МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

В. В. Палагін
А. В. Гончаров

ОСНОВИ ТЕЛЕБАЧЕННЯ

ПОСІБНИК
для студентів напряму підготовки
6.050901 "Радіотехніка"

За редакцією д.т.н., професора Ю.Г. Леги

Черкаси 2010

УДК 621.397 (07)
ББК 76.032
П 14

Рекомендовано до друку
Вченою радою Черкаського державного технологічного університету,
протокол № 3 від 23.11.2009 р.

Автори-укладачі:

Палагін Володимир Васильович, *к.т.н., доцент;*
Гончаров Артем Володимирович, *к.т.н., доцент*

За редакцією д.т.н., професора ***Ю.Г. Леги***

Рецензент Мусієнко М.П., *д.т.н., професор*

Палагін В. В. Основи телебачення : посібник для студентів напряму підготовки 6.050901 "Радіотехніка" [Електронний ресурс] / Авт.-укл. В. В. Палагін, А. В. Гончаров ; за ред. Ю. Г. Леги ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ЧДТУ, 2010. – 144 с. – ISBN 978-966-402-088-3.

П 14

Видання містить теоретичний матеріал, в якому висвітлюються питання основ фізичних принципів телебачення, фотометрії, технічних засобів телебачення. Подано також лабораторний практикум з дисципліни “Основи телебачення”, який дає змогу студентам закріпити теоретичний матеріал та проводити аналіз принципів побудови телевізійної апаратури.

Для студентів напряму підготовки 6.050901 "Радіотехніка" усіх форм навчання.

УДК 621.397 (07)
ББК 76.032

Навчальне видання

ОСНОВИ ТЕЛЕБАЧЕННЯ

ПОСІБНИК
для студентів напряму підготовки
6.050901 "Радіотехніка"

Технічне редагування *Костенко Т.В.*
Дизайн обкладинки *Трохименко Н.К.*

ISBN 978-966-402-088-3

© В.В. Палагін, А.В. Гончаров, 2010

Гарн. Times New Roman. Обл.-вид. арк. 9,4. Зам. № 10-е187.

Черкаський державний технологічний університет
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 896 від 16.04.2002 р.
Надруковано в редакційно-видавничому центрі ЧДТУ
бульвар Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006.

ЗМІСТ

ЧАСТИНА 1
ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕЛЕБАЧЕННЯ 6

ВСТУП 6

Розділ 1
Фізичні принципи телебачення 7

1.1 Історія розвитку телебачення 7
1.2 Принципи передачі відеозображень 8
1.3 Принципи передачі відеозображень рухомих об’єктів 10
1.4 Основні параметри вітчизняного стандарту 11
1.5 Узагальнена структурна схема телевізійної системи 12
1.6 Форма сигналів синхронізації телевізійних приймачів 14
1.7 Вибір параметрів системи телебачення 17
1.8 Способи розгортки зображення 17
1.9 Основні параметри розкладу зображення і відеосигналу 19
1.10 Види модуляції, які використовуються в телебаченні 21

Розділ 2
Елементи фотометрії. Закони зорового сприйняття 25

2.1 Основні поняття елементів фотометрії 25
2.2 Закони зорового сприйняття 27
2.3 Частота кадрової розгортки і яскравість зображення 30
2.4 Сприйняття кольору 32
2.5 Елементи колориметрії 34
2.6 Основні закони змішування кольорів 36

Розділ 3
Технічні засоби телебачення.
Давачі телевізійних сигналів 39

3.1 Класифікація давачів ТВ сигналів 39
3.2 Принцип накопичення світлової енергії 40
3.3 Потенціал ізольованої мішені 41
3.4 Зовнішній фотоефект 43

3.5 Принцип роботи іконоскопа 45
3.6 Передавальні телевізійні трубки з фотопровідним накопиченням 48
3.7 Передавальні трубки з фотодіодним шаром 53
3.8 Передавальні трубки з електронним перенесенням зображення 55
3.9 Твердотільні здавачі 57
3.10 Паралельно-кадрова структура перетворювача 61
3.11 Давачі сигналу для кольорового телебачення 63

РОЗДІЛ 4
ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ТЕЛЕБАЧЕННЯ. ВІДТВОРЮВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ 66

4.1 Класифікація відтворювальних пристроїв 66
4.2 Кінескопи чорно-білого телебачення 67
4.2.1 Електронний прожектор 68
4.2.2 Фокусування електронного променя 69
4.2.3 Модуляційна характеристика кінескопа 71
4.3 Кінескопи кольорового телебачення 73
4.3.1 Загальні відомості 73
4.3.2 Масочний кінескоп із дельтовидним розташуванням прожекторів 73
4.3.3 Масочний кінескоп із компланарним розташуванням прожекторів 78
4.3.4 Принцип роботи однопроменевого хроматрона 80
4.3.5 Плазмові панелі 81
4.3.6 Рідкокристалічні (LCD) панелі/матриці, TFT-панелі 82
4.3.7 Проекційні телевізори і прожектори 82

РОЗДІЛ 5
ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТЕЛЕВІЗІЙНИХ ПРИЙМАЧІВ 86

5.1. Узагальнена структурна схема чорно-білого телевізора 86
5.2. Побудова стаціонарного кольорового телевізора ЗУСКТ 89

РОЗДІЛ 6
ОСНОВИ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ 95

6.1 Загальні принципи побудови системи цифрового телебачення 95

6.2 Імпульсно-кодова модуляція 96
6.3 Оцінка швидкості передачі цифрового потоку ІКМ сигналу 99
6.4 Компресія цифрового ТВ сигналу 103
6.5 Канальне кодування 105
6.6 Типи зображень 106
6.7 Модуляція 107
6.8 Узагальнена структурна схема системи цифрового телебачення 108
6.9 Цифрова фільтрація телевізійного сигналу 109
6.10 Часові перетворення цифрових сигналів 112

ЧАСТИНА 2
ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ 114

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1
Дослідження структури телевізійного сигналу за допомогою генератора випробувальних сигналів 115

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2
Дослідження принципів роботи селектора телевізійних каналів 122

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3
Дослідження роботи субмодуля радіоканалу телевізійного приймача 128

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4
Дослідження системи синхронізації телевізійного приймача 133

ЗАЛІКОВІ ПИТАННЯ З ДИСЦИПЛІНИ
"ОСНОВИ ТЕЛЕБАЧЕННЯ" 140

ЛІТЕРАТУРА. 144

ЧАСТИНА 1

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕЛЕБАЧЕННЯ

ВСТУП

Сучасний етап розвитку електронної галузі характеризується бурхливим впровадженням цифрових технологій, алгоритмів, методів. Телебачення є однією з найбільш динамічних галузей радіоелектроніки, де застосування сучасних технічних досягнень є питанням не тільки функціональних можливостей, конкурентоспроможності, але і можливістю використовувати телевізійні системи в системах діагностики, зв'язку тощо.

Для широкого практичного застосування сучасних телевізійних систем необхідно ознайомитися з основами функціонування телебачення.

Рекомендований конспект лекцій спрямований на збільшення частки самостійної роботи студента в навчальному процесі і вказує основні шляхи вивчення дисципліни "Основи телебачення". Пропонований матеріал допоможе студенту набути знань про фізичні основи телебачення; основні принципи перетворення світового зображення в електричний сигнал; характеристики сигналу зображення; якість відтворюваного зображення; передачі та прийому сигналів і їх обробки в телевізійній апаратурі; загальні характеристики телевізійних систем; структуру головних ланок телевізійних приймачів; принципи отримання кольорового зображення; елементи колориметрії; тенденції розвитку мовного телебачення тощо [1–10].

Конспект лекцій структурований з шести розділів, кожен із яких охоплює перелік тем, рекомендованих також для самостійного вивчення дисципліни. Для більш глибокого опанування матеріалом навчальним планом передбачається цикл лабораторних робіт, який практично закріплює вивчений матеріал.

Вивчення дисципліни "Основи телебачення" є передумовою обговорення тематик цифрового, супутникового телебачення, які вивчаються в окремих спецкурсах.

РОЗДІЛ 1

ФІЗИЧНІ ПРИНЦИПИ ТЕЛЕБАЧЕННЯ

1.1 Історія розвитку телебачення

Ідея створення першої телевізійної системи була запропонована в 1875 р. Дж. Керрі (США). В його проекті була закладена ідея розкладу (розбиття) зображення на окремі елементи і передача середньої яскравості кожного елемента. Метод поелементної передачі – основа всіх наступних телевізійних систем, у тому числі і сучасних.

В 1879 р. португальський учений де-Пайва запропонував проект одноканальної системи телебачення. Проект базувався на врахуванні інерційності зорового сприйняття, завдяки якій можлива передача інформації про яскравість всіх елементів зображення не одночасно, а послідовно (почергово).

Практична проблема послідовної передачі елементів була розв'язана в проекті польського вченого П. Ніпкова, який в 1884 р. отримав патент на оптико-механічний пристрій, відомий під назвою диск Ніпкова. Непрозорий диск містить ряд отворів, розташованих по спіралі біля зовнішнього краю. Розмір отвору визначає величину елемента зображення. Кожний отвір зміщений по радіусу до центра диска відносно попереднього на висоту отвору.

Перші практичні системи телебачення з механічною розгорткою були втілені в життя в 1925 р. Дж. Бердом в Англії.

Ідею розгортки зображення електронним променем запропонував в 1908 р. англійський інженер Кембелл-Суінтон, а в 1911 р. дав принципову схему повністю електронної системи передачі зображень.

Одна з перших телевізійних систем була створена в 1929 р. в Ленінграді. Така система була оптико-механічною з розкладом в 40 рядків. В 1934 р. система була вдосконалена до 180 рядків розкладу, 1937–1938 рр. – 343 рядки, 1948 р. – 625 рядків.

Подальший розвиток телебачення як окремої самостійної галузі (але тісно пов'язаної з доробками в електроніці) привів до впровадження кольорового телебачення 1 жовтня 1967 р.

Сучасний стан телебачення характеризується бурхливим розвитком як елементної бази, так і технологій. Цифрове телебачення, супутникове телебачення – останні досягнення людства в цій галузі.

1.2 Принципи передачі відеозображень

Телебаченням називається галузь сучасної радіоелектроніки, яка займається питанням передачі і прийому рухомих і нерухомих зображень електричними засобами зв'язку в реальному і зміненому масштабі часу.

Задачею телебачення є отримання на приймальному телевізійному пристрої зображення, яке відповідає об'єкту передачі. Ця задача вирішується складним комплексом апаратури передачі, кодування, декодування, перетворення, відображення та іншими операціями з обробки візуальної інформації.

В основі телебачення лежать три фізичні процеси:

- перетворення світлової енергії в електричні сигнали;
- передача і прийом електричних сигналів;
- перетворення електричних сигналів в оптичне зображення.

Сучасне телебачення базується на двох принципах:

- розбивка зображення об'єкта, що передається, на окремі елементарні площини (елементи);
- почергова передача яскравостей цих елементарних площ (послідовна передача елементів зображення).

Нерухомі оптичні зображення (фото, слайд) – це двовимірний розподіл яскравості I (рисунок 1.1) (для чорно-білого зображення), або розподіл трьох основних кольорів RGB: $I_R(x,y)$, $I_G(x,y)$, $I_B(x,y)$.

Для рухомих об'єктів додають час: $I(x,y,t)$.

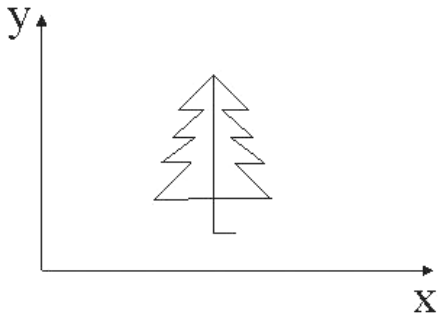


Рисунок 1.1– Приклад двовимірного розподілу яскравості

В 1875 р. американський фізик Керрі запропонував паралельний спосіб передачі інформації. Він пропонував зображення, що передається, спроектувати оптичним об'єктивом на панель селенових фоторезисторів, кожний із яких через свій канал зв'язку і електричну батарею з'єднувався з приймальною електролампою. Таким чином, Керрі та інші винахідники намагалися зробити електричну модель людського ока (рисунок 1.2).

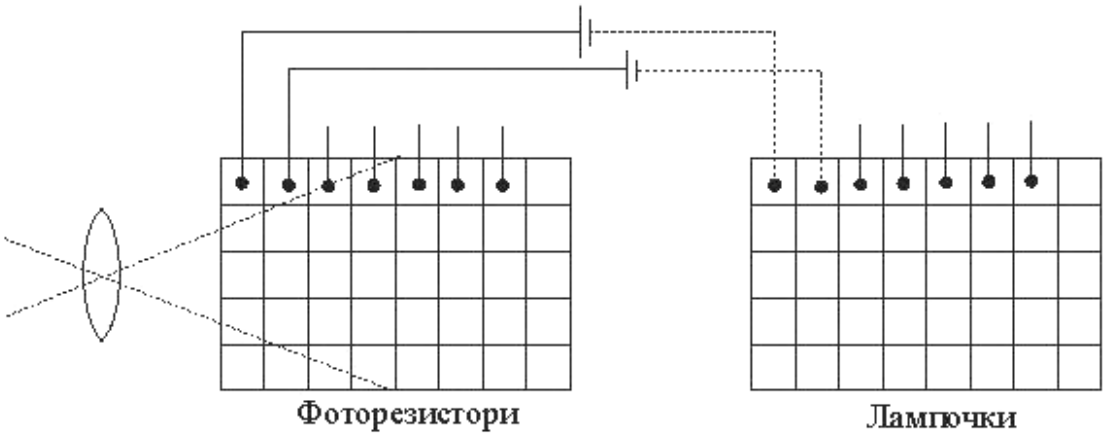


Рисунок 1.2 – Модель паралельної передачі яскравості про об'єкт

Однак практично реалізувати сотні тисяч каналів зв'язку, батарей, приймальних електроламп та інших деталей пристрою було неможливо ($N \approx 500000$).

В 1880 р. був запропонований метод послідовної передачі інформації по одному каналу зв'язку (через комутатор) (рисунок 1.3).

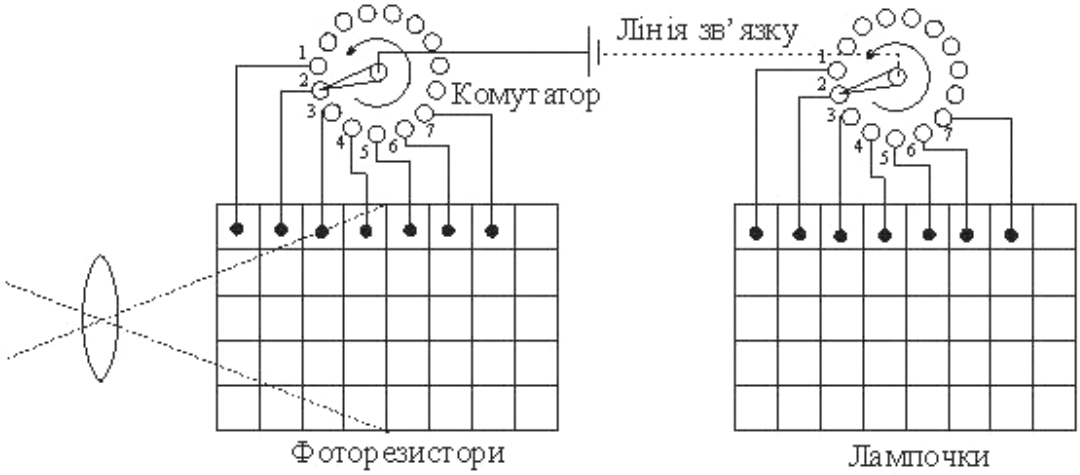


Рисунок 1.3 – Модель послідовної передачі яскравості про об'єкт

Цей принцип – поелементне розкладення зображення і послідовна передача сигналів через одновимірний канал зв'язку.

Він складається з таких етапів:

1) вимірюється яскравість 1-го елемента зображення;
2) перемикачі на передавальній і приймальній сторонах встановлюються в перше положення;
3) сигнал 1-го фотоелемента передається по одновимірному каналу зв'язку і запалює першу лампочку.
4) перемикачі на передавальній і приймальній стороні синхронно переміщуються в друге положення;
5) друга лампа запалюється з яскравістю, яка пропорційна освітленості другого елемента і т.д.

При такому способі передачі сигнал кожного фотоелемента корисно використовується лише той час, коли до нього під'єднаний комутатор ($\approx 1/500\,000$ частки часу).

Такі системи є системами без накопичення сигналу.

На приймальній стороні можна або запам'ятовувати значення сигналу, який був прийнятий для кожної лампи, і обновлювати при переході до наступного сигналу, або використовувати інерційність зору.

1.3 Принципи передачі відеозображень рухомих об'єктів

Для рухомих об'єктів яскравість у кожній точці безперервно змінюється. В телебаченні ці зміни дискретизуються і замінюються послідовною передачею нерухомих кадрів (рисунок 1.4). На приймальній стороні ці кадри зливаються в безперервне зображення за рахунок інерційності органів зору людини.

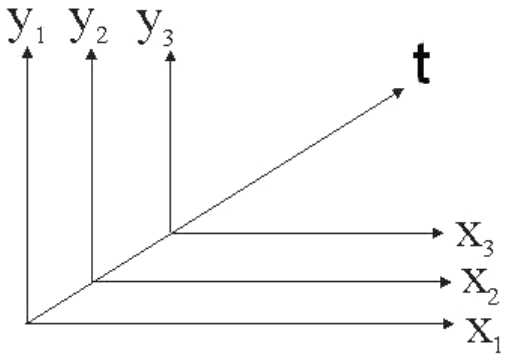


Рисунок. 1.4 – Приклад дискретизації рухомих об'єктів на кадри у фіксовані моменти часу

Таким чином, зображення в ТБ підлягає таким операціям:

1) розбиття на послідовні кадри;
2) передача кожного елемента з передавальної на приймальну сторону.

Така обробка отримала назву розкладання зображення в рядково-кадрову структуру.

Для скорочення обсягу інформації, що передається по каналу зв'язку, на передавальній і приймальній стороні вводиться ***єдиний протокол розкладу-відтворення:***

1) швидкість рядкової розгортки (частота, період);
2) кількість рядків у кожному кадрі;
3) частота кадрів і полів;
4) спосіб синхронізації і часові інтервали, які виділяються на передачу синхроімпульсів.

1.4 Основні параметри вітчизняного стандарту

Для однакового функціонування телевізійних систем, проведення певної уніфікації параметрів необхідно ввести єдиний протокол розкладу-відтворення. Різні країни мають свої стандарти та протоколи. Відзначимо параметри вітчизняного стандарту.

1. Рядкова розгортка:

- частота – 15625 Гц;
- період – Н = 64 мкс;
- тривалість рядкового гасячого імпульсу – 10,2 мкс;
- тривалість рядкового синхроімпульсу – 5,1 мкс;

2. Кадрова розгортка:

- кількість рядків в кадрі – 625;
- кількість полів – 2;
- кількість активних рядків – 575;
- тривалість кадрового гасячого імпульсу – 1,5 мс;
- тривалість кадрового синхроімпульсу – 192 мкс (3Н);
- частота кадрової розгортки – 25 Гц;
- частота полів – 50 Гц.

Різниця між кількістю рядків у кадрі й активними рядками становить 50 рядків, які використовуються для зворотного ходу кадрової розгортки, протягом якого екран гаситься, а по каналу зв'язку передається кадровий гасячий і синхроімпульс (рисунок 1.5).

Рисунок 1.5 – Особливості структури телевізійного кадру

В телебаченні одним із найважливіших параметрів є відеосигнал.

Відеосигнал – одновимірний електричний сигнал, отриманий на передавальній стороні в результаті розкладу за визначеним стандартом, який подається по каналу зв'язку для передачі на приймальну сторону (рисунок 1.6).

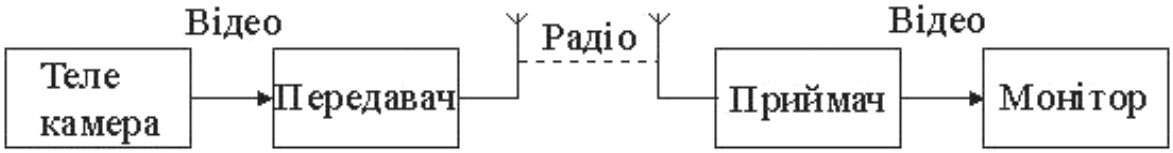


Рисунок 1.6 – Узагальнена структурна схема приймально-передавальних вузлів у телевізійній системі

Для спостереження форми відеосигналу можна скористатися осцилографом. Рівень сигналу буде змінюватися від мінімального значення рівня чорного (відповідає темним ділянкам зображення) до рівня білого (максимальна яскравість зображення) (рисунок 1.7).

Телевізійне мовлення для вітчизняного розподілу частот ведеться в діапазонах метрових хвиль МХ (I–III) та дециметрових ДМХ (IV–V) і розподіл по частотах поданий нижче.

I Канали 1,2 48,5...66 МГц.
II Канали 3...5 76...100 МГц.
III Канали 6...12 176...230 МГц.
IV Канали 21...34 470...582 МГц.
V Канали 35...60 582...790 МГц.

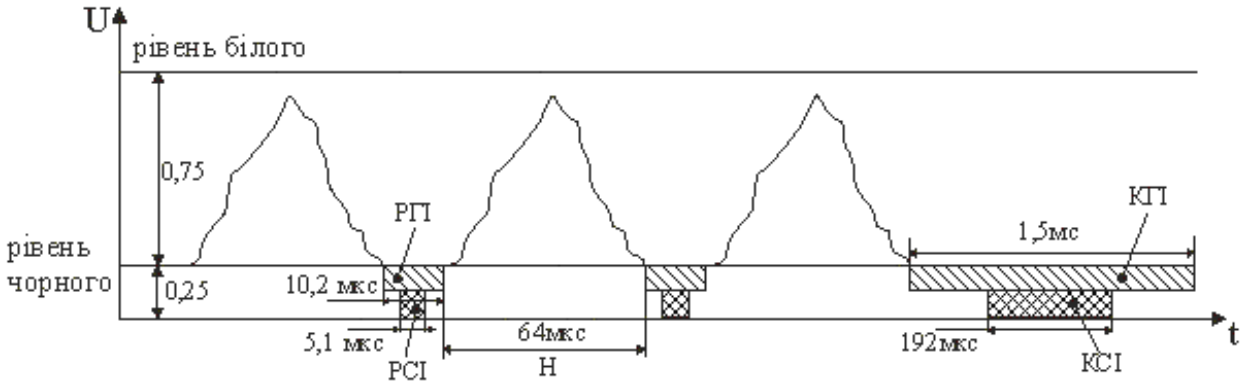


Рисунок 1.7 – Структура відеосигналу

1.5 Узагальнена структурна схема телевізійної системи

Телевізійна система являє собою комплекс технічних засобів, що забезпечують передачу і прийом зорової інформації (рисунок 1.8). За допомогою об’єктива формується плоске оптичне зображення на фотокатоді перетворювача світло-сигнал. В останньому променистa енергія перетворюється в електричну і здійснюється розгортка зображення. У результаті розгортки на виході перетворювача виходить часовий сигнал, що називається *вихідним сигналом яскравості* E_c, миттєві значення якого пропорційні значенням яскравості переданого в даний момент елемента зображення.

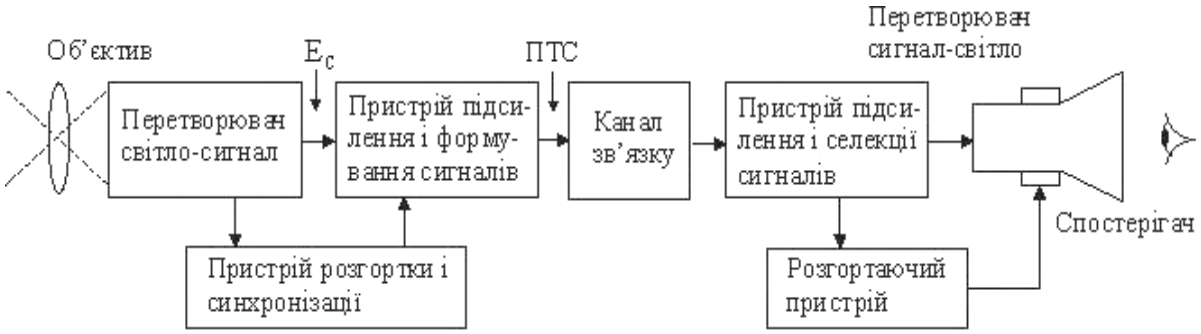


Рисунок. 1.8 – Узагальнена структурна схема телевізійної системи

Сигнал з виходу перетворювача піддається підсиленню і у нього вводяться імпульси, призначені для запирання перетворювача сигнал-світло в перервах між розгорткою рядків і кадрів. Цей сигнал називається *сигналом гасіння*. Ці імпульси перевищують за тривалістю імпульси гасіння для передавальних трубок. Це дозволяє перекрити можливі зсуви сигналів у часі, наприклад при перемиканні камер, що мають кабелі різної довжини.

Для забезпечення синхронності розгорток на передачі і прийомі використовується примусова синхронізація – 1 раз протягом тривалості рядка й 1 раз протягом тривалості кадру *сигналом синхронізації*, що виробляється синхрогенератором і передається під час передачі імпульсів гасіння. Сигнал синхронізації генераторів розгорток приймача передається в одному каналі з телевізійним сигналом. З цією метою імпульси синхронізації вводяться в область рівнів „чорніше чорного”.

Сигнал, що складається із сигналу яскравості і сигналу синхронізації, називається *повним телевізійним сигналом*.

Повний ТВ сигнал далі надходить у канал зв’язку. У процесі передачі по каналу зв’язку ТВ сигнал може піддаватися різним перетворенням, але на виході повинний відновлюватися початковий повний ТВ сигнал, що надходить на *підсилювач-селектор*.

Підсилювач забезпечує рівень сигналу, необхідний для керування перетворювачем сигнал-світло. У селекторі з повного ТВ сигналу виділяються імпульси синхронізації і подаються на *пристрої розгортки* перетворювача сигнал-світло для синхронізації його розгорток.

У перетворювачі сигнал-світло передане зображення поелементно синтезується. Синхронна розгортка забезпечує геометричну подібність синтезованого зображення переданому.

1.6 Форма сигналів синхронізації телевізійних приймачів

У мовних телевізійних системах сигнали синхронізації передаються під час зворотного ходу рядкової і кадрової розгорток. Імпульси синхросуміші розміщуються на гасячих імпульсах за межами рівня чорного і можуть бути легко відділені від сигналу зображення методами амплітудної селекції. Можливість виконання різних за тривалістю рядкових і кадрових синхроімпульсів дозволяє порівняно просто розділити їх методами часової селекції за допомогою диференціюючих і інтегруючих ланцюгів (рисунок 1.9).

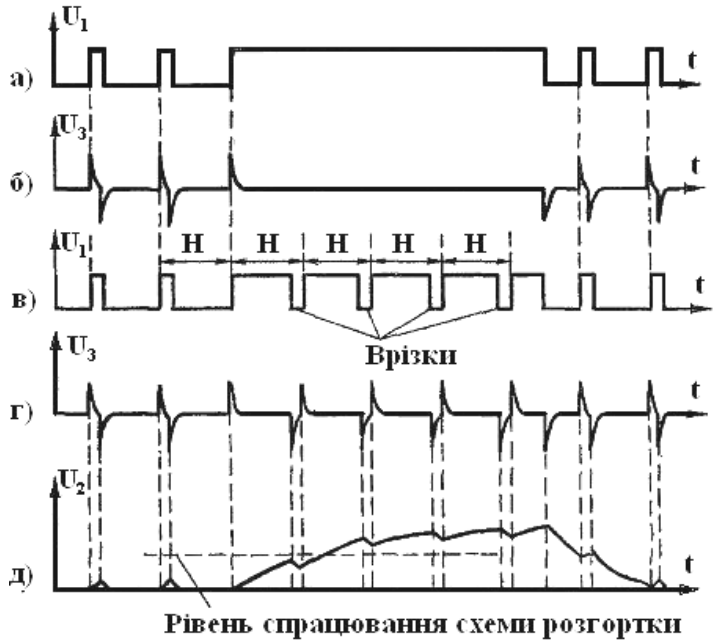


Рисунок 1.9 – Сигнали синхронізації при порядковій розгортці

Під час передачі кадрового імпульсу в каналі рядкової синхронізації імпульси відсутні. Синхронізація рядкової розгортки на цей проміжок часу буде порушена, і генератор імпульсів рядкової розгортки приймача буде працювати в автоколивальному режимі. Тому після завершення кадрового синхроімпульсу процес встановлення частоти генератора рядкової розгортки відбувається не відразу, що може призвести до зриву декількох рядків.

Для забезпечення безперервної синхронізації генератора рядкової розгортки в кадровому синхросигналі формують *врізки* з рядковою частотою. Ширина врізок дорівнює ширині рядкових імпульсів.

При черезрядковій розгортці доводиться ще більше ускладнювати синхросуміш, оскільки через наявність врізок та зсуву в половину рядка між кадровими імпульсами синхронізації останні виявляються неоднаковими за формою: перше (непарне) поле закінчується на половині останнього рядка і, відповідно, початок кадрового синхроімпульсу зсу-

нутий відносно останнього рядкового синхроімпульсу в цьому полі на половину тривалості рядка, в той час як друге (парне) поле закінчується цілим рядком, і початок рядкового і кадрового синхроімпульсів співпадають. Відмінність цих сигналів створить неідентичність форм інтегрованих імпульсів першого і другого поля (рисунок 1.10 в, г, д). При цьому імпульс непарних полів зсунутий на половину рядка праворуч і показаний пунктирною лінією.

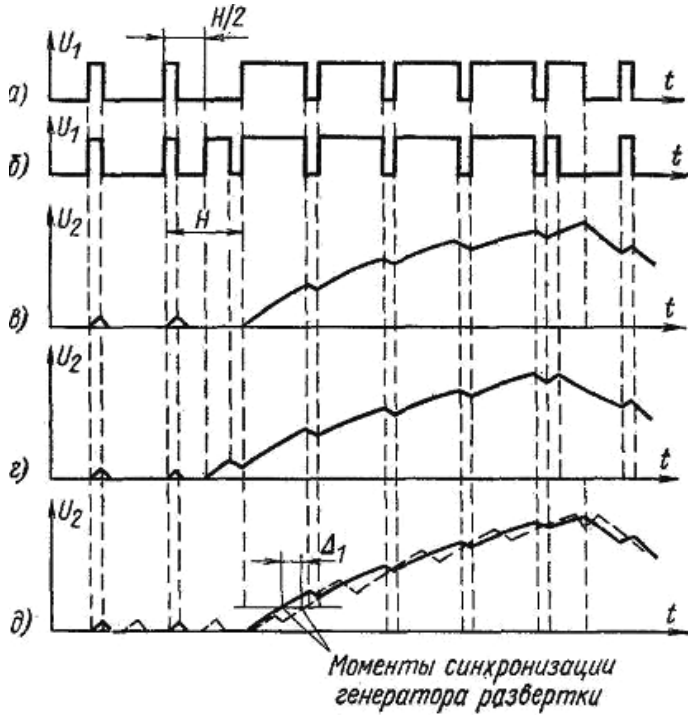


Рисунок 1.10 – Порушення ідентичності кадрових імпульсів з врізками рядкової частоти при черезрядковій розгортці

Наявність зсуву Δ_1 призведе до здвоєння рядків, оскільки растри двох полів будуть зсунуті по вертикалі на половину відстані між сусідніми рядками. Для усунення цього зсуву врізки роблять подвійною рядковою частотою (рисунок 1.11).

Проте співпадання інтегрованих імпульсів не є точним. На інтегруючу схему надходять разом із кадровими імпульсами імпульси синхронізації рядків. Від кожного рядкового імпульсу конденсатор схеми отримує певний заряд. Оскільки рядкові імпульси в парних і непарних полях розташовуються на різній відстані від кадрового імпульсу, то буде створюватися різний вплив на хід кривої накопичення заряду на конденсаторі в парних і непарних полях.

До такого ж ефекту приводить наявність рядкових імпульсів, які слідують за імпульсами синхронізації кадрів. В результаті тривалість зворотного ходу розгортки в парних і непарних полях буде різною. Це приводить знову до здвоєння рядків.

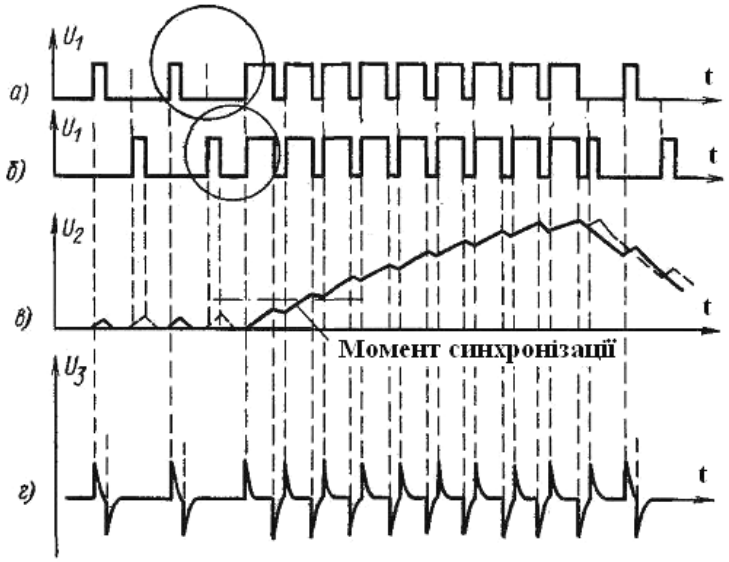


Рисунок 1.11 – Кадрові імпульси синхронізації з врізками подвійної рядкової частоти

Щоб уникнути різниці у формі імпульсів після інтегрування, достатньо до і після кадрових синхронізуючих імпульсів ввести по декілька імпульсів, які слідують з подвійною рядковою частотою. Такі імпульси називаються *урівнюючими* (рисунок 1.12). Таким чином, для отримання стійкої черезрядкової розгортки доводиться ускладнювати форму кадрового синхронізуючого імпульсу.

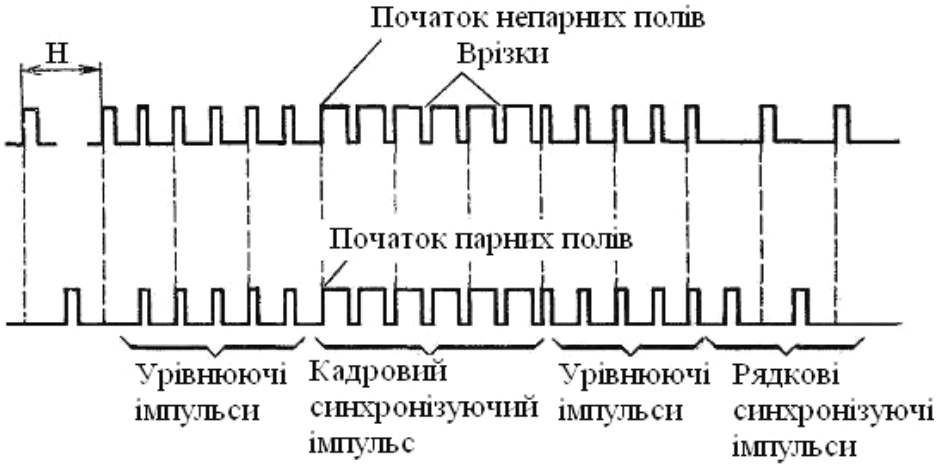


Рисунок 1.12 – Повна форма сигналу синхронізації при черезрядковій розгортці

1.7 Вибір параметрів системи телебачення

Якість телевізійного зображення визначається параметрами і характеристиками телевізійної системи:

- відображення мілких об'єктів і різких меж розділу яскравості (контурів зображення) знаходиться в прямій залежності від кількості елементів і рядків, що передаються ТВС;
- злитність сприйняття яскравості і плавність руху об'єктів пов'язані з кількістю зображень (кадрів) за одиницю часу, які передаються, і з вибором часового закону розгортки;
- кількість ступенів яскравості на зображенні – кількість світлових градацій – визначається динамічним діапазоном системи;
- геометрична подібність переданого і прийнятого зображення визначається точністю синхронізації і диференційною подібністю растрів перетворювачів світлосигнал і сигнал-світло.

Вибір параметрів системи, таким чином, визначається заданою якістю зображення. З іншого боку, будь-яке підвищення якості викликає подорожчання системи. Отже, якість системи і вибір її параметрів повинні бути економічно обґрунтовані. Також параметри і характеристики ТВС повинні обиратися з умов узгодження системи з властивостями і характеристиками зорової системи людини.

1.8 Способи розгортки зображення

Розгортки можна розділити на *детерміновані*, при яких траєкторія руху розгортального елемента чітко визначена і наперед задана, і *недетерміновані*, в яких напрямок руху розгортального елемента автоматично встановлюється залежно від змісту зображення.

Детерміновані розгортки. Найкращою вважається така розгортка, яка забезпечує розклад при задоволенні таких вимог:

1. За повний цикл розгортки передаються всі елементи розкладу, причому кожний однократно і за такий самий час.
2. Частота кадрів найменша.
3. Невиробничі втрати часу (на зворотний хід розгортки) мінімальні.
4. Простота технічної реалізації.

Деякі найбільш поширені види розгорток наведені на рисунку 1.13.

Першій вимозі відповідають всі лінійні розгортки (а–д). В черезточковій розгортці (г) весь кадр передається за чотири поля.

При реалізації лінійних розгорток оптико-механічними пристроями (наприклад диск Ніпкова) вони відповідають і вимозі 3. В електронних системах вимога 3 не виконується.

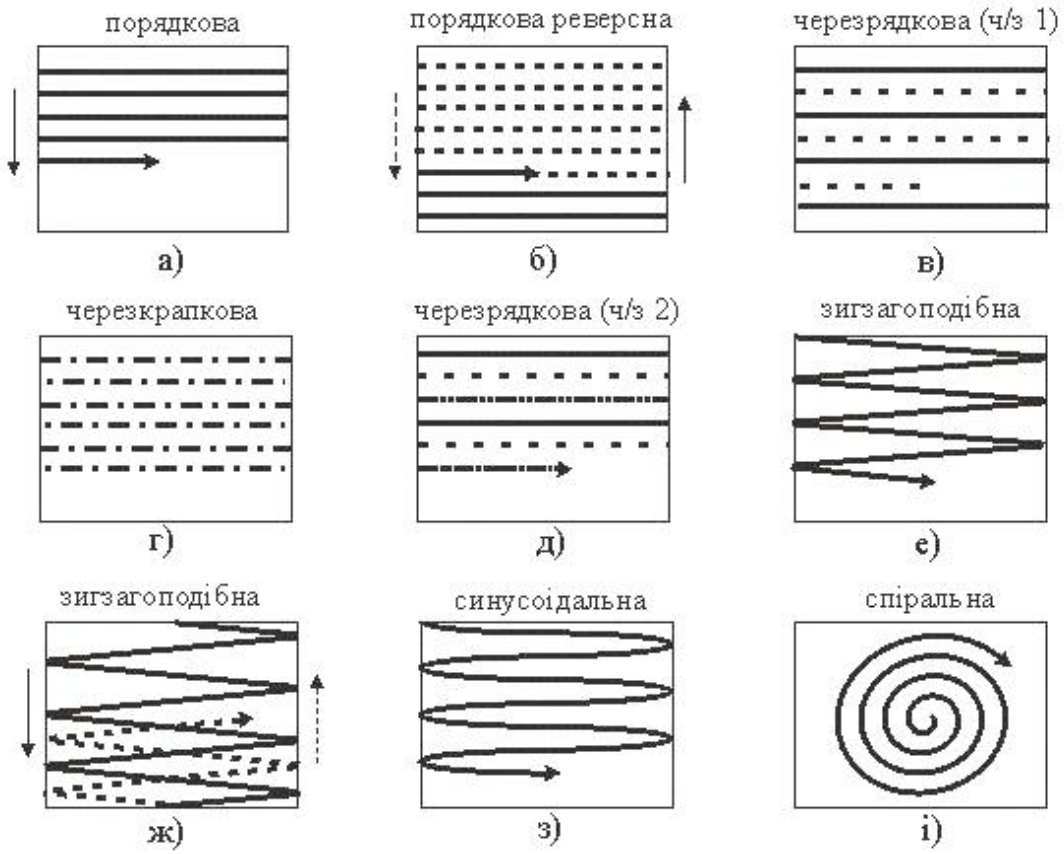


Рисунок 1.13 – Основні способи розгортки в телевізійних системах

Найгірше вимогу 2 задовольняє порядково-реверсивна розгортка (б), оскільки вона призводить до зниження повторення крайніх рядків у порівнянні з порядковою (а) розгорткою і в результаті до необхідності підвищення частоти кадрів. Найкраще цю вимогу задовольняє черезточкова розгортка (г), проте вона не задовольняє умову 4. Компромісним варіантом, що задовольняє вимоги 2 і 4, є черезрядкова розгортка (в). Зигзагоподібні розгортки (е, ж) задовольняють вимогу 3, проте не задовольняють інші. Синусоїдальна розгортка (з) задовольняє вимоги 3 і 4, проте не задовольняє 1 і 2.

Спіральна розгортка (і) з постійною кутовою швидкістю достатньо добре задовольняє всі вимоги, крім 1. При змінній кутовій швидкості вона може задовольняти вимогу 1, проте тоді не буде задовольняти 4.

Найбільш доцільною для систем телевізійного мовлення є черезрядкова розгортка. Недолік: розмиті контури рухомих зображень.

1.9 Основні параметри розкладу зображення і відеосигналу

До основних параметрів розкладу зображення належать:

- кількість рядків Z;
- формат кадру $k_ф$;
- кількість елементів розкладу N;
- кількість кадрів, що передаються, $n_п$, і що відтворюються, $n_в$ в секунду;
- контраст зображення К.

Значення цих параметрів можуть мінятися в широких межах залежно від призначення ТВС.

Елемент розкладу. Зображення при телевізійній передачі поділяється на окремі елементи розкладу. У межах елемента розкладу можуть бути дрібні деталі переданого оптичного зображення, але телевізійна система усереднює їхню яскравість по площі елемента і дає сигнал, що відповідає цій середній яскравості. Передати деталі зображення розмірами менше елемента розкладу телевізійна система не в змозі.

Розгортка зображення – процес послідовного перетворення за заздалегідь установленим законом яскравості (і кольоровості в кольоровому телевізорі) елементів зображення в електричні сигнали. Іншими словами, це спосіб здобування растру.

Кадр – однократна розгортка всієї площі зображення.

Поле – частина елементів розкладу зображення.

Растр – це заздалегідь установлений малюнок рядків розгортки, що забезпечує істотно рівномірне покриття всієї площі кадру. Іншими словами, растр являє собою траєкторію руху елемента розгортки по площині кадру.

Форматом кадру називається відношення ширини переданого зображення b до його висоти h: $k_ф = b/h$ (рисунок 1.14).

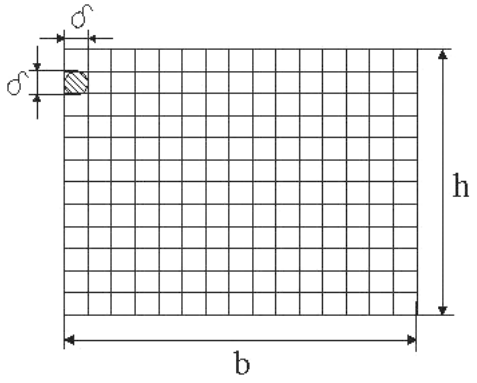


Рисунок 1.14 – Поелементне розбиття телевізійного кадру

Кількість елементів розкладу в стовпчику за умови, що елементом розкладу є квадрат зі стороною δ, становить: $Z = h/\delta$.

Кількість елементів у рядку: $b/\delta = k_ф h/\delta = k_ф Z$.

Кількість елементів розкладу: $N = k_ф ZZ = k_ф Z^2$.

В мовному телебаченні $Z = 625$, щоб рядкова структура не була помітна при спостереженні зображення з семикратної відстані висоти екрана.

$k_ф = 4/3$, що узгоджується з форматом кадру в кіно. Цим полегшується передача кінофільмів по ТБ. Відповідно, $N = 520000$.

Вимоги до $n_п$ і $n_в$ в 1 с різні і залежать від телевізійної системи (ТВС). Зазвичай $n_п$ береться з умови забезпечення злитності фаз руху, зафіксованих в сусідніх кадрах. В професійному кіно $n_п = 24$, в аматорському $n_п = 16$, в ТБ $n_п = 25$. $n_в$ береться за умови відсутності мерехтіння зображення. Це близько 45–50 кадрів/с.

Контраст: $K = \dfrac{\text{яскравість max світлої ділянки}}{\text{яскравість max темної ділянки}}$, в ТБ ~ 100.

Найважливішими параметрами відеосигналу є динамічний діапазон і смуга частот. Приклад розрахунку такий.

Динамічний діапазон по напрузі

$$D_U = U_{max} / U_{min},$$

де U_{max}, U_{min} – максимальна та мінімальна напруги відповідно.

Або по потужності $D_P = D_U^2$.

Будь-якій системі властиві шуми. Вони обмежують динамічний діапазон. тому

$$D_P = P_c / P_ш,$$

де P_c – потужність сигналу,

$P_ш$ – потужність шуму.

