташований 710 нм. За ним (у бік великих довжин хвиль) слідує крутий спад. Переваги кадмікона: висока спектральна чутливість в широкому діапазоні довжин хвиль, рівномірність сигналу по полю, малі інерційність і темнові струми (~ 1 нА), лінійна світлова характеристика (залежність струму сигналу від інтенсивності падаючого випромінювання). Основний недолік – вузький динамічний діапазон робочої освітленості. Передавальні телевізійні камери на основі кадмікона, оснащені пристроями для регулювання світлового потоку, застосовуються головним чином в промисловому телебаченні.

Сатикон – відікон з аморфною мішенню на основі Se-As-Te (по перших буквах сатикон). Основним матеріалом є селен (Se). Сурму (As) додають для зменшення вірогідності переходу селену (Se) в кристалічний стан. Телур (Te) вводиться для підвищення чутливості сатикону в червоній області спектру оптичного випромінювання. Концентрація телуру (Te) неоднорідна по товщині мішені, тому SeTe утворюють окремий прошарок. Поверх основного шару з селену (Se) наноситься шар з трьохсірчистої сурми. В результаті блокування струму на межах структурних елементів мішень має слабо виражені фотодіодні властивості: близьку до лінійної світлову характеристику (залежність фотоструму від інтенсивності падаючого випромінювання), малу інерційність фотоефекту і малі темнові струми. Максимум чутливості сатикону доводиться на синю область спектру оптичного випромінювання. Завдяки малій інерційності і щодо високої чутливості до синього світла сатикон широко використовуються в кольоровому телебаченні. При цьому, оскільки

товщина мішені сатикону складає близько 5 мкм, в телевізійних камерах може бути досягнута більш висока роздільна здатність (в порівнянні з плюмбіконом).

Ньювікон – відікон з мішенню на основі з'єднання ZnS-Cd-Te . В порівнянні з кадміконом, ньювікон має меншу чутливість в синій області спектру, володіє вищою чутливістю в ближній ІЧ-області спектру. Ньювікон широко застосовують в установках промислового телебачення і в телевізійних камерах кольорового телебачення.

Кремнікон – прилади на основі мозаїки *p-n-переходів* в кремнії. У **суперкремніконе** використовуються високо-енергетичні електрони, які прискорюються напругою до 10 кВ.

Секон – передавальний електронно-променевий прилад (різновид ві-дікона) з мішенню, дія якої заснована на явищі вторинно-електронної провідності. Прискорювані електрони проникають крізь сигнальну пластину в мішень і на своєму шляху створюють в діелектрику вторинні електрони, які в свою чергу створюють на мішені позитивний рельєф. Секони відрізняються високою чутливістю.

Питання для самоконтролю і підготовки до тестування

1. Сформулюйте визначення електронно-променевого приладу
2. Сформулюйте, на які основні класи розподіляються ЕПП за призначенням
3. Які основні компоненти входять до складу ЕПП?
4. Яким чином і за допомогою якого електроду змінюється інтенсивність електронного променя в ЕПП?
5. Поясніть принцип фокусування електронного променя в ЕПТ за допомогою електростатичного поля
6. Поясніть принцип фокусування електронного променя в ЕПТ за допомогою магнітного поля
7. Сформулюйте поняття електронно-променевої гармати і перерахуйте її основні компоненти

8. Перерахуйте основні параметри електронно-променевої гармати
9. Навіщо до складу електронно-променевого приладу входить відхиляюча система?
10. Які принципи дії покладені в основу принципу дії відхиляючих систем?
11. Перерахуйте основні параметри відхиляючих систем.
12. Як залежить чутливість електростатичної відхиляючої системи від її геометричних розмірів і відстані до екрану?
13. Перерахуйте переваги та недоліки електростатичної та електромагнітної відхиляючих систем.
14. Яке призначення осцилографічних електронно-променевих приладів?
15. Які відхиляючі системи (за принципом дії) використовують в осцилографічних електронно-променевих приладах і чому?
16. Поясніть, з якою метою на екран яких електронно-променевих приладів наносять люмінофор?
17. Перерахуйте основні типи і характеристики люмінофорів
18. За рахунок чого біля екрану ЕПТ з'являється поле просторового заряду?
19. На які параметри ЕПТ впливає дія поля просторового заряду біля екрану ЕПП (приймального)?
20. Який електрод знешкоджує дію поля просторового заряду біля екрану ЕПП і де він знаходиться?
21. Поясніть принцип дії осцилографічних ЕПТ з післяприскоренням електронів та їх переваги і недоліки.
22. Перерахуйте основні характеристики і параметри осцилографічних ЕПП
23. До якої групи ЕПП (за функцією перетворення) відносяться кінескопи?

