

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

# ПРИСТРОЇ ВІДОБРАЖЕННЯ ТА РЕЄСТРАЦІЇ ІНФОРМАЦІЇ КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
як навчальний посібник для студентів,  
які навчаються за спеціальністю 171 «Електроніка»,  
спеціалізацією «Електронні системи»*

Київ  
КПІ ім. Ігоря Сікорського  
2019

Пристрої відображення та реєстрації інформації: [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 171 «Електроніка», спеціалізації «Електронні системи» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Миколаєць Д.А. – Електронні текстові данні (1 файл: 8279 кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 388 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 9 від 30.05.19 р.)*

*за поданням Вченої ради факультету (протокол № 5/19 від 23.05.19 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

# ПРИСТРОЇ ВІДОБРАЖЕННЯ ТА РЕЄСТРАЦІЇ ІНФОРМАЦІЇ КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

Укладач: *Миколаєць Дмитро Анаталійович, канд. техн. наук, доц.*

Відповідальний редактор *Жуйков В.Я., декан факультету електроніки, д-р техн. наук, проф.*

Рецензенти: *Іванько К.О., доц. каф ЕІ, канд. техн. наук, доц.*

Видання присвячене поясненню принципів роботи і особливостей управління різними типами пристроїв відображення і реєстрації інформації. Викладені фізичні основи роботи, конструкції, основні параметри і сфери застосування приладів. Розглянуті питання управління індикаторами з використанням мікропроцесорної техніки. Посібник підготовлений на кафедрі "Промислова електроніка" і призначені для студентів спеціальності 171 «Електроніка», спеціалізації «Електронні системи».

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019

# ЗМІСТ

<b>Вступ</b> .....	7
<b>Розділ 1</b> Інформація і людина .....	8
Тема 1.1. Людські аналізатори і їх характеристики.....	8
Лекція 1. Загальна характеристика органів відчуття. Вестибулярний аналізатор та його характеристики. Тактильний (шкірний, дотиковий) аналізатор та його характеристики. Руховий аналізатор та його характеристики.....	8
Лекція 2. Зоровий аналізатор та його характеристики. Слуховий аналізатор та його характеристики.....	20
Тема 1.2. Інформація та інформаційна модель .....	28
Лекція 3. Інформаційна модель, її різновиди, галузі використання. Передача, зберігання і обробка інформації.....	28
Тема 1.3 Структура і основні параметри засобів відображення інформації.....	34
Лекція 4. Структурна схема системи відображення інформації. Параметри засобів відображення інформації.....	34
<b>Розділ 2.</b> Індикатори та екрани.....	40
Тема 2.1. Вакуумні люмінесцентні індикатори.....	40
Лекція 5. Принцип роботи. Конструктивні модифікації. Довговічність. Керування ВЛІ .....	40
Тема 2.2. Світлодіод та світлодіодні екрани.....	59
Лекція 6. Світлодіод, його характеристики та принцип роботи. Пристрої на світловипромінювальних діодах. Світлодіодні екрани, їх структура та класифікація. Кольороутворення. Технологія виготовлення.....	59
Лекція 7. Формування зображення на світлодіодному екрані. Черезрядкова разгортка або часовий розподіл (time division) світлодіодних	

екранів. Частота рефреша світлодіодного екрану і людське око. Частота рефреша екрану і відеокамера. Вартість збільшення частоти рефреша світлодіодних екранів. Динамічний діапазон яскравості, відтворення кольорів і контрастність світлодіодного екрана. Драйвери світлодіодних екранів. Сучасні системи управління світлодіодними екранами. Базові функції системи управління світлодіодним екраном. Мережеві функції системи управління світлодіодним екраном. Функції моніторингу світлодіодного екрана. Функції інформаційної безпеки системи управління світлодіодним екраном.....	105
<b>Тема 2.3. Рідкокристалічні екрани.....</b>	<b>134</b>
Лекція 8. Термін рідкі кристали, рідкокристалічний екран. Винахід та історія. Загальний принцип роботи.....	134
Лекція 9. РКЕ з пасивною матрицею. РКЕ з активною матрицею. Функціонування тонкоплівкових транзисторів. Матриця TN. Матриця IPS. Матриця MVA/PVA. Методи адресації рідкокристалічних елементів.....	142
<b>Розділ 3 Принципи аналогового телебачення.....</b>	<b>157</b>
<b>Тема 3.1. Частотний спектр телевізійного сигналу.....</b>	<b>157</b>
Лекція 10. Повний телевізійний сигнал. Спектр частот телевізійного сигналу. Передача звукового супроводу .....	157
<b>Тема 3.2. Принципи побудови систем кольорового телебачення.....</b>	<b>171</b>
Лекція 11. Принцип передачі кольорового зображення. Сумісність кольорового телебачення. Частотний спектр повного кольорового телевізійного сигналу. Врахування фізіологічних особливостей кольорового зору .....	171
Лекція 12. Особливості формування сигналів яскравості і кольоровості. Кольоро-різницеві сигнали. Системи кольорового телебачення NTSC, PAL, SECAM.....	181
<b>Розділ 4 Мультимедійні пристрої відображення інформації.....</b>	<b>209</b>

Тема 4.1. Проектори.....	209
Лекція 13. Мультимедійні проектори. CRT-технологія. LCD-технологія. D-PLA-технологія. DLP-технологія. Лазерні проектори.....	209
Тема 4.2. Лазерні принтери.....	232
Лекція 14. Визначення, види. Лазерні принтери. Будова лазерного принтера.....	232
Лекція 15. Принцип друку та пристрій картриджа лазерного принтера. Пристрій картриджа. Кольоровий друк за допомогою лазерного принтера. Будова фотобарабана .....	239
Тема 4.3. Електродинамічний гучномовець.....	250
Лекція 16. Звукові динаміки або головки прямого випромінювання. Пристрій динамічного гучномовця. Технічні характеристики динамічної головки .....	250
Лекція 17. Принцип роботи динамічної головки. Стерефонія. Методи стереозапису. Бінауральний ефект. Системи стереофонічного мовлення .....	259
<b>Розділ 5 Пристрої збереження інформації.....</b>	<b>294</b>
Тема 5.1. Оптичні диски.....	294
Лекція 18. Оптичні диски CD. Пристрій приводу. Види пристроїв зчитування.....	294
Лекція 19. Принцип оптичного зчитування інформації в CD-програвачах. Пристрій оптичного диска. DVD диски. Біо-оптичні лазерні диски .....	298
Тема 5.2. Жорсткий диск.....	313
Лекція 20. HDD, жорсткий диск і вінчестер. Історія створення. Будова та принцип роботи жорсткого диску комп'ютера. Технології магнітного запису. Основні характеристики вінчестерів. Форматування вінчестерів.	

Основні інтерфейси підключення. Виникнення нечитаних секторів на поверхні жорсткого диску.....	313
Тема 5.2. Flash пам'ять.....	341
Лекція 21. Поняття flash пам'яті. Загальний пристрій роботи комірки flash пам'яті.....	341
Лекція 22. Архітектура flash пам'яті. Карти пам'яті .....	348
<b>Розділ 6</b> Пристрої оптичної реєстрації інформації.....	354
Тема 6.1. Фотоапарат.....	354
Лекція 23. Світлочутлива матриця. Пристрій одного пікселя матриці. Характеристики матриць.....	354
Лекція 24. Технології виготовлення матриць. Методи отримання кольорового зображення.....	369
Перелік посилань.....	387

## ВСТУП

Курс «Пристрої відображення та реєстрації інформації» є складовою частиною дисциплін, які включені до переліку обов'язкових дисциплін інженерної підготовки з електронних систем і призначена для підготовки спеціалістів та магістрів за напрямом «Електронні пристрої та системи».

Метою курсу є вивчення принципів побудови та функціонування пристроїв відображення та реєстрації інформації, придбання практичних навичок роботи з ними та ознайомлення з основами їх проектування.

Під час вивчення курсу студенти набувають знання про основні параметри людських аналізаторів та способи впливу на них, принципи роботи систем відображення, передачі і реєстрації інформації, переваги та недоліки застосування тих чи інших систем відображення та реєстрації інформації, а також методів керування ними.

Пропонований посібник дає загальні відомості і фактичний матеріал по технічним характеристикам пристроїв відображення і реєстрації інформації, управління ними, питанням конструювання електронних індикаторних пристроїв і систем. Приводиться велика кількість прикладів пристроїв візуалізації, запису, збереження та передачі інформації. Розглянуті питання функціонування телевізійних засобів відображення інформації.

Засвоєння матеріалу дисципліни “Пристрої відображення та реєстрації інформації” створює базу для вивчення курсів: спеціалізовані та промислові мікропроцесорні системи, електронні системи керування та регулювання.

## РОЗДІЛ 1. ІНФОРМАЦІЯ І ЛЮДИНА

### **Тема 1.1. Людські аналізатори і їх характеристики**

*Лекція 1.* Загальна характеристика органів відчуття. Вестибулярний аналізатор та його характеристики. Тактильний (шкірний, дотиковий) аналізатор та його характеристики. Руховий аналізатор та його характеристики.

Засоби відображення інформації є однією з таких галузей сучасної електроніки, що розвиваються найбільш швидко, для якої, також, характерним є широке використання великих інтегральних схем і різноманітних електронних індикаторів, заснованих на різних фізичних принципах формування зображення і різних технологіях їх реалізації. Про зображення мова йде не випадково, оскільки людина більшу частину інформації про зовнішній світ (близько 80%) отримує саме по зорових каналах.

Проте, для початку, необхідно розглянути всі канали, якими людина отримує інформацію.

Приєм інформації здійснюється за допомогою аналізаторів. Аналізаторами називаються нервові органи, які забезпечують прийом і первинний аналіз інформаційних сигналів. Робота аналізаторів є фізіологічною основою відчуття. Інформація, яка надходить через аналізатори, називається сенсорною (від лат. *sensus* - почуття, відчуття), а процес її прийому й первинної обробки - сенсорним сприйняттям, сенсорною діяльністю.

Аналізатори складаються з трьох функціонально пов'язаних ланок (рис.1.1): периферичної, - сприймаючої, це - рецептори, які знаходяться на поверхні тіла і сприймають зовнішню інформацію (їх також називають органами відчуттів); рецепторів, які знаходяться у внутрішніх органах і сприймають інформацію про їхній стан; провідникової ланки, що являє



собою нервові зв'язки, які з'єднують рецептори з відповідними ділянками кори головного мозку; і, нарешті, центральної або коркової ланки, - певної зони у корі головного мозку.

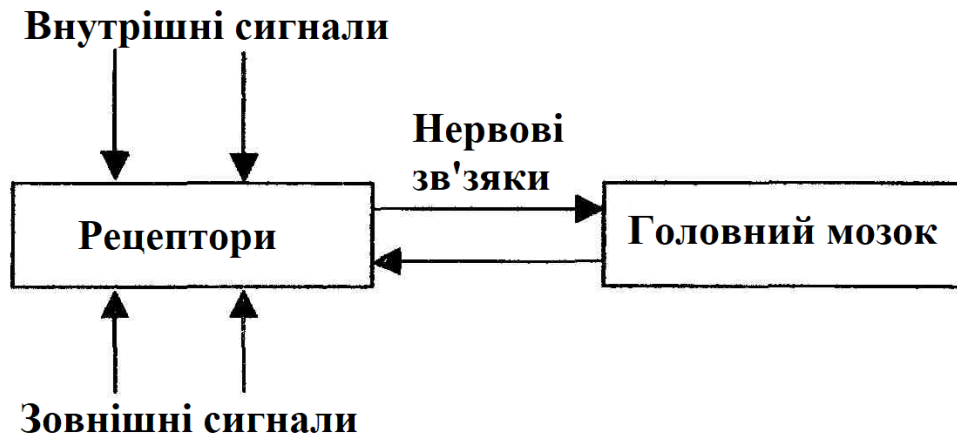


Рис. 1.1. Функціональна схема аналізатора

Периферична частина аналізаторів - органи відчуттів — специфічні. Одні органи відчуттів сприймають тільки світлові подразники, другі - звукові, треті - температурні, четверті — дотикові і т.п. Рецептори виконують функції датчиків, які сприймають сигнали, що до них надходять, здійснюють їх часткову обробку і перетворюють у біоелектричні сигнали, які потім передаються по аферентних нервових зв'язках у центральну нервову систему (ЦНС). В процесі аналізу в ЦНС виробляються біоелектричні команди, які передаються по зворотному нервовому зв'язку на рецептори і забезпечують їх оптимальне настроювання в залежності від характеристик сигналів та інших факторів.

Рецептори, які знаходяться в органах чуття, забезпечують основні відчуття (рис.1.2), такі як зір, слух, нюх, смак, дотик і пропріоцепція.

До зовнішніх аналізаторів, за допомогою яких відбувається сприйняття зовнішнього світу, належать:

- зоровий (рецептор - око);
- слуховий (рецептор - вухо);

- рецептори шкіри: тактильний, больовий, температурний (окремо на холод і тепло);
- нюховий (рецептор у носовій порожнині);
- смаковий (рецептори на поверхні язика, піднебінні).



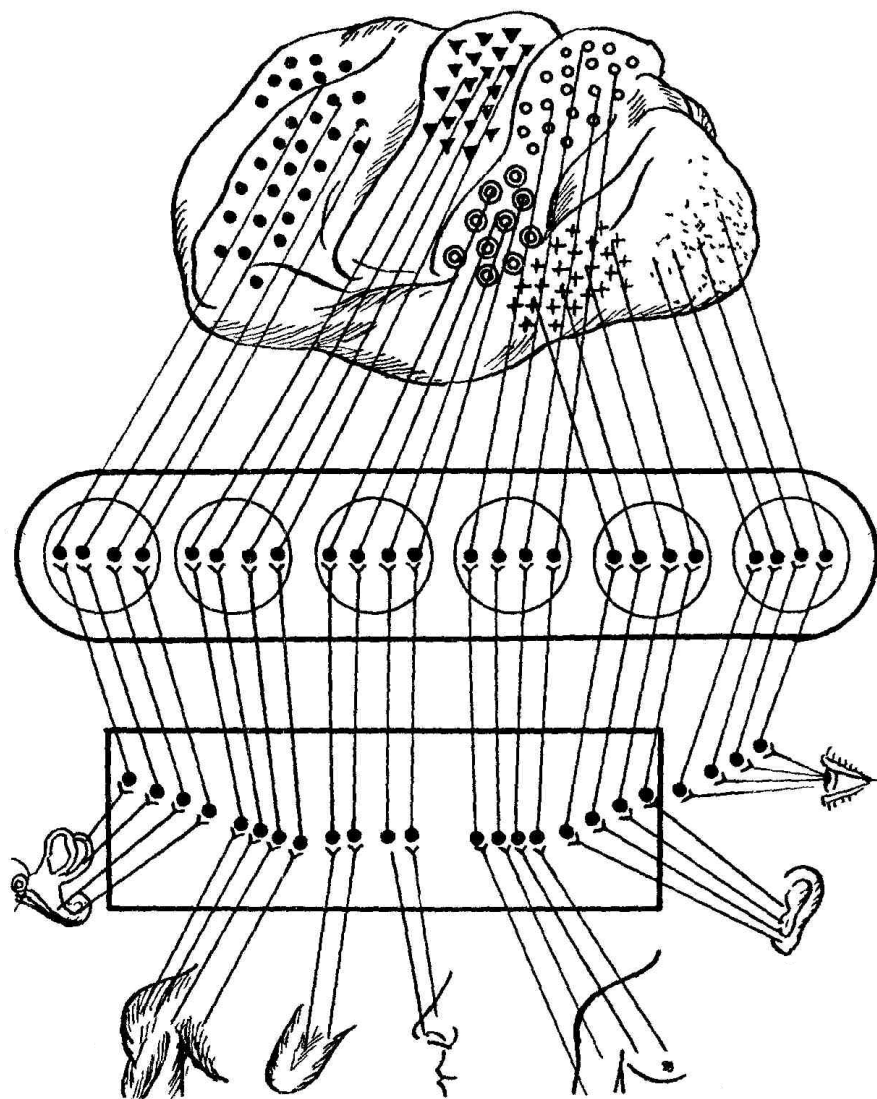
Рис. 1.2 Органи відчуттів

Рецепторний апарат аналізаторів, за допомогою якого відбувається аналіз процесів, що протікають в організмі людини, представлений внутрішніми аналізаторами, які розміщені у м'язах, сухожиллях, зв'язках та внутрішніх органах (рис.1.3).

До внутрішніх аналізаторів належать: аналізатор тиску, кінестетичний (рецептори у м'язах та сухожиллях), вестибулярний (рецептори у внутрішньому вусі), спеціальні аналізатори, які знаходяться у внутрішніх органах і порожнинах тіла.

Основні характеристики аналізаторів такі:

1. Абсолютна чутливість до інтенсивності сигналу (абсолютний поріг відчуття за інтенсивністю) характеризується мінімальним значенням подразника, який викликає відчуття. В залежності від модальності подразника (до якого аналізатора надходить інформація) абсолютний поріг вимірюється в одиницях енергії, тиску, температури, кількості або концентрації речовини тощо.



**Аналізатори**

- |       |                   |       |                           |
|-------|-------------------|-------|---------------------------|
| ••••• | <b>Зоровий</b>    | ⊙⊙⊙⊙  | <b>Смаковий і нюховий</b> |
| +++++ | <b>Слуховий</b>   | ▼▼▼▼  | <b>Руховий</b>            |
| ⊙⊙⊙⊙  | <b>Тактильний</b> | ••••• | <b>Внутрішній</b>         |

Рис 1.3. Схема зв'язку аналізаторів з відділами кори головного мозку

2. Гранично допустима інтенсивність сигналу (звичайно близька до больового порогу) вимірюється в тих же одиницях.

3. Діапазон чутливості до інтенсивності містить всі перехідні значення подразника від абсолютного порогу чутливості до больового порогу.

4. Диференційна (роздільна) чутливість до зміни інтенсивності сигналу (диференційний або роздільний поріг за інтенсивністю) - це мінімальне значення зміни інтенсивності  $\Delta J$  й відносна величина, яку визначають у відсотках:  $(\Delta J / J)100\%$ , де  $J$ - вихідна інтенсивність.

5. Межі (діапазон) спектральної чутливості (абсолютні пороги відчуття за частотою довжини хвилі) визначаються для аналізаторів, які чутливі до зміни частотних характеристик сигналу (зорового, слухового, вібраційного), визначають окремо нижній і верхній пороги.

6. Диференційна (роздільна) чутливість до зміни частоти сигналу (диференційний, роздільний поріг за частотою) вимірюється аналогічно диференційному порогу за інтенсивністю або в абсолютних одиницях  $\Delta f$  або у відносних –  $(\Delta f/f)100\%$ .

7. Кількість роздільних градацій сигналу, які використовуються замість абсолютних і диференційних порогів за частотою, якщо не існує шкали для вимірювання градацій (смаковий, нюховий аналізатори).

8. Просторові характеристики чутливості. Специфічні для кожного аналізатора.

9. Мінімальна тривалість сигналу, яка потрібна для виникнення відчуття. Вона визначається часом, потрібним для прийому сигналу і його циркуляції по ланцюгу прямого й зворотного зв'язку.

Диференційний поріг характеризує граничні можливості аналізатора, тому він не може бути основою для вибору допустимої тривалості, величини сигналу. У цьому випадку необхідно користуватися величиною, яка характеризує не мінімальну, а деяку оптимальну розрізняльність

сигналів. В інженерній психології для цього застосовують оперативний поріг розрізнення, це - найменша величина інтервалу розрізнення, при якій точність і швидкість розрізнення досягають максимуму. Звичайно оперативний поріг у 10-15 разів перевищує диференційний.

### 1.1 Коротко про зоровий аналізатор

Наші очі отримують оптичні сигнали та посилають їх у мозок. Тут інформація «декодується» і ми відчуваємо та розуміємо. Будову ока зображено на рис.1.4. Образ, що ми бачимо, відображується на сітківку крізь кришталік. Інформація, яку отримує сітківка (колір, форма, тощо) перетворюється в електрохімічний сигнал та надсилається у мозок.

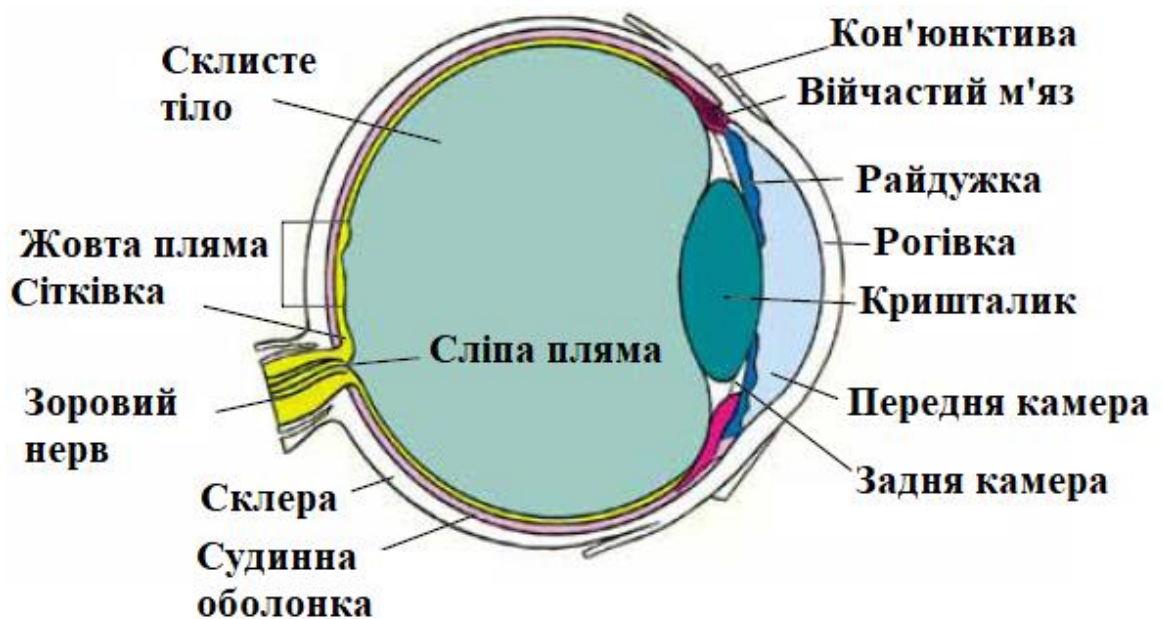


Рис. 1.4 Будова ока

Доки в нас два ока, мозок отримує інформацію від двох джерел. Мозок оброблює інформацію. У цьому процесі інформація, яку ми бачимо, від обох очей порівнюється. Це дає змогу оку давати тримірне зображення. Мозок використовує інформацію, яку він запам'ятав, для того, щоб робити це, оскільки інтерпретація образу, що ми бачимо, вивчається, і мозок

успішно змінює форму. Це дозволяє легко ввести в оману мозок, використовуючи візуальні ілюзії. Але як би там не було, як тільки мозок декодує ілюзію, він навчається і буде значно важче обманути його знову.

## 1.2 Слуховий аналізатор

Вухо – надзвичайно чутливий орган. Ми можемо ідентифікувати звук від 20 до 20000 Герц. Рівень шуму вимірюється в децибелах. Рівень тиши в аудиторії приймається за 0 дБ. Але, нажаль, немає верхньої границі гучності. Ми визначаємо ці звуки як „шум”, іноді вони стають неприємними.

Процес слухання наступний: Звук надсилається у слуховий прохід (рис.1.5) і створе вібрацію барабанної перепонки, яка, у свою чергу, передає вібрацію на молоточок та стреміно. Поруч із стреміном знаходиться вушний равлик, який заповнений рідиною та вкритий великою кількістю волосків. Ці волоски перетворюють коливання в електромеханічні сигнали, які передаються у мозок.

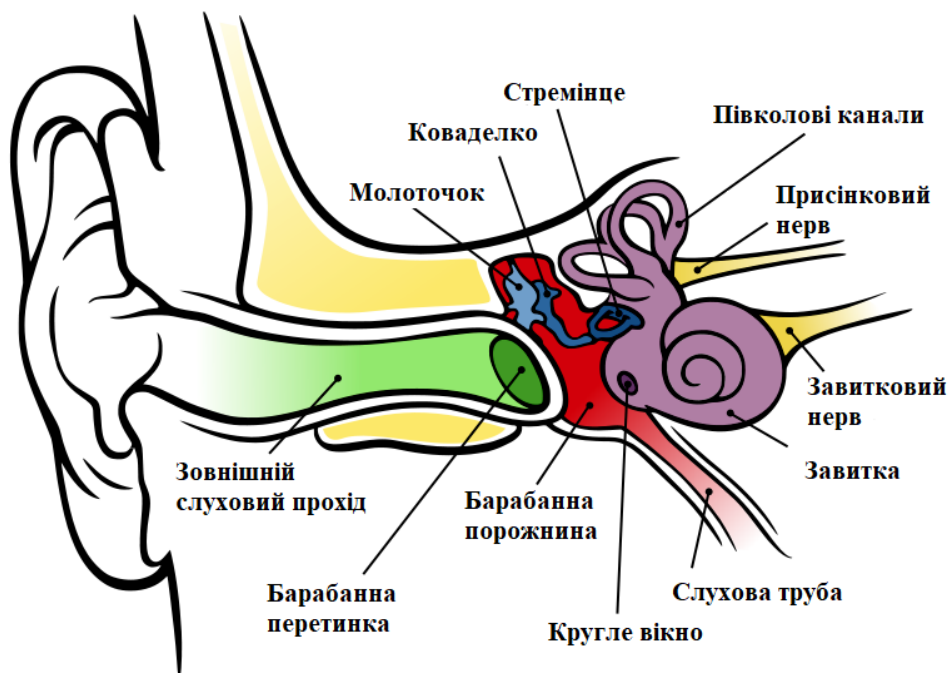


Рис. 1.5. Будова слухового аналізатору

Важливо знати, що слух може погіршуватися, якщо на вухо довгий час діє звук великої гучності. Необхідно використовувати захист для вух за умови рівня шуму понад 90 дБ. Якщо на вухо впливає шум понад 90 дБ протягом 4 годин та більше, захист слід використовувати при рівні 85 дБ. Це трохи вище шуму автомобіля, що рухається (80 дБ). Шум може впливати на людей різними шляхами. Шум погіршує слух необоротньо. Шум також знижує здатність розрізняти слова та поперджувальні сигнали. Ультразвук (понад 20000 Герц) та інфразвук (нижче 20 Герц) проходять скрізь вухо, їх не можна почути, але вони відчуюються. Результатом може бути погане самопочуття, пошкодження нервових волокон у мозку та запаморочення (при впливі ультразвуку), втрата просторової орієнтації, нудота, навіть внутрішня кровотеча (при впливі інфразвуку).

### **1.3 Вестибулярний аналізатор**

Вестибуляторний аналізатор є органом сприйняття положення і руху тіла у просторі, а також органом збереження рівноваги. Він є частиною внутрішнього вуха і складається з двох частин: системи напівкруглих каналів і так званого отолітового апарата, або отолітового органа (рис. 1.6).

Сполучені між собою напівкруглі канали розташовані в трьох взаємно майже перпендикулярних площинах і заповнені своєрідною желеподібною рідиною - ендолімфою. У кожного напівкруглого каналу є своєрідне розширення - ампула, в якій і містяться рецептори.

Рецептори напівкруглих каналів являють собою волоскові клітини, їхні волоски перебувають у желеподібній масі, при зміщенні якої вони деформуються. Рецептори отоліто-вого апарата мають аналогічну будову. Волоски їхні розташовані також у желеподібній масі, у якій є кристали фосфату і карбонату кальцію - отоліти, або вушні камені.



Рис. 1.6. Будова вестибуляторного аналізатора.

Деформація волосків чутливих клітин не виникає при сталій швидкості або при незмінному напрямку руху. Рецептори напівкруглих каналів реагують на кутові прискорення у будь-якому напрямку, а рецепторні клітини отолітового органу - на відцентрові сили, прямолінійне прискорення або сповільнення і на силу земного тяжіння.

Дія рефлексів і, насамперед, рефлексів м'язової системи спрямована проти тих сил, які їх викликали. Зокрема, якщо під час віражу відцентрова сила віддаляє тіло людини від центра обертання, то підвищується тонус м'язів на боці, зверненому до центра, і це перешкоджає такому відхиленню.

Під час обертального та прямолінійного рухів виникає своєрідна окорухова реакція - ністагм (збереження фіксації оком об'єктів, які залишили поле зору, тобто збереження початкового напрямку погляду).

Абсолютна чутливість вестибулярного аналізатора характеризується мінімальними, тобто пороговими величинами діючих факторів. Для кутового прискорення поріг становить 0,015...0,05 рад/с, для прямолінійного — 2...20 см/с ; порогова величина нахилу голови вбік дорівнює приблизно 1°, уперед і назад - 1,5...2°. Відцентрова сила



сприймається при її значеннях 0,005.. .0,01 §.

Не всі люди однаково чутливі до однакових за силою сигналів, що діють на вестибулярний аналізатор. Сумну популярність отримали реакції з боку внутрішніх органів, оскільки багатьом людям доводилося зазнавати неприємного відчуття під час хитавиці на кораблі, при "бовтанці" літака, на звивистих шляхах та в деяких інших ситуаціях (заколисування, морська хвороба, хвороба руху). В результаті змінюється тонус м'язів шиї, тулуба та кінцівок, виникають ністагм, а також вегетативні реакції (запаморочення, підвищене потовиділення, збліднення, зміна в роботі серця, порушення ритму дихання, поява нудоти та блювання). Звичайно, категорія цих людей має певні обмеження при виборі професії, особливо в авіації.

Член екіпажу, який має підвищену чутливість вестибулярного апарата, може неправильно оцінити положення, висоту та характер руху літака, тобто у нього виникає своєрідна ілюзія, - спотворене відображення усвідомлення свого положення в просторі.

Для попередження виникнення ілюзій необхідно, щоб час безконтрольного стану свого положення у просторі не був надто великим. Необхідно також дублювати польотну інформацію. Наприклад, при крені літака справність (достовірність інформації) авіагоризонту можна перевірити за покажчиком повороту і за компасом, набір висоти або зниження - за варіометром, висотоміром та покажчиком швидкості. Збіг даних від двох та більше джерел свідчить про правильне визначення положення літака в повітрі.

#### **1.4 Тактильний (шкірний, дотиковий) аналізатор**

Тактильна чутливість (дотик), обумовлена функціонуванням механочутливих аферентних систем шкірного аналізатора. За допомогою тактильного аналізатора людина визначає шорсткість предметів, їх твердість, величину, форму та ін. Чутливість при дотику проявляється внаслідок деформації шкіри під тиском зовнішнього впливу. Рецепторні

поля розміщені на тілі нерівномірно. Особливо багато їх у подушечках пальців рук, на кінчику язика і носа, на губі й долонях, що забезпечує цим ділянкам вищу, порівняно з іншими місцями, чутливість. Існує проба на тактильну чутливість: спеціальним циркулем з притупленими голками торкаються різних ділянок тіла. Кінчик язика сприймає як два роздільні сигнали, коли ніжки циркуля розведені на відстань 1,1 мм, для подушечок пальців руки їх потрібно розвести на 2,2 мм, а для долоні цю відстань треба збільшити до 8,9 мм, інакше два сигнали будуть сприйматися як один.

Абсолютний поріг чутливості найбільш чутливих ділянок дорівнює 50 мг, а в найменш чутливих він досягає 10г (спина, живіт, підошва ступні).

### **1.5 Руховий аналізатор**

Руховий аналізатор має винятково велике значення для виконання керуючих дій. Він складається з трьох ланок: периферичної - рецепторів, які знаходяться у м'язах, сухожиллях, зв'язках та оболонках м'язів (фасціях); провідникової, яка проходить в системі задніх стовбурів спинного мозку, та коркової (в області передньої центральної звилини головного мозку).

Розрізняють два види м'язів: поперечно-смугасті (скелетні) м'язи, скороченням яких керує наша свідомість, і гладкі мускули, що працюють незалежно від волі людини (наприклад, звужують або розширюють судини; утворюють м'язову оболонку стінок шлунку, кишок, сечового міхура та інших порожнинних органів, протоків залоз, кровоносних та лімфатичних судин). Проміжне положення між ними займає м'яз серця, властивістю якого є автоматизм скорочень .

У людини є понад 630 поперечно-смугастих м'язів. По відношенню до загальної маси людини м'язи становлять від 30% (у жінок) до 50% (у чоловіків). Усі поперечно-смугасті м'язи споряджені руховими й чутливими нервовими волокнами.

М'язова тканина має волокнисту структуру. Окреме волокно — це ніби

м'яз в мініатюрі. Він являє собою досить довгий циліндр - до 10 см і діаметром близько 0,1 мм. Один м'яз складається з тисяч таких волокон.

За допомогою скелетних м'язів, які є руховими елементами системи важелів скелету людини, здійснюються різні рухи: грубі, плавні, складні, координовані та ін.

*Лекція 2. Зоровий аналізатор та його характеристики. Слуховий аналізатор та його характеристики.*

Запишемо деякі фізичні величини, пов'язані зі світлом:

**Сила світла** — відношення світлового потоку, до тілесного кута, в межах якого проходить цей потік. Одиниця вимірювання СІ: кандела (кд). Сила світла джерела, що випромінює у всі напрямки, обчислюється за формулою:

$$I = \frac{\Phi}{4\pi}, \quad (1.1)$$

де  $\Phi$  - повний світловий потік джерела

**Світловий потік** — кількісна характеристика випромінювання, яке випромінюється джерелом світла. Одиниця вимірювання СІ: люмен. або

**Світловий потік** - фізична величина, що чисельно дорівнює енергії світлового потоку, який проходить через деяку поверхню за одиницю часу.

**Яскравість** — світлова характеристика тіл, які є джерелами світла. Відношення сили світла, що випромінюється поверхнею в одиницю тілесного кута до площі її проекції в площині, перпендикулярній напрямку спостереження. Одиниця вимірювання СІ: кд/м<sup>2</sup>.

*Тілесний кут або просторовий кут* — частина простору, яка є об'єднанням усіх променів, що виходять з деякої точки (вершини кута) і перетинають деяку поверхню (яка називається поверхнею, що стягує даний тілесний кут). Окремими випадками тілесного кута є тригранні і багатогранні кути. Тілесний кут обмежує деяка конічна поверхня.

Людина не може бачити в повній темряві. Для того, щоб людина побачила предмет, необхідно, щоб світло засяяло від предмета і потрапив на

сітківку ока. Джерела світла можуть бути природні (вогонь, Сонце) і штучні (різні лампи). Але що являє собою світло?

Згідно з сучасними науковими уявленнями, світло являє собою електромагнітні хвилі певної (досить високого) діапазону частот. Ця теорія бере свій початок від Гюйгенса і підтверджується багатьма дослідженнями (зокрема, досвідом Т. Юнга). При цьому в природі світла в повній мірі проявляється корпускулярно-хвильовий дуалізм, що багато в чому визначає його властивості: при поширенні світло поводить себе як хвиля, при випромінюванні або поглинанні - як частка (фотон). Таким чином, світлові ефекти, що відбуваються при поширенні світла (інтерференція, дифракція і т.п.), описуються рівняннями Максвелла, а ефекти, які проявляються при його поглинанні і випромінюванні (фотоефект, ефект Комптона) - рівняннями квантової теорії поля.

Спрощено, очі людини являє собою радіоприймач, здатний приймати електромагнітні хвилі певного (оптичного) діапазону частот. Первинними джерелами цих хвиль є тіла, що їх випромінюють (сонце, лампи і т.п.), вторинними - тіла, що відображають хвилі первинних джерел. Світло від джерел потрапляє в око і робить їх видимими людині. Таким чином, якщо тіло є прозорим для хвиль видимого діапазону частот (повітря, вода, скло тощо), то воно не може бути зареєстровано оком. При цьому очі, як і будь-який інший радіоприймач, «налаштовані» на певний діапазон радіочастот (у випадку очей це діапазон від 400 до 790 терагерц), і не сприймає хвилі, що мають більш високі (ультрафіолетові) або низькі (інфрачервоні) частоти. Ця «настройка» проявляється у всій будові ока - починаючи від кришталика і склоподібного тіла, прозорих саме в цьому діапазоні частот, і закінчуючи величиною фоторецепторів, які в даній аналогії подібні антен радіоприймачів і мають розміри, що забезпечують максимально ефективний прийом радіохвиль саме цього діапазону.

Все це в сукупності визначає діапазон частот, в якому бачить людина. Він називається діапазоном видимого випромінювання.

**Видиме випромінювання** - електромагнітні хвилі, що сприймаються людським оком, які займають ділянку спектра з довжиною хвилі приблизно від 380 (фіолетовий) до 740 нм (червоний). Електромагнітне випромінювання з такими частотами також називається видимим світлом, або просто світлом (у вузькому сенсі цього слова). Найбільшу чутливість до світла людське око має в області 555 нм (540 ТГц), в зеленій частині спектра.

Окрім частотного спектру, зір людини характеризується, також, наступними основними параметрами: *чутливістю, роздільною здатністю, полем ясного зору, критичною частотою мерехтіння, часом адаптації, пропускною здатністю людини.*

Мінімальна (порогова) величина яскравості світлової плями, яку око виявляє на чорному фоні називається нижнім **абсолютним порогом чутливості**. Верхній абсолютний поріг чутливості характеризується больовими відчуттями. Діапазон яскравості між верхнім та нижнім порогом чутливості знаходиться в межах від  $3 \times 10^{-8}$  до  $2,25 \times 10^5$  кд / м<sup>2</sup>. При зміні освітленості сітківки світлова чутливість не залишається постійною, а адаптується. Середня інтегральна яскравість інформаційного поля та інших джерел світла (первинних та вторинних), що знаходяться в полі зору, створює яскравість адаптації  $L_a$ . Найкращими умовами для роботи вважаються такі, коли рівень яскравості адаптації знаходиться в межах від декількох десятків до тисячі кандел на квадратний метр.

Мінімальний приріст яскравості  $\Delta L_{\min}$ , який розрізняє око при даній яскравості адаптації  $L_a$ , називається *диференційним порогом чутливості*, а відносний приріст яскравості, що розрізняє око – *пороговим контрастом*:

$$k_{\text{пор}} = \Delta L_{\min} / L_a. \quad (1.2)$$

Значення порогового контрасту залежить від рівня яскравості адаптації. В робочому діапазоні яскравості від 10 до 1000 кд/м<sup>2</sup> можна прийняти значення порогового контрасту від 0,02 до 0,05. Для впевненого сприйняття зображення на фоні необхідно, щоб контраст зображення в системі відображення інформації не менш ніж в 10 разів перевищував пороговий контраст. Звідси діапазон контрасту рекомендується обирати в межах 0,6...0,95.

*Роздільна здатність*, або гострота зору, характеризуються мінімальним кутом, при якому можливе окреме розрізнення двох сусідніх точок. Цей кут називається *порогом гостроти зору*  $\alpha$ . Для нормального зору поріг гостроти рівний 1 кутову мін. Рекомендоване значення  $\alpha_p$  в розрахунках беруть рівним 2-3 кут. мін. Кут зору ( $\alpha_{\text{сф}}$ ) необхідний для надійної ідентифікації елементів інформаційної моделі залежить від їх складності, яка оцінюється кількістю  $k_d$  мінімально розрізнених дискретних елементів, на які їх можливо розкласти:

$$\alpha_{\text{сф}} = k_d \alpha . \quad (1.3)$$

Для синтезу букв та цифр необхідно 7-9 дискретних елементів по висоті. Відповідно, для них  $\alpha_{\text{сф}} = 14 \dots 27$  кут мін.

З рисунку 1.7 слідує, що:

$$h = 2L \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} . \quad (1.4)$$

Або при малих кутах  $\alpha$ :

$$h \approx L \alpha , \quad (1.5)$$

де  $\alpha$  – кут зору, при якому видно зображення висотою  $h$  на відстані  $L$  до глядача.

Роздільна здатність спадає по мірі віддалення від осі очей. Поле ясного зору людини обмежене кутковими розмірами:  $16-20^\circ$  по горизонталі та  $12-15^\circ$  по вертикалі. У відповідності до цього в телебаченні обрані рекомендовані відстані до глядача  $L \approx (3 \dots 6)H$  і формат інформаційних полів  $k_\phi = 4:3$ .

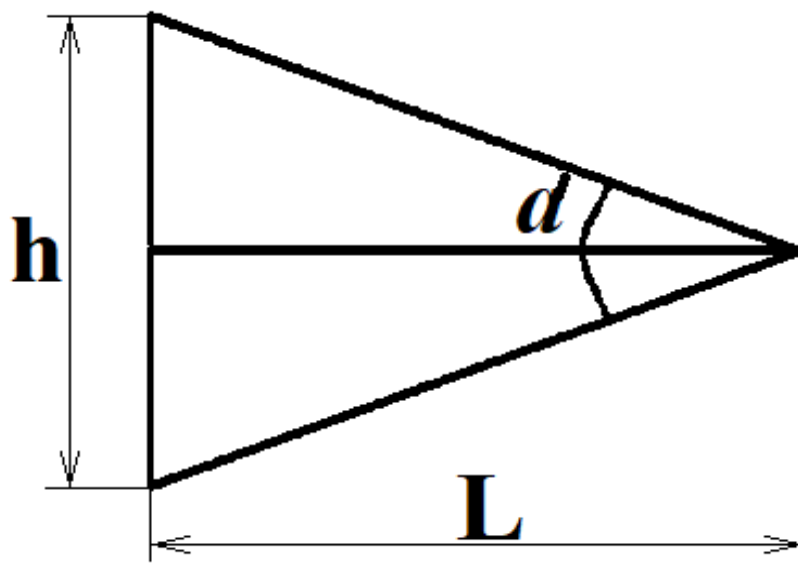


Рис.1.7. Зв'язок між кутовим та лінійним розмірами

Сприйняття буквенно-цифрової інформації при фіксованому положенні глядача передбачає деякий рух очей строкою тексту, що дозволяє збільшити кутковий розмір інформаційного поля по горизонталі до  $50^\circ$ . Формат інформаційних полів буквенно-цифрових систем відображення інформації часто беруть рівним  $5:3$ .

Кут між перпендикуляром, опущеним з центру ока на поверхню спостереження і лінією, що з'єднує центр ока з точкою спостереження називають *кутом спостереження*. З його збільшенням гострота зору спадає також через те, що випромінювання більшості індикаторів має направлений



характер, максимум інтенсивності якого співпадає з нормаллю в площині випромінювача. Максимальне значення кута спостереження, при якому забезпечується зчитування інформації з індикатора, називають кутом огляду.

До основних часових характеристик зорового аналізатора відносять *критичну частоту мерехтіння і час адаптації*. Критична частота мерехтіння  $f_{кр.м.}$  – мінімальна частота, при якій око припиняє сприймати мерехтіння зображення, що неперервно світиться. Критична частота мерехтіння зростає зі збільшення яскравості і кутових розмірів елементів. Для зображень з яскравістю до декількох сотень кандел на квадратний метр частоту критичного мерехтіння приймають рівною приблизно 50 Гц. Середня яскравість елемента, що мерехтить, яка сприймається оком, визначається законом Тальботта:

$$L_{сер} = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} L(t) dt , \quad (1.6)$$

де  $L(t)$  – закон зміни яскравості в інтервалі часу світіння елемента ( $t_2-t_1$ );  $T$  – період повторення мерехтіння елемента.

*Час адаптації* – це час, необхідний для самоналаштування чутливості зорового аналізатора при змінні яскравості об'єкта спостереження. Величина часу темрявої адаптації (перехід від світла до темряви) може складати десятки, а світлової (перехід від темряви до світла) – одиниці хвилин.

*Пропускна здатність людини оцінюється* кількістю інформації, що сприймає людини за одиницю часу. При розпізнанні букв та цифр пропускна здатність людини складає 50-55 біт/с, при читанні – 30-40 біт/с, при складанні двох однозначних цифр – 12 біт/с. Відповідно, період

оновлення інформації  $T_{\text{он}}$  залежить від складності інформаційної моделі і задач, що вирішуються людиною при її сприйнятті.

## ДІАПАЗОН ЧУТЛИВОСТІ СЛУХОВОГО АНАЛІЗАТОРА

Вухо людини відрізняється дуже високою чутливістю. Розглянемо який діапазон чутливості має орган слуху.

*Слух* — це здатність організму сприймати та розрізняти звукові коливання за допомогою слухового аналізатора. Абсолютна слухова чутливість — це мінімальна сила звуку, що чує людина, в половині випадків його пред'явлення. Людина сприймає звуки з частотою коливання від 16 до 20000 Гц. Цей діапазон відповідає 10-11 октавам. Верхня межа звукового сприйняття залежить від віку: чим людина старша, тим нижча межа; літні люди часто не чують високих тонів (наприклад, звуків цвіркунів).

*Розрізнення частоти звуку* — це мінімальне розходження за частотою двох звуків, яка ще уловлюється. За низьких і середніх частот у людини становить 1-2 Гц. Зустрічаються люди з абсолютним слухом: вони здатні точно розпізнавати і означати будь-який звук, навіть за відсутності звуку порівняння.

*Поріг чутливості, або поріг слухового відчуття* — це мінімальна сила звуку, здатна викликати відчуття ледь чутного звуку. Поріг чутливості залежать від частоти звуку. В області частот 1000-4000 Гц слух людини максимально чутливий. У цих межах чутний звук, що має незначну енергію. При звуках, нижчих від 1000 і вищих над 4000 Гц, чутливість різко зменшується. Сила звуку — це потік звукової енергії, що проходить за 1 с через площу  $1 \text{ м}^2$ , перпендикулярно до напрямку поширення звукової хвилі. Збільшуючи силу звуку незмінної частоти можна досягти такої сили, коли звук викликатиме неприємне відчуття тиску і навіть болю в вусі. Звуки такої сили є верхньою межею чутливості і обмежують область слухового

сприйняття. У дітей барабанна перетинка й основна мембрана пластичніші, ніж у дорослих, тому слух у них чутливіший.