Щоб пропускати відеосигнал без спотворень, канал зв’язку повинен мати більший динамічний діапазон, ніж у відеосигналу. Зокрема, при контрасті К = 100 динамічний діапазон по потужності становить $D_P = 100^2 = 10^4$.

Смуга частот відеосигналу залежить від багатьох факторів, у тому числі і від способу розгортки. Розглянемо порядкову і черезрядкову (кадр передається за 2 поля) розгортки.

Спроектуємо шахову дошку на передавальну трубку, кожна клітина якої дорівнює за площиною одному елементу розкладу (рисунок 1.15). Оскільки у мовному телебаченні $N \approx 500000$, то чорних і білих клітинок буде по 250 000. Очевидно, що на кожні 2 клітинки – 1 перепад, на 1 кадр – 250 000 перепадів або $N/2$. Частота сигналу визначається кількістю перепадів в 1 с. Отже, $F_{max} = n \cdot N/2$, де n – кількість кадрів в 1 с. Враховуючи це все, спектр сигналу простягається від 0 до F_{max}, або $F = 50 \cdot 500000/2 = 12{,}5\,МГц$.

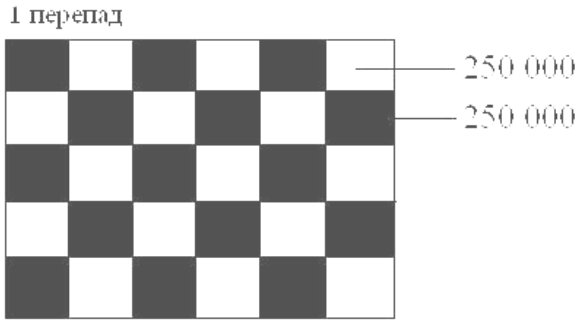


Рисунок 1.15 – Принцип обрахунку спектра телевізійного сигналу на прикладі максимально можливих перепадах яскравості

Для того щоб зменшити F, застосовують черезрядкову розгортку (як у кіно: 1 кадр показують 2 рази). В ТБ спочатку передають спочатку всі непарні рядки – 1 поле, а потім парні – 2 поле. Кожне поле – за $1/50$с. При цьому $n_п = n_в$ і $F = 6{,}25\,МГц$.

1.10 Види модуляції, які використовуються в телебаченні

Відеосигнал у прямому вигляді використовувати не можна, оскільки він займе весь ефір і програми змішаються. Для цього використовують модуляцію, тобто накладання коливань одне на одне. Несуча частота береться не менш 50–60 МГц (УКХ і ДХ) – пряма видимість. Сантиметрові хвилі через велике поглинання в атмосфері застосовуються тільки для пересувних телевізійних станцій.

Для обмеження смуги частот, яку займає телевізійний радіоканал, застосовують амплітудну модуляцію для сигналу зображення (рисунок 1.16), а для звукового сигналу – частотну модуляцію (ЧМ) (рисунок 1.17).

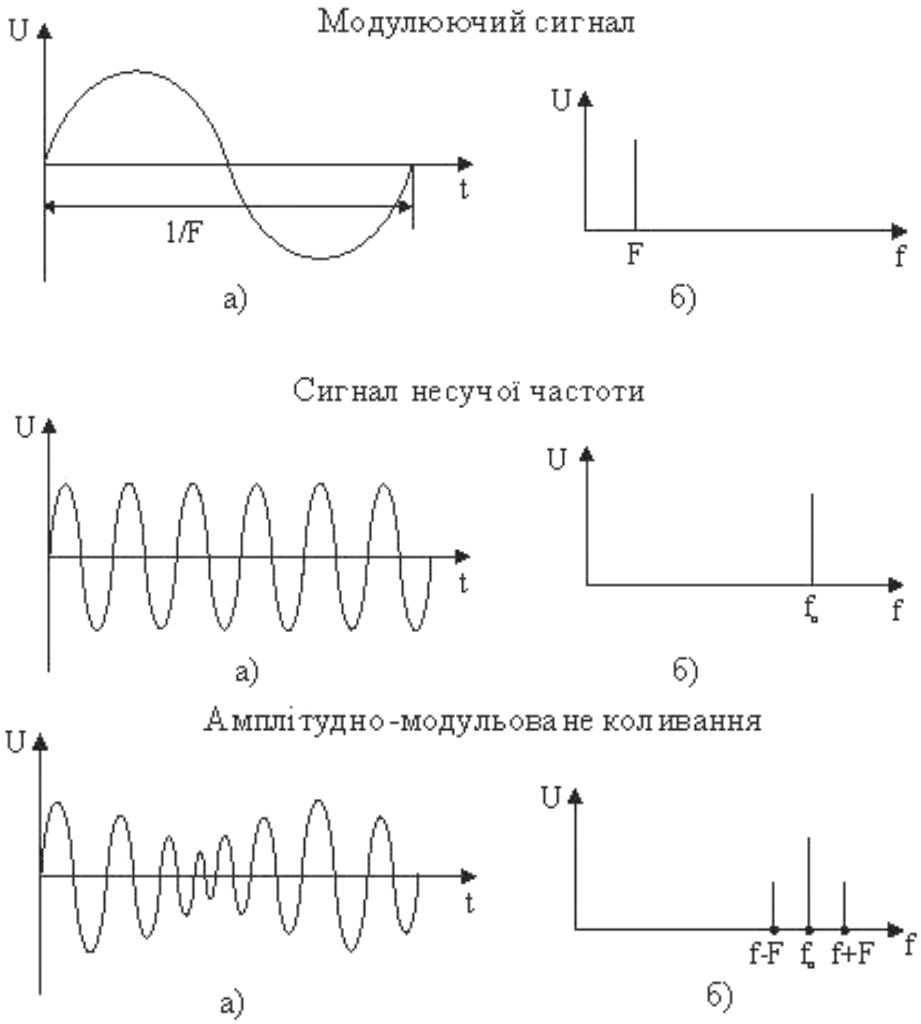


Рисунок 1.16 – Види сигналів (а) і відповідні їм частотні спектри (б) при амплітудній модуляції

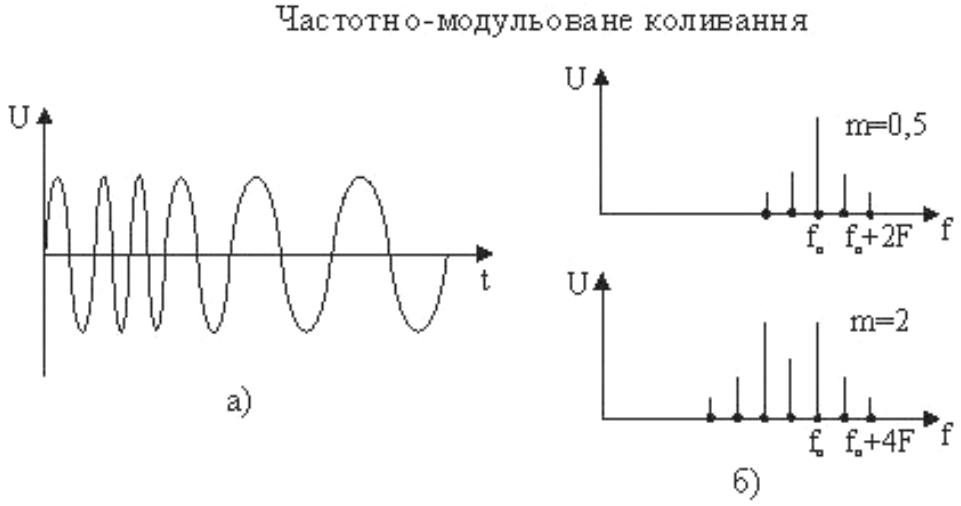


Рисунок 1.17 –Види сигналів (а) і відповідні їм частотні спектри (б) при частотній модуляції

Для ЧМ характерний параметр

$$m = \Delta f / F,$$

де m – коефіцієнт модуляції; Δf – девіація частоти; F – частота модулювального коливання.

У результаті модуляції спектр частот утвореного радіосигналу значно більший спектра модулювального: АМ – в 2 рази від $f_н - F$ до $f_н + F$ ($f_н$ – несуча частота); ЧМ –залежно від m: $\underline{m < 1} - 2F$; $\underline{m > 1} - 2mF$.

Процес виділення висхідного модулювального сигналу називається *демодуляцією, або детектуванням* (АД, ЧД). Інформація про модулювальний сигнал міститься в нижній і верхній бокових смугах ($f_н - F$; $f_н + F$). В ТБ передають повністю верхню бокову смугу, а нижню частково заглушують. Це роблять для того, щоб вмістити більше каналів в діапазоні. При цьому спектр сигналу буде мати вигляд, зображений на рисунку 1.18.

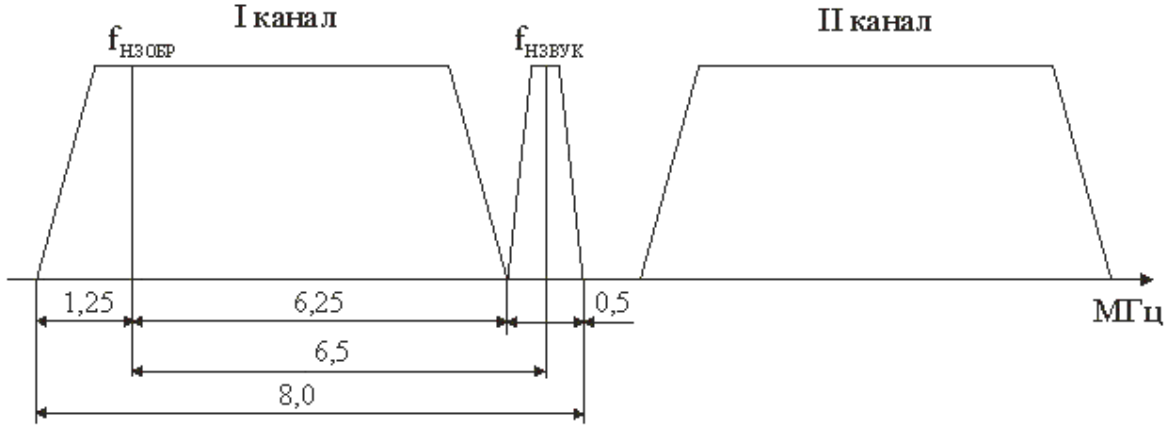


Рисунок 1.18 – Спектр телевізійного сигналу

Звуковий супровід передається на своїй піднесучій при ЧМ для високої якості. Спектр радіосигналу звукового супроводу безпосередньо примикає до спектра сигналу зображення. Частота піднесучої залежить від номера каналу.

Контрольні питання до розділу

1. Історія та перспективи розвитку сучасного телебачення.
2. Принципи передачі зображень. Основні фізичні процеси та принципи.
3. Метод послідовної та паралельної передачі інформації.
4. Принцип передачі нерухомих та рухомих об'єктів.

5. Поняття протоколу розкладу-відтворення зображення. Вітчизняний стандарт телебачення.
6. Поняття структури відеосигналу, його форми та основних параметрів.
7. Узагальнена структурна схема телевізійної системи.
8. Поняття розгортки зображення, сигналу яскравості, сигналів синхронізації, рівень „чорного” і „білого”, повний ТВ сигнал.
9. Поняття та необхідність застосування синхросуміші та врізок в телевізійному сигналів.
10. Вибір параметрів системи телебачення.
11. Способи розгортки зображення, їх використання. Основні переваги і недоліки.
12. Особливості використання черезрядкової розгортки та її характеристики.
13. Основні параметри розкладу зображення і відеосигналу.
14. Рядкова і черезрядкова розгортка. Розрахунок ширини спектра ТВ сигналу.
15. Види модуляції, які використовуються в телебаченні.
16. Спектр ТВ сигналу та його характеристика.

РОЗДІЛ 2

ЕЛЕМЕНТИ ФОТОМЕТРІЇ. ЗАКОНИ ЗОРОВОГО СПРИЙНЯТТЯ

2.1 Основні поняття елементів фотометрії

Весь частотний спектр електромагнітних коливань умовно ділять на дві частини з межею приблизно на частоті 3000 ГГц. Частоти, що лежать нижче цієї межі, відносять до області радіохвиль. Частоти, що лежать вище, входять в оптичний діапазон хвиль.

Зображення – це поняття доволі багатогранне, це і зорові образи, що сприймаються спостерігачем, і відображення об'єктивно існуючого світу, це проекції об'єктів на площини.

Джерелом телевізійного сигналу може бути будь-яке випромінювання в оптичному діапазоні хвиль, що *випускається*, *пропускається* або *відбивається* від об'єкта, що спостерігається, і його навколишнього середовища. Для відтворення зображення можна використовувати випромінювання лише у вузькому діапазоні хвиль, від 380 до 770 нм, що безпосередньо сприймається оком людини у вигляді світла.

Випромінювання бувають *монохроматичними* і *складними*. Монохроматичними називаються випромінювання, що мають одну визначену довжину хвилі. Складні випромінювання складаються з декількох монохроматичних і характеризуються спектральним розподілом енергії.

Кількісна характеристика джерела випромінювання визначається його колірною температурою. Відповідно до закону Віна, для абсолютно чорного тіла

$$\lambda_0 = \frac{2896}{T},$$

де λ_0 – довжина хвилі, мкм, що відповідає максимуму випромінювання абсолютно чорного тіла;

Т – його абсолютна температура, К.

Колірною температурою ($T_к$) випромінювання даного джерела називається та дійсна температура, до якої необхідно нагріти абсолютно чорне тіло, щоб отримати випромінювання того ж кольору. Для фотометрії і колориметрії стандартизовано чотири джерела світла: А ($T_к$ = 2854 К), В ($T_к$=4800 К), С ($T_к$=6500 К) і рівноенергетичне джерело Е. Спектральні щільності випромінювання (P_λ) для цих джерел наведено на рисунку 2.1.

Для оцінки випромінювання користуються *енергетичними* й *ефективними* величинами. Система ефективних величин будується на основі спектральної чутливості зразкового приймача. Найбільш розповсюдженою системою ефективних величин є система світлових величин, яка побудована на основі спектральної чутливості ока стандартного спостерігача, що відіграє роль зразкового приймача.

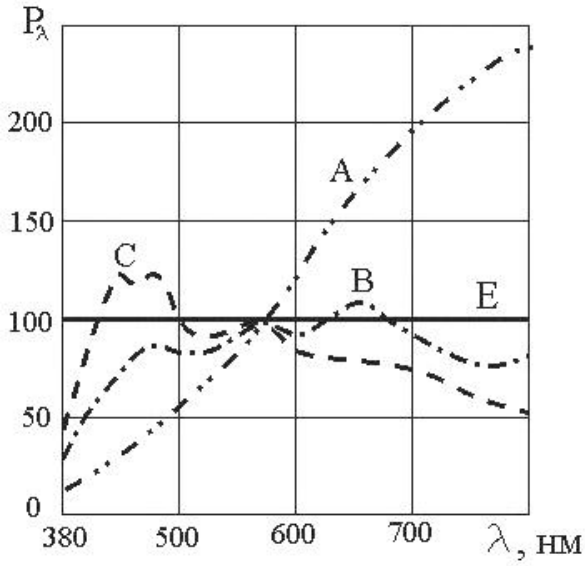


Рисунок 2.1 – Спектральні щільності випромінювання стандартизованих джерел випромінювання

1) *Світловий потік* – потік випромінювання, що оцінюється за зоровим відчуттям:

$$\Phi = I\Omega \text{ (Лм) (люмен)},$$

де I – сила світла, (Кд) (кандела);

Ω – тілесний кут, який охоплює потік випромінювання, (ср) (стерадіан).

2) *Сила світла* є основною одиницею, оскільки вона еталована. Сила світла характеризує просторову густину світлового потоку:

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \text{ (Кд)}.$$

3) *Яскравість* характеризує поверхню, що світиться, і визначається відношенням сили світла dI_φ, що випромінюється в даному напрямку, до площини dS (рисунок 2.2):

$$L_\varphi = \frac{dI_\varphi}{dS \cdot \cos\varphi} \text{ (Кд/м}^2\text{)}.$$

Якщо розподіл сили світла поверхневого джерела не залежить від кута спостереження, то такі випромінювачі характеризуються рівною яскравістю, тобто $L_\varphi = I_0/S = L_0$. Цій обставині підчиняється абсолютно чорне тіло, з деяким наближенням гіпс, полотно, молочне скло.

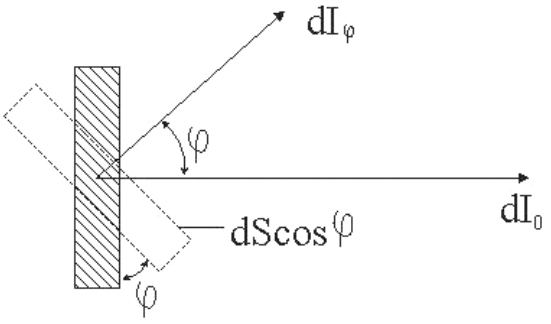


Рисунок 2.2 – Приклад розподілу сили світла

4) *Освітленість* характеризується поверхневою густиною світлового потоку $d\Phi$ на опромінюваній поверхні dS:

$$E = \frac{d\Phi}{dS} \text{ (Лк)}.$$

Приклади: мінімальна освітленість для читання – 20 Лк; добре освітлене приміщення – 100–700 Лк; кіноекран – 40–200 Лк; предмети в тіні в сонячний день – 10^3 Лк; пляж – 10^5 Лк.

5) Світлова експозиція характеризується величиною світлового потоку, що припадає на одиницю площі поверхні тіла, яке освітлюється, за час $t_2 - t_1$

$$H = \int_{t_1}^{t_2} E_t dt \text{ (Лк·с)}.$$

2.2 Закони зорового сприйняття

Вивчення зорової системи людини в рамках дисципліни, що вивчається, викликане двома обставинами:

1) необхідністю правильного узгодження характеристик ТВС з характеристиками зорової системи в тих випадках, коли сформоване на виході ТВС зображення призначається для сприйняття оком людини;

2) механізми зорового сприйняття є хорошими прикладами процедур обробки візуальної інформації і можуть служити джерелами ідей для побудови і оптимізації аналогічних технічних систем обробки зображень.

Око людини (рисунок 2.3) являє собою *склоподібне тіло* 1, поміщене в непрозору оболонку – *склеру* 2, яка в передній частині переходить у прозору *роговицю* 3. За роговицею розташована *райдужна оболонка* 4 з отвором в центрі – *зіницею*, а за нею – *хрусталик* 5. Простір між роговицею і хрусталиком заповнений рідиною. Все це разом утворює оптичну

систему ока, за допомогою якої зображення проектується на внутрішню поверхню склери, яка покрита світлочутливою оболонкою 6, що називається *сітчаткою*. Сітчатка містить два види світлочутливих рецепторів – *колбочки* і *палочки*, а також декілька шарів нервових клітин, що зв'язані з ними. Колбочки утворюють *апарат денного зору* і працюють при освітленості більше 0,01 Лк. Палочки утворюють *апарат присмеркового зору* і можуть розпізнати білу поверхню від чорної при освітленості приблизно 0,000001 Лк. Проте апарат денного зору має більш високу розрізнювальну здатність і може розрізняти кольори.

Найбільша щільність розподілу колбочок спостерігається в області *жовтої плями* 7 і її центральному заглибленні – *фовеа* 8. Жовта пляма визначає *область ясного бачення*. *Зорова вісь* 9 ока, яка проходить від фовеа через центр хрусталика до об'єкта спостереження, відхиляється приблизно на 5˚ від *оптичної осі* 10, що співпадає з віссю симетрії оптичної системи ока. *Зоровий нерв* 11 з'єднує сітчатку з корою головного мозку.

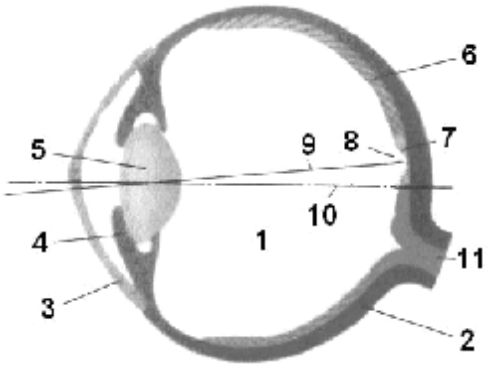


Рисунок 2.3 – Будова ока людини

Механізм зорової системи в цілому далеко не відомий. Функції оптичної системи й аналізатора зображення виконує око (рисунок 2.4).

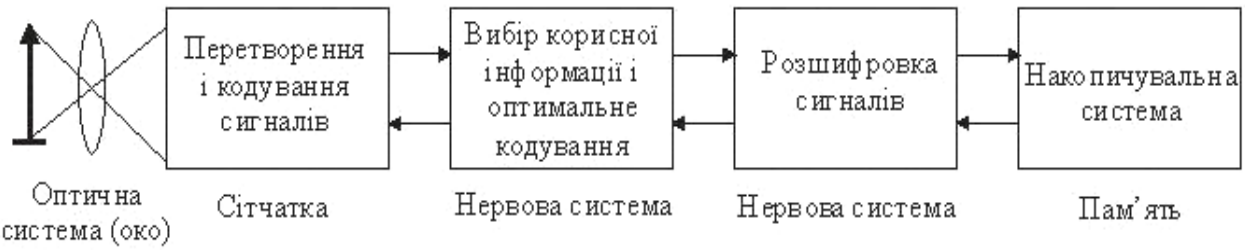


Рисунок 2.4 – Структурна схема зорової системи

Сітчатка ока трансформує оптичну інформацію сформованого на ній зображення в інформацію у формі біострумів і здійснює її аналіз і кодування. В нервовій системі, яка з'єднує сітчатку з корою головного

мозку, забезпечується її подальша обробка: вибір корисної інформації, оптимальне кодування і передача до клітин головного мозку. Тут шляхом порівняння з накопиченими раніше відомостями відбувається декодування, тобто розпізнавання образів. Відомості про нові образи надходять у систему пам'яті, тобто накопичувальну систему.

З позиції ТВС нас цікавить функція ока як приймача зовнішнього подразнення.

Пропускна здатність зорової системи може бути визначена експериментально: $C_{зор} = I_{max}/T_p$ (відношення максимальної інформації до часу розпізнавання одного образу).

Правильно розпізнані образи: 50...70 дв.од./с.

Швидкість при читанні 30...40 дв.од./с.

Складання двох однозначних чисел 12 дв.од./с.

Віднімання двох однозначних чисел 3 дв.од./с.

Зорова система дозволяє:

- визначати простір за рахунок ефекту паралакса (поріг глибинного зору 10''–20'');
- відношення мінімальної і максимальної яскравості зорової системи може досягати $10^{11}...10^{12}$ і не завжди постійне;
- мінімальний кут розрізнення ока становить $\gamma_{min} = 1{,}5'$;
- величина, зворотна до кута розрізнення, називається *гостротою зору*. Вона суттєво залежить від поєднання кольорів, контрасту між деталями зображення та фоном, а також від яскравості фону (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – **Залежність відносної гостроти зору від поєднання кольорів**

Поєднання кольорів	Відносна гострота зору
Чорно-біле	100 %
Чорно-зелене	94 %
Чорно-червоне	90 %
Зелено-червоне	40 %
Чорно-синє	26 %
Червоно-синє	23 %
Зелено-синє	19 %

$Контраст = L_{max}/L_{min}$. В природі К ~ 10^5. Око не здатне одночасно розрізняти весь цей діапазон (К ~ 100).

На світлому фоні зі зменшенням контрасту і яскравості фону $L_ф$ гострота зору падає.

2.3 Частота кадрової розгортки і яскравість зображення

При впливі імпульсу світла на око інтенсивність зорового відчуття зростає і спадає не миттєво. Частота кадрової розгортки буде залежати від яскравості джерела випромінювання, від шпаруватості імпульсів слідування. Час наростання інтенсивності зорового відчуття становить приблизно 10 мс, час спаду – 200 мс.

Наявність інерційності зору призводить до суцільного сприйняття (відсутності мерехтіння) серії світлових імпульсів, якщо їх частота повторення вище деякої критичної.

Частота, починаючи з якої випромінювання імпульсного джерела здається неперервним, називається *критичною частотою мерехтіння*:

$$f_{кр} = a \lg L + b,$$

де L – яскравість в кд/м^2;

a і b – параметри, що залежать від шпаруватості. При шпаруватості 0,5, наприклад, a = 10, b = 30.

На рисунку 2.5 показані передні τ_1 і задні τ_2 фронти, де $\tau_1 = 10$ мс – час наростання сприйняття світла; $\tau_2 = 200$ мс – час спаду сприйняття світла.

При підвищенні частоти спалахів за рахунок великого τ_2 світло сигналу здається неперервним. На рисунку 2.6 показана залежність критичної частоти від яскравості світіння.

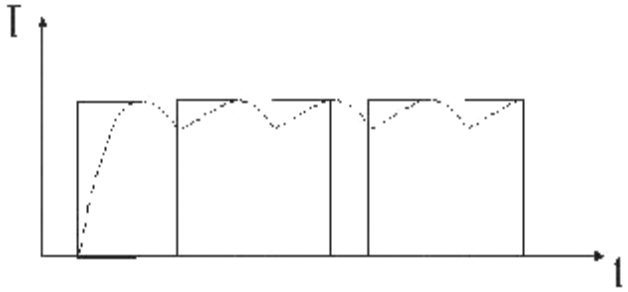


Рисунок 2.5 –Принцип суцільного сприйняття серії світлових імпульсів

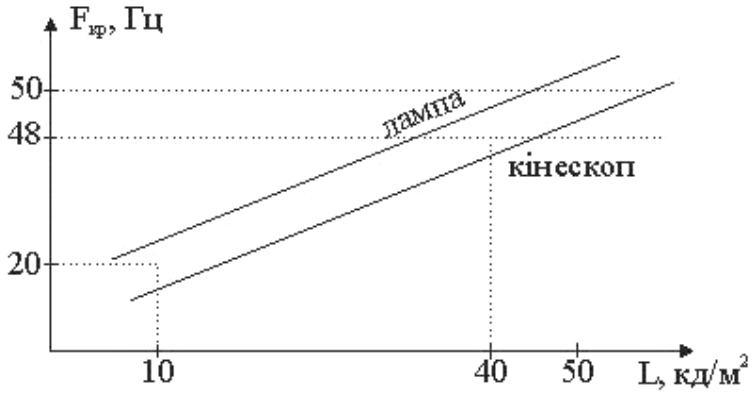


Рисунок 2.6 – Залежність критичної частоти від яскравості світіння

Сформулюємо декілька законів щодо сприйняття яскравості.

Закон Тальбота

Згідно із законом Тальбота, для отримання видимої яскравості $L_{вид}$ необхідна в три рази більша яскравість (рисунок 2.7):

$$L_{вид} \approx \frac{1}{3} L_{max} \quad \left(L_{max} \approx 120 \frac{кд}{м^2} \right),$$

$$L_{вид} = \frac{1}{T} \int_0^T L(t) dt .$$

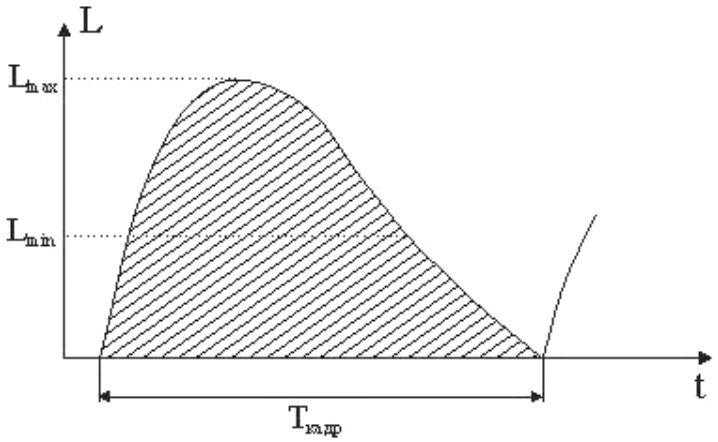


Рисунок 2.7 – Принцип формування видимої яскравості

Висока яскравість світіння (в три рази більша, ніж видима) потребує застосування для живлення кінескопа високовольтних живильних напруг, що надають променю необхідну енергію (кольорове ТБ – 24 кВ; ч/б – 16–18 кВ; переносні телевізори – 6–10 кВ).

Закон Фехнера

Згідно із законом Фехнера, мінімально розрізнюваний перепад яскравостей ΔL пропорційний середній яскравості зображення L, тобто $\frac{\Delta L}{L} \approx const$.

З підвищенням яскравості L око розрізнює все менший перепад яскравості. Проте, починаючи приблизно з $30 кд/м^2$, чутливість ока досягає максимального значення і далі не зростає (рисунок 2.8).

Мінімальну розрізнювальну чутливість ока $\delta = 0{,}03$ називають ***контрастною чутливістю ока.***

$L_1 = L_{min}(1+\delta)$, $L_2 = L_1(1+\delta)$.

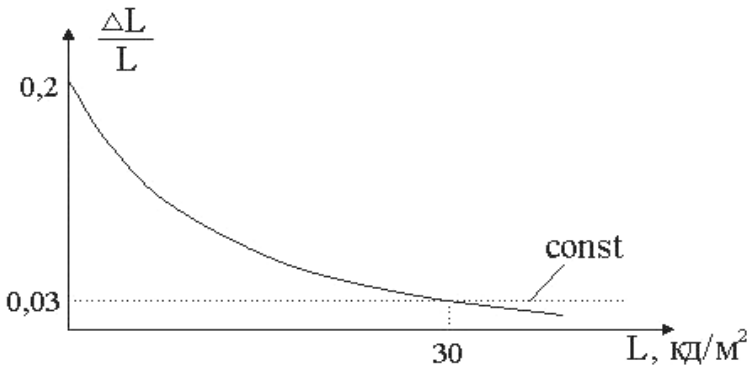


Рисунок 2.8 – Ілюстрація закону Фехнера

Якщо контрастність $K = 40$, $\delta = 0{,}03$, тоді кількість градацій яскравості

$$m = \frac{2{,}31 \lg K}{\delta} \Rightarrow m = 80.$$

Тобто при контрастності $K = 40$ і яскравості екрана більше $30 кд/м^2$ око може розрізняти на екрані $m = 80$ градацій яскравості.

Для вимірювання кількості градацій яскравості, що відтворюються ТВ приймачем, використовують телевізійну випробувальну таблицю (ТВТ), до складу якої введено 8 смуг, яскравість кожної з яких вдвічі більша попередньої.

Якісним вважається той телевізор, у якому можна розрізнити 7 і 8 смуги (залежить від якості кінескопа, яка погіршується у міру старіння).

2.4 Сприйняття кольору

Вплив на око світлового випромінювання визначеної довжини хвилі відчувається у вигляді кольору. Короткохвильовій межі світлового діапазону відповідає фіолетовий колір, який із підвищенням довжини хвилі поступово переходить у синій, потім у голубий, зелений, жовтий, оранжевий і, насамкінець, червоний, що замикає довгохвильову межу світлового діапазону.

Відносна спектральна чутливість ока (рисунок 2.9) має максимум на хвилі 555 нм, що відповідає жовто-зеленому кольору, і спадає при віддаленні від цієї ділянки, практично досягаючи нуля при довжинах хвиль 380 і 770–800 нм. Інша чутливість ока до основних кольорів R, G, B наведена на рисунку 2.10.

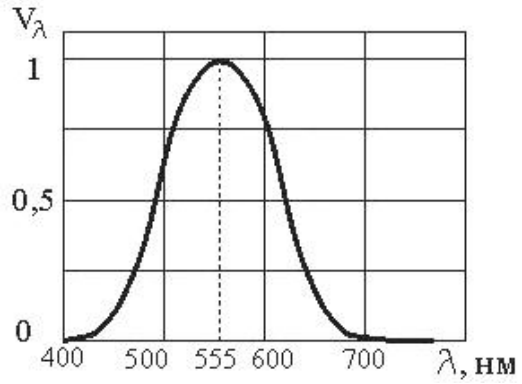


Рисунок 2.9 – Залежність відносної спектральної чутливості ока від довжини хвилі

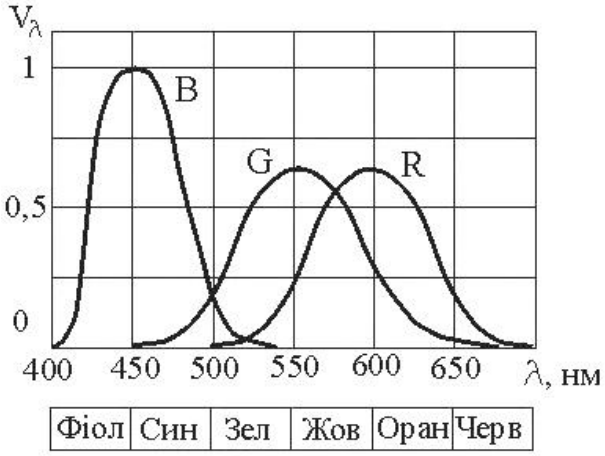


Рисунок 2.10 – Криві чутливості ока до основних кольорів R, G, B

Колір може оцінюватися суб'єктивно і об'єктивно.

Суб'єктивно колір оцінюється *світлістю*, *колірним тоном* і *насиченістю колірного тону*. Наприклад, білий, світло-сірий і темно-сірий кольори відрізняються світлістю, жовтий і зелений – колірним тоном, червоний і рожевий – насиченістю.

Суб'єктивні характеристики дають лише якісну оцінку випромінювання.

Для ***об'єктивної*** характеристики кольору *світлість* оцінюють за *яскравістю*; *колірний тон* – за *домінуючою довжиною хвилі*, тобто за довжиною хвилі того спектрального кольору, який при змішуванні у певній пропорції з білим забезпечує зорову тотожність кольору суміші з кольором досліджуваного випромінювання; *насиченість* – за *чистотою кольору* p, під якою розуміють частку спектрального кольору (для якого p = 1), яка забезпечує в суміші з білим (для якого p = 0) зорову тотожність із досліджуваним випромінюванням.

У зоровому апараті поруч з адаптацією за яскравістю існує і колірна адаптація. Вона виражається в тому, що колір, на який адаптується око, немов вицвітає. Це призводить до зміни кольору в результаті попереднього впливу на око інших кольорів (*послідовний колірний контраст*), або при зміні кольору фону (*одночасний колірний контраст*). Наприклад, сіре на червоному набуває зеленуватого відтінку, а на синьому – жовтуватого і т. д.

Характерним є і те, що в будь-яких умовах освітлення (свічка, лампа розжарювання, денне світло) білі деталі завжди легко впізнаються, оскільки вони найсвітліші, а вже відносно їх око оцінює всі інші кольори. Це явище називається *контрастністю кольору*, або *поправкою на освітлення*, і відіграє важливу роль у пристосуванні зору до різноманітних умов освітлення.

Здатність апарату денного зору розрізняти кольори пояснюється наявністю трьох груп колбочок. Вважають, що одна з груп чутлива до червоного, друга – до синього, а третя – до зеленого кольору. Сукупність подразнення цих груп світлочутливих елементів створює враження даного кольору.

На основі цих уявлень створена трикомпонентна теорія кольору, що добре виправдала себе на практиці.

2.5 Елементи колориметрії

Наука про вимірювання і кількісний вираз кольору називається ***колориметрією.***

Колориметрією встановлено, що монохроматичне випромінювання з визначеною довжиною хвилі завжди створює цілком визначене відчуття кольору, наприклад, випромінювання з довжиною хвилі $\lambda = 580\,\text{нм}$ сприймається як жовтий колір, $\lambda = 530\,\text{нм}$ – як зелений, $\lambda = 700\,\text{нм}$ – як червоний і т. д.

Проте, якщо є джерело жовтого кольору, це ще не означає, що його довжина хвилі становить 580 нм. Існує багато спектральних складів, які можуть викликати відчуття однакового кольору – *метамерні кольори*.

Є два методи утворення кольору:

1) *Субтрактивний* (віднімальний). Приклад: якщо сонячне світло пропустити послідовно через жовтий і блакитний світлофільтри, то світловий потік, який залишився, буде зеленим.

2) *Адитивний*, при якому відбувається змішування (додавання) світлових потоків від кількох джерел. Він становить найбільший інтерес для телебачення.

Розрізняють три способи змішування кольорів: *локальний*, *бінокулярний* і *просторовий*.

Локальне змішування можна одержати, наприклад, направляючи на білий екран світло від декількох джерел випромінювання (рисунок 2.11). Результуючий колір на екрані буде залежати від кольору й інтенсивності випромінювань, що змішуються.

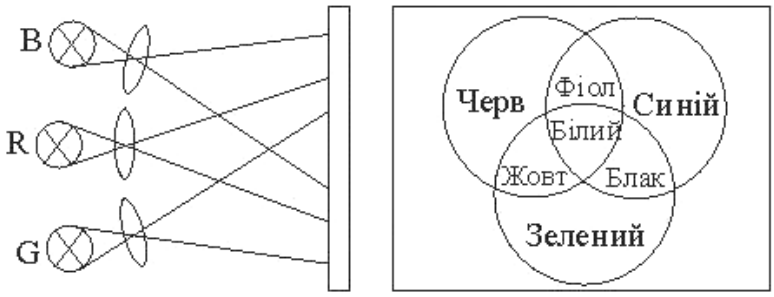


Рисунок 2.11 – Приклад локального змішування кольорів

При бінокулярному змішуванні на одне око діє світловий потік одного кольору, а на друге – іншого кольору (рисунок 2.12). У зоровому апараті при цьому виникає відчуття кольору суміші цих випромінювань.

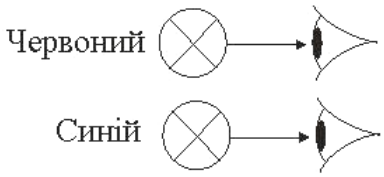


Рисунок 2.12 – Приклад бінокулярного змішування кольорів

Просторове змішування кольорів ґрунтується на злитому сприйнятті різнокольорових точок, штрихів, смуг, кутові розміри яких менше кута розрізнення ока (рисунок 2.13).

Рисунок 2.13 – Приклад просторового змішування кольорів

Можливе *послідовне* й *одночасне* додавання кольорів. При одночасному додаванні світлові потоки, що змішуються, подаються спостерігачеві одночасно (наприклад локальне змішування кольорів), а при послідовному – один за одним, але з частотою, що вище критичної, щоб не були помітні мерехтіння.

Послідовне змішування можна проілюструвати за допомогою диска Максвела (рисунок 2.14). При досить швидкому обертанні видимий колір диска буде залежати від кольору і кутових розмірів його секторів.

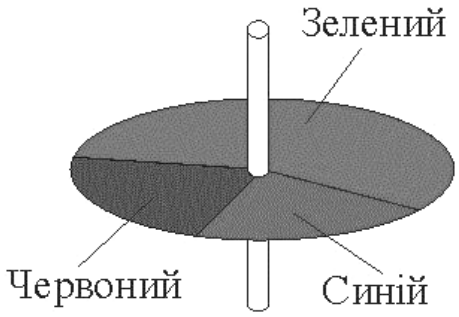


Рисунок 2.14 – Диск Максвела

2.6 Основні закони змішування кольорів

Існують ***три основні закони змішування кольорів***:

1. Будь-які чотири кольори знаходяться в лінійній залежності, однак існує необмежена кількість комбінацій із трьох кольорів, що є лінійно незалежними. Тобто, змішуючи два кольори, неможливо отримати третій.
2. Безперервній зміні випромінювання відповідає безперервна зміна кольору.
3. Колір суміші залежить тільки від кольору компонентів, що змішуються, і не залежить від способу їх одержання, зокрема від їхнього спектрального складу.

В ТБ широко використовується джерело білого кольору С, що відповідає денному освітленню:

$$C = 0{,}3R + 0{,}59G + 0{,}11B.$$

В 1931 р. Міжнародна комісія по освітленню (МКО) стандартизувала кольори: $R : \lambda = 700$нм; $G : \lambda = 546{,}1$нм; $B : \lambda = 435{,}8$нм.

Оскільки колір – тривимірна величина, то він може бути представлений вектором у тривимірному просторі (рисунок 2.15). При цьому довжина вектора – кількість кольору, а напрямок – якість (кольоровість).

Будь-який колір при виконанні колірних розрахунків можна представити у вигляді довільного кольору D:

$$D = rR + gG + bB,$$

де r, g, b – триколірні коефіцієнти і $r + g + b = 1$.

Кольоровість – двовимірна величина, оскільки визначається двома з коефіцієнтів.

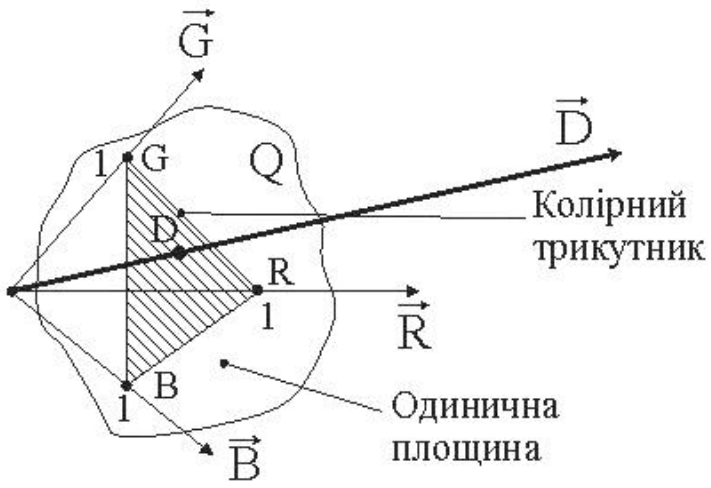


Рисунок 2.15 – Представлення кольору у тривимірному просторі

Пропорційна зміна r, g, b не змінює кольору, змінюється тільки яскравість.

Будь-якій точці на площині відповідає визначена кольоровість.

Прийнятий у колориметрії принцип незалежних від яскравості кольорів є лише компромісом між зручністю математичної моделі і даними практичних спостережень: відомо, що при зменшенні яскравості червоні кольори сприймаються коричневими, жовті червоніють, блакитні синіють тощо.

Для вивчення законів змішування кольорів у колориметрії використовують колірний графік – це прямокутний трикутник, в середині якого розміщена фігура – *локус* (рисунок 2.16).

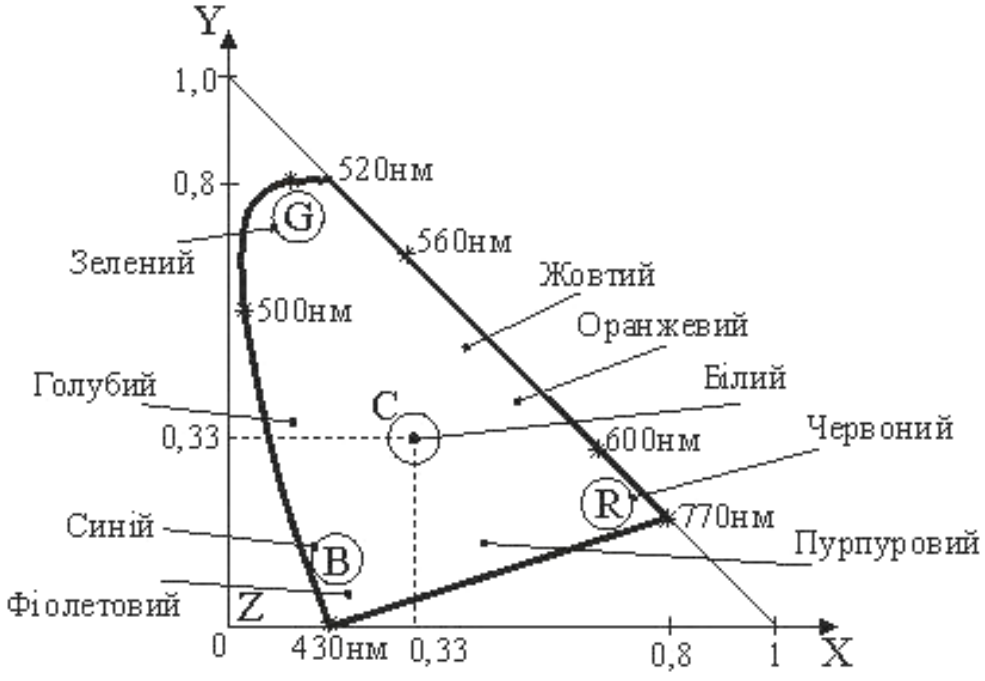


Рисунок 2.16 – Колірний графік

Колірний графік, зображений на рисунку 2.16, є графіком Міжнародної колориметричної системи МКО, яка була прийнята на Міжнародному конгресі, що відбувся в 1931 р. у Кембриджі.

Графік кольоровості побудований таким чином, що зовнішня його крива (локус) відповідає абсолютно чистим колірним тонам (насиченість 100%). По периметру локусу відмічені довжини хвиль у нанометрах, що відповідають насиченим спектральним кольорам. Локус має дві характерні точки фіолетового і червоного кольорів, що відповідають крайнім значенням довжини хвилі видимого світла. Між цими крапками по прямій розташовані пурпурні кольори.Насиченість убуває при русі до білого кольору С, який розташований у центрі. Для білого кольору $X = Y = 0{,}33$.

Взаємне розташування кольорів підпорядковується законам змішування кольорів. При цьому кожні два кольори, що є додатковими, розташовуються діаметрально протилежно відносно білого.