24. Яким чином формується випромінювання білого кольору екрану монохромного кінескопу?
25. Чому для відхилення електронного променя в кінескопі використовують електромагнітну відхиляючу систему.
26. З якою метою до складу електронної гармати ЕППІ входить іонна пастка?
27. Пояснить принцип дії іонної пастки.
28. Сформулюйте поняття розгортки зображення та телевізійного растру.
29. Перерахуйте основні параметри телевізійного сигналу та телевізійного зображення.
30. На який електрод кінескопу подається телевізійний сигнал для створення зображення на екрані?
31. Зміною напруги на якому електроді кінескопу регулюється яскравість зображення?
32. Яким чином змінюється контрастність зображення на екрані кінескопу?
33. Від яких чинників залежить контрастність зображення на екрані кінескопа?
34. Яким чином в кінескопах досягається більш висока контрастність зображення?
35. Яким чином забезпечується вибухобезпечність кінескопу?
36. Який метод використовується для синтезу кольорів у кольоровому кінескопі?
37. Яка кількість електронних гармат використовується у кольоровому кінескопі і чому?
38. Як можуть бути розташовані електронні гармати у кольоровому кінескопі?
39. В якому вигляді виконуються RGB – тріади у кольоровому кінескопі?

40. Яку функцію виконує кольороподільна маска у кольоровому кінескопі?
41. Який вигляд має кольороподільна маска у кольоровому кінескопі з дельта-видним розташуванням електронних гармат?
42. Який вигляд має кольороподільна маска у кольоровому кінескопі з планарним розташуванням електронних гармат?
43. Поясніть принцип дії і призначення системи зведення промінів кольорових кінескопів.
44. Перерахуйте переваги кольорових кінескопів з планарним розташуванням електронних гармат.
45. Як залежить роздільна здатність кольорового кінескопу від розмірів RGB – тріад?
46. Яким чином за призначенням діляться спеціальні ЕПТ?
47. За якими ознаками розподіляються знакодруючі ЕПТ?
48. Поясніть принцип дії і конструкцію характрона і тайпотрона?
49. За якими ознаками розподіляються запам'ятовуючі ЕПТ?
50. Поясніть принцип дії і конструкцію потенціалоскопу і області його використання.
51. Поясніть принцип дії і конструкцію графекону і області його використання.
52. За рахунок чого в графеконі можлива многократне зчитування записаної раніше інформації?
53. Поясніть принцип дії і конструкцію запам'ятовуючої ЕПТ з видимим зображенням.
54. Яку функцію виконують передавальні ЕПТ?
55. Яке явище положено в основу дії передавальних ЕПТ?
56. Як за принципами дії розподіляються передавальні ЕПТ?
57. З яких причин диссектор відноситься до категорії передавальних ЕПТ миттєвої дії?

58. Пояснить принцип дії і конструкцію дісектора. Перерахуйте його переваги та недоліки?
59. З якою метою до складу дісектора входить фотоелектронний помножувач?
60. Пояснить основний принцип дії ЕПТ з накопиченням заряду?
61. Пояснить конструкцію та принцип дії іконоскопу.
62. Що представляє собою світлочутлива мішень іконоскопу?
63. Які недоліки має іконоскоп і в яких галузях він використовується?
64. Пояснить конструкцію та принцип дії суперіконоскопу.
65. Чому суперіконоскоп відноситься до передавальних ЕПТ з перенесенням заряду?
66. Пояснить конструкцію та принцип дії ортikonу.
67. Пояснить конструкцію та принцип дії суперортikonу.
68. Вкажить переваги суперортikonу над ортikonом і в яких галузях він використовується.

Додаток 1

Умовно – графічні позначення (УГП) ЕПП

Таблиця 1

Тип приладу	УГП
Електронно–променева трубка з електростатичним фокусуванням і електростатичним відхиленням променя (двоанодна)	
Електронно–променева трубка з електростатичним фокусуванням і електростатичним відхиленням променя (трианодна)	
Електронно–променева трубка з електростатичним фокусуванням і електростатичним відхиленням променя (п'ятианодна) та прискоренням	
Електронно–променева трубка (двопроменева) з електростатичним фокусуванням і електростатичним відхиленням променя	
Електронно–променева трубка з електростатичним фокусуванням і електромагнітним відхиленням променя (кінескоп)	
Електронно–променева трубка з електростатичним фокусуванням і електромагнітним радіальним відхиленням променя (індикатор кругового огляду)	
Скіатрон із зовнішнім знебарвленням екрану	
Скіатрон із зовнішнім знебарвленням екрану за допомогою пропускання струму	