## **Тема 1.2. Інформація та інформаційна модель**

*Лекція 3.* Інформаційна модель, її різновиди, галузі використання. Передача, зберігання і обробка інформації.

Для початку нашої сьогоднішньої розмови розглянемо поняття «інформаційна модель»

*Інформаційна модель* — система сигналів, що свідчать про динаміку об'єкта управління, умови зовнішнього середовища та стан самої системи управління. Інформаційною моделлю можуть слугувати наочні зображення (фото, кіно, відео), знаки (текст, знакове табло), графічні моделі (графік, креслення, блок-схема) і комбіновані зображення (мнемосхема, карта).

### **Галузі використання**

- навчальні — наочні посібники, тренажери, навчальні програми;
- дослідні — створюються для дослідження характеристик реального об'єкта (наприклад, модель теплоходу перевіряється на плавучість, а модель літака — на аеродинамічні характеристики; аналітична модель покладу);
- науково-технічні — для дослідження процесів та явищ (наприклад, ядерний реактор або синхрофазотрон);
- ігрові моделі — для вивчення можливої поведінки об'єкта в запрограмованих або непередбачених ситуаціях (наприклад: військові, економічні, спортивні ігри тощо);
- імітаційні моделі — виконується імітація дійсної ситуації, що повторюється для вивчення реальних обставин (наприклад: випробування лікарських препаратів на мишах або інших тваринах, політ собаки в космос).

## **Форми подання інформації**

- Словесні;
- Жести і сигнали;
- Символьні— формули, що відображають зв'язок різних параметрів об'єкта;
- Графічні (геометричні);
- Структурні — схеми, графіки, таблиці;
- Образні;
- Логічні — моделі, в яких представлені різні варіанти вибору дій на основі різних заключень та аналізу умов;
- Спеціальні — ноти, хімічні формули тощо;

## **Образні моделі**

Образні моделі (малюнки, фотографії та ін) являють собою зорові образи об'єктів, зафіксовані на будь-якому носії інформації (папері, фото- і кіноплівці та ін). Образні інформаційні моделі широко використовуються в освіті, де потрібна класифікація об'єктів за їхніми зовнішніми ознаками (навчальні плакати з ботаніки, біології та фізики), архітектурі (архітектурна модель), для унаочнення забудови, просторово-планувальних рішень тощо.

## **Знакові інформаційні моделі**

Знакові інформаційні моделі будуються з використанням різних штучних мов (знакових систем). Знакова інформаційна модель може бути представлена у формі тексту (наприклад, програми на мові програмування) або формули (наприклад, другого закону Ньютона  $F = m \cdot a$ ).

## **Табличні моделі**

Широко поширені інформаційні моделі у формі таблиць. У періодичній таблиці хімічні елементи розташовуються в клітинках таблиці за зростанням атомних ваг, а в стовпцях — за кількістю валентних електронів.

Ще однією поширеною формою інформаційної моделі є прямокутна таблиця, що складається з рядків і стовпців. Використання таблиць настільки звично, що для їхнього розуміння зазвичай не потрібно додаткових пояснень.

### **Передача, зберігання і обробка інформації**

Процеси, пов'язані з пошуком, зберіганням, передачею, обробкою і використанням інформації, називаються інформаційними процесами. Тепер зупинимося на основних інформаційних процесах:

**1. Пошук.** Пошук інформації - це вилучення збереженої інформації. Методи пошуку інформації: безпосереднє спостереження; спілкування з фахівцями з питань що вас цікавлять; читання відповідної літератури; перегляд відео, телепрограм; прослуховування радіопередач, аудіокасет; робота в бібліотеках і архівах; запит до інформаційних систем, баз і банків комп'ютерних даних; інші методи. *Зрозуміти, що шукати, зіткнувшись з тією чи іншою життєвою ситуацією, здійснити процес пошуку - це вміння, які стають важливими на порозі третього тисячоліття.*

**2. Збір і зберігання.** Збір інформації не є самоціллю. Щоб отримана інформація могла використовуватися, причому багаторазово, необхідно її зберігати. Зберігання інформації - це спосіб поширення інформації в просторі і часі. Спосіб зберігання інформації залежить від її носія (книга-бібліотека, картина-музей, фотографія- альбом). ЕОМ призначена для компактного зберігання інформації з можливістю швидкого доступу до неї. Інформаційна система - це сховище інформації, обладнане процедурами введення, пошуку та розміщення і видачі інформації. Наявність таких процедур – головна особливість інформаційних систем, що відрізняють їх від простих скупчень інформаційних матеріалів. Наприклад, особиста

бібліотека, в якій може орієнтуватися тільки її власник, інформаційною системою не є. У публічних же бібліотеках порядок розміщення книг завжди строго визначений. Завдяки йому пошук і видача книг, а також розміщення нових надходжень є стандартними, формалізованими процедурами.

**3. Передача.** В процесі передачі інформації обов'язково беруть участь джерело і приймач інформації: перший передає інформацію, другий її отримує. Між ними діє канал передачі інформації - канал зв'язку. Канал зв'язку - сукупність технічних пристроїв, що забезпечують передачу сигналу від джерела до одержувача.

Кодуючий пристрій - пристрій, призначений для перетворення вихідного повідомлення джерела до виду, зручного для передачі.

Декодуючий пристрій - пристрій для перетворення кодованого повідомлення у вихідне. Діяльність людей завжди пов'язана з передачею інформації. В процесі передачі інформація може втрачатися і спотворюватися: спотворення звуку в телефоні, атмосферні перешкоди в радіо, спотворення або затемнення зображення в телебаченні, помилки при передачі в телеграфі. Ці перешкоди, або, як їх називають фахівці, шуми, спотворюють інформацію. На щастя, існує наука, що розробляє способи захисту інформації - криптологія.

Канали передачі повідомлень характеризуються пропускнуою спроможністю і завадозахищеністю. Канали передачі даних діляться на симплексні (з передачею інформації тільки в одну сторону (телебачення)) і дуплексні (за якими можливо передавати інформацію в обох напрямках (телефон, телеграф)). Каналом можуть одночасно передаватися декілька повідомлень. Кожне з цих повідомлень виділяється (відділяється від інших) за допомогою спеціальних фільтрів. Наприклад, можлива фільтрація по частоті переданих повідомлень, як це робиться в радіоканалах. Пропускна

здатність каналу визначається максимальною кількістю символів, переданих йому при відсутності перешкод. Ця характеристика залежить від фізичних властивостей каналу. Для підвищення завадозахищеності каналу використовуються спеціальні методи передачі повідомлень, що зменшують вплив шумів. Наприклад, вводять зайві символи. Ці символи не несуть дійсного змісту, але використовуються для контролю правильності повідомлення при отриманні. З точки зору теорії інформації все те, що робить літературну мову барвистою, гнучкою, багатою відтінками, багатоплановою, багатозначною, - надмірність.

**4. Обробка.** Обробка інформації - перетворення інформації з одного виду в інший, що здійснюється за строгими формальними правилами. Приклади обробки інформації

Таблиця 1.1

Приклади	Вхідна інформація	Вихідна інформація	Правило
Таблиця множення	Множники	Добуток	Правила арифметики
Визначення часу польоту рейсу «Москва-Ялта»	Час вильоту з Москви і час прильоту в Ялту	Час в дорозі	Математична формула
Постановка діагнозу хвороби	Скарги пацієнта + результати аналізів	Діагноз	Знання + досвід лікаря

Обробка інформації за принципом «чорного ящика» - процес, в якому користувачеві важлива і необхідна лише вхідна і вихідна інформація, але правила, за якими відбувається перетворення, його не цікавлять і не беруться до уваги. «Чорний ящик» - це система, в якій зовнішньому спостерігачеві доступні лише інформація на вході і на виході цієї системи, а будова і внутрішні процеси невідомі.



5. **Використання.** Інформація використовується при прийнятті рішень. Достовірність, повнота, об'єктивність отриманої інформації забезпечать вам можливість прийняти правильне рішення. Ваша здатність ясно і доступно викладати інформацію знадобиться в спілкуванні з оточуючими. Уміння спілкуватися, тобто обмінюватися інформацією, стає одним головних умінь людини в сучасному світі. Комп'ютерна грамотність передбачає: знання призначення і користувальницьких характеристик основних пристроїв комп'ютера; Знання основних видів програмного забезпечення і типів користувацьких інтерфейсів; вміння проводити пошук, зберігання, обробку текстової, графічної, числової інформації за допомогою відповідного програмного забезпечення. Інформаційна культура користувача включає в себе: розуміння закономірностей інформаційних процесів; знання основ комп'ютерної грамотності; технічні навички взаємодії з комп'ютером; ефективного застосування комп'ютера як інструменту; звичку своєчасно звертатися до комп'ютера при вирішенні завдань з будь-якої області, засновану на володінні комп'ютерними технологіями; застосування отриманої інформації в практичній діяльності.

6. **Захист.** Захистом інформації називається запобігання: доступу до інформації особам, які не мають відповідного дозволу (несанкціонований, нелегальний доступ); ненавмисного або недозволеного використання, зміни або руйнування інформації. Під захистом інформації, в більш широкому сенсі, розуміють комплекс організаційних, правових і технічних заходів щодо запобігання загроз інформаційної безпеки та усунення їх наслідків.

### Тема 1.3 Структура і основні параметри засобів відображення інформації

Лекція 4. Структурна схема системи відображення інформації. Параметри засобів відображення інформації.

Технічні засоби, що використовуються для формування інформаційних моделей називаються засобами відображення інформації. За допомогою цих засобів, отримана від одного або декількох джерел інформація перетворюється в інформаційну модель, зручну для сприйняття людиною. Процес формування інформаційної моделі в системі відображення інформації супроводжується перетворенням кодів. Наприклад. Для відображення часу в цифровому годиннику двійково-десятковий код, занесений в лічильник часових інтервалів, перетворюється в десяткові цифри, що показують час на циферблаті. В годинниках засоби відображення є їх складовою частиною, але у випадку керування об'єктами або при взаємодії людини з електронно-обчислювальною машиною (ЕОМ) засоби відображення інформації можуть мати досить складну структуру.

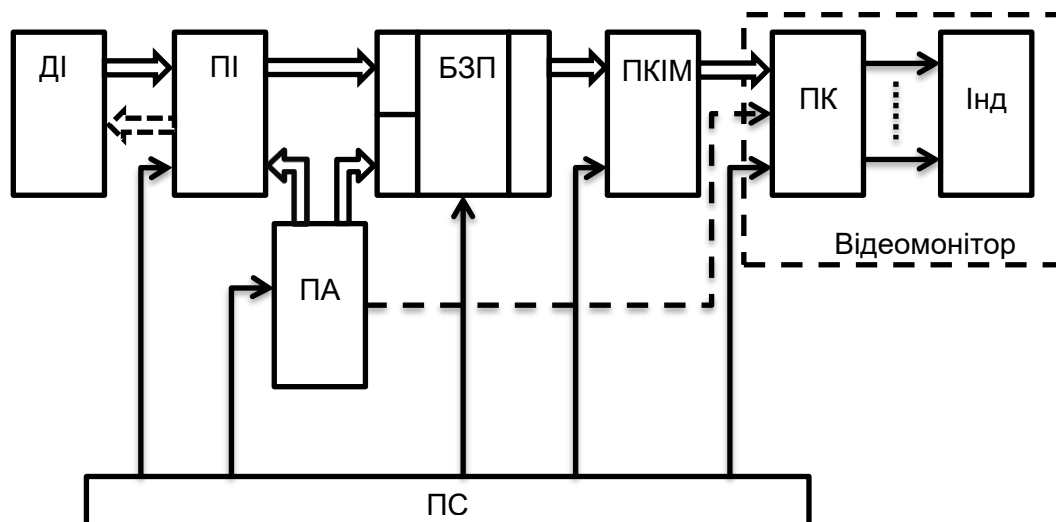


Рис.1.8. Схема системи відображення інформації

Узагальнена структурна схема системи відображення інформації показана на рис.1.8. Від джерела (ДІ) інформація надходить в систему відображення інформації через пристрій інтерфейсу (ПІ) паралельними або послідовними каналами зв'язку. За допомогою пристрою інтерфейсу здійснюється механічне, електричне та алгоритмічне узгодження між собою вихідних кіл джерела інформації і вхідних кіл системи відображення інформації. В пристрій інтерфейсу входять сукупність ліній зв'язку, пристрої узгодження сигналів по рівню та потужності, а також пристрої формування сигналів керування, що забезпечують заданий алгоритм обміну інформацією. Стандартний інтерфейс, що включає в себе апаратну частину та програмне забезпечення, яке визначає алгоритм обміну інформацією, відіграє важливу роль в уніфікації вузлів інформаційних систем та забезпечує взаємозамінність окремих пристроїв та здатність системи збільшуватися в розмірах.

Джерелом інформації можуть бути інформаційно-вимірювальні пристрої, клавіатура вводу буквенно-цифрової інформації, ЕОМ, пристрої формування фото-, кіно-, і телевізійних зображень і т.д. Варто відмітити, що в системах з ЕОМ, можливий двосторонній обмін інформацією: як від ЕОМ до системи відображення інформації, так і навпаки, що дозволяє організувати діалоговий режим роботи. При такому режиму оператор за допомогою спеціальних пристроїв редагує інформацію, що виводиться на систему відображення інформації з ЕОМ, а потім знову вводить її в ЕОМ. Діалоговий режим широко використовується в системах автоматичного проектування і в системах автоматизації наукових досліджень.

Буферний запам'ятовуючий пристрій (БЗП) служить для проміжного зберігання інформації, що отримується від джерела інформації, що дозволяє узгодити роботу системи відображення інформації та джерела інформації по швидкості, а також організувати режим регенерування зображення без звернення до джерела інформації. Інформаційна модель в буферному

запам'ятовуючому пристрої зберігається в виді сукупності кодів елементів інформаційної моделі, розташованих в тій послідовності, в якій вони повинні бути розташовані на інформаційному полі. Так, при формуванні текстової інформаційної моделі в буферний запам'ятовуючий пристрій заносяться стандартні коди знаків в послідовності, яка визначається текстом.

Перетворювач кодів інформаційної моделі (ПКІМ) здійснює перетворення кодів елементів інформаційної моделі, заданих алфавітом джерела інформації в код, який визначається алфавітом індикатора. Для наведеного раніше прикладу з цифровим годинником при використанні 7-сегментних індикаторів перетворювач кодів інформаційної моделі перетворює чотирьохрозрядний двійково-десятковий код в семирозрядний. При використанні газорозрядних індикаторів з профільованими катодами, цифра формується методом знакомодельовання, в цьому випадку перетворювач кодів інформаційної моделі виконує функцію дешифратора 4 на 10 (4 входу, 10 виходів). Для формування тих самих цифр на телевізійному екрані перетворювач кодів інформаційної моделі повинен перетворити паралельний код в послідовність сигналів керування інтенсивністю електронного променя електронно-променевою трубкою.

Перетворювачі кодів інформаційної моделі для синтезу знаків в засобах відображення інформації називають знакогенераторами.

Пристрій адресації (ПА) задає положення (адресу) елемента інформаційної моделі на інформаційному полі.

Індикатор є пристроєм, що здійснює безпосереднє перетворення електричних сигналів в видиме зображення.

Пристрій керування (ПК) здійснює енергетичні та інші перетворення сигналів з виходу перетворювача кодів інформаційної моделі, необхідні для керування роботою індикатора. Наприклад, при використанні газорозрядних індикаторів в пристрій керування входять ключі, що

забезпечують переключення з рівня збудження на рівень гасіння газового розряду і навпаки. Індикатор разом з пристроєм керування утворюють блок індикації, що називають також, відеомонітором.

Пристрій синхронізації (ПС) забезпечує синхронізацію роботи всіх вузлів засобів відображення інформації між собою та джерелом інформації.

При формуванні складної інформаційної моделі інформація, що отримується від різних джерел, повинна пройти попередню підготовку та обробку за визначеним алгоритмом. Відповідно, крім технічних засобів для відображення інформації, необхідно створити відповідне програмне забезпечення. Комплекс засобів відображення інформації і засобів математичного забезпечення, що включає в себе алгоритми обробки інформації, утворює систему відображення інформації. Засоби відображення інформації, які забезпечують зв'язок людини з ЕОМ, називають термінальними засобами відображення інформації, або дисплеями.

Параметри засобів відображення інформації повинні визначати інформаційно-технічні, інженерно-психологічні, конструктивно-технічні і техніко-економічні особливості засобів відображення інформації. До основних параметрів засобів відображення інформації слід віднести алфавіт, що використовується, інформаційну ємність, роздільну здатність, швидкодію, точність відтворення інформації, фотометричні параметри (яскравість, контраст), надійність, собівартість, споживану потужність.

*Алфавіт, що використовується і основа коду алфавіту* інформаційної моделі визначаються класом задач, які вирішуються і задаються числом і типом знаків (цифр, букв і т.д.), кількістю градацій розмірів, яскравості, орієнтацій символів, кольорів, що використовуються, частот мерехтіння зображень, тощо.

При представленні елементів алфавіту інформаційної моделі двійковим кодом число його розрядів  $n_2$  визначають з умови:

$$n_2 \geq [\log_2 N_o] , \quad (1.7)$$

де  $N_o$  – основа коду повного алфавіту інформаційної моделі.  $[\log_2 N_o]$  – двійковий логарифм числа  $N_o$ , округлений до найближчого більшого цілого числа.

*Інформаційна ємність* визначає кількість інформації, яка може бути одночасно представлена на інформаційному полі засобів відображення інформації. Інформаційна ємність алфавітно-цифрових засобів відображення інформації задається кількістю знаків в текстовій строці  $N_{з.тс}$  і числом текстових строк  $N_{тс}$ . В сучасних алфавітно-цифрових дисплеях об'єм інформації, що виводиться зазвичай задається 16-32 строками по 32-80 знаків в кожній.

Інформаційна ємність може бути виражена в бітах:

$$I_o = N_o \log_2 N_\Sigma , \quad (1.8)$$

де  $N_o$  – основа коду алфавіту,  $N_\Sigma$  -- загальне число символів, що виводиться на екран:

$$N_\Sigma = N_{з.тс} N_{тс} , \quad (1.9)$$

Відмітимо, що  $I_o$  характеризує деяку гіпотетичну модель, в якій рівноможливі будь-які  $N_\Sigma$  значень символів. Формула (1) задає технічні умови до інформаційної ємності основних вузлів засобів відображення інформації, наприклад буферного запам'ятовуючого пристрою. Інформаційну ємність графічних засобів відображення інформації часто оцінюють сумарною довжиною відтворюваних ліній або кількістю відтворюваних точок.

*Роздільна здатність* характеризує число окремих мінімальних деталей зображення, яке засіб відображення інформації може відтворити на інформаційному полі. В засобах відображення інформації з точковими дискретними елементами відображення роздільну здатність кількісно оцінюють числом цих елементів на екрані. В засобах відображення

інформації з електронно-променевим індикатором або з проекційними системами в якості кількісної міри роздільної здатності використовується число пар оптичних ліній, що приходяться на 1 мм. або 1 см., або загальне число ліній, що відтворюються на екрані по вертикалі і горизонталі, або мінімально можлива ширина лінії на екрані.

*Швидкодію* характеризує швидкість виводу інформації на інформаційному полі засобу відображення інформації. Одним з параметрів кількісної оцінки швидкодії засобів відображення інформації являється час оновлення даних, під яким розуміється час від моменту надходження інформації на вихід джерела інформації, сполученого з засобом відображення інформації, до моменту формування зображення. В графічних засобах відображення інформації для оцінки швидкодії використовують швидкість формування ліній, задану в міліметрах за секунду.

*Точність відтворення* інформації характеризує ступінь відповідності сформованої в засобі відображення інформації інформаційної моделі даним, отриманим від джерела інформації. Одним із засобів оцінки точності є оцінка зміщення окремих елементів відображення від заданих адресних координат, виражена в абсолютних або відносних одиницях.

## РОЗДІЛ 2 ІНДИКАТОРИ ТА ЕКРАНИ

### *Тема 2.1. Вакуумні люмінесцентні індикатори*

*Лекція 5. Принцип роботи. Конструктивні модифікації. Довговічність. Керування ВЛІ.*

#### **Принцип роботи**

Вакуумні люмінесцентні індикатори (ВЛІ) відносяться до активних індикаторів, що перетворюють електричну енергію в світлову. По виду відображеної інформації ВЛІ розрізняють на одиничні, цифрові, буквено-цифрові, шкальні, мнемонічні і графічні; по виду інформаційного поля - на сегментні і матричні однорозрядні і багаторозрядні, а також матриці без фіксованих знакомісць.

До числа переваг ВЛІ слід віднести: високу яскравість, що забезпечує хорошу видимість відтворених знаків, низькі робочі напруги, які допускають можливість їх застосування з формувачами на МОП-мікросхемах, мале споживання енергії, що дозволяє використовувати їх в пристроях, що живляться від батарей.

Недоліком є необхідність використання джерела живлення накалу індикатора. Також у ряді випадків важко виключити відблиски, створені віддзеркаленням світла від скляних балонів індикаторів, що заважають сприйняттю зображення.

Вакуумні люмінесцентні індикатори використовують для відображення інформації в пристроях різноманітного призначення: в мікрокалькуляторах і великих ЕОМ, касових апаратах і верстатах з числовим і програмним керуванням, електронних годинниках, електро- і радіовимірювальних приладах (цифрових, ампервольтметрах, частотомірах), диспетчерських пультах керування енергетичними установками і повітряним рухом, медичних приладах і т. д.



Вакуумний люмінесцентний індикатор являє собою електронну діодну або тріодну систему, в якій під впливом електронного бомбардування висвічуються покриті низьковольтним катодлюмінофором аноди-сегменти.

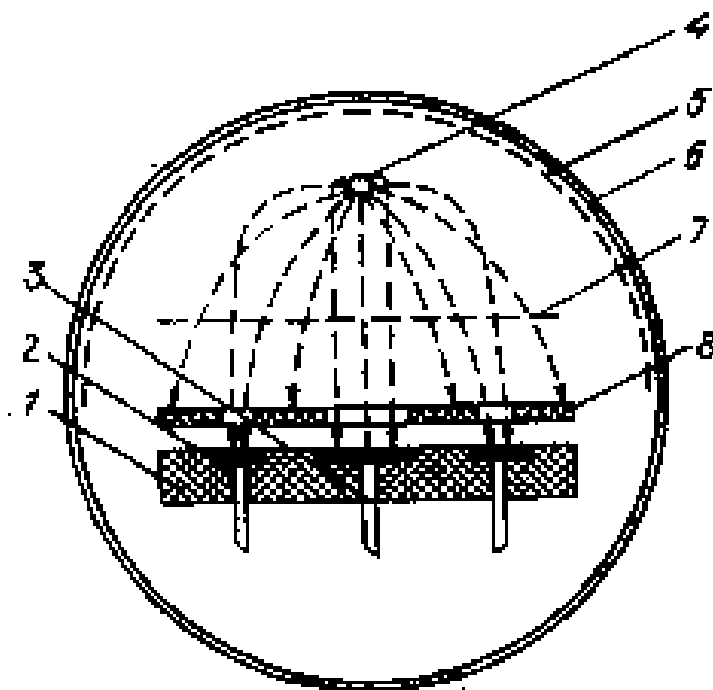


Рис. 2.1 Конструктивна схема ВЛІ

Конструктивна схема однорозрядного індикатора показана на рис. 2.1. Деталі індикатора монтується на керамічну або скляну плату 1. Ділянки плати, на які нанесено люмінофор, утворюють аноди-сегменти 2; під люмінофором є струмопровідний шар. Кожен з анодів має певний вивід 3. Джерелом електронів служить оксидний катод прямого розжарювання 4. Управління електронним потоком здійснюється сіткою 7. Електронний потік, що висвітлює сегменти, обмежується екрануючим електродомаскою 8. Весь вміст індикатора укладений в скляний балон 6, в якому створений вакуум. Штриховий лінійю показані приблизні траєкторії електронів. На внутрішню поверхню балона нанесено струмопровідні

покриття 5, прозоре для всієї області спектра випромінювання індикатора. Електрично воно пов'язане з окремим виводом або катодом; покриття забезпечує стікання електричних зарядів з поверхні балона, здатних спотворити траєкторії електронів.

**Катод** ВЛІ є відрізком вольфрамового дроту діаметром 6 ... 60 мкм, покритий тонким (кілька мікрметрів) шаром окислів лужноземельних металів (оксидом). Робоча температура катода вибирається по можливості низькою, з тим, щоб нитка, яка перебуває у напрямку спостереження перед анодами, не заважала спостереженню символів, що світяться. Зниження температури катода сприяє збільшенню його терміну служби і знижує нагрів люмінофора, від якого виходить світіння. Умови експлуатації катодів під ВЛІ можна вважати екстремальними: катод працює при низькій температурі і високому відборі струму; ця обставина значною мірою визначає довговічність ВЛІ.

**Сітка** ВЛІ керує електронним потоком. Оскільки сітка має позитивний щодо катода потенціал, вона розсіює електрони і прискорює їх в напрямку анодних сегментів. Розсіююча дія сітки забезпечує рівномірність засвічення поверхонь, покритих люмінофором.

Конструктивно сітка повинна бути рідкою, «прозорою» для електронів з тим, щоб зменшити частку електронів, перехоплюваних нею. У багаторозрядних ВЛІ сітка також забезпечує вибір розряду, що працює в заданий момент. Сітки виготовляються з полотна, «тканого» з вольфрамового дроту або електрохімічним фрезеруванням тонкої нікелевої фольги. У однорозрядних індикаторах форма випромінюючої поверхні анодів визначається металевією маскою, електрично з'єднаною з керуючою сіткою. Зображення букв, цифр і інших символів у ВЛІ формується висвічуванням необхідної комбінації анодів-сегментів. Зміна зображень досягається шляхом відповідної комутації анодів-сегментів.

**Аноди-сегменти** представляють собою покриті люмінофором шари струмопровідного матеріалу заданої конфігурації, нанесені на скляну або керамічну плату. В ряді ВЛІ струмопровідні шари отримують напиленням у вакуумі тонких металевих плівок на всю поверхню плати, а формування малюнків анодів - фотолітографією. Після цієї (першої) фотолітографії на плати напилюють діелектрик і виробляють другу фотолітографію, яка відкриває в діелектрику «вікна» на місцях анодів-сегментів, і в вікна наносять люмінофор. Можливе застосування товстоплівкової технології, при якій на плату за допомогою трафаретів наносяться провідна паста і потім люмінофор. Аноди-сегменти виконані у вигляді точок або протяжних ділянок різної форми, символів і трафаретів. Кількість, конфігурація і взаємне розташування сегментів утворює структурний малюнок індикатора, за яким розрізняють цифрові, буквено-цифрові, матричні і шкальні індикатори.

У багаторозрядних індикаторів однойменні аноди-сегменти з'єднуються всередині балона паралельно, що дозволяє різко скоротити число виводів.

Так, наприклад, 14-розрядний індикатор ІВ-27 має 24 виводи (два виводи шкала, 14 виводів сіток і вісім виводів від паралельно з'єднаних анодів-сегментів). Якщо створити 14-розрядний індикатор з роздільними виводами кожного анода-сегмента, то він мав би 128 виводів (два виводи накалу, 8x14 виводів анодів-сегментів, 14 виводів сіток). Очевидно, що таке конструктивне рішення виявилось б заскладним.

Конструктивно багаторозрядні індикатори випускають зі статичним і мультиплексним управлінням.

**Люмінофор** включених сегментів, тобто які мають в даний момент позитивний щодо катода потенціал, світиться під впливом електронного потоку що потрапляє на них. Струм катода індикатора і струми сегментів практично не залежать, від числа включених сегментів. Електрони, що

потрапляють на включені сегменти, заряджають їх негативно і відбиваються. Вторинні електрони так само, як електрони, які беруть у висвічуванні певного знака, перехоплюються екрануючим електродом.

Для придушення небажаного світіння люмінофора в початковому стані на сітку подається негативна напруга зсуву - кілька вольт по відношенню до катода. Екранувальний електрод, який має потенціал керуючої сітки, також покращує умови замикання електронного потоку.

Зображення ВЛІ висококонтрастне, яскравість досягає 500 кд / м<sup>2</sup> і більше; для порівняння можна нагадати, що яскравість екрану сучасного кольорового кінескопа не перевищує 300 кд / м<sup>2</sup>. В ВЛІ використовується явище низьковольтної катодолюмінесценції (НВК), при якому світло випромінюється кристалофосфором, бомбардованим електронами з відносно низькою енергією (близько 10 ... 100 еВ). Для речовин, у яких спостерігається цей ефект, потенціал початку НВК становить всього кілька вольт. При потенціалі екрану, відповідному енергії електронів  $eU > 10$  еВ, яскравість світіння екрану практично визначається співвідношенням

$$L = A j U, \quad (2.1)$$

де  $j$  - щільність струму, що надходить на випромінюючу поверхню люмінофора;  $A$  - постійна, що характеризує використовуваний кристалофосфор.

При НВК-люмінесценції збудження світлового випромінювання бомбардуючими люмінофор електронами відбувається лише в декількох його приповерхневих шарах. При високовольтному збудженні, наприклад в електронно-променевих трубках, швидкі електрони збуджують світіння в обсязі кристала люмінофора. В ВЛІ в якості люмінофора широко використовується окис цинку, активований цинком ( $ZnO; Zn$ ), що забезпечує інтенсивне синьо-зелене світіння. Застосовуючи світлофільтри, можна отримати кольори символів від синього до червоного за умови, що яскравість вихідного світіння досить велика (близько 1000 кд / м<sup>2</sup>). Крім

того, існує досить широка номенклатура люмінофорів, які мають різні кольори світіння (табл. 2.1).

Таблиця 2.1. Кольорові люмінофори для ВЛІ

Колір світіння	Склад люмінофору	Довжина хвилі, що відповідає максимуму спектральної характеристики, мкм
Синій	ZnS:Ag+In <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,450
Синьо-зелений	ZnO: Zn	0,510
Зелений	(Zn, Cd)S:Ag	0,525
Зелений	ZnS:Cu	0,530
Лимонний	ZnS:Au, Al+In <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ZnS	0,550
Жовтий	Mn+ In <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,585
Червоний	(Zn, Cd)S:Ag+ In <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,626

При НВК достатня яскравість світіння люмінофора забезпечується в безперервному режимі або за невеликої скважності. Люмінофорне покриття екрану ВЛІ є шаром порошку кристалофосфорів (товщиною 10 ... 50 мкм), нанесеного на струмопровідну підкладку. Оскільки світіння спостерігається з боку люмінофора, бомбардованого електронами (робота на відображення), підкладка може бути непрозорою. Шар люмінофору повинен володіти достатньою електро- і теплопровідністю, оскільки розсіювана на екрані потужність досить велика (близько 0,1 Вт / см<sup>2</sup>). При перегріві екрану виникає температурне гасіння світіння, а потім-необоротна деструкція кристалофосфору. Характеристики випромінювання деяких НВК-люмінофорів наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2. Характеристики випромінювання НВК-люмінофорів

Колір світіння люмінофору	Довжина хвилі світла, що випромінюється, нм	Напруга екрану, В	Яскравість світіння, кд/м <sup>2</sup>
Блакитний	470	25	200
Зелений	505	20	1200
Жовтий	590	25	400
Червоний	640	25	250

## Конструктивні модифікації

В однорозрядних буквено-цифрових індикаторах використовується одна тріодна система і кожен анод-сегмент має окремий вивід. В багаторозрядних індикаторах в одному балоні розміщується кілька тріодних систем; вони мають, як правило, загальний катод і роздільні сітки.

Частина ВЛІ випускається в скляних циліндричних балонах з гнучкими або жорсткими виводами; вони мають одну або дві плоскі ніжки. Зображення знака спостерігають через бічну стінку балона. Виготовляються також індикатори в чотирикутних балонах, зчитування інформації в цьому випадку здійснюється через купол балона (у таких індикаторів одна ніжка). Сучасні багаторозрядні ВЛІ мають плоскі скляні балони з стрічковими виводами, розташованими по бокових поверхнях балонів, зручними для сполучення з друкованими платами.

Номенклатура однорозрядних ВЛІ, що відображають буквено-цифрову інформацію з різними розмірами знаків, включає в себе індикатори ІВ-1, ІВ-3, ІВ-3А, ІВ-4, ІВ-6, ІВ-8, ІВ-11, ІВ-12, ІВ-17, ІВ-22. ІВЛ1-18 / 1. Багаторозрядні індикатори випускають з числом розрядів 4, 6, 9, 12, 13, 14, 17. Найбільшого поширення набули дисплеї в циліндричних балонах ІВ-18, ІВ-21, ІВ-27 і в плоских балонах ІВ-28А, ІВ-28Б, ІВЛ1-8 / 12, ІВЛ2-8 / 12, ІВЛ1-8 / 13. ІВЛ1-8 / 17. ІВЛ1-7 / 5, ІВЛ2-7 / 5. ІВЛ3-7/5.

Шкальні індикатори, пов'язані з перетворювачами коду, часто виявляються більш зручними (наочними), ніж стрілочні прилади. Прикладом може служити призначений для вимірювальних цілей індикатор ІВЛШ1-8 / 13, який має 101 Відлікову риску. Ряд ВЛІ випускається з вбудованими мікросхемами керування, наприклад плоский дисплей для індикації рівня відтворення і запису в стереофонічних системах ІВЛШУ 1-11 / 2 з 22 індексами відліку.

Група випущених промисловістю матриць включає в себе одно-, дво- і триколірні матриці з висотою знаків 40 і 80 мм: ІВЛМ1-5 / 7, ІВЛМ2-5 / 7,

ІВЛМ3-5/7, ІВЛМ4-5 / 7, ІВЛМ5-5 / 7, ІВЛМ6-5 / 7. Ці індикатори являють собою універсальні знакомиця з випромінювальними елементами в різних кольорах. Індикатор ІВЛМ1-5 / 7-45Л - панель з трьох рядків по 15 знакомиць в кожній; в свою чергу, кожне знакомище містить 5x7 елементів.

Випускаються мнемонічні індикатори, що відображають різні «професійні» символи, наприклад індикатори для приладових щитків в автомобілів.

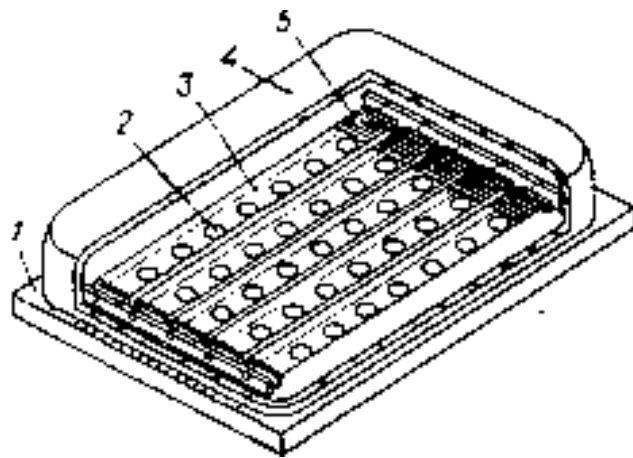


Рис.2.2. Будова матричного ВЛІ:

1 – плата-основа; 2 – анод-сегмент; 3 – катод; 4 – балон; 5 – сітка (керуючий електрод).

Матричні ВЛІ призначені для синтезу цифр, букв будь-якого алфавіту, різних символів і знаків. На рис. 2.2 як приклад показано пристрій одноколірного матричного індикатора, що має 35 світловипромінюючих анодів-сегментів. П'ять електрично з'єднаних між собою анодів-сегментів утворюють рядок, що має загальний вивід; всього рядків - сім. Керуючі електроди (сітки) об'єднують аноди в стовпці; кожен стовпець має свій вивід. З боку спостерігача уздовж кожного стовпчика розташований прямонакальний оксидний катод; п'ять катодів включені паралельно.

Плата анодів виконана на скляній пластині, на яку нанесена плівка металу і фотолітографією сформовані аноди-сегменти, покриті

люмінофором зеленого кольору світіння (ZnO: Zn). Інформація зчитується з боку балона - «на відображення».

У двокольорової матриці кожен анод-сегмент виконаний у вигляді двох ізольованих елементів (всього 70), у триколірної - у вигляді трьох елементів (всього 105). Кожен анод покритий «своїм» люмінофором, склад якого визначає колір світіння. Червоний колір світіння забезпечує люмінофор (Zn, Cd) S: Ag синій - самоактивований сульфід цинку. Як і в одноколірної матриці, в багатокольоровій анодні елементи об'єднані в рядки; двоколірна матриця має 7x2 рядків, триколірна - 7x3 рядків елементів. П'ять керуючих електродів об'єднують елементи в стовпці незалежно від кольору світіння. Вибірка кольору світіння здійснюється по рядках анодних елементів.

### **Довговічність**

Довговічність ВЛП визначається збереженням працездатності люмінофора і довговічністю джерела електронів - оксидного катода.

Старіння люмінофора проявляється в зменшенні яскравості світіння екрану і в основному обумовлено деструкцією самого кристалофосфору під впливом електронного бомбардування і накопиченням на поверхні люмінофора сторонніх речовин, напилюваних або мігруючих з інших деталей індикатора (продукти випаровування оксидного катода, залишкові жирові забруднення і т. д.). Особливість НВК полягає в тому, що після порівняно швидкого початкового спаду яскравості (приблизно на 10 ... 20%) на етапі перших декількох сотень годин індикатора слідує тривалий етап - десятки тисяч годин, протягом яких яскравість вже практично не змінюється. Вважається, що ця закономірність є наслідком особливості НВК-поверхневої взаємодії люмінофора з електронним потоком, що не зачіпає об'ємної структури люмінофора.

Робоча температура катода, що відповідає номінальній напрузі розжарення, вибирається так, щоб забезпечити високу довговічність катода.



Відхилення температури катода (напруги накалу) від оптимальної призводять до скорочення терміну служби катода і індикатора. Підвищення напруги накалу в порівнянні з номінальною прискорює процес випаровування емісійно-активного шару (не кажучи вже про можливе перегорання керна катода - нитки розжарення), а зниження - послаблює стійкість катода до впливу отруюючих оксидне покриття факторів і також знижує термін служби індикатора. Катоди ВЛІ працюють в екстремальних умовах, тому напруга накалу в процесі експлуатації індикатора має підтримуватися рівною номінальній. Допускається використовувати індикатори при напругах розжарення, що відрізняються від номінальній на  $\pm 10\%$ , однак при цьому напрацювання індикатора скорочується приблизно на порядок. Особливо небажане чергування підвищення і пониження напруги накалу. Напруга накалу ВЛІ за величиною становить помітну частку напруги замикання, напруги сітки і анода. Тому при живленні ланцюга розжарення індикатора постійним струмом умови замикання і реальні значення напруг анодів і сіток за рахунок падіння напруги на нитки розжарення для окремих розрядів можуть істотно відрізнятись, що, очевидно, небажано. Тому ланцюги розжарення ВЛІ рекомендується живити змінним струмом синусоїдальної або прямокутної форми.

Можна живити ланцюг накалу ВЛІ постійним струмом, якщо напруга напруження не перевищує 5% напружень анодів і сіток. У цьому випадку за спільну точку джерел живлення приймається вивід розжарення, з'єднаний з негативним полюсом джерела живлення ланцюга розжарення.

При виготовленні табла з декількох ВЛІ ланцюги розжарення варто з'єднувати паралельно.

### **Керування ВЛІ**

Формування зображення на інформаційному полі ВЛІ можна здійснювати статичним або мультиплексним способом. При статичному

способі збуджуючі сигнали подаються на необхідні для отримання заданого зображення аноди-сегменти і все зображення знака формується одночасно. Формування зображення мультиплексним способом здійснюється ВЛІ, які мають два канали керування, такими як багаторозрядні індикатори з паралельно з'єднаними анодами-сегментами і роздільними для кожного знакомісця сітками. Так само керують матричними і графічними ВЛІ.

При мультиплексному керуванні протягом кожного моменту часу формується не повне зображення, а його окремі елементи. Розрізняють три способи мультиплексного керування з тимчасової розгорткою: по сітках індикаторів; анодам-сегментам індикаторів; знакам.

При першому способі знаки по черзі синтезуються на кожному знакомісці (рис. 2.3). Аноди-сегменти збуджуються зі скважністю  $Q$ , рівної числу знакомісць. Середня яскравість світіння анодів в  $Q$  раз менше миттєвої. При другому способі напруга збудження подається на однойменні аноди-сегменти, які беруть участь у формуванні відображуваних знаків, а позитивні напруги на сітки окремих знакомісць подаються в моменти анодної розгортки, які відповідають синтезованій цифрі в даному знакомісці (рис. 2.4) Середня яскравість світіння анодів нижче миттєвої в  $n$  раз ( $n$  - число сегментів в одному розряді).

Зазвичай знако-синтезуючі індикатори відображають обмежену кількість знаків, наприклад цифри від 0 до 9 і кому. У цих випадках можна використовувати розгортку по знакам, при якій на паралельно включені аноди-сегменти всіх знакомісць по черзі подається напруга, що відповідає кожному з 11 знаків, а позитивна напруга подається на сітку того знакомісця, на якому в даний час повинен відобразитися відповідний знак (рис. 2.5). Середня яскравість світіння при знаковій розгортці в  $n$  разів менше миттєвої ( $n$  - число відображуваних знаків).

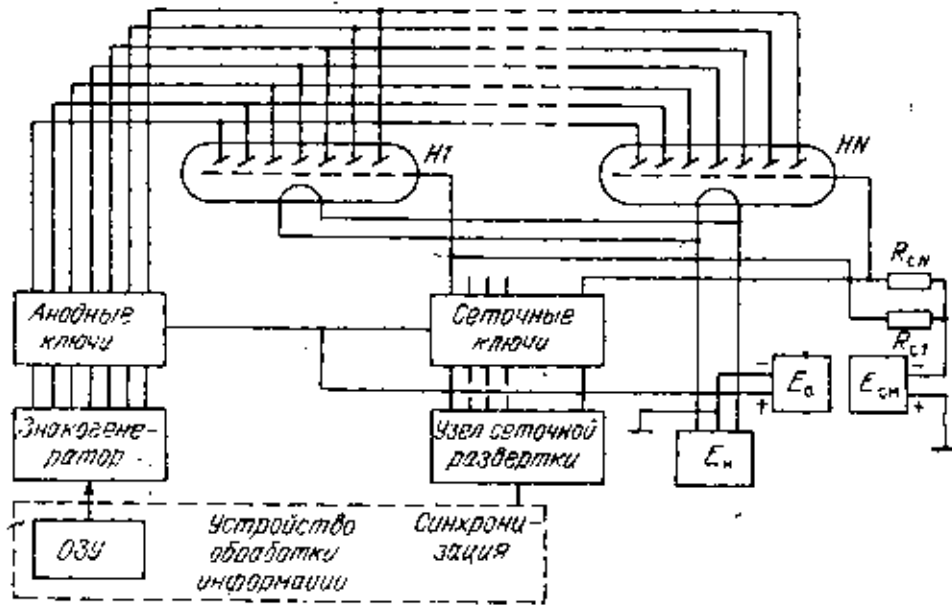


Рис. 2.3. Схема динамического (мультиплексного) керування ВЛІ з сітковою розгорткою

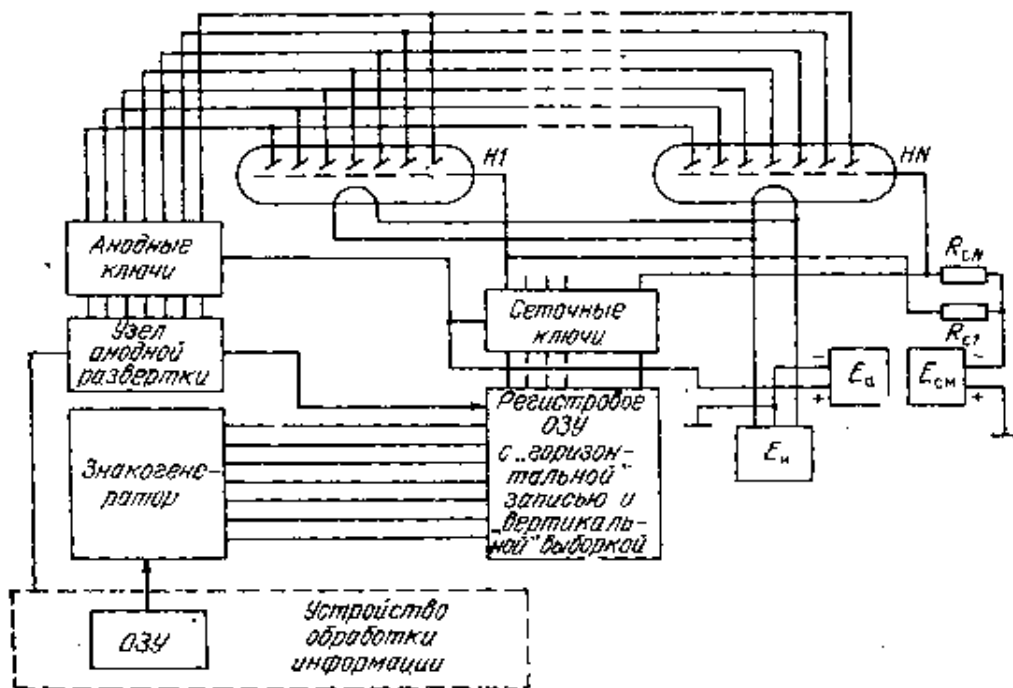


Рис. 2.4. Схема динамического (мультиплексного) керування ВЛІ з анодною розгорткою

Для однорідного світіння анодів-сегментів на всіх знакомісцях індикатора при будь-якому способі мультиплексного керування необхідно забезпечити рівність скважності висвітлювання кожного з анодів, що беруть участь у формуванні відображуваного знака. Частота повторення синтезування знаків повинна перевищувати частоту, при якій око може помітити мерехтіння відображення (практично 50 Гц).

