

Кафедра організації та технічного забезпечення  
аварійно-рятувальних робіт  
Національного університету цивільного захисту України

# **СПЕЦІАЛІЗОВАНІ ТЕЛЕВІЗІЙНІ СИСТЕМИ**

*Курс лекцій*

Харків 2018

Кафедра організації та технічного забезпечення  
аварійно-рятувальних робіт  
Національного університету цивільного захисту України

# **СПЕЦІАЛІЗОВАНІ ТЕЛЕВІЗІЙНІ СИСТЕМИ**

*Курс лекцій*

Харків 2018

Рекомендовано до друку кафедрою  
організації та технічного забезпе-  
чення аварійно-рятувальних робіт  
НУЦЗ України  
Протокол від 29 січня 2018 р. № 6

**Укладачі:** А.Б. Фещенко, О.В. Загора

**Рецензенти:** доктор технічних наук, академік Академії прикладної радіоелектроніки та Міжнародної академії зв'язку **В.В. Поповський** завідувач кафедру інфокомунікаційної інженерії факультету інфокомунікацій Харківського національного університету радіоелектроніки;  
доктор технічних наук, професор І.А. Чуб, начальник кафедри пожежної профілактики в населених пунктах факультету пожежної безпеки Національного університету цивільного захисту України.

**Спеціалізовані** телевізійні системи: курс лекцій / Укладачі А.Б. Фещенко, О.В. Загора, Х.: НУЦЗУ, 2018. – 270 с.

У курсі лекцій розглянуто фізичні основи і принципи побудови телевізійних систем, принципи побудови телевізійних фотоелектричних перетворювачів світло-сигнал, відеопідсилювальний тракт телевізійної системи, особливості радіопередавальних та радіоприймальних пристроїв телевізійних систем, системи кольорового ТБ, основи цифрового ТБ, системи телевізійного віщання, спеціалізовані телевізійні та тепловізійні системи у сфері пожежної безпеки та цивільного захисту.

Рівень викладення матеріалу дозволяє використовувати його у навчальному процесі для курсантів, які навчаються в галузі знань 26 "Цивільна безпека", спеціальність - 263 "Цивільна безпека", спеціалізація - телекомунікаційні системи в управлінні під час роботи на посаді фахівець (провідний фахівець) відділу телекомунікаційних систем, технічного захисту інформації та радіотехнічного контролю, відділу інформаційних технологій, які працюють у сфері пожежної безпеки та цивільного захисту.

## Зміст

<b>Принципи побудови і застосування спеціалізованих телевізійних систем</b> .....	7
<b>Лекція 1. Фізичні основи і принципи побудови телевізійних систем</b> .....	7
Вступ.....	7
1.1 Узагальнена структурна схема телевізійної системи.....	11
1.2 Параметри оптичного і телевізійного зображення.....	14
1.3 Сигнал зображення та його характеристики.....	17
1.3.1 Види розгортки ТВ-зображення.....	17
1.3.2 Формування телевізійних сигналів.....	23
1.3.3 Структура та спектр повного відеосигналу.....	26
Висновки.....	30
<b>Лекція 2. Принципи побудови телевізійних фотоелектричних перетворювачів світло-сигнал</b> .....	31
Вступ.....	31
2.1 Параметри ТВ ФЕП.....	32
2.2 Електронно-променеві ТВ ФЕП.....	33
2.3 ПТТ з фотодіодним покриттям.....	41
2.4 ТВ ФЕП на приладах із зарядовим зв'язком.....	44
2.5 ТВ ФЕП на основі КМОН-технології.....	53
Висновки.....	56
<b>Лекція 3. Відео підсилювальний тракт ТВ-системи</b> .....	58
Вступ.....	58
3.1 Узагальнена функціональна схема відеопідсилювального тракту.....	59
3.2 Види та методи коригування телевізійного зображення.....	62
3.3 Відновлення постійної складової сигналу ТВ-зображення.....	76
Висновки.....	77
<b>Лекція 4. Особливості телевізійних радіопередаючих та радіоприймальних пристроїв ТВ-систем</b> .....	78
Вступ.....	78
4.1 Особливості радіопередаючих пристроїв ТВ-систем.....	79
4.1.1 Вибір частоти несінного коливання.....	79
4.1.2 Способи модуляції.....	80
4.1.3 Спектр ТВ-сигналу, що передається.....	81
4.2 Особливості радіоприймальних пристроїв ТВ-систем.....	82
4.2.1 Частотна характеристика ТВ-приймача.....	82
4.2.2 Структурна схема ТВ-приймача.....	83
4.3 Канали рядкової та кадрової розгортки. Автоматичні регулювання.....	85
4.4 Перетворювачі електричних сигналів в чорно-білі зображення.....	87
4.4.1 Електронний прожектор.....	88

4.4.2 Екран кінескопа.....	90
Висновки.....	94
<b>Лекція 5. Принципи побудови кольорового телебачення.....</b>	<b>95</b>
5.1 Основні поняття і терміни кольорового телебачення.....	95
5.2 Послідовний та одночасний способи передачі кольорового зображення .....	98
5.3 Принципи формування сигналу кольорового телебачення .....	101
5.4 Засоби відтворення кольорового зображення.....	107
5.4.1 Масочний кінескоп з дельта-подібним розташуванням прожекторів.....	107
5.4.2 Масочний кінескоп з компланарним розташуванням прожекторів.....	113
5.4.3 Ріднокристалічні екрани (LCD - Liquid Crystal Display).....	116
5.4.4 Плазмові панелі відтворення зображень.....	121
Висновок .....	122
<b>Лекція 6. Системи кольорового Телебачення .....</b>	<b>123</b>
6.1 Особливості побудови і класифікація систем кольорового ТБ.....	123
6.2 Система кольорового ТБ NTSC .....	126
6.3 Система кольорового ТБ PAL.....	129
6.4 Принципи побудови системи SECAM.....	130
6.4.1 Формування та приймання сигналів у системі SECAM-ІІВ .....	134
Висновки.....	137
<b>Лекція 7. Цифрове телебачення .....</b>	<b>138</b>
Вступ.....	138
7.1 Структурна схема цифрової ТВ-системи.....	140
7.2 Етапи формування цифрового ТВ-сигналу.....	142
7.3 Методи цифрового кодування ТВ-сигналу. Цифрові коди .....	153
7.3.1 Цифрове кодування ТВ-сигналу із передбаченням .....	156
7.3.2 Групове кодування ТВ-сигналу .....	158
7.3.3 Поняття адаптивних методів кодування ТВ-сигналу.....	160
Висновок .....	161
<b>Лекція 8. Стандарти сигналів цифрового телебачення .....</b>	<b>162</b>
8.1 Хронологія розвитку стандартів стиснення сигналів цифрового ТБ.....	162
8.2 Стандарти цифрового кодування колірною повного відеосигналу.....	163
8.3 Формування цифрових потоків.....	170
8.4 Стиснення нерухомих зображень за стандартом JPEG.....	172
8.5 Стандарти стиснення рухомих зображень.....	178
8.5.1 Цифровий звуковий супровід у стандартах MPEG-1 й MPEG-2 .....	183

8.5.2 Особливості деяких існуючих систем звукового супроводу телевізійних передач.....	188
Висновок.....	190
<b>Лекція 9. Системи телевізійного мовлення.....</b>	<b>191</b>
Вступ.....	191
9.1 Структура телевізійного центру.....	193
9.2 Системи кабельного телебачення.....	208
7.2.1 Основні етапи розвитку кабельного телебачення.....	209
7.2.2 Класифікація систем кабельного телебачення.....	210
7.2.3 Структурні схеми й основні елементи мереж КТБ.....	212
7.2.4 Вимоги до систем кабельного телебачення.....	217
7.2.5 Принципи побудови прийомної телевізійної мереж кабельного ТБ.....	218
9.3 Супутникове телевізійне мовлення.....	221
9.3.1 Принципи побудови та функціонування ТВ віщання через ШСЗ.....	221
9.3.2 Системи супутникового ТВ-мовлення.....	226
9.3.3 Приймання програм супутникового телебачення.....	227
9.4 Особливості побудови і функціонування космічного телебачення.....	230
9.4.1 Класифікація систем космічного телебачення.....	230
9.4.2 Особливості побудування систем космічного телебачення.....	231
9.5 Перспективи розвитку систем оповіщення населення про надзвичайні ситуації на основі мовного телебачення.....	236
Висновки.....	242
<b>Лекція 10. Спеціалізовані телевізійні та тепловізійних системи цивільного захисту.....</b>	<b>243</b>
10.1 Класифікація прикладних ТВ систем.....	244
10.1.1 Спеціалізовані телевізійні системи (цільового призначення).....	246
10.1.2 Спеціалізовані телевізійні та тепловізійних системи ЦЗ.....	247
10.2 Телевізійне пошукове обладнання.....	249
10.2.1 Оптико-телевізійна система виявлення потерпілих "ПОШУК".....	249
10.2.2 Прилад "Searchcam 3000" для пошуку потерпілих у завалах.....	250
10.2.3 Система для проведення пошуково-рятувальних робіт "PROEYE 951, 951-S".....	251
10.2.4 Інноваційна Mini Camstick камера-відеореєстратор Lawmate !.....	252

10.2.5 Відео реєстратори "КУРСОР ВІДЕО - 301", "КУРСОР ВІДЕО - 302" .....	253
10.3 Тепловізійне пошукове обладнання.....	256
10.3.1 Тепловізійний бінокль " Альфа--ТБМ-1".....	257
10.3.2 Тепловізійно-телевізійний комплекс "Альфа-ТТК" .....	258
10.3.3 Пошуково-спостережливі тепловізори "Катран-2", "Катран-3" .....	259
10.3.4 Портативна телевізійна система для доглядових, рятувальних і розшукових робіт S-1000 ("Кальмар").....	260
10.3.5 Тепловізійна система EVOLUTION® .....	262
10.3.6 Перспективний комплекс Rossi-megasense.....	269
Висновки .....	270

# ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ І ЗАСТОСУВАННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ТЕЛЕВІЗІЙНИХ СИСТЕМ

## ЛЕКЦІЯ 1. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ І ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТЕЛЕВІЗІЙНИХ СИСТЕМ

### План

#### Вступ

- 1.1 Узагальнена структурна схема телевізійної системи.
- 1.2. Параметри оптичного і телевізійного зображення.
- 1.3. Сигнал зображення та його характеристики
- 1.3.1. Види розгорток телевізійного зображення
- 1.3.2. Формування сигналу телевізійного зображення
- 1.3.3. Структура та спектр повного відеосигналу

#### Висновки

### Література

#### основна

1. Телевидение: Учебник для вузов / В. Гг. Джакония, А. А. Гоголь, Я. В. Друзин и др.; Под ред. В. В. Джаконии. 4-е изд., стереотип. -М.: Горячая линия - Телеком, 2007. - 616 с: ил.
2. Кубата В.Г. Спеціалізовані електронні системи АТЗ: навчальний посібник / В.Г. Кубата, С.В. Лубенец, В.Я. Фролов. – Харків: ХНАДУ, 2011. – 272 с.
3. Основи ТБ: навчальний посібник. Коржов А.М., Роденко С.М., Красношарпа І.В., Максюта Д.В., Садовий К.В., Рибалка Г.В. Х.: ХУПС, 2007.

#### допоміжна

4. ДСТУ 3807-98 ТБ. Терміни і визначення.
5. ДСТУ 3787-98 ТБ мовне. Якість телевізійного зображення. Методи суб'єктивного оцінювання.
6. ДСТУ 3837-99 ТБ мовне. Системи аналогового ТБ звичайної чіткості. Основні параметри та методи вимірювань.

#### Вступ

*Телебачення (ТБ)* є передавання, зберігання та відтворювання на відстані зображень рухомих або нерухомих сцен із звуковим супроводом чи без нього, а також пов'язані з цим галузі науки, техніки й культури [4].

ТБ розвивається у галузях сучасної радіоелектроніки, цифрової техніки і телекомунікацій що займаються передачею та прийомом зображень нерухомих та рухомих предметів, розташованих у просторі, електричними засобами зв'язку в реальному й змінному масштабі часу.



Загальне завдання ТБ полягає в дистанційному відображенні у свідомості людини подій, що відбуваються у світі. Для повноти сприйняття необхідно було б впливати на весь арсенал органів почуттів. Рішення завдання в такій постановці досить складне й економічно недоцільно, тому сучасне ТБ обмежується впливом тільки на зір і слух. Але й у цій якості воно значно розширило людські можливості. Так, ТБ дозволяє бачити предмети, освітлені невидимими променями: рентгенівськими, ультрафіолетовими, інфрачервоними, а також предмети, що опромінюються ультразвуковими хвилями, дозволяє нам у звичайних умовах бачити під землею, під водою, у космосі.

Кінцевою ланкою, приймальним індикатором у телебаченні в переважній більшості випадків служить око. Тому телевізійна система повинна будуватися з урахуванням нашого зорового органу.

Завданням ТБ на сучасному етапі розвитку техніки є одержання на приймальному телевізійному пристрої зображення, що відповідає об'єкту передачі. Це завдання вирішується складним комплексом апаратури перетворення, передачі, кодування, декодування, відображення й інших операцій по обробці візуальної інформації.

В основі ТБ лежать три фізичних процеси:

- перетворення світлової енергії в електричні сигнали;
- передача каналами зв'язку та прийом електричних сигналів;
- перетворення електричних сигналів в оптичне зображення.

Телевізійне зображення формується на екрані приймального пристрою й призначено для спостереження його оком. Одержувачем віщальної телевізійної інформації є глядач (спостерігач), тому параметри й характеристики телевізійної системи повинні вибиратися з умов її узгодження із властивостями й характеристиками зорової системи людини. При розробці телевізійної системи або окремих її вузлів необхідно знати, яким образом характеристики зорової системи впливають на параметри окремих вузлів і телевізійної системи в цілому.

Джерелом інформації для телевізійної системи є навколишній світ. Предмети мають властивість відбивати падаючий на них світловий потік. У переважній більшості випадків – це дифузійне відбиття. Хоча нерідко зустрічається й дзеркальне відбиття, характерне для так званих дзеркальних поверхонь (до яких відносять поліровані й лаковані поверхні, поверхня рідин й такі інші). Здатність кожного предмета або його деталей по-різному відбивати світловий потік або випромінювати (самосвітні предмети) є оптичною властивістю об'єкта, а відбитий (випромінений) кожною деталлю предмета світловий потік є джерелом зорової інформації про предмет, яку сприймає спостерігач.

Зорова інформація про об'єкт визначається світловою енергією, що відбивається (випромінюється) кожною точкою (елементом) об'єкта у бік спостерігача. Інтенсивність і спектральний склад елементарного по-

току характеризують сприймані глядачем яскравість і колір кожної крапки об'єкта, а напрямок потоку – просторове розташування тієї ж точки. Одночасно спостерігач бачить обмежену частину простору, обумовлену просторовим кутом, що називається кутом зору.

В загальному випадку об'єкт передачі характеризується наступними параметрами: яскравістю, кольором й глибинним розташуванням предметів.

Головним завданням ТБ є знаходження способів такого перетворення зображення об'єкта, щоб його можна було передавати методами електрозв'язку. При цьому необхідно домагатися того, щоб зображення, створене приймальним телевізійним пристроєм, як можна більше відповідало об'єкту передачі.

Однією з основних властивостей електричного каналу зв'язку є можливість передавати в кожен момент часу тільки одне значення сигналу. Отже, сигнал повинен бути функцією тільки однієї незалежної змінної – часу.

У телебаченні крім інформації про миттєве значення яскравості ( $L$ ) необхідно точно знати, з якої точки переданої сцени ця інформація отримана, тобто її геометричне місце. Для рішення завдання перетворення трьохвимірної сигналу в одновимірний використовуються два фундаментальних принципи, які лежать в основі ТБ:

- просторова дискретизація;
- розгортка зображення.

Таким чином, у телебаченні використовується *просторова й часова дискретизація*.

*Просторова дискретизація* полягає в розбивці всього поля переданого зображення на кінцеве число дискретних елементів. Теоретично кількість елементів на зображенні може бути нескінченно великою. На практиці у зв'язку з обмеженою розподільною здатністю зору будь-яке зображення може бути представлено певним числом елементів з кінцевими розмірами..

У заданому куті зору існує найменша деталь, яку можуть розрізнити глядачі. Тобто така деталь, усередині якої яскравість незмінна по всій поверхні даної деталі й розміри якої визначаються мінімальним кутом ( $\delta$ ), що називається кутом розрізнення.

Кінцеві значення кута зору й кута розрізнення дозволяють представити плоске зображення як сукупність кінцевого числа елементарних площадок різної яскравості. Телевізійному перетворенню зображень в електричний сигнал передують побудова плоского оптичного зображення й заелементний його аналіз. Одночасна передача сигналів всіх елементів неприйнятна, тому що це зажадає такої кількості ліній зв'язку між передавачем і приймачем, скільки елементів зображення, що виключить можливість її практичного здійснення.

Аналізу зорової інформації (розпізнаванню зорового образу) спостерігачем передуює побудова двовимірного зображення на сітківці ока, яке може бути описане як розподіл освітленості, еквівалентний розподілу елементарних значень у просторовому куті.

Особливості зору, а саме кут зору й кут розрізнення, дозволяють представити плоске зображення як сукупність кінцевого числа елементарних площадок різної яскравості. Перед телевізійним перетворенням зображень в електричний сигнал, створюють плоске оптичне зображення та проводять заелементний його аналіз. Плоске оптичне зображення може бути представлено безліччю інтегральних джерел, інтенсивність кожного з яких може приймати  $N$  різних значень. Число елементарних джерел  $N$  тим більше, чим вище гранично помітна детальність зображення, тобто елементи повинні бути досить малі, а їхнє число на зображенні повинне бути досить велике, щоб око не помічало дискретної структури зображення.

*Елементом зображення – (пікселем)* називається мінімальна деталь зображення, усередині якої яскравість і колір вважаються постійними, тобто усередині елемента нерівномірність яскравості й кольору вже не будуть розрізнятися оком.

*Піксель*, (англ. *pixel, pel* — скорочення від *pictures element*, яке у свою чергу скорочується до *pix element*) — найменший елемент поверхні візуалізації, якому може бути незалежним способом задані колір, інтенсивність і інші характеристики зображення. Піксель являє собою неподільний об'єкт прямокутної або круглої форми. Телевізійне зображення складається з пікселів, розташованих по рядках і стовпцям. Чим більше пікселів на одиницю площі містить зображення, тим більше воно детально.

*Перший основний принцип* телебачення полягає в розбивці зображення на окремі елементи й підготовці до заелементній передачі всього зображення. Одночасна передача сигналів всіх елементів неприйнятна, тому що це вимагає великої кількості ліній зв'язку між передавачем і приймачем, скільки елементів зображення, що виключає можливість практичного здійснення

Проблему каналів зв'язку вирішує *другий основний принцип*, на якому базується ТБ – це послідовна в часі передача по каналу зв'язку інформації про яскравість елементів. Цей принцип називається розгорткою. Можливість послідовної передачі телевізійного зображення по одному каналу зв'язку базується на явищі інерційності зору. Інерційністю зору називається властивість зорового апарата зберігати зорове відчуття протягом деякого часу після припинення його впливу. Інерційність проявляється в тому, що джерело світла при високій частоті мерехтіння здається безупинно випромінюючим світло.

Процес послідовної, почергової передачі елементів зображення називається *розгорткою (скануванням) зображення*. Отже, принцип розгортки, що перетворює зображення в низку послідовних електричних сигналів, вирішує поставлене завдання, тобто одержання суцільного зображення.

Розгортку можна здійснювати, пересуваючи елемент, що розгортає (електронний промінь, отвір сканування й таке інше), по поверхні зображення за певним законом.

Отже, процес розгортки вирішує завдання перетворення зображення в послідовність електричних сигналів. Ця послідовність передачі вибирається залежно від призначення системи.

Закони розгортки ТВ зображення можуть бути обрані будь-якими. Але при цьому необхідно виконати наступні умови:

- закон розгортки на приймальному й передавальному перетворювачах повинен бути однакоим;

- потрібна сувора синхронність і синхронність розгорток на передавальному й приймальному пристроях.

Якщо ці умови не будуть виконуватись, то одержати на прийомному кінці суцільне зображення об'єкта неможливо. У результаті синхронного й синфазного розгорнення розподіл світлих і темних елементів на екрані приймального пристрою буде відповідати їх розподілу на об'єкті, інформація про який передається.

Для сприйняття навколишнього реального світу природа наділила людину п'ятьма почуттями, три з яких (зір, слух, нюх) є дистанційними, а два (дотики й смак) – контактними. Значення стимулів, що доводяться до нашої свідомості різними органами почуттів, далеко не однаково. Фізіологи затверджують, що 80–85 % почуттів людина сприймає через зір. Але як ні чудово влаштоване око людини, ми бачимо малу частину нашого безпосереднього оточення, і тільки те, що випромінює або розсіює падаюче світло, а це, як відомо, займає досить вузький діапазон електромагнітних коливань.

Відомо, що весь спектр електромагнітних коливань умовно ділять на дві частини: хвилі, що лежать нижче 300 ГГц відносять до радіохвиль, а вище – до хвиль оптичного діапазону. Видима частина спектра лежить в області оптичного діапазону й становить лише вузьку ділянку довжин хвиль (380...760 нм). На цій ділянці розташовуються всі видимі кольори: від фіолетового до червоного.

### **1.1 Узагальнена структурна схема телевізійної системи**

Виходячи з викладеного попереду, телевізійна система включає весь комплекс технічних засобів, що забезпечують одержання на приймальному пристрої зорової інформації про переданий об'єкт. Залежно від

призначення системи обсяг і побудова технічних засобів можуть бути різними, але вони характеризуються загальними для всіх систем властивостями та процесами функціонування.

Процес послідовного в часі й просторі перетворювання кольору або яскравості зображення сцени на відеосигнали складає *телевізійний аналіз зображення* [4].

Процес послідовного в часі та просторі перетворювання відеосигналів на колір або яскравість телевізійного зображення називається *синтезом ТВ- зображення; відтворювання зображення* [4].

Узагальнені, характерні для ТВ системи пристрої і їхній взаємозв'язок представлені на структурній схемі рис. 1.1. [1], яка для спрощення первинного ознайомлення відповідає системі *чорно-білого [монохромного] телебачення (ЧБТБ)*, яке забезпечує передавання, зберігання та відтворювання чорно-білих [монохромних] зображень [4].

Схема 1.1 складає *ланку тракту телебачення* - частину тракту телебачення, що має самостійне функціональне призначення, в даному випадку для передачі та відтворювання чорно-білих [монохромних] зображень [4].

*Тракт телебачення* - комплекс технічних засобів для передавання телевізійного зображення від входу телевізійного давача до екрана телевізора включно та для передавання звукового супроводу від входу мікрофона до гучномовця телевізора включно [4].



Рис. 1.1 – Структурна схема телевізійної системи

*Аналізуючий пристрій (телевізійна камера; телекамера)* складає телевізійний давач, призначений для телевізійного аналізу переданої сцени, за допомогою оптоелектронного перетворювання [4].

*Телевізійний давач* - пристрій, що виробляє повний відеосигнал чи повний колірний відеосигнал, або сигнали основних кольорів [4].

Об'єкти перетворює світловий потік, створюючи оптичне зображення сцени на світлочутливій поверхні оптико-електронного перетво-

рювача (ОЕП), який відноситься до передавального ТБ пристрою. ОЕП перетворює світлову енергію в електричну. За допомогою пристрою розгортки одержують послідовні електричні імпульси..

Для синхронної й синфазної роботи аналізуючого та синтезуючого пристроїв, що забезпечують ідентичність положення координат точок на передавальному та приймальному пристроях, необхідно генерувати й передавати спеціальні сигнали синхронізації. Синхронність досягається при рівності частоти розгортки на аналізуючому й синтезуючому пристроях, а синхронність – при точному початку їхньої роботи. Для виконання цих умов у телебаченні використовується примусова синхронізація. Сигнали синхронізації виробляються в синхрогенераторі (СГ) й являють собою імпульси різної тривалості й частоти. Одні імпульси синхронізації виробляються один раз протягом тривалості рядка, інші – один раз протягом тривалості кадру. Ці імпульси надходять у пристрій розгортки, а також у підсилувач, де підсумовуються з сигналом яскравості й надходять у передавальний пристрій. У ТВ системі пристрої розгортки на аналізуючій й синтезуючій сторонах працюють в автоколивальному режимі. Тому сигнали синхронізації разом із сигналом яскравості передаються на телевізійні приймачі й забезпечують роботу їх пристроїв розгортки синфазно і синхронно із пристроями розгортки передавальної частини. Синхрогенератор виробляє також сигнали гасіння зворотних ходів електронних променів у передавальній і приймальній трубках, що забезпечують запирання передавальної й приймальної трубок у цей час. На вершинах імпульсів гасіння розташовуються синхронізуючі імпульси.

У передавальному пристрої здійснюється модуляція несучого коливання. Повний телевізійний радіосигнал далі надходить у канал зв'язку. Роль каналу зв'язку можуть виконувати радіопередавачі, ретранслятори, кабельна, радіорелейна, супутникова, світловодна та інші лінії зв'язку, що задовольняють вимогам неспотвореної передачі ТВ сигналу. У процесі передачі по каналу зв'язку сигнал може зазнавати різні перетворення, але на виході повинен відновлюватися повний телевізійний сигнал. У приймальному пристрої, за умови передачі ТБ сигналу по радіоканалу, відбувається його посилення на високій і проміжній частотах, а також детектування. Після детектування відеосигнал надходить на підсилувач відеосигналів, де відбувається посилення сигналу до необхідної величини для керування перетворювачем напруга – світло (ПНС). Підсилений сигнал надходить також і на селектор імпульсів синхронізації (СІ). У цьому пристрої здійснюється виділення з відеосигналу імпульсів синхронізації. Ці імпульси керують пристроями розгортки, забезпечуючи синхронність і синхронність руху скануючих елементів аналізуючого й синтезуючого пристроїв.

## 1.2 Параметри оптичного і телевізійного зображення

Як було відмічене раніше, кінцевим споживачем телевізійних зображень (*ТВ – зображень*) є око людини. Тому властивостями ока, його характеристиками і особливостями визначається склад параметрів оцінки ТВ - зображення і телевізійної апаратури.

*Сцена (телебачення)* - одиночний або сукупність множинних об'єктів, рухомих або нерухомих, чорно-білих або кольорових, плоских або об'ємних на довільному фоні, що мають сюжетний зміст або є вимірювальною інформацією [4].

*ТВ – зображення* - розподіл кольору або яскравості зображення сцени, яка передається у вигляді синтезованого на екрані відтворювального пристрою оптичного зображення або масиву значень векторного сигналу зображення [4].

Зображення бувають:

- кольорові;
- чорно-білі [монохромні];
- стереоскопічні;
- тривимірні;
- двовимірні;
- півтонові;
- позитивні;
- негативні

До параметрів ТВ – зображення, які необхідно узгоджувати з особливостями людського зору, відносяться [1, 2, 3, 4]:

а) масштабні:

- формат ТВ – зображення;
- геометрична подібність;
- чіткість;

б) часові:

- частота мерехтіння світлових полів;
- частота зміни кадрів;

в) яскравісні:

- середня яскравість;
- світлота;
- діапазон яскравісного контрасту;
- число розподільних градацій яскравості;

г) колірні:

- колір
- колірність
- колірний тон
- колірний контраст
- насиченість кольору.

Розглянемо питання щодо вибору параметрів ТВ зображення з точки зору їх узгодження із людською зоровою системою.

**Масштабні параметри.** Формат ТВ- зображення - номінальне відношення ширини телевізійного зображення до його номінальної висоти [4]..

Внаслідок того, що кут зору людини в горизонтальній площині більше  $180^\circ$ , а у вертикальній  $\sim 125^\circ$ , то формат ТВ- зображення  $K_\phi$  в кіно і телебаченні прийнятий 4:3 (рис. 1.2). В останній час формат ТВ- зображення  $K_\phi$  змінюють на 16:9.

При фіксованому розмірі зображення відстань від екрану до спостерігача визначається оптимальним кутом зору, який складає  $11^\circ \ll 1/5$  рад. (рис. 1.3), тобто  $\text{tg}(\alpha/2) = h/2R$ ;  $\alpha$  - малий. Тоді,  $\text{tg}(\alpha/2) \ll \alpha/2$ . Звідки,  $R = h/\alpha = 5h$ .

Оптимальна відстань спостерігача ТВ зображення дорівнює 5 висотам екрану.

Геометрична подібність порушується внаслідок нелінійності розгортки.

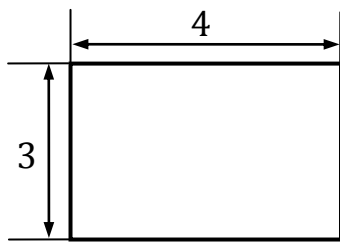


Рис. 1.2 – Формат ТВ- зображення 4:3

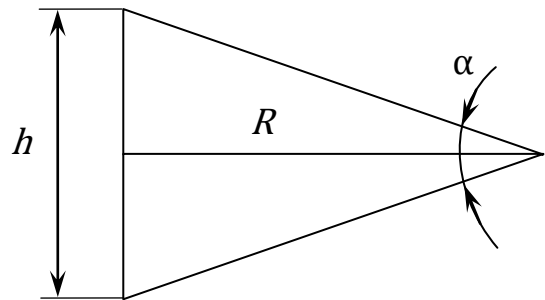


Рис. 1.3 – Оптимальний кут зору

**Чіткість** - суб'єктивна оцінка якості відтворення та розрізнення дрібних деталей ТВ- зображення [4].

**Яскравісна чіткість** - чіткість яскравісного складника ТВ- зображення [4].

**Різкість** - характеристика телевізійного зображення, що виражає якість передавання гранично різких меж великих деталей зображення [4].

Чіткість (яскравісна чіткість, різкість, розрізнювальна здатність) визначається виходячи з розподільної здатності ока (котра різна у горизонтальній та вертикальній площині), тобто кількістю мінімальних елементів, що укладаються по висоті зображення.

При лінійній рядковій розгортці ця кількість визначає число рядків.

Встановлено, що розподільна здатність ока дорівнює  $\beta = 1'$  (одній хвилині). Тоді кількість розподільних рядків у куті оптимального зору

$$Z = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{11^\circ}{1'} = \frac{660'}{1'} = 660 \text{ рядків} \quad (1.1)$$



На оптимальній відстані до екрану чіткість буде на рівні розподільної здатності ока (в СНД – 625 рядків, США – 525).

**Часові параметри.** Частота мерехтінь та частота зміни кадрів визначається інерційністю зору. Критична частота мерехтінь залежить від яскравості і визначається формулою

$$f_{кр} = 9,6 \lg(Y) + 26,8 \text{ (Гц)}, \quad (1.2)$$

де  $Y$  – яскравість, яка вимірюється в нітах ( $\text{кд/м}^2$ ).

Середня яскравість екрану  $Y \sim 80 \dots 100$  ніт, тоді при  $Y = 100$  ніт  $f_{кр} = 46$  Гц.

При  $f > f_{кр}$  око не помічає мерехтінь. Частота зміни світлових полів обрана в СНД – 50 Гц, в США – 60 Гц. Частота зміни кадрів, сприйнята для передачі плавних рухів – 16...20 Гц. Частота зміни кадрів в СНД дорівнює 25 Гц, в США – 30 Гц.

**Яскравісні параметри.**

*Яскравість ТВ- зображення* - сила світла оптичного випромінювання, що припадає на одиницю площі екрану відтворювального пристрою [4]..

Середня яскравість зображення дорівнює 100  $\text{кд/м}^2$ .

*Світлота ТВ- зображення* - суб'єктивна міра яскравості зображення [4]..

*Діапазон яскравісного контрасту ТВ- зображення* - відношення яскравостей найсвітлішої та найтемнішої ділянок зображення [4]..

Яскравісний контраст ТВ- зображення визначається числом градацій яскравості, які відтворюються на екрані. Ця чіткість залежить від діапазону зміни яскравості екрану

$$K = \frac{Y_{\max}}{Y_{\min}} \quad (1.3)$$

і контрастної чутливості ока, яка визначається прирощенням яскравості  $\Delta Y$

$$K_1 = \frac{\Delta Y}{Y} \quad (1.4)$$

З достатньою мірою точності число розподільних градацій яскравості  $m$  може бути визначено за формулою

$$m = \frac{1}{K_1} \ln(K) \quad (1.5)$$

Чим більш високе значення  $m$ , тим краще. Виходячи з можливості цифрового перетворення відеосигналу, якість зображення оцінюють за допомогою таких значень  $m$ :

$m = 8...16$  – задовільно;

$m = 32...64$  – добре;

$m = 128$  – відмінно;

$m = 256$  – особливо високоякісно.

Яскравісний контраст ТВ- зображення можна оцінити за допомогою тестової випробувальної таблиці (ТВТ).

**Колірні параметри.**

*Колір ТВ- зображення* - характеристика зображення, пов'язана з його спектральним хроматичним складом [4].

*Колірність ТВ- зображення* - параметр кольору, що об'єднує колірний тон і насиченість кольору [4].

Колірність визначається спектральним складом світла, що випромінюється об'єктом і характеризує відмінність даного кольору від інших.

*Колірний тон ТВ- зображення* - ознака кольору, яка дає змогу віднести його до того чи іншого спектрального чи пурпурового кольору [4].

*Колірний контраст ТВ- зображення* - міра відмінності між кольорами [4].

*Насиченість кольору ТВ- зображення* - ступінь відмінності кольору від опорного білого [4].

### 1.3 Сигнал зображення та його характеристики

#### 1.3.1 Види розгортки ТВ-зображення

Усі сучасні телевізійні системи будуються за принципом послідовної передачі елементів зображення.

*Телевізійна розгортка зображення* - переміщення розгортувального елемента в процесі аналізу чи синтезу зображення за певним періодичним законом. [4].

*Елемент (зображення); піксел* - найменша частина зображення, що утворюється під час телевізійного аналізу чи синтезу зображення або під час цифрового оброблення. Висота елемента зазвичай дорівнює кроку рядків; у разі аналогового оброблення за ширину елемента умовно беруть півперіод просторової частоти, ідо відповідає верхній граничній частоті відеосигналу [4].

*Розгортувальний елемент* - елемент, апертура якого визначає фільтрацію зображення під час телевізійного аналізу (синтезу) [4].

Як було визначено, процес передачі зображення по елементах називається розгорткою, а порядок передачі окремих елементів – способом (законом) розгортки.

Геометрична форма і розміри розгортуючого елемента у площині екрана називається його апертурою. Сукупність траєкторій апертури розгортуючого елемента на екрані утворює растр.

*Телевізійний растр* - рисунок, створюваний об'єктивним електронним чи світловим розгортувальним елементом на поверхні екрану або мішені електронно-променевого приладу [4].

*Телевізійний рядок* - фрагмент растра, зображення, відеосигналу або інтервал часу, що відповідають одному циклу переміщення розгортувального елемента, який містить прямий хід від одного вертикального краю растра (зазвичай лівого) до іншого вертикального краю та зворотний хід [4].

*Рядкова розгортка* - переміщення розгортувального елемента по полю зображення в напрямку рядка [4].

*Поле (ТБ)* - фрагменти растра, зображення, відеосигналу або інтервал часу, що відповідають одному циклу переміщення розгортувального елемента, який містить прямий хід від одного горизонтального краю растра (зазвичай верхнього) до іншого горизонтального краю та зворотний хід [4].

*Кадр (ТБ)* - зображення, фрагмент відеосигналу або інтервал часу, що відповідають одноразовому обігу растра розгортувальним елементом, який починається і закінчується в тій самій точці [4].

*Польова [кадрова] розгортка* - розгортка у вертикальному напрямку з частотою полів [кадрів — у разі рядкової розгортки] [4].

Види розгортки можна поділити на детерміновані та недетерміновані. Детермінованими називаються розгортки, при яких траєкторія руху розгортуючого елемента чітко визначена і наперед задана. Детерміновані розгортки розрізняються за способом побудови растра та поділяються на лінійні та нелінійні.

До лінійних відносяться розгортки:

- однорядкові;
- однокадрові рядкові;
- багатокандрові рядкові;
- багатокандрові черзрядкові.

Лінійні рядкові розгортки називають також прогресивними.

До нелінійних (спеціальних) розгорток відносяться:

- спіральні;
- синусоїдальні.

*Рядкова розгортка; прогресивна розгортка* - розгортка, під час якої всі рядки телевізійного растра утворюються послідовно за один період кадрової розгортки [4].

При прогресивній розгортці (рис. 1.4.) усі рядки прокреслюються послідовно один за одним. Повне число рядків укладається за час одного руху який розгортається елемента за кадром.

*Зворотний хід* - переміщення розгортувального елемента з кінця поточного рядка до початку наступного рядка чи поля [4].

*Гасіння (ТБ)* - примусове періодичне встановлювання певної (зазвичай нульової) інтенсивності світлового чи електронного випромінювання або рівня відео- сигналів протягом нормованих інтервалів часу (зазвичай відповідних зворотним ходам розгортки) [4].

*Рядковий [кадровий, польовий] інтервал гасіння* - інтервал часу, протягом якого в телевізійних сигналах передається рядковий [кадровий, польовий] імпульс гасіння [4].

*Активна частина рядка [поля, кадру]* - частина рядка [поля, кадру], що містить інформацію про зображення та обмежена суміжними рядковими [польовими, в разі порядкового розгортання — кадровими] інтервалами гасіння [4].

Для усунення можливого повторювання зображення під час зворотного ходу по рядках і кадру промені передаючої та приймальної трубок вимикаються.

Для усунення нелінійних явищ на краях розгортки електронні промені вимикаються спеціальними імпульсами гасіння раніше кінця і вмикаються пізніше початку кожного рядка на час 16 % відносно  $T_p$ , а також по кадру – 7,5% відносно  $T_k$ .

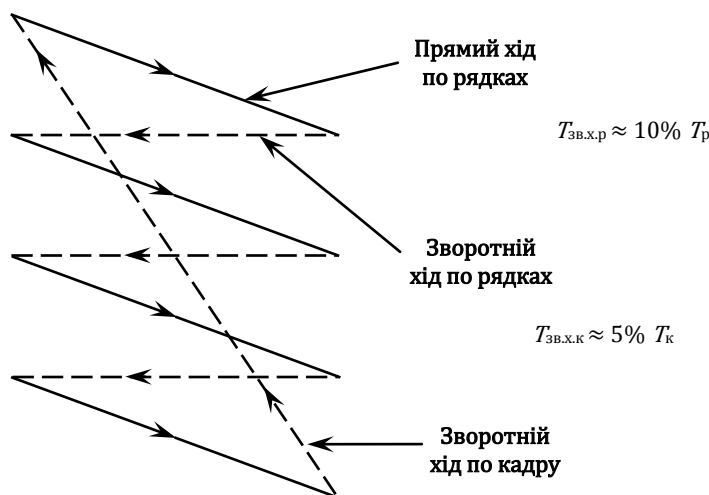


Рис. 1.4 – Прогресивна розгортка

Таким чином, розгортаючий електронний промінь рухається по кадру у горизонтальному і вертикальному напрямках одночасно з різними, але постійними швидкостями за законом релаксаційних коливань пилкоподібної форми.

*Період рядків [полів, кадрів]* - тривалість розгортання одного рядка [поля, кадру] містить у собі тривалість прямого та зворотного ходу розгортувального елемента [4].

*Частота рядків [полів, кадрів]* - величина, обернена до періоду рядкової [польової, кадрової] розгортки [4].

Частоти рядкової  $F_p$  та кадрової  $F_k$  розгорток дорівнюють числу релаксаційних коливань за секунду, яке здійснює електронний промінь у горизонтальному та вертикальному напрямках відповідно.

Для отримання телевізійного растра з номінальним числом рядків співвідношення між частотою по рядках і кадрах повинно бути  $F_p = n \cdot F_k$ , де  $n$  - номінальне число рядків розкладення.

В Україні стандарт передбачає  $n = 625$  і  $F_k = 50$  Гц. Тоді,  $F_p = 625 \cdot 50 = 31250$  Гц. Перевагою прогресивної розгортки є простота синхронізації. До недоліків же слід віднести необхідність широкосмугового каналу зв'язку.

*Кратність розгортки; коефіцієнт черезрядковості* - параметр, що виражає кількість полів у кадрі [4]. У разі рядкової розгортки цей параметр дорівнює одиниці, а поле збігається з кадром.

*Черезрядкова розгортка* - розгортка з поділом кадру на кілька полів, за якої рядки одного поля розташовуються між рядками іншого поля [4]. Зазвичай використовується поділ на два поля — парне й непарне.

При черезрядковій багатокadroвій розгортці кадр зображення розгортається у два прийоми: спочатку усі непарні рядки, які складають перший півкадр, а потім усі парні рядки - другий півкадр.

Дві близько розташовані лінії, які спалахують по черзі, будуть здаватись такими, що безперервно світяться, якщо сумарна частота мерехтіння (мигтіння) вища за критичну  $f_{кр}$ . Це застосовується у черезрядковій розгортці (рис. 1.5), яка дозволяє знизити частоту кадрів у порівнянні з прогресивною у 2 рази.

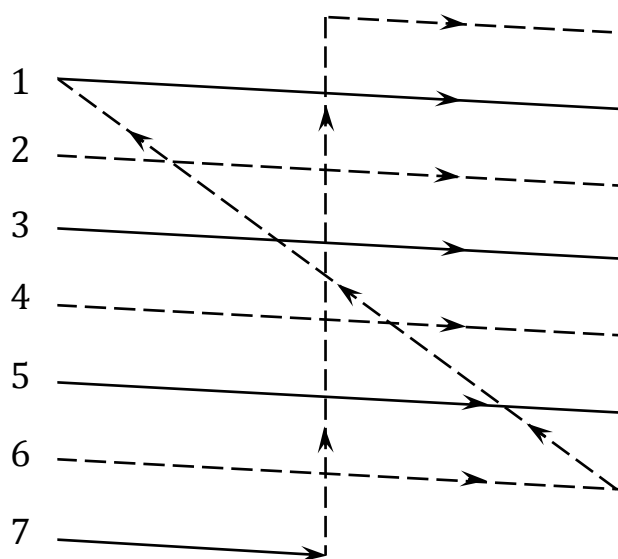


Рис. 1.5 – Черезрядкова багатокadroва розгортка

Частота ж рядкової розгортки дорівнює  $F_p = 15625$  Гц. Тобто перевагою є те, що у 2 рази звузилась потрібна смуга каналу зв'язку. Завдяки цьому застосовується усіма країнами світу для телемовлення і у високоякісному спеціальному телебаченні. До недоліків слід віднести складність синхронізації та необхідність підвищеної стабільності частоти кадрової синхронізації.

З нелінійних розгорток частіше за все застосовують спіральну (рис. 1.6) і синусоїдальну (рис. 1.7).

Недетерміновані розгортки застосовують, головним чином, у телевізійній автоматичній системі. У системах з недетермінованою розгорткою, як правило, передбачаються режими пошуку і стеження. У режимі пошуку розгортуюча апертура рухається за заданою траєкторією і при попаданні на зображення об'єкта здійснюється перехід до режиму слідування.

Основною перевагою недетермінованих розгорток є скорочення загального об'єму інформації шляхом виділення її суттєвої частини.

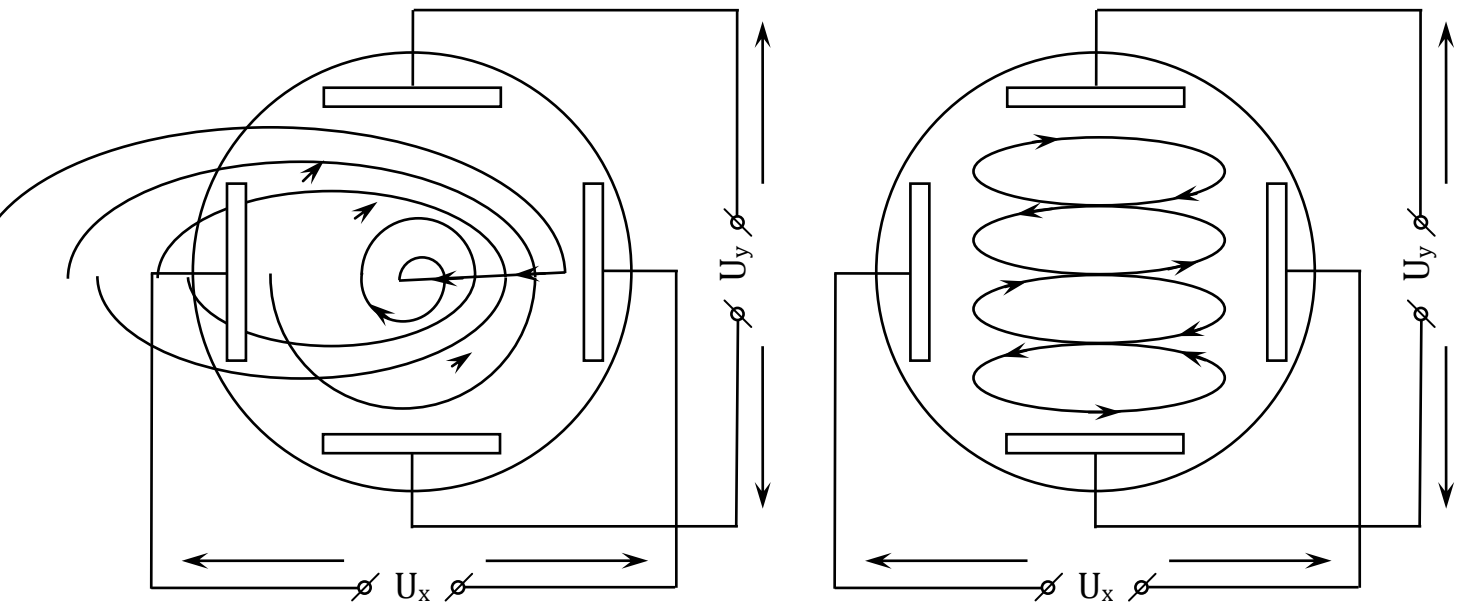


Рис. 1.6 – Спіральна розгортка

Рис. 1.7. Синусоїдальна розгортка

*Формування сигналів синхронізації.* Усі види імпульсів, які є у повному телевізійному сигналі, формуються спеціальним пристроєм – синхрогенератором, який входить до комплексу апаратури передаючої частини телевізійної системи.

*Телевізійна синхронізація* - встановлена та підтримувана синхронність й синхронність розгортки на передавальній і приймальній сторонах [4].

*Ведена синхронізація* - телевізійна синхронізація, що забезпечується підстроюванням частоти й фази сигналів веденого синхронізатора до

частоти й фази провідного сигналу синхронізації чи повного відеосигналу [4].

*Централізована синхронізація* - телевізійна синхронізація кількох джерел телевізійного сигналу, що забезпечується підстроюванням частоти й фази сигналів цих джерел до частоти й фази опорного сигналу, який виробляється одним (центральним) джерелом [4].

*Автономна синхронізація* - телевізійна синхронізація, за якої відсутня зовнішня дія на джерело телевізійного сигналу [4].

До складу синхрогенератора входять три вузли:

- задаючий генератор та схема поділу частоти імпульсів;
- формуюча схема;
- підсилювально – розподільний пристрій.

Задаючий пристрій синхрогенератора при прогресивній розгортці забезпечує жорсткий зв'язок між частотою рядків і частотою кадрів. Для отримання вихідних імпульсів з частотою кадрів використовується чотирьох каскадний подільник з загальним коефіцієнтом поділу  $z = 625$ .

При черезрядковій розгортці кожний кадр зображення складається з двох полів. Частота, на якій працює кадрова розгортка, є вдвоє більшою, ніж частота кадрів ( $F_n = 2F_k$ , де  $F_k$  – число кадрів за секунду). Для того, щоб зв'язати частоту рядків  $F_r$  і частоту полів  $F_n$ , необхідно її поділити на число рядків в одному полі (тобто на 312,5), а для цього потрібний дрібний подільник. Щоб не ускладнювати схему, у синхрогенераторі використовується подільник з коефіцієнтом поділу, що являє ціле число ( $z = 625$ ), а у якості опорної (задаючої) частоти застосовується подвійна рядкова частота  $2F_r = 31250$  Гц.

Спрощена структурна схема задаючої частини синхрогенератора представлена на рис. 1.6. Задаючий генератор (ЗГ), який працює у режимі самозбудження (звичайно несиметричний мультивібратор), виробляє імпульси з подвійною рядковою частотою  $2F_r = 31250$  Гц. На цій же частоті працює також кварцовий генератор.

Задаючий пристрій сучасного синхрогенератора може працювати у трьох режимах (перемикач П на рис. 1.8).

У першому режимі здійснюється «прив'язка» частоти і фази кадрових імпульсів до частоти і фази мережі живлення. Така прив'язка забезпечує нерухомість завад від фону змінного струму на екранах телевізорів, які живляться від тієї ж мережі. З цією метою напруга кадрових імпульсів і напруга мережі подаються на фазовий детектор (ФД). На виході детектора створюється управляюча напруга, величина та знак якої залежить від розбіжності фаз сигналів, які порівнюється. Отримана управляюча напруга подається на задаючий генератор, тобто здійснюється фазове автопідстроювання частоти.

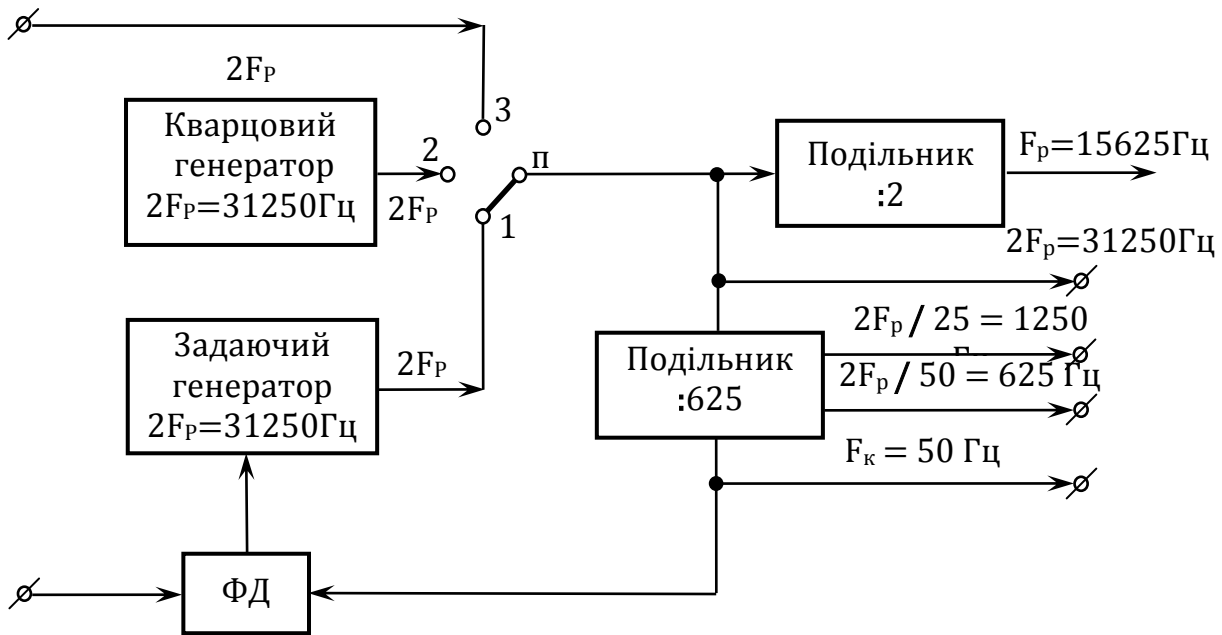


Рис. 1.8 – Структурна схема задаючої частини синхροгенератора

У другому режимі замість малостабільного задаючого генератора підключається кварцовий генератор, що забезпечує високу стабільність частоти синхроімпульсів. У третьому режимі здійснюється робота від імпульсів іншого (ведучого) синхροгенератора.

Спочатку відбувається формування допоміжних імпульсів, що надходять з частотою полів (кадрів)  $F_k$  та призначених для стробіювання ділянок передніх і задніх урівнюючих імпульсів (два строби тривалістю  $2,5 \cdot T_p$ , де  $T_p = 64$  мкс). Пауза між стробами  $2,5 \cdot T_p$  також має тривалість  $2,5 \cdot T_p$  і призначена для формування кадрового імпульсу синхронізації з врізками. Крім того, формується строб  $7,5 \cdot T_p$ , що охоплює весь інтервал урівнюючих і кадрового імпульсів в стандартному синхросигналі.

Формування стандартного синхросигналу (СС) здійснюється в схемі формування.

### 1.3.2 Формування телевізійних сигналів

*Телевізійний сигнал; ТВ- сигнал* - сигнал, що несе інформацію про зображення та, можливо, звуковий супровід і додаткові дані [4].

Бувають:

- аналогові ТВ- сигнали;
- цифрові ТВ-сигнали.

*ТВ- відеосигнал* - сигнал, що несе інформацію про ТВ-зображення [4].

Бувають:

- аналогові ТВ- відеосигнали;
- цифрові ТВ- відеосигнали



*Сигнал яскравості* - ТВ- відеосигнал, що несе інформацію про яскравість зображення [4].

*Повний сигнал яскравості* - сигнал, що складається з сигналу яскравості та сигналу синхронізації [4].

*Повний відеосигнал* - ТВ- відеосигнал, що містить сигнал синхронізації [4].

*Сигнал гасіння*-сигнал, що складається з гасівних імпульсів рядків та полів [4].

*Гасівні імпульси рядків [полів]* - імпульси рядкової [польової] частоти, призначені для утворення сталого рівня у відеосигналі під час зворотного ходу рядкової [польової] розгортки та для гасіння розгортувального елемента під час зворотного ходу [4].

Величина ТВ- відеосигналу, який одержується на виході ФЕП (світло-сигнал), є функцією часу й пропорційна яскравості переданих елементів зображення. На рис 1.9 наведений найпростіший приклад перетворення яскравості переданого зображення  $Y$  в електричний сигнал (відеосигнал)  $U_c$  для об'єкта, що містить вертикальні чорно-білі смуги (у лівій частині рядка), і для градаційного клину (праворуч).

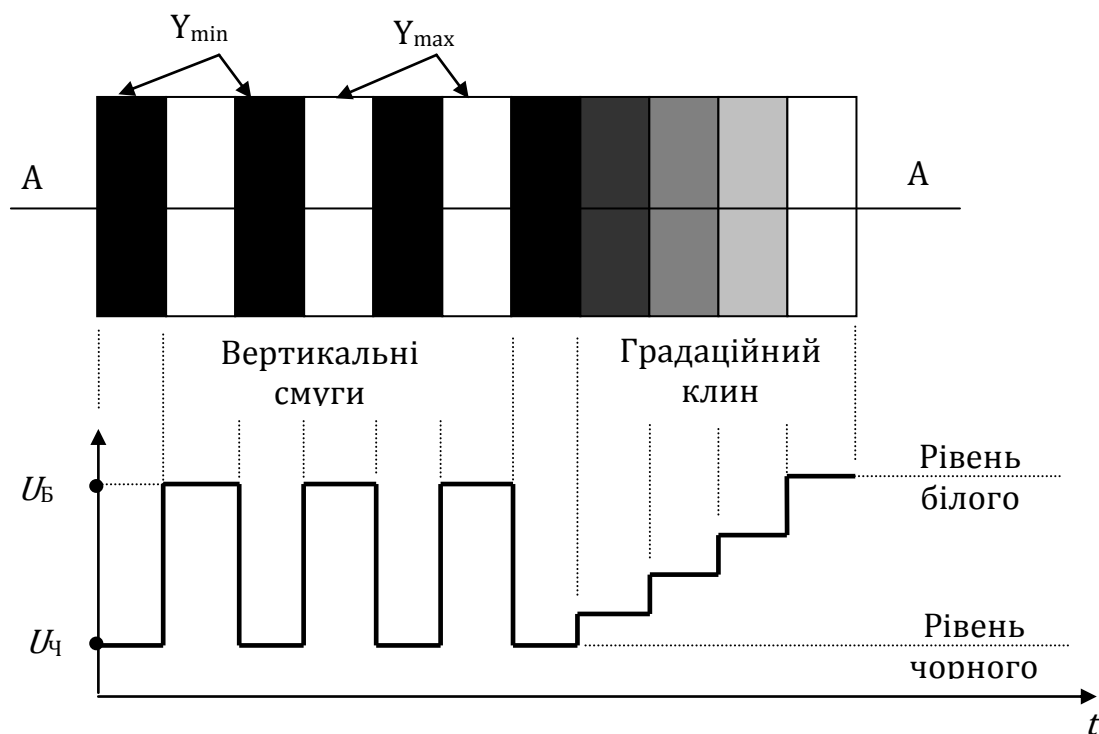


Рис. 1.9 – Процес утворення відеосигналу:

а – передане зображення, б – сигнал при розгорненні рядка AA

Відеосигнал  $U_c(t) = \varphi(Y)$ , як видно з рисунка, точно повторює значення яскравості кожної точки зображення на рядку, що сканується. Зміни яскравості від чорного ( $Y_{\min}$ ) до білого ( $Y_{\max}$ ) відповідає зміна відеосигналу в діапазоні  $U_{\text{ч}} \dots U_{\text{б}}$ . При цьому передбачається, що у ТВ тракті відсу-

тні нелінійні перекручування ТВ сигналу, а апертура розгортаючого елемента мізерно мала. Слід зазначити, що тривалість імпульсів сигналу яскравості обернено пропорційна швидкості передачі елементів, тобто швидкості розгортки зображення. Структура сполученого сигналу (повного сигналу яскравості) для довільно обраного об'єкта наведена на рис. 1.10 а, а за період кадру (кадрова осцилограма) – на рис 1.10 б. Видно, що відеоінформація передається тільки під час активної частини рядка й кадру, а в інтервалах гасіння (ГІ) відеосигнал придушується.

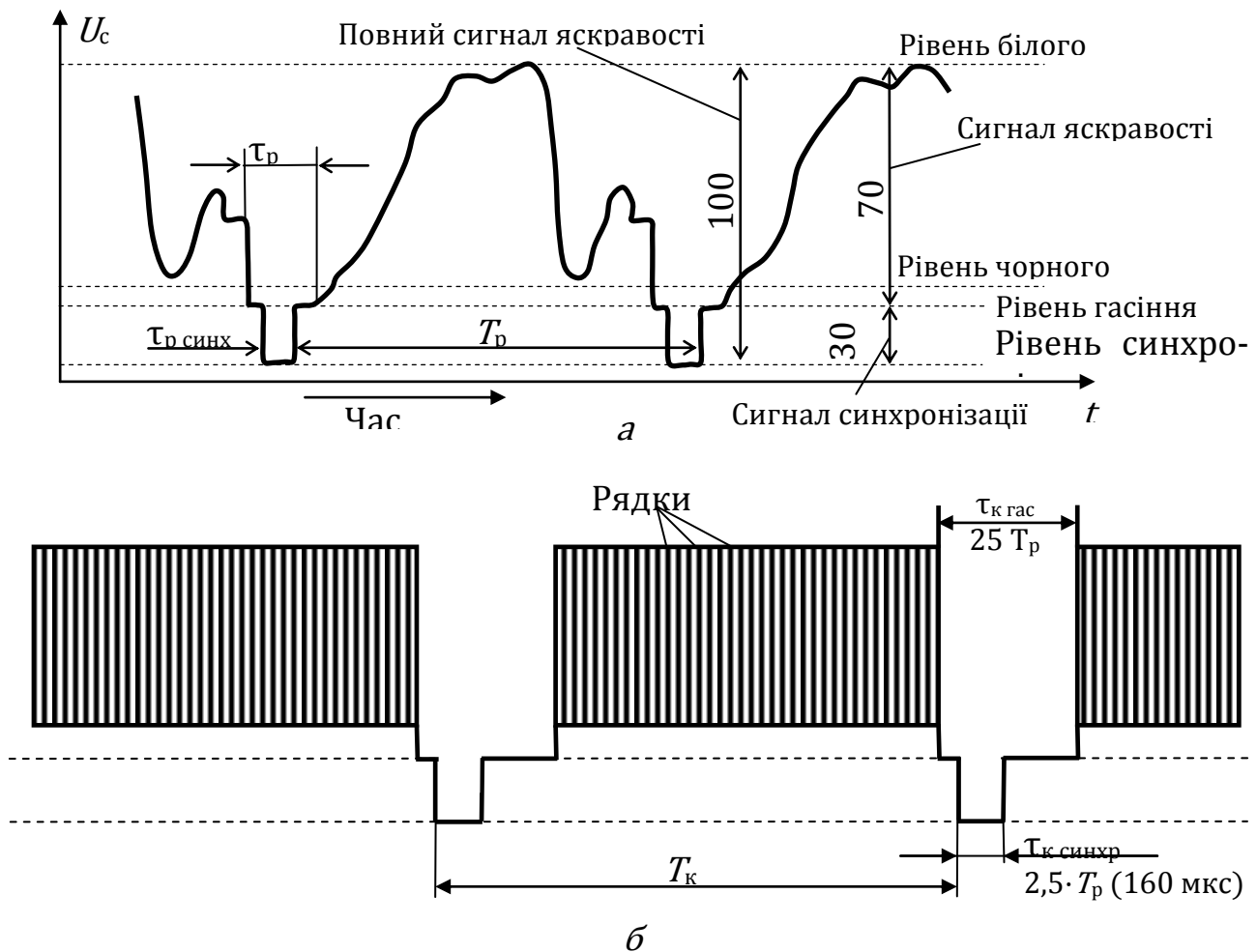


Рис. 1.10 – Форма відеосигналу за періоди рядка (а) і кадру (б)

У сигналі розрізняють номінальні рівні:

- *рівень білого* - рівень сигналу яскравості під час передавання нормованого білого в зображенні максимальної яскравості, що відповідає передачі нормованого білого в об'єкті;
- *рівень чорного* - мінімальний рівень сигналу яскравості під час передавання чорного в зображенні, що відповідає найбільш темним елементам зображення;

- *рівень гасіння* - рівень відеосигналу під час передавання плоскої частини гасівних імпульсів, розташований нижче на (0...7)%
- *захисний інтервал* - різниця між рівнем гасіння та рівнем чорного.
- *область «чорніше чорного»* - область значень ТВ- сигналу нижче рівня чорного, призначена для запирання ТВ перетворювачів на час зворотного ходу розгортаючих елементів;
- *рівень синхроімпульсів*, які розташовані на площадках теж у діапазоні «чорніше чорного».

Тривалість рядкового синхронізуючого імпульсу  $\tau_{рсинх} = 4,7$  мкс, кадрового  $\tau_{ксинх} = 160$  мкс  $= 2,5 \cdot T_p$ , де  $T_p$  - період рядка. Інші часові параметри наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Параметри розгортки

Параметр	$f$ , Гц	$T$ , мс	$T_1$ , мс	$T_2$ , мс	$T_{акт}$ , мс	$T_{гі}$ , мс	$\frac{T_{гі}}{T}$
Рядкова розгортка	15625	0,064	0,057	0,007	0,052	0,012	$\alpha = 0,18$
Кадрова розгортка	50	20	19	1	18,4	1,6	$\beta = 0,08$

Якщо прийняти розмах повного сигналу яскравості (відеосигнал + синхросигнал) за 100%, то корисна відеоінформація – від рівня гасячих імпульсів до рівня білого – займає 70% його амплітудного діапазону, а сигнал синхронізації приймача – 30%.

Аналізуючи форму відеосигналу, можна зробити наступні висновки:

1. Відеосигнал не є гармонійним коливанням, а має імпульсний характер: у ньому можуть бути присутнім різкі переходи між рівнями (фронти) і плоскі (однорівневі) частини імпульсів.

2. Вихідний відеосигнал по своїй природі уніполярний і містить постійну складову.

3 Відеосигнал можна уявити як періодичну функцію з частотами повторення  $f_p = 1/T_p$  та  $f_k = 1/T_k$ .

### 1.3.3 Структура та спектр повного відеосигналу

*Структура повного відеосигналу.* Сукупність сигналу яскравості та замішаних в нього синхронізуючих і гасівних імпульсів називається повним відеосигналом (ПВС). При розгортці ТВ зображення відеосигнал є функцією часу, причому внаслідок рядкової і покадрової розгортки відеосигнал формується дискретними відрізками. Початок рядків і кадрів задається спеціальними синхронізуючими імпульсами.

Якщо світлим елементам зображення відповідає низький рівень сигналу на навантаженні, а темним – високий, то такий сигнал прийнято називати негативним, якщо ж світлим елементам відповідає високий рівень сигналу, а темним – низький, то такий сигнал називається позитивним.

В телемовленні прийнятим є негативний сигнал. Рівень, на якому передаються сигнали від найбільш яскравих елементів зображення, називається рівнем білого. Рівень, на якому передаються сигнали від найбільш темних елементів зображення, називається рівнем чорного.

Сигнали від елементів зображення, які мають середню яскравість між чорним і білим, передаються на проміжних рівнях. Під час зворотних ходів по рядках і кадрах сигнал зображення не передається (вимикається) і ці проміжки використовуються для передачі рядкових і кадрових синхроімпульсів.

Для полегшення відокремлення в приймачі синхроімпульсів від сигналів зображення вони передаються на рівні чорніше чорного. У відповідності до держстандарту на телемовлення (ДСТУ 3807-98) рівень вершин синхроімпульсів має відповідати 100% величині телевізійного сигналу, рівень чорного – 75%, рівень білого – (12,5-15)%. [4].

Зобразимо ПВС для випадку прогресивної розгортки (рис. 1.11).

Рядкові імпульси синхронізації необхідно передавати також і під час дії кадрових імпульсів гасіння і синхронізації. Щоб не збільшувати повний розмах телевізійного сигналу, рядкові синхроімпульси, під час передачі кадрового синхроімпульсу, розташовуються у середині нього у вигляді так званих урізок. Задній фронт імпульсу урізки використовується для синхронізації генератора рядкової розгортки.

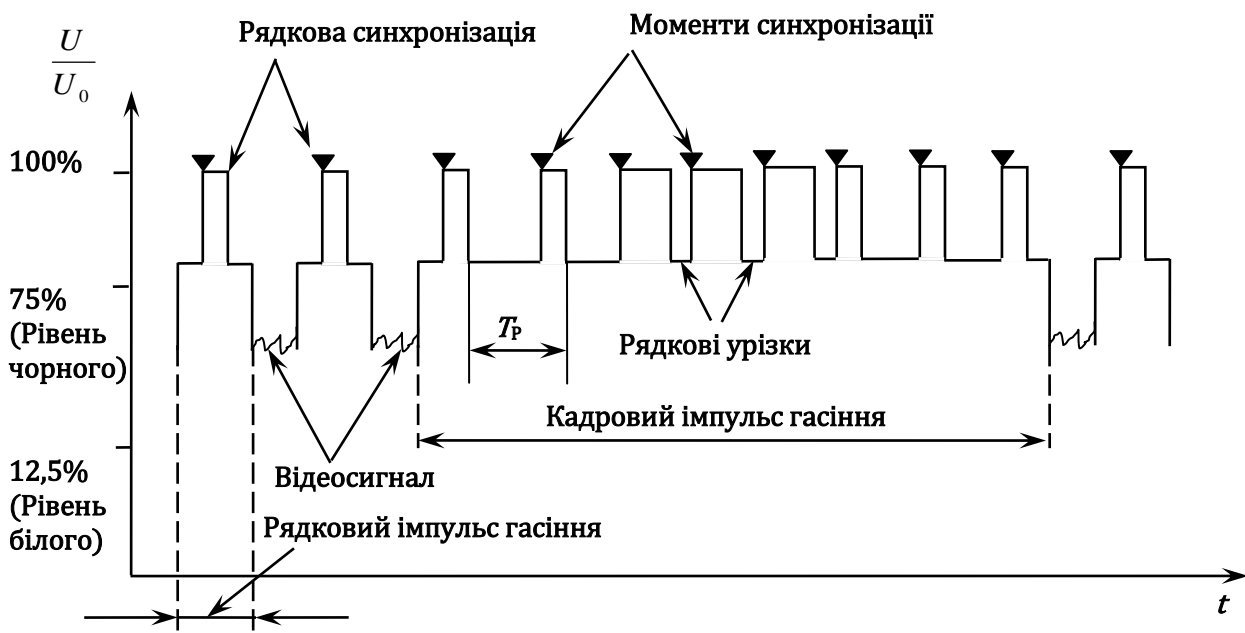


Рис. 1.11 – ПВС для випадку прогресивної розгортки

При черезрядковій розгортці напівкадрові синхроімпульси розташовуються неоднаково по відношенню до останнього рядкового синхроімпульсу. У непарному напівкадрі між останнім рядковим і початком напівкадрового імпульсу синхронізації інтервал часу дорівнює 1/2 тривалості періоду рядка. У парному напівкадрі цей інтервал дорівнює тривалості цілого рядка.

Така різниця призводить до порушення нормальної синхронізації генератора кадрової розгортки (може виникнути "злипання" рядків полів). До аналогічного ефекту призводить і наявність рядкових "урізків" в кадровому синхроімпульсі.

Щоб запобігти вказаного ефекту до і після кадрових синхроімпульсів вводять по декілька імпульсів, що надходять з частотою  $2f_p$ , які називають вирівнюючими. Ці імпульси не чинять впливу на генератор рядкової розгортки, який в цьому випадку працює в режимі поділу частоти на 2. Тривалість рядкових та кадрових імпульсів синхронізації і гасіння така:  $t_{\text{ряд.гас}} = 12$  мкс;  $t_{\text{ряд.синхр}} = 4,7$  мкс;  $t_{\text{вирів}} = 2,35$  мкс;  $t_{\text{вріз}} = 4,7$  мкс;  $t_{\text{кадр.синхр}} = 160$  мкс;  $t_{\text{кадр.гас}} = 1612$  мкс.

*Спектр ПВС.* Різноманіття телевізійних сюжетів і умов функціонування телевізійних систем обумовлюють значну мінливість спектра сигналів. Однак структура спектра телевізійних сигналів, яка визначається характером розгортки простору, що спостерігається, залишається незмінною.

Розглянемо спектр сигналу в багатокадровій телевізійній системі. Якщо з достатньою мірою точності припустити, що телевізійною системою здійснюється багатокадрова передача нерухомого зображення, то можна вважати, що **телевізійний сигнал являє собою часову функцію з періодичністю рядкової  $T_p$  та кадрової  $T_k$  розгорток, тобто**

$$U(t) = U\left(\frac{1}{T_p}; \frac{1}{T_k}\right) \quad (1.6)$$

Така періодична функція може бути представлена у вигляді подвійного ряду Фур'є з періодами  $T_p$ ,  $T_k$ :

$$\begin{aligned} u(t) &= \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} u_{lm} \cos\left(\frac{2\pi lt}{T_p} - \varphi_l\right) \cos\left(\frac{2\pi mt}{T_k} - \varphi_m\right) = \\ &= \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{u_{lm}}{2} \left\{ \cos\left[2\pi\left(lf_p + mf_k\right)t - (\varphi_l + \varphi_m)\right] + \cos\left[2\pi\left(lf_p - mf_k\right)t - (\varphi_l - \varphi_m)\right] \right\}, \end{aligned} \quad (1.7)$$

де  $f_p = 1/T_p$ ;  $f_k = 1/T_k$ .

З виразу (1.7) виходить, що частотний спектр сигналу дискретний і містить спектральні лінії з частотами  $f_p \pm mf_k$ . Тут  $l, m$  – цілі числа, що визначають номери гармонік;  $u_{lm}$  – амплітуди спектральних складових;  $\varphi_l, \varphi_m$  – фази спектральних складових. Спектр телевізійного сигналу представлений на рис. 1.12..

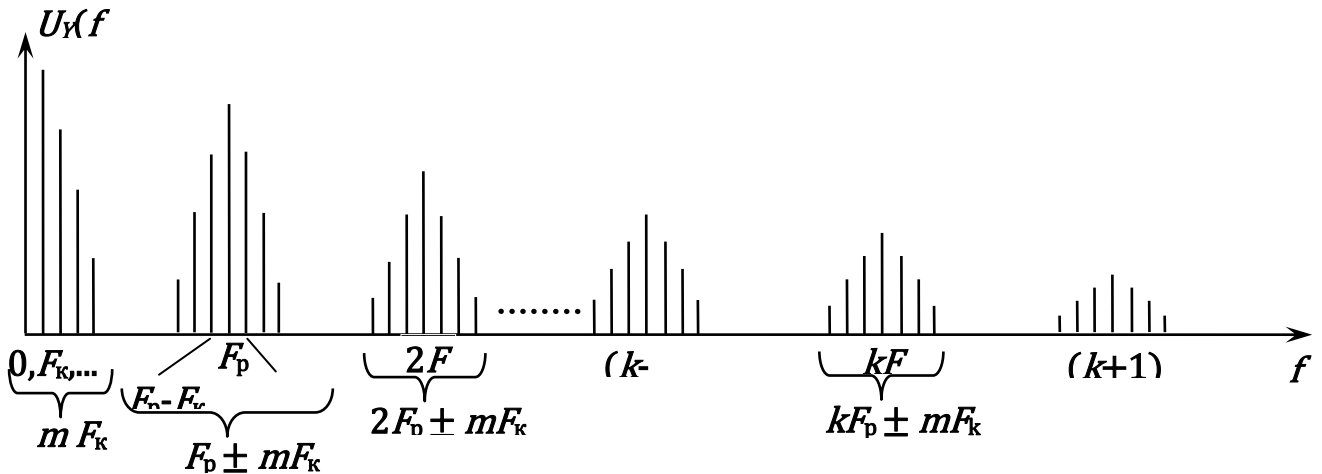


Рис. 1.12 – Спектр ПВС

Через те, що в телебаченні передаються рухомі зображення, вважати сигнал періодичним точно не можна.

Зміна сюжету призведе до розливання дискретних ліній спектра, однак енергія сигналу буде концентруватися навколо спектральних складових та їх гармонік.

Спектр ПВС на практиці обмежують верхньою граничною частотою  $f_B$ . Для телевізійного сигналу при багатоканальному передачі  $f_B$  визначається як

$$f_B = \frac{(0,75 \div 0,85) \cdot k \cdot z^2 \cdot n}{2} \quad (1.8)$$

де  $k$  – формат ТВ- зображення (4/3; 16/9);  
 $z$  – число рядків розкладання кадрів;  
 $n$  – частота зміни кадрів.

В сучасних телевізійних системах верхня гранична частота –  $f_B = 6,5$  МГц ( $n = 25$ ;  $z = 625$ ; формат ТВ- зображення –  $k = 4/3$ ).

Для вирівнювання чіткості по вертикалі та горизонталі частотну смугу сигналу звужують ( $f_B \downarrow$ ) в 0,75...0,85 разів (через те, що по горизонталі укладається більше елементарних площадок, чіткість може бути кращою).

## **Висновки**

У лекції розглянути фізичні основи та принципи побудови телевізійних систем, основні поняття й визначення ТБ, надані узагальнена структурна схема телевізійної системи, параметри оптичного і телевізійного зображення, сигнал зображення та його характеристики, види розгортки ТВ зображення, формування сигналів синхронізації, З'ясовано процес формування сигналу зображення, а також вивчена структура та спектр повного ТВ сигналу. Показана необхідність узгодження параметрів ТВ сигналу з особливостями людського зору для забезпечення заданої якості відтворення інформації в ТВ системах різного призначення.

## ЛЕКЦІЯ 2. ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТЕЛЕВІЗІЙНИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СВІТЛО-СИГНАЛ

### План

Вступ

2.1. Параметри ТВ ФЕП.

2.2. Електронно-променеві ТВ ФЕП.

2.3. ПТТ з фотодіодним покриттям.

2.4. ТВ ФЕП на приладах із зарядовим зв'язком.

2.5. ТВ ФЕП на основі КМОН-технології

Висновки

### Література

#### основна

1. Телевидение: Учебник для вузов / В. Гг. Джакония, А. А. Гоголь, Я. В. Друзин и др.; Под ред. В. В. Джаконии. 4-е изд., стереотип. -М.: Горячая линия - Телеком, 2007. - 616 с: ил.
2. Кубата В.Г. Спеціалізовані електронні системи АТЗ: навчальний посібник / В.Г. Кубата, С.В. Лубенец, В.Я. Фролов. – Харків: ХНАДУ, 2011. – 272 с.
3. Основи ТБ: навчальний посібник. Коржов А.М., Роденко С.М., Красношарпа І.В., Максютя Д.В., Садовий К.В., Рибалка Г.В. Х.: ХУПС, 2007.

#### допоміжна

4. ДСТУ 3807-98 ТБ. Терміни і визначення.
5. ДСТУ 3837-99 ТБ мовне. Системи аналогового ТБ звичайної чіткості. Основні параметри та методи вимірювань.

### Вступ

*Телевізійний давач* - пристрій, що виробляє повний відеосигнал чи повний колірний відеосигнал, або сигнали основних кольорів [4].

Телевізійний давач, призначений для телевізійного аналізу переданої сцени, за допомогою оптоелектронного перетворювання називають *телевізійною камерою; телекамерою* [4].

Телевізійні давачі можуть бути побудовані з використанням оптико-механічних систем розгортки, систем бігучого світлового променя та телевізійних фотоелектричних перетворювачів (ТВ ФЕП) "світло - сигнал! - електронно-променевих передавальних телевізійних трубок (ПТТ) і твердо речовинних приладів з зарядовим зв'язком (ПЗЗ). Оптико-механічні системи використовуються у фототелеграфії й при передачі нерухомих зображень. Системи бігучого світлового променя застосовуються у ТВ пристроях прикладного призначення, об'єкти передачі яких



можуть бути ізольовані від зовнішнього джерела світла. На даний час ПТТ використовують в основному в спеціалізованих системах аналогового телебачення, тоді як ПЗЗ замінили ПТТ в мовному цифровому телебаченні.

## 2.1 Параметри ТВ ФЕП

ТВ ФЕП призначені для перетворення оптичного зображення в електричний сигнал. ТВ ФЕП перетворюють світлову енергію, відбиту від об'єкта й спроектовану на фоточутливу поверхню перетворювача, у послідовність електричних сигналів з певними параметрами, що забезпечують зворотне перетворення.

Яскравість спроектованого на фоточутливу поверхню оптичного зображення є функцією не тільки часу, але й координат  $(x, y)$  у горизонтальному й вертикальному напрямках. Тому ТВ ФЕП повинен мати здатність оцінювати значення яскравості окремих елементів зображень для послідовного зчитування ТВ сигналу від окремих елементів зображення. У ТВ ФЕП одночасно з фотопроцесом здійснюється процес розгортки зображень. Закон розгортки є одним з основних параметрів ТВ сигналу, що забезпечують можливість його перетворення в телевізійне зображення.

Якість ТВ зображення багато в чому визначається характеристиками ТВ ФЕП оптичних зображень: чутливістю, розподільна здатністю, світловою й спектральною характеристиками, інерційністю.

*Чутливість ТВ ФЕП* – величина, зворотна освітленості фоточутливої поверхні перетворювача, необхідної для одержання ТВ сигналу із заданим співвідношенням сигнал/шум. В інженерній практиці чутливість фотоелектричних перетворювачів оцінюють по освітленості фоточутливої поверхні (у люксах).

*Розподільна здатність ТВ ФЕП* характеризує властивість генерувати ТВ сигнал від дрібних деталей зображення. Про розподільну здатність можна судити по апертурній характеристиці фотоелектричного перетворювача, що визначає зв'язок між глибиною модуляції сигналу, який генерується, й розмірами переданої деталі зображення.

*Світлова характеристика* – залежність струму сигналу на виході ТВ ФЕП від освітленості його фоточутливої поверхні  $i_c = f(E)$ . Вона дозволяє судити про інтервал освітленості, у якому здатний працювати даний фотоперетворювач.

*Спектральна характеристика* ТВ ФЕП  $i_c = f(\lambda)$  – залежність ТВ сигналу від довжини хвилі рівного по інтенсивності випромінювання, що впливає на фоточутливу поверхню. Вимоги до спектральної характеристики перетворювача визначаються конкретним його призначенням. При використанні перетворювача в прикладних ТВ системах область його спектральної чутливості може виходити за межі видимого оком спектрального інтервалу довжин хвиль. Якщо перетворювач використовується в

камерах віщального ТБ, його спектральна чутливість повинна відповідати спектральним властивостям зорового апарата людини.

*Інерційність* – параметр, що характеризує запізнювання зміни ТВ сигналу на виході ТВ ФЕП щодо зміни освітленості його фоточутливої поверхні. Проявляється вона на зображенні у вигляді сліду, що тягнеться, і розмивання границь рухливих об'єктів передачі. Оцінюється інерційність значенням залишкового сигналу щодо його максимального значення у відсотках через кадр після припинення експозиції.

Розглянуті характеристики дозволяють вибрати ТВ ФЕП при проектуванні конкретних ТВ систем. Вони визначаються принципом побудови ТВ ФЕП, їхніми конструктивними особливостями, а також типами фоточутливих поверхонь, що є вхідним елементом ТВ ФЕП. Робота фоточутливих поверхонь ґрунтується на використанні зовнішнього й внутрішнього фотоефектів, в основі яких лежить здатність світлових променів звільняти в якій-небудь речовині електрони. При зовнішньому фотоефекті звільнені електрони залишають опромінену світлом речовину, що вилітають у вільний простір (фотоелектронна емісія). При внутрішньому фотоефекті звільнені світлом електрони залишаються усередині твердого тіла, змінюючи його провідність (фотопровідність).

## 2.2 Електронно-променеві ТВ ФЕП.

ТВ ФЕП розрізняють:

а) за конструктивними ознаками: електромеханічні; електровакуумні; багатоелементні твердо речовинні ;

б) за принципом використання світлового потоку: прилади миттєвої дії; – прилади з накопичуванням світлової енергії.

В основі побудови ТВ ФЕП лежить використання фотоефекту. За ознакою перетворення оптичного зображення в електричний сигнал ТВ ФЕП поділяються на:

– ТВ ФЕП із зовнішнім фотоефектом (фотоемісія);

– ТВ ФЕП із внутрішнім фотоефектом.

*ТВ ФЕП із зовнішнім фотоефектом.* Явище зовнішнього фотоефекту досліджувалось ще наприкінці XIX століття (1888-1890 рр.) О.Г. Столетовим. Воно полягає у наступному. Якщо фотокатод, виготовлений із спеціального матеріалу (на основі лужного металу: цезій, натрій, цинк, калій; киснево - цезієвий, сур'мяно - цезієвий, багато лужний) піддати дії світла із світловим потоком  $\Phi$ , то фотокатод буде випромінювати електрони. Якщо створити фотоелемент з електричним полем колектор-катод, то у фотоелементі буде протікати фотострум  $i_{\phi} = e\Phi$ , пропорційний світловому потоку. Тут  $e$  – коефіцієнт, який характеризує чутливість фотокатода до світла (рис. 2.1).

Помітимо: величина фотоструму також залежить від довжини хвилі падаючих монохроматичних променів і характеризує спектральну чутливість фотокатода.

Явище внутрішнього фотоефекту лежить в основі ФЕП, які виготовляються на базі тонких плівок фото опір. Сутність внутрішнього фотоефекту полягає в зменшенні свого електричного опору деяких речовин (наприклад, напівпровідників) під впливом освітлення. Тобто в напівпровідниках під впливом світла суттєво збільшується число носіїв струму (електронів і дірок), що забезпечує зменшення їх опору. Внутрішній фотоефект має дуже великий квантовий вихід, який в тисячу разів перевищує зовнішній фотоефект.

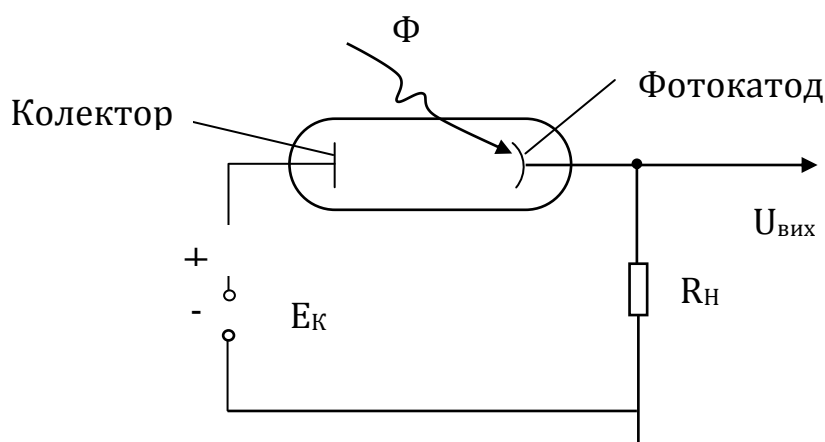


Рис.2.1 – ФЕП із зовнішнім фотоефектом

*ТВ ФЕП без накопичування зарядів (миттєвої дії).* Зобразимо ФЕП у вигляді електронно-механічної моделі на рис. 2.2.

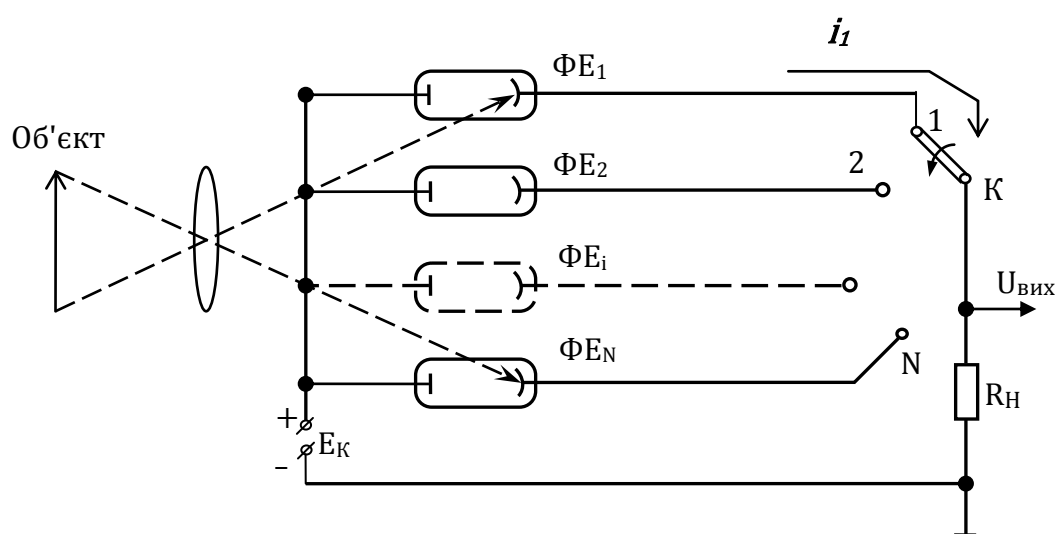


Рис. 2.2 – Електронно-механічна модель ФЕП

Фотоелементи ( $\Phi E_i$ ), де  $i=1\dots N$ ), перетворюють світлову енергію від окремих елементів зображення в електричний струм. У процесі розгортки ключ  $K$  послідовно підключає кола кожного фотоелемента до навантаження  $R_n$  на час  $\tau_e = T_k/N$ , де  $T_k$  – час розгортки кадру.

За час розгортки кадру будуть опитані усі  $N$  фотоелементів.

Фотоелектричні перетворювачі миттєвої дії мають дуже низький коефіцієнт використання світлової енергії:

$$\frac{W_e}{W_k} \approx \frac{\Phi_e \tau_e}{\Phi_k T_k} = \frac{1}{N},$$

де  $\Phi_e$  – світловий потік, що падає на даний фотоелемент.

Це і визначає їх недолік, який полягає у надто малій чутливості. Для поліпшення якості роботи застосовують або вторинно-електронне підсилення вихідного сигналу, або переходять до малокадрових (сповільнених) розгортки. Принцип миттєвої дії використовується в передаючій телевізійній трубці "дисектор" (розсікач).

*Дисектор - передавальна телевізійна трубка миттєвої дії.* Схематично сучасний дисектор зображений на рис.2.3. У середині трубки є напівпрозорий фотокатод 1, електрод, що прискорює, 2, діафрагма з отвором 3, діноди вторинно-електронного множника (ВЕМ) 4, колектор 5. Зовні трубки розташовуються: відхиляюча система рядкової й кадрової розгортки 6 і котушка, що фокусує, 7, що створює уздовж трубки однорідне магнітне поле. У відмінності від інших передавальних трубок у дисекторі відсутній електронний прожектор і розгортка здійснюється відхиленням електронного зображення перед отвором діафрагми 3, що є розгортуючою апертурою і звичайно називається *отвором, що вирізує*.

У дисекторі розрізняють три секції: перетворення оптичного зображення в електронне, перенос і відхилення електронного зображення, вторинно-електронне множення. Світлове зображення перетворюється в електронне на напівпрозорому світлочутливому шарі - фотокатоді, нанесеному на внутрішню поверхню планшайби трубки. Електронне зображення переноситься в площину діафрагми 3 за допомогою прискорювальної напруги, прикладеної до електрода 2 у магнітному полі довгої котушки, що фокусує, 7. У площині діафрагми під дією відхиляючого поля, електронне зображення переміщається щодо отвору, що вирізує, відповідно до закону розгортки. При цьому фотоелектрони з різних ділянок фотокатода по черзі попадають через вирізує отвір, що на перший дінод ВЕМ, у якому миттєві значення фотоструму підсилюються.

Секція множення складається з дінодів 4 і колектора 5, у коло якого включений резистор навантаження  $R_n$ .

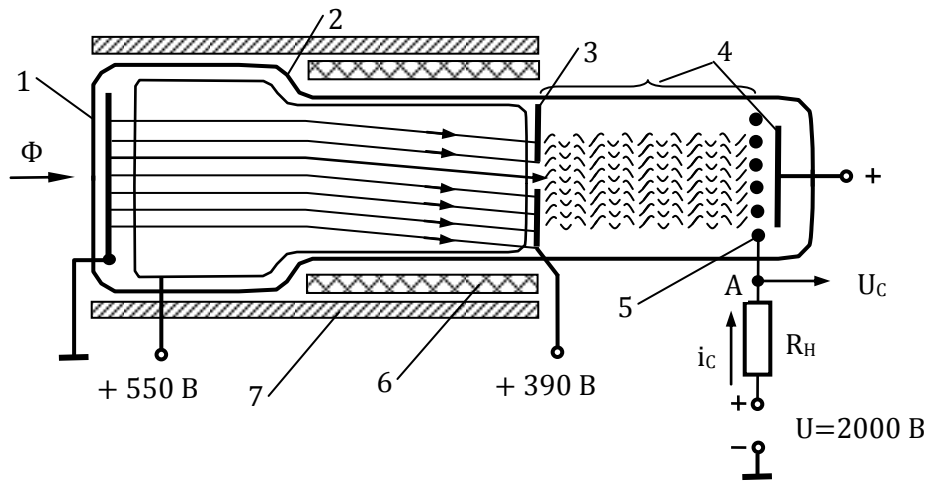


Рис. 2.3 – Схема пристрою ПТТ типу дисектор

Живлення на диноди дисектора подається таким чином, що потенціал кожного наступного динода виявляється вище попереднього, а потенціал колектору 5 - вище потенціалу останнього динода. Це забезпечує ефективний відбір вторинних електронів на колектор. Вторинні електрони утворюють струм сигналу, що протікає через резистор навантаження  $R_H$  у напрямку, зазначеному стрілками, і створює на ньому напругу сигналу  $u_c = i_c R_H$ . При цьому потенціал у точці навантажувального кола, з якого знімається напруга сигналу для подальшого посилення, рівний  $U_A = U - i_c R_H$ , буде зменшуватися при збільшенні струму сигналу. Так як струм сигналу пропорційний освітленості ділянок фотокатода, збільшенню освітленості фотокатода відповідає зменшення потенціалу в точці А. Таким чином, рівень сигналу, що відповідає максимальній освітленості фотокатода, - рівень білого - виявляється нижче, ніж рівень чорного (відповідає мінімальній освітленості). *Отже, полярність ТВ сигналу, що генерує передавальна трубка типу дисектор, негативна.*

Коефіцієнт підсилення вторинно-електронного множника досягає  $10^7$ , що дозволяє отримати на резисторі навантаження  $R_H$  значний струм сигналу  $i_c \sim 100$  мкА.

Дисектори мають лінійну світлову характеристику при освітленості фотокатода від десятих часток люкс до декількох тисяч люкс. Вони забезпечують гарне відтворення градацій яскравості, передають без перекручування інформацію про середню яскравість зображення, мають високу розрізнявальну здатність (до 3000 елементів у рядку). Сучасні дисектори мають високу механічну міцність, вібростійкість, стійкість до великих перепадів температур, впливу підвищеної вологості. Після включення живлячої напруги дисектор миттєво готовий до роботи, тому що в ньому немає інерційного термокатода.

Позитивні якості обумовили широке застосування дисектора в прикладних ТВ системах, що забезпечують автоматизацію, контроль і керування виробничими процесами, спостереження за слабкосвітними крапковими об'єктами в апаратурі астронавігації, у пристроях для дослідження прозорих середовищ, читання графіків, мікрофільмів і т.п. Промисловістю випускається понад п'ятнадцять типів дисекторів, що відрізняються по таких параметрах, як спектральна характеристика фотокатода, розмір і форма отвору, що вирізує, розмір робочої зони фотокатода й т.і.

Недоліком дисектора є його невисока чутливість у широкосмуговому режимі роботи, що відповідає стандарту віщального ТВ, що є недоліком всіх систем миттєвої дії.

*ТВ ФЕП з накопичуванням зарядів.* Суттєве підвищення чутливості передаючих телевізійних трубок можливе за рахунок використання *принципу накопичування електричних зарядів* під час передачі кадру зображення. Електронно-механічна модель телевізійної трубки з накопичуванням заряду буде мати такий вигляд (рис. 2.4).

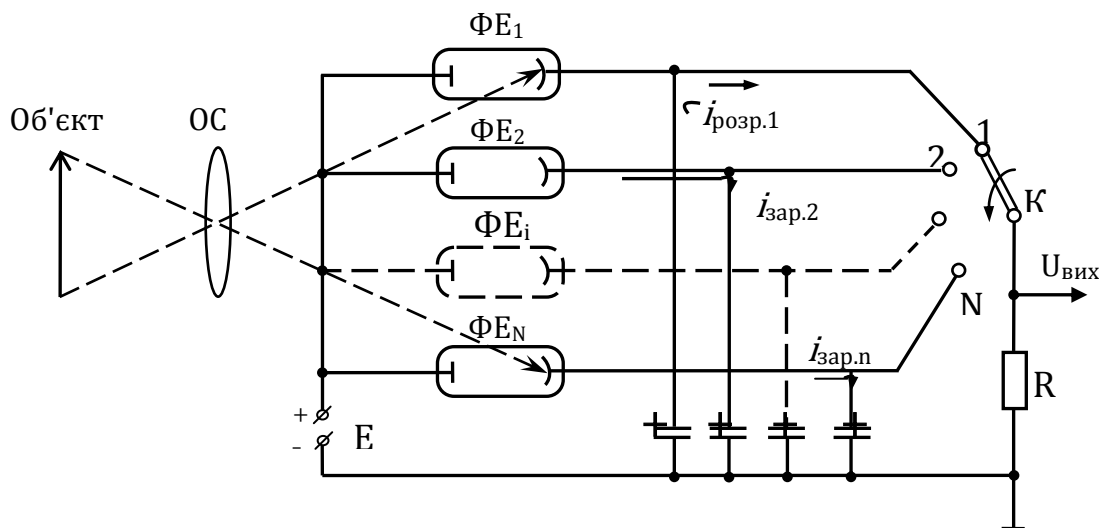


Рис.2.4 – Електронно-механічна модель ПТТ з накопичуванням заряду

Фотострум під час розгортки кадру протікає через конденсатор і заряджає його. У процесі розгортки комутатор послідовно підключає відповідні конденсатори до  $R_n$ , які розряджаються через цей опір. При цьому коефіцієнт використання світлової енергії дорівнює:

$$\frac{W_e}{W_k} = \frac{\Phi_e (T_k - \tau_e) + \Phi_e \tau_e}{\Phi_e T_k} = 1.$$

Таким чином, накопичування зарядів дозволяє в  $N$  разів підвищити вихідний сигнал, іншими словами підвищити чутливість ФЕП.

Взагалі, з точки зору конструктивної реалізації, в основі принципу роботи ФЕП з накопичуванням зарядів лежить використання діелектричної або фотопровідної мішені, яка забезпечує накопичування світлової енергії у формі потенційного рельєфу, просторовий розподіл котрого відповідає зображенню, яке передається.

Принцип накопичування зарядів реалізовано в усіх високочутливих ПТТ, таких як суперортікон, відікон та його різновиди – плюмбікон, секон, кремнікон.

*Конструкція й принцип дії відікону.* Відікон відрізняється простою конструкції, невеликими розмірами й масою і є вісоконадійною і дешевою передавальною трубкою. ПТТ типу відікон (рис. 2.5) містять два основних вузли: фотомішень й електронний прожектор, що створює пучок, який комутується. Фотомішень складається з фотошару й сигнальної пластини. Остання являє собою тонкий провідний прозорий шар золота, платини або окису олова, нанесений на внутрішню поверхню планшайби. Прозорість сигнальної пластини перевищує 90%. Поверхневий опір 200 Ом·см. Виводом сигнальної пластини служить металеве кільце, уварене між планшайбою й колбою трубки. На сигнальну пластину випаром у вакуумі нанесений фотошар товщиною 1...3 мкм із матеріалу, що володіє фотопровідністю, у якості якого використовуються сполуки сурми, селену, миш'яку, сірки. Матеріал, з якого виготовлена мішень, а також його товщина визначають чутливість, спектральну характеристику й інерційність відікону.