Контрольні питання до розділу

1. Поняття зображення та джерела сигналу.
2. Монохроматичні і складні випромінювання.
3. Визначення колірної температури та її застосування.
4. Поняття колориметрії. Елементи фотометрії, основні енергетичні величини. Поняття світлового потоку, сили світла, яскравості, освітленості, світлової експозиції.
5. Основні закони зорового сприйняття. Зорова система людини як прототип технічних систем.
6. Характеристика структурної схеми зорової системи.
7. Поняття гостроти зору та її визначення.
8. Інерційність зорового сприйняття. Критична частота, яскравість зображення і частота кадрової розгортки.
9. Закони Тальбота і Фехнера.
10. Сприйняття кольору. Об'єктивна і суб'єктивна оцінка кольору.
11. Відносна спектральна чутливість ока.
12. Поняття послідовного й одночасного кольорового контрасту.
13. Основні методи утворення кольору: субтрактивний і адитивний.
14. Способи змішування кольорів: локальний, бінокулярний, просторовий.
15. Основні закони змішування кольорів.
16. Практичне використання кольорового графіка, фігура-локус.

РОЗДІЛ 3

ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ТЕЛЕБАЧЕННЯ. ДАВАЧІ ТЕЛЕВІЗІЙНИХ СИГНАЛІВ

3.1 Класифікація давачів ТВ сигналів

Давачі ТВ сигналів призначені для перетворення двовимірного оптичного зображення в електричний сигнал. Прилади розділяють на три групи:

- передавальні ТВ трубки;
- пристрої з біжучим променем;
- твердотільні фотоелектричні перетворювачі.

Передавальні трубки – найбільш розповсюджена група фотоелектричних перетворювачів. Це електровакуумні прилади з використанням розгортки зображення електронним променем. Працюють за принципом накопичення світлової енергії у вигляді електричних зарядів на мішені трубки.

Існує декілька типів класифікації передавальних трубок:

1) з внутрішнім та зовнішнім фотоефектом;

2) з накопиченням сигналу і без накопичення;

3) вакуумні і твердотільні;

4) монохроматичні і кольорові.

Найбільш характерні для цієї групи приладів трубки з *вторинно-емісійним*, *фотопровідним* та *фотодіодним* накопичувачами.

Типовим прикладом з вторинно-емісійним накопиченням є суперіконоскоп, суперортикон (ці два типи трубок вже не використовуються), суперізокон (тільки для наукових цілей, мають велику вихідну напругу і динамічний діапазон).

В ТВ пристроях використовують давачі з фотопровідним накопичувачем (це різноманітні варіанти *відіконів*) і фотодіодним накопиченням (*плюмбікон* і *кремнікон*).

Трубки з накопиченням мають високу чутливість, універсальність, працюють у різноманітних умовах освітленості, як у межах світлового діапазону, так і за його межами.

Існують трубки миттєвої дії – *дисектори*, які характеризуються високою лінійністю світлової характеристики, але мають низьку чутливість.

Пристрої з біжучим променем використовують у спеціалізованих і телепроекційних системах.

Твердотільні фотоелектричні перетворювачі (ФЕП) на основі МОН давачів і приладів із зарядовим зв'язком (ПЗЗ) впроваджені в 70-х роках XX ст. Це малі розміри і високі технічні показники. Дозволяють допускати багатоканальне зчитування і багато видів обробки ТВ зображень.

3.2 Принцип накопичення світлової енергії

В системах миттєвої дії фотоелектронна емісія з кожного елемента зображення використовується тільки протягом інтервалу часу, що відповідає часу комутації цього елемента. Світлова енергія, яка діє на елемент зображення в проміжках між комутаціями, в утворенні сигналу зображення участі не бере.

Ефективність використання світлового потоку в цих системах зворотно пропорційна кількості елементів розкладу.

Підвищити ефективність можна при використані принципу накопичення заряду (світлова енергія, яка опромінює елемент зображення в міжкомутаційний період, не зникає безкорисно, а накопичується на елементі).

Починаючи з іконоскопа, у всіх наступних передавальних телевізійних трубках реалізований принцип накопичення зарядів. Відмінною рисою пристроїв із накопиченням зарядів є наявність накопичувальної ємності C_E (рисунок 3.1).

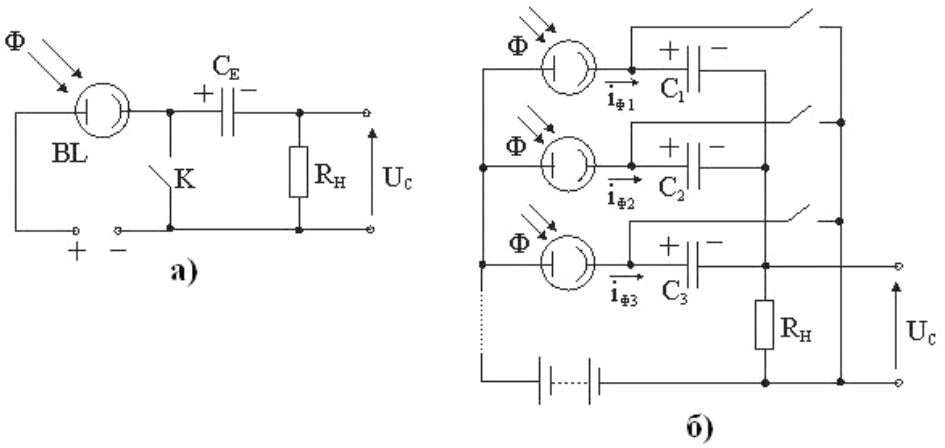


Рисунок 3.1 – Еквівалентна схема: а) елемента зображення; б) мозаїки з фотоелементів

Ємність кожного елемента C_E накопичує заряд (наприклад за рахунок фотоемісії) за час кадру $T_п$.

Нехай заряд конденсатора відбувається в режимі насичення фотоструму, тобто при сталому режимі:

$$I_з = I_ф = S_\Sigma \Phi_E = \text{const},$$

де S_Σ – інтегральна чутливість фотоелемента;

Φ_E – світловий потік

У даному режимі збільшення світлового потоку супроводжується збільшенням фотоструму. Тому елементи, що мають різну освітленість, одержують різні заряди.

Напруга, накопичена на елементарному конденсаторі C_E за час кадру T_n, визначається величиною

$$u_c = \frac{S_\Sigma \Phi_E}{C_E} T_n.$$

Сигнал з елементарного конденсатора утвориться при його розряді комутуючим променем за час t_E.

У момент комутації ключ К замикається, і конденсатор C_E розряджається через навантажувальний резистор R_H за експонентним законом. Допускаючи, що конденсатор за час комутації розряджається цілком, можна визначити середнє значення напруги сигналу:

$$u_{сер} = S_\Sigma \Phi_E R_H \frac{T_n}{t_E}.$$

Порівнюючи сигнали в системах з накопиченням зарядів і в системах миттєвої дії (без елементарних ємностей), можна визначити виграш, забезпечуваний накопиченням зарядів:

$$\frac{u_{сер}}{u_c} = \frac{S_\Sigma \Phi_E R_H \dfrac{T_n}{t_E}}{S_\Sigma \Phi_E R_H} = \frac{T_n}{t_E} = N.$$

Таким чином, в ідеальному випадку накопичення збільшує напругу сигналу в N разів, що дорівнює кількості елементів розкладання. У реальних приладах такий виграш одержати не вдається.

3.3 Потенціал ізольованої мішені

Мішень у вакуумному приладі під дією бомбардування пучком електронів емітує вторинні електрони. У випадку ізольованої мішені процес вторинної емісії має свої особливості.

Мішені передавальних телевізійних трубок і люмінофорних екранів кінескопів мають відносно високий питомий опір (близько $10^8 - 10^{14}$ Ом · см). Тому ділянку поверхні під променем можна вважати ізольованою від іншої частини поверхні всіх електродів електронно-променевого приладу.

Розглянемо процес вторинної електронної емісії у вакуумному приладі (рисунок 3.2), що містить електронний прожектор (який складається з підігрівного катода К і анода А) і мішень М з ізольованим шаром. Анод прожектора служить одночасно колектором вторинних електронів.

Процес вторинної електронної емісії характеризується залежністю коефіцієнта вторинної електронної емісії σ від енергії первинних електронів (рисунок 3.3). Коефіцієнт σ являє собою відношення кількості вторинних електронів n_2 до кількості первинних n_1: $\sigma = n_2/n_1$ – та експериментально визначається відношенням струмів: $\sigma = i_2/i_1$.

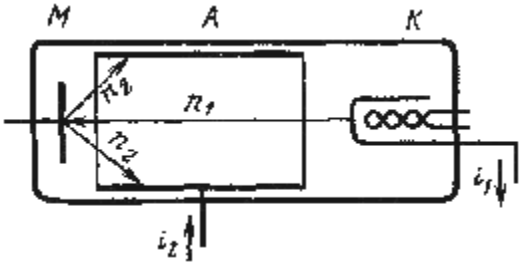


Рисунок 3.2 – Вакуумний прилад

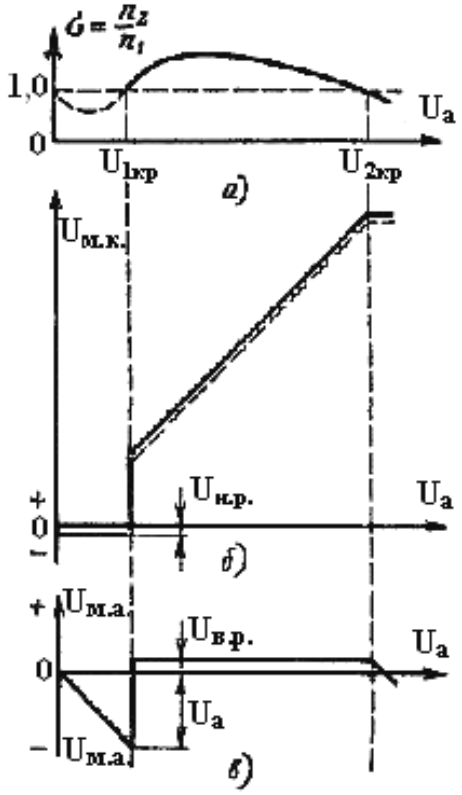


Рисунок 3.3 – а) залежність коефіцієнта вторинної електронної емісії від енергії первинних електронів; б) потенціал мішені відносно катода; в) потенціал мішені відносно анода

Коефіцієнт σ залежить від енергії первинних електронів, що визначається напругою прискорення U_a, і властивостей поверхні мішені. При визначених значеннях U_a коефіцієнт $\sigma=1$. Напругу прискорення $U_{1кр}$ називають *першою критичною напругою*, а $U_{2кр}$ – *другою критичною напругою*. Різним матеріалам відповідають різні напруги $U_{1кр}$ і $U_{2кр}$.

• Область напруг від 0 до $U_{1кр}$ умовно називають *областю повільних електронів*; у цій області $\sigma<1$. Мішень, що бомбардується в режимі повільних електронів, набуває під променем потенціалу $U_{м.к.}$, що дорівнює потенціалові катода. У дійсності мішень набуває нижнього рівноважного потенціалу $U_{н.р.}$, який на 1–1,5 В нижчий, що визначається законом розподілу початкових швидкостей первинних електронів при їхньому вильоті з термокатода. Режим повільних електронів використовується при розгортці мішеней у передавальних трубках типу суперортикон і відікон.

• Область напруг від $U_{1кр}$ до $U_{2кр}$ називають *областю швидких електронів*; у цій області $\sigma>1$. Мішень у режимі бомбардування швидкими електронами під променем здобуває потенціал $U_{м.а.}$, що дорівнює потенціалу анода. Однак наявність початкових швидкостей вторинних електронів приводить до того, що поверхня мішені набуває верхнього рівноважного потенціалу $U_{в.р.}$, що приблизно на 3 В вищий, ніж потенціал анода. Режим «швидких» електронів використовується в приймальних трубках, а режим «швидких» і «повільних» електронів – в передавальних.

• Область напруг $U_a > U_{2кр}$ називають *областю граничних потенціалів*. Ця область у телевізійних електронно-променевих приладах, як правило, не використовується.

3.4 Зовнішній фотоефект

Фотоефект (відкрив Столєтов у кінці XIX ст.) – світлове випромінювання, яке падає на металічний катод, викликає виділення (емітування) електронів або фотоелектронів (рисунок 3.4).

Зі збільшенням довжини хвилі λ випромінювання фотоемісія зменшується ($\lambda_{чер}$ – червона межа).

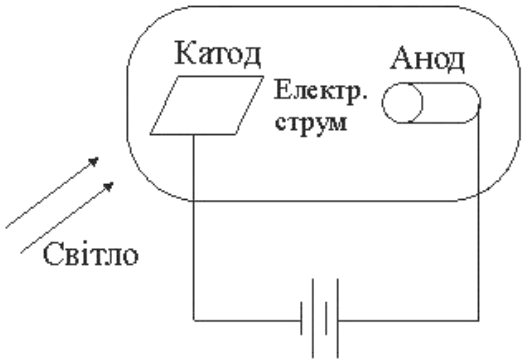


Рисунок 3.4. – Явище фотоефекту у вакуумному приладі

Цей ефект пояснив Ейнштейн, припустивши, що світло передається не неперервною ЕМХ (електромагнітною хвилею), а має корпускулярну структуру, тобто складається з фотонів:

$$h\nu = A_{вих} + \frac{m_e V_c^2}{2},$$

де $E = h\nu$ – енергія фотона;

$h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Дж $\cdot$ с – постійна Планка;

ν – частота;

$A_{вих}$ – робота виходу фотоелектронів з металу.

Зі збільшенням λ ($\nu\downarrow$) енергія є недостатньою для виконання виходу електронів із металу. При виготовленні катодів $A_{вих}$ намагаються зменшити.

Основні типи і характеристики фотокатодів (ФК)

Створено 25 основних типів, які почергово називаються $S1 \div S25$ ($C1 \div C25$).

Найбільш розповсюджені:

$S1$ – киснево-срібно-цезієвий;

$S2$ – сурмово-цезієвий;

$S3$ – багатолуговий.

Відносна спектральна чутливість ФК (S'_λ) – показує силу ходу струму, що припадає на кожний ватт енергії випромінювання, яке має довжину хвилі λ (рисунок 3.5):

$$S_\lambda = I\left(А/м^2\right) \Big/ E\left(Вт/м^2\right), \left[А/Вт\right],$$

де $I\left(А/м^2\right)$ – густина струму;

$E\left(Вт/м^2\right)$ – енергія випромінювання.

$$S'_\lambda = \frac{S_\lambda}{S_{\lambda\,max}} \le 1.$$

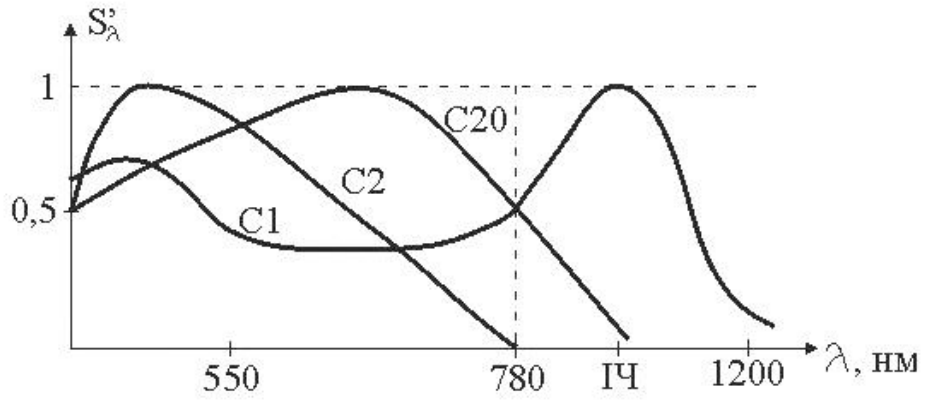


Рисунок 3.5 – Графік відносної спектральної чутливості фотокатодів

На рисунку 3.5 введено наступні позначення:
С1 – історично перший ФК, чутливий до випромінювання лазера;
С2 – ФК, спектральна характеристика якого найбільш близька до чутливості ока (кольорове ТБ);
С20 – сучасний ФК, який використовується в приладах нічного бачення.

При $T \neq 0K$ з поверхні ФК навіть при повному затемненні будуть емітуватися електрони, які отримали енергію за рахунок температури коливань атомів. Струм, який буде при цьому виникати, називається ***темновим струмом*** і є *шумом*.

Методи усунення: 1) охолодження; 2) підбір матеріалу.

3.5 Принцип роботи іконоскопа

Як видно з рисунка 3.6, *іконоскоп* має скляну колбу з горловиною, у якій знаходиться електронний прожектор. Основним елементом іконоскопа є фотомозаїка, що являє собою слюдяну пластинку, на лицьову поверхню якої напилені дрібні крапельки (зерна) срібла, ізольовані одна від одної. Тильна сторона слюдяної пластини покрита суцільним шаром срібла. Цей шар називається *сигнальною пластиною.*

Перед фотомозаїкою встановлене металеве кільце, що відіграє роль колектора фотоелектронів і вторинних електронів. Стосовно колектора кожне зерно фотомозаїки являє собою мікроскопічний фотокатод, а стосовно сигнальної пластини – обкладку мікроскопічного конденсатора.

На горловину надіваються відхиляючі котушки (рядкові і кадрові). Опір навантаження вмикається в ланцюг сигнальної пластини. Оптичне зображення переданого об'єкта проектується на поверхню фотомозаїки через стінку колби. На горловину надіваються відхиляючі котушки (рядкові і кадрові). Опір навантаження вмикається в ланцюг сигнальної пластини. Оптичне зображення переданого об'єкта проектується на поверхню фотомозаїки через стінку колби.

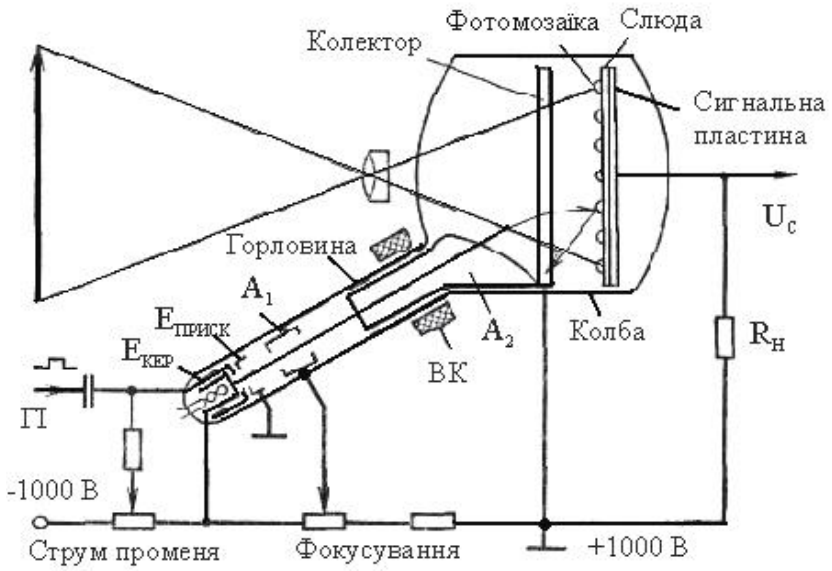


Рисунок 3.6. – Будова іконоскопа

Розглянемо роздільно такі три процеси:

- комутація електронним променем неосвітленої фотомозаїки;
- утворення потенційного рельєфу на фотомозаїці;
- зчитування потенційного рельєфу, записаного на поверхні фотомозаїки, й утворення сигналу зображення.

В дійсності всі ці три процеси проходять одночасно. При відсутності освітлення електронний промінь оббігає поверхню фотомозаїки і, потрапляючи по черзі на всі зерна, вибиває з них вторинні електрони, що спрямовуються до колектора. При цьому зерна фотомозаїки, скомутовані електронним променем, набувають позитивного потенціалу, і між мозаїкою і колектором виникає гальмуюче електричне поле, що перешкоджає подальшому перельоту вторинних електронів із мозаїки на колектор.

Вторинні електрони, що вибиваються електронним променем із фотомозаїки, можна розділити на три групи (рисунок 3.7 а):

I група – найбільш швидкі електрони, здатні перебороти гальмуюче поле і досягти колектора;

II група – найповільніші електрони, не здатні перебороти гальмуюче поле колектора, що призводить до їх падіння назад, на ті зерна, з яких вони вилетіли;

III група – електрони, не здатні перебороти гальмуюче поле колектора, але падаючі на сусідні зерна мозаїки; вторинні електрони III групи, осідаючи на сусідніх зернах, створюють як би «електронний дощ», що безупинно «мрячить» над поверхнею мозаїки і знижує потенціал її зерен.

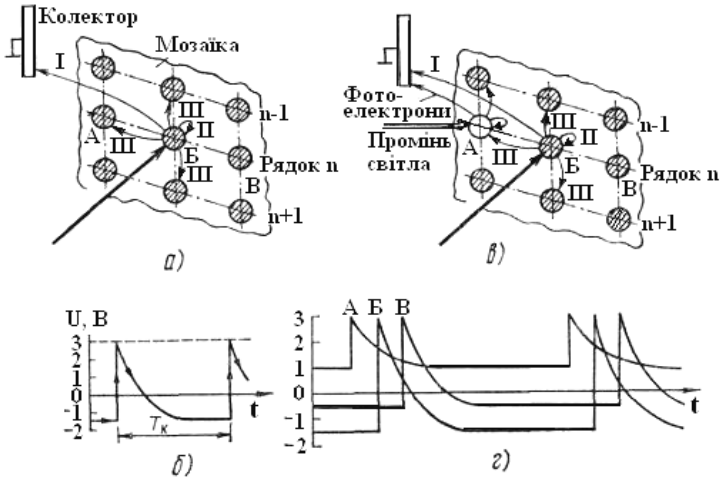


Рисунок 3.7 – Фізичні процеси в іконоскопі:
а) мозаїка неосвітлена; б) графік зміни потенціалу зерна неосвітленої мозаїки; в) мозаїка частково освітлена; г) графік зміни потенціалу зерен з різною освітленістю (А – яскраво освітлене зерно, Б – неосвітлене зерно, В – зерно середньої освітленості)

В момент комутації зерно стрибком здобуває потенціал, що дорівнює +3 В, а потім під дією електронного дощу цей потенціал знижується до значення –1,5 В (рисунок 3.7 б).

Коли на поверхню фотомозаїки спроектовано оптичне зображення, освітлені зерна мозаїки починають випускати фотоелектрони (рисунок 3.7 в). При цьому чим яскравіша ділянка спроектованого зображення, тим більше фотоелектронів вилітає з відповідних зерен. Фотоемісія освітленої мозаїки перешкоджає зниженню потенціалу освітлених зерен, потенціал найбільше яскраво освітлених зерен знижується тільки до +1 В, а потенціал зерен, що мають проміжну освітленість, – до значення в межах від +1 до –1,5 В.

При кожній наступній комутації фотомозаїки (через період кадру) потенціал кожного зерна знову стрибком піднімається до значення +3 В (рисунок 3.7 г). У результаті на поверхні фотомозаїки виникає так званий *потенційний рельєф* – найбільш світлим ділянкам оптичного зображення відповідають більш високі значення потенціалів (близько +1 В, а найбільш темним – найнижчі – близько –1,5 В). Одночасно з цим відбувається заряд елементарних мікроскопічних конденсаторів, утворених зернами і сигнальною пластиною.

Для того щоб перетворити потенційний рельєф на фотомозаїці в сигнал зображення, необхідно по черзі «опитати» усі зерна або, як прийнято в телебаченні, «зчитати» потенційний рельєф.

Процес зчитування здійснюється в моменти комутації електронним променем зерен мозаїки. У моменти комутації зерен відбувається сти-

рання потенційного рельєфу (неосвітлене зерно має потенціал 3 В), тому що потенціал усіх зерен, що комутуються, по черзі доводиться до рівноважного потенціалу +3 В. Але при цьому одночасно відбувається процес дозаряду (або перезаряду) елементарних конденсаторів. Струми дозаряду (перезаряду) проходять через опір навантаження і створюють на ньому сигнал зображення. При комутації слабко освітленого зерна струми перезаряду будуть більшими, ніж при комутації яскраво освітлених зерен, і, отже, полярність сигналу на навантаженні іконоскопа буде негативною.

Перевагами іконоскопа є висока чіткість переданих зображень, мале значення власних шумів, добра передача градацій яскравості, висока стабільність сигналу, великий термін служби.

Недоліки: низька чутливість, трапецеїдальні перекручування растра, явище «чорної плями», великі габарити, незручна форма балона.

3.6 Передавальні телевізійні трубки з фотопровідним накопиченням

Найбільш характерними для цієї групи приладів є відікони.

Відікон – передавальна трубка з мішенню з фотоопору. Матеріалами для мішені служать: аморфний селен, трисіркова сурма (стибніт), з'єднання свинцю, селену, кадмію тощо.

На торцеву внутрішню поверхню *колби* 3 нанесена напівпрозора *сигнальна пластина* 1, яка покрита *шаром фотоопору* 2 – це *мішень* (рисунок 3.8). Перед мішенню встановлена *сітка* 4, яка з'єднана з *другим анодом* 5 і призначена для утворення однорідного електричного поля в області мішені. Комутуючий електронний промінь формується прожектором звичайним способом. Прожектор складається з *оксидного підігрівного катода* 8, *керуючого електрода* 7 і *першого анода* 6. Повздовжнє однорідне магнітне поле для фокусування комутуючого променя утворюється *довгою фокусувальною котушкою* 9. *Відхиляючі котушки* 10 утворюють поперечні магнітні поля в напрямку рядкової і кадрової розгорток. *Корегуючі котушки* 11 призначені для компенсації радіальної складової швидкості електронів, яка викликана неспівпаданням осі електронного прожектора з напрямком магнітних силових ліній довгої фокусувальної котушки.

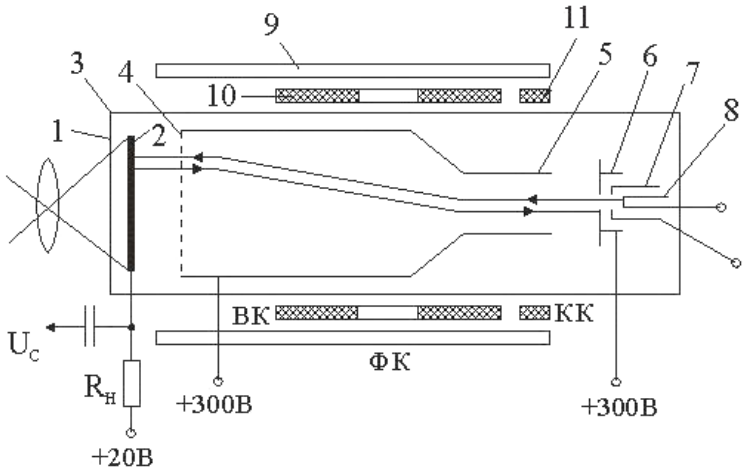


Рисунок 3.8 – Конструкція відікона

Анод іноді виконується розрізаним і складається з двох частин. Це дозволяє проводити динамічне фокусування електронного променя для забезпечення більшої чіткості на краях зображення. Трубка може працювати як у режимі повільних, так і в режимі швидких електронів. У першому випадку на сигнальну пластину подається прискорювальна напруга $U_{с.п.}$ близько +20 В відносно катода.

Утворення сигналу у відіконі

Під дією електронного променя потенціал правої обкладки кожної елементарної ємності мішені C_E доводиться до потенціалу катода (рисунок 3.9). Після відходу променя ємність починає розряджатися через фотоопір R_E, який її шунтує. У зв'язку з цим на освітлених елементах мозаїки конденсатор буде розряджатися швидше, а на затемнених – повільніше ($\tau_{розр} = RC$). Тому до моменту наступного циклу комутації для вирівнювання потенціалу мішені на світлих місцях знадобиться більший струм, ніж на темних.

В режимі швидких електронів на сигнальну пластину подається потенціал, що дорівнює декілька сот вольт відносно катода. При цьому коефіцієнт вторинної емісії мішені більше одиниці, і, відповідно, під дією електронного бомбардування її потенціал зі сторони комутуючого променя встановлюється приблизно рівний потенціалу другого анода, а не катода. В іншому процес утворення сигналу такий самий, як і при комутації мішені променем повільних електронів.

Відікон у режимі розгортки повільними електронами, у порівнянні з режимом розгортки швидкими електронами, забезпечує більш рівномірний сигнал з усієї поверхні фотомішені, має більш високу розрізнювальну здатність на краях растра, потребує меншої освітленості на фотошарі, не утворює паразитного сигналу „чорної плями", відтворює си-

гнал середньої яскравості зображення, потребує в декілька раз менший розмах гасячих імпульсів. Проте в цьому режимі робота відікона найбільш інерційна і критична до змін напруги на сигнальній пластині, більш чутлива до змін освітленості на фотомішені.

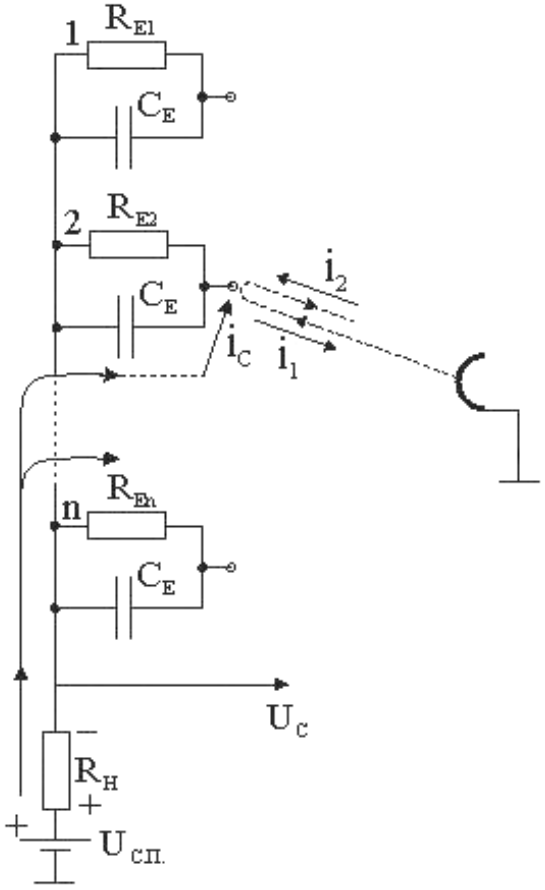


Рисунок 3.9 – Еквівалентна схема мішені відікона

Інерційність відікона

Відікон має відносно велику *інерційність*. Розрізняють два види інерційності – *фотоелектричну* і *комутаційну*.

Перша пов'язана з тим, що явище фотопровідності є інерційним, тому при зміні освітленості мішені відповідна зміна провідності здійснюється за кінцевий проміжок часу. Вона залежить від матеріалу фотопровідника, який застосовується, кількості домішок у ньому, технології виготовлення і рівня освітленості.

Комутаційна інерційність пов'язана з недостатньою величиною струму електронного променя. Внаслідок цього за один цикл зчитування потенційний рельєф знімається не повністю. Залишковий сигнал від декількох попередніх кадрів при передачі рухомих об'єктів створює нечіткість (розмитість) зображення. Збільшення струму променя призводить до втрати роздільної здатності відікона, тому такий спосіб усунен-

ня комутаційної інерційності неприпустимий. Комутаційна інерційність зменшується при розгортці фотомішені в режимі швидких електронів.

Характеристики відікона

1) *Спектральна характеристика* – визначається властивостями фотомішені. Є відікони, чутливі до інфрачервоного, видимого, ультрафіолетового і рентгенівського випромінювання (рисунок 3.10).

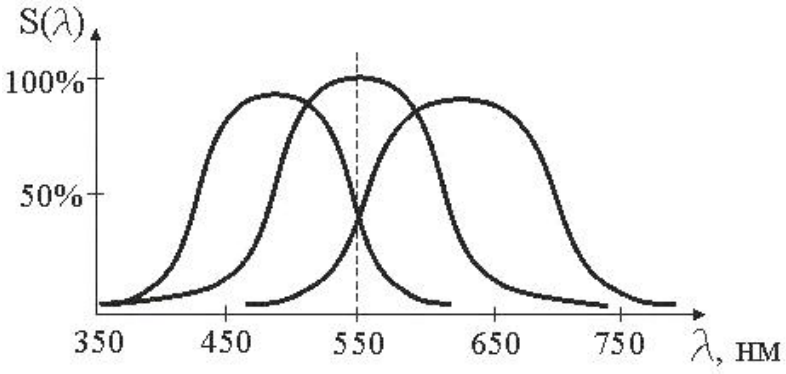


Рисунок 3.10. – Спектральні характеристики відіконів

2) *Світлова характеристика* – визначається залежністю фотопровідності мішені від освітленості $R = f(E)$ і зарядом елементарного конденсатора C_E (рисунок 3.11). Заряд, у свою чергу, залежить від напруги на сигнальній пластині $U_{с.п.}$:

$$U_{с.п.1} > U_{с.п.2} > U_{с.п.3}.$$

Залежність $i_c = f(E)$ – нелінійна, і нелінійність залежить від напруги сигнальної пластини.

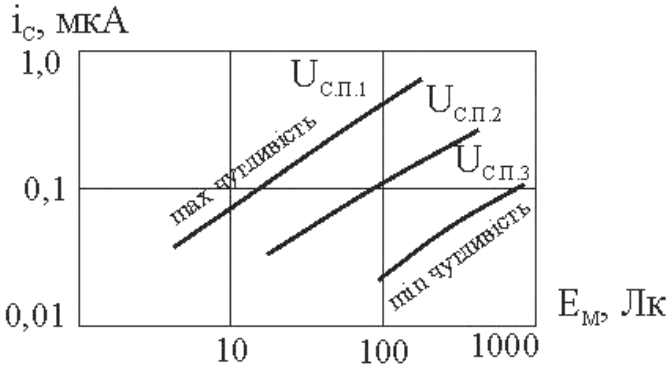


Рисунок 3.11. – Залежність струму сигналу від освітленості мішені

3) *Передача інформації про середню яскравість*. При комутації мішені повільними електронами відікон відтворює інформацію про середню яскравість зображення, оскільки рівень сигналу під час зворотного ходу променя відповідає рівню чорного.

Вважається, що неосвітлені ділянки мішені мають опір $R_E \approx \infty$, і коли промінь повертається, то в колі сигнальної пластини струм відсутній (те саме відбувається, коли електронний промінь запирається гасячим імпульсом).

Насправді $R_E \neq \infty$, отже, конденсатор C_E при відсутності світла розряджається, а це викликає темновий струм. В результаті рівень сигналу від чорних місць зображення (рівень чорного) дещо відрізняється від рівня гасячих імпульсів.

Темновий струм збільшується зі зростанням $U_{С.П.}$ Темновий струм намагаються зменшити – це підвищує рівномірність ТВ сигналу в цілому.

4) Розрізнювальна здатність – характеризується апертурною характеристикою (рисунок 3.12), яка визначається структурою, розмірами і кінцевим значенням поверхневої провідності фотомішені, діаметром променя (на рисунку 3.12 наведені апертурні характеристики приладів із діаметром колби 18 мм).

Так, при розмірі ділянки мішені 9,5×12,5 мм діаметр променя не повинен перевищувати 15 мкм при струмі променя 0,5 мкА. Кількість ліній залежить від діаметра колби: Ø 61–76 мм – 6000 ліній; Ø 13–15мм – 300–500 ліній.

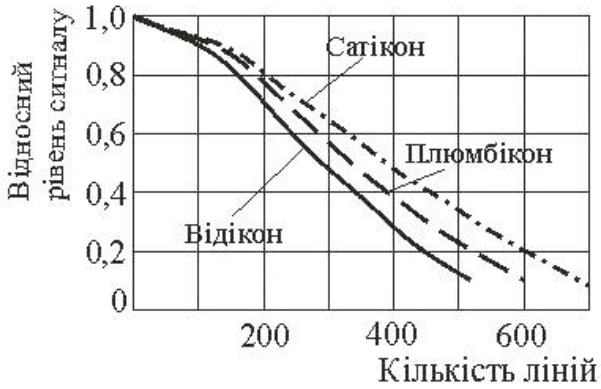


Рисунок 3.12 – Апертурні характеристики приладів

Апертурна характеристика відікона показує, що при відмітці 600 рядків відікон забезпечує глибину модуляції сигналу зображення 20 %.

Багатоманітність структур мішеней передавальних трубок із внутрішнім фотоефектом обумовила появу в літературі різних назв:

- сатікон – від перших літер найменування елементів (Se-As-Te), які входять до складу мішені. Широко використовуються як у побутовій, так і у високоякісній студійній апаратурі.

- бівікон – здвоєний відікон (дві електронні гармати і дві мішені). Фокусувальна і відхиляюча системи спільні для обох променів.

3.7 Передавальні трубки з фотодіодним шаром

Широкому використанню відіконів в апаратурі мовного телебачення заважає велика фотоелектрична і комутаційна інерційність. Для зменшення інерційності фоторезистивну мішень заміняють мішенню фотодіодного типу.

Плюмбікон (вітчизняний аналог – глетікон) – відрізняється від відікона тим, що застосована фотодіодна мішень з p-i-n структурою, яка має малу інерційність і лінійну світлову характеристику.

Оксидно-свинцева мішень наноситься на напівпрозору *сигнальну пластину* 1, в коло якої ввімкнений резистор навантаження $R_Н$ (рисунок 3.13). Мішень містить *прошарок напівпровідника* 2 з електропровідністю n-типу, монокристалічного *шару оксиду свинцю* (PbO) 3 з провідністю i-типу (власна провідність), який має властивості фотопровідника, і *напівпровідниковий шар* 4 з електропровідністю p-типу. Мішень, у свою чергу, наноситься на скляну планшайбу 5.

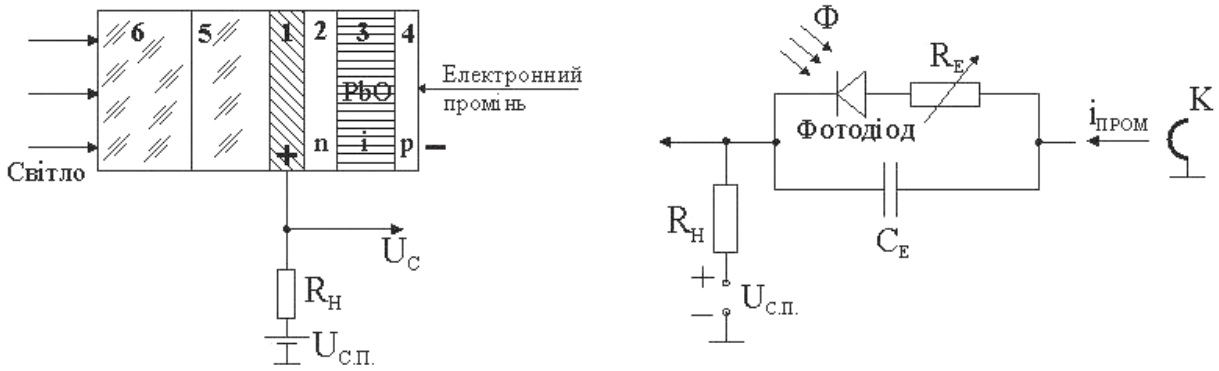


Рисунок 3.13 – Будова мішені та її еквівалентна схема

Сигнальна пластина і тонкий шар напівпровідника n-типу достатньо прозорі, тому світло проходить через них з малими втратами. Поглинання світла відбувається в основному шарі оксиду свинцю. Він робиться товстим (10–15 мкм) для більш повного поглинання світлової енергії.

Формування потенційного рельєфу відбувається на поверхні шару 4. Він має більш високу провідність у порівнянні з чистим оксидом свинцю, тому для попередження „розтіканню” потенційного рельєфу вздовж цього шару (між сусідніми елементами мішені, які мають різний потенційний рельєф) його товщина береться дуже малою, що забезпечує високий опір шару в напрямку вздовж мішені.

Комутація потенційного рельєфу здійснюється пучком повільних електронів, отже, шар 4 доводиться до потенціалу катода. Вихідний сигнал знімається з навантажувального резистора. При тому, що на сигнальну пластину подається додатний потенціал, вся система являє собою мозаїку p-i-n фотодіодів, які ввімкнені у зворотному напрямку. Це призводить до зниження темнового струму мішені.

Завдяки відносно високій напруженості електричного поля у товщі мішені і низькій концентрації „пасток" забезпечується ефективне розділення генерованих світлом електронно-діркових пар. Тому характеристика „сигнал-світло" має високу лінійність.

Плюмбікони мають малу інерційність. Комутаційна складова інерційності зменшується в результаті зниження накопичувальної ємності. Остання є наслідком збільшення товщини мішені і її пористості. Зменшення фотоелектричної складової відбувається як внаслідок створення в шарі відбірного електричного поля високої напруженості, так і через властивості самого матеріалу мішені.

Для попередження ефектам, пов'язаним із відбиттям від зовнішньої поверхні планшайби плюмбікону дифузно розсіяного світла використовують *протиореольний диск* 6, товщиною приблизно 7 мм.

Кремнікон

Кремнікон, так само як і плюмбікон, відрізняється від стандартного відікона структурою і властивостями мішені.

Основою мішені кремнікона служить *пластина* 1 із кремнію з провідністю n-типу (рисунок 3.14). Структура мішені формується методом планарної технології. На одній стороні кремнієвої пластини сформовані *діоди* 2 (напівпровідник з провідністю p-типу) у вигляді матриці. Діодна матриця вкрита *шаром діелектрика* 3 з двоокису кремнію, а над кожним діодом шар діелектрика видалений. Для попередження накопиченню заряду між фотодіодами зверху цієї структури нанесена *плівка* 4 з матеріалу, який має високий питомий опір.

На іншій стороні кремнієвої пластини утворений *шар* 5 *з кремнію* n^+-типу. Цей шар є загальною обкладкою для елементарних конденсаторів (які створені діодами і цим шаром) і служить сигнальною пластиною фотомішені. До неї підводиться позитивна напруга $U_{с.п.} = 6 - 10В$.

Комутація виконується пучком повільних електронів, тому поверхні *областей* 6 *напівпровідника* p^+-типу набувають потенціалу катода. Оскільки напруга на сигнальній пластині має позитивне значення, то діоди матриці набувають зміщення у зворотному напрямку, і елементарні конденсатори заряджаються. Коли на мішень падає світловий потік

Ф, збуджені неосновні носії струму надходять до *областей просторового заряду* 7 і розряджають елементарні конденсатори в ступені, який відповідає світловому потоку.

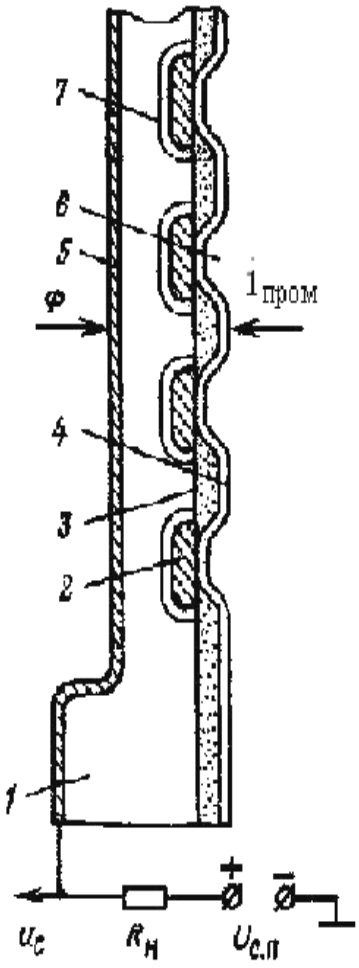


Рисунок 3.14 – Будова мішені кремнікона

Процес формування аналогічний до процесу у відіконі. Перевагами кремнікона є: малі темнові струми, лінійність характеристики перетворення і стійкість мішені до великих освітленостей, відсутність інерційності.

3.8 Передавальні трубки з електронним перенесенням зображення

Секон – це трубка з дуже високою чутливістю. Зображення проектується на *фотоемісійний катод* 1, нанесений на внутрішню поверхню скляного балона (рисунок 3.15).

Електронне зображення з фотокатода за допомогою системи електродів, що утворюють прискорювальне поле, і довгої фокусувальної ко-

тушки переноситься на мішень, що містить прозору для електронів *підкладку* 2 з окису алюмінію, на яку нанесена прозора для електронів *сигнальна пластина* 3, а поверх неї – *пористий шар діелектрика* 4, у якому фотоелектрони цілком втрачають свою енергію. *Сітка* 5 служить для добору вторинних електронів. Інші елементи секона такі ж, як у звичайному відіконі.

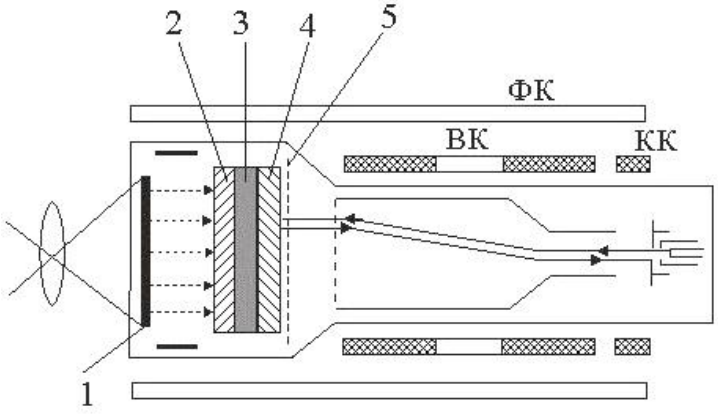


Рисунок 3.15 – Будова секона

Завдяки позитивному потенціалові сигнальної пластини, вторинної електронної провідності і вторинної емісії на прострілу у шарі 4 на ньому утворюється позитивний потенційний рельєф, що при зчитуванні пучком повільних електронів утворює на навантажувальному резисторі, ввімкненому в ланцюг сигнальної пластини, відеосигнал.