З порівняння пристроїв, що реалізують різні типи розгортки, впливає, що найбільш простий (по числу вузлів керування) пристрій розгортки по сітках, хоча вибір оптимального виду розгортки в загальному випадку визначається структурою коду джерела інформації і числом відображуваних знаків. Схема статичного керування ВЛІ показана на рис. 2.6. Вона складається з вузла інформаційного узгодження, який поразрядно перетворює двійковий-десятковий код 8-4-2-1 в позиційний код семисегментних індикаторів. Вузол енергетичного узгодження містить ключі, комутуючі анодні сегменти. При керуванні індикатором ІВ-ЗА і йому подібними зручно використовувати р-МДП мікросхему К161ПР2, до складу якої входять ОЗУ на 5 біт, кодовий перетворювач і комутуючі транзистори.

Можна використовувати мікросхему К161ПР3, що відрізняється від К161ПР2 підвищеним до 60 В напругою комутації вихідних ключів. У пристрої можна передбачити також вузол формування сигналів запису двійковий-десятькового коду в ОЗУ мікросхеми, які отримують за допомогою двійкового лічильника (наприклад, К161Е2) і дешифратора (наприклад, К161Д1). Сигнали двійковий-десятькового коду супроводжуються синхроімпульсами: один з цих синхроімпульсів відповідає початку кожного десяткового розряду а інший - кінцю. Частота повторення кодів - не нижче 50 Гц, щоб уникнути миготіння зображення.

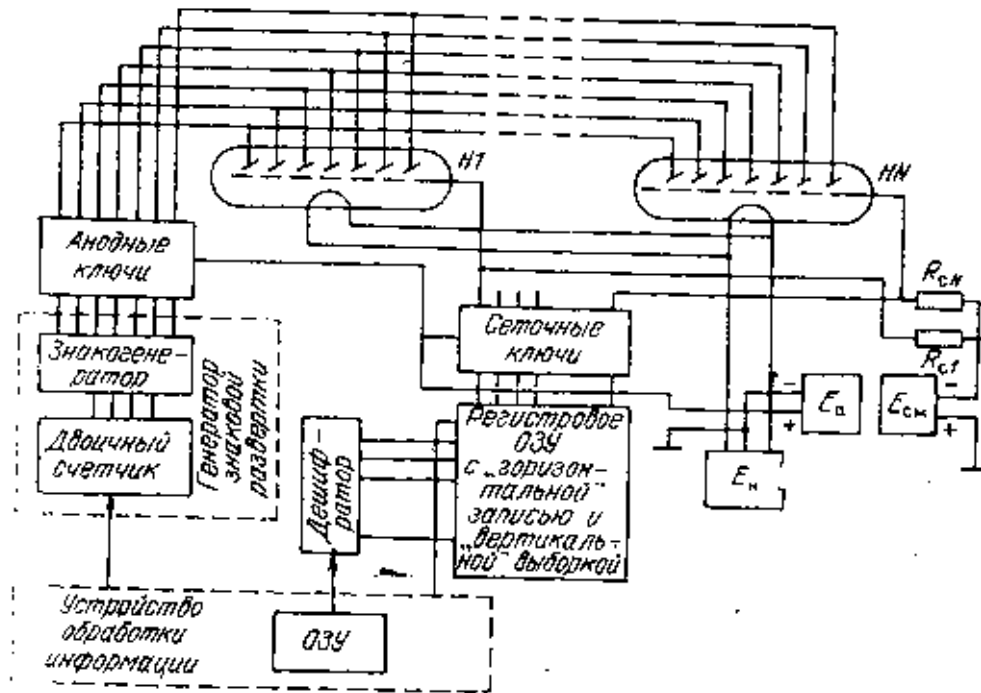


Рис. 2.5. Схема динамического (мультиплексного) керування ВЛІ зі знаковою розгорткою

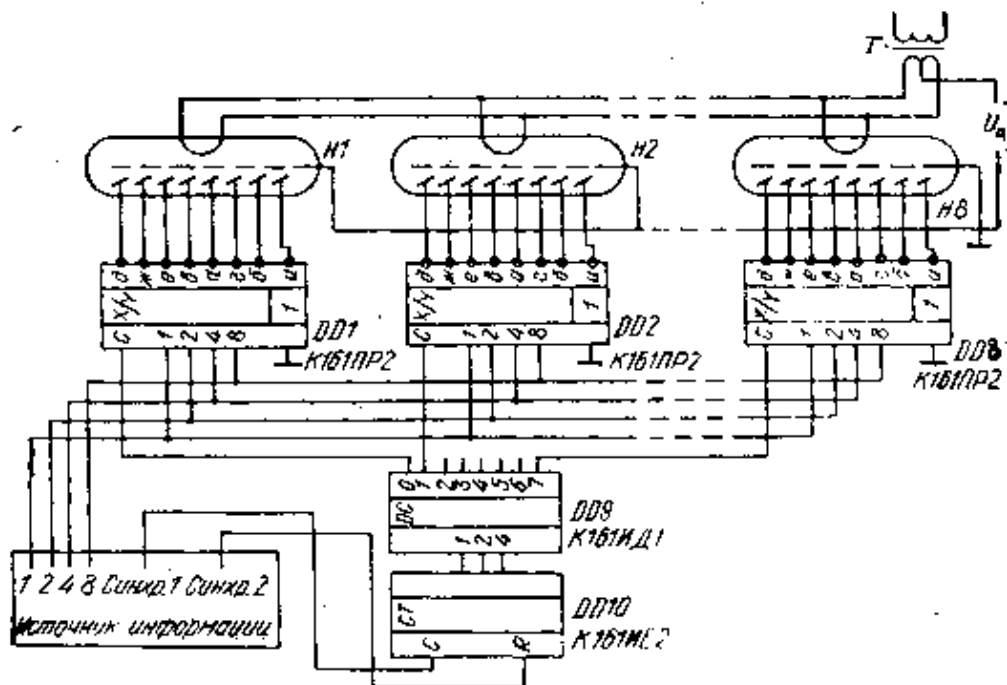


Рис. 2.6. Схема статического керування ВЛІ

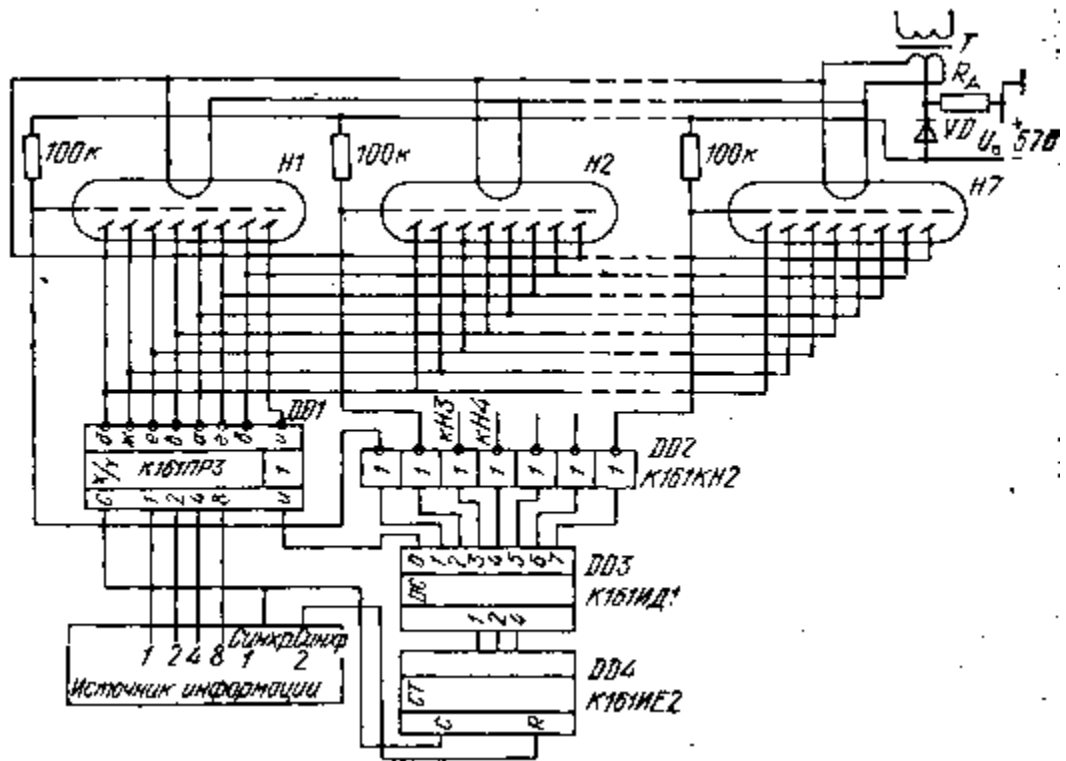


Рис. 2.7. Схема динамічного (мультиплексного) керування ВЛІ

Схема пристрою динамічного (мультиплексного) керування показана на рис. 2.7. У ньому використовується один перетворювач двійково-десятькового коду 4-2-1 в позиційний код індикатора і той же, що і в попередній схемі, вузол формування сигналів записи двійковий-десятькового коду в ОЗУ мікросхеми. Комутація сіток індикаторів здійснюється семиканальним комутатором з прямими входами (наприклад, K161КН2). Очевидно зменшення числа перетворювачів кодів, використовуваних при динамічному керуванні індикатором в порівнянні зі статичним.

Таблиця 2.3. Основні параметри найбільш розповсюджених однорозрядних ВЛІ,

Параметр	Тип індикатора						
	ИВ-1, ИВ-1А	ИВ-3	ИВ-3А	ИВ-4	ИВ-6	ИВ-8	ИВ-11
Розмір знаку, мм	1X4	5,9X9,1	5,9X8.6	12X18	6,9X11,2	5,9X8,9	14,6X21
Кількість сегментів	2	10	8	18	8	8	8
Напруга накалу, В	0,67...1	0,7...1	0,7... 1	2,21...2,86	0,85...1,15	0,76...0,9	1,25...1.65
Струм накалу, мА	25...35	45...55	25...35	45...55	45...55	45...55	90...110
Напруга сітки, В:							
постійна	20...25	30	20...30	25...27	25...30	20...30	25...30
імпульсна	50...70	70	50...70	50...70	50...70	50...70	50...70
Напруга анодів-сегментів, В:							
постійна	20...25	30	20...30	25...27	26...30	25...30	25...30
імпульсна	50...70	70	50...70	50...70	50...70	50...70	50...70
Струм сітки, мА:							
постійний	2,5...5	2,5...5	2,5...12	6	12	3...5	11
імпульсний, не більше	—	35	35	30	45	—	45
Струм аноду-сегменту, не більше, мА							
постійний	—	0,3	0,45	0,5	0,8	0,9	0,9
імпульсний	—	—	1,6	—	2	—	1,8
Струм анодів-сегментів сумарний, постійний, мА	0,25...0,6	0,8	0,8...2	2,6	0,8	0,8...2,5	3,5...5
Скважність	10±1	10±1	10±1	10±1	10±1	10±1	10±1
Мінімальне напрацювання, тис. год.	3	3	10	2	10	10	6

Продовження таблиці 2.3.

Параметр	Тип індикатора						
	ИВ-12	ИВ-17	ИВ-22	ИВ.22А	ИВ-23	ИВ-24	ИВЛ1-18/1
Розмір знаку, мм	14,6X21	12X18	12,4X18	12,4X18	5,9X8,6	6,9X11,2	12X18
Кількість сегментів	7	18	8	8	8	8	18
Напруга накалу, В	1,25...1,65	2,15...2,55	1...1,32	1...1,32	0,75...0,95	0,9...1,1	1...1,3
Струм накалу, мА	90...110	42...52	85...115	85...115	45...55	45...55	85...115
Напруга сітки, В:							
постійна	25 ...30	25... 30	23... 30	22 ...30	12	112	22 ...30
імпульсна	50... 70	50... 70	80	80	30	30	50
Напруга анодів-сегментів, В:							
постійна	25... 30	25 ...30	22 ...30	22... 30	12	12	22 ...30
імпульсна	50... 70	50... 70	80	80	30	30	50
Струм сітки, мА:							
постійний	12	6,5... 10	6...12	5...12	0,8 ...2,5	1,2... 3,5	3... 7
імпульсний, не більше	45	—	—	—	—	—	—
Струм аноду-сегменту, не більше, мА							
постійний	4	—	—	—	—	—	—
імпульсний	1.8	—	—	—	—	—	—
Струм анодів-сегментів сумарний, постійний, мА	3,5...5	—	2,5...6	2,5 ... 6	0,5 ...1.3	0,8 ...2	2,7...5
Скважність	10±1	25	12	12	5±0,5	5±0,5	10±1
Мінімальне напрацювання, тис. год.	5	3	10	10	5	5	10

Примітка. Індикатори мають зелений колір світіння, крім ИВ-22А (червоний); яскравість світіння індикаторів не менше 500 кд/м<sup>2</sup>. крім ИВ-23 и ИВ-24 (не менше 70 кд/м<sup>2</sup>); контраст - не менше 60%, кут огляду - не менше 80°, час готовності - не більше 1 с.



Таблиця 2.4. Орієнтири для початку відліку різних типів індикаторів

Тип індикатора	Номер виводу																		Орієнтир для початку відрахунку виходів					
											0	1	2	3	4	5	6	7		8	9	0	1	2
ИВ-1		в	в	в	в	в		, п.с	в		в	в	в											Вкорочений вивід 14
ИВ-3								, п.с					в											Теж
ИВ-3А								, п.с			в													Вкорочений вивід 12
ИВ-4		, п.с																					в	Вкорочений вивід 22
ИВ-6								, п.с			в													Вкорочений вивід 12
ИВ8				в				, п.с		в			в											Вкорочений вивід 14
ИВ-11		, п.с									в													Вкорочений вивід 12
ИВ-12			, п.с							в	в													Теж
ИВ-17		, п.с																					в	Вкорочений вивід 22
ИВ-22						, п.с			в															Мітка на ножці балона
ИВ-23								, п.с			в													Вкорочений вивід 12
ИВ-24								, п.с			в													Теж
ИВЛ1-18/1		, п.с																					в	Вкорочений вивід 22

Примітка, п. с — провідний шар на внутрішній поверхні балона; F — вивід катода; G - вивід сітки; Св — вільний вивід. Нижче на рисунку 2.8 показані позначення виводів та габаритні розміри індикаторів.

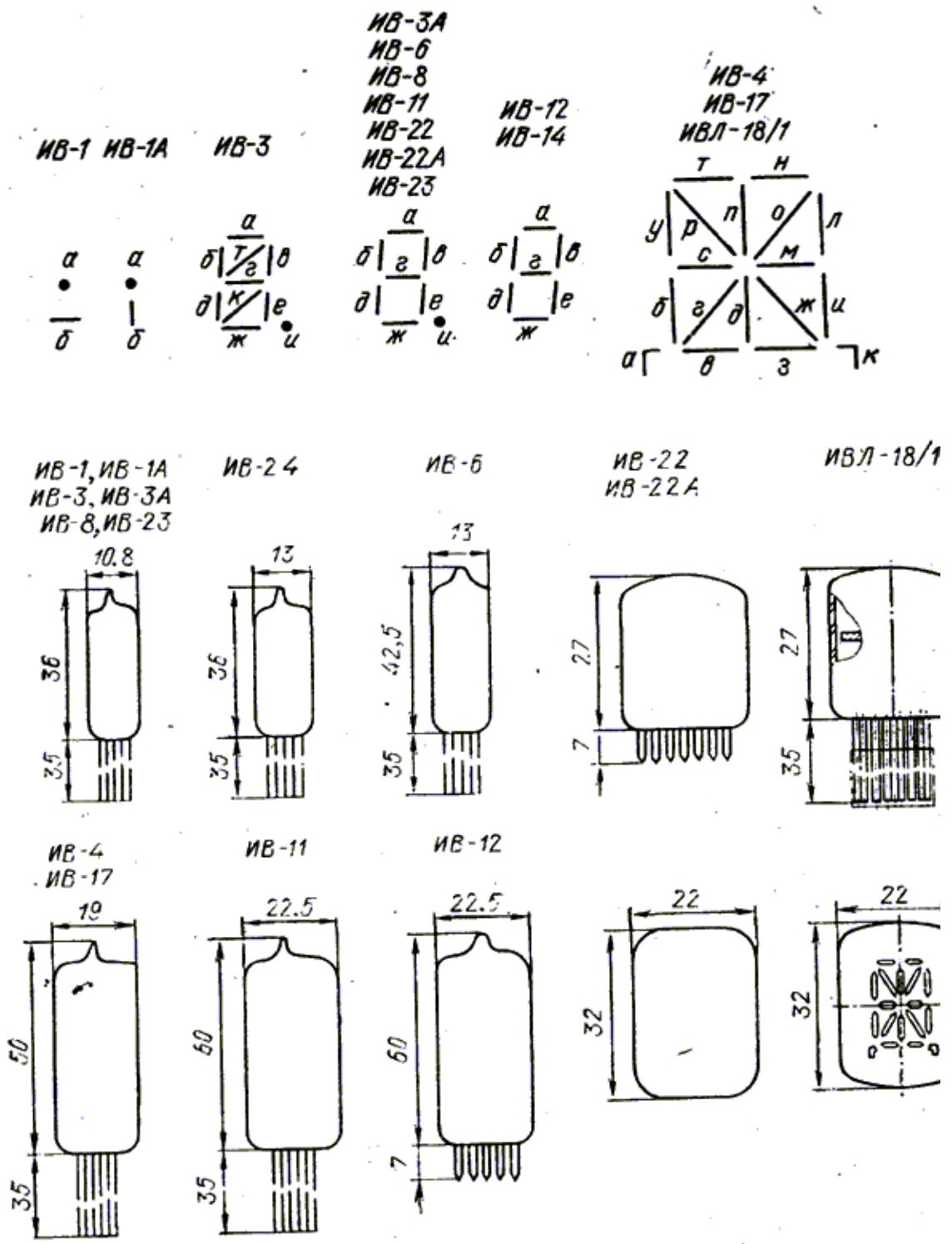


Рис. 2.8. Рисунки балонів і позначення виводів індикаторів

## **Тема 2.2. Світлодіод та світлодіодні екрани**

*Лекція 6. Світлодіод, його характеристики та принцип роботи. Пристрої на світловипромінювальних діодах. Світлодіодні екрани, їх структура та класифікація. Кольороутворення. Технологія виготовлення.*

### **2. НАПІВПРОВІДНИКОВІ ІНДИКАТОРИ**

Напівпровідникові індикатори є одним з видів знаковитезуючих індикаторів (ЗСИ), під якими розуміють прилади, де інформація, що призначена для зорового сприйняття, відображається за допомогою одного, або сукупності дискретних елементів. Напівпровідникові індикатори є активними знаковитезуючими індикаторами, в яких використовується явище інжекційної електролюмінесценції.

Високі технічні характеристики напівпровідникових індикаторів (НПІ) забезпечили їх успішне впровадження як елементів індикації в апаратурі, що використовується в приладах управління стаціонарним виробничо-технологічним устаткуванням, рухомими об'єктами, об'єктами побутового призначення та ін. Одною з переваг напівпровідникової технології індикаторів є можливість їх конструктивного виконання у вигляді уніфікованих модулів, що забезпечують можливість безшовного з'єднання. Крім того, модульність виконання індикаторів гарантує високу ремонтпридатність пристроїв відображення інформації. Іншою не менш важливою перевагою НПІ є сумісність рівнів управляючої напруги і струму, що споживається з напругою логічних рівнів і струмом мікросхем. Це дозволяє значно скоротити об'єми схем управління елементами індикації і підвищити надійність індикаторних пристроїв і систем за рахунок використання елементної бази, виконаної лише за напівпровідниковою технологією.

## 2.1. Класифікація напівпровідникових індикаторів

Напівпровідникові індикатори можуть бути класифіковані по вигляду інформації, що відображається, по вигляду інформаційного поля і за способом управління. Класифікація сучасних напівпровідникових індикаторів за вказаними класифікаційними ознаками приведена на рис. 2.9.



Рис. 2.9. Класифікація сучасних напівпровідникових індикаторів за вказаними класифікаційними ознаками

Одиничні індикатори складаються з одного елементу відображення і призначені в основному для представлення інформації у вигляді точки, або іншої геометричної фігури.

Шкальні індикатори мають елементи відображення у вигляді правильних прямокутників і призначені для відображення інформації у вигляді рівнів або значень величин.

Цифрові індикатори складаються, як правило, з елементів відображення у вигляді сегментів, і призначені для відображення цифрової інформації та окремих букв алфавіта. Буквенно-цифрові індикатори призначені для відображення інформації у вигляді букв, цифр, різних знаків. Одиначні елементи відображення таких індикаторів згруповані по рядкам і стовбцям.

Графічні (матричні) індикатори дозволяють збирати модулі з елементів екрана різного розміру без втрати кроку. Графічні індикатори призначені для відображення будь-якої інформації.

Цифрові і буквенно-цифрові індикатори бувають одно- і багаторозрядні. Під однорозрядним розуміють індикатор, що має одне знакомесце. Багаторозрядний індикатор має декілька фіксованих знакомісць. Цифрові, буквенно-цифрові, матричні та шкальні індикатори можуть бути без управління та з вбудованими схемами управління.

### **Світлодіод**

Світлодіод або світловипромінювальний діод (LED) - напівпровідниковий прилад з електронно-дірковим переходом, що створює оптичне випромінювання при пропущенні через нього електричного струму в прямому напрямку. Випромінюване світло лежить у вузькому діапазоні спектра. Його спектральні характеристики залежать значною мірою від хімічного складу використаних в ньому напівпровідників. Іншими словами, кристал світлодіода випромінює конкретний колір, на відміну від лампи, що випромінює більш широкий спектр і де конкретний колір відсіюється зовнішнім світлофільтром.

У порівнянні з іншими електричними джерелами світла (перетворювачами електроенергії в електромагнітне випромінювання видимого діапазону), світлодіоди мають наступні відмінності:

- висока світлова віддача;
- висока механічна міцність, вібростійкість (відсутність нитки розжарювання та інших чутливих складових);
- тривалий термін служби: від 30.000 до 100.000 годин (але і він не нескінченний: при тривалій роботі і / або поганому охолодженні відбувається «отруєння» кристала і поступове падіння яскравості);
- мала інерційність (включаються відразу на повну яскравість);
- кількість циклів включення-виключення не роблять істотного впливу на термін служби світлодіодів;
- різний кут випромінювання: від 15 до 180 градусів;
- низька вартість індикаторних світлодіодів, але відносно висока вартість при використанні в освітленні, яка знизиться при збільшенні виробництва і продажів;
- безпеку (не потрібні високі напруги, низька температура світлодіода або арматури, зазвичай не вище 60 градусів Цельсія);
- нечутливість до низьких і дуже низьких температур (проте, високі температури протипоказані);
- екологічність (відсутність ртуті, фосфору і ультрафіолетового випромінювання).

Застосування світлодіодів:

- у вуличному, промисловому, побутовому освітленні (світлодіодна стрічка);
- як індикаторів (у вигляді одиночних світлодіодів або цифрового або буквено-цифрового табло);
- у великих вуличних екранах, в біжучих рядках;

- як джерело світла в ліхтарях і світлофорах;
- в якості джерел модульованого оптичного випромінювання (передача сигналу по оптоволокну, пульти ДУ)
- в підсвічуванні РК-екранів (мобільні телефони, монітори, телевізори і т.д.);
- в іграх, іграшках, значках, USB-пристроях та інше;
- в світлодіодних дорожніх знаках.

До світловипромінювальних діодів відносять як діоди видимого випромінювання, так і інфрачервоного випромінювання. Світлодіоди, що випромінюють енергію у видимій області спектра, призначені для візуального сприйняття інформації та працюють з біологічним приймачем – оком. Інфрачервоні світлодіоди випромінюють енергію в інфрачервоній області спектра і працюють з фізичним приймачем.

Випромінювання виникає в області *p-n*-переходу при протіканні по ньому прямого струму в результаті рекомбінації носіїв заряду (електронів і дірок). При цьому вони переходять з більш високого енергетичного рівня на більш низький, а надлишкова енергія виділяється у вигляді випромінювання. Довжина хвилі  $\lambda$  потоку, що випромінюється визначається різницею енергетичних рівнів  $\Delta E$ , між якими відбувається обмін:

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E}, \quad (2.2)$$

де  $h$  – стала Планка,  $c$  – швидкість світла.

Зазвичай  $\Delta E$  практично дорівнює ширині забороненої зони напівпровідника, на основі якого виготовлений діод.

Діапазон довжин хвиль видимого світла становить  $0,45 \text{ мкм} \leq \lambda \leq 0,68 \text{ мкм}$ . Для виготовлення світлодіодів застосовують напівпровідникові

матеріали з порівняно великою шириною забороненої зони  $E_p > 1,8$  eV, такі як фосфід галію, карбідкремнію і тверді розчини, що мають в своєму складі галіймиш'як-фосфор або галій-миш'як-алюміній. Колір випромінювання світлодіодів можна змінювати в деяких межах шляхом додавання в напівпровідниковий матеріал атомів речовин – активаторів. Наприклад, залежно від концентрації цинку і азоту в фосфіді галію колір світіння може змінитися від червоного до зеленого.

Існують світлодіоди з керованим кольором світіння (наприклад типу АЛС331А), що містять в корпусі два світловипромінювальних переходи, один з яких має різко виражений максимум спектральної характеристики в червоній смузі, інший - в зеленій. Колір випромінювання такого світлодіоду залежить від співвідношення струмів через переходи.

До параметрів світлодіодів відносять:

- силу світла  $I_v$  - випромінюваний діодом світловий потік при заданому значенні прямого струму, який припадає на одиницю тілесного кута, в напрямку, перпендикулярному до площини випромінюючого кристала, вимірюється в канделах;
- яскравість  $L$  - величина, що дорівнює відношенню сили світла до площі поверхні, що світиться;
- пряме падіння напруги на світлодіоді  $U_{пр}$  при постійному прямому струмі;
- максимально допустимий прямий струм ( $I_{max. пр}$ );
- максимально допустимий зворотна напруга ( $U_{max. зв}$ )
- максимум спектрального розподілу  $\lambda_{max}$  – довжина хвилі світлового випромінювання, що відповідає максимуму спектральної характеристики випромінювання світлодіоду.



Основною характеристикою світлодіоду є:

- яскравісна характеристика  $L = f(I_{\text{пр}})$ , що являє собою залежність яскравості від прямого струму,
- світлова характеристика  $I_v = f(I_{\text{пр}})$  – залежність сили світла від прямого струму світлодіоду (рис.2.10).
- вольт-амперна характеристика світлодіоду  $I_{\text{пр}} = f(U_{\text{пр}})$  аналогічна характеристиці звичайного діода [4].

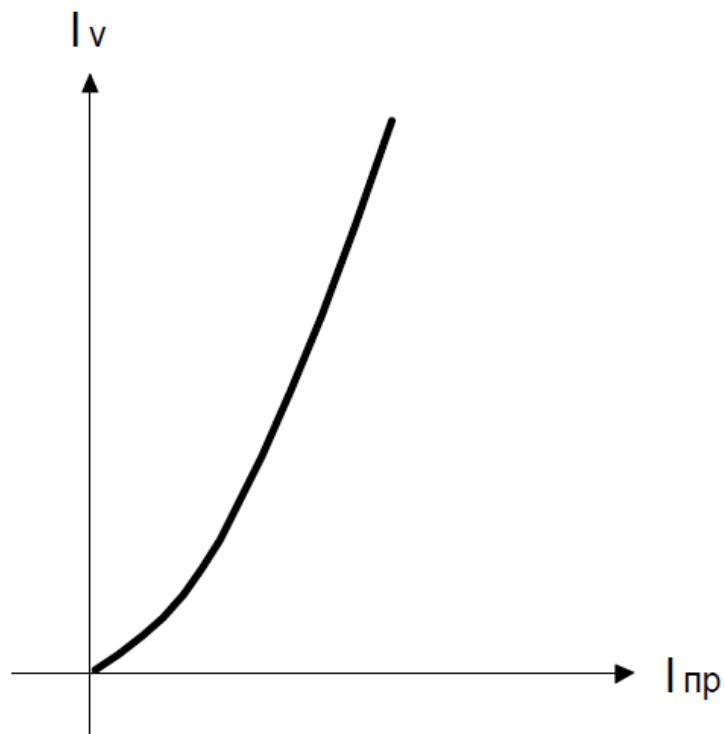


Рис.2.10. Світлова характеристика світлодіоду.

На малюнку 2.11 спрощено показана структура світлодіода.

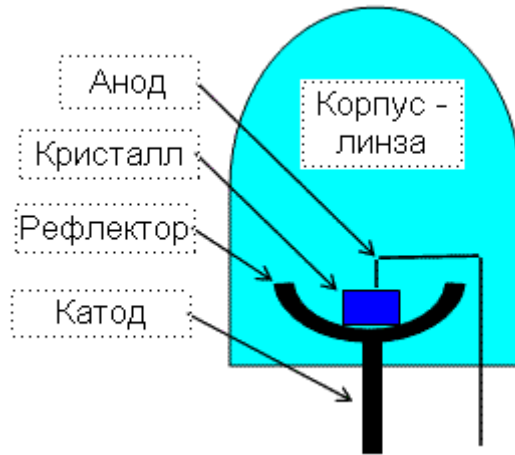


Рис. 2.11. Спрощена структура світлодіода

Світло, що випромінюється напівпровідниковим кристалом, відбивається від рефлектора і проходить через прозорий або напівпрозорий корпус. Формування заданої діаграми спрямованості забезпечується як рефлектором, так і корпусом - лінзою.

### 2.3. Типи світловипромінюючих діодів

Світловипромінюючі діоди, які випускаються промисловістю, за своєю конструкцією можуть бути розділені на наступні групи:

- 1) в металоскляному корпусі (рис. 2.12, а);
- 2) в конструкції з полімерною герметизацією на основі металоскляної ніжки, або рамочного утримувача (рис. 2.12, б);
- 3) безкорпусні (рис. 2.12, в).

Перші з них характеризуються високою надійністю і стабільністю параметрів, механічною і кліматичною стійкістю. Другі мають такі переваги: за рахунок полімерного герметичного корпусу можливе забезпечення перерозподілу світлового потоку як у напрямі звуження діаграми спрямованості, так і у напрямі її розширення; полімерна герметизація збільшує зовнішній квантовий вихід випромінювання за рахунок збільшення кута повного внутрішнього віддзеркалення на межі

кристал-полімер; велика стійкість до ударних і вібраційних навантажень; можливо отримати менші габарити; простіші в технології виготовлення, і тому мають меншу вартість. Безкорпусні світлодіоди використовуються в герметичній апаратурі.

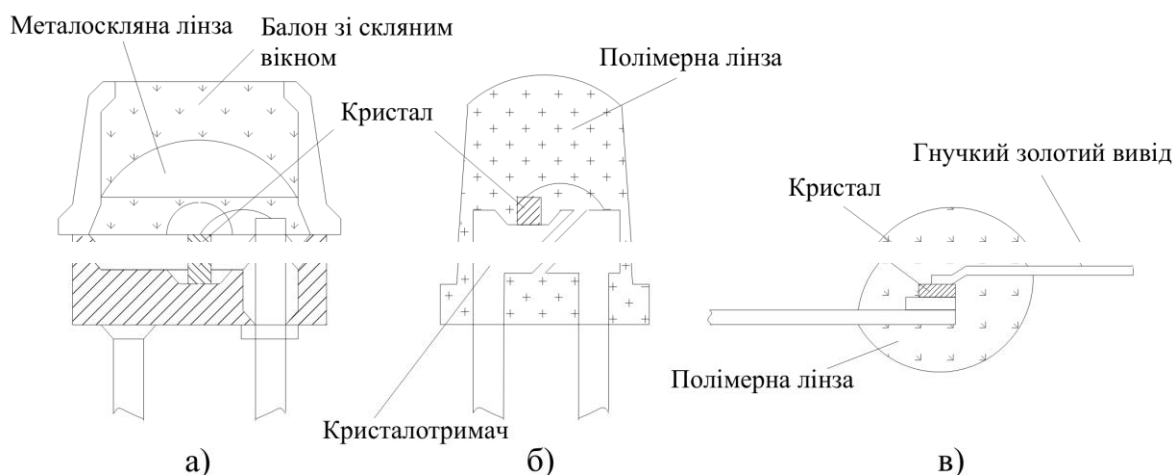


Рис. 2.12. Групи світлодіодів за структурою.

Наявність ізолюючого корпусу приводить до додаткового зниження ефективності випромінювання за рахунок поглинання в корпусі. Тому кожен корпус світлодіода характеризується оптичною ефективністю, або коефіцієнтом виходу світла  $\eta_{\text{опт}}$ , а якість світлодіода визначається зовнішнім квантовим виходом.

### 2.3.1. Схеми включення одиничних світлодіодів

Найбільш поширеними застосуваннями напівпровідникових одиничних індикаторів є індикація стану інтегральних схем і апаратури в цілому, підсвічування написів і кнопок, створення шкал і табло, випромінювачі в оптронах. Візуальна індикація стану апаратури типу «включено – виключено» і створення індикаторних табло є найбільш частим використанням світлодіодів, де вони прийшли на зміну неоновим лампам і лампам розжарювання. Основною причиною такої заміни є

здатність роботи світлодіодів при малих струмах і напрузі, сумісних з амплітудами логічних рівнів напруги мікросхем цифрової техніки. Така заміна ламп дозволила підвищити надійність приладів відображення інформації за рахунок використання в них в якості елементної бази лише виробів, виконаних за напівпровідниковою технологією. Крім того, лампи розжарювання, споживаючи значні потужності, виділяють велику кількість тепла, що призводить до руйнування патронів і утримувачів, скорочує термін служби ізоляційних матеріалів. Напівпровідникові індикатори споживають менше потужності в порівнянні з лампами розжарювання, практично не виділяють тепла, надійніші і довговічніші.

Розглянемо схеми включення світловипромінюючих діодів. На рис. 2.13 приведені схеми включення з одним СВД.

Для схеми (рис. 2.13, а) значення струму  $I_{с.д.}$ , що протікає через СВД, залежить від опору  $R_H$ , напруги живлення  $U_P$  і падіння напруги на СВД:

$$I_{с.д.} = \frac{U_P - U_{п.с.}}{R_H} . \quad (2.3)$$

Для схеми на рис. 2.13, б, вихідна напруга  $U_{вх} \approx U_{вих}$ , а струм

$$I_{с.д.} = I_{ex}(1 + \beta) \frac{R_{ex}}{r_{ex}} \frac{R_e + R_H + r_d}{R_e} , \quad (2.4)$$

де  $R_{вх}$ ,  $r_{вх}$  – вхідний опір каскаду та транзистора відповідно;  $r_d$  – динамічний опір СВД;  $\beta$  – коефіцієнт підсилення струму.

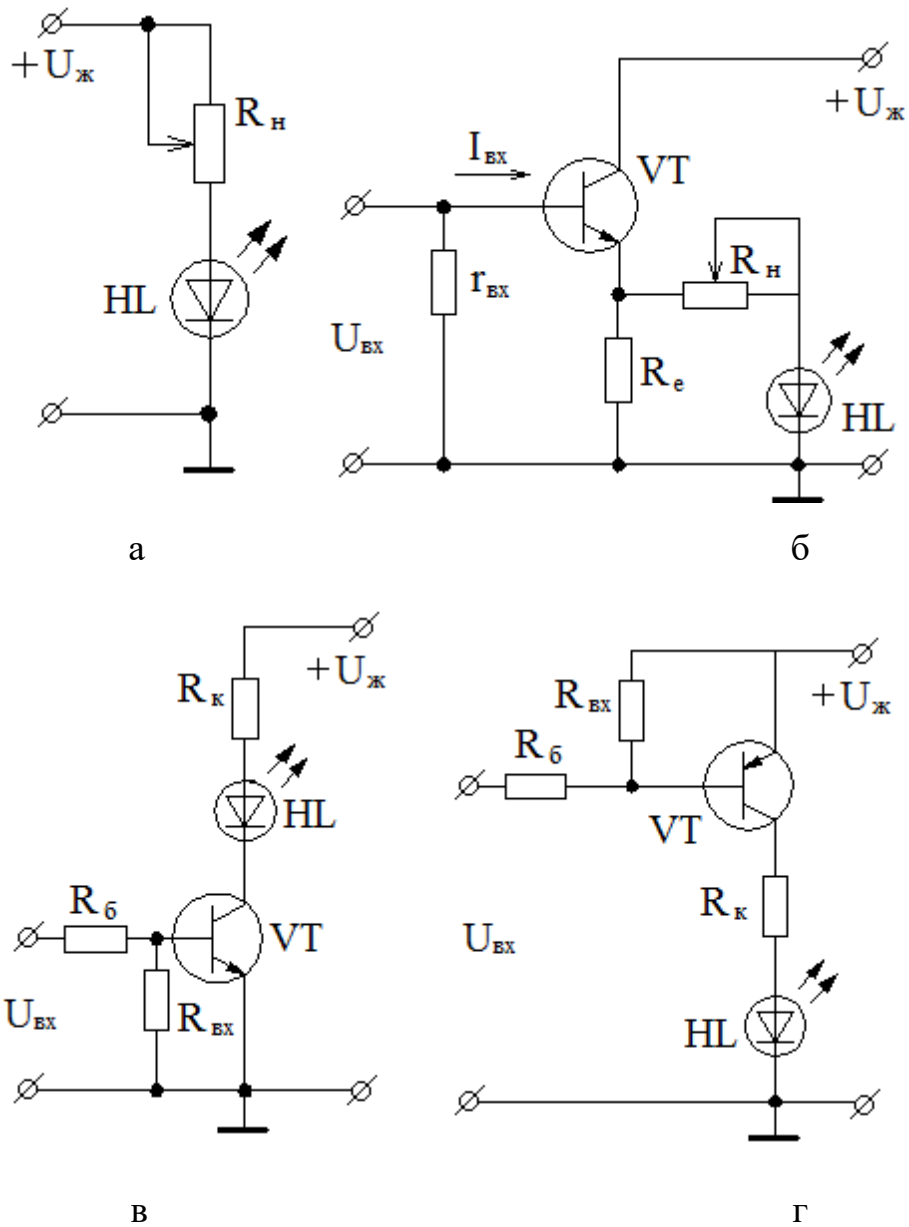


Рис. 2.13. Схеми включення з одним СВД

Якщо вважати, що  $R_{вх} \approx r_{вх}$ , а  $r_{д} \ll R_{н}$ , що легко забезпечити при живленні великою напругою, то отримаємо

$$I_{с.д.} = I_{вх}(1 + \beta) \frac{R_e + R_n}{R_e}. \quad (2.5)$$

Для схеми на рис. 2.13, в, г, струм через СВД визначається виразом:

$$I_{c.д.} = \frac{U_{п} - U_{c.д} - U_{KEвідкр}}{R_{н} + r_{д}}, \quad (2.6)$$

де  $U_{KEвідкр}$  – залишкова напруга на транзисторі у відкритому стані.

Якщо вважати, що  $U_{п} \gg U_{c.д}$ ,  $U_{п} \gg U_{KE}$  і  $R_{к} \gg r_{д}$ , то отримаємо:

$$I_{c.д.} = U_{п} / R_{н}. \quad (2.7)$$

Струм бази транзистора

$$I_{б} = \frac{U_{вх} - U_{BE}}{R_{б}}. \quad (2.8)$$

Опір  $R_{б}$  повинен забезпечувати струм насичення транзистора

$$I_{б} = S I_{к} / \beta, \quad (2.9)$$

де  $S = I_{б} / I_{бгр}$  – коефіцієнт насичення;  $I_{б гр}$  – граничне значення струму бази.

Аналіз схем вмикання СВД показує, що схеми на рис. 2.13, в, г, мають вищу швидкодію і є генераторами струму, якщо не доводити їх до насичення. Схема на рис. 2.13, б, є генератором напруги, і струм через СВД визначається опором навантажувального резистора СВД.

Найбільшу швидкодію мають схеми на рис. 2.13, в, г. Їх відмінність полягає в тому, що в схемі на рис. 2.13, г, СВД підключений до загальної шини. Слід також відзначити, що значення струму через СВД визначається

його внутрішнім опором. Для усунення цих нестабільностей необхідно підвищувати напругу живлення.

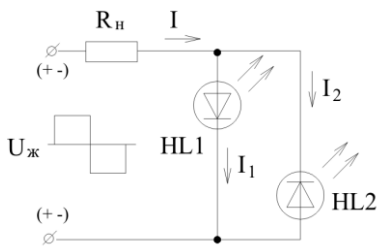
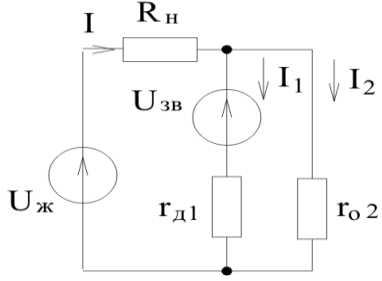
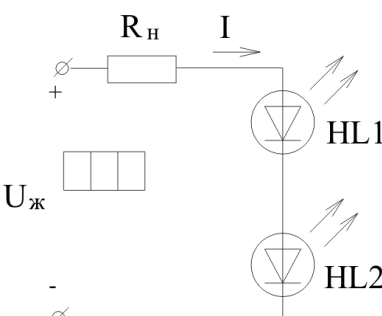
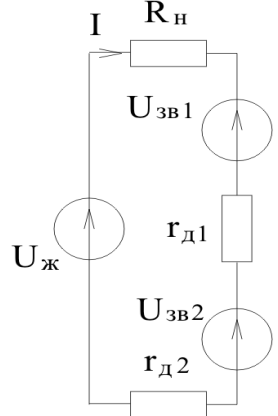
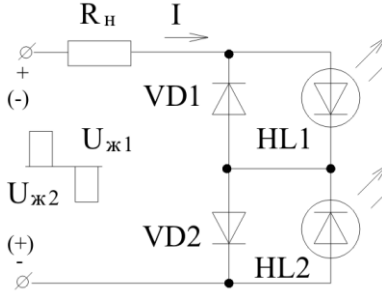
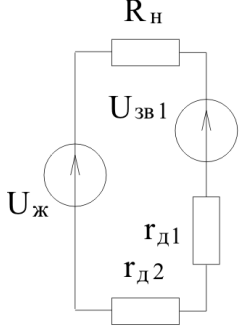
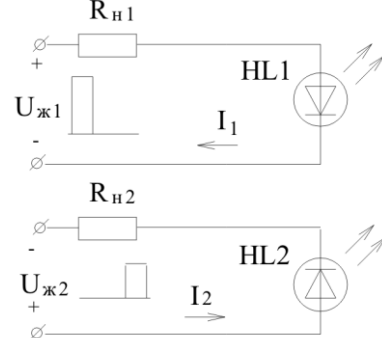
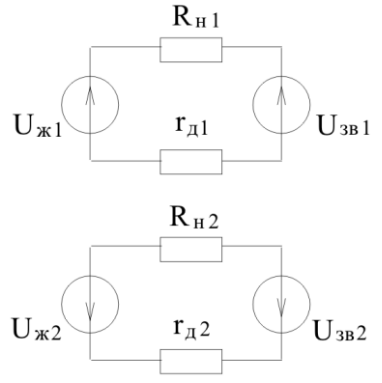
Таким чином, чим більше  $U_{п}$ , тим більшими мають бути опори  $R_k$  і  $R_n$ , і менше позначатиметься вплив внутрішнього опору СВД.

При використанні СВД в двохвильових пристроях слід розрізняти чотири варіанти включення СВД опорного і вимірювального каналів: зустрічно-паралельне; послідовне; зустрічно-послідовне, роздільне (незалежне) включення.

У табл. 2.5 приведені варіанти вмикання СВД та їх схеми заміщення, складені з урахуванням наступних припущень. Для схем 1 і 2 вважаємо, що СВД  $U_1$ ,  $U_2$  мають ідентичні характеристики, і складаємо схему заміщення для одного з СВД. Розглянемо окремо кожен з варіантів вмикання.

При зустрічно-паралельному вмиканні СВД живлення здійснюється від генератора змінного струму. В один з напівперіодів включається перший СВД, в інший напівперіод – другий. Отже, якщо підібрані ідентичні СВД, то на точність вимірювання не впливає нестабільність живлячих імпульсів. Розрахункові співвідношення для цього варіанту включення СВД приведені в табл. 2.5. При цьому вважаємо, що СВД ідентичні і розрахунок виконано для одного з них.

Табл. 2.5 Варіанти вмикання СВД та їх схеми заміщення

Схема вмикання СВД	Схема заміщення	Розрахункові формули
		$I = \frac{U_{ж} - U_{зв} + I_2 r_{о2}}{r_{о2} + R_H} - \frac{U_{зв} + I_1 r_{д1}}{r_{о2} + r_{д1}}$ $R_H = \frac{U_{ж} - U_{зв} - r_{д1}(I_1 + I_2)}{I}$
		$I = \frac{U_{ж} - U_{зв1} - U_{зв2}}{R_H + r_{д1} + r_{д2}}$ $R_H = \frac{U_{ж} - U_{зв1} - U_{зв2} - I(r_{д1} + r_{д2})}{I}$
		$I = I_2, E_1 = E_2$ $I = \frac{U_{ж} - U_{зв1}}{R_H + r_{д1} + r_{д2}}$ $R_H = \frac{U_{ж} - U_{зв1} - I_1(r_{д1} + r_{д2})}{I}$
		$I_1 = \frac{U_{ж1} - U_{зв1}}{R_{H1} + r_{д1}}, I_2 = \frac{U_{ж2} - U_{зв2}}{R_{H2} + r_{д2}}$ $R_{H1} = \frac{U_{ж1} - U_{зв1} - I_1 r_{д1}}{I_1}$ $R_{H2} = \frac{U_{ж2} - U_{зв2} - I_2 r_{д2}}{I_2}$



**Примітка:**  $U_{ж}$ ,  $U_{ж1}$ ,  $U_{ж2}$  – напруга джерел живлення;  $R_{н1}$ ,  $R_{н2}$  – опір навантажувальних резисторів;  $I_1$ ,  $I_2$  – струми через СВД;  $r_{д}$  – динамічний опір СВД;  $R_{зв1}$ ,  $R_{зв2}$  – зворотні опори СВД;  $U_{зв}$  – пряме падіння напруги на СВД.