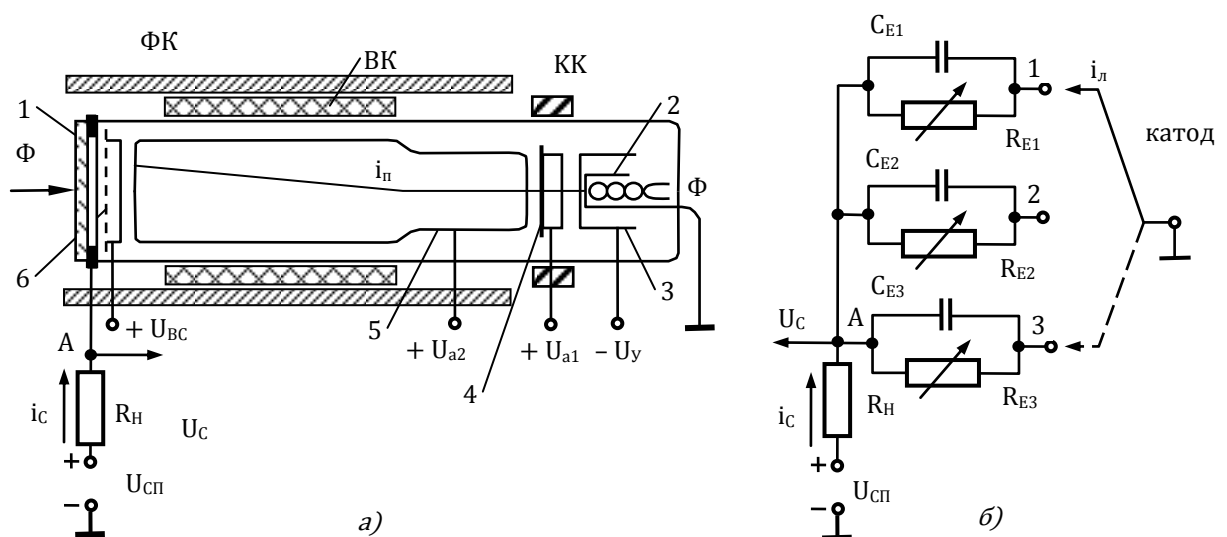


Рис.2.5 – Відікон: а - пристрій трубки; б- еквівалентна схема мішені

Тому вибір матеріалу напівпровідника залежить від тих характеристик, якими повинен володіти конкретний тип відікона, тобто від призначення передавальної трубки.

Електронно-оптична система відікона містить електронний прожектор і дрібнеструктурну сітку, 6, поміщену перед фотомішенню. Прожектор складається з оксидного підігрівного катода 2, управляючого електрода 3, першого 4 і другого 5 анодів. Другий анод створює еквіпотенційну область, у якій здійснюються фокусування й відхилення розгортуючого променя. Потенціал сітки, що вирівнює, 6 в 1,5...2 рази перевищує напругу другого анода, що забезпечує підхід електронів до всієї поверхні фотомішені під прямим кутом. Це забезпечує рівномірне фокусування променя й однаковий вихідний потенціал на всій поверхні мішені, що є однією з умов одержання рівномірного сигналу по полю зображення. Фокусування, відхилення й корекція траєкторії розгортуючого променя здійснюються зовнішньою магнітною системою, що складається з довгої фокуруючої (ФК), відхиляючої (ВК) і коректуючої (КК) котушок.

Процес утворення сигналу зображення у відіконі може бути пояснений за допомогою його еквівалентної схеми (рис. 2.5 б). На цій схемі кожна елементарна ділянка фотопровідної мішені представлена у вигляді ємності  $C_e$  конденсатора, утвореного елементами сигнальної пластини й правої сторони мішені. Ємність шунтована резистором, опір  $R_e$  якого змінюється залежно від освітленості цієї ділянки. При проекції на мішень трубки оптичного зображення розподіл освітленості на її поверхні викличе відповідний розподіл опорів, тобто *рельєфу освітленості мішені буде відповідати рельєф опорів*. Темновий питомий опір фотопровідника може бути дуже великим (порядку  $10^{12}$  Ом·см). При максимальному висвітленні опір мішені зменшується приблизно в 100 разів.

При "розгортці" фотомішені комутуючим (зчитуючим) променем її поверхня здобуває потенціал, обумовлений режимом бомбардування мішені. Трубка може працювати в режимі повільних і швидких електронів. Частіше використовується режим повільних електронів. У режимі розгортки повільними електронами потенціал правої сторони фотомішені здобуває в момент комутації потенціал катода. Потенціал сигнальної пластини підтримується постійним, тому "під променем" елементарні конденсатори  $C_e$  заряджаються до напруги  $U_{сп}$ . При проекції на мішень оптичного зображення опори  $R_e$ , що шунтують елементарні конденсатори  $C_e$  змінюються, тому що  $R_e = f(E_e)$ , де  $E_e$  - освітленість елементарної ділянки. При цьому найбільш освітленим елементам мішені відповідає найменший опір й, навпаки, темним ділянкам мішені - найбільший опір. У період між двома комутаціями (тривалість кадру) конденсатори  $C_e$  розряджаються через резистор  $R_e$ , з постійною часу  $\tau_p = R_e \cdot C_e$ . Чим сильніше освітлена ділянка мішені, тим менше  $R_e$  й швидше розряджається  $C_e$ . При цьому потенціал пластин конденсаторів  $C_e$  звернених до променю, збі-



льшується, наближаючись у межі (у найбільш освітлених ділянках мішені) до потенціалу сигнальної пластини. На неосвітлених ділянках мішені він залишається практично рівним нулю. Таким чином, на *поверхні мішені, зверненої до променя, створюється потенційний рельєф* - розподіл потенціалів, що відповідає розподілу освітленості по поверхні мішені.

Телевізійний сигнал утвориться при послідовному проходженні (комутації) ділянок поверхні мішені електронним променем, що вирівнює потенційний рельєф, який утворився на правій стороні мішені. При цьому на освітлених ділянках мішені, що мають більше позитивний потенціал, осаджується значна частина електронів. А від неосвітлених ділянок поверхні мішені, потенціал яких приблизно дорівнює нулю, електронний промінь, відбившись, повертається назад. *Вирівнювання потенційного рельєфу* приводить до підзарядки елементарних конденсаторів  $C_e$ . Причому струм дозаряду протікає в колі сигнальної пластини через  $R_n$  і  $C_e$  в напрямку, зазначеному стрілкою (рис. 3.4б), і є струмом сигналу. Освітленим, слабо освітленим і неосвітленим ділянкам мішені будуть відповідати різні струми підзарядки, які, протікаючи через  $R_n$  при послідовній комутації ділянок мішені електронним променем, утворять сигнал зображення.

***Характеристики відікону.*** *Спектральна характеристика* відікону визначається властивостями фотомішені. Є відікони, чутливі до інфрачервоного, видимого, ультрафіолетового й рентгенівського випромінювань. *Світлова характеристика* відікона визначається залежністю фотопровідності мішені від її освітленості:  $R = f(E)$  і зарядом елементарного конденсатора  $C_e$ . Заряд за інших рівних умов залежить від напруги на сигнальній пластині  $U_{сп}$ .

*Світлова характеристика відікону мало залежить від характеру розподілу освітленості на мішені й дозволяє забезпечити високий контраст зображень.*

При комутації мішені повільними електронами відікон *відтворює інформацію про середню яскравість зображення*, тому що рівень сигналу під час зворотного ходу променя відповідає рівню чорного. Дійсно, від неосвітлених ділянок мішені (при темновому опорі елемента  $R_{ет} = \infty$ ) промінь повертається назад й у колі сигнальної пластини струм відсутній. Теж відбувається, коли електронний промінь замкнений імпульсом гасіння. Практично  $R_{ет} \neq \infty$  і конденсатор  $C_e$  при відсутності світла також трохи розряджається. Електронний промінь у момент комутації компенсує цей розряд і створює темновий струм, у результаті чого рівень сигналу від чорних місць зображень (рівень чорного) трохи відрізняється від рівня імпульсів гасіння. Темновий струм збільшується з ростом напруги на сигнальній пластині й може бути неоднаковий для різних ділянок мішені. Тому при виборі режиму роботи трубки прагнуть до забезпечення

мінімального темного струму, що збільшує рівномірність ТВ сигналу в цілому.

*Полярність сигналу, що генерується, відіконом у режимі комутації повільними електронами, негативна, тому що найбільш освітленим ділянкам фотомішені відповідає максимальний струм комутуючого променя - струм сигналу, що, протікаючи по навантаженню  $R_n$  (див. рис. 2.5б), знижує потенціал точки А, з якої знімається сигнал зображення. Виходить, збільшенню освітленості відповідає зменшення потенціалу точки А, тобто полярність сигналу негативна.*

*Розрізнявальна здатність відікону характеризується його апертурною характеристикою, що визначається структурою, розмірами й кінцевим значенням поверхневої провідності фотомішені, а також перетином комутуючого (зчитуючого) променя.*

Так, апертурна характеристика одного з відіконів, рекомендованих розробниками для ТВ віщання, показує, що на позначці 600 рядків відікон забезпечує глибину модуляції сигналу зображень 20%.

Висока якість зображень забезпечується при освітленості мішені трубки відікон у межах 1...10 лк, що відповідає максимальній і середній його чутливості. Збільшення освітленості фотомішені бажано також для зменшення інерційності трубки. Інерційність відікону є його недоліком, що проявляється при передачі рухомих об'єктів у вигляді сліду, що тягнеться за ним, розмазування контурів, втрати чіткості й зниженні контрасту.

До достоїнств відікона варто віднести високу чутливість, здатність до передачі інформації про постійну складову, відсутність перекручувань сигналу зображення пов'язаних з ефектом перерозподілу електронів.

Промисловістю випускається біля тридцяти модифікацій передавальних трубок типу відікон з розмірами діаметра колби 13,6; 26,7; 30,4; 38,4 мм, які завдяки простоті комутації, малим габаритам і високим експлуатаційно-технічним параметрам знайшли широке застосування в прикладних телевізійних системах різного призначення, а також використовуються у ТВ віщанні для передачі кінофільмів, де можливість забезпечення високої освітленості дозволяє перебороти основний недолік відікона - інерційність.

### **2.3 ПТТ з фотодіодним покриттям.**

Плюмбікон - назва ПТТ з фотодіодною мішенню з окису свинцю (фірми "Филлипс", Нідерланди). Назва аналогічної трубки, що випускається в СНД, - глетікон.

Широкому використанню відікона в апаратурі віщального ТБ перешкоджає велика інерційність, значення якої складається із часу комутації й фотоелектричної складової. Зменшення фотоелектричної складо-

вої інерційності може бути досягнуте при використанні в якості матеріалу мішені речовин, що володіють низькою концентрацією пасток, і створенні режиму роботи, що забезпечує проходження носіїв струму без рекомбінації. Для зменшення часу комутації, як складової інерційності, пов'язаної з кінцевим часом перезарядження елементарного конденсатора мішені  $C_e$ , прагнуть зменшити його ємність шляхом зміни геометричних параметрів мішені, що приводить до зменшення часу підзарядки цього конденсатора.

Однак зменшення ємності конденсатора  $C_e$  приводить одночасно до зменшення постійної часу його розряду  $\tau_p = R_e \cdot C_e$  й для сильно освітлених ділянок зображень, що відповідають малим опорам  $R_e$  постійна часу розряду може виявитися менше тривалості кадру, що приведе до неповного використання ефекту накопичення. Отже, зменшення ємності ділянки мішені повинне супроводжуватися одночасним збільшенням опору  $R_e$ . При цьому необхідно подбати про збереження потенційного рельєфу, обумовленого відносинами максимального й мінімального значень елементарних опорів, тобто відповідно до цього змінити властивості мішені. Зрозуміло, зміна властивостей мішені не повинна супроводжуватися збільшенням фотоелектричної складової інерційності. Згадані умови виконуються при заміні фоторезистивної мішені мішенню фотодіодного типу, що має електронно - дірковий p-i-n перехід, включений у зворотному напрямку. Це забезпечує малу інерційність фотоефекта, високий темновий опір і близьку до лінійного світлову характеристику.

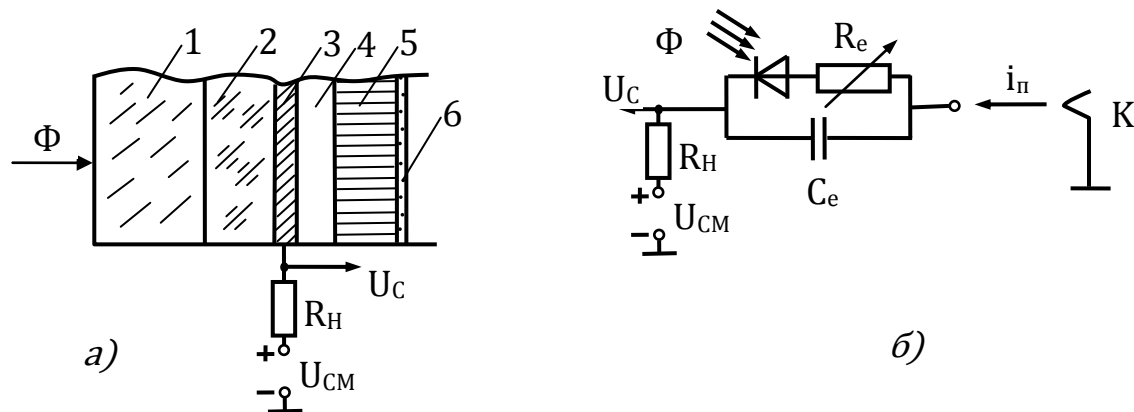


Рис. 2.6. Плюмбікон *а* – пристрій мішені, *б* – еквівалентна схема мішені

Мішень плюмбікона складається із трьох шарів і схематично зображена на рис.2.6. Тонка прозора сигнальна пластина 3 нанесена на скляну планшайбу 2 із внутрішньої сторони балона трубки й служить для виводу сигналу. На сигнальну пластину як на підкладку нанесений також тонкий прозорий шар напівпровідника 4 із провідністю типу *n*. Далі йде шар 5, що володіє власною провідністю (типу *i*) та утворює основну товщину мішені. Потім на поверхні мішені за допомогою спеціаль-

ної обробки створюється шар 6 із провідністю типу **p**. Шар 6 із провідністю **p** також, як шар 4 із провідністю **n**, одержують легуванням основного шару 5. Шар 6 повинен володіти більш високою, чим шар 5, провідністю й бути досить тонким для запобігання розтікання зарядів між ділянками мішені з різними потенціалами.

Сигнальна пластина й шар із провідністю типу **n** прозорі для проходження світлових променів. Шар і виконаний з хімічно чистого окису свинцю з упорядкованою кристалічною структурою. Кристали мають пластинчасту форму з розмірами приблизно  $0,1 \times 3,0 \times 0,05$  мкм й орієнтовані паралельно напрямку світлових променів. Така структура мішені дозволяє істотно знизити концентрацію пасток, чим збільшує швидкість дрейфу й зменшує ймовірність рекомбінації носіїв струму. Завдяки цьому, а також високій напруженості поля в шарі і всі носії струму проходять крізь нього не рекомбінуючи. Отже, структура шару і така, що дозволяє значно збільшити товщину мішені, не викликаючи збільшення фотоелектричної складової інерційності. Збільшення товщини мішені приводить, по-перше, до зменшення ємності, а виходить, і до зменшення часу комутації, як складової інерційності, по-друге, до більш повного поглинання падаючого на мішень світла, що підвищує чутливість мішені.

Еквівалентна схема елементарної ділянки мішені плюмбікона представлена на рис. 2.6б. Вона відрізняється від схеми на рис. 2.5б включенням фотодіода **p-i-n** типу. Через велику ширину забороненої зони шару і швидкість теплової генерації носіїв струму мала, що істотно зменшує темновий струм, а отже, збільшує темновий опір мішені  $R_{ет}$ . У момент комутації **p-i-n** перехід зміщується у зворотному напрямку, що додатково збільшує  $R_{ет}$ .

Підвищене дифузійне розсіювання світла викликає утворення ореолів і відблисків навколо яскравих деталей зображення. Для усунення цього явища трубки з фотодіодною мішенню з окису свинцю постачені противооріольним скляним диском 1 (рис. 2.6а) товщиною близько 6 мм, закріпленим на вхідному вікні 2 за допомогою оптичної склейки.

Світлова характеристика плюмбікона лінійна в широкому діапазоні освітленості. Показник нелінійності  $\gamma$  для цієї трубки лежить у межах  $0,95 \pm 0,05$ . Малий розкид цього параметра вказує на високу його відтворюваність, що є великим достоїнством фотодіодної мішені при роботі в багатотрубочних камерах кольорового ТБ (КТ).

Плюмбікон забезпечує високоякісне зображення при робочій освітленості мішені 5...8 лк, і таким чином, трохи уступає по цьому параметру відікону. Плюмбікон забезпечує рівномірну по полю розрізнявальну здатність, рівну 600 лініям, при високому відношенні сигнал/завада, що досягає 200:1. Малі значення темного струму (0,5...3 нА) і його висока рівномірність (1%) обумовлюють відтворення плюмбіконом рівня чорного.

Істотною перевагою плюмбікона перед відіконом є його мала інерційність. Залишковий сигнал через кадр після вимикання світла не перевищує 5%. Для зниження інерційності при передачі об'єктів, що рухаються, з низьким рівнем освітленості застосовується додаткове підсвічування мішені.

Лінійна світлова характеристика плюмбікона приводить до того, що при освітленості мішені, що перевищує робочу в 2...3 рази, потенційний рельєф зростає настільки, що струм променю стає недостатній для повної комутації "за надто освітлених" ділянок мішені. При передачі об'єктів, що рухаються, з підвищеною яскравістю на екрані виникають дефекти зображень у вигляді сліду, що тягнеться ("хвости комети"). Для усунення цього дефекту в останніх випусках трубок використовується так званий антикометний прожектор, за допомогою якого "за надто освітлені" ділянки мішені додатково зчитуються променем зі збільшеним струмом (100...150 мкА) під час зворотного ходу по рядку, що забезпечує повну комутацію ділянок мішені з освітленістю, більш ніж в 30 разів перевищуючу номінальну.

Високі показники трубок з окисне-свинцевою мішенню в сполученні з мінімальною інерційністю й лінійністю світлової характеристики зробили їх найбільш придатними вітчизняними приладами для передавальних камер КТ.

## **2.4 ТВ ФЕП на приладах із зарядовим зв'язком**

Мікромініатюризація ТВ передавальної апаратури гальмується використанням у ній в якості перетворювача світло-сигнал електровакуумного приладу, який має досить великі габарити й складну систему керування електронним променем. Робота перетворювачів на основі електронно-променевої трубок сполучена з високими напругами і достатньо великими енергетичними витратами. У зв'язку із цим протягом багатьох років велися широкі дослідницькі роботи в напрямку безвакуумних аналізуючих пристроїв – аналогів ТВ електронно-променевої ПТТ. Розвиток твердоречовинної технології, тонкошарових покриттів дозволив розробити твердоречовинні матричні ТВ ФЕП зображень, у яких в якості елементів матриці використовувалися фоторезистори, фотодіоди, фототранзистори.

Винайдені в 1969 році прилади із зарядовим зв'язком (ПЗЗ) дозволили створити твердоречовинні ТВ ФЕП із числом елементів розкладання, що відповідає стандарту ТВ віщання.

В основі приладу із зарядовим зв'язком лежать властивості структури метал-окисел-напівпровідник (МОН- структура) здатної збирати, накопичувати й зберігати зарядові пакети неосновних носіїв у локалізованих потенційних ямах, що утворюються в поверхні напівпровідника під дією електричного поля. Зарядові пакети виникають під дією світлового випромінювання, а переносяться вони шляхом керованого переміщення потенційних ям у необхідному напрямку.

Таким чином, ПЗЗ працює як аналоговий зсувний реєстр, що має здатність збирати, накопичувати й зберігати зарядову інформацію. Основним достоїнством ПЗЗ є принцип послідовного переносу зарядової інформації від окремих елементів матриці (пікселів) до єдиного вихідного пристрою, що перетворює зарядові пакети в сигнал зображення.

Вхідна ємність такого пристрою може не перевищувати 0,1 пФ. У результаті поліпшується відношення сигнал/шум на виході попереднього підсилювача, а отже, і гранична чутливість приладу. Всі елементи матриці однаково чутливі до дії завад від тактових імпульсів. Тому геометричний шум, що виникає від цих завад, легко компенсується.

Пояснимо принцип роботи приладу із зарядовим зв'язком. Основним елементом ПЗЗ є ємність МОН-структури, одним з контактів якої служить металевий електрод, а другим – напівпровідникова підкладка (*p* або *n* провідності). Діелектриком є окисел бездомішкового напівпровідника, що наноситься у вигляді тонкого шару на підкладку. У зображеній на рис. 2.7 МОН-ємності як напівпровідник використаний кремній діркового типу провідності. Діелектриком служить шар двоокису кремнію товщиною 0,1 мкм. У напівпровіднику діркового типу провідності основними носіями заряду є дірки. При додатку до металевого електрода позитивного потенціалу основні носії (дірки) у шарі кремнію, що прилягає до границі з окислом, будуть відштовхуватися від електрода й, покинувши поверхневий шар, відійдуть у товщину напівпровідника. Під електродами утвориться область, збіднена основними носіями, – потенційна яма, глибина якої залежить від прикладеної напруги (на затворі  $U$ ), ступеня легування напівпровідника, товщини шару окисла.

Таким чином, вибираючи значення напруги затвора, щільність домішки й товщину шару окисла, можна ефективно управляти глибиною потенційної ями.

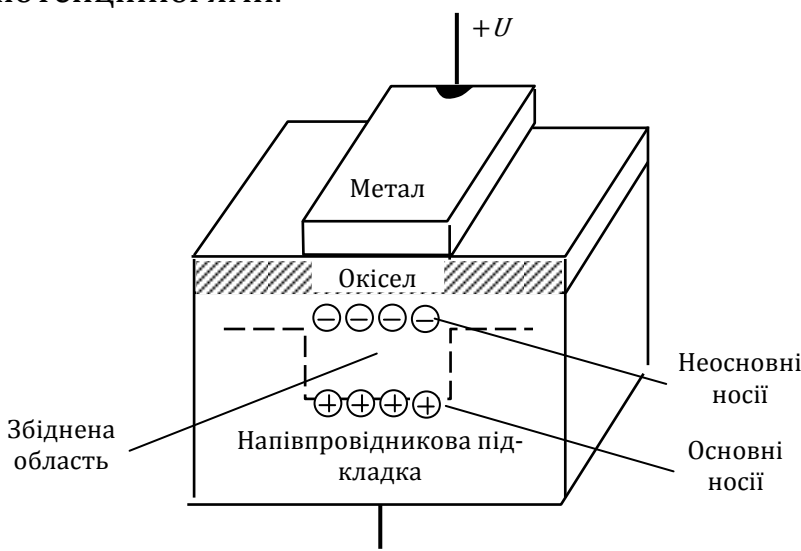


Рис. 2.7 – Ємність МОН-структури ПЗЗ

Час життя потенційної ями обмежено паразитним процесом термогенерації неосновних носіїв, тому що в кремнії при даній температурі завжди генеруються пари електрон-дірка, які під дією електричного поля розділяються: основні носії відганяються в товщину, а неосновні – накопичуються, заповнюючи

поступово потенційну яму.

Накопичення в потенційних ямах термогенерованих носіїв є паразитним процесом. Час, необхідний для заповнення потенційної ями через термогенерацію, називається часом релаксації. Отже, проміжок часу, істотно менший у порівнянні з часом релаксації, може бути використаний для зберігання в потенційних ямах зарядових пакетів, що несуть інформацію про значення корисного сигналу, а МОН-ємність може служити елементом, що запам'ятовує інформацію, представлену зарядом потенційної ями. Таким чином, максимальний час зберігання зарядової інформації  $t_{зб_{\max}}$ , а отже, і мінімальна частота роботи цифрових й аналогових пристроїв на ПЗЗ визначаються процесами накопичення паразитного заряду в потенційній ямі.

Зарядовий пакет у потенційну яму може бути введений електричним шляхом (режим – прилад з зарядовою інжекцією) або за допомогою світлової генерації (режим – прилад з зарядовим зв'язком). При світловій генерації фотоелектричні процеси, що виникають у кремнії, приведуть до накопичення неосновних носіїв у потенційних ямах. Накопичений заряд пропорційний освітленості й часу накопичення. Спрямована передача заряду в ПЗЗ забезпечується розташуванням МОН-ємностей на настільки близькій відстані друг від друга, що їхні збіднені області перекриваються й потенційні ями з'єднуються. При цьому рухливий заряд неосновних носіїв буде накопичуватися в тім місці, де глибше потенційна яма (рис. 2.8). На металеві електроди розташованих поруч двох конденсаторів подані позитивні потенціали  $U_1$  й  $U_2$ . У початковий момент потенціал  $U_1 > U_2$ . В утворену глибоку потенційну яму лівої ємності може бути поміщена зарядова інформація (рис. 2.8 а). Потім потенціал лівого електрода зменшимо, а потенціал правого – збільшимо. Тоді під правим електродом утвориться глибока потенційна яма, у яку перетече зарядовий пакет, поміщений раніше в потенційну яму лівої ємності (рис. 2.8).

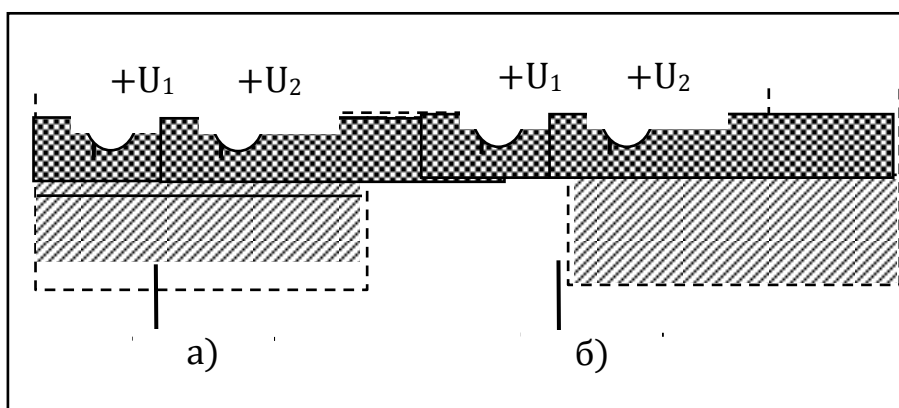


Рис. 2.8 – Перенос зарядових пакетів шляхом переміщення потенціалів електродів двох рядом розташованих МОН-ємностей

Отже, змінюючи певним чином потенціали на електродах близько розташованих ємностей, можна спрямовано переміщати зарядову інформацію.

Динаміку переміщення зарядових пакетів можна простежити на прикладі трифазного зсувного регістра – пристрою, що складається з послідовно з'єднаних МОН- ємностей. Зсувним регістром управляють за тритактною схемою. Кожен електрод приладу підключений до однієї із трьох тактових шин з фазами  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$ ,  $\Phi_3$ , як показано на рис. 2.9. Один елемент зсувного регістра складається із трьох елементів МОН- ємностей. Протягом першого такту роботи (момент  $t_1$ ) на електроди фази  $\Phi_1$  подана позитивна напруга  $U_2$ . Під цими електродами утворюються потенційні ями, у яких можуть накопичуватися й зберігатися заряди, утворені неосновними носіями. Це може відбуватися як у результаті впливу світлового випромінювання – тоді заряди будуть носіями корисної інформації, так і внаслідок паразитного процесу термогенерації. При цьому за рахунок термогенерації заряди становлять паразитну добавку до інформаційного заряду і є джерелом темного струму сигналу зображення. Час зберігання зарядів  $t_{зб}$  дорівнює часу дії напруги  $U_2$ , а режим роботи елемента під електродами фази  $\Phi_1$  у цей час називається режимом зберігання.

У момент  $t_2$  (другий такт) на електроди фази  $\Phi_2$  подається напруга  $U_3$ , значення якої перевищує в 1,5...2 рази напругу  $U_2$ . Ця напруга називається *напругою запису*. Вона викликає появу під електродами фази  $\Phi_2$  більш глибоких потенційних ям, у які й перетікають електрони з-під електродів фази  $\Phi_1$ . Режим, при якому електрони перетікають із одних потенційних ям в інші, називається *режимом запису*.

У момент  $t_3$  (третій такт) напруга на електродах фази зменшиться до значення  $U_2$ , що відповідає *режиму зберігання*, а напруга на електродах фази  $\Phi_1$  зменшиться від значення  $U_2$  до  $U_1$ , що запобігає поверненню зарядового пакета під електроди фази  $\Phi_1$ . З рис. 2.9 а видно, що перенос зарядових пакетів відбудеться з ліва праворуч, тому що під електродами фази  $\Phi_3$  потенціал залишається низьким, рівним  $U_1$ .

Такий спрямований перенос зарядових пакетів є одним з достоїнств трьохтактних регістрів. У регістрах, що працюють за двотактною схемою, спрямований перенос зарядів доводиться забезпечувати шляхом ускладнення структури ПЗЗ.

Послідовність зміни потенціалів на тактових групах показана на тактовій діаграмі (рис. 2.9 б), на якій форма керуючих напруг для трьохтактної схеми ідеальна. Однак для підвищення ефективності переносу зарядів тактові імпульси, що подаються на електрод, повинні перекиватися й мати пологий фронт, що затримує зменшення глибини потенційної ями. Тому практично для керування використовують імпульси трапецеїдальної форми (рис. 2.9 в). При цьому залишки заряду (останні носії) встигають перетекти в сусідню потенційну яму, і в результаті підвищується ефективність переносу заряду.



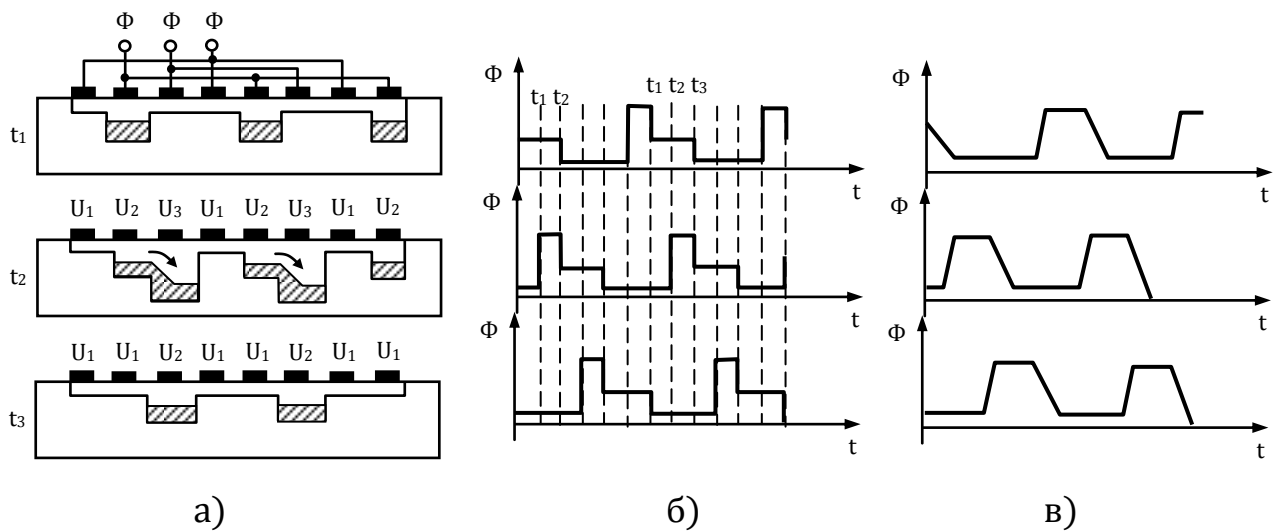


Рис. 2.9 – Переміщення зарядових пакетів у трифазному зсувному регістрі:

*а* – трифазний регістр; *б* – ідеальна тактова діаграма, *в* – реальна форма управляючих імпульсів

Розглянемо побудову та принцип роботи лінійних та матричних перетворювачів зображень на основі ПЗЗ і ПЗІ.

ТВ ФЕП зображень на ПЗЗ діляться на два класи: лінійні (одномірні) і матричні (двовимірні). У лінійних ТВ ФЕП фоточутливі елементи розташовані уздовж однієї лінії, звичайно рядка, і формують одномірне зображення об'єкта. Такі однорядкові ТВ ФЕП можуть бути використані при контролі за технологічними процесами виробництва, при спеціальному аналізі й аналізі оптичної щільності макро- і мікрооб'єктів. Однорядкові ТВ ФЕП можуть бути використані й для одержання двовимірного зображення. У цьому випадку необхідне переміщення ФЕП або об'єкта в напрямку, перпендикулярному напрямку рядкової розгортки.

Твердоречовинним аналогом передавальної трубки з електронним скануванням по рядку й кадру є матричний формувач сигналу зображень. Він являє собою двовимірний масив світлочутливих елементів, що здійснюють електронне сканування по координатах  $x$  и  $y$ . При проектуванні такої двовимірної матриці вирішується питання організації її зчитування. Існує кілька способів організації зчитування матричних формувачів.

Найбільш краща організація з кадровим переносом. Характерною її особливістю є наявність секції зберігання або пам'яті, що захищена від світла й дорівнює по площі секції накопичення – фотоприймальної секції. Накопичені заряди фотоприймальної секції за час зворотного ходу по кадру послідовно зрушуються в секцію зберігання. Під час накопичення у фотоприймальній секції наступного кадру інформація із секції зберігання по рядкам передається в секцію переносу заряду – зсувний регістр. Зрушення рядків у секцію переносу здійснюється під час зворотного хо-

ду горизонтальної розгортки. Потім зарядові пакети рядка по елементам виводяться зсувним регістром до вихідного пристрою, що перетворює заряди в сигнал зображення. Після зчитування всієї відеоінформації із секції зберігання починається перенос наступного кадру.

Одним з основних достоїнств зчитування по кадрам є усунення ефекту змазування зображення тому що зарядова інформація зчитується із захищеної від світла секції зберігання й додаткового висвітлювання при скануванні не відбувається. При організації зчитування по кадрам простіше здійснюється черезрядкове розкладання зображень, проста також електродна структура, що дозволяє компактно розташувати елементи матриці. Принцип переносу по кадрам зручний для освітлення матриці з боку підкладок, що дозволяє подвоїти квантову ефективність приладу й одержати більш рівномірну характеристику спектральної чутливості.

На рис. 2.10. наведена схема матриці ПЗЗ із числом елементів  $288 \times 232$ , що працює з переносом по кадрам накопиченої інформації й трьохтактним регістром керування.

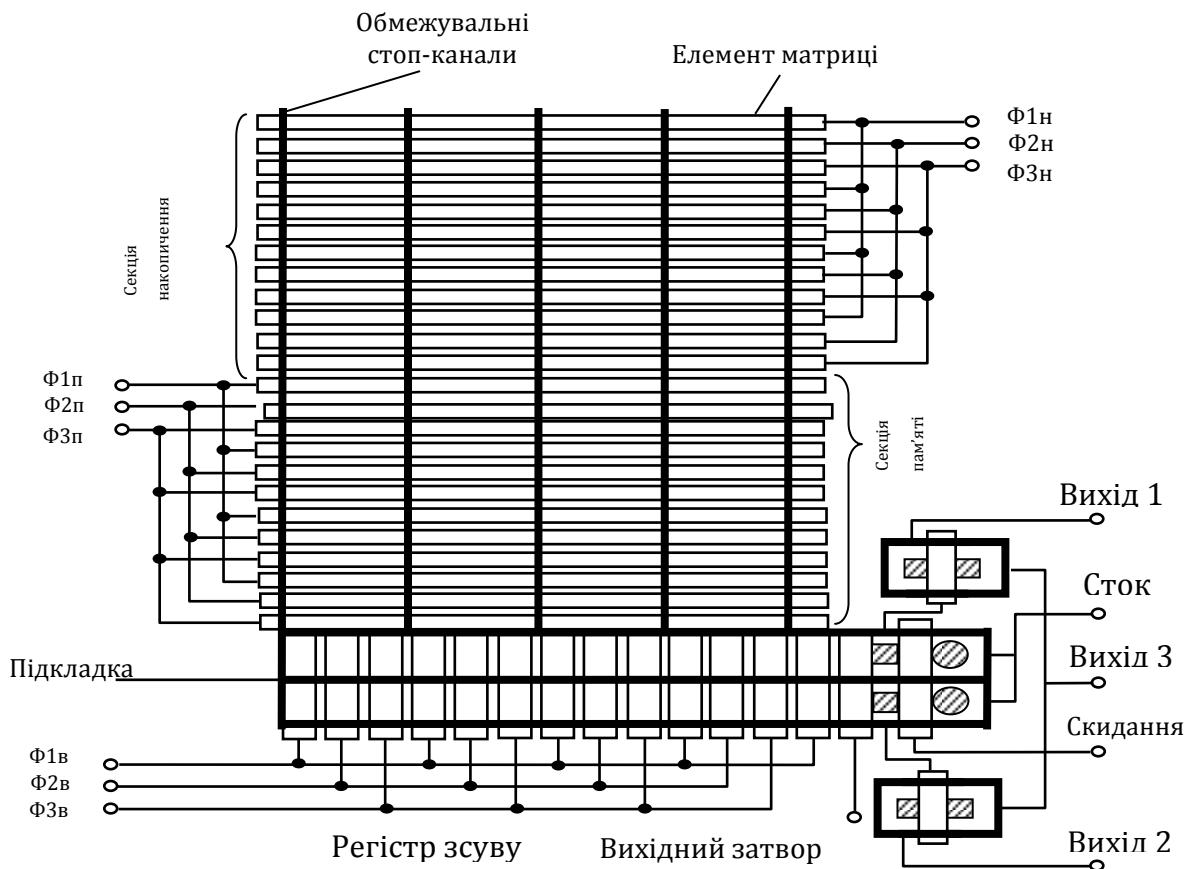


Рис. 2.10 – Схема матриці ПЗЗ

Матриця містить фоточутливу секцію накопичення, що складається з  $144 \times 232$  елементів, секцію пам'яті, що складається з  $144 \times 233$  елемен-

тів, зсувний регістр на 235 елементів і вихідний пристрій, що складається із двох транзисторів.

До складу вихідного пристрою входить також допоміжний регістр, за допомогою якого компенсуються завади від тактових імпульсів. Як видно з рисунка, для посилення сигналу зображення із матриці використовується диференціальний пристрій, у якому відбувається компенсація тактових імпульсів, що надходять на його входи в протифазі.

Матриця з переносом по кадрам дозволяє легко реалізувати черезрядкове розкладання зображення. Для цього протягом тривалості непарних полів накопичення виробляється під електродами  $\Phi_1$ , а протягом тривалості парних – під електродами фази  $\Phi_2$ . Під час зворотного ходу по полях зарядова інформація непарного поля переноситься в секцію зберігання (пам'яті). У період наступного парного поля в режим накопичення переводяться електроди фази  $\Phi_2$  й у секції накопичення починається новий цикл роботи. У той же час із секції зберігання послідовно, рядок за рядком, переносяться всі рядки непарного поля у вихідний (зсувний) регістр, що зрушує елементи рядка один за іншим до вихідного пристрою. Перенос зарядів окремих рядків із секції пам'яті в зсувний регістр здійснюється під час зворотного ходу рядкової розгортки, а вихід зарядів рядка з регістра у вихідний пристрій – під час прямого ходу рядкової розгортки.

Таким чином, у матриці з зчитуванням по кадрам перенос зарядових пакетів до вихідного пристрою здійснюється в три прийоми:

- 1) перенос із секції накопичення в секцію пам'яті;
- 2) перенос із секції пам'яті в зсувний регістр;
- 3) перенос зі зсувного регістра у вихідний пристрій.

Неважко бачити, що число переносів для різних елементів кадру буде різним. Максимальним воно буде для першого елемента верхнього рядка й мінімальним – для останнього елемента нижнього рядка. Максимальне число переносів для одного зарядового пакета неважко підрахувати. Для організації зчитування по кадрам за трьохтактною схемою зрушення число переносів  $N_{\max} = 2 \times 3z + 2n$ , де  $z$  – число рядків;  $n$  – число елементів у рядку. У наведеній рівності перший член ураховує число переносів по кадру, а другий – число переносів уздовж рядка. Підставляючи параметри вищенаведеної матриці, одержуємо  $N_{\max} = 2 \times 3 \times 144 + 3 \times 235 = 1569$ . Варто мати на увазі зарядові пакети переносяться не повністю, тому що, по-перше, частина заряду губиться в пастках, що існують на границі кремнію з окислом, а по-друге, при певній швидкості переносу частина заряду може відстати від пакета й з'явитися в наступному. Неефективність переносу заряду  $\varepsilon$  накладає певні обмеження на швидкість роботи ПЗЗ і повне число переносів, які можна зробити без істотного руйнування сигналу;  $\varepsilon$  – відносна величина й характеризує частину заряду, що відстала від пакета на один перенос. Помноживши  $\varepsilon$  на число переносів у приладі  $M$ , одержимо результуючу неефективність переносу  $N_\varepsilon$  усього приладу. При-

йнятним вважається значення  $\varepsilon = 1 \times 10^{-4} \dots 5 \times 10^{-5}$ . При числі переносів  $N = 1569$  сумарна ефективність переносу  $\eta = 1 - N_{\varepsilon} = 84\%$ .

Як бачимо, принцип послідовного переносу, що є одним з основних достоїнств ПЗЗ, забезпечуючи на певному етапі переваги перед двокоординатними матрицями в такому важливому параметрі, як істотне підвищення відношення сигнал/шум і поліпшення однорідності зображення, гальмує подальше збільшення якості матриці. Крім цього, використання в ПЗЗ самосканування вимагає відсутності дефектів всіх елементів матриці. Несправність одного елемента викликає втрату інформації всього переданого стовпця або рядка.

Світлова характеристика ПЗЗ у робочому діапазоні освітленості лінійна (рис. 2.11). Точка 1 відповідає вихідному сигналу у відсутності висвітлення й визначає темновий струм, обумовлений у великому ступені термогенерацією неосновних носіїв. Точка 2 характеризує режим насичення елемента матриці, тобто повне заповнення потенційної ями неосновними носіями. Глибина потенційної ями визначається конструктивними параметрами матриці й потенціалом накопичення, значення якого обмежене напругою пробою МОН-ємності.

Спектральна чутливість матричного формувача (рис. 2.12) має підйом у довгохвильовій області спектра й спад в області довжин хвиль 0,4...0,5 мкм (крива 1), що обумовлений сильним поглинанням на цій ділянці спектра нанесеними на напівпровідникову підкладку полікремнієвими електродами.

Для підвищення чутливості в цій області спектра в полікремнієвих електродах розкриті вікна. Площа вікон становить приблизно 15...20% від площі фоточутливої поверхні елемента. Це підняло чутливість матриці на довжині хвилі  $\lambda = 0,4$  мкм до 20% (крива 2), що дозволило використати матрицю в кольоровому телебаченні.

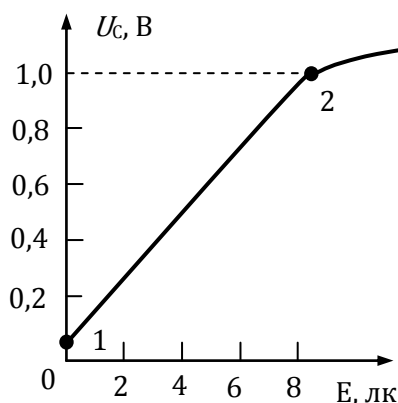


Рис. 2.11 – Світлова характеристика матриці ПЗЗ

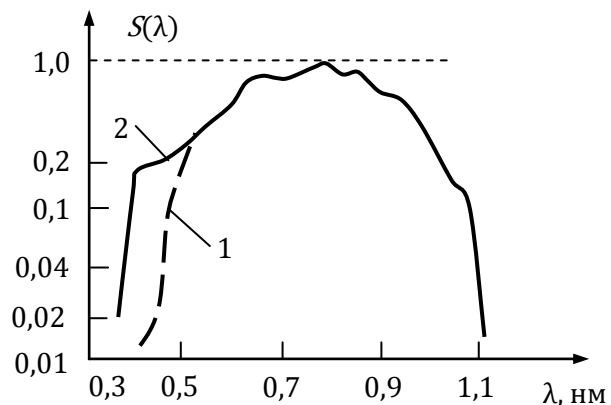


Рис. 2.12 – Спектральна характеристика матриці ПЗЗ

Роздільна здатність визначається числом елементів накопичення в матриці ПЗЗ. Збільшенню числа елементів матриці заважають технологічні труднощі, а також погіршення параметрів сигналу зображення, пов'язане з неефективністю переносу зображення. При збільшенні числа елементів матриці зменшується активна площа ділянок накопичення зарядів.

При цьому починає значно виявлятися неповне використання світлового потоку, тому що фотоелементи займають не всю площину матриці і, відповідно, фотони, які попадають на екрановані від світла вертикальні ПЗЗ-реєстри, не беруть участь в створенні зарядів. Остання обставина призводить до суттєвого зниження чутливості ФЕП в цілому. Для підвищення чутливості матричних ПЗЗ на поверхню кристала наносять мікролінзи. Окремі мікролінзи, розташовані над fotocутливими ділянками, збирають на них практично увесь світловий потік, що падає на ПЗЗ, в тому числі і на нечутливі до світла вертикальні ПЗЗ-реєстри.

Найпростіша сучасна матриця із числом елементів  $580 \times 532$  забезпечує в стандартному телевізійному режимі розрізнення 450 ТВ ліній. Чутливість матриці досягає 50 мкА/лм і порівняна із чутливістю сучасних передавальних ЕПТ.

Технологія виробництва матриць на ПЗЗ близька до досконалості, вони відрізняються простотою конструкції. Проте всім матрицям на ПЗЗ властиві недоліки:

1. Низький відсоток виходу годних матриць при їх виробництві – якщо на шляху перенесення зарядів є які-або неоднорідності, особливо заряди, що генеровані, ці реєстри вносять велику неоднорідність у вихідний відеосигнал і такі матриці вибраковуюються.

2. Ефективність перенесення – втрата частини зарядів в процесі їх перенесення. Чим далі переносяться заряди, тим більше втрат зарядів, що приводить до втрати контрасту дрібних деталей зображення. Контраст нерівномірний як по кадру, так і по рядку, на початку кадру (рядка) більше, в кінці менше. Ефективність перенесення залежить від кількості перенесень і швидкості перенесення (частоти перенесення). Наприклад, для сучасної ФМПЗЗ з рядковим перенесенням типу ICX415AL виробництва фірми Sony ефективність одного перенесення дорівнює  $E_1 = 0,9995$  при частоті перенесення 29,5 Мгц. [2]. При кількості пікселів по горизонталі  $N = 782$  і 3-х фазному горизонтальному реєстрі максимальне число перенесень складе  $N_{\text{пер}} = 2346$ , ефективність всіх перенесень дорівнює  $E_{2346} = E_1 \times 2346 = 0,309$ . Цей приклад показує, що до вихідного каскаду потраплять тільки 31% електронів, отже, різниця в розмаху вихідного відеосигналу, за всіх інших рівних умов між крайнім лівим і крайнім правим пікселями складає 31%.

3. Багаторівнева технологія, яка не дозволяє сумістити на одному кристалі ПЗЗ і транзистори.

Відзначені недоліки компенсуються ускладненням схеми обробки відеосигналу і вдосконаленням технології виготовлення.

## 2.5 ТВ ФЕП на основі КМОН-технології

Останні роки характеризуються бурхливим розвитком технології виробництва мікросхем статичної і динамічної пам'яті для персональних комп'ютерів на основі технології КМОН – комплементарних металооксидних напівпровідників (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor, CMOS), що мають організацію з довільним координатним доступом. Технологія виготовлення великих інтегральних схем (ВІС) може забезпечити розміщення на одному кристалі сотні мільйонів транзисторів. Вказані досягнення дозволили реалізувати ідею об'єднання світлочутливої секції, що є матрицею фотодіодів (ФД) і набору шин зчитування і управляючих регістрів, аналогічних вживаним в мікросхемах (ВІС) пам'яті.

КМОН-перетворювач зображення є об'єднанням на одному кристалі безпосередньо матриці світлочутливих елементів (фотодіодів), модулів комутації елементів з координатною адресацією і управління режимом роботи матриці, обробки сигналів зображення, модуля інтерфейсу і інших схемних елементів, що забезпечують роботу перетворювача.

В укрупненому вигляді ця структура показана на рис. 2.13 [2]. Таке об'єднання дозволяє не тільки поліпшити характеристики системи, але і реалізувати побудову практично всій достатньо складної ТВС у складі одного чипа.



Рис. 2.13 – Структурна схема КМОН-перетворювача

Достоїнством ТВ ФЕП, виконаного на базі КМОН-технології є можливість формування каскадів підсилення відеосигналу на кожному сенсори матриці елементів зображення. Це приводить до зниження впливу на якість зображення перешкод, що виникають в процесі подальшої об-

робки сигналів зображення. Світлочутливі елементи з інтегрованими активними підсилювачами сигналу називаються сенсорами з активними елементами – Active Pixel Sensor (APS). Сенсори типу APS включають 3 і більш транзисторів на кожний світлочутливий елемент. Застосовують і інші структури, наприклад, в схемі «сенсор з активним стовпцем» використовують по одному транзисторному каскаду посилення на кожному світлочутливому елементі і загальний каскад посилення в кожному стовпці матриці. Вхідний каскад підсилювача, виконаний на МОН-транзисторі, вбудований безпосередньо в APS. Це забезпечує мінімізацію вхідної ємності, отже, збільшення вхідного сигналу зображення на вході першого каскаду посилення.

В модулях комутації (зчитування) зберігаються адреси рядків і адреси стовпців, а також формуються цифрові сигнали, які реалізують задані траєкторії розкладання.

*Сигнальний процесор* здійснює обробку аналогових (включаючи АЦП) і цифрових сигналів зображення. Він забезпечує різні режими роботи матриці і окремих її елементів:

- масштабованість на великих площах;
- швидке і кероване накопичення Limited Exposure Technology – LED (загальне, індивідуальне для групи або кожного елемента матриці);
- адаптивне управління розміром «ефективного елемента» зображення (ефективна апертура);
- кероване зчитування;
- реалізацію інтерфейсів і ін., що широко використовуються.

Формований на виході сигнал зображення –  $S_{\text{вих}}$  має, як правило, цифрову форму.

Більш детальна структура фотоперетворювача на основі КМОН – технології, виконаної у вигляді однокристалної ВІС, показана на рис. 2.14.

Дана ВІС містить матрицю світлочутливих сенсорів (фотодіодних), електронних ключів, синхрогенератора і генераторів вертикальної (ГВР) і горизонтальної розгортки (ГГР). При проектуванні за допомогою об'єктиву світлового потоку на матрицю світлочутливих сенсорів, в кожному сенсорі під впливом фотонів утворюються електронні заряди, кількість яких пропорційна освітленості ФД і часу накопичення зарядів. В результаті на матриці ФД утворюється потенційний рельєф. Ключі КГ по черзі підключають горизонтальні ряди ФД до вертикальних шин. Ключі КВ по черзі підключають вертикальні шини до вихідної шини, далі пакети зарядів поступають на вихідний пристрій (ВП), який перетворить заряди у вихідний відеосигнал (ВС). Для виключення впливу ємності вертикального регістра використовуються підсилювачі для кожного фоточутливого елемента (ФД), що отримав назву фоточутливої матриці на КМОН транзисторах (ФМКМОН) з активним сенсором (Active Pixel Sensor). В результаті ємність ФД і ємність вертикальної шини виявилися

розділеними підсилювачем. Застосування активного підсилювача (до комутаційного посилення) дозволяє добитися еквівалентного коефіцієнта перетворення на порядок більшого, ніж у ПЗЗ, що позитивно позначається на шумових характеристиках фотоприймача. Це в корені вирішує проблему чутливості і відношення сигнал/шум.

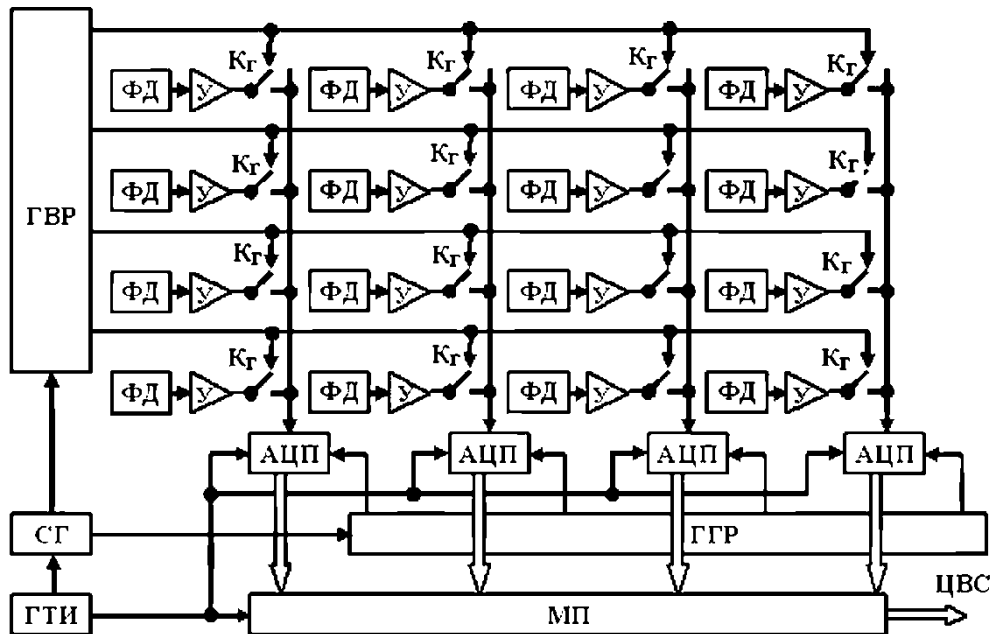


Рис. 2.14 – Структура КМОН – перетворювача зображення

З урахуванням підсилювача коефіцієнт перетворення «заряду» в напругу виявляється не нижче, а навіть вище, ніж у фотоприймачах на ПЗЗ.

Інша важлива відмінність КМОН сенсорів зв'язана з тим, що КМОН технологія дозволяє інтегрувати різні вузли телевізійної камери на той же кристал і дає розробнику можливість використання дуже великого числа польових транзисторів для реалізації тих або інших вузлів, тобто зробити ТВ камеру повністю на одному кристалі. Це істотно підвищує надійність роботи ТВ камери і різко знижує її вартість. У відмінності від ПЗЗ технології, відмінної багаторівневим управлінням, для живлення ФМПЗЗ потрібне декілька різних напруг живлення, КМОН технологія дозволяє обходитися однією напругою живлення, порядку 1,5 – 3,0 В, що є великою гідністю цих ВІС.

Використовування в кожному фоточутливому осередку додаткових транзисторів зменшує площу світлочутливої області, але використання освоєною ПЗЗ технологією мікролінз, дозволяє компенсувати цей недолік. Тенденцією розвитку сучасної техніки, у тому числі і телевізійної, це повний перехід на цифрову техніку, формування і обробки сигналів.. Відповідно до цієї вимоги часу виробники телевізійної техніки прагнуть



виробляти і ТВ камери на цифровій схемотехніці, з максимально можливим ступенем інтеграції. Сформований ФМКМОН аналоговий сигнал подається на розміщеному на цьому ж кристалі ВІС АЦП. Частота дискретизації, стандартна для ТВ сигналу, рівна 13,5 МГц. Цифровий потік з виходу 10-ти розрядного АЦП відповідно рівний 135 Мбіт. При такій високій частоті елементи АЦП споживають відносно велику потужність, що розігріває кристал і приводить до зростання шумів. Тому АЦП ставлять на кожний стовпець. Це дозволяє понизити частоту перетворення кожного з АЦП в число раз, рівне числу стовпців у фоточутливій секції, а також у відповідне число раз зменшити смугу частот відеосигналу і, отже, істотно понизити розсіювану АЦП потужність. Цифрові потоки з кожною АЦП подаються на мультиплексор, який формує загальний цифровий потік.

Перевагами КМОН- перетворювачів являються:

- можливість управління траєкторією зчитування і частотою кадрів (починаючи від 15 до 500 кадрів/с при збереженні повного розрізнення);

- відсутність змащення;

- добре блюмінгове придушення;

- проста реалізація інтерфейсу з безпосереднім виходом на шину USB, що використовується в персональних комп'ютерах;

- використання одного джерела живлення для всього чипа;

- низьку потужність споживання;

- малі масу і габарити;

- високу технологічність і низьку вартість.

Здатність об'єднувати багато функціональних елементів достатньо складної телевізійної камери на одному чипі розглядається як головна перевага КМОН- перетворювачів в порівнянні з перетворювачами зображення на базі ПЗЗ.

До числа головних недоліків ФЕП, що розглядається, відносять неоднакову чутливість і темновий струм по масиву світлочувливих елементів, помітне зменшення світлочувливої поверхні поля зображення за рахунок використання частини площі матриці елементами посилення і комутації сигналів. Це приводить до зменшення чутливості матриці і формування в сигналі зображення структурних завад. КМОН- перетворювачі використовуються у сучасних відеокамерах.

## **Висновки**

На цій лекції були розглянуті основні поняття й визначення ТВ ФЕП та їх характеристики. Принцип роботи ФЕП при використанні конструкцій діелектричної або фотопровідної мішені забезпечує накопичування світлової енергії у формі потенційного рельєфу, просторовий розподіл котрого відповідає зображенню, яке передається під час передачі кадру

зображення, що забезпечується суттєве підвищення чутливості ПТТ їх високі показники з мінімальну інерційність й лінійність світлової характеристики, що зробило їх найбільш придатними вітчизняними приладами для телевізійних камер у минулому часі. Однак, робота ТВ ФЕП на основі електронно-променевої ПТТ сполучена з високими напругами і достатньо великими енергетичними витратами, та не відповідає сучасним вимогам з мікромініатюризації ТВ передавальної апаратури при великих габаритах ПТТ й складної системі керування електронним променем.

В основі ПЗЗ лежать властивості МОН-структури здатної збирати, накопичувати й зберігати зарядові пакети неосновних носіїв у локалізованих потенційних ямах, що утворюються в поверхні напівпровідника під дією електричного поля. Зарядові пакети виникають під дією світлового випромінювання, а переносяться вони шляхом керованого переміщення потенційних ям у необхідному напрямку, тобто ПЗЗ працює як аналоговий зсувний реєстр, що має здатність збирати, накопичувати й зберігати зарядову інформацію.

Основним достоїнством ПЗЗ є принцип послідовного переносу зарядової інформації від окремих елементів матриці (пікселів) до єдиного вихідного пристрою, що перетворює зарядові пакети в сигнал зображення.

Поліпшенню роздільної здатності ПЗЗ, за рахунок збільшення числа елементів матриці заважають технологічні труднощі, а також погіршення параметрів сигналу зображення, пов'язане з неефективністю переносу зображення. При збільшенні числа елементів матриці зменшується активна площа ділянок накопичення зарядів та починає значно виявлятися неповне використання світлового потоку, тому що фотоеlementи займають не всю площину матриці і, відповідно, фотони, які попадають на екрановані від світла вертикальні ПЗЗ- реєстри, не беруть участь в створенні зарядів. Остання обставина призводить до суттєвого зниження чутливості ФЕП в цілому. Для підвищення чутливості матричних ПЗЗ на поверхню кристала наносять мікролінзи, які розташовані над фоточутливими ділянками, збирають на них практично увесь світловий потік, що падає на ПЗЗ, в тому числі і на нечутливі до світла вертикальні ПЗЗ- реєстри.

Достоїнством ТВ ФЕП, виконаного на базі КМОН- технології є можливість формування каскадів підсилення відеосигналу на кожному сенсорі матриці елементів зображення. Це приводить до зниження впливу на якість зображення перешкод, що виникають в процесі подальшої обробки сигналів зображення

Здатність КМОН- перетворювачів зображення об'єднувати на одному чипі в кристалі безпосередньо матриці світлочутливих елементів (фотодіодів), модулів комутації елементів з координатною адресацією і управління режимом роботи матриці, обробки сигналів зображення, модуля інтерфейсу і інших схемних елементів, що забезпечують роботу перетворювача розглядається як головна перевага КМОН- перетворювачів в порівнянні з ТВ ФЕП на базі ПЗЗ.

## ЛЕКЦІЯ 3. ВІДЕО ПІДСИЛЮВАЛЬНИЙ ТРАКТ ТВ-СИСТЕМИ

### План

#### Вступ

- 3.1. Узагальнена функціональна схема відеопідсилювального тракту.
- 3.2. Види та методи коригування телевізійного зображення.
- 3.3. Відновлення постійної складової сигналу телевізійного зображення.

#### Висновки

### Література

#### основна

1. Телевидение: Учебник для вузов / В. Гг. Джакония, А. А. Гоголь, Я. В. Друзин и др.; Под ред. В. В. Джаконии. 4-е изд., стереотип. -М.: Горячая линия - Телеком, 2007. - 616 с: ил.
2. Кубата В.Г. Спеціалізовані електронні системи АТЗ: навчальний посібник / В.Г. Кубата, С.В. Лубенец, В.Я. Фролов. – Х.: ХНАДУ, 2011. – 272 с.
3. Основи ТБ: навчальний посібник. Коржов А.М., Роденко С.М., Красношапка І.В., Максюта Д.В., Садовий К.В., Рибалка Г.В. Х.: ХУПС, 2007.

#### допоміжна

4. ДСТУ 3807-98 ТБ. Терміни і визначення.
5. ДСТУ 3787-98 ТБ мовне. Якість телевізійного зображення. Методи суб'єктивного оцінювання.
6. ДСТУ 3837-99 ТБ мовне. Системи аналогового ТБ звичайної чіткості. Основні параметри та методи вимірювань.

#### Вступ

*Відеопідсилювальний тракт (ВПТ)* – це сукупність підсилювальних, формуючих та коректуючих каскадів, що приймають участь у передачі відеосигналів від ФЕП до кінескопу.

ВПТ передаючої частини телевізійної системи призначений для попереднього підсилення слабких сигналів, що надходять від фотоелектричних перетворювачів, та їх аналогової обробки, що полягає у формуванні динамічного діапазону і частотного спектра відеосигналу.

Процес перетворення оптичного зображення на передаючому боці в електричні сигнали, їх підсилення, передача та зворотне перетворення в оптичне зображення на приймальному боці супроводжується спотвореннями. Тому відеоканал будують таким чином, щоб звести їх до мінімуму. Це досягається раціональним побудуванням елементів каналу, а також корекцією спотворень.

*Спотворення* - зміна зображення спричинена недосконалістю ТВ-тракту [4].

*Нелінійні спотворення (зображення)* - координатні спотворення, що виявляються у змінненні нормованого розміру об'єкта передавання в разі його переміщення вздовж чи поперек рядків і спричиняються непостійністю швидкості розгортки [4].

*Геометричні спотворення* - координатні спотворення, що виявляються у викривленні вертикальних і горизонтальних прямих і порушенні прямокутності телевізійного растра [4].

*Координатні спотворення* - відхилення координат точок синтезованого ТВ- зображення від координат відповідних точок аналізованого зображення об'єкту [4].

*Лінійні спотворення* - спотворення форми ТВ-сигналу, спричинені спотвореннями АЧХ, ФЧХ телевізійного тракту [4].

*Нелінійні спотворення ТВ-сигналу* - спотворення телевізійного сигналу, спричинені нелінійністю характеристики передавання ТВ- тракту [4].

*Напівтонові спотворення; градаційні спотворення* - відхилення градаційної характеристики передавання напівтонів від розрахункової [4].

*Градаційна характеристика* - залежність яскравості телевізійного зображення чи рівня сигналу від яскравості зовнішнього об'єкту чи рівня вхідного сигналу яскравості [4].

*Показник гамма* - середня крутість градаційної характеристики, зображеної в логарифмічному масштабі по осях абсцис і ординат [4].

*Апертурні спотворення* - спотворення, спричинені скінченними розмірами розгортувального елемента й недосконалістю оптичних пристроїв, що створюють ефект зменшення високочастотних складників відео-сигналу [4].

*Повторне зображення; (повтор)* - наявність двох чи більше зображень (зміщених у горизонтальному напрямку), спричинена луна-сигналами [4].

*Луна-сигнали; відбиті сигнали; повторні сигнали; хибні сигнали* - складники відеосигналу, що виникають у ньому внаслідок відбиття в ТВ-тракті [4].

*Обконтурювання* - підкреслення контурів ТВ-зображення [4].

*Спотворення ТВ-сигналу в області малих [середніх, великих] часів* - спотворення ТВ-зображення, прояв яких помітний в інтервалі часу, значно меншого за період рядків [сумірного з періодом рядків, сумірного з періодом кадрів чи більшого періоду кадрів [4].

### **3.1 Узагальнена функціональна схема відеопідсилювального тракту**

Принципи передачі зображення визначають й особливості телевізійного сигналу. Зокрема, у формі сигналу укладена інформація про яскравість деталей об'єкта. Спектр цього сигналу займає порівняно широку смугу частот. Тому для посилення ПВС використовуються широкосмугові резисторні підсилювачі, що незначно спотворюють його форму.

Особливістю телевізійного сигналу є і його уніполярність - відповідно до яскравості зображення, тобто наявність "постійної" складової, яка пропорційна середній яскравості зображення. Ця складова передається по каналу зв'язку спеціальним методом - за допомогою фіксації рівня чорного.

Телевізійне зображення відрізняється від оригіналу через перекручування, що виникають у фотоелектричних перетворювачах і каналі зв'язку. Припустимі перекручування оцінюються по їхній помітності на екрані приймача. Як правило, більшість перекручувань, у тому числі й виникаючих у приймачі, коректуються на телевізійному центрі. Це істотно спрощує приймач.

В мовному ТБ з метою спрощення телевізійних приймачів усі види корекцій сигналу виконуються на передаючому боці (на телецентрі). У спеціальних телевізійних системах для спрощення передаючої апаратури більшість процедур виконується у приймальній апаратурі.

У відеопідсилювальному тракті виконується протишумова корекція і корекція частотних спотворень вхідного кола, компенсація апертурних та нелінійних (напівтонових) спотворень зображення.

Узагальнена схема відеопідсилювального тракту передаючої частини телевізійної системи має вигляд, наведений на рис. 3.1.

Попередній відеопідсилювач (ПВП) розташовується безпосередньо поруч з передаючою трубкою і забезпечує попереднє підсилення вихідного сигналу яскравості від сотих часток вольт до декількох десятків часток вольт. З попереднього відеопідсилювача вихідний сигнал яскравості потрапляє у канал, до складу якого входять проміжний відеопідсилювач та підсилювачі коректування, які коректують згасання та усі види спотворень сигналу.

Призначення ПВП - посилення цих сигналів з можливо меншим збільшенням флуктуаційних завад. Для цього у ПВП здійснюється протишумова корекція.

У камерному каналі виконуються наступні основні операції:

- сигнал яскравості підсилюється,
- вводяться сигнали компенсації нерівномірності фону растра ПТТ (ПЗС),
- коректуються апертурні, напівтонові й колірні перекручування зображення,
- вводяться сигнали гасіння зворотних ходів і сигнали синхронізації розгортки приймача, а також обмежується їхній рівень,
- обмежуються викиди сигналів, що перевищують номінальний рівень білого для запобігання перевантажень наступних каскадів тракту.

У проміжному підсилювачі вводиться сигнал гасіння – суміш гасівних імпульсів рядків та полів.

У лінійному відеопідсилювачі вводиться сигнал синхронізації, здійснюється стабілізація розмаху сигналу за допомогою автоматичного ре-

гулювання підсилення (АРП), фіксується рівень гасівних імпульсів. У лінійному підсилювачі завершується формування повного відеосигналу.

Сталість положення рівнів сигналів відносно робочих точок на характеристиках активних елементів тракту забезпечується фіксацією рівня чорного.

Всі ПВС від джерел, що беруть участь у створенні ТВ програми, надходять на відеомікшер.

*Відеомікшер* - пристрій для змішування відеосигналів кількох телевізійних давачів з метою формування комбінованого зображення [4]. У відеомікшері можна комутувати сигнали від декількох камер, для цього сигнал, обраний режисером для певного фрагмента програми, підключається плавно або стрибком на вихід мікшера й по кабелі подається в центральну апаратну АЦ телевізійного центра.

Для уніфікації встаткування на входах і виходах всіх блоків обрана позитивна полярність ТВ сигналу, номінальне значення вхідних і вихідних опорів становить 75 Ом відповідно до хвильового опору коаксіального кабелю.

Вимоги до відеопідсилювального тракту наступні.

1. Мінімум власних шумів.
2. Амплітудно-частотна характеристика тракту повинна забезпечити неспотворену передачу усього спектра сигналу.
3. Амплітудна характеристика повинна забезпечити необхідний динамічний діапазон і передачу градацій яскравості.

Реалізація цих вимог досягається за допомогою корекцій.

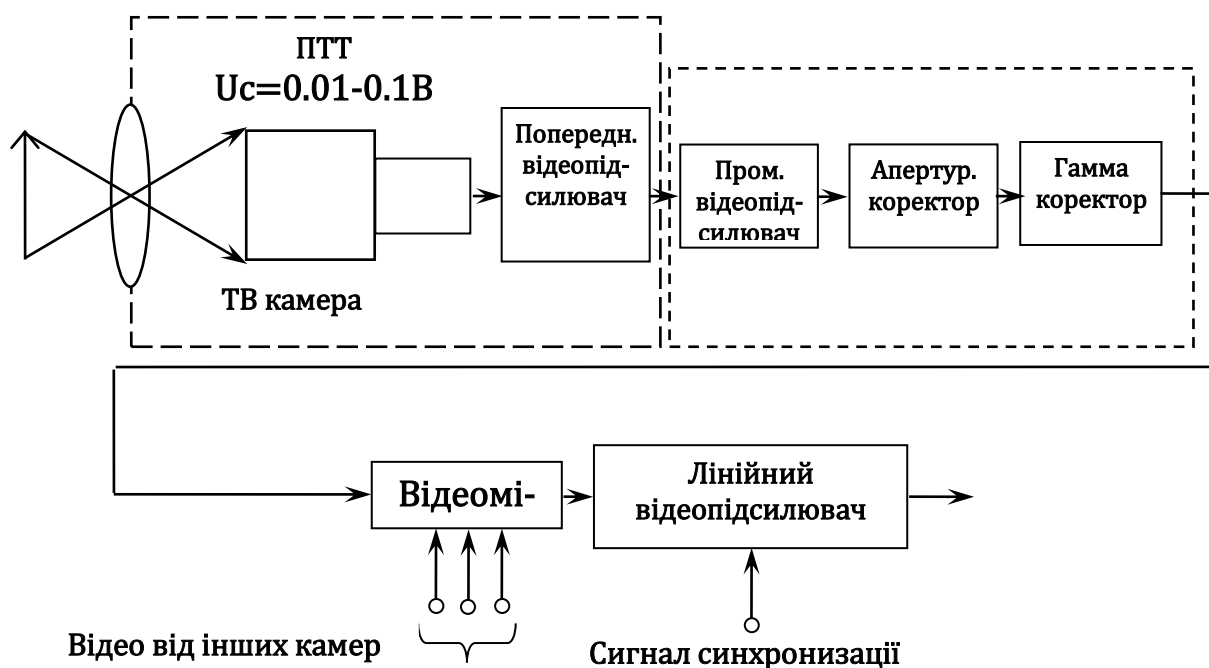


Рис. 3.1 – Узагальнена схема відеопідсилювального тракту передаючої частини телевізійної системи

Крім перерахованих елементів відеопідсилювальні тракти ТЦ містять численні додаткові пристрої, наприклад, підсилювачі-розподільники сигналів, комутатори, шумозаглушники, блоки відеоефектів й ін. Деякі операції (шумозаглушення, відеоефекти, перетворення стандартів, корекція перекручувань) можуть виконуватися із ТВ сигналами в цифровій формі. Це значно розширює можливості й поліпшує якість зображення в основному за рахунок використання пристроїв з більшим обсягом пам'яті, у якій запам'ятовуються значення ТВ сигналу за один або кілька кадрів. Деяке ускладнення встаткування через використання в цих пристроях аналого-цифрових і цифро-аналогових перетворювачів телевізійного сигналу, як правило, буває виправданим.

### 3.2 Види та методи коригування телевізійного зображення

Спочатку розглянемо протишумове та частотне коригування.

*Протишумове коригування* - формування телевізійного сигналу, за якого зменшується його зашумленість [4].

*Шумознедіювання* - зменшування рівня шумів у телевізійному сигналі [4].

*Шумознедіювач* - пристрій, для покращення відношення сигнал/ шум [4].

У підсилювальному тракті ТВ систем приймається ряд мір для зменшення зашумленості ТВ сигналу й зниження помітності завад на зображенні. Зокрема, рівень адитивних низькочастотних завад зменшується за допомогою фіксуючих кіл, а рівень флуктуаційних завад - за допомогою раціонального конструювання вхідних каскадів тракту, протишумової корекції й шумоглушників. Важливість цих заходів визначається прагненням підвищити чутливість ТВ-систем з обліком того, що передача сигналу й корекція його будь-яких перекручувань, як правило, супроводжується збільшенням рівня шумів.

Відношення сигнал-завада на виході будь-якого багатокаскадного пристрою, його чутливість визначаються шумовими властивостями його перших каскадів.

Розглянемо вхідне коло попереднього відеопідсилювача ТВ-системи (рис. 3.2), у якому зосереджені основні джерела шумів, що визначають чутливість системи: ТВ ФЕП, його навантаження та попередній підсилювач.

Опір  $R_n$  шунтується паразитною ємністю:

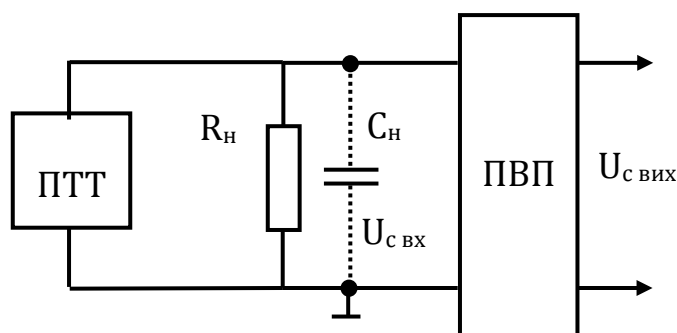


Рис. 3.2 – Спрощена принципова схема вхідного кола ПВП ТВ-системи

$$C_n = C_{\text{вихФП}} + C_{\text{вх.ПП}} + C_m \approx 20-40 \text{ пФ.}$$

3.3. Еквівалентна схема цього кола буде мати вигляд, наведений на рис.

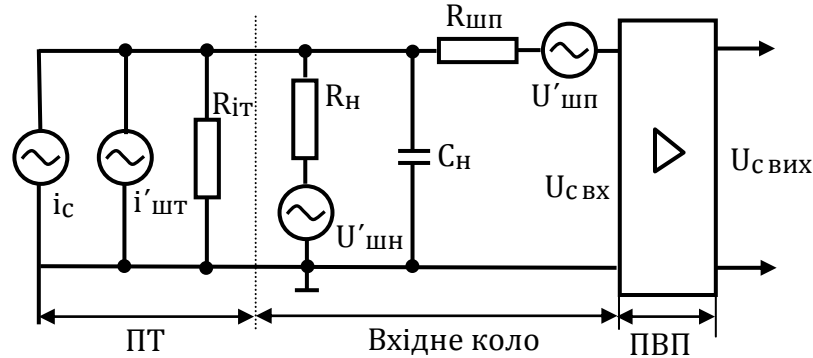


Рис. 3.3 – Еквівалентна схема вхідного кола ПВП ТВ-системи

Навантаження ТВ ФЕП (вхідне коло попереднього відеопідсилювача) має комплексний характер:

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R_n} + j\omega C_n,$$

тоді  $Z = \frac{R_n(1 - j\omega C_n R_n)}{1 + \omega^2 C_n^2 R_n^2}$ ; - повний опір навантаження;

$\text{Re}(Z) = \frac{R_n}{1 + \omega^2 C_n^2 R_n^2}$  – активна складова повного опору навантаження.

На еквівалентній схемі введені такі позначення:

$i_c$  – струм сигналу від ТВ ФЕП;

$i_{ш}$  – струм шуму від ТВ ФЕП;

$R_i \approx 10^6 \text{ Ом}$  – внутрішній опір генератора струму  $i_c$ .

Оскільки  $R_i \gg R_n$ , то на навантаженні в результаті дії фотоперетворювача виникають напруга сигналу  $U_c = i_c |Z|$  і напруга шуму  $U_{ш \text{ ФП}} = i_{ш} |Z|$ . Протишумова корекція передбачає поліпшення шумових характеристик на вході попереднього підсилювача. ТВ ФЕП навантажений на попередній підсилювач, який має вхідний опір  $R_n$  і  $C_n \approx 20-40 \text{ пФ}$ , при цьому на  $R_n$  діють власні теплові шуми.

Флуктуаційні завади в основному "засмічують" ТВ сигнал на ділянках тракту з малим розмахом сигналу в передавальних трубках, у вхідних колах попередніх відеопідсилювачів, у лініях зв'язку, на вході приймачів.

У вхідному колі попереднього підсилювача є, принаймні, два некорельованих джерела флуктуаційних завад (рис. 3,3):



а) теплові флуктуації в опорі навантаження трубки  $R_n$  при  $f_b \gg f_n$  рівні

$$\bar{U}'_{шн} = \sqrt{\int_{f_n}^{f_b} S_{шн} df} \approx \sqrt{4kTR_n f_b} \quad (3.1)$$

б) дробові флуктуації в активних елементах підсилювальних каскадів  $U'_{шп}$ , вони можуть бути оцінені як еквівалентні теплові (перелічені на вхід підсилювача) у відповідному опорі шумів

$$R_{шн} = R_{ш1} + \frac{R_{ш2}}{K_1^2} + \frac{R_{ш3}}{K_1^2 K_2^2} + \dots, \quad (3.2)$$

де  $R_{ш1}, R_{ш2}, \dots, K_1, K_2, \dots$  - еквівалентні опори шумів і коефіцієнти підсилення першого, другого й наступного каскадів ПВП.

Відношення сигнал-шум на вході попереднього підсилювача має вигляд

$$\frac{U_c}{U_{ш}} = \frac{U_c}{\sqrt{U_{шп}^2 + U_{шт}^2}}, \quad (3.3)$$

де  $U_{шт}$  – теплові шуми  $R_n$ , які визначаються виразом Найквіста:

$U_{шп}$  - підсилені дробові шуми ТВ ФЕП.

Якщо підсилені шуми ТВ ФЕП значно перевищують теплові шуми навантаження та шуми підсилювального тракту, то протишумова корекція не має сенсу (наприклад, ТВ ФЕП з післякомутаційним підсиленням – суперортрон).

Якщо шуми ТВ ФЕП одного порядку з шумами навантаження (відікон), то можна підвищити величину сигнал-шум на вході підсилювача за рахунок лінійної фільтрації у входньому колі на основі раціонального вибору величини  $R_n$ , тому що  $U_c$  лінійно зростає з підвищенням  $R_n$ , а  $U_{шт}$  пропорційна  $\sqrt{R_n}$ . Ця пропозиція Г.В.Брауде має назву простої протишумової корекції.

Однак, щоб не порушувалась робота ТВ ФЕП як генератора струму, повинна виконуватись умова  $R_i \gg R_n$ .

Практично,  $R_n$  прагне до 200 кОм, при цьому  $c/ш \approx 150$ . Але збільшення  $R_n$  супроводжується частотними спотвореннями відеосигналу, оскільки АЧХ навантажувального кола має вигляд

$$K(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 C_n^2 R_n^2}}. \quad (3.4)$$

Таке зменшення ВЧ складових сигналу компенсується у наступному каскаді попереднього підсилювача – у коректорі частотних спотворень вхідного кола, АЧХ якого має вигляд

$$K_{кор} = \sqrt{1 + \omega^2 C_n^2 R_n^2}. \quad (3.5)$$

Відповідні АЧХ зображені на рис. 3.4.

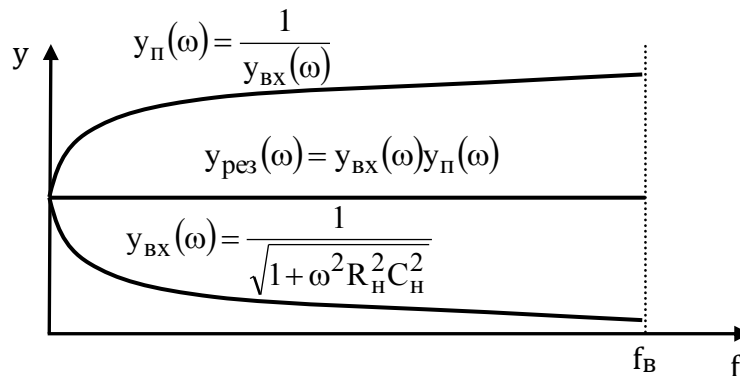


Рис. 3.4 – АЧХ вхідного кола  $y_{вх}(\omega)$ , підсилювача  $y_{п}(\omega)$  і результуюча коректора частотних спотворень  $y_{рез}(\omega)$

Відповідні генератори еквівалентних шумів показані на рис 2 б. Там же показана й паразитна ємність  $C_n = C_T + C_M + C_{вх}$ , яка шунтує опір навантаження трубки  $R_n$  ( $C_T$  - вихідна ємність трубки,  $C_M$  - ємність монтажу,  $C_{вх}$  - вхідна ємність підсилювального каскаду).

Паразитна ємність  $C_n$  ( $\approx 20 \dots 40$  пФ) й опір навантаження  $R_n$  утворюють для сигналу зображення, шумів трубки  $i'_{шт}$  і шумів навантаження  $U'_{шн}$  (крім шумів підсилювача  $U'_{шу}$ ) інтегруюче коло - ФНЧ з постійною часу  $R_n C_n$  і коефіцієнтом передачі

$$Y_{вх}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 R_n^2 C_n^2}}. \quad (3.6)$$

Це коло дуже впливає на параметри сигналів, форму частотної характеристики попереднього підсилювача й, головне, на величину відношення сигнал/завада й характер спектрального розподілу щільності потужності шумів на виході ПВП.

З'ясуємо, як можна підвищити відношення сигнал/завада ПВП.

Розглянемо випадок, коли вхідне коло - ФНЧ - вносить незначні (припустимі) частотні перекоєчування, навіть на верхній граничній частоті смуги пропускання  $f_{в}$ , тобто коли

$$Y_{\text{вх доп}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega_B^2 R_H^2 C_H^2}} = 0,95 \dots 0,98 \quad (3.7)$$

Якщо відомо значення  $C_H$ , то ця умова буде дотримуватися при

$$R_{H \text{ доп}} \leq \frac{\sqrt{1 - Y_{\text{вх доп}}^2}}{Y_{\text{вх доп}} \omega_B C_H}. \quad (3.8)$$

У даному окремому випадку відношення сигнал/завада на виході підсилювача буде таким же, тому що частотні характеристики вхідного кола й ПВП практично рівномірні, і напруги сигналу й всіх флуктуацій збільшуються однаково на всіх частотах смуги пропускання ПВП. Тому й характер спектрального розподілу потужності шумів для всіх джерел завад залишається тим же - білий шум.

Для підвищення відношення сигнал/завада ПВП, необхідно:

а) збільшити розмах вхідного сигналу  $U_{\text{с вх}}$  за рахунок збільшення струму сигналу передавальної трубки  $i_c$ ,

б) збільшити розмах вхідного сигналу за рахунок збільшення опору навантаження трубки  $R_H$  - *просте протишумове коригування Брауде*. При цьому шуми навантаження теж ростуть, але збільшення сигналу для розглянутого часткового випадку в  $\sqrt{R_H}$  раз "випереджає" ріст цих завад,

в) додатково з простою протишумовою корекцією збільшити розмах окремих частотних складових вхідного сигналу за рахунок включення контуру у вхідному колі (рис. 3.5), настроєного на одну із проміжних частот спектра  $f_p$  - *складне протишумове коригування*,

г) зменшити рівень шумів активних елементів вхідних каскадів ПВП за рахунок їхнього раціонального конструювання, а в особливих випадках і за допомогою *охолодження вхідного кола й підсилювача*.

Перший із зазначених способів реалізується за рахунок збільшення освітленості переданого зображення й, отже, пов'язаний з більшими енергетичними витратами, а в ряді випадків (наприклад, при передачі з натурних сценічних площадок) і нездійснений. Тому роль інших методів досить велика.

Шуми підсилювача при простій протишумовій корекції визначаються в основному флуктуаціями в активних елементах першого каскаду підсилювача й мають трикутний спектральний розподіл. Тому аналіз зашумленості ТВ сигналу у ПВП в порівнянні із внеском інших ділянок тракту передачі сигналу (у тому числі передавальної трубки й вхідного кола) повинен проводитися по величині відношення сигнал/зважена завада.

За допомогою простої протишумової корекції вдається значно - в 20...30 разів (на 25...30 дБ) підвищити відношення сигнал/зважена завада. Це й визначає її широке використання в попередніх відеопідсилювачах. За допомогою складної корекції можна додатково підвищити відношення сигнал/зважена завада лише в 1,5 рази (на 3,5 дБ), крім того, через наявність індуктивності у входному колі й різного паразитних зв'язку зменшується стійкість роботи підсилювача.

Ці причини, а також складність корекції АЧХ входного кола у ПВП, тобто забезпечення рівномірної частотної характеристики "вхідне коло - підсилювач" (рис 3.5В), обмежують використання складної корекції.

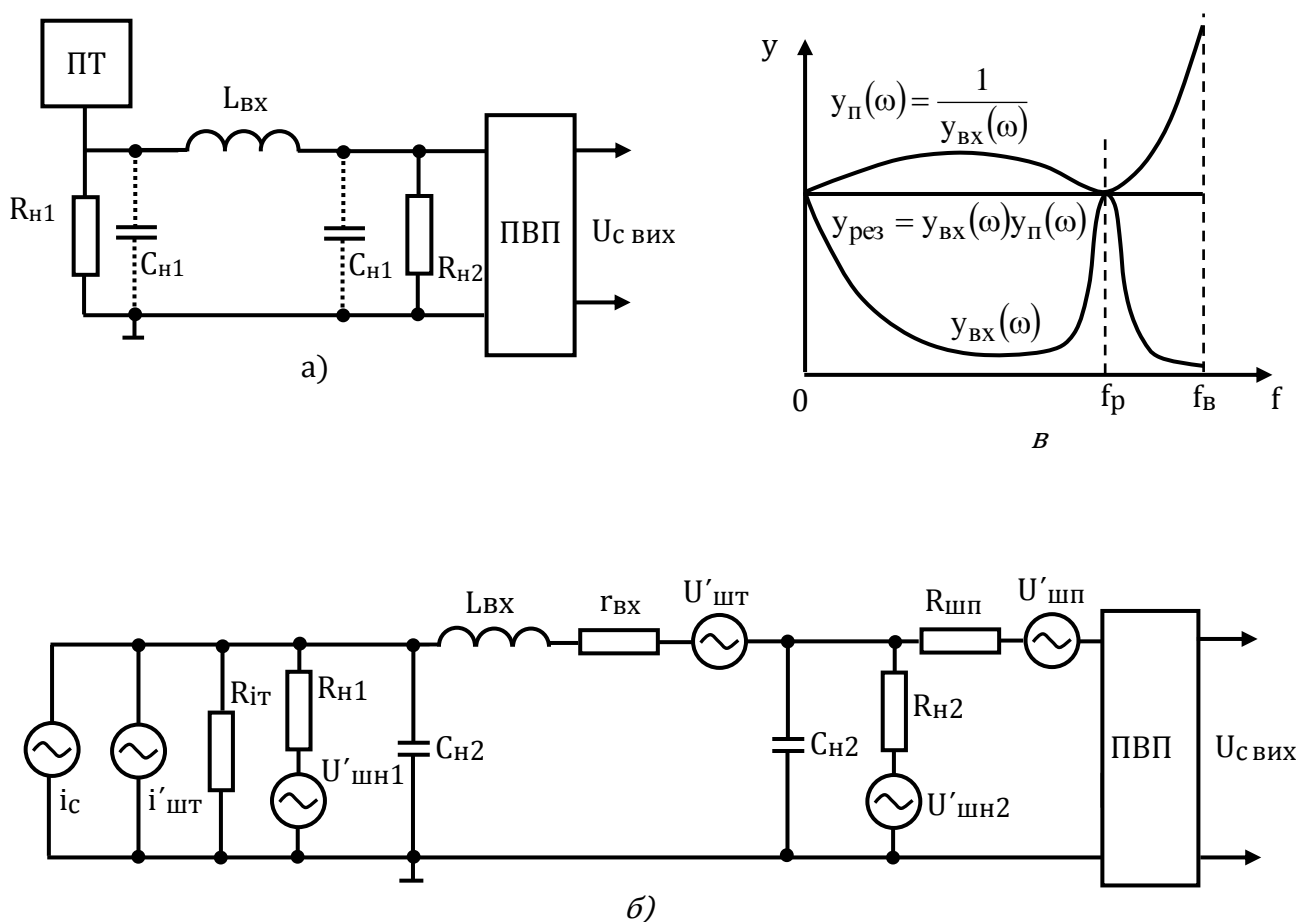


Рис. 3.5 – хідне коло попереднього підсилювача зі складною протишумовою корекцією: а - спрощена принципова схема, б - еквівалентна схема, в - АЧХ входного кола  $Y_{вх}(\omega)$ , підсилювача  $Y_{п}(\omega)$  і результуюча  $Y_{рез}(\omega)$

Відношення "сигнал/зважена завада" можна підвищити також за допомогою раціонального конструювання входних каскадів підсилювача, в основному за рахунок зменшення параметрів  $C_{н}$  й  $R_{шп}$ , тобто добутку  $C_{н}R_{шп}$ .

Як вхідні каскади попередніх підсилювачів звичайно використовуються реостатні каскади на польових транзисторах з великим вхідним опором, каскади зі стоковим виходом, істоковий повторювач і каскадні схеми.

Варіанти таких каскадів наведені на рис. 3.6, а, 3.6, б.

В схемі, наведеній на рис.3.6, а, роль частотнозалежної ланки виконують елементи  $C_1R_1C_2R_2$ . Зі збільшенням  $\omega$  опір плеча  $C_1R_1$  зменшується і коефіцієнт передачі подільника збільшується. В схемі, наведеній на рис.3.6, б, корекція здійснюється за допомогою негативного зворотного зв'язку. На НЧ  $R_eC_e$  шунтовані слабо і є глибокий негативний зворотний зв'язок. На ВЧ ЗНЗ зменшується і з'являється підвищення АЧХ.

Крім простої, існує також складна протишумова корекція, що базується на застосуванні коригуючих резонансних кіл (запропонована також Г.В.Брауде).

У порівнянні із простою корекцією досягається вигравш у 2-2,5 рази, що пояснюється збільшенням підсилювальної смуги корисного сигналу на вході першого каскаду відеопідсилювача.

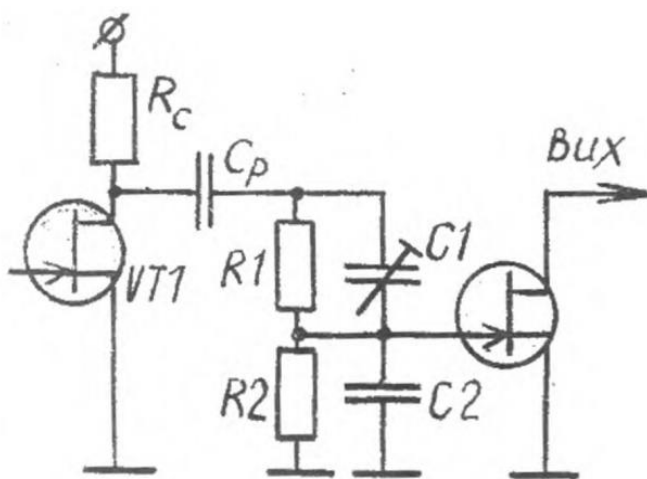


Рис. 3.6, а.

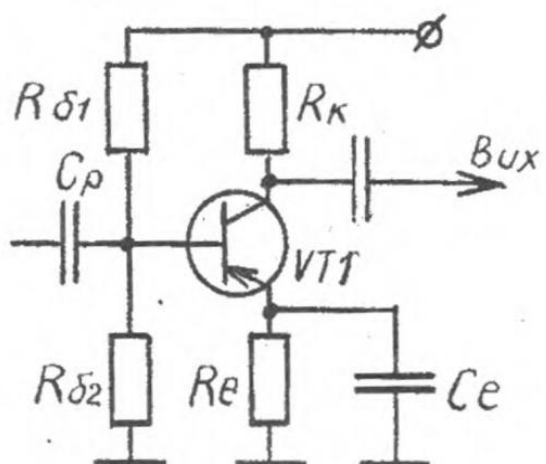


Рис. 3.6, б.

$$R_1 \gg R_2; C_1 \approx C_2; R_1 \rightarrow 10^5 \text{ Ом}; R_2 \approx 100 \text{ Ом}; R_2 \ll 1/\omega C_2^2.$$

**Апертурне коригування.** Апертурні перекручування зображення виникають у фотоелектричних перетворювачах через кінцеві розміри перетину (апертури) електронного променя й аберацій в оптичних й електронних системах. Ці перекручування приводять до зменшення розмаху високочастотних складових ТВ сигналу, тобто до збільшення тривалості фронту перехідної характеристики системи.

У результаті зменшується чіткість телевізійного зображення розмиваються різкі границі великих деталей і зменшується контраст дрібних деталей. На відміну від частотних перекручувань, що виникають у підсилювальних каскадах тракту, апертурні перекручування не супрово-

джуються фазочастотними перекручуваннями. Тому й методи корекції тут використовуються інші.

У сучасних ТВ системах апертурні перекручування в основному обумовлені перекручуваннями, що виникають у фотоелектричних перетворювачах "світ-сигнал". Розміри апертури електронного променя прийомних трубок з великими екранами невеликі в порівнянні з розмірами елемента зображення.

Діаметр апертури електронного променя  $d$ , навіть добре сфокусованого, "математичною крапкою" вважати не можна. Більше того, він навіть може перевищувати розміри деяких дрібних деталей зображення. Це приводить до апертурних перекручувань - розмиття різких границь (контурів) на зображенні (зменшенню різкості) і зменшенню розмаху сигналу від дрібних деталей (погіршенню чіткості). Останнє викликає зменшення контрасту в дрібних деталях, і при зменшенні його до порога розрізнення деталі взагалі не відтворюються на зображенні. Іншими словами, кінцеві розміри апертури обмежують розрізнявальну здатність системи, тобто чіткість і різкість ТВ зображення.

Поява апертурних перекручувань ілюструється рис 3.7, де а - об'єкт зі змінною детальністю ( $a = \text{var}$ ), який сканується розгортуючим елементом з кінцевою апертурою  $d$  ( $a_1 = d$ ), б - форма відеосигналу на виході перетворювача світ-сигнал; в - форма апертурної характеристики для різних передавальних ТВ трубок. Сигнал у кожен момент часу пропорційний середній яскравості в межах апертури діаметром  $d$ . Відносячи значення сигналу до положення її центра, легко побудувати залежність  $i_c(t)$  при проходженні границі розділу чорно-білих полів.

Різкому перепаду яскравості  $Y_{\min}$  й  $Y_{\max}$  відповідає сигнал із плавним переходом від значення  $i_{\min}$  до  $i_{\max}$  тривалістю  $\tau_{\text{вст}}$ . Якщо розміри деталей менше розгортуючого елемента, розмах сигналу зменшується. Якщо чергуються чорно-білі деталі з розміром, рівним половині (або менш) діаметра апертури, то сигнал пропорційний їхній середній яскравості. Тому деталі подібних розмірів не відтворюються. Це ілюструється рис 3.7б, на якому побудований сигнал зображення від смуг з яскравістю, що чергується,  $Y_{\min}$  й  $Y_{\max}$ .

Залежність глибини модуляції сигналу  $m = \Delta i$  (де  $\Delta i = i_{\max} - i_{\min}$ ) від розміру елемента (числа рядків розкладання  $z$ ) називається апертурно-імпульсною частотною характеристикою (рис 3.7в); у науково-технічній літературі широко використовується скорочена назва - апертурна характеристика.

Таким чином, внаслідок кінцевого розміру апертури електронного променя відеосигнал містить не тільки корисну інформацію про яскравість переданого в цей момент часу елемента зображення, але й паразитну складову від сусідніх елементів по горизонталі й вертикалі. Ці спотворення можливі і на приймальному боці через малі розміри кінескопу.

Апертурні спотворення проявляються в ослабленні амплітуди ВЧ складових сигналу. Внаслідок апертурних спотворень дрібні деталі будуть змазані при відтворенні, оскільки будуть передаватися малими приростами сигналу (рис. 3.7).