Переваги секона: незначна фотоелектрична і комутаційна інерційність, висока розрізнювальна здатність (до 1000–1200 рядків у трубок з великим розміром мішені), високий динамічний діапазон, висока чутливість (мінімальна освітленість на фотокатоді $\approx 5 \cdot 10^{-3}$ Лк), можливість роботи в режимі тривалого накопичення і збереження (протягом доби) світлових зображень на мішені трубки.

Недолік трубки полягає в утворенні на зображенні чорних і білих плям, смуг, зумовлених неоднорідністю структури мішені.

Дисектор

Дисектор – передавальна телевізійна трубка миттєвої дії (тобто без накопичення заряду), яка працює на використання зовнішнього фотоефекту. На відміну від інших передавальних трубок, в дисекторі відсутній електронний прожектор, тому розгортка здійснюється відхиленням електронного зображення, а не променя.

В дисекторі розрізняють три секції (рисунок 3.16):

1) утворення сфокусованого електронного зображення;
2) відхилення електронного зображення;
3) вторинно-електронного множення (ВЕМ).

В першій секції перетворення оптичного зображення в електронне здійснюється напівпрозорим *фотокатодом* 1, який нанесений на внутрішню поверхню планшайби трубки, а фокусування – магнітним полем *фокусувальної котушки* 7. Прискорювальною електричною напругою, яка прикладена до *електрода* 2, електронне зображення переноситься в площину *діафрагми* 3 з отвором, що є розгортальною апертурою.

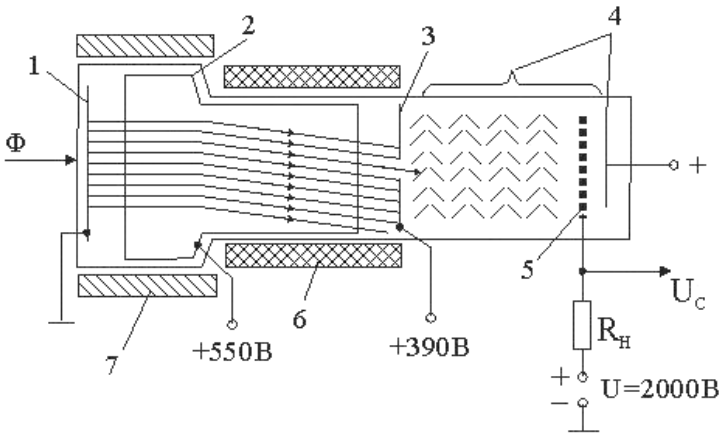


Рисунок 3.16 – Будова дисектора

В секції відхилення за допомогою *системи котушок* 6 здійснюється відхилення електронного зображення перед отвором діафрагми 3.

В секції ВЕМ здійснюється підсилення миттєвих значень фотоструму, який проходить через отвір. Ця секція складається з 14 *діодів* 4 і *колектора* 5, в коло якого ввімкнений резистор навантаження $R_Н$. Коефіцієнт підсилення ВЕМ досягає 10^7, що при його малих внутрішніх завадах забезпечує значне перевищення рівня вихідного сигналу дисектора над завадами попереднього підсилювача.

Дисектори забезпечують добре відтворення градацій яскравості, мають високу розрізнювальну здатність, відрізняються миттєвою готовністю до роботи після ввімкнення напруг живлення (в них відсутній інерційний термокатод).

3.9 ТВЕРДОТІЛЬНІ ДАВАЧІ

Мініатюризація ТВ передавальної апаратури гальмується використанням у ній як перетворювача світло-сигнал електровакуумного приладу, що має великі габаритні розміри і складну систему керування електронним променем. У зв’язку з цим велися роботи зі створення безвакуумних аналізованих пристроїв. У 1969 р. винайшли прилади із зарядовим зв'язком, що дозволило створити твердотільні ФЕП (фотоелектронні перетворювачі) з кількістю елементів розкладання, що відповідає стандарту ТВ мовлення.

В основі *приладу із зарядовим зв'язком (ПЗЗ)* лежать структури МОН або МДН, здатні збирати, зберігати, накопичувати зарядові пакети неосновних носіїв у локалізованих потенційних ямах, що утворюються в поверхні напівпровідника під дією електричного поля (рисунок 3.17).

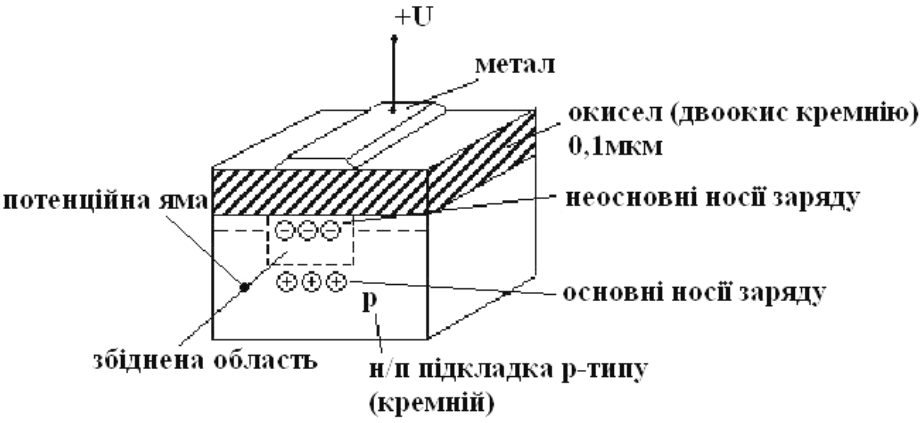


Рисунок 3.17 – Конденсатор МОН структури

Зарядові пакети виникають під дією світлового випромінювання, а переносяться шляхом керованого переміщення потенційних ям у необхідному напрямку (рисунок 3.18). У такий спосіб ПЗЗ працює як зсувний регістр, що має здатність збирати, накопичувати і зберігати зарядову інформацію.

Основне достоїнство ПЗЗ: принцип послідовного перенесення зарядової інформації від окремих елементів матриці до єдиного вихідного пристрою, де зарядові пакети перетворюються в сигнал. Потенційна яма буде залежати від напруги на затворі, ступеня легування напівпровідника, товщини окисла. Час життя потенційної ями обмежений і визначається процесом термогенерації неосновних носіїв, і яма заповнюється за час релаксації (це паразитний процес): електрон-дірка розділяються і заповнюють яму.

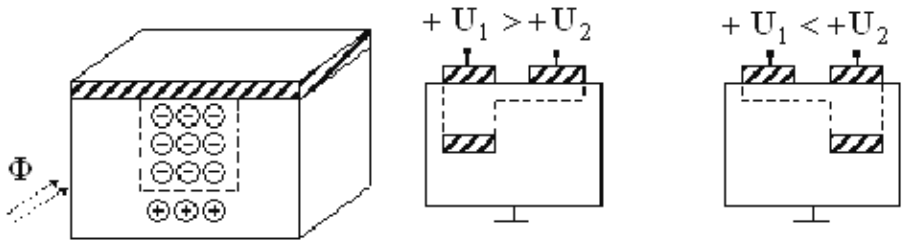


Рисунок 3.18 – Перенесення зарядових пакетів шляхом переключення потенціалів електродів двох поруч розташованих МОН конденсаторів

У такий спосіб максимальний час збереження зарядової інформації – це мінімальна частота роботи цифрових та аналогових пристроїв на ПЗЗ і визначається часом релаксації. Зарядовий пакет у ПЗЗ може бути введений електричним шляхом або за допомогою світлової генерації. При світловій генерації фотоелектронні процеси приведуть до нагромадження неосновних носіїв у потенційних ямах. Накопичений заряд у потенційних ямах буде визначатися освітленістю і часом нагромадження.

Трифазний зсувний регістр

Лінійка з МОН конденсаторів виконується на спільній підкладці (рисунок 3.19). Відстань між електродами настільки мала, що збідненні області при подачі на електрод позитивного потенціалу простягаються практично до сусідніх електродів. Електроди такої трифазної структури з'єднані між собою через два і складають паралельні тріади.

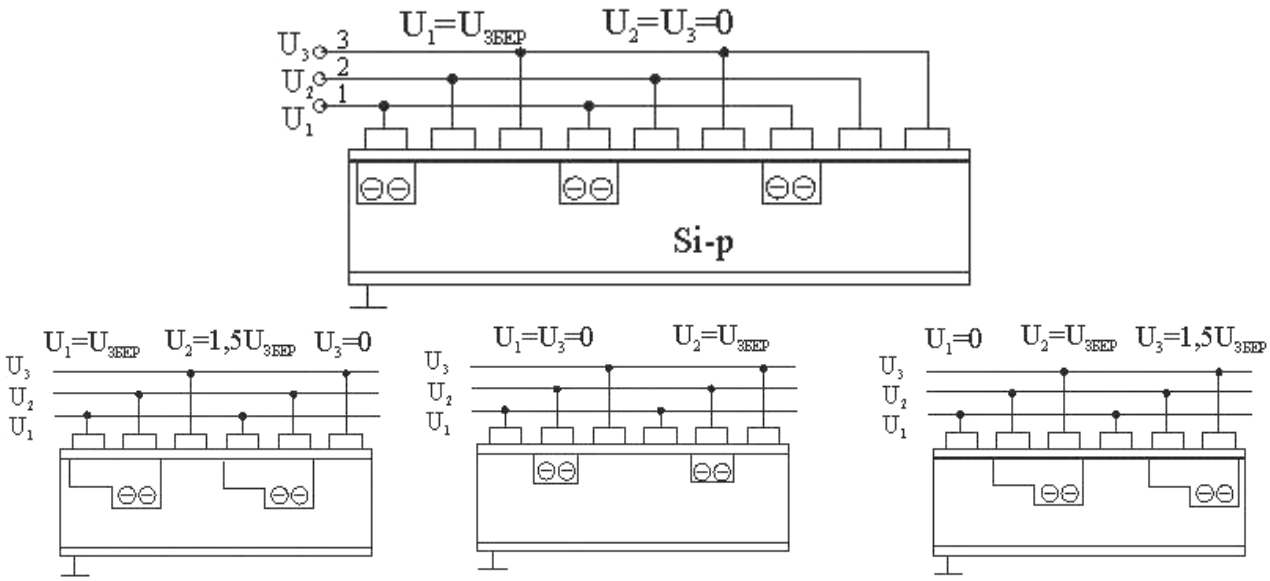


Рисунок 3.19 – Будова трифазного зсувного регістра

Подамо на шину 1, яка з'єднує перші елементи тріад, позитивний потенціал $U_1 = U_{збер}$, а на дві інші шини – нульовий потенціал відносно заземленої підкладки. В цьому випадку під всіма електродами 1 утворюються потенційні ями, в яких можуть зберігатися від'ємні заряди.

Змінимо потенціал на шині 2 до значення $U_2 = 1{,}5U_{збер}$. Тоді під електродом 2 утворюються більш глибокі потенційні ями, і заряди перетечуть під цей електрод. Після цього встановимо $U_1 = 0$, а $U_2 = U_{збер}$. Тепер заряд зберігається під електродом 2.

Встановимо потенціал шини 3, що дорівнює $U_3 = 1{,}5U_{збер}$. При цьому заряди з-під електрода 2 перетечуть під електрод 3 в більш глибоку

потенційну яму. Цей процес можна повторювати доти, поки заряд не опиниться у колі навантаження і створить на ньому падіння напруги, яке пропорційне величині заряду. Технологічно трифазна структура найбільш проста.

Двофазний зсувний регістр

Направлене перенесення зарядових пакетів можна створити не тільки в трифазному ПЗЗ-ланцюзі, але і в двофазному. Для цього необхідно забезпечити умови формування асиметричної у напрямку просування зарядових пакетів потенційної ями. Для цього використовують діелектрик ступінчатої форми (рисунок 3.20). Тут товщина діелектрика між напівпровідником і електродом неоднакова в напрямку переміщення зарядових пакетів. Це приводить до відмінності поверхневих потенціалів під товстим і тонким шарами діелектрика.

Перемикаючи періодично потенціали U_1 і U_2, можна забезпечити направлене переміщення зарядових пакетів.

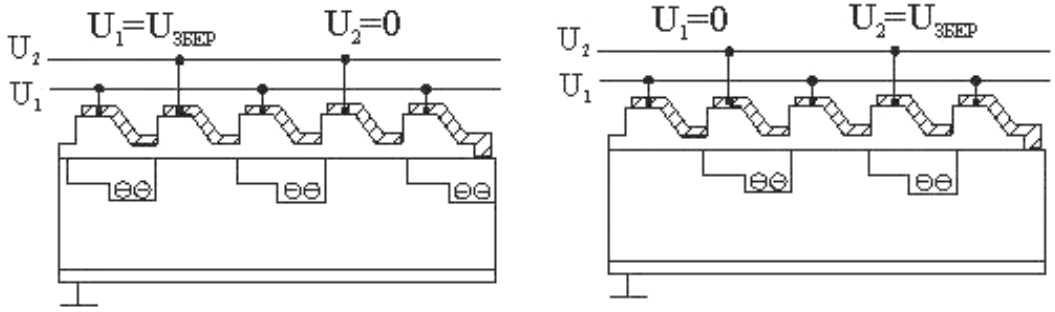


Рисунок 3.20 – Будова двофазного зсувного регістра

Лінійно-рядковий ФЕП

Для створення лінійно-рядкового ФЕП для однорядкової розгортки використовується структура, яка складається з двох секцій (рисунок 3.21): секції 1, яка призначена для *накопичення* зарядів під дією світла, і секції 2 – для їх *перенесення*.

Секція накопичення складається з трьох повздовжніх ізольованих один від одного металічних напівпрозорих електродів, які нанесені на підкладку кремнію, наприклад р-типу, поверх шару оксиду (діелектрика). Всередині підкладки перпендикулярно електродам на відстанях, які відповідають розміру елемента розкладу, утворені *дифузійні смужки* З високого опору для попередження розтікання зарядів уздовж електродів.

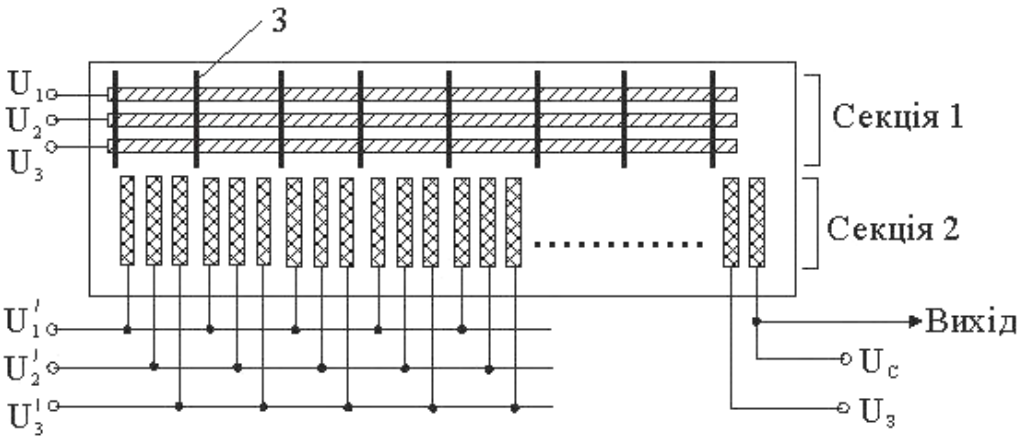


Рисунок 3.21 – Будова лінійно-рядкового ФЕП

Під час прямого ходу рядкової розгортки здійснюється накопичення зарядів у світлочутливих комірках.

Під час зворотного ходу рядкової розгортки за допомогою керуючих імпульсних напруг U_1, U_2, U_3 заряди з фоточутливих комірок переносяться у зсувний регістр.

У наступному циклі прямого ходу рядкової розгортки за допомогою керуючих тактових напруг U'_1, U'_2, U'_3 заряди з комірок зсувного регістра переносяться вздовж регістра до вихідного пристрою.

Перевага структури – висока розрізнювальна здатність, яка досягає 2000 елементів на рядок.

Недолік – неприпустимість дефектів у структурі (виникнення дефекту хоча б в одній комірці ПЗС зсувного регістра призводить до втрати сигналів від комірок, які розташовані лівіше дефектної).

3.10 Паралельно-кадрова структура перетворювача

Найбільшого розповсюдження набули ПЗЗ-перетворювачі з покадровим перенесенням.

Секції накопичення 1 і *зберігання накопиченої інформації* 2 розділені (рисунок 3.22).

Після завершення періоду накопичення протягом короткого часу (зворотний хід по кадру) заряд переноситься в секцію зберігання; режим накопичення поновлюється, а в цей час відповідно до прийнятих параметрів розкладу відбувається зчитування інформації через *регістр зчитування* 3.

В даному пристрої легко реалізувати черезрядковий розклад зображення. Для цього в секції накопичення протягом тривалості непарних полів накопичення відбувається під електродами Φ_1, а під час тривалос-

ті парних полів – під Φ_2. Під час зворотного ходу по полях зарядова інформація непарного поля переноситься до секції зберігання (пам'яті), потім переносяться заряди, які знаходяться під Φ_2, і в секції накопичення починається новий цикл.

Рисунок 3.22 – Принцип побудови ПЗЗ-перетворювача з покадровим перенесенням

Серійно випускаються матриці ПЗЗ із кількістю елементів 288×232 з покадровим перенесенням накопиченої інформації і тритактним регістром керування. Вони мають такі параметри:

секція накопичення – 144×232;

секція збереження – 144×232;

зсувний регістр – 235 елементів.

Розроблена також матриця 580×532 елемента розкладання. Вихідний пристрій складають 2 транзистори (МОН). Розрізнювальна здатність – 40–60 рядків на міліметр. Однак щодо роздільної здатності ще поступаються вакуумним (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – **Порівняльні характеристики**

Характеристики	Відікон	ФЕП на ПЗЗ
1. Розрізнювальна здатність ТВ ліній	до 1000	до 500
2. Чутливість	середня	висока
2. Довільна вибірка	неможлива	можлива
3. Інерційність	велика	незначна
4. Споживання потужності, Вт	5	0,5
5. Напруга живлення	200–400	5–25
6. Маса, г	50	5,0
7. Термін служби, год	800	1500

3.11 Давачі сигналу для кольорового телебачення

Для кольорового телебачення використовуються давачі, які складаються з декількох монохромних чи спеціальних кольорових трубок, або прилади з біжучим променем.

Прилад із біжучим променем

Він є найбільш простим давачем без накопичення заряду для зчитування нерухомих об'єктів.

Прилад із біжучим променем складається з джерела біжучого променя, який розгортає зображення, і трьох фотоприймачів – ФЕП, перед якими встановлені відповідно червоний, синій і зелений світлофільтри (рисунок 3.23).

На виході відповідних ФЕП утворюються сигнали E_R, E_G, E_B.

Давач забезпечує високу якість передачі завдяки відсутності проблеми суміщення зображень, а також високій лінійності світлової характеристики. Проте він має малу чутливість, тому застосовується для передачі кінофільмів.

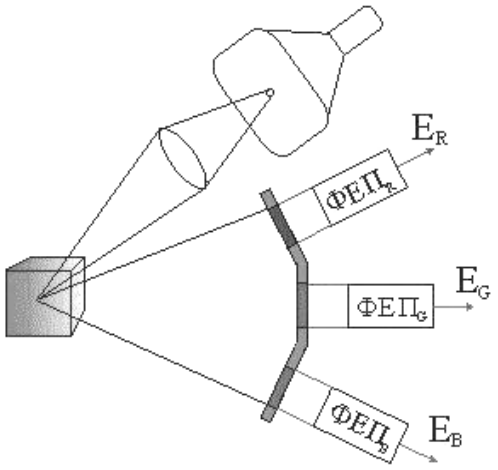


Рисунок 3.23 – Утворення сигналу в приладі з біжучим променем

Тритрубчаті камери

Вони будуються за принципом формування сигналів основних кольорів E_R, E_G, E_B шляхом розщеплення пучка світла по спектру.

В тритрубчатих камерах використовуються один об'єктив і система оптики, яка розщеплює промінь (рисунок 3.24). Зокрема, вона може бути виконана з двох дихронічних дзеркал $ДДз_R$ і $ДДз_B$ і двох звичайних дзеркал, які розділяють початковий світловий потік на три пучки.

Дихронічні дзеркала мають вибірковість:

- синє дзеркало $ДДз_B$ пропускає всі кольори, які відповідають довжинам хвиль від 500 нм і вище, і відбиває сині кольори, які відповідають довжинам хвиль до 460 нм;

- червоне дзеркало $ДДз_R$ відбиває хвилі довжиною понад 580 нм і пропускає короткі.

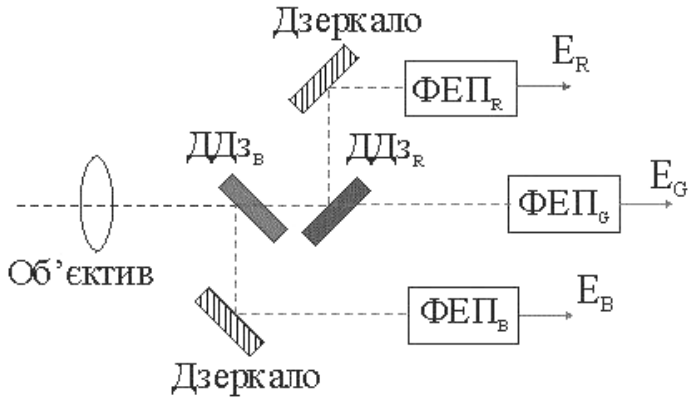


Рисунок 3.24 – Утворення сигналу в тритрубчатій камері

Вибіркове відбиття досягається за рахунок почергового нанесення на поверхню скла шарів прозорих матеріалів із різними спеціально підібраними коефіцієнтами заломлення.

Однотрубчаті камери

Вони відрізняються простотою конструкції, мають малі габарити і масу і використовуються в репортажних установках. Як передавальні трубки в цих камерах використовуються, наприклад, кольорові відікони.

Сигнальна пластина 2 складається з трьох ізольованих одна від одної вертикальних решіток, які чергуються (рисунок 3.25). Кількість смуг у кожній решітці відповідає кількості елементів розкладу зображення вздовж рядка. По суті це три розділені між собою сигнальні пластини, вкриті з боку розгортального електронного променя *шаром фотоопору* 3, а з протилежного боку – *світлофільтрами* 1 основних кольорів – R, G, B. В кола решіток ввімкнені навантажувальні резистори, з яких знімаються сигнали E_R, E_G, E_B.

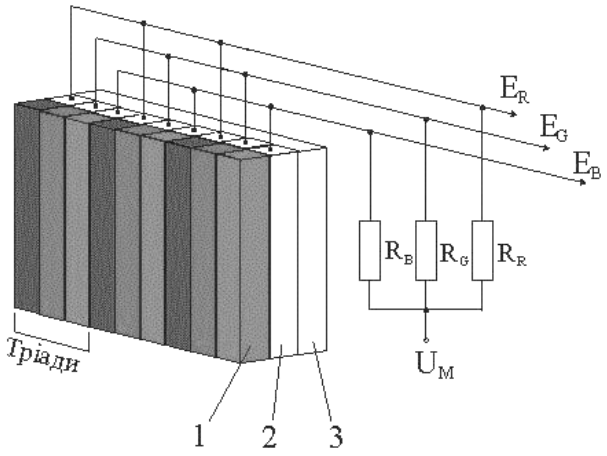


Рисунок 3.25 – Мішень кольорового відікона

Контрольні питання до розділу

1. Класифікація давачів ТВ сигналів.
2. Класифікація та коротка характеристика передавальних трубок.
3. Принципи накопичення світлової енергії.
4. Потенціал ізольованої мішені. Вторинна електронна емісія у вакуумних приладах.
5. Характеристика області повільних та швидких електронів, область граничних потенціалів.
6. Зовнішній фотоефект та його характеристика.
7. Основні типи і характеристики фотокатодів.
8. Принцип роботи іконоскопа.
9. Передавальні трубки з фотопровідним шаром. Принцип роботи відікона.
10. Утворення сигналу у відіконі.
11. Інерційність відікона: фотоелектрична і комутаційна. Шляхи зменшення інерційності.
12. Характеристики відікона.
13. Передавальні трубки з фотодіодним шаром. Принцип роботи плюмбікона. Шляхи зменшення інерційності.
14. Кремнікон та його принципи роботи.
15. Передавальні трубки з електронним перенесенням зображення. Конструкція та принцип роботи секона.
16. Конструкція та принцип роботи дисектора.
17. Принципи роботи приладів із зарядовим зв'язком
18. Твердотільні давачі. Принцип накопичення заряду. Конденсатори МОН-структури.
19. Перенесення зарядових пакетів. Трифазний і двофазний зсувний регістр.
20. Принцип роботи лінійно-рядкового фотоелектричного перетворювача світло-сигнал, паралельно-кадрова структура перетворювача.
21. Давачі сигналів для кольорового ТБ. Пристрій із біжучим променем, тритрубчаті і однотрубчаті камери.

РОЗДІЛ 4

ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ТЕЛЕБАЧЕННЯ. ВІДТВОРЮВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ

4.1 Класифікація відтворювальних пристроїв

Відтворювальні пристрої призначені для перетворення електричного сигналу у світлове зображення. Їх можна розділити на пристрої безпосереднього спостереження, в яких зображення створюється на екрані самого пристрою, і проекційні, в яких зображення проектується на окремий екран (рисунок 4.1).

Рисунок 4.1 – Класифікація відтворювальних пристроїв

Пристрої безпосереднього спостереження виконуються або на основі вакуумних електронно-променевих трубок (ЕПТ) або на базі матричних плоских екранів.

Найбільш розповсюджені нині вакуумні ЕПТ – кінескопи (від гр. – пристрій для спостереження руху). Кінескопи бувають монохромні (чорно-білі) і кольорові. Останні поділяються на трипроменеві і однопроменеві. За допомогою кінескопів утворюється зображення площиною 0,5 м^2. Матричні екрани можуть бути реалізовані на основі електролюмінісценції в плівкових люмінофорах, динамічного розсіювання світла в рідких кристалах, газорозрядних комірках.

Проекційні відтворювальні пристрої призначені для утворення зображень великих розмірів – від одиниць до десятків квадратних метрів. Це проекційні кінескопи, світлоклапанні пристрої і лазерні проектори.

Як проекційні кінескопи можуть бути використані ЕПТ, які працюють при дуже великих напругах (до 60–80 кВ) і великих струмах променя, завдяки чому утворюється зображення великої яскравості, яке проектується безпосередньо на екран за допомогою дзеркально-лінзової оптики. Основні недоліки подібних пристроїв в невеликому ККД, недовговічності екрана кінескопа.

Був створений проекційний кінескоп із лазерним екраном у вигляді напівпровідникової пластинки, кожна точка якої являє собою елементарний лазер, який збуджується (накачується) електронним променем. При зміні інтенсивності електронного променя змінюється й інтенсивність лазерного світіння. Яскравість світіння лазерного екрана перевищує яскравість світіння люмінофорного.

Робота світлоклапанних пристроїв ґрунтується на модуляції відеосигналом інтенсивності світлового потоку потужного зовнішнього джерела світла. Модуляція здійснюється за рахунок зміни оптичних властивостей матеріалу модулятора під дією електронного променя.

Лазерні проектори формують зображення так само, що й ЕПТ, лише з тією різницею, що замість електронного променя, який обходить люмінофорний екран, використовується світловий промінь лазера, який обходить звичайний кіноекран. Перевагою лазерного відтворювального пристрою є великий контраст яскравості і висока насиченість кольорів.

4.2 Кінескопи чорно-білого телебачення

Кінескопи – приймальні телевізійні трубки, які є електронно-променевими приладами з люмінофорними екранами, на яких здійснюється перетворення енергії електронів променя у світлове випромінювання. Відтворення зображення на екрані забезпечується відхиленням електронного променя за законом телевізійної розгортки, щільність якого модулюється сигналом зображення.

На передню стінку *скляної колби* 8 нанесений екран, який являє собою *шар люмінофору* 7, вкритий тонкою *плівкою алюмінію* 6 (рисунок 4.2). В циліндричній горловині колби розміщений *електронний прожектор* 2. Другий анод прожектора з'єднаний з *провідним покриттям* 4, яке нанесене на внутрішню поверхню колби і горловини. *Вивід другого анода* 5 зроблений через колбу, а інших електродів – через *цоколь* 1. На горловину кінескопа надівається *відхиляюча система* 3, за допомогою якої формується магнітне поле потрібної конфігурації.

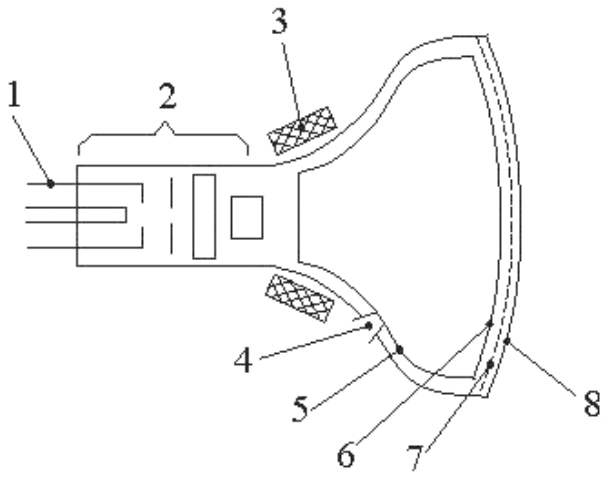


Рисунок 4.2 – Схема кінескопа безпосереднього спостереження

Алюмінієве покриття на екрані попереджає появу на ньому іонної плями (жовта пляма в центрі екрана). Така пляма зумовлена бомбардуванням екрана негативними іонами, які вилітають з катода, прискорюються напругою другого анода і, практично не відхиляючись магнітним полем, бомбардують центральну частину екрана, викликаючи його часткову руйнацію. Алюмінієва плівка затримує масивні негативні іони.

4.2.1 Електронний прожектор

Електронний прожектор – конструктивний вузол ЕПТ, який складається з анода і ряду електродів, що забезпечують прискорення, фокусування та керування щільністю електронів променя.

Електронний прожектор складається з *підігрівача* 1, *термокатода* 2, *модулятора* 3, *прискорювального електрода* 4, *фокусувального електрода* 5 і *другого анода* 6 (рисунок 4.3). Такий прожектор називається пентодним і дозволяє зменшити вплив прискорювального електрода на якість фокусування.

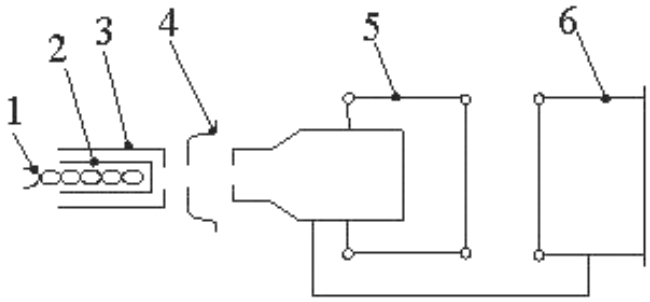


Рисунок 4.3 – Конструкція електронного прожектора

4.2.2 Фокусування електронного променя

Фокусування електронного променя в площині екрана може бути здійснене електростатичним і електромагнітним полем відповідної конфігурації, оскільки електронний промінь – це впорядкований потік електричних зарядів (електронів).

1) Електростатичне фокусування здійснюється електростатичними лінзами.

Створене поле притискає електрони до осі трубки, збираючи їх у точці (рисунок 4.4). Оптимальне фокусування променя досягається підбором потенціалу фокусувального електрода.

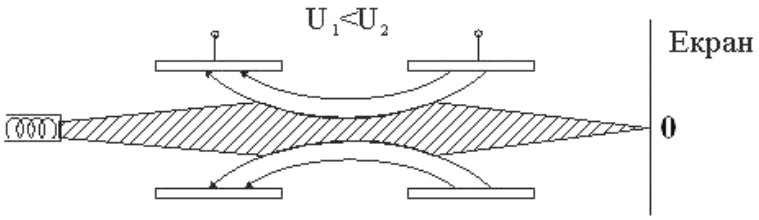


Рисунок 4.4 – Принцип електростатичного фокусування

2) Електромагнітне фокусування.

Електрон разом із круговим буде здійснювати поступальний рух, описуючи в просторі гвинтову лінію (рисунок 4.5). Всі електрони, які вилетіли з точки А, зберуться знову в точці В і це буде повторюватися при кожному оберті. Оптимальне фокусування досягається зміною постійного струму, який проходить у котушці.

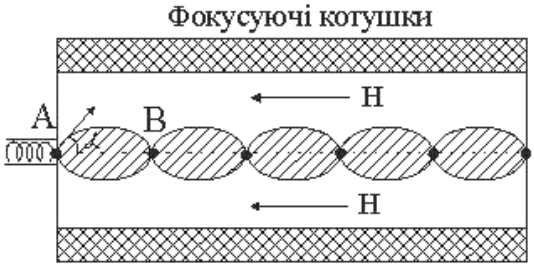
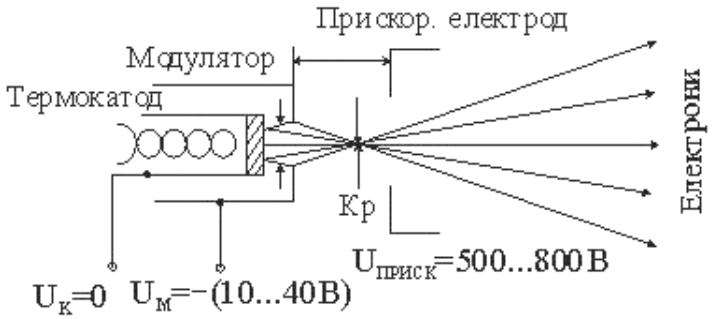


Рисунок 4.5 – Принцип електромагнітного фокусування

Електростатичне фокусування має ряд переваг: воно не критичне до змін напруг живлення; від джерел живлення потрібна невелика потужність у колі фокусуючого електрода; фокусуючий електрод розміщується всередині корпусу, що зменшує габарити. Тому електростатичне фокусування використовується частіше.

Більшість кінескопів сучасних телевізорів будують за дволінзовою оптичною системою (рисунок 4.6). При цьому фокусування електронно-

го променя здійснюється у двох зонах: в полі імерсійного об'єктива і в полі головної фокусуючої лінзи.



Кр – кросовер.

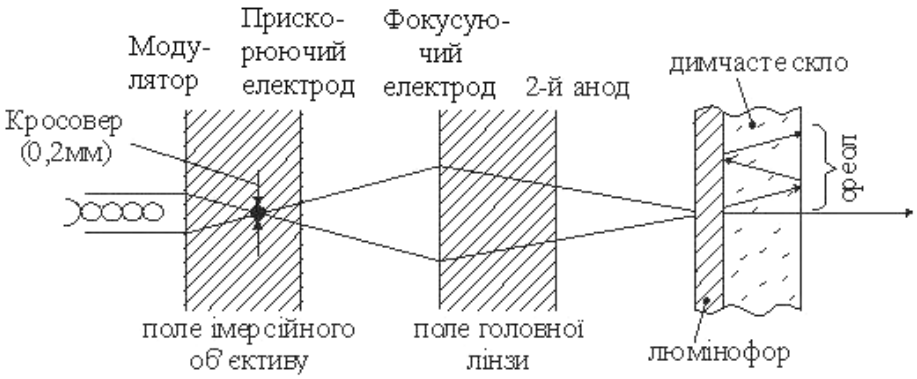


Рисунок 4.6 – Фокусування електронного променя

Імерсійний об'єктив утворюють термокатод, модулятор і прискорювальний електрод. Різниця потенціалів між катодом і прискорювальним електродом $U_{приск}$ становить декілька сотень вольт, а відстань L між цими електродами дорівнює декільком міліметрам, тому в зоні імерсійного об'єктива утворюється сильна напруженість поля.

Електрони, які вилетіли з поверхні катода, збираються полем у вузький пучок, який називається *кросовером* (Кр). Діаметр кросовера виявляється в декілька разів меншим діаметра тієї частини катода, з якої електрони потрапляють в отвір модулятора, тому після кросовера пучок знову розходиться.

Після проходження пучка електронів поля головної фокусувальної (електростатичної чи електромагнітної) лінзи він фокусується в площині екрана. На екрані пучок має розмір кросовера (десяті частки міліметра).

Колір світіння екрана визначається типом вибраного люмінофора.

Оскільки прискорювальні напруги дуже великі, то доводиться працювати в області граничних потенціалів $U_a > U_{2кр}$. Отже, екран не може бути ізольований від інших електродів. Його потенціал необхідно при-

мусово підтримувати на рівні потенціалу другого анода кінескопа (ч/б кінескопи – 20 кВ, кольорові – 25 кВ). Для цього наноситься алюмінієве покриття товщиною 0,5 мкм, що дозволяє:

1) ефективно відводити вторинні електрони з екрана;
2) збільшити контраст;
3) підвищити світловіддачу більш ніж в 1,5 разу, оскільки світло з колби дзеркально відбивається в бік спостерігача;
4) захистити люмінофор від бомбардування негативними іонами.

Димчасте скло значно знижує ефект ореола. Зниження відбувається через те, що світло, яке пройшло в склі довгий шлях, значно більше поглинається, ніж при проходженні короткого шляху в прямому напрямку.

4.2.3 Модуляційна характеристика кінескопа

Модуляцією електронного променя називають керування величиною струму електронного променя напругою сигналів зображення, яка прикладена між модулятором і катодом прожектора.

Зміна густини променя (струму) при зміні потенціалу модулятора відбувається внаслідок таких причин:

1) Модулятор, знаходячись під дією негативної напруги, гальмує проникнення термоелектронів до анода (аналогічно до сітки лампи) (рисунок 4.7).

2) Катод прожектора заглиблений в поле імерсійного об’єктива, яке зменшує діючий діаметр поверхні катода.

Модуляційна характеристика кінескопа являє собою залежність струму катода від напруги на модуляторі (рисунок 4.8).

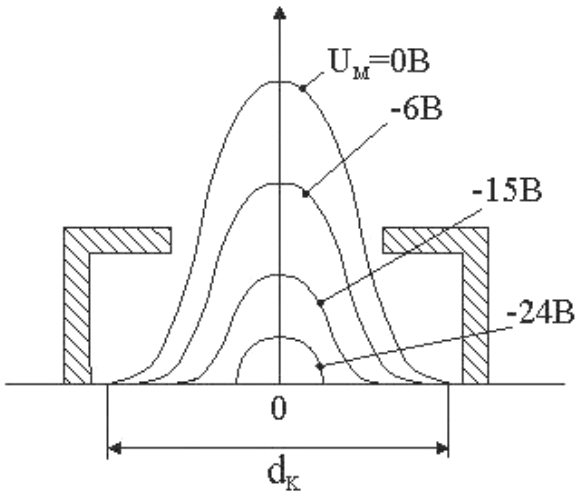


Рисунок 4.7 – Зміна діючого діаметра катода $d_к$ при різних потенціалах модулятора

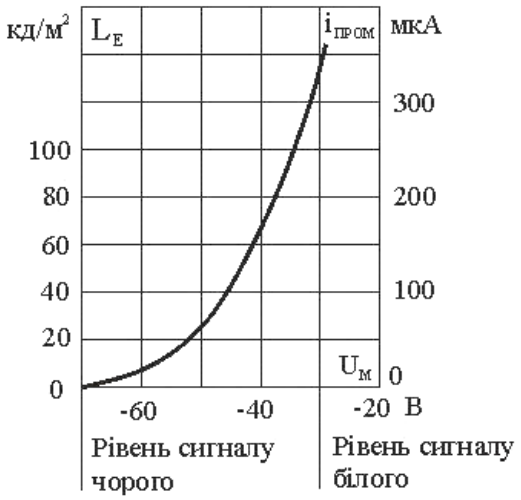


Рисунок 4.8 – Модуляційна характеристика кінескопа

Струм електронного променя $i_{пром}$, який досягає екрана кінескопа, менший струму катода $I_к$, оскільки частина електронів відводиться прискорювальним електродом. Проте струм променя виміряти важко, тому на практиці вважають, що залежність струму катода від напруги на модуляторі $I_к = f(U_м)$ співпадає з залежністю струму променя від напруги на модуляторі $i_{пром} = f(U_м)$.

Струм променя обмежений зверху і знизу:

- обмеження знизу – визначається потенціалом запирання трубки (рівень чорного). В протилежному випадку видно лінії зворотного ходу;
- обмеження зверху – розфокусування електронного променя (рівень білого) і небезпека пропалення екрана.

Для чорно-білих кінескопів струм променя становить $i_{ч/б} < 150мкА$, а для кольорових $i_{пром} < 300мкА$. Для отримання доброї *контрастності* модуляційна характеристика повинна мати високу крутизну.

Розрізняють контраст великих і дрібних деталей. Контраст великих деталей разом із середньою яскравістю зображення визначає максимальну кількість градацій яскравості зображення, що розрізняються. Контраст дрібних деталей визначає лише чіткість зображення. Для підвищення контрасту використовують алюмінієве покриття екранів та димчасте скло. Алюмінієве покриття усуває підсвітку екрана від внутрішніх стекол колби, деталей електронного прожектора і сусідніх ділянок зображення. Димчасте скло послаблює вплив світла від зовнішніх джерел, а також суттєво зменшує явище ореола.

Ореол утворюється внаслідок того, що частина світлових променів, які розходяться, пройшовши з точки збудження люмінофора крізь тов-

щу скла екрана трубки на межі скло-повітря, відбивається назад (якщо кут більше 42˚ – кут Брега). Тому точка екрана, яка світиться, виявляється оточеною менш яскравим кільцем – ореолом, що є причиною зниження контрастності.

4.3 Кінескопи кольорового телебачення

4.3.1 Загальні відомості

Для одержання кольорового зображення в більшості сучасних кольорових ТБ приймачів і відеоконтрольних пристроїв використовується один електровакуумний прилад – кольоровий кінескоп, у якому кольорові зображення формуються з трьох кольорорізнисних сигналів методом *просторового змішання кольорів.* У більшості розроблених кінескопів використовується *трирастрова система,* при якій на екрані кінескопа формуються три одноколірні растри – червоний, зелений і синій, – сполучені з достатнім ступенем точності один з одним. Трирастрова система припускає наявність у кінескопі трьох електронних прожекторів і трьох люмінофорних груп, спектральне випромінювання яких відповідає червоному, зеленому і синьому кольорам. Поділ кольорів, тобто забезпечення правильного влучення кожного з променів на люмінофорні елементи екрана «свого» кольору, забезпечується за допомогою *тіньової маски.* Такі кінескопи часто називають *масочними кінескопами.* За способом розташування прожекторів кінескопи поділяються на *дельта-кінескопи,* прожектори яких, а також люмінофорні групи розташовані у вершинах рівностороннього трикутника, і на *компланарні кінескопи* з розташуванням прожекторів в одній площині і *лінійчатим люмінофорними групами.*

4.3.2 Масочний кінескоп із дельтовидним розташуванням прожекторів

Особливістю його будови є розташування трьох електронних прожекторів у горловині колби симетрично щодо осі і наявність мозаїчного люмінофорного екрана. Прожектори кінескопа кріпляться у вершинах рівностороннього трикутника (див. розріз *А-А)* і нахилені до осі кінескопа на кут приблизно 1° (рисунок 4.9).

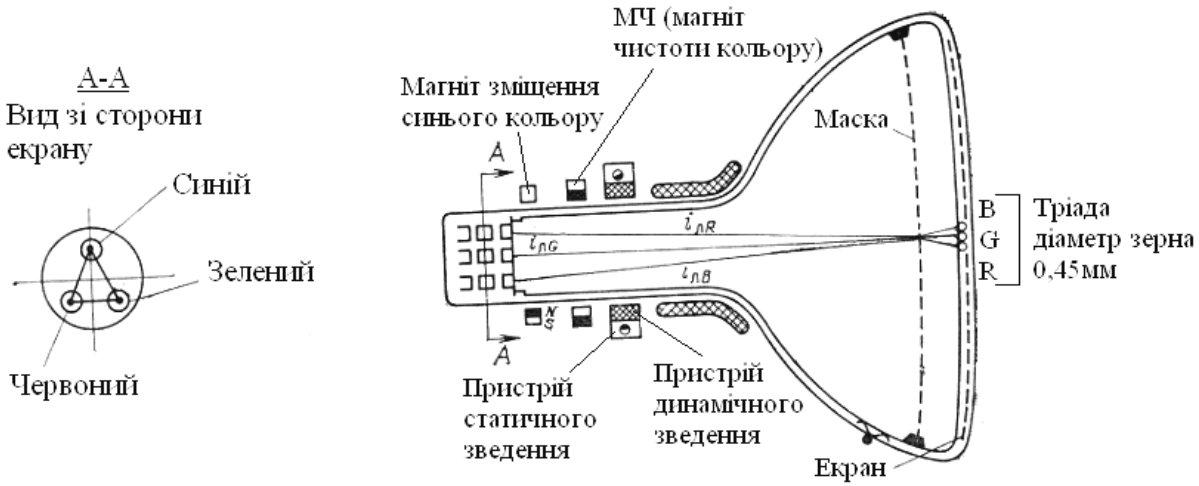


Рисунок 4.9 – Схематичне зображення кольорового масочного дельта-кінескопа

Екран кінескопа являє собою сферу зі скла з великим радіусом кривизни, на внутрішню поверхню якої у визначеній послідовності нанесені групи люмінофорних зерен трьох кольорів: червоного, зеленого і синього. Люмінофорна група, що складається з трьох різнобарвних зерен, називається *тріадою.* Так само як у монохромному кінескопі, люмінофори з внутрішньої сторони екрана покриті тонкою алюмінієвою плівкою, з'єднаною з другим анодом.