Перевагою послідовного варіанту включення є простота схемної реалізації джерела живлення. Недоліком є необхідність застосування двох фотоприймачів, причому кожен з них повинен сприймати випромінювання лише одного СВД, тобто цей варіант не забезпечує часового розділення потоків від кожного імпульсу випромінювача. Проте застосування комбінації фотодіод-фоторезистор дає можливість реалізувати операцію розділення сигналів від потоків обох СВД. Основна похибка послідовного включення СВД пов'язана з нестабільністю характеристик двох фотоприймачів, окремо чутливих до потоків першого і другого СВД. Ця схема може бути застосована при невисоких вимогах до пристроїв контролю (абсолютна похибка понад 3%).

Наступним варіантом включення СВД є зустрічно-послідовне включення. Для визначення струму, що протікає через СВД, зробимо припущення, що СВД мають ідентичні електричні параметри. Як і при першому варіанті включення, тут живлення здійснюється від генератора змінної напруги. Недоліком схеми є відсутність роздільного вирівнювання потоків випромінювання.

Останнім варіантом є роздільне незалежне включення СВД. В цьому випадку складають рівняння для обох ланцюгів з СВД окремо, і з них знаходять струми та опори навантаження.

Переваги останньої схеми включення – можливість незалежного живлення СВД, взаємного вирівнювання потоків випромінювання і часове розділення цих потоків.

Внаслідок низького диференціального опору світлодіодів їх не слід включати паралельно, оскільки незначна зміна  $U_{п}$  (напруга джерела

живлення) і відмінність в диференціальному опорі може призвести до різкого зростання струму світлодіода з меншим  $U_{ip}$  (пряме падіння напруги на світлодіоді), до різкого зростання його світловіддачі та розсіюваної потужності. Таким чином, при підключенні до джерела напруги  $U_{ip}$  кожен світлодіод має бути захищений своїм резистором.

При необхідності підключення до одного джерела живлення світлодіодів різних кольорів (червоного, зеленого, жовтого), опори струмообмежувальних резисторів у зв'язку з відмінністю  $U_{пр}$  розраховуються для світлодіодів кожного кольору окремо. Один з варіантів такого підключення представлений на рис. 2.14.

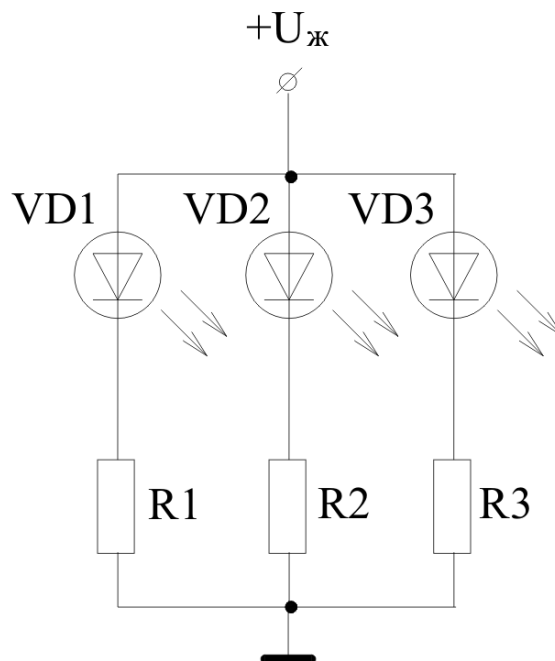


Рис. 2.14. Один з варіантів підключення до одного джерела живлення світлодіодів різних кольорів

### 2.3.2. SMD-світлодіоди

Останніми роками все чіткіше прослідковується тенденція у бік мініатюризації РЕА. Світлодіоди для поверхневого монтажу надзвичайно потрібні виробникам компактної або портативної апаратури з батарейним

живленням, де дуже висока щільність компоновки елементів і необхідне низьке споживання енергії.

Абревіатура SMD означає поверхневий монтаж деталей (surface montage details). Дана технологія (“3-in-1” – “3-в-1”) дозволяє виготовити в одному корпусі три світлодіоди (червоний, синій, зелений) і збільшити світловий потік світлодіода за рахунок наближення напівпровідника до теплопровідної поверхні. На рис. 2.15 представлений вигляд SMD-світлодіодів.

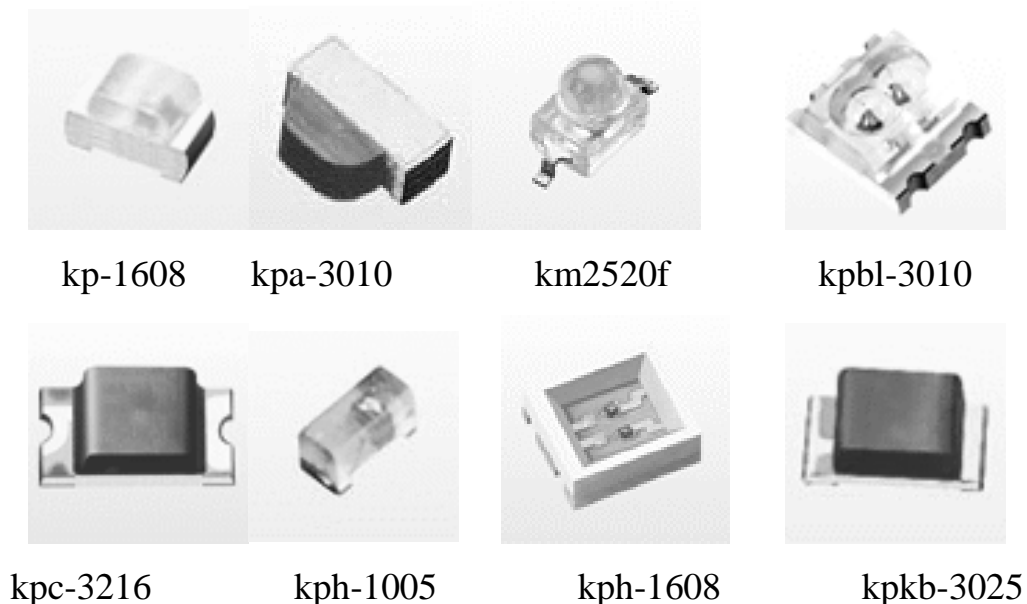


Рис. 2.15. Вигляд SMD- світлодіодів.

Світлодіоди виробляються синього, зеленого, червоного, жовтого, помаранчевого кольорів, а також їх різних відтінків. Існує також ряд двокольорових моделей. За силою світла і ефективністю світлодіоди розділяються на світлодіоди високої яскравості, високої яскравості з малим споживанням і стандартні. Діапазон яскравостей складає від 3,6 до 360 мКд залежно від моделі і кольору, а струм споживання від 2 до 20 мА. У табл. 2.6 приведені основні параметри деяких smd-світлодіодів.

Табл. 2.6. Основні параметри деяких smd-світлодіодів

Тип	Структура	Довжина хвилі $\lambda_p$ , nm	Колір	Uпр, В при Iпр=20 мА		Iv, мКд при Iпр=20 мА			Кут $2\Theta_{1/2}$ , град
				Мін	Макс	Мін	Тип	Макс	
0805B120C-B	InGaN	460-470	синій	3,0	3,6	150		250	120
0805G120C-B	InGaN	515-530	зелений	3,0	3,6	600		750	120
0805G120C-B	InGaN	500-510	синьо-зелений	3,0	3,6	400		600	120
0805W120C-B	InGaN	-	білий	3,0	3,6	600		750	120
0805R120C-B	AlGaInP	615-630	червоний	1,9	2,2	150		250	120
0805A120C-B	AlGaInP	600-610	помаранчевий	1,9	2,2	150		250	120
0805Y120C-B	AlGaInP	585-595	жовтий	1,9	2,2	150		250	120

Деякі компоненти мають матовий розсіювач. Більшість SMD-світлодіодів поставляються з прозорим розсіювачем. Розподіл випромінювання в півсфері таких світлодіодів близький до рівномірного розподілу (рис. 2.16). Найбільші моделі комплектуються рефлектором, завдяки якому різко підвищується інтенсивність випромінювання.

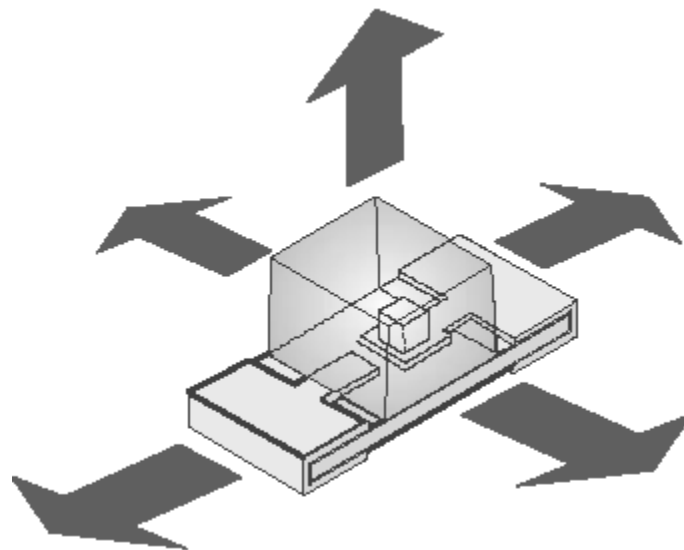


Рис. 2.16. Розподіл випромінювання в півсфері SMD –світлодіодів.

Також доступний ряд дуже популярних світлодіодів з бічним випромінюванням для підсвічування РКІ і зворотнього монтажу (зворотнього світіння).

### 2.3.3. Ультраяскраві світлодіоди

Область застосувань ультраяскравих світлодіодів може бути умовно розділена на дві широкі категорії, а саме з використанням прямого світла і освітлення. Пряме світло використовується для передачі інформації, наприклад в алфавітно-цифрових табло і повноколірних відеодисплеях, де світлодіоди формують пікселі дисплея. У сигнальних пристроях також використовується пряме світло. Як приклад, дорожні сигнали – світлофори і знаки, стоп-сигнали та індикатори повороту транспортних засобів. В освітленні світлодіод використовується щоб освітити поверхню, простір або об'єкт, замість того, щоб бути видимим безпосередньо.

Ультраяскраві світлодіоди (УЯС) випускає фірма Hewlett-Packard (HLMA-QL00, HMLP-Q106, HPWT-PL00 та ін.).

Основними характеристиками УЯС є:

- сила світла, яка в деяких моделях УЯС доходить до 4-9 тис. мКд (при  $I_{пр} = 20$  мА);
- пряме падіння напруги  $U_{пр}$  (1,7 – 2,4 В);
- прямий максимальний струм  $I_{макс}$  (до 70 мА);
- кут розсіювання світла (5-125 градусів).

На рис. 2.17 представлено зовнішній вигляд деяких ультраяскравих світлодіодів.



STAR LXHLMB1C



STAR/C LXHLMB1B



STAR/O LXHLNB98



K2 LXX2-PH12-S00

Рис. 2.17. Зовнішній вигляд деяких ультраяскравих світлодіодів.

В таблиці 2.7 наводяться основні параметри ультраяскравого світлодіода LXHL-MB1C.

Табл. 2.7. Основні параметри ультраяскравого світлодіода LXHL-MB1C

Яскравість	16 Лм
Максимальний неперервний струм	350 мА
Пряма напруга	3,42 В
Довжина хвилі	470 нм
Тип	Star

Ультраяскраві світлодіоди мають переваги перед сигнальними лампами розжарювання (СЛР):

- 1) УЯС споживають набагато меншу потужність при однаковому світловому потоці, порівняно до СЛР (приблизно в 5 разів);
- 2) УЯС виділяють набагато менше тепла ніж СЛН, тому їх робоча температура набагато нижча, ніж в СЛР;
- 3) УЯС дозволяють отримати принаймні чотири вихідні кольори (червоний, янтарний, зелений, блакитний), а при комбінаціях УЯС кількість кольорів може бути достатньо великою. У СЛР доводиться ставити спеціальні кольорові ковпаки (світлофільтри);
- 4) надійність УЯС складає порядка 10 млн. годин безперервної роботи, в порівнянні з 5000 – 20000 годин в СЛР;

5) УЯС здатні витримувати без пошкоджень інтенсивні механічні удари і вібрацію (на відміну від СЛР);

6) УЯС витримують більше 1000 циклів нагрівання/охолодження від – 40 0С до +100 0С без пошкоджень (СЛР – не більше 3-5 циклів);

7) розміри УЯС дозволяють створити пристрої індикації набагато менших розмірів, ніж пристрої індикації на СЛН;

8) УЯС допускають поступове регулювання яскравості світіння за допомогою потенціометра; більше того, одним потенціометром можна регулювати яскравість світіння одночасно декількох УЯС; регулювання яскравості може також здійснюватися за допомогою широтно-імпульсної модуляції. В цьому випадку кількість одночасно регульованих УЯС взагалі не має значення;

9) оскільки УЯС працюють при менших струмах (20-70 мА), ніж СЛР (0,3-1 А), то пристрої управління і комутації УЯС простіші і дешевші, ніж такі ж пристрої для СЛР;

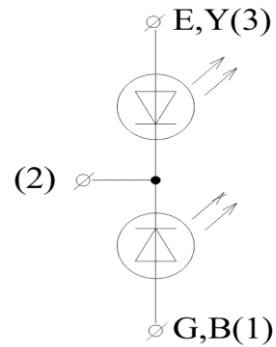
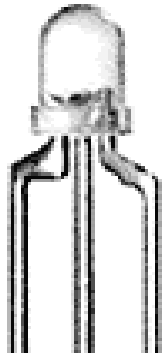
10) у момент ввімкнення СЛН мають набагато більший струм, ніж робочий. УЯС позбавлені цього недоліку.

**Про лазерні світлодіоди можете ознайомитися самостійно.**

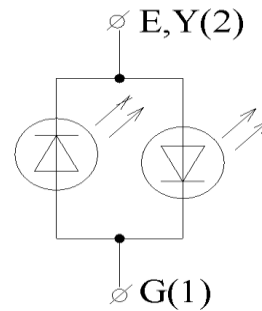
#### **2.3.4. Багатокольорові світлодіоди**

Світлодіоди є одними з небагатьох джерел світла, які дозволяють реалізувати керовану зміну кольору світіння. Існує декілька шляхів створення світлодіодів з керованим кольором світіння: дво перехідний однокристальний діод Ga з незалежним включенням переходів; одноперехідний двосмуговий однокристальний діод Ga; дво кристальний біполярний діод з паралельним з'єднанням кристалів; дво кристальний діод з незалежним включенням кристалів; дво перехідний однокристальний діод, один з p-n-переходів якого випромінює червоне світіння, а інший – інфрачервоне випромінювання, яке за допомогою антистоксового

люмінофора перетворюється на зелене світіння. Найбільший інтерес на теперішній час представляє двоохперехідний однокристальний діод Ga. На рис. 2.18 представлені зовнішній вигляд і структура деяких багатокольорових світлодіодів.



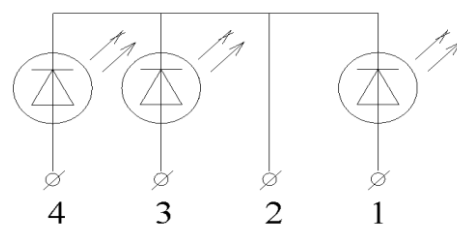
GNL-3015



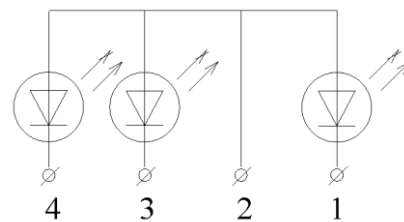
GNL-3017



GNL-5013



Загальний катод



Загальний анод

Рис. 2.18 Зовнішній вигляд і структура деяких багатокольорових світлодіодів.



Як видно на рисунку, з'єднання світловипромінюючих діодів в одному корпусі може бути різним: із загальним катодом (GNL-3015), зустрічно-паралельне (GNL-3017), із загальним анодом (GNL-5013). У табл. 2.8 представлені параметри багатоколірних світлодіодів.

Табл. 2.8. Параметри багатоколірних світлодіодів

Максимальний постійний прямий струм	20 мА
Постійна зворотня напруга	5 В
Постійний зворотній струм ( $V_r=5В$ )	10 мкА
Максимальний прямий струм, $t_w=1мс$ , $Q=1/20$	150 мА
Діапазон робочих температур	-40...+80°C
Температура збереження	-40...+100°C
Умови пайки (5 сек, 1,6 мм від корпусу)	300±5°C

### 2.3.5. RGB-світлодіоди

Існує дві технології отримання білого світла за допомогою світлодіодів. Один підхід – змонтувати червоний, зелений і синій кристали в одному корпусі як можна ближче один до одного, і змішати їх світлові потоки в правильній пропорції для здобуття білого кольору. Проблемою такого підходу, ігноруючи технічні проблеми установки коректних рівнів світлових виходів, є вартість 3 кристалів. Проте, триколірові світлодіоди популярні для застосування в якості підсвічування LCD дисплеїв, оскільки користувач може встановити підсвічування будь-якого відтінку. На рис. 2.19 представлений зовнішній вигляд RGB-світлодіодів.

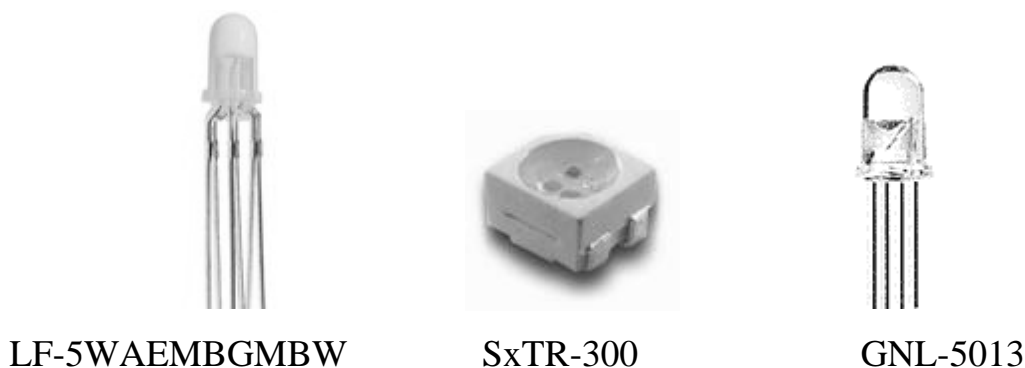


Рис. 2.19. Зовнішній вигляд RGB-світлодіодів

Як і для багатоколірних світлодіодів, в RGB-світлодіодах електричне з'єднання всередині одного корпусу може бути різним. У RGB-світлодіода LF-5WAEMBGMWB кожен з кристалів має окремі виводи анода і катода, які всередині корпусу не сполучені. У світлодіода GNL-5013 кристали мають загальний катод. Параметри RGB-світлодіодів аналогічні параметрам багатоколірних світлодіодів.

На рис. 2.20 представлена типова діаграма спрямованості RGB-світлодіода.

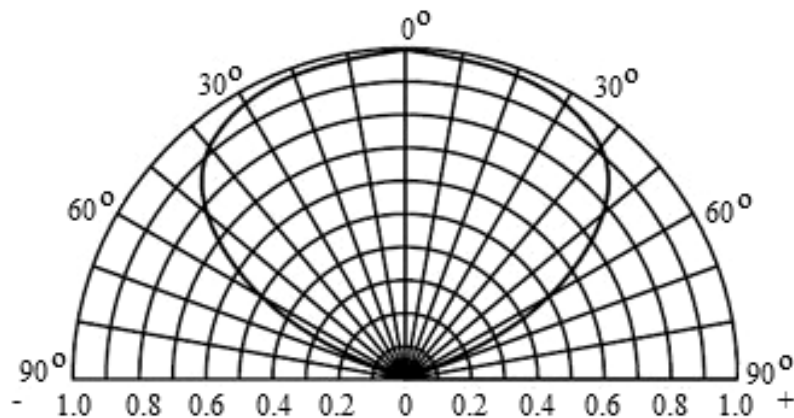


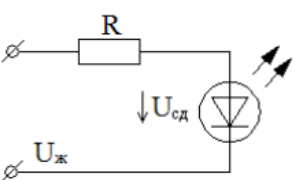
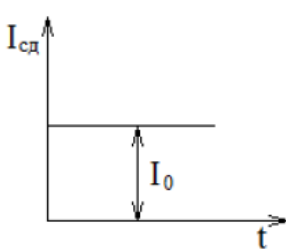
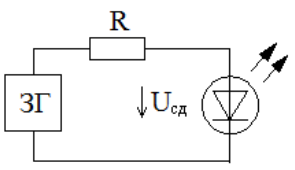
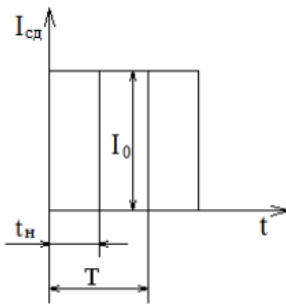
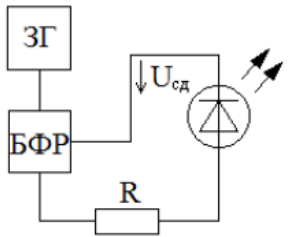
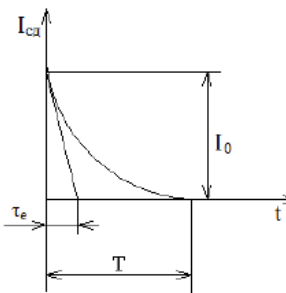
Рис. 2.20. Типова діаграма спрямованості RGB- світлодіода.

Компанія Kingbright випустила RGB серію високоефективних світлодіодів Chameleon з повним колірним рядом. Світлодіоди даної серії містять в одному корпусі три мініатюрні надяскраві кристали (червоний, синій і зелений) для відтворення різних кольорів видимого спектру, включаючи біле світло, при видимому тілесному куті 100 градусів. Чудові показники тепловіддачі, досягнуті за рахунок зміни провідної основи до 5,0×6,0 мм, дозволяють підвищити робочий струм кожного світлодіода до 50 мА. Можливе досягнення повнокольорового спектру за допомогою використання різного управляючого струму в кожному окремому кристалі світлодіода.

## 2.4. Режими живлення світлодіодів

Живлення СВД здійснюється в різних режимах: постійним струмом, в імпульсному режимі і функціональному режимі (наприклад, живлення струмом, сформованим по експоненті). У табл. 2.9 приведені ці режими, їх часові діаграми і математичне представлення.

Табл. 2.9.Режими живлення СВД, часові діаграми, математичне представлення

Режим живлення	Схема включення	Часові діаграми	Математичне представлення сигналу
Постійний струм			$\Phi(t) = KI_0 = \Phi_0$
Імпульсний струм			$\Phi(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < 0, \\ \Phi_0 & \text{при } 0 \leq t \leq t_n \\ 0 & \text{при } t \geq t_n \end{cases}$
Експоненціальний			$\Phi(t) = \Phi_0 e^{-(t/\tau_e)}$

**Примітка:** ЗГ – задаючий генератор, БФР – блок функціональної розгортки.

Режим живлення постійним струмом є найбільш простим, оскільки для його здійснення не потрібні спеціальні пристрої (генератори). СВД підключаються до джерела живлення через струмозадаючий реєстр. Опір цього резистора визначається з виразу:

$$R = \frac{U_{\text{ж}} - U_{\text{с.д.}}}{I_{\text{н}}}, \quad (2.10)$$

де  $U_{\text{ж}}$  – напруга джерела живлення;  $U_{\text{с.д.}}$  – падіння напруги на СВД, значення якої від 1,0 до 2,2 В;  $I_{\text{н}}$  – номінальний струм СВД.

Цей режим живлення найбільш прийнятний для одноканальних оптоелектронних вимірювальних перетворювачів з модуляцією сигналу в оптичному каналі (наприклад, для підрахунку штучної продукції, виміри щільності тканини і т. п.).

Імпульсний режим живлення має ряд переваг в порівнянні з режимом живлення постійним струмом. Якщо СВД застосовуються в двохвильових пристроях, то цей режим забезпечує часове розділення потоків і, отже, застосовується один фотоприймач із спектральною характеристикою, чутливою до обох потоків. Спрощуються процес посилення і обробка сигналу в порівнянні з першим режимом. Зменшується енергоспоживання, що вкрай необхідне при розробці приладів з автономним живленням. Потужність розсіювання на СВД можна визначити з урахуванням лінійної апроксимації вольт-амперної характеристики за наступною формулою:

$$W_{\text{рас}} = I_{\text{с.д.}} U_{\text{с.д.}} + I_{\text{с.д.}}^2 r_{\text{д}}, \quad (2.11)$$

де  $I_{\text{с.д.}}$  – струм через СВД;  $r_{\text{д}}$  – динамічний опір СВД;  $U_{\text{сд}}$  – напруга відсічки. Ефективне значення струму:

$$I_{\text{ef}} = I_i \sqrt{Q}, \quad (2.12)$$

де  $I_i$  – імпульсний струм;  $Q$  – скважність.

Звідси максимально припустиме значення струму:

$$I_{i\text{max}} = I_i \sqrt{Q} = I_i \sqrt{T / t_e}, \quad (2.13)$$

де  $t_e$  – тривалість імпульса;  $T$  – тривалість паузи.

Отже, для здобуття необхідної потужності випромінювання необхідно зменшувати тривалість імпульса і збільшувати паузи між імпульсами. Проте слід зазначити, що тривалість імпульсів струму обмежена швидкодією фотоприймача. Якщо фотопровідність (фотострум) встигає встановитися за  $(3...4) \tau_\phi$ , то

$$t_e \geq (3...4) \tau_\phi, \quad (2.14)$$

де  $\tau_\phi$  – постійна часу фотоприймача.

Підбираючи необхідну скважність, можна забезпечувати досить високу потужність випромінювання, на один-два порядки перевищуючу номінальну потужність випромінювання СВД.

Третій режим живлення – функціональний. Його перевагою є інтенсифікація виконуваних математичних операцій, і в разі застосування в пристроях контролю забезпечується лінеаризація передавальної характеристики пристрою з одночасним спрощенням всього пристрою і підвищенням точності.

Збільшення потужності випромінювання СВД при експоненціальній розгортці можна досягти зменшенням сталої часу, тривалості експоненти і збільшенням початкового максимального значення струму СВД. Проте

зменшення сталої часу призводить до зниження чутливості і збільшення похибки виміру. Подальше збільшення потужності випромінювання можна досягти, застосувавши режим дискретного функціонального живлення.

## 2.5. Багатосегментні індикатори

Найбільш поширеним виглядом напівпровідникових індикаторів (НПІ) слід вважати цифрові індикатори (ЦІ), оскільки переважна кількість інформації відтворюється в цифровому вигляді (годинник, калькулятори, вольтметри, термометри і т.д.). Конфігурація інформаційних полів цифрових індикаторів приведена на рис. 2.21.

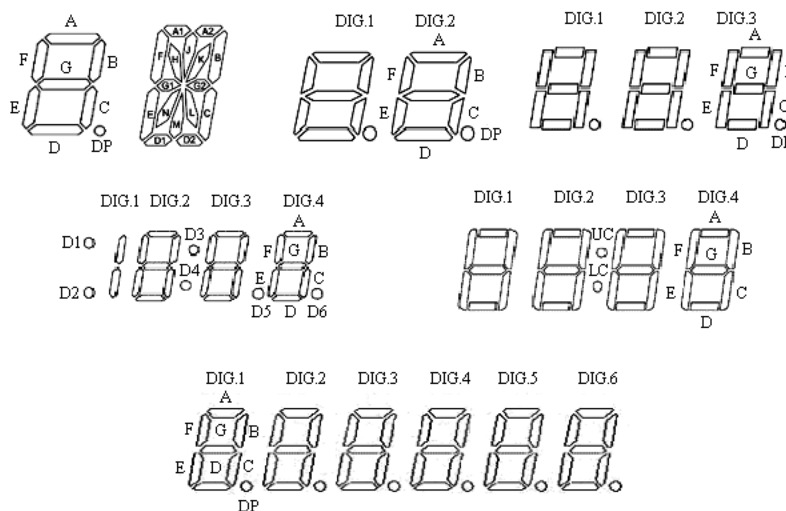


Рис. 2.21. Конфігурація інформаційних полів цифрових індикаторів

Всі цифрові індикатори за своїм конструктивним виконанням можна розділити на наступні групи: безкорпусні монолітні, монолітні в полімерній герметизації, гібридні з різними світлопровідниками, монолітні в склокерамічному корпусі.

Безкорпусні ЦІ – порівняно малочисельна група індикаторів. Конструктивно вони виконані на монолітному кристалі з випромінюючими елементами і контактними зонами для приєднання виводів. Прикладом такого ЦІ є індикатор для ручного годинника.

Найбільш поширеним типом ЦІ є прилади гібридної конструкції з використанням принципу розсіювання світла. Основу конструкції складає керамічний або текстолітовий тримач, на якому кріпляться за допомогою струмопровідного клею випромінюючі кристали. На рис. 2.22 представлені різновиди багатосегментних індикаторів.

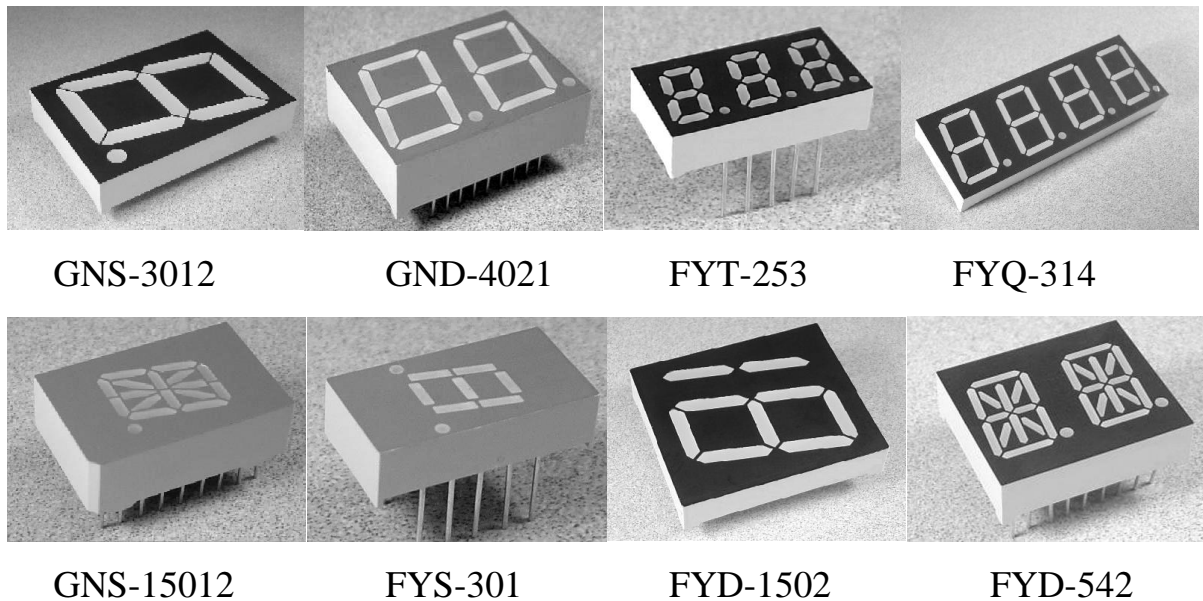


Рис. 2.22. Різновиди багатосегментних індикаторів.

Буквено-цифрові індикатори (БЦІ) дозволяють відображати арабські і римські цифри, букви російського, латинського і грецького алфавітів, і ряд інших знаків і символів. На робочому полі може одночасно відображатися одне або декілька знакомісць. За кількістю елементів та їх взаємному розташуванню в межах одного поля розрізняють семисегментні, дев'ятисегментні, п'ятисегментні, 19-сегментні та інші. Аналіз великої кількості форматів шрифтів показав, що при зображенні цифр, яке оцінюється за п'ятибальною системою, значну перевагу мають індикатори дев'яти-, восьми- і семи сегментні.

З точки зору схемних рішень по управлінню індикаторами всі НПП можуть бути представлені двома групами. До першої групи відносяться

напівпровідникові індикатори в основному гібридної конструкції, що знайшли застосування в промислових приладах. Такі індикатори, як правило, мають великі габаритні розміри. Кожен з сегментів цього типу індикаторів має окремий світлодіод, а кожен зі світлодіодів – свій управляючий вхід. На рис. 2.23. показані схеми однорозрядних семисегментних світлодіодних цифрових індикаторів: а – GNS-3911 Ах (спільний катод); б – GNS-3911 Вх (спільний анод). На рис. 2.24. показані схеми однорозрядних 16-сегментних світлодіодних цифрових індикаторів: а – GNS-15012 Ах (спільний катод); б – GNS-15012 Вх (спільний анод).

Для відображення цифр десяткової системи счислення на індикаторі необхідно виконати перетворення двійкового коду в прямий код семисегментних індикаторів. Відповідно до розташування сегментів, створюємо таблицю істинності перетворювача (табл. 2.10), приписуючи значення логічної “1” тому світлодіоду, який засвічується при відображенні цифри, і логічного “0” – в протилежному випадку.

Табл. 2.10. Таблиця істинності перетворювача.

$N$	$x_3$	$x_2$	$x_1$	$x_0$	$a$	$b$	$c$	$d$	$e$	$f$	$g$
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
2	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1
3	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1
4	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
5	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
6	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
7	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
8	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
9	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1



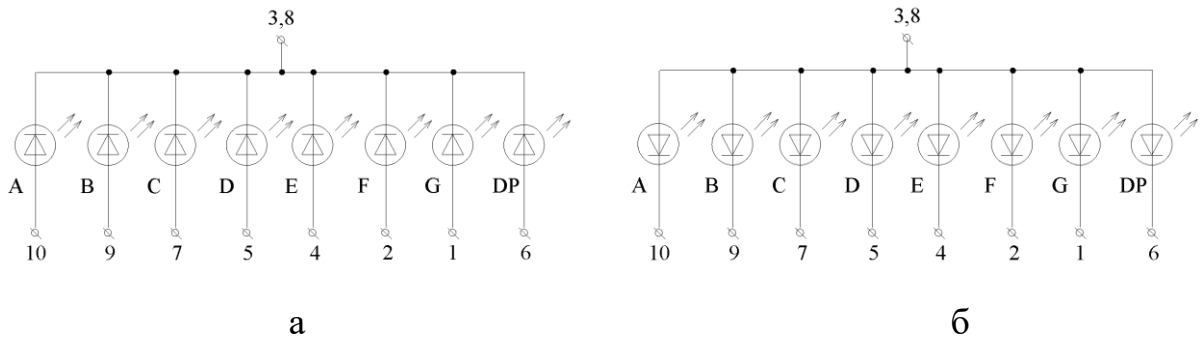


Рис. 2.23. Схеми однорозрядних семисегментних світлодіодних цифрових індикаторів: а – GNS-3911 Ах (спільний катод); б – GNS-3911 Вх (спільний анод).

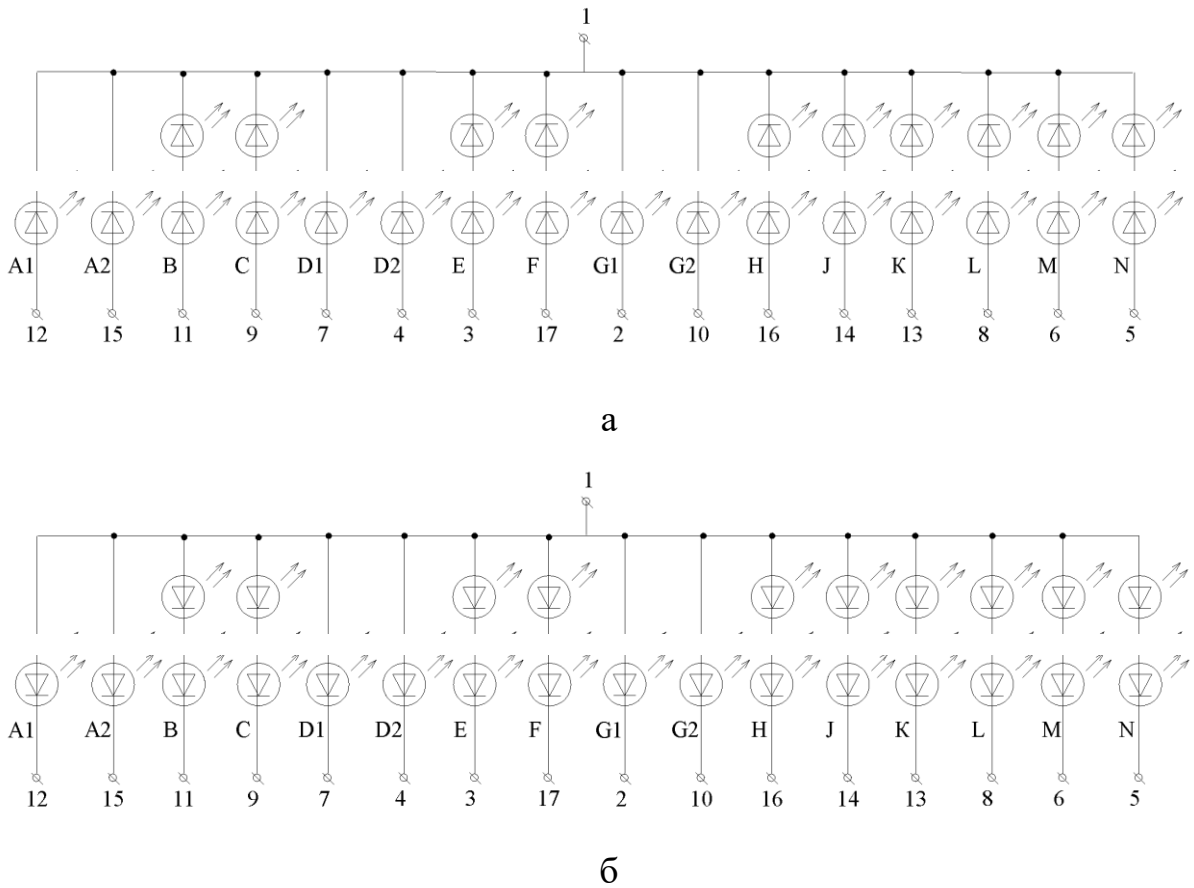


Рис. 2.24. Схеми однорозрядних 16-сегментних світлодіодних цифрових індикаторів: а – GNS-15012 Ах (спільний катод); б – GNS-15012 Вх (спільний анод).

Використовуючи табл. 2.10, можемо записати логічні функції роботи кожного світлодіода:

$$a = \vee 0, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9 = \wedge 1, 4;$$

$$b = \vee 0, 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9 = \wedge 5, 6;$$

$$c = \vee 0, 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 = \wedge 2;$$

$$d = \vee 0, 2, 3, 5, 6, 8, 9 = \wedge 1, 4, 7;$$

$$e = \vee 0, 2, 6, 8 = \wedge 1, 3, 4, 5, 7, 9;$$

$$f = \vee 0, 4, 5, 6, 8, 9 = \wedge 1, 2, 3, 7;$$

$$g = \vee 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9 = \wedge 0, 1, 7.$$

На рис. 2.23 та 2.24 сегменти індикаторів позначені великими літерами (А-Н), а у формулах, що наведені вище, використані строкові літери. Це пов'язано з різницею стандартів, що використовуються при описанні подібних систем. У вітчизняній літературі використовуються маленькі літери. Разом з тим, більшість фірм, що виробляють індикатори, є закордонними, і в технічній документації на індикатори цих фірм використовуються заглавні літери.

Таблиця 2.10 відповідає логіці роботи дешифратора К564ІД5 (CD4056BE, НСС4056BD, ТС4056BF). Умовне графічне позначення дешифратора К561ІД5 приведене на рис. 2.25.

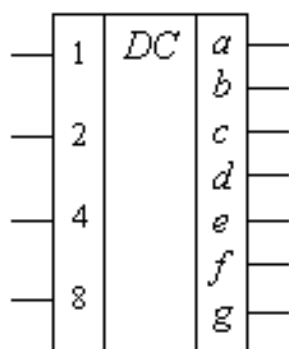
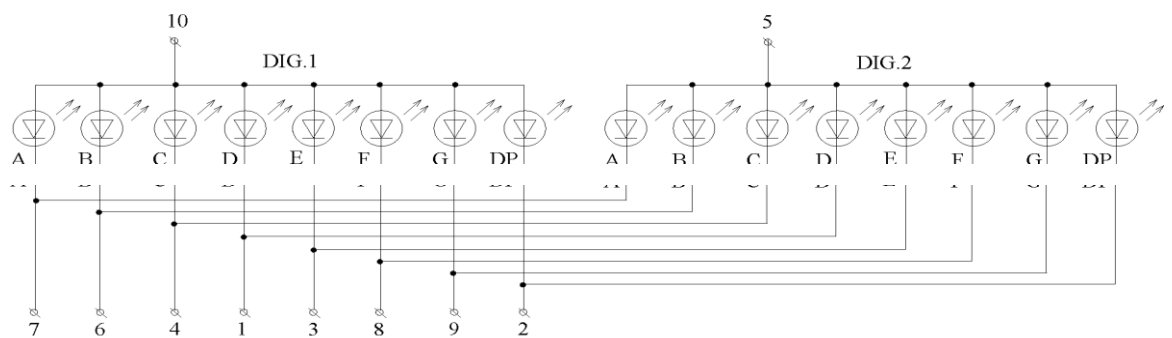


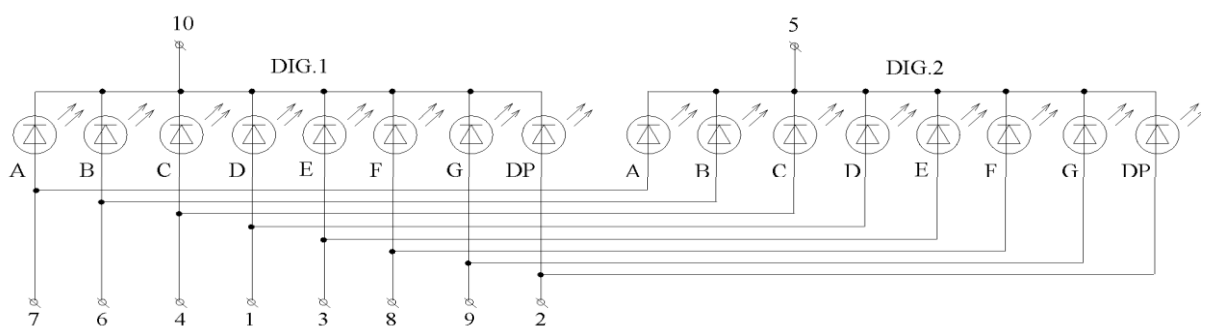
Рис. 2.25. Умовне графічне позначення дешифратора К561ІД5.

До другої групи цифрових індикаторів відносяться індикатори монолітної конструкції. Вони виготовляються методом дифузії напівпровідникових переходів для декількох індикаторів на одну підложку, тобто в одному корпусі такого приладу розміщено декілька індикаторів (чотири – шість і більше).

Як правило, такі індикатори мають загальні управляючі входи для однойменних сегментів декількох цифр (рис. 2.26, а – GND-4021Ax; б – GND-4021Bx). Монолітні індикатори застосовуються в основному в індикаторах приладів індивідуального користування, зокрема в наручних годинниках, калькуляторах, переносних приладах.



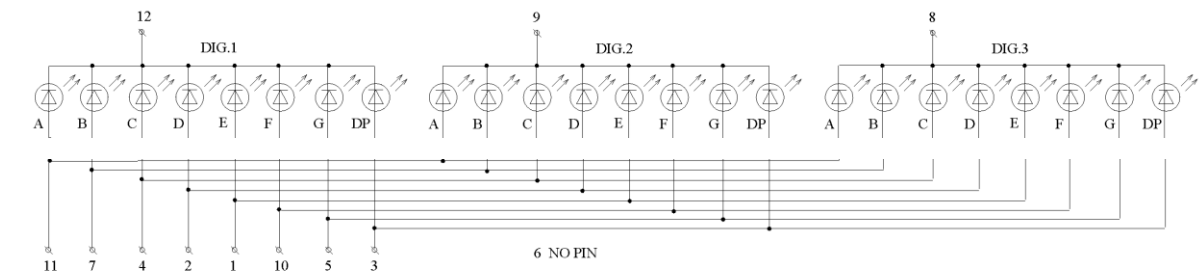
а



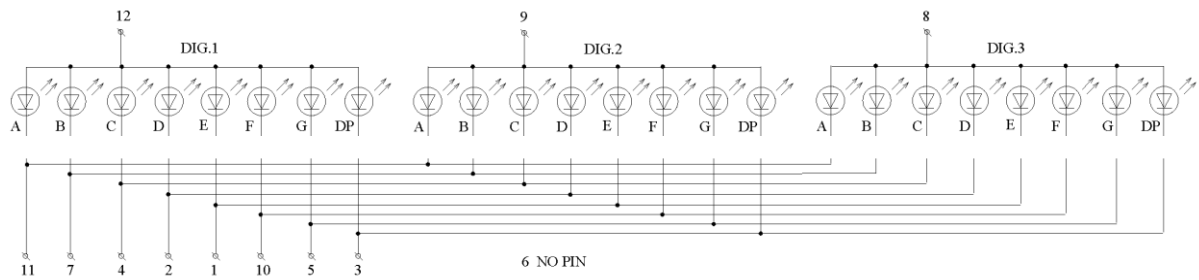
б

Рис. 2.26. Загальні управляючі входи для однойменних сегментів декількох цифр

На рис. 2.27 представлена схема трирозрядного світлодіодного цифрового індикатора монолітної конструкції.