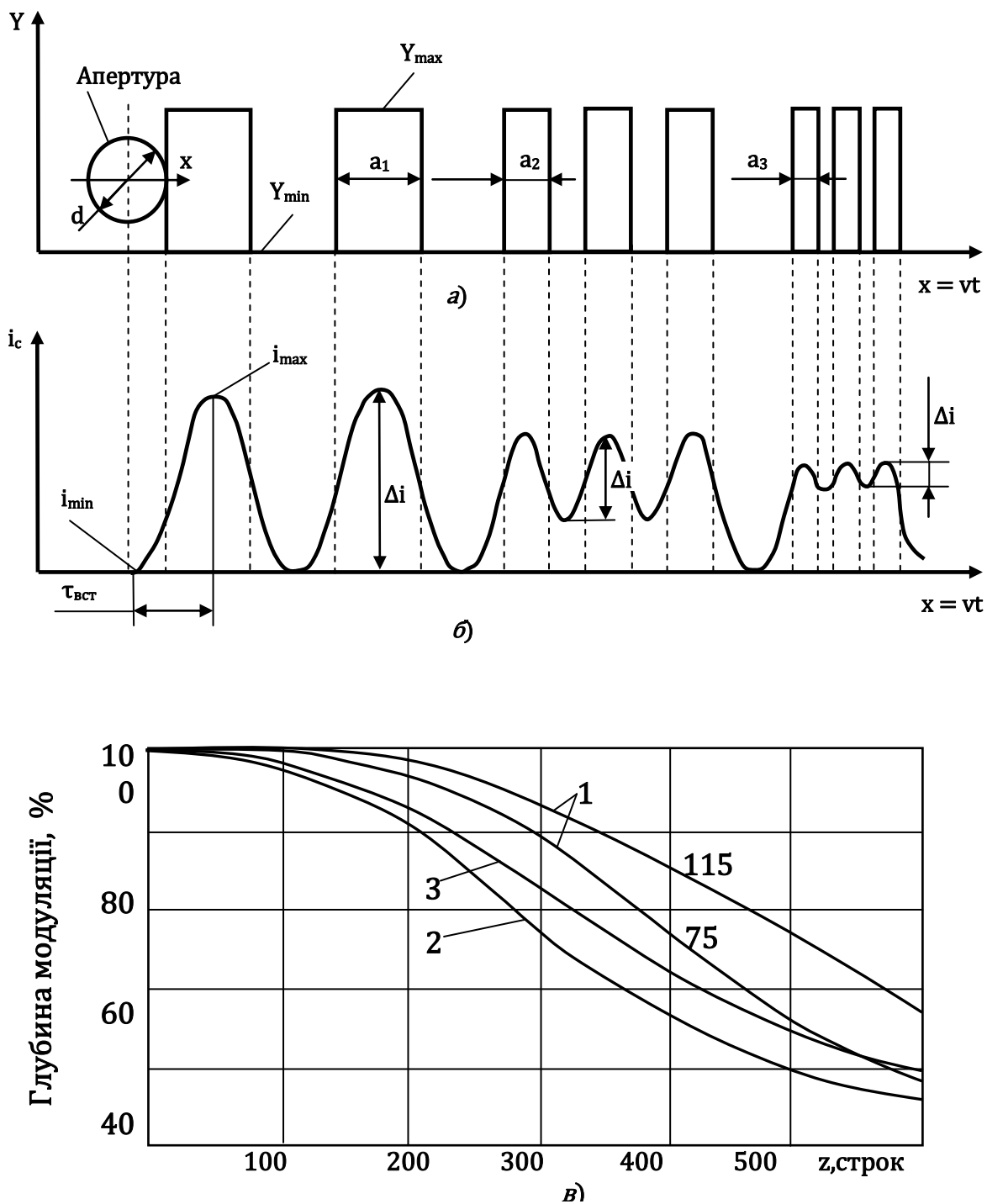


Рис. 3.7 – Апертурні спотворення відеосигналу:

*а* – об'єкт змінної структури, *б* – форма відеосигналу, *в* - апертурні характеристики суперортикона 1, відікона 2 і плюмбикона 3

Розглянемо *апертурне коригування* - коригування апертурних спотворень [4].

Апертурне коригування полягає у такій обробці сигналу, яка призводить до підвищення крутості фронтів сигналів, а для зору – до виділення контурів деталей зображення.

*Апертурний коректор; коректори чіткості* - пристрій для коригування чіткості ТВ-зображення [4].

Схем апертурних коректорів існує багато. Найбільш поширеними є диференційний, різницевий та косинусний апертурний коректори.

Диференційний апертурний коректор, запропонований у 1952 році Г.В. Брауде, базується на представленні передаточної функції коректора, зворотної апертурній характеристиці елемента, що аналізується (ФЕП), у вигляді степеневого ряду в операторній формі.

Апертурні перекручування оцінюються або по перехідній, або по апертурній характеристиці трубки  $y_T(\omega)$  або  $y_m(z)$ . Очевидно, коефіцієнт передачі апертурного коректора при передачі великих деталей повинен бути  $K_{ак} = 1$ , а його АЧХ  $y_{ак}(\omega)$  повинна бути такою, щоб при лінійній фазочастотній характеристиці  $y_{ак}(\omega)y_T(\omega) = 1$ .

Апертурна характеристика передавальної трубки в загальному випадку може бути апроксимована функцією

$$y_T(\omega) = \frac{I_c}{I_{c\text{кр}}} = e^{-\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} = \frac{1}{1 + a_1\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 + a_2\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^4 + \dots},$$

де  $I_{c\text{кр}}$  - розмах струму сигналу від великої деталі, розмір якої значно перевищує розміри апертури,  $\omega_0$  - частота, на якій розмах струму сигналу  $I_c$  зменшується в  $e$  разів,  $a_1, a_2, \dots$  - постійні коефіцієнти. Тоді

$$y_{ак}(\omega) = \frac{1}{y_m(\omega)} = 1 + a_1\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 + a_2\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^4 + \dots$$

Апертурні перекручування коректуються за допомогою схем *диференціального й різницевого коригування* з використанням пристроїв запам'ятовування (затримки) ТВ сигналу.

Принцип дії схем диференціальної корекції (рис. 4) заснований на алгебраїчному додаванні в певних пропорціях вхідного сигналу  $U_{вх}(\omega)$  з сигналами його парних похідних

$$U_{вих}(\omega) = U_{вх}(\omega) + b_1 U_2(\omega^2) + b_2 U_4(\omega^4) + \dots + b_n U_{2n}(\omega^{2n})$$



Сигнали парних похідних формуються звичайно двохланковими колами, що диференціюють, з лінійною фазочастотною характеристикою, наприклад  $C_p L_n$  (рис. 3.8б), тому що напруга на виході цих кіл пропорційна квадрату частоти.

$$U_2(\omega^2) \approx \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^2.$$

У суматорах  $\Sigma_1, \Sigma_2, \dots, \Sigma_n$  (рис. 3.8а) вхідний сигнал алгебраїчно складається із сигналами парних похідних, які формуються колами, що диференціюють,  $D_2, D_4, \dots, D_{2n}$ . Фазові зрушення, що виникають при формуванні коригувальних сигналів, компенсуються за допомогою ліній затримки ЛЗ. На практиці часто обмежуються використанням сигналу другої й (або) четвертої похідної.

На рис. 3.8в наведені перехідні характеристики до й після алгебраїчного додавання вхідного сигналу із сигналом другої похідної  $b_1 U_2(\omega^2)$ .

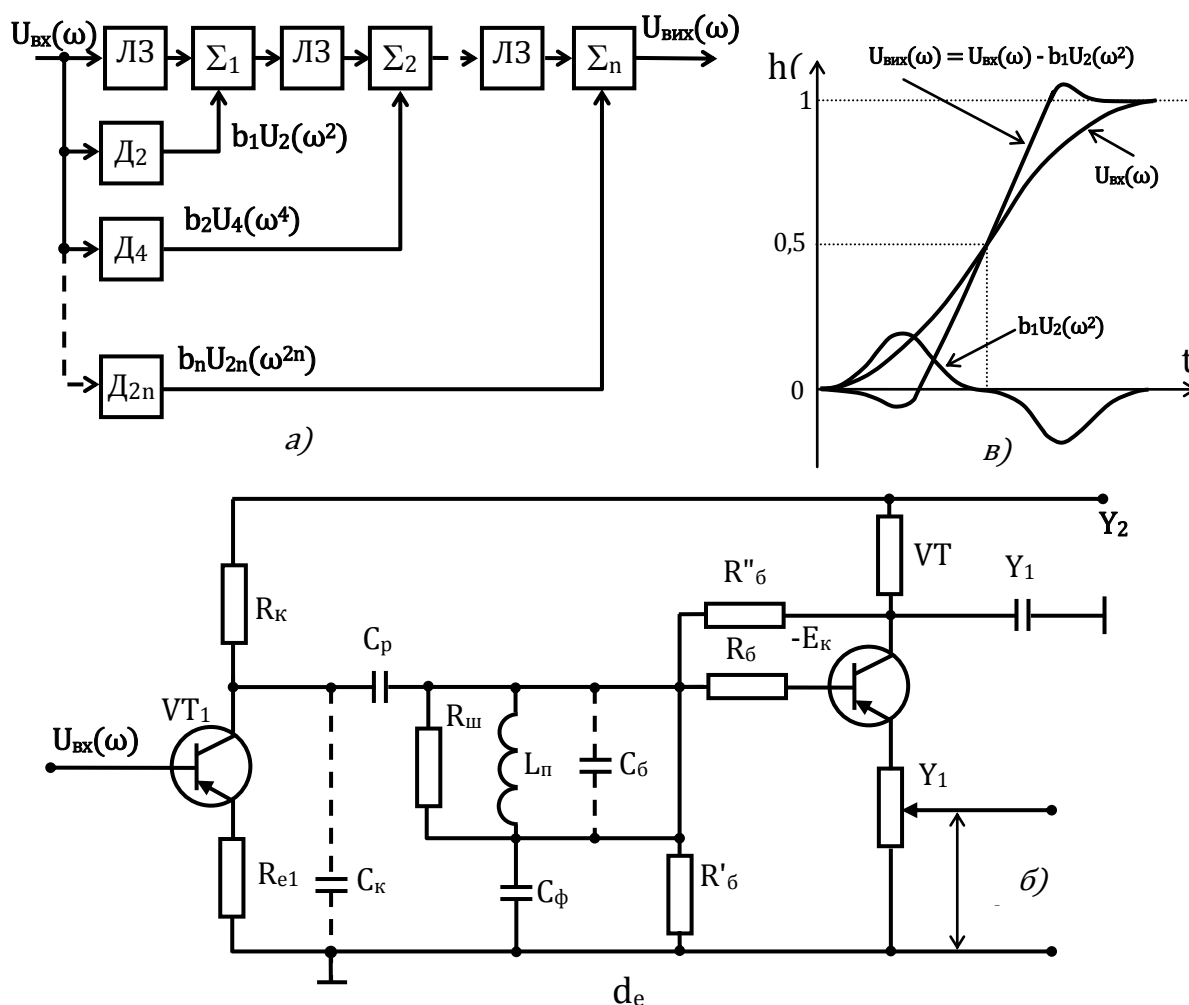


Рис. 3.8 – Диференціальний апертурний коректор:

а - структурна схема; б - принципова схема формування сигналу другої похідної; в - перехідні характеристики

З рисунка слідує, що за допомогою подібної операції (при малих фазочастотних перекручуваннях) може бути отримана симетрична перехідна характеристика з істотно меншою тривалістю фронту в порівнянні з вихідною. Але на ній виникають викиди (тобто на ТВ зображенні - пластика). Крім того, після апертурної корекції збільшується й зашумленість ТВ сигналу за рахунок "додавання" флуктуаційних завад з каналів парних похідних.

*Різницеве апертурне коригування (РАК)* заснована на вирахуванні із вхідного сигналу "інформації" про сусідні елементи зображення. Вона реалізується на нерекурсивних гребінчастих фільтрах з лінійними фазочастотними характеристиками.

При комутації потенційного рельєфу мішені передавальної трубки за допомогою електронного променю з відносно великою апертурою (перевищуючою розміри одного елемента) сигнал на виході трубки пропорційний яскравості декількох сусідніх елементів. Відносний зміст "помилкової інформації" у сигналі, мабуть, залежить від розмірів апертури й закону розподілу щільності електронів комутуючого променю.

Для формування сигналу, пропорційного яскравості тільки одного  $i$ -го елемента зображення, необхідно із сумарного сигналу відняти "зважені" сигнали, пропорційні яскравостям попередніх  $i - 1$  і наступних  $i + 1$  сусідніх елементів (по напрямку відповідному розгортці), де  $p = 1, 2, \dots, q$  - порядкові номери сусідніх елементів. Однак цих сигналів також в "чистому" виді не існує. У першому наближенні замість них можна використати сигнали, які формуються під час проходження променя через сусідні елементи, тобто інші сусідні миттєві значення того ж сигналу.

Схематично робота РАК представлена на рис. 3.9.

Найбільш ефективним є застосування *адаптивних апертурних коректорів*. У них ступінь корекції у вертикальному й горизонтальному напрямках міняється індивідуально залежно від рівня шумів, рівня сигналу зображення, тобто яскравості деталі, її кольоровості й інших параметрів.

Розглянуті види апертурних коректорів можуть працювати з аналоговими або цифровими сигналами яскравості й кольоровості.

Подальший розвиток схем апертурних коректорів базується на застосуванні цифрових пристроїв. Тут формування коригувального сигналу виконується із цифрових сигналів від сусідніх рядків кадру й від сусідніх елементів зображення на основі використання ОЗП на кадр. Один зі спрощених варіантів подібного пристрою містить ОЗП на поле й додатковий ОЗП на рядок. У подібних пристроях, крім більш ефективною апертурної корекції за рахунок формування коригувальних сигналів від сусідніх елементів по горизонталі й вертикалі, вдається використати більше ефективні шумознедіювачі з пам'яттю на кадр, а також урахувати статичну й динамічну нерівномірність чіткості по полю зображення (наприклад, у центрі й у кожному з кутів кадру).

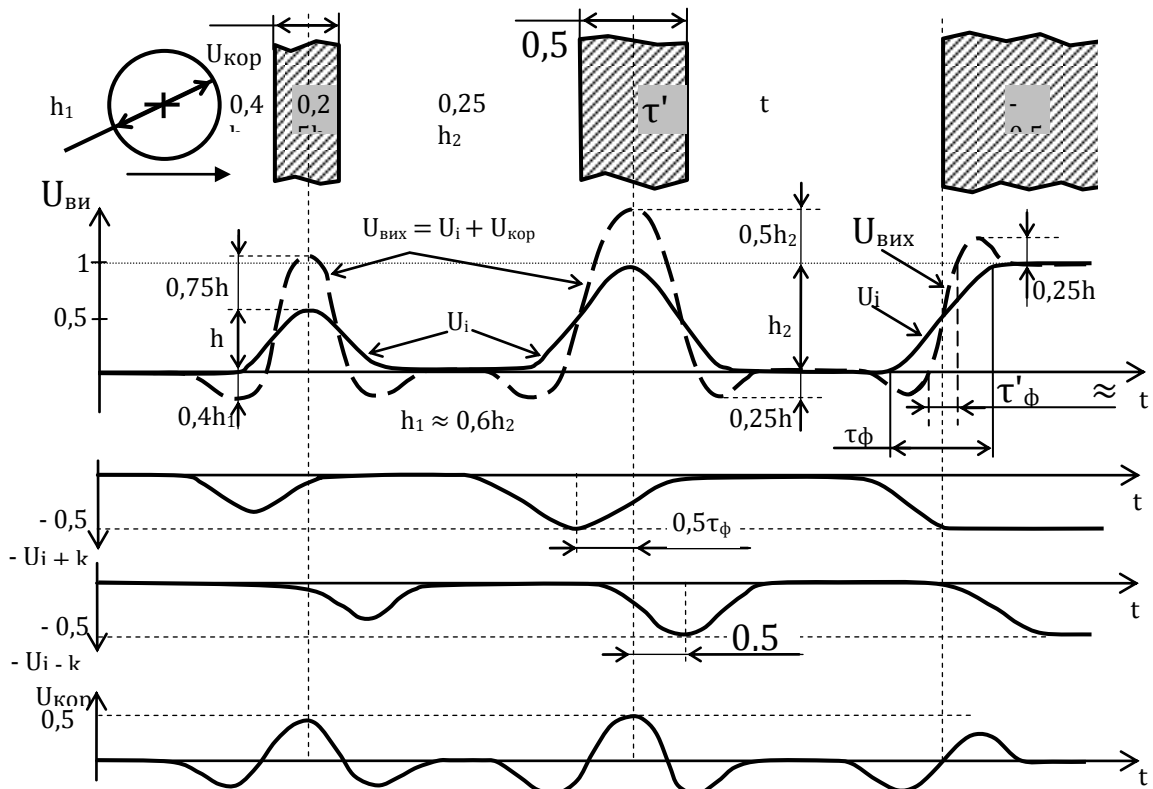


Рис. 3.9 – Форма сигналів від чорно-білих смужок різної ширини в різницевому апертурному коректорі

У загальному випадку доцільність й ефективність використання апертурної корекції в кожному конкретному випадку оцінюється за інтегральним критерієм якості зображення, величина якого визначається частотними параметрами, і в першу чергу чіткістю, відношенням сигнал/завада, величиною викидів і т.д.. Апертурні коректори доцільно використати не тільки в тракті ТЦ, але й у ТВ приймачах для зменшення довжини кольорових переходів.

Розглянемо *гамма-коригування; напівтонове коригування* - коригування градаційних спотворень.

*Гамма-коригування* – це коригування спотворень, що виникають при передачі рівнів яскравості. Характеристика передачі рівнів яскравості ТВ-системи – це залежність яскравості ТВ-зображення на екрані кінескопу  $V_{зобр}$  від яскравості об'єкта ТВ-передачі  $V_{об}$ .

З достатнім ступенем точності світлову характеристику можна апроксимувати ступеневою функцією

$$V_{зобр} = kV_{об}^\gamma,$$

де  $k$  і  $\gamma$  – постійні коефіцієнти, причому  $\gamma$  визначає форму амплітудної характеристики, його ще називають коефіцієнтом контрастності. Цей коефіцієнт може бути як більше 1, так і менше 1.

При  $\gamma > 1$  характеристика нелінійна, і в цьому випадку чорному та сірому елементам об'єкта відповідають чорні елементи на екрані кінескопа, тобто і зображення стає більш контрастним. Це характерно для чорно-білого ТБ.

При  $\gamma < 1$  відбувається зниження контрасту зображення у порівнянні з оригіналом.

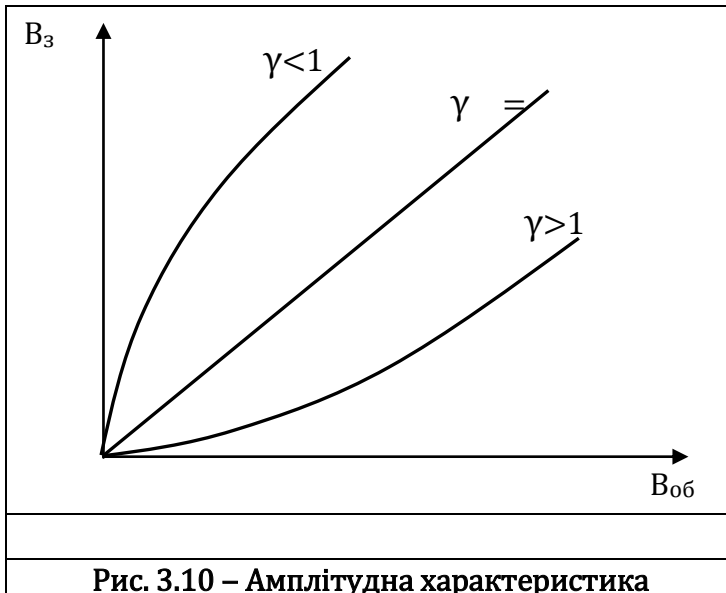


Рис. 3.10 – Амплітудна характеристика

У кольоровому ТБ бажано, щоб  $\gamma = 1$ , тоді не спотворюється кольорова гамма. Форма амплітудної характеристики представлена на рис. 3.10.

Оптимальне значення  $\gamma$  залежить від передаваного сюжету, і не є постійною величиною для ТБ-системи. Як правило, значення встановлюється оператором візуально. В ідеальному випадку  $V_{зобр} = kV_{об}$ . Але це не завжди

можливо, тому що амплітудні характеристики основних пристроїв ТБ-системи принципово нелінійні, наприклад, для кольорових кінескопів  $\gamma = 2,8$ . Тому для виключення нелінійних спотворень на передаючому боці здійснюється  $\gamma$ -коригування.

*Гамма-коректор; напівтоновий коректор* - пристрій для напівтонового (градаційного) коригування відеосигналу [4].

Існує три основних варіанти схем  $\gamma$ -коректорів:

- підсилювач з нелінійним навантаженням;
- підсилювач з амплітудно-залежним негативним зворотним зв'язком;
- двоканальний підсилювач.

У якості нелінійних елементів звичайно використовуються напівпровідникові діоди у послідовному або паралельному включенні. Особливістю структурних схем  $\gamma$ -коректорів є наявність на їх вході фіксуючого кола, що забезпечує відновлення постійної складової відеосигналу, тобто середню яскравість зображення. Завдяки цьому встановлюється однозначна відповідність рівнів сигналу, що визначають значення яскравості об'єкта (рис. 3.11).

Величина негативного зворотного зв'язку в залежності від  $U_{вх}$  змінюється нелінійне. При відсутності сигналу діоди закриті. При появі сигналу і його збільшенні спад напруги на  $R_e$  зростає, відкривається  $VD_1$  і  $R_e$  стає зашунтованим відкритим діодом,  $R_1$  і подільником  $R_4$ . Загальний

опір кола емітера зменшується і, отже, динамічна крутість транзистора зростає, коефіцієнт підсилення збільшується і т.д.

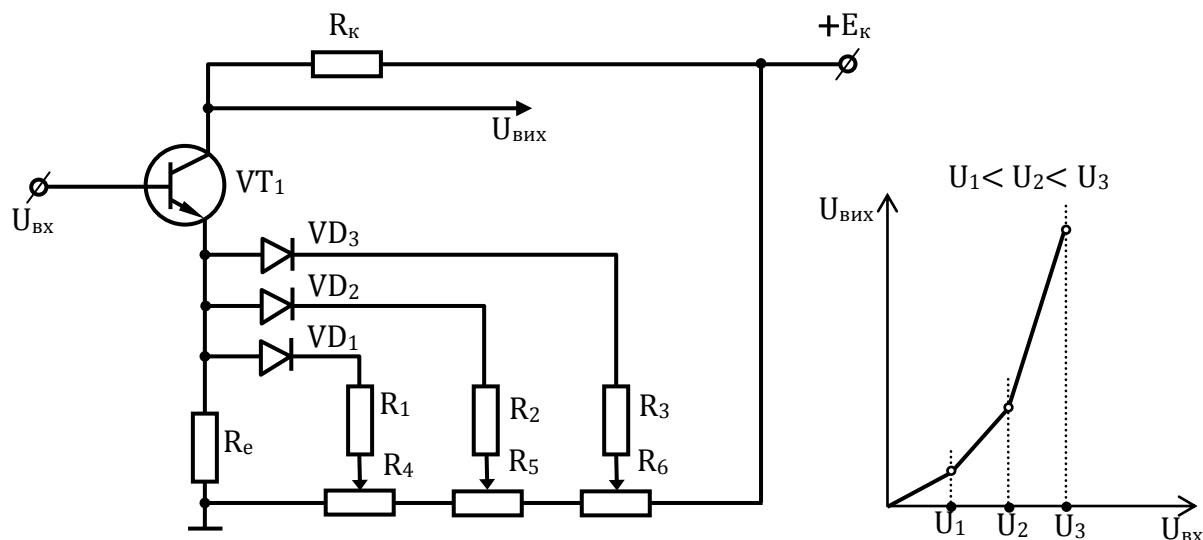


Рис. 3.11 – Принципова схема  $\gamma$ -коректора

Ступінь нелінійності можна регулювати, змінюючи поріг відкриття діодів.

### 3.3 Відновлення постійної складової сигналу ТВ-зображення

Якщо згадати форму повного відеосигналу, то стане зрозумілим, що відеосигнал, крім ВЧ складових, має постійну складову, яка відповідає повільним змінам середньої яскравості сюжетів зображення, що передаються. У зв'язку з наявністю у відеопідсилювальному тракті розділових конденсаторів відбувається природна "втрата" постійної складової сигналу. При цьому рівні чорного та білого зсунуться і не будуть відповідати вихідним значенням, що призведе до спотворення відтвореного зображення на екрані кінескопа. Тому в телебаченні інформація про постійну складову сигналу передається непрямым шляхом, тобто за допомогою амплітудної модуляції рядкових гасівних імпульсів.

*Фіксування рівня; прив'язування рівня* - оброблення відеосигналу, за якого рівень гасіння або рівень вершин імпульсів сигналу синхронізації приводиться до одного потенціалу [4].

*Відновлювання сталого складника; ВСС* - перетворення відеосигналу, в результаті якого рівень сталого складника відносно рівня чорного стає таким, яким він був на виході перетворювача «світло-сигнал» [4].

Відтворення зображення буде правильним, якщо незалежно від величини постійної складової положення рівня чорного у відеосигналі буде фіксованим.

Фіксація відеосигналу здійснюється по вершинах гасівних імпульсів спеціальними схемами, що називаються фіксуючими або схемами прив'язки рівня. Існує два типи таких схем: некерована і керована.

Найпростіша фіксуюча схема має вигляд, наведений на рис. 3.12.

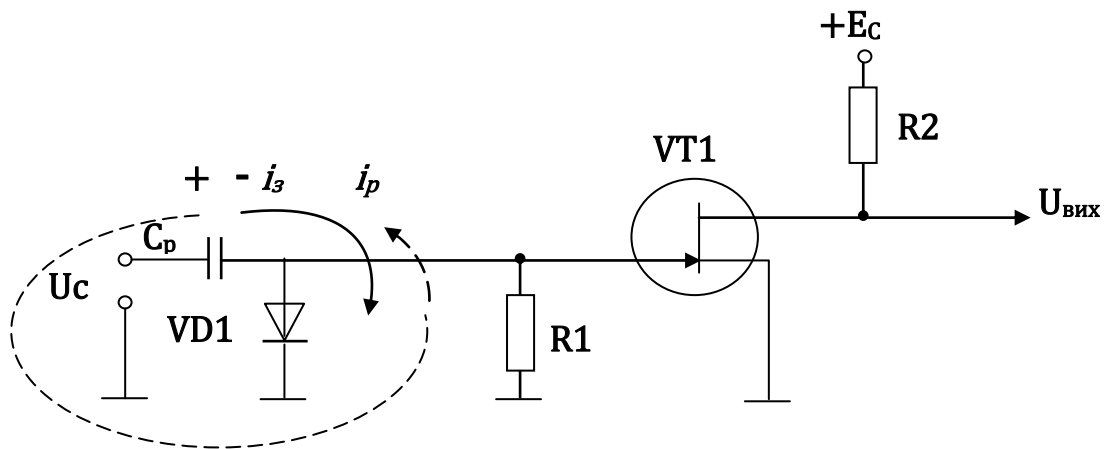


Рис. 3.12 – Принципова схема фіксації відеосигналу

Схема працює таким чином. ТВ-сигнал подається на вхід. Відеосигнал позитивної полярності у момент проходження через  $C_p$  гасівних імпульсів відкриває  $VD$  і утворює струм заряду конденсатора  $i_z$ . Заряд накопичується на конденсаторі і у проміжках між імпульсами гасіння (під час прямого ходу розгортки по рядку) здійснюється розряд конденсатора. Струм  $i_p$  протікає через  $R_1$  і утворює негативну напругу зміщення на замку  $VT$ , величина якої відповідає постійній складовій відеосигналу.

Перевагою схеми є простота. До недоліків слід віднести неоднакову швидкість спрацьовування при зменшенні чи збільшенні постійної складової відеосигналу. На сьогодні у якості схем прив'язки застосовуються керовані схеми з двома діодами або транзисторні схеми фіксації. У таких схемах керування зарядом і розрядом конденсатора  $C_p$  здійснюється не за допомогою самого відеосигналу, а спеціально виробленими у синхрогенераторі ТВ-системи керуючими імпульсами фіксації, що співпадають за часом із зворотним ходом розгортки у відеосигналі.

## Висновки

На лекції були розглянути структура передаючої частини ТВ-системи, формування та спотворення повного відеосигналу, принципи та види корегування ТВ-сигналу, що здійснюються на передаючому боці ТВ-системи. Приділена увага питанню корекції лінійних та нелінійних спотворень, а також детально розглянуті особливості відновлення постійної складової сигналу ТВ зображення.

## ЛЕКЦІЯ 4. ОСОБЛИВОСТІ ТЕЛЕВІЗІЙНИХ РАДІОПЕРЕДАЮЧИХ ТА РАДІОПРИЙМАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ ТВ-СИСТЕМ

### План

#### Вступ

4.1. Особливості радіопередаючих пристроїв ТВ-систем.

4.1.1. Вибір частоти несінного колювання.

4.1.2. Способи модуляції.

4.1.3. Спектр ТВ-сигналу, що передається.

4.2. Особливості радіоприймальних пристроїв ТВ-систем.

4.2.1. Частотна характеристика ТВ-приймача.

4.2.2. Структурна схема ТВ-приймача.

4.3. Канали рядкової та кадрової розгортки. Автоматичні регулювання.

4.4. Перетворювачі електричних сигналів в чорно-білі зображення.

4.4.1. Електронний прожектор.

4.4.2. Екран кінескопа.

#### Висновки

### Література

#### основна

1. Телевидение: Учебник для вузов / В. Г. Джакония, А. А. Гоголь, Я. В. Друзин и др.; Под ред. В. В. Джаконии. 4-е изд., стереотип. -М.: Горячая линия - Телеком, 2007. - 616 с: ил.

2. Кубата В.Г. Спеціалізовані електронні системи АТЗ: навчальний посібник / В.Г. Кубата, С.В. Лубенец, В.Я. Фролов. – Харків: ХНАДУ, 2011. – 272 с.

3. Основи ТБ: навчальний посібник. Коржов А.М., Роденко С.М., Красношарпа І.В., Максюта Д.В., Садовий К.В., Рибалка Г.В. Х.: ХУПС, 2007.

4. Синицкий Б.Г. Телевизионные системы. – Харьков: ХВВКИУ РВ, 1983. - С.108-139.

5. Основи ТБ, курс лекцій за ред. О.М. Сотнікова, ХВУ, 2003р.с 40-47.

#### допоміжна

1. ДСТУ 3787-98 ТБ мовне. Якість телевізійного зображення. Методи суб'єктивного оцінювання.

2. ДСТУ 3807-98 ТБ. Терміни і визначення.

3. ДСТУ 3837-99 ТБ мовне. Системи аналогового ТБ звичайної чіткості. Основні параметри та методи вимірювань.

#### Вступ

*Телевізійна з'єднувальна лінія* - лінія зв'язку для передавання телевізійних, звукових та службових сигналів між апаратними або пересувними телевізійними станціями в межах одного міста [4].

У телебаченні для передачі повного телевізійного сигналу на відстань використовуються як звичайні радіолінії, так і кабельні, волоконно-оптичні лінії зв'язку, супутникові радіоканали.

Найбільше розповсюдження отримало телемовлення за допомогою радіопередаючих станцій. Які ж повинні бути характеристики цих станцій і характеристики сигналів?

#### 4.1 Особливості радіопередаючих пристроїв ТВ-систем

##### 4.1.1 Вибір частоти несінного коливання

Оскільки спектр відеосигналу, що передається, є достатньо широкосмуговим ( $f_b \approx 6,5$  МГц), то частота несінного коливання передавача, при його нормальній побудові, повинна бути в 6-8 разів вище верхньої частоти моделюючого сигналу, тобто телевізійний передавач повинен працювати на частотах не нижче 40 МГц.

У наш час для телевізійного мовлення використовується діапазон УКХ, до складу якого входять діапазон метрових хвиль ( $f = 30 - 300$  МГц;  $L = 10 - 1$  м) та частину діапазону дециметрових хвиль ( $f = 300 - 3000$  МГц;  $L = 1$  м - 1 дм). Телемовленню також виділений сантиметровий діапазон ( $f = 10,95 - 12,5$  ГГц), який використовується у супутниковому телебаченні.

*Радіоканал мовного телебачення* - смуга радіочастот, відведена для передавання радіосигналу мовного телебачення [4].

Ширина смуги радіочастот кожного телевізійного каналу складає 8 МГц.

Для телевізійного мовлення утворені 6 діапазонів (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1

Номер ТВ-діапазону	Інтервал частот	Номер ТВ-радіоканалу	Інтервал частот ТВ-радіоканалу
I	48,5...66,0 МГц	1-2 радіоканали	1 радіоканал – 48,5...56,5 МГц 2 радіоканал – 58,0...66,0 МГц
II	76,0...100,0 МГц	3-5 радіоканали	3 радіоканал – 76,0...84,0 МГц 4 радіоканал – 84,0...92,0 МГц 5 радіоканал – 92,0...100,0 МГц
III	174,0...230,0 МГц	6-12 радіоканали 13-20 (8 каналів) – резервні	6 радіоканал – 174,0...182,0 МГц 7 радіоканал – 182,0...190,0 МГц 8 радіоканал – 190,0...198,0 МГц 9 радіоканал – 198,0...206,0 МГц 10 радіоканал – 206,0...214,0 МГц 11 радіоканал – 214,0...222,0 МГц 12 радіоканал – 222,0...230,0 МГц



Номер ТВ-діапазону	Інтервал частот	Номер ТВ-радіоканалу	Інтервал частот ТВ-радіоканалу
IV	470,0...622,0 МГц	21-39 радіоканали	Частоти несучих (у МГц) зображення $f_{н.з.}$ і звукового супроводу $f_{н.зв.}$ з 21-го по 60-ий канал можуть бути знайдені по номеру каналу $N$ за допомогою наступних формул: $f_{н.з.} = 471,25 + (N - 21) \cdot 8$ $f_{н.зв.} = 477,72 + (N - 21) \cdot 8$
V	622,0...960,0 МГц	40-80 радіоканали	
VI	10,95...12,5 ГГц	н/д	н/д

#### 4.1.2 Способи модуляції

Передаюча телевізійна станція має у своєму складі два радіопередачача сигналів зображення і звуку, які працюють на одну антену.

*Радіосигнал зображення* - сигнал несінгового коливання зображення, модульований повним відеосигналом або повним колірним відеосигналом [4].

*Радіосигнал звукового супроводу* - сигнал несінгового коливання звукового супроводу, модульований сигналом звукового супроводу [4].

*Радіосигнал мовного телебачення* - сукупність радіосигналів зображення та звукового супроводу однієї телевізійної програми [4].

*Позитивна [негативна] модуляція* - амплітудна модуляція несінгового коливання зображення ТВ- відеосигналом, за якого збільшення розмаху цього сигналу призводить до збільшення [зменшення] розмаху модульованого несінгового коливання [4]/

У передавачі сигналу зображення для передачі використовується амплітудна негативна модуляція, тобто модуляція відеосигналом, у якому мінімуму яскравості відповідає максимум сигналу.

Негативна модуляція при фіксованому рівні чорного має ряд переваг:

- менше видно імпульсні завади на екрані приймача, тому що у цьому випадку вони утворюють темні точки на зображенні;
- більша завадостійкість синхронізації, тому що синхроімпульси передаються на більшому рівні потужності;
- спрощується будова АРП у приймачах внаслідок того, що фіксований рівень чорного значно більший, ніж при позитивній модуляції.

У передавачі сигналу звукового супроводження застосовується ЧМ несучої, яка розташована на 6,5 МГц вище несучої зображення у кожному телевізійному каналі. Максимальне відхилення несучої (девіація) частоти звуку при цьому складає  $\pm 50$  кГц.

Використання амплітудної модуляції (сигнал зображення) потребує подвійної смуги пропускання частот у передавачі, тобто 13 МГц. Складові кожної з бокових смуг разом з несучою мають всю необхідну інформацію про зображення, тому для скорочення смуги частот, що відводиться кожному каналу, нижня бокова смуга частково подавляється, а верхня передається повністю.

На кожний радіоканал відводиться смуга частот 8 МГц при захисному інтервалі 0,125 МГц.

#### 4.1.3 Спектр ТВ-сигналу, що передається.

З урахуванням часткового пригнічення нижньої бокової смуги спектра сигналу зображення і передачі сигналу звукового супроводження стандартна частотна характеристика мовного ТВ-передавача має вигляд, наведений на рис. 4.1.

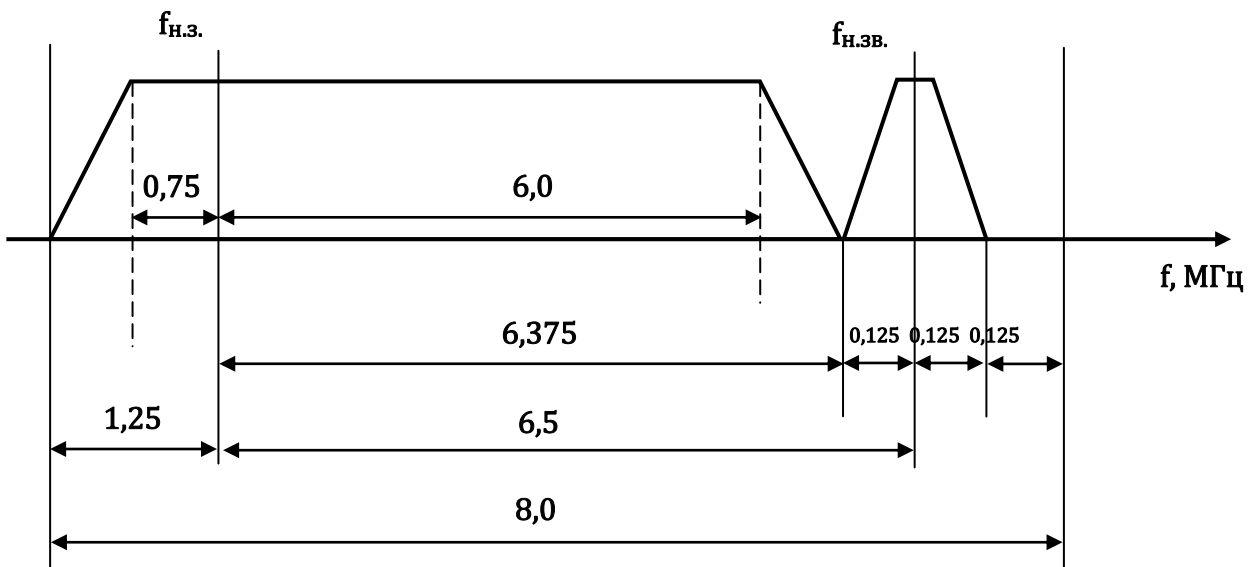


Рис. 4.1 – Стандартна частотна характеристика мовного ТВ-передавача

Пригнічення нижньої бокової смуги АМ сигналу призводить до паразитної фазової модуляції радіосигналу і до виникнення нелінійних спотворень обвідної модульованого сигналу. Ці спотворення проявляються, головним чином, у порушенні передачі градацій яскравості і можуть бути компенсовані у модуляторі передавача та корекції спектра сигналу у телевізійному приймачі.

У ТВ-передавачах, що працюють у сантиметровому діапазоні хвиль, пригнічення однієї бокової смуги частот не використовується.

До складу обладнання радіо передаючої станції входять:

- ТВ-передавач сигналів зображення з модуляційним пристроєм;
- передавач сигналів звукового супроводження;
- розділювальні УВЧ фільтри, що забезпечують одночасну роботу обох передавачів на одну антену ( $P_{\text{відео}} \geq 5-10 P_{\text{звук}}$ ).

При передачі телевізійних сигналів застосовується, як правило, горизонтальна поляризація для зменшення впливу індустриальних завад.

Типові радіостанції мають потужності 1...2, 5, 20...25, 50 кВт. Передавачі сигналів звуку мають потужності у 5...10 разів менше.

Для телевізійних передаючих станцій розроблені типові антенні опори у вигляді сталевих веж та щогл висотою 100, 150, 180 та 316 метрів. (Останкіно – 525 м, Харків – 247 м).

Відстань гарантованого прийому телепередач обмежена відстанню прямої видимості і складає 60...70 км. Радіус зони гарантованого прийому з урахуванням атмосферної рефракції визначається виразом

$$R_0 = 4,12(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}),$$

де  $R_0$  – радіус зони гарантованого прийому, км;  
 $h_1, h_2$  – висоти передаючої та приймальної антен, м.  
 Без урахування явища рефракції коефіцієнт складає 3,57.

## 4.2 Особливості радіоприймальних пристроїв ТВ-систем

### 4.2.1 Частотна характеристика ТВ-приймача

*Телевізор; телевізійний приймач* - пристрій для приймання ТВ-радіосигналу й відтворення зображення та звукового супроводу телевізійної програми. Залежно від сприйманого зображення розрізняють чорно-білі та кольорові телевізори [4].

Частотна характеристика телевізійного приймача визначається особливістю сигналу, що приймається, у якому частково подавлена одна бокова смуга. Частотна характеристика телевізійного приймача представлена на рис. 4.2.

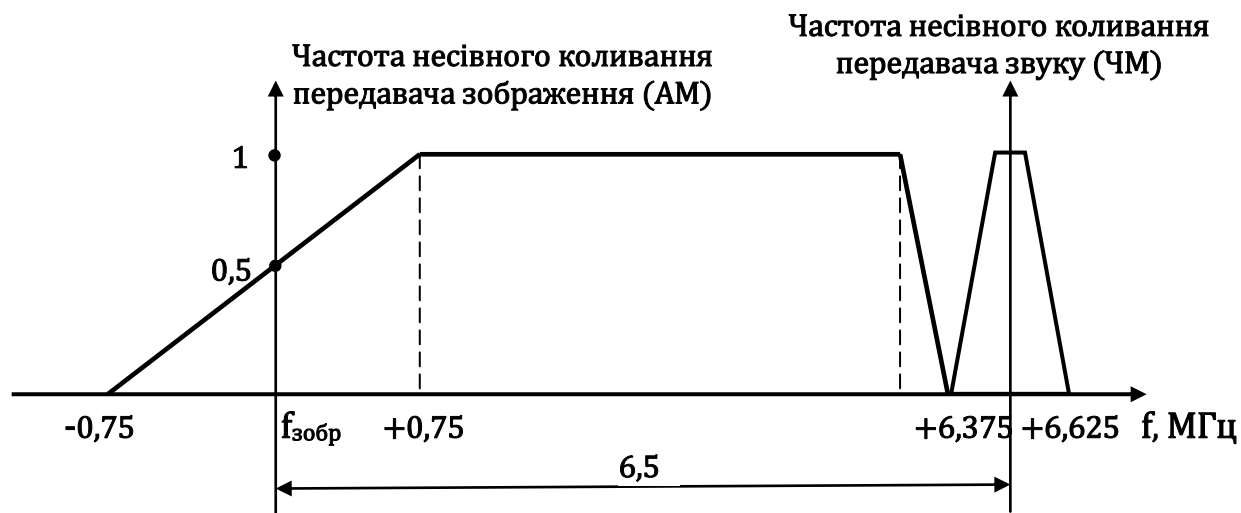


Рис. 4.2 – Частотна характеристика ТВ-приймача

Сигнал несівного коливання повинен бути ослаблений у 2 рази, а рівень сигналів бокових частот у діапазоні від  $f_{\text{зобр}} - 0,75$  МГц до  $f_{\text{зобр}} + 0,75$  МГц, повинен змінюватися лінійно від нуля до одиниці. Це пов'язано з тим, що детектування АМ сигналу з частково подавленою однією боковою смугою приводить до зростання амплітуд НЧ складових відеосигналу (до 0,75 МГц) удвічі, тоді як для ВЧ складових (вище 0,75 МГц) такого зростання не відбувається.

Частота несівного коливання  $f_{\text{зобр}}$  розміщується на середині схилу частотної характеристики. Складання частотних складових праворуч і ліворуч від  $f_{\text{зобр}}$ , що здійснюється при детектуванні, з такою формою частотної характеристики забезпечує однакове відтворення амплітуд як НЧ, так ВЧ складових.

#### 4.2.2 Структурна схема ТВ-приймача

Телевізійний приймач виконує такі основні функції:

- приймання ВЧ сигналів зображення і звукового супроводження;
- підсилення цих сигналів;
- розділення сигналів по каналах зображення і звуку;
- детектування кожного з сигналів;
- підсилення відеосигналу і сигналу звуку;
- виділення синхроімпульсів рядків і кадрів;
- формування сигналів розгортки.

Сучасні телевізійні приймачі будуються за супергетеродинною одно канальною схемою. Структурна схема телевізійного приймача представлена на рис. 4.3.

Сигнали зображення і звуку після антени разом підсилюються в підсилювачі високої частоти (ПВЧ) і подаються на перетворювач частоти, який складається із змішувача (ЗМ) та гетеродину (Г). Частота гетеродину  $f_{\text{Г}}$  вибирається вище за частоту сигналів.

*Проміжне несівне коливання зображення [звукового супроводу] - несівне коливання зображення [звукового супроводу], що використовується в телевізійній апаратурі для спрощення оброблення радіосигналу зображення [звукового супроводу] [4].*

На виході змішувача утворюються проміжні несівні коливання;

$$\begin{aligned} \text{зображення } f_{\text{ПЧ зобр}} &= f_{\text{Г}} - f_{\text{н.зобр}} = 38 \text{ МГц;} \\ \text{та звуку } f_{\text{ПЧ зв}} &= f_{\text{Г}} - f_{\text{н.зв}} = 31,5 \text{ МГц,} \end{aligned}$$

які підсилюються у підсилювачі проміжної частоти зображення (ППЧЗ) та надходять до телевізійного демодулятора (ТД).

*Телевізійний демодулятор* - пристрій для перетворювання ТВ- радіосигналу в повний відеосигнал або повний колірний відео- сигнал та сигнал звукового супроводу [4].

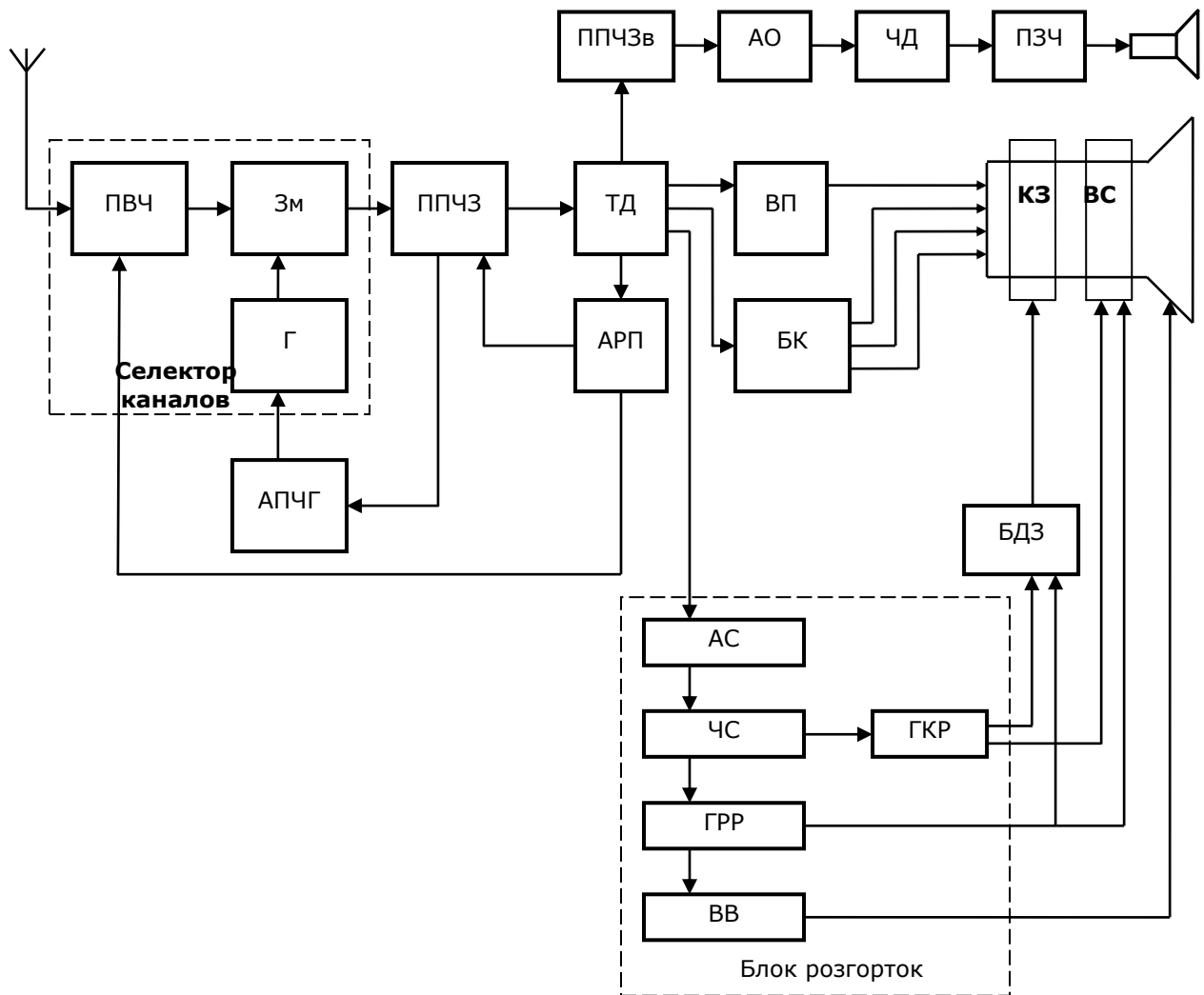


Рис. 4.3 – Структурна схема ТВ-приймача

У ТД крім сигналу зображення виділяється різницеве несівне коливання, тобто ТД додатково виконує роль змішувача.

*Різницеве несівне коливання* - проміжне несівне коливання звукового супроводу, частота якого дорівнює різниці частот несівних коливань зображення та звукового супроводу [4].

При цьому утворюється для каналу звуку різницеве несівне коливання на другій проміжній частоті

$$f_{\text{ПЧЗв}} = f_{\text{ПЧ зобр}} - f_{\text{ПЧ зв}} = 38 - 31,6 = 6,5 \text{ МГц},$$

промодельований по частоті сигналом звуку. Сигналом гетеродину для змішувача у ВД служить проміжне несівне коливання зображення, частота якого дорівнює 38 МГц. При цьому, незалежно від стабільності частоти 1-го гетеродину, різницева частота буде дорівнювати 6,5 МГц.

З виходу ТД сигнал зображення подається до відео підсилювача (ВП) і далі на управляючий електрод кінескопа та у блок розгортки. Сиг-

нал звуку (друге проміжне несівне коливання звуку) з виходу ТД надходить до каналу звукового супроводження, який має підсилювач проміжної частоти звуку (ППЧЗв), частотний детектор (ЧД) та підсилювач низької частоти з динаміком.

Формування амплітудно-частотної характеристики телевізійного приймача і основне підсилення сигналів зображення здійснюється в ППЧЗ. Чіткість зображення що приймається, залежить від її форми. Амплітудно-частотна характеристика ППЧЗ одно каналного телевізійного приймача представлена на рис. 4.4.

Як вже відмічалось, частота проміжного несівного коливання зображення  $f_{\text{ПЧ.зобр}}$  повинна співпадати з серединою правого схилу АЧХ для виключення спотворень. Перша проміжна частота звуку  $f_{\text{ПЧ1 зв}} = 31,5$  МГц повинна бути зменшена у 10 – 20 разів по відношенню до амплітуди несучої сигналу зображення, щоб запобігти впливу сигналу звуку на зображення (горизонтальні смуги, що модулюються по яркості звуком).

На частотах  $f = 30$  МГц і  $39,5$  МГц повинні бути мінімуми (нулі) АЧХ, щоб подавити частоти завад:  $30$  МГц – несуча зображення сусіднього верхнього каналу,  $39,5$  МГц – несуча звуку сусіднього нижнього каналу. Будь-які відхилення АЧХ від розглянутої форми погіршують якість зображення.

Формування АЧХ ППЧЗ здійснюється спеціальними фільтрами, які ставлять на вході ППЧЗ (LC – фільтри або п'єзоелектричні фільтри).

#### **4.3 Канали рядкової та кадрової розгортки. Автоматичні регулювання**

У мовному ТБ застосовується імпульсна синхронізація задаючих генераторів рядкової та кадрової розгортки. Блок розгортки, рис. 4.3, виконує виділення імпульсів синхронізації рядків і кадрів з повного телевізійного сигналу та їх відділення одне від одного. Крім того, здійснюється формування відхиляючих пилоподібних струмів розгортки по рядках і кадрах синхронно з виділеними синхроімпульсами.

До складу блока розгортки входять:

- амплітудний селектор з підсилювачем-фазоінвертором;
- схема виділення імпульсів кадрової розгортки;
- задаючий генератор кадрової розгортки, який синхронізується;
- вихідний каскад кадрової розгортки;
- схема фазового автопідстроювання частоти (АПЧ і Ф) рядкового задаючого генератора;
- задаючий генератор рядкової розгортки, який синхронізується;
- вихідний каскад рядкової розгортки;
- високовольтний випрямляч;
- відхиляючі рядкові і кадрові котушки.

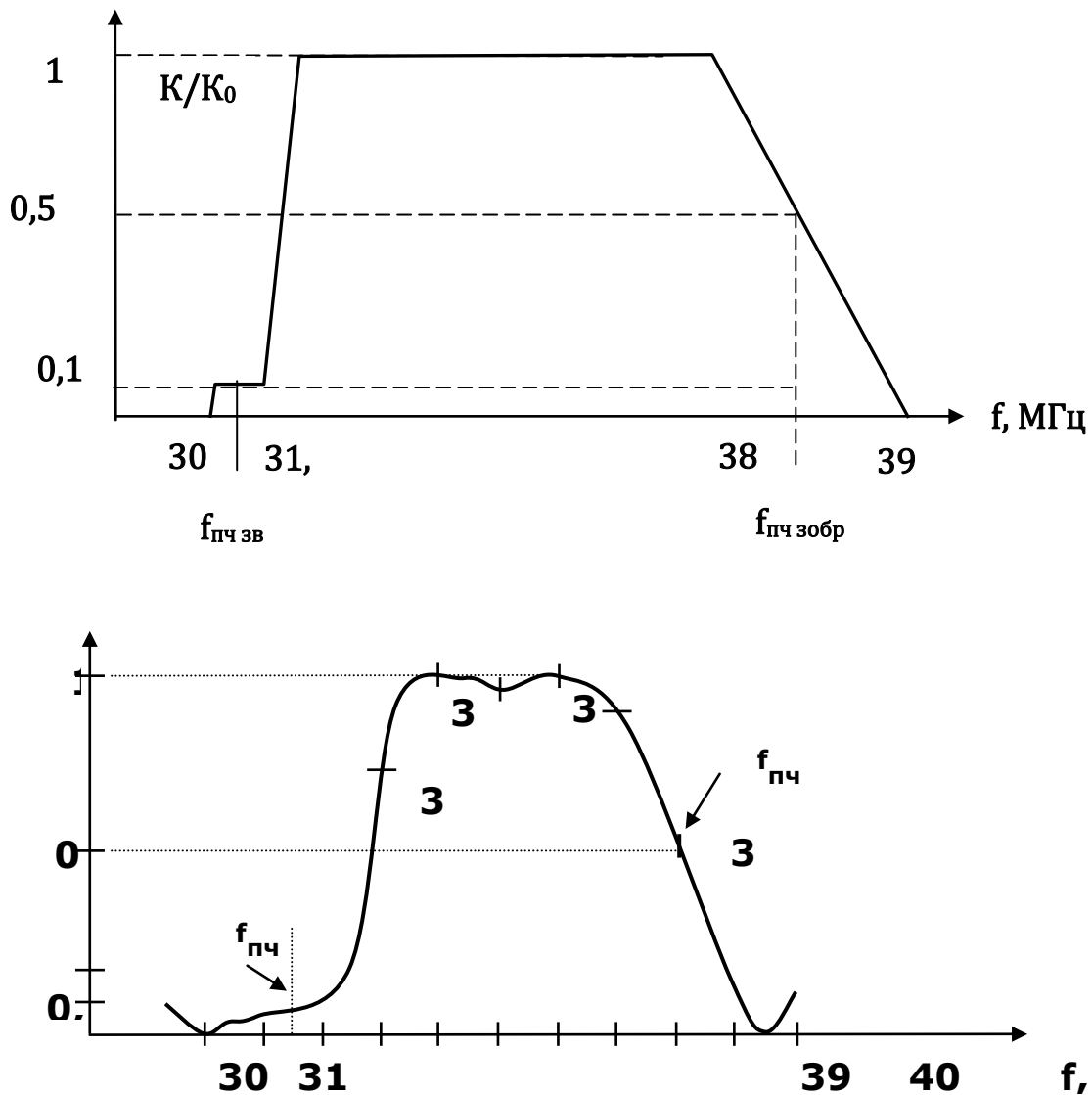


Рис.4.4 – Амплітудно - частотна характеристика ППЧЗ одно каналного телевізійного приймача:

а) теоретична, б) реальна

*Кадровий синхронізатор* - пристрій, що здійснює синхронізування та фазування несинхронного повного відеосигналу або повного кольорового відеосигналу, який надійшов від зовнішнього джерела, записуванням його в запам'ятовувальний пристрій і подальшим зчитуванням синхронно з місцевими сигналами [4].

Детально блок розгортки буде вивчено на лабораторному та практичному заняттях.

У телевізійному приймачі виконуються такі автоматичні регулювання рис. 4.3:

– автоматичне підстроювання частоти гетеродину (АПЧГ) дозволяє здійснювати перехід від однієї програми до іншої без додаткових регулювань. Однак при несприятливих умовах прийому передбачено перехід до ручного настроювання;

- автоматичне регулювання підсилення (АРП) забезпечує приймання якісного зображення при зміні рівня вхідного сигналу у межах від 250 мкВ до 50 мВ;

- автоматичне підстроювання частоти і фази рядкової розгортки (АПЧ і Ф) зменшує до мінімуму вплив завад на канали синхронізації.

Детально блок розгорток буде вивчено на лабораторному та практичному заняттях.

У телевізійному приймачі виконуються такі автоматичні регулювання рис. 4.3:

- автоматичне підстроювання частоти гетеродину (АПЧГ) дозволяє здійснювати перехід від однієї програми до іншої без додаткових регулювань. Однак при несприятливих умовах прийому передбачено перехід до ручного настроювання;

- автоматичне регулювання підсилення (АРП) забезпечує приймання якісного зображення при зміні рівня вхідного сигналу у межах від 250 мкВ до 50 мВ;

- автоматичне підстроювання частоти і фази рядкової розгортки (АПЧ і Ф) зменшує до мінімуму вплив завад на канали синхронізації.

#### **4.4 Перетворювачі електричних сигналів в чорно-білі зображення**

Перетворювачі електричних сигналів в оптичне зображення – пристрої відтворення ТВ зображення. Вони можуть бути розділені на пристрої прямого спостереження й проєкційні. Найпоширеніші пристрої прямого спостереження – монохромні та кольорові електронно-променеві приймальні трубки – кінескопи. Вони забезпечують отримання ТВ зображення площею до 0,25...0,5 м<sup>2</sup>, призначеного для перегляду невеликим числом глядачів. Збільшення аудиторії телеглядачів вимагає збільшення розмірів ТВ зображення від одиниць до декількох десятків квадратних метрів. Для цього використовуються проєкційні відтворювальні пристрої: високояскравісні проєкційні кінескопи, лазерні проєктори та світлоклапанні системи.

Основними вимогами, які висуваються до пристроїв відтворення ТВ зображення є: необхідні розміри екрана, достатня яскравість, здатність до створення зображення з високим контрастом, висока розрізнявальна здатність, що дозволяє розрізняти найбільш дрібні деталі зображення, а також розміри відтворюючих пристроїв, стабільність їхніх характеристик і такі інші.

*Кінескоп* – приймальна електронно-променева трубка з люмінофорним екраном, що перетворює миттєві значення сигналу зображення в послідовність світлових імпульсів, сукупність яких утворює ТВ зображення. Розгортуючим елементом у кінескопі є сфокусований електронний промінь. Відтворення зображення на екрані забезпечується відхи-



ленням струму променю за законом розгортки і модуляцією його щільності сигналом зображення.

За призначенням розрізняють кінескопи прямого спостереження, у яких зображення створюється безпосередньо на екрані, і проєкційні. Останні використовуються для проєкції зображення на великий екран та у системах бігучого світлового променю. Найбільш широко поширені кінескопи прямого спостереження. Вони застосовуються в індивідуальних ТВ приймачах, відеоконтрольних пристроях (ВКП), які використовуються на ТВ центрах, і в промислових телевізійних пристроях (ПТП), видошукачах передавальних телевізійних камер та інших.

Побудова кінескопа схематично зображена на рис. 4.5а. Основними частинами є: скляна колба 8, електронно-оптична система 2, яка формує електронний промінь, і люмінофорний екран 7. На горловині кінескопу міститься відхиляюча система 3, за допомогою якої формується магнітне поле, що забезпечує переміщення електронного променю в процесі розгортки зображення.

Екран являє собою шар люмінофора 7, покритий тонкою плівкою алюмінію 6. У циліндричній горловині колби поміщений електронний прожектор 2. Другий анод прожектора з'єднаний із провідним покриттям 4, нанесеним на внутрішню поверхню колби й горловини. Вивід другого анода 5 зроблений через колбу, а інших електродів – через цоколь 1.

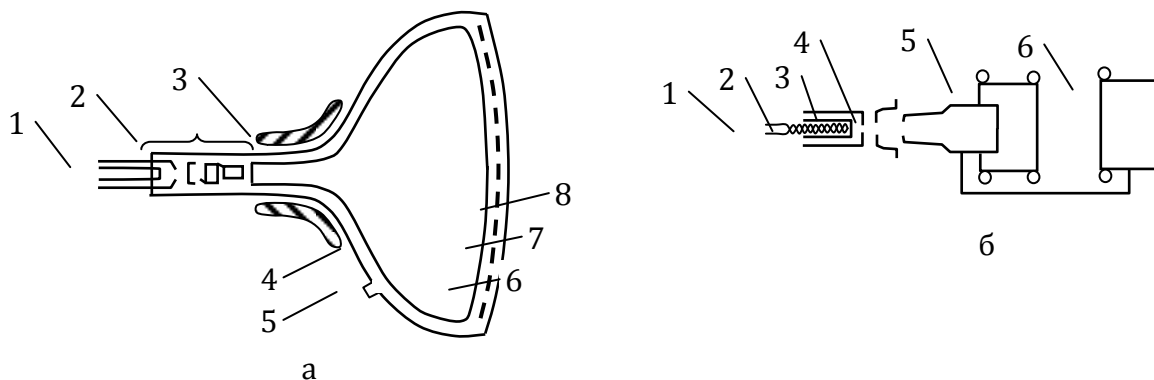


Рис 4.5 – Кінескоп чорно-білого телебачення

#### 4.4.1 Електронний прожектор

*Електронним прожектором* називається конструктивний вузол електронно-променевого приладу, що складається з катода й ряду електродів, які забезпечують прискорення, фокусування й керування щільністю струму променю. Електронний прожектор повинен сформувати електронний промінь зі струмом у кілька сотень мікроамперів і діаметром променю в площині екрана не більше 0,5 мм, а також забезпечити можливість модуляції струму променю сигналом зображення.

Причому для отримання зображення з необхідною контрастністю при прийнятних рівнях сигналу, що модулює, прожектор повинен мати досить круту модуляційну характеристику. Електронний промінь може бути сфокусований за допомогою електромагнітних або електростатичних полів. Переважна частина сучасних кінескопів має електронний прожектор з електростатичним фокусуванням, що не вимагає збільшення габаритів відхиляючих систем за рахунок розміщення в їхньому корпусі котушки, що фокусує, додаткового збільшення потужності джерел живлення, менш чутливий до зміни живлячої напруги, стабільний в часі, у зв'язку із чим не вимагає оперативного регулювання.

Конструктивне електронний прожектор являє собою систему циліндричних електродів (див. рис. 4.4б) і складається з підігрівача 1, термокатода 2, модулятора 3, електрода, що прискорює, 4, електрода, що фокусує, 5, другого анода 6. Побудований за такою схемою прожектор називається пентодним. Застосування пентодного прожектора в кінескопі дозволяє послабити вплив зміни потенціалу прискорювального електрода на якість фокусування електронного променя.

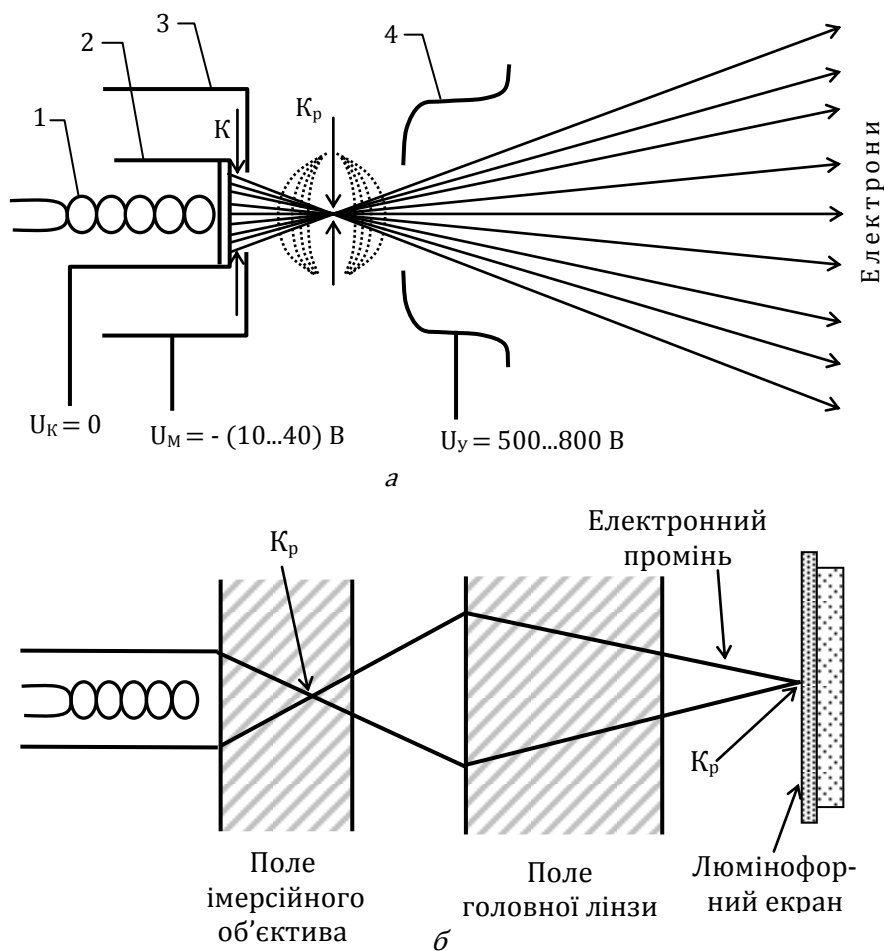


Рис. 4.6 – Фокусування електронного променя:

*a* – вихід електронів із прожектора, *б* – дволінзова оптична система

Більшість прожекторів сучасних кінескопів будують по дволінзової оптичній схемі. При цьому фокусування електронного променя здійснюється у двох зонах: у полі імерсійного об'єктива й у полі головної лінзи, що фокусує.

Імерсійний об'єктив (рис. 4.6а) складається з термокатода 1, модулятора 2 і прискорювального електрода 3. Завдяки високій різниці потенціалів між катодом і прискорювальним електродом ( $U_y = 500 \dots 800 \text{ В}$ ) і малій відстані між цими електродами в зоні імерсійного об'єктива створюється сильна напруженість електричного поля, конфігурація перетину еквівалентних поверхонь якого на рисунку 4.6а позначена штриховими лініями. Електрони, що імітуються з поверхні катода, попадають у поле імерсійного об'єктива (рис. 4.6а,б) і збираються в площині його фокуса у вузький пучок, перетин якого називається кроссовером ( $K_p$ ). Діаметр кроссовера виявляється значно менше діаметра тієї частини катода, з якої електрони попадають в отвір модулятора. Після кроссовера пучок електронів знову розходить і попадає у поле, що фокусує, головної лінзи, що фокусує, що переносить зображення  $K_p$  у площину екрана, при цьому перетин пучка в площині екрана має розмір  $K_p$ . Таким чином, використання дволінзової оптичної схеми (рис. 4.6б) дозволяє порівняно просто отримати в площині екрана перетин променя з радіусом не більше 0,5 мм при істотно більшому радіусі поверхні катода, що емітує.

#### 4.4.2 Екран кінескопа

Для перетворення сигналу у світлове зображення використовується явище люмінесценції, яке полягає в здатності атомів, молекул й іонів деяких речовин випромінювати світло при переході зі стану з підвищеною енергією (збуджений стан) у стан з меншою енергією. Речовини, що володіють такими властивостями, називаються люмінофорами [lumen – світло (лат.), phoros – несучий (грец.)].

Збудження атомів деяких речовин може бути викликано електричним полем або струмом, при цьому виникає електролюмінесценція. Речовини, що володіють властивістю електролюмінесценції, називаються електролюмінофорами.

У телебаченні використовується катодолюмінісценція – світіння, викликане ударами швидколетючих електронів. Бомбардування люмінофора швидкими електронами приводить його в збуджений стан, при якому електрони атомів люмінофора виявляються переведеними на більш високі енергетичні рівні зовнішніх орбіт. Повертаючись із зовнішніх орбіт на колишні рівні, електрони випромінюють кванти світла.

Люмінофори, які застосовуються для екранів кінескопів, являють собою кристалічні речовини різного хімічного складу. Це можуть бути окисли, силікати, сульфіді й фосфати цинку, кадмію, магнію, кальцію, активовані різними металами. Активацією домагаються підвищення

ефективності та необхідного спектрального складу випромінювання. Електрооптичні характеристики люмінофорних екранів залежать від хімічного складу речовини люмінофора, технології його нанесення і умов збудження. Хімічний склад люмінофора позначається звичайними символами: на першому місці – основна речовина, потім, у дужках – активатор. Наприклад, сульфід цинку, активований міддю, записується як  $Zn(Cu)$ , а активований сріблом – як  $Zn(Ag)$ .

Найважливішими характеристиками екрана є колір світіння, інерційність і світлова віддача. Колір світіння екрана визначається типом обраного люмінофора. Для екранів чорно-білих кінескопів використовується люмінофор БМ-5, що є сумішшю сульфїду цинку (активованого сріблом і цинком) і сульфїду кадмію (активованого сріблом):  $Zn(AgZn)$  47%;  $Gd(Ag)$  53%. Спектральна характеристика випромінювання даної суміші має два максимуми (рис. 4.7, крива 1). Перший максимум знаходиться в області випромінювання, що відповідає відчуттю синіх кольорів, а другий максимум збігається з кривою стандартної відносної видимості ока (штрихова лінія), що збільшує світловіддачу екрана. Колір світіння люмінофора БМ-5 має блакитнуватий відтінок і відповідає колірній температурі 9700 К.

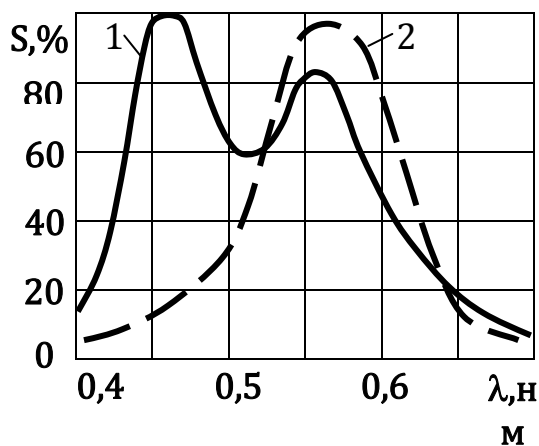


Рис. 4.7 – Спектральні характеристики люмінофора чорно-білих кінескопів

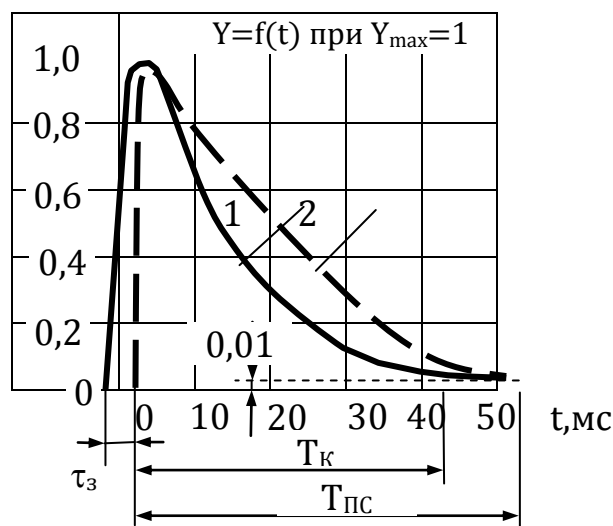


Рис. 4.8 – Характеристика післясвітіння люмінофора чорно-білих кінескопів

Однією з найважливіших характеристик роботи екрана кінескопа є його інерційність, що визначає тривалість загорання та післясвітіння люмінофора.

Тривалість загорання люмінофора  $\tau_z$ , досить мала. Основним параметром інерційності люмінофора є тривалість післясвітіння  $T_{пс}$ , протягом якої яскравість екрана зменшується до 0,01 максимального значення після припинення збудження люмінофора (рис 4.8, крива 1).

Тривалість післясвітіння є істотним параметром при виборі люмінофора для екранів електронно-променевих приладів різного призна-

чення. Наприклад, для приймальних ТВ трубок бажано мати тривалість післясвітіння, рівну часу передачі одного кадру зображення. Вимога ця стає очевидною, якщо згадати, що візуальна яскравість ТВ екрана визначається за законом Тальбота:

$$Y_{\text{виз}} = \frac{1}{T} \int_0^T Y(t) dt, \quad (4.1)$$

де  $Y(t)$  – функція зміни яскравості елемента зображення в часі, якій у даному випадку відповідає крива, що характеризує загоряння й загасання люмінофора;

$T$  – період повторення світлових імпульсів, рівний часу передачі кадру  $T_k$ .

Якщо  $Y(t)$  апроксимувати трикутною функцією (див. рис. 4.8, штрихова лінія), що в першому наближенні припустимо, то

$$Y_{\text{виз}} = \left( 0,5 \frac{\tau_z}{T_k} + 0,5 \frac{T_{nc}}{T_k} \right) Y_{\text{max}}, \quad (4.2)$$

тобто візуальна яскравість екрана складається із двох додатків – яскравості елемента при загорянні люмінофора і яскравості елемента при його загасанні.

З огляду на, що  $\tau_z / T_k = 1/N$ , де  $N$  – число елементів у кадрі, приблизно рівне для віщального телевізійного стандарту  $N = 0,5 \cdot 10^6$ , а  $T_{nc} / T_k = 1$ , можемо записати

$$Y_{\text{виз}} = 10^{-6} \cdot Y_{\text{max}} + 0,5 \cdot Y_{\text{max}} \quad (4.3)$$

Таким чином, основна частка візуальної яскравості визначається післясвітінням люмінофора, у зв'язку із чим тривалість післясвітіння для приймальних телевізійних трубок  $T_{nc}$  бажано мати рівною тривалості кадру  $T_k$ . Збільшення тривалості післясвітіння приводить також до зменшення помітності мелькань при зміні кадрів. Подальше збільшення тривалості післясвітіння небажано, тому що приводить до змазування (розмитості) зображення об'єктів, що рухаються, через сигнал, що залишається від попереднього кадру. Установлено, що розмиття практично непомітно, якщо залишковий сигнал не перевищує 5%.

Ефективність перетворення енергії електронів променю у світлове випромінювання характеризується світловіддачею екрана  $k$ , яка обумовлена відношенням сили світла  $I$  [кд], що випромінюється екраном, до потужності  $P$  [Вт], електронного променю. Світловіддача залежить від енергії електронів променю, типу люмінофора, способів його нанесення й може змінюватися від десятих часток кандели на ват до 15 кд/Вт.

Сила світла, що випромінюється екраном кінескопа, визначається емпіричною залежністю

$$I = ki_n(u_2 - u_0)^n, \quad (4.4)$$

де  $k$  – світловіддача;

$i_n$  – струм променю;

$u_2$  – напруга другого анода кінескопа;

$u_0$  – гранична напруга другого анода, при якій відбувається збудження люмінофора.

Для сучасних люмінофорних екранів  $u_0 = 1...2$  кВ;  $n$  – показник ступеня, обумовлений фізичними властивостями люмінофорів й умовами його збудження. При струмі променю  $i_n = 100...150$  мкА і прискорювальній напрузі  $u_2 > 10$  кВ;  $n = 1$ . Сучасні кінескопи працюють при  $u_2 = 12...18$  кВ і більше, тому напруга  $u_0 \ll u_2$  та  $n$  можна зневажити. Приймаючи  $n = 1$  з достатньою для практики точністю можна вважати, що сила світла

$$I = ki_n u_2 = kP_a, \quad (4.5)$$

де  $P_a$  – потужність електронного променю.

При прийнятих умовах світловіддача  $k$  виявляється постійною величиною. Тому сила світла  $I$ , а отже, і яскравість екрана

$$Y_{ек} = \frac{I}{S_{ек}} = \frac{kP_a}{S_{ек}}, \quad (4.6)$$

(де  $S_{ек}$  – площа екрана кінескопа, м<sup>2</sup>) можуть бути збільшені підвищенням потужності електронного променю  $P_a$ . Оскільки збільшення струму променю понад 100...150 мкА приводить до помітного розфокусування, яскравість екрана збільшують шляхом підвищення прискорювальної напруги  $u_2$ . Потенціал екрана необхідно примусово підтримувати рівним потенціалу другого анода кінескопа (для чорно-білих кінескопів 12...18 кВ, для кольорових – 25 кВ). Для виконання цієї умови на шар люмінофора наноситься провідне покриття, електричне з'єднане з другим анодом прожектора. Це дозволяє ефективно відводити вторинні електрони з екрана кінескопа, забезпечуючи необхідну яскравість екрана.

Таким чином, екран сучасного кінескопа являє собою шар люмінофора, нанесений на дно колби кінескопа. Люмінофор, у свою чергу, покритий плівкою алюмінію товщиною 0,05...0,5 мкм, що забезпечує електричний контакт між люмінофором і другим анодом прожектора. Плівка практично прозора для електронів променю, які при прискорювальних напругах понад 8...10 кВ безперешкодно проникають на люмінофор і збуджують його, викликаючи світлове випромінювання. Для світлових променів алюмінієва плівка не прозора. Вона, як дзеркало, відбиває світ-

лове випромінювання люмінофора, підвищуючи світловіддачу екрана більш ніж в 1,5 рази.

Крім збільшення ефективності металізований екран дозволяє збільшити контраст великих деталей зображення при усуненні підсвічування екрана від внутрішніх поверхонь колби, деталей електронного прожектора й сусідніх ділянок, розташованих на сферичній поверхні. Він також охороняє люмінофор від бомбардувань важкими негативними іонами, усуваючи необхідність введення в електронний прожектор іонних пасток.

Істотно знижує контраст дрібних і середніх деталей зображення явище ореола. Ореол утворюється внаслідок того, що частина розбіжних світлових променів, пройшовши з точки збудження люмінофора (рис. 4.9, точка А) крізь товщу скла екрана трубки, на межі скло-повітря відбивається назад, висвітлюючи сусідні із точкою ділянки (рис. 4.9, точка Г). У результаті яскраво світна точка екрана виявляється оточеною менш яскравим кільцем - ореолом, що і є причиною зниження контрасту. Для збільшення контрасту зображення екран колби сучасного кінескопа виготовляють зі спеціального скла, що є нейтральним фільтром. Таке скло називають димчастим, контрастним, протиореольним.

Ослаблення ореола відбувається за рахунок поглинання частини світла в товщі екрана колби. Прямий світловий промінь  $I_1$  від світної точки люмінофора проходить шлях АБ (рис. 4.9), а світловий промінь шкідливого підсвічування  $I_2$ , викликаного явищем ореола, проходить більш довгий шлях АВГД і поглинається значно більше. Використання протиореольного скла збільшує контраст дрібних деталей приблизно в 15 разів.

Промисловістю випускається велика номенклатура кінескопів з діагоналлю екрана 6...72 см. Умовна позначка електронно-променевих трубок складається із чотирьох елементів, наприклад 61ПК2Б. Цифра 61 указує в сантиметрах діагональ екрана; букви ПК позначають променевий кінескоп; цифра 2 характеризує тип електронного прожектора; буква Б указує кольори світіння екрана – білий. У позначенні трубки 61ПК3К буква К наприкінці указує на те, що кінескоп кольоровий.

## Висновки

На лекції були розглянуті особливості побудови радіо передаючих та радіоприймальних пристроїв, принципи формування та обробки ТВ-сигналів, конструкція і характеристики перетворювачів електричних сигналів в чорно-білі зображення.

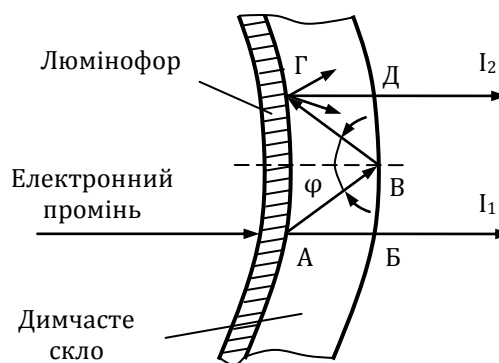


Рис. 4.9 – Вплив димчастого скла на контраст дрібних деталей

## ЛЕКЦІЯ 5. ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ КОЛЬОРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ

### План

- 5.1. Основні поняття кольорового телебачення.
  - 5.2. Послідовний та одночасний способи передачі кольорового зображення.
  - 5.3. Принципи формування сигналу кольорового телебачення.
  - 5.4. Засоби відтворення кольорового зображення.
    - 5.4.1 Масочний кінескоп з дельта-подібним розташуванням прожекторів.
    - 5.4.2 Масочний кінескоп з компланарним розташуванням прожекторів.
    - 5.4.3. Телевізійні рідиннокристалічні екрани.
    - 5.4.4. Телевізійні плазмові панелі.
- Висновки

### Література

#### основна

1. Телевидение: Учебник для вузов / В. Гг. Джакония, А. А. Гоголь, Я. В. Друзин и др.; Под ред. В. В. Джаконии. 4-е изд., стереотип. -М.: Горячая линия - Телеком, 2007. - 616 с: ил.
2. Кубата В.Г. Спеціалізовані електронні системи АТЗ: навчальний посібник / В.Г. Кубата, С.В. Лубенец, В.Я. Фролов. – Харків: ХНАДУ, 2011. – 272 с.
3. Основи ТБ: навчальний посібник. Коржов А.М., Роденко С.М., Красношарпа І.В., Максютя Д.В., Садовий К.В., Рибалка Г.В. Х.: ХУПС, 2007.

#### допоміжна

4. ДСТУ 3807-98 ТБ. Терміни і визначення.
5. ДСТУ 3787-98 ТБ мовне. Якість телевізійного зображення. Методи суб'єктивного оцінювання.
6. ДСТУ 3837-99 ТБ мовне. Системи аналогового ТБ звичайної чіткості. Основні параметри та методи вимірювань.

### 5.1 Основні поняття і терміни кольорового телебачення

*Поняття про кольори.* Відчуття кольорів є результатом суб'єктивного сприйняття зоровим апаратом об'єктивно існуючого світлового випромінювання. Воно визначається двома основними факторами:

- подразником, що об'єктивно існує й діє на око випромінюванням;
- результатом роздратування – відчуттям кольору, що залежить від властивостей світло сприймаючого апарата.

Світлові випромінювання, які сприймає зоровий апарат людини, лежать у діапазоні довжин хвиль від 380 до 760 нм. Цей діапазон випромінювання прийнято вважати видимим спектром.



Око є селективним приймачем випромінювання. Це значить, що у видимому діапазоні воно сприймає різні довжини хвиль не однаково. Відчуття кольорів залежить від спектрального складу випромінювання, яке впливає на око людини. Якщо випромінювання містить всі довжини хвиль видимого діапазону і є рівно інтенсивним, тобто всі складові спектра випромінювання мають однакову потужність, то в зоровому апарату виникає відчуття білих кольорів. Відчуття кольорів, відмінне від білого, виникає лише в тому випадку, якщо випромінювання містить не всі довжини хвиль зазначеного діапазону, або є істотно нерівномірним. Граничним випадком нерівномірного випромінювання можна вважати випромінювання в малому інтервалі довжин хвиль; так звані монохроматичні випромінювання. Монохроматичні випромінювання різної довжини хвилі викликають у людини відчуття різних спектральних кольорів, що володіють максимальною (100%) насиченістю.

*Насиченість кольору (ТВ- зображення)* - ступінь відмінності кольору від опорного білого [4].

Насиченість характеризує властивість кольору параметром, що позначає ступінь "розбавлення" монохроматичного кольору білим. Насиченість білого кольору дорівнює нулю. Спектр монохроматичних випромінювань умовно розбитий на сім головних кольорів (табл. 5.1), назви яких можуть служити приблизним позначенням колірного тону.

*Колірний тон (ТВ- зображення)* - ознака кольору, яка дає змогу віднести його до того чи іншого спектрального чи пурпурового кольору [4].

Під колірним тоном розуміють характерну властивість кольору, що дозволяє позначати його як червоний, зелений, жовтий і так далі, залежно від спектрального складу випромінювання.

*Колірність (ТВ- зображення)* - параметр кольору, що об'єднує колірний тон і насиченість кольору [4].

Колірний тон і насиченість не залежать від інтенсивності випромінювання й характеризують якість кольору, що називається **кольоровістю**.

*Колір (ТВ- зображення)* - характеристика зображення, пов'язана з його спектральним хроматичним складом [4].

Таблиця 5.1 – Спектр монохроматичного випромінювання

Довжина хвилі, нм	760...620	620...590	590...560	560...500	500...480	480...450	450...380
Кольори	червоний	жовто-гарячий	жовтий	зелений	блакитний	синій	фіолетовий

Кількість кольору пов'язана з величиною променистого потоку випромінювання, що впливає на орган зору – світність.

Перераховані параметри: світність, колірний тон, насиченість є суб'єктивними, тому що не можуть бути об'єктивно виміряні. Однак їм відповідають фізичні параметри випромінювання: яскравість ( $Y$ ), домінуюча (переважна) довжина хвилі ( $\lambda_d$ ) і чистота кольору ( $P$ ). Суб'єктивні й фізичні параметри пов'язані між собою: так, яскравість визначає світність; домінуюча довжина хвилі – колірний тон, а чистота кольору – насиченість. Таким чином, **колір характеризується трьома параметрами: світністю або яскравістю, колірним тоном і насиченістю й у силу цього є трьохвимірною величиною.**

У багатьох випадках виявляється зручним роздільно оцінювати якісну й кількісну характеристики кольорів, визначаючи відповідно його через **кольоровість й яскравість.**

Для кожного з наведених у табл. 4.1 головних кольорів можна підібрати додатковий колір, змішання якого в певній пропорції зі світловим потоком даного кольору дасть білий колір. Так, для жовтих, жовтогарячих, зелених кольорів додатковими кольорами будуть синій, блакитний і пурпурний відповідно. Пурпурний колір не є спектральним кольором, а отриманий від змішання синього й червоного кольорів.

Світлове випромінювання певного спектрального складу й інтенсивності, яке впливає на око людини, дає відчуття одного властивого йому кольору, тобто відомий спектральний склад й інтенсивність випромінювання повністю визначають колір випромінювання. Однак по кольору випромінювання не можливо судити про його спектральний склад, тому що відчуття того самого кольору може бути отримане при різних спектральних складах випромінювання. Зоровий апарат людини не в змозі, наприклад, відрізнити жовтогарячий колір монохроматичного випромінювання з довжиною хвилі близько 600 нм від жовтого кольору – суміші джерел випромінювання червоного ( $\lambda = 700$  нм) і зеленого ( $\lambda = 500$  нм). Два різних по спектральному складу випромінювання, що створюють відчуття одного кольору, називаються мета метричною парою.

Кількість розподільних оком кольорів дуже велика й залежить від багатьох факторів, таких як умови спостереження, тренуваність спостерігача й інші. Наше око здатне розрізняти близько 10 мільйонів різних кольорів, що відрізняються один від іншого по трьох параметрах – світло, колірному тону й насиченості. Опис такої безлічі колірних відтінків неможливий без їхньої класифікації й символічного позначення. Із цією метою розробляються системи колірних шкал у вигляді таблиць і колірних атласів, які служать для без інструментального визначення кольорів поверхні, яка розсіює.

Найбільш відомі колірні атласи Оствальда, Менселла й Рабкіна. Їхнім загальним недоліком є неточність. Колірна система, що дозволяє дати найбільш точний чисельний опис кольорів, була створена на осно-

ві теоретичних й експериментальних робіт багатьох поколінь вчених, що освітили природу колірному зору й поклали в основу побудови науки про вимір кольорів – колориметрії – теорію трьохкомпонентного колірному зору й поняття про трьохвимірний колірний простір.

Суть трьохкомпонентного колірному зору складається в наступному. Вважається, що у зоровому апараті людини існує три незалежні групи чутливих до кольору колбочок, які мають переважну чутливість до випромінювання у червоний, зелений та синій областях видимого спектра.

Сукупність роздратувань цих груп утворює відчуття певного кольору, тобто кожному монохроматичному випромінюванню відповідає певний ступінь збудження чутливих до кольору елементів і певне кольорове відчуття.

З цього був зроблений висновок, що *відчуття будь-якого кольору може бути отримано комбінацією трьох лінійно незалежних кольорів: червоного, зеленого та синього, які відповідають певним приймачам кольору людського ока*. Ці три взаємозалежних кольори називаються основними, тому що жодного з них не можна отримати шляхом змішування двох інших.

*Колірний контраст (ТВ- зображення)* - міра відмінності між кольорами [4].

*Опорний білий (колір)* - білий колір, відносно якого визначають характеристики відтворюваних кольорів [4].

*Рівносигнальний білий колір* - білий колір, якому відповідають однакові значення сигналів первинних кольорів [4].

*Колірний трикутник (відтворювального пристрою)* - трикутник на колориметричній площині, у вершинах якого розташовані точки первинних кольорів [4].

У колориметрії – науки про вимірювання і кількісне відображенні кольору три основних кольори прийнято позначати буквами *R*, *G* і *B*.

*Основні кольори; первинні кольори (відтворювального пристрою)* - червоний (*R*), зелений (*G*) та синій (*B*) кольори, змішуванням яких одержують всі кольори в системі [4].

Взагалі, існують два способи утворення кольорів: субтрактивний (різницевий) та адитивний. *У телевізійній техніці використовується адитивний спосіб утворення кольорів, при якому здійснюється змішування світлових потоків від трьох джерел.*

## 5.2 Послідовний та одночасний способи передачі кольорового зображення

*Способи одержання кольорового телевізійного зображення.* Для отримання кольорового телевізійного зображення телевізійний давач

(наприклад, кольорова телевізійна камера), крім поелементного аналізу повинен здійснювати спектральне розкладання світлового випромінювання на три складові частини аналогічно тому, як це робить наш зоровий апарат. На приймальній стороні повинна відбуватися зворотна дія – синтез кольорового телевізійного зображення із трьох основних кольорів. Аналіз світлового випромінювання на три складові й синтез кольорового телевізійного зображення можуть бути здійснені одночасним або послідовним способом.

*Послідовний спосіб.* Здатність зорового апарата сприймати кольори, що чергуються в часі, як кольори суміші (при достатній швидкості чергування) дозволяє розкласти натуральні кольори на основні й здійснювати синтез кольорового телевізійного зображення із трьох основних кольорів послідовним способом, спрощена структурна схема якого зображена на рис. 5.1.

Зображення переданого об'єкта за допомогою об'єктива проектується на екран передавального пристрою послідовно в трьох кольорах – червоному, зеленому й синьому. Для розкладання світлового потоку на три основних кольори використовується обертовий диск зі світлофільтрами, який встановлюється між об'єктивом і передавальним пристроєм. На приймальному кінці спостерігач бачить зображення на екрані приймального пристрою також через обертові світлофільтри.

При цьому обидва диски повинні обертатися з однаковою швидкістю (синхронно) і фільтри однакових кольорів повинні проходити перед обома пристроями одночасно (повинна дотримуватися синхронність обертання дисків).

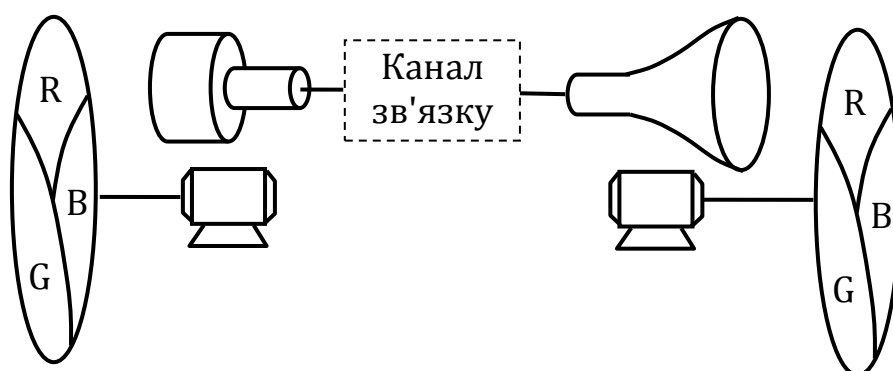


Рис. 5.1 – Схема послідовного способу передачі й відтворення основних кольорів

Таким чином, спостерігач бачить послідовно телевізійне зображення в трьох різних кольорах. Завдяки інерції зорового сприйняття виникає враження злитого зображення в натуральних кольорах.

Для того щоб мерехтіння не були помітні, необхідно, щоб загальний час передачі поділених на три кольори зображень, що утворюють у сукупності повне кольорове телевізійне зображення, не перевищувало

часу передачі одного кадру в чорно-білому телебаченні. У зв'язку із цим у такій системі число елементів зображення переданих за один повний кадр, зростає в 3 рази. Відповідно в 3 рази зростає й смуга частот переданого відеосигналу.

Послідовному способу властиві недоліки:

- він не сумісний із системою чорно-білого ТБ, тому що частоти кадрової й рядкової розгортки, а також спектр частот ТВ сигналу при такому способі передачі збільшені в 3 рази в порівнянні з аналогічними параметрами чорно-білої системи;

- при швидкому переміщенні об'єктів на зображенні спостерігається кольорова бахрома, тому що наступні один за одним зображення в трьох основних кольорах виявляються не сполученими;

- крім цього, застосування диска зі світлофільтрами обмежує розміри екрана приймального пристрою.

Із цих причин послідовна система не могла бути використана в телевізійному віщанні.

Основною перевагою послідовного способу є простота передавального й приймального кінцевих пристроїв, у зв'язку із чим він знайшов застосування в замкнутих телевізійних системах прикладного призначення.

*Одночасний спосіб* передачі кольорів вимагає в загальному випадку наявність трьох передавальних і трьох приймальних пристроїв. Розкладання світлового потоку зображення на кольоровий телевізійний датчик випромінювання на три складові може здійснюватися безпосередньо світлофільтрами, установленими перед екранами передавальних пристроїв, або за допомогою спеціальної системи розділення кольорів, що містить діхроїчні дзеркала.

Спрощена структурна схема одночасного способу показана на рис. 5.2. Світловий потік, що впливає на кольоровий телевізійний датчик, розділяється на три за допомогою двох діхроїчних дзеркал, властивості яких з вибору кольорів такі, що вони відбивають одну частину спектра й майже без втрат пропускають іншу частину. Так, діхроїчне дзеркало 1 відбиває синю складову світлового потоку до відповідного передавального пристрою й пропускає іншу частину випромінювання. Діхроїчне дзеркало 2 відбиває червону складову до другого пристрою і пропускає зелену складову до третього пристрою. Отримані три відеосигнали передаються до приймальних пристроїв, де три розділених по кольору зображення необхідно сполучити в одне.

Одночасний спосіб передачі й відтворення основних кольорів вимагає точного оптичного й електричного сполучення трьох растрів передавальних, а також приймальних пристроїв. Недостатньо точне виконання цієї вимоги може привести до втрати чіткості й появи кольорових окантовок.

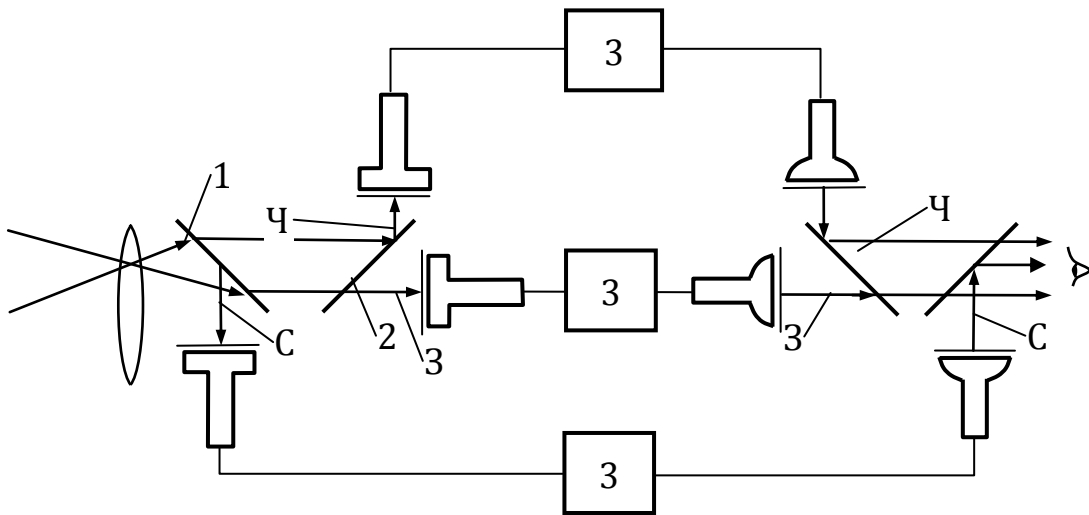


Рис. 5.2 – Схема одночасного способу передачі й відтворення основних кольорів:

1, 2 – діхроїчні дзеркала, 3 – канал зв'язку

### 5.3 Принципи формування сигналу кольорового телебачення

*Кольорове телебачення* - телебачення, яке забезпечує передавання, зберігання та відтворювання кольорових зображень [4].