Для направлення електронних променів на «свої» люмінофорні зерна використовується тіньова маска, установлена на відстані 12 мм від екрана (рисунок 4.10). Вона виготовлена з листової сталі товщиною 0,15 мм і практично повторює форму екрана. У масці вирізані круглі отвори діаметром 0,25 мм, кількість яких дорівнює кількості люмінофорних тріад, тобто $555 \cdot 10^3$.

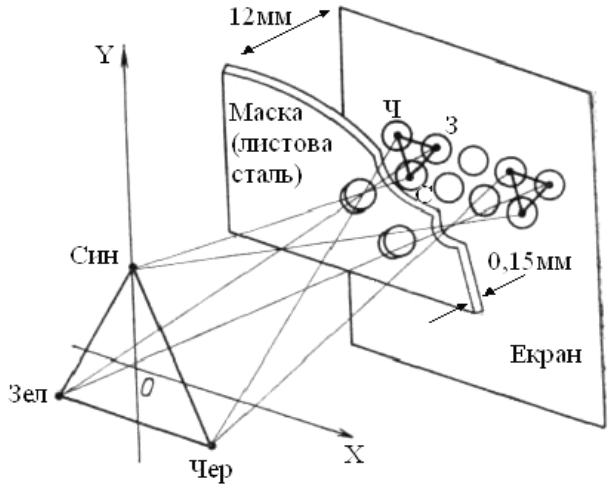


Рисунок 4.10 – Застосування тіньової маски

Принцип влучення електронних променів на «свої» люмінофорні зерна полягає в тому, що три промені, спрямовані з трьох рознесених на площині *XOY* точок, що є центрами електронних прожекторів, перетинаються в одній точці, геометричне місце якої відповідає отворові маски, і, проходячи крізь неї, потрапляють на відповідні люмінофорні зерна тріад. Центри люмінофорних зерен тріад розташовуються у вершинах рівностороннього трикутника і є проекцією центрів електронних прожекторів.

Специфічні для кольорового кінескопа спотворення зображення:

1. *Порушення чистоти кольору*, зумовлене влученням електронного променя частково або цілком на «чужі» люмінофорні зерна, що виникає при бічному зміщенні або нахилі блоку електронних прожекторів щодо осі кінескопа, неправильному положенні відхиляючої системи щодо екрана кінескопа, а також під впливом зовнішніх магнітних полів, зокрема магнітного поля Землі.

Порушення чистоти кольору, викликане недостатньо точною установкою блоку електронних прожекторів і впливом зовнішніх магнітних полів, коректується за допомогою розташованого на горловині кінескопа *магніту чистоти кольору* МЧ (рисунок 4.11), що дозволяє змінювати величину і напрямок магнітного поля і тим самим здійснювати одночасне переміщення трьох променів в одному напрямку, домагаючись їхнього правильного влучення на люмінофорні зерна.

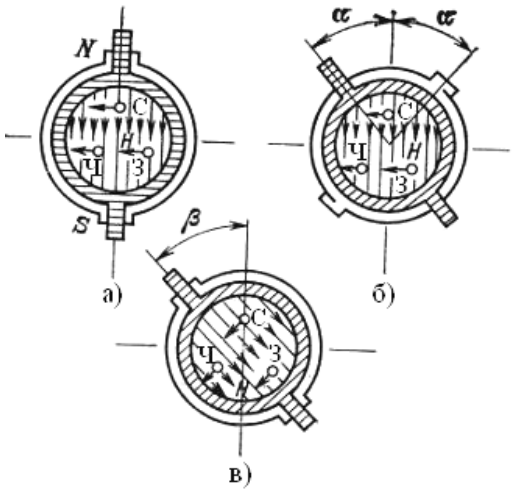


Рисунок 4.11 – Корекція порушення чистоти кольору за допомогою магніту чистоти кольору

Конструктивно МЧ зазвичай виконуються у вигляді двох намагнічених по діаметру кілець, укладених одне в одне. Кільця дозволяють здійснити одночасний або незалежний поворот навколо осі кінескопа

(рисунок 4.11 а). Магнітне поле змінюється від максимального до мінімального поворотом кілець одне відносно одного на кут α (рисунок 4.11б). Магнітне поле максимальне при α = 0 і мінімальне при α = 180°. Для зміни напрямку магнітного поля обидва кільця повертаються разом (рисунок 4.11 б).

2. *Неспівпадання зображень* від різних растрів обумовлене влученням невідхилених променів не в один отвір тіньової маски, а в сусідні або віддалені один від одного на деякій відстані, що виникає при неточному виготовленні і збиранні блоку електронних прожекторів, наприклад недотриманні заданих кутових величин тощо.

Для корекції цього неспівпадання, тобто зведення трьох невідхилених електронних променів в одну люмінофорну тріаду, служать *постійні магніти регулятора зведення* 6 (рисунок 4.14), що забезпечують можливість незалежного переміщення променів у радіальному напрямку, що коректує їхню траєкторію.

3**.** *Розсуміщення електронних променів* при їхньому відхиленні від центра до краю екрана обумовлене такими основними причинами:

а) наявність трьох електронних прожекторів, що зміщені щодо осі кінескопа і мають з нею кут нахилу 1°; це приводить до появи на екрані кінескопа трьох зміщених відносно один одного *трапецеїдальних растрів* (зображених на рисунку 4.12);

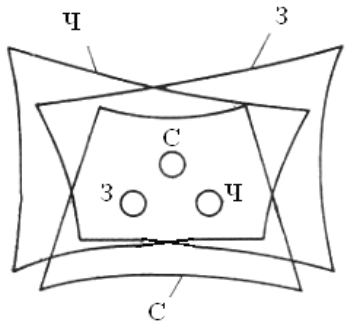


Рисунок 4.12 – Розсуміщення кольорових растрів на екрані кінескопа

б) геометричні місця перетинання трьох променів при їхньому відхиленні знаходяться на поверхні сфери, радіус кривизни якої визначений кутом нахилу прожекторів (1°) і значно менше радіуса кривизни екрана. Тому при відхиленні від центра до периферії екрана електронні промені будуть досягати площини маски у вигляді розбіжних пучків і потрапляти на люмінофорні зерна різних тріад (рисунок 4.13).

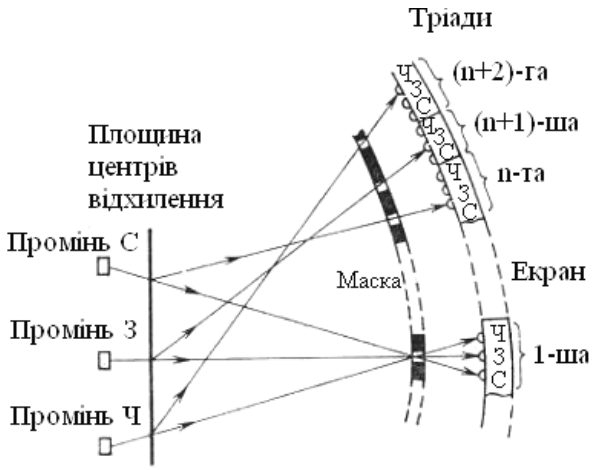


Рисунок 4.13 – Розсуміщення електронних променів при відхиленні

Для корекції цих спотворень використовується система динамічного зведення, конструктивно об'єднана із системою статичного зведення (рисунок 4.14).

Пристрій динамічного і статичного зведення складається з введеного в конструкцію електронного прожектора *циліндра зведення* 1, що містить усередині *екрани* 2 і *полюсні наконечники* 3, і трьох пар *П-подібних магнітопроводів регуляторів зведення* 4. Динамічне зведення забезпечується шляхом пропущення через обмотки *електромагнітів* 5 регулятора зведення струмів кадрової і рядкової частот спеціальної форми. Статичне зведення досягається обертанням поміщених у зазорах середньої частини П-подібного сердечника *постійних магнітів* 6, що забезпечують незалежне радіальне переміщення променів.

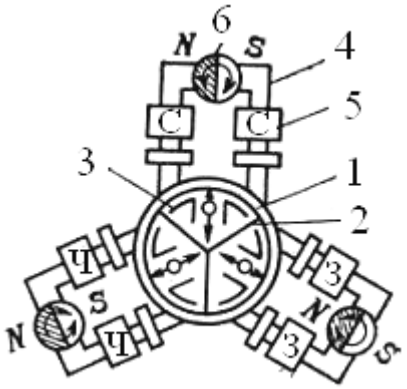


Рисунок 4.14 – Пристрій динамічного і статичного зведення

У деяких випадках тільки радіальне зміщення променів не забезпечує повне їхнє зведення в одну тріаду. Потрібне додаткове тангенціальне переміщення одного з променів, що звичайно забезпечується за допомогою магніту бічного зміщення синього променя, поміщеного на горловині кінескопа (рисунок 4.15).

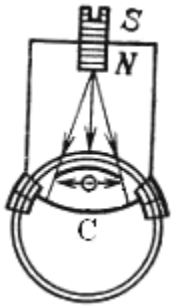


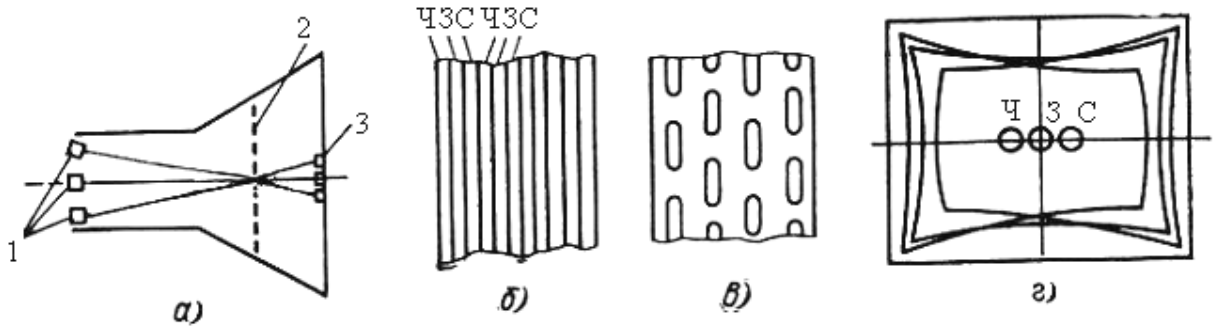
Рисунок 4.15 – Забезпечення бічного зміщення синього кольору

Масочний кінескоп із тріадним дельтоподібним розташуванням прожекторів має істотні недоліки, основними з яких є:

- необхідність складних схем динамічного зведення променів;
- мала прозорість тіньової маски, що затримує більше 80 % струму в кожному електронному промені.

4.3.3 Масочний кінескоп із компланарним розташуванням прожекторів

У масочному кінескопі з компланарним розташуванням прожекторів осі трьох електронних прожекторів знаходяться в одній горизонтальній площині, причому вісь одного прожектора (зеленого) збігається з віссю кінескопа, а осі двох інших прожекторів повернені до осі кінескопа під кутом 1,5° (рисунок 4.16 а). Кінескоп має лінійчату структуру люмінофорного покриття екрана (рисунок 4.16 б) і тіньову *щілинну маску*. Отвори в тіньовій масці виконані у вигляді вертикальних прорізів – щілин – і мають горизонтальні перемички, що збільшують її механічну міцність (рисунок 4.16 в).



1 – електронні прожектори; 2 – щілинна маска;
3 – екран з люмінофорним покриттям

Рисунок 4.16 – Кінескоп із компланарною оптикою і щілинною маскою

Основні переваги кінескопа з компланарним розташуванням прожекторів у порівнянні з дельта-кінескопом полягають у такому.

1. Розташування електронних прожекторів в одній площині робить *аберації* при відхиленні симетричними, що спрощує механізм динамічного зведення променів, тому що середній промінь (зазвичай зелений) спрямований уздовж осі кінескопа і дає симетричний щодо осей екрана растр, що не вимагає зведення. Растри, отримані від крайніх променів (червоного і синього), необхідно сполучати з центральним (зеленим) тільки в горизонтальному напрямку (рисунок 4.16 в).

2. Підвищується яскравість світіння екрана кінескопа, тому що щілинна маска має більш високу прозорість для збуджувальних люмінофорний екран електронів, ніж маска, що має круглі отвори.

3. Поліпшується чистота кольору, тому що електронний промінь на «чужу» люмінофорну смугу може потрапляти тільки в одному (горизонтальному) напрямку. Через цю причину на чистоту кольору в компланарних кінескопах значно менший вплив робить магнітне поле Землі, конкретно тільки його вертикальна складова, що зрушує промінь у горизонтальному напрямку.

4. З'являється можливість побудувати кінескопи за принципом *самозведення променів* і тим самим виключити складні пристрої і схеми статичного і динамічного зведення.

На початковому етапі розвитку техніки компланарних систем питання про суміщення зображень, які утворюються крайніми прожекторами, вирішувалося методами, освоєними на масочних кінескопах. У подальшому був запропонований метод самозведення. *Самозведення* базується на формуванні нерівномірних відхиляючих полів, які створюються наданням відповідної форми котушкам відхиляючої системи і перерозподілом щільності витків у ній. Це виявилось можливим завдяки розташуванню всіх трьох прожекторів у горизонтальній площині.

У системі із самозведенням зображення з необхідною точністю можуть бути сполучені лише за умови прецизійного виконання *електронно-оптичного вузла трубки* і точної повторюваності конфігурації магнітного поля відхиляючих систем. Для виконання цієї вимоги блок прожектора повинний бути виконаний у вигляді єдиного конструктивного вузла, а сам кінескоп випускається в комплекті з прикріпленою до горловини відхиляючою системою, положення якої попередньо ретельно юстирується з метою одержання оптимальних чистоти кольору і зведення променів. Регулювальним елементом, використовуваним при настроюванні комплексу кінескоп-відхиляюча система, є також магнітостатичний пристрій, що включає в себе магніти чистоти кольору і статичного зведення, установлені на горловині кінескопа за відхиляючою

системою. За принципом дії ці пристрої аналогічні до подібних пристроїв, що працюють у кінескопі з трикутним розташуванням прожекторів. Однак оптимальне положення їхніх регулювальних елементів підбирається і фіксується на заводі-виготовлювачі комплексу кінескоп-відхиляюча система і надалі в процесі експлуатації не регулюється.

4.3.4 Принцип роботи однопроменевого хроматрона

Хроматрон – конструкція, в якій здійснюється послідовне збудження люмінофорів різного кольору за допомогою додаткової вобуляції електронного променя.

Екран такої трубки виконаний у вигляді кольорових смуг, що чергуються, по яких зигзагоподібно переміщується електронний промінь (рисунок 4.17). Перед екраном встановлена решітка з дротів. Дроти через один електрично з'єднані між собою в дві сітки, що переплітаються. Вобуляція променя здійснюється змінною напругою U_a, яка подається на сітки. Одночасно з вобуляцією променя необхідно здійснювати і почергову, відповідно до положення променя на екрані, комутацію виходів колірних каналів на модулятор кінескопа.

Перевага трубки – простота конструкції.

Недоліки:

- дротяну решітку не можна виконувати вигнутою;
- вторинні електрони, які вибиваються з решітки, бомбардують екран, який володіє більш високим потенціалом у порівнянні з решіткою, і викликають паразитне світіння люмінофора;
- велика потужність сигналу вобуляції і необхідність введення в приймач складного електронного комутатора.

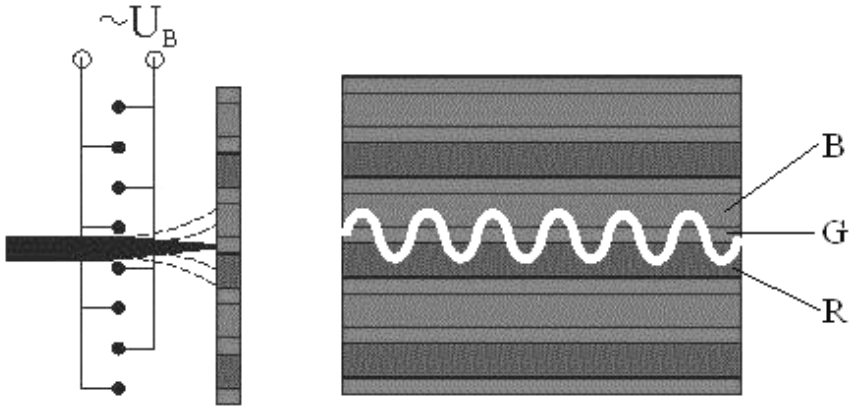


Рисунок 4.17 – Рух променя по екрану однопроменевого хроматрона

4.3.5 Плазмові панелі

Принцип роботи плазмової панелі базується на керованому холодному розряді розрідженого газу (ксенону або неону), що перебуває в іонізованому стані (холодна плазма). Робочим елементом (пікселем), що формує окрему точку зображення, є група із трьох підпікселів, відповідальних за три основні кольори відповідно. Кожен підпіксель являє собою окрему мікрокамеру, на стінках якої перебуває флюоресціювальна речовина одного з основних кольорів. Пікселі перебувають у точках перетинання прозорих керувальних хром-мідь-хромових електродів, що утворюють прямокутну сітку.

Для того щоб "запалився" піксель, відбувається приблизно таке. На два ортогональні один одному живильний і керуючий електроди, у точці перетинання яких перебуває потрібний піксель, подається висока керуюча змінна напруга прямокутної форми. Газ в осередку віддає більшу частину своїх валентних електронів і переходить у стан плазми. Іони й електрони поперемінно збираються біля електродів по різні боки камери залежно від фази керуючої напруги. Для „підпалу” подається синфазний імпульс на сканувальний електрод, однойменні потенціали складаються, вектор електростатичного поля подвоює свою величину. Відбувається розряд: частина заряджених іонів віддає енергію у вигляді випромінювання квантів світла в ультрафіолетовому діапазоні (залежно від газу). У свою чергу, флюоресціювальне покриття, перебуваючи в зоні розряду, починає випромінювати світло у видимому діапазоні, що і сприймає спостерігач. 97 % ультрафіолетової складової випромінювання, шкідливого для очей, поглинається зовнішнім склом. Яскравість світіння люмінофора визначається величиною керуючої напруги.

Недоліки: у першу чергу, це вартість. Крім того, саме зображення формується з точок (пікселів) тліючого, плазмового розряду, але цей розряд важко погасити. Крім того, внаслідок великої кількості пікселів (мільйони) зростає ймовірність відмови.

Інші, не настільки важливі, недоліки, – це небажаність тривалого перегляду нерухомих зображень (інтенсивність світіння постійно палаючих елементів згодом падає), велике енергоспоживання, недостатня точність передачі кольору. Однак фірми-виробники постійно працюють над усуненням усіх цих недоліків, і досить успішно.

Зате все інше – самі переваги: великий, до 60", плоский, яскравий екран невеликої товщини і повна відсутність проблем зведення, лінійності, фокусу тощо, характерних для кінескопних телевізорів. Якість відтворення ефірних програм визначається якістю окремого блоку, –

тюнера, – що у більшості випадків у комплект до плазмової панелі не входить і купується окремо. Інші пристрої звичайно підключаються до плазмової панелі через RGB або компонентний вхід.

4.3.6 Рідкокристалічні (LCD) панелі/матриці, TFT-панелі

Даний тип електронних пристроїв сьогодні вважається найперспективнішим. Застосовується ефект керованої напругою поляризації світла рідкими кристалами, що приводить до керованого світлопропускання.

Використовується екран просвітного типу, тобто екран підсвічується зі зворотної сторони лампою білого кольору, а комірки основних кольорів RGB, розташовані на трьох панелях відповідних кольорів, пропускають або не пропускають світло, залежно від керування. У більшості сучасних ЖК-телевізорів розмір діагоналі не перевищує 40". Керуючі елементи виготовлені методом напилювання на екран (TFT – Thin Film Transistor – тонкоплівкові транзистори).

Основні недоліки на сьогодні: висока вартість, помітна залежність відтінку і яскравості від кута перегляду, деяка нерівномірність яскравості, неідеальна передача кольору, недостатня швидкодія.

Переваги: плоске, досить якісне зображення, мала товщина, низьке енергоспоживання, повна відсутність проблем, характерних для кінескопів. У цілому, якщо порівнювати кінескопні телевізори з LCD і плазмовими панелями, то переваги двох останніх досить значні. У LCD і плазмових панелей не помітний ефект "мерехтіння", очі не втомлюються. Якість зображення чудова. Конструкція компактна, LCD і плазмові панелі незрівнянно більш вузькі, ніж кінескопні телевізори. Основний недолік – висока ціна (але поступово падає, і купівельний попит зростає). Однак на даний момент кінескопні телевізори все-таки дешевше, і, до того ж, звичні.

Якщо порівнювати рідкокристалічні і плазмові телевізори, то можна помітити таке. У більшості LCD розміри екрана поки що обмежені (близько 40"), у плазмовій панелі розмір може бути значно більший (близько 60"). Роздільна здатність у LCD вище, ніж у плазмових панелей. Час відклику для LCD може бути досить помітним.

4.3.7 Проекційні телевізори і проектори

Зображення виходить на просвітному (для проекційних ТВ) або відбиваючому (для проекторів) екрані, граничний розмір якого для проекційних ТВ становить близько 60", і до декількох метрів – для проек-

торів. Для перегляду фільмів на проекторах приміщення повинне бути затемнене.

За принципом дії серед відеопроекторів і проекційних телевізорів виділяють такі різновиди.

На кінескопах (CRT)

У проекційних телевізорах і проекторах на кінескопах використовуються три дуже яскраві, невеликі кінескопи основних кольорів, зображення з яких через оптичну систему і дзеркало потрапляє на екран.

Недоліки: невисока яскравість зображення, проблеми зведення, "вигоряння" нерухомої частини зображення при тривалому перегляді.

Переваги: ці проектори цінуються аматорами HiEnd за природну передачу кольору (а це суттєво). Проекційні ТВ цінуються за те ж, але вони громіздкі і важкі.

На РК (LCD) матрицях

Проекційні телевізори і проектори на РК (LCD) матрицях мають три матриці основних RGB-кольорів або одну триколірну матрицю, зображення з яких проектується на екран через оптичну систему. Світло утворюється потужною лампою. Для триматричної системи характерний поділ спектра світла лампи на колірні складові оптичним способом.

Недоліками LCD систем є неідеальна передача кольору і недостатня швидкодія: за об’єктами, що рухаються, видний "шлейф". Крім того, оскільки ці матриці працюють на просвіт (а просвічує їх досить потужна лампа), виникає проблема відводу тепла від матриць. Якість триматричної системи істотно вища за одноматричну.

Переваги системи – порівняно невисока вартість, яскравий екран, невеликі габарити (проектори маленькі, зручні для перенесення).

Останнім часом з’являються системи з LCD-матрицями відбиваючого типу, що позбавлені багатьох цих недоліків і наближаються за якістю до проекторів на основі мікродзеркальної технології при істотно меншій вартості.

Проектори на мікродзеркалах (DLP – Digital Light Processing – "цифрова обробка світла")

В основі системи лежить мікросхема – DMD-чіп, всередині якого знаходяться електростатично керовані мікродзеркала (близько двох мільйонів), кожне з яких формує точку зображення у визначеному місці екрана. DLP проектори розрізняють за кількістю DMD-чіпів (від одного до трьох).

Найякісніша система, – природно, із трьома DMD-чіпами. Промінь світла від потужної лампи розділяється призмами на три кольорові скла-

дові, кожна з яких потрапляє на свій мікродзеркальний чіп, і далі, через оптичну систему, – на екран.

Недоліків, крім вартості, не відзначено. Для DLP-проекторів, на відміну від інших систем, характерна висока контрастність. Дуже точна передача кольору, висока яскравість, дуже чіткі контури зображень.

Істотно знизити вартість системи дозволяє застосування тільки одного мікродзеркального чіпу, при цьому у систему додається обертовий кольороподільний диск. На диску знаходяться віконця, послідовно пофарбовані в основні (RGB, іноді і прозорий, для підвищення яскравості) кольори. Промінь від лампи, послідовно зафарбовуючись в основні кольори, потрапляє на мікродзеркальний чіп, далі на екран – використовується властивість ока усереднювати зображення. Однак є один недолік – за рахунок послідовної передачі кольору при переведенні погляду з однієї частини екрана на іншу, помічається на екрані щось подібне до веселки. В іншому система практично не поступається тричіповим.

Є й інше рішення – тільки два чіпи, з тим же кольороподільним диском, тільки використовуються інші кольори. При цьому один чіп використовується тільки для червоного кольору, другий – для всього іншого. Усі переваги залишаються. Висока вартість DLP-систем зумовлена тим, що мікродзеркальні чіпи виготовляє тільки фірма Texas Instruments.

Загальним недоліком для проекційних систем з потужною лампою є термін служби лампи – кілька тисяч годин, це "витратний матеріал", що коштує залежно від типу від ста до тисячі доларів. Застосування такої потужної лампи потребує необхідності додаткового охолодження, але це вентилятор, що шумить. При перепадах напруги живлення лампа різко перегрівається (вентилятор не працює, тепло не відводиться), і лампу доводитиметься міняти достроково.

Відеопроектори на сьогодні дозволяють створити домашній кінотеатр найвищого рівня, максимально наближений до дійсного кінотеатру. Це позбавляє необхідності затемнення приміщення перед переглядом і придбання екрана. Відеопроектор дозволяє одержати зображення найкращої якості, з найвищими показниками контрастності, яскравості тощо. Розміри зображення, що одержується, можуть досягати декількох метрів по діагоналі.

При цьому самі відеопроектори досить невеликі за розмірами. Екран оснащується так, щоб його можна легко зібрати, загорнути, розгорнути, сховати, причому при відповідному устаткуванні ці операції виконуються за допомогою пульта ДУ.

Контрольні питання до розділу

1. Класифікація відтворювальних пристроїв.
2. Принцип роботи кінескопа для чорно-білого ТБ.
3. Призначення та конструкції електронних прожекторів. Поняття кросовера.
4. Принципи електростатичного і електромагнітного фокусування електронного променя. Переваги та недоліки.
5. Система фокусування електронного променя. Принцип фокусування.
6. Поняття модуляції електронного променя.
7. Модуляційна характеристика кінескопа. Контрастність у кінескопах, поняття ореола.
8. Кінескопи для кольорового ТБ. Масочний кінескоп з дельтовидним розташуванням прожекторів.
9. Принцип застосування тіньової маски в кінескопах. Переваги та недоліки її застосування.
10. Спотворення зображення в кінескопах. Основні методи їх усунення.
11. Методи регулювання в кінескопах з дельтовидним розташуванням прожекторів.
12. Масочний кінескоп із компланарним розташуванням прожекторів. Поняття самозведення. Переваги даного кінескопа.
13. Принцип роботи однопроменевого хроматрона.
14. Плазмові панелі та їх застосування.
15. Принцип роботи рідкокристалічного дисплея на основі LCD та TFT.
16. Принцип роботи проекційних телевізорів і проекторів.

РОЗДІЛ 5

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТЕЛЕВІЗІЙНИХ ПРИЙМАЧІВ

5.1 Узагальнена структурна схема чорно-білого телевізора

Телевізійні приймачі бувають прямого підсилення і супергетеродинні. І перші, і другі можуть будуватися за двоканальною і одноканальною схемами. Через велику кількість телевізійних каналів приймачі прямого підсилення вийшли з користування, оскільки в приймачі прямого підсилення при переході з одного каналу на інший необхідно переналаджувати всі каскади високочастотного підсилювача. На рисунку 5.1 наведена функціональна схема супергетеродинного телевізійного приймача.

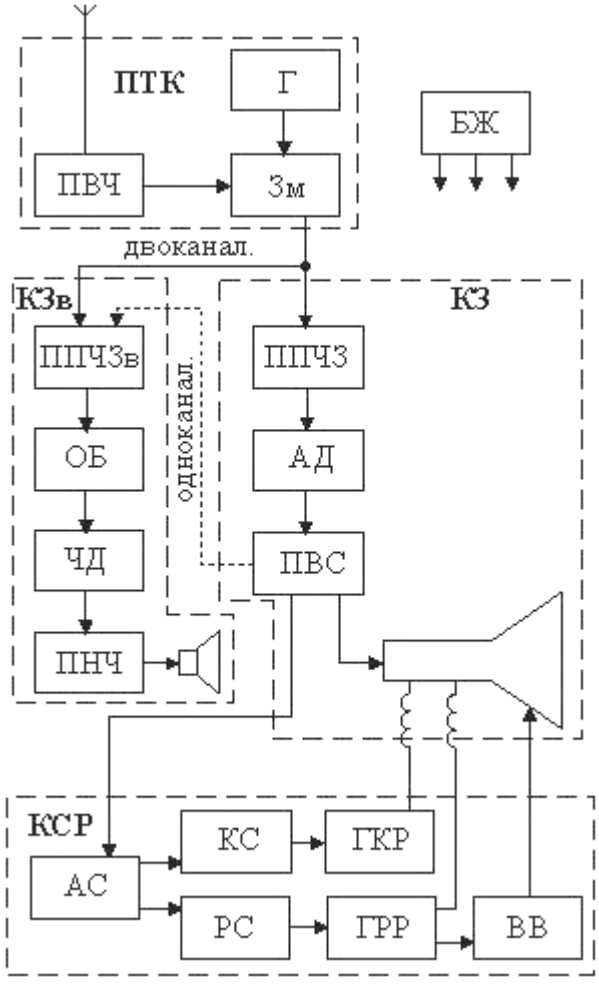


Рисунок 5.1 – Типова схема супергетеродинного приймача

На рисунку використані такі позначення:
ПТК – перемикач телевізійних каналів; КЗв – канал звуку; КЗ – канал зображення; КСР – канал синхронізації і розгортки; ПВЧ – підсилювач високої частоти; Г – гетеродин; Зм – змішувач; БЖ – блок живлення;

ППЧЗ – підсилювач проміжної частоти зображення; АД – амплітудний детектор; ПВС – підсилювач відеосигналу; ППЧЗв – підсилювач проміжної частоти звуку; ОБ – обмежувач; ЧД – частотний детектор; ПНЧ – підсилювач низької частоти; АС – амплітудний селектор; КС – вузол кадрової синхронізації; РС – вузол рядкової синхронізації; ГКР – генератор кадрової розгортки; ГРР – генератор рядкової розгортки; ВВ – високовольтний випрямляч.

Вхідні кола телевізора – підсилювач високої частоти *ПВЧ*, змішувач *Зм* і гетеродин *Г* разом з перемикачем програм конструктивно об'єднані в спільний блок перемикача телевізійних каналів *ПТК*.

В двоканальному приймачі сигнал з виходу змішувача надходить у канали звуку *КЗв* та зображення *КЗ*. Канал звуку виконаний за схемою звичайного ЧМ-приймача.

На вхід телевізора надходить сигнал від передавача з частково заглушеною нижньою боковою смугою. В результаті гетеродинування спектр сигналу передавача зміщується в область більш низьких частот. Зазвичай частота гетеродину $f_г$ обирається більш високою, ніж частота сигналів, тому на виході змішувача утворюється проміжна частота зображення $f_{п.з.} = f_г - f_{н.з.}$ і звуку $f_{п.зв.} = f_г - f_{н.зв.}$. Тому в спектрі проміжної частоти телевізійного сигналу $f_{п.з.} > f_{п.зв.}$ (рисунок 5.2 а).

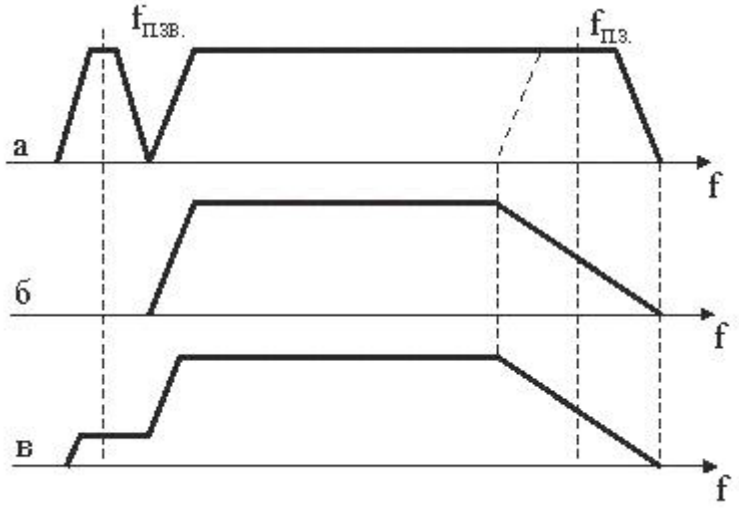


Рисунок 5.2 – Перетворення спектра сигналу в телевізійному приймачі

Спектр дзеркального каналу, для якого $f_{дз.з.} = f_г + f_{н.з.}$ і $f_{дз.зв.} = f_г + f_{н.зв.}$, заглушується фільтрами проміжної частоти телевізора. Якщо сигнал, зображений на рисунку 5.2а, подати на амплітудний детектор *АД*, то в результаті детектування спектр початкового модулювального сигналу спотвориться, оскільки амплітуди бічних частот при детектуванні сумуються. Відносний рівень низьких частот, які передаються

двома бічними смугами, виявиться в два рази більшим, ніж високих частот, які передаються лише однією бічною смугою.

Для компенсації цих спотворень несуча частота зображення і спектральні складові, які до неї прилягають і передаються двома бічними смугами, повинні бути послаблені в середньому в два рази. Це досягається відповідним вибором форми частотної характеристики підсилювача проміжної частоти зображення ППЧЗ і розташуванням несучої зображення $f_{п.з.}$ на середині схилу пологої ділянки характеристики (рисунок 5.2 б, в).

У двоканальному приймачі зі сторони $f_{п.зв.}$ характеристика повинна мати різкий обрив для того, щоб сигнали звукового супроводу не потрапляли в канал зображення (рисунок 5.2 б).

В одноканальному приймачі сигнали зображення і звуку підсилюються у спільному ППЧЗ і розділюються після амплітудного детектора. Але ППЧЗ одноканального приймача не може рівномірно підсилювати сигнали зображення та звуку через наявність нелінійного елемента у вигляді амплітудного детектора (виникають перехресні спотворення обох сигналів). Ці спотворення будуть впливати тим менше, чим менший один із сигналів. Тому доводиться зменшувати відносний рівень сигналу звукового супроводу, надаючи частотній характеристиці ППЧЗ ступінчатої форми (рисунок 5.2 в) з плоскою ділянкою на рівні 0,1...0,15 від максимуму в районі розташування $f_{п.зв.}$. Плоска частина необхідна, щоб виключити виникнення додаткової паразитної амплітудної модуляції сигналів звукового супроводу.

Основна перевага двоканального приймача полягає в тому, що відбувається роздільне підсилення сигналів зображення і звуку, що виключає можливість їх взаємного проникнення не у свої канали.

Проте це є також основним недоліком, оскільки проміжна частота каналу звуку повинна бути настільки ж високою, як і в каналі зображення. Але звуковий канал вузькосмуговий, тому незначний відхід частоти гетеродину призводить до спотворення або зникнення звуку.

Використання ефективної системи автопідстроювання деякою мірою може вирішити проблему стабілізації частоти гетеродину, але залишається проблема взаємного розлагодження каналів звуку і зображення при старінні деталей, зміні напруг живлення або оточуючих температур. Це призводить до того, що при доброму налагодженні зображення неможливо отримати добру якість звуку і навпаки.

В одноканальних схемах цього немає, проте звук може потрапити на екран кінескопа і сигнали частоти кадрової розгортки. Щоб уникнути цього, використовують спеціальні режекторні фільтри.

Канал синхронізації і розгортки *КСР* призначений для виконання таких функцій: відділення синхросигналу від сигналу зображення за допомогою амплітудного селектора *АС*, розділення рядкових і кадрових синхросигналів у вузлах кадрової *КС* і рядкової *РС* синхронізацій, формування відхиляючих струмів у генераторах кадрової *ГКР*, рядкової *ГРР* розгорток і їх синхронізації, отримання напруги для живлення анода кінескопа у високовольтному випрямлячі *ВВ*.

5.2 Побудова стаціонарного кольорового телевізора ЗУСКТ

Уніфіковані стаціонарні кольорові телевізори ЗУСКТ виконані повністю на напівпровідникових приладах і мікросхемах (за винятком кінескопа і індикаторів). Вони мають єдину принципову схему, конструкцію та кінескопи з самозведенням променів і різними розмірами екрана. Відповідно до кінескопа, що використовується, в телевізорах застосовуються декілька відмінних між собою модулів рядкової розгортки і живлення.

На рисунку 5.3 наведена структурна схема телевізора ЗУСКТ, призначеного для роботи з кінескопами 61ЛК5Ц і 51ЛК2Ц. До його складу входять: А1 – модуль радіоканалу; А1.1 – селектор телевізійних каналів СК-М-24-2; А1.2 – селектор телевізійних каналів СК-Д-24; А1.3 – субмодуль радіоканалу; А1.4 – субмодуль синхронізації; А2 – модуль кольоровості; А2.1 – субмодуль кольоровості; А3 – з'єднувальна плата; А4 – модуль живлення; А5 – відхиляюча система; А6 – модуль кадрової розгортки; А7 – модуль рядкової розгортки; А7.1 – субмодуль корекції растра; А8 – плата кінескопа; А9 – блок живлення; А10 – пристрій сенсорного керування; А11 – пристрій розмагнічування кінескопа; А12 – плата фільтра живлення.

Радіосигнал мовного телебачення з антенних входів „МВ" та „ДМВ" надходить, відповідно, на селектори СК-М-24-2 і СК-Д-24. З виходу селектора СК-М-24-2 проміжні частоти звуку і зображення надходять на субмодуль радіоканалу А1.3, де вони підсилюються і де формується частотна характеристика радіоканалу. На вході ППЧЗ (підсилювач проміжної частоти зображення) застосовують фільтри на поверхневих акустичних хвилях (ПАВ). Після детектування відеосигнал надходить у канал звуку, де з нього виділяється різницева частота 6,5 МГц. Різницева частота підсилюється і обмежується в каскадах ППЧЗв (підсилювач проміжної частоти звуку). Потім здійснюється частотне детектування і попереднє підсилення звукової частоти.

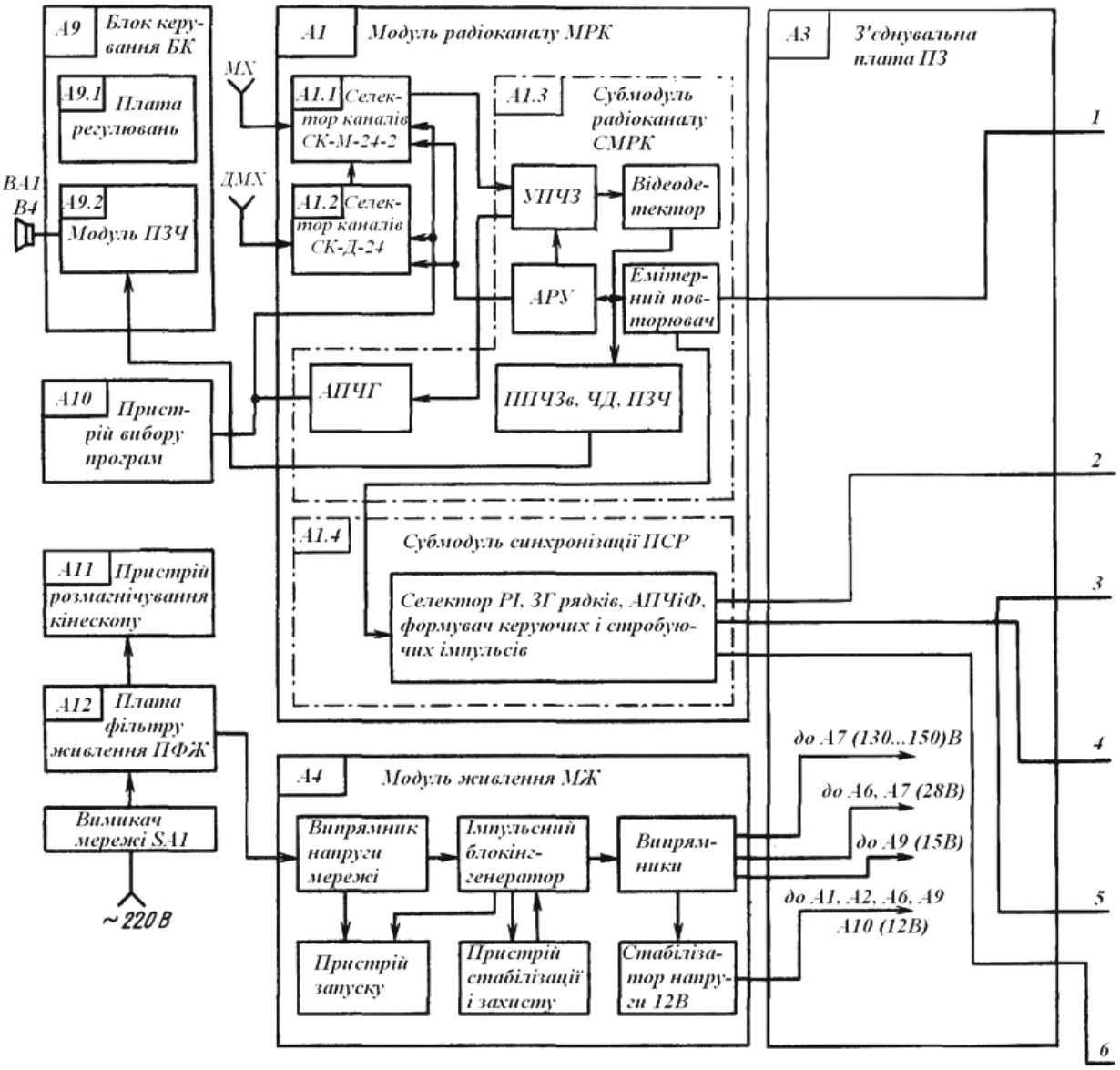


Рисунок 5.3 – Частина 1. Структурна схема телевізора ЗУСКТ

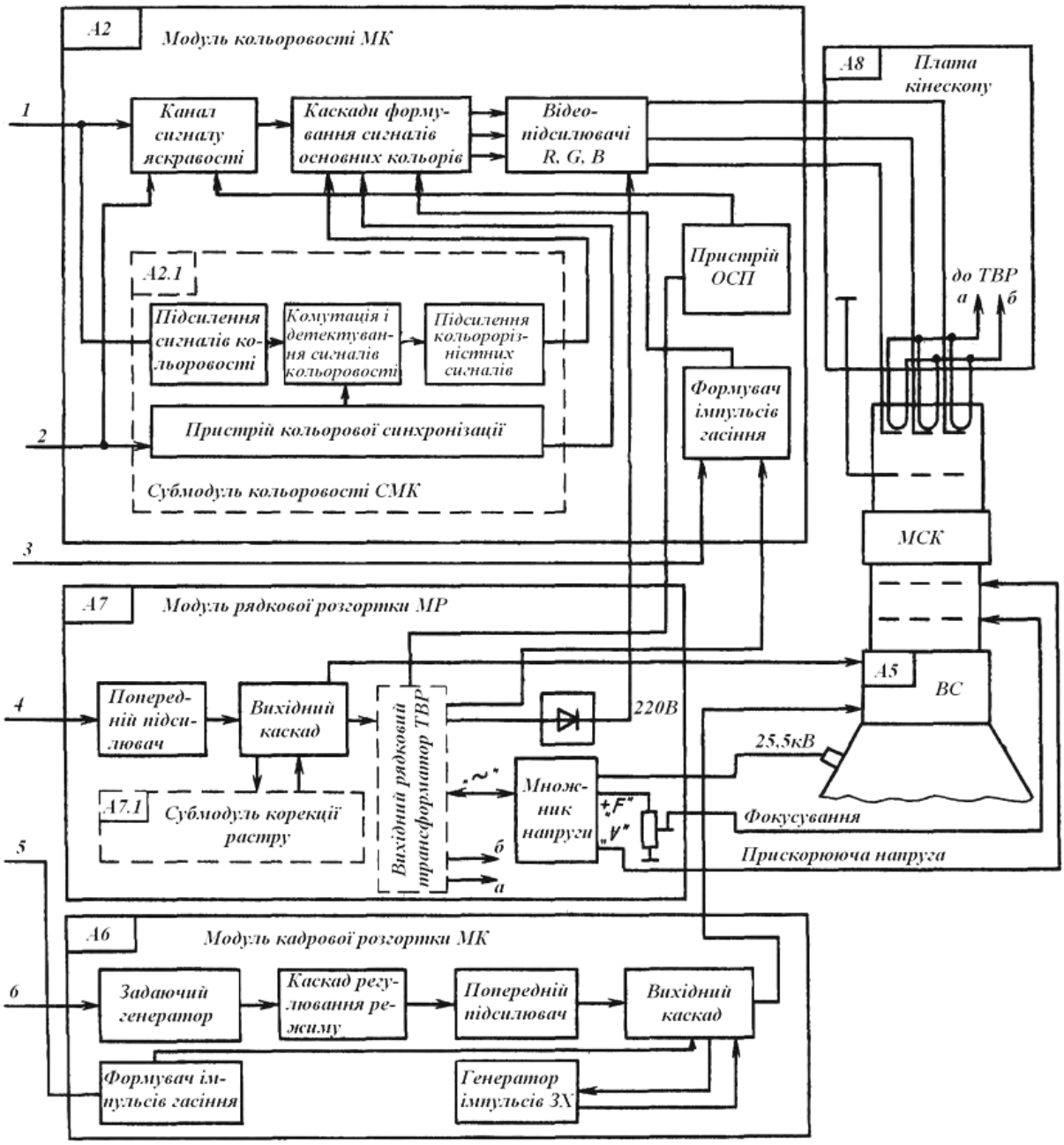


Рисунок 5.3. – Частина 2. Структурна схема телевізора ЗУСКТ

З ППЧЗ зв’язаний пристрій АПЧГ (автоматичне підстроювання частоти гетеродина), відеодетектор і пристрій АРП (автоматичне регулювання підсилення). Напруга АПЧГ надходить на селектори каналів, де вона додається до напруги попередньої настройки, яка надходить з пристрою сенсорного керування А10. Пристрій АРП охоплює своїм регулюванням селектори каналів і ППЧЗ. Через емітерний повторювач відеосигнал надходить у субмодуль А1.4 синхронізації розгорток ПСР, в канали яскравості і кольоровості (в модулі кольоровості А2). В субмодулі синхронізації розгорток ПСР А1.4 амплітудний селектор виділяє з відеосигналу кадрові і рядкові синхроімпульси. Кадрові синхроімпульси надходять на вхід ЗГ (задавальний генератор) в модулі кадрової розгортки А6, а рядкові – через пристрій АПЧіФ (автоматичне підстроювання частоти і фази) корегують частоту і фазу імпульсів запуску імпульсів, які створює ЗГ рядкової розгортки (в А1.4). Вихід ЗГ зв’язаний з попереднім підсилювачем у модулі рядкової розгортки А7.