Скіатрон із внутрішнім знебарвленням екрану	
Іконоскоп	
Суперіконоскоп	
Суперортикон	
Відікон з двома анодами	
Трубка запам'ятовуюча з бар'єрною сіткою	
Трубка запам'ятовуюча з видимим зображенням	
Потенціалоскоп	

Рекомендована література

1. Шерстнев Л.Г., Электронная оптика и электроннолучевые приборы, М., 1971
2. Жигарев А.А., Электронная оптика и электроннолучевые приборы, М., 1972
3. Жигарев А.А., Шамаева Г.Г. Электронно-лучевые и фотоэлектронные приборы М., Высш. шк., 1982 463с.
4. Денбновецкий С.В., Семенов Г.Ф., Запоминающие электроннолучевые трубки в устройствах обработки информации, М., 1973.
5. Алямовский И.В., Электронные пучки и электронные пушки, М., 1966
6. Миллер В. А., Куракин Л. А., Приёмные электроннолучевые трубки, 2 изд., М., 1971
7. Телевидение под ред. П. В. Шмакова. 3 изд., М., 1970
8. Кноль М., Кэйзан Б., Электроннолучевые трубки с накоплением зарядов, пер. с англ., М. – Л., 1955
9. Зайдель И. Н., Куренков Г. И., Электронно-оптические преобразователи, М., 1970
10. Арцимович Л. А., Лукьянов С. Ю., Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях, М., 1972
11. Бонштедт Б. Э., Маркович М. Г., Фокусировка и отклонение пучков в электроннолучевых приборах, М., 1967
12. Страшкевич А. М., Электронная оптика электростатических систем, М. – Л., 1966
13. Техника цветного телевидения. Под ред. Новаковского С. В. – М.: Связь, 1976 – 494 с.
14. Ф. П. Пресс. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью. – М.: Радио и связь, 1991 – 262 с.
15. Гершберг А. Е. Передающие телевизионные трубки с внутренним фотоэффектом. – Л.: Энергия, 1973 – 256 с.

16. Миллер В. А., Куракин Л. А. Приемные электронно-лучевые трубки. – М.: Энергия, 1971 – 360 с.
17. В. Ф. Самойлов. Качественные показатели телевизионного изображения. М.: Энергоиздат, 1963 – 55 с.
18. Пароль Н. В. Кинескопы: Справочное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1984. – 64 с.
- 19., В. С. Григорьев и Б. С. Григорьев, Электронные и ионные приборы, Связьиздат, 1954.
20. Булычев А.Л., Лямин П.М., Тулинов Е.С.. Электронные приборы: Учебник. – Мн.: Высш. шк., 1999.
21. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника. – М.: Высш. шк., 1991
22. Жеребцов Н.П. Основы электроники. – М. : Энергоатомиздат, 1989
23. Л.Н.Бочаров “Электронные приборы”. «Энергия» 1979г
24. Москатов Е. А., Электронная техника, Таганрог, 2004.
25. Шибаетов Н. А. Электровакуумные и полупроводниковые приборы. - М., Воениздат, 1967г.
26. Гурлев Д.С. Справочник по ионным приборам. - Киев, Издательство "Техніка", 1970.
27. Гуртовник А.Г. и др. Электровакуумные приборы и основы их конструирования: Учебник для техникумов / А.Г. Гуртовник, Е.Г.Точинский, Ф.М.Яблонский. - М.:Энергоатомиздат, 1988.
28. Щука А. А. Электроника. Учебное пособие / Под ред. проф. А. С. Сигова. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 800 с
29. Гершунский Б.С. Основы электроники. Киев, Издательское объединение «Вища школа», 1977, 344 с.
30. Федосеева Е. О., Федосеева Г. П. Основы электроники и микроэлектроники: Учебник. – М.: Искусство, 1990.– 240 с.

ВАКУУМНА ТА ПЛАЗМОВА ЕЛЕКТРОНІКА

ЧАСТИНА II

ЕЛЕКТРОННО–ПРОМЕНЕВІ ПРИЛАДИ

Навчально–методичний посібник

*для студентів спеціальності 6.090804
“Фізична та біомедична електроніка”*

*Швець Євген Якович, к.т.н., професор
Юдачов Андрій Валерійович, ст. викладач
Турба Микола Миколайович, к.ф.м.н., професор*

Підписано до друку 27. 02. 2009р. Формат 60x84 1/32.

Папір офсетний.

Умовн.7,0 Наклад 35 прим.

Замовлення №

Віддруковано друкарнею

Запорізької державної інженерної академії

3 комп’ютерного оригінал–макету

69006, м. Запоріжжя, пр. Леніна, 226

РВВ ЗДІА, тел. 223 8 240