При створенні кольорового ТБ виникла проблема: які необхідно сформувати і передавати сигнали зображення по каналам зв'язку існуючого на той час чорно-білого ТБ, щоб забезпечити можливість одночасно працювати приймачам як чорно-білого так і кольорового ТБ?

Встановлено, що світло діє на органи зору людини двома способами: по-перше, викликає відчуття яскравості пропорційне кількості падаючої на органи зору енергії, по-друге – відчуття кольоровості і насиченості кольору даного випромінювання.

Виходячи із трьохкомпонентної теорії зору, процедура складання трьох кольорів математично може бути представлена кольоровим рівнянням:

$$Y = rR + gG + bB, \quad (5.1)$$

де  $r, g, b$  – кольорові (вагові) коефіцієнти, їх сума дорівнює 1;

$R, G, B$  – яскравості кольорів, що змішуються;

$Y$  – яскравість результуючого кольору.

Для чорно-білого ТБ необхідна інформація про яскравість об'єктів, що передаються, а для кольорового ТБ – інформація про кольоровість. Таким чином, для забезпечення роботи як чорно-білого так і кольорового ТБ, у суміщеній телевізійній системі необхідно передавати інформацію як про яскравість, так і про кольоровість зображення.

Для кольорових вимірювань у колориметрії стандартизований ряд випромінювань, методи їх утворення і умови освітлення.

*Система колірної відтворення* - триколірна колориметрична система, визначується номінальними колірностями трьох основних кольорів відтворювального пристрою та колірністю опорного білого [4].

Так зване випромінювання *A* відповідає штучному освітленню лампами накалювання, випромінювання *B* – сонячному світлу у північних широтах у першій половині дня, випромінювання *C* – розсіяному денному світлу. Випромінювання *D 65* – пряме сонячне світло. Випромінювання *E* – рівно енергетичний білий колір, який є теоретичною моделлю джерела освітлення. У системах кольорового ТБ у якості опорного рівно-сигнального кольору вибрано стандартне джерело білого *C* (колір хмарного неба, розсіяне денне світло), для якого встановлено, що яскравості одиничних компонент основних кольорів повинні задовольняти співвідношенню

$$r R_c : g G_c : b B_c = 0,30 : 0,59 : 0,11. \quad (5.2)$$

Оскільки теоретично біле світло є результатом сприйняття дії безперервного рівномірного спектра у видимому діапазоні хвиль, то, припустивши, що  $R_c = G_c = B_c$ , отримаємо для яскравості білого *C* вираз

$$Y_c = 0,30R_c + 0,59G_c + 0,11B_c.$$

Враховуючи отримане співвідношення, у кольоровому ТБ для яскравості будь-якого кольору *Y* був прийнятий вираз

$$Y = 0,30R + 0,59G + 0,11B, \quad (5.3)$$

де  $R, G, B$  – змінні яскравості основних кольорів, що визначають рівень яскравості і колір потоку світла.

Електрична модель рівняння (1.11) може бути представлена у вигляді:

$$E_Y = 0,3 E_R + 0,59 E_G + 0,11 E_B, \quad (5.4)$$

де  $E_Y$  – сигнал яскравості;

$E_R, E_G, E_B$  – сигнали кольоровості червоного, зеленого, синього.

Рівняння (5.4) називають рівнянням яскравості.

Оскільки сигнал яскравості являє собою певну сукупність трьох сигналів кольоровості (рівняння 5.4), то для забезпечення сумісної роботи чорно-білого та кольорового ТБ достатньо передавати сигнал яскравості і два будь-яких сигнали кольоровості, наприклад,  $E_R$  та  $E_B$ . У кольоровому

приймальному пристрої сигнал  $E_G$  може бути відтворений за отриманими трьома сигналами:

$$E_G = (E_Y - rE_R - bE_B) / g, \quad (5.5)$$

де  $r = 0,3$ ;  $g = 0,59$ ;  $b = 0,11$  – відповідні вагові коефіцієнти.

Так взагалі вирішується питання сумісної передачі, однак у всіх стандартних системах кольорового ТБ замість передачі сигналів основних кольорів  $E_R$  і  $E_B$  використовуються так звані кольорорізницеві сигнали, які являють собою різницю  $E_R - E_Y$  і  $E_B - E_Y$ , які позначаються  $R-Y$ ,  $B-Y$ , або  $E_{R-Y}$ ,  $E_{B-Y}$ . Передача кольорорізницевих сигналів суттєво знижує помітність дрібно структурних завад від кольорових сигналів на екрані як чорно-білого, так і кольорового телевізорів.

*Компонентна система (кольорового ТБ)* - система кольорового ТБ, у якій передаються сигнали кольірних компонентів [4].

*Композитна система (кольорового ТБ)* - система кольорового ТБ, сумісна із системою чорно-білого телебачення з передаванням кольорорізницевих сигналів на піднесівному коливанні, розміщеному в спектрі сигналу яскравості [4].

*Система колірної кодування* - колірна координатна система, колірні координати якої визначаються сигналом яскравості та кольорорізницевиими сигналами [4].

У зв'язку з обмеженою смугою частот, що виділяється на телевізійний канал (8 МГц), у кольоровому телебаченні визначено для передачі зображення 3 сигнали

$$\begin{cases} E_Y = rE_R + gE_G + bE_B; \\ E_{R-Y} = E_R - E_Y = (1-r)E_R - gE_G - bE_B; \\ E_{B-Y} = E_B - E_Y = (1-b)E_B - rE_R - gE_G. \end{cases} \quad (5.6)$$

*Колірне матрицювання* - зважене підсумовування сигналів основних кольорів і (або) кольорорізницевих сигналів, сигналу яскравості та кольорорізницевих сигналів, що належать одному кольоровому зображенню [4].

Спрощена структурна схема формування сигналу яскравості  $E_Y$  і кольорорізницевих сигналів  $E_{R-Y}$  та  $E_{B-Y}$  може бути представлена у вигляді (рис. 5.3).

У передавальній камері потік світла від об'єкта за допомогою системи діхроїчних дзеркал розділяється на три зображення у спектральних смугах  $R$ ,  $G$ ,  $B$ . Після цього зображення перетворюються в електричний сигнал, підсилюються, коректуються і надходять до матриці, на виході якої,



після фільтрації, утворюються сигнали  $E_Y$ ,  $E_{R-Y}$  та  $E_{B-Y}$ . На приймальному боці чорно-білий приймач відразу отримує сигнал яскравості, а в кольоровому приймачеві із трьох отриманих сигналів, шляхом простих арифметичних дій отримують необхідні три сигнали кольоровості  $E_R$ ,  $E_G$  і  $E_B$ .

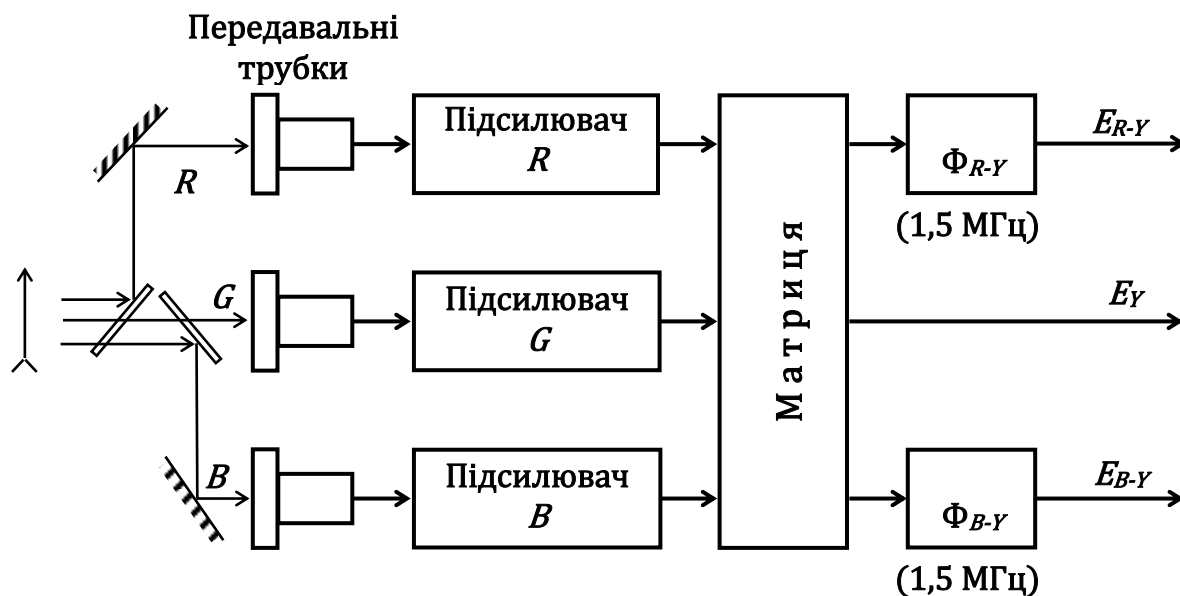


Рис. 5.3 – Спрощена структурна схема формування сигналу яскравості  $E_Y$  і кольорорізницевих сигналів  $E_{R-Y}$  та  $E_{B-Y}$

Спосіб формування кольорових сигналів за допомогою трьох передавальних трубок (рис. 5.3) застосовується в студійних передавальних камерах, які працюють в стаціонарних умовах. Для оперативної зйомки кольорового зображення в різноманітних складних умовах, таких як відео журналістика, відеоспостереження з рухомих об'єктів і та інше, такий спосіб є неприйнятним.

Існують способи побудови менш габаритних передавальних камер кольорового ТБ, це дво- і однотрубні камери. Робота таких камер заснована на використанні в оптичних системах передавальних трубок спеціальних штрихових світлофільтрів, що дозволяють здійснювати частотне розділення сигналів кольоровості  $E_R$ ,  $E_G$  і  $E_B$  [3].

Зменшення кількості передавальних трубок до двох, а тим більше до однієї, природно призводить до погіршення якості одержуваного кольорового зображення, однак дозволяє суттєво спростити конструкцію, зменшити габарити і енергоспоживання відеокамер. Разом з тим такі відеокамери зберігають недоліки, притаманні камерам на ЕПТ.

Практично революційний переворот в побудові портативної електронної фото- і відеотехніки забезпечили твердо речовинні перетворювачі світло - сигнал на основі ПЗЗ і КМОН- технології. Саме ці перетворювачі встановлені в мобільних телефонах, електронних фотокамерах, відеокамерах, камерах спостереження, в автомобільних відеореєстраторах

і камерах заднього виду. В основі побудови вказаних пристроїв лежать багатосигнальні одноматричні перетворювачі зображень.

Як було вказано вище, для формування телевізійного сигналу, в залежності від потрібної якості зображення, використовуються матриці прямокутної форми, які містять декілька сотень тисяч світлочутливих елементів – пікселів. Так для стандарту відеозапису Super-VHS потрібно сформувати 400 – 450 телевізійних ліній, для чого використовується матриця з кількістю пікселів 580 по горизонталі і 532 по вертикалі. Типові розміри матриць, що виготовляються у теперішній час представлені на рис. 5.4.[2]. У лапках показані розміри діагоналі прямокутної матриці у долях дюйму. При однаковій кількості пікселів, матриця з більшими розмірами буде мати кращі шумові показники.

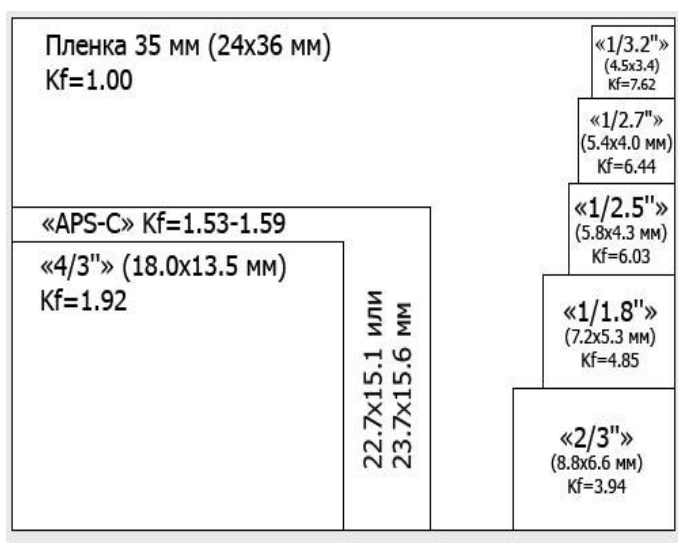


Рис. 5.4 – Типові розміри матриць у порівнянні з кадром фотоплівки

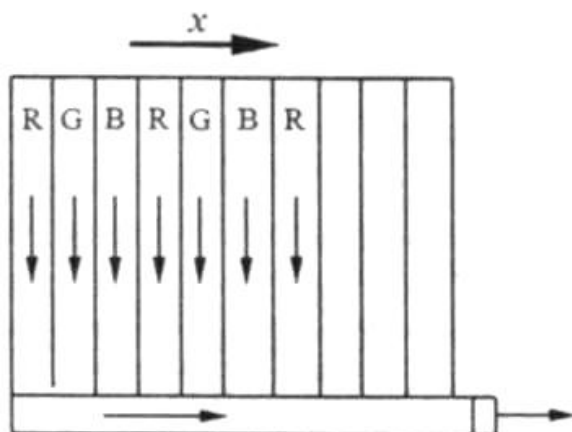


Рис. 5.5 – Матричний перетворювач із смуговими світлофільтрами

Для фотоапаратури у теперішній час виготовляються матриці із загальною кількістю до 16 мегапікселів, однак для ТБ така кількість пікселів не потрібна і є надлишковою.

Для отримання сигналів поділених на кольори зображень на світлочутливу поверхню матричного перетворювача наносять кодуючі світлофільтри, виконані на органічній основі або за інтерференційною технологією. В перетворювачах на матричних ПЗЗ з кадровим перенесенням кодуючі світлофільтри виконують смуговими, тобто у вигляді стовпців, що закривають вертикальні ряди світлочутливих елементів. Таке розташування кодуючого світлофільтру знижує перехресні спотворення кольорів, що виникають при характерному для матричних ПЗЗ з кадровим перенесенням вертикальному смазі зображення, блюмінгу і неефективності перенесення (рис. 5.5).

Найбільше розповсюдження отримали кодуєчі смугові фільтри, що використовують розташовані по черзі у напрямі  $x$  смужки червоного R, зеленого G і синього B кольорів.

Застосування такої структури фільтра спрощує схеми обробки, у тому числі матрицювання сигналів. Для розділення файлу сигналу зображення на три можна використовувати електронний комутатор, керований імпульсами, пов'язаними з сигналами управління матрицею.

Більш ефективні мозаїчні світлофільтри, що підвищують роздільну здатність приблизно в півтора рази. Їх використовують в матричних ПЗЗ з рядковим перенесенням. Один з поширених типів мозаїчних кодуєчих світлофільтрів приведений на рис. 5.6 [2].

Структура фільтра така, що на кожен парний стовпець чутливих елементів проходить тільки зелене світло, а на елементи сусідніх стовпців – поперемінно червоне і синє світло. Тобто інформація про зелений колір отримується в кожному рядку з періодом повторення через один піксель, а інформація про червоний і синій кольори отримується через рядок, і теж з періодом повторення через один піксель. Така структура мозаїчного світлофільтра сформована на основі

Період повторення					
R	G	R	G	R	G
B	G	B	G	B	G
R	G	R	G	R	G
B	G	B	G	B	G
R	G	R	G	R	G
B	G	B	G	B	G

Рис. 5.6 – Перетворювач з мозаїчним світлофільтром

властивостей людського зору, які можна продемонструвати простим прикладом. При спостереганні якого-небудь ландшафту в темний час доби усі предмети здаються чорно-білими. Із поступовим збільшенням природного світла ми першим починаємо визначати зелений колір, в подальшому – червоний, і на останнє – синій. Відповідно із цим і сформовано рівняння (5.3). Загальна яскравість будь якого предмету в основному визначається зеленим кольором, для якого ваговий коефіцієнт  $g = 0,59$ . Цей колір є найбільш важливим при формуванні кольорового зображення, тому інформація про нього вимірюється в два рази частіше, ніж про червоний та синій.

Оскільки для відтворення кольорового зображення необхідно мати безперервну інформацію про всі три кольори в кожному пікселі і в кожному рядку, то при зчитуванні і подальшій обробці даних з матриці роблять наступним чином. Пропуски пікселів заповнюються значеннями сигналу в попередньому стані, а відсутні рядки формуються шляхом усереднення значень  $N-1$  і  $N+1$  рядків.

Існують і інші варіанти мозаїчних світлофільтрів, але в усіх випадках переважаючим є формування інформації про зелений колір.

#### **5.4 Засоби відтворення кольорового зображення**

Для отримання кольорового зображення в сучасних кольорових ТВ приймачах і відеоконтрольних пристроях використовується рідинно-кристалічні та плазміні панелі, а також електровакуумні прилади (кольоровий кінескоп), у яких кольорові зображення формуються із трьох променів методом просторового змішання кольорів. Більш детально розглянемо кольорові кінескопи.

Найбільше розповсюдження у техніці кольорового ТВ отримали трипроменеві кінескопи з тіньовою та щілинною маскою. Розроблені і продовжують поліпшуватися зразки інших кольорових кінескопів, таких, як трубки з штриховими кольоровими екранами – хроматрон та трубка з сигнальним штриховим екраном – хромоскоп та ін.

У більшості розроблених кінескопів використовується трьохрастрова система, при якій на екрані кінескопа формуються три одноколірних растри - червоний, зелений і синій, сполучені з достатнім ступенем точності один з одним. Трьохрастрова 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 із променів на люмінофорні елементи екрана "свого" кольору, забезпечується за допомогою тіньової маски. Такі кінескопи часто називають масочними. По способу розташування прожекторів кінескопи діляться на дельта-кінескопи, прожектори яких, а також люмінофорні групи розташовані у вершинах рівностороннього трикутника, і на компланарні кінескопи з розташуванням прожекторів в одній площині й лінійчатими люмінофорними групами.

##### **5.4.1 Масочний кінескоп з дельта-подібним розташуванням прожекторів**

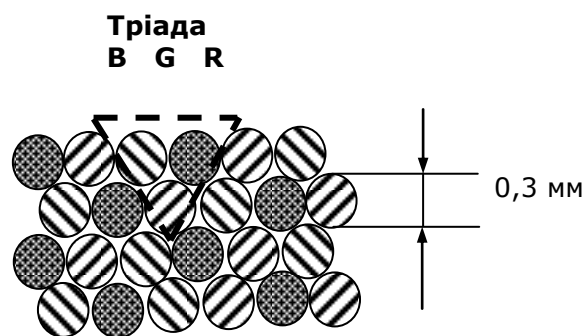
Розглянемо найбільш розповсюджені трипроменеві кінескопи з тіньовою маскою. Основні елементи таких кінескопів – це об'єднані в одному балоні три електронно-оптичних прожектори (ЕОП), тіньова маска і екран з нанесеними на нього люмінофорними структурами трьох кольорів: R, G і B.

За особливостями конструкції кінескопи розділяють на кінескопи з дельта-подібним та компланарним (в одній площині) розташуванням ЕОП. Останні називають ще кінескопами з самозведенням.

У кінескопах з дельта-подібним розташуванням ЕОП (61ЛК3Ц, 61ЛК4Ц) застосований мозаїчний екран, в якому у визначений послідов-

ності нанесені зерна люмінофору червоного, синього та зеленого кольорів, що дозволяє об'єднувати їх у триади (рис. 5.7). Загальна кількість триад на екрані складає близько 500000.

Схематичне зображення кольорового масочного дельта-подібного кінескопа представлено на рис. 5.8. Особливістю цього пристрою є розташування трьох електронних прожекторів у горловині колби симетрично щодо вісі та наявність мозаїчного люмінофорного екрана. Прожектори кінескопа кріпляться у вершинах рівностороннього трикутника (див. розріз А - А) і нахилені до вісі кінескопа на кут приблизно  $1^\circ$ . Екран кінескопа являє собою сферу зі скла з більшим радіусом кривизни, на внутрішню поверхню якої в певній послідовності нанесені групи люмінофорних зерен трьох кольорів: червоного, зеленого й синього. Люмінофорна група, що складається із трьох різнокольорових зерен, називається триадою. Діаметр кожного люмінофорного зерна приблизно 0,45 мм. Також як у монохромному кінескопі, люмінофори із внутрішньої сторони екрана покриті тонкою алюмінієвою плівкою, з'єднаною із другим анодом.



Формування триад люмінофору  
Рис. 5.7 – Мозаїчний екран у кінескопі з дельта-подібним розташуванням електронно-оптичних прожекторів

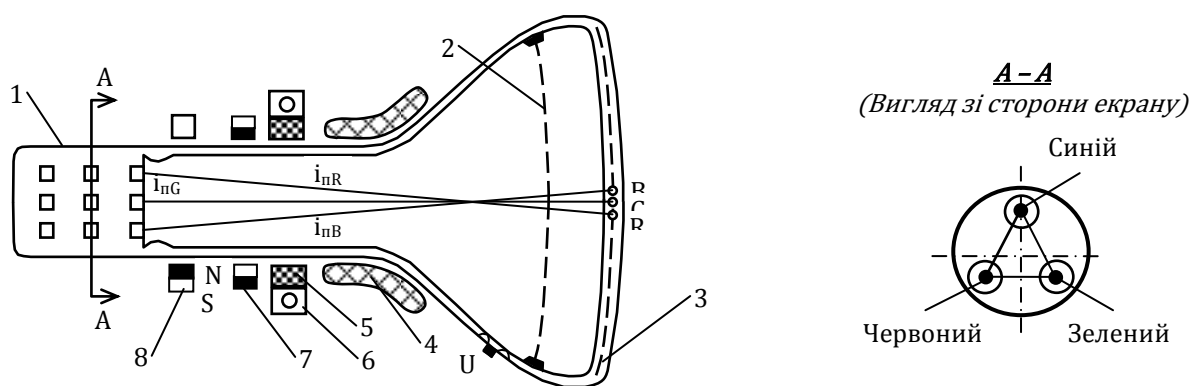


Рис. 5.8 – Масочний дельта-подібний кінескоп

Поблизу екрана (12 мм) встановлюється металевий лист з отворами, який називається тіньовою маскою. Тіньова маска призначена для попадання електронних променів на "свої" люмінофорні зерна, вона виготовлена з листової сталі товщиною 0,15 мм і практично повторює форму екрана. У масці вирізані круглі отвори діаметром 0,25 мм, Кількість отворів відповідає числу триад – елементів зображення дорівнює числу люмінофорних триад, тобто приблизно  $550 \cdot 10^3$ .

Тіньова маска розташована так, що електронні промені кожного ЕОП у момент освітлення одного елемента зображення перехрещуються у площині маски, проходять крізь той самий отвір і потрапляють на відповідні їм за кольором люмінофорні зерна тріади. Центр кожного отвору маски знаходиться проти центру однієї тріади люмінофорів (рис. 5.9).

Принцип влучення електронних променів на "свої" люмінофорні зерна полягає в тім, що три промені, спрямовані із трьох рознесених на площині XOY точок (рис. 5.9), що є центрами електронних прожекторів, перетинаються в одній точці, геометричне місце якої відповідає отвору маски, і, проходячи крізь неї, попадають на відповідні люмінофорні зерна тріад. Центри люмінофорних зерен тріад розташовуються у вершинах рівностороннього трикутника і є проекцією центрів електронних прожекторів. Для здійснення цього принципу взаємне розташування прожекторів, їхній нахил до вісі кінескопів, відстань від центра відхилення електронного променя до тіньової маски та від тіньової маски до екрана повинні бути зв'язані певними геометричними співвідношеннями. Точність влучення електронних променів на свої люмінофорні зерна залежить від точності реалізації цього співвідношення, тобто від технологічної точності виготовлення кінескопа.

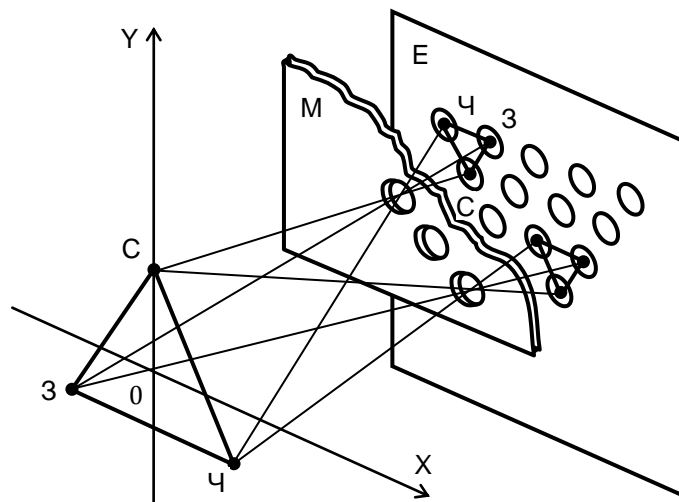


Рис.5.9 – Особливості конструкції кінескопа з дельта-подібним розташуванням електронно-оптичних прожекторів

У зв'язку з тим, що розміри зерен дуже малі, то з відстані перегляду розрізнявальна здатність ока не дозволяє розрізнявати їх окремо один від одного. У результаті освітлення зерен люмінофорної тріади сприймається людським оком як сумарне. Здійснюється просторове складання, при якому яскравість, насиченість та колірний тон результуючого кольору визначаються сумарною енергією та загальним співвідношенням складових випромінювання всіх трьох електронних променів.

Промінь кожного з прожекторів модулюється відповідним сигналом кольоровості і, незалежно від двох інших, буде утворювати зображення в основному кольорі.

Ці три зображення складаються і, в залежності від умов збудження люмінофорних зерен електронними променями у процесі їх розгортки по екрану, утворюють необхідне забарвлення об'єкта, що передається.

Електронні промені від трьох прожекторів у процесі розгортки повинні бути постійно сфокусовані у площині тіньової маски. В цьому випадку кожний промінь буде збуджувати точки люмінофору тільки одного кольору.

Однак, недостатня точність реалізації приводить до порушення правильності влучення променів, що викликає наступні специфічні для кольорового кінескопа перекручування зображення:

1. Правильність освітлення кожним променем тільки одного "свого" люмінофорного зерна у тріаді оцінюється чистотою кольору.

**Порушення чистоти кольору**, обумовлене влученням електронного променя частково або повністю на "чужі" люмінофорні зерна, що виникає при бічному зсуві або нахилі блоку електронних прожекторів щодо вісі 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, корегується за допомогою розташованого на горловині кінескопа магніту чистоти кольору (МЧ) 7 (див. рис. 5.8), а також поздовжнім пересуванням відхиляючої системи, що дозволяє змінювати величину й напрямок магнітного поля (рис. 5.10а) і тим самим здійснювати одночасне переміщення трьох променів в одному напрямку, домагаючись їхнього правильного влучення на люмінофорні зерна. Конструктивно МЧ звичайно виконуються у вигляді двох намагнічених по діаметру кілець, вкладених одне в інше, які допускають одночасний або незалежний поворот їх щодо вісі кінескопа (рис. 5.10а, I).

Магнітне поле змінюється від максимального до мінімального поворотом кілець друг щодо друга на кут  $\alpha$  (рис. 5.10а, II). Магнітне поле максимально при  $\alpha = 0$  і мінімально при  $\alpha = 180^\circ$ . Для зміни напрямку магнітного поля обидва кільця повертаються разом (рис. 5.10а, III).

Режим роботи кінескопу, при якому у всьому діапазоні регулювання контрастності і яскравості білий колір освітлення на екрані не отримує кольорового забарвлення або відтінку, називають балансом білого або кольоровим балансом. Баланс білого досягається регулюванням постійних напруги і розмаху величиною на електродах кінескопа.

2. **Відсутність сполучення зображення від різних растрів**, обумовлене влученням невідхильних променів не в один отвір тіньової маски, а в

сусідні або віддалені друг від друга на деякій відстані, що виникає при неточному виготовленні й зборці блоку електронних прожекторів, наприклад недотриманні заданих кутів величин і тому подібних. Для корекції відсутності сполучення застосовують **статичним зведенням** - суміщення невідхильних променів у центрі екрана яке забезпечується поворотом спеціальних постійних магнітів на горловині трубки.

Для реалізації статичного зведення трьох невідхильних електронних променів в одну люмінофорну триаду, служать постійні магніти регулятора зведення 6 (рис. 7б), що забезпечують можливість незалежного переміщення променів у радіальному напрямку, що корегує їхню траєкторію.

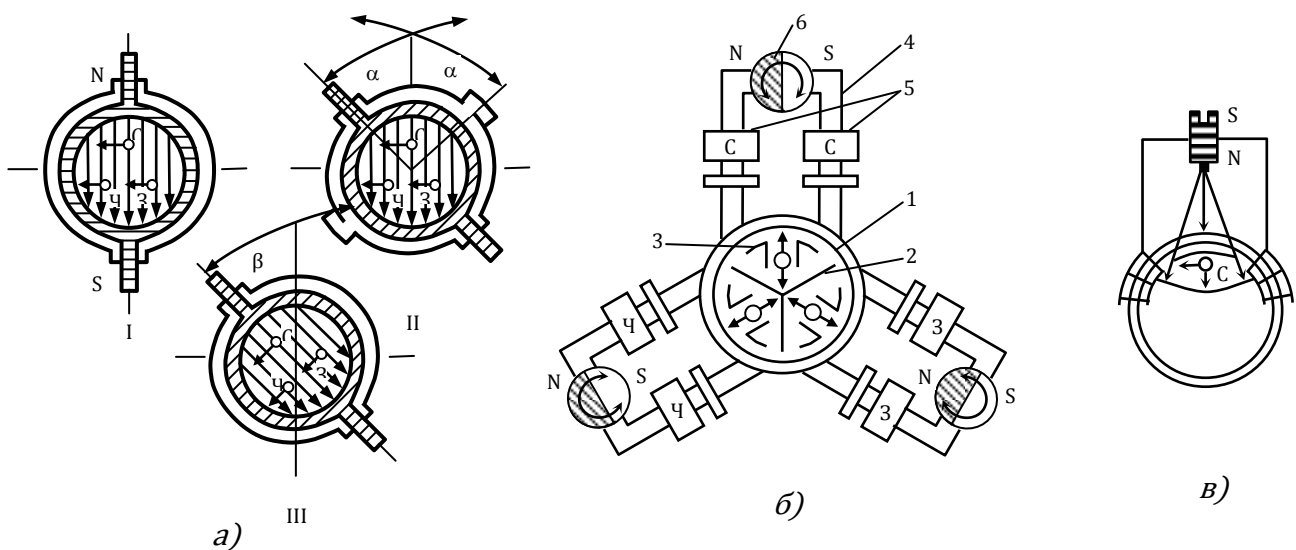


Рис. 5.10 – Пристрій регулювання чистоти кольору (а) і статичного зведення променів (б, в)

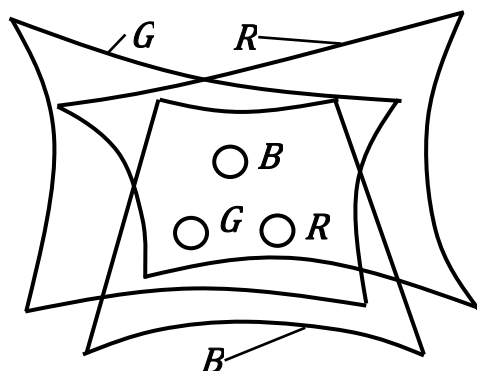


Рис. 5.11 – Порушення суміщення кольорових растрів на екрані кінескопа

**3. Порушення суміщення електронних променів** при їхньому відхиленні від центра до краю екрана, обумовлене наступними основними причинами:

- наявністю трьох електронних прожекторів, зміщених щодо вісі кінескопа й маючих із нею кут нахилу  $1^\circ$ , що приводить до появи на екрані кінескопа трьох зміщених друг щодо друга трапецеїдальних растрів (рис. 5.11);

- знаходженням геометричних місць перетинання трьох променів при їхньому відхиленні на поверхні сфери, радіус кривизни якої визначений кутом нахилу прожекторів ( $1^\circ$ ) і значно менше радіуса кри-



визни екрана. Тому при відхиленні від центра до периферії екрана електронні промені будуть досягати площини маски у вигляді розбіжних пучків (рис. 5.12) і попадати на люмінофорні зерна різних тріад. Крім порушення суміщення зображення наявність відносно плоского екрана приводить, як й у випадку із чорно-білим кінескопом, до подушкоподібних перекручувань растра.

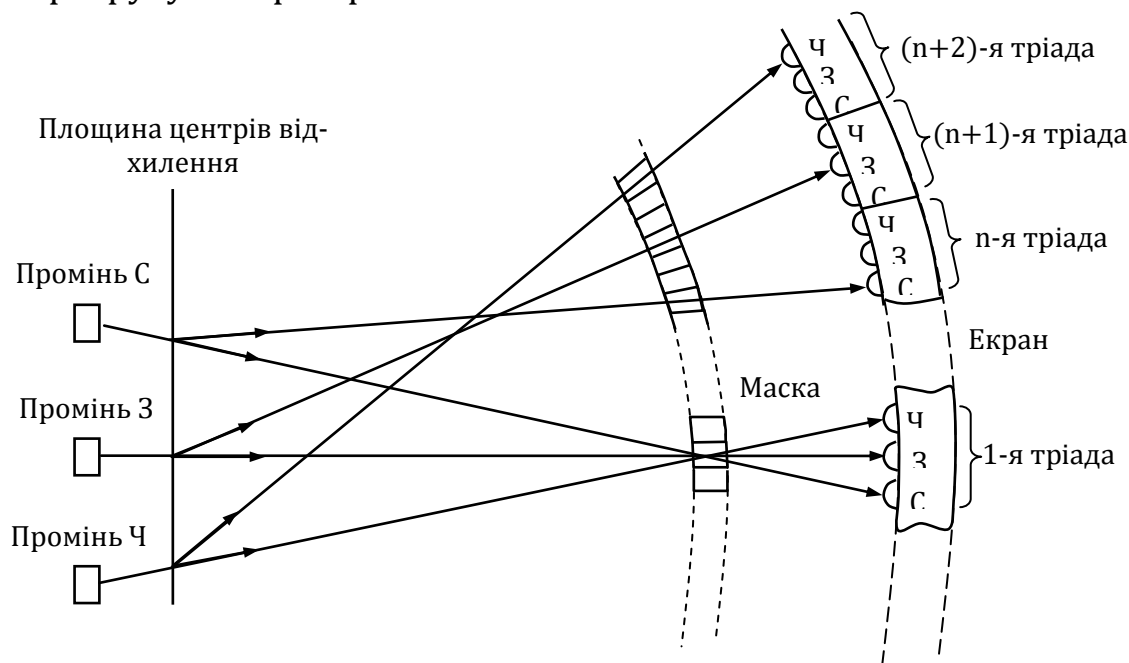


Рис. 5.12 – Порушення суміщення електронних променів при відхиленні

Зазначені причини діють спільно й ведуть до порушення динамічного зведення променів, для корекції якого використовується система динамічного зведення, конструктивно об'єднана із системою статичного зведення.

**Динамічним зведенням** називають суміщення променів, що відхиляються, по екрану. Здійснюється воно за допомогою спеціальних трьох пар рядкових і трьох пар кадрових котушок, які розміщені на магнітопроводах регулятора зведення.

Пристрій динамічного й статичного зведення 5, 6 (рис. 5.8) складається із уведеного в конструкцію електронного прожектора циліндра зведення (див. рис. 5.10 б) маючого усередині екрани 2 і полюсні наконечники 3, і три пари П- подібних магнітопроводів регуляторів зведення 4.

Динамічне зведення забезпечується шляхом пропускання через обмотки електромагнітів 5 регулятора зведення струмів кадрової й 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. У деяких випадках тільки радіальний зсув променів не забезпечує повне їх зведення в одну тріаду. Потрібно додаткове тангенціальне переміщення одного із променів, що звичайно забезпечується за

допомогою магніту бічного зсуву синього променя, поміщеного на горловині кінескопа.

Масочний кінескоп із триадним дельта-подібним розташуванням прожекторів у цей час застосовується в більшості застарілих телевізорів і ВКП, однак має істотні недоліки, основними з яких є необхідність складних схем динамічного зведення променів і мала прозорість тіньової маски, що затримує більше 80% струму в кожному електронному промені.

#### 5.4.2 Масочний кінескоп з компланарним розташуванням прожекторів

Особливостями масочних кінескопів з компланарним розташуванням ЕОП (61ЛК5Ц, 51ЛК2Ц) є те, що:

по-перше, прожектори розміщуються в одній горизонтальній площині, у центрі – зеленого кольору, по боках – червоного та синього (рис. 5.13а,г);

по-друге, що люмінофори нанесені на екран у вигляді смужок R, G та B, що перемешуються (штрихова структура екрана). Приклад наведений на рис. 5.13б;

по-третє, вісі трьох електронних прожекторів перебувають в одній горизонтальній площині, причому вісь одного прожектора (зеленого) збігається з віссю кінескопа, а осі двох інших прожекторів повернені до осі кінескопа на кут 1,5 (рис. 5.13а);

по-четверте, кінескоп має лінійчасту структуру люмінофорного покриття екрана 3 (рис. 5.13б) і тіньову щілинну маску 2.

по-п'ятих, отвори в тіньовій масці виконані у вигляді вертикальних прорізів - щілин і мають горизонтальні перемички, що збільшують її механічну міцність (рис. 5.13в).

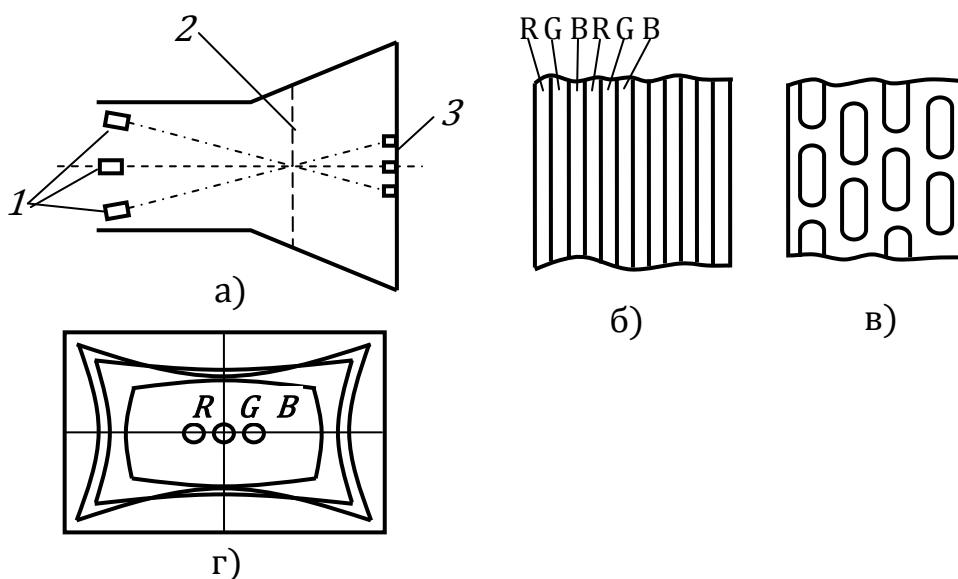


Рис. 5.13 – Кінескоп з компланарною оптикою й щілинною маскою:

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

Оскільки маска кінескопу – щілинна, вона має вигляд пластини з прорізами, розташованими вертикально. Якщо дивитись з точки розміщення будь-якого з прожектора крізь маску, то буде видний лише "свій" люмінофор.

Компланарне розміщення прожектора, щілинна маска і штриховий екран забезпечують ряд переваг у кінескопа з компланарним розташуванням прожекторів у порівнянні з дельта-кінескопом, які полягають у наступному:

1. Розташування електронних прожекторів в одній площині робить аберації при відхиленні симетричними, що спрощує умови зведення променів, через те, що середній промінь, звичайно зелений, (G) спрямований уздовж осі кінескопу і дає симетричний відносно осей екрана растр, який не потребує зведення променів. Растри від бокових променів червоного і синього (R, B) потребують тільки горизонтального зведення, тобто їх необхідно сполучати із центральним (зеленим) тільки в горизонтальному напрямку,

2. Підвищується яскравість світіння екрана кінескопа, тому що щілинна маска має більше високу прозорість для збуджуючих люмінофорний екран електронів, чим маска, що має круглі отвори.

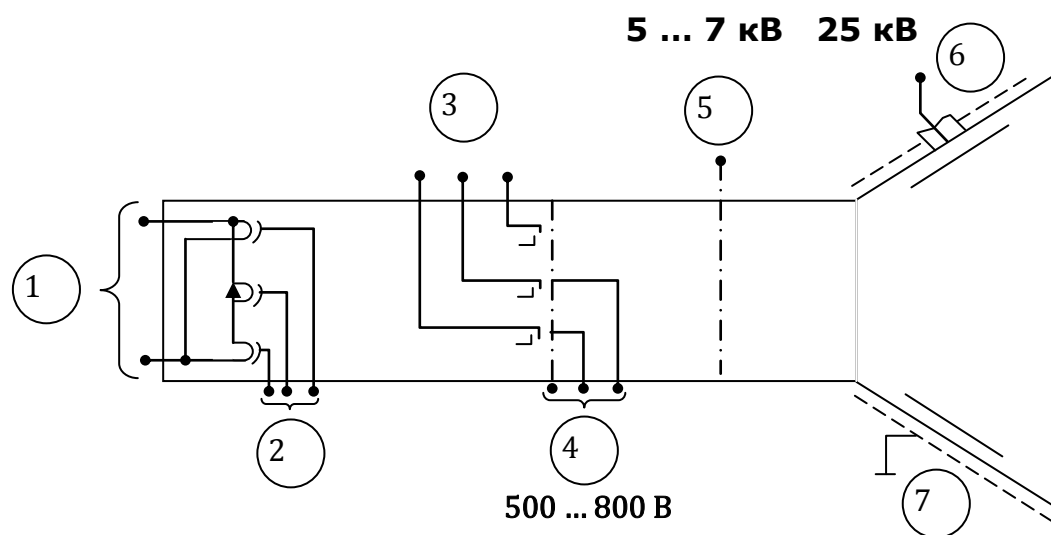
3. Поліпшується чистота кольорів, тому що електронний промінь на люмінофорну смугу може попадати тільки в одному (горизонтальному) напрямку. По цій же причині на чистоту кольорів у компланарних кінескопах значно менший вплив робить магнітне поле Землі, конкретно – тільки її вертикальна складова, що зрушує промінь у горизонтальному напрямку.

4. З'являється можливість побудувати кінескопи за принципом самозведення променів, тобто задати форму магнітного поля відхиляючої системи таким чином, щоб була компенсація розшарування бокових променів при їх відхиленні. і тим самим виключити складні пристрої й схеми статичного й динамічного зведення. Реалізація "самозведення" полягає у точному виготовленні відхиляючої системи, її юстирування на кінескопі і жорсткому закріпленні на кінескопі. Дійсно, у компланарному кінескопі відхилення трьох променів у рівномірному магнітному полі приводить до розшарування вертикальних ліній ліворуч і праворуч (рис. 5.13г). Таке розшарування може бути скоректоване за допомогою нерівномірного магнітного поля, що володіє астигматизмом при відхиленні пучка електронів.

У системі із самозведенням зображення з необхідною точністю можуть бути сполучені лише за умови прецизійного виконання електронно-оптичного вузла трубки й точної повторюваності конфігурації магнітного поля відхиляючих систем. Для виконання цієї вимоги блок прожектора повинен бути виконаний у вигляді єдиного конструктивного вузла, а сам кінескоп випускається в комплекті із закріпленою до горловини відхиляючою системою, положення якої попередньо ретельно юстиру-

ється з метою отримання оптимальних чистоти кольору й зведення променів. Регулюючим елементом, який використовується при настроюванні комплексу кінескоп - система, що відхиляє, є також магнітостатичний пристрій, що включає в себе магніти чистоти кольору й статичного зведення, установлені на горловині кінескопа за системою, що відхиляє. За принципом дії ці пристрої аналогічні подібним до пристроїв, що працюють у кінескопі із трикутним розташуванням прожекторів. Однак оптимальне положення їхніх регулюючих елементів підбирається й фіксується на заводі-виготовлювачі кінескопу і надалі в процесі експлуатації не регулюється.

Прожектори кінескопів мають типову конструкцію (рис. 5.14). відхиляючої системи, а також магнітне поле Землі, що викликають зсув променів у вертикальному напрямку, не призводять до зміщення променів з "своїх" люмінофорів.



**Рис. 5.14. Конструкція кінескопа з компланарним розташуванням прожекторів:**

1 – підігрівачі; 2 – катоди; 3 – модулятори; 4 – прискорюючі електроди; 5 – електрод, що фокусує; 6 – анод; 7 – графітове покриття

Управління інтенсивністю складових R,G,B у кольорових телевізорах першого покоління (УЛПЦТ) здійснювалось таким чином: на катоди усіх прожекторів подавався сигнал яскравості, а на модулятори – відповідні кольорорізницеві сигнали R-Y, G-Y, B-Y.

У сучасних телевізорах – дещо інакше: на катоди подаються кольорові сигнали  $E_R$ ,  $E_G$ ,  $E_B$ , а також імпульси гасіння.

У більшості кінескопів з самозведенням усі прискорюючі електроди і усі модулятори з'єднані між собою.

### 5.4.3 Ріднокристалічні екрани (LCD - Liquid Crystal Display)

Перетворювачі електричних сигналів в оптичне зображення – пристрої відтворення ТВ зображення – можуть бути розділені на пристрої прямого спостереження і проєкційні. Найбільш поширеними серед пристроїв прямого спостереження до останнього часу були монохромні і кольорові електронно-променеві приймальні трубки – кінескопи. Вони забезпечують отримання ТВ зображення площею до 0,25...0,5 м<sup>2</sup>, призначеного для перегляду невеликим числом глядачів. Основними вимогами, що пред'являються до пристроїв відтворення ТВ зображення, є: необхідні розміри екрану, достатня яскравість, здібність до створення зображенні з високим контрастом, висока роздільна здатність, що дозволяє розрізняти найдрібніші деталі зображення, а також розміри відтворюючих пристроїв, стабільність їх характеристик і т.д.

В усіх типах відтворюючих пристроїв формування кольорового зображення здійснюється шляхом змішування трьох кольорів  $R, G, B$  в кожній елементарній точці сюжету, що передається. Змішування здійснюється просторовим способом, коли точки, риси трьох різних кольорів, кутові розміри яких менше кута розрізнення ока, разом сприймаються у вигляді певного кольору.

Нарівні з удосконаленням кінескопів, увагу конструкторів телевізійної апаратури завжди привертала пристрої, що мають вид *плоского екрану*, а також пристрої, що забезпечують формування зображень великого розміру (діагональ екрану від метра до десятків метрів).

До числа перетворювачів такого типу можна віднести плоскі LCD - екрани на рідких кристалах, плазмові панелі, матричні екрани на світлодіодах та ін. Не всі прилади названих типів задовольняють вимогам ТВ стандартів, але вони широко використовуються як комп'ютерні дисплеї, індикатори різного вигляду, пристрої мультимедіа, відеошукачі ТВ камер і фотоапаратів.

Ріднокристалічні матриці – *РК матриці* можна розділити на два типи: з пасивними і активними елементами. Матриці з активними елементами формують кольорове зображення більш високої якості, тому вони знайшли широке застосування в пристроях відтворення зображень. Основною відмінністю матриць цього типу є наявність ключових транзисторів, які управляють роботою кожної з трьох ( $R, G, B$ ) кольорово роздільних ділянок будь-якого елемента зображення РК- матриці. З цим пов'язана і назва матриць цього типу: TFT-LCD (Thin Film Transistor – Liquid Crystal Display – матриця на базі РК елементів з тонкоплівковими транзисторами).

*Технологія.* У рідино кристалічних (РК) екранах (LCD - екранах) використовується властивість рідинних кристалів змінювати свою просторову орієнтацію під впливом електричного поля, а також змінювати при цьому кут поляризації світлового потоку, що проходить крізь РК- кристал.

Кут поляризації світлового потоку змінюється в залежності від значення електричного поля.

Один елемент LCD - екрану являє собою модулятор світла, який складається з двох прозорих пластин, між якими знаходяться рідинні кристали. Зовні на ці прозорі пластини нанесені тонкі паралельні прозорі електроди (1 пластина – вертикальні, 2 пластина – горизонтальні). Якщо пропустити струм крізь електроди, то між ними буде виникати електричне поле, яке буде впливати на кристали.

В залежності від електричного поля, що виникає при поданні напруги між електродами, молекули рідинних кристалів розвертаються на відповідний кут (рис. 5.15). *Це одна з основних властивостей РК- кристалів.*

Принцип роботи РК- модуляторів світла LCD - екрану складаються: два поляризаційних фільтра, кольорові фільтри, два урівнюючі шари (з електродами), що регулюють скільки світла пройде крізь РК- елемент (Рис. 5.16).

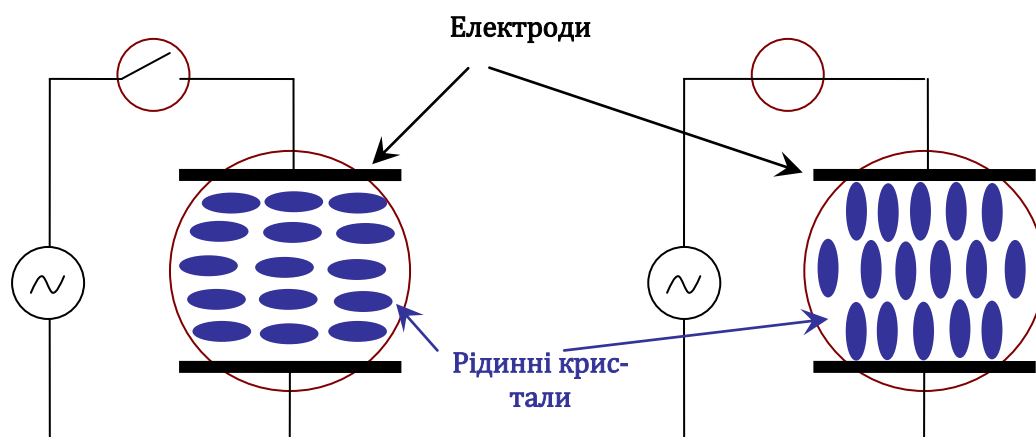


Рис. 5.15 – Реакція РК - кристалів на зовнішнє електричне поле

LCD-екран з матрицею РК- модуляторів підсвічується спеціальною лампою (Рис. 5.17). Світловий потік проходить крізь перший поляризаційний фільтр і на РК- кристали подається вже поляризований світ. На обидва урівнюючі шари подається напруга, що призводить до повороту молекул РК- кристалів. Проходження світловим потоком слою РК - кристалів призводить до зміни куту поляризації. Після цього світ поступає на другий поляризаційний фільтр, кут поляризації якого відмінний від першого поляр. фільтра.

Інтенсивність світлового потоку LCD-екрану залежить від куту між поляризаційними фільтрами за напругою, що подається на РК - кристали. Якщо напруги немає РК - кристали розгорнуті на  $90^\circ$  і світловий потік змінює свою поляризацію, проходячи крізь кристал, та проходить крізь другий поляризаційний фільтр. Якщо напруга  $U_0$  подана, РК - кристали повертаються і світловий потік поглинається другим поляризаційним фі-

льтром. На проміжних значеннях напруги (між 0 В та  $U_0$ ) кут поляризації буде меншим і відповідно інтенсивність світлового потоку буде меншою.

Таким чином, регулюючи електричне поле, що прикладене до РК-кристалів, змінюють яскравість світла.

LCD-екран поділений на чарунки, в яких розміщені РК- кристали. Для формування кольору одного пікселя екрану використовуються три чарунки з червоним, синім та зеленим світлофільтром. В залежності від інтенсивності світлового потоку, що проходить крізь кожну з трьох чарунок, піксель екрану змінює колір. Для кожної чарунки використовується транзистор.

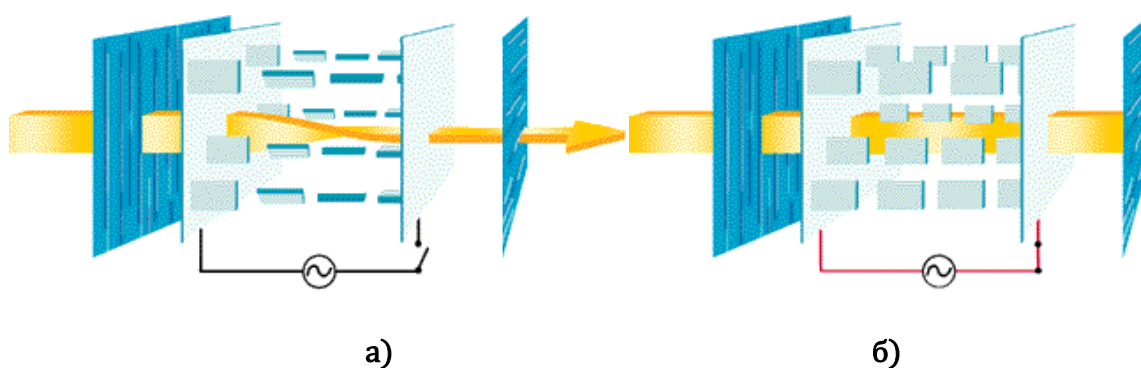


Рис. 5.16 – Поляризація світлового потоку:

а) РК- кристал без прикладення напруги, б) РК- кристал під напругою

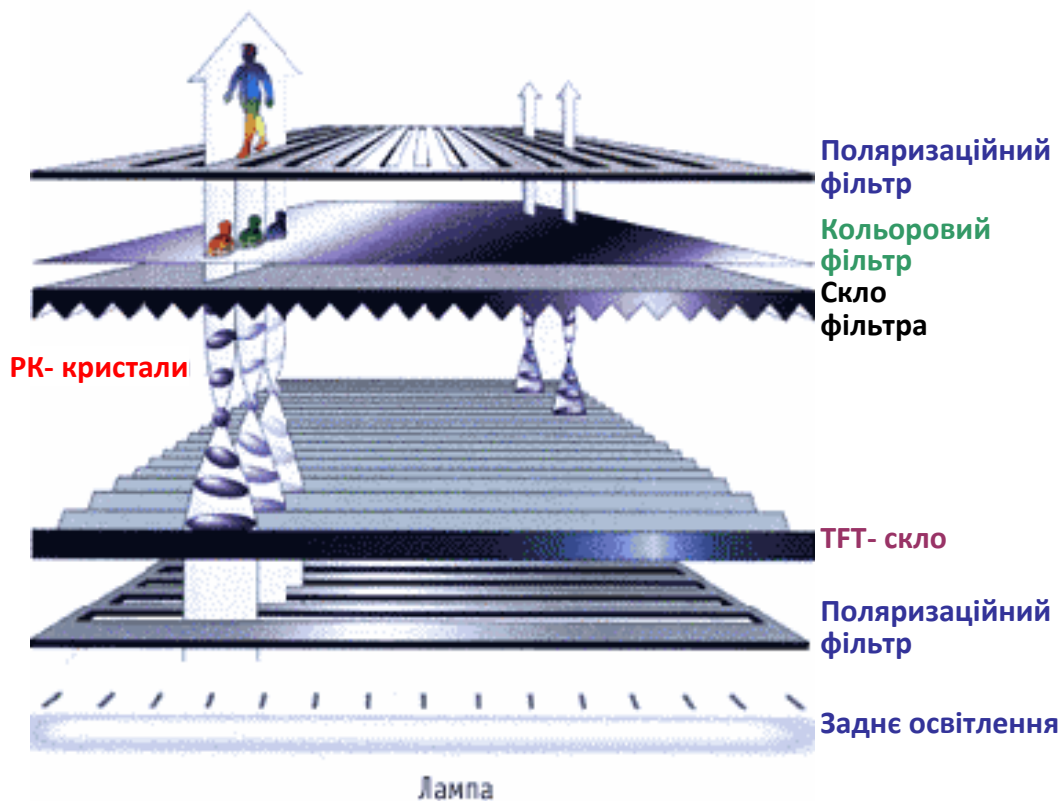


Рис. 5.17 Конструкція LCD-екрану

Конструктивне виконання РК- модулятора пояснюється на рис. 5.18., де зображений фрагмент матриці, відповідний одному елементу зображення [2].

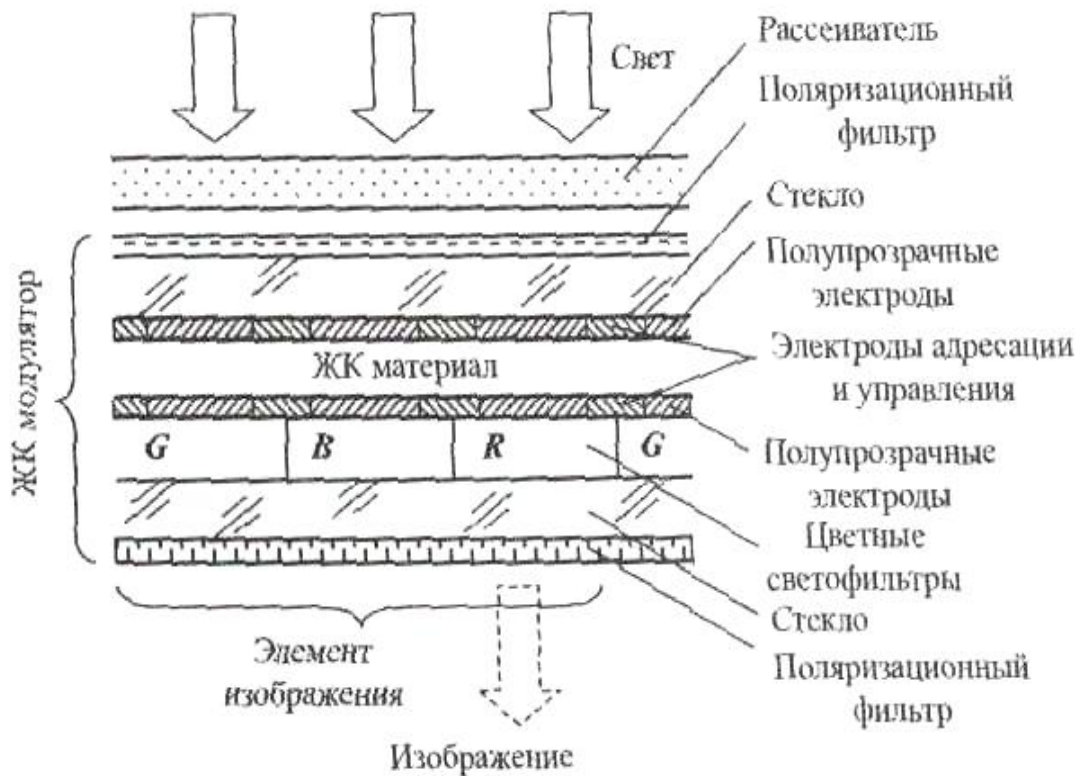


Рис. 5.18 – Конструктивне виконання РК- модулятора

Матриця є модулятором що поступає від зовнішнього джерела світлового потоку – світло, внаслідок чого формується зображення. Для управління прозорістю середовища, відповідного *кожному* елементу матриці, використовується явище поляризації світла. Конструкція матриці включає дві скляні підкладки товщиною біля 1мм – скло. Зазор між підкладками складає одиниці мікрметрів; він строго дотримується за всією площею матриці, для цього конструкція матриці включає спеціальні елементи, які задають зазор: кульки або циліндри з твердого матеріалу – спейсери. Саме в цей зазор вводиться РК матеріал, що володіє ефектом обертання площини поляризації світла при додатку до напівпрозорих електродів, між якими він знаходиться, електричної різниці потенціалів. Ці електроди, а також електроди адресації і управління, наносяться на внутрішні поверхні скляних підкладок. Природно, вся конструкція з торців герметизується. На зовнішні поверхні підкладок наклеюються поляризаційні фільтри з певною орієнтацією площини поляризації. Кольорові світлофільтри, як показано на рис. 5.18.[2], встановлюються на внутрішній поверхні зовнішньої скляної підкладки. При формуванні кольорового зображення використовується, як і в масочному кінескопі, метод просто-



рового зміщення світлових потоків. Кожна трійка ( $R, G, B$ ) складає один елемент зображення. Для формування світлового потоку, що просвічує, застосовується рівномірне флуоресцентне або інше підсвічування, яке освітлює екран зсередини. Враховуючи достатньо складну структуру електродів управління і комутації, для збільшення ефективності використання площі РК матриці в її структуру часто включають мікролінзовий растр (на рис. 5.18. не вказаний). Кожний елемент матриці включає власну мікролінзу, що направляє світловий потік через прозору область, подібно прийому, що використовується в ПЗЗ- матрицях.

Розглянемо більш детально механізми взаємодії елементів осередку матриці, що модулює світловий потік. Вектори площин поляризації першого (від джерела світла) і другого поляризаційних фільтрів повернені один щодо іншого на  $90^\circ$ . При проходженні через перший поляроїд втрачається половина світлового потоку. У відсутності зовнішнього електричного поля РК матеріал повертає площину поляризації частини світлового потоку, що залишилася, на  $90^\circ$ , тобто його площина поляризації співпадає з площиною поляризації другою поляроїда – світло практично без втрат проходить через другий поляризаційний фільтр (*зображення*). Якщо між напівпрозорими електродами створити різницю потенціалів, то можна реалізувати умови, при яких площина поляризації, яка проходить через товщу РК матеріалу не змінюється, і він повністю поглинається в другому поляризаційному фільтрі. Таким чином, управляючи різницею потенціалів між напівпрозорими електродами, можна здійснювати модуляцію світлового потоку, який проходить. Для цього в матрицях даного типу кожний елемент зображення включає тонко плівкові TFT-транзистори або діоди, а також місткості пам'яті, які формують ключовий управляючий елемент.

Розглянуті елементи об'єднуються в матрицю. Використовують різні формати топології матричних РК дисплеїв, а також різні варіанти синтезу структури електродів адресації. На рис. 5.19 [2] приведений найпростіший і часто використовується варіант, заснований *на застосуванні двох схрещених смугових структур*. Структура електродів адресації визначається вибраним варіантом топології кольорових фільтрів. В пристроях відтворення використовують смугові, мозаїчні і дельта структури розташування фільтрів.

Вибір топології розташування фільтрів визначається, як і в матричних ПЗС, оптимізацією

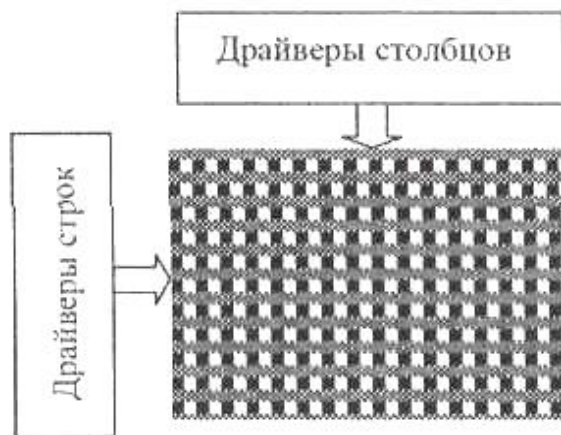


Рис. 5.19 – Структура мережі адресації і управління

якості формованого зображення, так і проблемами, пов'язаними із забезпеченням вимог технології їх виготовлення. При проектуванні відеотракту слід враховувати нелінійність модуляційної характеристики ЖК елементів матриці. Це пов'язано з складним характером залежності інтенсивності світла на виході ЖК модулятора від кута повороту площини поляризації.

В РК модуляторах активного типу, завдяки наявності в кожному елементі місткості пам'яті, на відміну від електроннопроменевої трубки, є можливість управління тривалістю «свічення» кожного елемента зображення. Це дозволяє істотно змінити тимчасову структуру зміни кадрів. Для формування півтонового зображення на екрані РК матриці може використовуватися управління тривалістю свічення елементів, тобто широтно-імпульсна модуляція (ШІМ) або складніші технології.

Як було відзначено, безпосередньо РК- матриця є модулятором світлового потоку, створюваного джерелом заднього підсвічування. Як такі джерела використовують панелі електролюмінесценції або лампи, панелі світлодіодів, лампи розжарювання і ін. При конструюванні РК- екранів прагнуть забезпечити ідентичність засвічення всіх елементів РК- матриці (рівномірність оптичного потоку по полю зображення). З цією метою між джерелами світла і РК- матрицею встановлений розсіювач (рис. 5.18). Яскравість телевізійних РК- екранів досягає 400...500 кд/м<sup>2</sup>.

#### 5.4.4 Плазмові панелі відтворення зображень

Плоскі плазмові панелі (ПП) – PDP (Plasma Display Panel) широко використовуються як елементи ТВС, а також в телевізійних приймачах різного конструктивного виконання – «плоских телевізорах». Як і в РК- дисплеях, екран ПП є матрицею, що включає тріади ( $R$ ,  $G$ ,  $B$ ) елементів. Модель, що розкриває процеси взаємодії компонентів одного з кольірних елементів зображення (наприклад,  $R$ ) плазмової панелі приведена на рис. 5.20 [2]. Принцип дії такого елемента заснований на свіченні люмінофорів червоного, зеленого і синього кольору при дії на них ультрафіолетового випромінювання, яке виникає при електричному розряді в середовищі розрядженого газу. Люмінофор кожного осередку ПП покриває задню і частково бічні стінки окремих осередків. В конструкції плазмових панелей передбачено використання поверхневого розряду, який відбувається між електродами, розміщеними в одній площині. Цей розряд виникає під впливом що підводиться до електродів напруги (на рис. 5.20 у верхніх електродів). Ці електроди прозорі для світла. Електричний розряд приводить до іонізації газу і утворення плазми. Плазма, як відомо, є частково або повністю іонізованим газом, в якому густина позитивних і негативних зарядів практично однакова. Плазма і є джерелом ультрафіолетового випромінювання.

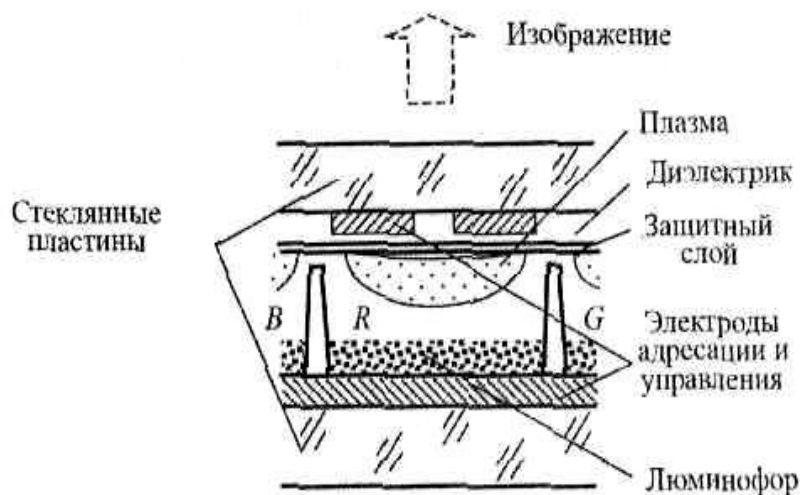


Рис. 5.20 – Елемент плазмової панелі

Вся конструкція плазмової панелі укладена між двома скляними пластинами. На внутрішні поверхні цих пластин нанесена система смугових електродів, шари діелектрика, люмінофори і перегородки, які відділяють один випромінюючий осередок від іншого. Простір між пластинами заповнений робочим газом, і вся конструкція герметична по периметру панелі. Розгортка зображення здійснюється під впливом електричних сигналів, що підводяться до електродів адресації. На екрані матриці формується телевізійний растр.

Особливість формування зображення на екрані плазмової панелі полягає в тому, що яскравість кожного елемента при збудженні люмінофора залишається постійною. Модуляція середньої яскравості свічення елемента (за час кадру) і, отже, формування сприйманого спостерігачем півтонового зображення, здійснюється за рахунок зміни тривалості свічення: «найяскравіші елементи» світяться практично протягом всього часу кадру, тоді як «темні», – протягом дуже короткого часу. Управління яскравістю кожного елемента зображення здійснюється за допомогою зміни часу свічення відповідного осередку плазмової панелі. Розміри окремих осередків визначаються розміром екрану ПП і загальним числом елементів зображення. На екрані плазмової панелі розглянутим способом можна формувати зображення з яскравістю до  $700 \text{ кд/м}^2$  і контрастністю не менше  $500 : 1$ . Конструкція і елементи панелі забезпечують формування зображення в широкому куті зору: по горизонталі до  $160^\circ$ .

До числа недоліків плазмової панелі відноситься достатньо високе енергоспоживання, яке зростає із збільшенням розміру панелей.

### Висновок

У лекції розглянути основні поняття й визначення кольорового ТБ, принципи формування кольорового телевізійного сигналу, засоби відтворення зображення.

## ЛЕКЦІЯ 6. СИСТЕМИ КОЛЬОРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ

### План

- 6.1. Побудова і класифікація систем кольорового ТБ.
  - 6.2. Система кольорового ТБ NTSC.
  - 6.3. Система кольорового ТБ PAL.
  - 6.4. Принципи побудови системи кольорового ТБ SECAM.
  - 6.4.1 Формування та приймання сигналів у системі SECAM-IIIВ.
- Висновки

### Література

#### основна

1. Телевидение: Учебник для вузов / В. Гг. Джакония, А. А. Гоголь, Я. В. Друзин и др.; Под ред. В. В. Джаконии. 4-е изд., стереотип. -М.: Горячая линия - Телеком, 2007. - 616 с: ил.
2. Кубата В.Г. Спеціалізовані електронні системи АТЗ: навчальний посібник / В.Г. Кубата, С.В. Лубенец, В.Я. Фролов. – Харків: ХНАДУ, 2011. – 272 с.
3. Основи ТБ: навчальний посібник. Коржов А.М., Роденко С.М., Красношарпа І.В., Максютя Д.В., Садовий К.В., Рибалка Г.В. Х.: ХУПС, 2007.

#### допоміжна

4. ДСТУ 3787-98 ТБ мовне. Якість телевізійного зображення. Методи суб'єктивного оцінювання.
5. ДСТУ 3807-98 ТБ. Терміни і визначення.
6. ДСТУ 3837-99 ТБ мовне. Системи аналогового ТБ звичайної чіткості. Основні параметри та методи вимірювань [4].

### 6.1 Особливості побудови і класифікація систем кольорового ТБ

Для забезпечення передачі кольору в системах кольорового телебачення застосовують спеціальні види сигналів:

*Сигнал основного кольору* - ТВ- відеосигнал, що несе інформацію про яскравість зображення в одному з основних кольорів системи кольорового телебачення [4];

*Сигнал колірності* - сигнал одного чи кількох кольорних піднесівних коливань, модульованих кольорорізницевими сигналами, та сигнал колірної синхронізації;

*Повний колірний відеосигнал; ПКВС* - ТВ- відеосигнал кольорового зображення, що містить сигнал синхронізації [4];

*Композитний відеосигнал* - колірний відеосигнал в системах кольорового телебачення, в яких для передавання кольорорізницевих сигналів використовуються колірні піднесівні коливання [4];

*Компонентний сигнал* - сигнал одного з складників повного кольорового відеосигналу [4];

*Кольорорізницевий сигнал* - телевізійний відеосигнал, що дорівнює різниці двох сигналів, пропорційних певним кольорним координатам, зазвичай, різниці сигналу основного кольору та сигналу яскравості [4].

В різних системах кольорового телебачення кольорорізницеві сигнали мають назву:

сигнали I, Q - кольорорізницеві сигнали в системі NTSC;

сигнали u, v - кольорорізницеві сигнали в системі PAL;

сигнали D, D<sub>B</sub> - кольорорізницеві сигнали в системі SECAM;

сигнали C<sub>R</sub>, C<sub>a</sub> - кольорорізницеві сигнали в системі SECAM, нормовані до одиничного розмаху

У сучасних телевізійних системах кольорового ТБ з метою забезпечення умов сумісності смуга спектра кольорорізницевих сигналів дорівнює  $P_{R-Y} = P_{B-Y} = 1,5$  МГц (в SECAM) і передача цих сигналів здійснюється шляхом ущільнення спектра сигналу яскравості без розширення смуги частот телевізійного сигналу.

Можливість ущільнення пов'язана з дискретністю частотного спектра сигналу яскравості, який має глибокі провали в області частот, кратних непарному числу півперіодів рядкової розгортки. Це дозволяє утворювати суміщені спектри сигналів яскравості і колірності. Для цього сигнали колірності передаються *колірним піднесівним коливанням* - синусоїдним коливанням, призначеним для модулювання кольорорізницевими сигналами [4], частота якого  $f_{кп}$  вибирається із умови  $f_{кп} = 0,5 f_p (2k + 1)$ , де  $k = 0,1,2,3,\dots$ , тобто кратна непарному числу півперіодів частоти  $f_p$ .

В системах NTSC і PAL частота колірного піднесівного коливання відповідно  $f_{кп} \sim 3,58$  МГц та 4,43 МГц.

Ця умова забезпечує розміщення колірного піднесівного коливання  $f_{кп}$ , а також всіх гармонік сигналу кольору у проміжках між гармоніками сигналу яскравості (рис. 6.4).

Для зменшення завад від сигналів кольору на екранах чорно-білих телевізорів частота колірного піднесівного коливання повинна вибиратися у межах смуги сигналу яскравості як можна вище, а амплітуда сигналу звичайно вибирається у 5-10 разів менше амплітуди сигналу яскравості. Завада при цьому проявляється у вигляді малопомітної дрібноструктурної сітки на екранах чорно-білих телевізорів.

За способом ущільнення спектра сигналу яскравості додатковою інформацією про колір сигналу всі діючі сумісні системи кольорового ТБ поділяються на два класи:

1. Системи з квадратурною модуляцією частоти колірного піднесівного коливання:

а) NTSC (США) - композитна система з квадратурною модуляцією піднесівного коливання кольорорізнцевими сигналами [4].

б) PAL (Германія) – композитна система з квадратурною модуляцією піднесівного коливання кольорорізнцевими сигналами, фаза одного з яких змінюється на  $180^\circ$  від рядка до рядка (різновид NTSC).

2. Послідовно - одночасні системи:

а) SECAM (СРСР - Франція) - композитна система з частотною модуляцією піднесівного коливання кольорорізнцевими сигналами, які передаються через рядок [4].

б) SECAM-ІІВ (СРСР) – вітчизняний різновид системи SECAM.

Історично перша – NTSC.

Спектр сигналу яскравості кольорового ТБ, та обвідна суміщеного спектру сигналів кольорового ТБ надані на рис. 6.1, 6.2.

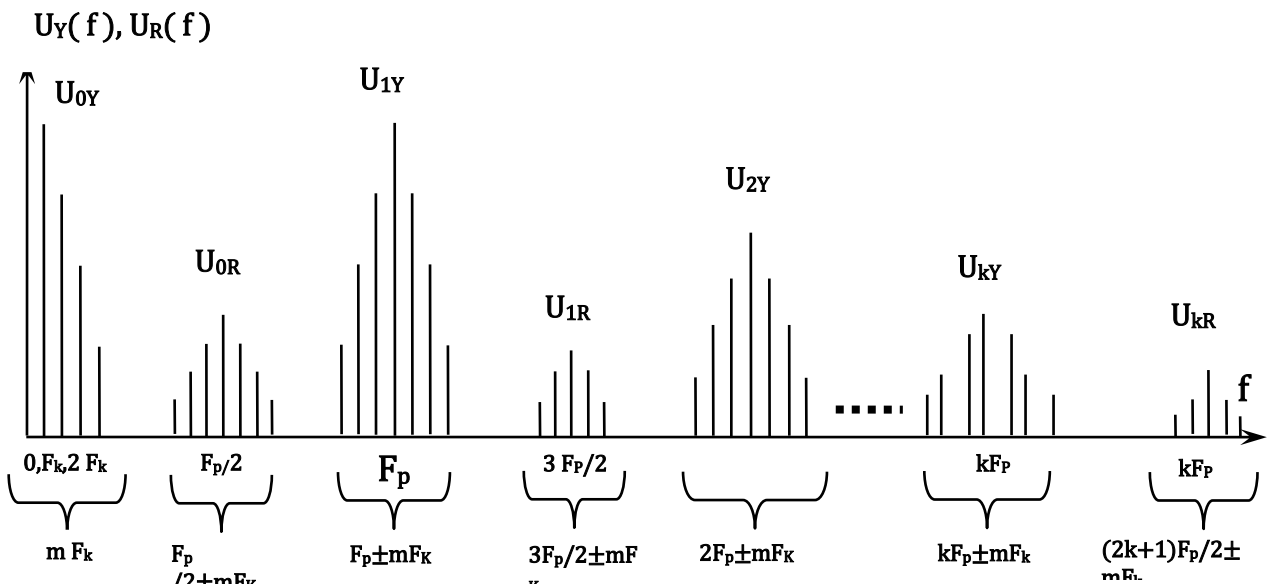


Рис. 6.1 – Спектр сигналу яскравості кольорового ТБ

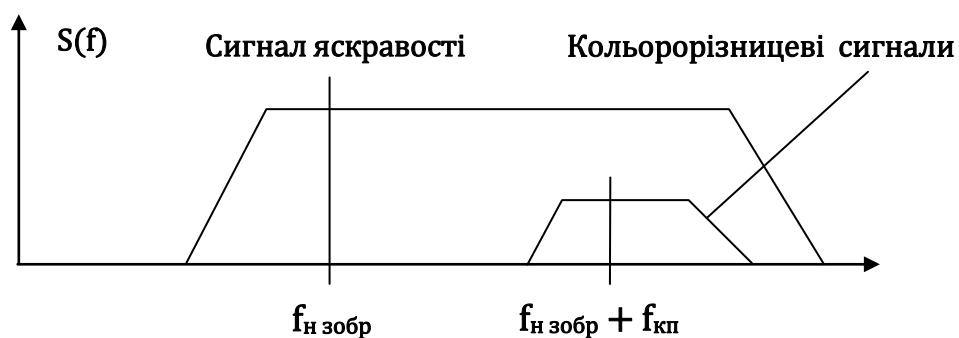


Рис. 6.2 – Обвідна суміщеного спектру сигналів кольорового ТБ

Для забезпечення формування колірних сигналів системи колірного ТБ застосовують дві основні операції:

*Колірне кодування* - формування повного колірного відеосигналу з сигналів основних кольорів або сигналу яскравості та кольорорізницевих сигналів [4];

*Колірне декодування* - відновлювання сигналів основних кольорів або сигналу яскравості та кольорорізницевих сигналів із повного колірного відеосигналу [4].

Тому на передавальній частині кожної системи кольорового телебачення *SECAM [PAL, NTSC]* застосовується пристрій для формування повного колірного відеосигналу з сигналів основних кольорів або сигналу яскравості та кольорорізницевих сигналів – *кодер SECAM [PAL, NTSC]*, а на приймальному боці пристрій для формування сигналів основних кольорів із повного колірного відеосигналу – *декодер SECAM [PAL, NTSC]* [4].

## 6.2 Система кольорового ТБ NTSC

Приступимо до розгляду систем кольорового ТБ. Було визначено, що для здійснення сумісної передачі чорно-білого та кольорового зображення необхідно у ПТС передавати сигнал яскравості  $E_Y$  і два кольорорізницевих сигнали  $E_{R-Y}$  і  $E_{B-Y}$ .

У наш час існують три різних системи кольорового ТБ: NTSC, PAL і SECAM, які відрізняються методами кодування кольорорізницевих сигналів і формуванням повного спектру сигналу кольорового зображення.

Оскільки суміщені системи кольорового ТБ створювалися в умовах існуючих на той час різних стандартів чорно-білого ТБ, то в наш час утворилось 6 різних систем кольорового ТБ, що відрізняються як за принципами кодування кольорорізницевих сигналів, так і за існуючими стандартами: NTSC, PAL (625 рядків, 5 МГц – смуга відео, 5,5 МГц – рознесення), PAL-M (525, 4,2; 4,5), PAL-N (625, 4,2; 4,5) і SECAM та NTSC (4,43).

Телевізійний стандарт визначає сукупність параметрів розкладання ТБ зображення: частоти полів і рядків, формат кадру, рознесення частот колірних піднесівних коливань, ширина каналу ТБ, полярність модуляції, тип модуляції звуку.

Система кольорового ТБ NTSC є історично першою суміщеною системою кольорового ТБ (National Television System Color). У наш час вона прийнята у якості стандартної в США, Канаді, Японії та інших країнах американського континенту.

Передача кольорорізницевих сигналів здійснюється на одному колірному піднесівному коливанні. Для цього використовується метод квадратурної модуляції, який полягає у тому, що складаються два АМ сигнали, колірні піднесівні коливання яких мають однакову частоту, але зсунуті за фазою на  $90^\circ$ . Це забезпечує незалежність сигналів внаслідок їх ортогональності. В NTSC використовується балансна модуляція, при якій несуча подавляється (рис. 6.3).

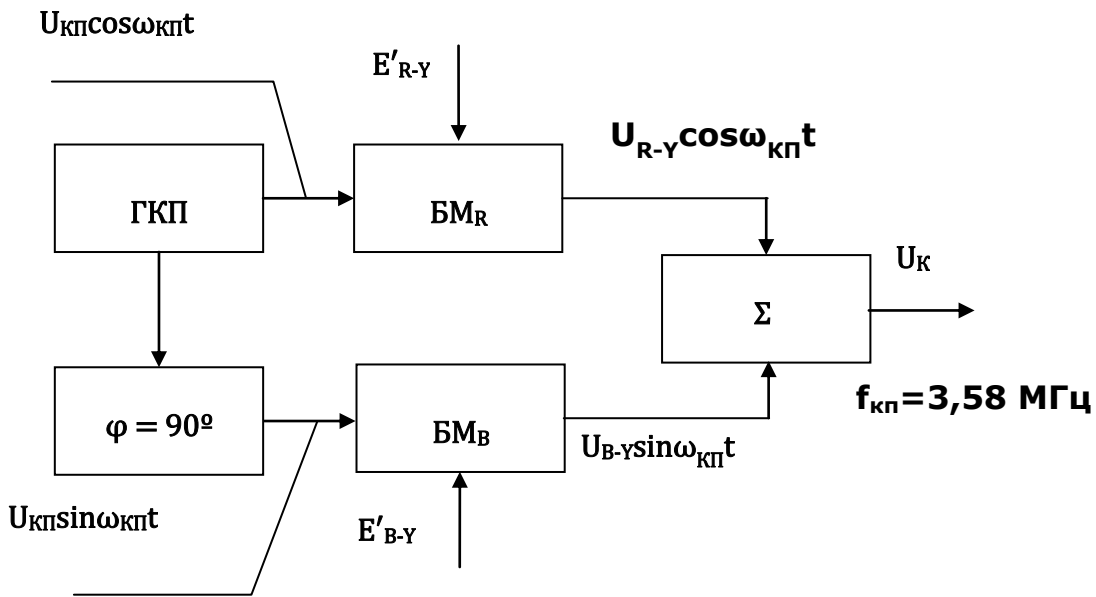


Рис. 6.3 – Структурна схема кодеру системи кольорового ТБ NTSC

Сигнали кольоровості, що пройшли  $\gamma$  - корекцію на передаючій стороні позначають  $E'_R, E'_G, E'_B$ . У результаті на виході суматора утворюється сигнал кольоровості

$$U_{кп} = U_{R-Y} \cos \omega_{кп} t + U_{B-Y} \sin \omega_{кп} t = |U_{R-Y} + U_{B-Y}| = U_{кп} \sin (\omega_{кп} t + \varphi),$$

де 
$$U_{кп} = \sqrt{U_{R-Y}^2 + U_{B-Y}^2}; \varphi = \arctg \frac{U_{R-Y}}{U_{B-Y}}.$$

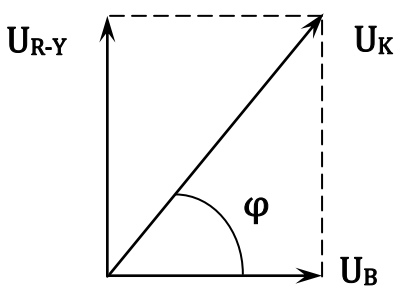


Рис. 6.4 Передача кольорорізницевих сигналів методом квадратурної модуляції

Таким чином, при квадратурній модуляції здійснюється перехід від двох кольорорізницевих сигналів до результуючого кольорового сигналу, при якому інформація про колір передається зміною амплітуди і фази сигналу (рис. 6.4).

Амплітуда результуючого сигналу визначає насиченість кольору, а фаза - колірний тон. Даний колірний сигнал далі складається у передаючій частині з сигналом яскравості і синхросигналом в результаті чого і формується ПКВС.

З метою скорочення смуги частот сигналів кольоровості і поліпшення якості зображення замість кольорорізницевих сигналів  $E'_{R-Y}, E'_{B-Y}$  у сучасній NTSC використовуються змінені кольорорізницеві сигнали  $E'_I$  та  $E'_Q$ :



$$E'_I = 0,74 E'_{R-Y} - 0,27 E'_{B-Y};$$

$$E'_Q = 0,48 E'_{R-Y} + 0,41 E'_{B-Y}.$$

Виразимо сигнали  $E'_I$  та  $E'_Q$  через основні кольори. Отримаємо

$$E'_I = 0,6E'_R - 0,28E'_G - 0,32E'_B;$$

$$E'_Q = 0,21E'_R - 0,52E'_G + 0,31E'_B.$$

На приймальній стороні із ПКВС за допомогою смугового фільтра виділяється сигнал  $U_k$ , який подається на два синхронних детектори. На інші входи детекторів надходить сигнал від місцевого генератора кольорного піднесівного колювання, причому на кожний СД – із зсувом фази на  $90^\circ$ . Виділені сигнали  $E'_I$  та  $E'_Q$  у декодуючій матриці дозволяють отримати кольорорізницеві сигнали.

Для забезпечення синхронності і синфазності генератора кольорного піднесівного колювання здійснюється його фазове автопідстроювання частоти (ФАПЧ). Для цього існує спеціальний сигнал, який передається у кінці кожного рядкового гасівного імпульсу. Цей сигнал має 8 періодів кольорного піднесівного колювання і називається "сполохом" (рис. 6.5).

Система NTSC забезпечує високу якість кольорового зображення і необхідну сумісність з системами чорно-білого ТБ. Але через те, що у системі використовується квадратурна модуляція (тобто інформація про колір закладена у фазу сигналу), при кожному порушенні фази сигналу, що передається, спотворюється колір зображення. До частотнофазових характеристик усіх складових ТВ тракту пред'являються дуже високі вимоги.

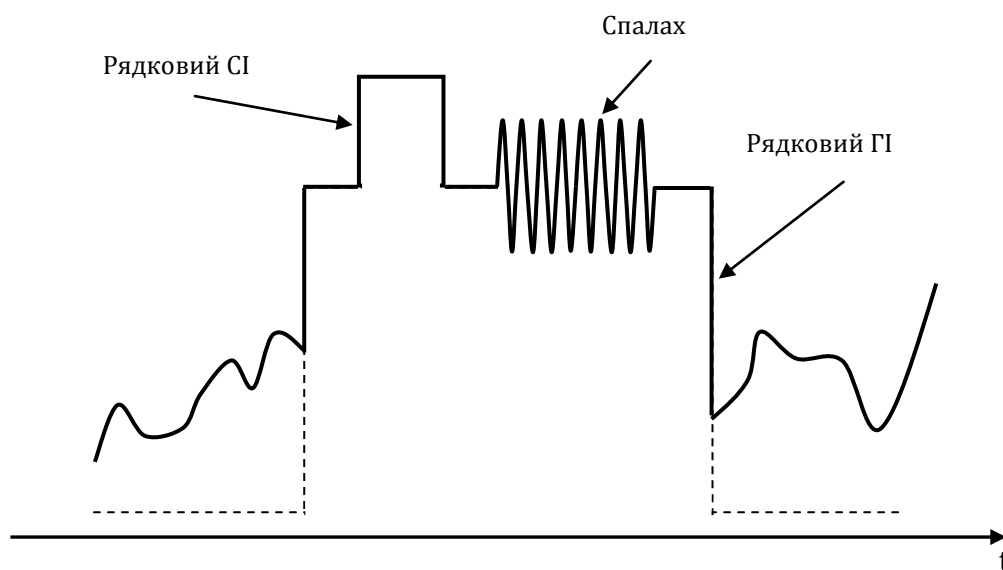


Рис. 6.5 – Спеціальний сигнал для здійснення ФАПЧ

Структурна схема декодера системи NTSC представлена на рис. 6.6.

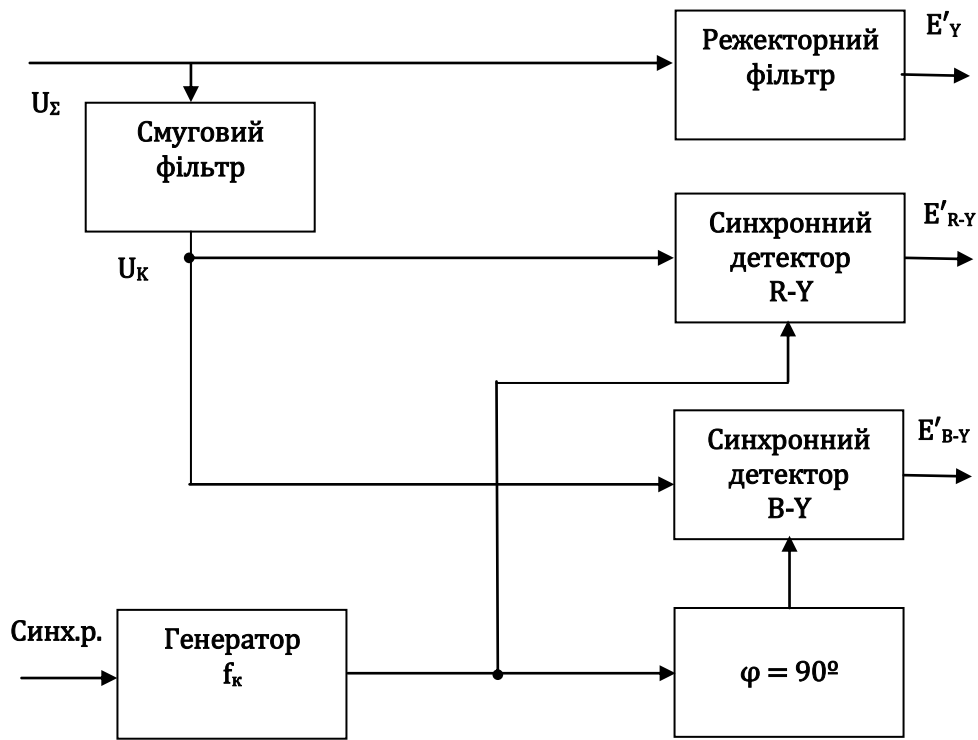


Рис. 6.6 – Спрощена структурна схема декодера системи NTSC

### 6.3 Система кольорового ТБ PAL

Розроблена в 1962-66 рр. у ФРН і прийнята у якості стандартної у ряді країн Західної Європи (ФРН, Англія, Швеція та ін). (Phase alternation line - рядок із фазою, що змінюється).

У неї зберігається метод квадратурної модуляції кольорного піднесі-вного коливання кольорорізнцевими сигналами, як і в NTSC, але фаза однієї з квадратурних складових при передачі змінюється від рядка до рядка на  $180^\circ$  (рис. 6.7).

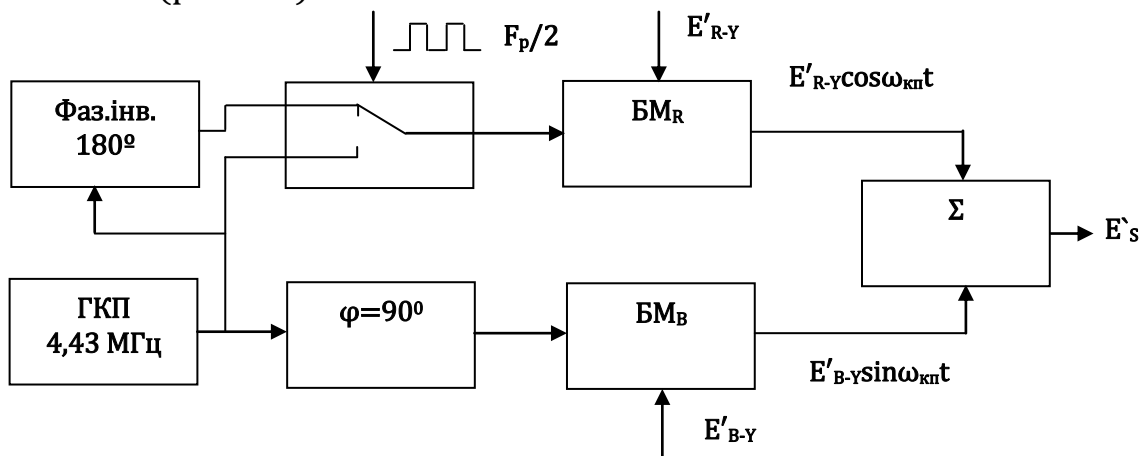


Рис. 6.7 –Спрощена структурна схема кодера пристрою системи PAL

У приймачі (рис. 6.8) складання прямого і затриманого на час одного рядка (64 мкс) сигналу кольору  $U_K$  дозволяє виділити незалежний сигнал  $U_{B-Y}$ , а їх розрізнення – незалежний сигнал  $U_{R-Y}$ , який від рядка до рядка змінює фазу на  $180^\circ$ .

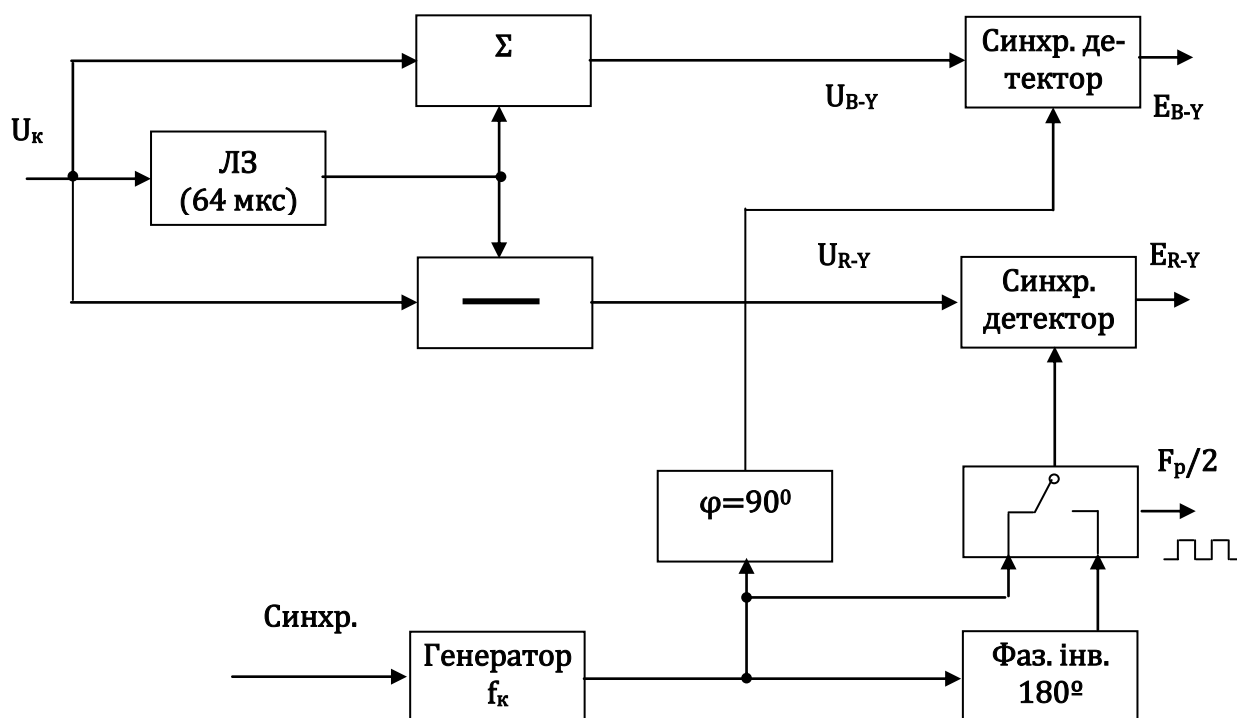


Рис. 6.8 – Спрощена структурна схема декодера пристрою системи PAL

Такий принцип побудування системи дозволяє уникнути основного недоліку системи NTSC – диференційно-фазових спотворень. Фазовий зсув сумарного вектора на кут  $\Delta\varphi$  не призводить до порушення кольорового тону, а лише зменшить насиченість у  $\cos\Delta\varphi$  разів (допускається до  $26^\circ$ ;  $\cos 26^\circ = 0,9$ ).

До недоліків системи PAL можна віднести:

- ускладнення приймального пристрою;
- усереднення сигналів колірності у двох послідовних рядках, яке призводить до зменшення вертикальної чіткості у 2 рази у порівнянні з NTSC.

#### 6.4 Принципи побудови системи SECAM

Система SECAM у її початковому вигляді була запропонована у 1958 році винахідником Анрі де Франсом.

SECAM від французького *Sequentiel couleur a memoire* (послідовна передача кольорів з пам'яттю).

Сучасний варіант системи SECAM - ПІВ був стандартизований у СРСР у 1974 році. ТБ у системі SECAM ведеться, крім країн СНД і Франції, у всіх східноєвропейських країнах та ряді країн Північної Африки.