В каналі яскравості модуля кольоровості А2 здійснюється електронне регулювання контрастності, яскравості, насиченості, режекція сигналів кольоровості при прийомі чорно-білого зображення, перша фіксація рівня чорного обмеження струменів променів.

Субмодуль кольоровості А2.1 містить підсилювач сигналів кольоровості, пристрій кольорової синхронізації, електронний комутатор, частотні детектори і підсилювачі кольорорізнисних сигналів.

Пристрій кольорової синхронізації (ПКС) призначений для автоматичного вмикання і вимикання каналу кольоровості і режекторних контурів в каналі яскравості залежно від передачі, яка приймається (кольорова чи чорно-біла), і для корекції правильності перемикання електронного комутатора. Після детектування кольорорізнисні сигнали разом із сигналом яскравості надходять на матрицю, в якій утворюються сигнали основних кольорів. У вихідних відеопідсилювачах сигнали основних кольорів підсилюються до значення, необхідного для модуляції струмів променів кінескопа.

Гасіння променів кінескопа здійснюється однокаскадним підсилювачем, який працює в ключовому режимі. На підсилювач надходять сигнал від формувача імпульсів у модулі кадрової розгортки та імпульси рядкової частоти з вихідного каскаду рядкової розгортки. Імпульси гасіння надходять на каскади формування сигналів основних кольорів і після підсилення подаються на катоди кінескопа. Модулятори кінескопа з’єднуються з корпусом.

Модулі рядкової А7 і кадрової А6 розгорток призначені для створення відхиляючих струмів рядкової і кадрової частот і формування ряду імпульсних напруг, необхідних для функціонування пристроїв стабілізації розмірів, АПЧіФ і ОСП (обмеження струму променів). Модуль рядкової розгортки складається з попереднього підсилювача, вихідного каскаду і субмодуля корекції растра А7.1, який призначений для усунення геометричних спотворень вертикальних ліній і стабілізації розміру по горизонталі.

Модуль А7 є джерелом напруг для живлення анода, фокусувального і прискорювального електродів кінескопа, які утворюються за допомогою множника напруги, а також напруги 220 В для живлення вихідних відеопідсилювачів. Напруга на підігрівачі кінескопа 6,3 В знімається з однієї з вторинних обмоток ТВР (вихідний рядковий трансформатор).

Модуль кадрової розгортки А6 складається зі ЗГ, формувача імпульсів гасіння, каскадів регулювання розміру, лінійності і режиму, попереднього підсилювача, вихідного каскаду і генератора імпульсів зворотного ходу.

В блоці керування А9 розташовані оперативні регулятори яскравості, гучності, контрастності, насиченості, кінцевий ПЗЧ (підсилювач звукової частоти) і стабілізатор напруги 30 В, який використовується для налагодження на канали, що приймаються, в пристрої сенсорного керування. Регулятор насиченості конструктивно з’єднаний із вимикачем каналу кольоровості.

На платі кінескопа А8 розташовані розрядники й обмежувальні резистори, а також регулятори фокусувальної і прискорювальної напруг.

Напруга мережі 220 В (50 Гц) надходить на плату фільтра живлення ПФЖ А12. На ПФЖ розташовані завадозаглушувальні ланцюги й елементи пристрою автоматичного розмагнічування кінескопа.

Модуль живлення А4 включає в себе випрямляч напруги мережі, імпульсний генератор, імпульсні випрямлячі напруги, пристрій стабілізації і захисту від перенавантаження 12 В і пристрій запуску. Імпульсні випрямлячі живлять приймач напругами 130 (135, 150), 28 і 15 В і стабілізованою напругою 12 В. Всі модулі і блоки з’єднані в основному через з’єднувальну плату ПЗ А3.

Контрольні питання до розділу

1. Принцип роботи й узагальнена структурна схема чорно-білого телевізора. Призначення окремих блоків.
2. Перетворення спектра сигналу в телевізійному приймачі. Поняття проміжних частот звуку та зображення.
3. Особливості роботи одноканальних та двоканальних телевізійних приймачів.
4. Принципи побудови кольорових телевізійних приймачів. Характеристика окремих модулів.
5. Призначення та принцип функціонування блоку вибору програм.
6. Призначення та принцип функціонування модулю радіоканалу.
7. Призначення та принцип функціонування субмодуля синхронізації.
8. Призначення та принцип функціонування модуля кольоровості.
9. Призначення модуля кольорової синхронізації.
10. Призначення та принцип функціонування модуля рядкової розгортки.
11. Призначення та принцип функціонування модуля кадрової розгортки.
12. Призначення та принцип функціонування множника напруги.

РОЗДІЛ 6

ОСНОВИ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ

6.1 Загальні принципи побудови системи цифрового телебачення

Аналоговий телевізійний сигнал відповідно до його природи повторює розподіл яскравості і кольоровості на шляху, по якому проводиться розгортка зображення, тобто він дійсно є електричним аналогом зображення. Тому системи телебачення, в яких використовується для передачі консервації або яких-небудь інших завдань обробки аналоговий сигнал, називаються системами аналогового телебачення. Впродовж декількох десятиліть телебачення було аналоговим, і лише в кінці 70-х років розробникам телевізійних систем довелося зіткнутися з обмеженнями аналогових методів що серйозно звужують можливості подальшого розвитку телебачення.

Однією з головних причин цих обмежень слід вважати слабку завадостійкість аналогового сигналу, який піддається в кожному з пристроїв телевізійного тракту дії шумів і інших завад. Сучасна ж мовна ТВ система є вельми довгим ланцюгом пристроїв перетворення і передачі сигналів, число ланок якої з розвитком телебачення значно збільшується.

У будь-якій ланці цього складного ланцюга виникає неминуча втрата якості зображення. Пов'язано це з тим, що в кожному пристрої, при будь-якому з перетворень, якому піддається сигнал, на нього впливають завади. При аналогових методах підсилення і обробки ТВ сигналу ці завади накопичуються від ланки до ланки, і звісно, тим сильніше, чим більше в ТВ системі процесів обробки, переприймання або перезаписів сигналу. Поки подібних перетворень небагато, сумарні спотворення ще можуть бути непомітні. Але з розвитком телебачення число перетворень дуже швидко зростає. Збільшуються відстані між передавальними і приймальними пунктами, зростає номенклатура і число різноманітних відеоефектів, що різноманітять передачу, але вимагають додаткових перетворень, ускладнюється технологія монтажу ТВ програм. У таких системах проблема забезпечення необхідної завадостійкості стає головною. Істотно зменшити спотворення від завад при формуванні телепередачі, її консервації або передачі дозволяють цифрові методи, вже відомі в техніці зв'язку. Тому останніми роками основна увага приділяється розвитку цифрового телебачення.

Цифрове телебачення – область телевізійної техніки, в якій операції обробки, консервації і передачі телевізійного сигналу пов'язані з його перетворенням в цифрову форму.

Цифрові методи окрім забезпечення високої якості зображення при дії значних завад мають і інші достоїнства. Так, при однаковій пропускній спроможності каналу вони дозволяють передавати більше число програм в порівнянні з аналоговим телебаченням; завдяки зменшенню необхідних операцій по налаштуванню на етапі виробництва вони є більш технологічними; при цьому буде вищою експлуатаційна надійність цифрової апаратури. Набагато легше, порівняно з аналоговою технікою, досягається універсальність роботи цифрової апаратури в різних світових стандартах телебачення. Краща завадозахищеність цифрового сигналу дозволяє понизити вимоги до його потужності в процесі доставки до приймальних пристроїв. Повторення зображення характерні для аналогового телебачення при багатопроменевому прийомі, цифровими методами можуть бути практично повністю виключені.

Нарешті, цифрові методи дозволять включити телебачення в єдину світову інформаційну систему через телевізійні інтерактивні канали, а також реалізувати можливість прийому телепередач через підключення до мережі Інтернет.

Можна представити системи цифрового телебачення двох типів [14]. У системі першого типу, що є повністю цифровою, перетворення необхідного для передачі зображення в цифровий сигнал і зворотне перетворення цифрового сигналу в зображення на екрані приймача здійснюються безпосередньо в перетворювачах світло-сигнал і сигнал-світло. У всіх ланках тракту передачі зображення інформація передається в цифровій формі. У перспективі створення таких перетворювачів цілком реально. Проте в даний час їх ще не існує, а тому доцільно розглядати цифрові ТВ системи другого типу, в яких з датчиків виходить аналоговий ТВ сигнал, потім він перетвориться в цифрову форму піддається необхідній обробці, передачі або консервації, а потім знову набуває аналогової форми. При цьому використовуються існуючі датчики аналогових ТВ сигналів і перетворювачі сигнал-світло в телевізійних приймачах. У цих системах на вхід тракту цифрового телебачення поступає аналоговий ТВ сигнал, потім він кодується, тобто перетворюється в цифрову форму.

6.2 Імпульсно-кодова модуляція

Перетворення аналогового сигналу в цифрову форму є комплексом операцій, найбільш істотними з яких є дискретизація, квантування і безпосередньо кодування.

Дискретизація – заміна безперервного аналогового ТВ сигналу $u(t)$ послідовністю окремих в часі відліків цього сигналу. Найбільш по-

ширена рівномірна дискретизація, що має постійний період, заснована на теоремі Котельникова-Найквіста. Згідно з цією теоремою будь-який неперервний сигнал $u(t)$, що має обмежений спектр частот (рисунок 6.1 а), може бути представлений значеннями цього сигналу $u(t_n)$, взятими в дискретні моменти часу (відліки) $t_n = nT$ (рисунок 6.1 б), де $n = 1, 2, 3, \ldots$ – цілі числа; T – період або інтервал дискретизації, вибраний з умови теореми Котельникова-Найквіста: $T \le 0{,}5/f_{гр}$. Тут $f_{гр}$ – максимальна частота спектру початкового сигналу $u(t)$. Величина, зворотна періоду дискретизації, називається частотою дискретизації. Мінімально допустима частота дискретизації $f_д = 2f_{гр}$.

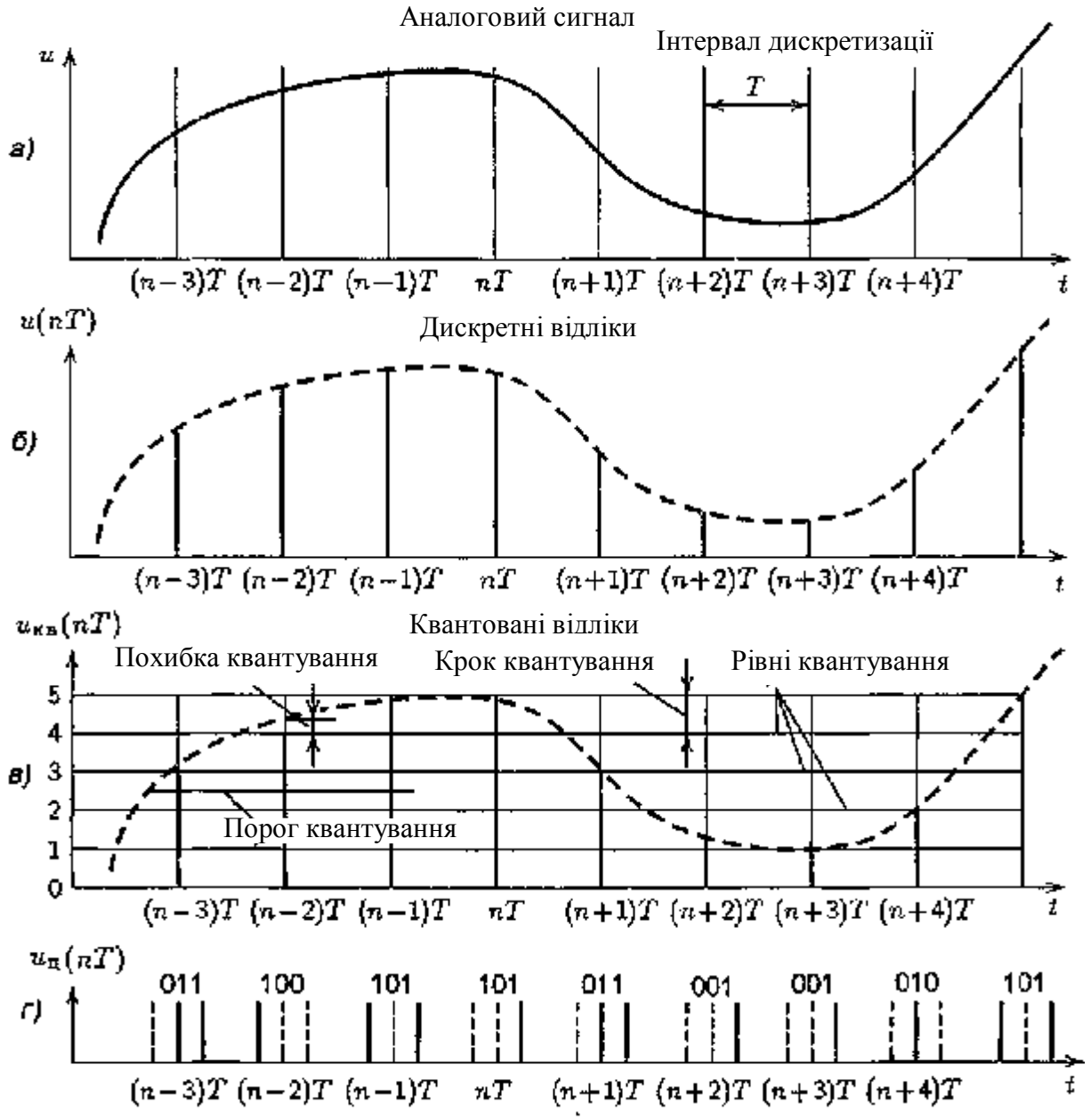


Рисунок 6.1 – Перетворення сигналу з аналогової форми в цифрову

Аналітичний вираз теореми Котельникова-Найквіста має вигляд:

$$u(t)=\sum_{n=-\infty}^{\infty} u(nT)\frac{\sin 2\pi f_{гр}(t-nT)}{2\pi f_{гр}(t-nT)}.$$

Передбачається, що відліки $u(nT)$ є δ-імпульсами (нескінченно короткими). Для відновлення початкового аналогового сигналу $u(t)$ з послідовності відліків $u(nT)$ останні необхідно, відповідно до аналітичного виразу теореми Котельникова-Найквіста, пропустити через ідеальний фільтр нижніх частот (ФНЧ) із зрізом на частоті $f_{гр}$.

Множник $\left[\sin 2\pi f_{гр}(t-nT)\right]/\left[2\pi f_{гр}(t-nT)\right]$ є реакцією такого фільтра на одиничний імпульс $u(nT)$. З теореми виходить, що для точного відновлення вихідного сигналу необхідна наявність нескінченно великого числа відліків. На практиці ж сигнал, що завжди має кінцеву тривалість, описується кінцевим числом відліків. Не дивлячись на невідповідність умовам теореми, такий спосіб відновлення сигналу широко використовується в цифровому телебаченні і точність відновлення при дотриманні певних вимог виявляється достатньою.

Наступним після процесу дискретизації при перетворенні аналогового сигналу в цифрову форму слідує процес квантування. Квантування (термін запозичений з атомної фізики) полягає в заміні набутих після дискретизації миттєвих значень відліків найближчими значеннями з набору окремих фіксованих рівнів (рисунок 6.1 в). Квантування також є дискретизацією ТВ сигналу, але здійснювану не в часі, а по рівню сигналу $u(t)$. Для усунення плутанини між цими поняттями і введена різна термінологія.

Фіксовані рівні, до яких "прив'язуються" відліки, називають рівнями квантування. Розбиваючи динамічний діапазон зміни сигналу $u(t)$ рівнями квантування на окремі області значень, кожна з яких називається кроком квантування, утворюють шкалу квантування. Вона може бути як лінійною, так і нелінійною, залежно від умов перетворення. Округлення відліку до одного з двох найближчих рівнів (верхнього або нижнього) визначається положенням порогів квантування (рисунок 6.1 в).

Можливість відновлення в зоровому апараті людини початкового зображення по його квантованому наближенню (у теоремі ця операція не передбачається) витікає з обмеженості контрастної (і колірної) чутливості зорової системи.

Отже, дискретизований і квантований сигнал $u_{кв}(nT)$ вже є цифровим. Дійсно, якщо амплітуда імпульсів дискретизованого сигналу $u(nT)$ може набувати будь-яких довільних значень в межах початкового динамічного діапазону сигналу $u(t)$, то операція квантування привела до за-

міни всіх можливих значень амплітуди сигналу обмеженим числом значень, рівним числу рівнів квантування. Таким чином, квантована вибірка сигналу виражається деяким числом в системі числення з основою m, де m – число рівнів квантування. Але цифровий сигнал в такій формі по завадозахищеності мало виграє в порівнянні з аналоговим, особливо при великому значенні m. Для збільшення завадозахищеності сигналу його краще всього перетворити в двійкову форму, тобто кожне значення рівня сигналу записати в двійковій системі числення. При цьому значення рівня буде перетворено в кодову комбінацію символів 0 або 1 (рисунок 6.1 г). У цьому і полягає третя завершальна операція по перетворенню аналогового сигналу $u(t)$ в цифровий, що отримала назву операція кодування.

Кодування – це перетворення квантованого значення відліку $u_{кв}(nT)$ у відповідну йому кодову комбінацію символів $u_{ц}(nT)$. Найбільш поширений спосіб кодування ТВ сигналу – представлення його дискретних і проквантованих відліків в натуральному двійковому коді. Цей спосіб отримав назву *імпульсно-кодової модуляції* (ІКМ). На рисунку 6.1 г показано результат перетворення фрагмента початкового сигналу $u(t)$ у послідовність комбінацій двійкового трьохрозрядного коду.

Часто всю сукупність перерахованих операцій (дискретизація, квантування і кодування) скорочено називають кодуванням телевізійного сигналу. Це має певні технічні підстави, оскільки всі ці три операції виконуються одним технічним пристроєм – *аналого-цифровим перетворювачем* (АЦП). Зворотне перетворення цифрового сигналу в аналоговий проводиться в пристрої, що називається *цифро-аналоговим перетворювачем* (ЦАП). Аналого-цифрові і цифро-аналогові перетворювачі – неодмінні блоки будь-яких цифрових систем передачі, зберігання і обробки зображень.

6.3 Оцінка швидкості передачі цифрового потоку ІКМ сигналу

Дослідження ІКМ в телебаченні почалися порівняно давно. Перші пропозиції датуються ще 30-ми роками минулого століття. Але лише відносно недавно цей метод почав застосовуватися в мовному телебаченні. Причина настільки тривалого впровадження пояснюється жорсткими вимогами до швидкодії пристроїв перетворення і передачі цифрового сигналу. Щоб пояснити це, оцінимо швидкість передачі цифрового потоку ІКМ сигналу по каналу зв'язку.

При безпосередньому кодуванні телевізійного сигналу методом ІКМ кодові комбінації створюються з частотою, рівною частоті відліків,

тобто частоті дискретизації. Кожна кодова комбінація відповідає певному відліку і містить деяке число k двійкових символів (бітів).

Швидкістю цифрового потоку c називається число двійкових знаків, що передаються за одиницю часу. Величина 1 біт за секунду приймається за одиницю швидкості. Таким чином швидкість передачі ТВ сигналу в цифровій формі дорівнює добутку частоти дискретизації $f_д$ на число двійкових символів k в одному дискретному відліку:

$$c = f_д \cdot k .$$

Для кількісної оцінки швидкості передачі ІКМ сигналу необхідно обґрунтувати вибір k і $f_д$. Число двійкових символів до в кодовій комбінації одного відліку пов'язано з числом рівнів квантування m початкового сигналу співвідношенням

$$k = \log_2 m \approx 3{,}3 \cdot \lg m .$$

Вибір числа рівнів квантування визначається вимогою до мінімізації помилок (помилок квантування), що виникають в зв’язку з заміною дійсних значень відліків сигналу їх квантованими (наближеними) значеннями. Помилки квантування носять випадковий характер. Тому спотворення, що викликаються цими помилками часто називають шумами квантування. На зображенні вони можуть виявлятися по-різному, залежно від властивості кодованого сигналу. Якщо власні шуми аналогового сигналу невеликі в порівнянні з кроком квантування, то шуми квантування виявляються на зображенні у вигляді помилкових контурів. Такі спотворення добре помітні при "грубому" квантуванні, коли число рівнів квантування недостатньо. В цьому випадку плавні переходи яскравості перетворюються на ступінчасті. Найбільш помітні помилкові контури на зображеннях з крупними планами. Цей ефект посилюється на рухливих зображеннях. Експерименти показують, що помилкові контури перестають сприйматися, якщо число рівнів квантування перевищує 100-200 тобто шум квантування не перевищує 0,5...1 % розмаху сигналу. Ці дані добре узгоджуються з поняттями про контрастну чутливість зору.

Якщо власні шуми аналогового сигналу досить великі і перевищують крок квантування, то спотворення квантування виявляються вже не як помилкові контури, а як шуми, рівномірно розподілені по спектру. Флуктуаційні завади початкового сигналу нібито підкреслюються, зображення в цілому починає видаватися більш зашумленим.

Недостатнє число рівнів квантування особливо неприємно позначається на кольорових зображеннях. Шуми квантування проявляються у вигляді кольорових узорів, особливо помітних на таких сюжетах, як особа крупним планом, на плавних перепадах яскравості і тому подібне.

В даний час рекомендується використання лінійної десятирозрядної шкали квантування, що передбачає квантування відповідно на 1024 рівні. Хоча ще кілька років тому вважалося цілком задовільним квантування на 256 рівнів (восьмирозрядною шкалою).

На рисунку 6.2 наведені діаграми, що дають уявлення про відповідність між аналоговим сигналом яскравості Еу і рівнями квантування для восьми - і десятирозрядної шкал. У восьмирозрядній шкалі сигналу відводиться 220 рівнів квантування (з 16-го, що відповідає рівню чорного, по 235-й, що відповідає за рівень білого). У десятирозрядній шкалі сигнал яскравості квантується на 877 рівнів (64-й рівень відповідає рівню чорного, а 940-й – рівню білого). Що ж стосується невикористаних рівнів, одна частина резервується для цифрових синхронізуючих сигналів, інша – являє собою робочий запас на можливі в процесі перетворення аналогового сигналу перевищення ним допустимого діапазону значень. Подібні випадки для аналогової техніки вельми вірогідні, а пов'язані з цим перевантаження аналогово-цифрових перетворювачів приводили б до помітних спотворень в зображенні, які неможливо усунути.

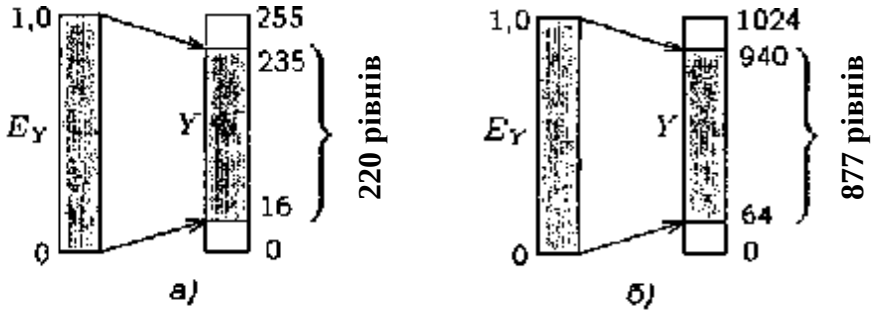


Рисунок 6.2 – Відповідність розмаху аналогового сигналу яскравості шкалі квантування: а) – восьмирозрядна шкала; б) – десятирозрядна шкала

Розглянемо тепер чинники, що визначають вибір частоти дискретизації. Дискретизація – перша операція зі всього комплексу перетворень аналогового сигналу в цифровий. Початковий сигнал $u(t)$ після дискретизації можна представити у вигляді суми:

$$u(nT) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} u(t)\delta(t - nT),$$

де δ – дельта-функція; T – період дискретизації.

Якщо останній вираз піддати перетворенню Фур'є, отримаємо:

$$S_д(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} S(f - nf_д),$$

де $S(f)$ і $S(f_д)$ – спектри початкової і дискретизованої функцій відповідно.

З останнього виразу видно, що спектр дискретизованого сигналу є сумою початкового спектру ($n = 0$) і "побічних" або додаткових спектрів того ж вигляду, але зсунутих один від іншого на $f_д$, $2f_д$,… і т.д. (рисунок 6.3). З рисунка видно, що за допомогою ідеального фільтру нижніх частот (ФНЧ) з частотою зрізу $f_{ФНЧ}$ можна виділити спектр початкового сигналу, якщо виконуються умови:

1) $f_д \geq 2f_{гр}$; 2) $f_{гр} \leq f_{ФНЧ} \leq f_д - f_{гр}$.

Якщо ж частота відліків вибрана з умови $f_д < 2f_{гр}$, то після дискретизації "побічні" спектри перекриватимуть основний (рисунок 6.4), в такому випадку відновити початковий сигнал без завад неможливо.

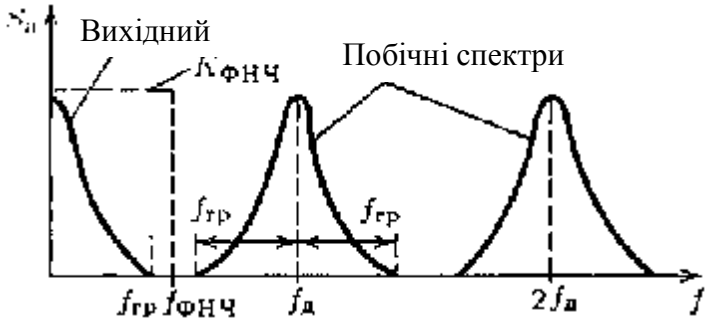


Рисунок 6.3 – Спектр сигналу після дискретизації

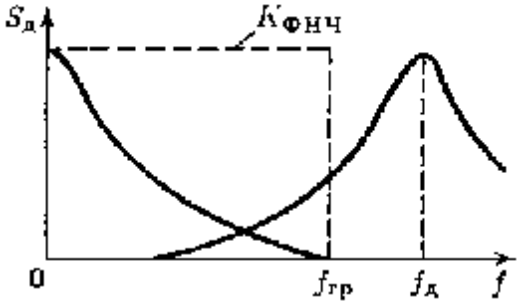


Рисунок 6.4 – Перекриття спектрів при $f_д < 2f_{гр}$

Таким чином, при смузі частот сигналу яскравості, рівній 6 Мгц частота дискретизації має бути вибрана не менше 12 Мгц. Враховуючи неможливість створення фільтра нижніх частот з прямокутною АЧХ, ця цифра має бути дещо збільшена.

На вибір частоти дискретизації впливають також наступні обставини. Зображення, що піддається кодуванню, є сукупністю відліків (пікселів), структура яких залежить від частоти дискретизації. Кращі результати досягаються при фіксованій по відношенню до телевізійного растру структурі відліків, розташованих у вузлах прямокутної ґратки –

так звана ортогональна структура дискретизації (рисунок 6.5). Для цього необхідно щоб частота дискретизації була кратною частоті рядків. Крім того, бажано щоб ця вимога задовольнялась одночасно для двох світових стандартів розкладання: 625/50 і 525/60. Одним з варіантів, що відповідає цим умовам, є частота 13,5 Мгц. В цьому випадку видима частина рядка зображення для обох стандартів складається з 720 пікселів, що приблизно відповідає роздільній здатності аналогового мовного телебачення. Для більш високого формату роздільної здатності частота дискретизації має бути пропорційно збільшена.

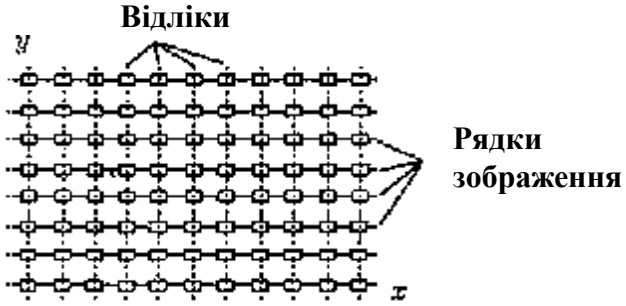


Рисунок 6.5 – Ортогональна структура дискретизації

Взявши до уваги параметри квантування і дискретизації аналогового телевізійного сигналу, оцінимо швидкість цифрового потоку сигналу яскравості для $k = 10$ $f_д = 13{,}5$ МГц:

$$c = 10 \cdot 13{,}5 = 135 \text{ Мбіт/с}.$$

А якщо врахувати, що окрім сигналу яскравості має бути передана інформація про колір, то загальний цифровий потік, що формується за методом ІКМ, подвоїться і дорівнюватиме 270 Мбіт/с. Настільки високу швидкодію повинні мати як пристрої перетворення ТВ сигналу, так і канали зв'язку. Очевидно, не можна вважати економічно доцільною передачу такого великого цифрового потоку по каналах зв’язку. Важливим завданням для побудови більш економічних ТВ систем є стиснення або компресія ТВ сигналу.

6.4 Компресія цифрового ТВ сигналу

Резерви для зменшення цифрового потоку без погіршення якості відтворюваного зображення пов’язані зі специфікою ТВ сигналу, що має значну інформаційну надлишковість. Цю надлишковість зазвичай розділяють на статистичну, фізіологічну і структурну.

Статистична надлишковість визначається властивостями зображення, яке не є в загальному випадку хаотичним розподілом яскравості,

а описується законами, що встановлюють певні зв'язки (кореляцію) як між яскравістю окремих елементів, так і між їх кольоровістю. Особливо велика кореляція між сусідніми (у просторі і в часі) елементами зображення. Використання кореляційних зв'язків дозволяє не передавати багато разів одні і ті ж дані і скорочувати за рахунок цього об'єм повідомлення. При цьому усунення статистичної надлишковості в ТВ сигналі може відбуватися без втрати інформації, і початкові дані будуть повністю відновлені.

Візуальна або фізіологічна надлишковість ТВ сигналу обумовлюється обмеженістю можливостей зорового апарату. Використовувати фізіологічну надлишковість – значить, не передавати в сигналі ту інформацію, яка не буде сприйнята нашим зором. Як наслідок усунення фізіологічної надлишковості пов'язане з частковою втратою інформації, але тієї інформації, яка не сприймається зором, і її втрата не вплине на візуальну якість зображення.

Структурна надлишковість відповідно до назви визначається структурою відеосигналу, а саме наявністю в аналоговому телевізійному сигналі гасячих імпульсів. У цифровому потоці відповідні їм часові інтервали можна виключити або використовувати для передачі іншої інформації, наприклад звукового супроводу.

Зменшення цифрового потоку ТВ сигналу за рахунок скорочення статистичної і фізіологічної надлишковості в зображенні здійснюється в телебаченні використанням ефективніших методів кодування в порівнянні з ІКМ. При великому їх різноманітті найбільш поширені наступні види ефективного кодування: кодування з передбаченням, кодування з лінійним ортогональним перетворенням, зважене квантування, ентропійне кодування або кодування із змінною довжиною. Перераховані види кодування можуть використовуватись як самостійно, так і в поєднанні один з одним, даючи в останньому випадку значно більший ефект.

В даний час існують стандарти компресії які визначають основні правила ефективного кодування і декодування цифрових потоків як зображення, так і пов'язаного з ним звукового супроводу. Ці стандарти отримали спільне найменування MPEG, що є абревіатурою від назви міжнародного комітету – Moving (Motion) Pictures Experts Group (Група експертів по рухомих зображеннях), що їх розробляв. Розроблені стандарти компресії MPEG як і ті що розробляються зараз, не піддають жорсткій регламентації процедури ефективного кодування, з тим щоб залишити можливості для подальшого удосконалення кодерів і декодерів. Стандартизовано лише кодове представлення цифрового потоку, сфор-

мованого пристроєм компресії, і процес декодування. В Європі в якості основного стандарту для цифрового телевізійного мовлення прийняті специфікації стиснення MPEG-2, відомі як стандарти "Main Profile at Main Level" (основний профіль при основному рівні), хоча розроблені і інші підмножини стандарту, що відповідають різним сферам застосування і якості зображення.

Ефективність компресії, що досягнута до теперішнього часу, дуже велика. Так, для згаданого основного рівня стандарту MPEG-2 (роздільна здатність 720×576 пікселів) потрібна бітова швидкість порядку 15 Мбіт/с (проти приведеного вище значення 270 Мбіт/с некомпресованого ІКМ сигналу).

6.5 Канальне кодування

Цифрові сигнали з високим рівнем компресії вельми уразливі для завад в каналі передачі. Тому вони потребують ефективного виявлення і виправлення помилок. Як показали дослідження, в цифровому телевізійному мовленні інтенсивність помилок має бути порядку $10^{-10}...10^{-12}$ біт. Це відповідає появі за одну годину передачі не більше 0,1...10 помилкових біт. Канал передачі з настільки низькою інтенсивністю помилок називають квазібезпомилковим каналом. Подібних фізичних каналів в реалії не існує. Проте умови передачі з такими жорсткими вимогами до безпомилковості передачі цифрової інформації мають бути виконані.

Для цього робляться певні запобіжні засоби, які гарантують, що помилки, викликані фізичним середовищем передачі, будуть виявлені і по можливості скоректовані. З цією метою сигнал піддається так званому завадостійкому кодуванню при якому в нього вводиться певна надлишковість, що дозволяє виявляти помилки і виправляти їх. З завадостійких кодів найширше застосовується код Ріда-Соломона. Введення додаткової надлишковості для реалізації завадостійкого кодування не знижує помітним чином загальний результат досягнутий від застосування прийомів компресії цифрового сигналу.

Крім того, над підданим компресії цифровим сигнал здійснюються і деякі інші операції, які в сукупності з завадостійким кодуванням відносять до розряду процедур так званого канального кодування. Зокрема проводиться: операція скремблювання даних з метою більш рівномірного розподілу енергії сигналу і так зване перемежування, яке дозволяє довгі пакети помилок розподілити на відліки, далеко віддалені один від одного.

6.6 Типи зображень

При міжкадровому кодуванні, що засноване на часовій надлишковості, можливі різні способи передбачення. Залежно від цього зображення в своїй часовій послідовності підрозділяються на такі типи:

- I (intra) – зображення, що грають роль опорних при відновленні інших зображень. Передбачення для них не формується;
- P (predicted) – зображення, що кодуються з передбаченням на основі попереднього I або P зображення;
- B (bidirectionaly predicted) – зображення кодовані шляхом двонаправленого передбачення на основі попереднього і наступного зображень типу I або P.

Зображення об'єднуються в групи (GOP – Group of Pictures), що є повторюваними серіями з послідовності зображень. Типовою є група, що містить дванадцять зображень. Надходження цих зображень на вхід компресора можна представити у вигляді послідовності:

$$I_0, B_1, B_2, P_3, B_4, B_5, P_6, B_7, B_8, P_9, B_{10}, B_{11}, I_{12}, B_{13}, B_{14}, P_{15},...$$

Буквами на малюнку позначається їх тип. а цифрами $0, 1, 2,...$ – порядок надходження на вхід компресора. Порядок обробки цих зображень і передачі дещо відрізняється:

$$I_0, P_3, B_1, B_2, P_6, B_4, B_5, P_9, B_7, B_8, I_{12}, B_{10}, B_{11}, P_{15}, B_{13}, B_{14},...$$

Починається група із зображення типу I, яке кодується незалежно від інших і піддається лише внутрішньокадровій компресії. Це зображення стане опорним для всіх решти одинадцяти зображень. Потім кодується і передається кадр P_3. Він піддається процедурі кодування на основі першого кадру I_0. Очевидно, що глибина компресії цього зображення більше, оскільки тут скорочена і просторова, і часова надлишковість. Потім кодуються кадри B_1 і B_2 шляхом двонаправленого передбачення у вигляді напівсуми зміщених фрагментів в кадрах I_0 і P_3. Саме тому, що при їх декодуванні па приймальному кінці системи будуть потрібні кадри I_0 і P_3, змінений порядок їх передачі: кадри I_0 і P_3 передаються раніше, ніж B_1 і B_2.

Зображення типу B піддаються компресії найглибше. Якщо P кадри вимагають для своєї передачі в три рази менше бітів, чим I кадри то у B зображеннях число бітів для більшості сюжетів в 2-5 разів менше, ніж в P. Як наслідок, страждає завадостійкість B кадрів. Тому для захисту від можливих помилок зображення B не використовуються для передбачення жодних інших зображень.

Подальший порядок кодування і передачі зображень в групі аналогічний описаному вище: P_6 передбачається на основі P_3; P_9 – на основі P_6; B_4, B_5 – на основі P_3 і P_6; B_7 та B_5 – на основі P_6 та P_9 і так далі.

На закінчення слід зазначити, що до якого б типу не відносилися зображення, що передаються з передбаченням, усередині них можуть знаходитися фрагменти, які доцільно кодувати за іншим типом: наприклад, в зображеннях P або B типу можуть бути макроблоки I типу. Рішення про спосіб передбачення приймаються кодером залежно від вмісту зображення, що впливає на ступінь "економії" у передачі даних різними способами. Якщо ця "економія" виявляється незначною, та перевага віддається точнішому кодуванню по алгоритму обробки I зображення.

6.7 Модуляція

Існуючі канали зв'язку мають значне обмеження по смузі пропускання частот. Особливо це стосується мереж розподілу сигналів наземного телебачення. Спосіб модуляції у великій мірі визначає результуючий спектр частот цифрового сигналу основні компоненти якого повинні потрапляти в смугу частот каналу.

Слід зазначити, що звичайна амплітудна, частотна або фазова модуляція двопозиційним (дворівневим) кодом, при якій логічні 0 або 1 представляються двома значеннями несучої є неефективною. Це обумовлено, по-перше великою шириною спектру самого модулюючого сигналу і, по-друге, як мінімум подвоєнням ширини спектру сигналу після модуляції.

Смуга частот модулюючого сигналу не може бути нижче певної межі, при якій виникають міжсимвольні спотворення, які неможливо усунути. Ця межа отримала назву порогу Найквіста і характеризується для двопозиційного коду питомою величиною швидкості передачі даних, рівною 2 біт/с на Гц. Це означає що для цифрового сигналу, сформованого відповідно до основного рівня MPEG-2 (швидкість передачі 15...20 Мбіт/с), буде необхідною смуга пропускання не менше 8...10 Мгц, яка у свою чергу може подвоїтися при використанні звичайних методів модуляції.

Значне скорочення спектру частот можуть забезпечити сучасні способи модуляції: відносна квадратурна фазова маніпуляція (для супутникового телебачення), квадратурна амплітудна модуляція (для кабельного телебачення), кодоване ортогональне частотне ущільнення (для наземного цифрового телебачення) і ряд інших.

6.8 Узагальнена структурна схема системи цифрового телебачення

Аналоговий сигнал, що підлягає перетворенню, поступає на вхід цифрової ТВ системи (рисунок 6.6). Цей сигнал піддається попередній обробці для спрощення наступних цифрових перетворюючих пристроїв. Наприклад, повний колірний сигнал розділяється в пристрої попередньої обробки на сигнал яскравості і кольорорознісні сигнали з тим, щоб цифрові перетворення проводилися з кожним з трьох сигналів окремо. Можна ввести в аналоговий сигнал певні предспотворення для поліпшення суб'єктивної якості вихідного зображення і тому подібне. Не дивлячись на те що багато з цих попередніх операцій по обробці можуть бути зроблені і в цифровій формі на певному етапі розвитку технічно простіше їх виконувати в аналоговій формі. Далі, підготовлений для перетворення аналоговий сигнал поступає на пристрій кодування, в якому він дискретизується, квантується і проходить попереднє кодування. В отриманому таким чином сигналі міститься значна надлишковість, яка може бути певною мірою скорочена додатковим, ефективнішим кодуванням одним з методів компресії. Потім цифровий сигнал піддається так званій прямій корекції помилок, що виконується в пристрої канального кодування, і нарешті поступає на вихідний перетворювач (наприклад, на модулятор передавального пристрою). У приймальному пристрої здійснюються зворотні операції.

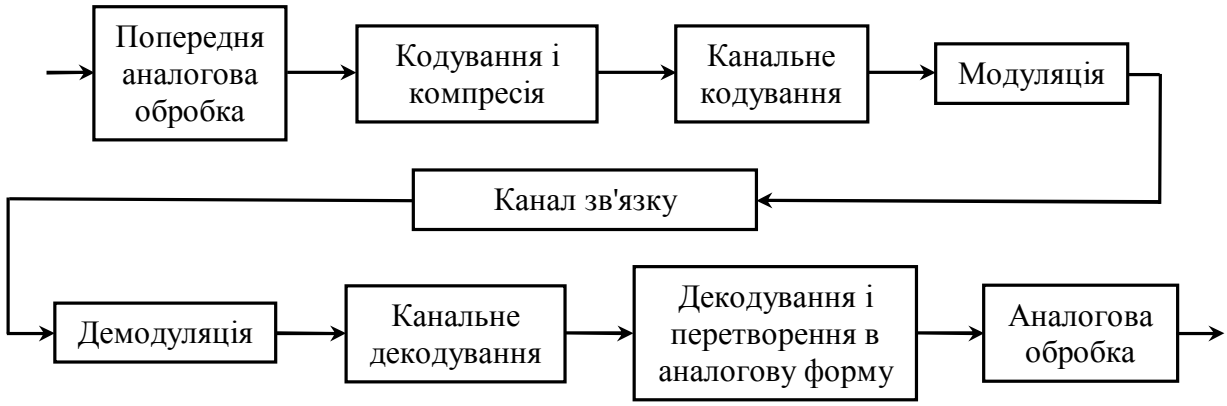


Рисунок 6.6 – Узагальнена структурна схема системи цифрового телебачення

Наведена на рисунку 6.6 схема є узагальненою і залежно від завдань, що стоять перед цифровою системою, вона може видозмінюватись. Наприклад, система взагалі не міститиме аналогових ланок, якщо використовувати перетворювачі світло-сигнал і сигнал-світло, що гене-

рують і перетворюють сигнал в цифровому вигляді. В іншому випадку можуть бути відсутніми пристрої, що підвищують завадостійкість сигналу в каналах зв'язку. Це допустимо за відсутності протяжних ліній зв'язку і, зокрема, при цифровій обробці сигналу усередині одного телецентру. У тому ж випадку не обов'язкові і пристрої, що усувають в ТВ сигналі надлишковість і скорочують цифровий потік.

6.9 Цифрова фільтрація телевізійного сигналу

Однією з важливих особливостей цифрового сигналу є можливість здійснення різних перетворень над ним, що дозволяє у багатьох випадках поліпшити якість зображення, збагатити технологію ТВ мовлення, зробити надійнішим і простішим в експлуатації устаткування. Звичайно, і в аналоговому телебаченні здійснюється всіляка обробка сигналу. Проте цифрові методи у багатьох випадках мають переваги в точності, простоті алгоритму перетворення, в компактності устаткування.

Розглянемо узагальнену структурну схему пристрою обробки ТВ сигналу (рисунок 6.7). В аналогово-цифровому перетворювачі (АЦП) проводяться операції дискретизації, квантування і кодування, що розглядались раніше. Швидкість цифрового потоку ІКМ сигналу може бути достатньо високою, тому для забезпечення роботи процесора, що здійснює обробку сигналу в реальному масштабі часу, цей потік розподіляють на декілька паралельних каналів.