а



б

Рис. 2.27. Схема трирозрядного світлодіодного цифрового дисплею

На рис. 2.28 представлена схема двоколірного однорозрядного світлодіодного цифрового дисплею, а на рис. 2.29 – двоколірні однорозрядні світлодіодні цифрові дисплеї: а – GNS-40011 AEG (спільний катод); б – GNS-40011 BEG (спільний анод).

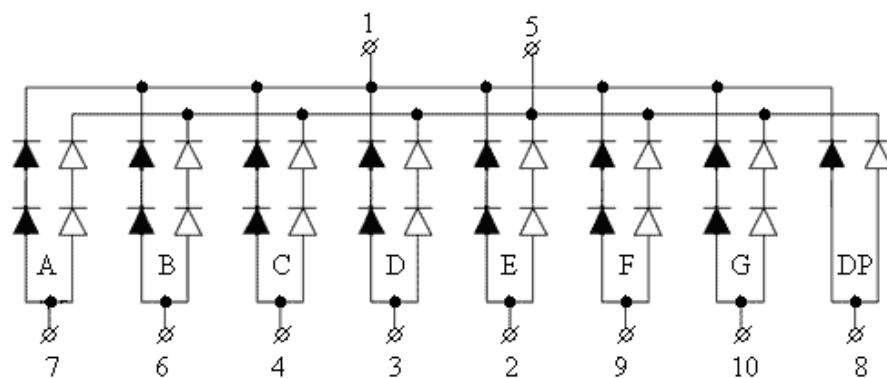
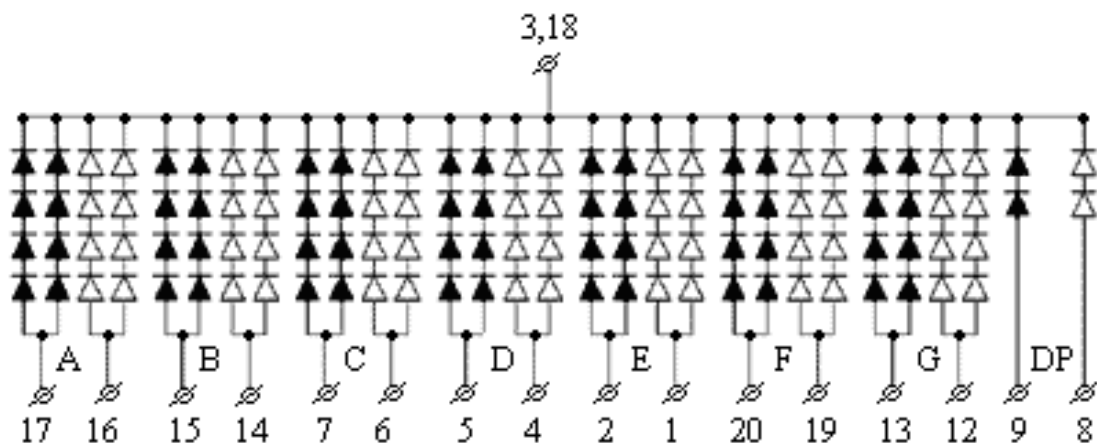
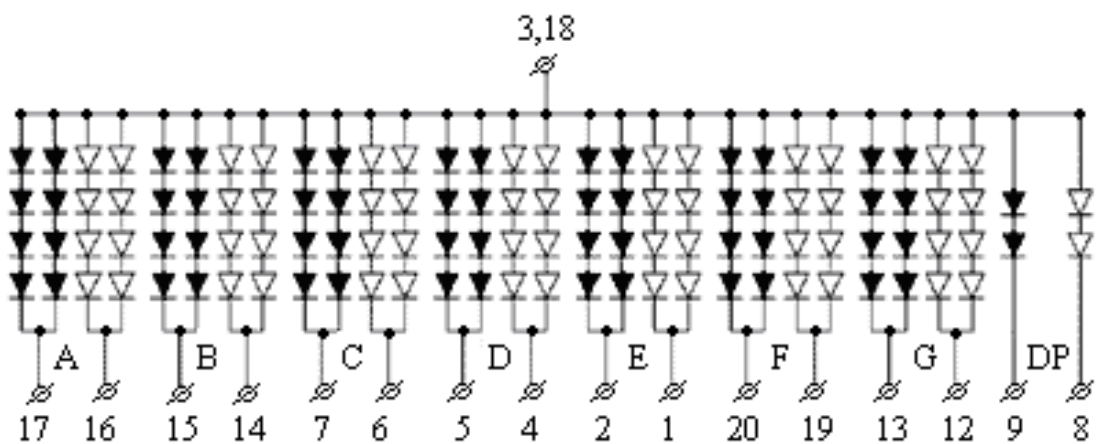


Рис. 2.28. Схема двоколірного однорозрядного світлодіодного цифрового дисплею



а



б

Рис. 2.29. Двоколірні одноразрядні світлодіодні цифрові дисплеї.

Існує два методи управління цифровими індикаторами: управління в статичному режимі (або в режимі постійного струму) і в мультиплексному режимі (режимі послідовного стробування цифр).

Статичний режим рекомендується використовувати для управління напівпровідниковими цифровими індикаторами в пристроях відображення інформації з малою інформативною ємністю. Для цього використовують індикатори першої групи, що мають окремий управляючий вивід для кожного елемента індикації (сегменту).

Мультиплексний режим рекомендується застосовувати для управління напівпровідниковими цифровими індикаторами з великою інформаційною ємністю. У таких пристроях використовуються в основному індикатори другої групи – індикатори монолітної конструкції, що мають управляючі виводи для однойменних сегментів декількох цифр, розміщених в одному корпусі. Мультиплексний режим управління напівпровідниковими цифровими індикаторами дозволяє знизити енергоспоживання індикаторів при збереженні їх характеристик яскравості.

## **2.6. Шкальні індикатори**

Шкальні індикатори мають елементи відображення у вигляді правильних прямокутників і призначені для відображення інформації у вигляді рівнів або значень величин.

Сучасні шкальні індикатори (ШІ) за своїм конструктивним виконанням можна розділити на індикатори в безкорпусному виконанні, з полімерною герметизацією без світлопровідника, зі світлопровідником, в герметичних склокерамічних корпусах.

Безкорпусні ШІ можна вмонтовувати у великі інформаційні масиви, здійснювати різні принципи організації зчитування інформації. Конструктивно всі вони виконані на одному кристалі, на якому сформовані випромінюючі елементи з розміром поверхні від  $30 \times 30$  до  $50 \times 50$  мкм. На кристалі є контактні місця, необхідні для з'єднання ШІ зі схемою.

Шкальні індикатори зі світлопровідником – найчисленніший вид ШІ, що швидко розвивається. Для збільшення контрастності в ряді шкал, лицьова сторона світлопровідника забарвлюється в чорний колір. Для зменшення взаємного засвічування сегментів бічні поверхні його покриваються нікелем. Металізація зменшує взаємне засвічування, але разом з тим трохи зменшує силу світла.

Всі елементи приладу (тримач, кристал, з'єднання і кришка зі світлопровідником) герметизуються в нероз'ємну монолітну конструкцію оптично прозорим розсіюючим компаундом. Для збільшення розсіювання світла ряд конструкцій лицьової сторони приладу покритий циліндричними мікролінзами. Індикатори випускаються різних кольорів світіння. Всі ШІ цього вигляду дозволяють здійснювати безшовне з'єднання.

На рис. 2.30 представлені види інформаційних полів шкальних індикаторів, а на рис. 2.31 – прямокутна світлодіодна лінійка: а – двоколірна GNA-R102510 BEG; б – одноколірна GNA-R102510 Zx.

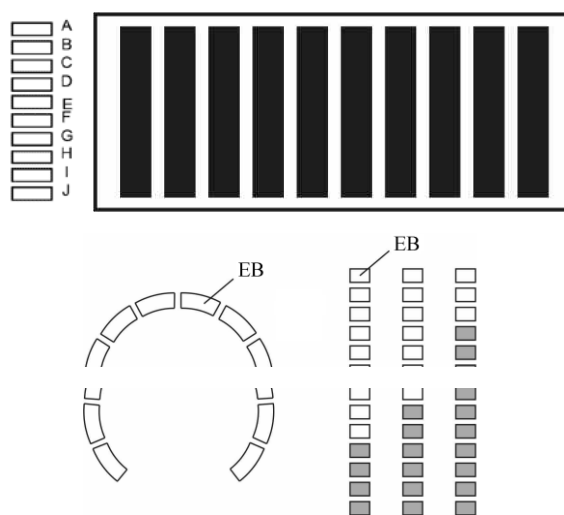


Рис. 2.30. Види інформаційних полів шкальних індикаторів

Лінійні шкальні індикатори призначені для відображення в аналоговій формі безперервно змінної інформації. Аналогова форма представлення інформації на шкальних індикаторах має ряд переваг:

- можливість візуального спостереження тенденцій зміни величини, що спостерігається;
- висока наочність відносних змін параметрів, виходу їх значень за межі допусків (при використанні багатокольорних шкальних індикаторів);
- забезпечення сприйняття оператором великої кількості інформації при найменшому рівні стомлюваності.

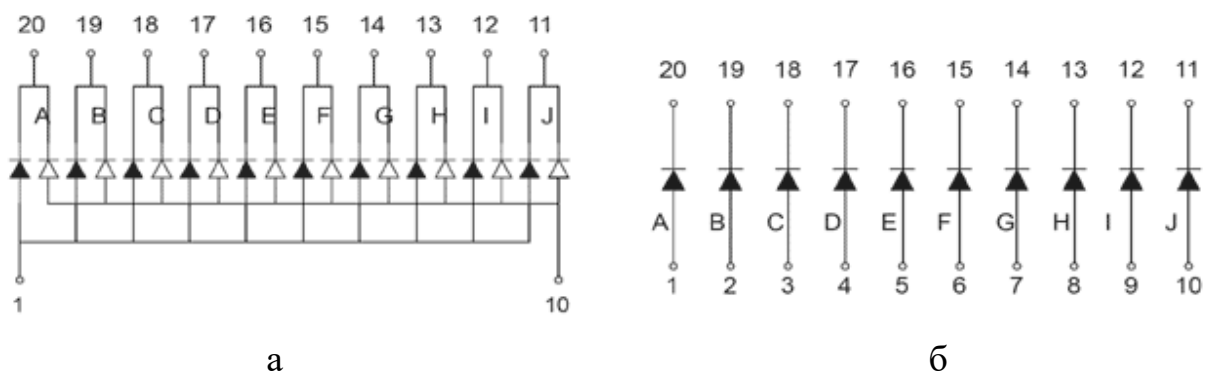


Рис. 2.31. Прямокутна світлодіодна лінійка.

## 2.7. Світлодіодні дюралайти

Світлодіодні трубки (дюралайти), зовнішній вигляд яких показаний на рис. 2.32, призначені для заміни неонових ламп в зовнішніх і внутрішніх світлових конструкціях. Відрізняються від неонових трубок низьким енергоспоживанням, великим терміном служби і можливістю повторного використання після демонтажу конструкції.

Світлодіодні трубки виготовляються з білого дифузного, забарвленого в колір світіння або прозорого пластика D-подібного перерізу. Елементом монохромних трубок (GN-30STB24-48xx), що світиться, є 48 світлодіодів підвищеної яскравості. Повноколірний варіант (GN-30STB24-114RGB) виконаний з 114 світлодіодів.

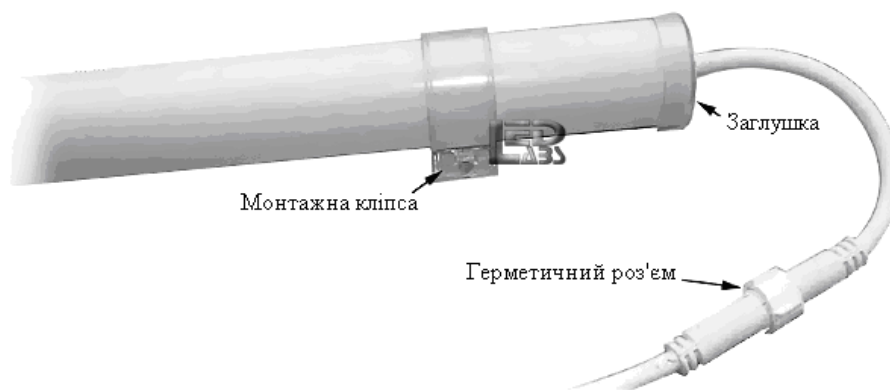
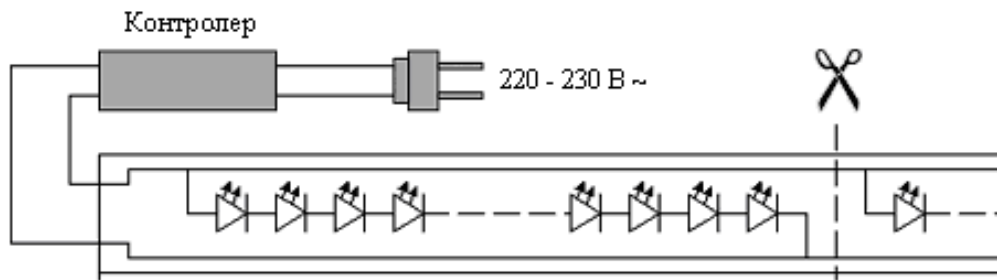
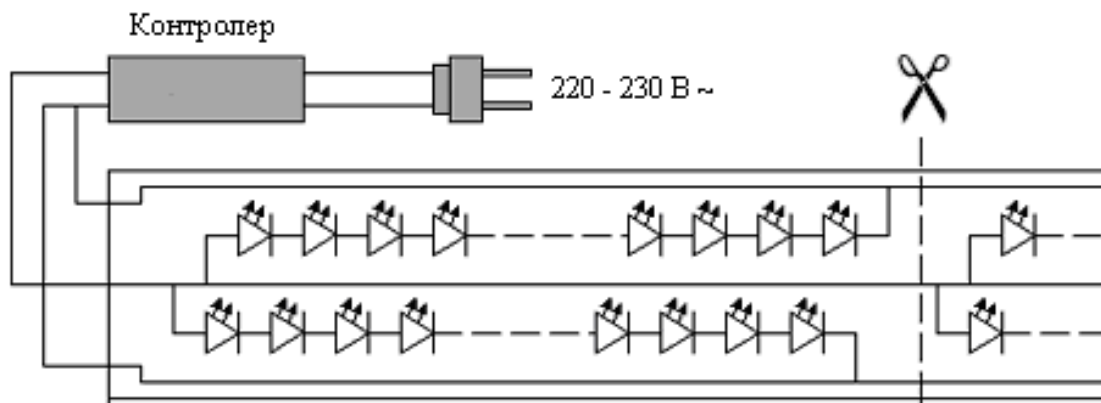


Рис. 2.32. Зовнішній вигляд світлодіодних трубок (дюралайтів).





а



б

Рис. 2.33. Будова дюралайта.

Будова дюралайта представлена на рис. 2.33: а – 36 світлодіодів на метр; б – 72 світлодіоди на метр. Споживана потужність дюралайтів складає 2 Вт/метр (EMR-МС 2Вт-100М-230В). Довжина може складати 100 м. Відстань між світлодіодами в трубі порядку 28 мм. Дюралайти випускаються з різними кольорами світіння: червоний, жовтий, зелений, синій, білий.

## СВІТЛОДІОДНІ ЕКРАНИ

### Історія

Перші відеоекрани з'явилися в Японії і Північній Америці. Спочатку їх можна було побачити на стадіонах і спортивних майданчиках, але потім вони з'явилися і на вулицях міст.

Перший справжній світлодіодний екран для телевізора був розроблений, продемонстрований і документально описаний Дж. П. Мітчеллом в 1977 році. Модель 1977 була монохроматична і не могла конкурувати з кольоровими телевізорами того часу.

Лише після створення досить яскравих кольорових світлодіодів з'явилися перші кольорові LED-телевізори.

Найбільший у світі світлодіодний телевізор знаходиться на стадіоні Ковбойз в Арлігтоне, штат Техас, США. Його розміри 49 × 22 метрів, площа 1070 квадратних метрів. (Існують світлодіодні дисплеї і набагато більших розмірів, але вони не призначені для телебачення).

### **Загальні відомості**

Світлодіодний екран (LED screen, LED display) - пристрій відображення та передачі візуальної інформації, в якому кожною точкою, пікселем, є один або кілька напівпровідникових світлодіодів.

Сама назва "світлодіодний екран" (LED-screen, LED-екран) говорить про технології відтворення інформації екранами даного типу. В екранах використовуються світлодіоди - невеликі напівпровідникові прилади, що випромінюють світло при проходженні електричного струму.

### **Принципи побудови світлодіодних екранів**

Серед досить великої різноманітності систем відображення інформації з активних світінням (плазмові, електролюмінесценції, катодолюмінесцентний, польові і т.д. дисплеї), світлодіодні системи відображення стоять окремо. Це пов'язано з тим, що такі системи будуються з окремих світлодіодів, які групуються спочатку в пікселі, а потім в матрицю пікселів.

Світлодіодні екрани за принципом побудови діляться на два типи:

1. Кластерні світлодіодні екрани.

У кластерних екранах кожен піксель, що містить від трьох до кількох десятків світлодіодів, об'єднаний в окремий світлоізолюючий корпус, який залитий герметизуючим компаундом. Такий конструктивний елемент називається кластером.

Кластери, що утворюють інформаційне поле екрану, закріплені за допомогою гвинтів на лицьовій поверхні екрану. Від кожного кластера відходить джгут проводів, що підключається, за допомогою електричного роз'єму, до відповідної схеми управління (плати). Такий спосіб побудови повнокольорових світлодіодних екранів поступово відмирає, поступаючись місцем більш технологічного матричному принципу.

## 2. Матричні світлодіодні екрани.

У цьому випадку кластери і керуюча плата об'єднані в єдине ціле - матрицю, тобто на керуючій платі змонтовані і світлодіоди, і комутуюча електроніка, які залиті герметизуючим компаундом. Залежно від розміру і розширення екрану, кількість світлодіодів, складових пікселів, може коливатися від трьох до кількох десятків. А розподіл кількості світлодіодів за кольорами в пікселі змінюється від типу застосовуваних світлодіодів в інтересах дотримання балансу білого.

Світлодіодні екрани можуть бути як стаціонарними, так і мобільними (встановленими на пересувній платформі), як зовнішніми (призначеними для застосування на вулиці), так і внутрішніми (призначеними для застосування приміщень).

Виготовлення відеоекранів відбувається на модульній основі з застосуванням різних варіантів компоновання. Модулі мають поверхню чорного кольору і горизонтальні жалюзі, що дозволяють добитися яскравого і висококонтрастного зображення, в тому числі і при прямому влученні сонячних променів на поверхню екрана. Всі модулі легко стикуються без видимої втрати кроку між світлодіодами, відповідно на поверхнях відеоекранів відсутні стикувальні шви. За рахунок використання

модулів з різним кроком між пікселями отримують екрани необхідних розмірів і розширення.

При виборі світлодіодного екрана потрібно вирішити, чи буде світлодіодний екран використовуватися для показу попередньо створених дизайнером роликів, чи буде необхідний режим прямої відео трансляції від телекамер або інших джерел. Також варто звернути увагу на плановане застосування екрану (зовнішнє або внутрішнє), на робочу відстань до екрану, на розмір екрану, на розширення екрана, на якість використовуваних світлодіодів.

Варто також вибрати тип світлодіодів і крок пікселя.

Зазвичай використовуються два типи світлодіодів:

1. DIP (звичайні колбові світлодіоди, коли чіп одного кольору упакований в одну прозору колбу (корпус)).

2. SMD (також їх позначають «RGB», тобто в корпусі відразу три чіпа трьох основних кольорів: червоного, синього, зеленого).

SMD-технологія новіша, і світлодіодні екрани з використанням цієї технології мають підвищення кольору та контрастність, даючи більш якісну картинку. Однак DIP-технології мають підвищену яскравість, і при установці вуличних LED екранів на сонячній стороні, частіше вибирають екрани на світлодіодах DIP.

### **Структура інформаційного поля світлодіодного екрана**

Світлодіодні пікселі, які можуть мати саму різну форму, розміщені в полі екрана у вузлах прямокутної сітки. Відповідно, потрібно говорити про розмір пікселя і кроці пікселів в полі екрана. Залежно від конструктивних особливостей і вирішуваних завдань, співвідношення розміру пікселя до кроку може становити (0,5 - 0,9): 1. Потрібно відзначити дві особливості структури світлодіодного екрана:

Розмір пікселя не залежить від розміру екрана. Збільшення розміру екрану досягається збільшенням його інформаційної ємності.

З урахуванням того, що кожен світлодіод є практично точковим джерелом світла (світловий потік розсіюється корпусом світлодіода в невеликому ступені), пікселізація поля світлодіодного екрана істотно більше, ніж, наприклад зображення на плазмовій панелі або проєкційному екрані. Явище іррадіації (зорове відчуття розмивання точкового джерела світла при його високій яскравості) в деякій мірі знижує пікселізація. Іншим способом зменшення пікселізації є використання дифузних фільтрів і збільшення співвідношення розмір / крок пікселя.

### **Кольороутворення**

У світлодіодних екранах використовується просторове кольороутворення. У найпростішому випадку піксель складений з трьох світлодіодів з різним кольором світіння (зазвичай червоний, зелений, синій). Для великих пікселів використовуються від 4 світлодіодів (два червоних, зелений і синій) і більше. В екранах з розмірами пікселів більше 25 мм використовуються т.зв. кластери - конструктивно об'єднані групи діодів, наприклад, 8 червоних, 6 зелених, 2 синіх і т.д. Кількість світлодіодів кожного кольору зазвичай вибирають з урахуванням максимального наближення до балансу білого кольору.

### **Діаграма спрямованості і нерівномірність яскравості**

Діаграма спрямованості формується кожним світлодіодом. Для того, щоб діаграма спрямованості екрану в цілому відповідала діаграмі спрямованості діодів, необхідно використовувати світлодіоди різних кольорів світіння з ідентичними конструктивними параметрами. Світлодіоди повинні встановлюватися в екран з мінімально можливими відхиленнями по висоті і кутам нахилу відносно осьової лінії. Для овальних

світлодіодів також важливо не допускати поворотів щодо осі. Порушення цих вимог призводить до розкиду діаграм спрямованості різних світлодіодів. При спостереженні екрана під досить великими до нормалі кутами такий розкид виражається в появі на зображенні аномально яскравих точок різних кольорів.

Як правило, для екранів, що використовуються всередині приміщень, використовуються світлодіоди з досить широкою діаграмою спрямованості, наприклад,  $120 \times 60^\circ$ . Для вуличних екранів використовують світлодіоди з більш вузькою діаграмою спрямованості, наприклад,  $70 \times 30^\circ$ . Така відмінність пояснюється різними умовами спостереження. Можливість обміну ширини діаграми спрямованості (шляхом заміни одного типу світлодіодів на інший) на яскравість є відмінною рисою світлодіодних екранів. За інших рівних умов, звуження діаграми з  $120 \times 60^\circ$  до  $70 \times 30^\circ$  дозволяє підвищити яскравість в 3,4 рази.

Якщо для проєкційних систем нерівномірність яскравості виражається, в основному, в спаді яскравості на краях системи, то для світлодіодних екранів на перше місце виступає піксельна нерівномірність яскравості. Це пов'язано з тим, що інформаційне поле екрану складається з окремих світлодіодів, в яких завжди існують технологічні розкиди по силі світла. Виробники світлодіодів поділяють діоди на ранги, в межах кожного з яких сила світла діодів відрізняється не більше, ніж на 15 - 30%.

Зір істотно більш чутливий до детальних порушень яскравості, ніж до загальних. Наприклад, спад яскравості на краях екрану на 30% малопомітний, а розкид яскравості двох сусідніх ділянок зображення вже на 5% досить помітний. Така детальна нерівномірність яскравості проявляється в т.зв. грануляції зображення, а для більш великих нерівномірних ділянок - у плямистості зображень. Однак сьогодні можна досить чітко вирівнювати яскравість окремих діодів схемотехнічними методами з точністю до 2 - 5%.

Другим джерелом нерівномірності яскравості може стати неоднакова орієнтація світлодіодів в полі екрана, що призводить до зміщення діаграми спрямованості.

### **Яскравість і контраст зображення на світлодіодному екрані**

При дотриманні колірного балансу по білому кольору яскравість світлодіодного екрана можна спрощено розрахувати за формулою:

$$L = (aI_r + bI_g + cI_b) / p^2, \quad (2.15)$$

де:  $L$  - яскравість екрану, кд / м<sup>2</sup>;  $a$ ,  $b$ ,  $c$  - число світлодіодів в пікселі відповідного кольору;  $I$  - сила світла відповідного світлодіода, кд;  $p$  - крок пікселів, м.

Наприклад, якщо піксель складається з трьох світлодіодів зі сбалансованою силою світла ( $I_r = 0,3$  кд;  $I_g = 0,59$  кд;  $I_b = 0,11$  кд) і крок пікселів дорівнює 10 мм, то яскравість буде дорівнює  $L = 10000$  кд / м<sup>2</sup>. Якщо для пікселів того ж складу збільшити крок до 20 мм, то яскравість знизиться до 2500 кд / м<sup>2</sup>.

Власний контраст світлодіодного екрана може бути дуже високий, тому що при коректному управлінні світлодіодами паразитна засвітка повністю відсутня.

Для оцінки зовнішнього контрасту слід враховувати, що поверхня світлодіодного екрана складається з оптично різних ділянок: світлодіодів з високим коефіцієнтом відображення (наприклад, 0,9) і проміжків між ними з низьким коефіцієнтом відображення (наприклад, чорна поверхня з коефіцієнтом 0,1). Тоді, для випадку рівномірної зовнішньої освітленості, можна отримати наступну оцінку зовнішнього контрасту:

$$C_{out} = (L_{max} + L_{out}) / L_{out}. \quad (2.16)$$

$$L_{out} = K_{mid} * E_{out} / \pi. \quad (2.17)$$

$$K_{mid} = 0,1 + 0,8S_{led} / S_{pix}, \quad (2.18)$$

де:  $C_{out}$ - зовнішній контраст;  $L_{max}$  - максимальна яскравість екрану;  $L_{out}$  - зовнішня яскравість;  $K_{mid}$  - усереднений коефіцієнт відбиття;  $E_{out}$  - зовнішня освітленість;  $S_{led}$  - площа світлодіодів в одному пікселі;  $S_{pix}$  - площа пікселя;  $\pi = 3,14$ .

Наприклад, при яскравості екрану 2500 кд / м<sup>2</sup>, площі світлодіодів в пікселі 38 мм<sup>2</sup>, кроці пікселів 12 мм, зовнішньої освітленості 1000 лк, отримаємо  $C_{out} = 26$ .

Додатково підвищити контраст можна при використанні нейтрально сірого фільтра, за рахунок подвійного ослаблення зовнішнього світла.



*Лекція 7. Формування зображення на світлодіодному екрані.*  
Черезрядкова разгортка або часовий розподіл (time division) світлодіодних екранів. Частота рефреша світлодіодного екрану і людське око. Частота рефреша екрану і відеокамера. Вартість збільшення частоти рефреша світлодіодних екранів. Динамічний діапазон яскравості, відтворення кольорів і контрастність світлодіодного екрана. Драйвери світлодіодних екранів. Сучасні системи управління світлодіодними екранами. Базові функції системи управління світлодіодним екраном. Мережеві функції системи управління світлодіодним екраном. Функції моніторингу світлодіодного екрана. Функції інформаційної безпеки системи управління світлодіодним екраном.

## **СТРУКТУРА ТА КЛАСИФІКАЦІЯ СВІТЛОДІОДНИХ ЕКРАНІВ**

Кожен світлодіод (рис.2.34) випромінює монохромний колір певної довжини хвилі - червоний, синій, зелений. Для отримання повнокольорового екрану використовуються світлодіоди всіх зазначених кольорів. Основна перевага світлодіодних екранів, що забезпечує їх все більш широке поширення - виключно висока яскравість і всепогодність, що дозволяє використовувати їх у вуличних умовах при сонячному світлі.



Рис.2.34. Світлодіод.

Піксель (Pixel). Найменшим елементом зображення в світлодіодному екрані є піксель. Кожен піксель складається з одного або декількох світлодіодів (див. Рис.2.35). У повнокольорових екранах кожен піксель складається з синіх, зелених і червоних світлодіодів, загальною кількістю зазвичай до 8 (проте буває і більше). Вбудований процесор забезпечує отримання всіх основних кольорів і білого кольору з відтінками. Пікселі можуть мати розміри (діаметр) від 1,9 до 80 мм.



Рис. 2.35. LED - екран піксель

Крок пікселів (Pitch). Фізична відстань між центрами двох сусідніх пікселів. Чим менше крок, тим вище роздільна здатність, тим, відповідно, вище якість зображення.

Світлодіоди на піксель (LEDs per pixel): кількість і розташування червоних, зелених і синіх світлодіодів в одному пікселі

Модуль. Пікселі об'єднуються в стандартні конструкційні елементи - модулі, які мають у різних виробників різні розміри, наприклад: 130 x 65 мм, 160x160 мм, 256 x 256 мм та ін. Модуль - це спеціальна плата, в яку з лицьового боку вбудовані світлодіоди (цю операцію виконують на заводах спеціальні автомати), а на тильній стороні розміщується електронні елементи (див. рис. 2.36). Модуль включає в себе певну кількість пікселів, залежно від їх діаметру. Модулі є основними елементами, що підлягають заміні при виході з ладу світлодіодів.

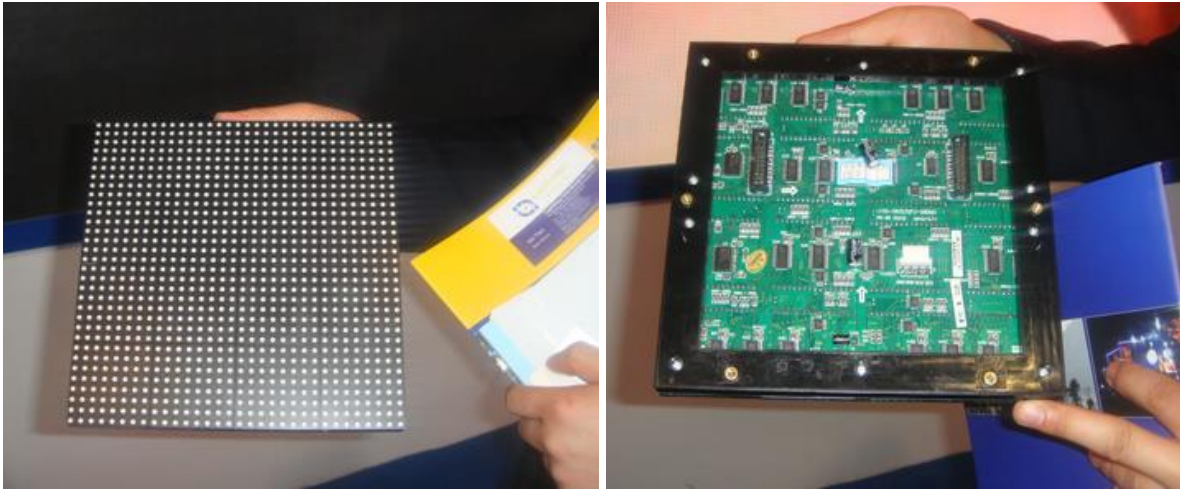


Рис. 2.36. LED - екран. Модуль.

Кабінет (панель). У більшості випадків модулі об'єднують у великі конструктивні елементи - кабінети (або панелі), що містять певну кількість модулів (рис. 2.37). Розмір кабінету кратний розмірам модулів. Так, кабінет може мати розмір 960x960 мм і включати до свого складу 36 (6x6) модулів розміром 160x160 мм кожен. Інший приклад: кабінет розміром 1024x768 мм, що містить 12 (4x3) модулів розміром 256x256 мм. Лінійні розміри кабінетів від 0,5 до 2 м, товщина приблизно 175 мм. Зовнішній вигляд кабінету (спереду і ззаду) ілюструється фотографією. У складі кабінетів обов'язково є джерела живлення. Кабінети кріпляться один до одного без зазорів, що дозволяє створити єдине екранне полотно. Кабінетна побудова дозволяє створювати екрани будь-яких розмірів, зберігаючи при цьому їх мобільність і ремонтпридатність.



Рис. 2.37. LED - экран. Кабінет

Кут огляду світлодіода (LED angle): номінальна характеристика світлодіода, що встановлюється його виробником, що показує максимальне бічне відхилення, при якому світлодіод видно з достатньою яскравістю. При розташуванні спостерігача перпендикулярно екрану яскравість зображення максимальна, при погляді з боку яскравість падає. Кут зменшиться при зменшенні яскравості зображення в два рази відносно яскравості при перпендикулярному погляді. Кут світлодіода може бути в діапазоні від 70 до 120 градусів

Кут огляду екрану (Viewing angle): показує реальний кут огляду, при якому яскравість зображення падає в два рази відносно яскравості при перпендикулярному погляді. Кут огляду може бути в діапазоні від 100 до 160 градусів

Графічне розширення (Graphic definition): кількість пікселів, наявних на екрані. Вказується так: горизонтальне розширення X вертикальне розширення. Наприклад: 400x300.

Розширення (Resolution): кількість пікселів в одному квадратному метрі екрана.

Стандартна яскравість (Standard brightness): яскравість випромінюваного модулем світла, виміряна в канделах на квадратний метр (NIT). Для вуличних екранів (Outdoor) яскравість знаходиться в межах від 6500 до 10000 кд / м<sup>2</sup> для екранів, що використовуються всередині приміщень, досить яскравості в межах 1200-3000 кд / м<sup>2</sup>.

Споживана потужність (Power Consumption): середня зазвичай в межах 250-300 Вт / м<sup>2</sup>, максимальна (пікова) 750-900 Вт / м<sup>2</sup>.

Вага вуличного стаціонарного екрану зазвичай становить 60-70 кг / м<sup>2</sup>. Ще менше важать так звані екрани-сітки, або гнучкі екрани, які мають великий крок і використовувані для вуличних ілюмінацій, як задників театральних сцен і т.д., де не потрібно високе розширення (див. рис.2.38).

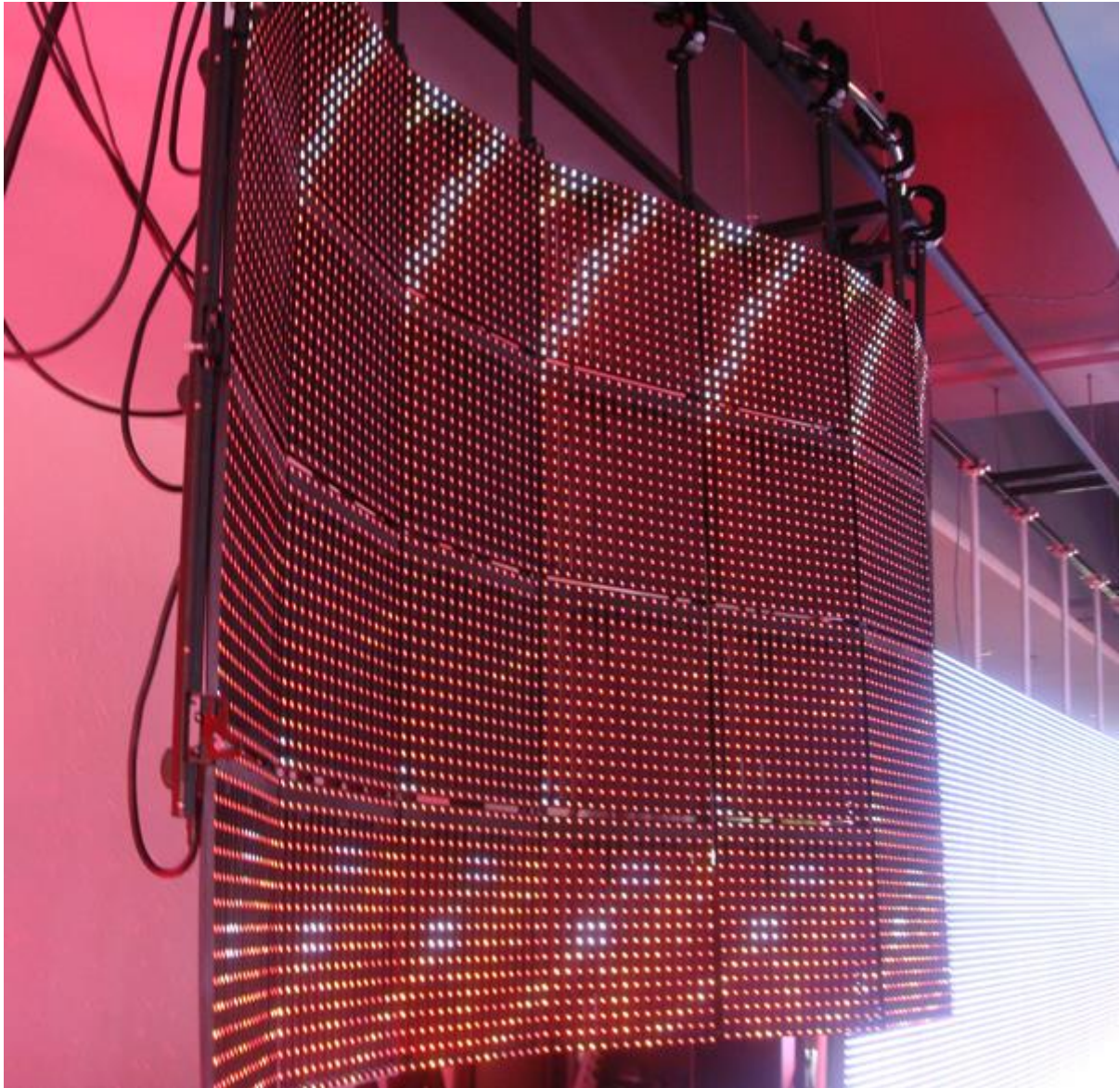


Рис. 2.38. Світлодіодний екран – сітка

### Вибір формату екрану

Завжди переважно, щоб LED-екран мав формат, відповідний стандартному формату комп'ютерних та відео матеріалів, тобто 4: 3 або 16: 9. В іншому випадку підготовка контенту буде сильно ускладнена. Таким чином, при форматі 4: 3 розміри екрана будуть, наприклад, 2х1,5 м 3х2,25 м, 4х3 м, 6х4 м, 8х6 м і т. П. При форматі 16: 9 - 2х1,125 м, 3х1,68 м, 4х2,25 м, 6х3,375 м, 8х4,5 м і т. д.

## Вибір кроку пікселів

а) Прийнято вважати, що світлодіодний екран, що забезпечує прийнятну якість зображення, повинен мати графічне розширення не менше 256x192 пікселів (при форматі екрану 4: 3). Наприклад, для екрану з розмірами 6x4 м крок пікселів повинен бути не більше 23,5 мм, для екрану з розміром 3x2,25 - не більше 11,75 мм. Природно, чим менше крок, тим вище якість зображення.

б) Другий обмежуючий параметр - дистанція перегляду. Мінімальна дистанція перегляду, виражена в метрах, при якій зображення виглядає задовільно, в першому наближенні дорівнює кроку пікселів, вираженого в мм. При меншій дистанції буде помітна піксельна структура зображення, що дратує глядачів. Наприклад, при кроці пікселів 16 мм мінімальна дистанція - 16 м, при кроці пікселів 4 мм мінімальна дистанція - 4 м.

Максимальну дистанцію перегляду можна приблизно оцінити за формулою: максимальна дистанція (м) = 6 В, де В - ширина екрану в м.

Зовнішні екрани (Outdoor) зазвичай використовують пікселі з кроком в межах від 10 до 40 мм. В даний час найбільш уживаний крок для великих вуличних екранів - 16 мм.

Світлодіодний екран для приміщень (Indoor) може мати крок менше 1 мм. Чим менше крок, тим дорожче екран.

Гнучкий світлодіодний екран-сітка може мати крок пікселів від 10 мм до будь-якого значення, заданого Замовником.

## **Технологія виготовлення**

При виготовленні світлодіодних екранів використовуються різні методи компонування світлодіодів.

Світлодіодні кластери - випромінюючі прилади з деякою кількістю світлодіодів, поміщених в загальний вологозахисний і світлоізолюваний

корпус. Один кластер відповідає одному пікселю зображення. Технологія використовується для виготовлення великих вуличних екранів (рис. 2.39).

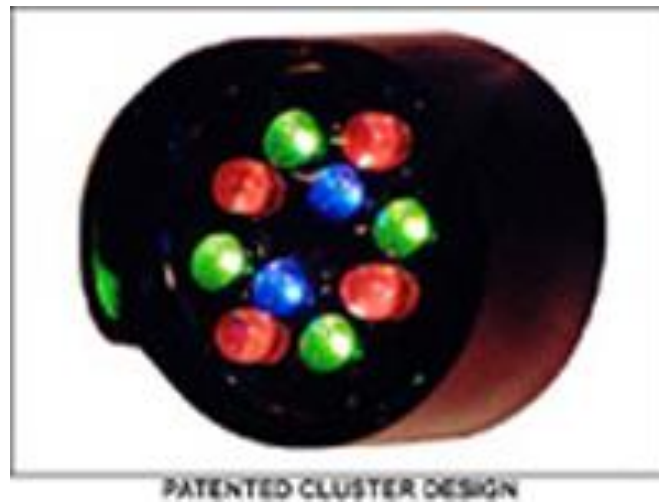


Рис. 2.39. LED - екран. світлодіодний кластер

Світлодіодні матриці - сукупність діодів на поверхні екрану. Тут піксель конструктивно не оформлений, але кожен світлодіод належить суворо певному пікселю, і керування здійснюється пікселем як єдиним цілим. Дана технологія використовується при виготовленні екранів для роботи в приміщеннях (рис. 2.40).

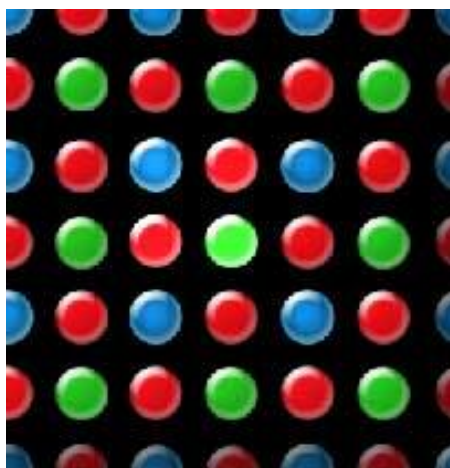


Рис 2.40. LED - екран. світлодіодна матриця



Віртуальні пікселі. Тут світлодіоди не закріплені за конкретними пікселями, програмним чином оперативно створюються пікселі з декількох сусідніх світлодіодів. Це дозволяє штучним чином істотно збільшити розширення екрана. При об'єднанні пікселів як вертикально, так і горизонтально кількість видимих пікселів подвоюється. Виходить дуже якісне зображення, неначе на екрані в чотири рази більше пікселів (рис. 2.41).

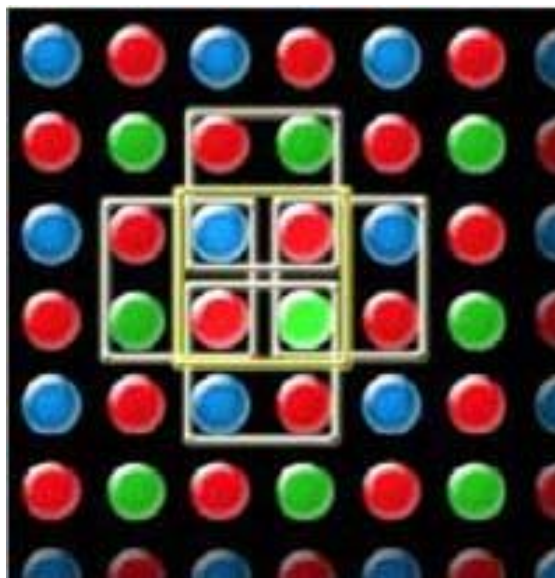


Рис 2.41. LED - екран. Світлодіодна матриця

З точки зору якості зображення важливі такі характеристики екрану:  
роздільна здатність екрана (т.зв. просторова роздільна здатність), в разі світлодіодних екранів зазвичай виражається у вигляді відстані між пікселями (pitch size);

максимальна яскравість (вимірюється в нитах);

динамічний діапазон яскравості, який виражається в кількості рівнів яскравості, які можливо відобразити на світлодіодному екрані (ця характеристика носить також назву радіометричної або енергетичної роздільної здатності);

частота зміни кадрів, виражена в кількості кадрів, які відображаються за секунду (fps) (це часова роздільна здатність);

частота оновлення кадру (частота рефреша), яка вимірюється в Герцах (це теж часова роздільна здатність);

спектральна роздільна здатність - наскільки багато спектральних складових формують зображення;

однорідність кольору по всьому екрану;

баланс білого кольору і можливість його настройки;

лінійність сприйняття яскравості - суб'єктивна характеристика якості зображення, яка виражається в можливості розрізнити оком близькі рівні яскравості, як на темних ділянках зображення, так і на яскравих;

контрастність зображення екрану;

характеристика зміни якості зображення екрану в залежності від кута огляду;

Крім якості зображення відзначимо також такі експлуатаційні характеристики світлодіодного екрану:

наявність системи моніторингу стану світлодіодного екрана;

розвиненість ПО (програмного забезпечення) системи управління (можливість побудови мереж світлодіодних екранів, в тому числі мереж, що містять як світлодіодні, так і LCD екрани, можливість управління екранами через Internet, наявність вбудованої підсистеми інформаційної безпеки);

рівень електромагнітного випромінювання у вигляді індустриальних радіозавад, створюваних світлодіодним екраном.

## **Формування зображення на світлодіодному екрані або керування яскравістю**

Початкове зображення для виведення на світлодіодний екран формується у вигляді комп'ютерного файлу, найчастіше у вигляді відеоролика в деякому форматі (\* .avi, \* .mpg). Цей файл декодується керуючим комп'ютером (або відеоконтроллером), потім перетворюється в спеціальний цифровий потік, що подається на мікросхеми драйверів постійного струму, які, в свою чергу забезпечують пропускання електричного струму через світлодіод, що і викликає випромінювання в певному спектрі.