Система є послідовно-одночасною, тобто перетворення кольорового зображення у три первинних сигнали  $E_R$ ,  $E_G$ ,  $E_B$  виконується одночасно, а передача у лінії зв'язку двох кольорорізницевих сигналів – послідовно: протягом одного рядка – сигнал  $E_{R-Y}$ , а протягом іншого – сигнал  $E_{B-Y}$ , при безперервній передачі сигналу яскравості у кожному рядку.

Застосування частотної модуляції і методу послідовної передачі кольорорізницевих сигналів - основна відмінність системи SECAM від систем NTSC і PAL.

Послідовність передачі колірних сигналів дозволяє виключити їх взаємний вплив, а застосування для їх передачі попередньої частотної модуляції частоти колірного піднесівного колювання зменшує вплив на них сигналу яскравості, який передається шляхом безпосередньої амплітудної модуляції несучої.

Можливість послідовної передачі інформації про колір даної ділянки зображення базується на тому, що кольорова чіткість може бути значно нижче, ніж яскравісна. Це дозволило скоротити смугу частот для сигналів кольоровості до 1,5 МГц з малопомітним зниженням ( $\sim 4$  рази) кольорової чіткості по горизонталі. Аналогічно можна зменшити кольорову чіткість і по вертикалі без втрати якості зображення, тобто можна не передавати сигнали кольоровості у кожному рядку (погіршення у 2 рази, як і в PAL).

Таким чином, для колірних сигналів розгортка у повному кадрі буде складати у двічі меншу кількість рядків.

Принцип роботи системи SECAM у спрощеному вигляді пояснюється структурними схемами (рис. 6.9, 6.10).

Протягом одного рядка надходить сигнал  $E'_{R-Y}$ , а протягом іншого –  $E'_{B-Y}$ . колірне піднесівне колювання, промодульоване кольорорізницевими сигналами, надходить до суматора, де її спектр суміщається із спектром сигналу яскравості. На виході суматора формується повний сигнал кольорового ТБ.

Спрощену структурну схему передаючої частини (кодуючого пристрою) системи SECAM можна представити у вигляді, наведеному на рис. 6.9.

*Червоний [синій] рядок (SECAM)* - рядок телевізійної розгортки в системі SECAM, в якій передається червоний [синій] кольорорізницевий сигнал

*Передспотворення кольорорізницевого сигналу [ сигналу колірності ] (SECAM)* - Нормоване лінійне передспотворення кольорорізницевого сигналу [сигналу колірності] до [після] його подавання на частотний модулятор у кодері SECAM [4].

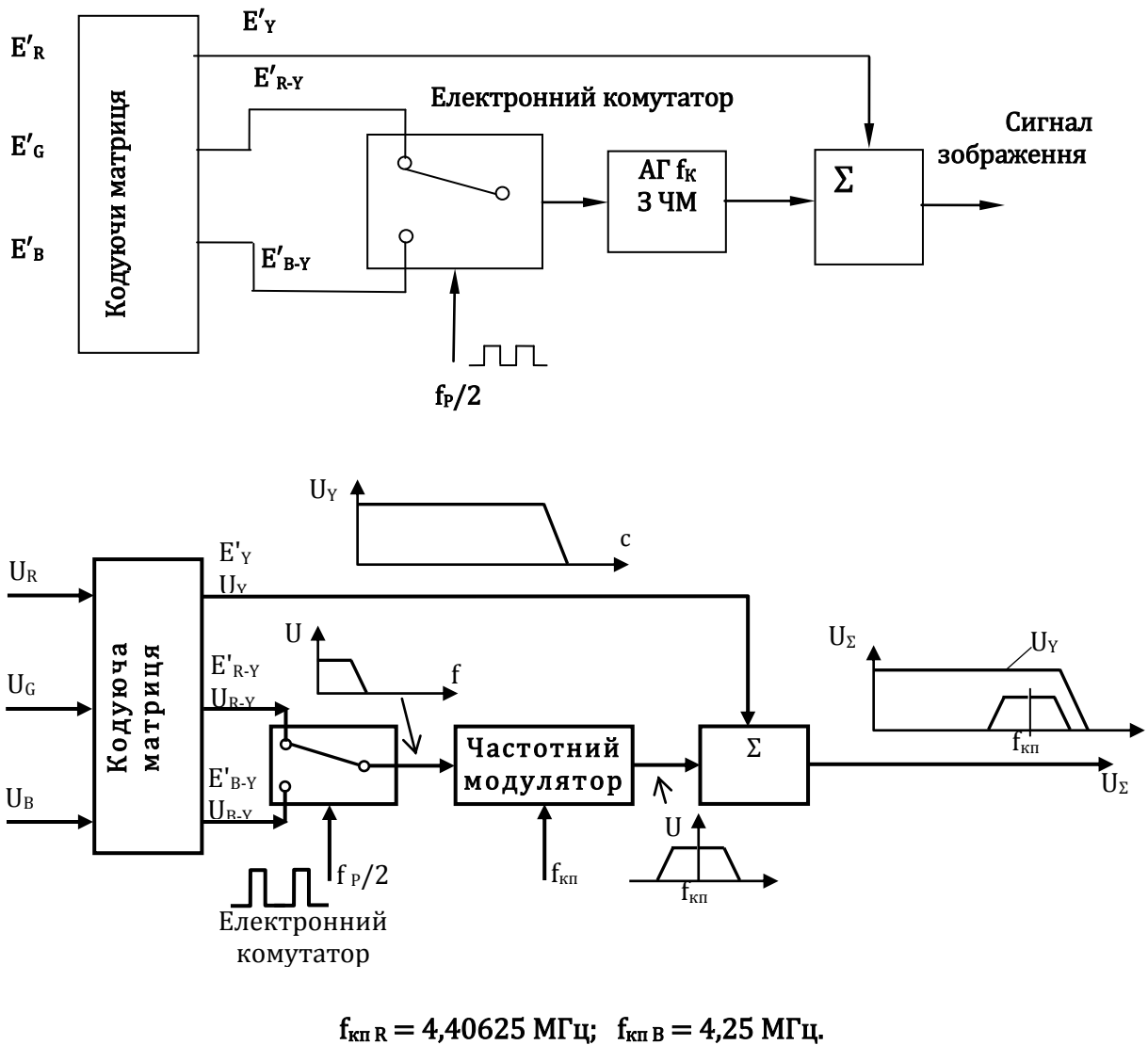


Рис. 6.9 – Спрощена структурна схема кодеру системи SECAM

Електронний комутатор по черзі через рядок (з частотою  $f_p/2$ ) підключає до виходу кодуєчої матриці  $E'_{R-Y}$  і  $E'_{B-Y}$  частотномодульований автогенератор кольорового піднесівного коливання  $f_{кп}$ .

Спрощена структурна схема приймальної частини (декодуєчого пристрою) системи SECAM може бути представлена у вигляді, наведеному на рис. 6.10.

У телевізійному приймачі для формування кольорового зображення необхідно одночасно мати обидва кольорорізницевих сигнали, що передаються. Щоб у кожному рядку одночасно отримувати сигнали  $E'_{R-Y}$  і  $E'_{B-Y}$ , використовується елемент пам'яті – лінія затримки із часом затримки на один рядок  $t_{затр} = T_{ряд} = 64 \text{ мкс}$ . При відтворенні зображення кожний сигнал кольоровості використовується двічі: один раз він поступає з виходу смугового фільтру безпосередньо, а інший раз – з виходу лінії за-

тримки. Таким чином, лінія затримки дає можливість завжди мати безперервні обидва сигнали кольоровості.

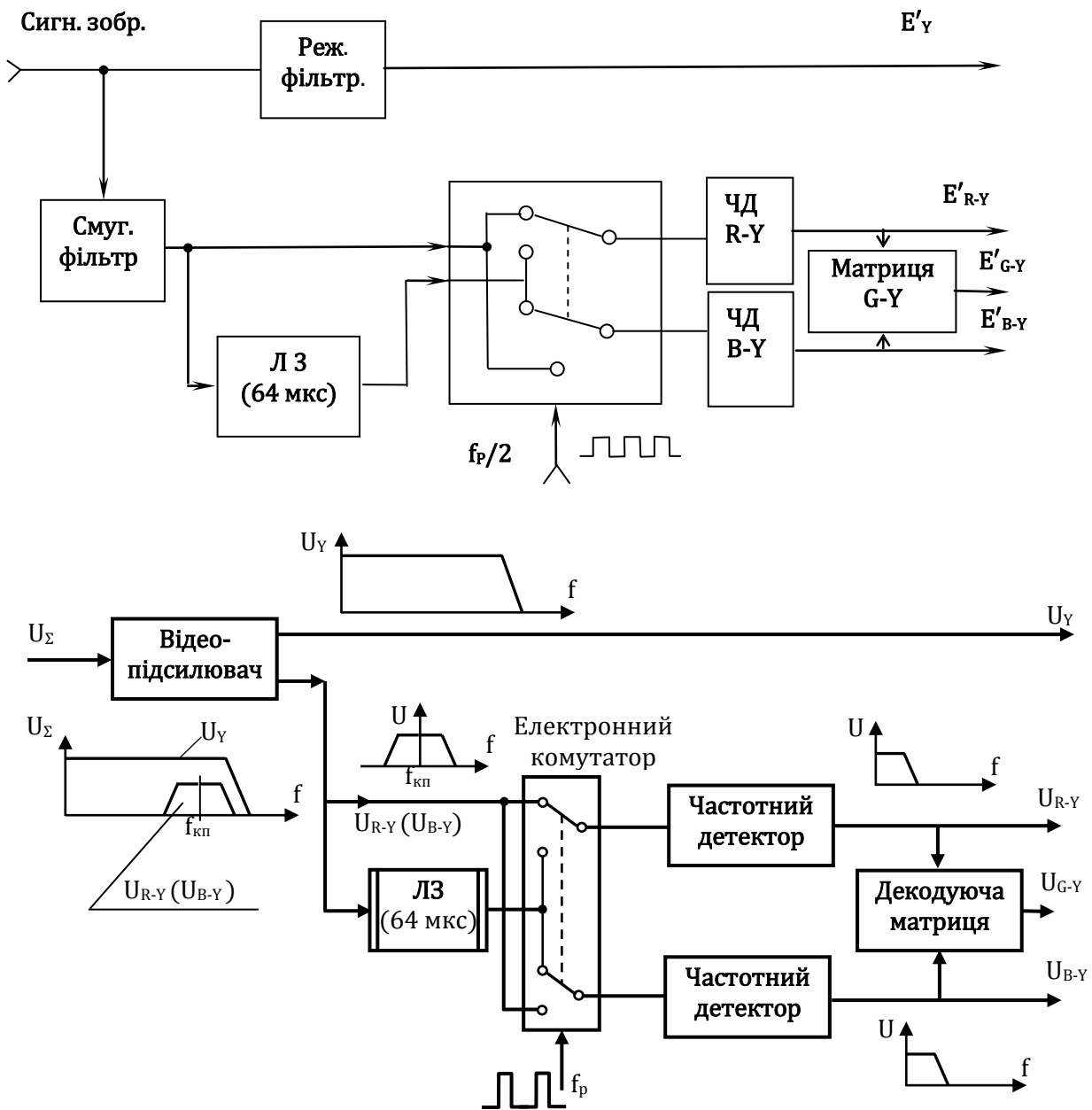


Рис 6.10 – Спрощена структурна схема декодера системи SECAM

Для того, щоб на входи наступних каналів обробки надходили тільки "свої" сигнали, виникає необхідність через рядок здійснювати переключення сигналів – затриманого і без затримки. Цю функцію виконує двоканальний електронний комутатор.

Електронні комутатори приймальної і передаючої частини повинні працювати синхронно і синфазно, тільки при цій умові на вхід детектора каналу R-Y завжди будуть надходити кольорорізницеві сигнали  $E'_{R-Y}$  і на вхід ЧД B-Y – сигнали  $E'_{B-Y}$  відповідно.

На виходах частотних детекторів формуються безпосередньо кольорорізницеві сигнали  $E'_{R-Y}$  і  $E'_{B-Y}$ . Третій кольорорізницевий сигнал формується за допомогою матриці. Сигнал яскравості і кольорорізницеві сигнали дозволяють отримувати сигнали кольору  $E'_R$ ,  $E'_B$  і  $E'_G$ , які забезпечують роботу кінескопа для відтворення кольорового зображення.

#### 6.4.1 Формування та приймання сигналів у системі SECAM-IIIВ

Введена в експлуатацію у 1967 році і успішно діюча сьогодні система SECAM-IIIВ має ряд особливостей у порівнянні з системою SECAM.

1. Для частотної модуляції колірною піднесівного коливання використовують модифіковані сигнали  $D'_R$  і  $D'_B$ , які визначаються співвідношеннями

$$D'_R = -1,9 E'_{R-Y}, \quad D'_B = 1,5 E'_{B-Y}.$$

Введення різних коефіцієнтів дозволяє зрівняти розмах сигналів і відповідно девіацію частоти колірною піднесівного коливання.

Заміна знаку сигналу  $E_{R-Y}$  на протилежній пояснюється тим, що при передачі різних сюжетів у сигналі  $E_{R-Y}$  переважають позитивні значення, а у сигналі  $E_{B-Y}$  – негативні. Бажано мати негативне значення девіації частоти, що дозволяє підвищити завадостійкість системи, коли у каналах зв'язку застосовується обмеження верхньої бокової смуги сигналу колірності.

2. З метою зменшення завад при передачі (особливо на червоному кольорі) кольорорізницеві сигнали  $D'_R$  і  $D'_B$  передаються послідовно на двох різних частотах колірних піднесівних коливань, тобто кольорорізницеві сигнали модулюють по частоті окремі колірні піднесівні коливання

$$D'_R : f_{R0} = 282 \times f_p = 4,40625 \text{ МГц};$$

$$D'_B : f_{B0} = 272 \times f_p = 4,25000 \text{ МГц},$$

де  $f_p = 15625$  Гц.

Оскільки кольорорізницеві сигнали передаються послідовно на різних колірних піднесівних коливаннях з ЧМ, то у системі SECAM виявилось неможливим забезпечити рівність  $f_{кп}$  непарному числу полурядкової частоти.

Компенсація завадового впливу сигналу кольоровості досягається шляхом примусової комутації фази колірною піднесівного коливання на  $180^\circ$  від поля до поля, а також на початку кожного третього рядка, що приводить до усереднення завади від сигналів колірності по полю зображення.

Для зменшення перехресних спотворювань каналів яскравості і кольоровості розмах колірною піднесівного коливання вибраний у 5 разів менше розмаху сигналу яскравості.

3. У зв'язку з малим індексом частотної модуляції ( $m_{\omega} = 0,2$ ) при передачі сигналів кольоровості система SECAM має низьку завадостійкість. Найменш стійкими до впливу завад є області бокових складових спектра радіосигналу. Підвищити індекс модуляції за рахунок збільшення девіації частоти неможливо, тому що це призведе до значного розширення смуги частот, яку займають кольорорізницеві сигнали у смузі частот сигналу яскравості.

Зменшити вплив завад на якість кольорового зображення можна двома шляхами:

- обмежуючи смугу пропускання по ВЧ (до частотного детектора);
- включаючи на виході ЧД фільтр НЧ, який ослаблює вищі гармоніки частоти детектованого сигналу.

В системі SECAM використані обидва шляхи:

- у телевізійному приймачі до частотного детектора включений резонансний фільтр з дзвіноподібною частотною характеристикою ( $f_0 = 4,286$  МГц);

- на виходах з кожного з ЧД включається НЧ відеопідсилювач сигналу, який має падаючу ЧХ в області високих частот.

Для того, щоб компенсувати вплив цих фільтрів і зберегти правильне співвідношення між складовими спектрів кольорорізницевих сигналів, у кодуєчій пристрій системи SECAM на передаючій стороні включають спеціальні кола предспотворень.

Перше предспотворення (по відеочастоті, тобто НЧ предспотворення - до модулятора) полягає у підйомі ВЧ складових спектра кольорорізницевих сигналів. Таке спотворення не викликає збільшення індексу модуляції, а тільки вирівнює значення девіації по спектру.

Крім НЧ використовується ВЧ предспотворення. Дія цього предспотворення полягає у збільшенні амплітуди колірних піднесівних коливань по мірі зростання її частотного відхилення від центрального значення. Характеристика має форму перегорнутого дзвону.

Наявність двох колірних піднесівних коливань, що мають різне положення відносно центру характеристики (4,286 МГц), забезпечує зниження рівня шумів при передачі сигналу  $D'_R$ , завади від якого найбільш помітні.

Кодер системи призначений для формування повного сигналу кольорового ТБ. Сигнали колірності подаються на кодуєчу матрицю, у якій формуються сигнал яскравості і два кольорорізницевих сигнали  $D'_R$  і  $D'_B$ . Далі сигнали  $D'_R$  і  $D'_B$  потрапляють на суматори  $\Sigma_1$  і  $\Sigma_2$ , у яких здійснюється замішування сигналів розпізнавання кольору для забезпечення правильної фази роботи електронного комутатора у приймачі.

Сигнал  $D'_R$  надходить до кол НЧ предспотворень через фазообертач, у якому його полярність змінюється на протилежну, а сигнал  $D'_B$  – безпосередньо з суматора на коло НЧ предспотворень. Електронний ко-



мутатор здійснює порядкову подачу сигналів  $D'_R$  і  $D'_B$ . ФНЧ обмежує спектр кольорорізницевих сигналів на виході електронного комутатора на частотах вище 1,5 МГц. З виходу ФНЧ сигнали  $D'_R$  і  $D'_B$  послідовно подаються на частотний модулятор колірних піднесівних коливань.

Комутатор фази забезпечує поворот фази колірних піднесівних коливань через два рядки на третій і через два поля на третє, чим забезпечується значне зменшення сітки на екранах чорно-білих кінескопів. Коло ВЧ предспотворень має частотну характеристику, зворотню дзвіноподібній.

Амплітудний модулятор управляється сигналом з виходу амплітудного детектора, яким детектується сигнал яскравості, що виділяється смуговим фільтром.

Сигнал яскравості змішується з кольорорізницевими сигналами у суматорі  $\Sigma_4$ . До цього у сигнал яскравості вводиться сигнал синхронізації по рядках і кадрах. Лінія затримки у каналі яскравості необхідна для встановлення відповідності за часом між сигналами яскравості і колірності.

Декодер здійснює виділення сигналів  $D'_R$  і  $D'_B$  з повного сигналу кольорового ТБ. Повний сигнал кольорового ТБ надходить з вхідного відеопідсилювача на коректор ВЧ предспотворень, який має дзвіноподібну частотну характеристику. У коректорі здійснюється відділення кольорорізницевих сигналів від сигналу яскравості і корекція ВЧ предспотворень. Далі сигнали подаються на лінію затримки і на електронний комутатор.

З виходу комутатору ЧМ сигнали після обмеження по амплітуді подаються на частотні детектори. Після детектування кольорорізницеві сигнали проходять схеми коректорів НЧ предспотворень.

Формування "зеленого" кольорорізницевого сигналу відбувається у матриці. Після цього три кольорорізницеві сигнали подаються на модулятори кінескопа. Сигнал яскравості подається на катоди кінескопа.

Для управління роботою електронного комутатора служать імпульси з генератора комутуючих імпульсів. Управляє роботою комутатора схема розпізнавання кольору, яка складається з матриці сигналу кольорової синхронізації, інтегруючого кола і тригера.

Відповідно до принципу роботи системи SECAM у повний телевізійний сигнал повинен бути введений сигнал кольорової синхронізації, який ще називають сигналом розпізнавання кольору. Головне призначення сигналу кольорової синхронізації – забезпечити встановлення правильної фази роботи електронного комутатора у приймальній апаратурі. Крім того, при прийомі чорно-білої програми доцільно закривати канали кольоровості, щоб виключити попадання завад із них на екран кінескопа. Автоматичне закривання і відкривання каналів кольоровості здійснюється у залежності від наявності сигналу кольорової синхронізації.

У системі SECAM сигнал кольорової синхронізації передається у кожному полі після закінчення задніх урівнюючих імпульсів, які надходять після імпульсу кадрової синхронізації, і представляють собою трапецеподібних імпульси, тривалість яких дорівнює тривалості рядка. У кожному полі сигнали розпізнавання займають дев'ять рядків: у непарних полях – з 7-го по 15-й рядок, а у парних – з 320-го по 328-й рядок. У рядках сигналу  $D'_R$  – сигнал розпізнавання позитивний, у рядках сигналу  $D'_B$  – негативний. По амплітуді сигнали розпізнавання перевищують сигнали кольоровості.

При відсутності кольорової передачі у схемі кольорової синхронізації приймача формується потенціал, який запирає частотні детектори каналів кольоровості R-Y і B-Y. В іншому робота передаючого і приймального пристроїв системи SECAM нічим не відрізняється від роботи системи чорно-білого ТБ.

### **Висновки**

На занятті були розглянути принципи побудови та особливості системи кольорового ТБ NTSC, PAL, SECAM.

## ЛЕКЦІЯ 7. ЦИФРОВЕ ТЕЛЕБАЧЕННЯ

### План

#### Вступ

7.1 Структурна схема цифрової ТВ-системи.

7.2 Етапи формування цифрового ТВ-сигналу.

7.3. Методи цифрового кодування ТВ-сигналу. Цифрові коди.

7.3.1 Цифрове кодування ТВ-сигналу із передбаченням.

7.3.2 Групове кодування ТВ-сигналу.

7.3.3 Поняття адаптивних методів кодування ТВ-сигналу.

Висновки .

### Література:

#### основна

1. Телевидение: Учебник для вузов / В. Г. Джакония, А. А. Гоголь, Я. В. Друзин и др.; Под ред. В. Г. Джаконии. 4-е изд., стереотип. - М.: Горячая линия - Телеком, 2007. - 616 с: ил., с. 82-95.
2. Казанцев Г.Д. Телевидение и телевизионные устройства: Учебное пособие. Томск: кафедра ТУ, ТУСУР, 2012. – 216 с., с. 6-40
3. Воробьев М.С. Основы цифрового телевидения: Учебное пособие. — Челябинск: ЮУрГУ, 2002. — 74 с., с.6-23
4. С.А. Гончаров, Теоретические основы и методы исследования квантово-оптических устройств. Ч.4. Изд, Х. ВИРТА, 1992 г., с. 67-76.
5. Р.Е. Быков, Теоретические основы телевидения, учебник для вузов, СПб: Лань, 1998, с. 153-173.
6. А.В. Смирнов Основы цифрового телевидения: Учебное пособие для вузов. М.: «Горячая линия - Телеком», 2001., с. 3 - 30.
7. Основы телебачення: Навч. посіб. / А.М. Коржов, С.М. Роденко, І.В. Красношарпа, Д.В. Максютя, К.В. Садовий, Г.В. Рибалка. – Х: ХУ ПС, – 2007. 251 с.

#### допоміжна

8. ДСТУ 3808-98 Телебачення. Цифрове обладнання телевізійних сигналів. Терміни і визначення. електронний ресурс.
9. ДСТУ 3787-98 Телебачення мовне. Якість телевізійного зображення. Методи суб'єктивного оцінювання.
10. ДСТУ 3807-98 Телебачення. Терміни та визначення.

#### Вступ

Сучасний етап розвитку телебачення характеризується інтенсивним впровадженням цифрових методів обробки сигналів і цифрових способів управління телевізійними вузлами й пристроями. Аналогове телебачення поступове й неухильно перетворюється в цифрове. При цьому

непорушними залишаються основні принципи телебачення – дискретизація зображення в часі й просторі й принцип телевізійного розгорнення.

*Цифрове телебачення; цифрове ТВ* - телебачення, яке забезпечує передавання і зберігання зображень у цифровій формі [9].

*Цифрова система ТВ* - система телебачення з використанням цифрових методів оброблення, зберігання і передавання ТВ-сигналів [9].

*Тракт цифрового телебачення* - цифровий ТВ-тракт - телевізійний тракт, у якому оброблення і передавання ТВ-сигналів здійснюється у цифровій формі [9].

*Цифрове оброблення ТВ-сигналів* - перетворення ТВ-сигналів цифровими методами [9].

*Алгоритм цифрового оброблення (ТВ-сигналів)* - набір інструкцій, що визначає встановлене перетворення ТВ-сигналів за допомогою скінченної кількості математичних операцій [9].

*Цифрове оброблення зображень* - перетворення інформації, що міститься у зображенні, з використанням цифрового оброблення ТВ-сигналів [9].

*Цифрове подання ТВ-сигналу* - представлення дискретних квантованих значень ТВ-сигналу цифрами, спеціальними символами і символом пропуску [9].

Основним недоліком аналогового телебачення є низька перешкодозахищеність, внаслідок накопичення перешкод при збільшенні ланок перетворення ТВ-сигналу. Цифрові методи передачі й перетворення ТВ-сигналу дозволяють суттєво знизити рівень перешкод. Впровадження цифрових технологій, також, переводить телебачення на більш високу стадію розвитку, тому що цифрова обробка інформації має, у порівнянні з аналоговою, ряд істотних переваг.

Перевагами систем цифрового телебачення є:

- висока завадостійкість, можливість відтворення сигналу, який пошкоджено завадами шляхом регенерації (відновлення форми) цифрового сигналу, що дозволяє уникнути накопичення помилок, наприклад, при багаторазовій передачі сигналу й зберегти високу якість зображення на виході цифрової системи;

- можлива більш ефективна корекція телевізійного сигналу у порівнянні з аналоговими системами при використанні методів цифрової фільтрації із застосуванням ЕОМ для відновлення зображень, перекручених по різних причинах;

- висока технологічність процесів створення програм телебачення, необмежені можливості для створення спеціальних ефектів, спрощення обміну телевізійними програмами при різних стандартах завдяки більш якійсній і надійній роботі цифрових перетворювачів телевізійних стандартів у порівнянні з аналоговими;

- необмежене часом зберігання інформації, відсутність спотворень при перезаписах, можливість широкого застосування цифрових запам'ятовувальних пристроїв великої ємності з необмеженим часом зберігання інформації; відсутність спотворень при перезаписах;
- можливість забезпечення тривалого безпідстроювального режиму роботи обладнання за рахунок високої технологічності виробництва й надійності елементів цифрової техніки;
- широке впровадження автоматизації у виробництво апаратури за рахунок використання цифрових інтегральних схем, що не вимагають індивідуального налагодження, тобто ручної праці високої кваліфікації;
- підвищення ефективності ТВ-передачі за рахунок зменшення статистичної й візуальній надлишковості телевізійного повідомлення шляхом оптимального кодування відеосигналу.

### 7.1 Структурна схема цифрової ТВ-системи

Розрізняють два типи цифрових ТВ-систем :

перший тип – чисто цифрова, у якій перетворення ТВ-сигналу в цифрову форму здійснюється в датчиках ТВ-сигналу й у перетворювачі «сигнал - світло»;

другий тип – гібридна, у якій датчик ТВ-сигналу й у перетворювач «сигнал - світло» аналогові, а інші елементи – цифрові.

Розглянемо структурну схему цифрової ТВ-системи другого типу (Рис. 7.1) .

Підлягаючий перетворенню з виходу датчика ТВ-сигналу аналоговий сигнал відео (зображення) надходить на вхід цифрової ТВ-системи. Цей сигнал зазнає попередній обробці для спрощення наступних цифрових перетворюючих пристроїв. Наприклад, повний колірний сигнал розділяється в пристрої попередньої обробки на сигнал яскравості й кольорорізницеві сигнали для того, щоб цифрові перетворення проводилися з кожним із трьох сигналів окремо. Можна ввести в аналоговий сигнал певні попередні перекручення "сплохі" для поліпшення суб'єктивної якості вихідного зображення й т.п. Незважаючи на те, що багато із цих попередніх операцій по обробці можуть бути зроблені й у цифровій формі, на певному етапі розвитку простіше їх виконувати в аналоговій формі. В отриманому в такий спосіб сигналі втримується значна надлишковість, яка може бути деякою мірою скорочена шляхом додаткового, більш ефективного кодування в блоці цифрової обробки сигналу.

Підготовлений для перетворення аналоговий сигнал надходить на аналого-цифровий перетворювач (АЦП), у якому він дискретізується, квантується й попередньо кодується (наприклад, по методу ІКМ), після ши-

фрування в АЦП сигнал надходить на кодер відео, де відтворюється усунення надлишкової інформації на передавальному кінці.

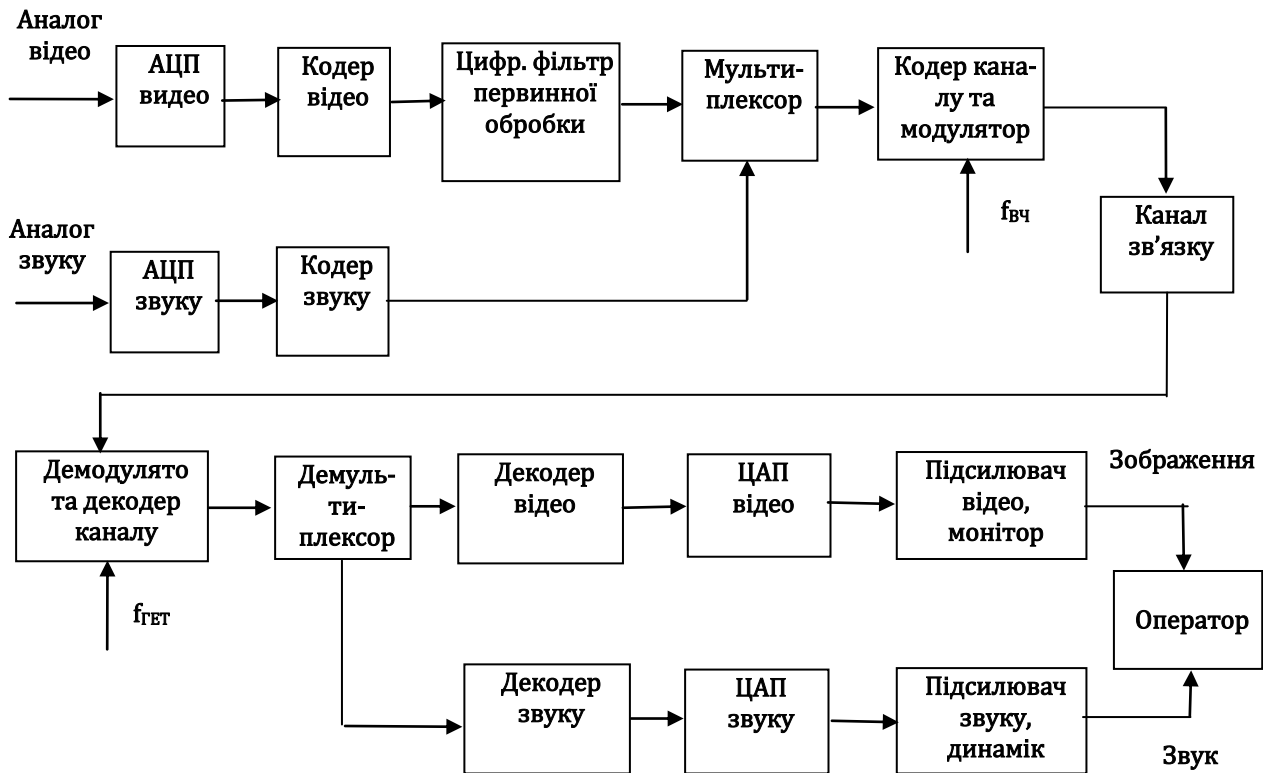


Рис.7.1 – Структурна схема цифрової телевізійної системи

У цифровому фільтрі первинної обробки застосовуються всі необхідні види корекції цифрового відеосигналу. На мультиплексор (суматор) разом із цифровим відеосигналом подається сигнал аудіо (звуку).

Далі на передавальній стороні ТВ-системи суміш цифрових сигналів відео й аудіо надходить на кодер каналу, який призначений для захисту цифрового ТВ-сигналу від можливих перешкод у каналі шляхом застосування спеціальних, більш завадозахищених кодів. Нарешті, сигнал у цифровій формі надходить на вихідний перетворювач - модулятор передавального пристрою. В модуляторі цифровий сигнал переноситься на несучу частоту і далі передається в відповідний канал зв'язку віщального, кабельного або супутникового цифрового телебачення. Під каналом також розуміється пристрій консервації ТВ-сигналу, інші ланки, у яких сигнал обробляється,

Після проходження відповідного каналу зв'язку сигнал цифрового ТВ надходить на демодулятор - декодер каналу де відбувається його перетворення на проміжну частоту та декодування із завадостійкого виду. Після проходження демультимплексору цифровий ТВ-сигнал розділяється на два сигнали відео й аудіо.

В декодері відео прийомного пристрою цифровій відеосигнал, позбавлений надлишкової інформації на передавальному кінці, здобуває вихідну відновлену форму.

Декодери й цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) відео й аудіо здійснюють зворотне перетворення цифрових ТВ-сигналів в аналоговий вид. У підсумку аналоговий сигнал відео надходить на підсилювач відео й далі через монітор у вигляді зображення до оператора (телеглядачеві). Сигнал аудіо відповідно через підсилювач і динамік надійде до споживача у вигляді звукового супроводження.

Залежно від задач, що стоять перед цифровою системою, вона може видозмінюватися. Наприклад, система взагалі не буде містити аналогових ланок, якщо використовувати цифрові перетворювачі світло-сигнал і сигнал-світло. В іншому випадку можуть бути відсутні пристрої, що підвищують завадостійкість сигналу в каналі зв'язку. Це припустимо при відсутності протяжних ліній зв'язку, і, зокрема, при цифровій обробці сигналу усередині одного телецентру. У цьому ж випадку немає необхідності й у пристроях, що усувають у ТВ-сигналі надлишковість, що й скорочують цифровий потік.

## 7.2 Етапи формування цифрового ТВ-сигналу

Цифрове ТБ - це галузь телевізійної техніки, у якій операції обробки, записи й передачі телевізійного сигналу пов'язані з перетворенням його в цифрову форму.

Алгоритм реалізації цифрового ТБ:

- одержання аналогового телевізійного сигналу;
- перетворення телевізійного сигналу в цифрову форму;
- передача цифрового сигналу по лініях зв'язку;
- зворотне перетворення.

У перспективі перетворення зображення в цифровий телевізійний сигнал і зворотне перетворення цифрового телевізійного сигналу в зображення буде здійснюватися безпосередньо в перетворювачах світло - сигнал і сигнал - світло. У таких системах відео інформація у всіх елементах буде передаватися в цифровій формі.

Процедури перетворення безперервних (аналогових) телевізійних сигналів у цифрові включають:

- дискретизацію в площині зображення;
- квантування дискретної структури відліків по рівнях;
- представлення кожного квантованого відліку у вигляді кодової комбінації.

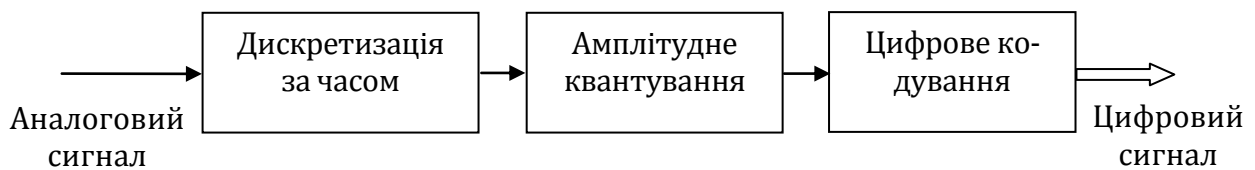
Отже, перетворене в цифрову форму зображення відображається у вигляді кінцевої множини чисел. Операції перетворення, обробки, пере-

дачі по каналах зв'язку й аналізу зображення здійснюють у цьому випадку в цифровій формі.

У цифровому ТВ при формуванні аналогового відеосигналу зображення виявляється дискретизованим у часі (за рахунок розбивки його на поля й кадри) і по вертикалі (за рахунок розбивки зображення на рядки).

Таким чином, для перетворення зображення в цифрову форму необхідна дискретизація тільки по горизонталі, що досягається (Рис. 7.2):

- часовою дискретизацією відеосигналу;
- амплітудним квантуванням за рівнем;
- цифровим кодуванням.



цифрове перетворення ТВ сигналу

*Дискретизація (ТВ-відеосигналу [зображення, послідовності])* - представлення аналогового ТВ-відеосигналу [зображення, послідовності] як множини відліків [9].

Дискретизація робиться за часом шляхом представлення безперервного аналогового ТВ-сигналу  $U(t)$  послідовністю окремих у часі його значень (відліків)  $U_d(nT_d)$  з часовим періодом дискретизації  $T_d$ ,  $U(t) \rightarrow U_d(nT_d)$  (Рис. 7.3);

Відліки беруться в моменти часу, відділені друг від друга інтервалом дискретизації. Величину, зворотну інтервалу між відліками називають часовою частотою дискретизації  $f_d$ .

*Часовий [просторовий, просторово-часовий] період дискретизації (відеосигналу [зображення, послідовності])* - проміжок часу [просторова відстань, просторово-часова відстань] між двома сусідніми відліками відеосигналу [зображення, послідовності] [9].

*Часова [просторова, просторово-часова] частота дискретизації (відеосигналу [зображення, послідовності])*; швидкість вибирання - кількість періодів дискретизації відеосигналу [зображення, послідовності] за одиницю часу [просторової, просторово-часової відстані] [9].

На Рис. 7.3 показані вхідний аналоговий сигнал  $U(t)$  і його дискретизована версія  $U_d(t) = U_L(nT_d)$ .

*Дискретний [e,a] (ТВ-) відеосигнал [зображення, послідовність]* - відеосигнал [зображення, послідовність], визначений множиною відліків аналогового відеосигналу [зображення, послідовності] у часовій [просторовій, просторово-часовій] області [9].



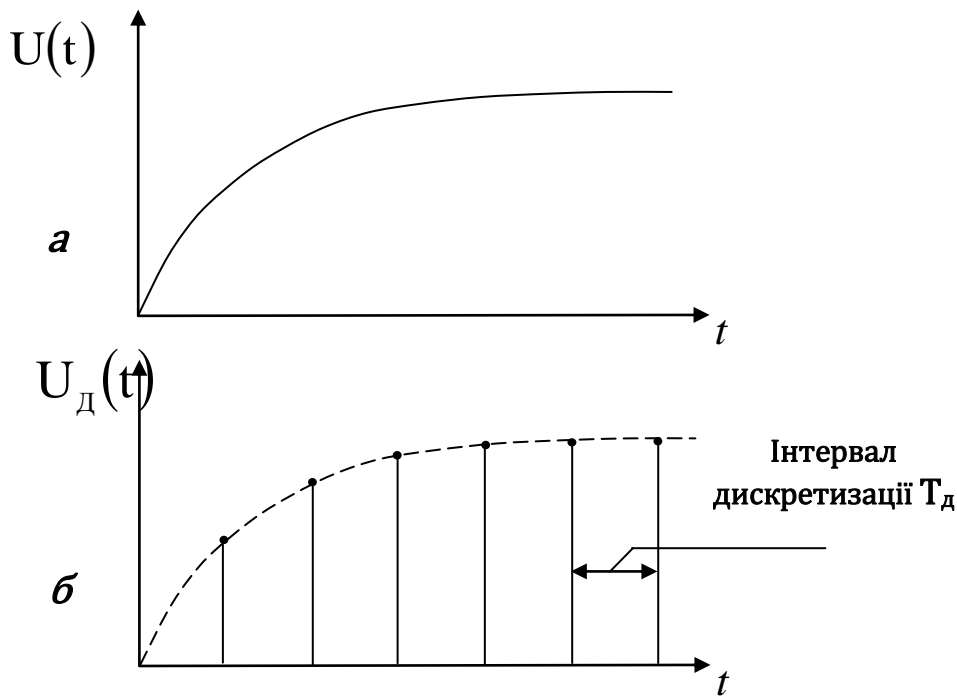


Рис. 7.3 – Дискретизація за часом:

а – аналоговий сигнал; б – дискретизований сигнал

Фур'є-Спектр  $S_D(f)$  дискретного сигналу описується вираженням:

$$S_D(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} S(f - nf_D), \quad (7.1)$$

він представляє із себе суму гармонік частоти дискретизації, кожна з яких модульована тим самим спектром вхідного аналогового сигналу  $S(f)$ . Спектри вхідного й дискретного сигналів при  $f \geq 0$  показані на рис. 7.4.

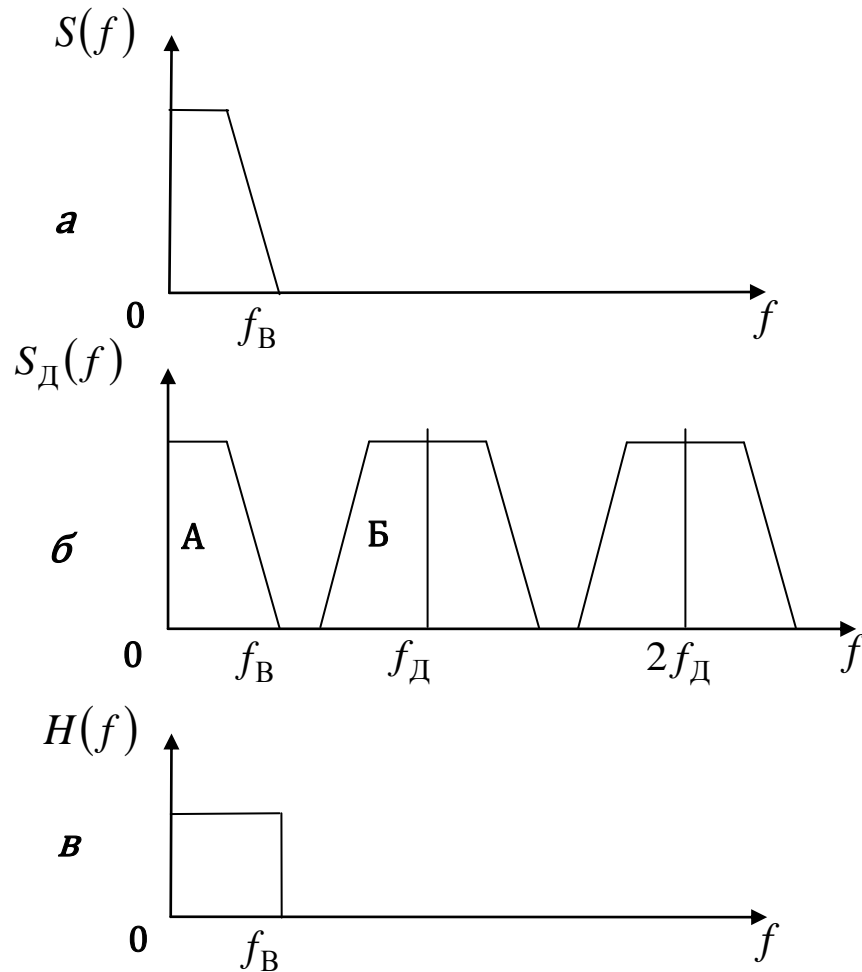
Тут же наведена частотна характеристика  $H(f)$  ідеального фільтра нижніх частот, за допомогою якого можна здійснити зворотний перехід від дискретного сигналу до аналогового.

Дійсно, при проходженні через зазначений фільтр дискретного сигналу  $U_D(t)$  на вихід проходять тільки ті складові спектра  $S_D(f)$ , які збігаються зі спектром вхідного аналогового сигналу  $S(f)$ . Фільтр називається, що відновлюють, тому що на його виході відновлюється форма вхідного аналогового відеосигналу. Частота зрізу фільтра повинна бути не нижче верхньої граничної частоти  $f_B$  аналогового вхідного сигналу.

Умова неспотвореного відновлення форми аналогового сигналу після дискретизації полягає в тому, щоб спектральні області А и Б (Рис. 7.4,б) у спектрі дискретного сигналу  $S_D(f)$  не перетиналися. Це можливо, якщо вибрати частоту дискретизації  $f_D$  згідно з формулою:

$$f_{\text{Д}} \geq 2f_{\text{В}}, \quad (7.2)$$

що відповідає відомій теоремі відліків Котельникова (Найквіста).



**Рис. 7.4 – Спектри аналогового (а) и дискретного (б) сигналів и частотная характеристика (в) фильтра нижних частот, що відновлює**

При порушенні умови (7.2) спектральна картина  $S_{\text{Д}}(f)$  змінюється (Рис. 7.5) таким чином, що в смузі пропущення фільтра, що  $H(f)$  відновлює, з'являється перешкода дискретизації, утворені компонентами спектра зі спектральної області Б (на малюнку заштрихована). Ця перешкода дає на зображенні помилкові візерунки й може привести до значного зниження його якості.

Якщо неможливо змінити частоту дискретизації й привести її у відповідність із вираженням (7.2), то для усунення перешкоди необхідно скористатися одним з наступних приймань:

- перед пристроєм дискретизації включити фільтр нижніх частот із частотою зрізу  $f'_{\text{В}}$ , що відповідає умові

$$f'_B = 0,5 f_D; \quad (7.3)$$

- пропустити дискретний сигнал через, фільтр нижніх частот, що відновлює із частотою зрізу  $f''_B$ , обраною по формулі

$$f''_B = f_D - f_B. \quad (7.4)$$

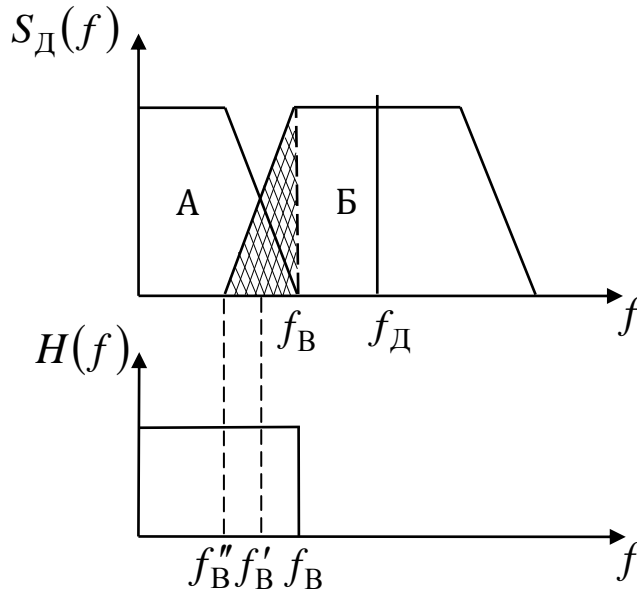


Рис. 6.5 – Механізм виникнення похибки дискретизації

*Субдискретизація (ТВ-відеосигналу [зображення, послідовності]); субнайквістова дискретизація* - дискретизація аналогового відеосигналу [зображення, послідовності] з (часовою) [просторовою, просторово-часовою] частотою, меншою, ніж частота Найквіста (частота субдискретизації) [9].

*Супердискретизація (ТВ-відеосигналу - [зображення, послідовності]); супернайквістова дискретизація* - дискретизація аналогового сигналу [зображення, послідовності] з (часовою) [просторовою, просторово-часовою] частотою, більшою, ніж частота Найквіста (частота супердискретизації) [9].

**Амплітудне квантування за рівнем** – заміна отриманих після дискретизації миттєвих значень відліків найближчими значеннями з набору окремих фіксованих величин рівнів – *рівнів квантування*  $U_D(nT_D) \rightarrow U_{KB}(nT_D)$  (здійснюється за рівнем сигналу). Інакше кажучи, квантування – це округлення величини відліку.

Рівні квантування ділять увесь діапазон можливої зміни значень сигналу на кінцеве число інтервалів – кроків квантування.

При цьому *рівні квантування* розбивають увесь діапазон можливої зміни значень сигналу на кінцеве число інтервалів  $m$  – *кроків кванту-*

вання (градацій яскравості) з інтервалом між рівнями називаним *кроком квантування*. Розташування рівнів квантування обумовлене утворенням шкали квантування. Використовуються як правило, рівномірні (лінійні), так і нерівномірні шкали. Округлення відліку до одного або двох найближчих рівнів верхнього або нижнього визначається по положенню *порога квантування* в такий спосіб. Якщо відлік знаходиться вище порога квантування, то відліку присвоюється верхній рівень, ну а якщо нижче - відповідно нижній рівень квантування. У результаті виходить квантоване значення відліку ТВ-сигналу  $U_{кв}(nT_d)$ ; На рис. 7.6 показані вихідний аналоговий сигнал і його квантована версія, отримана з використанням рівномірної шкали квантування, а також помилка квантування  $\Delta U(t)$ , що обчислюється як різниця між вихідним аналоговим сигналом  $U(t)$  і його квантованою копією  $U_{кв}(t)$ :

$$\Delta U(t) = U(t) - U_{кв}(t) \quad (7.5)$$

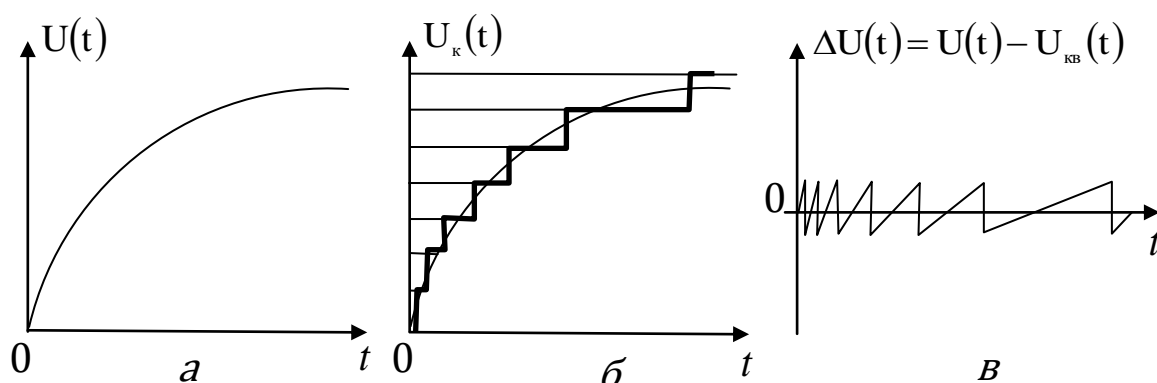


Рис. 7.6 – Квантування:

*a* – аналоговий сигнал; *б* – квантований сигнал; *в* – шум квантування

Причиною виникнення похибок квантування є розбіжність дискретних відліків аналогового сигналу з рівнями квантування, влучення значень відліків між квантовими рівнями.

*Похибка квантування* - похибка, яка обумовлена скінченням значенням кроку квантування, що визначає точність аналого-цифрового перетворення [9].

Похибки квантування приводять до викривлень, які називаються шумом квантування.

*Шум квантування* - паразитний складник сигналу, спричинений різницею між сигналом і множиною його квантованих значень [9].

Шуми квантування на зображенні можуть проявлятися по-різному, залежно від властивостей сигналу, який кодується. Якщо власні шуми аналогового сигналу невеликі в порівнянні із кроком квантування, то

шуми квантування проявляються на зображенні у вигляді неправильних контурів. Такі викривлення добре помітні при «грубому» квантуванні, коли число рівнів квантування недостатньо. У цьому випадку плавні переходи яскравості перетворюються в східчасті і якість зображення погіршується. Найбільш помітні неправильні контури на зображеннях з великими планами. Експерименти показують, що неправильні контури перестають сприйматися, якщо число рівнів квантування перевищує 100...200, тобто шум квантування не перевищує 0,5...1% розмаху сигналу. Коли ж шуми перевищують крок квантування, викривлення квантування проявляються не як неправильні контури, а як шуми, рівномірно розподілені по спектру. Флуктуаційні перешкоди вихідного сигналу як би підкреслюються. Зображення в цілому починає здаватися більш завадовим. Недостатнє число рівнів квантування особливо неприємно позначається на кольорових зображеннях. Шуми квантування проявляються у вигляді кольорових візерунків, особливо помітних на таких сюжетах, як обличчя великим планом, на плавних перепадах яскравості і т.д.

При виборі числа рівнів квантування необхідно враховувати контрастну чутливість зору й вплив шумів на якість зображення.

Перехід до квантованого по яскравості зображення непомітний для глядача, якщо число рівнів квантування  $m$  вибирається по формулі:

$$m \geq \frac{1}{K_{1nop}} \ln K, \quad (7.6)$$

де  $K_{1nop}$  – граничний контраст;  $K$  – контраст зображення.

Середньоквадратичне значення  $\sigma_{кв}$  шумів квантування при рівномірній шкалі квантування обчислюється по формулі

$$\sigma_{кв} = \frac{U_c}{m\sqrt{12}}, \quad (7.7)$$

де  $U_c$  – максимальний розмах відеосигналу.

З вираження (7.7) прямує формула для відношення сигнал/шум  $\psi_{кв}$ , обумовленого впливом шумів квантування

$$\psi_{кв} = \frac{U_c}{\sigma_k} = m\sqrt{12}. \quad (7.8)$$

Для того, щоб виразити відношення сигнал/шум  $\psi_k$  у децибелах, слід користуватися вираженням

$$\psi_{кв} \text{ (дБ)} = 20 \lg(m\sqrt{12}) = 6,02 \log_2 m + 10,8. \quad (7.9)$$

Вхідна у формулу (7.9) величина  $\log_2 m$  являє собою кількість інформації  $I_{\ominus}$ , що приходить на 1 елемент (піксел) зображення й чисельне рівне розрядності  $n$  двійкового цифрового коду, яким описується кожне із  $m$  квантованих значень сигналу, причому

$$m = 2^n \quad (7.10)$$

З урахуванням (7.10) вираження (1.8) і (1.9) приймають вид:

$$\psi_{\text{кв}} = 2^n \sqrt{12}; \quad (7.11)$$

$$\psi_{\text{кв}} (\text{дБ}) = 6,02n + 10,8. \quad (7.12)$$

На підставі даних розрахунків по формулах (7.6)-(7.12) (табл. 7.1), можна зробити наступні висновки:

- число рівнів квантування, обране відповідно до контрастної чутливості зору ( $K_{1\text{нор}} = 0,02 \div 0,05$ ), становить 128–256;
- це відповідає 7- або 8-бітовому цифровому коду;
- відношення сигнал/шум  $\psi_{\text{к}}$ , обумовлене впливом шумів квантування, складає при цьому 443–886 (або в децибелах 53–59);
- флуктуаційні шуми в телевізійному тракті суттєво більше ( $\psi \cong 100$ ), що означає значно малий вплив шумів квантування на результуюче відношення сигнал/шум у цифровому телевізійному каналі.

Таблиця 7.1

К	$K_{1\text{нор}}$	$m_{\text{мин}} = \frac{\ln K}{K_{1\text{нор}}}$	Вибір $m \geq m_{\text{мин}}$	Розрядність цифрового коду $n = \log_2 m$	$\psi_{\text{к}}$	$\psi_{\text{к}} (\text{дБ})$
100	0,05	92	128	7	443	52,94
100	0,02	232	256	8	886	58,94

*Розрядність цифрового ТВ-сигналу; Довжина слова ТВ-сигналу* - кількість бітів, відведених для представлення значення ТВ-сигналу як двійкового числа [9].

**Цифрове кодування** - перетворення квантованого значення відліку  $U_{\text{кв}}(\text{нТд})$  у відповідну кодову комбінацію символів  $U_{\text{кв}}(\text{нТд}) \rightarrow U_{\text{ц}}(\text{нТд})$  у найпростішому випадку у вигляді натурального двійкового коду за допомогою імпульсно-кодової модуляції (ІКМ).

**Кодування** є заключною операцією при аналого-цифровому перетворенні відеосигналу. При кодуванні квантований відеосигнал перетворюється в послідовність кодових слів. Кожне кодове слово передається в

межах одного інтервалу дискретизації і являє собою закодоване число, рівне порядковому номеру рівня квантування, привласненого квантованому сигналу в даному інтервалі дискретизації. Для кодування телевізійних і звукових сигналів звичайно використовують двійковий код.

*Довжина слова ТВ-сигналу* - кількість бітів, відведених для представлення значення ТВ-сигналу як двійкового числа [9].

*Цифровий ТВ-сигнал* - ТВ-сигнал, одержаний у результаті цифрового кодування. Цифровий ТВ-сигнал складається з цифрового ТВ-відео- та/чи ТВ-аудіосигналу та/чи сигналу даних [9].

*Цифровий ТВ-(відео [аудіо-]) сигнал* - ТВ-відео- та/чи аудіосигнал, представлений у цифровій формі [9].

Процес перетворення телевізійного сигналу у цифрову форму пояснюється на рис. 7.7.

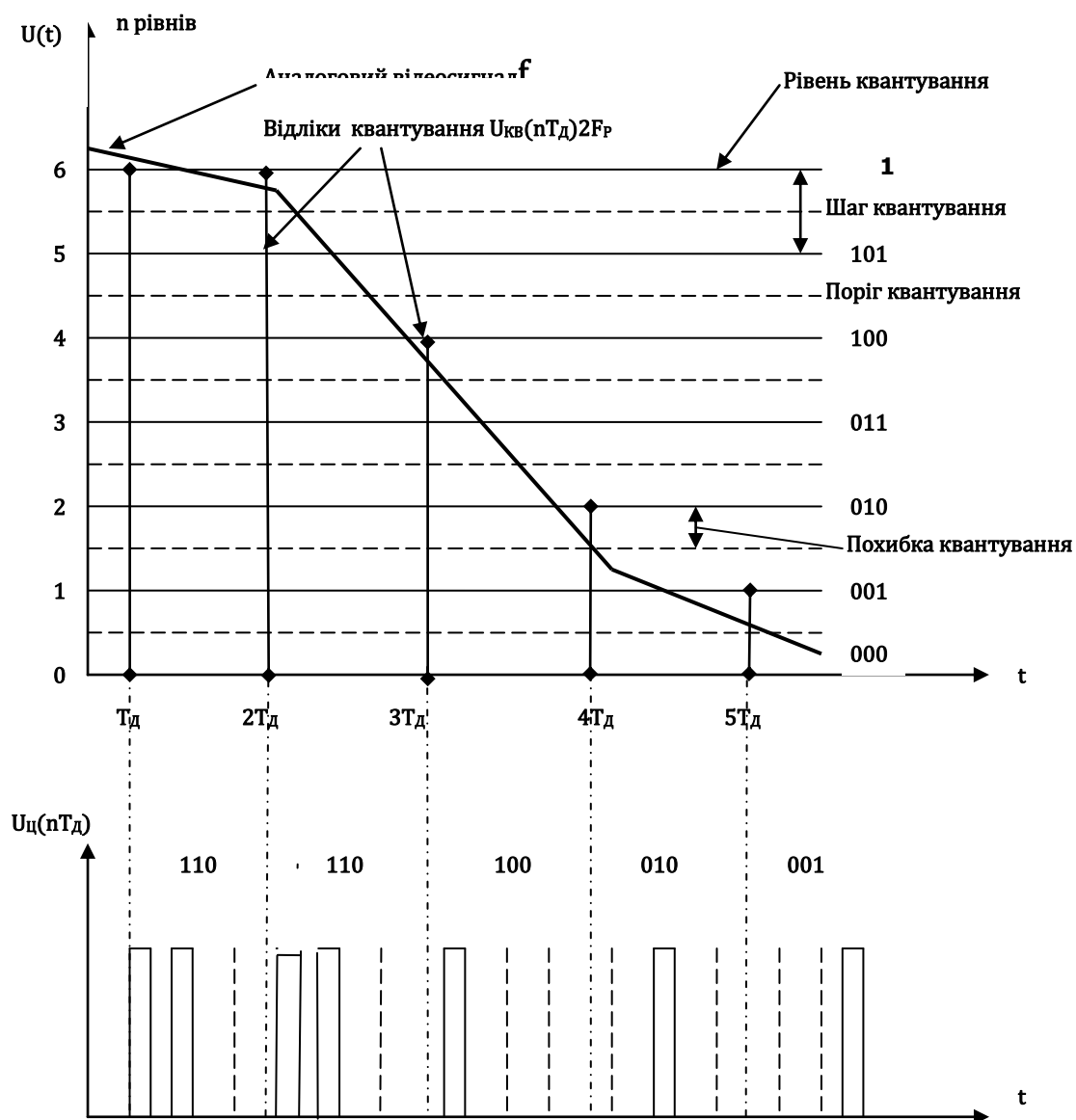


Рис. 7.7 – Перетворення телевізійного сигналу у цифрову форму

В цифровому ТБ для передачі відео- [аудіо-] інформації застосовують послідовний і паралельний інтерфейс

*Послідовний (відео- [аудіо-]) інтерфейс* - сполучення, яким відео- [аудіо-] інформація передається послідовно по одному біту

*Паралельний (відео- [аудіо-]) інтерфейс* - сполучення, яким відео- [аудіо-] інформація передається блоками по  $n$  бітів

На Рис. 7.8 пояснюється процес цифрового кодування дискретного й квантованого сигналу за допомогою 4-розрядного ( $n=4$ ) двійкового коду, причому розглянута передача як у паралельній, так і в послідовному інтерфейсах.

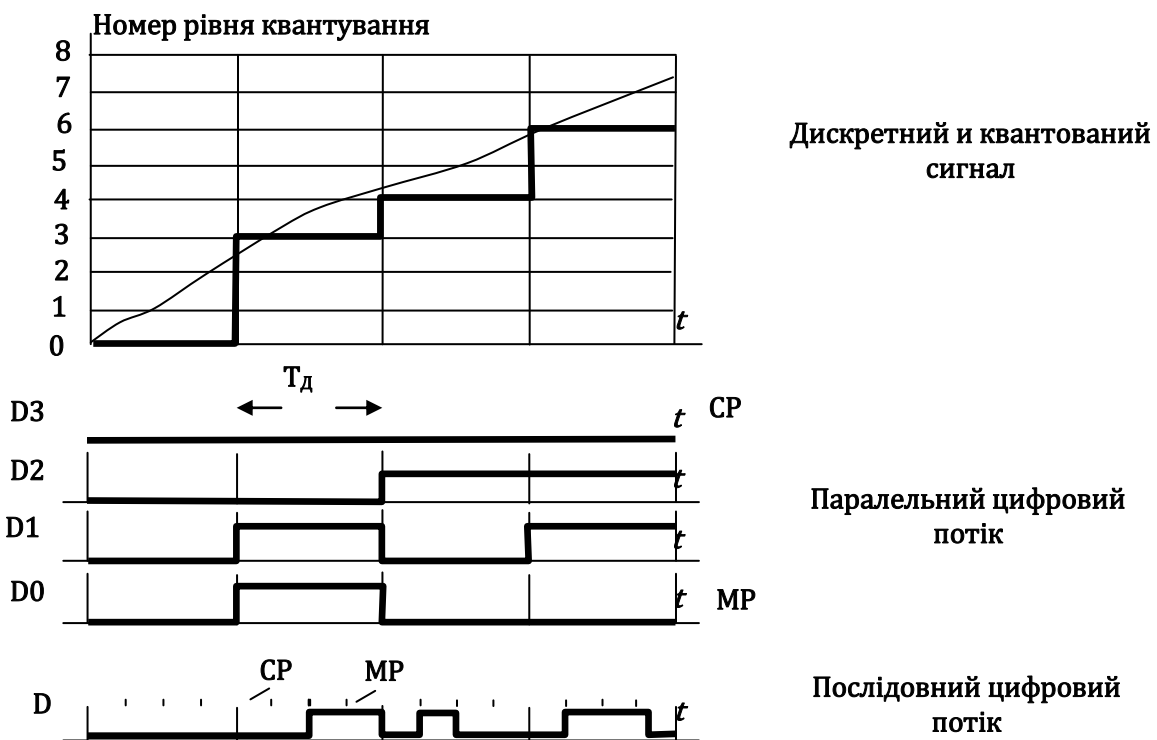


Рис. 7.8 – Цифрове кодування

$T_d$  - період дискретизації; CP – старший розряд; MP – молодший розряд цифрового коду

Для передачі в паралельній формі необхідно використовувати  $n$  ліній зв'язку, при цьому по кожній з ліній у межах інтервалу дискретизації  $T_d$  передається 1 біт  $n$ -розрядного слова.

У послідовному потоці інтервал дискретизації ділиться на  $n$  тактів, у яких послідовно передаються (починаючи зі старшого) біти  $n$ -розрядного слова.

Кожний імпульс слова передається за допомогою одного або декількох дискретних сигналів – імпульсів. Перетворення аналогового сигналу в послідовність кодів слів тому часто називають імпульсно-



ковою модуляцією (ІКМ). Можна, наприклад, встановлювати в межах такту високий рівень сигналу, якщо в даному такті передається двійковий символ 1, і низький – якщо передається двійковий символ 0. Такий спосіб представлення (ІКМ) (Рис. 7.8) називається форматом БПН ( Без Повернення до Нуля).

Операції, пов'язані з перетворенням аналогового сигналу в цифрову форму (дискретизація, квантування й кодування), виконуються одним пристроєм АЦП. Зараз АЦП може бути просто інтегральною мікросхемою. Зворотна процедура, тобто відновлення аналогового сигналу в послідовності кодових слів, ЦАП. Зараз існують технічні можливості для реалізації всіх обробок сигналів звуку й зображення, включаючи запис і випромінювання в ефір, у цифровій формі. Однак у якості датчиків сигналу (наприклад, мікрофон, що передає, ПТТ або ПЗЗ і пристрої відтворення звуку й зображення (наприклад, гучномовець, кінескоп) поки використовуються аналогові пристрої. Тому АЦП й ЦАП є невід'ємною частиною цифрової системи ТБ.

Цифрові сигнали можна описати за допомогою параметрів, типових для аналогової техніки, наприклад, таких, як смуга частот. Але їх застосовність у цифровій техніці є обмеженою.

Важливим показником, що характеризують цифровий потік, є *швидкість передачі даних*  $C$ . Якщо довжина кодового слова рівна  $n$ , а частота дискретизації  $f_d = 1/T_d$ , то швидкість передачі даних, виражена в числі двійкових символів в одиницю часу (біт/с), перебуває як добуток довжини слова на частоту дискретизації:

$$C = n f_d. \quad (7.13)$$

Оскільки число рівнів квантування визначає довжину двійкової кодової комбінації, тобто  $m=2^n$ . Для забезпечення високої якості зображень, особливо великих планів, вважається необхідним використовувати 256 рівнів квантування ( $n=8$ ).

Уважаючи, що  $f_v$  телевізійного сигналу зображення рівняється 6 МГц, одержимо,  $f_d = 2 \cdot f_v = 2 \cdot 6 = 12$  МГц. Тоді  $C = n f_d = 8 \cdot 12$  Мбит/з = = 96 Мбит/с.

Таким чином застосування ІКМ при цифровій обробці ТВ-сигналів потребує високу швидкодію пристроїв цифрової обробки й забезпечення дуже широкої смуги частот ТВ-каналу  $\Delta f = n f_d = 8 \cdot 12$  МГц/ = 96 МГц..

А для кольорового телебачення, як що врахувати додатковий цифровий потік, який забезпечує передачу кольорорізницевих сигналів, величина швидкості передачі цифрової інформації становить 120-140 Мбит/с. Розрахунки показують, що перехід до цифрового представлення

ТВ-сигналів передбачає значне підвищення вимог до пропускної здатності каналів зв'язку, який спричинить технічні труднощі широкого застосування цифрового телебачення. Тому дуже актуальною є завдання "інформаційного стиску" телевізійних повідомлень.

Для стиснення смуги частот цифрового ТВ-сигналу необхідно знижувати швидкість передавання відеоданих шляхом усунення надмірності, яка є у телевізійному сигналі і використанням ефективних методів модуляції.

*Стиснення смуги частот (спектру відео- сигналу [зображення, послідовності])* - оброблення відеосигналу [зображення, послідовності], яке призводить до зменшення смуги частот у часовій [просторовій, просторово-часовій] області [9].

*Швидкість передавання відеоданих* - кількість бітів, слів або блоків відеоданих, передаваних в одиницю часу [9].

*Надлишковість (відео- [аудіо-] сигналу)* - міра можливого скорочення цифрового відео- [аудіо- ] потоку без втрати інформації [9].

Розрізняють статистичну, спектральну і візуальну надлишковість телевізійного сигналу.

*Статистична надлишковість (відео- [аудіо- ] сигналу)* - міра можливого скорочення надлишкової інформації, яка міститься у відео- [аудіо-] сигналі, зв'язаної з просторово-часовою кореляцією між елементами зображення [9].

*Спектральна надлишковість (відео- [аудіо- ] сигналу)* - міра можливого скорочення надлишкової інформації, яка міститься у відео- [аудіо- ] сигналі, що є результатом надмірно високої частоти дискретизації [9].

*Візуальна надлишковість (ТВ-зображення [послідовності])* - міра можливого скорочення надлишкової інформації, яку не сприймає система зору людини у відтворюваному ТВ-зображенні [послідовності] [9].

### 7.3 Методи цифрового кодування ТВ-сигналу. Цифрові коди

Завданням кодування джерела зображення є ефективно вираження потоку сигналів через зменшену кількість двійкових одиниць (біт) на основі скорочення всіх видів надлишковості. Існують різні методи цифрового кодування джерел зображень. В основному застосовуються методи імпульсно-кової модуляції (ІКМ), диференціальної імпульсно-кової модуляції (ДІКМ), дельта-модуляції (ДМ), кодування з перетворенням (КП) і спеціальні.

1. *Імпульсно-кова модуляція* є, як правило, базовим методом цифрового кодування джерел зображень. Він характеризується тим, що кожному закодованому в цифрову форму слову на виході відповідає квантований за часом і амплітуді відлік відеоінформації на вході.

2. До *диференціальної імпульсно-кової модуляції* відноситься велика група методів, застосовуваних насамперед для цифрової передачі ві-

деоінформації. При ДІКМ кожному цифровому слову на виході відповідає дискретна й квантована різниця між миттєвим значенням відліку і його передвіщеним значенням, яке з певною швидкістю формується з аналогової або закодованої в цифрову форму відеоінформації. Найбільш розповсюджене *диференціальне кодування; різницеве кодування* - кодування різниці між поточним і попереднім відліками сигналу [зображення, послідовності] у часовій [просторовій, просторово-часовій] області [9].

3. *Дельта-модуляція* також є методом цифрової передачі й характеризується тим, що відповідне кодове слово формується одним кодовим символом, що відображають знак різниці між дискретним і квантованим значеннями елемента зображення і його передвіщеним значенням. Бувають:

*Кодування із передбаченням* - кодування різниці між поточним і передбаченим відліками сигналу, зображення чи послідовності у часовій, просторовій чи просторово- часовій області відповідно [9].

*Кодування бітових площин* - кодування сукупності значень однойменних розрядів [9].

*Часове [просторове, просторово-часове] передбачення* - визначення поточного відліку відеосигналу [зображення, послідовності] на основі знань про попередні та/або наступні відліки у часовій [просторовій, просторово-часовій] області [9].

*Внутрішньокадрове [внутрішньопольове] передбачення* - визначення поточного відліку сигналу на основі використання відліків поточного кадру [поля] [9].

4. *Кодування з перетворюванням* - кодування, за якого цифровий сигнал до передавання підлягає певному оборотному перетворенню з послідовним квантуванням і кодуванням для перетворювання статистично залежних елементів зображення у незалежні коефіцієнти [9]. Кодування з перетворенням засноване на перетворенні відліків, квантованих за часом і амплітудою (представлених як правило, у формі ІКМ), з часової сигнальної області в область перетворення (наприклад, у спектральну), що може бути більш зручно з погляду скорочення надлишкової й несуттєвої для одержувача інформації при ефективному кодуванні відеоінформації або з погляду чутливості до помилок передачі. Після передачі по каналу зв'язку здійснюється зворотне перетворення з області перетворення в сигнальну.

5. До *спеціальних* методів кодування ставляться методи, у яких для цифрового кодування застосовуються комбінації розглянутих вище способів кодування або методи, засновані на використанні специфічних властивостей відеоінформації, наприклад:.

*Інтерполяційне кодування* - кодування проміжних значень сигналу, зображення чи послідовності у часовій, просторовій чи просторово- часовій області, відповідно, з використанням методу інтерполяції [9].

*Контурне кодування (зображення)* - метод кодування зображення, що ґрунтується на виділенні та подальшому кодуванні сигналу меж деталей зображення [9].

*Внутрішньокадрове [внутрішньо-польове] кодування* - кодування з використанням просторової кореляції між сусідніми відліками зображення одного кадру [поля] [9].

*Міжкадрове [міжпольове] кодування* - кодування з використанням просторової і часової кореляції між відліками зображення двох або більше сусідніх кадрів [полів] [9]. Здійснюються за допомогою *сигналу міжкадрової [міжпольової] різниці*, отриманому як різниця значень сигналів поточного і попереднього кадрів [полів], або поточного і наступного кадрів [полів] [9].

*Векторне квантування* - кодування з метою скорочення цифрового потоку, яке полягає в розкладі зображення на ряд векторів, з яких створюється кодова книга характерних векторів. Скорочення цифрового потоку досягається заміною характерного вектору поміткою. Зображення відновлюється переглядом таблиці з характерними векторами кодової книги, в цьому разі помітки використовуються як вхід в таблицю [9].

Ці методи, зокрема, містять у собі так зване адаптивне кодування, у якому застосовується перемінна довжина кодового слова, що залежить від частоти появи однакових елементів зображення, їх інформаційного змісту і т.д.

*Адаптивне кодування* - кодування за алгоритмом, що адаптується до поточних просторових і (або) часових характеристик зображення, яке передається. Якщо кодування відбувається з врахуванням певних алгоритмів перетворювання, то воно називається адаптивним кодуванням з перетворюванням [9].

Сучасні методи так званого гібридного кодування зображень засновані на використанні різних видів ДІКМ і КП і складають так зване *гібридне кодування* - комбінація різноманітних видів кодування [9].

При перетворенні аналогової величини в цифрову форму необхідно використовувати один з декількох можливих кодів. У табл. 7.3 наведено три варіанти представлення десяткових чисел від 0 до 15 двійковим 4-розрядним (або 4-бітовим) числом (або словом). 4-бітове слово називається напівбайтом; 8-бітове – байтом.

Натуральний двійковий код легко декодується. Симетричний двійковий код зручно використовувати при кодуванні біполярних сигналів, коли старший біт (СБ) кодового слова визначає полярність сигналу відносно деякого середнього рівня, а інші біти – модуль відхилення від цього рівня. Гідність коду Гріючі: при кодуванні сусідніх рівнів квантування змінюється вміст тільки в одному біті див. Табл. 7.3

Таблиця 7.3

Десяткове число	Натуральний двійковий код	Симетричний двійковий код	Код Гріючі
0	0 0 0 0	0 1 1 1	0 0 0 0
1	0 0 0 1	0 1 1 0	0 0 0 1
2	0 0 1 0	0 1 0 1	0 0 1 1
3	0 0 1 1	0 1 0 0	0 0 1 0
4	0 1 0 0	0 0 1 1	0 1 1 0
5	0 1 0 1	0 0 1 0	0 1 1 1
6	0 1 1 0	0 0 0 1	0 1 0 1
7	0 1 1 1	0 0 0 0	0 1 0 0
8	1 0 0 0	1 0 0 0	1 1 0 0
9	1 0 0 1	1 0 0 1	1 1 0 1
10	1 0 1 0	1 0 1 0	1 1 1 1
11	1 0 1 1	1 0 1 1	1 1 1 0
12	1 1 0 0	1 1 0 0	1 0 1 0
13	1 1 0 1	1 1 0 1	1 0 1 1
14	1 1 1 0	1 1 1 0	1 0 0 1
15	1 1 1 1	1 1 1 1	1 0 0 0

### 7.3.1 Цифрове кодування ТВ-сигналу із передбаченням

Оскільки зорове сприйняття людини значною мірою пов'язане зі статистичними властивостями зображення, то в цифровому телебаченні знайшли розвиток методи кодування зображень, що дозволяють знизити швидкість передачі символів за рахунок усунення статистичної надлишковості ТВ-сигналу.

Спочатку були розроблені методи кодування ТВ-сигналу із передбаченням, сутність яких полягає в проорокуванні наступних значень відліків цифрового ТВ-сигналу на підставі інформації про попередні відліки. Наприклад, можна обмежитися передачею відліку одного елемента, а інші елементи за статистичними законами пророчити або обчислити за допомогою спеціальних технічних пристроїв (алгоритмів) у цифровому ТВ-приймачі.

Принцип кодування сигналу із передбаченням полягає в передачі про кожний елемент зображення не дійсного значення відліку, а кодової різниці між дійсним значенням відліку і його передбаченням називаюю помилкою передбачення  $e_i(nT_d)$ . Зрозуміло, що в переданому сигналі помилки, меншому за значенням самого відліку, утримується й менший обсяг інформації, чим в повному відліку. За рахунок цього вирішується завдання "інформаційного стиску" телевізійних повідомлень. Такі системи цифрового кодування ТВ-сигналу із передбаченням інакше називають системами з диференціальною імпульсно-ковою модуляцією (ДІКМ).

Найпростішою системою з ДІКМ є система з дельта – модуляцією (ДМ), де сигнал помилки квантується всього на два рівні, що визначають знак помилки  $\pm\delta$ .

У цифрових ТВ-системах із передбаченням на передавальній стороні встановлюється кодер відео, а на приймальній – декодер відео.

Структурна схема пристроїв кодування й декодування відеосигналу із передбаченням на  $n$  відліків представлена на рис. 7.9.

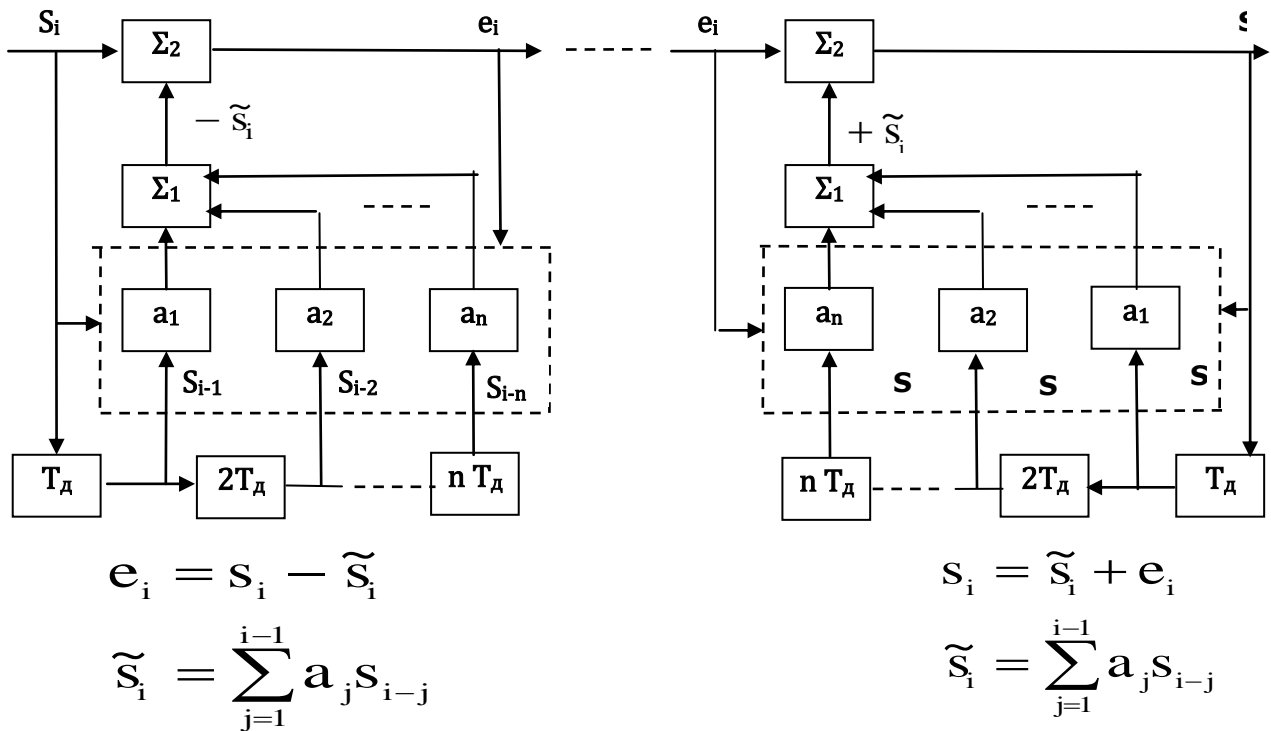


Рис. 7.9 – Структурна схема кодеру и декодеру відеосигналу з передбаченням на  $n$  відліків

У кодері відео на підставі поточного значення відліку й сигналу передбачення на передачу формується сигнал помилки  $e_i$ , відповідно до виразу (7.14):

$$e_i = s_i - \tilde{s}_i \quad (7.14)$$

Сигнал передбачення формується на підставі значень попередніх відліків і вагарень множників провісника, що враховують кореляційні зв'язки між елементами ТВ-зображення відповідно до виразу (7.15):

$$\tilde{s}_i = \sum_{j=1}^{i-1} a_j s_{i-j} \quad (7.15)$$

У декодері відео проводиться зворотна операція по відновленню значень поточних відліків на підставі сигналу помилки її оцінок, що передують, сигналів і сигналів передбачення, формованих за допомогою провісника виконаного за схемою аналогічної як у кодері відеосигналу. Алгоритм роботи декодера відео описується виразами (7.16)

$$s_i = \tilde{s}_i + e_i$$

$$\tilde{s}_i = \sum_{j=1}^{i-1} a_j s_{i-j} \quad (7.16)$$

Залежно від часу затримки сигналу в ланцюзі зворотного зв'язку методи кодування із передбаченням можуть бути розділені на групи:

- методи міжелементного кодування: затримка на один або кілька інтервалів дискретизації;
- методи міжрядкового кодування: затримка на інтервал одного або декількох рядків;
- методи міжкадрового кодування: затримка на інтервал одного або декількох кадрів.

Крім цього системи кодування ділять на системи з одномірним і двовимірним передбаченням. У першому випадку використовуються методи однієї з названих груп, а в другому - дві груп із трьох. При двовимірному проорокуванні забезпечується більш точна передача яскравості й краща завадостійкість. Урахування статистичних зв'язків зображення по двом координатам дозволяє скоротити швидкість передачі символів.

Можливо й тривимірне кодування, що використовує всі три методи. Однак воно вирізняється складністю апаратної реалізації.

### 7.3.2 Групове кодування ТВ-сигналу

Ідея групового кодування полягає в розбивці телевізійного зображення на ділянки з одночасним кодуванням відразу групи елементів, які складають кожну ділянку. Найпростіший метод групового кодування полягає в тому, що для кожної ділянки передається середнє значення яскравості, середнє відхилення від неї в межах кожної ділянки й знак відхилення для кожного відліку. У ряді випадків даний метод забезпечує задану точність відтворення вихідного зображення.

Розрізняю варіанти методів групового кодування можна розділити на два основні класи: *кодування з перетворенням і адаптивне групове кодування*. Розглянемо їх більш докладно.

*Ідея кодування з перетворенням* полягає в тому, що кодується й передається по каналу зв'язку не саме зображення, а значення коефіцієнтів, що утворюються при ортогональному перетворення цього вираження,

сукупність яких називається трансформантой. У випадку перетворення Фур'є, трансформанта являє собою звичайний двовимірний спектр зображення. На відміну від вихідного зображення, для якого характерно в середньому рівномірний розподіл енергії між окремими відліками, розподіл енергії між коефіцієнтами трансформанти різко нерівномірно. Основна частка енергії припадає на коефіцієнти трансформанти з малими номерами (низькі частоти), і лише невелика частина - на інші. Надалі елементи трансформанти, що мають малу амплітуду, або взагалі опускаються, або квантуються на мале число рівнів. Виникаючі за рахунок цього викривлення зображення виявляються незначними.

Крім перетворення Фур'є для групового кодування можуть використовуватися перетворення Уолша-Адамара, S-Перетворення, перетворення Крунека-Лаэса, перетворення Хотеллинга й ряд інших. Кожний вид перетворення дає щонайкраще результати для певних статистичних характеристик ділянки зображення. З метою скорочення швидкості передавши символів застосовують адаптивне кодування з перетворенням. Суть його полягає в тому, що на кожній ділянці зображення здійснюється вимірювання його статистичних характеристик і залежно від результату, застосовують той або інший вид перетворення. При цьому поряд з коефіцієнтами трансформанти необхідно передати інформацію про вид перетворення.

У прийомному кінці лінії зв'язку здійснюються зворотні перетворення. Спочатку відновлюється трансформанта, а потім шляхом зворотного ортогонального перетворення утворюється саме зображення.

Структурна схема групового кодування з перетворенням представлена на рис. 7.10., де відліки ТВ-сигналу після перетворення визначаються вираженням

$$F_{ij}(u, v) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M S_{ij} A_{ij}(u, v) \quad (7.17)$$

де  $A_{ij}(u, v)$  – одне з переліку перетворень: Фур'є, Уолша-Адамара, Карунека-Лоэва, Хаара, Хотеллинга, S – перетворення і т.п.. У свою чергу на прийомній стороні відновлюється оцінка ТВ-сигналу відповідно до виразу

$$S_{ij} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M F_{ij}(u, v) A_{ij}^*(u, v), \quad (7.18)$$

де  $A_{ij}^*(u, v)$  - одне з переліку зворотних перетворень: Фур'є, Уолша-Адамара, Карунека-Лоэва, Хаара, Хотеллинга, S – перетворення і т.п..



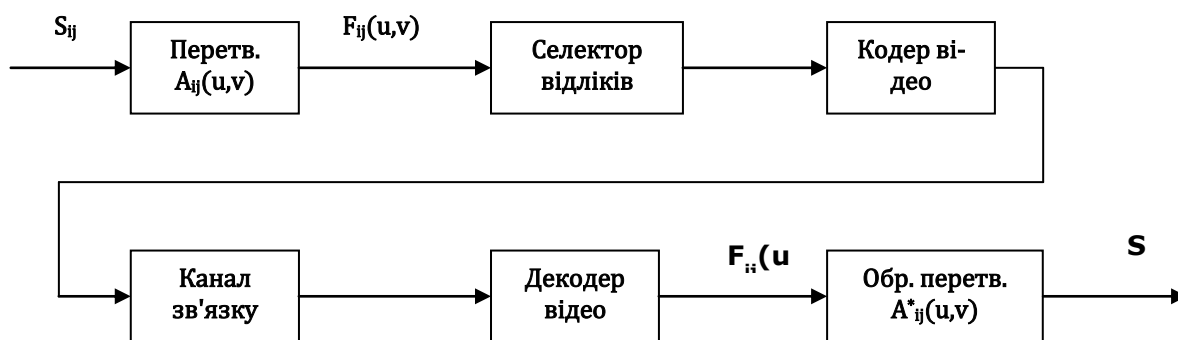


Рис. 6.10 – Групове кодування с перетворенням

### 7.3.3 Поняття адаптивних методів кодування ТВ-сигналу

В основу адаптивного групового кодування покладені властивості зорового сприйняття людини. Зорова система кодує зображення на рівні сітківки не по елементам, а групами. Функціональні одиниці сітківки - рецептивні поля - мають розміри в кілька кутових хвилин, що в кілька раз перевищує розміри одного елемента розрізнювання. Елементарний майданчик, що доводиться на одне рецептивне поле, сприймається однорідної по кольору. При розгляданні зображення з відстані, рівного шести висотам екрана (елемент телевізійного зображення відповідає однієї кутовій хвилині), розміри групи визначаються приблизно в 4x4 елемента.

Друга властивість зорової системи, що лежить в основі адаптивного групового кодування, полягає в її тимчасовій адаптації. Ока властиво поступово нарощувати розрізнювальну здатність. При малому часі спостереження зображення частотно-контрастна характеристика ока нагадує фільтр нижніх просторових частот. При збільшенні часу спостереження око починає краще розпізнавати дрібні літали зображення, його частотно-контрастна характеристика змінюється, послабляються нижні просторові частоти й підключаються верхні. Ця властивість можна використовувати для зменшення швидкості передачі символів цифрового ТВ-сигналу.

Алгоритм адаптивного групового кодування реалізується в такий спосіб. Зображення розбивається на фрагменти розміром  $n \times r$  елементів. Далі проводиться перше усереднення відліків у групі.

Одночасно встановлюється знак ревнощів відносно заданого рівня (наприклад, рівня сірого). Перебувають середні величини негативних і позитивних різниць, тобто проводиться друге усереднення (по різницях). Таким чином, кодований сигнал є кодовою комбінацією, що містить інформацію про середню яскравість фрагмента в середніх величинах негативних і позитивних значень різниць. У випадку істотних відмінностей пікових різниць від середніх величин різниць можуть вводитися додаткові сигнали "контурів", які кодуються додатковим числом біт.

Порівняльна характеристика різних методів кодування сигналу, що забезпечують однакову вірність відтворення, представлена в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2.

Метод кодування	Число біт на елемент
Звичайне кодування	3
Кодування із передбаченням	3
Кодування з перетворенням одномірне	2,3
Кодування з із передбаченням двомірне	2
Адаптивне групове кодування	1

Адаптивне групове кодування дозволяє зберегти швидкість передачі символів цифрового коду до одного біта на елемент. Це пояснюється тим, що ймовірність відхилення яскравості від середнього значення для фрагмента розміром 4x4 елемента не перевищує 0,5, що дозволяє кодувати середнє значення яскравості вісьма бітами. Інші вісім біт використовуються для кодування відхилень від середнього значення яскравості.

### **Висновок**

У лекції розглянути основні поняття й визначення цифрового телебачення, принципи дискретизації за часом, квантування за рівнем, методи кодування та перетворення телевізійного сигналу

## ЛЕКЦІЯ 8. СТАНДАРТИ СИГНАЛІВ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ

### План

- 8.1 Хронологія розвитку стандартів стиснення сигналів цифрового ТБ.
- 8.2 Стандарти цифрового кодування колірною повного відеосигналу.
- 8.3 Формування цифрових потоків.
- 8.4 Стиснення нерухомих зображень за стандартом JPEG .
- 8.5 Стандарти стиснення рухомих зображень.
  - 8.5.1 Кодування й декодування звукового супроводу у стандартах MPEG-1 й MPEG-2.
  - 8.5.2 Особливості деяких існуючих систем звукового супроводу телевізійних передач.
- Підсумки.

### 8.1 Хронологія розвитку стандартів стиснення сигналів цифрового ТБ

*Стиснення відеоданих; компресування відеоданих* - подання відеоданих меншою кількістю бітів порівняно з початковим без втрати інформації [9].

*Скорочення цифрового (відео- [аудіо- ]) потоку*, - зменшення кількості бітів, слів або блоків (відео- [аудіо-]) потоку, що передають в одиницю часу [9].

*Стиснення відеоданих; компресування відеоданих* - подання відеоданих меншою кількістю бітів порівняно з початковим без втрати інформації [9].

*Скорочення цифрового (відео- [аудіо- ]) потоку*, - зменшення кількості бітів, слів або блоків (відео- [аудіо-]) потоку, що передають в одиницю часу [9].

Результати робіт зі створення повністю цифрових систем ТБ знайшли відбиття в декількох стандартах. Для стиску нерухомих зображень широко використовується стандарт JPEG (Joint Picture Expert Group).

Методи стиску рухомих зображень і сигналів звукового супроводу описані в стандартах MPEG-1, MPEG-2 (Motion Picture Expert Group).

MPEG-1 – орієнтований в основному на запис кінофільмів і відеограм на комп'ютерні лазерні диски з можливістю відтворення зображення й звуку за допомогою звичайного ПК (остаточно затверджений до грудня 1993 року).

Стандарт MPEG-2, призначений для стиску телевізійного віщання, як зі звичайним стандартом розкладання, так і зі збільшеним числом рядків (телебачення високої чіткості – ТВЧ), був затверджений у листопаді 1994 року.

У цей час системи цифрового ТБ (з MPEG-2) швидко поширюються в багатьох країнах. При цьому в першу чергу вирішується завдання знач-

ного збільшення кількості переданих ТВ-програм звичайного розрізнення, тому що це дає швидкий комерційний ефект.

У Європі вже в 1993 році, як тільки стало ясно, що за цифровим ТВ майбутнє, був прийнятий проект DVB (Digital Video Broadcasting – цифрове відео віщання).

Можна привести такий приклад, в 1997 році на європейські країни передавалося 170 каналів ЦТВ, а до кінця 1998 р. число таких каналів перевищило 1000.

Одночасно поширюються ЦТВ по кабельних лініях, цифровий відео-запис, цифрові відеодиски.

У розвинених країнах поставлене питання про припинення в першому десятилітті XXI століття аналогового ТВ.

Крім систем телевізійного віщання, методи й засоби ЦТВ є основою сучасних систем відеозапису, до яких відносяться відеоконференції й відеотелефон.

Наприкінці 1998 року був прийнятий стандарт MPEG-4 – утримуються методи кодування зображень і звуку, які забезпечують передачу відеоінформації зі звуковим супроводом по вузькосмугових каналах зв'язку.

Широке поширення комп'ютерів й Інтернет, а з іншого боку – побутових відеокамер й іншої відеотехніки привело до того, що виробництво й поширення аудіовізуальної інформації стає доступним масовому користуванню. У результаті щодня у світі виробляється величезний обсяг такої інформації, і завдання її ідентифікації й пошуку в Інтернеті стало актуальним.

Отже, в 2001 році був прийнятий стандарт MPEG-7 – спрямований на створення засобів опису змісту відео й аудіофайлів, тобто на вирішення зовсім іншого завдання, чим попередні стандарти групи MPEG.

Ці засоби повинні бути стандартизовані для різних типів аудіовізуальної інформації, включаючи будь-які нерухомі й рухомі зображення, мову, музику, графіку, тривимірні моделі й синтезовані звуки, незалежно від формату подання.

Між MPEG-7 й MPEG-4 є зв'язок, тому що опис змісту аудіовізуальної інформації засновано на поняттях аудіовізуальних об'єктів і сцен, що складаються з них. В MPEG-4 є можливість задавати опис для кожного об'єкта, а MPEG-7 дає правила побудови таких описів.

## 8.2 Стандарти цифрового кодування колірною повного відеосигналу

*Стандарт цифрового кодування [декодування]* - сукупність правил і параметрів, що визначають спосіб кодування [декодування] сигналів [9].

*Стандарт  $F_1:F_2:F_3$*  - Стандарт, що встановлює відношення між часовими, просторовими чи просторово-часовими частотами дискретизації відеосигналів (складників зображення) яскравості  $Y$  і кольорорізницевих

сигналів  $R-Y$  і  $B-Y$ , або відеосигналів основних кольорів  $R, G, B$ , а також параметри кодування сигналів. Під час записування позначень стандартів символи  $F_1:F_2:F_3$  замінюються цифровими значеннями, наприклад, стандарт 4:2:2, стандарт 4:4:4 [9].

*Формат цифрового ТВ-сигналу* - множина відліків складових повного ТВ-сигналу з визначенням усіх їх рівневих і часових параметрів у межах кадру, поля і рядка [9].

*Структура дискретизації; структура відліків* - закон розміщення відліків відеосигналу у просторі відтворюваного зображення [9].

Залежно від того, як розміщені відліки відеосигналу у просторі відтворюваного зображення, розрізняють: ортогональну, шахову, трикутну, гексагональну структури дискретизації [9].

Розглянемо вимоги, що визначають єдиний міжнародний стандарт цифрового кодування телевізійного сигналу для студійної апаратури. Стандарт *Цифрові телевізійні сигнали (відповідно до рекомендації ITU-R BT 601)* застосовується й у сучасних повністю цифрових системах ТБ при цифровому поданні телевізійних сигналів звичайної чіткості. У даному стандарті передбачається роздільне цифрове кодування сигналу яскравості і двох кольорорізнцевих сигналів. Установлено одне значення частоти дискретизації каналу яскравості, рівне 13,5 МГц, для обох стандартів розгортки – 25 Гц та 625 рядків (625/25); і 30 Гц та 525 рядків (525/30).

Кожен кольорорізнцевий сигнал дискретизується із удвічі меншою частотою 6,75 МГц.

Відповідно до прийнятих позначень, даний стандарт цифрового кодування ТБ позначається 4:2:2.

Це означає, що частота дискретизації кольорорізнцевих сигналів у два рази менша, ніж частота дискретизації яскравості сигналу яскравості, визначена на підставі теореми Котельникова, причому в кожному рядку присутні обидва кольорорізнцевих сигнали. Взаємне розташування відліків сигналу яскравості й кольорорізнцевих сигналів показано на рис. 8.1

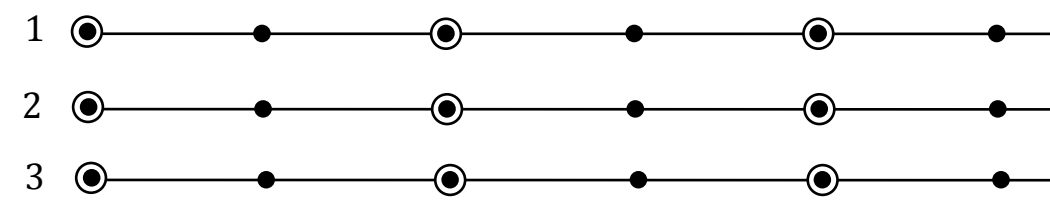


Рис. 8.1 – Взаємне розташування відліків сигналу яскравості та кольорорізнцевих сигналів

- відліки сигналу яскравості
- відліки кольорорізнцевих сигналів

Повне число відліків яскравості в рядку дорівнює 864, а число відліків кожного кольорорізницевого сигналу – 432. За час активної ділянки рядка формується 720 відліків сигналу яскравості й 360 відліків кожного кольорорізницевого сигналу.

Число активних рядків у кадрі для стандарту 625 рядків дорівнює 578. Повне число переданих у кожному кадрі елементів зображення дорівнює 414720 (720×576).

Передбачено й інші формати перетворення ТВ-сигналу у цифрову форму. Наприклад, при використанні формату 4:2:0 кожен кольорорізницевий сигнал має частоту дискретизації в 2 рази нижче частоти дискретизації сигналу яскравості й передається в кожному другому рядку. Розташування відліків сигналу яскравості й кольорорізницевого сигналів у площині зображення для цього варіанта показано на рисунку 8.2.