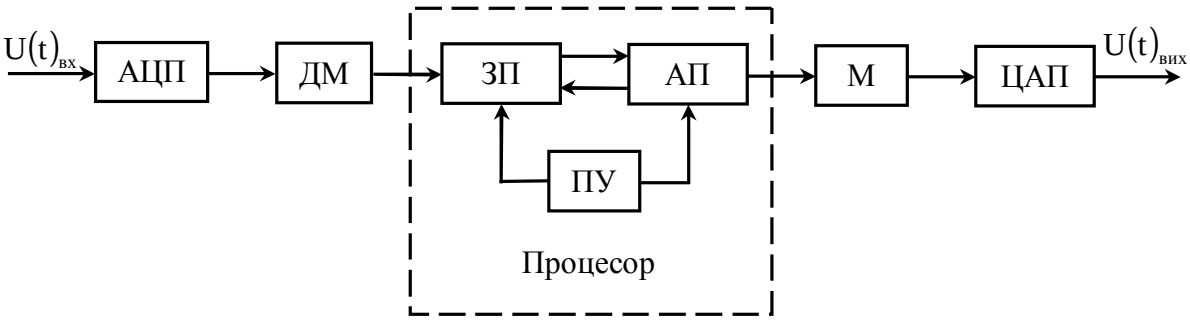


Рисунок 6.7. – Структурна схема пристрою цифрової обробки ТВ сигналу

У кожному з них тактова частота нижче за тактову частоту перетвореного в АЦП сигналу і пропорційна числу каналів. Операція розпаралелювання цифрового потоку виконується в демультиплексорі (ДМ). Процесор складається з запам'ятовуючого пристрою (ЗП), арифметичного пристрою (АП) і пристрою управління (ПУ), що узгоджує роботу складових частин процесора. Арифметичний пристрій, яким керує за

заданою програмою ПУ, реалізує спільно з ЗП заданий алгоритм обробки. Іншими словами, АП виконує цифрову фільтрацію сигналу. Сукупність ЗП і ПУ забезпечує необхідні часові перетворення сигналу. Ці перетворення пов'язані з вимогою узгодження в часі вхідного сигналу з процесом обробки, з необхідністю усунення часових спотворень у вхідному сигналі, зі всілякими завданнями, що виникають при створенні спецефектів, при синхронізації джерел сигналу та ін. Сигнали, що знімаються з паралельних каналів процесора, об'єднуються в один цифровий потік в мультиплексорі (М). При необхідності зворотного перетворення цифрового сигналу в аналоговий після мультиплексора включають цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП).

Цифрова фільтрація здійснюється в пристрої, що об'єднує в собі функції пам'яті окремих відліків сигналу і логічних елементів, в яких виконуються арифметичні операції над цими відліками. Цю сукупність пристроїв називають цифровими фільтрами. Сама ж фільтрація зводиться до перетворення послідовності відліків вхідного сигналу $x_0, x_1, x_2, ..., x_m$ в послідовність відліків вихідного сигналу $y_0, y_1, y_2, ..., y_m$ у відповідності до вибраного алгоритму перетворення.

Від аналогової фільтрації цифрова фільтрація сигналу відрізняється лише способом фізичної реалізації. До достоїнств цифрової фільтрації відносяться: висока часова і температурна стабільність характеристик, простота перебудови фільтра зміною частоти дискретизації, можливість повторення фільтру з ідентичними параметрами. Проте не у всіх випадках технічна реалізація цифрових фільтрів простіше аналогових; крім того, цифрова фільтрація може супроводжуватися проявом в зображенні шумів квантування.

Розрізняють рекурсивні (із зворотним зв'язком) і нерекурсивні (без зворотного зв'язку) цифрові фільтри. При нерекурсивній фільтрації (рисунок 6.8 а) вихідний сигнал у будь-який момент визначається як сума зважених попередніх значень вхідного сигналу $x_i, x_{i-1}, x_{i-2}, ...$:

$$y_i = a_0 x_i + a_1 x_{i-1} + a_2 x_{i-2} + ... + a_m x_{i-m},$$

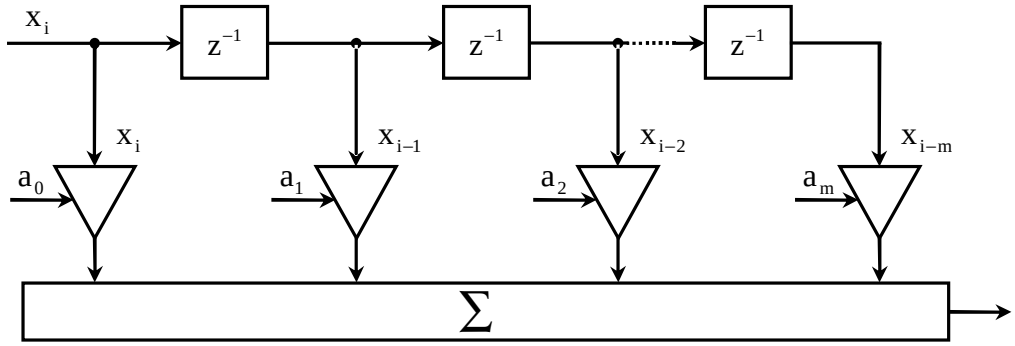
де $a_0, a_1, a_2, ..., a_m$ – коефіцієнти передачі.

Складнішу структуру має рекурсивний фільтр (рисунок 6.8 б). У ньому вихідний сигнал є функцією попередніх значень як вхідного, так і вихідного сигналу:

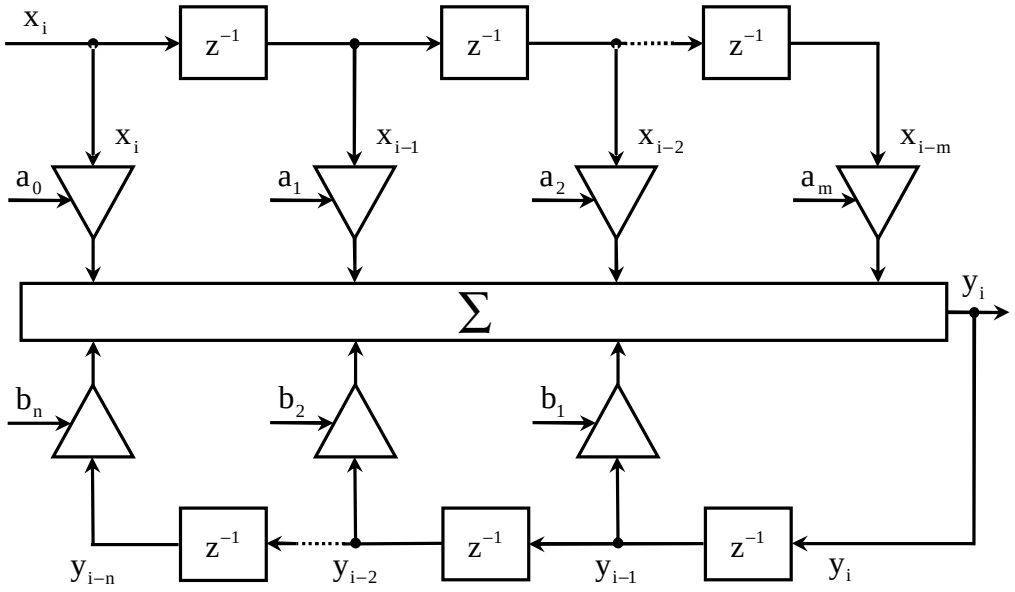
$$y_i = a_0 x_i + a_1 x_{i-1} + a_2 x_{i-2} + ... + a_m x_{i-m} + b_1 y_{i-1} + b_2 y_{i-2} + ... + b_n y_{i-n},$$

Символ z^{-1} позначає оператор затримки сигналу на один період дискретизації.

Процес фільтрації зводиться до операцій множення і складання, що виконуються із затриманими відліками сигналу за допомогою АП і ЗП. Арифметичний пристрій за заданою програмою перемножує відліки сигналу на вагові коефіцієнти і складає їх. Запам'ятовуючий пристрій використовується для зберігання відліків сигналів, вагових коефіцієнтів, інтервалів часового зсуву, а також команд програми обробки, що керують АП і ЗП.



а)



б)

Рисунок 6.8. – Цифрові фільтри: а) – нерекурсивний; б) – рекурсивний

Цифрова фільтрація у багатьох випадках допомагає поліпшити початкові параметри спотвореного ТВ зображення, вибірково пригнічує шумові складові в сигналі, ефективно коректує апертурні спотворення.

6.10 Часові перетворення цифрових сигналів

Часовими перетвореннями називають такі перетворення сигналу, при яких змінюється положення на осі часу дискретних відліків цього сигналу при збереженні їх амплітудних значень. Поряд з цифровою фільтрацією часові перетворення мають значне поширення в мовному телебаченні. Так, широке використання часові перетворення отримали при корекції часових спотворень, що виникають в процесі відтворення зображень у відеомагнітофонах. На основі часових перетворень будуються сучасні синхронізатори джерел сигналів, цифрові перетворювачі телевізійних стандартів, пристрої відеоефектів, системи з компонентною передачею або записом сигналів кольорового телебачення та ін.

Часові перетворення цифрового сигналу реалізуються в пристрої цифрової обробки сигналу шляхом запису цього сигналу в ЗП і вибіркою окремих його значень із ЗП відповідно до заданого алгоритму перетворення. В результаті сигнал буде перенесений в потрібну часову область. При цьому часові перетворення можна класифікувати за двома видами: без зміни частотного спектру (або невеликою його зміною) і з помітним впливом на спектр.

До першого виду можна віднести коректори часових спотворень і телевізійні синхронізатори джерел сигналу. У цих пристроях час запису і час зчитування рядків зображення не відрізняються або відрізняються дуже мало. У другому виді перетворень (характерному для систем з часовим ущільненням сигналів яскравості і кольоровості, пристроїв відеоефектів і якоюсь мірою для перетворювачів стандартів) ці інтервали часу можуть значно відрізнятися, що і приводить до зміни частотного спектру.

Принципово часові перетворення відрізняються один від одного алгоритмом звернення до ЗП, який у свою чергу визначається завданням перетворення. Алгоритм перетворення обумовлює ємність ЗП. Структура і об'єм ЗП значно ускладнюються при несинхронних процесах запису і зчитування.

У цифрових пристроях часового перетворення застосовують цифрові ЗП двох типів: з послідовним і довільним доступом. При використанні ЗП з послідовним доступом запис і зчитування відбуваються послідовно і відсутня можливість зміни порядку запису і зчитування інформації. Для розділення процесів запису і зчитування доводиться в таких пристроях збільшувати ємність ЗП в 2...3 рази по відношенню до інформаційного об'єму перетворюваного фрагмента сигналу. Запам'ятовуючі пристрої з довільним доступом дозволяють обходитися меншою ємністю оскільки в них реалізується зчитування записаної в них інформації за будь-якою заданою адресою. Прикладом такого ЗП може служити ЗП в

телевізійному синхронізаторі у якому процеси запису і зчитування розділяються в часі шляхом регульованої затримки вхідного перетворюваного сигналу залежно від моментів зчитування вихідного сигналу.

При часових перетвореннях із зміною спектру сигналу процедура перетворення полягає в зміні параметрів дискретизації початкового сигналу, тобто в зміні числа дискретних значень, якими представляється даний сигнал. Наприклад, при реалізації відеоефектів пов'язаних із зміною масштабу зображення, початковий дискретний сигнал має бути перетворений у вихідний з іншим кроком дискретизації. Інтервали дискретизації у вхідному і вихідному сигналах змінюють залежно від зміни масштабу зображення. За відсутності відліків вхідного сигналу в точках розташування відліків вихідного сигналу їх або замінюють найближчими вхідними відліками (якщо помилка непомітна), або піддають вхідний сигнал цифрової фільтрації, що поновлює його значення в точках вторинної дискретизації (наприклад виконанням інтерполяції сусідніх елементів вхідного сигналу).

Контрольні питання до розділу

1. Поняття цифрового телебачення.
2. Загальні принципи побудови цифрового телебачення. Основні характерні риси цифрового телебачення.
3. Застосування імпульсно-кодової модуляції в цифровому телебаченні. Квантування по часу та рівню.
4. Пороги квантування та похибки.
5. Теореми Котельникова-Найквіста. Їх практичне застосування.
6. Швидкість передачі цифрового потоку та її оцінка.
7. Відповідність між аналоговим телевізійним сигналом та рівнями квантування для різних шкал.
8. Характеристика спектрів телевізійного сигналу після квантування.
9. Поняття та необхідність компресії цифрового телевізійного сигналу.
10. Поняття канального кодування.
11. Види модуляції в цифровому телебаченні.
12. Узагальнена структурна схема системи цифрового телебачення.
13. Основи цифрової фільтрації телевізійного сигналу.
14. Основні часові перетворення цифрових сигналів.
15. Перспективи розвитку цифрового телевізійного мовлення.

ЧАСТИНА 2

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

На сучасному етапі розвитку безпровідного зв'язку телебачення є найбільш масовим засобом поширення інформації. Відеозв'язок надає широкі можливості для розвитку галузі радіотехніки та телекомунікацій і служить основою для освоєння супутникових каналів зв'язку безпосереднього мовного телебачення. Майбутні фахівці в галузі радіотехніки мають знати фізичні основи і принципи побудови телевізійних систем. Дисципліна "Основи телебачення" є складовою частиною циклу професійної та практичної підготовки бакалаврів за напрямом 6.050901 "Радіотехніка" денної та заочної форм навчання.

Запропонований лабораторний практикум містить чотири лабораторні роботи з дисципліни "Основи телебачення", які сприяють засвоєнню практичних навиків роботи з генератором випробувальних телевізійних сигналів, дослідженню принципів виділення і обробки телевізійних сигналів, систем синхронізації телевізійних розгорток, вивченню основних блоків телевізійного приймача, зокрема основна увага приділяється вивченню модуля радіоканалу.

Крім цього, в ході виконання лабораторних робіт студенти отримають навики роботи зі спеціальним обладнанням, експериментальним визначенням якості відтворення зображення телевізійних приймачів, ознайомляться з принципами роботи генератора випробувальних телевізійних сигналів та особливостями його застосування.

Лабораторна робота № 1

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ТЕЛЕВІЗІЙНОГО СИГНАЛУ ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕНЕРАТОРА ВИПРОБУВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ

Мета роботи: ознайомитися з основними модулями кольорового телевізійного приймача та їх призначенням, дослідити структуру відеосигналу, принципи розкладу телевізійного зображення, набути навиків роботи з генератором випробувальних телевізійних сигналів.

Теоретичні відомості

Кольоровий телевізійний приймач типу 3-УСКТ (уніфікований стандартизований кольоровий телевізор) побудований за модульним принципом і складається з таких блоків:

- блок живлення – імпульсний блок живлення, призначений для формування напруг для живлення інших модулів телевізора;
- модуль радіоканалу призначений для прийому, селекції і перетворення радіосигналу, прийнятого телевізійною антеною в сигнал проміжної частоти та його подальшої обробки. В радіоканалі здійснюється регулювання АРП і АПЧГ, крім того в ньому з повного кольорового телевізійного сигналу (ПКТС) виділяються сигнали синхронізації рядкової і кадрової розгорток. Модуль радіоканалу телевізорів 3-УСКТ складається з селекторів каналів метрового та дециметрового діапазонів, субмодуля радіоканалу і субмодудя синхронізації.
- модуль селектора каналів метрового (СКМ) діапазону призначений для прийому, виділення та фільтрації радіосигналів, що приймаються телевізійною антеною, їх підсилення. За допомогою даного модуля вибирається відповідний телевізійний канал, який знаходиться у метровому діапазоні хвиль (48 – 230 МГц), відбувається пониження радіочастоти і утворення проміжної частоти зображення – 38 МГц, яка подається в модуль радіоканалу для подальшої обробки;
- модуль селектора каналів дециметрового (СКД) діапазону виконує ті ж функції, що і СКМ, але в діапазоні дециметрових хвиль (470 – 790 МГц). Утворюється проміжна радіочастота, смуга якої відповідає обраному каналу, подається в модуль СКМ, підсилюється і далі потрапляє в модуль радіоканалу;
- субмодуль радіоканалу призначений для обробки радіосигналу на проміжній частоті 38 МГц, який подається з СКМ і СКД. Модуль може поділятися, залежно від моделі телевізора, на два субмодулі: під-

силювач проміжної частоти зображення (ППЧЗ) і підсилювач проміжної частоти звуку (ППЧЗв). В субмодулі радіоканалу відбувається демодуляція сигналу за допомогою амплітудного і частотного детекторів, підсилення сигналів. У результаті такої обробки утворюються: відеосигнал, який містить інформацію про яскравість і колір зображення (смуга відеосигналу 6,5 МГц) та синхроімпульси для синхронізації рядкової та кадрової розгорток; звук (сигнал низької частоти);

- субмодуль синхронізації призначений для виділення рядкових і кадрових синхроімпульсів з відеосигналу за допомогою амплітудної селекції, які використовуються потім для синхронізації роботи блоків кадрової і рядкової розгорток. Відокремлення рядкових і кадрових синхроімпульсів відбувається за допомогою часової селекції;
- модуль кадрової розгортки призначений для формування пилкоподібних струмів, які подаються на кадрові відхиляючі котушки і призначені для формування кадрової структури зображення;
- модуль рядкової розгортки призначений для формування пилкоподібних струмів, які подаються на рядкові відхиляючі котушки і формують рядкову структуру зображення;
- модуль кольоровості призначений для декодування відеосигналу в системі SECAM з подальшим формуванням трьох основних кольорів RGB (червоний, зелений, синій). Отримані три основні кольори через відеопідсилювачі подаються на плату кінескопа і далі на модулятори (або катоди) трьох електронно-променевих гармат кольорового кінескопа. В даному модулі можна здійснювати налагодження основних кольорів та їх відтінків, динамічного діапазону градацій яскравості і т. ін.;
- у блоці підсилення звукової частоти здійснюється підсилення низької звукової частоти, яка супроводжує зображення;
- блок перемикання каналів призначений для перемикання каналів, фіксації та налагодження на відповідну програму. В даному блоці формуються і налагоджуються напруги, які подаються на керуючі елементи (варикапи) модулів СКД і СКМ;
- плата кінескопа здійснює функції з'єднання ланцюгів з цоколем кінескопа. Крім цього, на даній платі можуть знаходитися керування напругою фокусування і напругою прискорення електронного променя;
- трьохпроменевий кольоровий кінескоп призначений для відтворення кольорового зображення, або перетворення електричного сигналу в зображення. Як правило, сучасні кінескопи побудовані з компланарним розташуванням прожекторів, що спрощує систему зведення променів.

- блок розмагнічування призначений для розмагнічування металевої маски кольорового кінескопа, яка розташована всередині кінескопа, при вмиканні телевізора.

Призначення та особливості роботи перелічених модулів більш детально будуть розглядатись на наступних лабораторних заняттях.

Для кращого розуміння матеріалу необхідно ознайомитись з деякою термінологією та поняттями.

Для передачі повного зображення в телебаченні використовується спосіб послідовної в часі передачі інформації про кожну елементарну ділянку – елемент розкладу. Процес послідовної в часі поелементної передачі зображення називається розгорткою, або скануванням зображення. Зображення, отримане в результаті одноразового відтворення всіх елементів розкладу, називається кадром. Черговість (порядок) послідовної передачі елементів, які формують кадр, називається растром. Також растром називаються світлові рядки (лінії) на екрані електронно-променевої трубки телевізора, які можна спостерігати, коли немає зображення.

Повний телевізійний сигнал – це такий сигнал, який містить сигнали зображення, імпульси гасіння та синхронізуючі імпульси. Співвідношення між рівнями всіх трьох складових сигналу, їх розподіл за часом і форма визначаються спеціальним стандартом – протоколом розкладу.

Основні параметри вітчизняного телевізійного стандарту наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – **Параметри телевізійного стандарту**

Найменування параметра	Стандарт
Номінальна кількість рядків у кадрі	625
Частота полів	50 Гц
Частота кадрів	25 Гц
Частота рядків	15625 Гц
Відношення сторін кадру (формат)	4:3
Смуга частот відеосигналу	0 – 6 МГц

Важливою складовою повного телевізійного сигналу є сигнали синхронізації, які складаються з:

- кадрових імпульсів гасіння;
- кадрових синхронізуючих імпульсів;
- рядкових імпульсів гасіння;
- рядкових синхронізуючих імпульсів.

Відповідно до існуючих стандартів, тривалість всіх видів імпульсів, які входять до складу повного телевізійного сигналу, описується в частинах періоду рядкової розгортки, що становить 64 мкс і позначається літерою Н. У таблиці 1.2 наведені основні параметри таких імпульсів.

Кадрові і рядкові синхронізуючі імпульси застосовуються для синхронізації пристроїв розгортки зображення (кадрової та рядкової розгорток) передавальної камери і телевізійних приймачів.

Імпульси гасіння застосовуються для блокування в приймальних і передавальних трубках електронних променів на час зворотного ходу по рядках та кадрах (полях).

Таблиця 1.2 – **Основні параметри сигналів синхронізації**

Сигнали синхронізації, які входять до складу повного телевізійного сигналу	Тривалість в частках періоду рядкової розгортки та у мкс.	
Кадровий імпульс гасіння	23 – 25	1470 – 1600
Кадровий синхронізуючий імпульс	3	192
Рядковий імпульс гасіння	0,16 – 0,18	10,24 – 11,52
Рядковий синхронізуючий імпульс	0,07 – 0,08	4,48 – 5,12

У випадку передачі кольорового зображення до складу повного телевізійного сигналу входить також сигнал кольорової синхронізації, який передасться протягом активної частини: 7 – 15 рядків для непарних полів і 320 – 328 рядків – для парних.

У даній лабораторній роботі пропонується ознайомитися з основними модулями кольорового телевізора, самостійно провести дослідження структури і параметрів відеосигналу, їх залежності від виду зображення, яке приймається телевізійним приймачем.

Відеосигнал містить в собі:

- інформацію про яскравість і колір кожного елемента розкладу зображення по рядках і кадрах;
- інформацію про синхронізацію рядкової і кадрової розгортки для утворення рядково-кадрової структури.

Форма відеосигналу при прийомі сигналу градацій яскравості від білої до чорної смуги зображена на рисунку 1.1.

Для збільшення чіткості телевізійного зображення кількість елементів розкладу необхідно збільшувати, але це призводить до ускладнення телевізійної системи та розширення смуги частот. Тому при виборі кількості елементів розкладу для системи телевізійного мовлення виходять з того, що вони не мають перевищувати деякого максимально-

го значення N_{max}, за межами якого збільшення чіткості було б незначним через обмежену здатність сприйняття зору. Для того, щоб розрізнити на зображенні дві окремі точки, глядач повинен їх бачити під кутом зору γ, який більший або рівний мінімальному куту розрізнення ока γ_0 (рисунок 1.2).

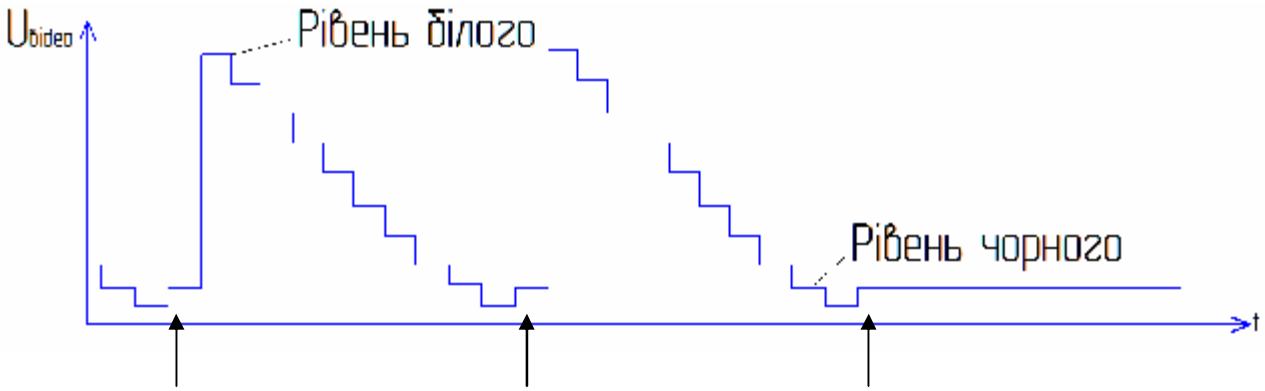


Рисунок 1.1 – Форма телевізійного відеосигналу

Для відтворення на екрані телевізора двох окремих точок зображення необхідні принаймні три елементи: два для передачі точок і один для передачі проміжку між ними. Таким чином, лінійна відстань між центрами двох окремих точок на екрані буде 2σ, де σ – висота точки зображення. Тоді один елемент або один рядок при рядковій розгортці буде спостерігатися під кутом $\gamma_0/2$.

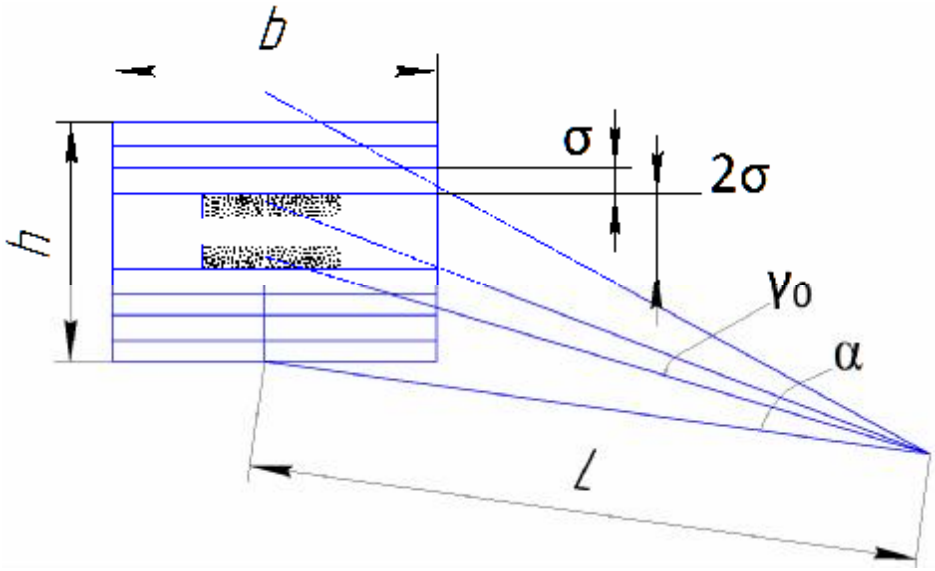


Рисунок 1.2 – Основні співвідношення для визначення кута розрізнення

Максимальна кількість елементів по висоті кадру становитиме:

$$Z_{max} = 2\alpha/\gamma_0$$

Це співвідношення не однозначне і буде залежати від L. При $L = 5h$, $10^0 < \alpha < 15^0$, $\gamma_0 = 0{,}0125$, $Z_{max} = 1200$ рядків.

$$N_{max} = k \cdot Z_{max}^2,$$

де $k = 4/3$ – формат кадру (b/h).

Тоді кількість елементів розкладу становитиме $N_{max} \approx 2 \cdot 10^6$.

Враховуючи те, що максимальний спектр телевізійного сигналу знаходиться за виразом

$$F = n \cdot N_{max}/2,$$

де n – кількість кадрів за секунду, то при зменшенні Z_{max} у два рази (525, 625) отримують максимальну смугу телевізійного сигналу близько 6,5 МГц. Втрати у якості в цьому випадку становлять всього 10-12 %.

Завдання до лабораторної роботи

1. На прикладі кольорового телевізора типу З-УСКТ "Електрон" провести дослідження структури телевізора, основних його модулів. За схемою електричною принциповою побудувати структурну схему телевізора.

2. Підключити генератор випробувальних телевізійних сигналів до метрового входу телевізора.

3. Підключити осцилограф до виходу "Відеосигнал".

4. Провести дослідження рядкової і кадрової структури відеосигналу при різних тестових сигналах з генератора випробувальних сигналів: сітчасте поле, шахове поле, смугасте поле градацій яскравості та кольору. Замалювати епюри напруг відеосигналу із зазначенням їх тривалості.

5. Провести вимірювання параметрів синхронізуючих імпульсів відеосигналу і результати занести до таблиці. Порівняти отримані результати з табличними, наведеними в лабораторній роботі.

6. Визначити експериментально максимальний кут зору, при якому не спостерігається рядкова структура зображення на кінескопі.

Зміст звіту

1. Звіт про виконану роботу оформляється на аркушах формату А4.
2. Звіт має містити титульну сторінку, тему роботи, мету, короткі теоретичні відомості про основні модулі кольорового телевізора, їх призначення.
3. Структурна схема кольорового телевізора з відповідними зв'язками та поясненнями до них.
4. Епюри відеосигналів, які відповідають різним тестовим сигналам з генератора випробувальних сигналів.
5. Опис епюр відеосигналів з відповідними поясненнями.
6. Зробити висновки після виконання лабораторної роботи.

Контрольні питання

1. Фізичні принципи отримання рухомих і нерухомих зображень.
2. Структурна схема телевізійної системи для передачі і прийому зображення.
3. Спектр телевізійного сигналу. Отримати вираз розрахунку максимальної смуги частот відеосигналу.
4. Основні параметри телевізійного зображення, протокол розкладу.
5. Пояснити сутність і дати визначення розгортки зображення.
6. Типи розгорток, які використовуються в телебаченні.
7. З яких модулів складається телевізор З-УСКТ?
8. Чим визначається максимальна і мінімальна частоти відеосигналу?
9. Навести форми растрів при рядковій і черезрядковій розгортці.

Лабораторна робота № 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИНЦИПІВ РОБОТИ СЕЛЕКТОРА ТЕЛЕВІЗІЙНИХ КАНАЛІВ

Мета роботи: ознайомитися зі структурою і принципом роботи сучасних модулів селекції радіосигналів у телевізійних приймачах.

Теоретичні відомості

Селектори каналів діапазонів метрових і дециметрових хвиль (СКМ і СКД) с основою високочастотних блоків телевізорів. Використовуються різні типи СКМ і СКД: СК-М-20, СК-М-24, СК-М-30 та ін. Вони перераховані у порядку, який відображає їх удосконалення в процесі модернізації. В ранніх моделях телевізійних приймачів були встановлені селектори типу СК-М-20 та СК-Д-20, у яких перемикання каналів відбувалося за старим принципом механічного перемикання і налагодженням у межах визначеного каналу. У всіх наступних модифікаціях реалізований принцип електронного перемикання каналів і налагодження з використанням варикапів як керуючих елементів. При цьому досить складно забезпечити плавне налагодження у всьому частотному діапазоні каналів, які приймає телевізійний приймач. Тому при розробці селекторів каналів враховано розділення всього телевізійного діапазону на п'ять піддіапазонів: I – 48,5...66 МГц, II – 76...100 МГц, III –174...230 МГц (метрові хвилі – МХ), IV – 470...622 МГц, V – 622...790 МГц (дециметрові хвилі – ДМХ).

У сучасних телевізорах широке поширення отримали модулі СК-М-24 (телевізійні приймачі типу "Електрон" тощо), де використане електронне налагодження частоти за допомогою варикапів.

У таких модулях перемикання каналів здійснюється за допомогою спеціальних блоків вибору програм, які можуть бути виконані у вигляді кнопкових перемикачів, псевдосенсорних або сенсорних пристроїв з потенціометрами плавного налагодження. Функціональна схема модуля СК-М-24 зображена на рисунку 2.1, де наведені скорочення мають такий зміст:

А – антена для перетворення електромагнітних коливань з властивостями часткової частотної селекції у напругу;

ФНЧ – фільтр низьких частот, що відфільтровує зайві високочастотні завади, які можуть спостерігатися в радіоефірі;

ВК1, ВК2 – вхідні каскади, що призначені для керованої селекції вхідного радіосигналу і являють собою фільтри зі змінними параметрами ємностей, які можуть бути виконані за допомогою керованих напругою варикапів;

ПРЧ1, ПРЧ2 – підсилювачі радіочастоти, призначені для підсилення слабких радіосигналів і їх частотної селекції;

СФ1, СФ2 – смугові фільтри, які переналагоджуються відповідно до обраних каналів;

ЗМ – змішувач сигналів, призначений для пониження телевізійного радіосигналу і отримання проміжної частоти 38 МГц;

П, Г2 – перший та другий гетеродини, призначені для формування опорних частот у різних діапазонах МХ;

$E^{ж}$, $E^{ж}_{1,2}$, $E^{ж}_{3}$ – напруги живлення різних каскадів СКМ;

ППЧЗ – подача радіосигналу на першій проміжній частоті 38 МГц до підсилювача проміжної частоти зображення в модуль радіоканалу.

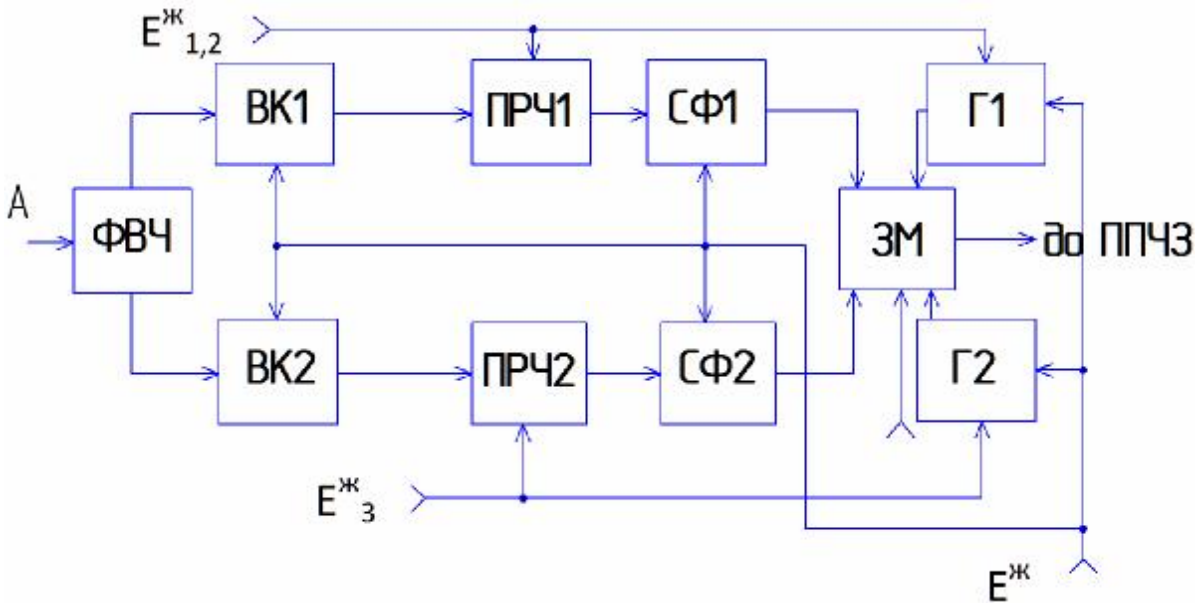


Рисунок 2.1 – Структурна схема модуля СКМ-24

Принцип роботи блоку СКД аналогічний, але треба враховувати деякі особливості, пов'язані з роботою в іншому частотному діапазоні. Тут з'являється необхідність використовувати елементну бачу, яка характеризується зосередженими параметрами, наприклад, мікросмугові лінії, фільтри тощо. Практичне виконання і налагодження СКД відрізняється від налагодження СКМ і характеризується більш складними операціями.

На рисунку 2.2 зображена схема електрична принципова побудови блоку СКМ-24, за якою студенти мають провести дослідження.

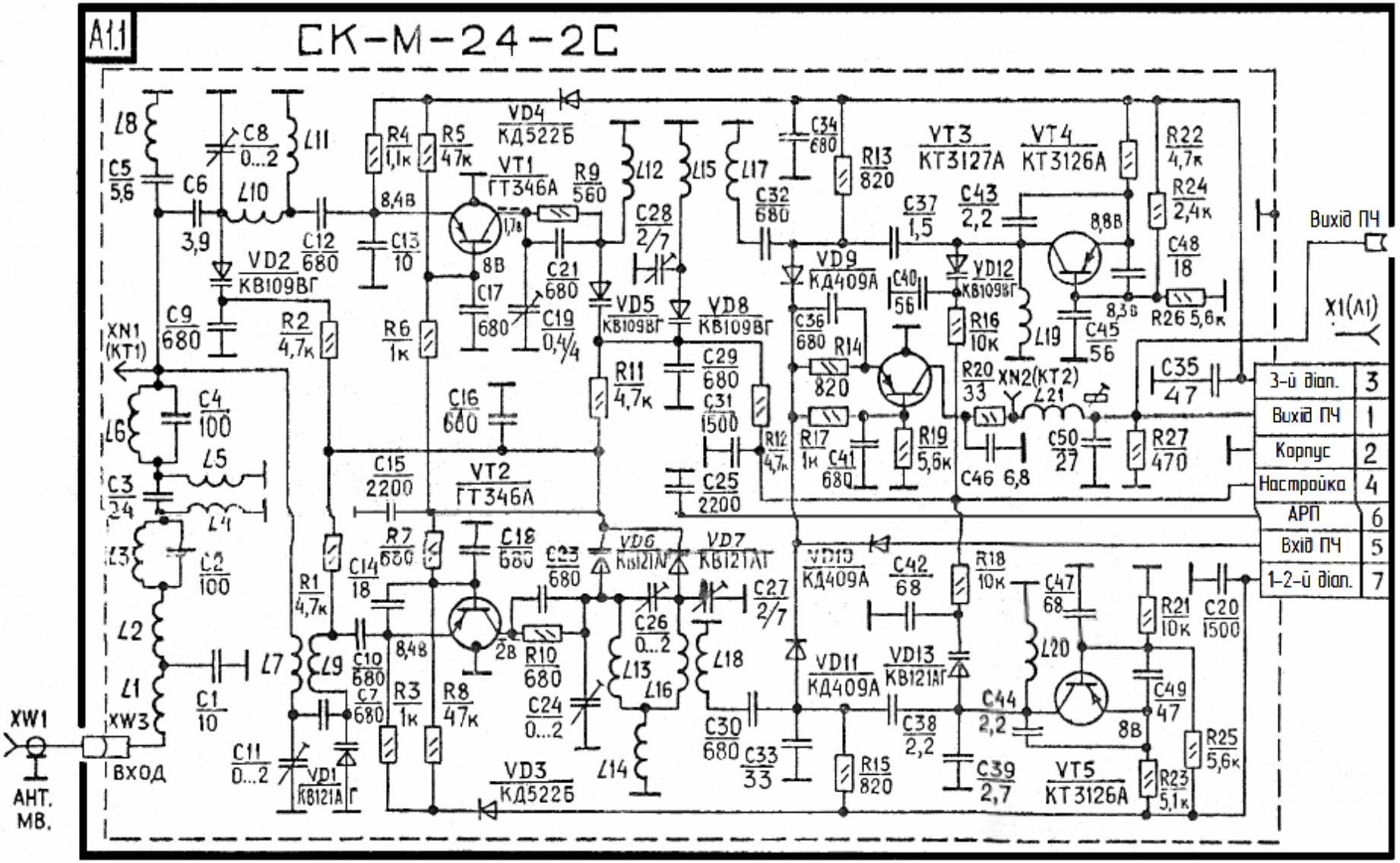


Рисунок 2.2 – Схема електрична принципова модуля СК-М-24

Для дослідження обробки сигналів і смуги пропускання СКМ використовується спеціальний пристрій для вимірювання АЧХ (амплітудно-частотних характеристик). Такий пристрій складається з генератора безперервнозмінної радіочастоти, яку можна задавати у визначеному діапазоні частот, і пристрою прийому таких радіочастот, що пройшли певну обробку в необхідних радіоелектронних вузлах. Залежно від смуги проходження сигналів, наприклад, через фільтри, на екрані такого пристрою можна бачити АЧХ фільтра, досліджувати її в заданій смузі частот відповідно до обраних інтервалів частотних міток. Частотні мітки користувач може задавати самостійно за допомогою перемикачів, які знаходяться на панелі приладу.

На рисунку 2.3 зображений результат вимірювання АЧХ режекторного фільтра за допомогою такого пристрою. Користувач може визначити не тільки центральну частоту режекції f_0, але і смугу Δf пропускання за рівнем 0,7. що, як відомо з теоретичних курсів, відповідає втратам сигналу за рівнем – 3 дБ. Рівень таких втрат користувач може задавати самостійно, так же визначати смугу пропускання за будь-яким рівнем.

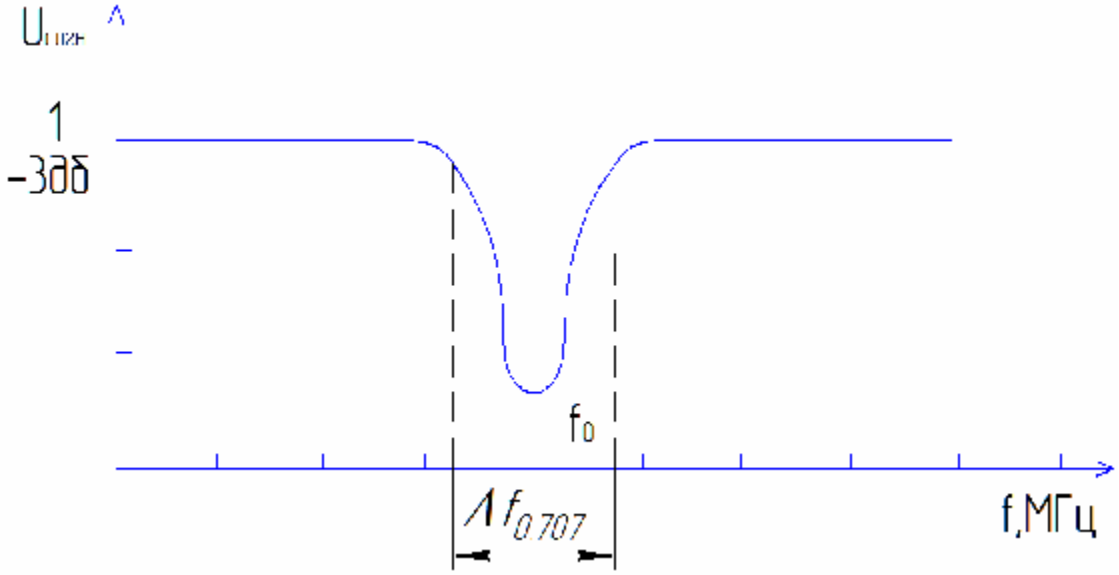


Рисунок 2.3 – Використання вимірювача АЧХ на прикладі дослідження смуги частот пропускання режекторного фільтра

Крім цього, можна самостійно задавати частотний діапазон дослідження, який для даною пристрою становить від 100 кГ до 150 МГц, і змінювати ширину смуги дослідження відповідно для отримання необхідної якості вимірювання за частотними мітками, тобто розтягувати або звужувати частотну характеристику.

Завдання до лабораторної роботи

Завдання до лабораторної роботи полягає у вивченні принципів роботи СКМ, проходженні радіосигналу по головних ланках блока і його обробці.

1. Виділити окремі функціональні вузли в модулі СКМ відповідно до зображеної структурної схеми на рисунку 2.1 і схеми електричної принципової. Пояснити призначення і принцип роботи цих вузлів.
2. Ознайомитися з пристроєм для вимірювання АХЧ різних радіотехнічних пристроїв.
3. Для роботи з селектором каналів, відокремленим від телевізора необхідно використовувати, спеціально сконструйований для цього лабораторний стенд, схема підключення якого зображена на рисунку 2.4.

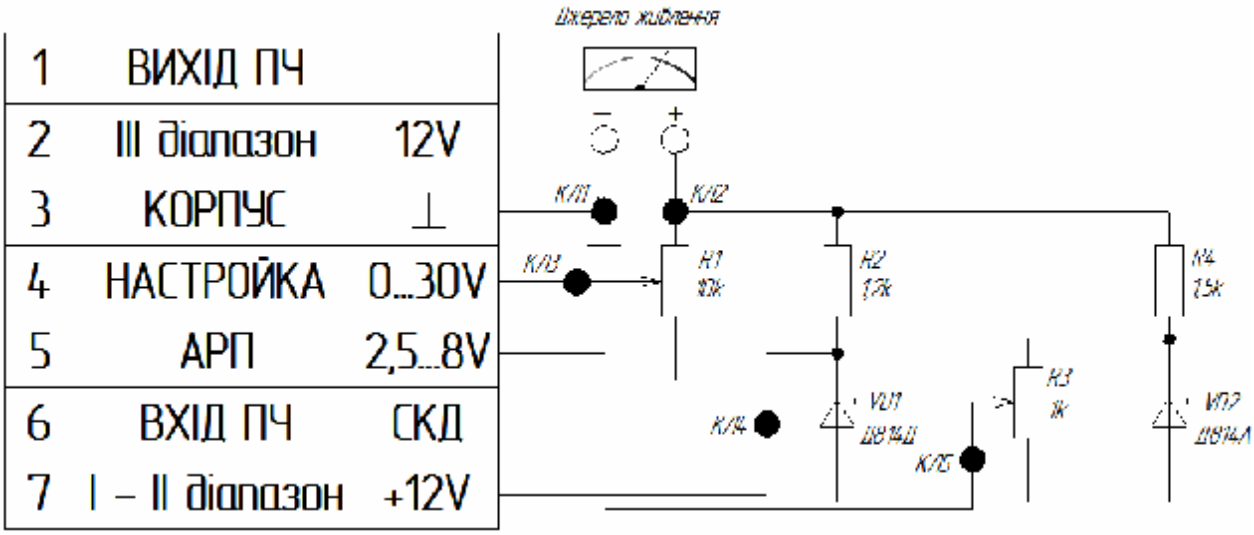


Рисунок 2.4 – Схема підключення лабораторного стенду до СКМ-24

4. Ввімкнути пристрій для вимірювання АЧХ, вихід пристрою (генератор змінної частоти) з'єднати з входом СКМ, а вихід СКМ з'єднати з входом вимірювача.
5. Провести дослідження смути частот СКМ при проходженні сигналів за рівнем – 3дБ для діапазонів частот, що відповідають 1–5 телевізійним каналам і записати результати вимірювань.
6. Провести дослідження зміни налагодження смуги частот для ВК1 і ВК2 за рисунком 2.2.
7. Провести вимірювання смуги частот СФ1 за рисунком 2.2.
8. Провести дослідження зміни робочої частоти Г1 за рисунком 2.2.