Для формування різних рівнів яскравості випромінювання світлодіодів застосовують техніку широтно-імпульсної модуляції - ШІМ (PWM - Pulse-width modulation). Суть цієї техніки полягає в тому, що в залежності від необхідного рівня яскравості струм не постійно подається на світлодіод, а тільки протягом деякого часу (залежить від необхідного рівня яскравості), потім припиняє подаватися, потім знову подається і т.д. Наприклад, для формування яскравості в половину від максимальної треба пропускати струм половину часу деякого циклу, в чверть яскравості - чверть часу, і т. Д. Іншими словами, світлодіод працює в режимі "включений-виключений", причому час включення пропорційно необхідному рівню яскравості.

З цієї техніки випливає, що на світлодіоді (а значить і на екрані) зображення формується циклічно. Час мінімального циклу, за який відбувається послідовне «включення» і «виключення» світлодіода називається періодом оновлення (рефреша, refresh time). Найчастіше використовується зворотна величина - частота рефреша (refresh rate).

Розглянемо приклад. Нехай частота рефреша світлодіодного екрана дорівнює 100 Гц. Якщо нам потрібно забезпечити повну яскравість - 100%,

то ми постійно подаємо ток на світлодіод весь період рефреша, рівний в даному випадку  $1/100 \text{ с} = 10 \text{ мс}$ . Якщо потрібно яскравість 50%, то за цей час ми протягом 5 мс подаємо ток, протягом наступних 5 мс не подав, в наступний цикл знову 5 мс подаємо, 5 мс - немає і т.д. Якщо потрібно яскравість в 1% від максимальної, то струм подається протягом 0,1 мс і не подається протягом 9,9 мс.

Крім цієї техніки застосовуються модифіковані методи PWM: Scrambled PWM (Macroblock), Sequential Split Modulation (Silicon Touch), Adaptive Pulse Density Modulation (MY-Semi). Суть цих технік полягає в "розмазування" часу "включення" світлодіода по всьому періоду рефреша. Так формування 50% -ої яскравості при частоті рефреша 100 Гц може виглядати так: 1 мс - світлодіод включений, 1 мс - вимкнений, 1 мс - включений, 1 мс - вимкнений і т.д. Тобто для 50% яскравості можна сказати, що період рефреша зменшився в 5 разів і став дорівнює 2 мс. Відповідно частота рефреша збільшилася і стала 500 Гц. Але ці цифри справедливі лише для формування 50% яскравості. Для кожної схеми формування яскравості є мінімальна яскравість - 1 імпульс (деякий мінімальний час) включення світлодіода і решту часу він вимкнений.

Таким чином, чітка циклічність притаманна традиційному PWM при застосуванні модифікованих методів спотворюється, оскільки, в залежності від рівня яскравості можна виділити періоди з меншим часом (і отже більшою частотою рефреша). Можна, наприклад, сказати, що для даного світлодіодного екрану частота рефреша змінюється від 100 Гц до 1 кГц. Це означає, що мінімальну яскравість на світлодіодному екрані ми показуємо з періодом рефреша 100 Гц. А при формуванні великих рівнів яскравості можна виділити періоди ("включення-виключення" світлодіодів) з меншою тривалістю.

Отже, для модифікованих методів PWM таке поняття як частота рефреша може трактуватися неоднозначно. Однак, якщо розглядати період

рефреша як мінімальний час, за який відбувається оновлення зображення для всіх рівнів яскравості, то це значення не залежить від схеми формування PWM.

### **Черезрядкова разгортка або часовий розподіл (time division) світлодіодних екранів**

У ряді випадків конструкцією світлодіодного екрану передбачений такий метод формування зображення, при якому в один момент часу струм не може бути поданий на всі світлодіоди відразу. Всі світлодіоди екрану розбиваються на кілька груп (як правило, дві, чотири або вісім), які включаються по черзі. Тобто описані вище методи формування зображення застосовуються по черзі до кожної з цих груп. У разі двох таких груп формування зображення аналогічно застосовуваної в аналоговому телебаченні чергуванням розгортці.

Даний спосіб застосовується, в основному, для здешевлення світлодіодних екранів, так як для його реалізації потрібно менше світлодіодних драйверів (в два, чотири, вісім разів - до числа раз, що відповідає кількості груп, що включаються по черзі), які становлять істотну частину вартості світлодіодного екрана. Крім цього, метод тимчасового поділу практично неминучий при високій роздільній здатності (тобто малому кроці) світлодіодного екрана, так як в цьому випадку надзвичайно складно забезпечити розміщення великої кількості драйверів і їх тепловідвід.

Слід розуміти, що при застосуванні цього методу знижується максимальна яскравість світлодіодного екрана, а також зменшується частота рефреша (в кількість разів що відповідає кількості груп).

Припустимо, що ми виробляємо часовий розподіл між двома групами світлодіодів. На одну групу подається струм відповідно до необхідної

яскравості і використанням методом PWM. Інша група в цей час відключена від джерела струму. Після періоду рефреша групи міняються - тепер на другу подається струм, а перша відключена. Тому, загальний період, за який оновлюється вся інформація на світлодіодному екрані, збільшується в два рази.

Поняття частота рефреша в цьому випадку ще більш розмивається. Строго кажучи, період рефреша як мінімальний час, за який відбувається оновлення зображення для всього світлодіодного екрана, збільшується. Однак, якщо для кожної групи розглядати тільки період, на якому формується зображення методом PWM, то частота рефреша - колишня.

### **Частота рефреша світлодіодного екрану і людське око**

Частота рефреша, в першу чергу, впливає на сприйняття зображення оком людини. Зображення, образно кажучи, постійно "мерехтить", хоча і з досить високою частотою. Сприйняття людиною світлових образів - явище психофізичне і влаштовано таким чином, що окремі спалахи світла підсумовуються в часі. Це підсумовування відбувається протягом певного часу (10 мс) і залежить від яскравості спалахів (закон Блоха). Якщо світло "мерехтить" досить швидко, з частотою вище деякої граничної (CFF - Critical Flicker Frequency), то око людини сприймає цей світ так само, як якби він горів постійно (закон Тальбо-Плато). Порогова частота CFF залежить від безлічі факторів, таких як спектр джерела світла, розташування джерела по відношенню до ока, рівень яскравості. Однак, можна з упевненістю сказати, що при звичайних умовах ця частота не перевищує 100 Гц.

Таким чином, якщо розглядати сприйняття зображення на світлодіодному екрані, сформованого методом PWM або модифікованим PWM, людським оком, то зображення з частотою рефреша 100 Гц і 1 кГц будуть сприйматися однаково.

## Частота рефреша екрану і відеокамера

Однак, як сприймаюча система може виступати не тільки око людини, але і апаратура для відеозапису, яка має характеристики, відмінні від ока. Це особливо актуально для світлодіодних екранів, встановлених на стадіонах, спортивних спорудах або концертних майданчиках, з яких зазвичай ведеться відеотрансляція. Час експозиції, або витримка (shutter speed), в сучасних відеокамерах може змінюватися від секунд до тисячних часток секунди.

Розглянемо світлодіодний екран, в якому зображення формується традиційним методом PWM з частотою рефреша 100 Гц. На екрані демонструється статичне зображення. Припустимо також, що ми знімаємо світлодіодний екран відеокамерою з витримкою  $1/8$  с, тобто час експозиції 125 мс. За цей час на фотосенсор потрапить світло від 12,5 періодів рефреша. Коли ми робимо серію кадрів з даної витримкою, то різниця в світловому потоці, що попадає на світлочутливий елемент, не перевищує потоку, сформованого світлодіодами за 0,5 періоду рефреша, тобто не більше 4% від усього потоку. Різниця утворюється за рахунок того, що відеокамера і світлодіодний екран, природно, не синхронізовані і кожен кадр, зроблений відеокамерою, потрапляє в різний час щодо початку циклу рефреша світлодіода. Таким чином, відеозображення з камери буде показувати досить рівну картинку зі світлодіодного екрана.

Тепер зменшимо витримку, з якої ми знімаємо до  $1/250$  с, час експозиції дорівнює 4 мс. Це час в 2,5 рази менше періоду рефреша. Тепер співвідношення між часом початку кадру відеокамери і початком циклу PWM буде мати суттєве значення. Одні кадри можуть потрапити в початок циклу, інші в середину, треті в кінець. Таким чином, утворюється значна похибка в світловому потоці в різних кадрах. Тобто, зображення, що програється на відеокамері, буде випадково міняти яскравість, буде "плисти". Крім того, зменшиться яскравість зображення, що, втім,

характерно для всіх об'єктів, що знімаються на короткій витримці . Якщо ще зменшити витримку, то з більшою ймовірністю будуть з'являтися чорні кадри (коли початок кадру відеокамери потрапляє на ту ділянку циклу PWM, де світлодіод "вимкнений") і зображення з камери почне мерехтіти.

Таким чином, якщо ми хочемо знімати на відеокамеру світлодіодний екран, на якому зображення формується з використанням традиційного PWM, то частота рефреша повинна бути порівнянною або перевершувати витримку, з якої знімає камера.

У разі застосування модифікованих методів PWM можна провести ті ж міркування. В силу "розмазування" часу включення світлодіода по циклу PWM на великих яскравості, зображення, зняте на відеокамеру буде більш стабільне, ніж при застосуванні традиційного PWM. Але на малих яскравостях ситуація залишається колишньою - картинка буде або змінювати яскравість, або мерехтіти. Оскільки реальне зображення містить, як правило, різні рівні яскравості, то зображення, зняте на відеокамеру також матиме похибки, хоча і іншої властивості.

Отже, при відеозйомці уникнути наявності спотворення зображення при довільних параметрах зйомки не вдається. Завжди можна знайти значення витримки, при якій відео буде спотворено. Ситуація аналогічна зйомці аналогового телевізора аналогової ж камерою. В силу відмінностей в частоті розгортки при подібній зйомці на об'єкті, що знімається телевізорі видно діагональні чорні смуги.

Важливішим для відеозйомки світлодіодного екрана є питання однорідності зображення, знятого на відеокамеру. Світлодіодний екран - конструкція модульна, що складається з декількох блоків, зображення на яких безпосередньо формується різними контролерами. Якщо ці контролери НЕ синхронізують початок циклу PWM, тобто початок циклу на різних ділянках світлодіодного екрана припадає на різний час, то при зйомці може статися така ситуація. На одній ділянці світлодіодного екрана початок кадру



відеокамери може співпасти з початком циклу PWM, а на іншому, наприклад, на середину. Якщо витримка порівнянна з періодом рефреша, то на одній ділянці зображення буде світліше, а на іншому темніше. Всі зображення на світлодіодному екрані в цьому випадку буде розбиватися на прямокутники різної яскравості, що представляє більший дискомфорт для глядача.

## **Вартість збільшення частоти рефреша світлодіодних екранів**

Незалежно від способу генерації PWM схеми їх реалізації мають загальні риси. Схема генерації PWM має деяку тактову частоту  $F_{pwm}$ . Нехай потрібно згенерувати  $N$  рівнів яскравості. В цьому випадку частота рефреша  $F_r$  не може перевищувати  $F_{pwm} / N$ .

Для ілюстрації наведемо деякі приклади (табл. 2.11):

Таблиця 2.11

Частота PWM	Число уривней яркости	Частота рефреша
$F_{pwm}=10$ МГц	$N=256$ (8 бит на канал)	$F_r=39$ кГц
$F_{pwm}=10$ МГц	$N=1024$ (10 бит на канал)	$F_r=9.8$ кГц
$F_{pwm}=10$ МГц	$N=2048$ (11 бит на канал)	$F_r=4.9$ кГц
$F_{pwm}=10$ МГц	$N=65536$ (16 бит на канал)	$F_r=152$ Гц
$F_{pwm}=20$ МГц	$N=65536$ (16 бит на канал)	$F_r=305$ Гц

Наведені цифри припускають, що існують незалежні схеми формування PWM для кожного світлодіода, тобто схема PWM реалізована безпосередньо в світлодіодних драйвери екрана.

У разі застосування простих драйверів і формування PWM на контролері світлодіодного екрана, необхідно враховувати, скільки драйверів з'єднані послідовно і обслуговуються однією схемою PWM. Якщо однією

схемою PWM обслуговуються М драйверів з 16-ю виходами, то частота рефреша не може перевищувати  $F_{pwm} / (N * M * 16)$ , що призводить до значного зменшення частоти рефреша або необхідності істотно збільшувати тактову частоту.

У разі застосування часового поділу (черезрядкової розгортки), як ми вже казали, частота рефреша зменшується пропорційно коефіцієнту ділення.

Отже, для збільшення частоти рефреша світлодіодних екранів можливі наступні варіанти:

- застосування "інтелектуальних" драйверів;
- збільшення тактової частоти схеми генерації PWM;
- зменшення кількості рівнів яскравості (глибини кольору).

Кожен з цих способів має свої переваги і недоліки. Так інтелектуальні драйвери дорожче звичайних, підвищення тактової частоти збільшує енергоспоживання (а значить тепловиділення, необхідність відводу тепла щоб уникнути перегріву), зменшення кількості рівнів яскравості знижує якість зображення.

## **Динамічний діапазон яскравості, відтворення кольорів і контрастність світлодіодного екрана**

Однією з важливих характеристик світлодіодного екрана є його здатність відтворювати певну кількість кольорів. Кольори виходять змішуванням деяких базових кольорів (каналів), з яких складається піксель. Як правило, це червоний (R), зелений (G) і синій (B). Очевидно, що чим більша кількість кольорів можна відобразити на світлодіодному екрані, тим вище якість зображення - кольори можна отримати більш природні, а колірні переходи - більш плавні.

Оскільки вихідне зображення формується на комп'ютері і його якість оцінюється шляхом відтворення на моніторі комп'ютера, зображення на світлодіодному екрані повинно бути максимально наближене до вихідного. В даний час стандартом де-факто є використання 24-бітного кодування кольори (TrueColor), в якому значення яскравості кожного каналу представляється у вигляді 8-бітного числа. Таким чином, на світлодіодному екрані високої якості бажано відобразити не менше  $2^{24}$  ступені (більше 16 млн.) кольорів.

Як ми бачили, зображення на світлодіодному екрані формується з використанням техніки PWM. Чим більше логічних рівнів забезпечує реалізація PWM на цьому екрані, тим вищою буде якість зображення.

Метод PWM забезпечує лінійну залежність струму (усереднене значення) від логічного рівня яскравості. Таким чином, якщо ми маємо реалізацію PWM з  $N$  рівнями, то реальна яскравість світлодіодів для цих рівнів буде змінюватися лінійно. Тобто, яскравість світлодіода, на якому на PWM використовується рівень 1, буде рівно в два рази нижче, ніж при рівні 2 і в 256 разів нижче, ніж на рівні 256.

Отже, якщо PWM реалізує  $N$  логічних рівнів, то на виході ми матимемо  $N$  рівнів яскравості світлодіодів і яскравість лінійно залежить від вхідного рівня. Однак, око людини сприймає яскравість нелінійно. З емпіричного психофізичного закону Вебера-Фехнера випливає, що людське око має логарифмічну залежність сприйняття інтенсивності світла.

При низькій інтенсивності досить трохи змінити яскравість і око це помітить, при високій інтенсивності для такої ж суб'єктивної відмінності яскравість необхідно збільшити значно. Якщо ми відобразимо всі можливі  $N$  (за умови, що  $N$  не менше 100) рівнів яскравості світлодіодів у вигляді горизонтальної смуги від 0 до  $N$ , то для ока перші рівні будуть добре помітні, потім менш помітні і, ближче до  $N$ , око перестане сприймати різницю між сусідніми значеннями яскравості. Таким чином, із загальної

кількості  $N$  логічних рівнів ми зможемо вибрати лише значне менше число рівнів  $M$  так, що кодується ними яскравість світлодіодів буде сприйматися лінійно.

Необхідно зауважити, що формування зображення на моніторах вже враховує цю особливість зору. У CRT-моніторах це є наслідком їх методу формування зображення, в LCD-моніторах застосовується апаратна гамма-корекція. Результатом є відносно лінійна залежність суб'єктивно сприймається яскравості від закодованого, логічного рівня яскравості. Тому в початковому файлі зображення ми маємо 256 рівнів яскравості (для TrueColor) по кожному каналу, які сприймаються оком лінійно.

Якщо реалізувати PWM з 256-ю логічними рівнями і відобразити вихідну картинку TrueColor, то в результаті відбудеться видиме спотворення картинки. На темних ділянках зображення буде видно різкі кордону, на світлих ділянках навпаки всі рівні яскравості будуть зливатися. Спотворення також будуть помітні в колірній області - там, де потрібно плавний градієнт, наприклад на зображеннях людського обличчя. Це відбувається в силу того, що в вихідній картинці використовувалися 256 нелінійних рівня, а на світлодіодному екрані ми перевели їх в лінійні "незручні" для сприйняття оком.

Значить, щоб TrueColor зображення відображалось на світлодіодному екрані максимально наближено до оригіналу, необхідно скорегувати логічні рівні яскравості, які використовуються в зображенні. Для цього треба при формуванні зображення за допомогою PWM використовувати більшу кількість логічних рівнів. Тоді з цього більшої кількості можна буде вибрати 256 рівнів так, щоб яскравість, що кодується ними сприймалася оком лінійно. Подібний вибір 256 рівнів з більшої кількості називається вибором палітри. Природно, чим більше рівнів яскравості здатний реалізувати PWM, тим точніше можна буде підібрати палітру для того, щоб яскравість сприймалася оком лінійно.

В даний час найбільш якісні світлодіодні екрани мають реалізацію PWM, що використовує 216 логічних рівнів яскравості. Цього цілком достатньо, щоб вибрати необхідні 256 рівнів для показу зображення TrueColor. Слід розуміти, що одночасно на світлодіодному екрані відображається  $256 * 256 * 256$  різних кольорів, а не  $216 * 216 * 216$ , тобто колір, як і раніше, кодується 24-бітним числом, а не 48-бітовим. Розширеній кольоровій палітрі служить лише для того, щоб більш якісно підібрати палітру, тобто вибрати необхідні  $256 * 256 * 256$

Крім максимального 16-бітного значення рівня яскравості по кожному каналу може застосовуватися також 8, 10, 12 або 14-бітові. В цьому випадку можливості по налаштуванню палітри звужуються. Однак зменшення кількості логічних рівнів яскравості може привести до здешевлення світлодіодного екрана, а відображення повнокольорового TrueColor зображення не завжди необхідно. Наприклад, для світлодіодних вивісок та інформаційних щитів досить мати меншу кількість кольорів.

Наявність розширеного колірного простору дозволяє вирішити ще кілька завдань:

По-перше, настройка яскравості світлодіодного екрану в залежності від часу доби, пори року, особливостей установки екрану. Око людини дуже гнучко адаптується до освітленості середовища, тому яскравим сонячним днем потрібно вибір однієї палітри, а вночі - зовсім інший. Більш того, для світлодіодного екрана, встановленого на тлі неба, буде потрібно палітра, що відрізняється від екрану, встановленого на стіні будівлі, де інші будівлі затуляють сонячне світло.

По-друге, гнучко може відбуватися настройка балансу білого кольору. Оскільки палітри можна вибирати незалежно по кожному з колірних каналів, то можна в результуючому зображенні, наприклад, "додати синього кольору" або "зменшити червоний". Це актуально як при першій установці

світлодіодного екрана, так і його підстроювання з плином часу через старіння, помутніння колб світлодіодів.

По-третє, в певній мірі можлива колірна корекція окремих світлодіодних модулів екрану. Це може знадобитися при заміні що вийшли з ладу модулів на нові, параметри світлодіодів яких можуть відрізнятися від вихідних.

Окрім наявності можливості робити настроювання палітри в розширеному кольоровому просторі ця можливість повинна бути реалізована в системі управління. Мало зробити PWM з 16-бітовим представленням рівнів яскравості, необхідно у всій системі управління, в програмному забезпеченні реалізувати підтримку якомога більш гнучкого завдання різних палітр. Чим більш гнучко задається палітра, тим більше можливостей по налаштуванню кольору має світлодіодний екран.

## **Контрастність світлодіодного екрана**

Одним з показників якості передачі кольору є контрастність світлодіодного екрана. Під контрастністю розуміють відношення різниці яркостей, що відображаються екраном білого і чорного кольорів до яскравості чорного кольору. Якщо чорний колір "не зовсім чорний", то око не побачить темних деталей зображення - вони зіллються з менш темними. Чорний колір на світлодіодному екрані не має відношення до роботи власне світлодіода, а скоріше пов'язаний з конструктивними особливостями екрану, використовуваними матеріалами.

Проблеми можуть виникати через те, що матеріали можуть відбивати сонячне або інше світло і поверхню світлодіодного екрану при всіх виключених світлодіодах стає світлою або "відблискує" на сонці. Таке може траплятися через "віблскування" колб світлодіодів або захисних масок, блискучого компаунда заливки світлодіодних модулів, невдалу конструкцію світловідбивних козирків і навіть з-за світлої підкладки світлодіодів. В

цілому, чим більш темна матова поверхня світлодіодного екрана, тим вище контрастність і якість зображення.

## **Драйвери світлодіодних екранів**

Світлодіодний драйвер - це мікросхема, яка служить джерелом постійного струму для живлення світлодіода. Для використання в світлодіодних екранах використовуються драйвери, які мають вбудовану схему управління. У найпростішому випадку це можливість включити / вимкнути подачу постійного струму на вихід драйвера. У більш складних "інтелектуальних" драйвери реалізована схема управління яскравістю світлодіода за допомогою PWM.

При використанні простих драйверів для побудови світлодіодних екранів необхідна наявність контролерів, які реалізовували б схему PWM і передавали на драйвер в кожен момент часу включений або виключений конкретний світлодіод. Перевагою цього типу драйверів є їх відносна дешевизна. Недоліком - ускладнення керуючих контролерів і обмежені можливості по генерації необхідної кількості рівнів яскравості і забезпеченні високої частоти рефреша. Чим вище потрібні параметри якості зображення, тим на великих частотах повинні працювати контролери і передаватися дані на драйвери. А ці частоти мають технологічні межі.

Використання "інтелектуальних" драйверів дозволяє знизити вимоги до складності контролерів і використовуваним частотам, але підвищує вартість світлодіодного екрана. Для того, щоб виправдати цю вартість система управління в цілому повинна підтримувати всі можливості драйверів, щоб світлодіодний екран відображав високоякісне зображення і був здатний на численні настройки.

В цілому, світлодіодні драйвери характеризуються такими основними характеристиками:

кількість каналів;

характеристики вихідного струму (діапазон, стабільність);  
діапазон частот передачі даних;  
наявність або відсутність схеми PWM і тип цієї схеми;  
в разі наявності схеми PWM - кількість рівнів PWM;  
в разі наявності схеми PWM - частота PWM;  
наявність або відсутність вбудованої можливості тимчасового поділу;  
кількість ліній управління (ширина інтерфейсу);  
наявність або відсутність додаткових можливостей діагностики (перегрів, LED open / short);  
наявність / відсутність цифрової корекції вихідного струму (dot-correction);  
наявність / відсутність цифрової корекції загальної яскравості;  
тип корпусу.

**Розвиток драйверів**, призначених для використання в світлодіодних екранах, йде по декількох напрямках:

По-перше, продовжують удосконалюватися "прості" світлодіодні драйвери. У них додаються додаткові функції, наприклад, можливості діагностики або управління загальною яскравістю. Збільшується частота передачі даних.

По-друге, в "інтелектуальні" драйвери також додаються додаткові функції і збільшуються кількісні характеристики (частоти, кількість рівнів PWM). Найбільш потужні світлодіодні драйвери мають повноцінну підтримку 16-бітної PWM на частотах близько 20 МГц і великий набір сервісних функцій.

По-третє, з'являються численні відгалуження у вигляді спеціалізованих світлодіодних драйверів з певними фіксованими характеристиками і набором функцій: наприклад, DM163 з 24 виходами, 8-бітовим PWM і 6-бітної корекцією загальної яскравості. Сюди ж можна



віднести і драйвери з вбудованою підтримкою тимчасового поділу, наприклад MBI5050.

Історично склалося (і технологічно, мабуть, виправдано), що більшість драйверів мають 8 або 16 виходів. У разі світлодіодних екранів це не завжди зручно, оскільки піксель в сучасних екранах найчастіше складається з трьох світлодіодів, тому топологія друкованої плати ускладнюється. З точки зору топології друкованої плати було б зручніше розміщувати один драйвер в центрі кластера з чотирьох пікселів по три світлодіода в кожному.

На жаль, найбільш сучасні драйвери розробляються так, щоб мати "все в одному". Кількісні характеристики у них найдосконаліші, а на додаток до них великий набір додаткових функцій, які часто не використовуються, але включені в ціну драйвера. Так, наприклад, драйвер DM634 має 16-розрядний PWM і при цьому 7-бітну корекцію загальної яскравості. Однак, при наявності 16-розрядної PWM і сучасної системи управління глобальна корекція яскравості здійснюється зовсім іншими механізмами.

Окремо слід відзначити питання зовнішнього інтерфейсу. Передача даних, управління PWM здійснюються в різних драйвери по-різному, іноді не найзручнішим для розробника системи управління чином. Відсутність єдиного підходу до управління драйверами ускладнює уніфікацію системи управління світлодіодним екраном, для кожного типу драйверів потрібно свій інтерфейсний блок.

Споживач оцінити використання в світлодіодному екрані тих чи інших драйверів може тільки опосередковано, через параметри екрану (такі як кількість рівнів яскравості або частота рефреша) або надійність світлодіодних модулів в експлуатації. Драйвер - один з енергоємних елементів світлодіодного екрана, при роботі він сильно нагрівається. При

поганому дизайні світлодіодного модуля драйвер може перегріватися і виходити з ладу.

Для розробника системи управління світлодіодним екраном вибір драйвера - це завжди питання балансу між необхідними споживчими властивостями екрану і вартістю драйвера.

## **Сучасні системи управління світлодіодними екранами**

Система управління світлодіодним екраном в широкому розумінні включає в себе на верхньому рівні джерело відеоінформації (комп'ютер, спеціалізований плеєр) з керуючим програмним забезпеченням (ПЗ), систему контролерів, які здійснюють доставку і перетворення інформації, і світлодіодні драйвери, з'єднані з контролерами в мережу і здійснюють перетворення цифрового сигналу в струм, що живить світлодіоди.

Тільки система управління, яка пов'язує всі перераховані вище підсистеми і враховує їх особливості, може надати користувачеві широкий набір функцій по показу високоякісного зображення на світлодіодному екрані, управління трансляціями і корисними сервісними можливостями.

Крім того, система управління світлодіодним екраном повинна передбачати можливість побудови мереж екранів і, відповідно, бути частиною системи управління мережею світлодіодних екранів.

Розглянемо коротко можливості, якими повинна володіти розвинена система управління.

## **Базові функції системи управління світлодіодним екраном**

Система управління світлодіодним екраном повинна відтворювати відео, максимально використовуючи апаратні можливості (наприклад, можливості драйверів).

У той же час система управління повинна мати модульну структуру для того, щоб використовувати різні апаратні можливості.

Система управління повинна забезпечувати трансляцію відеороликів за розкладом з можливо широкими можливостями по налаштуванню розкладу показів.

Система управління повинна мати гнучку настройку палітр для зміни параметрів кольору світлодіодного екрана.

Система управління повинна мати гнучку настройку геометрії світлодіодного екрана, оскільки з однакових модулів можуть збиратися світлодіодні екрани різного розміру і форми.

## **Мережеві функції системи управління світлодіодним екраном**

Система управління екраном повинна передбачати можливість включення її в систему управління мережею світлодіодних екранів. Для цього система управління екраном повинна надавати мережевий інтерфейс для управління трансляціями, контентом і налаштуваннями світлодіодного екрана.

Як уже згадувалося, бажано, щоб система управління світлодіодним екраном мала модульну структуру. У цьому випадку можливо поділ мережевих функцій і функцій трансляції від апаратної специфіки виведення зображення. Тоді стає можливим побудова гетерогенних мереж, в яких беруть участь як світлодіодні екрани різної архітектури, так і, наприклад,

LCD екрани. Управління ж трансляціями здійснюється з єдиного центру управління.

В даний час керування мережами екранів здійснюється через Інтернет, тому мережеві функції системи управління світлодіодним екраном повинні це враховувати.

### **Функції моніторингу світлодіодного екрана**

Система управління повинна мати розвинену систему моніторингу, до якої включаються:

Журнал відеотрансляцій, в який пишеться коли і який відеоматеріал був показаний на світлодіодному екрані.

Журнал подій, пов'язаних з роботою обладнання світлодіодного екрана, в який пишуться можливі несправності обладнання. Чим більш детальна діагностика обладнання допускається, тим досконаліше система управління.

Журнал дій користувачів, в який записується - хто і коли робив певні дії з екраном.

### **Функції інформаційної безпеки системи управління світлодіодним екраном**

Світлодіодний екран надає можливість показу відеоінформації відразу великій кількості людей. В силу цього система управління екраном повинна включати в себе підсистему інформаційної безпеки.

У функції цієї підсистеми входить:

В першу чергу, запобігання показу несанкціонованої інформації на світлодіодному екрані.

Крім цього журнали повинні мати захист від навмисного спотворення для того, щоб можна завжди було визначити джерело тих чи інших дій з екраном (в тому числі спроби злому системи безпеки).

Підсистема інформаційної безпеки повинна враховувати як роботу світлодіодного екрана в мережі, так і автономну роботу екрану.

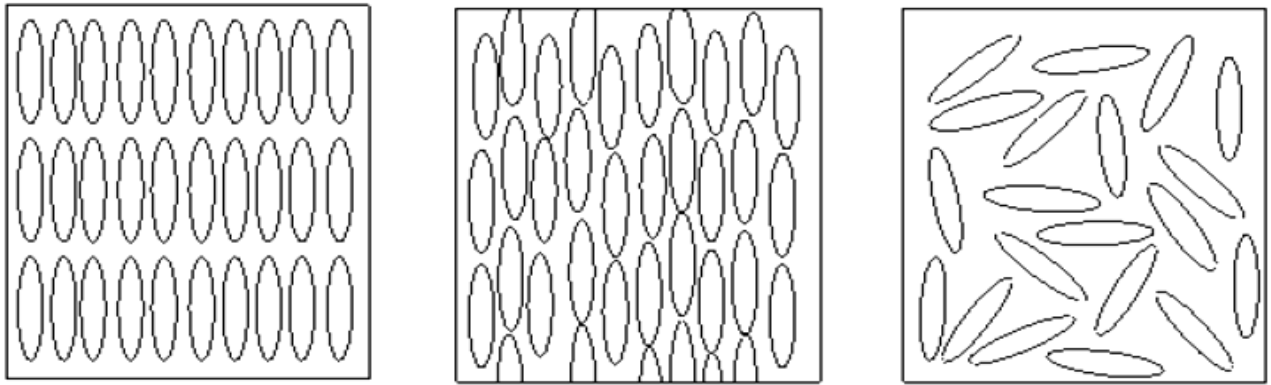
Підсистема інформаційної безпеки повинна бути тісно інтегрована з самою системою управління для того, щоб її не можна було легко видалити.

## **Рідкокристалічні екрани**

*Лекція 8.* Термін рідкі кристали, рідкокристалічний екран. Винахід та історія. Загальний принцип роботи.

На сьогодні монітори відійшли від ери кінескопів та електронно променевих трубок (ЕПТ), на зміну їм в масах набули популярності рідкокристалічні екрани (LCD – liquid crystal display). В порівнянні з ЕПТ рідкокристалічні екрани займають на 60% менше простору та є на 70% легшими, виділяють менше тепла при цьому споживаючи вдвоє меншу потужність, не виділяють електромагнітні поля та є не чутливими до них, саме ці переваги рідкокристалічних екранів зумовили їх поширення у найрізноманітніших сферах.

Термін рідкі кристали (РК) означає агрегатний стан, який займає проміжне положення між кристалічною речовиною та аморфною рідиною. Як правило речовина в такому стані є сильно анізотропною в деяких із своїх властивостей, але при цьому має певну ступінь текучості, яка в деяких випадках може порівнюватись з текучістю звичайної рідини. Тому за структурою РК являють собою в'язкі рідини, які складаються із молекул витягнутої форми, що певним чином впорядковані у всьому об'ємі цієї рідини. При зростанні температури ця впорядкованість зменшується, тому рідкокристалічна фаза характеризується деяким діапазоном температур (декілька десятків градусів) при яких зберігається впорядкованість молекул.



а)

б)

в)

Рис.2.42 Взаємне розташування молекул в різних фазах: кристалічній (а), рідкокристалічній (б) та в рідкій фазі (в).

На рис.2.42 зображено взаємне розташування молекул в різних фазах: кристалічній (рис.2.42а), рідкокристалічній (рис.2.42б) та в рідкій фазі (рис.2.42в). Як видно з рис.2.42 б в рідкокристалічній фазі зберігається порядок саме у напрямі молекул, що і зумовлює анізотропію властивостей (електричних, магнітних оптичних і ін.) таких кристалів.

Здатність змінювати орієнтацію молекул невеликими електричними полями в РК, приводить до зміни їх оптичних властивостей, що і обумовило їх широке використання в пристроях відображення інформації.

### Терміни

Рідкокристалічний екран (LCD) – це електронний пристрій для відображення інформації, принцип роботи якого ґрунтується на прикладенні змінної електричної напруги до шару рідкого кристалу, таким чином, індукуючи в ньому зміни оптичних властивостей.

*Рідкокристалічний екран* (англ. liquid-crystal display, LCD) – це плоскопанельний дисплей, цифровий індикатор або відео-дисплей, що використовує для відображення інформації властивості модуляції світла рідких кристалів (самі по собі рідкі кристали не випромінюють світло). Це

прилад з *електронно-оптичною модуляцією*<sup>1</sup>, що складається з довільного числа сегментів, заповнених *рідкими кристалами*<sup>2</sup> та розташованих перед джерелом світла або рефлектором для відображення зображень у кольорі або у ЧБ [1].

Рідкокристалічні екрани можуть відображати як довільні зображення (як це відбувається, наприклад, у звичайному комп'ютерному дисплеї), або фіксовані зображення, що можуть бути або у стані відображення, або у прихованому стані (наприклад, фіксовані слова, цифри та семисегментні дисплеї цифрових годинників). Принцип роботи у обох випадках однаковий – для відображення довільних зображень створюються дисплеї, що складаються з великої кількості маленьких пікселів, в той час як у інших дисплеїв ці елементи більші.

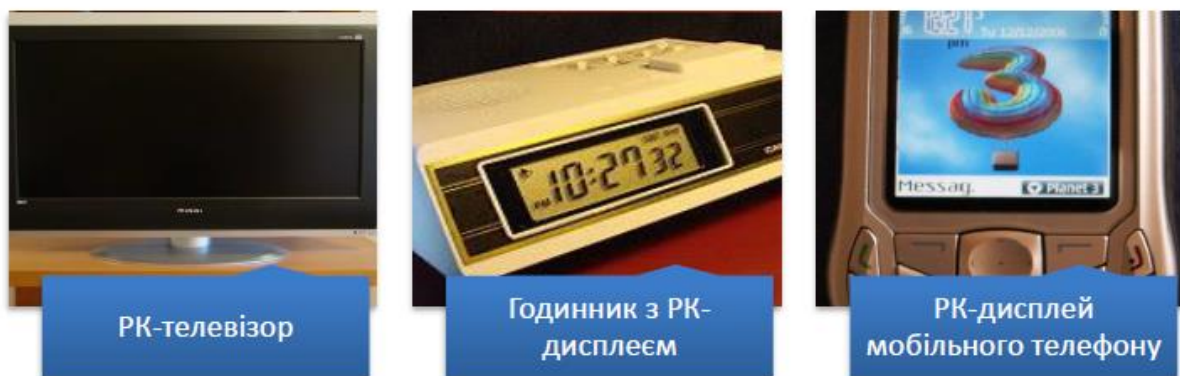


Рис. 2.43 Приклади РК-дисплеїв

Сфера застосування рідкокристалічних екранів дуже широка. До неї входять комп'ютерні монітори, телевізори, інструментальні панелі та панелі керування транспортом. Вони також присутні у багатьох видах побутової електроніки, таких як програвачі, ігрові приставки, годинники, калькулятори та телефони. На сьогодні РК-екрани практично замінили

<sup>1</sup> Електронно-оптичний модулятор – оптичний пристрій, у якому контрольований сигналом елемент з електрооптичним ефектом використовується для модуляції променя світла [1].

<sup>2</sup> Рідкі кристали – матерія у такому стані, що її властивості знаходяться між звичайною рідиною та твердим кристалом. Наприклад, вона може бути рідкою, але мати молекули, зорієнтовані на кшталт кристалічної решітки. За молекулярною впорядкованістю можна виділити смектичні, нематичні та холестеринні класи РК [2].



собою попереднє покоління дисплеїв на електронно-променевих трубках. У порівнянні з ЕПТ та плазмовими екранами, РК-екрани мають більш широкий діапазон розмірів, та не піддаються вигорянню. Однак, вони можуть тимчасово проявляти ефект збереження зображення [3].

Рідкокристалічні екрани є більш енергоефективними, ніж екрани на ЕПТ, та можуть легше утилізуватись. Низький рівень споживання енергії дозволяє використовувати такі екрани у акумуляторних приладах.

Вперше рідкі кристали було винайдено у 1888 [4]. Зараз, РК-екрани є найбільш розповсюдженою технологією оптичного відображення інформації, випередивши ЕПТ та плазмові дисплеї [5].

## Винахід та історія

До появи РК-екранів у царині відображення інформації панували ЕПТ (*електронно-променеві пристрої*). Не дивлячись на те, що вони забезпечували пристойну якість зображення та не мали проблем з часом відклику, кутами огляду тощо, ЕПТ займали забагато місця та споживали забагато енергії. Інженери досліджували альтернативні варіанти. Технологічний прорив 90-х призвів до появи РКЕ з активною матрицею та плазмових дисплеїв, які стали основою ринку плоских екранів, замінивши екрани на основі ЕПТ [1].

Хоча рідкі кристали було винайдено ще наприкінці XIX-го сторіччя, потенціал їх використання у якості засобів відображення не було усвідомлено до винаходу перших РКЕ на основі *ефекту динамічного розсіювання світла*<sup>3</sup> у дослідницькому центрі RCA (Radio corporation of America).

---

<sup>3</sup> Ефект динамічного розсіювання світла було запропоновано Джорджем Хайльмайером. Він призводить до сильного розсіювання світла при застосуванні електричного поля більше певної порогової величини до спеціальної суміші рідких кристалів [6].



Рис. 2.44 Перший в світі РКЕ

У 1970 команда інженерів покинула RCA та приєдналась до Optel Corporation, де вони розробили перший комерційний РК-екран, включаючи дисплей цифрового годинника. У 70-х на ринок РК-екранів прийшли японські компанії: Seiko-Epson використовували їх у цифрових годинниках, Casio та Sharp – у калькуляторах. У 1971, майже одночасно та незалежно одні від одного, М. Шадт та В. Хельфріх з одного боку, та Дж. Фергасон – з іншого, винайшли режим *закручених нематичних РК* (twisted nematic, TN), який став дуже важливим для використання у екранах і зустрічається по сьогодні [7].

Однак, режим прямого керування накладав обмеження на кількість сегментів, тобто, на роздільну здатність. Виходом було винайдення режиму *сильно закручених нематичних РК* (super twisted nematic, STN) Т. Шеффом та Дж. Нерінгом, з можливістю мультиплексування. Але швидкодія електронно-оптичних пристроїв програє дисплеям з прямим керуванням.

Для вирішення цієї проблеми було розроблено концепцію *активної матриці*, тобто такої, в якій кожен піксель підключено до транзистора та конденсатора, котрі *активно* підтримують стан даного піксель навіть тоді, коли відбувається звернення до інших (у пасивній матриці сам піксель мав зберігати свій стан до тих пір, доки до нього не надходив відповідний сигнал) [8]. Ідею розміщення ключа на кожному з пікселів запропонували Лечер, Марлоу та Нестер. П. Броді винайшов селенід-кадмієвий тонкоплівковий транзистор (thin film transistor, TFT) у 1973, який можна було використовувати у якості ключа для незалежного керування напругою на кожному з пікселів. Однак, CdSe TFT не були сумісними з традиційною мікроелектронікою, де основним елементом є кремній. Успіх РК-екранів був тісно пов'язаний з винаходом тонкоплівкових транзисторів на кремнієвій основі.

Паралельно з інфраструктурою різноманітних способів керування РКЕ, для покращення якості зображення з'явилась велика кількість видів самих РКЕ. Технологія планарної комутації (in-plane-switching, IPS) надає широкі кути огляду та розвивалась Hitachi [9]. Режим структурованої вертикальної орієнтації Samsung PVA (patterned vertical alignment) пропонує високий рівень контрасту та широкі кути огляду. Також можна згадати оптичний компенсаційний вигин (OCB), багатодоменне вертикальне орієнтування тощо, кожен з яких має свої власні переваги.

З розвитком технологій РК-екрани почали використовуватись у багатьох нових для себе галузях: у якості медичних дисплеїв, у роздрібній торгівлі, 3-Д телебаченні тощо [14].

## **ЗАГАЛЬНИЙ ПРИНЦИП РОБОТИ**

Рідкокристалічний екран складається з масиву точок (пікселів), якими можна маніпулювати для відображення інформації. Кожен з цих пікселів є

рідкокристалічною панеллю, яка розглядається як багатошаровий сендвіч, що підсвічується флуорисцентною лампою (рис.2.45).

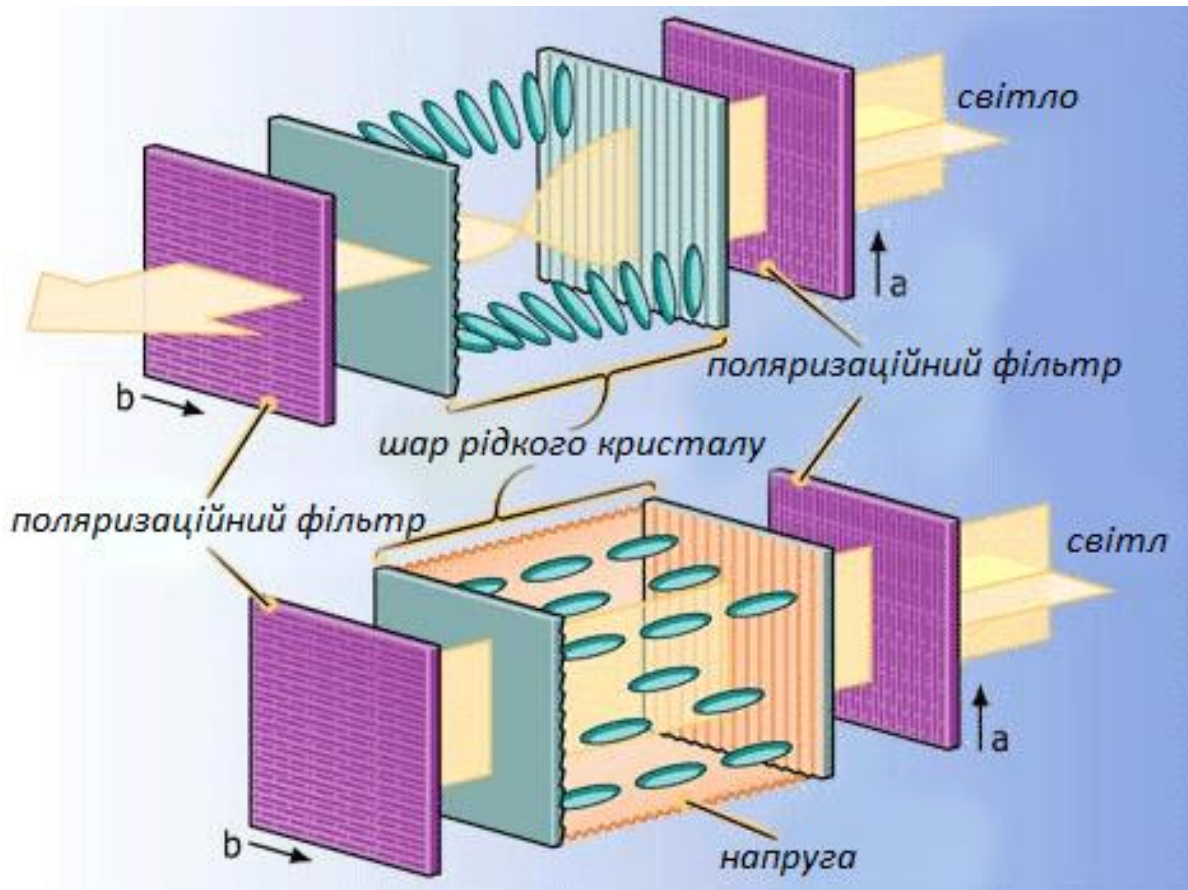


Рис.2.45 Будова пікселю.

З двох сторін рідкокристалічної панелі знаходяться не лужні, прозорі скляні підкладки з гладкою поверхнею і без поверхневих подряпин, які виконують роль електродів. До скляних підкладок прикріплені поляризаційні плівки, які пропускають або поглинають певний компонент поляризованого світла. Між скляними підкладками міститься шар рідких кристалів, що перебувають в нематичній фазі. Поляризаційні фільтри розташовані під прямим кутом один відносно одного, тому, якщо не прикладено напругу до LCD панелі, рідкі кристали вирівняні відповідно осі першого поляризованого скла і обертаються на 90 градусів при наближенні до іншого поляризованого скла в кінці. Вертикально поляризоване світло проходячи

через обертаючі молекули повертається на 90 градусів, при цьому зовнішній поляризаційний фільтр пропустить це світло і на моніторі появиться запалений піксель. Коли ж прикладається напруга, молекули в рідкому кристалічному шарі змінюють свою орієнтацію (розкручуються) так, що орієнтація світла також змінюється і воно блокується зовнішнім поляризаційним фільтром, на екрані буде видно чорний піксель. Таким чином створюються чорно-білі зображення. Причиною появи кольорового зображення є наявність додаткових кольорових фільтрів, при проходженні через які на моніторі загоряється субпіксель відповідного кольору (рис.2.46).