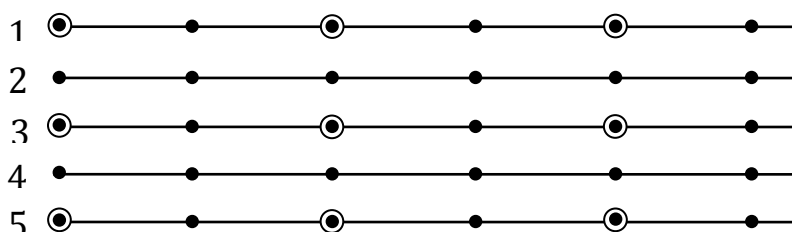


Рис. 8.2 – Взаємне розташування відліків сигналу яскравості й кольорорізницевого сигналів

●– відліки сигналу яскравості

○– відліки кольорорізницевого сигналів

Відліки кольорорізницевого сигналів утворюють матрицю 360×288 елементів для кожного із цих сигналів.

При форматі 4:1:1 обидва кольорорізницевого сигнали передаються в кожному рядку, але їхні частоти дискретизації в чотири рази менші частоти дискретизації сигналу яскравості, тобто рівні 3,375 МГц. Число елементів кожного кольорорізницевого сигналу в кадрі в цьому випадку таке ж, як для формату 4:2:0. Нарешті, при форматі 4:4:4 обидва кольорорізницевого сигнали передаються в кожному рядку й дискретизуються з тією же частотою, що і сигнал яскравості.

*Квантування.* У рекомендації ITU-R BT 601 для всіх сигналів передбачене число розрядів квантування  $n=8$ , що дає число рівнів квантування  $N_{кв} = 256$ . При цьому рівню чорного сигналу яскравості відповідає 16-й рівень квантування, а номінальному рівню білого – 235-й.

16 рівнів квантування знизу й 20 рівнів квантування зверху утворюють резервні зони на випадок виходу значень аналогового сигналу яскравості за межі номінального значення (у цифровому ТВ боротьба з перешкодами, обумовленими перевищенням динамічного діапазону, практично неможлива).

Розходження (16 рівнів "знизу" та 20 рівнів "зверху") враховує неоднаковість сприйняття перекручувань на чорному і білому, які можуть з'являтися при обмеженні діапазону цифрових значень сигналу.

Особливі призначення мають 0-й й 255-й рівні квантування. За допомогою відповідних їм кодів передаються сигнали синхронізації.

АЦП сигналу яскравості описується співвідношенням:

$$C_Y = 219 \cdot E'_Y + 16, \quad (8.1)$$

де  $E'_Y$  – аналоговий сигнал яскравості, що змінюється в діапазоні від 0 до 1 В (штрих означає, що сигнал пройшов  $\gamma$  - корекцію);

$C_Y$  – цифровий сигнал яскравості, що змінюється в діапазоні від 16 до 235.

Рівномірне квантування телевізійного сигналу, загалом кажучи, не є найкращим. Це обумовлено в першу чергу властивостями зорового апарата людини. Як відомо, граничне перевищення яскравості  $\Delta Y_{nop}$  об'єкта над фоном, при якому об'єкт розрізняється спостерігачем, підкоряється в першому наближенні закону Вебера - Фехнера:

$$\frac{\Delta Y_{nop}}{Y_\phi} = k,$$

де  $k = 0,015 \dots 0,020$ ;

$Y_\phi$  – яскравість фону.

Таким чином, з ростом  $Y_\phi$  росте й  $\Delta Y_{nop}$ . Звідси треба, що в області значень телевізійного сигналу, близьких до рівня чорного, крок квантування повинен бути менше, ніж в області, близької до рівня білого.

Однак технічна реалізація нерівномірного квантування істотно складніша, ніж рівномірного. Замість використання змінного кроку квантування, звичайно, виконують попереднє нелінійне перетворення відеосигналу – гамма-корекцію:

1. Коректується нелінійність передатної характеристики кінескопа й забезпечується оптимальна форма передатної характеристики всього тракту телевізійної системи "від світла до світла";

2. Зменшується вплив помилок квантування при малих рівнях яскравості зображення.

Передатна характеристика  $\gamma$  - коректора описується співвідношенням:

$$\left( \frac{U_{вих}}{U_{вих.м}} \right) = \left( \frac{U_{вх}}{U_{вх.м}} \right)^\gamma,$$

де  $U_{вх}$  й  $U_{вих}$  – напруги сигналів на вході й на виході  $\gamma$  - коректора;

$U_{\text{вх м}}$  й  $U_{\text{вих м}}$  – максимальні значення діапазонів напруг сигналів на вході й на виході  $\gamma$ -коректора, відповідно;

$\gamma = 0,42 \dots 0,48$  – показник  $\gamma$  - корекції.

При квантуванні кольорорізницевих сигналів також передбачаються резервні зони – по 16 рівнів квантування зверху й знизу. На АЦП надходять не самі кольорорізницеві сигнали  $E'_{R-Y}$ ,  $E'_{B-Y}$ , а компресовані кольорорізницеві сигнали, сформовані відповідно до співвідношень

$$\begin{aligned} E'_{CR} &= 0,713 \cdot E'_{R-Y}, \\ E'_{CB} &= 0,564 \cdot E'_{B-Y}, \end{aligned} \quad (8.2)$$

щоб привести діапазони змін кольорорізницевих сигналів до одиниці, так як

$$E'_{R-Y} = -0,701 \dots 0,701; \quad E'_{B-Y} = -0,886 \dots 0,886,$$

причому значення сигналів  $E'_{CR}$  і  $E'_{CB}$  змінюється в діапазоні від  $-0,5$  В до  $+0,5$  В.

АЦП кольорорізницевих сигналів, у результаті яких виходять цифрові кольорорізницеві сигнали  $C_R$  й  $C_B$ , виконуються у відповідності з наступними співвідношеннями:

$$\begin{aligned} C_R &= 224 \cdot E'_{CR} + 128 = 159,712 \cdot E'_{R-Y} + 128 \approx 160 \cdot E'_{R-Y} + 128, \\ C_B &= 224 \cdot E'_{CB} + 128 = 126,336 \cdot E'_{B-Y} + 128 \approx 126 \cdot E'_{B-Y} + 128. \end{aligned} \quad (8.3)$$

Тому що кольорорізницеві сигнали є двополярними, і максимальні відхилення від нульового значення в позитивну й негативну сторону приблизно однакові, 128-й рівень квантування повинен відповідати нульовому значенню цих сигналів.

В останні роки все ширше застосовуються квантування сигналу яскравості й кольорорізницевих сигналів за допомогою 10-розрядних АЦП, що дає 1024 рівні квантування.

До складу ЦТС входять синхросигнали (СС). Перед початком активної ділянки кожного рядка наприкінці рядкового імпульсу гасіння передається сигнал синхронізації початку активного рядка (ПАР), а після закінчення активної ділянки кожного рядка на початку рядкового імпульсу гасіння, передається СС кінця активного рядка (КАР). Кожний зі СС ПАР і КАР містить 4 байти. Перший байт складається з восьми двійкових одиниць, що відповідає десятковому числу 255. Наступні два байти рівні 0. А четвертий байт містить інформацію про те, яке передається поле



(парне або непарне), який саме це синхросигнал, а так само забезпечує захист від помилок.

Більша частина тривалості рядкового імпульсу гасіння між СС ПАР і КАР залишається вільною, і під час її можна передавати різну інформацію, наприклад, перетворені в цифрову форму сигнали звукового супроводу.

*Векторний відеосигнал* - відеосигнал, представлений вектором компонентних сигналів [9].

*Формування цифрового КПВС (ЦКПВС).* Розглянемо два варіанти структурної схеми формування ЦКПВС. У пристрої, показаному на рисунку 8.13,а, сигнали основних кольорів  $E_R$ ,  $E_G$ ,  $E_B$  із джерела телевізійних сигналів (телекамери) спочатку надходять на  $\gamma$ - коректори (ГК). Сформовані сигнали  $E'_R$ ,  $E'_G$ ,  $E'_B$  надходять у кодуєчу матрицю (КМ) та по відомих співвідношеннях перетворюються в сигнал яскравості  $E'_Y$  й кольорорізницеві сигнали  $E'_{R-Y}$  й  $E'_{B-Y}$ .

$$\begin{aligned} E'_Y &= 0,299 \cdot E'_R + 0,587 \cdot E'_G + 0,114 \cdot E'_B, \\ E'_{R-Y} &= 0,701 \cdot E'_R - 0,587 \cdot E'_G - 0,114 \cdot E'_B, \\ E'_{B-Y} &= -0,299 \cdot E'_R - 0,587 \cdot E'_G + 0,886 \cdot E'_B. \end{aligned} \tag{8.4}$$

Далі ці сигнали перетворюються в АЦП у цифрові сигнали  $C_Y$ ,  $C_R$  і  $C_B$  відповідно. На входах АЦП є додаткові аналогові вузли, що виконують масштабування й зрушення сигналів відповідно до (8.3) та (8.4).

Синхроімпульси розгортки джерела телевізійних сигналів надходять на формувач цифрових синхроімпульсів (ФЦСІ), що виробляє синхронізуючі сигнали ПАР і КАР. Крім того, синхроімпульси використовуються для синхронізації генератора тактових імпульсів (ГТІ), який виробляє імпульси із частотами 27 МГц; 13,5 МГц й 6,75 МГц, що надходять на інші вузли й пристрої.

ГТІ містить схему фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ), за допомогою якої забезпечується необхідне число періодів тактових імпульсів за період рядкової розгортки джерела телевізійних сигналів.

Мультіплексор (MS) у заданій послідовності передає на вихід цифрові сигнали  $C_Y$ ,  $C_R$ ,  $C_B$  і цифрові синхронізуючі сигнали. У результаті на виході пристрою виявляється сформованим ЦТС.

В іншому варіанті пристрою (див. рис.8.3,б) сигнали основних кольорів  $E_R$ ,  $E_G$ ,  $E_B$  відразу перетворюються в цифрові сигнали  $R_d$ ,  $G_d$ ,  $B_d$ . При цьому кожен АЦП повинен мати, щонайменше, 10, а краще 12 двійкових розрядів.

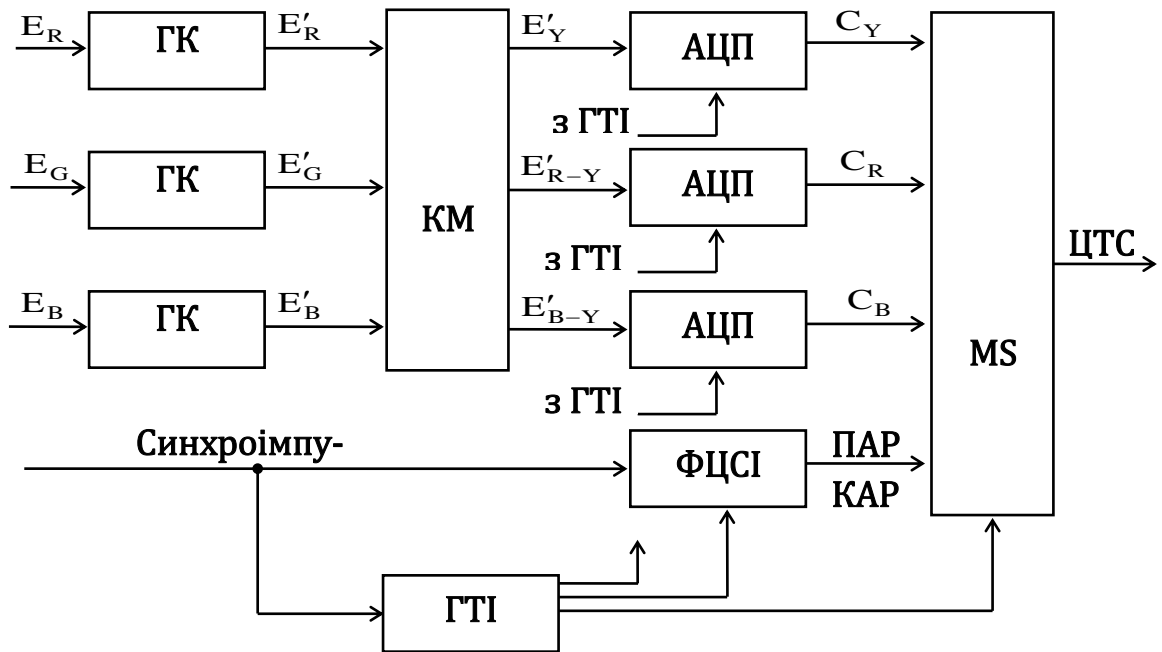


Рис. 8.3 –Перший варіант структурної схеми формування ЦКПВС

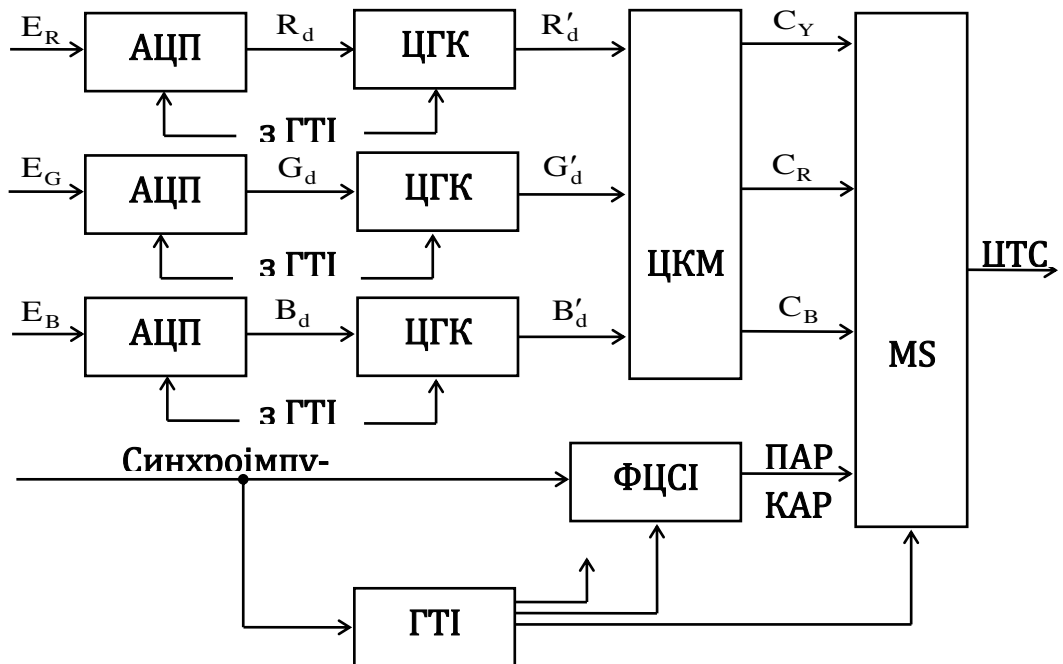


Рис. 8.4– Другий варіант структурної схеми формування ЦКПВС

Далі цифрові сигнали  $R_d$ ,  $G_d$ ,  $B_d$  надходять на цифрові  $\gamma$ -коректори (ЦГК), у яких виконуються нелінійні перетворення. Число двійкових розрядів, що пройшли  $\gamma$ -корекцію цифрових сигналів  $R'_d$ ,  $G'_d$ ,  $B'_d$  дорівнює 8. Потім сигнали  $R'_d$ ,  $G'_d$ ,  $B'_d$  у цифровій кодуєчій матриці (ЦКМ) перетво-

рюються в цифровий сигнал яскравості  $C_Y$  й цифрові кольорорізницеві сигнали  $C_R, C_B$ .

Формування синхронізуючих сигналів та тактових імпульсів і робота мультиплексора здійснюється аналогічно першому варіанту пристрою.

Виконання  $\gamma$ - корекції цифровими засобами забезпечує більш точне завдання необхідної функції перетворення, але при цьому потрібні маючі більше двійкових розрядів й, отже, більш дорогі АЦП.

### 8.3 Формування цифрових потоків

*Цифровий відео- [аудіо- ] потік* - послідовність даних зображення [звуку], одержаних у результаті цифрового кодування за певним алгоритмом [9].

*Організація цифрового потоку сигналів зображення.* У попередньому підрозділі були розглянуті два варіанти побудови формувачів цифрових телевізійних сигналів. Розглянемо більш докладно організацію цифрового потоку сигналів зображення і звуку.

Швидкість передачі двійкових символів цифрового сигналу  $c$ , як відомо, визначається добутком частоти дискретизації  $f_d$  на число розрядів квантування  $m_k$ . Вона складає:

для сигналу яскравості

$$c_y = f_d \cdot m_k = 13,5 \cdot 10^6 \cdot 8 = 108 \text{ Мбіт/с};$$

для кожного із сигналів кольоровості при стандарті 4:2:2

$$c_k = 6,75 \cdot 10^6 \cdot 8 = 54 \text{ Мбіт/с};$$

для сумарного цифрового потоку при роздільному кодуванні

$$c_\Sigma = c_y + 2 \cdot c_k = 108 + 2 \cdot 54 = 216 \text{ Мбіт/с};$$

По каналах зв'язку сигнали зручніше передавати послідовним кодом, а в межах апаратно-студійного комплексу переважно використовують паралельні коди. У ході формування, передачі і прийому телевізійний сигнал неодноразово перекодується. Для характеристики з'єднання між пристроями або комплексами цифрової телевізійної апаратури, включаючи тип, число і функції таких з'єднань, а також основні характеристики переданих по них сигналів, застосовують термін *відеоінтерфейс*. Розрізняють паралельний, послідовний і комбінований відеоінтерфейс. Паралельний відеоінтерфейс передбачає одночасну передачу двійкових символів кодового слова по окремих колах – *провідних парах*, число яких

відповідає числу розрядів цього слова. Послідовний відеоінтерфейс пропускає по чергову передачу по одному колу символів кожного слова.

Послідовний відео інтерфейс кодованих сигналів  $C_Y$ ,  $C_R$ ,  $C_B$  з цифровим потоком 216 Мбіт/с формується тактовою частотою 216 МГц. При паралельному відео інтерфейсу цей потік передається по восьми провідних парах. При цьому цифровий потік у кожній парі складає  $216:8=27$  Мбіт/с. Для регенерації імпульсів кожного з восьми розділених потоків використовуються сигнали тактової частоти з періодом  $T = 32$  нс (27 МГц), що передаються по дев'ятій парі.

На рисунку 8.5 представлена структура сигналу паралельного відео інтерфейсу. Часові інтервали зазначені в періодах тактової частоти  $T$  для стандарту 625/50. Розглянемо структуру цього сигналу.

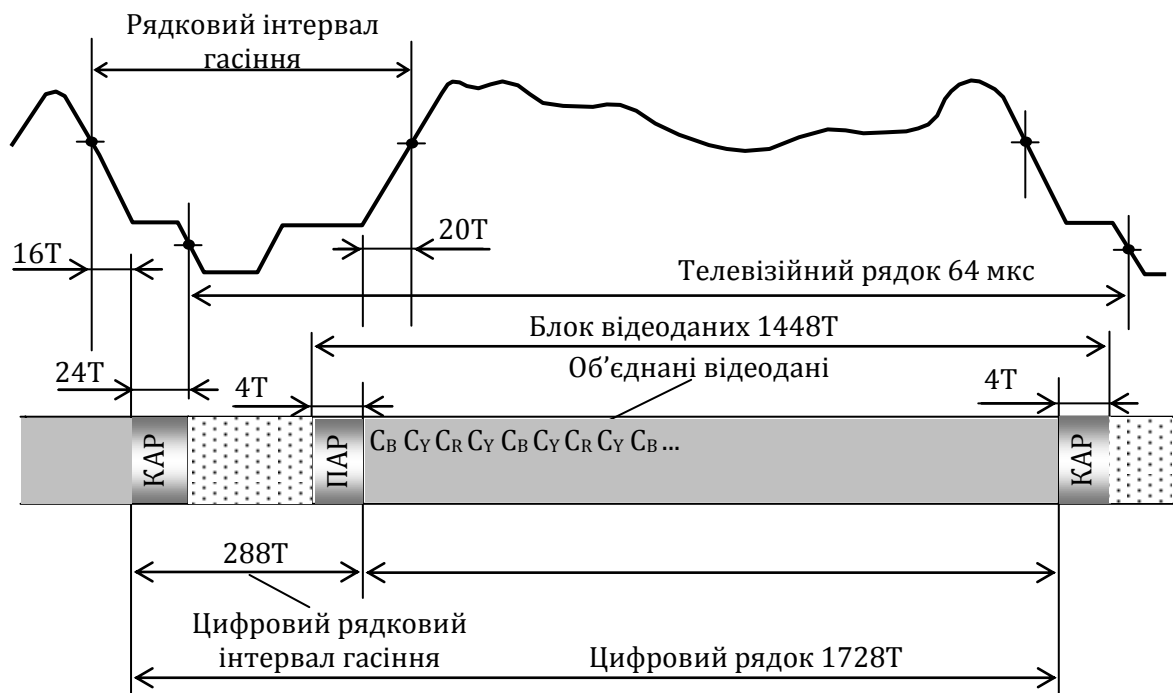


Рис. 8.5 – Структура сигналу паралельного відео інтерфейсу

Як видно з рисунка, цифровий рядок, що має тривалість 1728T, не збігається з відповідним йому аналоговим рядком – він починається і закінчується раніш. Часове зрушення між кінцем цифрової активної частини рядка й опорним моментом рядкової синхронізації складає 24T. Сигнали синхронізації, що визначають початок активного цифрового рядка ПАР і його кінець КАР, представляють (як було відзначено раніше) собою послідовності з чотирьох восьмирозрядних слів. Ці сигнали передаються на рядковому інтервалі гасіння й в цілому займають 8T. Значна частина рядкового інтервалу гасіння тривалістю 280T залишається вільною і може бути використана, наприклад, для передачі сигналів звуку і додаткової інформації.

*Формування цифрових сигналів звукового супроводу.* Високоякісна передача широкосмугових звукових сигналів (зі смугою 15 кГц) вимагає кодування їх з дуже високою точністю – до 14...16 біт на відлік. При формуванні цифрового сигналу звукового супроводу враховується, що в окремих колах цифрового тракту ці сигнали, як і сигнали додаткової інформації, передаються в загальному цифровому потоці із сигналами зображення. Для забезпечення сумісності цифрових сигналів зображення і звукового супроводу застосовують твердий зв'язок між частотами дискретизації сигналів зображення і звуку. При цьому на фрагмент зображення приходиться ціле число фрагментів звуку. Це дозволяє здійснювати синхронну комутацію сигналів зображення і звуку.

Цифровий сигнал звуку прагнуть розбивати на фрагменти однакової тривалості незалежно від області застосування (телебачення, радіомовлення, кіно). Цій умові задовольняє частота дискретизації аналогового звукового сигналу  $f_{дз} = 48$  кГц. При цьому на один кінокадр (при стандарті 24 кадрів/с) приходиться 2000 відліків звукового сигналу, на один телевізійний кадр у стандарті 625/25 – 1920 відліків. Тактова частота при 16 бітах на відлік складає 768 кГц, а цифровий потік – 768 кбіт/с.

#### **8.4 Стиснення нерухомих зображень за стандартом JPEG**

Як було раніше відмічено на попередній лекції, перехід до цифрового представлення ТВ-сигналів передбачає значне підвищення вимог до пропускної здатності каналів зв'язку, що викликає технічні труднощі широкого застосування цифрового телебачення. Тому дуже актуальною є задача "стиснення" телевізійних повідомлень.

Ця задача вирішується шляхом усунення надмірності, яка є у телевізійному сигналі, і використанням ефективних методів модуляції.

Стандарт JPEG визначає послідовність і параметри операцій при кодуванні і декодуванні нерухомих зображень.

JPEG відноситься до методів стиску зображення з втратами і використовується, в основному, при записі нерухомих зображень з метою економії ємності ЗП. Для більшості реальних напівтонових і кольорових зображень цей метод дозволяє зменшити обсяг інформації в 5...10 разів без помітного погіршення візуально сприймаємої якості.

JPEG не призначений для стиску малюнків, креслень і інших зображень, що мають два рівні яскравості.

Послідовність операцій при кодуванні, що пояснюється структурною схемою на Рис. 8.6, включає:

1. Розбивка зображення на блоки 8x8 пікселей.
2. Виконання швидкого дискретного косінусного перетворення (ШДКП) у кожному блоці.
3. Квантування отриманих коефіцієнтів ДКП із використанням таблиці коефіцієнтів квантування (таблиця Q).

4. Ентропійне кодування квантованих коефіцієнтів ДКП кожного блоку зображення.

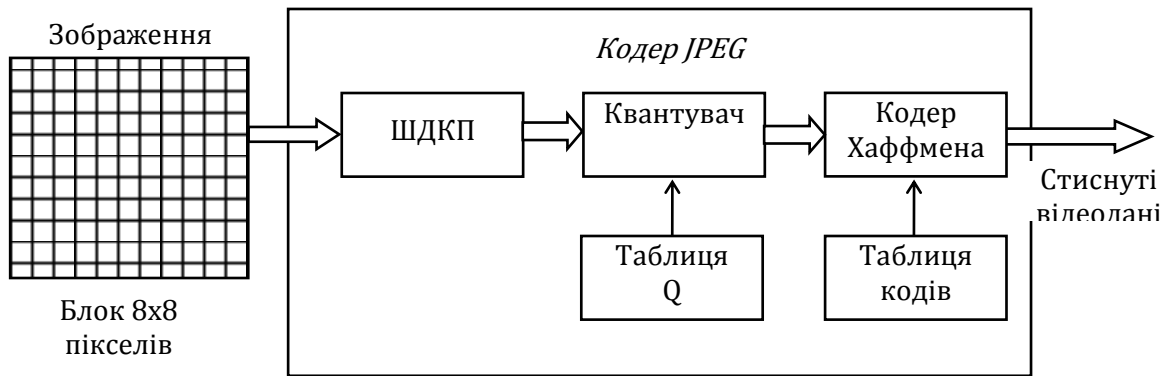


Рис. 8.6 – Структурна схема кодування по стандарту JPEG

Остання операція виконується кодером Хаффмана з використанням таблиці кодування (таблиця кодів). Замість кодера Хаффмана може використовуватися арифметичний кодер.

У результаті кодування вихідне зображення перетворюється в стиснуті відеодані, що записуються у файл. Декодування виконується в зворотній послідовності операцій і пояснюється структурною схемою, яка наведена на рис. 8.7.

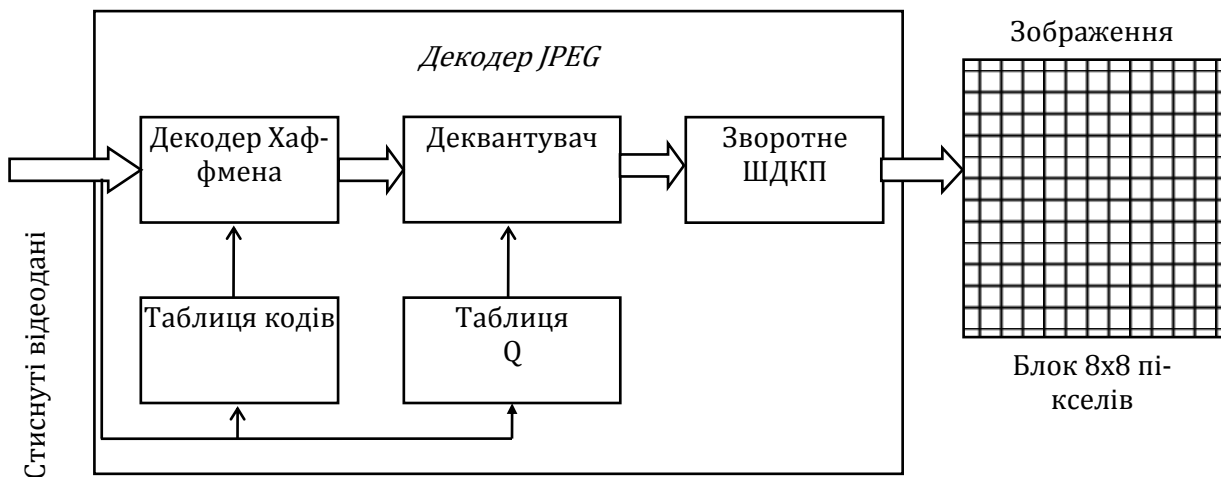


Рис. 8.7 – Структурна схема декодування по стандарту JPEG

При декодуванні ентропійного коду і при деквантуванні використовуються таблиці кодування і таблиці коефіцієнтів квантування, що можуть утримуватися в одному файлі зі стиснутим зображенням.

Напівтонові монохромні (чорно-білі) зображення розбиваються на блоки 8x8 пікселей. Ці блоки далі кодуються один за іншим. Порядок кодування блоків зліва направо, один горизонтальний ряд блоків за іншим.

Кольорове зображення може бути представлено у форматі RGB, коли для кожного пікселя задаються значення трьох основних кольорів. У цьому випадку кожен блок 8x8 пікселів представляється трьома блоками 8x8 чисел. Кодування даних кожного з трьох блоків кольорів виконується так само, як і для напівтонового монохромного зображення.

Переважає представлення кольорового зображення у форматі  $C_Y C_R C_B$ , де для кожного пікселя задаються значення яскравості і кольорорізницевих сигналів. У цьому випадку можливе зменшення числа блоків для інформації про колір.

Наприклад, при стандарті 4:2:0 у порівнянні з форматом RGB повне число кодуємих блоків зменшиться в два рази, але помітного погіршення якості при цьому не відбудеться, тому що зоровий апарат людини не сприймає перекручування кольору дрібних деталей зображення.

Можливі два варіанти послідовності кодування блоків кольорового зображення:

1. Sequential – (послідовно) спочатку кодуються всі блоки елементів сигналу  $C_Y$ , потім усі блоки елементів сигналу  $C_B$ , потім усі блоки елементів сигналу  $C_R$ .

2. Interleaved – перемішування блоків різних складових

Наприклад: при стандарті 4:2:0  $\rightarrow 4C_Y, C_B, C_R, 4C_Y, C_B, C_R, 4C_Y, \dots$

При об'єднанні блоків у декодоване зображення кількість елементів  $C_B$  і  $C_R$  відновлюється за допомогою інтерполяції.

Вихідні дані для ДКП мають вигляд блоків або матриць 8x8 елементів сигналів  $C_Y, C_B$  або  $C_R$ , що виражаються 8-розрядними цілими позитивними двоїчними числами. Перед виконанням ДКП значення кожного елемента блока зрушується шляхом вирахування числа 128, у результаті чого елементи блоків виражаються цілими числами зі знаком.

Після цього в кодері JPEG виконується ДКП відповідно до формул:

$$C(k,l) = \frac{2}{\sqrt{MN}} \cdot \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} x(m,n) \cdot \cos\left(\frac{2m+1}{2M} \cdot \pi k\right) \cdot \cos\left(\frac{2n+1}{2N} \cdot \pi l\right)$$

$$C(0,l) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \cdot \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} x(m,n) \cdot \cos\left(\frac{2n+1}{2N} \cdot \pi l\right)$$

$$C(k,0) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \cdot \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} x(m,n) \cdot \cos\left(\frac{2m+1}{2M} \cdot \pi k\right)$$

$$C(0,0) = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{MN}} \cdot \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} x(m,n),$$

при  $N = M = 8$ .

Зворотнє ДКП у декодері JPEG виконується відповідно до формули:

$$x(m,n) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \cdot \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} C(k,l) \cdot \cos\left(\frac{2m+1}{2M} \cdot \pi k\right) \cdot \cos\left(\frac{2n+1}{2N} \cdot \pi l\right).$$

Після чого виконується зворотнє зрушення рівня кожного елемента шляхом додавання числа 128.

При виконанні ДКП блока 8x8 використовується алгоритм швидкого обчислення одномірного ДКП відрізка цифрового сигналу, що містить 8 елементів. При цьому спочатку обчислюються ДКП для кожного стовпця блоку елементів зображення, а потім в отриманій матриці 8x8 чисел обчислюються ДКП для кожного рядка. ДКП виконується в реальному часі з застосуванням цифрових процесорів обробки сигналу (ЦПОС).

Коефіцієнти ДКП можуть бути як позитивними, так і негативними числами з діапазону -2047...2047. Ця операція сама по собі не змінює кількості переданої інформації і є оборотною.

Єдиним джерелом необоротних втрат інформації можуть бути помилки округлень при обчисленнях, однак ці помилки можуть бути зроблені досить малими за рахунок вибору розрядності обчислювальних засобів.

Як відомо, найбільший внесок при формуванні більшості реальних зображень вносять низькочастотні складові, які визначають форми і яскравості основних об'єктів і тла. Високочастотні складові створюють різкі границі і контури, а також дрібну структуру (текстуру) зображення.

Можливість зменшення швидкості передачі двійкових символів за допомогою ДКП заснована на зазначених властивостях просторово-частотного спектра реальних зображень, і на обмеженій здатності людського зору сприймати зміни і перекичування дрібної структури зображення.

Кількість переданої інформації зменшується шляхом більш грубого квантування частини або всіх переданих коефіцієнтів  $C(k,l)$ , у результаті якого зменшується число двійкових розрядів, які використовуються для представлення цих коефіцієнтів, а багато з коефіцієнтів стають рівними 0.

Таким чином, використання ДКП із наступним квантуванням коефіцієнтів ДКП забезпечує зменшення кількості переданої інформації і, отже, необхідної ширини смуги частот каналу зв'язку.

Квантування коефіцієнтів ДКП  $C(k,l)$  виконується відповідно до формули:

$$C_q(k,l) = \text{Round}\left(\frac{C(k,l)}{f \cdot Q(k,l)}\right), \quad (8.5)$$

де  $Q(k,l)$  – коефіцієнти квантування, що задаються у виді таблиці з 8x8 цілих чисел;



$f$  – параметр, що визначає ступінь стиску зображення;

$\text{Round}(\cdot)$ - операція округлення до ближнього цілого значення;

$C_q(k,l)$  – отримані в результаті даної операції квантування коефіцієнти ДКП, що можуть бути як позитивними, так і негативними.

Важливо відзначити, що для квантування сигналу яскравості і кольорорізницевих сигналів використовуються різні таблиці. Приклади таблиць квантування для сигналу яскравості і для кольорорізницевих сигналів приведені в таблицях 8.3 і 8.4, відповідно.

Саме квантування створює можливість зміни числа двійкових символів, необхідних для представлення інформації про коефіцієнти ДКП, тобто стиску зображення. У той же час саме квантування є джерелом необоротних втрат інформації при стиску.

Таблиця 8.3

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

Таблиця 8.4

17	18	24	47	99	99	99	99
18	21	26	66	99	99	99	99
24	26	56	99	99	99	99	99
47	66	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99

Вибір конкретної таблиці квантування в стандарті JPEG залишений на розсуд користувачів, але таблиці квантування сигналів яскравості і кольоровості повинні бути ті самі для всіх блоків даного зображення.

При деквантуванні відбувається множення  $C_q(k,l)$  на відповідні коефіцієнти  $Q(k,l)$ .

Якщо таблиці не поміщені у файл зі стиснутими відеоданими, то при декодуванні використовуються стандартні таблиці квантування "за замовчуванням".

Для ентропійного кодування кожен блок 8x8 пікселей – матрицю квантованих коефіцієнтів ДКП – перетворюють у послідовність двійкових чисел, що потім піддаються кодуванню.

Найчастіше застосовується кодування за методом Хаффмена, що полягає в побудові такого коду з перемінною довжиною кодового слова, що символам, які частіше зустрічається (тобто більш ймовірним) ставляться у відповідність більш короткі кодові слова, а рідше зустрічаючимся (менш ймовірним) символам – більш довгі кодові слова.

Кодування за Хаффменом виконується за допомогою таблиці кодів, у якій кожному символу кодуємої послідовності ставиться у відповідність кодове слово. Стандарт JPEG передбачає можливість використання стандартної таблиці кодів "за замовчуванням": можлива побудова таблиці кодів, найбільш ефективною для даного зображення. У цьому випадку таблиця кодів повинна бути записана у файл, щоб її можна було використовувати при декодуванні.

У процесі декодування коду Хаффмена кодові слова, що зчитуються з файлу стиснутих відеоданих, перетворюються назад у послідовність чисел, за якими відновлюються значення квантованих коефіцієнтів ДКП. Всі операції, що виконуються при підготовці до ентропійного кодування, і саме це кодування є цілком оборотним і не створюють втрат інформації, а стиск, що досягається при них, є наслідком раніше виконаного квантування.

Реалізація JPEG: метод реалізується, як правило, програмними засобами на комп'ютерах. Основні області застосування: архівація зображень на магнітних і оптичних дисках, передача нерухомих зображень на канали зв'язку, запис знятих кадрів в електронних фотокамерах і інші.

JPEG може використовуватися і для стиску зображень, що рухаються. При цьому кожен кадр кодується незалежно від інших кадрів. Такий метод, названий Motion JPEG, може бути корисний для відеозапису й у студійній апаратурі, але він не дає достатнього ступеня стиску відеоінформації для телемовлення.

*Формат файлу JPEG.* Стиснуті відеодані записуються у файл визначеної структури з розширенням \*.jpg, про яку тут дамо тільки самі загальні відомості.

Файл починається з заголовка, що містить різні відомості про файл. Потім слідує область даних про зображення, що починається з маркера SOI (Start of Image).

За цим маркером можуть бути записані таблиці квантування і таблиця кодів для кодування за Хаффменом. Потім слідує заголовок зображення, у якому містяться відомості про розміри зображення (у кількості пікселей), про характер зображення (чорно-біле або кольорове), про формат дискретизації й інше.

Після цього слідує самі стиснуті відеодані. Область даних завершується маркером EOI (End of Image).

Стандарт JPEG розвивається. Серед нових його можливостей слід зазначити варіант з ієрархічним кодуванням, що дозволяє одержати спочатку зображення з низьким розрізненням, використовуючи невеликий обсяг стиснутих відеоданих, а потім поступово поліпшувати розрізнення, додаючи додаткові дані.

Операції, що утримуються в стандарті JPEG, використовуються в стандартах стиску зображень, що рухаються, MPEG, про які мова йтиме в наступному підрозділі.

## 8.5 Стандарти стиснення рухомих зображень

Розглянемо зміст стандарту MPEG-2 в порівнянні з MPEG-1.

Метод кодування зображень, що рухаються, використаний у стандартах MPEG-1 і MPEG-2, називається гібридним, тому що в ньому поєднуються внутрікадрове (intraframe) кодування, спрямоване, в основному, на зменшення психофізіологічної надмірності в окремих кадрах, і міжкадрове (interframe) кодування, за допомогою якого зменшується надмірність, обумовлена кореляцією.

Використання міжкадрового кодування дозволяє одержати істотно великий ступінь стиску зображення, що рухається, чим при роздільному стиску окремих кадрів за методом JPEG.

Внутрікадрове кодування містить операції, аналогічні використаним у методі JPEG, тобто поблочне ДКП, квантування і кодування з перемінною довжиною кодових слів. Міжкадрове кодування містить операції оцінки і компенсації руху і кодування з передбаченням.

Цілі кадри і фрагменти кадрів можуть кодуватися з застосуванням спільно міжкадрового і внутрікадрового кодування (МКК та ВКК) або тільки з застосуванням внутрікадрового кодування (ВКК).

Послідовність кадрів поділяється на групи, які називаються GOP (group of picture). У групі є кадри трьох типів:

- I-кадри (Intraframe – внутрікадрові), що передаються тільки з ВКК і є опорними для декодування інших кадрів групи, забезпечуючи можливість початку декодування і відтворення прийнятого ТВ-сигналу практично в будь-який момент часу;

- P-кадри (Predictive – передвіщені), при передачі яких використовується МКК шляхом передбачення з компенсацією руху по ближньому попередньому I-кадрі або P-кадрові (деякі фрагменти P-кадру можуть кодуватися без передбачення за допомогою ВКК);

- B-кадри (Bidirectional – двоспрямовані), що передаються з МКК шляхом передбачення з компенсацією руху по найближчим до них як попереду, так і позаду I-кадрам або P-кадрам, а самі не можуть використовуватися для передбачення інших кадрів (деякі фрагменти B-кадру можуть кодуватися ВКК).

Розглянемо приклад послідовності кадрів.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
I	B	B	P	B	B	P	B	B	P	B	B	P	B	B	I	B	B	P	B

Тут кадри з 1 по 15 утворюють групу кадрів. Число кадрів у групі може бути й іншим, але вона завжди починається з I-кадру. P-кадр 4 передбачується по I-кадру 1; P-кадр 7 по 4 кадру P; P-кадр 10 по P-кадру 7 і так далі.

I-кадр 16 передається з ВКК незалежно від усіх попередніх йому кадрів. B-кадри 2 і 3 передбачуються по I-кадру 1 і по P-кадру 4, B-кадри 5 і 6 по P-кадрам 4 і 7 і так далі. B-кадри 14 і 15 передбачуються по I-кадру 16 і по P-кадру 13.

Перед кодуванням порядок проходження кадрів змінюється, тому що кожний B-кадр повинний йти після обох кадрів, по яких він передбачується.

1	4	2	3	7	5	6	10	8	9	13	11	12	16	14	15	19	17	18	22
I	P	B	B	P	B	B	P	B	B	P	B	B	I	B	B	P	B	B	P

У такому порядку кадри кодуються і передаються, а в процесі декодування відновлюється вихідний порядок кадрів.

Кадри розбиваються на макроблоки. Макроблоком називається квадратний фрагмент зображення розміром 16x16 елементів (пікселей). Макроблок містить інформацію, як про яскравість ( $C_Y$ ), так і про кольоровість ( $C_R, C_B$ ).

Група слідуючих один за одним макроблоків називається слайсом (slice – частка, частина, квант). Число макроблоків у слайсі може бути довільним. Слайси в зображенні не повинні перекриватися, але їхнє положення може змінюватися від одного зображення до іншого.

У стандартах MPEG не описана побудова кодера, а лише визначений синтаксис потоку даних на його виході. В кодері реалізується два режими кодування: ВКК і МКК із передбаченням і компенсацією руху.

Усі макроблоки I-кадрів кодуються в режимі внутрікадрового кодування. Метод аналогічний JPEG: розкладання на блоки 8x8 пікселей, поблочне ДКП, квантування отриманих коефіцієнтів відповідно до (7.4), зчитування в зигзагоподібному порядку, кодування з перемінною довжиною кодових слів.

Макроблоки P-кадрів можуть кодуватися як ВКК, так і МКК у залежності від наявності й інтенсивності змін у цьому макроблоці в порівнянні з відповідною областю зображення, по якому виконується передбачення даного P-кадру, тобто в залежності від результатів оцінки руху.

Зображення, по якому виконується передбачення, формується з кодованих даних попереднього I- або P-кадру.

Оцінка руху здійснюється шляхом порівняння поточного зображення, що надходить на вхід кодера, із зображенням, що знаходиться в запам'ятовуючому пристрої (ЗП) кодера (міститься як мінімум 4 попередні кадри) і використовується для передбачення. Для кожного макроблока кодуемого зображення відшукується відповідна йому область, розміром 16x16 елементів в опорному зображенні. Положення відповідної області визначається з точністю до половини пікселя по обох координатах. Якщо в області пошуку не знайдена відповідна область, відмінність якої від даного макроблока не перевищує установлені величини, то цей макроблок кодується у ВК режимі аналогічно МБ І-кадрів.

Якщо відповідна область знайдена, то МБ кодується в міжкадровому режимі, і для нього визначається вектор руху. Вектори руху кодуються з перемінною довжиною кодових слів і через мультиплексор включаються в загальний потік даних.

Для МБ В-кадрів пошук відповідної області здійснюється як у попередньому І-кадрі або Р-кадрі, так і в наступному Р-кадрі. Можливо ВКК, але найчастіше МКК.

Описаний спосіб кодування ТВ-сигналу і називається кодуванням із передбаченням і компенсацією руху. Виграш у стиску зображень досягається завдяки тому, що різниці дійсних і передбачених МБ Р-кадрів і В-кадрів містять значно менше інформації, чим самі ці блоки. При цьому для В-кадрів обсяг переданої інформації буде найменшим, тому що при двоспрямованому передбаченні помилка передбачення мінімальна.

Однією з функцій кодера (зокрема буферного ЗП) є узгодження нерівномірного в часі потоку даних після кодування зі строго постійною швидкістю передачі двійкових символів при виконанні кодування в реальному часі.

*Потік відеоданих MPEG-2.* Спрощена структура потоку даних на виході відеокодера MPEG-2 показана на рис. 8.8. Самою великою структурною одиницею потоку відеоданих є відео послідовність (ВП) (video sequence). ВП може містити довільне число груп зображень (GOP), що, у свою чергу, складаються з кадрів (при кадровому кодуванні) або полів (при польовому кодуванні) різних типів (I, P, B). Кожне зображення складається зі слайсов, кожний з яких містить деяке число МБ.

Кожна структурна одиниця потоку відеоданих починається з відповідного стартового коду, що дозволяє при декодуванні виділяти з потоку потрібні дані.

Передача відеоданих завжди починається з заголовка ВП, за яким слідує розширення заголовка ВП.

У цих частинах потоку даних передається, зокрема, наступна інформація:

1. Ширина і висота зображення, виражені кількістю пікселей;
2. Відношення ширини до висоти;

3. Частота кадрів;
4. Швидкість передачі двійкових символів для цього потоку відеоданих;
5. Ознаки необхідності завантаження з потоку відеоданих матриць коефіцієнтів квантування;
6. Ознака черезрядкової розгортки;
7. Формат дискретизації (4:2:0, 4:2:2 або 4:4:4).

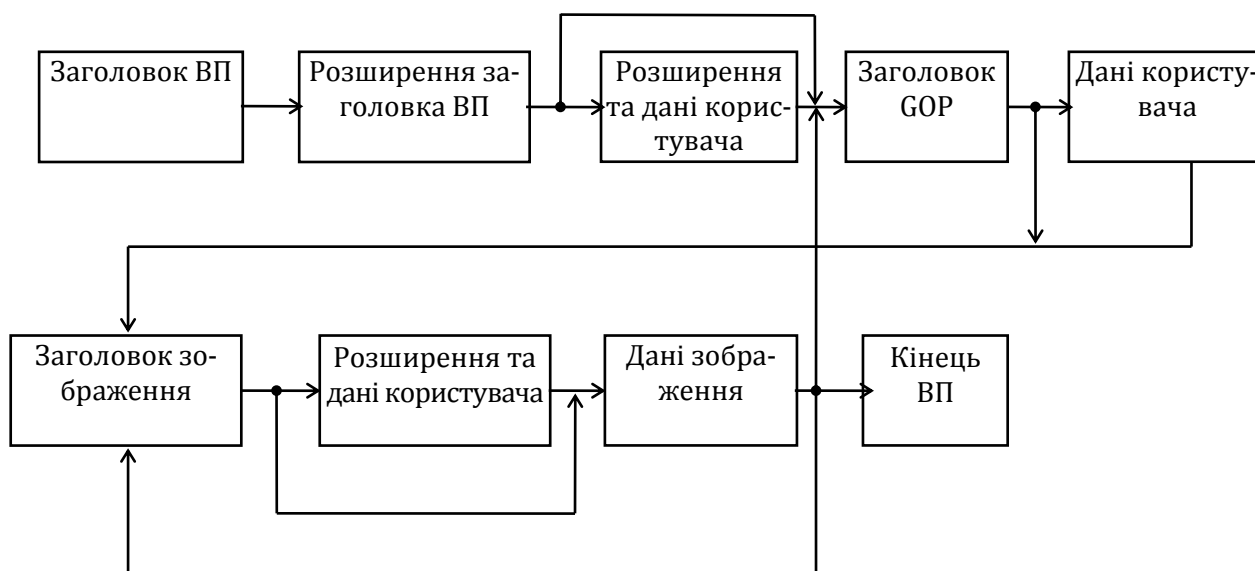


Рис. 8.8 – Спрощена структура потоку даних на виході відеокодера MPEG-2

Далі можуть передаватися розширення і дані користувача (присутні, якщо використовується масштабування).

Кожна група зображень може починатися з заголовка (заголовок GOP). Наявність цього заголовка обов'язкова для першої групи зображень у ВП. Для інших зображень заголовок може бути відсутнім, тому що початок групи завжди починається (збігається) з І-кадром.

Після заголовка GOP можуть передаватися дані користувача.

Перед кожним кадром або полем йде заголовок зображення, що містить номер цього зображення у ВП, тип зображення (I, P або B) і інші дані. Потім можуть передаватися розширення і дані користувача. Після цього передаються самі дані зображення.

Після передачі даних зображення може слідувати інше зображення цієї ж групи (стрілка на блок Заголовок зображення) або починатися наступна група зображень (стрілка на блок Заголовок GOP). Якщо передано останнє зображення у ВП, то передається ознака закінчення послідовності (кінець ВП).

У відповідності зі стандартом в декодері виконується декодування кодів перемінної довжини, деквантування, зворотне ДКП, компенсація руху і відновлюється вихідна послідовність кадрів.

Реалізація декодера апаратними, програмними або апаратно-програмними засобами істотно простіше, ніж реалізація кодеру, тому що в декодері не треба виконувати пошук відповідних областей в опорних зображеннях, а саме цей пошук вимагає найбільшої кількості обчислень.

*Рівні і профілі MPEG-2.* В табл. 8.5. показані різні варіанти телевізійних систем і методів кодування ТВ-сигналу. Чотири рядки таблиці відповідають чотирьом рівням просторового розрізнення.

- Low → рівень телебачення зниженої чіткості, який використовується у відеотелефоні і техніці телеконференцій;
- Main → рівень телебачення звичайного розрізнення;
- High-1440 → рівень телебачення високого розрізнення з форматом екрана 4:3;
- High → рівень телебачення високого розрізнення з форматом екрана 16:9.

Таблиця 8.5

Рівень	Профіль				
	Простий (simple)	Основний (main)	Масштабування по С/Ш (SNR Scalable)	Просторовий (spatially scalable)	Високий (high)
High 1920x1152	-	80 Мбіт/с	-	-	100 Мбіт/с
High 1440x1152	-	60 Мбіт/с	-	60 Мбіт/с	80 Мбіт/с
Main 720x576	15 Мбіт/с	15 Мбіт/с	15 Мбіт/с	-	20 Мбіт/с
Low 352x280	-	4 Мбіт/с	4 Мбіт/с	-	-
Кодування компонентів	4:2:0	4:2:0	4:2:0	4:2:0	4:2:0 або 4:2:2
В - кадри	Немає	Є	Є	Є	?
Масштабування	Немає	Немає	по С/Ш	по просторовому розрізненню і по С/Ш	по просторовому розрізненню і по С/Ш

Вертикальні стовпці таблиці відповідають новій градації ЦТС – профілям. З переходом на більш високі профілі, тобто при просуванні зліва направо, збільшується ефективність використовуваних методів кодування, з'являються нові властивості ТВ-сигналу, у тому числі масштабування, але, природно, ускладнюються апаратура й алгоритми обробки сигналів.

Масштабування (scalability) визначається як можливість одержання зображення з частини повного потоку відеоданих. Останній у випадку наявності масштабування складається з двох або більш шарів (layers).

Базовий шар дає можливість одержати зображення з деякими початковими параметрами якості. Додаткові шари потоку даних дозволяють одержати зображення поліпшеної якості.

Стандартом MPEG-2 передбачені наступні види масштабування:

1. За просторовим розрізненням;
2. За відношенням С/Ш;
3. За поділом даних;
4. За часом.

Варто особливо підкреслити, що для всіх рівнів розрізнення даного профілю використовується той самий набір методів кодування. У цьому полягає сумісність різних рівнів. На більш високих рівнях кодери і декодери повинні мати більшу швидкодію і більший обсяг ЗП.

Таким чином, у стандарті MPEG-2 наведені параметри сімейства цифрових ТВ-систем для різних застосувань і з різною якістю зображення, що мають у своїй основі подібні методи кодування зображення. По цьому стандарту можуть створюватися не тільки системи мовного ТБ, але й інші системи, призначені для передачі зображень, що рухаються, у цифровій формі: телеконференції, інтерактивний відеосервіс, мультимедіа і так далі.

Якого ж ступеня стиску реально досягають при використанні MPEG-2?

За вихідну швидкість передачі двійкових символів візьмемо 216 Мбіт/с, що відповідає формату дискретизації 4:2:2. При переході до формату 4:2:0, що використовується для телевізійного віщання "Main Profile/Main Level", швидкість передачі двійкових символів скорочується до величини 162 Мбіт/с, щодо якої і будемо визначати ступінь стиску.

У технічних журналах відзначалося, що на практиці для одержання студійної якості прийнятого зображення можна знімати відеоінформацію до швидкості передачі 9 Мбіт/с, тобто в 18 разів. Для одержання якості зображення по системі PAL – до 4..5 Мбіт/с, тобто в 30–40 разів. Якість зображення, порівняно з отриманим при відтворенні відеозапису стандарту VHS, досягається при стиску до рівня близько 1,5 Мбіт/с, тобто більш ніж у 100 разів.

### 8.5.1 Цифровий звуковий супровід у стандартах MPEG-1 й MPEG-2

*Дискретний (ТВ-) аудіосигнал (звукового супроводу)* - аудіосигнал, визначений множиною відліків аналогового аудіосигналу звукового супроводу [9].

Визначимо швидкості передачі двійкових символів для сигналів звукового супроводу в системі цифрового телебачення. Діапазон частот сприйманих людиною звуків приблизно від 20 Гц до 20 кГц, тому частота дискретизації для забезпечення високоякісного звукового відтворення повинна бути не менш 40 кГц. Так при записі музики на компакт-диски застосовується частота дискретизації 44,1 кГц.



Далі, діапазон гучності переданих звуків варто вибрати не менш 90 дБ, щоб мати можливість відтворювати з високою точністю звучання гарної музики, наприклад, симфонічного оркестру в концертному залі. Для передачі такого діапазону гучності число рівнів квантування повинне бути не менш  $32 \cdot 10^3$  для одної полярності сигналу. Тому число двійкових розрядів АЦП для квантування двополярного звукового сигналу береться рівним не менш 16, що дає не менш 65536 рівнів квантування.

Таким чином, швидкість передачі двійкових символів для звукового сигналу одного каналу приблизно дорівнює 0,7 Мбіт/с, а для стереофонічного звуку – 1,4 Мбіт/с. Ці числа показують, що в системі цифрового телебачення звукову інформацію також необхідно стискати в багато разів.

Методи стиску звуку, які використовуються в стандартах MPEG-1 й MPEG-2, засновані на обліку властивостей людського слуху й відносяться до методів стиску із частковою втратою інформації. При стиску відкидається значна частина інформації, але якість відтвореного звуку залишається досить високою. Отже, стиск досягається в основному за рахунок зменшення психофізіологічної надмірності.

У відповідності зі стандартами MPEG-1 й MPEG-2 частота дискретизації вхідних звукових сигналів може приймати значення 48,0; 44,1 й 32,0 кГц. В MPEG-2 додатково передбачені значення 24,0; 22,05 й 16 кГц.

MPEG-1 дозволяє кодувати два звукових сигнали, що дає стереофонічний звук, а MPEG-2 – п'ять звукових сигналів (лівий, центральний, правий, лівий тиловий і правий тиловий), що забезпечує об'ємне звучання (Surround). Зазначені додаткові можливості MPEG-2 досягаються введенням додаткових складових, які називаються розширеннями (extension) у потік даних на виході кодера. Крім зазначених вище, MPEG-2 передбачає розширення для додаткового каналу низьких звукових частот (subwoofer) і розширення для багатомовного звукового супроводу (до семи каналів).

В MPEG-1 й в MPEG-2 є три рівні кодування звукової інформації (Layer I, Layer II й Layer III), які мають загальну основу, але розрізняються між собою складністю застосовуваних засобів обробки й досягаємим ступенем стиску, причому обидва ці показники ростуть із ростом номера рівня. Декодер більше високого рівня може декодувати потік даних, створений кодером більш низького рівня, але не навпаки.

Розглянемо операції, що виконуються при кодуванні. На структурній схемі кодера звукової інформації, яка наведена на рис. 8.9, показані блок розкладання на частотні піддіапазони, блок квантування й кодування, блок формування потоку даних (ФПД) і блок психоакустичної моделі (ПАМ).

Вхідний цифровий звуковий сигнал розділяється на кадри (frame), кожний з яких кодується й декодується незалежно від інших кадрів (Layer I й Layer II) або з урахуванням деяких даних з попередніх кадрів

(Layer III). Розмір кадру 384 відліків для Layer I й 1152 відліків для Layer II й Layer III.

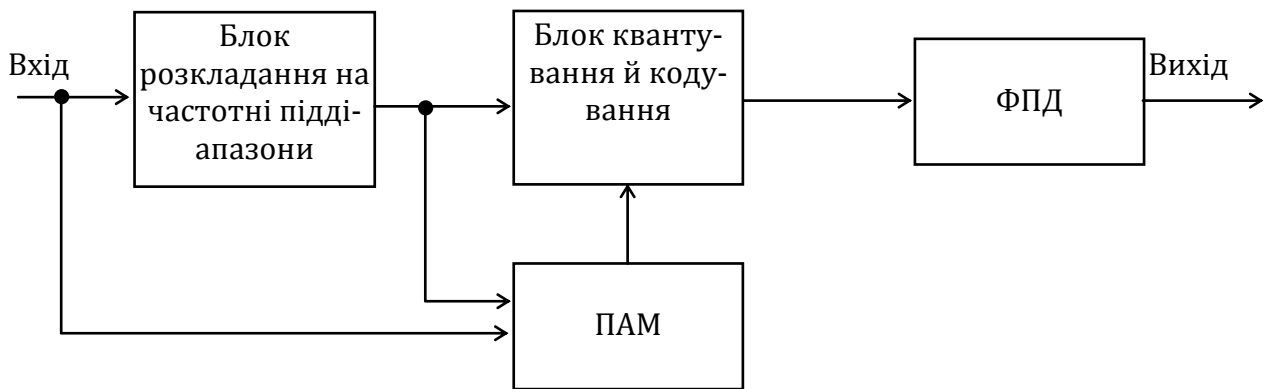


Рис. 8.9 – Структурна схема кодера звуку MPEG 2

В MPEG-1 й MPEG-2 використовується кодування звукових сигналів з розкладанням на частотні піддіапазони. Число частотних піддіапазонів дорівнює 32. Всі піддіапазони мають однакову ширину, що залежить від частоти дискретизації вхідного сигналу. Після поділу частота дискретизації зменшується в 32 рази, так що число відліків у кадрі в кожному піддіапазоні дорівнює 12 для Layer I й 36 для Layer II й Layer III.

На всіх рівнях поділ на піддіапазони виконується блоком цифрових фільтрів. На рівні Layer III після фільтрації застосовується модифіковане дискретне косинусне перетворення (МДКП). Відмінності МДКП від звичайного ДКП тут не розглядаються. Сполучення звичайних фільтрів і МДКП називається блоком гібридної фільтрації (hibrid filterbank). У результаті МДКП у кожному піддіапазоні кожного кадру виділяються 18 частотних складових, що представляються коефіцієнтами МДКП, які обробляються. Деякі параметри виконання МДКП й обробки отримуваних коефіцієнтів можуть змінюватися залежно від властивостей сигналу. Це дозволяє зменшити перекручування, що виникають при розкладанні на піддіапазони й дискретизації.

Потім виконується квантування даних. Попередньо визначаються масштабні множники (scalefactor). Для рівнів Layer I й Layer II масштабний множник залежить від максимального значення сигналу. При цьому для Layer I масштабний множник визначається для кожного піддіапазону в кадрі, тобто для 12 відліків сигналу піддіапазону. Для Layer II масштабні множники визначаються для груп по 12 відліків у кожному піддіапазоні, причому множник може бути загальним для двох або трьох груп. Таким чином, для кожного піддіапазону в кадрі визначається до трьох масштабних множників. Перед квантуванням значення сигналу діляться на відповідні масштабні множники.

Далі у блоці квантування й кодування виконується квантування даних. В основі стиску звукової інформації на рівнях Layer I й Layer II ле-

жить метод адаптивного розподілу бітів (adaptive bit allocation). Цей метод полягає у виконанні квантування з різним числом двійкових розрядів квантування для різних частотних піддіапазонів. При цьому використовується рівномірне квантування. Повне число бітів, що виділяються на всі піддіапазони в даному кадрі, залежить від частоти дискретизації вхідного сигналу й від заданої вихідної швидкості передачі двійкових символів, тобто від необхідного ступеня стиску звукової інформації. Розподіл бітів за піддіапазонами здійснюється блоком ПАМ.

На рівні Layer III даними, що підлягають квантуванню, є не відліки сигналів піддіапазонів, а коефіцієнти МДКП. У кожному піддіазоні ці коефіцієнти розділяються на блоки (scalefactor bands), для кожного, з яких визначається масштабний множник, на який діляться коефіцієнти даного блока. Далі виробляється квантування за нерівномірним законом. Поділ коефіцієнтів на блоки, вибір множників і параметрів квантування здійснюється блоком ПАМ так, щоб мінімізувати помітність перекручувань звуку, створюваних квантуванням. Докладніше про переваги, що досягають на рівні Layer III, буде сказано нижче.

Після квантування на рівнях Layer II й Layer III виконується кодування отриманих даних (на рівні Layer I додаткове кодування результатів квантування не виконується).

На рівні Layer II квантовані відліки сигналу, у кожному піддіазоні поєднуються по трьох, і отримані послідовності бітів кодуються з використанням таблиць кодів зі змінною довжиною. Крім того, на цьому рівні кодуються за допомогою відповідних таблиць дані про розподіл бітів за піддіапазонами і дані про масштабні множники.

На рівні Layer III квантовані коефіцієнти МДКП кодуються за Хаффменом з використанням однієї з 18 передбачених у стандартах таблиць кодування. Вибір таблиці здійснюється під керуванням ПАМ. Значний стиск даних у результаті кодування заснований на тому, що після квантувань багато коефіцієнтів МДКП стають малими величинами або нулями (це нагадує метод кодування, використовуємиий в JPEG).

Крім того, на рівні Layer III кодуються з використанням відповідних таблиць дані про масштабні множники, про поділ частотних піддіапазонів на блоки й так далі.

Розглянемо психоакустичну модель. Блок психоакустичної моделі (ПАМ) управляє квантуванням і кодуванням, визначаючи параметри виконуємих при цьому операцій так, щоб забезпечити найменшу помітність перекручувань, створюємих квантуванням (шумів квантування). У стандартах MPEG-1, MPEG-2 передбачені два варіанти ПАМ, що відрізняються числовими параметрами.

Одним з факторів, що враховують у ПАМ, є різна чутливість слуху на різних частотах. Найбільша чутливість характерна для частот 2...4 кГц, тому для піддіапазонів, що попадають у цю область необхідно виділяти

більше бітів, щоб забезпечити більш точне квантування. Ближче до обох кінців діапазону чутних частот чутливість слуху зменшується, тому для відповідних частотних піддіапазонів можна виділяти менше бітів, тобто здійснювати більш грубе квантування.

Крім того, алгоритм роботи ПАМ ураховує явище маскування (або маскування) одних звуків іншими. Голосні звуки маскують наявні одночасно з ними більш тихі звуки в інших частотних піддіапазонах, причому чим далі за частотою відстоїть маскуваний тихий звук від голосного звуку, що маскує, тим слабкіше сказується ефект маскуваня. Наприклад, якщо звук, що маскує, має частоту 1000 Гц, а маскуваний звук – 1100 Гц, то останній не буде чутний, якщо різниця в рівнях гучності становить не менш 18 дБ. Якщо ж маскуваний звук має частоту 2000 Гц, то для повного маскуваня необхідна різниця рівнів гучності не менш 45 дБ. Крім цього, голосний звук маскує звуки, що йдуть за ним в інтервалі часу до 100 мс, і навіть звуки, що випереджають його на 4...5 мс.

Щоб виконати розподіл бітів у блоці ПАМ аналізується спектр вихідного звукового сигналу (не розкладеного на піддіапазони). Для цього виконується швидке перетворення Фур'є ділянок цього сигналу по 512 (Layer I) або по 1024 (Layer II й Layer III) відліків, після чого обчислюються спектр потужності звукового сигналу й величини звукового тиску в кожному частотному піддіапазоні.

Потім аналізуються тональні (синусоїдальні) і нетональні складові звукового сигналу, визначаються локальні й глобальні пороги маскуваня й обчислюються відносини сигнал/(сигнал, що маскує) для всіх піддіапазонів, на підставі яких виробляється розподіл бітів по піддіапазонам (Layer I й Layer II) або вибір параметрів обробки коефіцієнтів МДКП (Layer III).

У тих піддіапазонах, у яких переключування звуку, викликані квантуванням менш помітні для слухача або маскуються більшим рівнем сигналу в інших піддіапазонах, квантування робиться більше грубим, тобто для цих піддіапазонів виділяється менше бітів. Для повністю маскуваних піддіапазонів бітів зовсім не виділяється. Завдяки цьому вдається істотно зменшити кількість переданої інформації при збереженні досить високої якості звуку.

Як вже відзначалось, ширина піддіапазонів однакова. Наприклад, якщо частота дискретизації дорівнює 44,1 кГц, то кожен піддіапазон має ширину 690 Гц. У той же час ширина діапазону частот, у якому маскуваня сказується однаково (критичного діапазону – critical band) залежить від положення цього діапазону на осі частот. На частотах порядку 100 Гц ширина критичного діапазону близько 50 Гц, а на частотах порядку 10 кГц – майже 1,5 кГц. Тому поділ сигналу на однакові частотні піддіапазони не оптимально з погляду одержання найкращої якості звуку, хоча й найбільш зручно для реалізації.

На рівні Layer III сигнал кожного піддіапазону проходить МДКП, кожен коефіцієнт якого представляє частотну складову. Усього таких складових 18 у кожному піддіапазоні. Крок по осі частот, таким чином, зменшується в 18 разів, тобто до приблизно 38 Гц при частоті дискретизації 44,1 кГц. Це менше ширини самого вузького критичного діапазону. У межах одного частотного піддіапазону блоки коефіцієнтів МДКП (scalefactor bands) можуть квантуватись по-різному, що дозволяє більш точно врахувати маскування на різних частотах. Це дозволяє говорити про збільшення розрізнення за частотою в 18 разів, що досягається на Layer III.

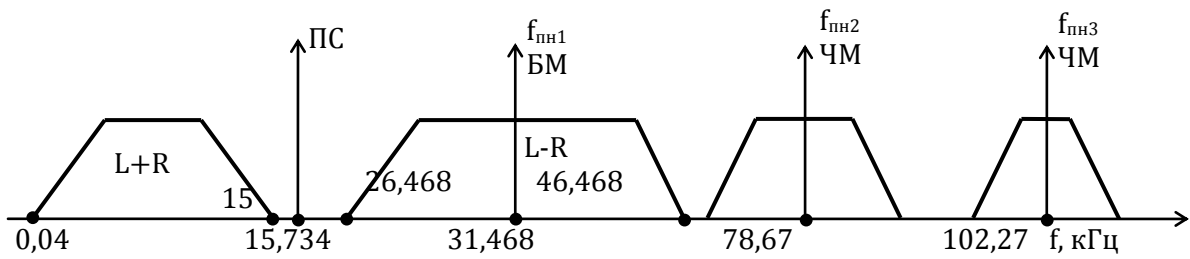
### 8.5.2 Особливості деяких існуючих систем звукового супроводу телевізійних передач

Як відзначалося раніше, несуча частота звукового супроводу розташовується на строго визначеній частотній відстані від несучої частоти зображення згідно прийнятим у кожній країні стандартом (стандарти D, K, K1, L - 6.5 МГц; B, G - 5.5 МГц; M, N - 4.5 МГц). В усіх стандартах (крім стандарту L) використовується частотна модуляція  $f_{н.зв}$  з девіацією частоти  $\pm 50$  кГц або  $\pm 25$  кГц (стандарти M, N), що дозволяє здійснювати високоякісну передачу звукового супроводу в діапазоні частот 30...15000 Гц.

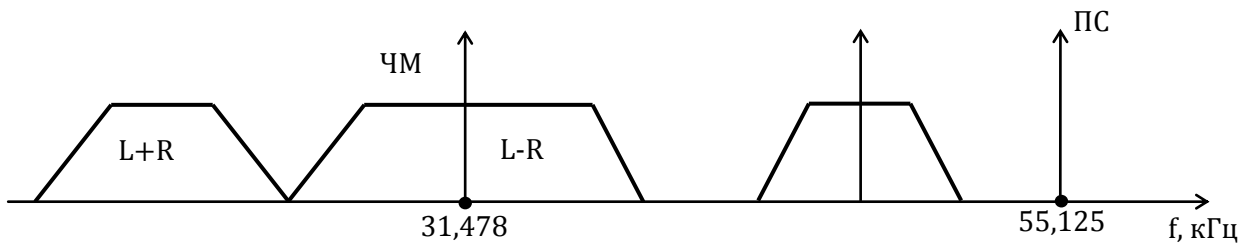
Для стереофонічного звукового супроводу телевізійних передач або двомовного (двоканального) супроводу існують різні системи мовного ТБ.

Наприклад, у США застосовується система BTSC (Broadcast Television System Committee). У цій системі стереосигнал утворюється шляхом додавання сумарного сигналу (сумісного з монофонічним) лівого і правого каналів  $L+R$  [точніше  $(L+R)/2$ ] з піднесучою частотою 31,468 кГц, яка промодульована за амплітудою балансно-різницевим сигналом  $L-R$  [точніше  $(L-R)/2$ ] і пілот-сигналом (пілот-тоном) з частотою 15,734 кГц, необхідним для відновлення піднесучої у телевізійному приймачі (див. рис. 8.10, а).

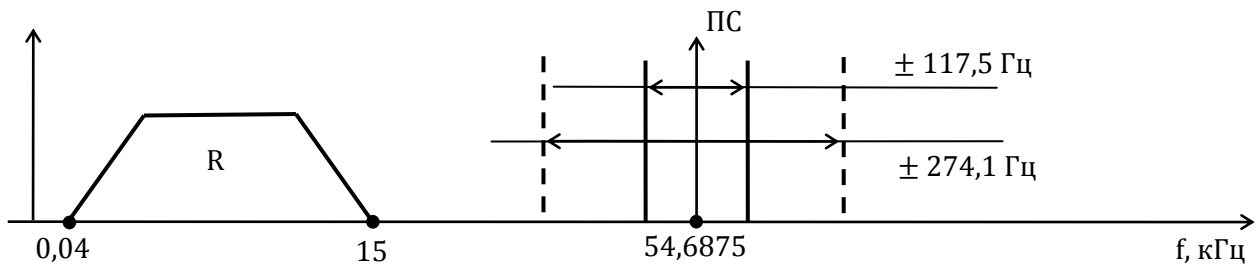
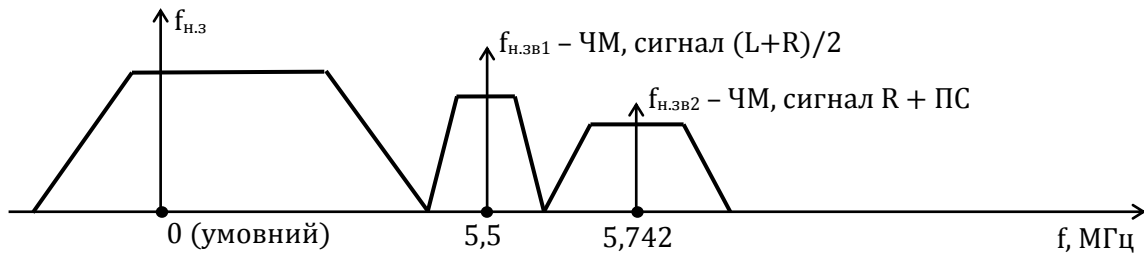
Різницевий сигнал на передавальній стороні обробляється компресором системи шумозниження DBX. Складний сигнал, що утворюється після придушення піднесучої, називається комплексним стереосигналом (КСС). Потім він модулює несучу 4,5 МГц за частотою. Система BTSC дозволяє передавати крім стереосигналу інший звуковий сигнал (методом ЧМ на піднесучій 78,67 кГц), а також службовий сигнал (на частоті піднесучої 102,27 кГц).



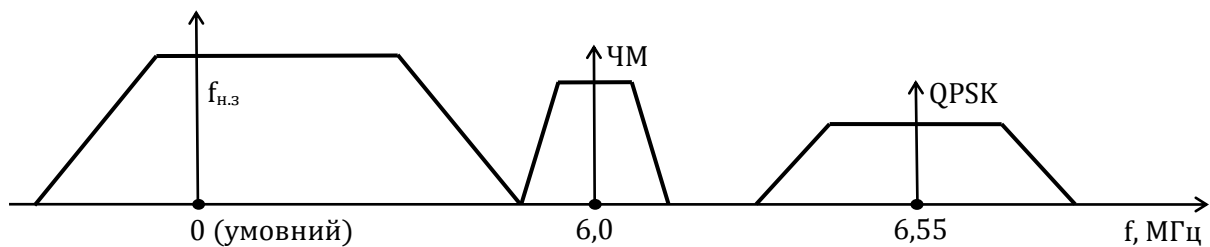
**а система звукового супроводження BTSC США**



**б система звукового супроводження ЧМ-ЧМ Японія**



**в система звукового супроводження с двома несучими звука Германия**



**г система звукового супроводження NICAM Великобританія**

**Рис. 8.10 – Спектри сигналів при стереофонічній передачі звука в різних ТВ-системах**

У Японії використовується система ЧМ-ЧМ, у якій передача сигналу L-R здійснюється шляхом ЧМ піднесучої. Частота піднесучої дорівнює подвоєній частоті рядкової розгортки (31,468 кГц). Для поліпшення шумових характеристик і завадозахищеності сигналу L-R застосована компандерна система шумозаглушення. Дана система дозволяє, також використовувати канал на піднесучій для передачі окремої програми, наприклад, для організації двомовного звукового супроводу. Для здійснення ідентифікації виду передачі й автоматичної комутації приймальних пристроїв передається пілот-сигнал на частоті 55,125 кГц. Пілот-сигнал модулюється за амплітудою коливаннями 922,5 Гц при передачі двох мов або 982,5 Гц при передачі стереозвуку. При передачі монозвука модуляція пілот-сигналу відсутня. КСС, що утворюється шляхом додавання основного сигналу (займає смугу 30 Гц...15 кГц), модульованої за частотою піднесучої 31,468 кГц і пілот-сигналу, модулює за частотою несучу ЗС (див. рис. 8.10, б).

У країнах Західної Європи з 1980 року використовується система з двома ЧМ несучими частотами ЗС. При цьому на основній несучій 5,5 МГц передається сигнал L+R або  $(L+R)/2$ , а на другій 5,74 МГц – сигнал 2R або R. Для розпізнавання виду передачі до сигналу R (2R) додається пілот сигнал частотою 54,6875 кГц, що модулюється за амплітудою коливанням 117,5 Гц при стереопередачі або 274,1 Гц при двомовній передачі. При передачі моносигналу модуляція відсутня. Передача сигналу 2R дозволяє зробити шуми в обох каналах однаковими (див. рис. 8.10, в).

У Великобританії (і деяких інших країнах) для передачі звуку використовуються дві несучі. Одна з них – основна, модулюється за частотою аналоговим монофонічним сигналом ЗС. Друга – додаткова несуча, модулюється цифровим стереофонічним сигналом, представленим у форматі NICAM. Значення несучих частот звуку відстоять від несучої частоти зображення для стандарту В/G-5.5 і 5,85 МГц, а для стандарту I – 6,0 6,552 МГц. Для передачі на другій несучій цифрового сигналу використовується так називаний метод квадратурної фазової маніпуляції (QPSK – Quadratur Phase Shift Keyng) (див. рис. 8.10, г).

## **Висновок**

У лекції розглянути основні поняття й визначення цифрового телебачення, принципи дискретизації за часом, квантування за рівнем, методи кодування та перетворення телевізійного сигналу

## ЛЕКЦІЯ 9. СИСТЕМИ ТЕЛЕВІЗІЙНОГО МОВЛЕННЯ

### План

Вступ.

9.1. Структура телевізійного центру.

9.2. Системи кабельного телебачення.

9.3. Супутникове телевізійне мовлення.

9.4. Особливості побудови і функціонування космічного телебачення.

9.4.1. Класифікація систем космічного телебачення.

9.4.2 Особливості побудування систем космічного телебачення

9.5. Перспективи розвитку систем оповіщення населення про надзвичайні ситуації на основі мовного телебачення .

Підсумки

### Література:

#### основна

1. Телевидение: Учебник для вузов / В. Г. Джакония, А. А. Гоголь, Я. В. Друзин и др.; Под ред. В. Г. Джаконии. 4-е изд., стереотип. - М.: Горячая линия - Телеком, 2007. - 616 с: ил., с. 82-95.
2. Казанцев Г.Д. Телевидение и телевизионные устройства: Учебное пособие. Томск: кафедра ТУ, ТУСУР, 2012. – 216 с., с. 6-40
3. Воробьев М.С. Основы цифрового телевидения: Учебное пособие. — Челябинск: ЮУрГУ, 2002. — 74 с., с.6-23
4. Р.Е. Быков, Теоретические основы телевидения, учебник для вузов, СПб: Лань, 1998, с. 153-173.
5. А.В. Смирнов Основы цифрового телевидения: Учебное пособие для вузов. М.: «Горячая линия - Телеком», 2001., с. 3 - 30.

#### допоміжна

6. ДСТУ 3787-98 Телебачення мовне. Якість телевізійного зображення. Методи суб'єктивного оцінювання: електронний ресурс.
7. ДСТУ 3807-98 Телебачення. Терміни і визначення: електронний ресурс.
8. ДСТУ 3808-98 Телебачення. Цифрове обладнання ТВ сигналів. Терміни і визначення. електронний ресурс.

### Вступ

*Мовне телебачення* - телебачення зі звуковим супроводом для масової аудиторії глядачів [6].

*Звуковий супровід* - Звуковий складник телевізійної програми [6].

*Телевізійне мовлення; ТВ-мовлення* - формування й розповсюдження програм мовного телебачення. Залежно від видів каналів зв'язку



та від місце- розташування використовуваних технічних засобів розрізняють: наземне, супутникове, кабельне та ін. ТВ-мовлення [6].

*Багатопрограмне телевізійне мовлення; БПТМ* - Цифрове телевізійне мовлення з передаванням одним ТВ-каналом кількох ТВ-програм [6].

*Система [мовного, прикладного] телебачення* - сукупність специфікацій, що повністю визначають метод формування, передавання та приймання інформації про зображення та звук телевізійної програми, а також про додаткові дані [6].

Бувають:

- системи кольорового ТБ;
- системи чорно-білого чи монохромного ТБ;
- системи стереоскопічного ТБ;
- системи інтерактивного ТБ;
- системи цифрового чи аналогового ТБ;
- системи голографічного ТБ;
- системи ТБСЧ;
- системи ТБВЧ
- системи ТБПЧ;
- системи ТБОЧ
- системи ТБЗЧ
- системи ТБПЯ
- системи широкоекранного ТБ;
- системи космічного, кабельного, ефірно-кабельного, наземного ТБ

*Кольорове телебачення* - телебачення, яке забезпечує передавання, зберігання та відтворювання кольорових зображень [6].

*Чорно-біле [монохромне] телебачення; ЧБТБ* - телебачення, яке забезпечує передавання, зберігання та відтворювання чорно-білих [монохромних] зображень [6].

*Стереоскопічне телебачення; об'ємне телебачення; СТБ* - Телебачення, яке забезпечує передавання, зберігання та відтворювання стереоскопічних (об'ємних) зображень [6].

*Інтерактивне телебачення; ІТБ* - Телебачення з можливим однобічним зворотним або двобічним зв'язком глядача через додатковий канал чи канал з джерелом ТВ-програм [6].

*Цифрове [аналогове] телебачення* - телебачення, яке забезпечує передавання та зберігання зображень у цифровій [аналоговій] формі [6].

*Голографічне телебачення* - телебачення, яке забезпечує перетворювання на передавальній стороні видимої сцени в голограму, а також передавання на відстань, зберігання та перетворювання голограм у видиме зображення в разі відтворювання [6].

*Телебачення стандартної чіткості; ТБСЧ* - телебачення, в якого чіткість забезпечено стандартом розгортки 625 рядків [6].

*Телебачення високої чіткості; - ТБВЧ* - телебачення, в якого чіткість по горизонталі та по вертикалі приблизно вдвічі вища за чіткість ТБСЧ [6].

*Телебачення підвищеної чіткості; ТБПЧ* - телебачення, в якого чіткість має проміжне значення між чіткістю ТБСЧ та ТБВЧ [6].

*Широкоекранне телебачення* - Телебачення, в якого формат зображення більше ніж 4;3 [6].

*Телебачення обмеженої чіткості; ТБОЧ* - телебачення, в якого чіткість по горизонталі та по вертикалі приблизно вдвічі нижча за чіткість ТБСЧ [6].

*Телебачення звичайної чіткості; ТБЗЧ* - телебачення, в якого чіткість відповідає чіткості, яку забезпечують стандартні системи SECAM, PAL і NTSC з урахуванням притаманних їм обмежень [6].

*Телебачення підвищеної якості; ТБПЯ* - телебачення, в якого підвищення показників якості зображення досягається із збереженням стандарту розгортки [6].

## 9.1 Структура телевізійного центру

*Теле- (візійний) центр* - Підприємство з вироблення та випускання ТВ- програм. Основні структурні складники телецентру: АСК, що складається з телестудій і технічних апаратних (відеозапису, телекінопроекційної та ін.), електросилові й допоміжні цехи. Розрізняють програмні й ретрансляційні телецентри, залежно від їхніх технічних можливостей і виконуваних завдань [6].

*Теле- (візійна) студія* - приміщення з телекамерами, мікрофонами та спецосвітленням для виробництва ТВ-програм [6].

*Програмні телецентри* мають телевізійні студії або інші засоби для створення ТВ-програм, ТВ-фільмів, рекламних роликів або, як це прийнято називати, відеопродукції. Вони мають також технічні можливості для консервації (записи й зберігання) готових програм, програм інших телецентрів і їх трансляції.

*Ретрансляційні телецентри* не створюють власних програм, а транслюють програми, одержувані від інших телецентрів по існуючих каналах зв'язку.

Укрупнена структурна схема телецентру показана на рис. 9.1.

До складу досить великого телецентру входять:

- центральна апаратна;
- апаратно-студійний комплекс;
- пересувна телевізійна станція.
- телевізійна апаратна
- телекіноапаратна
- апаратна відеозапису
- апаратно-програмний блок

- радіопередавальний комплекс;
- ТВ-радіостанція;
- телевізійна з'єднувальна лінія

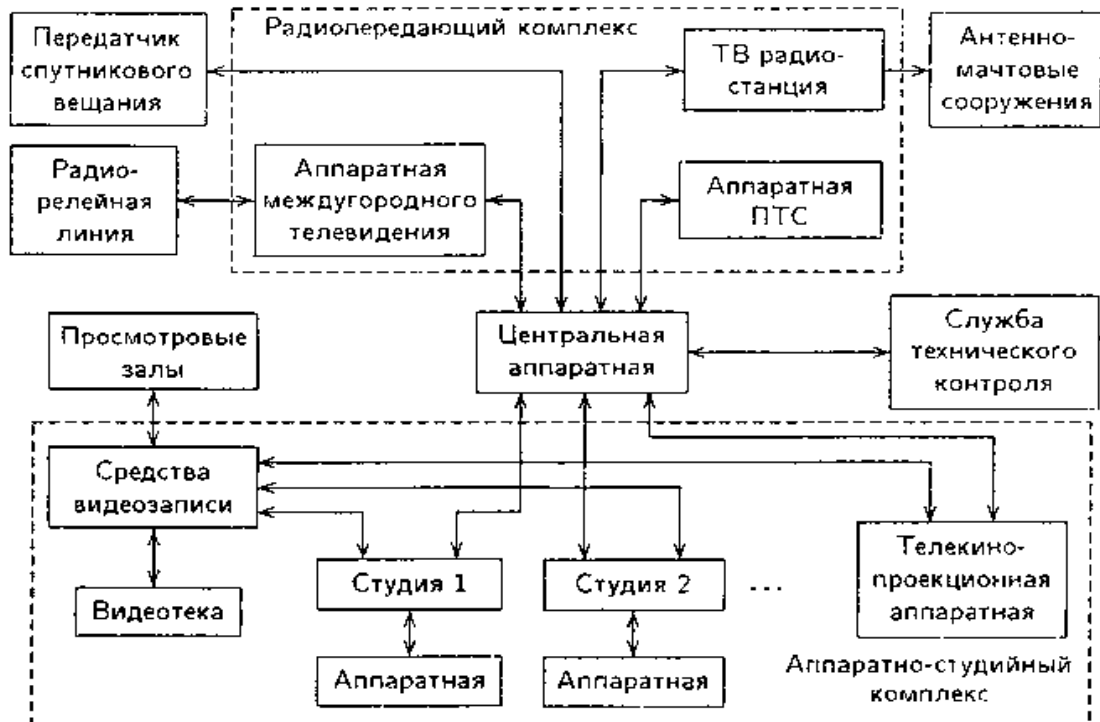


Рис. 9.1 – Укрупнена структурна схема телецентру

*Центральна апаратна* - апаратна з комутаційною, синхронізувальною апаратурою, апаратурою зв'язку та контрольно-вимірювальною апаратурою, призначена для взаємного сполучення апаратних, які входять до складу апаратно-студійного комплексу [6]. Центральна апаратна являє собою комутаційно-розподільний вузол телецентру. У ній забезпечується приймання сигналів зображення й звуку від зовнішніх і внутрішніх джерел програм, комутація джерел сигналів з їхніми споживачами, організує оперативний зв'язок з усіма службами телецентру. У центральну апаратну надходять сигнали програм від засобів відеозапису, з телекінопроекційної апаратної і від пересувних технічних засобів.

*Апаратно-студійний комплекс; АСК* - сукупність студій та апаратних телевізійного центру для сумісного виробництва ТВ-програм [6]

АСК використовує сигнали від власних передавальних камер або інших джерел відеоінформації, якими розташовує телецентр. При цьому застосовуються перетворені у відеосигнали кіноматеріали, діапозитиви, світлини, відеозаписи з відеомагнітофонів, від комп'ютерів, також відеопродукція від зовнішніх джерел.

*Пересувна телевізійна [відеозаписна] станція; ПТС [ПВС]* - транспортний засіб із комплексом апаратури для телевізійного виробництва в позастудійних умовах [запису, відтворення та прямого монтажу віде-

опрограм] [6]. ПТС призначена для виїзних зйомок, проведених поза студією, для трансляції концертів, спектаклів і т.п. Апаратна пересувних телевізійних станцій забезпечує двосторонній малопотужний зв'язок у ДМВ діапазоні із ПТС.

*Апаратно-студійний блок; АСБ* - комплекс, що складається з телевізійних студій з технічною та режисерською апаратними, призначеними для відеовиробництва [6].

*Апаратно-програмний блок* - комплекс, що складається з дикторської студії, технічної та режисерської апаратних для випускання ТВ-програм [6].

*Теле- (візійна) апаратна* - приміщення з відповідною телевізійною апаратурою та службами. Залежно від складу та призначення апаратури розрізняють технічні, режисерські та інші апаратні.

*Телекіноапаратна; ТКА* - апаратна, що містить телекінодавачі та, можливо, теледіадавачі й забезпечує перетворювання кінофільмів, кіноматеріалів та діапозитивів у відеосигнали [6].

*Апаратна відеозапису; АВЗ* - апаратна, що містить кілька відеомагнітофонів та призначена для записування, монтажу і (або) відтворювання відеофонограм [6].

Засоби відеозапису ТВ-програм призначені для відеозапису, монтажу, відтворення окремих фрагментів і повних ТВ-програм. Первинні відеофонограми або відеома матеріал, з накладеними титрами, спецефектами, і т.д., надходять зі студійних апаратних, а також від зовнішніх джерел, монтуються, озвучуються й зберігаються у вигляді впорядкованих записів. Готові сюжети, записані на магнітну стрічку, запитуються із центральної апаратної або джерела відеозаписів під час виходу програми в ефір. Ці ж відеосюжети можуть бути скопійовані для потреб телецентру або обміну з іншими організаціями. Найцінніша ТВ і відеопродукція надходить на зберігання у відеотеку АСК, а потім у спеціальні архівні сховища.

*Апаратна відеожурналістики; АВЖ* - апаратна, що містить комплекс апаратури, яка забезпечує студійне відеовиробництво та (або) компонування інформаційних програм [6].

*Апаратна озвучування* - апаратна, що містить комплекс апаратури відео- та звукозапису й забезпечує зведення фонограм, а також подальшу синхронізацію зображення та звуку [6].

*Комутаційно-розподільча апаратна (телебачення)* - апаратна, що містить комплекс апаратури для подання вихідних сигналів апаратно-студійного комплексу на телевізійні сполучні лінії. За відсутності центральної апаратної може слугувати також для сполучення апаратних, що входять до складу апаратно-студійного комплексу [6].

*Апаратна відеомонтажу; ВМА* - апаратна відеозапису, обладнана системою електронного відеомонтажу, для компонування телевізійних програм [6].

*Апаратна міжміського телебачення (АМТ)* забезпечує комутацію сигналів зображення й звуку від місцевого телецентру й передачу їх у кабельні, радіорелейні й супутникові лінії зв'язку. Апаратна також ухваляє центральні й інші програми по радіорелейних лініях зв'язку й із супутників, для включення їх у передачі місцевого телецентру [6]. АМТ має встаткування для зв'язку з іншими телецентрами, наприклад, за допомогою радіорелейної лінії зв'язку (міжміська апаратна).

*Пересувна телевізійна [відеозаписна] станція; ПТС [ПВС]* - транспортний засіб із комплексом апаратури для телевізійного виробництва в позастудійних умовах [запису, відтворювання та прямого монтажу відеопрограм] [6].

Позастудійні передачі створюються за допомогою ПТС, репортажних телевізійних установок, а, також з міжміських програм, прийнятих по радіорелейних, кабельним і супутниковим ретрансляційним лініям зв'язку. Можливі змішані варіанти створення програм [6].

*Телевізійна з'єднувальна лінія* - лінія зв'язку для передавання телевізійних, звукових та службових сигналів між апаратними або пересувними телевізійними станціями в межах одного міста [6].

Виробництво відеопродукції являє собою процес створення самостійних сюжетно-закінчених частин ТВ-програми, що включає підготовку ТВ-передачі в спеціально оформленій студії; запис передачі (крім прямих передач в ефір), включаючи дублі й відпрацьовування сцен, компонування й монтаж сюжету передачі із заздалегідь підготовлених відео- або кіноматеріалів з необхідними спецефектами, накладенням титрів і звуку.

Якість роботи встаткування телецентру контролює служба технічного контролю за допомогою комплексу контрольно-вимірювальної апаратури.

До допоміжних служб АСК ставляться: радіолабораторія й ремонтні майстерні, переглядові зали, монтажні й перемотувальні стенди, а також артистичні, гримувальні, костюмерні, репетиційні приміщення; декоративні майстерні й склади, кабінети журналістів, що ведуть програм і т.п.

Радіопередавальний комплекс призначений для тих видів мовлення, для яких призначений даний телецентр (ефірне, кабельне мовлення, і т.д.); він забезпечує радіопередачу (в ефір, по коаксіальному кабелю, на супутниковий ретранслятор, у мережу стільникового телебачення, і т.д.) телевізійних програм, створюваних на даному телецентрі, а також програм, що надходять ззовні на телецентр по зовнішніх лініях зв'язку. До складу радіопередавального комплексу входять наступні приміщення й устаткування. Телевізійні передачі, які готуються на телецентрі, по виду використання технічних засобів підрозділяються на студійні й позастудійні. Студійні передачі створюються в АСК телецентру з використанням сигналів, що надходять зі студій, від засобів відеозаписи (наприклад, відеоманітофонів), з використанням телекінопроектора й кіноматеріалів.

ТВ-радіостанція з передавачами ТВ-сигналів (відео) і звукового супроводу. Кожний ТВ-канал має свою пару передавачів. Крім того, кожний передавач складається із двох напівкомплектів в одному ТВ-каналі, потужності яких складаються в мостовому пристрої. Сигнали передавачів звуку й відео складаються на виході й подаються в загальну антенно-фідерну систему. Антени й фідерні пристрої передавачів і приймачів телевізійної радіостанції, а також інших служб аналогічного призначення, розміщуються на єдиній антенною вищці.

Усі апаратні ТВ-передавального комплексу пов'язані із власним пультом керування й контролю, двостороннє пов'язаним з пультом центральної апаратній АСК.

У технічній апаратній розміщується апаратура формування сигналу. Така апаратура, у завдання якої входить подальша обробка ТВ-сигналу, отриманого від передавальної камери, називається камерним каналом. Кількість камерних каналів, розташованих у технічній апаратній, визначається числом камер у студії. Крім того, є апаратура контролю й вимірів, апаратура синхронізації й мікшерного встаткування, а також відеомонітори. З пульта відеоінженера проводиться контроль і керування роботою датчиків сигналів, перехід на резервні комплекти встаткування, координація дій технічного персоналу в студії й, якщо необхідно, – у телекинопроекційної апаратній. До технічної апаратної ставиться також устаткування відео комутаторів, мікшерних пристроїв, знакогенераторів, генераторів електронної іспитової таблиці, датчиків спеціальних ефектів і додаткової текстової й графічної відеоінформації.

Апаратна звуку оснащена звуковими колонками (звуковими моніторами), магнітофонами й іншим устаткуванням, керованим з пульта звукорежисера.

До складу встаткування апаратній відеорежисера входять: пульт відеорежисера з робітниками місцями асистентів режисера з комутаційно-мікшерним устаткуванням; програмний пристрій з набором блоків спецефектів; органі керування службовим зв'язком.

При формуванні програми використовуються комутатори, мікшери, генератори спецефектів, системи електронної рирпроекції, телевізійні знакогенератори, «світлове перо», синтезатори кольорових фонів і ефектів, а також відеозапису, апаратура електронного монтажу.

Пристрій спецефектів на основі цифрової техніки забезпечує зміна розмірів і нахилу растра, обертання зображення в різних площинах, уведення ділянок зображення з масштабуванням, зміна кольору й тла зображення, утвір кольорових продовжень, що тягнуться, і т.д. Спецефекти можуть бути створені апаратурою комп'ютерної відеографіки з мультиплікацією й ін.

Системи електронної рирпроекції призначені для формування комбінованих зображень, у яких об'єкти переднього плану (актори й

предмети реквізиту) розміщуються перед таким зображенням заднього плану, яке вибирає режисер і заздалегідь «уводить» його в пристрій рирпроекції. Це можна побачити па екрані телевізора, коли, наприклад, особа диктора розташовується на тлі кадрів, що ілюструють коментовані їм новини. При цьому насправді диктор сидить у студії, дивлячись в об'єктив камери, а за його спиною розташовується так званий «умовне тло» – рівномірно пофарбована поверхня. Вона пофарбована таким кольором (звичайно синім), який є статистично рідким і не повинен зустрічатися ні в одязі артистів, ні в реквізиті, що перебувають у студії. При обробці ТВ-сигналу, отриманого від камери, відбувається наступне: фрагменти ТВ-сигналу, що відповідають по кольору умовному тлу, управляють роботою спеціального комутатора, що заміняє їх на фрагменти іншого сигналу, який у цей момент використовується замість заднього плану. Такий спосіб дозволяє використовувати при зйомці в студії заздалегідь підготовлений задній план, що, безумовно, значно розширює творчі можливості творців ТВ-програми.

В останні роки з'явився ще один спосіб розширення творчих можливостей режисера при зйомці програми в умовах студії. Цей спосіб відомий за назвою « віртуальної студії» і являє собою комбінація технології рирпроекції з комп'ютерним синтезом зображення. Техніка рирпроекції дозволяє лише замінити зображення заднього плану в сцені, що знімається, іншим зображенням, таким же «плоским» і не мінливим при зміні позиції знімальної камери в студії. На відміну від цього технологія віртуальної студії дозволяє режисерові значно більше: вона припускає наявність потужного комп'ютера, який по заздалегідь уведених даних синтезує віртуальні зображення реквізиту й інших предметів переданої сцени й «вбудовує» ці зображення в сформований ТВ-сигнал. Синтезовані зображення для телеглядача виявляються, що не відрізняються від натуральних – мають такі ж тіні й відблиски, так само змінюються при «наїзді» камери на об'єкт, що знімається, або групу, «перекривають» один одного, якщо необхідно. Комп'ютер, що синтезує зображення «віртуальних» об'єктів сцени, розташовує необхідної для цього інформацією й так само, як і при рирпроекції, використовується «умовний» задній план, що містить у цьому випадку не просто тло з певним кольором, а деякий плоский схематичний малюнок на задньому тлі. Цей малюнок, безумовно, не з'являється в кадрові вже готової ТВ-програми, однак він сприймається знімальною камерою, а потім – комп'ютером. По трапеційним і іншим перспективним викривленням цього малюнка комп'ютер одержує інформацію про те, яким просторовим перетворенням повинен бути належний образ віртуального об'єкта сцени, що перебуває на місці заднього плану.

Продукцією на виході АСК є повний колірний телевізійний сигнал (ПЦТВС), у формі відеозапису або підготовлений для прямої передачі в ефір, який остаточно формується в лінійному підсилювачі, де у відеосиг-

нал уводяться сигнали синхронізації. Для стабілізації вихідних рівнів ПЦТВС у лінійному підсилювачі використовується система автоматичного регулювання посилення.

**Передавальна телевізійна камера** призначена для перетворення світлового потоку, відбитого від об'єкта, в електричні сигнали трьох кольороподілених зображень, що подається в блок камерного каналу по камерному кабелю. Для роботи в складі АСБ і ПТС призначені студійні кольорові телевізійні камери. Така камера складається з оптичної головки, самої камери й електронного видошукача.