Зміст звіту

1. Звіт про виконану роботу оформляється на аркушах формату А4.
2. Звіт має містити титульну сторінку, тему роботи, мету, короткі теоретичні відомості про принцип побудови і роботи СКМ.
3. Структурна схема СКМ.
4. Виміряні частотні характеристики каналів СКМ, ВК1 і ВК2, СФ1. Результати вимірів занести до таблиці.
5. Опис користування пристроєм для вимірювання АЧХ на основі набутих практичних навичок.

Контрольні питання

1. Визначити діапазон хвиль, у якому здійснюється прийом телевізійних програм. Пояснити необхідність розбиття діапазону МХ на піддіапазони.
2. Як здійснюється перемикання в СКМ на різні піддіапазони?
3. Призначення та принцип роботи модуля СКМ.
4. Основні види перетворення сигналу в СКМ.
5. Принцип перемикання каналів та діапазонів у СКМ.
6. Призначення та принцип роботи модуля СКД. Основні правила і особливості підключення і перетворення радіосигналу в СКД.
7. Пояснити можливість дослідження АЧХ блоку СКД.
8. Як здійснюється включення СКД до радіоканалу?
9. Пояснити наявність у модулі СКМ двох гетеродинів. Їх функції.
10. Пояснити принцип пониження частоти і отримання проміжної частоти.

Лабораторна робота №3

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СУБМОДУЛЯ РАДІОКАНАЛУ ТЕЛЕВІЗІЙНОГО ПРИЙМАЧА

Мета роботи: ознайомитися з принципами роботи субмодуля радіоканалу, проходженням і обробкою радіосигналу, принципами побудови і вимогами до вхідних фільтрів субмодуля радіоканалу.

Теоретичні відомості

Субмодуль радіоканалу телевізійного приймача призначений для прийому радіосигналу на проміжній частоті 38 МГц, формування потрібної амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) тракту зображення, підсилення сигналів проміжної частоти (ПЧ) зображення і звуку та їх детектування, забезпечення автоматичного регулювання підсилення (АРП) і автоматичного налагодження частоти блока гетеродина.

Радіоканал сучасного телевізора побудований за супергетеродинною схемою. Ефірний сигнал, який передасться несучою частотою (від 48 до 230 МГц для метрового діапазону – з першого по 12 канали і від 430 МГц для дециметрового діапазону), надходить на вхід селектора каналів (СК). Вихідним сигналом із селектора каналів є сигнал проміжної частоти: несуча зображення fн.зобр – 38 МГц та несуча звука fн.зв – 31,5 МГц. Загальна смуга такого сигналу чітко визначена та нормується спеціальними засобами і становить 8 МГц (рисунок 3.1).

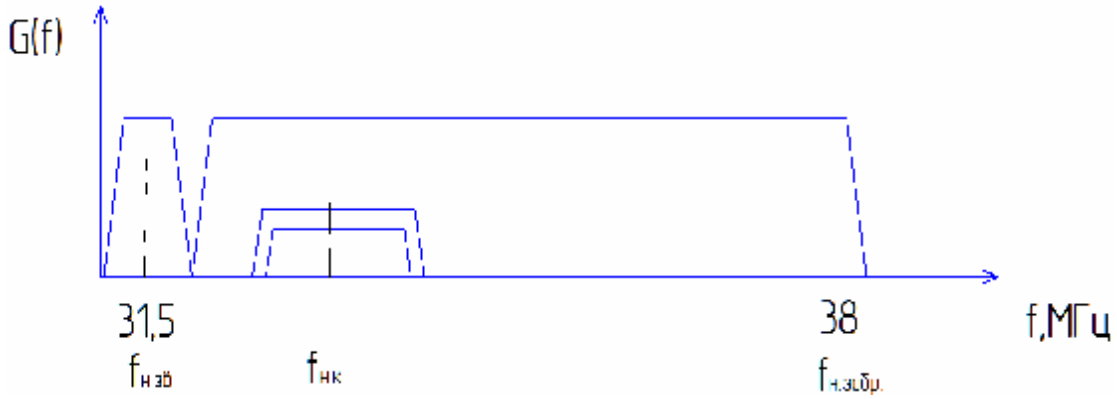


Рисунок 3.1 – Спектр телевізійного сигналу на проміжній частоті 38 МГц

Треба зазначити, що в системі кольорового телебачення СЕКАМ, у якій переважно здійснюється телевізійне мовлення на території України, сигнали зображення яскравості передаються методом амплітудної модуляції з частково подавленою нижньою боковою смугою, сигнали кольоровості передаються методом частотної модуляції для збільшення

завадостійкості на піднесучих $f_{н.к.}$ Сигнали звукового супроводу для високоякісного відтворення передаються за допомогою методів частотної модуляції.

У різних моделях телевізійних приймачів субмодуль радіоканалу може бути поділений на дві окремі частини: підсилювач проміжної частоти звуку (ППЧЗв) і підсилювач проміжної частоти зображення (ППЧЗ). У телевізорах "Електрон" ці два блоки, як правило, виконані конструктивно разом. У даній лабораторній роботі пропонується розглянути роздільний варіант побудови субмодуля радіоканалу.

З виходу СКМ сигнал ПЧ надходить на вхід ППЧЗ. Першим каскадом ППЧЗ є каскад з регульованим підсиленням, наступним є фільтр зосередженої селекції (ФЗС) і аперіодичний підсилювач. ФЗС призначений для формування АЧХ ППЧЗ, до форми якої висуваються суворі вимоги. АЧХ телевізійного сигналу стандартизується і наводиться в довідниковій літературі. Форма такого сигналу зображена на рисунку 3.2.

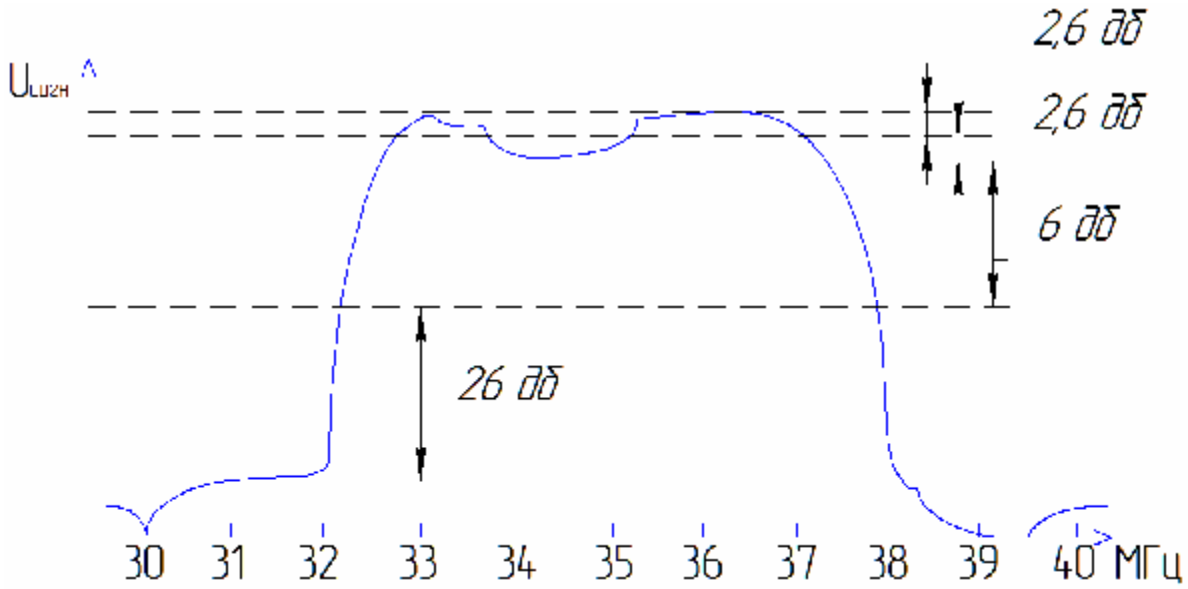


Рисунок 3.2 – Нормована АЧХ телевізійного сигналу

Після підсилення сигналу зображення і ПЧ звуку виділяється друга ПЧ звуку, яка дорівнює 6,5 МГц. Цей сигнал надходить у блок ППЧЗв, де після підсилення і обмеження по амплітуді детектується частотним дискримінатором і подається в блок підсилення низької частоти для подальшого відтворення.

На рисунку 3.3 зображена схема електрична принципова субмодуля радіоканалу, де структурно поєднані модулі ППЧЗ та ППЧЗв.

У даній схемі застосовується спеціальний фільтр на поверхневоакустичних хвилях (ПАХ), подібні фільтри замінюють фільтри зосередженої селекції, вміщують від 9 до 13 точок настройки і мають високу стабільність АЧХ.

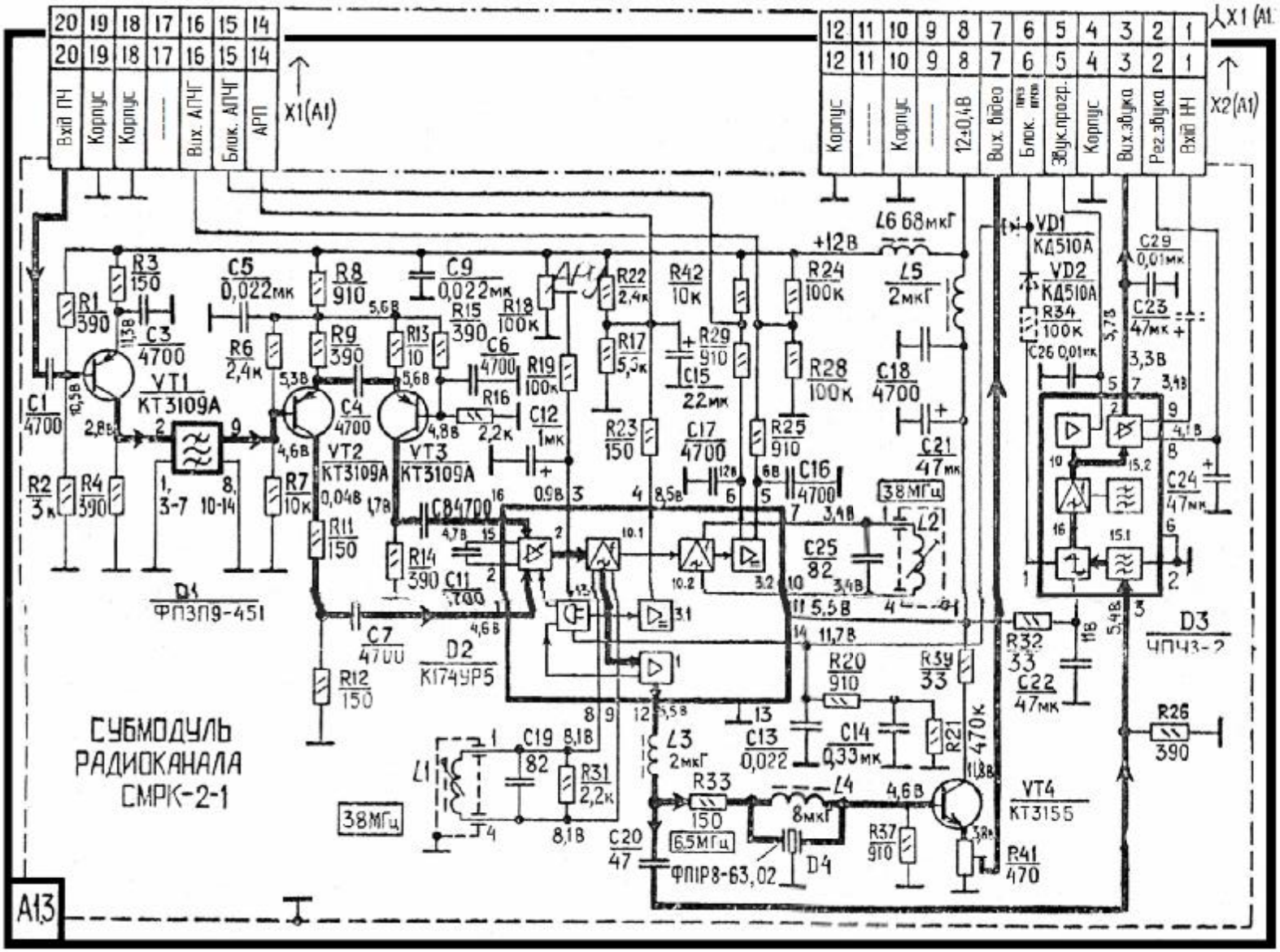


Рисунок 3.3 – Схема електрична принципова субмодуля радіоканалу СМРК-2-1

Завдання до лабораторної роботи

1. Провести вимірювання АЧХ ППЧЗ.

Ця робота складається з двох етапів. Перший етап передбачає вимірювання АЧХ ФЗС ППЧЗ у автономному модулі, тобто без підключення до телевізора. Для цього необхідно підключити ВЧ вихід вимірювача АЧХ Х1-48 до входу лабораторного модуля ППЧЗ, а за допомогою детекторної головки, через яку подається НЧ сигнал на вхід вимірювача АЧХ, зняти характеристики сигналу після обробки ФЗС за схемою електричною принциповою. Орієнтовний робочий діапазон дослідження пристрою необхідно встановити 35-60 МГц, після чого діапазон уточнюється. Для даного лабораторного модуля спробувати налагодити АЧХ ФЗС згідно з встановленими стандартами, відповідно до зображення на рисунку 3.2.

Другий етап передбачає проведення дослідження АЧХ ППЧЗ телевізійного приймача в робочому стані. Необхідно задати ослаблення ВЧ сигналу пристрою Х1-48 до -20 дБ для того, щоб не перевантажити ППЧЗ. Для контролю напруги автоматичного регулювання підсилення (АРП) підключити вольтметр до відповідних клем стенда. Встановити робочий діапазон дослідження вимірювального приладу близько 35–60 МГц і, переналагоджуючи канал телевізійного приймача, отримати на екрані вимірювача АЧХ сигнал, подібний до зображеного на рисунку 3.2. Встановити достатній рівень цього сигналу, і сигналу при зміні ослаблення пристрою Х1-48, після якого форма АЧХ може змінитися несуттєво. Замалювати АЧХ, визначивши за допомогою візира частотні мітки для характерних точок. Виконати те ж для інших каналів, наскільки це дозволить вимірювальний прилад.

2. Виміряти АЧХ ППЧЗв.

Підключити вихід генератора коливної частоти вимірювача АЧХ до входу ППЧЗв. Виміряти АЧХ ППЧЗв. Звернути увагу на положення проміжних частот на АЧХ.

3. Виміряти залежність підсилення ППЧЗ від напруги АРП.

Замітивши положення атенюатора приладу і розмах АЧХ на екрані, зменшити напругу АРП на 20% від максимального значення за допомогою потенціометра за схемою електричною принциповою. Зменшивши ослаблення атенюатора, відновити попередню амплітуду сигналу. Різницю зміни значень атенюатора дає зміна підсилення ППЧЗ, викликана зменшенням напруги АРП. Зменшити напругу АРП так само і побудувати графік за результатами вимірювань.

4. Виміряти АЧХ ППЧЗв і визначити похибку частотного дискримінатора.

Підключити прилад для вимірювання АЧХ до входу і виходу ППЧЗв. Знайти частотну відмітку сигналу на другій ПЧ звуку. Замалювати форму АЧХ. Подати на вхід ППЧЗв сигнал від генератора Г4-102 частотою 6500 кГц, контролюючи його за частотоміром. Виміряти вольтметром напругу на виході ППЧЗв. Якщо ця напруга не дорівнює нулю, змінюючи частоту, отримати нульові показники і за частотоміром визначити похибку частотного дискримінатора.

Зміст звіту

1. Звіт про виконану роботу оформляється на аркушах формату А4.
2. Звіт має містити титульну сторінку, тему роботи, мету, короткі теоретичні відомості про принцип роботи субмодуля радіоканалу.
3. Схема електричну-принципову субмодуля радіоканалу та структурну схему, що ілюструє проходження і обробку сигналу в модулі.
4. Осцилограми сигналів за п. 1, 2, 3, 4 з частотними мітками згідно з візиром вимірювача АЧХ.
5. Навести стандартизовану АЧХ телевізійного сигналу і порівняти з експериментальними даними.

Контрольні питання

1. Призначення субмодуля радіоканалу.
2. Основні види перетворення та проходження сигналу в радіоканалі.
3. Принцип демодуляції сигналу зображення.
4. Взаємодія субмодуля радіоканалу з системою АРП і автоматичним налагодженням частоти гетеродина.
5. Частотні характеристики радіоканалу, вимоги до вхідного фільтра.
6. За схемою електричною принциповою показати реалізацію АРП.
7. Основні регулювання, які можна здійснити в модулях ППЧЗ і ППЧЗв.
8. Складові частини мікросхеми ППЧЗ та їх призначення.
9. Складові частини мікросхеми ППЧЗв та їх призначення.

Лабораторна робота №4

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ СИНХРОНІЗАЦІЇ ТЕЛЕВІЗІЙНОГО ПРИЙМАЧА

Мета роботи: вивчити способи виділення синхронізуючих імпульсів із повного телевізійного сигналу; ознайомитися з принципами роботи та дослідити експериментально схему інерційної синхронізації.

Теоретичні відомості

Загальні положення

Для правильного відтворення телевізійного зображення необхідні синхронність і синфазність аналізу і синтезу зображення об'єкта, що передається. Іншими словами, початок розгортки першого рядка на екрані відтворюючого пристрою має співпадати з початком розгортки того ж рядка в передавальному обладнанні.

Сукупність засобів, що забезпечують синхронність і синфазність аналізу і синтезу зображень, називають системою синхронізації. В телебаченні для забезпечення черезрядкового розкладу і стабільності якості растра використовується примусова система синхронізації, яка є в даному випадку практично єдиною можливою. Це потребує в каналі зв'язку визначеної ділянки для передачі сигналів синхронізації в частотному або амплітудному діапазонах відеосигналу.

У світовій практиці прийнято використовувати для передачі синхронізуючих сигналів частину амплітудного діапазону повного телевізійного сигналу, що призводить до значної втрати динамічного діапазону зміни відеосигналу (на 25–30%) і, відповідно, погіршується завадостійкість сигналу зображення. Але використання частотного діапазону для передачі сигналу ще більш невигідно, оскільки значно ускладнює систему розділення сигналів і розширює частотний діапазон радіоканалу телевізійного повідомлення.

Сигнали синхронізації мають вироблятися в центральному пункті утворення ТВ програми і далі передаватися разом з основним, несучим інформацію про зображення відеосигналом.

Сигнал синхронізації приймачів (ССП)

ССП складається із суміші рядкових та кадрових (напівкадрових) синхроімпульсів, що передаються одночасно з відеосигналом. У телевізійному приймачі імпульси синхронізації відділяються від відеосигналу за допомогою амплітудного селектора (АС), оскільки вони різні за амплітудою. З цією метою імпульси ССП в передавальній апаратурі дода-

ються в сигнал зображення так, щоб у повному телевізійному сигналі вони розмістилися нижче рівня чорного ("чорніше чорного") на вершинах гасячих імпульсів та становили 25% від повного розмаху ТВ сигналу. Імпульси синхронізації легко можуть бути відділені в цьому випадку від відеосигналу без взаємних перешкод звичайним амплітудним обмежувачем.

До форми синхронізуючих імпульсів ставлять такі вимоги:

а) розділення рядкових та кадрових синхроімпульсів має бути простим і надійним;

б) форма імпульсів синхронізації має забезпечувати точну синхронізацію розгортки при можливості збільшення завадостійкості.

Виходячи із цих вимог, обрано найбільш простий та надійний спосіб передачі, при якому імпульси синхронізації рядків та кадрів відрізняються один від одного за шириною. Відповідно до ГОСТ 7845-79 тривалість рядкового синхроімпульсу становить 0,08 Н, а тривалість кадрового – 3 Н, де Н – тривалість рядка відеосигналу, Н = 64 мкс.

Крім перерахованих імпульсів, до складу ССП входять урівнюючі імпульси тривалістю 0,035…0,045 Н, які призначені для створення однакових умов виділення кадрових синхроімпульсів в парних та непарних полях, врізки тривалістю 0,035...0,045 Н, імпульси, які призначені для забезпечення надійної синхронізації генераторів рядкової розгортки під час кадрового імпульсу синхронізації (рисунок 4.1).

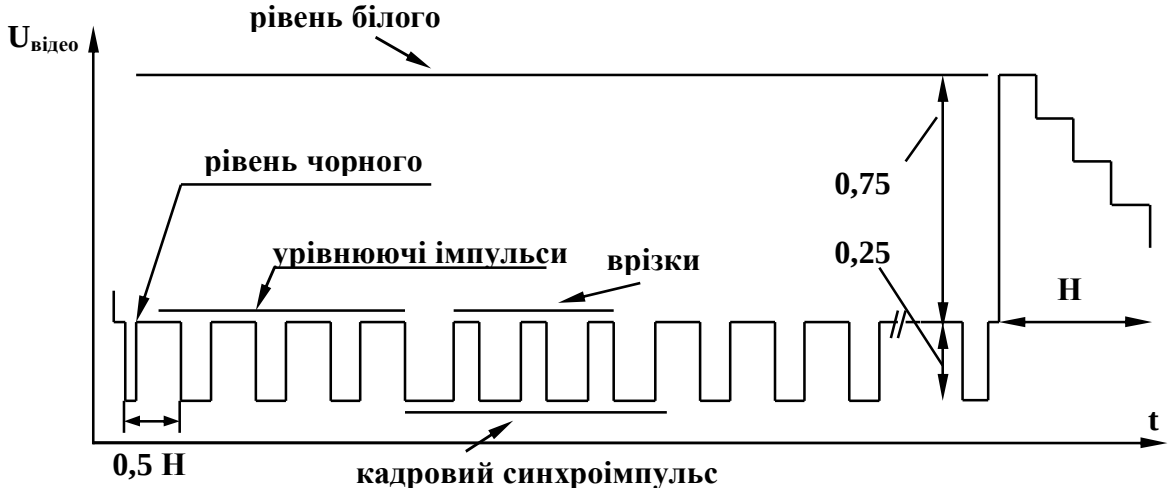


Рисунок 4.1 – Розміщення урівнюючих синхроімпульсів та імпульсів-врізок у кадровому імпульсі гасіння

Частота урівнюючих імпульсів і врізок дорівнює подвійній частоті рядків, на яку генератор рядкової розгортки не налагоджений і фіксує тільки їх половинну частоту.

При додаванні ССП у відеосигнал синхроімпульси розміщуються ближче до початку гасячих імпульсів, щоб відвести більше часу на зворотний хід променя в кінескопі. Між фронтом гасячого імпульсу і фронтом синхроімпульсу залишається невеликий інтервал, так званий передній виступ. Його розміри для кадрового імпульсу визначаються необхідністю розміщення п'яти урівнюючих імпульсів тривалістю 2,5 Н, а для рядкового – тривалістю перехідних процесів, тобто необхідністю усунення можливого накладання перехідних процесів від відеосигналу в кінці рядка та фронту гасячих імпульсів на фронт синхроімпульсу. Тривалість переднього виступу на рядковому імпульсі гасіння роблять близько 1,5 мкс.

Виділення ССП від повного телевізійного сигналу

ССП відділяється від відеосигналу методом обмеження повного ТВ сигналу за рівнем "чорніше чорного". Схеми, в яких здійснюється виділення синхроімпульсів, називаються амплітудними селекторами (АС), або синхроселекторами.

В АС, як правило, здійснюються дві операції: фіксація рівня вершин синхроімпульсів на заданому рівні та обмеження (відсічка) відеосигналу. Якщо не зафіксувати вершини синхроімпульсів на заданому рівні, то при зміні розмаху або середньої складової сигналу (при зміні змісту переданого зображення) буде змінюватися рівень обмеження синхроімпульсів. Оскільки фронти синхроімпульсів мають кінцеву тривалість, то при зміні рівня обмеження буде змінюватися часове положення фронтів ССП на виході АС, що призведе до відповідного зміщення частин зображення і в кінцевому випадку до повного порушення синхронізації.

У більшості схем АС фіксація вершин синхроімпульсів здійснюється некерованими схемами фіксації. Обмеження відеосигналу здійснюється в АС завдяки ключовому режиму роботи активного елемента.

Відокремлення рядкових та кадрових синхроімпульсів

ССП, отриманий на виході АС, необхідно розділити на рядкові та кадрові синхроімпульси. Рядкові синхроімпульси використовувати для синхронізації задаючого генератора рядкової розгортки, а кадрові – для синхронізації задаючого генератора кадрової розгортки.

Використовуючи процеси заряду та розряду конденсаторів, різницю в тривалості імпульсів ССП можна перетворити в різницю амплітудних розмахів. Відділення рядкових синхроімпульсів від кадрових відбувається за допомогою часової селекції з використанням інтегруючих та диференціюючих ланцюгів.

У тих випадках, коли завадостійкість не є визначальним фактором при побудові систем синхронізації, наприклад, при передачі сигналу по коротких кабельних лініях, можлива часова селекція з використанням схем виділення імпульсів частоти полів без подавлення високочастотних складових спектру (слабке диференціювання, часткова затримка).

Оскільки використання інтегруючих ланцюгів забезпечує високу завадостійкість кадрової синхронізації, основна увага приділяється підвищенню завадостійкості синхронізації рядкової розгортки (особливо при дальньому прийомі ТВ програм).

Найефективніше можна боротися з завадами (особливо флуктуаційними і, меншою мірою, імпульсними) за допомогою схем інерційної синхронізації, що здійснюється системою автоматичного підстроювання частоти і фази (АПЧіФ). Структурна схема такої системи синхронізації зображена на рисунку 4.2.

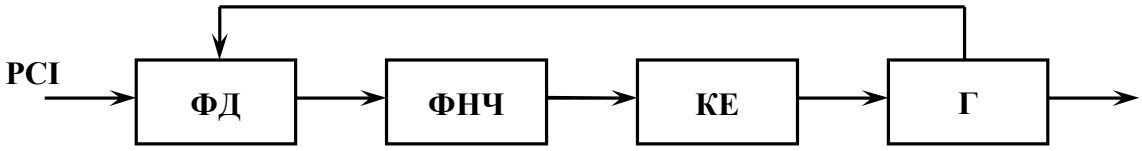


Рисунок 4.2 – Структурна схема інерційної системи АПЧіФ

Фазовий детектор (ФД) порівнює частоту і фазу коливань синхронізуючого генератора (Г) з частотою і фазою рядкових синхроімпульсів (РСІ). Результат порівняння усереднюється за допомогою фільтра нижніх частот (ФНЧ) та потім впливає на керуючий елемент (КЕ). Основний виграш у завадостійкості полягає у тому, що сигнал синхронізації має регулярний (періодичний) характер, а сигнали завад – випадковий (нерегулярний). КЕ безпосередньо впливає на синхронізуючий генератор, поки частота і фаза коливань не набудуть потрібного значення.

На рисунку 4.3 зображена схема електрична принципова, за допомогою якої студенти проводять дослідження.

У сучасних телевізійних приймачах субмодулі синхронізації використовуються, як системи синхронізації, на які покладені функції і амплітудної і часової селекції. У таких субмодулях основні функції покладені на спеціалізовану мікросхему К174ХА11, структурну схему якої зображено на рисунку 4.3. Окрім цього, користувач може самостійно визначати частоту вільних коливань автогенератора субмодуля (без синхронізуючих імпульсів) та задавати початкову фазу за допомогою налагоджувальних елементів.

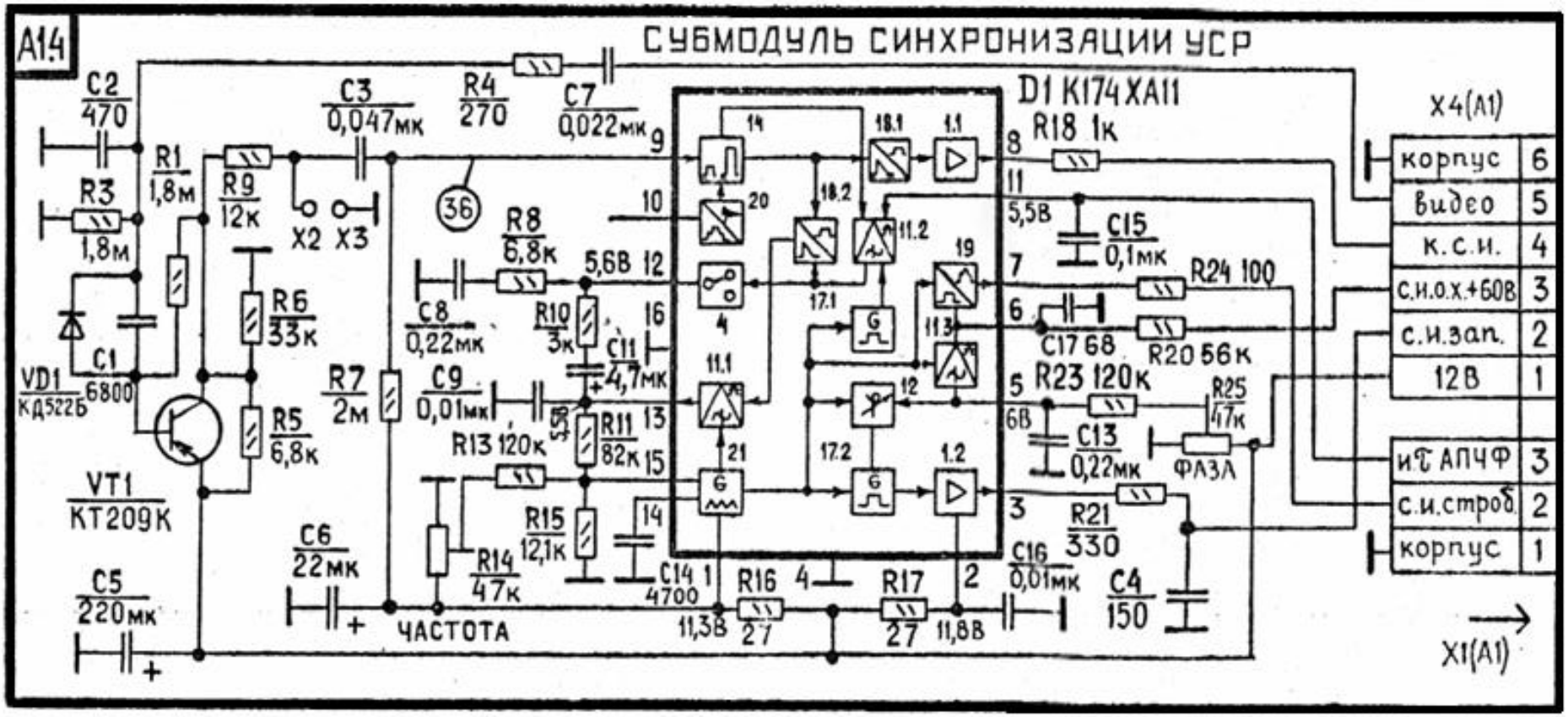


Рисунок 4.3 – Схема електрична принципова субмодуля синхронізації УСР

У даному модулі може використовуватися зміна часової компоненти τ (зміна τ АПЧіФ) для збільшення інерційності реагування системи на послідовність нестабільних синхронізуючих імпульсів (наприклад, при прийомі синхропослідовності з відеоплівки).

Вхідними сигналами такого субмодуля є повний кольоровий телевізійний сигнал та рядковий імпульс зворотного ходу (РІЗХ), призначений для забезпечення зворотного зв'язку. РІЗХ знімається з п’ятого виводу обмотки високовольтного рядкового трансформатора. Вихідними є сигнали синхронізації: рядковий імпульс запуску (РІ зап.) – для запуску рядкової розгортки, кадровий синхроімпульс (КСІ) – для синхронізації роботи кадрової розгортки, рядковий імпульс стробуючий (РІ строб.) – для синхронізації роботи модуля кольоровості.

Завдання до лабораторної робити

Досліджуваним макетом є телевізор 3-УСКТ марки "Електрон".

1. За наявності сигналу з ефіру, підключити осцилограф до таких клем стенда: "ПКТС" – повний кольоровий телевізійний сигнал, "КСІ – кадровий синхроімпульс, "РІЗХ" – рядковий імпульс зворотного ходу, "РІ запуску" – рядковий імпульс запуску, а також до виводу 9 мікросхеми К174ХА11. Продивитися напруги на відповідних виходах субмодуля та замалювати їх.

2. При відсутності сигналу з ефіру (дослідження субмодуля синхронізації з відключеним входом "Відео") підключити частотомір до виходу "РІ запуску" та заміряти частоту рядків. Обертаючи резистор R14 на платі субмодуля, заміряти межі регулювання частоти рядків. Встановити частоту 15625 Гц.

3. Подати на клеми Х4(А1) імпульси з генератора Г5-54 частотою 15625 Гц, $t = 5{,}1$ мкс, $U = 1{,}7$ В. Контролювати частоту імпульсів частотоміром, підключеним до виходу генератора. Підключити входи осцилографа до клем Х4(А1) "Корпус" та "РІ запуску" стенда. Змінюючи частоту вхідних імпульсів генератора і контролюючи частоту вихідних імпульсів за осцилографом, визначити ширину смуги утримання системи АПЧіФ. Зробити висновки.

4. Після закінчення робіт відключити від мережі телевізор і вимірювальні прилади.

Зміст звіту

1. Звіт про виконану роботу оформляється на аркушах формату А4.
2. Звіт має містити титульну сторінку, тему роботи, мету, короткі теоретичні відомості про принцип роботи субмодуля синхронізації.
3. Схема електрична принципова субмодуля синхронізації.
4. Епюри напруги і результати вимірювань по пунктам 1, 2, 3.
5. Форма стандартного телевізійного сигналу.

Контрольні питання

1. Які перетворення телевізійного сигналу виконуються в каналі синхронізації?
2. Принцип селекції рядкових і кадрових синхроімпульсів у телевізійному приймачі.
3. Чому при черезрядковій розгортці потрібна складна форма синхросигналу?
4. Призначення імпульсів-врізок та урівнюючих імпульсів.
5. Які функції виконує амплітудний селектор? Приклад реалізації амплітудного селектора.
6. Пояснити принцип роботи автоматичного підстроювання частоти і фази генератора рядкової розгортки. Зобразити схему АПЧіФ та навести графічне пояснення.
7. Назвати часові характеристики рядкових та кадрових синхроімпульсів у стандартному телевізійному мовленні.
8. Як відділяються рядкові синхроімпульси від повного кольорового телевізійного сигналу?
9. Як впливають імпульси завади на якість по рядках і кадрах?
10. Для чого потрібна фіксація вершин синхроімпульсу на вході АС?
11. Проаналізувати роботу інерційної схеми синхронізації рядкової розгортки.
12. Зобразити схему розділення кадрових і рядкових синхроімпульсів і графіки, що пояснюють її роботу.

ЗАЛІКОВІ ПИТАННЯ З ДИСЦИПЛІНИ "ОСНОВИ ТЕЛЕБАЧЕННЯ"

1. Історія та перспективи розвитку сучасного телебачення.
2. Принципи передачі зображень. Основні фізичні процеси та принципи.
3. Метод послідовної та паралельної передачі інформації.
4. Принцип передачі нерухомих та рухомих об'єктів.
5. Поняття протоколу розкладу-відтворення зображення. Вітчизняний стандарт телебачення.
6. Поняття структури відеосигналу, його форми та основних параметрів.
7. Узагальнена структурна схема телевізійної системи.
8. Поняття розгортки зображення, сигналу яскравості, сигналів синхронізації, рівень „чорного” і „білого”, повний ТВ сигнал.
9. Поняття та необхідність застосування синхросуміші та врізок в телевізійному сигналів.
10. Вибір параметрів системи телебачення.
11. Способи розгортки зображення, їх використання. Основні переваги і недоліки.
12. Особливості використання черезрядкової розгортки та її характеристики.
13. Основні параметри розкладу зображення і відеосигналу.
14. Рядкова і черезрядкова розгортка. Розрахунок ширини спектра ТВ сигналу.
15. Види модуляції, які використовуються в телебаченні.
16. Спектр ТВ сигналу та його характеристика.
17. Поняття зображення та джерела сигналу.
18. Монохроматичні і складні випромінювання.
19. Визначення колірної температури та її застосування.
20. Поняття колориметрії. Елементи фотометрії, основні енергетичні величини. Поняття світлового потоку, сили світла, яскравості, освітленості, світлової експозиції.
21. Основні закони зорового сприйняття. Зорова система людини як прототип технічних систем.
22. Характеристика структурної схеми зорової системи.
23. Поняття гостроти зору та її визначення.
24. Інерційність зорового сприйняття. Критична частота, яскравість зображення і частота кадрової розгортки.

25. Закони Тальбота і Фехнера.
26. Сприйняття кольору. Об'єктивна і суб'єктивна оцінка кольору.
27. Відносна спектральна чутливість ока.
28. Поняття послідовного й одночасного кольорового контрасту.
29. Основні методи утворення кольору: субтрактивний і адитивний.
30. Способи змішування кольорів: локальний, бінокулярний, просторовий.
31. Основні закони змішування кольорів.
32. Практичне використання кольорового графіка, фігура-локус.
33. Класифікація давачів ТВ сигналів.
34. Класифікація та коротка характеристика передавальних трубок.
35. Принципи накопичення світлової енергії.
36. Потенціал ізольованої мішені. Вторинна електронна емісія у вакуумних приладах.
37. Характеристика області повільних та швидких електронів, область граничних потенціалів.
38. Зовнішній фотоефект та його характеристика.
39. Основні типи і характеристики фотокатодів.
40. Принцип роботи іконоскопа.
41. Передавальні трубки з фотопровідним шаром. Принцип роботи відікона.
42. Утворення сигналу у відіконі.
43. Інерційність відікона: фотоелектрична і комутаційна. Шляхи зменшення інерційності.
44. Характеристики відікона.
45. Передавальні трубки з фотодіодним шаром. Принцип роботи плюмбікона. Шляхи зменшення інерційності.
46. Кремнікон та його принципи роботи.
47. Передавальні трубки з електронним перенесенням зображення. Конструкція та принцип роботи секона.
48. Конструкція та принцип роботи дисектора.
49. Принципи роботи приладів із зарядовим зв'язком
50. Твердотільні давачі. Принцип накопичення заряду. Конденсатори МОН-структури.
51. Перенесення зарядових пакетів. Трифазний і двофазний зсувний регістр.
52. Принцип роботи лінійно-рядкового фотоелектричного перетворювача світло-сигнал, паралельно-кадрова структура перетворювача.

53. Давачі сигналів для кольорового ТБ. Пристрій із біжучим променем, тритрубчаті і однотрубчаті камери.
54. Класифікація відтворювальних пристроїв.
55. Принцип роботи кінескопа для чорно-білого ТБ.
56. Призначення та конструкції електронних прожекторів. Поняття кросовера.
57. Принципи електростатичного і електромагнітного фокусування електронного променя. Переваги та недоліки.
58. Система фокусування електронного променя. Принцип фокусування.
59. Поняття модуляції електронного променя.
60. Модуляційна характеристика кінескопа. Контрастність у кінескопах, поняття ореола.
61. Кінескопи для кольорового ТБ. Масочний кінескоп з дельтовидним розташуванням прожекторів.
62. Принцип застосування тіньової маски в кінескопах. Переваги та недоліки її застосування.
63. Спотворення зображення в кінескопах. Основні методи їх усунення.
64. Методи регулювання в кінескопах з дельтовидним розташуванням прожекторів.
65. Масочний кінескоп із компланарним розташуванням прожекторів. Поняття самозведення. Переваги даного кінескопа.
66. Принцип роботи однопроменевого хроматрона.
67. Плазмові панелі та їх застосування.
68. Принцип роботи рідкокристалічного дисплея на основі LCD та TFT.
69. Принцип роботи проекційних телевізорів і проекторів.
70. Принцип роботи й узагальнена структурна схема чорно-білого телевізора. Призначення окремих блоків.
71. Перетворення спектра сигналу в телевізійному приймачі. Поняття проміжних частот звуку та зображення.
72. Особливості роботи одноканальних та двоканальних телевізійних приймачів.
73. Принципи побудови кольорових телевізійних приймачів. Характеристика окремих модулів.
74. Призначення та принцип функціонування блоку вибору програм.
75. Призначення та принцип функціонування модулю радіоканалу.
76. Призначення та принцип функціонування субмодуля синхронізації.
77. Призначення та принцип функціонування модуля кольоровості.

78. Призначення модуля кольорової синхронізації.
79. Призначення та принцип функціонування модуля рядкової розгортки.
80. Призначення та принцип функціонування модуля кадрової розгортки.
81. Призначення та принцип функціонування множника напруги.
82. Поняття цифрового телебачення.
83. Загальні принципи побудови цифрового телебачення. Основні характерні риси цифрового телебачення.
84. Застосування імпульсно-кодової модуляції в цифровому телебаченні. Квантування по часу та рівню.
85. Пороги квантування та похибки.
86. Теореми Котельникова-Найквіста. Їх практичне застосування.
87. Швидкість передачі цифрового потоку та її оцінка.
88. Відповідність між аналоговим телевізійним сигналом та рівнями квантування для різних шкал.
89. Характеристика спектрів телевізійного сигналу після квантування.
90. Поняття та необхідність компресії цифрового телевізійного сигналу.
91. Поняття канального кодування.
92. Види модуляції в цифровому телебаченні.
93. Узагальнена структурна схема системи цифрового телебачення.
94. Основи цифрової фільтрації телевізійного сигналу.
95. Основні часові перетворення цифрових сигналів.
96. Перспективи розвитку цифрового телевізійного мовлення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Быков Р.Е. Теоретические основы телевидения. Учеб. для вузов. – СПб.: Издательство "Лань", 1998. – 288 с.
2. Быков Р.Е. и др. Телевидение: Учеб. пособие для вузов / Р.Е. Быков, В.М. Сигалов, Г.А. Эйссенгардт; Под ред. Р.Е. Быкова. – М.: Высш. шк., 1988. – 247 с.
3. Герасимович М.В. Довідник з електронно-променевих приладів. – К.: Техніка, 1991. – 239 с.
4. Ельяшкевич С.А. Мосолов А.Ф. и др. Ремонт и регулировка цветных телевизоров блочно-модульной конструкции. – М.: ДОСААФ, 1985. – 127 с.
5. Ельяшкевич С.А. Пескин А.Е. Телевизоры 3 УСЦТ 4 УСЦТ 5 УСЦТ. Устройство, регулировка, ремонт. – М.: МП "Символ-Р", 1993. – 224 с.
6. Ельяшкевич С.А. Пескин А.Е. Цветные телевизоры пятого и шестого поколений "Рубин", "Горизонт", "Электрон". Устройство, регулировка, ремонт. – М.: СОЛОН–Р, 2002. – 352 с.
7. Ельяшкевич С.А. Цветные стационарные телевизоры и их ремонт: Справочник. Изд. 4-е, стереотипное. – М.: ИП РадиоСофт, 2000. – 240 с.
8. ЖК и ЭЛТ телевизоры. Регулировка и ремонт. / Под редакцией Н.А. Тюнина, А.В. Родина. – М.: СОЛОН-Пресс, 2008. – 136 с.
9. Мамаев Н.С., Мамаев Ю.Н., Теряев Б.Г. Системы цифрового телевидения и радиовещания. / Под ред. Н.С. Мамаева. – М.: Горячая линия–Телеком, 2007. – 254 с.
10. Мамчев Г.В. Основы радиосвязи и телевидения. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия–Телеком, 2007. – 416 с.
11. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Основи телебачення" для студентів усіх форм навчання напряму підготовки 6.050901 "Радіотехніка" / Укл. А.В. Гончаров, В.В. Палагін. – Черкаси: ЧДТУ, 2009. – 29 с.
12. Основи телебачення: Конспект лекцій для студентів спеціальності 7.090701 "Радіотехніка" / Укл. В.В. Палагін, В.О. Селін. – Черкаси: ЧДТУ, 2006. – 84 с.
13. Седов С.А. Индивидуальные видео-средства: телеантенны, телевизоры, видеомагнитофоны, видеокамеры, видеопроигрыватели, видеодиски: Справочное пособие. – К.: Наукова думка, 1990. – 752 с.
14. Телевидение. Учебник для вузов 4-е изд., стереотип. / В.Е. Джакония, А.А. Гоголь, Я.В. Друзин и др.; Под ред. В.Е. Джаконии. – М.: Горячая линия–Телеком, 2007. – 616 с.
15. Тюнин Н.А., Потапов П.Е. Телевизоры XXI века. – М.: СОЛОН-Пресс, 2006. – 144 с.