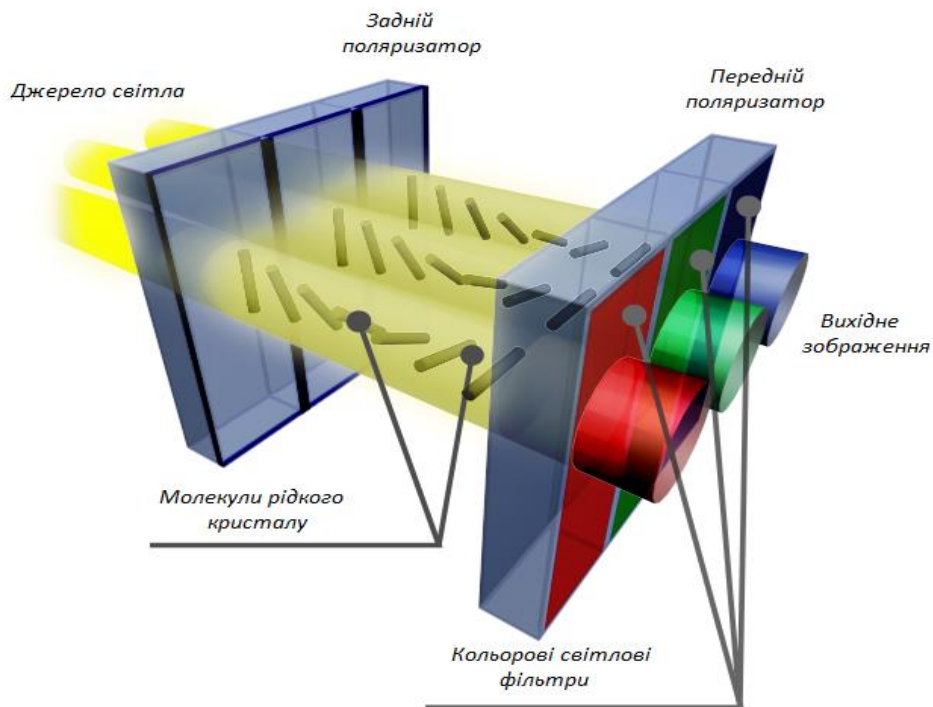


Рис.2.46. Формування кольорового зображення.

*Лекція 9. РКЕ з пасивною матрицею. РКЕ з активною матрицею. Функціонування тонкоплівкових транзисторів. Матриця TN. Матриця IPS. Матриця MVA/PVA. Методи адресації рідкокристалічних елементів.*

## **ТИПИ МАТРИЦЬ**

### **РКЕ з пасивною матрицею**

Ці дисплеї використовують просту сітку, щоб передавати заряд окремим пікселям на дисплеї. Пасивна матриця РК починається з двох шарів скла, що називаються підкладками. На одній підкладці розташовані рядки, а на іншій – стовпці, виконані з прозорого провідного матеріалу. Рідкокристалічний матеріал розташований між двома скляними підкладками, а поляризаційний плівка додається до зовнішньої сторони кожного дисплея. Щоб включити піксель, інтегральна схема передає заряд певній колонці однієї підкладки і під'єднує землю до певного рядка на іншій підкладці. Рядки і стовпці перетинаються у потрібному пікселі, що забезпечує напругу, необхідну для розкручування РК в цьому пікселі. Зі зростанням струму, необхідного для освітлення пікселів (для більш яскравих екранів) і зі зростанням розміру екрану, цей процес стає більш складним, оскільки більш високі струми повинні проходити по лініям керування. Крім того, керування струмом повинне бути присутнім щоразу, коли піксель потрібно ввімкнути. В результаті, пасивні матричні дисплеї, як правило, використовуються в тих випадках, коли потрібні недорогі, прості дисплеї.

### **РКЕ з активною матрицею**

*Активні матричні дисплеї належать до типу плоскопанельних дисплеїв, в яких екран оновлюється частіше, ніж у звичайних дисплеїв з пасивною матрицею, і які використовують окремі транзистори для*

управління напругою на кожній клітинці в шарі РК-субстанції. Найбільш поширений тип дисплея з активною матрицею побудований на основі технології TFT. Терміни «активна матриця» і TFT, або ТПТ, часто використовуються як взаємозамінні. У той час як пасивний матричний дисплей використовує просту провідну сітку для подання струму до рідких кристалів в цільовій області, активна матриця використовує сітку транзисторів, що дозволяють зберігати заряд протягом обмеженого періоду часу, так само, як в конденсаторах. Через перемикальну дію транзисторів, лише бажаний піксель отримує заряд, що призводить до поліпшення якості зображення у порівнянні з пасивною матрицею. Через здатність ТПТ тримати заряд піксель залишається активним до наступного оновлення [15].

Існують три основні перемикачів технології тонкоплівкових транзисторів: з аморфного кремнію (a-Si), з полікристалічного кремнію (p-Si) та з монокристалічного кремнію (x-Si). РК-екрани на аморфному кремнії стали стандартом для серійних AMLCD. Вони мають гарний колір, хороше відтворення відтінків сірого кольору і швидкий відгук [20].

Для кольорових ТПТ дисплеїв використовується один транзистор для кожного кольору (RGB) кожного пікселя. Ці транзистори керують пікселями, усуваючи одночасно проблему ореолів і повільної швидкості відгуку, що присутні у звичайних РК-дисплеїв. Результуючий час відгуку екрана становить порядку 25 мс, контрастність – від 200:1 до 400:1 і значення яскравості – між 200 і 250 кд / м<sup>2</sup>.

ТПТ-екрани можуть бути виконані набагато тоншими, ніж звичайні РК-дисплеї, що робить їх більш легкими, а частота оновлення у них наближаються до ЕПТ. Екрану VGA потрібно 921000 транзисторів (640 x 480 x 3), в той час як для роздільної здатності 1024 x 768 необхідно 2359296 транзисторів, кожен з яких повинен бути досконалим. Вся матриця транзисторів має бути виконана на одній дорогій кремнієвій пластині, а наявністю хоча б пари недоліків призведе до того, що всі пластини повинні

бути відкинуті. Це призводить до високої частоти браку і є основною причиною відносно високих цін на ТПТ дисплеї [13].

## Функціонування тонкоплівкових транзисторів

ТПТ у РКЕ з активною матрицею діють як прості перемикачі на різних швидкостях, які залежать від частоти оновлення дисплея, наприклад, 60 Гц. На рис. 6 зображено просту структуру ТПТ. Він складається з трьох контактів: затвору, витoku і стоку. Як видно на рис. 2.47, затвор ізолюваний від напівпровідникової плівки за допомогою ізоляційної плівки затвора, в той час як сток і виток безпосередньо контактують з напівпровідниковою плівкою [17].

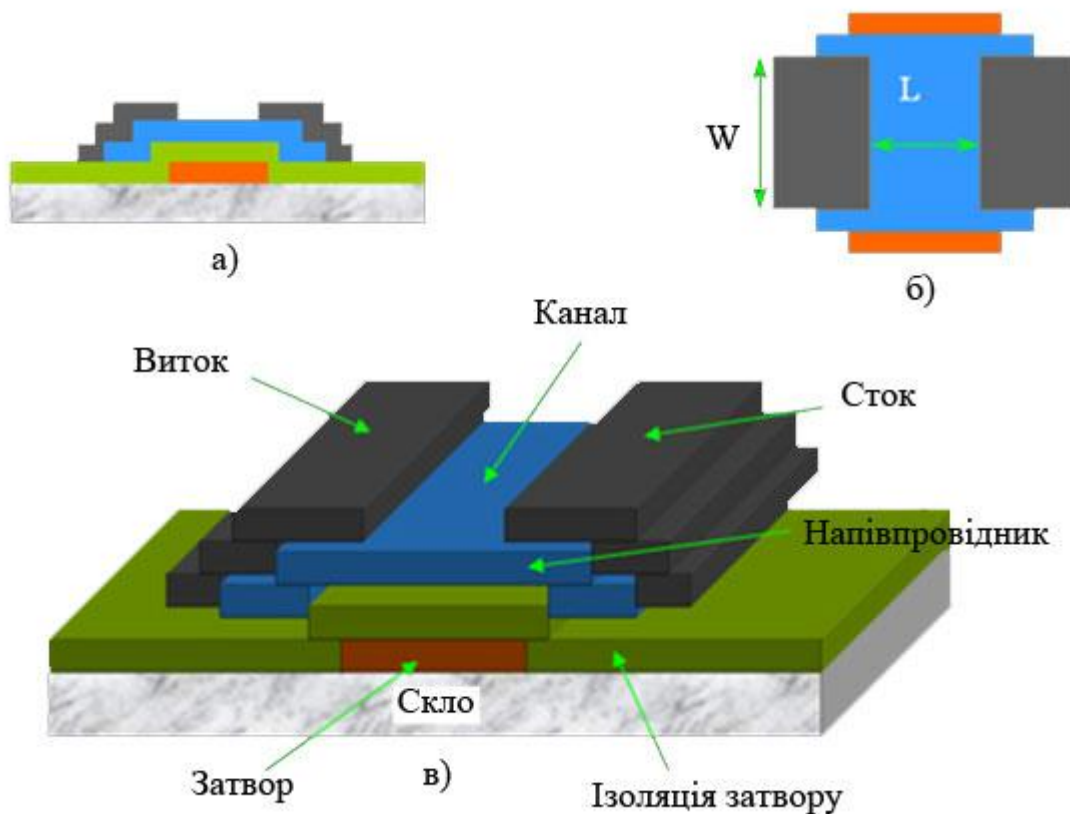


Рис. 2.47. Структура простого тонкоплівкового транзистора (ТПТ)

У простому ТПТ, наприклад, ТПТ з N-каналом, позитивна напруга прикладається до затвору, щоб ввімкнути його; ізоляційний шар можна



розглядати як шар діелектрика в конденсаторі, отже, негативні заряди індуються у напівпровідниковий канал, що є областю між витокom і стоком. Ці негативні заряди створюють потік електронів з витокy до стоку, тобто роблять канал провідним. Коли негативна напруга прикладається до затвору, електрони в каналі практично вичерпуються, а отже, струм майже відсутній. Струм при відкритому ключі залежить від різних параметрів, наприклад, ширини та довжини каналу, напруги на затворі та порогової напруги транзистора.

Коли ТПТ відкритий, інформаційний сигнал подається на виток, а сток з ємністю перед РК буде заряджатися до напруги з такою ж амплітудою, тобто буде відбуватись передача напруги даних з лінії передачі даних до електроду пікселя. При закриванні, струм в каналі відсутній, і напруга даних не передається.

При цьому, Р-канальний ТПТ може бути відкритий шляхом прикладання негативної напруги до затвору, і закритий - позитивною напругою.

ТПТ може бути сформований з використанням трьох різних видів кремнію, а саме: кристалічного кремнію, полі-кремнію та аморфного кремнію. В реальному виробництві полі-кремній може бути також оброблений при низькій і високій температурі, тобто при низькій температурі отримаємо полі-кремній (LTPS), який може бути побудований на недорогому склі загального призначення, і при високій температурі – полі-кремній (HTPS), для якого необхідна кварцова пластинка.

Оскільки кристалічний Si має більш високу рухливість, він може інтегрувати більше периферичних електронних пристроїв, а тому, більш вимогливі до роздільної здатності пристрої, такі як світлові модулятори, як правило, використовують кристалічний Si [19].

Аморфний кремній широко використовується в РК-моніторах і телевизорах через його простоту виготовлення на великих скляних

підкладках, але проте, він має більш низьку мобільність. Однак, у процесі виробництва a-Si формується з використанням SiH<sub>4</sub>: водень додається до кремнієвої плівки і може поліпшити слабу кремнієву решітку в a-Si, таким чином, підвищуючи його продуктивність. Таким чином, a-Si також називають як a-Si:H. Нормальна рухливість електронів a-Si:H складає  $\sim 0,3-1 \text{ cm}^2 / \text{V}\cdot\text{s}$ , у порівнянні з c-Si ( $> 500 \text{ cm}^2 / \text{V}\cdot\text{s}$ ), і це досить мало. Але, для AMLCD<sup>4</sup> перемикача ТПТ-моніторів, цього достатньо. З іншого боку, рухливість дірок у ньому дуже низька, тому на практиці використовують лише N-канальні ТПТ. Ще одним недоліком a-Si є його висока фотопровідність, яка призводить до небажаного фотоструму витікання у закритому стані. Щоб уникнути цього, використовується шар покриття, який захищає ТПТ від температури навколишнього середовища і висвічування.

Полікремній можна використовувати для виготовлення як P-канальних, так і N-канальних тонкоплівкових транзисторів. Через свою відносно високу мобільність, на склі можна інтегрувати як формувач стовпців, так і формувач рядків, а також, навіть ЦАП, перетворювачі постійного струму в постійний і мікропроцесори. Це значно скорочує витрати на зовнішні формувачі та інші мікросхеми. Проте, струм полікремнія у закритому стані набагато вище, ніж у a-Si, тобто закритий стан не є стабільним через те, що не можна підтримувати заряд на конденсаторах пікселів. Для того, щоб зменшити струм закритого стану, було запропоновано подвійну структуру затвору і технологію слабо легованого стоку (LDD). Обидва методи можуть ефективно знизити струм закритого стану [18].

У таблиці 1 наведені короткі характеристики порівняння різних тонкоплівкових транзисторів і їх відповідні сфери застосування.

---

<sup>4</sup> PKE на активній матриці

Таблиця 2.12 Різні типи пристроїв перемикання для РКЕ на активній матриці

Пристрої перемикання	Рухливість (см <sup>2</sup> /В*с)	Максимальна температура	Застосування
a-Si TFT	0.3-1	~ 300 <sup>0</sup> С (скло)	Екрани ноутбуків, ПК монітори, LCD ТБ
High-T poly-Si TFT	100-300	~ 1000 <sup>0</sup> С (кварц)	Світлові модулятори проєкторів, видошукачі
Low-T poly-Si TFT	10-200	~ 500 <sup>0</sup> С (скло)	Екрани ноутбуків та КПК, світлові модулятори проєкторів, видошукачі
MOSFET з кристалічного Si	400	~ 1100 <sup>0</sup> С (C-Si)	Світлові модулятори проєкторів, видошукачі
Тонкоплівкові діоди		< 300 <sup>0</sup> С (скло)	Екрани стільникових пристроїв

### Матриця TN

Цей тип матриць є найстаршим і найпоширенішим, з тих, які на сьогодні застосовуються. Назва технології розшифровується як Twisted Nematic. Нематичні рідкокристалічні субстанції складаються з довгастих кристалів з просторовою орієнтацією, але без жорсткої структури. Така речовина легко піддається зовнішнім впливам. У матрицях TN кристали розміщені паралельно площині екрану, а верхній і нижній шар кристалів повернені перпендикулярно один відносно одного. Всі інші «скручені» по спіралі. Отже все світло повертається і безперешкодно проходить через зовнішню поляризаційних плівку.

Так що у вимкненому стані осередок матриці TN світиться, та при подачі напруги кристали поступово повертаються (рис.2.48). Чим вище напруга, тим більше кристалів розгортається, і тим менше проходить світла. Як тільки всі кристали розгорнуться паралельно світловому потоку, піксель «закривається». Але для TN-матриць добитися ідеально чорного кольору дуже важко, адже кристали в матриці TN «скручені» по спіралі, і при подачі напруги вони починають повертатися. Коли всі кристали перпендикулярні поверхні, світло не проходить.

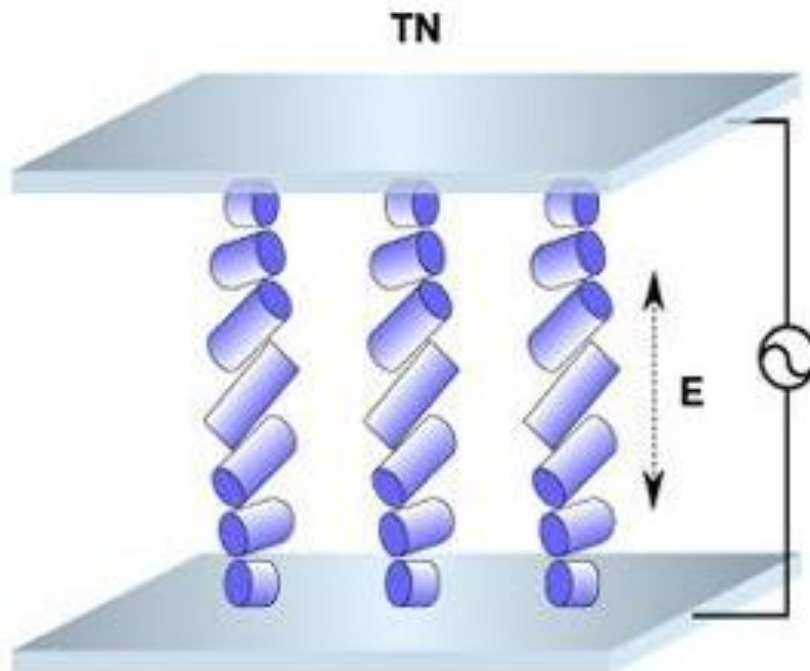


Рис.2.48. Технологія Twisted Nematic.

Головна проблема TN матриць в неузгодженості повороту кристалів: одні вже розгорнуті повністю, інші тільки почали повертатися. З-за цього відбувається розсіювання світлового потоку і, в кінцевому рахунку, картинка під різними кутами виглядає по-різному. Горизонтальні кути огляду сучасних матриць можна вважати прийнятними, але при повороті по вертикалі навіть в невеликих межах, суттєві спотворення. Передача кольору матриць TN далека від ідеальної — вони в принципі не можуть виводити

повну палітру кольорів, тому компенсують недолік відтінків за допомогою хитрих алгоритмів. Такі алгоритми не помітно оку відтворюють у клітинці поперемінно відтінки, найближчі до того, який відтворити не вдається.

Проте технологія TN забезпечує максимальну швидкість спрацьовування пікселя, мінімальне енергоспоживання і максимальну дешевизну. Ці дві обставини і роблять най старішу технологію – найпопулярнішою і найпоширенішою.

## Матриця IPS

Другий за віком став тип IPS (In Plane Switch). Як впливає з назви технології, всі кристали розташовані постійно паралельно площині панелі і повертаються одночасно. Для цього

довелося розташувати на нижній стороні кожної клітинки по два електрода (рис.2.49).

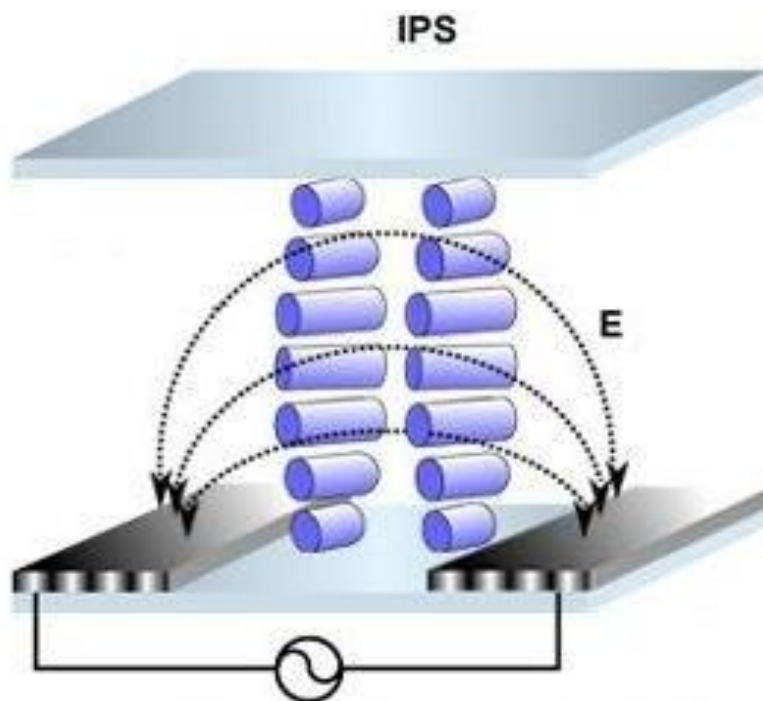


Рис. 2.49 Матриця In Plane Switch

У вимкненому стані піксель чорний, так що якщо він «помирає», то на екрані буде чорна точка. IPS технологія забезпечує найкращу передачу кольору і максимальні кути огляду. З істотних недоліків — більший, ніж у TN, час відгуку, більш помітна міжпіксельна сітка і висока ціна. Поліпшені матриці отримали назву S-IPS і SA-SFT (відповідно у LG.Philips і NEC), вони забезпечують більш прийнятний час відгуку на рівні 25 мс, а новітні і того менше — 16 мс. Завдяки хорошій передачі кольору і кутах огляду IPS матриці стали стандартом для графічних професійних моніторів.

### Матриця MVA/PVA

Як компроміс між TN і IPS можна розглядати розроблену Fujitsu технологію VA (Vertical Alignment). У матрицях VA кристали у вимкненому стані розташовані перпендикулярно площині екрану.

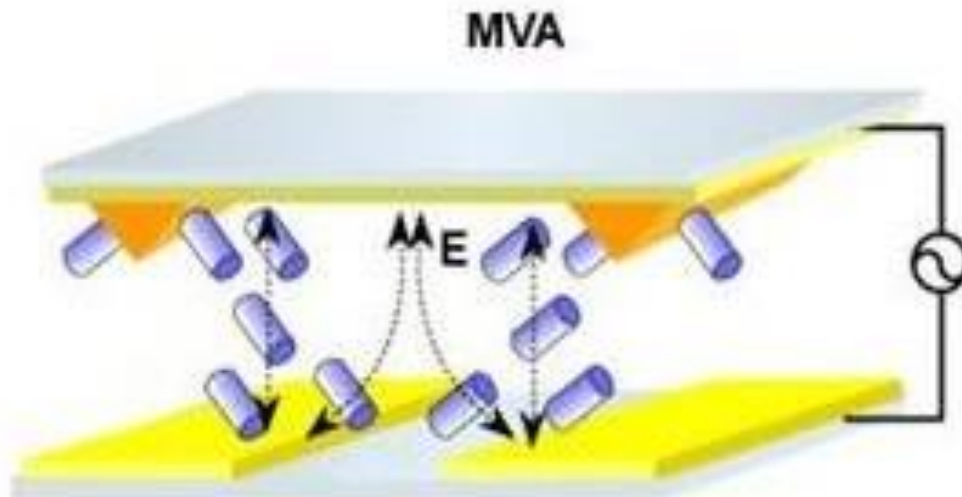


Рис. 2.50 Матриця Multi-Domain Vertical Alignment

Відповідно чорний колір забезпечується максимально чистий і глибокий. Але при повороті матриці відносно напрямку погляду, кристали

будуть видні не однаково. Для вирішення проблеми застосовується мультидоменна структура. Розроблена Fujitsu технологія Multi-Domain Vertical Alignment (MVA) передбачає виступи на обкладках, які визначають напрямки повороту кристалів (рис.2.50). Якщо два піддомени повертаються в протилежних напрямках, то при погляді збоку один з них буде темніший, а інший світліший, таким чином для людського ока відхилення взаємно компенсуються. У матрицях PVA, розроблених Samsung немає виступів, і у вимкненому стані кристали строго вертикальні. Для того, щоб кристали сусідніх субдоменів повертались в протилежних напрямках, нижні електроди зрушені відносно верхніх. У матрицях VA типу у вимкненому стані кристали перпендикулярні поверхні екрана. Для зменшення часу відгуку в матрицях Premium MVA і S-PVA застосовується система динамічного підвищення напруги для окремих ділянок матриці, яку зазвичай називають Overdrive. Передача кольору матриць PMVA і SPVA майже так само хороша, як і у IPS, час відгуку трохи поступається TN, кути огляду максимально широкі, чорний колір найкращий, яскравість і контраст максимально можливі серед усіх існуючих технологій. Однак навіть при невеликому відхиленні напрямку погляду від перпендикуляра, навіть на 5-10 градусів можна помітити спотворення в півтонах. Для більшості це залишається непоміченим, але професійні фотографи продовжують за це недолюблювати технології VA.

## **МЕТОДИ АДРЕСАЦІЇ РІДКОКРИСТАЛІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

Існує три основних методи, що використовуються для адресації рідкокристалічних елементів: прямий, адресація пасивною та активною матрицею. Вибір методу адресації, який повинен використовуватись в рідкокристалічному екрані є дуже важливим, від нього залежить розміщення масиву пікселів матриці. Тому вибір методу адресації здійснюється з урахуванням специфікації інформаційного контенту,

вартості виготовлення, наявні технології TFT, час відгуку, площа і енергоспоживання, при чому перші три критерії є найбільш важливими.

## Пряма адресація

Прямий метод адресації появився найпершим. Він зручний для дисплеїв, де є лише декілька елементів, які повинні бути активовані. Відповідно до цього способу адресації кожен сегмент безпосередньо пов'язаний і контролюється індивідуально за допомогою периферійної електроніки (має свою власну схему збудження). Сегменти розташовані таким чином, щоб вони могли зобразити потрібний значок чи символ. Найбільш поширеним є компонування 7-сегментів, як показано на рис. 2.51, використовується в простих буквено-цифрових дисплеях (в калькуляторах, годинниках та подібних пристроях). У цьому методі мультиплексування не доступне, що є причиною низької інформативності додатків. У прямому методі адресації, найменший керований компонент для створення зображення називається сегмент, а не піксель, як в двох наступних методах адресації.

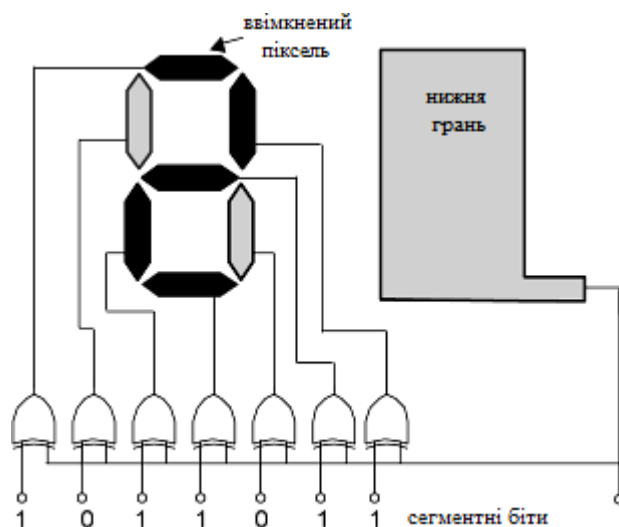


Рис. 2.51 Компонування 7-сегментів



### Пасивна матрична адресація

По мірі того як дисплеї та їх інформативність ставали більшими, виникла необхідність збільшення кількості елементів зображення. Ця проблема була вирішена шляхом розташування сегментів (пікселів) у вигляді матриці з  $M$  - рядками та  $N$  - стовпчиками. У цьому методі кожен піксель не може управлятися індивідуально, а реалізований підхід мультиплексного звернення. Новий мультиплексний метод адресації був реалізований пасивною матрицею. Конфігурація пасивного методу матричної адресації показана на рис.2.52.

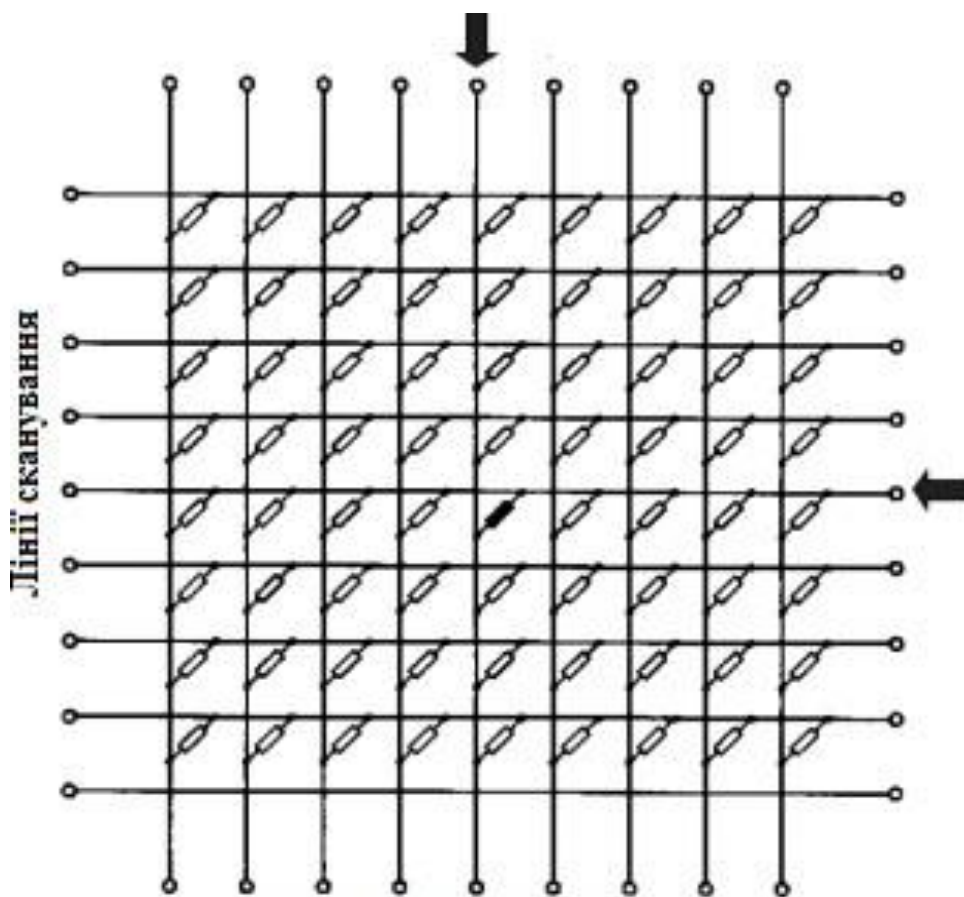


Рис. 2.52 Лінії передачі даних

Даний метод адресації дозволяє одночасно керувати лише одним рядком матриці. Під час програмування, імпульс з периферійного драйвера рядків активує всі пікселі програмованої лінії і в той же час дані з

допомогою напруги живлення заносяться в накопичувальні конденсатори та відповідні рідкі кристали через периферійний драйвер стовпчиків. Пасивна матрична адресація є методом з мінімальною кількістю електричних з'єднань. Наприклад, для масиву  $M$  - рядків та  $N$  - стовпчиків, для прямого методу необхідно  $M \times N$  ліній зв'язку, а для методу з пасивною матрицею необхідно лише  $M+N$  ліній зв'язку. Крім того, пасивна матриця – це найпростіший і найбільш економічно ефективний метод. Однак, до недоліків методу з пасивною матрицею можна віднести невисокі мультиплексувальні можливості та вплив перешкод. Наведення ефект виникає, тому що всі пікселі в рядку електрично пов'язані, тому невеликі постійні напруги можуть передаватись в піксель від сусідніх пікселів. Результатом перехресних перешкод є низька контрастність та мала активна робоча область дисплеїв.

### **Активна матрична адресація**

Цей метод адресації вирішує проблеми пов'язані з обмеженням мультиплексування та ефекту перехресних перешкод, що притаманні методу пасивної матричної адресації. Це було досягнуто шляхом включення нелінійних елементів керування, таких як перемикач, в точці перетину рядків і стовпців (в послідовному з'єднанні) кожного пікселя (рис.2.53).

Використання комутатора забезпечує 100% роботу пікселя за допомогою заряду, збереженого в пікселі протягом часу адресації рядка. Перемикач управляється двома імпульсними сигналами, які виробляються зовнішніми схемами ведення драйверів рядків і стовпців. Як і в більшості, матриця відображає звернення лінії протягом часу програмування, при цьому відбувається сканування вибраного рядка стробуючим імпульсом, він повертає значення «вкл» на комутатори TFT кожного пікселя і одночасно відбудеться заряд накопичуючих конденсаторів відповідно даним, що надаються драйвером стовпчика. Після програмування рядка, з приходом

заднього фронту імпульса на комутатори TFT повертається значення «викл», і пікселі стають ізольованими від усіх сусідніх пікселів до моменту приходу наступного кадру. Таким чином, недоліки притаманні попередньому методу (ефект перехресних перешкод і обмежене мультиплексування) усуваються.

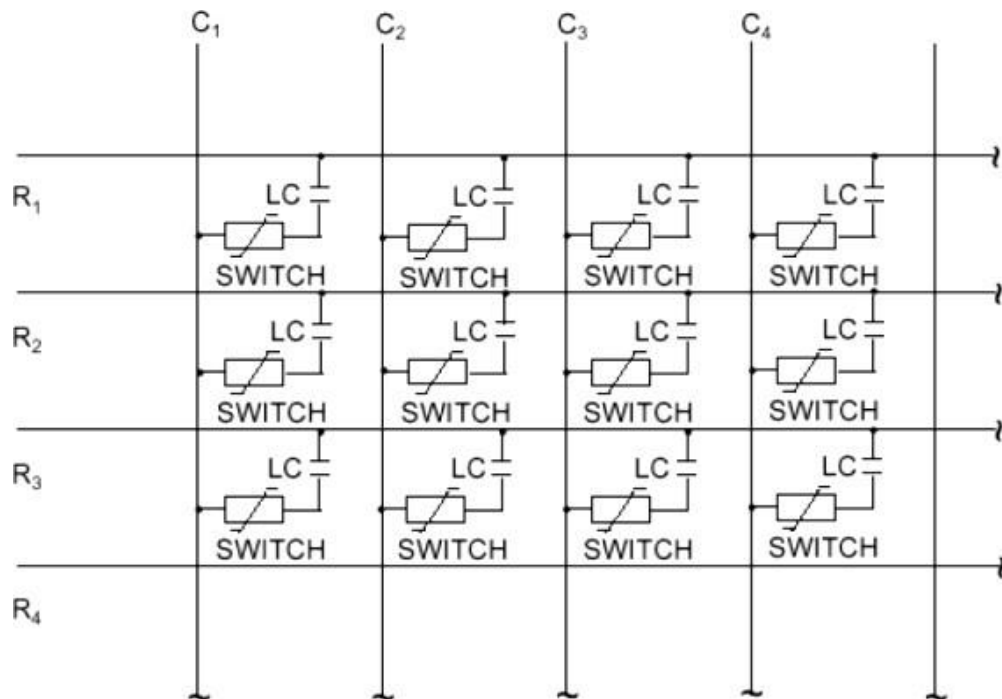


Рис. 2.53 Включення нелінійних елементів керування, в точці перетину рядків і стовпців (в послідовному з'єднанні) кожного пікселя

Спрощена схема часового мультиплексування з дисплеєм на пасивній матриці показано на рисунку 2.54. Пікселі адресуються змінною напруги зі складною часовою структурою. Короткий імпульс періодично застосовується до рядків в якості стробуючого сигналу, а стовпці переносять інформаційні сигнали. Піксель обирається тільки тоді, коли присутня різниця потенціалів (і, отже, електричне поле), тобто, тільки якщо рядок і стовпець не знаходяться на низькому або високому рівні одночасно. Точніше, піксель обирається, якщо напруга перевищує поріг переорієнтації.

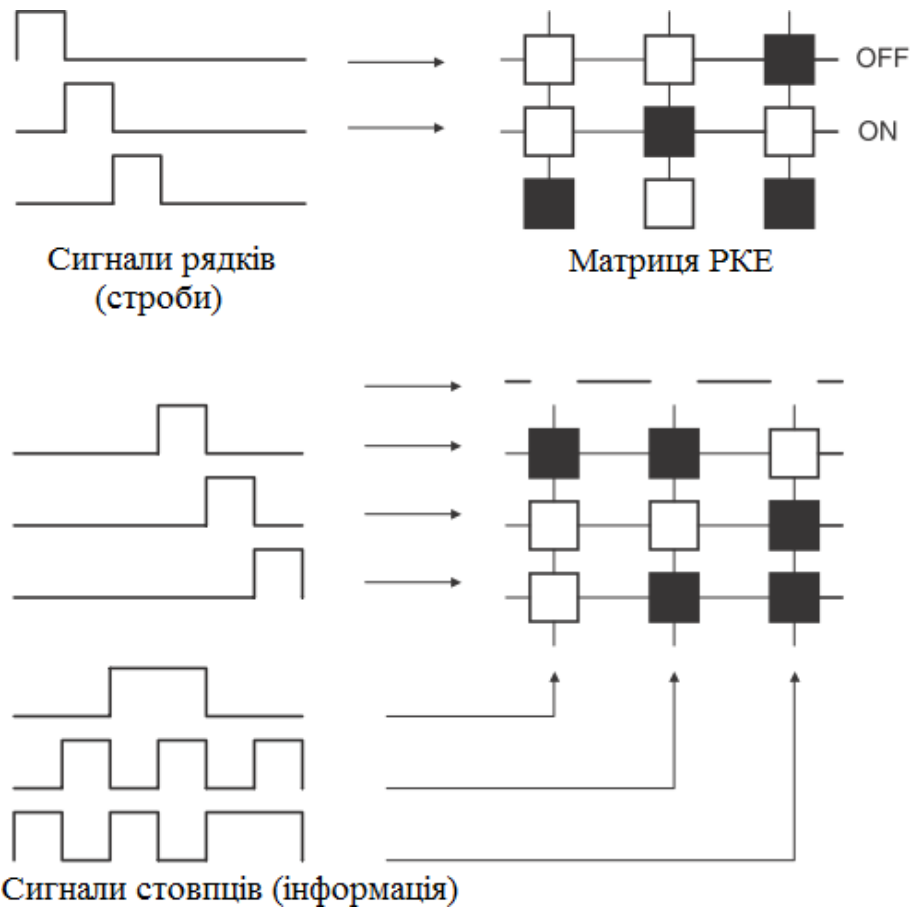


Рис.2.54. Спрощена схема часового мультиплексування на пасивній матриці

## РОЗДІЛ 3 ПРИНЦИПИ АНАЛОГОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ

### Тема 3.1. Частотний спектр телевізійного сигналу

Лекція 10. Повний телевізійний сигнал. Спектр частот телевізійного сигналу. Передача звукового супроводу.

Знайомство з телевізійною технікою найкраще починати з отримання зображення і формування повного телевізійного сигналу. У телевізійному мовленні прийнятий метод почергового перетворення кожного елемента зображення в електричний сигнал з подальшою передачею цього сигналу по одному каналу зв'язку.

Для реалізації такого принципу на передавальній стороні застосовуються спеціальні електронно-променеві трубки, що перетворюють зображення переданого об'єкта в розгорнутий у часі електричний відеосигнал. Промисловість випускає велику кількість передавальних трубок, що розрізняються по конструкції, призначенням, електричним параметрам і т. д.

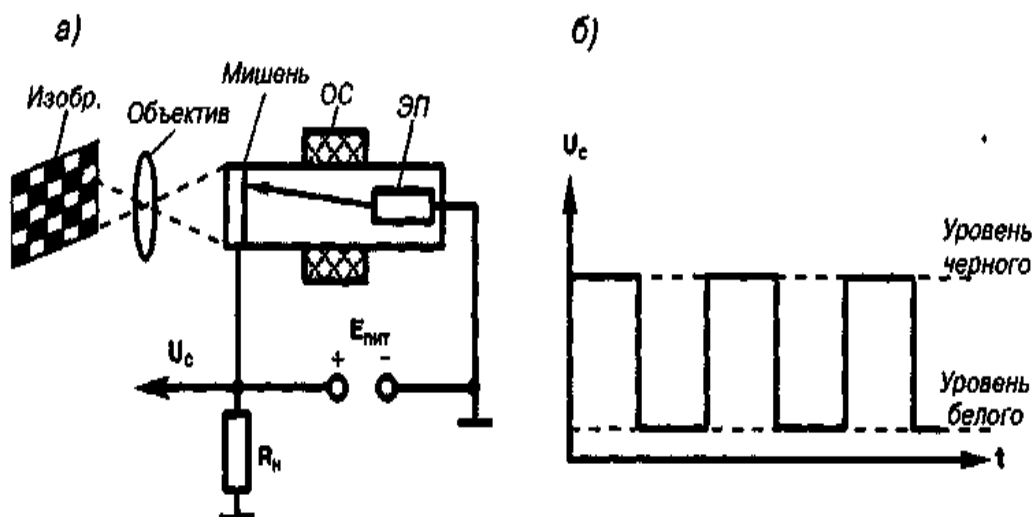


Рис. 3.1. Передаюча трубка, а) конструкція, б) вихідний сигнал.

### **Формування телевізійного сигналу за допомогою передавальної трубки.**

На рис. 3.1 а як приклад показаний в спрощеному вигляді один з варіантів передавальної трубки. У середині скляної колби, що знаходиться під високим вакуумом, розташовані напівпрозорий фотокатод (мішень) і електронний прожектор (ЕП). Зовні на горловину трубки надіта відхиляюча система (ОС). Прожектор формує тонкий електронний промінь, який під впливом прискорюючого поля направляється до мішені. За допомогою відхиляючої системи промінь переміщається зліва направо (по рядках) і зверху вниз (по кадру), оббігаючи всю поверхню мішені.

На мішень трубки, покриту світлочутливим шаром, проектується зображення. В результаті кожна елементарна ділянка мішені набуває електричний заряд. Утворюється так званий потенційний рельєф. Електронний промінь, взаємодіючи з кожною ділянкою (точкою) потенційного рельєфу, як би стирає (нейтралізує) її потенціал. Струм, який тече через опір навантаження  $R_n$ , буде залежати від освітленості ділянки мішені, на який потрапляє електронний промінь, і на навантаженні виділиться відеосигнал  $U_c$  (рис. 3.1 б). Напряга відеосигналу буде змінюватися від рівня «чорного», що відповідає найбільш темним ділянкам переданого зображення, до рівня «білого», що відповідає найбільш світлим ділянкам зображення.

Якщо в відеосигналі рівню «білого» відповідає максимальне значення сигналу, а рівню «чорного» - мінімальне, то такий відеосигнал буде називатися позитивним. Якщо ж рівню «білого» буде відповідати мінімальне значення сигналу, а рівнем «чорного» - максимальне, то відеосигнал буде негативним (негативної полярності). Характер відеосигналу залежить від конструкції і принципу дії передавальної трубки. Відеосигнал, зображений на рис. 3.1, б є негативним.

### Частотний спектр телевізійного сигналу.

Рівень постійної складової характеризує середню яскравість живого зображення. При передачі рухомих зображень величина постійної складової буде безперервно змінюватися відповідно до освітленості. Ці зміни відбуваються з дуже низькими частотами (0-3 Гц). За допомогою нижніх частот спектра відеосигналу відтворюються великі деталі зображення. Наприклад, мінімальна частота спектра відеосигналу вийде при передачі зображення, що представляє собою поєднання світлої і темної половини растра (рис.3.2 а).

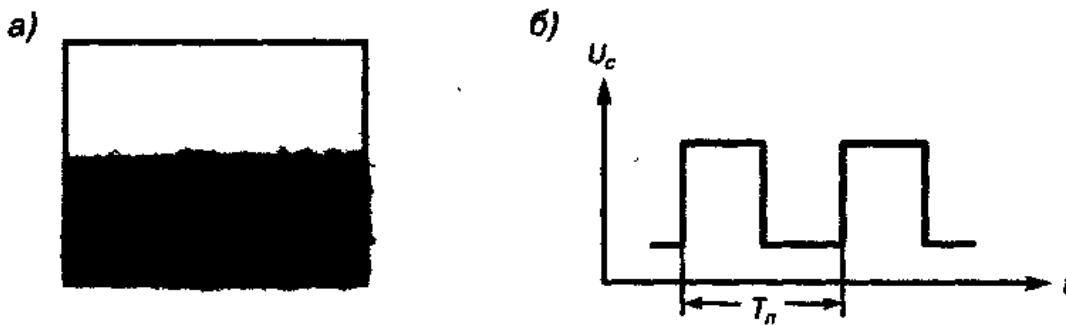


Рис. 3.2. До визначення мінімальної частоти відеосигналу: а) зображення, б) відеосигнал, що відповідає  $t_{\text{ниж}}$ .

Форма сигналу (рис. 3.2 б) являє собою прямокутні імпульси. Мінімальна частота цього сигналу буде відповідати за чергуванням розгортці частоті полів, тобто  $\Gamma_H = \Gamma_{\Pi} = 50$  Гц.

За допомогою верхніх частот передаються найбільш дрібні деталі зображення. Таке зображення можна представити у вигляді чергованих по яскравості дрібних чорних і білих квадратів (рис. 3.3 а), які розташовуються уздовж рядка і мають розміри, рівні товщині променя. Це і буде найбільш складним зображенням, так як буде містити максимальну кількість елементів зображення.

Для визначення верхньої граничної частоти такого відеосигналу можна зробити нескладні розрахунки: за час прямого і зворотного ходу кадрової розгортки рядкова розгортка повинна обійти 625 рядків (прийнятий в нашій країні ТВ стандарт). Кожен рядок може розмістити (при форматі кадру 4х3) 800 елементів зображення. Це буде відповідати 400 періодам гармонійних коливань, так як один період цього коливання створюється при чергуванні темних і світлих елементів зображення.