Оптична головка (рис. 9.2) являє собою зібрані в єдине ціле варіооб'єктив 1, світлоподільний блок 3, вбудований або діапроектор, що підключається, систему підсвічування мішені, зміни *світлофільтрів* 2 і систему автоматичного керування. Штриховими лініями на малюнку показані поверхні зі світлоподільним покриттям (діхроїчними дзеркалами). Принцип роботи цих дзеркал заснований на інтерференції (додаванні різних довжин хвиль) світла в тонких плівках.

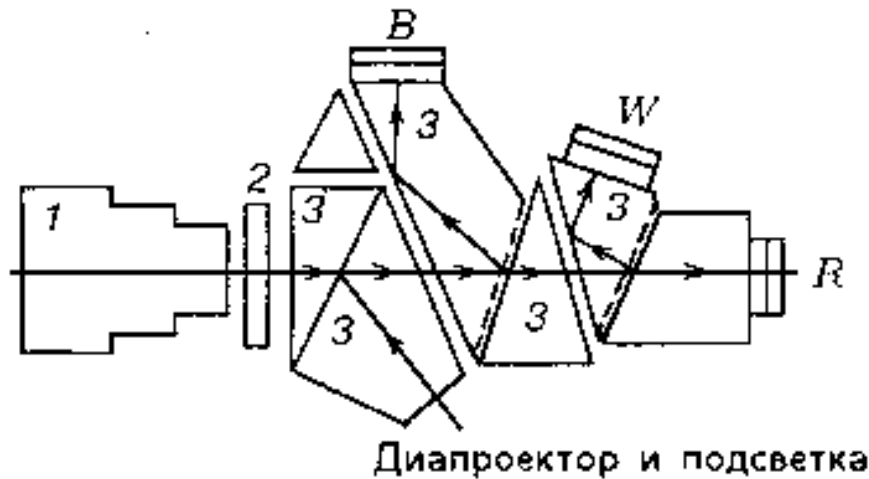


Рис. 9.2 – Конструкція призменого кольороподільного блоку:

1 – варіооб'єктив; 2 – нейтральний світлофільтр; 3 – склеєні призми

Світловий потік, потрапляючи на першу діхроїчну поверхню, розділяється у відповідності зі спектральною характеристикою покриття: синя складова відбивається, попадає на другу грань, що відбиває, призми й направляється на передавальну трубку синього каналу В. Світловий потік, що пройшов діхроїчну поверхню першої призми, попадає на діхроїчну поверхню другої призми, що відбиває другу, зелену складову зображення. Ця складова після повного внутрішнього відбиття на другій поверхні призми попадає на передавальну трубку яскравісного каналу W. Третя колірна складова світлового потоку, червона, проходить прямо на передавальну трубку червоного каналу R.

Оптична головка 2 (рис. 9.3) конструктивно об'єднана із трьома блоками передавальних трубок типу глетікон або плюмбікон 4. В блок кожної



трубки входять фокусуєча и відхиляюча система (ФВС) и попередній підсилювач 3. В самої камері розташовані блоки: вихідних каскадів 5, синхронізації, розгортуючих пристроїв 6, телеуправління 7, регулювання току променя 9, високочастотного ущільнення 10, живлення 8. Для контролю зображення на камері встановлений поворотний чорно-білий видошукач (відеоконтрольний пристрій з високим розривненням и яскравістю).

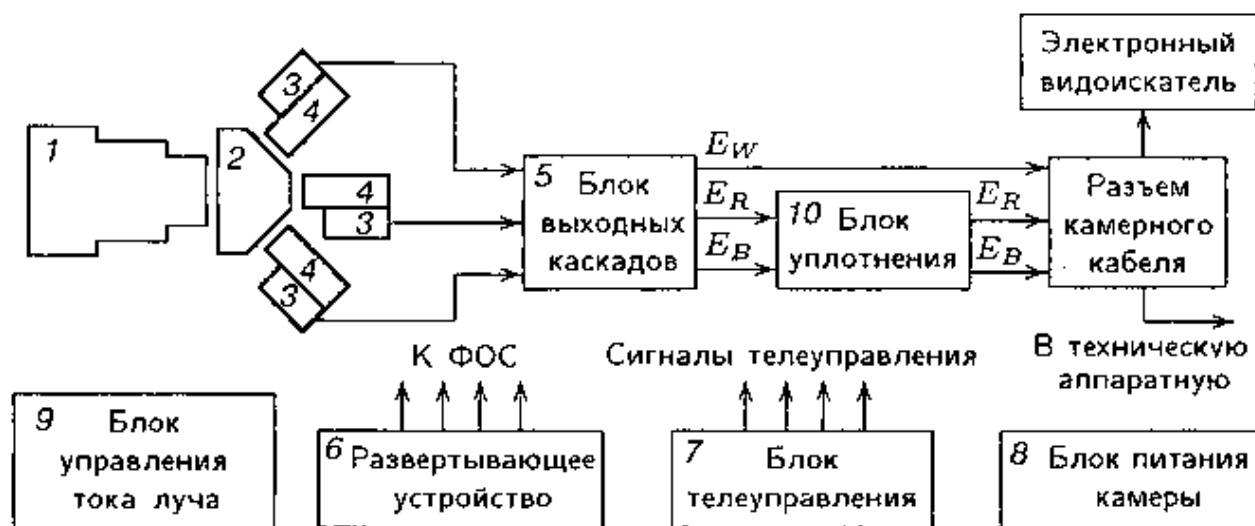


Рис. 9.3 – Структурна схема кольорової передавальної камери

На мішені глетіконів через варіооб'єktiv. 1 і світлоподільну систему 2 проєктуються червоне (Д), синє (В) і псевдо яскраве (W) зображення переданого об'єкта. Використання псевдо яскравого сигналу замість зеленого (G) дозволяє поліпшити чутливість камери при припустимому погіршенні передачі кольору. Світлоподілені сигнали  $E_R$ ,  $E_W$  і  $E_B$  із сигнальних пластин передавальних трубок надходять на відповідні попередні підсилювачі 3, розміщені безпосередньо на ФОС передавальної трубки 4. В попередніх підсилювачах здійснюється протишумова корекція сигналів. С виходів попередніх підсилювачів сигнали поступають в блок вихідних каскадів 5, де вони підсилюються, обмежуються їх полоси частот, вводяться и обмежуються рядкові гасячі імпульси, замішуються імпульси телеуправління. Посилені вихідні сигнали по камерному кабелю поступають в камерний канал.

Система ущільнення призначена для передачі по двом коаксіальним жилам камерного кабелю в зустрічних напрямках сигналів: основних квітів  $E_R$ ,  $E_B$ , звукового супроводу, переданих з камери в канал, і сигналів складного сигналу телекерування (ССТУ), переданих з каналу в камеру.

Склад блоків у віщальних камерах суттєво різний і залежить від функціонального призначення камери. Якщо камера працює в складі репортажної телевізійної установки, то в самій камері повинне забезпечуватися тільки попереднє посилення сигналів, отриманих від трубок, а в

камерному каналі – передбачені засоби обробки сигналів. Якщо ж призначення камери – повне формування сигналу для введення в стандартну віщальну систему (іноді із проміжним записом), то вся обробка сигналів відбувається в камері.

Розробка нових високостабільних елементів, стабілізаторів струмів і напруг, фокуруючих систем, що й розгортають, а також автоматичних систем сполучення растрів і балансу білого й чорного телевізійного сигналу дозволила створити досить надійні й зручні в експлуатації трехтрубочні камери. Подальший розвиток передавальних камер дозволяє поліпшити їхні параметри й зменшити число фотоелектричних перетворювачів. Прикладом є створення двох- і однострубочних камер і камер із твердорековинними перетворювачами на приладах із зарядовим зв'язком.

Кожна студія на телевізійному центрі має свою *технічну апаратуру*. В апаратній перебуває встаткування для посилення, синхронізації й остаточного формування повного колірного телевізійного сигналу, а також устаткування для низькочастотного звукового супроводу.

В апаратуру також подаються сигнали від телекінопроектора (телекінопроекційна апаратура, див. рис. 9.1), від пристроїв відеозапису і т.п.

Від кожної з камер у блок камерного каналу (рис. 9.4) надходять по коаксіальних парах сигнали  $E_W$  зі смугою частот 6,5 МГц,  $E_B$  і  $E_G$  зі смугою частот 1,5 МГц. Сигнал  $E_W$  подається безпосередньо в підсилювальний тракт, а  $E_B$  і  $E_G$  – через блок ущільнення.

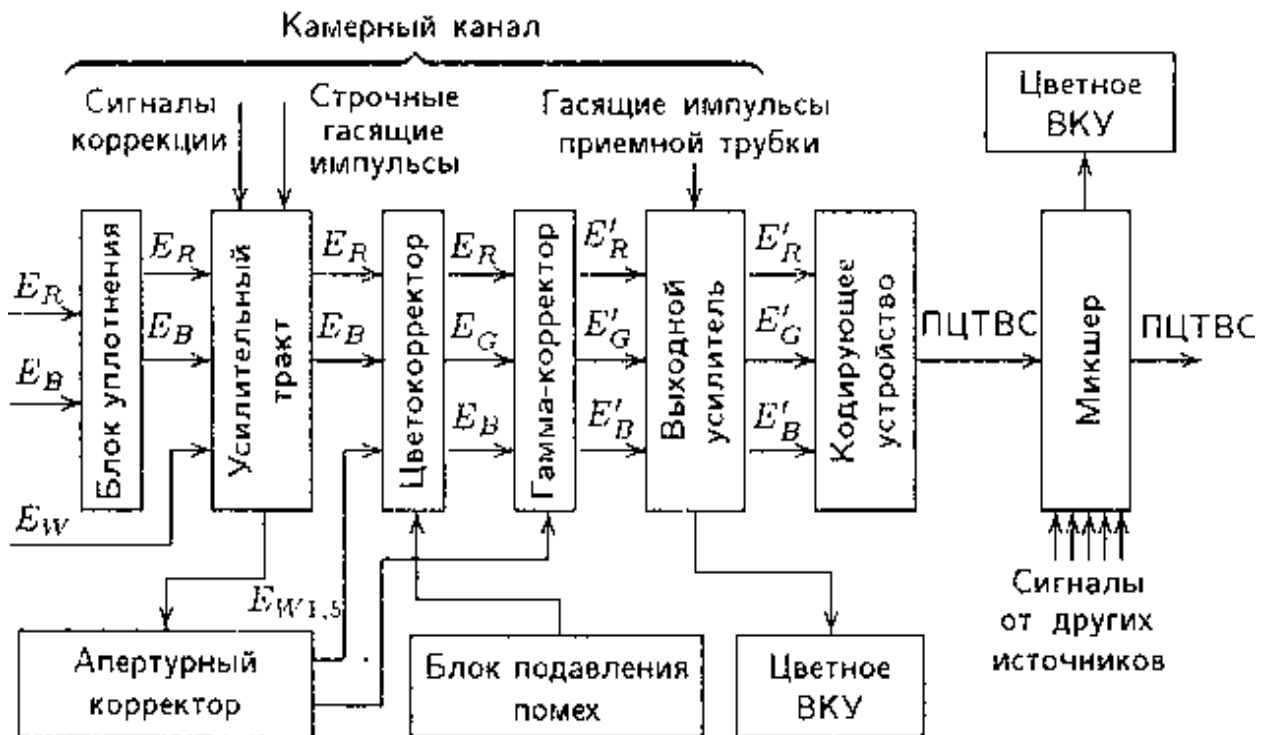


Рис. 9.4 – Структурна схема блоку камерного каналу

У підсилювальному тракті проводиться настановне регулювання посилення, змішування й обмеження імпульсів, що гасять, для видалення з майданчика зворотного ходу флукуаційних перешкод, а також паразитних сигналів рядкової частоти, передбачена схема корекції авто розсіювання, що виникла через розсіювання світлового потоку в оптичній частині камери й у передавальних трубках, а також здійснюється корекція нерівномірності тла зображення по полю змішуванням у відеосигнал сигналів параболічної й пилкоподібної форми частоти рядків і полів і модуляція відеосигналу зміною коефіцієнта підсилення.

Далі сигнали  $E_V$ ,  $E_R$  і  $E_W$  надходять у кольорокоректор, причому сигнал  $E_W$  спочатку проходить через апертурний коректор. Кольорокоректор із трьох сигналів формує три нові, кожний – як лінійне рівняння із трьома невідомими, де в якості невідомих використовуються сигнали на вході, а коефіцієнти, називані *коефіцієнтами кольорокорекції*, можуть регулюватися в процесі настроювання таким чином, що кожний із трьох вихідних сигналів кольорокоректору являє собою суму, і яку в різному співвідношенні й з різними знаками входять усі три вхідні сигнали. У кольорокоректорі здійснюється як корекція помилки кольороаналізу, викликаной невідповідністю спектральних характеристик камери кривим змішання основних квітів приймача, гак і формування сигналів  $E_V$ ,  $E_G$  і  $E_B$ .

Апертурний коректор призначений для корекції викривлень, що виникають через кінцевий розмір, що розгортає елемента (наприклад, електронного променю). Ці викривлення мають місце, коли розмір зображення, спроектованого на fotocутливу поверхню перетворювача оптичного зображення в електричний сигнал, порівнюємо з розміром елемента, що розгортає.

Після проходження гамма-коректора (у позначення сигналів, що пройшли гамма-коректор, додається штрих) у вихідному підсилювачі в сигнал зображення замішуються імпульси, що гасять, прийомної трубки й відбувається обмеження імпульсів, що гасять, на рівні гасіння. З виходу підсилювача сигнали надходять на, що кодує пристрій і кольорові монітори. На мікшер приходять також сигнали від інших камерних каналів.

У технічній апаратній розташовуються також осцилографи, вимірвальна апаратура й інше допоміжне устаткування. Синхрогенератор технічної апаратної може працювати як у режимі централізованої синхронізації, так і в автономному або відомому режимі. У режисерській апаратній, яка для створення найкращих умов роботи творчому й технічному персоналу розташовується окремо від технічної апаратної, розміщаються пульти режисера й звукорежисера, монітори, акустичне встаткування. Пульти режисера й звукорежисера перебувають безпосередньо в оглядового вікна, що з'єднує студію з режисерської апаратної, причому так, щоб зручно було вести спостереження за грою артистів у студії й за телевізійними зображеннями, що надходять на монітори, на які подаються також сигнали від усіх джерел, у тому числі й із центральної апаратної.

Створення художніх передач вимагає широкого вибору технічних можливостей телецентру. Для цього використовується кілька передавальних камер, що формують зображення під різними кутами (ракурсами) і з різними масштабами (планами), а також спеціальне устаткування для створення комбінованих зображень. Сюди ставиться апаратура спецефектів і відеоефектів, електронна й оптична рирпроекція, датчики електричних сигналів різних заставок, написів і т.д.

Блок спецефектів входить до складу відео підсилювальних трактів усіх студій і в найпростішому випадку допомагає формувати комбіноване зображення, що полягає із двох складових частин з різними сюжетами. Для передачі цих сюжетів можуть застосовуватися будь-які датчики ТВ-сигналів. Розташування, відносні розміри й конфігурація складових комбінованого зображення можуть мінятися в часі за допомогою ручного регулювання або автоматично. У цей час у розпорядження режисера надається кілька десятків різних фігур спецефектів: прямокутні, трикутні, ромбічні, круглі й ін. Подібні комбіновані зображення формуються за допомогою швидкодіючого комутатора, що перемикає ТВ-сигнали від двох датчиків під час активної частини рядка. Перемикання сигналів проводиться імпульсами зі змінною тривалістю, що формуються в спеціальному генераторі. Тривалість імпульсів змінюється за певним законом відповідно до обраної фігури спецефекту і її зміною в часі.

Блок відеоефектів створюється на базі запам'ятовувального пристрою (ЗУ) на кадра або на кілька кадрів з попереднім перетворенням аналогової форми телевізійного сигналу в цифрову. У ЗУ записується цифровий ТВ-сигнал з тактовою частотою, обумовленою рядковою частотою сигналу записи. Генератор цих сигналів управляється синхронізуючими імпульсами вхідного сигналу.

Інформація зчитується із ЗУ з довільною вибіркою за законом, обумовленому формою, частотою й фазою сигналу зчитування. Останній формується спеціальним генератором, що управляються імпульсами від синхрогенератора, і забезпечує відповідний вибір послідовності адрес. Лічений ТВ-сигнал перетвориться в аналогову форму в аналоговий^-аналоговім-цифро-аналоговому перетворювачі, змішується із сигналами синхронізації й надходить на вихід пристрою. Найбільше просто реалізується режим передачі нерухливого – «зупиненого» зображення. Для цього запис вхідного сигналу припиняється й зчитується сигнал того самого зображення.

Використання цифрових методів обробки сигналів і можливості записи й зчитування інформації з різних (кожним) законам відкривають широкі можливості для створення численних оригінальних сюжетів і трансформації ТВ-зображень. Наприклад, у цей час організовані наступні відеоефекти:

- зупинка зображення (стоп-кадр);

- електронне збільшення або зменшення масштабу зображення й зміна форми зображення;
- перевертання зображення (дзеркальний ефект);
- формування «слідів» за об'єктами, що рухаються в кадрі;
- «розмноження» зображення;
- формування нескінченної галереї з первинного зображення;
- поділ первинного зображення на частині й переміщення цих частин або всього стисло зображення по кадрі за будь-яким законом;
- створення поліекранних зображень із декількох стислих первинних зображень і ін.

Центральна апаратна призначена для контролю, комутації й розподілу сигналів телевізійних програм на радіопередавач і телецентри, що транслюють центральні власні програми, що й створюють. У центральній апаратній комутують сигнали з кінопроекційних апаратних, приймальні апаратній зовнішніх програм, АСБ, від власних датчиків (електронної іспитової таблиці УЕІТ і пристрою показу часу). З перерахованих джерел сигналу програмний режисер становить вихідні програми, які потім передаються на телевізійні радіостанції й міжміські лінії зв'язку. Сигнали датчиків ПЦТВС через центральну апаратну можуть подаватися в АСБ для використання їх у студійних програмах, в апаратних відеозаписи, центральному пункті контролю. У центральній апаратній розташовуються два блоки сінхрокомплекту - робітний і резервний.

*Телекіноапаратна (ТКА)* призначені для демонстрації по мережі ТВ-мовлення художніх, науково-популярних і хронікальних кінофільмів, а також для використання кінофотоматеріалів як коротких вставок – фрагментів – у передачі, підготовлювані за допомогою інших джерел у ТВ-програми телецентру.

ТКА є одним з найбільш важливих джерел ТВ-передач, тому що показ кінофільмів займає порівняно більшу частку в загальному обсязі програми мовлення. Причиною тому служать наявність великого фонду різних фільмів, можливість демонстрації їх у будь-який час, порівняльна простота експлуатації, підготовки хронікальних матеріалів і ін. Тому великі телецентри, як правило, мають необхідну телекіноапаратуру.

Передача кінофільмів але телебаченню, незважаючи на спільність принципів відтворення зображень, пов'язана з відомими труднощами, причина яких у деяких відмінностях параметрів кінопроекційних і ТВ-систем. У зв'язку із цим для телекінопроекції була розроблена велика кількість різних систем як з переривчастим, так і із плавним рухом плівки. До появи передавальних трубок з «пам'яттю» типу відікон передача кінофільмів у більшості випадків проводилася методом імпульсного засвічення й проекції кінокадру на фотокатод трубки з нагромадженням зарядів (суперіконоскоп) тільки під час зворотного ходу кадрового розгорнення. Протягом прямого ходу розгорнення електронне зображення,

утворене залишковим потенційним рельєфом на мішені трубки, зчитувалося комутуючим променем по пам'яті. У це ж час проводилося й просмикування плівки, тобто підготовка її до проєкції наступного кадра.

Використання передавальних трубок типу відікон і плюмбікон значно спростило систему телекінопроєкції. У цих трубок сигнали під час проєкції кінокадру («записи» зображення) і після неї, тобто при роботі трубки по «пам'яті», відрізняються незначно. Тому час експозиції зображення може бути значно збільшене, і, як результат, знижені вимоги до чутливості передавальної трубки.

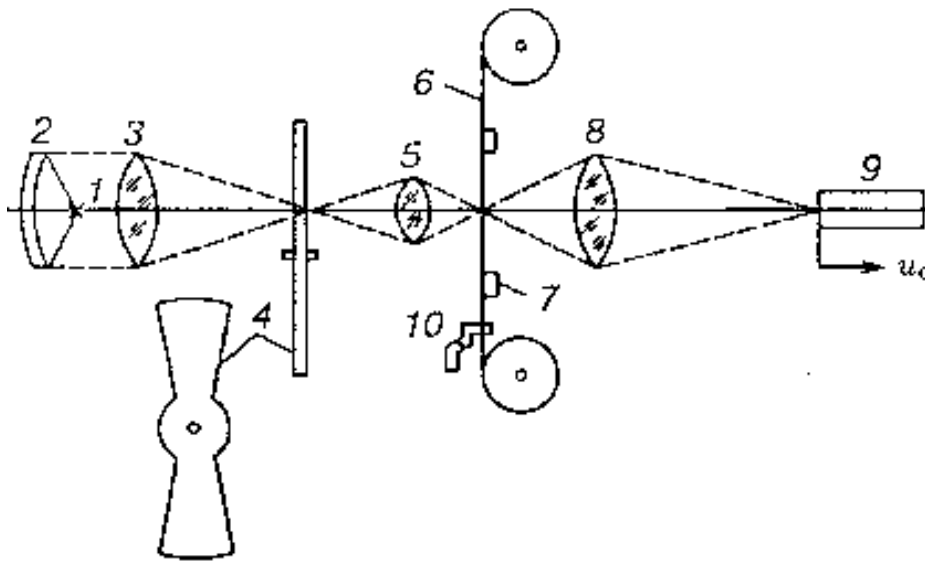


Рис. 9.5 – Оптична схема кінопроєктора

На рис. 9.5 показана оптична схема кінопроєктора. Світловий потік від джерела 1 за допомогою дзеркала, що відбиває, 2, об'єктивів 3 і 5 проєктується на поверхню кінофільму 6. Розміри переданого зображення обмежуються непрозорою рамкою 7. Зображення кінокадру за допомогою об'єктива в проєктується на мішень передавальної трубки 9. Переривання світлового потоку проводиться обтюратором. Переривчастий рух плівки здійснюється грейфером 10, що входять у перфораційні отвори.

Останнім часом для передачі кінофільмів розроблені напівпровідникові кінопередачі камери на лінійні (однорядкових) приладах із зарядовим зв'язком (ПЗС). Основні параметри цих фотоелектричних перетворювачів – розв'язна здатність і динамічний діапазон – у цей час перевершують відповідні характеристики вакуумних приладів. Кадрове розгорнення проводиться за рахунок руху кіноплівки у вертикальному напрямку. Кожний кінокадр проєктується один раз послідовно, рядок за рядком (порядкове розгорнення). Для формування ТВ-сигналу у відповідності із черезрядковим розгорненням сигнали із ПЗС надходять на запам'ятовувальний пристрій з обсягом пам'яті один кадр, де й записують-

ся в цифровому виді. Інформація зчитується у два приймання: спочатку – непарні рядки (перше поле), а потім – парні (друге поле). Керування системами руху плівки, сканування ПЗС, записи й зчитування сигналів із ЗУ здійснюється за допомогою мікропроцесорів.

У телекінопроекційних апаратних розміщаються три групи встаткування: кінопости (кінопроектори, діапроектори, що передають камери, оптичні комутатори), апаратура формування повного телевізійного сигналу й пульти керування роботою цих пристроїв. Однак у зв'язку із труднощами по передачі кіноматеріалів по телебаченню останнім часом усе частіше практикується їхній перезапис на магнітну плівку з наступною демонстрацією цих записів (магнітофільмів) за допомогою відеомагнітофонів.

У центральній апаратній розташована апаратура синхронізації. З пульта програмного відеорежисера здійснюється вихід усіх створюваних на телецентрі програм на радіокомплекс згідно з розкладом. З пульта відеоінженера ведуться: контроль над роботою встаткування; контроль усіх вхідних і вихідних параметрів відео- і звукових сигналів; набір джерел програм, що надходять із АСК.

Синхронізація окремих сигналів на телецентрі має особливе значення, тому що впливає на якісні показники сигналу готової ТВ-програми, і її роль зростає з ростом числа програм і числа джерел інформації.

Усі джерела сигналів, використовувані на телецентрі для синтезу ТВ-програми, повинні бути синхронні й синфазні. Ця вимога ставиться також і до іногородніх джерел, до ПТС і т.д. Завдання синхронізації зважується на телецентрі по-різному, залежно від того, де розташовані джерела сигналу, які необхідно синхронізувати.

Джерела сигналу в будинку телецентру синхронізуються між собою завдяки тому, що генератори сигналів синхронізації (синхрогенератори), розташовані в апаратних, здатні синхронізувати роботу студійного встаткування - передавальних камер, телекінопроектора, відеомагнітофона, а також інших пристроїв обробки ТВ-сигналу. На рис. 9.1 синхрогенератори не показані, щоб не захаращувати рисунок, однак усі зображені на малюнку комплекси мають власні джерела сигналів синхронізації. Кожний синхрогенератор містить високостабільний (не гірше  $10^{-6}$ ), часто навіть постачений спеціальним термостатом генератор, що задає. Є також дільники частоти з додатковими логічними елементами, що дозволяють одержати набір різних імпульсів, необхідний для роботи керованого синхрогенератором пристрою. Синхрогенератор може працювати в автономному режимі – при цьому самостійно здатний спеціальним сигналом синхронізувати роботу інших синхрогенераторів. Можливий також «відомий» режим, при якому синхрогенератор за допомогою спеціальної схеми АПЧ «підбудовує» частоту свого генератора, що задає, від іншого джерела опорної частоти або фази. Крім того, передбачений режим роботи синхрогенератора, при якому він синхронізується від іншого синхро-

генератора за допомогою так званого «сигналу централізованої синхронізації», що містить суміш імпульсів частот 12,5 Гц і 1 МГц.

Сигнали синхронізації передаються усередині телецентру по внутрішній комунікаційній мережі й забезпечують синхронізацію тих пристроїв, які в цей момент беруть участь у формуванні ТВ-програми.

Синхронізація джерел сигналу, розташованих поза телецентром на відносно великій відстані, здійснюється за допомогою так званих «синхронізаторів несинхронних джерел». Такий пристрій являє собою блок пам'яті на ТВ-кадра, запис інформації в який відбувається синхронно із сигналом, що надходить на телецентр від стороннього вилученого джерела, а зчитування синхронізується синхрогенератором телецентру, наприклад, тем синхрогенератором, який у цей момент синхронізує записуючий відеомагнітофон. Програми телебачення створюються в основному у великих містах: столицях, крайових і обласних центрах. При цьому передбачається їхня трансляція й обмін програмами між великими містами шляхом створення мереж телевізійного мовлення. Розглянута структурна схема дозволяє всьому комплексу споруджень телецентру оптимально функціонувати й забезпечувати ТВ-мовлення на заданій території.

Успіхи розвитку ТВ-техніки за останні роки піддали значній зміні багато устояних понять із області телебачення й у тому числі вистави про розміри й ролі окремих ланок, що входять до складу телевізійного центру. Проте показана структура загалом залишається незмінною, тому що вона в результаті багаторічного досвіду оптимізована для виконання основного завдання – підготовки й видачі в ефір ТВ-програм.

Слід помітити, що основним завданням телецентру є поширення ТВ-програм. Тому прогрес останніх років в області «доставки» ТВ-програм споживачеві, а також розвиток нових технологій ТВ-мовлення впливають на технічне оснащення телевізійних центрів, їх розташування й число, а також на використання певних діапазонів частот і на вид їх використання. Зупинимось на найважливіших тенденціях цього розвитку.

Розвиток нових цифрових технологій у віщальному телебаченні, а також реалізація принципу інтерактивності вносять значні зміни в структуру ТВ-мовлення. Наприклад, термін «мережі кабельного телебачення» усе частіше замінюється поняттям «мультісервісні мережі», що справедливо відбиває як швидкий ріст можливостей мереж ТВ-мовлення ріст, що так і супроводжує, вимог до них.

Одним з ознак такого розвитку є зміни у використанні частотного діапазону. Для ТВ-мовлення відведені смуги частот 48,5 - 230 МГц у метровому й 470...790 МГц у дециметровому діапазонах хвиль. У міру розвитку кабельного телебачення в план вводяться так звані «спеціальні» канали, що лежать у діапазонах 110 - 174 і 230...294 МГц.

Крім того, розвиток інтерактивного телебачення, яке технічно простіше здійснювалося в кабельних мережах, привело до того, що в кабель-



ному телебаченні встановилася смуга частот для зворотного каналу 3...5 МГц. Таким чином частотний план, що діє в цей час вітчизняний, містить усього 68 ТВ-каналів, з яких 28 – у метровому діапазоні, а 40 – у дециметровому.

Порівняно новою формою поширення ТВ-програм є також «ефірно-кабельний» принцип, який часто називають «стільниковим телебаченням». До таких систем відносять:

- MMDS (Microwave Multipoint Distribution System) – мікрохвильова багатоточкова система поширення ТВ-програм, розроблена споконвічно для діапазону 2,5...2,7 ГГц.

- LMDS (Local Multipoint Distribution System) – локальна багатоточкова система поширення, розроблена в США й експлуатована в США й Канаді. Робочий діапазон – 25...32 ГГц.

- MVDS (Multipoint Video Distribution System) – багатоточкова система поширення ТВ-сигналу, розроблена й експлуатована в Західній Європі. Робочий діапазон – 40,5...42,5 ГГц.

Для таких «ефірно-кабельних» розподільних систем виділені наступні частотні діапазони: 2,5...2,7; 27,5...29,5 і 40,5...42,5 ГГц. Це дозволяє використовувати як американське, так і європейське встаткування.

Слід зазначити гідності систем «стільникового» телебачення:

- відносно висока якість прийнятого сигналу й практично повна відсутність «мертвих зон» за рахунок вибору розміру «стільник» від 1 до 6 км;

- широкий вибір ТВ-програм для користувача – при наявності в мережі великої кількості «стільника»;

- висока надійність мережі завдяки розосередженим ретрансляторам, що важливо, наприклад, при стихійних лихах;

- екологічно безпечні рівні електромагнітного випромінювання;

- порівняно невисока вартість абонентської установки завдяки компактній малогабаритній антені розміром 15...25 см;

- порівняно низький рівень перешкод у виділеному діапазоні частот (десятки ГГц).

Крім того, «стільниковий» принцип побудови мережі ТВ-мовлення дозволяє з більшою легкістю організувати збір інформації, що зробила по зворотному каналу від користувачів у кожній зоні. Це, у свою чергу, розширює можливі функції ТВ-системи й збільшує набір послуг, пропонує користувачеві.

## 9.2 Системи кабельного телебачення

*Кабельне телебачення* - передавання зображень кабельними каналами або мережами зв'язку. Під цим терміном звичайно розуміють складник телебачення, який реалізується в кабельному сегменті ТВ-тракту [6].

### 7.2.1 Основні етапи розвитку кабельного телебачення

При розгляданні розвитку прийомних телевізійних мереж великих міст виділено чотири основних етапи: від індивідуальних зовнішніх антен (1-й етап) до систем кабельного телебачення (КТБ) (4-й етап). На першому етапі основною метою кабельного телебачення було забезпечення високоякісної ретрансляції телепрограм тій групі абонентів, що через наявність об'єктивно існуючих перешкод не мала можливості нормального перегляду телепрограм. Широке поширення одержали будинкові кабельні мережі, що поєднують жителів одного під'їзду багатопверхового житлового будинку.

Надалі створюються мережі, що поєднують абонентів мікрорайону і декількох мікрорайонів з числом користувачів до 10 000. У великих містах створюються кабельні мережі, що охоплюють цілі райони з десятками і сотнями тисяч жителів. Телевізійне віщання ведеться в метровому діапазоні хвиль, що обмежує число програм (теоретично не більш 12, а практично з урахуванням вимог електромагнітної сумісності – не більш 6). Кабельні мережі колективного прийому телевізійного віщання у великих містах практично витісняють індивідуальний прийом ТВ-програм.

На наступному етапі розвитку КТБ визначальним фактором стало різке збільшення числа передаваних телепрограм, як за рахунок розширення діапазону частот ТВ-мовлення в область дециметрового діапазону хвиль, так і за рахунок створення місцевих студій, що забезпечують створення інформаційних, рекламних і розважальних програм. У зв'язку з початком комерційної трансляції розважальних програм встала задача одержувати абонентську плату з користувачів таких програм. З цією метою стало використовуватись кодування програм на студії і їхнє декодування абонентами за допомогою спеціальних пристроїв.

В останні роки почався етап, на якому користувачам КТБ надаються додаткові можливості. До їхнього числа відносяться користування мережею Інтернет, електронною поштою й інші послуги. Для забезпечення цього в сучасних мережах КТБ реалізується зворотний канал, по якому передається інформація від користувача на центральну станцію. Такий канал створює передумови для створення принципово нового телебачення – так званого інтерактивного, при якому користувач може не тільки здійснювати вибір однієї з ТВ-програм, але і передавати великий обсяг інформації на центральну станцію й інших абонентів мережі.

Можливість подачі сигналів від абонентів до центра, створює передумови для розширення функцій комерційного телебачення, у якому за кожну додаткову послугу береться окрема плата. Перелік таких послуг досить широкий і може включати замовлення авіаційних і залізничних квитків, номерів у готелі, різноманітні банківські операції і багато чого іншого. У мережах КТБ нового покоління передбачається впровадження двостороннього, у тому числі ширококутового зв'язку між двома будь-

якими абонентами своєї системи, підключення до мережі Інтернет і інші послуги.

Основним достоїнством кабельної мережі ТВ-мовлення є забезпечення високої якості сигналу, що у ряді випадків для наземного віщання є важко досяжним. Причиною тому є перешкоди ефірному телевізійному прийому, з якими досить важко боротися.

Незадовільна якість прийому телебачення часто спостерігається в жителів великих міст, що забудовуються залізобетонними будинками різної поверховості, серед яких зустрічаються будинки підвищеної поверховості. У зв'язку з цим може утворюватися велика кількість зон радіотіні й інтенсивних відбитих сигналів.

Очевидно, що радикальним шляхом боротьби з багатьма видами перешкод є поширення ТВ-сигналу по кабельних мережах. У системах КТБ стає економічно доцільним застосовувати досить складні антени, а також упроваджувати конвертери для перетворення сигналів на частоту іншого ТВ-каналу з метою боротьби з випереджальними повторами. Крім того, за допомогою КТБ можна раціонально організувати прийом телевізійного віщання з декількох телецентрів, із супутників, а також зв'язку по радіорелейних і інших системах. Ці фактори дозволяють не тільки підвищити якість ТВ-прийому, але істотно збільшити кількість прийнятих програм.

Таким чином, сучасне кабельне телебачення являє собою систему збору різних ТВ-програм і їхній розподіл з використанням кабельних, радіорелейних і волоконно-оптичних ліній з високою якістю великому числу абонентів. Один з основних факторів, що стримує розвиток кабельного ТВ-мовлення – це забезпечення високої якості програм при істотних обмеженнях на вартість мережі.

Розв'язання цього протиріччя можливо при правильному виборі структури мережі КТБ і устаткування, яке використовується при її реалізації.

### **9.2.2 Класифікація систем кабельного телебачення**

Системи кабельного телебачення можна класифікувати за числом абонентів, видами і довжиною розподільних ліній, джерелами ТВ-сигналів, числу програм і за іншими параметрами. У залежності від складності, довжини і кількості, абонентів розподільної мережі системи КТБ умовно підрозділяються на чотири категорії.

До першої категорії відносять прості розподільні мережі, у яких число абонентів не перевищує 100. Така мережа забезпечує розподіл ТВ-сигналів у житловому багатоповерховому будинку або групі близько розташованих житлових будинків. Проста розподільна мережа складається з розподільної (магістральної) лінії, магістрального відгалужувача, що забезпечує узгодження при розподілі сигналу між абонентськими лініями, абонентських розподільних пристроїв, розташованих на сходовій клітці

кожного поверху будинку, і абонентських ліній, що передають сигнал споживачам. Для компенсації втрат сигналу в мережах першої категорії може використовуватися ширококутовий телевізійний підсилювач.

У мережах другої категорії число абонентів може досягати 1000. Їх застосовують у великих житлових і суспільних будинках, а також у групі близько розташованих будинків. У таких мережах можуть використовуватися два послідовно ввімкнених підсилювачі, що забезпечують необхідний рівень сигналу на вході ТВ-приймачів.

У розподільних мережах третьої категорії число абонентів може досягати 10000. Це великі розподільні системи колективного прийому кабельного телебачення, що досить для обслуговування цілого мікрорайону. Системи третьої категорії характеризуються триступінчастою розподільною мережею. У таких системах можуть використовуватися пілотне регулювання рівня, передача внутрісистемних сигналів, а також двоспрямована передача.

До четвертої категорії відносяться розподільні мережі з числом абонентів, що перевищують 10000. Такі структури утворюються при об'єднанні мереж КТБ декількох мікрорайонів.

У залежності від технічного оснащення в мережі КТБ може транслюватися різне число ТВ-програм. У мережах першої і другої категорії, звичайно, транслюються тільки програми наземного телебачення. Через відносно невелику кількість абонентів ввімкнення до складу таких мереж станцій прийому супутникового телебачення поки є нерентабельним. Число трансльованих програм обмежується технічними можливостями головної станції. Абоненти мереж третьої і четвертої категорії поряд із програмами наземного телебачення, як правило, мають можливість приймати програми місцевих новин, довідкові, спортивні і навчальні програми. З огляду на досить велике число абонентів, у таких мережах стає рентабельним організація віщання програм супутникового ТВ на комерційній основі.

У залежності від довжини розподільних ліній і числа абонентів для передачі сигналів використовуються коаксіальні кабелі і волоконно-оптичні лінії (ВОЛ). Перевага (ВОЛ) у порівнянні з коаксіальними кабелями полягає в можливості передачі сигналів з малими втратами й у широкій смузі частот. У той же час за економічним розумінням застосування ВОЛ може бути доцільним лише при досить великому числі абонентів.

Основними елементами мережі КТБ є: приймальні ТВ-антени, антенні підсилювачі, головні станції (ГС), а також розподільні мережі, що включають кабельні магістральні і розподільні лінії, магістральні підсилювачі, відгалужувачі, будинкові розподільні мережі. Головні станції у свою чергу включають: підсилювачі, конвертери, суматори, спрямовані відгалужувачі й інші елементи.

Сучасні мережі КТБ, звичайно, оснащені пристроями автоматичної підтримки стабільності параметрів сигналу, переданого по розподільній

мережі, а також кодувальники (декодувальними) пристроями і системами автоматичного резервування основних елементів.

Число ТВ-програм залежить від видів джерел сигналів і у випадку прийому тільки сигналів наземного телебачення, як правило, не перевищує 10–20. Якщо в складі головної станції мається супутниковий приймач, то число трансльованих каналів може досягати 40–50 і практично обмежується смугою пропускання кабельної мережі, а також технічними можливостями абонентських ТВ-приймачів. Для мережі КТБ із великою кількістю абонентів (10 тисяч і більш) до складу головної станції, звичайно, включають невелику ТВ-студію, що дозволяє формувати місцеві програми.

Структура мережі КТБ визначається як розташуванням головної станції й абонентів, так і необхідністю виконання додаткових функцій, наприклад, забезпечення зворотних каналів і сервісних послуг, у тому числі підключення до мережі Інтернет і таке інше. Для мережі, основним призначенням якої є прийом сигналів наземного ТВ і їхній розподіл абонентам, приймальні антенні системи й апаратуру головної станції намагаються розмістити на одному з найбільш високих будинків із вхідних у систему і що знаходиться, по можливості, ближче до центра "ваги" розподілу абонентів. При цьому також враховується наявність луна-сигналів, що заважають, підземних комунікацій, що зв'язують даний будинок з іншими будинками мережі КТБ, можливість подальшого розширення кабельної мережі й об'єднання декількох систем в одну більш велику.

Необхідність забезпечення додаткових вимог – підключення до системи Інтернет, реалізації зворотних каналів зв'язку, також впливає на структуру мережі КТБ. У сучасних мережах КТБ використовуються структури трьох видів: радіальні, деревоподібні і кільцеві.

### **9.2.3 Структурні схеми й основні елементи мереж КТБ**

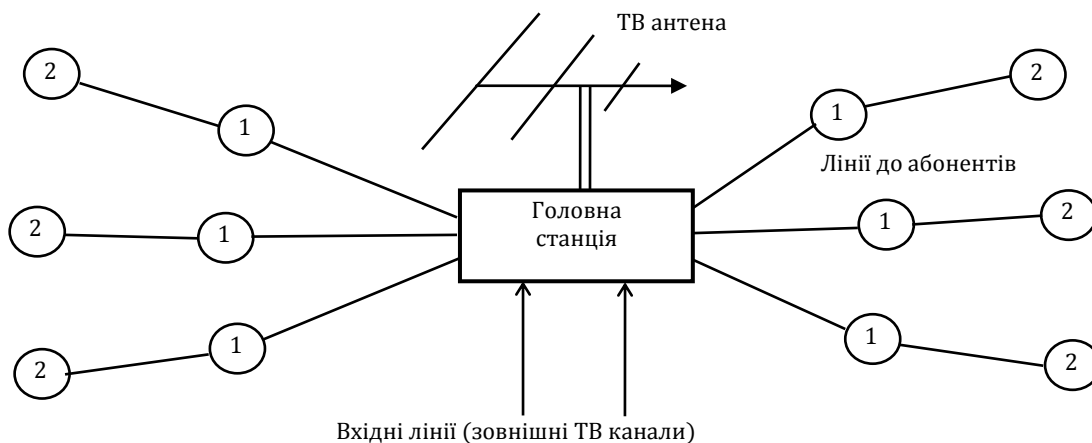
Основними вимогами, пропонованими до різних варіантів мереж КТБ, є мінімально можливе ослаблення і перекручування ТВ-сигналів при їхній передачі абонентам, найменша вартість створення й експлуатації мережі, а також можливість її подальшого розширення.

До числа додаткових вимог можуть бути віднесені наступні: підключення до мережі Інтернет, зворотні канали зв'язку (інтерактивне телебачення) і таке інше. Найбільші можливості по реалізації додаткових функцій представляють системи кільцевого типу.

Структура мережі КТБ насамперед залежить від кількості абонентів і її довжини. При невеликому числі абонентів (мережа нижчої категорії) найбільш часто використовуються системи радіального типу. Структура такої мережі приведена на рисунку 9.6.

У схемі радіального типу абонентські лінії з'єднують кожного абонента безпосередньо з головною станцією, а сигнали ТВ-каналів розріз-

няються за частотою. Перевагою такої системи є можливість комутації каналів не в абонентів, а на головній станції. У цьому випадку з телевізійного приймача виключається блок переключення телевізійних програм. Її недоліком є велика довжина абонентських ліній, що приводить до необхідності використання підсилювачів-коректорів.



**Рис. 9.6 – Системи кабельного ТВ радіального типу:**

1 – підсилювачі-коректори; 2 – абоненти

Перші мережі КТБ, побудовані за радіальною схемою, дозволяли організувати до 12 телевізійних каналів для передачі широкомовних програм, а також місцевих новин, навчальних і спортивних передач і т.д..

Радіальна структура мережі КТБ за конфігурацією нагадує телефонну мережу, що дозволяє використовувати для прокладки ТВ-кабелю існуючу телефонну каналізацію, а в майбутньому – створює передумови для інтеграції цих мереж.

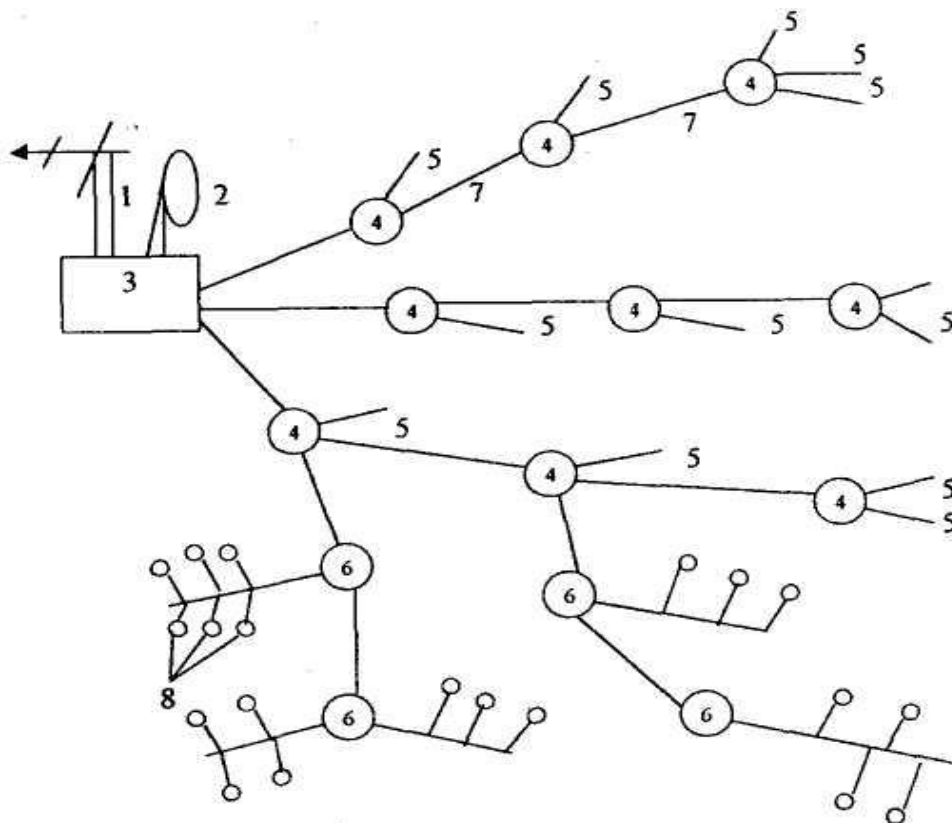
Різновидом радіальної схеми побудови мережі КТБ є багатоланкова структура, при якій у лінію включаються підсилювально-розподільні пункти, що забезпечують розподіл сигналів групі абонентів (у межах невеликого житлового будинку або його під'їзду).

Найбільш розповсюдженою є деревоподібна структура КТБ (рис. 9.7).

Її характерною рисою є підключення до головної станції магістральних ліній розподілу сигналів з підсилювачами-відгалужувачами, від яких у свою чергу відходять субмагістральні лінії, що розподіляють сигнал до абонентів через розгалужувачі.

Як шлях удосконалювання деревоподібної мережі може розглядатися гніздова схема. Її особливість полягає в тому, що до основної головної станції деревоподібної мережі підключаються трохи більш прості додаткові гніздові станції, кожна з яких являє собою мережу кабельного ТВ більш низького рівня. Окремі гніздові схеми можуть розташовуватися на достатньому видаленні від головної станції, що перешкоджає безпосере-

дній передачі сигналів по звичайній магістральній кабельній лінії. Тому сигнал передається по волоконно-оптичному кабелю або з використанням радіорелейної лінії.



**Рис. 9.7 – Система кабельного телебачення деревоподібного типу:**

1, 2 – приймальні антени наземного і супутникового телебачення; 3 – головна станція; 4 – підсилювачі-відгалужувачі; 5 – розподільні лінії; 6 – розгалужувачі; 7 – магістральні лінії; 8 – абоненти

Необхідно відзначити, що як у радіальній, так і в деревоподібній системі при необхідності створення зворотного каналу буде потрібно застосування додаткових технічних засобів.

Організацію двостороннього обміну інформацією без додаткових технічних засобів можуть забезпечити структури кільцевого типу. Магістральна лінія при цьому прокладається по кільцевій трасі, тобто вхід і вихід магістралі заводять на вузол комутації (рис. 9.8). Це дозволяє передавати прямий і зворотний сигнал по магістралі за тими самими каналами в одну сторону. Пасивні (приймаючі) і активні (передавальні) абонентські відводи підключаються через відгалужувачі до магістралі або включаються в концентратори, що розташовуються на кільцевій магістралі.

Побудова системи за кільцевою схемою розширює її можливості, тому що ті самі канали використовуються в прямому і зворотному напрямку. У випадку застосування в системі додаткового кабелю, з'являється можливість по одному кабелю передавати інформацію в прямому

напрямку, а по другому передавати в зворотному напрямку не тільки вузькосмугові, але і широкосмугові сигнали.

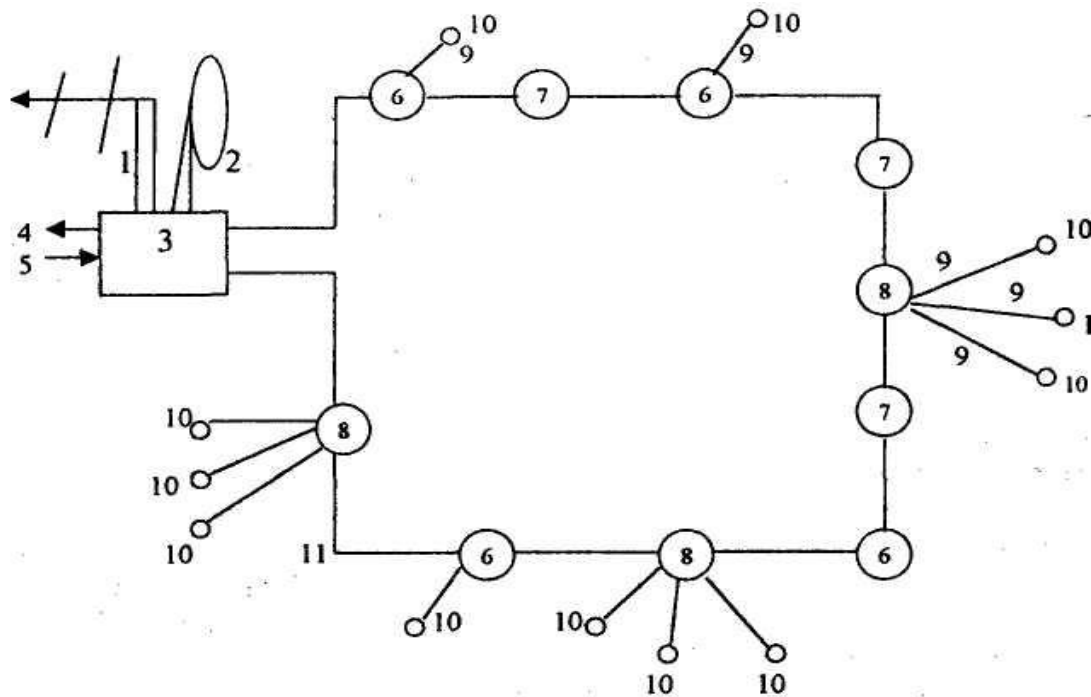


Рис. 9.8 – Система кабельного телебачення кільцевого типу:

1, 2 – приймальні антени наземного і супутникового телебачення; 3 – головна станція; 4, 5 – вхідні і вихідні лінії зв'язку; 6 – відгалужувачі; 7 – підсилювачі-коректори; 8 – концентратори; 9 – абонентські відводи; 10 – абоненти; 11 – кільцева магістраль

Аналіз структури побудови мереж КТБ показує, що в їхній склад входять наступні елементи: головна станція, магістральні підсилювачі, підсилювачі-коректори, відгалужувачі, розгалужувачі, а також магістральні, субмагістральні й абонентські лінії.

Головна станція забезпечує обробку (прийом, посилення, перетворення частоти) і розподіл сигналів віщального ТБ і ЧМ радіомовлення, що надходять від приймальних антен, а також сигналів супутникового телебачення. Крім того, головна станція дозволяє формувати місцеві ТВ-програми.

Перші вітчизняні головні станції серій 100 і 200 забезпечували прийом не більш п'яти ТВ-програм, а також сигналів ЧМ радіомовлення в діапазоні частот 66...74 МГц. Станція серії 100 призначена для роботи в мережі КТБ із числом абонентів до 3000. У цих станціях використовувалося однократне перетворення робочої частоти, що обмежує вибір каналів, що можуть використовуватися для трансляції ТВ-програм унаслідок "поразки" деяких каналів продуктами перетворення.

Головна станція серії 200 відноситься до другого покоління і призначена для роботи в мережах КТБ, що обслуговують до 10 тисяч абонентів. У цій станції використовується дворазове перетворення частоти, що



знімає обмеження по перетворенню каналів з однієї частоти на іншу і забезпечує більш високе, чим у головній станції серії 100 якість ТВ-програм за рахунок низького рівня комбінаційних частот, а так само більш високої вибіркості по дзеркальному каналу і проміжній частоті. Діапазон робочих частот станцій серій 100 і 200 відповідає 1-3 ТВ-діапазонам (48,5...229,75 МГц).

Головні станції серії 300 є більш удосконаленими, розроблені на основі сучасної елементної бази і забезпечують створення телепрограм на головній станції КТБ, сервісне обслуговування й інше. Смуга частот переданих станцією сигналів розширена і складає від 5 до 300 МГц. Частоти 48...300 МГц використовуються для передачі телепрограм і сигналів ЧМ віщання, причому в смугах частот 110...174 і 230...300 МГц організовані 16 спеціальних внутрісистемних ТВ-радіоканалів зі стандартною смугою частот 8 МГц. Частоти 5...30 МГц відведені для організації зворотних каналів від абонентів до головної станції КТБ.

Поряд з вітчизняними головними станціями широке застосування знайшли головні станції різних закордонних фірм.

Угорські головні станції типу HVLS-HS/R і HVLS-HS призначені для прийому й обробки сигналів ТВ-програм, переданих по каналах метрового (МХ) і дециметрового (ДМХ) діапазонів. У комплекті головної станції типу HVLS-HS/R на відміну від станції HVLS-HS передбачена можливість автоматичного вмикання резервної апаратури у випадку несправності робочого комплекту.

Сучасні головні станції виробляються фірмами WISI (Німеччина), "Терра" (Литва), IRCO (Іспанія).

Головна станція фірми WISI – широкосмугова комбінована головна станція, дозволяє приймати весь спектр переданих ТВ-сигналів (45...2050 МГц) і розмістити велике число програм у всьому телевізійному діапазоні частот (5...860 МГц). Висока заводо захищеність по сусідньому каналу (більш 60 дБ) дозволяє оптимально використовувати весь ТВ-діапазон частот. Станція забезпечує роботу в стандартах D/K, B/G, I, L, M, N, має автоматичну установку параметрів.

Комбінована станція фірми "Терра" забезпечує трансляцію програм супутникового і місцевого ТБ, має модульну конструкцію, автоматичну діагностику стану елементів станції.

Конвертери служать для перетворення частоти сигналів з одного ТВ-каналу в іншій з метою виключення завад зв'язаних із просочуванням прямого сигналу наземного телебачення. Конвертери приймальних станцій супутникового ТБ перетворюють прийняті сигнали в стандарти наземного телебачення. У складі головної станції HVLS-HS/R чотири конвертери метрового й один дециметрового діапазонів. Конвертери діапазону МХ виконані для каналів 1/12, 3/9, 11/4 і 8/2, а конвертер ДМХ виконаний для каналів 33/7.

На входи конвертерів головних станцій можуть бути подані ТВ-сигнали кожного з каналів метрового або дециметрового діапазонів. На виході ці сигнали за допомогою подвійного перетворення переносяться в смугу частот одного з необхідних каналів метрового діапазону. Конвертування сигналів дозволяє виключити так звані ліві повтори, що виникають за рахунок прийому "проникаючих" могутніх сигналів, які просочуються, від близько розташованих передавачів.

Наявність у пристрої конвертерів ручних атенюаторів дозволяє підбудувати рівні вхідних і вихідних сигналів на оптимальне значення. Заданий вихідний рівень підтримується за рахунок автоматичного регулювання посилення (АРП).

#### **7.2.4 Вимоги до систем кабельного телебачення**

Система кабельного телебачення забезпечує розподіл радіосигналів віщального телебачення в частотних діапазонах I (48,5...66 МГц), II (76...100 МГц), III (174...230 МГц) і радіосигналів УКХ ЧМ – віщання в діапазоні 66...73 МГц. Радіосигнали віщального телебачення, прийняті в діапазонах IV (470...582 МГц) і V (582...790 МГц), перетворюються в радіосигнали діапазонів I-III.

Системи кабельного телебачення з'явилися як спосіб підвищення якості зображення. Тому вимоги до параметрів, що визначають якість передачі телепрограм, є одними з основних при проектуванні мереж кабельного телебачення. Від того, які параметри буде мати сигнал на вході в кабельну мережу, буде залежати якість зображення на екранах телевізійних приймачів, максимальне число каналів, придатних для трансляції, а також довжина магістралей і число абонентів, що обслуговуються. Усі перераховані вимоги визначаються в основному параметрами головної станції, що здійснює формування і розподіл ТВ-сигналів у мережі.

У наш час уся смуга 12...860 МГц, відведена для кабельної мережі, розподіляється наступним чином:

- смуга від 12 до 40 МГц ущільнюється за частотою каналами передачі інформації в напрямку від периферійного устаткування до головної станції, ширина смуги кожного каналу складає 1,8 МГц;

- у смузі від 48 до 600 МГц передаються радіомовні програми з частотною модуляцією, а також телевізійні сигнали з амплітудною модуляцією;

- смуга  $625 \pm 15$  МГц виділена для передачі сигналів з часовим ущільненням (у напрямку від головної станції до периферійного устаткування);

- у смузі 650...860 МГц можуть передаватися сигнали як аналогового, так і цифрового телебачення. Ця ж смуга рекомендується для передачі цифрових сигналів у мережах, де передаються одночасно аналогові і цифрові телевізійні сигнали.

## 7.2.5 Принципи побудови прийомної телевізійної мереж кабельного ТБ

Прийомна ТВ-мережа складається із сукупності індивідуальних пристроїв приймання ТВ-програм і радіосигналів УКВ ЧМ мовлення й прийомних систем телебачення й радіомовлення (систем колективного приймання ТБ). До складу перших входить індивідуальна кімнатна або зовнішня приймальня ТВ-антена, антенний фідер у вигляді відрізка радіочастотного кабелю й ТВ-приймач. Системи колективного приймання ТБ (СКПТ) складаються з однієї або декількох зовнішніх антен спрямованої дії, установлених на дахах будинків або щоглах, одноступінчастої будинкової розподільної мережі (ДРС) з одним або двома послідовно включеними підсилювачами й декількох десятків (одне житлове або суспільний будинок) або сотень ( кілька будинків) абонентів ТБ і УКВ ЧМ приймачів.

Особливістю приймання ТВ-передач у великих містах є поява між будинками стоячих хвиль у результаті інтерференції прямих і відбитих від стін будинків і інших перешкод променів, а також виникнення за високими будинками зон радіотени. У результаті утворюються зони невпевненого приймання й викривлення у вигляді ряду зрушених друг щодо друга по горизонталі повторних зображень і зниження чіткості. Особливо це ставиться до поширення ДМВ, де довжина хвилі значно менше розмірів багатьох, що зустрічаються на шляху поширення перешкод.

Для підвищення якості ТВ-прийому створюються великі системи колективного приймання ТБ (КСКПТ) із двоступінчастої РС – субмагістральна мережа (СМС) і ДРС, що поєднують трохи СКПТ невеликого району із загальним числом абонентів до 10000. Усі вони працюють від тих самих спрямованих ТВ-антен, які винесені на дах найближчого високого будинку, з даху якого є пряма видимість на передавальну антену ТЦ.

Треступінчасті РС великої довжини – магістральна мережа (МС), СМС і ДРС – із числом абонентів понад 5000 (більші райони або цілі міста) використовуються в КСКПТ або системах кабельного ТБ.

Спрощена структурна схема СКПТ наведена на Рис. 9.9,а. Приймання ведеться на кілька колективних одноканальних, багатоканальних або широкосмугових антен і, з'єднаних кабелем зниження з домовик розподільною мережею.

Будинкова розподільна мережа складається з: каналного або діапазонного ТВ-фільтра 2, призначеного для підключення до загальної РС двох розташованих на одній щоглі антен, що працюють у різних частотних діапазонах (наприклад, 48,5...100 і 174...230 МГц); каналного, діапазонного або широкосмугового ТВ-підсилювача (УТ) 3, що включається в ДРС при недостатньому рівні сигналу, що надходить до ТВ-приймачам; розгалужувача (розподільника) на резисторах або спрямованих розгалужень узгодження, що забезпечує збереження, при розподілі потужності сигналу між декількома лініями ДРС; ліній ДРС 6 (коаксіальні кабелі

типу РК або КПТМ із загасанням на частоті 200 Мгц не більш 130 км/км), призначених для живлення абонентських ліній ДРС; розгалужень 5 (звичайно на шість абонентських виходів, наприклад типу УАР-6), розташованих на сходовій клітці кожного поверху будинку й необхідних для відгалуження частини енергії радіосигналу з лінії ДРС в абонентські лінії; абонентських ліній 7 (кабелі типу РК і КПТА з  $\alpha_{200}$  200 дБ/км), що з'єднують розгалуження з абонентськими розетками 10 або при їхній відсутності зі штекерами, призначеними для підключення до абонентських пристроїв – телевізорам 9 і УКВ ЧМ приймачам; навантажувальних резисторів 8, що підключаються до виходу останніх, розташованих на першому поверсі розгалужених пристроїв, що й мають опору, рівні хвильовому опору кабелів у лініях ДРС.

Можливість розміщення ТВ-каналів у метровому діапазоні хвиль дуже обмежена й практично вже вичерпана в багатьох країнах. Побільшати число ТВ-каналів можна організацією ТВ-мовлення в частотних діапазонах 4 і 5. Тут можливі два способи приймання ТВ-програм. Перший полягає в тому, що вільні канали метрового діапазону га, не використовувані в даному районі для ТВ-мовлення, заповнюються сигналами ТВ-програм дециметрового діапазону до шляхом їхнього перетворення по частоті (конвертування).

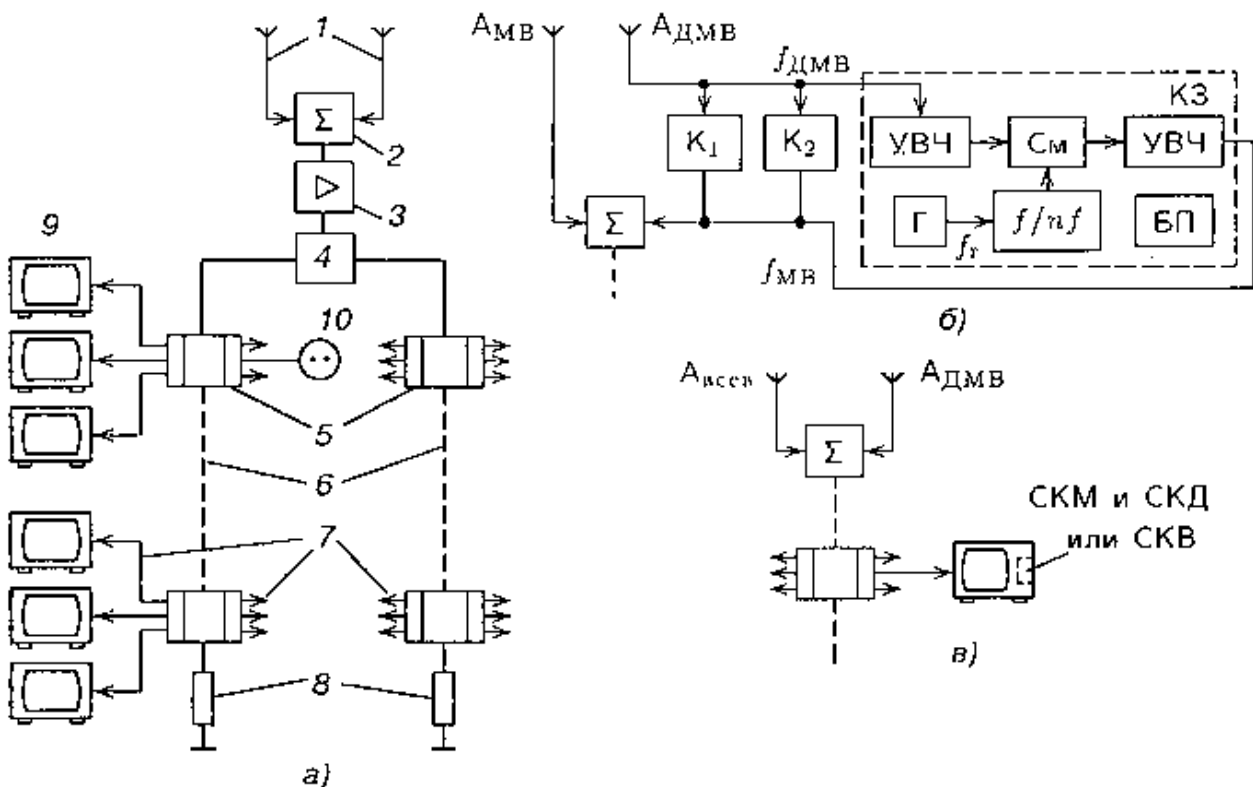


Рис. 9.9 – Структурна схема СКПТ

Для кожного каналу необхідний свій конвертор  $k/t$  (Рис. 9.9,б). Гідністю цього способу є те, що не слід переробляти існуючі мережі СКПТ. Ніяких змін у схемах ТВ-приймачів також не потрібно. Недолік полягає в обмеженні числа ТВ-каналів, тому що разом з діючими каналами метрового діапазону їх число теоретично не буде перевищувати 12, а практично – рівно 5 - 6 (з урахуванням існуючої практики чергування робітників і «неробочих» каналів для підвищення завадостійкості).

Сигнал, прийнятий на дециметрову антену ДЦМВ, надходить в УВЧ колективної приставки – конвертора  $k/t$  – і далі в змішувач С<sub>м</sub>, куди подаються також коливання першого гетеродину Г. Взаємне розташування несучих зображення й звуку приставка міняти не повинна, тому частота гетеродину повинна бути менше частоти прихожого сигналу. Стабільність частоти гетеродину досягається застосуванням кварцового генератора й наступним множенням однієї з його вищих гармонік. На виході змішувача виходить сигнал першої проміжної частоти, що відповідає одному з вільних каналів метрового діапазону. Цей сигнал підсилюється в додатковому УВЧ і подається на загальну розподільну мережу.

При другому способі приймання (Рис. 9.9,в) ТВ-сигнали передаються по розподільній мережі аж до ТВ-приймача безпосередньо в діапазоні ДМВ, без перетворення. Застосовується додаткова антена ДМВ або одна всехвильова антена. Число ТВ-каналів при цьому зростає й не обмежується ємністю 12-канального селектора каналів СКМ приймача. Це безсумнівна гідність такого способу, тому що поставлене завдання – збільшення числа каналів – тут вирішується без обмежень. Робота стандартних ТВ-приймачів забезпечується установкою в них блоків СКД. Природно, що замість двох селекторів каналів СКМ і СКД зручніше застосувати один всехвильовий блок ВКВ. У зв'язку з розширенням переданої смуги частот при використанні дециметрового діапазону ДРС вимагають корінної переробки.

Слід зазначити, що в СКПТ:

- якість зображення може погіршуватися за рахунок випереджальних повторів, що виникають у діапазоні МВ (де немає конвертування) внаслідок приймання на фідер ДРС і антенний вхід телевізора електромагнітних коливань від місцевих ТВ-радіопередавачів;
- перешкодозахищеність зменшується за рахунок застосування діапазонних і ширококутових антен;
- у діапазоні МВ можливе використання не більш шести робочих каналів.

Тому молено зробити вивід, що системи СКПТ не є перспективними. Більш кращі КСКПТ із кабельної РС (до 4 км) і магістральними підсилювачами (через 500 м), де комплекс передавального встаткування (головна станція – СГ) містить у собі каналні вузькопрямованих антени, каналні підсилювачі й каналні фільтри обраного каналу, де вико-

ристовується подвійне перетворення частоти ( $f_{П41} = 31,5...38$  МГц), застосовується УПЧ із фільтрами на ПАВ. У КСКПТ частотний набір сигналів ніколи не збігається з вихідним, тому сигнали передавачів наземного мовлення на якість зображення в абонентів кабельної мережі практично не впливають.

### 9.3 Супутникове телевізійне мовлення

*Космічне [супутникове] телебачення; космобачення* - передавання зображень між двома чи декількома наземними станціями через один чи декілька космічних [супутникових] ретрансляторів Під цим терміном звичайно розуміють складник телебачення, який реалізується в космічному [супутниковому] сегменті ТВ-тракту [9].

*Безпосереднє телевізійне мовлення; БТМ* - супутникове телевізійне мовлення з прямим прийманням ТВ-програм на приймальну систему глядача [9].

#### 9.3.1 Принципи побудови та функціонування ТВ віщання через ШСЗ

Перед розглядом супутникових і космічних телевізійних систем спочатку необхідно визначитися, що розуміється під супутниковим і космічним радіозв'язком.

Космічний радіозв'язок – це радіозв'язок, при якому використовуються космічні станції чи космічні об'єкти.

Супутниковий радіозв'язок – це зв'язок між наземними (повітряними, підводними) станціями через супутники-ретранслятори.

Таким чином, супутниковий радіозв'язок є особливим видом космічного радіозв'язку. Супутникові радіоканали через супутники-ретранслятори використовуються для радіозв'язку і телемовлення.

Розрізняють супутникове телебачення (через супутники-ретранслятори) і космічне телебачення – передачу телевізійних зображень з борту КА або космічної станції.

Узагальнену структурну схему супутникового телемовлення можна представити у вигляді, наведеному на рисунку 9.15. ТВ-сигнали від ретранслятору з штучного супутника Землі (ШСЗ) приймаються наземними приймальними пунктами (ПП) і, у залежності від типу і призначення ПП, передаються на регіональні ТВ-передавачі, кабельні розподільні мережі та на окремі індивідуальні або групові ТВ-приймачі.

Супутниковий ретранслятор, розташований високо над Землю, може одночасно обслуговувати велику територію, майже 1/3 поверхні Землі. Надійність систем супутникового мовлення досить велика: строк експлуатації ШСЗ досягає 3...7 і більше років.

Незважаючи на високу вартість виведення ШСЗ на орбіту, системи супутникового мовлення, завдяки низьким енергетичним затратам у

процесі експлуатації, себе повністю економічно виправдовують. Живлення здійснюється за рахунок сонячного світла (сонячні батареї). Затрати енергії на підтримання ШСЗ у заданій точці орбіти порівняно малі. Завдяки цьому системи супутникового мовлення економічно доцільні навіть для країн із порівняно невеликою територією і з добре розвинутими наземними засобами зв'язку та мовлення.

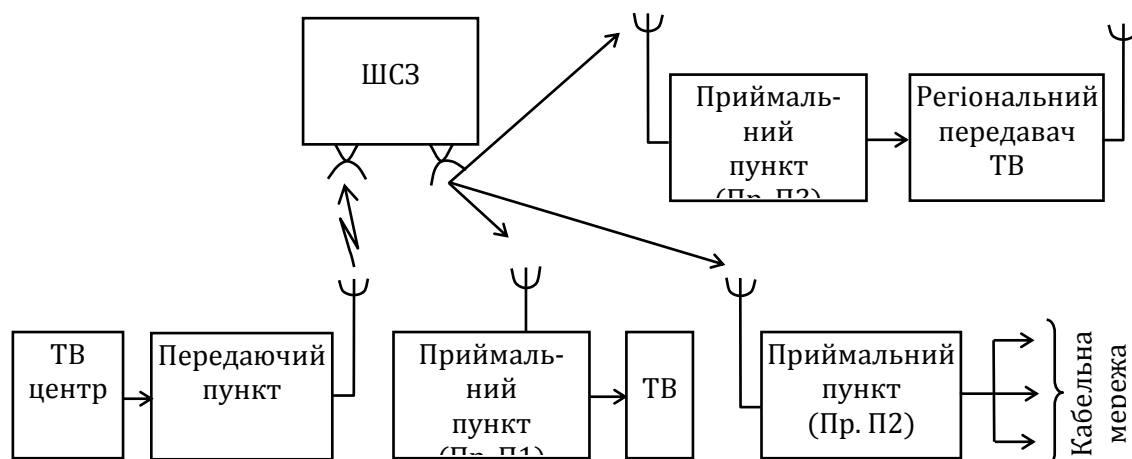


Рис. 9.10 – Узагальнена структурна схема супутникового ТВ-мовлення

Розрахунки показують, що вже на відстанях більше 200 км організація мовлення через ШСЗ економічно доцільна.

Перша ТВ-передача із США у Європу за допомогою супутника "Телестар-2" була здійснена у 1962 році. У 1965 році почала працювати радянська супутникова система зв'язку із супутників "Молния-1", на базі якої у 1967 року була створена перша в світі супутникова система ТВ-мовлення "Орбіта". Потім подібні системи з'явилися в інших країнах, наприклад в Канаді.

Центральна передаюча станція системи супутникового мовлення (ССМ) зазвичай являє собою потужний передавач з великою антеною (діаметр дзеркала 12-32 м), розташований десь за містом (для уникнення взаємних завад). Приймальні пункти, звичайно, значно менші за розмірами і часто розташовані безпосередньо у споживача програм. Бортові ретранслятори ШСЗ являють собою приймально-передаючий пристрій з перенесенням спектра, що має вихідну потужність від десятка до декількох сотень Ватт.

Важливу роль при створенні супутникових систем зв'язку і ТВ мовлення відіграє орбіта, на якій знаходиться супутник-ретранслятор.

Основними вимогами при виборі орбіти є: енергетичні можливості; час активного обслуговування; складність наземного обладнання.

Особливий інтерес викликають два типи орбіти, оскільки вони найбільш доцільні, а саме – геостаціонарна кругова та високоеліптична з нахилом.

Геостаціонарна кругова орбіта має такі параметри:

- віддалення від поверхні Землі  $H = 35875$  км;
- період обертання близько 24 годин.

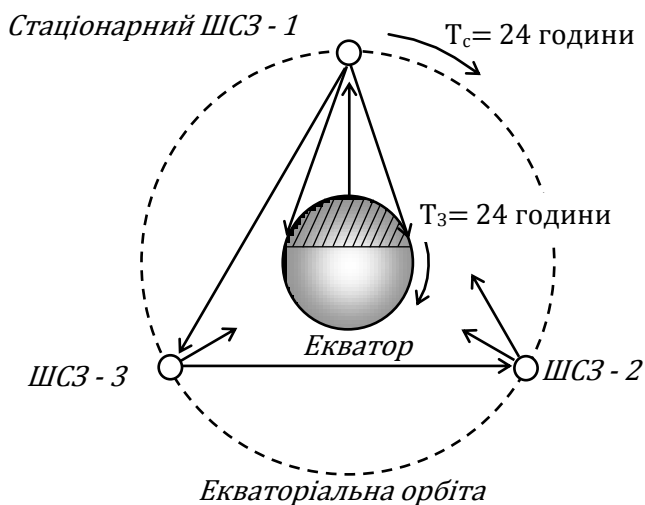


Рис. 9.11 – Схема розміщення трьох супутників-ретрансляторів ТВ-сигналу

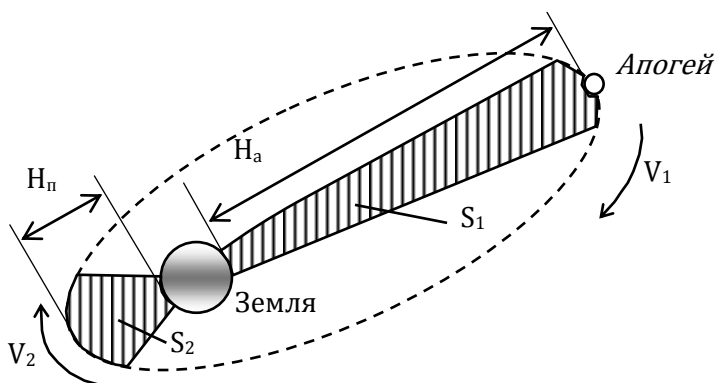


Рис. 9.12 – Високоеліптична орбіта супутника

Супутник, що запускається у площині екватора у бік обертання Землі з такими параметрами орбіти, буде знаходитись нерухомо над обраною точкою земної поверхні. Він дозволить обслуговувати ретрансльованим ТВ сигналом майже півсферу земної кулі (виключаючи області полюсів). Три супутники, рознесені на орбіті на  $120^\circ$ , можуть обслуговувати усю земну кулю (рис. 9.11). До переваг геостаціонарної орбіти слід віднести те, що:

- передаюча і приймальна антени наземних станцій постійно спрямовані в одну точку неба, що значно спрощує апаратуру пошуку та слідкування;
- відсутній ефект Доплера при передачі і прийманні сигналів.

Недолік орбіти полягає в тому, що не обслуговуються приполярні області.

Високоеліптична орбіта з нахилом з висотою в апогеї  $H_a = 40000$  км і в перигеї  $H_p = 500$  км наведена на рисунку 9.12. При таких параметрах орбіти період обертання складає  $T_{об} = 12$  годин.

Супутник "Молния-1" виводився на таку орбіту з кутом нахилу до площини екватора  $63-65^\circ$ . Робочий час мовлення через нього складає 8-9 годин. Для здійснення впевненої безперервної добової ретрансляції необхідно мати 4 супутники з 6-годинним зсувом.

Перевагою високоеліптичної орбіти є те, що при її використанні обслуговуються приполярні області.

До недоліків слід віднести:

- необхідність слідкування наземними приймальними і передаючими станціями за супутником на орбіті;



– необхідність використання на приймальних станціях компенсаторів ефекту Допплеру (пересування супутника на орбіті відносно наземної станції при передачі широкосмугових сигналів призводить до зміни несучої частоти і спотворення спектра сигналу);

– зміну зони ТВ-обслуговування (на одному оберті над СНД, на іншому – над Північною Америкою).

*Зона обслуговування* – це зона, у якій знаходяться або можуть знаходитись земні станції, виходячи із умов їх радіовидимості ШСЗ, необхідного потоку потужності і електромагнітної сумісності з іншими системами.

Радіочастотний спектр є міжнародним ресурсом. Його ефективним використанням займаються різні міжнародні організації і у першу чергу Міжнародний союз електрозв'язку (МСЕ) – один з органів ООН. Важливим робочим органом МСЕ є Всесвітня адміністративна радіо-конференція (ВАРК), яка розглядає питання Регламенту радіозв'язку. ВАРК у 1977 і 1979 роках у Женеві розглянула і затвердила практично усі питання стосовно супутникового радіо- і ТВ-мовлення, представлені у Регламенті радіозв'язку.

Регламент радіозв'язку рекомендує, щоб зона обслуговування була близькою до зони покриття (тобто зони, у якій утворюється необхідна щільність потоку потужності).

Зона видимості – це зона земної поверхні, з якої видно ШСЗ під кутом місця, більшим ніж мінімально допустимий ( $5^\circ$ ).

Вибір діапазону частот визначається умовами розповсюдження радіохвиль і елементною базою. Найбільш придатним для зв'язку за допомогою ШСЗ є УКХ діапазон.

У відповідності з Регламентом радіозв'язку для розподілу програм телемовлення через ШСЗ можуть використовуватись тільки певні відрізки УКХ діапазону для визначених районів земної поверхні:

- район 1 – Європа, Африка, СНД, Монголія;
- район 2 – Америка;
- район 3 – Азія без країн СНД і Монголії, Австралія.

У наш час для різних служб супутникового мовлення Регламентом радіозв'язку визначений діапазон частот від 600 МГц до 275 ГГц. Реально ж використовується діапазон частот до 35–40 ГГц.

Частотні діапазони КОСМОС – ЗЕМЛЯ: 620–790 МГц; 2500–2690 МГц; 3400–4200 МГц; 11,7–12,2 ГГц; 12,2–12,5 ГГц; 22,5–23 ГГц; 41–43 ГГц; 84–86 ГГц.

Частотні діапазони ЗЕМЛЯ – КОСМОС: 5725–6425 МГц; 7,9–8,4 ГГц; 10,95–11,2 ГГц; 12,5–12,75 ГГц; 14–14,5 ГГц; 17,3–18,1 ГГц. Найчастіше використовуються 4, 6, 11, 12 ГГц. ВАРК у 1977 році був розділений діапазон частот 11,7–12,5 ГГц і позиції ШСЗ на геостаціонарній орбіті від  $37^\circ$  з.д. до  $170^\circ$  с.д. Так, відстань між сусідніми позиціями складає  $6^\circ$ , (за винятком  $5^\circ$  між  $29^\circ$  с.д. і  $34^\circ$  с.д. та  $4^\circ$  між  $34^\circ$  і  $38^\circ$  с.д.).

Смуга частот 11,7–12,5 ГГц розділена на 40 частотних каналів з рознесенням 19,18 МГц, але завдяки багаторазовому використанню каналів удалося забезпечити їхнє загальне число, рівне 984. Ширина смуги каналу 27 МГц. Залишені також захисні поля 14 МГц на нижньому кінці діапазону і 11 МГц – на верхньому, що забезпечують надійний захист для служб, що використовують сусідні діапазони частот. Захисна смуга визначається як частина частотного спектра між краєм смуги, що розподіляється, і краєм необхідної смуги випромінювання найближчого каналу. Для передачі сигналів ТВ віщання рекомендований метод ЧМ. Для колишнього СРСР на геостаціонарній орбіті передбачено п'ять позицій (23, 44, 74, 110 й 140° с.д.) і 36 номіналів частот, що забезпечує можливість одночасної передачі 70 ТВ програм (з урахуванням територіального розносу між каналами з однаковими частотами).

Так, для України виділена позиція ШСЗ на геостаціонарній орбіті 23° с.д. і три канали мовлення 29 (12264,52 МГц), 33 (12341,24 МГц) і 37 (12417,96 МГц).

Для передачі сигналів у супутниковому телебаченні найбільше розповсюдження у наш час отримала частотна модуляція завдяки більшій завадостійкості. АМ же із-за напруженого енергетичного балансу супутникових ліній і значного рівня взаємних завад, а також низької завадостійкості, розповсюдження не отримала.

Прийнято, що відеосигнал разом із піднесівним коливанням, яке частотно-модульована сигналом звуку, модулюють частоту несучого сигналу, що лежить у діапазоні НВЧ. Ширина еквівалентної смуги модульованого сигналу, як вже відмічалось, складає 27 МГц.

Різниця між частотами сусідніх каналів складає 19,18 МГц, вона менше ширини каналів. Унаслідок цього трохи зростають міжканальні інтерференційні завади, але велике число каналів дозволяє зменшити завади загальних (спільних) каналів. Несуча частота каналів, МГц,

$$f_n = 11708,30 + 19,18 \cdot n,$$

де  $n$  – номер каналу.

Для кращого використання електромагнітного спектра використовується право- і лівостороння кругова поляризація, при цьому ті самі частотні канали використовуються для передачі двох сигналів із протилежною поляризацією.

Типовий поділ НВЧ сигналів, прийнятих з ШСЗ зв'язку за частотами та поляризацією, приведений на рис. 9.13. Парні канали мають один вид поляризації, непарні – протилежний. Видно, що сусідні канали перекриваються, але це відбувається на краях спектра сигналів, тому їхній взаємовплив малий. Крім того, поляризаційна розв'язка послабляє взаємовплив більш ніж у 100 разів. У практиці космічного телебачення сусідні канали на одному супутнику звичайно не задіють.

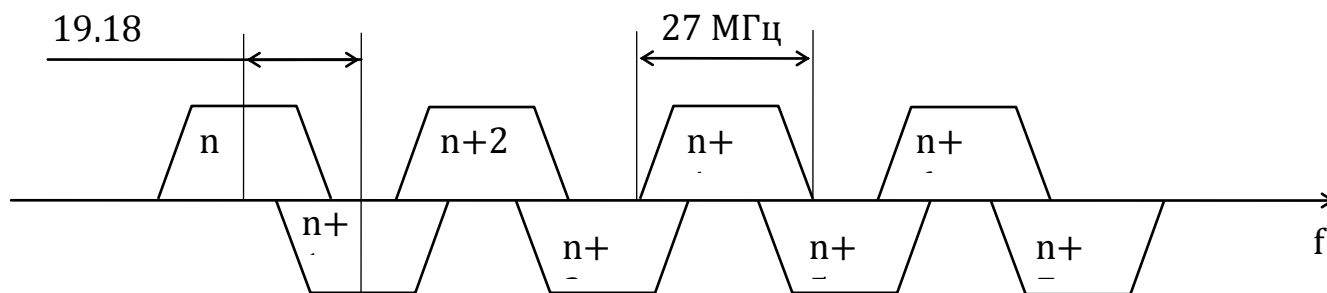


Рис. 9.13 – Розбивка каналів у сучасних системах супутникового ТВ

Перспективним способом передачі ТВ-сигналів є перетворення сигналів у дискретну форму з наступною передачею за допомогою фазової маніпуляції.

### 9.3.2 Системи супутникового ТВ-мовлення

Перша у світі система супутникового ТВ-мовлення "Орбіта" була створена у 1967 році. У наш час використовується супутник-ретранслятор "Молния-3" з широкою мережею наземних станцій "Орбіта-2" (близько 80 одиниць).

Характеристики системи "Орбіта":

- супутники "Молния" знаходяться на високоеліптичних орбітах з кутом нахилу  $65^\circ$ ,

- $T_{об.} = 12$  годин;

- частота каналу "земля-космос"  $f_{з-к} - 6$  ГГц;

- частота каналу "космос-земля"  $f_{к-з} - 4$  ГГц;

- потужність наземного передавача  $P_{прд з.} - 10$  кВт;

- потужність бортового передавача  $P_{прд б.} - 40$  Вт;

- вид модуляції зображення і звуку – ЧМ;

- приймальна антена - параболічна дводзеркальна, діаметром 12 м.

Отримана ТВ-програма передається на місцевий телецентр.

З метою охоплення більшої території колишнього СРСР була розроблена система "Москва" 6/4 ГГц, яка використовує геостаціонарні ШСЗ "Горизонт".

Характеристики системи "Москва":

- потужність бортового передавача - 40 Вт;

- вузькоспрямована (параболічна) передаюча антена;

- приймальна антена (параболічна) з діаметром 2,5 м.

У комплект приймальної станції "Москва" можуть входити ретранслятори у метровому або дециметровому діапазоні хвиль стандартного ТВ-мовлення і підсилувачі для кабельної мережі.

Міжнародні та закордонні супутникові системи ТВ-мовлення:

Система "Интерсупутник" (ТВ стандарт SECAM) побудована колишніми країнами соціалістичного табору на базі оренди каналів зв'язку

ШСЗ "Горизонт". Використовується для обміну ТВ програмами і ТВ новинами.

Система "Intelsat". Входять США та країни американської орієнтації. Використовуються ШСЗ "Intelsat", "Intelsat-4", "Intelsat-4A" – діапазон 6/4 ГГц.

"Intelsat-5" (діапазон 14/11 ГГц) обслуговує Європу і Азію. Потужність бортового передавача 10 Вт. Мінімальний діаметр приймальних антен 2,7 м.

Система "Eutelsat" утворена західноєвропейськими країнами і використовує ШСЗ ECS-1, ECS-2 (європейський супутник зв'язку). Діапазон 14/11 ГГц. Потужність бортового передавача 20 Вт. Мінімальний діаметр приймальних антен 3,0 м.

### 9.3.3 Приймання програм супутникового телебачення

У наш час інтенсивне розвиваються системи індивідуального супутникового ТВ-прийому. У країнах СНД розроблені системи СТВ-11 (10,95-11,7 ГГц), СТВ-12 (11,7-12,5 ГГц).

У цілому супутникові системи ТВ-мовлення можна розділити на дві служби:

- фіксовану, із спеціальними станціями, розташованими у фіксованих пунктах ("Москва", "Intelsat", "Eutelsat");
- радіомовну, призначену для забезпечення приймання ТВ-програм безпосередньо населенням.

Розглянемо радіомовну супутникову систему. До складу приймального пристрою індивідуального супутникового ТВ-прийому входять (див. рис.9.14):

- антена;
- зовнішній блок (конвертер);
- внутрішній блок (тюнер);
- формувач ТВ-сигналу (у складі внутрішнього блока).

Загальноприйнятою для приймальних установок супутникового телебачення в діапазоні частот 11...12 ГГц є схема з подвійним перетворенням частоти.

До складу антени входять: випромінювач, пристрій вибору поляризації, рефлектор, пристрій наведення з механічним приводом (позиціонер). Сигнал від ШСЗ, прийнятий антеною системою в діапазоні частот 10,95...11,7 або 11,7...12,5 ГГц (потужність близько 3 пВт із телекомунікаційних супутників і близько 150 пВт із віщальних супутників), проходить через блок вибору виду поляризації і надходить на вхід конвертора. Цей блок, звичайно, має невеликі габарити, наприклад 40x40x100 мм, і встановлюється безпосередньо на антену шляхом кріплення до фланця поляризатора. Це робиться з метою мінімізації втрат у вхідному хвилеводному тракті і відповідному зниженні вхідної шумової температури приймальної системи.

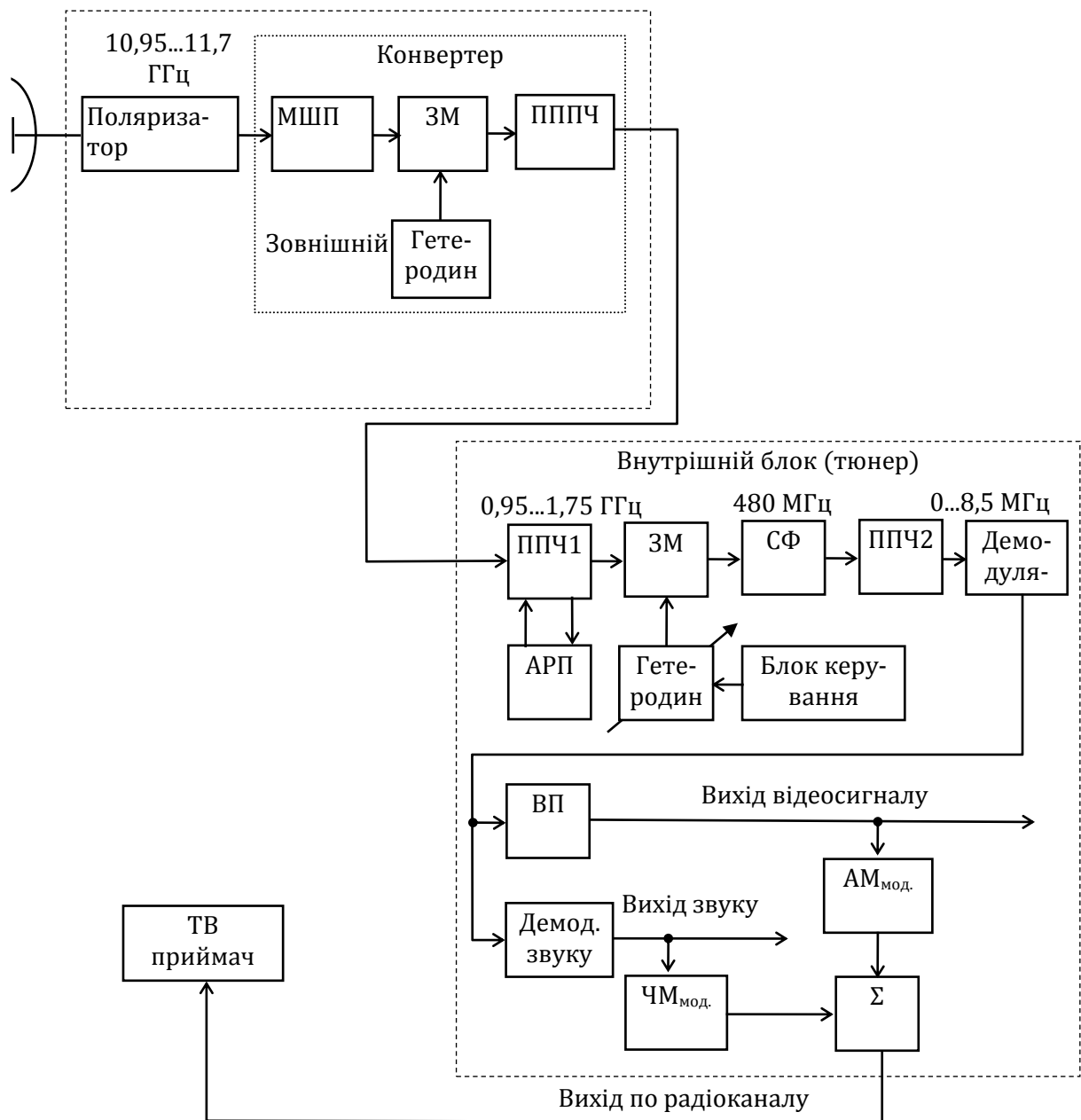


Рис.9.14 – Структурна схема індивідуальної приймальної установки

До складу конвертора входять малошумний підсилювач (МШП) з фільтром, перетворювач частоти (змішувач – ЗМ) з гетеродином, стабілізованим діелектричним резонатором, попередній підсилювач проміжної частоти (ПППЧ). Після першого перетворення прийнятий сигнал розміщується в діапазоні 0,95...1,75 ГГц, підсилюється і по коаксіальному кабелю передається на вхід внутрішнього блока. Цей блок може виконуватись у вигляді єдиної конструкції з антеною.

На вході внутрішнього блока встановлюють НВЧ з'єднувач типу N або найчастіше – спеціально розроблений для цієї мети спрощений з'єднувач типу F, розрахований на безпосереднє з'єднання з коаксіальним

кабелем без пайки. Малошумний підсилювач повинний забезпечувати підсилення 25...30 дБ у всій робочій смузі, тобто в діапазоні 10,9...11,7 або 11,7...12,5 ГГц, коефіцієнт шуму МШП повинний бути мінімальним. Зараз більшість фірм-виробників випускають МШП із шумами менш 1 дБ. Коефіцієнт шуму підсилювача характеризує добавку в співвідношення сигнал/шум, що дає підсилювач.

У внутрішньому блоці відбувається друге перетворення частоти. У більшості європейських країн прийняте значення другої ПЧ 480, у США – 612 МГц.

Вибір бажаної програми забезпечується настроюванням гетеродина другого перетворювача на частоту прийнятого сигналу за допомогою блоку керування. Гетеродин, що перебудовується, звичайно працює в діапазоні 1,4...2,2 ГГц і виконується на варакторах. Синхронно з гетеродином перебудовується і включений в ППЧ1 фільтр (преселектор). Фільтр пропускає необхідний канал з ослабленням 3...6 дБ і придушує всі інші частоти до -28...-30 дБ.

Обов'язково до складу блока входить ефективна АРП з глибиною регулювання 25-30 дБ для забезпечення нормального функціонування у різних умовах (довжина кабелю, погода).

Смуговий фільтр (СФ) забезпечує необхідну селективність. Найбільше часто для цього застосовують фільтри на поверхнево-акустичних хвилях (ПАХ), хоча вони мають велике ослаблення в робочій смузі пропускання. В окремих моделях тюнерів застосовують декілька СПФ із різними смугами і комутують їх для регулювання смуги.

Частотний демодулятор є одним з найбільш відповідальних вузлів внутрішнього блоку. Найбільш проста схема – частотний детектор на розстроєних контурах – використовується лише в радіоаматорських конструкціях. У сучасних промислових тюнерах у якості частотного демодулятора, звичайно, застосовують синхронно-фазові детектори з слідкуючим контуром, що мають порогові відношення сигнал/шум 6...10 дБ.

На виході демодулятора виходить композитний сигнал у стандарті PAL, SECAM або систем MAC (телебачення високої чіткості) разом із сигналами піднесучих коливачів звуку. З композитного сигналу виділяються відеосигнали у вигляді сигналів основних кольорів R, G, B або у вигляді сигналів Y, U, V. Ці сигнали разом із сигналами звуку підводяться до з'єднувача типу BNS-75 Ом або універсального з'єднувача типу "Euroconnector" (SCART) стандартного ТВ приймача. Для приймачів старого типу, що не мають такого входу, тюнер постачають амплітудним модулятором (див. рис. 8.5), що дозволяє створювати ТВ радіосигнал у діапазоні УКХ (стандарт PAL або SECAM), що потім підводиться до антенного гнізда стандартного ТВ приймача. Додаткові виходи внутрішнього блока передбачені для подачі відеосигналу і сигналу звукового супроводу (у ряді випадків і звукового стереомовлення) на спеціальні входи

телевізора, відеомагнітофона, DVD-рекодеру або стереосистеми.

У закордонних супутникових приймальних пристроях широко використовуються спеціальні мікросхеми або гібридне-інтегральні модулі, що реалізують функції окремих вузлів конвертера і тюнера, наприклад МШП, змішувача, гетеродину, ППЧ, ФД.

Велика увага приділяється сервісним функціям: автоматичному вибору каналу, поляризації, управлінню антеною. У багатьох пристроях передбачений блок ДУ.

Окремі канали можуть бути закодовані і потрібний спеціальний дешифратор.

## **9.4 Особливості побудови і функціонування космічного телебачення.**

### **9.4.1 Класифікація систем космічного телебачення**

Як вже раніше відмічалось, космічне телебачення це телебачення, при якому використовуються космічні станції або космічні об'єкти.

Начало космічному телебаченню було покладено у 1959 році запуском космічної автоматичної станції "Луна-3" з ТВ-апаратурою на борту для зйомки зворотного боку Місяця.

У 1960 році супутник "Тирос" (США) вперше виконав метеорологічну ТВ-зйомку.

У 1962 році пряма ТВ-передача із космосу з борту "Востока" зображень космонавтів А.Г. Ніколаєва і П.Р. Поповича у робочій обстановці.

У наш час системи космічного телебачення є важливим практичним засобом за допомогою якого можна отримати найбільший об'єм інформації з автоматичних КА, що направляються до об'єктів Сонячної системи.

За характером задач, що вирішуються, космічні ТВ-системи класифікують так:

- системи огляду земної поверхні;
- системи метеорологічного спостереження хмарного покриття Землі;
- системи спостереження поверхні Місяця та планет Сонячної системи;
- системи контролю стану космонавтів і бортової апаратури КА;
- системи слідкування і контролю стану космічних апаратів з борту іншого КА;
- системи астрономічних спостережень.

За технічними характеристиками основних пристроїв космічні ТВ-системи можна розділити на такі групи:

#### **1. За типом розгортки:**

- механічні;
- електронні.

Механічними ТВ-системами називають системи, у яких розгортка зображення на передаючому і приймальному боці здійснюється за допомогою механічних пристроїв. Така розгортка є малошвидкою, однак для багатьох телесистем її швидкість допустима. Ця розгортка може бути реалізована шляхом переміщення фотоперетворювача при точній орієнтації КА, а також шляхом обертання КА при фіксованому положенні фотоперетворювача.

Електронними ТВ-системами називають системи, у яких розгортка зображення здійснюється, як правило, за допомогою скануючого електронного променя.

2. За типом накопичувача:

- з електронним накопичувачем;
- з фотоплівкою (фототелевізійні).

Системи з електронним накопичувачем - це системи, які використовують ПТТ (відікон, секон, дисектор та ін.). За структурою накопичувача системи розділяються на системи з одноелементним накопиченням, з рядковим накопиченням та з кадровим накопиченням.

До фототелевізійних відносять системи, які у якості накопичувача енергії світлового потоку від зображення використовують фотоплівку. Проявлена, зафіксована плівка подається до пристрою зчитування, де зображення перетворюється в електричний сигнал.

3. За часовими процесами перетворення відеоінформації:

- з одночасними процесами накопичення і зчитування;
- з відокремленими процесами накопичення і зчитування.

4. За шириною спектра відеосигналу:

- широкосмугові;
- вузькосмугові.

5. За принципом побудови і способом формування сигналів розрізняють:

- широкосмугові (багатокадрові) телевізійні системи;
- малокадрові системи;
- фототелевізійні (однокадрові) системи.

#### **9.4.2 Особливості побудування систем космічного телебачення**

ТВ-система для космічних цілей являє собою складний комплекс, який складається з бортових телевізійних, телеметричних і командних пристроїв, каналу зв'язку та наземних пристроїв, що перетворюють ТВ-сигнал у візуальну інформацію для космічних служб або забезпечують введення цього сигналу у мережу ТВ-мовлення.

Вимоги до бортових та наземних пристроїв суттєво відрізняються. Бортова апаратура повинна бути максимально простою навіть за рахунок ускладнення наземної. Мінімум втрат унікальної відеоінформації при прийманні її з космосу виправдовує складність наземних пристроїв.



Що до каналу зв'язку, то слід відмітити його особливість - надзвичайну протяжність. Вже при сучасних космічних польотах ТВ-зв'язок підтримувався на відстанях порядку мільярда кілометрів (з району Юпітера).

При космічних відстанях головну роль відіграє потужність бортового передавача і чутливість наземного приймального пристрою. Потужність бортового передавача обмежена, тому для досягнення потрібного відношення сигнал/шум на вході приймального пристрою необхідно звужувати смугу частот радіоканалу.

З відомого виразу К. Шеннона для пропускної здатності каналу

$$C = \Delta f \cdot \log_2 (1 + P_c/P_{\text{ш}})$$

можна побачити, що із зменшенням смуги пропускання каналу його пропускна здатність також зменшується. А виходячи з рівняння загальної теорії зв'язку для об'єму інформації, що передається у каналі

$$V = \Delta f \cdot t \cdot \log_2 (P_c/P_{\text{ш}}),$$

де  $t$  - час передачі сигналу. Виходить, що для передачі потрібного об'єму інформації необхідно збільшити час передачі. У такому випадку стає складніше, а при подальшому зменшенні смуги і взагалі неможливо передавати ТВ-зображення у реальному масштабі часу.

Для того, щоб розташувати спектр ТВ-сигналу у вузькосмуговому каналі зв'язку необхідно спектр сигналу звужувати за рахунок зменшення частоти зміни кадрів і числа рядків. Такі ТВ-системи називають *малокадровими*.

При неможливості розташування спектра сигналу у каналі зв'язку здійснюється запам'ятовування отриманого зображення у бортовому накопичувачі з наступною повільною передачею у вузькосмуговому каналі.

При значному сповільненні передачі сигналів зображення в аналоговій формі можливе значне спотворення інформації за рахунок пульсацій при зчитуванні сигналу із ЗП. У цьому випадку на КА для дослідження далекого космосу застосовуються цифрові лінії зв'язку "космос-земля". При передачі цифрової інформації помилки виникають лише при перетворенні сигналів із аналогової форми у цифрову. Сама радіолінія спотворень у сигнали, що передаються, майже не вносить. Перевагою системи з цифровою передачею інформації є зручність обробки інформації.

Так, наприклад, на космічному апараті "Маринер-4" (при дослідженні поверхні Марса) у телесистемі час передачі одного кадру складав

8,5 годин при кількості рядків 200. Запам'ятовування отриманих зображень на борту також застосовується при періодичній відсутності прямої видимості між передавачем і приймачем.

У відкритому космосі робота бортової апаратури здійснюється в умовах високого вакууму і при впливі опромінювання. При конструюванні та експлуатації слід мати на увазі, що у космічному вакуумі (у 10-100 мільйонів разів вище кращого лабораторного вакууму) здійснюється взаємна дифузія металів, звичайні мастильні речовини розпилюються, рідина вивітрюється, виникає коронний розряд у високовольтних пристроях і т. ін. Тому запобігають тертьових контактів або підбирають спеціальне мастило, а проміжки між блоками та елементами заповнюють спеціальною пластмасою.

Складну проблему являють процеси терморегулювання у вакуумі при значних перепадах температур у випадку переходу з освітленої області простору у тінюву, а також захист від космічного випромінювання. При тривалому знаходженні у космосі прозорі плівки, оптичні дзеркала, кінострічка темніють від впливу радіації, космічного пилу від мікрометеоритів, тому потрібні спеціальні оптичні дзеркала, а у деяких випадках герметизація апаратури.

Не менш важливою проблемою є енергоживлення бортової апаратури та її надійність при перевантаженнях, що виникають під час запуску ракети-носія і посадки на поверхню планет. Споживання електроенергії повинно бути мінімально можливим та узгодженим з потрібним строком служби. У випадку короткочасної роботи (кілька діб) передавачі невеликої потужності можуть житись від хімічних джерел. Кращі з них - срібно-цинкові (питома ємність 120 Вт·г/кг) та срібно-кадмієві (75-100 Вт·г/кг) елементи.

При тривалій роботі бортової апаратури знайшли застосування сонячні батареї з кремнієвих елементів у поєднанні з буферними АКБ. Віддача кремнієвих елементів за щільністю потужності складає приблизно 0,7 Вт/дм<sup>2</sup> площини, що опромінюється. Недоліками сонячної батареї є низький ККД (до 23 %) і можливий вплив радіації та мікро-метеоритів.

Тому, включаючи загальні вимоги до радіотехнічних пристроїв, при конструюванні та технологічній розробці бортової апаратури основними вимогами є:

- працездатність в умовах високого вакууму і активного опромінювання;
- здатність до перевантажень;
- мале споживання електроенергії;
- експлуатаційна надійність;
- мали габарити і вага;
- тривалий строк служби;
- перекриття космічної дальності.

У загальному вигляді система космічного ТВ складається з комплексу пристроїв, що представлені на структурній схемі пристроїв космічного телевізійного зв'язку (рис.9.6). Бортовий пристрій складається з передаючої камери та ТВ-каналу. Останній розміщується в середині автоматичної міжпланетної станції (АМС), а камера - інколи і зовні станції.

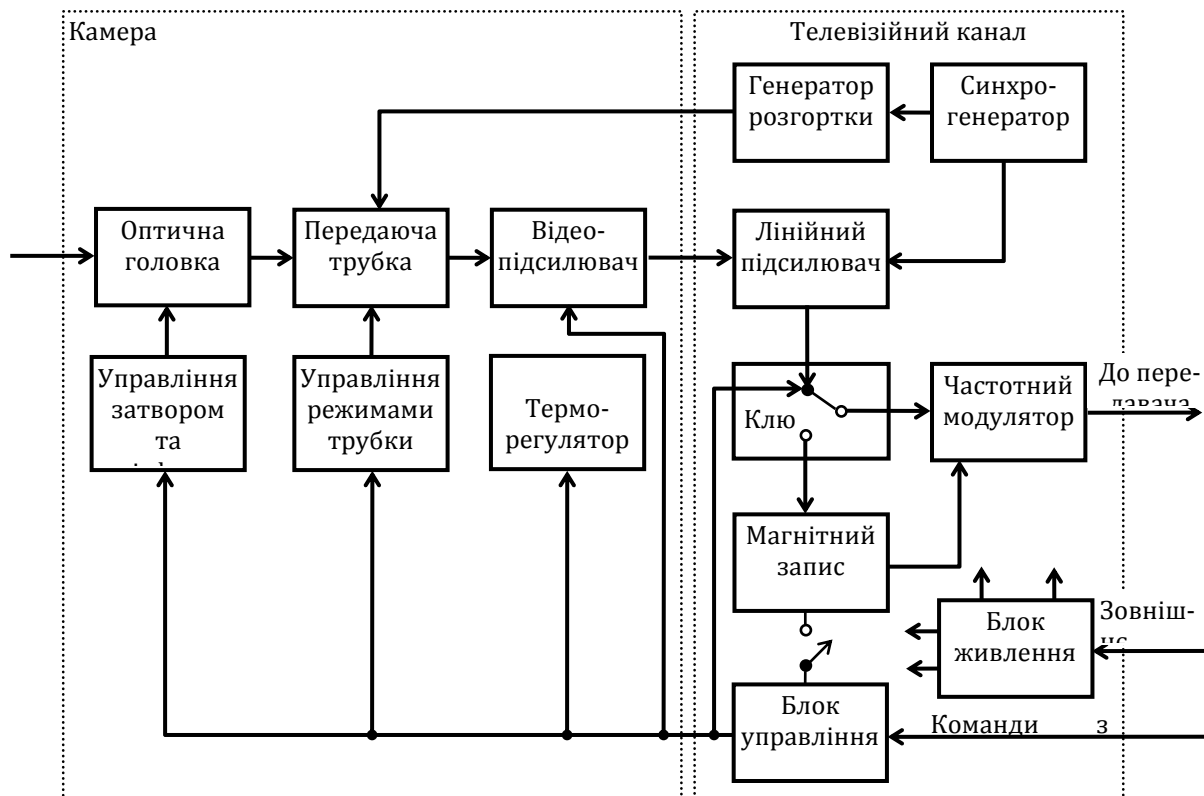


Рис.9.15, а – Структурна схема бортового пристрою космічного ТВ-зв'язку

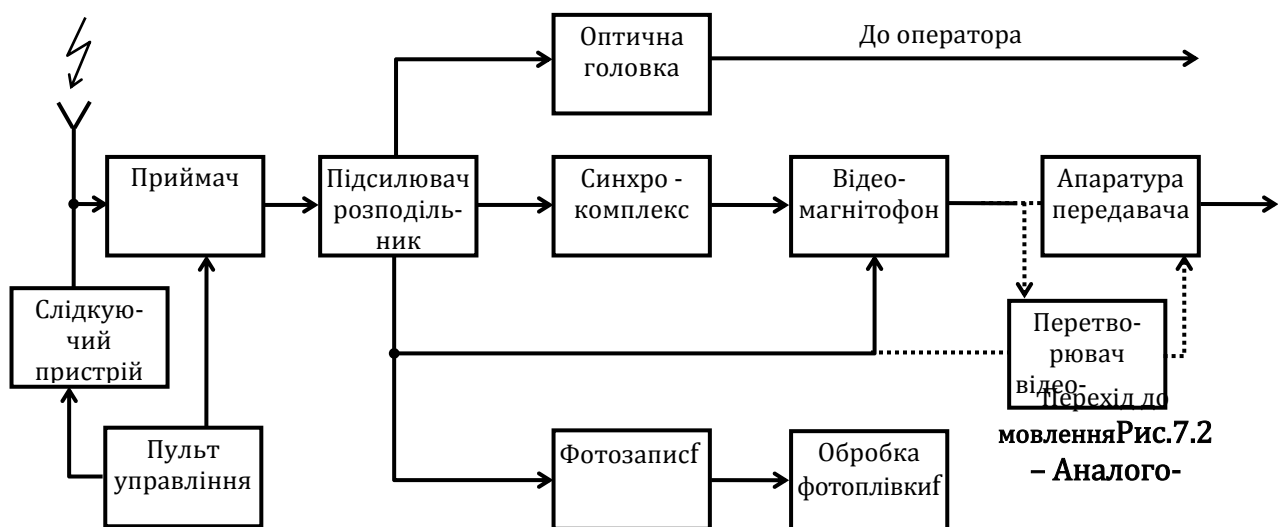


Рис.9.15, б – Структурна схема приймального пристрою космічного телевізійного зв'язку наземного приймального пункту

За командою з Землі включається бортовий передавач і здійснюється ряд регулювань системи. ТВ-інформація передається або безпосередньо, або із запису.

У приймальному пристрої антена слідкуючого типу звичайно має велику активну площину і має привід для слідкування. Внаслідок унікальності ТВ-інформації з космосу, вона, крім візуального спостереження, документується на кіноплівці та відеомагнітофоні.

У кожному конкретному випадку до ТВ-апаратури при вирішенні поставленої задачі висуваються і деякі специфічні вимоги.

Так, ТВ-апаратура для спостереження (огляду) земної поверхні і її хмарної заволоки встановлюється на ШСЗ. У таких системах відстань радіозв'язку невелика у порівнянні з відстанями до об'єктів, що розташовані у далекому космосі. Це дозволяє використовувати більш широкосмугові ТВ-системи, які забезпечують передачу більшої кількості інформації за одиницю часу.

Основні вимоги до ND-систем огляду земної поверхні такі:

- висока розрізнявальна здатність (до сантиметрів);
- необхідність передавання великих об'ємів інформації, що міститься в одному кадрі зображення;
- здатність роботи ТВ-систем у широкому діапазоні змін освітленості.

Від ТВ-систем, призначених для метеоспостережень, потрібна менша розрізнявальна здатність ( $\sim 1$  км). ТВ-системи для спостереження і дослідження об'єктів космічного простору функціонують в автоматичному режимі. Враховуючи велику віддаленість і тривалість польоту, апаратура таких систем розраховується на тривалу роботу без оператора. Тому до неї пред'являються високі вимоги щодо надійності роботи.

Основною вимогою до систем контролю стану космонавтів і бортової апаратури КА, слідкування і контролю стану космічних апаратів з борту іншого КА та систем астрономічних спостережень є здатність працювати в умовах низької освітленості.

У всіх випадках можуть застосовуватися як чорно-білі, так і кольорові системи космічного ТВ.

Системи космічного кольорового телебачення (СККТБ) дозволяють отримувати інформацію про колір об'єктів, що спостерігаються, або про спектральний склад їх випромінювання.

За принципом побудови, способами формування сигналів і задачами, що виконуються, СККТБ розділяються на три групи:

малокадрові СККТБ, які забезпечують безпосередню передачу кольорових зображень у вузькій смузі частот;

фототелевізійні системи, які використовуються при дослідженнях поверхні планет Сонячної системи;

широкосмугові (багатокадрові) СККТБ, які використовуються у близькому космосі для передачі зображення кольорових рухомих об'єктів і сюжетів, що швидко змінюються.

Малокадрові СККТБ реалізуються шляхом використання послідовної передачі кадрів (полів) кольоророзділених зображень. Спектр сигналу, що надходить від об'єкта, розділяється на три ділянки (червону, синю і зелену) й потім послідовно передається.

Для відтворення кольорового зображення на приймальному боці відеосигнали кольоророзділених кадрів реєструються окремими елементами пристрою магнітного запису, після чого виконується їх одночасне зчитування і сумісне відтворення зображень кольоророзділених полів на екрані кольорового ВКП.

При організації кольорових телепередач при польотах на Місяць за програмою "Аполлон" для отримання кольоророзділених полів застосовувалась ТВ-камера з встановленим диском з трьома світлофільтрами - R,G,B, що обертається.

Вага такої камери складає 4,5 кг. Частота зміни фільтрів - 60 Гц. Частота передачі повних кольорових кадрів - 10 Гц (при 320 рядках розкладення). Сигнали кольоророзділених кадрів передавались на Землю по каналу  $\Delta f = 2$  МГц. Потужність передавача 20 Вт.

Фототелевізійні СККТБ реалізуються так само, за винятком того, що зображення фотографується на кольорову плівку, а потім кольорове фотозображення розгортається електронним променем. При цьому формуються сигнали кольоророзділених зображень, які по лініях зв'язку передаються на приймальний пункт.

фототелевізійні системи дозволяють отримувати найкращий ступінь розрізнення зображень.

Багатокадрові СККТБ можна реалізувати, якщо є можливість забезпечити необхідне відношення сигнал/шум у широкій смузі частот, тобто у близькому космосі. Звичайно смуга частот радіоканалу багатокадрових СККТБ  $\Delta f = 2 - 2,5$  МГц.

### **9.5 Перспективи розвитку систем оповіщення населення про надзвичайні ситуації на основі мовного телебачення**

В умовах зростання терористичних погроз, а також природних і техногенних катастроф завдання надійного оповіщення населення стає усе більш актуальним. У реальних екстремальних ситуаціях традиційні засоби оповіщення населення при несприятливому збігу обставин не зможуть виконувати покладені на них завдання. Для підвищення надійності оповіщення пропонується використовувати мережі цифрового віщання DVB-T2 із прийманням сигналів на мобільні термінали.

У наші дні доведення до населення сигналів оповіщення й екстреної інформації про надзвичайні ситуації (НС) набуває першорядного значення. Сучасні системи масового оповіщення, поза тим що подають звукові сигнали (сирени, гучномовний зв'язок у приміщеннях). у більшості випа-

дків для оповіщення населення використовують телевізійне вішання й мережі стільниковому зв'язку. Передбачається, що внаслідок наявності в базових станціях стільникового зв'язку й ТВ передавачів системи резервування електроживлення (акумулятори й дизель-генератори з аварійним запасом палива) передавальні мережі при виникненні НС збережуть стійкість і зуміють вчасно передати сигнали оповіщення населенню.

Однак вітчизняний і міжнародний досвід показує, що в екстремальних ситуаціях мережі електроживлення нерідко знеструмлюються (яскравий приклад – аварія 11 березня 2011 р. на АЕС «Фукусіма» у Японії). Як наслідок, екрани телевізорів гаснуть і населення втрачає можливість одержувати оперативну інформацію з мереж телемовлення навіть при наявності ТВ сигналу в ефірі. Аналогічно й у мережах телефонного й стільникового зв'язку при надзвичайних ситуаціях спостерігається різкий сплеск трафіка, у результаті чого вони, як правило, «падають» від перевантаження. (Як відомо, 22 листопада 1463 г. пости замаху на президента США Дж. Кеннеді весь телефонний зв'язок у країні на кілька годин повністю вийшла з ладу внаслідок лавноподібного росту числа дзвінків.) Крім того, при проведенні контртерористичних операцій силові відомства звичайно глушать роботу мереж стільниковому зв'язку й інших радіозасобів на прилягаючій території. У результаті громадяни, в цьому районі, втрачають можливість одержувати інформацію за допомогою стільникового зв'язку. Наведені приклади показують, що в реальних екстремальних умовах традиційні засоби оповіщення населення при несприятливому ступені й обставин не зможуть виконати покладені на них функції. Однак безпеки багато не буває, і, більше того, безпека громадян є одним з вищих пріоритетів будь-якої держави, тому розробка високонадійних систем оповіщення на додаток до вже розгорнутих мереж надзвичайно важлива.



Рис. 9. 16 –Стільниковий телефон-мобільний телевізор ISDU-T911SH фірми Sharp

*Приймання телепрограм на мобільні термінали.* Вивчення закордонного досвіду і його творче застосування до наших реалій показують, що проблема розв'язувана. Так, наприклад, у Японії – країні перманентних стихійних лих (той землетрусу, то цунамі), де питання ефективності цивільної оборони взагалі й систем оповіщення населення зокрема мають особливе, без перебільшення сказати, життєво важливе значення, місцеві служби цивільної оборони підтримують трохи дублюючих один одного систем оповіщення (Рис. 9. 16).

Зокрема, у систему японського ефірного цифрового телебачення IS DB-

Т споконвічно закладена можливість приймання телепрограм на мобільні термінали. Тому японці можуть переглядати їх на стільникових телефонах (у моделях із вбудованим прийомним модулем JSDB-T). С обліком досягнутого рівня розвитку електроніки різниця у вартості стільникових «трубок» із вбудованим приймачем ISDB-T і моделей без такого приймача стає значно мала. Природно, що такі стільникові телефони в Японії досить поширені (рис. 9.17).



Рис. 9. 17 – Японські стільникові телефони Willcom 03 с функцією мобільного приймання цифрового ТВ

Інше питання, що у звичайному житті мало хто із власників тілі стільникового телефону буде користуватися цією функцією. Хоча б тому, що більшість операторів стільниковому зв'язку в якості бонусу й без цього пропонують своїм абонентам можливість перегляду ТВ програм, переданих у складі IP-потоків у мережах 3G і 4G (LXE). Вартість цієї послуги постійно знижується, у той час як кількість прийнятих телепрограм і їх якість безперервно ростуть.

Однак, як відзначено вище в надзвичайних умовах уся ця ідилія може звалитися, у прямому й переносному значенні слова, буквально відразу. І тоді (не дай боже, звичайно) приймання спеціальних випусків телепрограм на мобільні термінали (стільникові телефони й автомобільні цифрові ТВ приймачі) може стати чи не єдиним каналом екстреного оповіщення населення. Тим більше що більшість смартфонів цілком можуть простягнути доба-двоє без підзарядки акумулятора. У більшості випадків цього цілком достатньо, щоб уряд країни, служби цивільної оборони почали першочергові негайні заходи й проінформували про них населення. Таким чином, за умови наявності в населення мобільних телефонів з функцією приймання програм цифрового вішання надійність їх оповіщення в екстремальних ситуаціях суттєво підвищиться.

*Цифрове ТВ-мовлення.* Поряд зі стільниковими телефонами для масової системи оповіщення досить придалися б і автомобільні цифрові телевізори. Десятки мільйонів наших співгромадян значну частину дня проводять в автомобілі. Хоча б по шляху на роботу й назад. Тому завдання їх оперативного оповіщення про різні екстремальні ситуації ще більш актуальна, чим для «стаціонарних» громадян, що перебувають на вулиці або усередині приміщень (Рис. 9.18).

На перший погляд, проблеми отут ніякий ні, тому що практично в кожному автомобілі їсти радіоприймач і передати по радіосигнал нещастя, який був би почутий автомобілістами, простіше простого. У містах це дійсно так: у більш-менш великих населених пунктах в ефірі є пари десятків FM- радіостанцій, які зобов'язано сповіщати своїх слухачів про



Рис. 9.18 – Автомобільний цифровий телевізор

всілякі катаклізми. Однак, як, що варто від'їхати від міста на 30-40 км. то радіостанції перестають «ловитися». І тому до наступного населеного пункту автомобіліст випадає з єдиного інформаційного поля, тому що мережі радіомовлення в «далекобійних» МВ- і СВ-діапазонах хвиль практично зруйновані: повідомлення тоді як що спереду по дорозі з гір зійшла лавина або вибухнув хімічний завод, в автомобілях ніхто не почує.

Зате ці недоліки відсутні в мереж DVB-T2, сигнали яких уже через кілька років можна буде ухвалювати на території практично всієї країни!

При цьому мережі цифрового телемовлення мають більшу надійність, тому що в передавальних центрах установлені резервні передавачі і є автономна система аварійного електроживлення.

Примітне, що технології DVB-T і DVB-T2 уже споконвічно передбачали можливість мобільного приймання, у тому числі в автомобілях. і на першому етапі переходу на цифрове телемовлення це декларувалося як одне з його принципових переваг перед аналоговим телеефіром. Із цим важко сперечатися, тому що аналогове вішання, дійсно, доступно тільки в нерухливому автомобілі, тоді як цифрове, за певних умов (відсутність «мертвих зон» і великого рівня відбиття, спеціальні завадостійкі види модуляції цифрового сигналу), цілком пристойно можна ухвалювати навіть в умовах великого міста. Відзначимо, що для надійного приймання цифрового ТВ в автомобілі потрібно досить складна інсталяція прийомних антен, яку виконують тільки в спеціалізованих автомаєстернях.

Проте, можливість приймання ТВ програм в автомобілях (для перегляду пасажирами, природно, а не водієм) потенційно є дуже затребуваною функцією. Проблема, однак, у тому, що профілі й режими вішання наших цифрових передавачів DVB-T2 оптимізовані для стаціонарного приймання багатопрограмного ТВ прийому на спрямовані антени.

Для мобільного ж приймання на ненаправлену антену в умовах постійно мінливого рівня поля передавача й більших відбиття оптимальні параметри сигналу DVB-T2 передавача повинні бути суттєво іншими. Наприклад, замість «швидкої» модуляції, що піднесуть 64-256 QAM потрібно використовувати «завадостійку» модуляцію QPSK, що забезпечує значно більш певен мобільне приймання. Для одночастотних мереж помітне збільшення надійності приймання на ненаправлену антену досягається за рахунок використання коду Аламоути, який дає можливість одночасного приймання сигналів від двох сусідніх передавачів. Однак, для реалізації цих переваг, приймач DVB-T2 повинен підтримувати дану функцію.



Стійкість мобільного приймання накладає обмеження й на значення захисного інтервалу: він не може перевищувати 1/8-19/128.

На даний час Національна мережа цифрового ефірного телебачення України включає 32 цифрових телеканалів в HD якості.

У представленій нижче табл. 9.1 дана інформація із частот і номерів каналів цифрового ефірного телебачення T2, а також зазначені адреси місцезнаходження передавачів на телевізійних вишках на прикладі харківської області. Інформація зібрана станом на квітень 2016 р.

Таблиця 9.1 – Частоти і номери каналів цифрового ефірного телебачення DVB-T2

№	Місцезнаходження передавача		Середній радіус покриття, км	Цифрові пакети							
	Населений пункт	Адрес		MX1		MX2		MX3		MX5	
				Номер каналів и частота, МГц							
Харківська обл.				К	Ч	К	Ч	К	Ч	К	Ч
1	Изюм	ул. Крутая, 56	60	26	514	39	618	25	506	43	650
2	Харків	ул. Деревянко, 1а	60	31	554	35	586	48	690	58	770
3	Куп'янськ	ул. Ленина, 87	50	53	730	37	602	57	762	58	770
4	Лозова	ул. Кооперативная, 53А	50	31	554	55	746	56	754	59	778
5	Кегичевка	ул. Кирова, 81	60	28	530	39	618	21	474	40	626
6	Великий Бурлук	ул. Декоративная, 4	35	31	554	44	658	49	698	52	722

Віщання DVB-T2 здійснюється з 4 мультиплексів: MX-1, MX-2, MX-3 і MX-5. Кожний мультиплекс транслює 8 цифрових телеканалів.

*Технологія Diversity*, використовувана в DVB-v2, технологія MPLP (Multiple Physical Layer Pipe) дозволяють одночасно передавати в одному частотному каналі програми, оптимізовані й для мобільного, і для стаціонарного приймання. Тому, якщо на передавальній стороні почати спеціально для автомобілістів випромінювати «мобільний» сигнал DVB-T2, багато хто з них відразу зацікавляться обладнати свого «залізного друга» відповідним мобільним приймачем, щоб завжди й скрізь бути в курсі подій. Тому як навіть водій може слухати звуковий супровід телепередач, відключивши зображення на екрані. І це повністю відповідає сучасним трендам розвитку телебачення « у будь-який час. у будь-якому місці й у русі». Більша частина сучасних автомобілів уже має вбудовану Av-Систему, інтегровану з автомобільним навігатором. Що є цілковита передумова до перетворення її в мобільний телевізор шляхом додавання автомобільного DVB-T2 тюнера ( цифрової приставки). При цьому, щоб телебачення дійсно ухвалювалося в русі, тюнер не повинен бути просто автомобільною версією побутової приставки (STB). Надійність приймання телепрограм у русі збільшується майже на порядок, якщо в цифрово-

му приймачі DVB-T2 використовується технологія «рознесеного приймання» (Diversity).

Суть технології Diversity у тому, що приймач має кілька незалежних антенних входів (звичайно два- чотири), кожний з яких підключений до власної ненаправленої антени. При цьому, хоча при русі автомобіля рівень сигналу на виході антени безупинно міняється, схема Diversity постійно відслідковує рівень помилок у всіх каналах приймання й у будь-який момент часу перемикається на антену, що забезпечує найкращі умови приймання. У результаті цифровий приймач постійно працює із сигналом максимально можливої якості (Рис. 9.19).

Крім автомобільних телевізорів, ще одним застосуванням для мобільних пристроїв із прийманням DVB-T2 могли б стати USB або Wi-Fi тюнери для планшетів і смартфонів. Знову ж за умови, що переданий по мережах DVB-T2 сигнал буде оптимізований для мобільного приймання.

Якщо заглянути ще далі, те тема персонального приймання цифрового телебачення може стати вкрай актуальною, коли широкі спій населення долучаються до систем «Смарт-ТБ» їх позиціонують, як персональний дисплей для відображення інформації із планшетів, смартфонів і інших подібних пристроїв. Однак мало хто з майбутніх власників таких гаджетів відмовиться від можливості час від часу подивитися цих допомогою випуск новин або іншу улюблену телепрограму. Дисплей те уже є, залишилося тільки доповнити його бездротовим модулем приймання DVB-T2, який цілком може бути вбудований у той же смартфон.

Таким чином, в ефірного шнурового телебачення є сильні козири в боротьбі за титул «Система оповіщення номер один», однак використовуються вони поки не повною мірою. Причому, що дуже важливо, реальної альтернативи DVB-T2, якщо говорити про «автомобільний» телеприймання, у недалекому майбутньому немає й не передбачається (не вважаючи DVB-T2 Lite, теж із сімейства стандартів DVB).

Від запуску цього проекту виграють усе: і вшатели, і виробники прийомної апаратури, Адже кожний представник населення час від часу стає пасажиром, причому не тільки легкового авто, але й автобуса, маршруткі і т.д. Однак, доводиться повторити, для цього необхідно, щоб віщальні компанії почали передавати сигнали DVB-T2 з «автомобільними» видами модуляції.

Таким чином, з погляду створення ефективної системи оповіщення населення про НС істи зміст розбудовувати ідею мобільного приймання



9. 19 – Тюнер цифрового TV до смартфона або планшета

DVB-T2. Тому як ні кабельне телебачення, ні супутникове віщання взагалі не здатні доставляти телепрограми в автомобіль, що рухається, або на стільниковий телефон, /смартфон, /планшет з функцією приймання програм цифрового телемовлення. На сьогодні тільки мовне ТБ так мережі бездротового широкосмугового доступу (ШБД) реально можуть розв'язати це завдання.

Однак у порівнянні з ефірним цифровим віщанням в IPTV є серйозні недоліки:

- необхідність підключення до Інтернету на швидкості від 2 Мбит/з;
- безлімітний трафік (ТВ/відео) – приблизно 10 хв ТВ-потоків «з'їдають» від 70 Мбайт даних;
- зона покриття (стійкий сигнал) – у всіх операторів різна мережа покриття місцевості;
- періодичне провалля сигналу при русі, коли автомобіль виявляється в «сліпій зоні», і, як наслідок, зависання картинки або відключення від обраного каналу. Тому час від часу потрібно перезапустити канал (якщо потрапили в «сліпу зону» і проскочили її);
- провалля сигналу у випадку перевантаження трафіка при пікових навантаженнях на дану соту мобільному зв'язку.

Один тільки цей недолік уже не дозволяє в принципі створити надійну систему оповіщення автомобілістів на основі бездротової технології IPTV.

Сказане вище аж ніяк не догма й не керівництво до дії. Для початку серйозної розмови про можливість реалізації даних пропозицій необхідно колись розглянути безліч технічних і організаційних питань, включаючи розробку бізнес-моделі проекту. Викладене являє собою спробу запропонувати технічним фахівцям і особам, що мають право ухвалювати розв'язки в області цивільної зашиті й телебачення, разом подумати, як щонайкраще використовувати можливості стандарту цифрового ТВ-мовлення DVB-T2 для цілей оповіщення населення.

## **Висновки**

У лекції розглянути основні поняття й визначення цифрового телебачення, принципи дискретизації за часом, квантування за рівнем, методи кодування та перетворення телевізійного сигналу

## ЛЕКЦІЯ 10. СПЕЦІАЛІЗОВАНІ ТЕЛЕВІЗІЙНІ ТА ТЕПЛОВІЗІЙНИХ СИСТЕМИ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ

### План

Вступ.

10.1. Класифікація прикладних ТВ систем.

10.2. Телевізійне пошукове обладнання.

10.3. Тепловізійне пошукове обладнання.

Підсумки заняття.

### Література:

#### основна

1. Телевидение: Учебник для вузов / В. Г. Джакония, А. А. Гоголь, Я. В. Друзин и др.; Под ред. В. Г. Джаконии. 4-е изд., стереотип. - М.: Горячая линия - Телеком, 2007. - 616 с: ил., с. 82-95.
2. Казанцев Г.Д. Телевидение и телевизионные устройства: Учебное пособие. Томск: кафедра ТУ, ТУСУР, 2012. - 216 с., с. 6-40
3. Воробьев М.С. Основы цифрового телевидения: Учебное пособие. — Челябинск: ЮУрГУ, 2002. — 74 с., с.6-23
4. Р.Е. Быков, Теоретические основы телевидения, учебник для вузов, СПб: Лань, 1998, с. 153-173.
5. А.В. Смирнов Основы цифрового телевидения: Учебное пособие для вузов. М.: «Горячая линия - Телеком», 2001., с. 3 - 30.
6. Ллойд Дж. Системы тепловидения. М.: Мир, 1978.
7. Справочник по лазерам. -В 2-х т. /Пер. с англ. под ред. А.М. Проклова. - М.: Советское радио, 1978.
8. Орлов В.А., Петров В.И. Приборы наблюдения ночью и при ограниченной видимости. - М.: Воениздат, 1989.
9. Телевизионная система наблюдения Rossi-MegaSense-8//СнсТеМби безопасности, связи и телекоммуникаций. - 1999. № 4. С. 66-67.
10. ДСТУ 3807-98 Телебачення. Терміни і визначення: електронний ресурс.

## 10.1 Класифікація прикладних ТВ систем

Усі ТВ-системи можна розділити на два типи:

- мовні;
- прикладні.

*Прикладне телебачення* - телебачення, яке забезпечує вирішення прикладних завдань [10]

Види прикладного ТБ:

- медичне;
- промислове;
- рентгенівське;
- теплобачення/

Системи телебачення, що використовуються у промисловості, зв'язку, медицині, біології, на транспорті, у наукових дослідженнях, в навчальних цілях, у військовій справі та інших областях, на відміну від мовних називаються прикладними.

Телебачення, що використовується у якості допоміжного інструмента при вирішенні технічних задач різного типу, називається прикладним.

За типом задач, що вирішуються, прикладні телевізійні системи можна розділити на системи загального призначення і системи спеціального призначення.

Системи загального призначення використовуються широким колом споживачів.

Системи спеціального призначення призначені для вирішення вузького кола спеціальних задач, наприклад, спектрональне ТБ, ТВ-системи військового призначення та ін.

За принципом технічної реалізації розгортки зображень прикладні телевізійні системи розділяють на:

- багатоканальні ( $f_k$  від 25 до 50 Гц);
- малокадрові ( $f_k < f_{кр}$  мерехтіння);
- однорядкові (потік випромінювання від елементів простору перетворюється у відео-сигнал послідовно рядок за рядком).

В залежності від призначення прикладних телевізійних систем застосовуються різні способи розгортки і формату кадру. Побудова систем прикладного телебачення значно відрізняється від систем мовного телебачення, у яких найбільш складний передаючий комплекс (ТВ центр). У прикладних телевізійних системах передаючу камеру намагаються зробити як можна більш компактною, а всі найбільш складні блоки зосередити у приймальній частині, яка обслуговується оператором.

За числом телевізійних каналів зв'язку системи поділяють на одноканальні та багатоканальні. Багатоканальні, у свою чергу, поділяються на послідовні і паралельні.

За характером обробки візуальної інформації прикладні телевізійні системи поділяють на дві групи:

- візуальні системи;
- системи телевізійної автоматики.

До візуальних систем прикладного телебачення відносять системи, у яких кінцевим результатом є зображення. Наприклад, диспетчерське, навчальне, підземне, підводне телебачення, системи для наукових досліджень.

Системи телеавтоматики або телевізійні автомати - це широкий клас прикладних телевізійних систем спеціального призначення, які застосовують для автоматичного (без участі людини) виконання операцій за допомогою телевізійних пристроїв, наприклад, визначення координат об'єкта, що спостерігається, безконтактне визначення розмірів об'єктів, читання тексту.

Класифікація телевізійних систем може бути представлена у вигляді (рис. 8.1):

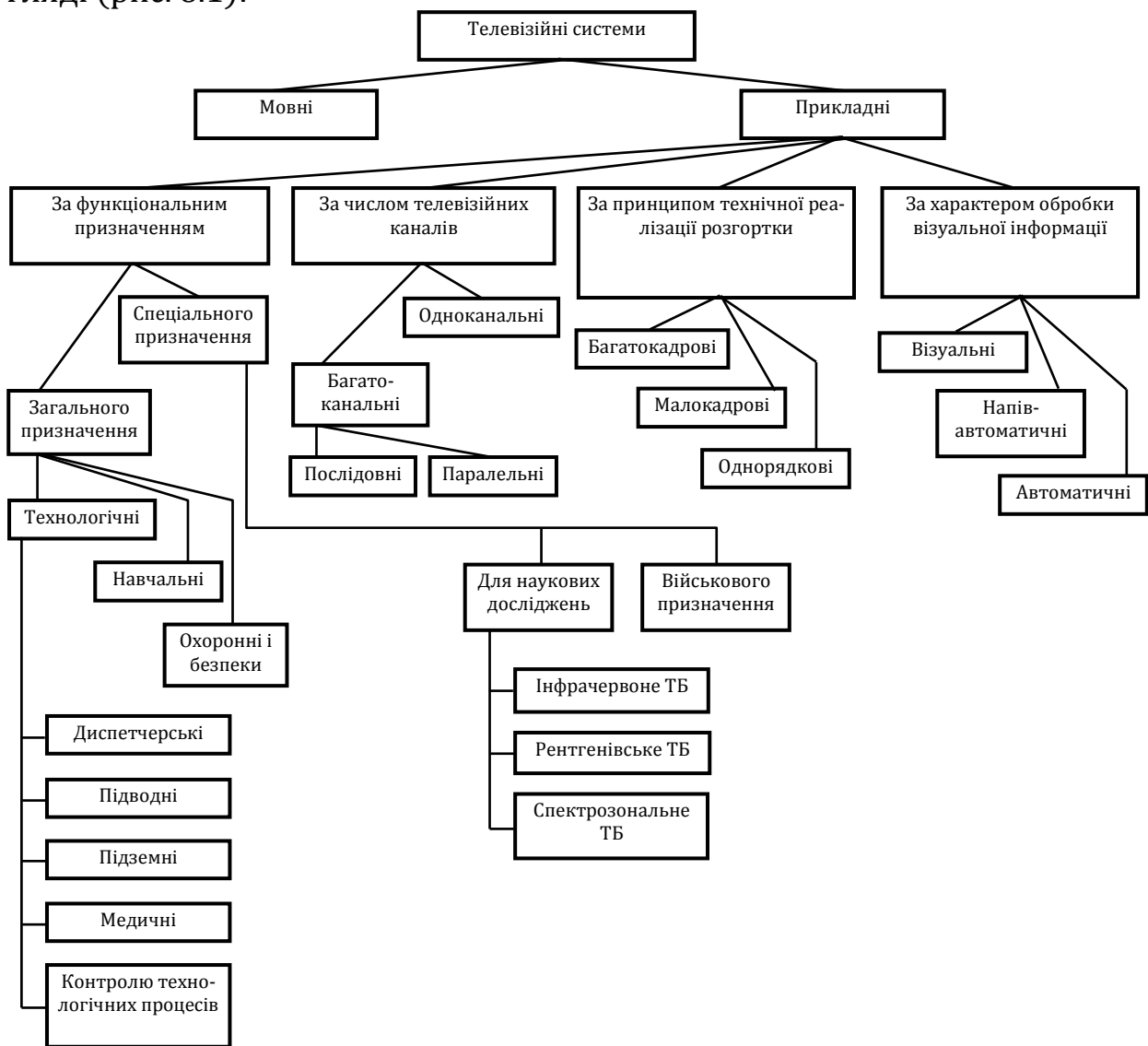


Рис. 10.1 – Класифікація телевізійних систем

Телевізійні автомати є необхідною складовою частиною більшості промислових роботів. Прикладні ТВ-системи також поділяють на замкнуті (без радіоканалу) і незамкнуті.

### 10.1.1 Спеціалізовані телевізійні системи (цільового призначення)

Телевізійні системи цільового призначення служать для рішення конкретного наукового, технологічного або виробничого завдання. Такі системи можуть працювати як у світловому (видимому), так й у не світловому діапазоні.

Кольорові прикладні ТВ системи знаходять застосування в таких галузях науки й техніки, де кольори об'єкта є визначальною його властивістю, важливою характеристикою (у медицині, петрографії, мінералогії, поліграфії, космосі й т.д.).

*Стереоскопічні чорно-білі або кольорові телевізійні системи* дозволяють вирішувати велику кількість прикладних завдань науки й виробництва. До них можна віднести такі:

- контроль за діями різного роду роботів-маніпуляторів, що працюють у недоступному для людини середовищі;
- дослідження космосу;
- різного роду тренажери;
- швартування судів;
- керування великогабаритними механізмами;
- робота з радіоактивними матеріалами або в зоні підвищеної радіації;
- картографування земної поверхні;
- астрономія;
- стикування апаратів, що рухаються і для рішення багатьох інших завдань.

*Підземне телебачення* дозволяє значно підвищити й скоротити строки геологорозвідувальних робіт, археологічних розкопок, а також у гідробудівництві, нафто- і газодобувної промисловості, і т.п.

*Підводне телебачення* відрізняється наявністю між камерою й об'єктом спостереження середовища, умови поширення світла в якій накладають свою специфіку на побудову й використання телевізійних засобів.

*Навчальне телебачення* є в багатьох вузах. Це замкнуті навчальні телевізійні системи, призначені як для передачі нутрії вузівської інформації й для безпосередньо навчання студентів. Інформаційні ТВ системи мають свою студію, провідні канали зв'язку й телевізори, розташовувані в зручних для перегляду передач місцях. Передачі залежно від апаратури, яка використовується, можуть бути чорно-білими або кольоровими.

Навчальні ТВ системи є локальними. Звичайно вся апаратура розташовується в одній навчальній аудиторії. Телевізійні камери (одна або дві) зі світильниками й відповідною апаратурою монтується в столі ви-

кладача, розведення сигналів до ТВ приймачів на робочих місцях студентів або до телевізорів, підвішених на кронштейнах, здійснюється по кабелях, на радіо- або відео частоті. При наявності у вузі декількох ТВ студій і навчального телецентру може бути передбачена передача в ці аудиторії як з навчального телецентру, так і з однієї телевізійної аудиторії в іншу. Наприклад, один викладач може читати лекцію для декількох таких аудиторій.

Телевізійні системи несвітлового діапазону використовуються для візуалізації зображень у невидимому для ока діапазоні випромінювання. Найбільше поширення одержали системи візуалізації зображень у діапазоні інфрачервоного, ультрафіолетового й рентгенівського випромінювання. У цих системах використовуються передавальні ТВ трубки (звичайно відікони), чутливі до зазначеного випромінювання. В іншому побудова ТВ систем не відрізняється від працюючих у світловому діапазоні.

### 10.1.2 Спеціалізовані телевізійні та тепловізійних системи ЦЗ

*ТВ системи навігації літальних апаратів.*

У цивільному захисті спеціалізовані телевізійні системи застосовуються для вирішення таких задач:

- навігації літальних апаратів;
- моніторингу стану більших площ земний і водної поверхонь, спостереження лісних масивів;
- проведення доглядових пошуково-рятувальних, розшукових робіт
- пошуку та виявлення потерпілих у завалах;
- телевізійне та тепловізійне відеоспостереження на пожежах;
- відео реєстрація на маршруті слідування для ліквідації НС
- огляду транспортних засобів,
- контролю внутрішнього обсягу з легко займистими рідинами (ЛВЖ).

Телевізійні системи, які вирішують вказані задачі, мають ряд переваг, таких, як:

- висока скритність факту роботи;
- висока розрізнявальна здатність;
- висока швидкодія систем;
- здатність працювати в автоматичному режимі.

До недоліків слід віднести:

- необхідність освітлення об'єктів, що спостерігаються;
- висока залежність від погодних умов.

Враховуючи указані недоліки, у ряді випадків, для підвищення достовірності та надійності вирішення задач, телевізійні системи застосовують у комплексі з системами, які працюють на інших принципах (радіометрія, радіолокація).



Телевізійні системи навігації. Навігація - визначення на борту ЛА (або, взагалі, технічного об'єкта) координат місцеположення, порівняння його з плановим і формування, у разі необхідності, коректуючого впливу, відповідного відхиленню реального місцезнаходження ЛА (або, взагалі, технічного об'єкта) від планового.

Навігація може здійснюватися як з участю людини, так і в автоматичному режимі.

В автоматичному режимі краще всього задачу навігації вирішують кореляційно-екстремальні системи, які використовують телевізійні карти місцевості.

Структурна схема такої системи наведена на рис. 10.2.

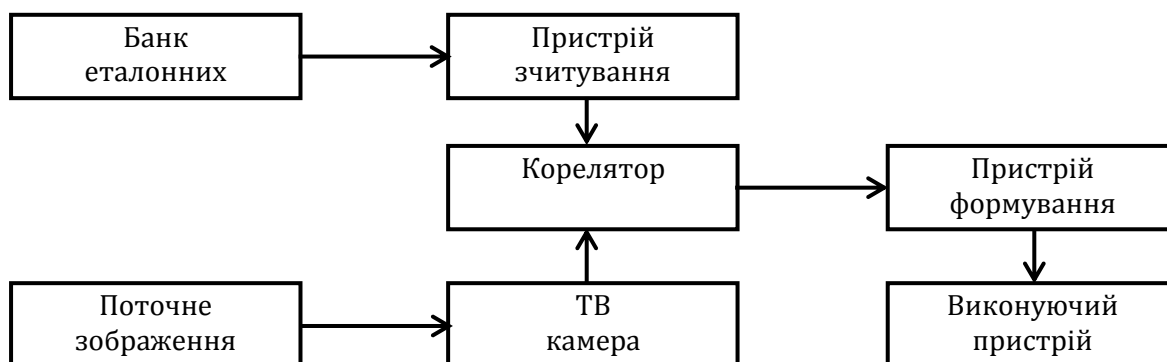


Рис. 10.2 – Структурна схема кореляційно-екстремальної системи, яка використовує телевізійні карти місцевості

Корелятор виконує розрахунки функції взаємної кореляції двовірних зображень, що порівнюються, а саме еталонного і поточного. Максимум кореляційної функції досягається при збігу ЕЗ і ПЗ. У разі необхідності пристрій формування сигналу помилок видає сигнали управління на усунення відхилення ЛА (технічного об'єкта) від заданого курсу.

*ТВ системи моніторингу земної поверхні* зорганізуються, головним чином, з ЛА, ШСЗ.

Серед них можна виділити такі системи:

- фототелевізійні;
- системи телевізійного моніторингу;
- системи тепловізійного моніторингу.

*Фототелевізійні системи.* Спеціальною апаратурою фоторозвідки здійснюється фотографування об'єктів, автоматичне проявлення знімків, а потім, за допомогою ТВ апаратури, здійснюється сканування і передача фотозображення на наземну станцію.

Перевагою такої системи є найвища у наш час розрізнявальна здатність (до 15 см).

До недоліків слід віднести неможливість передачі інформації у реальному масштабі часу.

*Системи телевізійного моніторингу.* Здійснюють огляд місцевості за допомогою телекамер із записом відеоінформації на стрічку і наступною передачею на наземні станції, або оперативну трансляцію через ЛА, ШСЗ на геостаціонарних орбітах у реальному масштабі часу.

Використовуються як для контролю місцевості, так і для розвідки пересування військових кораблів та підводних човнів за біолоюмінісцентним слідом, що спостерігається. Розрізнявальна здатність 3"- 6" ...60".

*Системи тепловізійного моніторингу.* Застосовуються, головним чином, для виявлення вогнищ за високою температурою (до 2000 К) випромінювання джерел пожеж у діапазоні 1,5 мкм. Реалізуються на чутливих елементах типу ПЗЗ.

## 10.2 Телевізійне пошукове обладнання

### 10.2.1 Оптико-телевізійна система виявлення потерпілих "ПОШУК"

Система "Пошук" призначена для огляду порожнеч у завалах, підвалах і інших важкодоступних місцях з метою контролю ситуації яка склалася після події або катастрофи й виявлення потерпілих (Рис.10.3 ).

Система складається з малогабаритної телевізійної камери на штанзі й малогабаритного монітора з акумуляторним джерелом живлення, укомплектованим зарядним пристроєм.

Завдяки невеликим габаритам усіх елементів системи, інфрачервоному підсвічуванню, автономності живлення, система дозволяє ефективно вести оперативний огляд важкодоступних місць при денному світлі й у повній темряві в польових умовах.

Прилади системи "Пошук" мають бризо-вологозахищену конструкцію й пристосовані для роботи у вуличних умовах при температурі від -20 до + 45°C.

Камера може бути введена в порожнину через отвір не менш 35 мм на глибину до 0,8 м. Система забезпечує спостереження на відстані 7-8 метрів від камери. С ручки штанги передбачена можливість нахилу камери на 135° у поздовжньому напрямку й фокусування зображення. Камера може бути повернена на 360° навколо осі штанги.

Дистанційне спостереження за ситуацією в завалі здійснюється на екрані переносного малогабаритного монітора, закріпленого на плечовому ремені.

Прилади системи розміщуються у валізі або наплічній сумці.

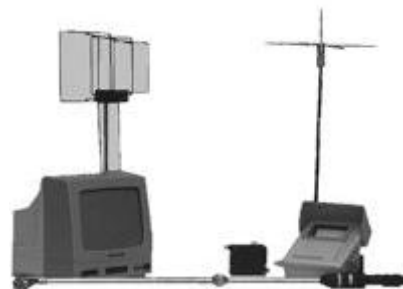


Рис. 10.3 – Оптико-телевізійна система виявлення потерпілих "ПОШУК"

Система додатково може комплектуватися пристосуваннями для безперешкодного введення камери в завал: телевізійним передавачем і приймачем, що забезпечують передачу відео зображення на відстань до 100-150 метрів від камери на телевізійний приймач с ДМХ діапазоном. За бажанням замовника довжина штанги, на якій кріпиться камера, може бути збільшена.

### 10.2.2 Прилад "Searchcam 3000" для пошуку потерпілих у завалах

"Searchcam 3000" дозволяє виявити живих людей під завалами за допомогою поворотної водонепроникної камери з підсвічуванням. За допомогою Searchcam 3000 можливо вести переговори з людиною, що перебуває під завалом, а так само вести відео/аудіо запис і фотографування. Знімна камера може бути окремо опущена у воду на глибину до 23 метрів для огляду підземних порожнеч, затоплених шахт, елеваторів та ін.

Прилад Searchcam 3000 має наступні можливості:

- Швидкозмінні камери – кольорова/інфрачервона.
- Запис аудіо/відео, фотографування.
- Поворот камери - 240°.
- Водонепроникна камера.
- Додаткова телескопічна штанга (234 см - 566 см).



Рис. 10.4 – Зовнішній вигляд приладу "Searchcam 3000"

Таблиця 10.1 – Технічні характеристики приладу "Searchcam 3000"

Камера	Кольорова, матриця 1/4" CCD, 0.4 люкс, 350 твл, авто діафрагма
Змінювані камери	кольорова/інфрачервона
Керування камерою	с рукоятки приладу
Підсвічування	16 світлодіодів з регулюванням рівня світіння
Дисплей	5", плоский ЖК екран
Стандарт відео	NTSC / PAL
Зв'язок з потерпілим	Двостороння
Гарнітура оператора	Мікрофон із шумозаглушенням
Габаритні розміри	
Довжина (станд. штанга)	104.3 см до 234 см
Загальна вага	4 кг (з батареями)
Діаметр корпусу камери	4.69 см
Мінімальний діаметр отвору	4.69 см
Кут повороту камери	240° в одній площині
Видимість	6 м у повній темряві
Акумулятори	
Тип	Li-Ion
Умови експлуатації	
Температура	-10° до 60° С
Температура зберігання	4° до 26° С
Захист від води й пили	+
Транспортування	
Валіза	Pelican водо/запалі захищений

### 10.2.3 Система для проведення пошуково-рятувальних робіт "PROEYE 951, 951-S"

Система пошукова призначена для проведення пошуково-рятувальних робіт на місці надзвичайних ситуацій, під завалами, у важкодоступних місцях (колектори, трубопроводи, колодязі та ін.), а також для проведення розшукових робіт під водою (Рис. 10.5).

Система пошукова PROEYE дозволяє виконувати наступні функції:



Рис. 10.5 – Зовнішній вигляд системи для проведення пошуково-рятувальних робіт "PROEYE 951, 951-S"

- у режимі реального часу передавати відеозображення на кольоровий ЖК-Дисплей;
- приймати аудіосигнал і вести спілкування з потерпілим.

Таблиця 10.2 – Технічні характеристики системи "PROEYE 951, 951-S":

Робоча напруга системи, В	12
Акумулятори системи	12 В постійного струму, 2 Ач, з індикацією залишкового заряду
Зарядний пристрій акумуляторів	220 В, 50 Гц
Кут повороту камери, гради	180
Точність визначення місця знаходження потерпілих, м	1
Видимість в умовах повної темряви (не менш), м	6
Мінімальна освітленість (не більш), люкс	5
Габарити системи (кейс), мм	1190x310x180
Вага, кг	19

#### 10.2.4 Інноваційна Mini Camstick камера-відеореєстратор Lawmate !

Mini Camstick від Lawmate забезпечує професійний рівень запису з високим дозволом у компактному корпусі з дозволом 1080р. У комплекті присутній кліпса для зручного кріплення на одяг.



Рис. 10.6 – Відеореєстратор "Lawmate PV-RC300FHD"

Таблиця 10.3 – Технічні характеристики відеореєстратору "Lawmate PV-RC300FHD"

Вага	35 г
Розміри	25x75x14 мм
Матриця	1/3 дюйма 5 MP CMOS sensor
Фокусна відстань об'єктива, мм	4 мм
Поле зору, градуси	68°
Можливість фото/відео зйомки	так
Частота відновлення кадрів	30fps
Запис циклу	так
Карти пам'яті	Micro SD до 16 Гб максимум
Режим зйомки	HD 720p/FHD 1080p

### 10.2.5 Відео реєстратори "КУРСОР ВІДЕО - 301", "КУРСОР ВІДЕО - 302"

Відеореєстратори "КУРСОР ВІДЕО - 301", "КУРСОР ВІДЕО - 302" виконані у герметичному, міцному анти ударному корпусі зі спеціального пластику. Відеореєстратори, відеокамера й мікрофон мають запалі- і волого-захищене виконання, відповідне до стандарту IP67, що дозволяє здійснювати експлуатацію в дуже важких польових умовах, 100% вологості й при влученні у воду на глибину до 1 метра. Відео й звук обробляються високошвидкісним процесором, і файли записуються на SD карту пам'яті. Відновлення версій софту відеореєстраторів здійснюється через SD карту пам'яті. Живлення відеореєстраторів здійснюється від змінної акумуляторної батареї.

Таблиця 10.4 – Захищені (IP67) відео реєстратори "КУРСОР ВІДЕО - 301", "КУРСОР ВІДЕО - 302"



КУРСОР ВІДЕО - 301, має вбудований кольоровий дисплей 2.5" для оперативного перегляду записаних файлів і для вибору режимів роботи.

Для зручності користування й перенесення відеореєстратор у повному комплекті з усіма аксесуарами розміщується в спеціальному кейсі.

Відеореєстратор "КУРСОР ВІДЕО-302", що носить, має вбудований кольоровий дисплей 2.0" призначений для оперативного перегляду записаних файлів і вибору режимів роботи та виконаний у міцному антиударному алюмінієвому корпусі й для зручності користування розміщується в шкіряному захисному чохлах.

Функціональні особливості "КУРСОР ВІДЕО-301", "КУРСОР ВІДЕО-302":

Після включення живлення на дисплеї з'являється зображення з відеокамери, пристрій готовий до запису;

Легке керування відтворенням / записом через кнопки;

Дозвіл записуваного файлу: 640x480 або 320x240, із частотою 30 кадрів у сек. або 15 кадрів у сек.;

Формат відео файлу: AVI, компресія MPEG-4;

TFT LCD дисплей 2.5"("КУРСОР ВІДЕО-301"), 2.0" ("КУРСОР ВІДЕО-302"), Дозвіл: 720 X 240;

Можливість виводу Дати/Часу на кадрові;

Максимальний обсяг SD карти пам'яті - 32Гб;

Метод запису із зупинкою по досягненню повного обсягу або « по кільцю», з перезаписом раніше записаного;

Відеокамера CMOS запалі- і вологозахищеного виконання IP67 з дозволом 480 TVL;

Напруга живлення подаване на камеру 3,3 В. або 12 В. (опціонально);

Стійкі до вібрації рознімні з'єднання;

Тип акумуляторної батареї NOKIA BL-6C або прототип.

Відеореєстратор має свій ID;

Комплектація відеореєстраторів "КУРСОР ВІДЕО-301", "КУРСОР ВІДЕО-302",

Відеореєстратор, виконання IP67 -1 шт.

Відеокамера CMOS, виконання IP67 -1 шт.

Зарядний пристрій - 1 шт.

Кабель для підключення до «підпалювача» в автомобілі- 1 шт.

Акумуляторна батарея Li-Ion, 1200мАч - 2 шт.

Кабель для підключення до аудіо-виходу -1 шт.

Захисний чохол - 1 шт.

Кабель USB - 1 шт.

Інструкція користувача -1 шт.

Кейс для перенесення -1 шт.

SD карта, обсяг макс, до 32 Гб (опціона) - 1 шт.

Таблиця 10.5 – Технічні характеристики захищених (IP67) відеореєстраторів "КУРСОР ВІДЕО "

Характеристики	"КУРСОР ВІДЕО - 301"	"КУРСОР ВІДЕО - 302"
Габаритні розміри ( без виступ, частин), мм	121x74x28	109x74x25
Вага(з акумуляторною батареєю ), г	100	110
Напруги живлення, В	3,7	
Струм споживання (разом з відеокамерою), мА	не більш 300	
Живлення	акумуляторна батарея Li-Ion (1200 мАч)	
Робочий режим температур, З°	-5...+70	
Напруга живлення відеокамери, В	3,3 або 12 (опціонально)	
Час роботи від акумуляторної батареї, год	від 3 до 5	
SD карта пам'яті, обсяг макс, Гб	32	
Формат відеофайлу	AVI, компресія MPEG-4	
Дозвіл відеофайлу, пиксел	640x480 / 320x240	
Швидкість запису,кадрів/сек	30/15	
Розмір файлу / Час записи	500 Мб/ 1 год відео (640x480 / 30 кадрів/сек) 400 Мб/ 1 год відео (640x480 /15 кадрів/сек) 300 Мб/ 1 год відео (320x240 / 30 кадрів/сек) 200 Мб / 1 год відео (320x240/15 кадрів/сек)	
Час запису відео на SD карту 32 Гб, макс, ч.	близько 64 (640x480 / 30 кадрів/сек) близько 80 (640x480 /15 кадрів/сек) близько 106 (320x240 / 30 кадрів/сек) близько 160 (320x240/ 15 кадрів/сек)	
Записуваний сигнал	1 канал Відео й Аудіо	
Дозвіл TFT LCD дисплея, пиксел	720x240	
Підтримка специфікації USB	USB 2.0	
Тип використовуваної камери	CMOS або CCD (опціонально)	



### 10.3 Тепловізійне пошукове обладнання

**Теплобачення.** Сучасні тепловізійні системи використовуються на всіляких об'єктах, тому існує необхідність поліпшення їх тактикотехнічних характеристик. Зробити це можна за рахунок застосування тепловізійної апаратури й інтелектуалізації обробки відеосигналів шляхом застосування цифрових технологій.

Основними елементами сучасних охоронних тепловізійних систем є: тепловізійна (ТВ) камера; детектор руху; мультіплексор. Поліпшити ці системи можна за рахунок застосування тепловізійної апаратури (ТВА) і інтелектуалізації обробки відеосигналів шляхом застосування цифрових технологій.

На відміну від ТВ камер на приладах із зарядовим зв'язком (ПЗС матрицях) або ТВ камер, зчленованих з підсилювачами яскравості зображення (ПЯЗ). у теплобаченні використовується зовсім інше джерело інформації, недоступний неозброєному ока людини. Це власне випромінювання нагрітих тіл, що не залежить от рівня освітленості и часу суток. Дане випромінювання обробляється й перетворюється у видиме зображення, а тому що випромінювання теплової енергії притаманно всім без винятку тілам, то за допомогою тепловізійних (ТПВ) приладів можна спостерігати всі тіла й предмети в спектральному діапазоні довжин хвиль 3-5 і 8-14 мкм, температура яких становить інтерес для охорони об'єктів: слабо нагрітих (живі об'єкти й технічні засоби) з температурою близько 300° К и сильно нагрітих - близько 1000° К [1].

Спектральний діапазон дії ТПВ апаратури є більш сприятливим, чому видимий і близький інфрачервоний (ІЧ) діапазони [2], у результаті чого дальність спостереження ТВ камер в умовах туману, дощу, снігопаду. локальних засвічень різко скорочується. Щодо цього ТПВ прилади менш уразливі, чому й визначається їхня більша дальність дії, тому що частки туману й димки менше робочої довжини хвилі цієї апаратури.

На рис. 8.7 представлені характеристики пропущення атмосфери від довжини хвилі випромінювання. Переваги ТПВ діапазону очевидні, що пояснюється значно меншою абсорбуючою дією молекул Н<sub>2</sub> О, СО, СО<sub>2</sub>, що втримуються в нижніх шарах атмосфери. а також озону - у верхніх шарах.

#### **Переваги тепловізійних засобів**

**Тепловізійні засоби** спостереження за об'єктами вночі й днем, а також у погіршених умовах видимості в порівнянні із традиційними приладами спостереження мають наступні принципові переваги:

- можливість цілодобового спостереження (причому в темний час доби дальність бачення збільшується):
- пасивний принцип роботи:
- виявлення слідів транспортних засобів:
- можливість розпізнавання малих об'єктів (людини) на фоні більших і середніх, а також контролю динаміки обстановки в зоні спостереження.

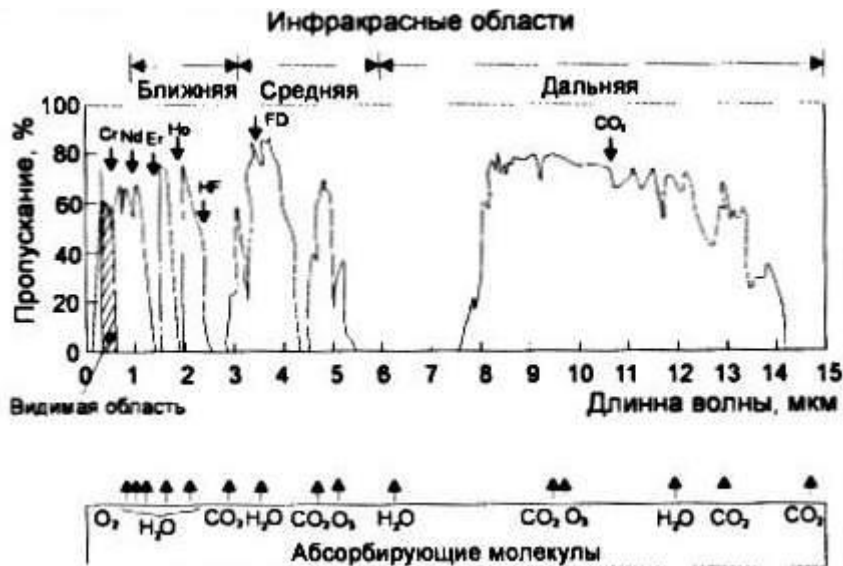


Рис. 10.7 – Характеристики пропускання атмосфери на трасі довжиною 2000 м при температурі +15С и вологості 40%

Сучасні ТПВ прилади дозволяють виявити людину на відстані 1-5 км. Стримуючим фактором широкого впровадження ТПВ засобів в охоронних системах є їхня висока вартість. Провідні закордонні компанії прагнуть знизити вартість за рахунок модульного принципу побудови апаратури й застосування матричних неохолоджуваних мікроболометрів. Одним із провідних виробників ТПВ апаратури є компанія FUR SYSTEMS AGEMA (Швеція).

Основними параметрами ТПВ приладів спостереження є:

- тип приймача випромінювання (це можуть бути неохолоджувані матриці на мікроболометрах або охолоджувані багатоелементні приймачі на з'єднаннях КРТ (кадмій-ртуть-телур));
- число елементів зображення (типове значення становить 320x240 елементів);
- температурна чутливість "0,1°С и спектральний діапазон (3-5 або 8-14 мкм);
- відеовихід зі стандартними параметрами відеосигналу.

### 10.3.1 Тепловізійний бінокль " Альфа--ТБМ-1"

Високочутливий тепловізор (теповізійний бінокль) "Альфа--ТБМ-1" забезпечує перетворення невидимого оком інфрачервоного випромінювання у видиме зображення, спостережуване в бінокуляр.

Тепловізійний бінокль " Альфа-ТБМ-1" призначений для:

- пошуку й виявлення людини, теплокровних тварин по їхнім власному інфрачервоному випромінюванню при проведенні аварійно-рятувальних робіт, у тому числі в умовах задимленості й повної темряви;
- охорони об'єктів;

- оцінки стану теплотрас, високовольтних ліній електропередач і іншого промислового встаткування;
- виявлення місць витоку тепла з будинків.

Прилад забезпечує виявлення людини по його власному випромінюванню на відстані до 1200 м, виявлення транспортних засобів і іншої техніки - на відстані більш 3 км, у тому числі, в умовах повної темряви й задимленості.

Таблиця 10.6 –Технічні характеристики тепловізійного бінокля " Альфа-ТБМ-1"

Робочий спектральний діапазон, мкм	3...5
Поле зору (вертик. x горіз.), гради	2,7x3,8
Збільшення, крат	3
різниця, що дозволяється, температур, °С	0,1
Енергоспоживання, Вт	6
Час безперервної роботи без підзарядки акумуляторів, год, не менш	2,0
Діапазон робочої температури навколишнього середовища, °С	-20...+40
Габаритні розміри, мм	270x165x95
Маса, кг	1,8

### 10.3.2 Тепловізійно-телефізійний комплекс "Альфа-ТТК"

Високочутливий тепловізійно-телефізійний комплекс "Альфа-ТТК" забезпечує перетворення невидимого оком інфрачервоного випромінювання у видиме зображення, спостережуване на екрані монітора.

Тепловізійно -телефізійний комплекс "Альфа-ТТК" призначений для:

- пошуку й виявлення людини, інших об'єктів по їхнім власному інфрачервоному випромінюванню при проведенні аварійно-рятувальних робіт, у тому числі в умовах задимленості й повної темряви;
- охорони об'єктів;
- оцінки стану теплотрас, високовольтних ліній електропередач і іншого промислового встаткування.



Рис. 10.8 – Тепловізійний бінокль " Альфа-ТБМ-1"



Рис.10.9 – Високочутливий тепловізійно-телефізійний комплекс "Альфа-ТТК"

Таблиця 10.7 – Технічні характеристики тепловізійно -телевізійного комплексу "Альфа-ТТК"

Робочий спектральний діапазон, мкм	3...5
Поле зору (верт. x гориз.), гради	4x7
Відеосигнал	PAL
Кількість рівнів градації сигналу по кольору	8
різниця, що дозволяється, температур, °С	0,08
різниця, що дозволяється, температур у режимі нагромадження, °С	0,05
Енергоспоживання прийомного модуля, Вт	6
Діапазон робочої температури навколишнього середовища, °С	-40...+40
Габаритні розміри прийомного модуля, мм	195x124x106
Маса прийомного модуля, кг	1,2

### 10.3.3 Пошуково-спостережливі тепловізори "Катран-2", "Катран-3"

Неохолоджувані пошуково-спостережливі тепловізори "Катран-2". "Катран-3" призначені для ефективного спостереження в будь-який час доби, у складних метеоумовах за об'єктами або охоронюваними зонами. Забезпечують візуалізацію тепловипромінюючих об'єктів, спостереження динаміку теплообміну, можуть використовуватися для патрулювання, пошуково-рятувальної операції, контролю, що не руйнує (Рис. 10.10).



Рис.10.10 – Зовнішній вигляд тепловізорів "Катран-2", "Катран-3"

Пошуково-спостережливі тепловізори "Катран-2", "Катран-3" при габаритних розмірах 120x98x51мм є самими мініатюрними у світі тепловізорами свого класу.

Пошуково-спостережливі тепловізори серії "Катран", "Катран-3" із приймачем високого дозволу забезпечують відмінна якість зображення й дозволяють виявити людину на дистанції відповідно не менш 500 метрів ("Катран-2") та 1 кілометра ("Катран-3") див. Таблиця 10.8.

Тепловізори "Катран-2", "Катран-3" мають високий ступінь захисту від зовнішніх впливів – їх корпуси повністю захищені від проникнення усередину пилу й бризів води, що забезпечує можливість їх експлуатації в екстремальних погодних умовах, що немаловажне при проведенні по-

шуково-доглядових і рятувальних заходів, у тому числі й під час стихійних лих.

Зручні корпуси "Катран-2" і "Катран-3" із ребристою поверхнею забезпечують надійне втримання приладу, що не дозволить тепловізорам вислизнути з руки, а темляк охороняє їх від падіння при випусканні з руки. Об'єктиви приладів захищені від ушкоджень виступами корпусу й гумової блендою, що зм'якшує удари.

Живлення приладу "Катран-2" здійснюється від двох стандартних елементів АА – батарейок або акумуляторів, а в "Катран-3" вбудований Li-ion акумулятор. Тепловізори "Катран-2", "Катран-3" мають бризозахищені з'єднувачі для підключення додаткової акумуляторної батареї й зовнішнього запам'ятовувального пристрою або монітора.

Вбудоване джерело живлення забезпечує безперервну роботу приладу "Катран-3" протягом 7 годин.

У тепловізорах серії "Катран" установлені неохолоджувані болометричні матричні приймачі інфрачервоного випромінювання серії 3600AS, розмір пікселя 30x30 мкм ("Катран-2"), серії 4500AS, розмір пікселя 30x30 мкм ("Катран-3").

Таблиця 10.8 – Технічні характеристики тепловізорів "Катран-2", "Катран-3"

Кількість чутливих елементів ІЧ перетворювача	160x120	320x240
Температурна чутливість	0,05°C	0,05°C
Поле зору з базовою оптикою	11°x8°	12°x9°
Гранична дальність виявлення людини	не менш 500 м.	не менш 1000 м.
Джерело живлення	2xAA	вбудований Li-ion акумулятор
Час безперервної роботи	-	не менш 7 годин
Робоча температура	-20°C...+50°C	-20°C...+50°C
Клас захисту корпусу	IP65	IP67
Маса з акумулятором	не більш 0,5 кг	не більш 1,2 кг
Габаритні розміри	не більш 120x98x51 мм	не більш 170x120x70 мм
Цифрове збільшення	1x, 2x	1x, 2x

#### 10.3.4 Портативна телевізійна система для доглядових, рятувальних і розшукових робіт S-1000 ("Кальмар")

Вироби серії S-1000 ("Кальмар") призначені для візуального обстеження важкодоступних місць у митній справі) промисловій діагностиці, дорожній інспекції при рятувальних операціях і забезпеченні безпеки.

З їхньою допомогою можна ефективно здійснювати огляд вантажів і транспортних засобів, вести пошук схованок і вкритих, обстежити завали, проходи й небезпечні місця, виявляти людей у зруйнованих спорудженнях і блокованих просторах, перевіряти технічний стан установок і конструкцій, вести сховане спостереження, виявляти сторонні й небезпечні предмети при огляді різних об'єктів.

Завдання оперативного огляду виробу "Кальмар" здатні вирішувати значно успішніше, у порівнянні з усіма відомими ендоскопічними системами й оптичними приладами.

Ефективність візуального обстеження за допомогою телевізійних систем серії S-1000 досягається за рахунок комбінації відмінних оптичних характеристик, легкості й зручності експлуатації, простоти й надійності конструкції. Системи "Кальмар" • це інноваційна техніка для масового застосування.

Сімейство систем серії S-1000 нараховує більш 10 варіантів виконання й комплектації забезпечує оптимальні параметри для будь-якого індивідуального застосування. У спеціальному виконанні системи S-1000 мають радіоканал для передачі відеозображення й акустичних сигналів на дистанційний пост контролю або до групи підтримки. Малогабаритний, що носить передавач і компактна стереофонічна система забезпечує якісну інформацію для цілей оперативного контролю й документування.

#### **Склад базового виробу:**

Мініатюрна TV камера в захисному водонепроникному корпусі із вбудованим інфрачервоним підсвічуванням.

Знімний компактний ЕЛТ монітор, установлюваний на три координатний поворотний кронштейн штанги.

Багатосекційна вуглепластикова телескопічна штанга із гнучким кінцем. Широко варіюється по мінімальній і максимальній довжині.

Підпружинена котушка для автоматичного підмотування кабелю між камерою й монітором усередині штанги.

Малогабаритне автономне джерело, що носить, живлення.

Пристрій компенсації скрутки кабелю.

Таблиця 10.9 – Технічні характеристики S-1000 ("Кальмар")

Телевізійна камера	
- ПЗС-Матриця	1/3"
- чутливість	0,1 люкс (12.0)
- дозвіл	380 Тв-Ліній
- об'єктив	3,6мм
- електронний затвор	авто,1/60...1/100000
- габарити в захисному корпусі	Ø25x55 мм

Телевізійний монітор, ЕЛТ, ч/б	
- діагональ	4"
- дозвіл	450 Тv-Ліній
- габарити в захисному корпусі	110x225x40 мм
Доглядова штанга телескопічна	
- кількість секцій	6
- максимальна довжина	2,7...7 м
- мінімальна довжина	0,7...1 м
- довжина гнучкої частини	215 мм
Живлення	1 акк. батарея 12В, 2 А/год
Сумарний час безперервної роботи від акумулятора	приблизно 2,5год

### 10.3.5 Тепловізійна система EVOLUTION®

Серія EVOLUTION® 5000 - блокова тепловізійна система. Компанія MSA добилася успіху, за допомогою новітніх технологій, в удосконаленні серії тепловізорів EVOLUTION 5000, і забезпечила людям більшу владу над вогнем сучасними засобами. Блокова система дозволила додати до тепловізору EVOLUTION 5200 можливість відеопередачі або відеозаписи зображення на дисплеї тепловізора.

Тепловізор EVOLUTION 5200 забезпечує більш високу якість зображення, має гарні ергономічні параметри, міцні конструктивні елементи й високу надійність.

Він здатний:

- швидко знайти джерело вогню й погасити його;
- знайти людей, що згубилися;
- чітко орієнтуватися в задимлених приміщеннях;
- підвищити швидкість і безпека проведення рятувальних робіт.

Система відеопередачі дає можливість командному центру й резервній бригаді побачити реальну картину того, що відбувається на місці гасіння пожежі.



Рис. 10.11 – Аналіз ситуації

Крім того, унікальна система відеозапису легко встановлюється на тепловізор, даючи можливість запису зображення на дисплеї тепловізора для наступного аналізу й документування дій пожежних або рятувальників

Оперативне одержання важливої інформації допомагає в розробці більш ефективних планів операції по гасінню пожежі або порятунку людей.

- **Боротьба з вогнем.** Точна подача води у вогнище пожежі, локалізація й ізолювання схованих вогнищ.
- **Пошук і порятунок.** Виявлення, що згубилися/поранених людей.
- **Вентиляція.** Виявлення місць акумуляції тепла, можливих місць вступу повітря з метою мінімізації ризику несподіваного прориву вогню.
- **Контроль результатів гасіння пожежі** - контроль відсутності схованих вогнищ вогню або тліючих матеріалів.
- **Контроль оперативної ситуації** Спостереження по відеосистемі, що відбувається в реальному часі в місці проведення операції.
- **Небезпечні матеріали** Виявлення джерел протечок і напрямок руху витеклих небезпечних рідин.
- **Гасіння лісових пожеж** Швидкий перегляд більших ділянок для виявлення вогнищ вогню. Усі компоненти тепловізорів серії EVOLUTION 5000 мають малу вагу й ергономічну, компактну конструкцію всього з однієї зручною кнопкою керування.

Сам тепловізор і блоки відеозапису й відеопередачі захищені від пилу, води, тепла, полум'я, ударів, падіння й вібрації. Усі компоненти випробувані відповідно до вимог найвищих стандартів, зазначені Табл 8.

**Характеристики датчику.** Датчики сучасних тепловізорів містять тисячі окремих чутливих елементів (пікселів) на матриці розміром з ніготь. Ці елементи вимірюють теплову енергію, що попадає на них, а сучасна електроніка результати цих вимірів перетворить у зображення на дисплеї тепловізора.

Пропонований MSA тепловізор EVOLUTION 5200 має матричний (160x120 пікселів) неохолоджуваний мікроболометричний сенсор з оксиду ванадію. Якість зображення підвищилася, одночасно поменшалися маса й габарити датчика.

**Якість зображення.** Висока якість зображення обумовлена високим значенням (4795) динамічного діапазону прийомної матриці. Чим вище динамічний діапазон, з тим більш високою чут-

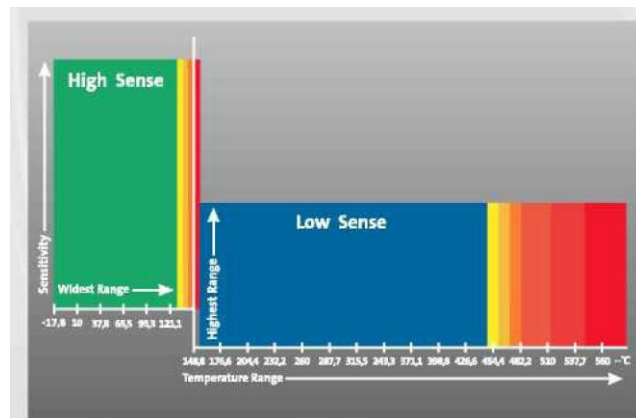


Рис. 10.12 – Динамічний діапазон у режимі ВЧ і МЧ



ливістю проводяться виміри й тим більше високі діапазони вимірів у кожному режимі вимірів (з високою чутливістю – ВЧ і з малою чутливістю – МЧ)

Тепловізор EVOLUTION 5200 у режимі ВЧ має чутливість 0,065°C (діапазоні температур до 160°C), у режимі МЧ чутливість складає 0,24°C (діапазоні температур до 560°C).

#### ***Динамічні діапазони в режимах ВЧ і МЧ***

Сумарний динамічний діапазон тепловізору EVOLUTION 5200 рівняється:

$$\frac{160}{0,065} + \frac{560}{0,24} = 4795$$

***Режими чутливості.*** Тепловізор EVOLUTION 5200 може працювати у двох режимах, що мають різну чутливість.

***Висока чутливість (ВЧ)*** - Для температур до 160°C. Більш висока чутливість забезпечує більш чіткий контраст при малому динамічному діапазоні.

***Мала чутливість (МЧ)*** - Для температур до 560°C.

Завдяки підвищеній чутливості в широкому динамічному діапазоні режим МЧ тепловізору EVOLUTION 5200 дозволяє одержувати детальне зображення об'єктів при високій температурі навколишнього середовища – навіть за джерелом вогню

Якість зображення перевершує всі, що можуть надати інші аналогічні пристрої.

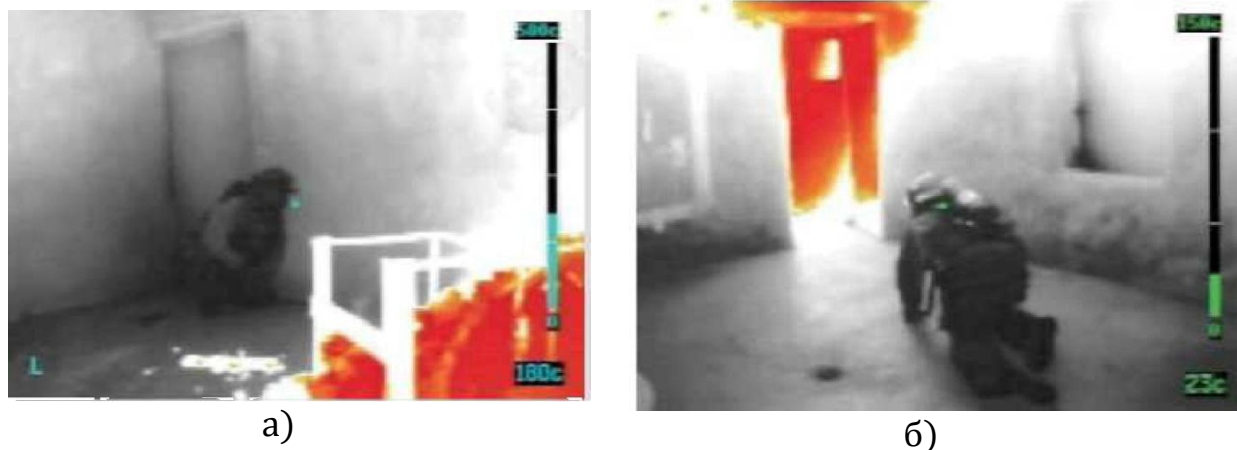


Рис. – 10.13 Режими чутливості

а) Режим МЧ: Зверніть увагу на чіткий контраст між стіною й стелею б) Режим ВЧ: Зверніть увагу на багаторазову різницю температур

***Автоматичне перемикавання режимів.*** Якщо більш 15% зображення перенасичене в режимі ВЧ, тепловізор EVOLUTION 5200 автоматично перемикається в режим МЧ. Це перемикавання займає менш однієї секунди й дозволяє операторові постійно вести спостереження.

**Індикатор затвора** сповіщає оператора про те, що відбувається автоматичне калібрування приймальні матриці. Він відображається зеленим квадратиком у верхньому лівому куті дисплея. Зображення на дисплеї при цьому зупиняється приблизно на 1 секунду.

#### **Функціональність і якість**

**Теплоіндикатор Heat Seeker PLUS.** Революційна технологія Heat Seeker PLUS кольорового фарбування зображення від світло-жовтого до темно-червоного дозволяє візуально спостерігати зміни в температурній структурі. Це дозволяє одержувати високоякісне зображення, що суттєво важливо для визначення інтенсивності горіння й напрямку поширення полум'я.

**Оперативний термоіндикатор Quick-Temp .** Тільки в тепловізорах MSA є додаткова функція оперативного виміру й індикації температури на дисплеї двома способами – температурний стовпчик і цифрове показання. Режими з різною чутливістю відображаються символами різних квітів: ВЧ - зеленого кольору, МЧ – синього кольору.

**Вимір температури .** При вимірі температури за допомогою тепловізора істотний вплив на точність виміру температури виявляє кутовий дозвіл прийомної матриці. При кутовому дозволі 20:1 чим далі гарячий об'єкт перебуває від тепловізора, тем менш точна обмірювана температура об'єкта у зв'язку з усередненням температури по площі виміру. Тепловізор EVOLUTION 5200 має унікальний кутовий дозвіл 85:1, що дає можливість вимірювати температуру буквально в крапці. Площа виміру температури залежить від відстані до об'єкта. При кутовому дозволі 85:1 площа виміру температури на відстані 85 метрів буде мати діаметр 1 метр. Малюнок ліворуч добре ілюструє вплив кутового дозволу й відстані до об'єкта на точність виміру температури.

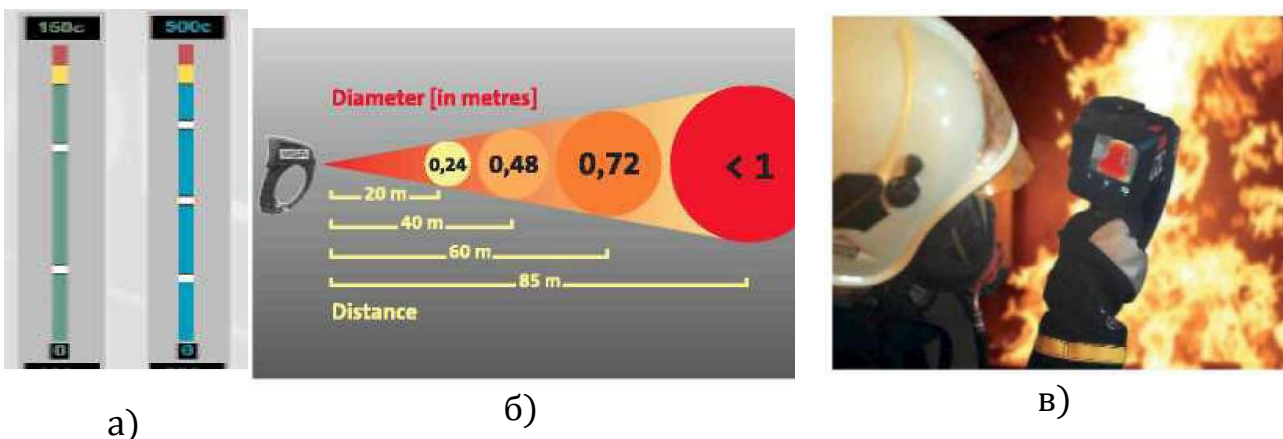


Рис. 10.14 – Оперативний вимір і індикації температури на дисплеї:

а) температурний стовпчик, б) цифрове показання, в) цифрове фарбування

**Джерело живлення.** Літєвий іонний акумулятор, що використовується в серії тепловізорів EVOLUTION 5000, має відмінні характеристики: невеликий, легкий, простий в експлуатації й не має ефекту пам'яті.

### ***Система відеозапису й відеопередачі***

**Відеозапис.** Із блоком відеозапису можна легко й швидко проводити запис ходу проведення операції з метою використання цих даних для наступного аналізу дій пожежних або рятувальників і при навчанні.

- Невеликий і автономний блок відеозапису можна швидко встановити на тепловізорі із серії EVOLUTION 5000 або зняти його.

- Вбудована стандартна флеш-карта пам'яті дозволяє зберігати відеозапис тривалістю до 2-х годин у форматі MPEG-1. Перенести запис на будь-який комп'ютер можна за допомогою стандартного зчитувального пристрою.

Відеопередача в центр керування рятувальної операції реальної картини, що відбувається на місці її проведення за допомогою системи відеопередачі EVOLUTION, що полягає з передавача й приймача.

#### ***Відеопередавач:***

- Невеликий, простий у використанні, автономний блок
- Працює з будь-яким тепловізором серії EVOLUTION 5000, швидко встановлюється, не вимагає додаткового налаштування тепловізора
- Дозволяє розгорнути систему відеопередачі там і тоді, коли вам це буде потрібно

Двох канална аналогова система.

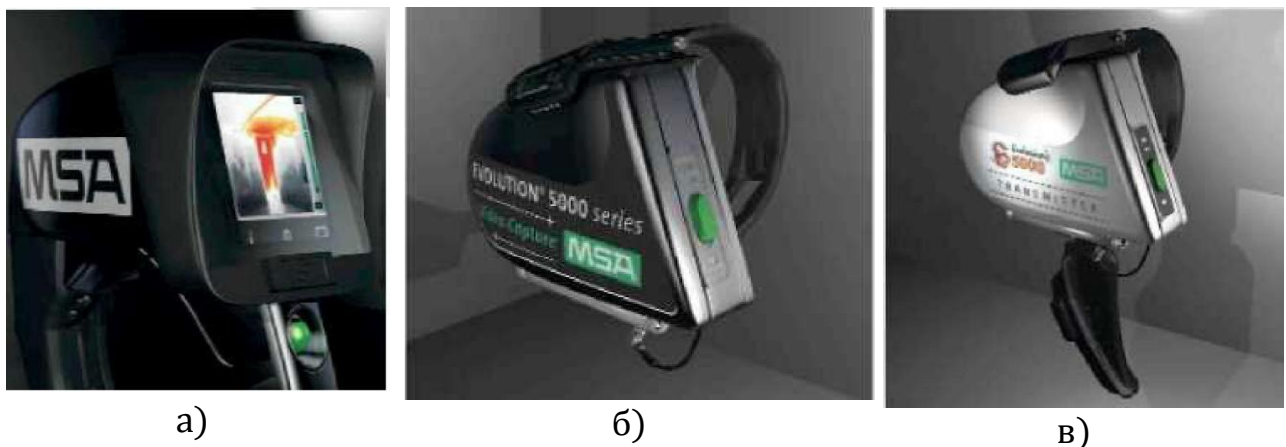


Рис. 10.15 – Система відеозапису й відеопередачі

а) дисплей, б) блок відеозапису, в) відеопередавач

- **Відеоприймач** EVOLUTION для простоти експлуатації практично в будь-яких умовах вбудований у міцну валізу з коліщатами.
- Комплексна й проста в експлуатації система
- Можлива поставка на вибір замовника 12-дюймового ЖК монітора
- Вбудований відеовихід для підключення зовнішнього монітора або відеозаписувального пристрою

**Відстань відеопередачі:**

- По прямої видимості: > 5000 метрів
- У лісі: 200-1000 метрів [залежить від густоти лісу]
- Тунель метро: близько 750 метрів
- Залізобетонний вузький тунель: приблизно 60 метрів



**Рис. 10.16 – Система відеозапису й відеопередачі**

а) блоки відеозапису, б) блок відеопередачі, в) дисплей



**Рис. 8.17 – Тепловізор ЕУОШТЮ5200 з додатковими блоками й приналежностями**

**Таблиця 10.10 – Технічні характеристики EVOLUTION 5000**

<b>Випробування</b>	
Захист від пилу й води	CEI. IEC 529. IP 67 [IP 54 для відеоприймача]
Вплив полум'ям	Згідно NFPA 1981-2002
Вплив теплом	Згідно NFPA 1982-1998
Вібрація	MIL-STD-810E Категорія 1 (Самоскид)
Захист від радіоперешкод	Відповідає директиві 89/336/ЕЕС згідно EN 61000-6-2 і EN 61000-6-4. FCC Частина 15
ДТП із переворотом [Транспортний зарядний пристрій!]	Згідно NFPA 1901-12.1.7
Удари/падіння	3 рази пораз на бетон з висоти 2 метрів під будь-яким кутом [ Для відеоблоків 1.22 м)
Тепло	260"З більш 8 хвилин 120°C більш 20 хвилин

<b>Джерело живлення</b>	
Li-Ion Акумулятор	Тепловізор: 2 hours; споживання менш 6.0 В при 22° С Блок відеозапису: > 5 годин Відеопередавач: > 4 годин
<b>Гарантія</b>	
Усі компоненти  2 року [включаючи відеоприймач}	
<b>Тепловізор EVOLUTION 5200</b>	
Маса	1.2 кг [з акумулятором}
Габарити	275 x205 x 112 мм [ВхШхТ]
Чутливий елемент	Неохолоджуваний мікроболометр із оксиду ванадію
Дозвіл зображення	160 x 120 пікселів
Температурне дозвіл[точність1	Режим ВЧ: 0.065; °С [65 mK] Режим МЧ: 0.240°С [240 mK}
Поле зору	68" по діагоналі. 55" по горизонталі. 41" по вертикалі
Відеовихід	RS-170
<b>Блок відеозапису</b>	
Маса	380 Г (з акумулятором]
Габарити	120x 140x 120мм [ВхШхТ]
Тривалість запису	2 години
Карта пам'яті	Стандартная RS-MMC
Формат запису	Mpeg1
<b>Відеопередавач</b>	
Маса	460 Г [з акумулятором ]
Габарити	210 x 140 x 120 мм [ВхШхТ]
Потужність	450 мВ EIRP
<b>Відеоприймач</b>	
Антенa	Спрямована плоска антенa [18 db]
Відеовихід	BNC [nano] з'єднувач NTSC (приймач без монітора) PAL (приймач із монітором)
Живлення	12/24 В постійного спневе й 110/230 В змінно-го.струму
Додаткова вимога	E1 для транспортного засобу

Таблиця 10.11 –Комплектація EVOLUTION

10063770	EVOLUTION 5200 стандартна комплектація
10063772	EVOLUTION 5200 з оперативним термоіндикатором Quick-Temp
10063773	EVOLUTION 5200 з теплоіндикатором Heat Seeker PLUS
10063775	EVOLUTION 5200 з оперативним термоіндикатором Quick-Temp і з теплоіндикатором Heat Seeker PLUS
<b>Відеозапис</b>	
10064785	Блок відеозапису [вкл. карту пам'яті И 5-MMC і читаючий пристрій]
10069791	Читаючий пристрій для карти пам'яті MMC
10069792	Карта пам'яті И 5-MMC 512MB

Відеопередавальна система	
10048841	Передавач
10039300	Приймач із валізою [ без монітора]
10049271	Приймач із валізою й монітором
10067721	Приймач [ без валізи й монітора]
Приналежності	
10043951	Настільний зарядний пристрій
10043960	Li-ion акумулятор
10038977	Транспортний зарядний пристрій
10039602	Кронштейн для кріплення тепловізору в автомобілі, без зарядки
10040223	Валіза для тепловізору
10038970	Захисні покриття для дисплея, разові [3 шт. в упаковці]
10039516	Зап'ясна петля зі скобою
10039515	Наплічний ремінь
10040226	тросик ,
10040005	Карабін
10039603	Протисонячний захисний чохол
10040163	Комплект світловідбиваючих наклейок
10062184	Комплект світловідбиваючих ідентифікаційних наклейок
10040229	Штатив
10040004	Перехідник відеорознімання (SMA - BNC)

### 10.3.6 Перспективний комплекс Rossi-megasense

У цей час концерн Rossi формує комплекс на базі комп'ютерної системи розпізнавання об'єктів, що рухаються, Rossi-megasense [4] і ТПВ і ТВ приладів спостереження. Комплекс призначений для розв'язку завдань охорони, спостереження, реєстрації й контролю доступу. Він здійснює виділення контурів об'єктів і спостереження за ними й фактично емулює нейронний механізм зору людини, що дозволяє суттєво знизити чутливість до зовнішніх джерел перешкод (тіні, відблиски, сніг, дощ, туман). Комплекс має до 4 або до 8 каналів для введення відеосигналів у комп'ютер, а кожний канал - незалежне настроювання по таких параметрів. як кількість зон детекції, їхнє розташування, розмір. Для кожної зони можна задавати розмір контрольованих об'єктів, поріг чутливості до швидкості переміщення об'єктів, необхідність контролю дрібних об'єктів. Комплекс Rossimegasense з використанням ТПВ включає наступні технічні засоби:

- персональний комп'ютер IBM PC Pentium II 400MG, RAM 64 Мб, HDD 2,5 Gb:
- операційну систему - 32 bit Microsoft Windows'95 або Windows NT:
- тепловізійні або телевізійні камери, що мають на виході стандартний відеосигнал.

#### **Можливості комплексу:**

Крім основних переваг тепловізійної апаратури даний комплекс має наступні можливості:

- цілодобова робота;

- висока стійкість до природніх (дощ, сніг, тіні) і штучним (світло фар, відблиски) перешкодам;
- настроювання на об'єкти заданих розмірів;
- зонне маскування;
- запам'ятовування кадрів від будь-якої події по будь-якому каналу з міткою часу й дати;
- керована JPEG - компресія зображень;
- перегляд записаних кадрів у режимах відтворення, перемотування, у кроці, у реальному часі;
- обробка зображень;
- створення архіву;
- мовні повідомлення на події про порушення зони контролю;
- керування вилученими виконавчими пристроями.

Враховуючи перераховані моменти, можна припустити області застосування даного комплексу:

- охорона об'єктів паливно-енергетичного комплексу, хімічної промисловості;
- екологічний контроль над шкідливими техногенними викидами у водну й повітряну середовища;
- охорона складних протяжних ділянок;
- попередження незаконного проникнення об'єктів на контрольовану територію;
- пошуково-рятувальні операції, пов'язані з катастрофами, аваріями й пошуком людей, техніки у важкодоступних місцях;
- раннє виявлення великих пожеж.

## **Висновки**

У лекції розглянути класифікація прикладних ТВ систем, склад, призначення основні характеристики зразків телевізійного та тепловізійне пошукового обладнання.

Навчальне видання

**СПЕЦІАЛІЗОВАНІ ТЕЛЕВІЗІЙНІ СИСТЕМИ**

*Курс лекцій*

Підписано до друку 30.05.18. Формат 60x84 1/16.

Умовн.-друк. арк.17,0.

Вид. № 35/18.

Сектор редакційно-видавничої діяльності  
Національного університету цивільного захисту України  
61023 м. Харків, вул. Чернишевська, 94.

[www.nuczu.edu.ua](http://www.nuczu.edu.ua)