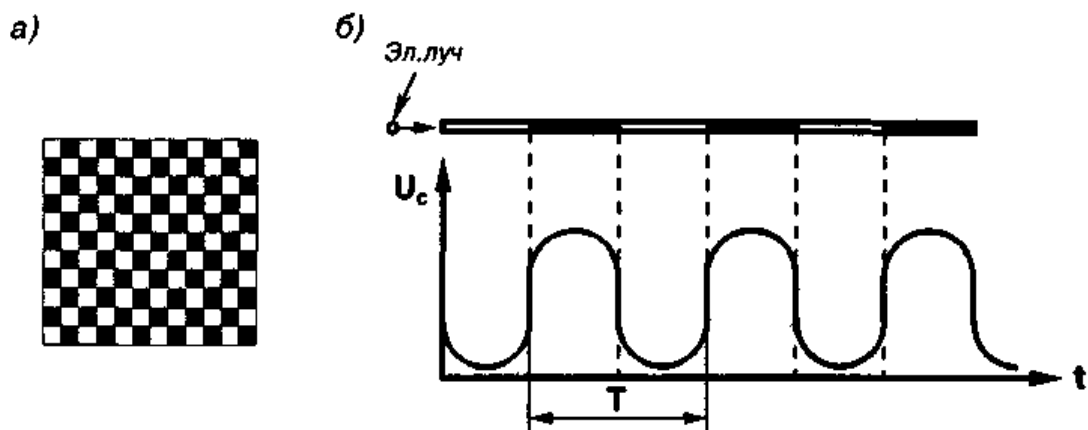


Рис. 3.3. До визначення мінімальної частоти відеосигналу: а) зображення, б) відеосигнал, що відповідає  $t_{\text{верх}}$ .

При русі електронного променя уздовж окремого рядка на мішені передавальної трубки через кінцевих розмірів зчитувального променя на навантаженні буде виділятися сигнал, величина якого буде змінюватися за законом, близькому до синусоїдальної. Цим і пояснюється форма сигналу на рис. 3.3 б.

Якщо прийняти, що частота зміни кадрів дорівнює 50 в секунду (т. Е. 50 Гц), то за 1 секунду повинно бути:

$50 \times 625 \times 400$  - 12,5x10<sup>6</sup> періодів коливань (Гц, або 12,5 МГц).

Отже, заданий спектр телевізійного сигналу знаходиться в діапазоні від 0 до 12,5 МГц. Але передача сигналу з таким широким спектром пов'язана



зі значними технічними труднощами, тому, щоб зменшити смугу переданих частот, але при цьому не втратити роздільну здатність по вертикалі, застосовується так звана черезрядкова розгортка, суть якої полягає в тому, що кожен кадр розбивається на два полюкадри (або поля), протягом яких передається по 312,5 рядків, тобто. в два рази менше, ніж при порядковій розгортці (рис. 3.4). Причому протягом першого поля передаються непарні, протягом другого поля - парні рядки. В результаті верхній частотний спектр скорочується вдвічі, т. е. 6,25 МГц.

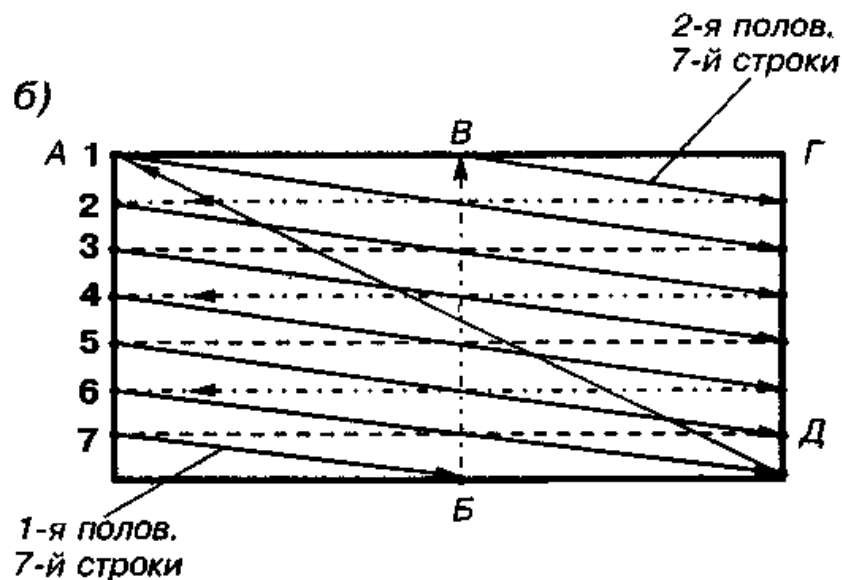


Рис. 3.4. Утворення растра при черезрядковій розгортці.

Ну а якщо врахувати, що, приблизно, по 25 рядків кожного поля зазвичай не відтворюються, так як припадають на час зворотного ходу кадрової розгортки, то смуга переданих частот може бути визначена в 6 МГц. Необхідно також відзначити, що, оскільки форма відеосигналу складна і може відрізнитися від синусоїдальної, то це означає, що крім основної частоти сигнал містить і гармонійні складові, які мають більш високі частоти, кратні основній частоті сигналу. Однак при передачі сигналу, відповідного малим розмірам зображення, обмежуються

передачею тільки основної частоти відеосигналу. Частотний спектр відеосигналу показаний на рис. 3.5.

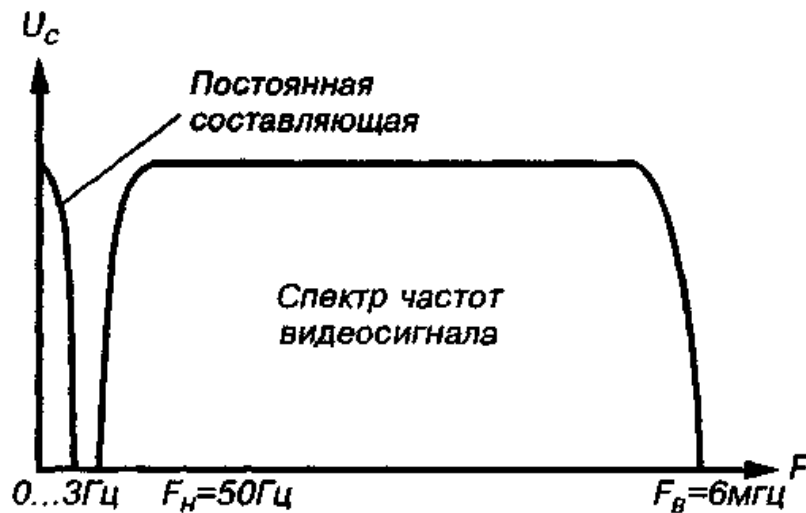


Рис. 3.5. Частотний спектр відеосигналу.

### Повний телевізійний сигнал.

Для нормального відтворення зображення на екрані кінескопа необхідно, щоб електронні промені в передавальній трубці і кінескопі рухалися, пробігаючи рядок, рівномірно і за однаковий час, незалежно від розмірів екрану передавальної трубки або екрана кінескопа, тобто мова йде про синхронність процесу. Але цього ще мало. Для отримання зображення на екрані кінескопа необхідно також, щоб промінь прокреслюють рядок ще й синфазно з променем на передавальній трубці, тобто в тому ж порядку в одній фазі один відносно іншого. Інакше зображення буде передаватися з перекручуваннями або з повною його втратою. Для забезпечення синхронності і синфазності в відеосигнал підмішують спеціальні синхронізуючі імпульси, які виробляються в кварцовому синхрогенераторі, розташованому в передавальній камері.

Частота кварцового генератора може бути обрано рівною 1 МГц. За допомогою подільників частоти в передавальній камері з частоти кварцового генератора 1 МГц отримують малі синхронізуючі імпульси

$$f_{\text{строч}} = \frac{1 \text{ МГц}}{64} = 15625 \text{ (Гц)};$$

$$\text{и кадровые} \rightarrow f_{\text{кадр}} = \frac{f_{\text{стр}}}{625} = 25 \text{ Гц. } f_{\text{поля}} = 50 \text{ Гц.} \quad (3.1)$$

Цими імпульсами і синхронізуються розгортки.

Крім того, в відеосигнал підмішуються і гасячі імпульси (кадрові і рядкові) для надійного замикання променів кінескопа і передавальної трубки під час зворотного їх ходу. Щоб зворотний хід променів не було видно на екрані кінескопа, гасячі імпульси повинні передаватися на рівні «чорного» або трохи перевищувати його (рівень «чорніше чорного»).

Отже, частина повного телевізійного сигналу негативної полярності набере вигляду, показаного на рис. 3.6.

Якщо прийняти максимальну висоту телевізійного сигналу за 100%, то сигнал зображення може змінюватися від 0% (відповідає рівню «білого») до 65-67% (відповідає рівню «чорного»).

Гасячі рядкові і кадрові імпульси передаються на рівні 70%, тобто на 3-5% вище рівня «чорного». Це робиться для того, щоб запобігти можливості потрапляння випадкових імпульсних перешкод з відеосигналу в область синхронізуючих імпульсів, що призведе до збою синхронізуючих пристроїв в телевізорі. Тривалість рядка, включаючи час зворотного ходу рядка, дорівнює  $H=64$  мкс ( $f_{\text{строч}} = 15625$  Гц).

Тривалість гасячого рядкового імпульсу дорівнює 12 мкс, тривалість рядкового синхронізуючого імпульсу дорівнює 4,7 мкс.

Дещо складніше йде справа з кадровими імпульсами. Справа в тому, що частота кадрової розгортки дорівнює 25 Гц. Це означає, що її частота в 312,5 разів менше частоти рядкової розгортки.

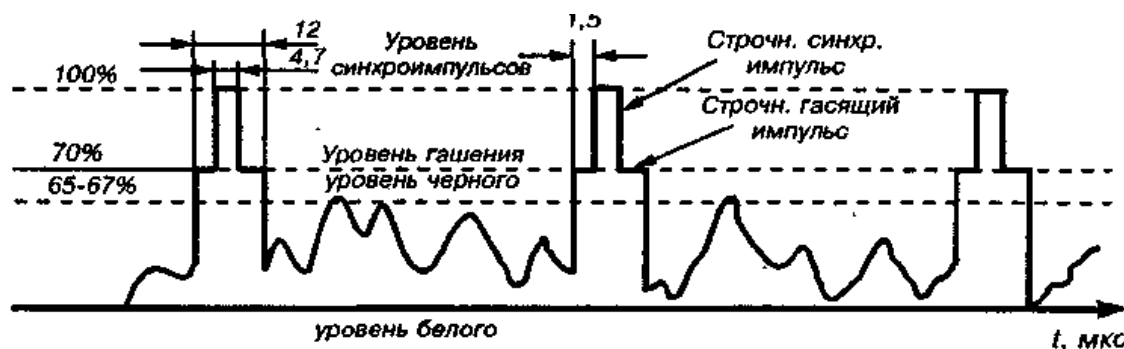


Рис. 3.6. Структура сигнала, що відповідає двом рядкам сигналу, що передається

Тому генератор кадрової розгортки більш інерційний, ніж генератор рядкової розгортки. Тривалість кадрового гасячого імпульсу (рівна 1612 мкс) і синхроімпульсу (160 мкс) значно більше, ніж тривалість рядкового гасячого і синхронізуючого імпульсу. Щоб генератор рядкової розгортки не вийшов із синхронізму під час передачі кадрових синхроімпульсів, його синхронізація повинна здійснюватися безперервно. Тому під час дії кадрових синхроімпульсів рядкові синхроімпульси передаються у вигляді «врізок». Велике значення має чітка синхронізація між генераторами рядкової і кадрової розгортки.

Так як одне поле містить 312,5 рядки, то в одному полі кадровий синхроімпульс збігається з рядковим синхроімпульсом, а в другому полі - доводиться на середину рядка, в результаті чого після виділення цих імпульсів в пристроях синхронізації порушується «ідентичність» фронтів напівкадрових синхроімпульсів. Це може привести до порушення правильного взаємного розташування рядків обох напівкадрів при переналаштованій розгортці.

Для того щоб цього не сталося, врізки на кадровому синхроімпульсі робляться в два рази частіше, а перед і після кадрового синхроімпульсу вводиться по п'ять так званих урівнюючих імпульсів, тривалість яких 2,35 мкс. Форма повного телевізійного сигналу приведена на рис. 3.7.

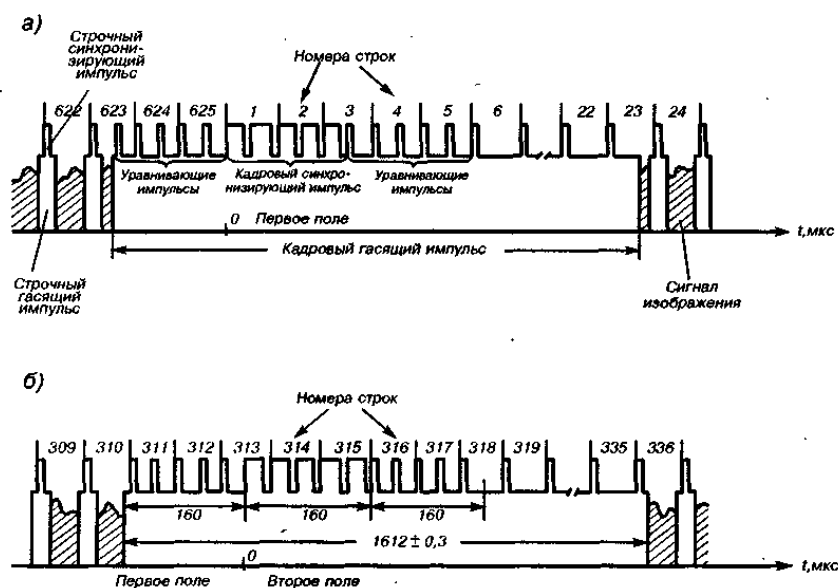


Рис. 3.7. Форма повного телевізійного сигналу: а - на початку першого поля; б – на початку другого поля.

Структура сигналу синхронізації для першого і другого полів однакова, проте при черезрядковому розкладанні за час кожного поля розгортці повинно піддаватися точно 312,5 рядки. Початки розгортки по рядках, відмічені на мал. 3.7 стрілками, зміщені в сусідніх полях на  $0,5H$ . З цієї причини інтервал між останнім синхронізуючим імпульсом рядків і початком імпульсу синхронізації першого поля дорівнює  $3H$ , а для другого поля  $3,5H$ .

Розглянута форма повного сигналу забезпечує достатню надійність і стійкість синхронізації при черезрядковому розкладанні.

Розглянемо призначення кадрових прирівнюючих імпульсів на прикладі селекції з повного ТВ сигналу сигналів синхронізації для управління відповідними генераторами розгортки.

У ТБ і іншій відеоапаратурі повний ТВ сигнал подається в ланцюг керуючого електрода кінескопа і одночасно на селектор сигналів синхронізації (рис. 3.8). Селектор являє собою амплітудний обмежувач. На його виході утворюється послідовність сигналів рядків і полів (рис. 3.9, а), відокремлена від сигналу зображення. Це досягається використанням диференціюючих і інтегруючих ланцюгів. Результат диференціювання показаний на мал. 3.9, б. Постійна часу ланцюга диференціювання значно менша тривалості найкоротших імпульсів:  $R_{\text{диф}}C_{\text{диф}} \ll \tau = 2,35 \text{ мкс}$ . Задаючий генератор працює в режимі поділу частоти на два, і синхронізація по рядках не порушується. На рис. 3.9, б штриховими лініями позначені негативні імпульси, що не здійснюють ніякого впливу. Таким чином, протягом більшої частини часу гасячого імпульсу полів рядкові імпульси синхронізації слідує з подвійною частотою (31250 Гц) і потім впливають на задаючий генератор блоку рядкової розгортки. При цьому задаючий генератор працює в режимі поділу частоти на два і синхронізація по рядках не порушується.

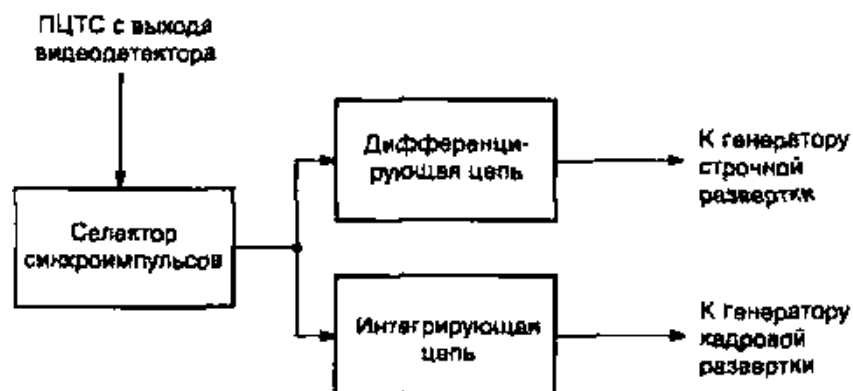


Рис. 3.8. Селектор синхроімпульсів

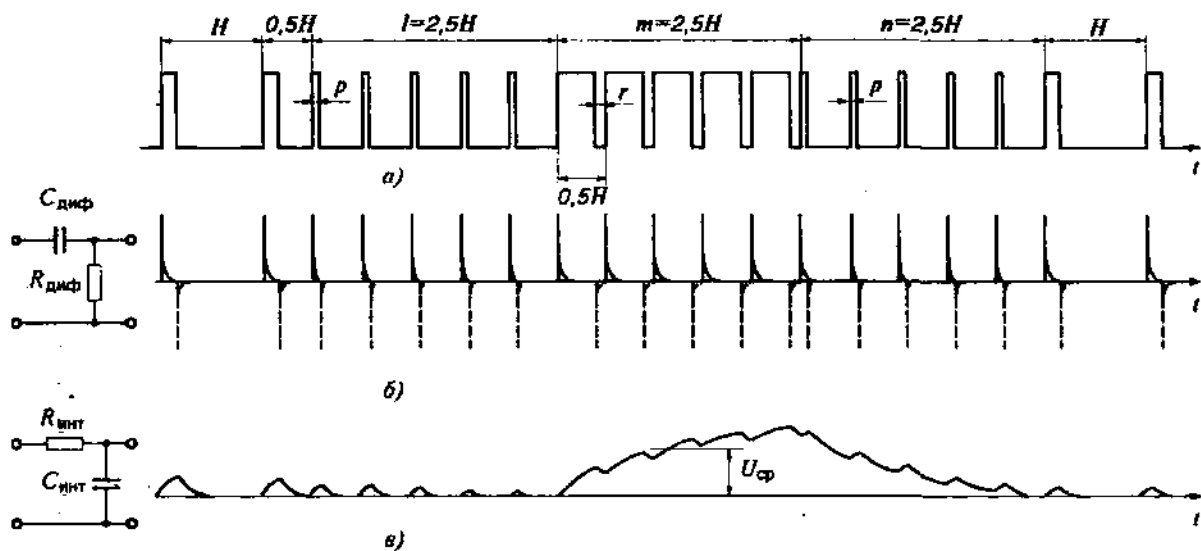


Рис. 3.9. Принцип поділу синхронізуючих імпульсів рядків і полів.

Сигнал синхронізації розгортки по полях виділяється за допомогою інтегруючого кола (рис. 3.9, в), постійна часу якої досить велика ( $R_{\text{інт}}C_{\text{інт}} \geq 2,5H = 160 \text{ мкс}$ ). За час дії синхронізуючих імпульсів рядків або урівнюючих імпульсів напруга на виході інтегруючого кола незначно зростає, а потім спадає. В результаті інтегрування послідовності синхроімпульсів полів напруга на виході кола зростає до свого максимального значення, що визначається тривалістю кадрового синхронізуючого імпульсу. Тут різниця в тривалості імпульсів рядків і полів перетворюється в різницю по їх розмаху. Зубці на інтегрованому імпульсі поля є результатом впливу імпульсів візок ( $r = 4,7 \text{ мкс}$ ) і задніх урівнюючих імпульсів. На рис. 3.9, в відзначений рівень спрацьовування  $U_{\text{ср}}$ , при досягненні якого здійснюється синхронізація генератора кадрової розгортки.

Для забезпечення черезрядкового розкладання необхідно, щоб тривалість парних і непарних полів ( $312,3H$ ) була однаковою, з похибкою не більше  $(0,05 + 0,1) H$ ; в іншому випадку накладення рядків суміжних полів буде помітним. Основною причиною цієї помилки є відмінність у видаленні рядкових імпульсів в суміжних полях від послідовності  $m$  на  $0,5 H$ . Зрівнювання умов інтегрування досягається використанням урівнюючих

імпульсів 1 загальною протяжністю 2,5Н і розміщенням їх перед імпульсами полів т.

### Спектр частот телевізійного сигналу

Отже, повний телевізійний сигнал являє собою суміш відеосигналу і синхросигналу. Для передачі цього сигналу, а також сигналу звуку на відстань використовуються несучі частоти, здатні переносити ці сигнали через простір. Розрахунки показують, що при ширині спектра телевізійного сигналу в 6 МГц мінімальна несуча частота повинна бути не менше 50 МГц. Тоді всі складові спектра телевізійного сигналу можуть бути доставлені без спотворень. В модуляторі передавача - повний телевізійний сигнал піддається модуляції. Модуляція - це процес зміни одного або декількох параметрів несучої відповідно до змін параметрів сигналу, що передається, який впливає на неї.

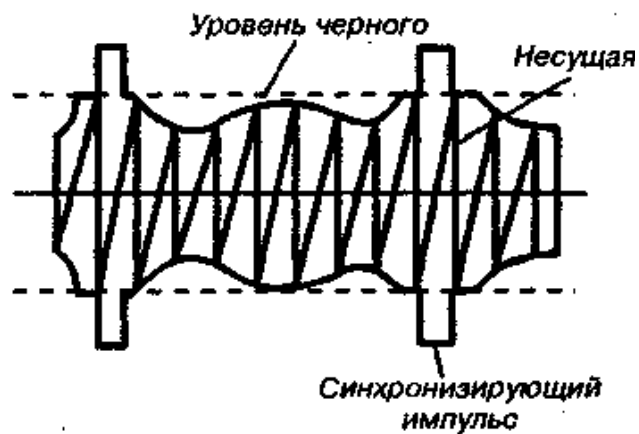


Рис. 3.10. Телевізійний радіосигнал при негативній модуляції.

Основними параметрами синусоїдального сигналу є: амплітуда, частота і фаза. Будь-який з цих параметрів можна піддати модуляції, тобто телевізійний сигнал може бути промодульований по амплітуді, частоті і фазі. У телебаченні для передачі зображення використовується амплітудна



модуляція, при якій здійснюється керування амплітудою високочастотного сигналу несучої без зміни її частоти і фази. Відповідно до законів модуляції ширина спектру високочастотних несучих після модуляції подвоюється, так як після модуляції з'являється нижня і верхня бічна смуга, і стає рівній 12 МГц, але оскільки вся інформація про передане зображення міститься як у верхній, так і в нижній бічній смузі, немає необхідності у великому «залишку» від подавленої бічної смуги (рис. 3.10).

Для передачі звуку використовується частотна модуляція несучої, яка розташовується вище частотного спектра верхньої бокової смуги сигналу зображення, причому рознос між несучими зображення і звуку постійний на будь-якому каналі і становить у нас в країні 6,5 МГц.

При частотній модуляції миттєве значення частоти несучої змінюється відповідно до закону зміни сигналу, що передається, при постійній його амплітуді.

Використання різних видів модуляції для зображення і звуку значно послаблює взаємний вплив цих сигналів один на одного.

Передавачі зображення і звуку працюють на загальну широкополосну телевізійну антену.

Несуча зображення в прийнятому у нас в країні стандарті модулюється видеосигналом негативної полярності, тому така модуляція називається негативною.

Для передачі звукового супроводу не потрібно настільки широкий спектр, як для передачі зображення. Ця смуга частот може бути визначена в 125 кГц. Повний частотний спектр телевізійного каналу наведено на рис. 3.11.

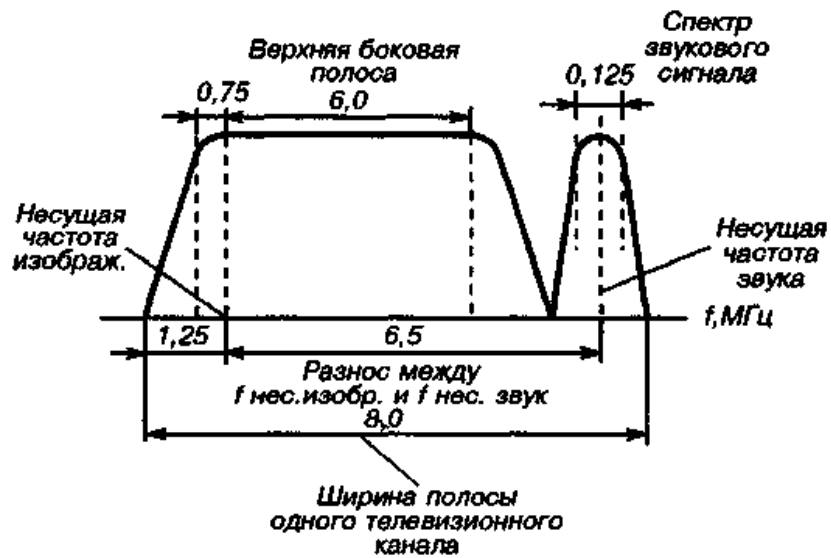


Рис. 3.11. Повний частотний спектр телевізійного каналу

## Тема 3.2. Принципи побудови систем кольорового телебачення

Лекція 11. Принцип передачі кольорового зображення. Сумісність кольорового телебачення. Частотний спектр повного кольорового телевізійного сигналу. Врахування фізіологічних особливостей кольорового зору.

### Принцип передачі кольорового зображення.

Принцип передачі кольорового зображення заснований на так званій трикомпонентній теорії колірної зору, згідно з якою практично всі кольори, що існують у природі, можна отримати за допомогою змішування трьох основних - червоного, зеленого, синього, - взятих в певній пропорції

У телебаченні їх позначають початковими буквами відповідних англійських слів-R (червоний), G (зелений) і B (Blue)

Згадаймо відомий досвід: якщо за допомогою ліхтарів однакової інтенсивності джерел з червоним, зеленим і синім світлофільтрами висвітлити екран таким чином, щоб різні кольори частково поєдналися (рис 3.12), то зелений і червоний в суміші дадуть жовтий колір, червоний і синій - пурпурний, синій і зелений - блакитний, а місце суміщення червоного, зеленого і синього дасть в сумі білий колір.

Рис 2 1 Смешение трех основных цветов:

К — красный; З — зеленый;  
С — синий; Ж — желтый;  
П — пурпурный; Г — голубой

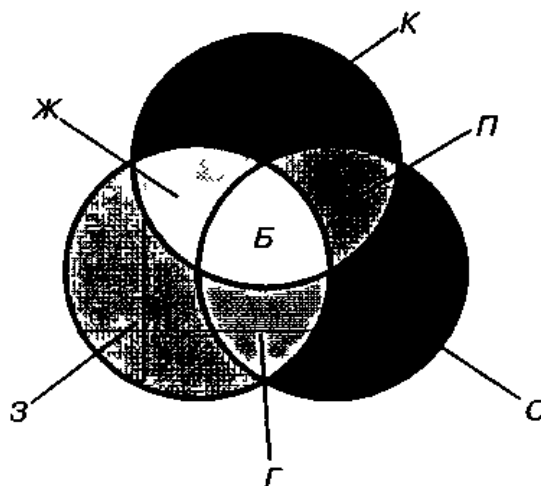


Рис. 3.12. Змішування трьох основних кольорів

Якщо тепер в однаковій пропорції збільшувати або зменшувати потужності всіх джерел, то яскравість білої плями буде відповідно збільшуватися або зменшуватися, а колірний тон суміші при цьому залишиться незмінним.

Якщо ж змінювати потужність джерел в різних пропорціях, то тоді кожна колірна ділянка буде міняти свій колір, включаючи і білу ділянку. При розгляді кожного джерела окремо можна відзначити неоднакову їх яскравість: зелене джерело буде здаватися яскравіше червоного і синього, а червоне - яскравіше синього. Вся справа в різній чутливості очей до яскравості кожного кольору окремо.

### **Сумісність кольорового телебачення.**

При побудові трансляційного кольорового телебачення крім трьох сигналів, що несуть інформацію про колір, необхідно передавати і сигнал, відповідний чорно-білому зображенню. Цей сигнал повинен забезпечити сумісність кольорового і чорно-білого телебачення, тобто можливість приймати на екрані чорно-білого телевізора кольорову програму в чорно-білому вигляді, а на екрані кольорового телевізора - чорно-білу програму в чорно-білому зображенні. Цей сигнал називається яскравісним, він може бути отриманий при змішуванні у певній пропорції сигналів основних кольорів R, G і B. Співвідношення між сигналом яскравості  $E_y$  і сигналами основних кольорів  $E_R$ ,  $E_G$  і  $E_B$  було знайдено з урахуванням гаданої різної яскравості основних кольорів. Сигнал яскравості можна виразити рівнянням:

$$E_y = 0,30 E_R + 0,59 E_G + 0,11 E_B. \quad (3.2)$$

Сигнал яскравості  $E_y$  формується в спеціальній матриці (матрицею в кольоровому телебаченні називають пристрої, які виконують операції додавання і віднімання. Вони можуть бути виконані за допомогою резисторів і фазоінверторів).

При наявності сигналу яскравості  $E_Y$  немає необхідності передавати всі три кольорні сигнали, так як один з них завжди можна отримати при додаванні, використовуючи наведене вище співвідношення між яскравісним сигналом і сигналами основних кольорів  $U$  телебаченні прийнято не передавати зелений  $E_G$  сигнал, тому що він найбільш широкосмуговий, в яскравісному сигналі міститься 59% зеленого.

Крім того, у всіх сумісних системах передаються не сигнали  $E_R$  і  $E_B$ , а так звані кольоро-різницеві сигнали  $E_{R-Y}$  і  $E_{B-Y}$ . Це пов'язано з тим, що інформація про яскравість, яка міститься в кольорних сигналах  $E_R$  і  $E_B$ , надлишкова, оскільки вона міститься в яскравісному сигналі  $E_Y$ . На екрані ж чорно-білого телевізора ці сигнали створювали б перешкоду у вигляді мілкоструктурної сітки. Кольоро-різницеві сигнали  $E_{R-Y}$  і  $E_{B-Y}$  в матрицях формуються шляхом вирахування сигналів  $E_R$  і  $E_B$  з  $E_Y$  сигналу.

Найбільш наочно формування сигналу яскравості  $E_Y$  і кольоро-різницевих сигналів  $E_{R-Y}$  і  $E_{B-Y}$  можна простежити на прикладі формування випробувального сигналу кольорових смуг в спеціальних генераторах-телетестах, призначених для перевірки і налаштування телевізійних приймачів. За допомогою такого генератора можна отримати на екрані телевізора вісім кольорових смуг - білу (або біло-сіру), жовту, блакитну, зелену, пурпурову, червону, синю і чорну.

Генератор кольорових смуг виробляє три відеосигнали основних кольорів, що представляють собою напруги прямокутної форми рядкової частоти для сигналу  $E_G$ ; подвійний малої для  $E_R$  і зчетвереної рядкової для  $E_B$ . Розмах цих сигналів складає в відносних одиницях - 1 (на білій смузі) і 0,75 на інших смугах при формуванні білої смуги з двома рівнями яскравості (Рис. 3.13).

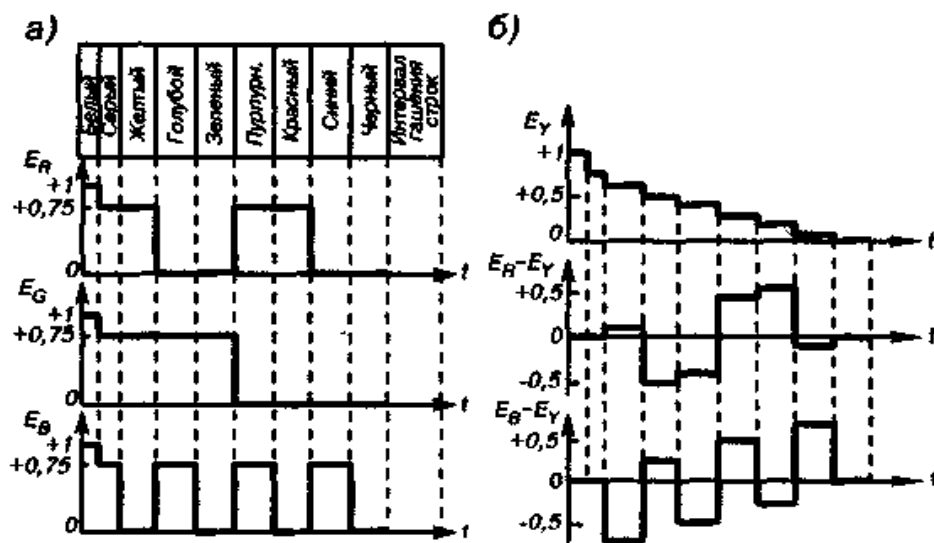


Рис. 3.13. Сигнал випробування вертикальних кольорових смуг:

а – відеосигнали основних кольорів  $E_R$ ,  $E_G$ ,  $E_B$ ;

б – сигнал яскравості  $E_Y$  сигнали різності кольорів  $E_{R-Y}$   $E_{B-Y}$

Сигнал яскравості  $E_Y$  утворюється шляхом складання сигналів  $E_R$ ,  $E_G$ ,  $E_B$  і являє собою сигнал ступінчастої спадаючої форми.

Кольоро-різницеві сигнали  $E_{R-Y}$  і  $E_{B-Y}$  отримуються шляхом вирахування з сигналів  $E_R$  і  $E_B$  сигналу яскравості  $E_Y$ . Подальше формування сигналів залежить від вибору системи кольорового телебачення.

### Частотний спектр повного кольорового телевізійного сигналу

Для того, щоб забезпечити можливість передачі кольорового зображення в стандартній смузі частот, відведеної для чорно-білого телебачення, використовується метод ущільнення, при якому спектр частот сигналів кольоровості розташовується в спектрі сигналу яскравості (рис. 3.14). Для цього використовується так звана кольорова піднесуча частота, яка розташовується у верхній частині спектра сигналу яскравості і модулюється колірним сигналом при передачі колірної інформації.

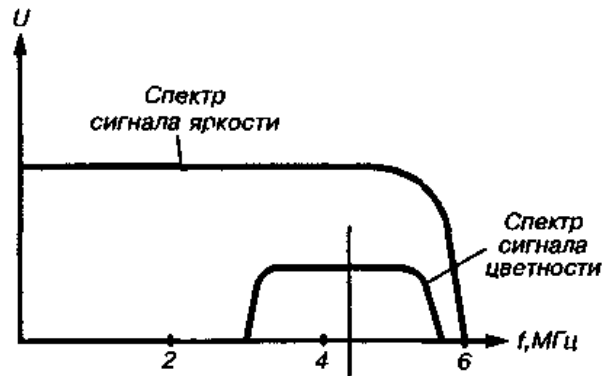


Рис. 3.14. Розташування спектра сигналу кольоровості в спектрі сигналу яскравості.

Так як око не відчуває дрібних деталей зображення, то смугу кольоро-різницевих сигналів обмежують до 1,5 МГц. Передані в загальному спектрі частот сигнали кольоровості і яскравості можуть створювати взаємні перешкоди. Для їх зменшення існує ряд заходів. Наприклад, піднесуча сигналу кольоровості розташовується у верхній частині спектра сигналу яскравості, що в значній мірі знижує перешкоди на екрані чорно-білого телевізора, і ці перешкоди виявляються лише у вигляді мілкоструктурної сітки, що менш помітно.

### Принцип сумісності

Коли розроблялася система кольорового телебачення (СКТ), чорно-біле телебачення вже існувало. Тому основні вимоги до СКТ зводилися до вимоги її сумісності з системою чорно-білого телебачення і високій якості відтворення кольору.

Сумісність означає необхідність передачі інформації про колір в тому ж каналі зв'язку і в тій же смузі частот, яка вже відведена для чорно-білого телевізійного мовлення. Під сумісністю системи кольорового телебачення з чорно-білою слід розуміти властивість системи, що забезпечує можливість якісного прийому програм кольорового телебачення в чорно-білому вигляді

усіма типами існуючих чорно-білих телевізорів без будь-яких переробок (умова "прямої сумісності").

З іншого боку, приймач кольорового телебачення також без всяких переробок повинен бути здатний приймати без кольору звичайні чорно-білі програми (умова "зворотної сумісності"). Виконання умов прямої і зворотної сумісності мало велике значення для всіх країн, де вже широко було розвинене телевізійне мовлення.

На підставі викладеного можна сформулювати наступні чотири умови сумісності.

1. Умова Повний сигнал кольорового телебачення повинен містити всі елементи повного сигналу чорно-білого телебачення, в тому числі і інформацію про розподіл яскравості в переданій сцені.

2. Умова Всі інші елементи, що містяться в сигналі кольорового телебачення, необхідні для відображення інформації про колір переданих сцен, не повинні створювати помітних завади на екрані чорно-білих телевізорів при прийомі кольорових передач, тобто повний кольоровий телевізійний сигнал (ПКТС) повинен задовольняти принципу постійної яскравості.

Принцип постійної яскравості був вироблений в ході створення системи NTSC і використаний в більшості наступних систем. Він говорить: виділений в приймачу сигнал кольоровості не повинен впливати на яскравість відтвореного зображення. Іншими словами, інформація про яскравість повинна повністю передаватися яскравісним сигналом.

Реалізація принципу постійної яскравості в телебаченні дає наступні переваги:

□ завади, що потрапляють в ТВ приймач по каналу кольоровості, а також перехресні завади від сигналу яскравості в канал кольоровості викликають лише зміни кольоровості зображення, які менш помітні для ока, ніж зміни яскравості;



□ обмеження смуги частот сигналу кольоровості не впливає на передачу різких кордонів і дрібних деталей будь-якого кольору з повною чіткістю в чорно-білому вигляді;

□ в чорно-білих телевізорах точно відтворюється яскравість оригіналу.

Для виконання даного принципу сигнали, що надходять на прийомну трубку з каналу кольоровості, повинні бути збалансовані так, щоб створюваний ними приріст яскравості в сумі дорівнював нулю.

3. Умова Параметри системи кольорового телебачення (число рядків розкладання, частота кадрової розгортки, смуга частот відеосигналу, рознос між несучими частотами сигналів зображення і звуку, ширина спектра частот і т.д.) повинні бути аналогічні відповідним параметрам системи чорно-білого телебачення і забезпечувати високу якість зображення.

4. Умова Звуковий супровід має передаватися таким чином, як і в чорно-білому телебаченні.

При побудові СКТ, що задовольняє вимогу сумісності, були використані фізіологічні особливості сприйняття колірної інформації і структура спектра телевізійного сигналу.

### **Врахування фізіологічних особливостей кольорового зору**

Основне зниження обсягу інформації в кольоровому телебаченні досягається за рахунок передачі обмеженого числа насичених відтінків кольорів, що виявилось можливим завдяки особливій властивості колірного зору, відомій під назвою трикомпонентності кольоросприйняття.

Відповідно до теорії колірного зору, висловленої вперше в 1736 р М.В. Ломоносовим, є той встановлений експериментально факт, що всі кольори можуть бути отримані шляхом додавання (змішування) трьох світлових потоків, наприклад, червоного, зеленого і синього з високою насиченістю, названих основними або первинними.

Ломоносов прийшов до висновку, що колоровідчуттєвий (колбочковой) апарат ока людини містить рецептори (нервові закінчення) трьох видів. Причому випромінювання різних хвиль збуджують ці рецептори не однаково. Так, перший вид закінчень найбільш чутливий до довгохвильової частини видимого спектру (червоно-помаранчевої), другий - до середньохвильової частини спектра (зелено-жовтої) і третій - до короткохвильового (синьо-фіолетової). На рис. 3.15 показані криві спектральної чутливості рецепторів ока, які називаються кривими основних порушень.

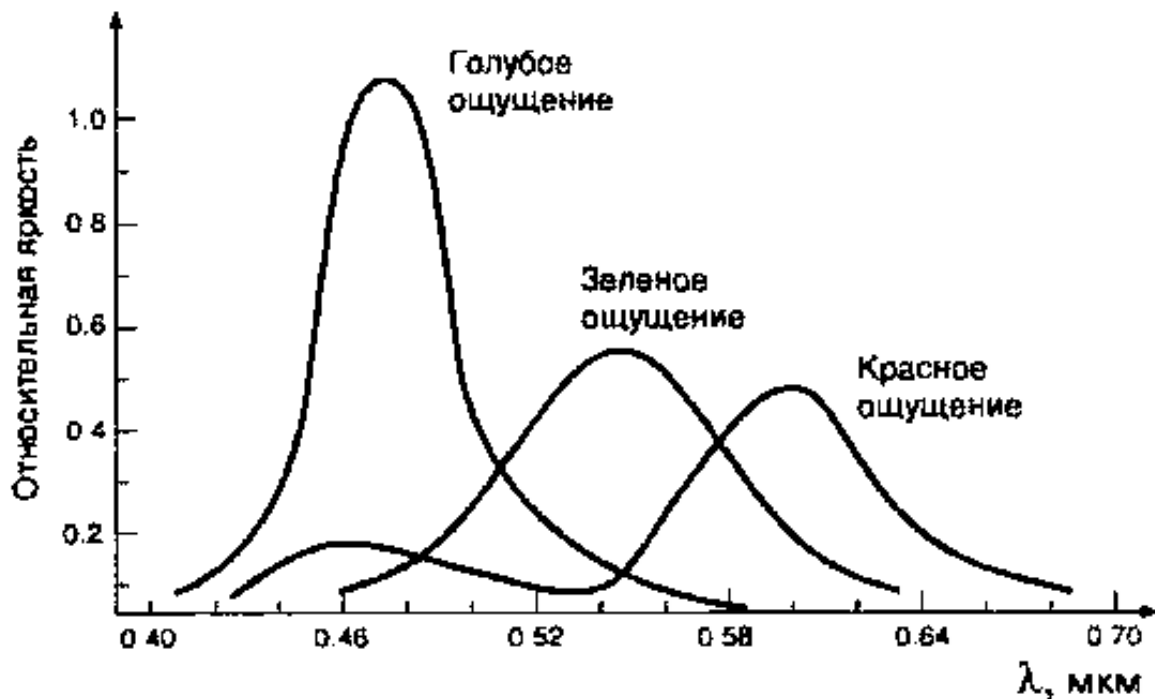


Рис. 3.15. Криві спектральної чутливості ока.

Зазвичай світлове випромінювання збуджує всі три види рецепторів одночасно, і сукупність трьох різних порушень сприймається людським оком як один який-небудь колір. Зоровий апарат аналізує світло, що впливає на нього, визначаючи в ньому відносний вміст різних випромінювань, а потім в мозку людини відбувається синтез трьох збуджень в єдиний колір.

Завдяки чудовій властивості ока - триколірному зору правильно вибравши три основних джерела кольору і змішавши їх в певних пропорціях, можна отримати будь-який зі спостережуваних людиною колірних відтінків.

Отже, відпадає необхідність в безпосередній передачі всіх кольорів. По телевізійному каналу досить передати інформацію тільки про кількісне співвідношення трьох основних кольорів в будь-який момент часу.

Подальші дослідження в області триколірної колориметрії привели до експериментального доказу досить важливих для інженерної практики фактів, а саме:

- трикомпонентність колірному зору поширюється тільки на відносно великі спостережувані об'єкти, які при телевізійній передачі вимагають смуги відеочастот від 0 до 0,5 МГц і відтворюються триколірними (рис. 3.16.).

- Колір об'єктів середніх розмірів, відтворюваних відеочастотами від 0,5 до 1,5 МГц, є сумішшю тільки двох кольорів: помаранчевого і зелено-синього (блакитного).

- Дрібні деталі, що вимагають для відтворення відеочастоти від 1,5 МГц і вище, розрізняються спостерігачами тільки по яскравісним градаціям, тобто здаються чорно-білими. При цьому відсутність забарвлення дрібних деталей незначно погіршує суб'єктивне сприйняття кольорового зображення.

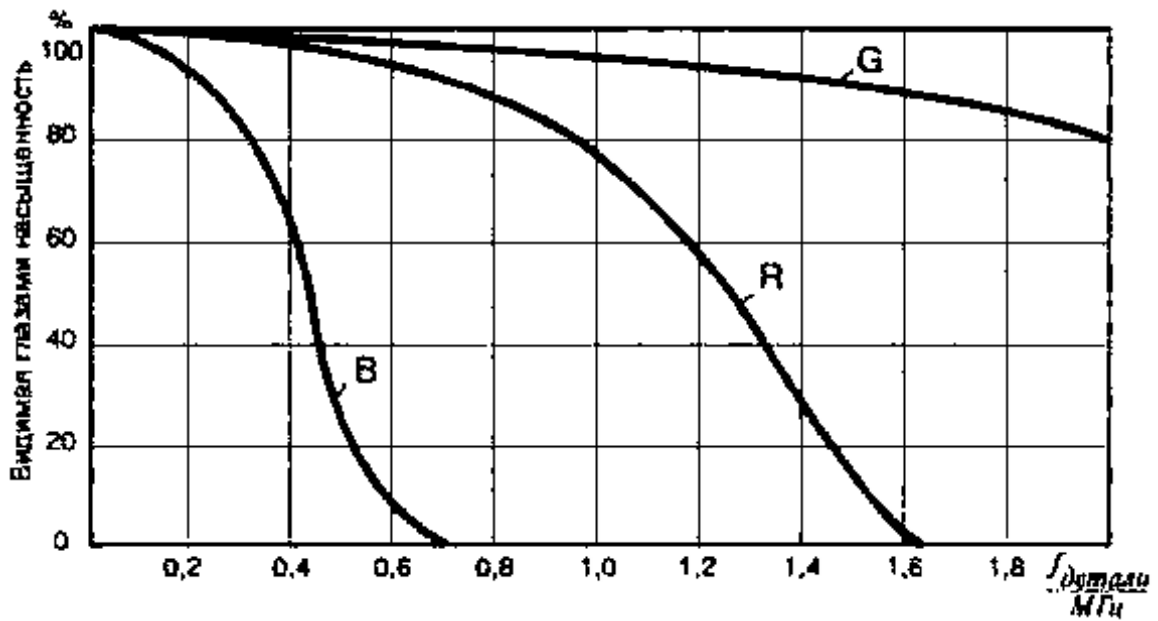


Рис. 3.16. Залежність видимої насиченості від розмірів деталей і їх кольору.

Завдяки цій важливій властивості зору виявилось можливим істотно скоротити обсяг інформації про колір, переданої по каналах зв'язку і відтвореної на екрані кольорового телевізора, тобто зменшити смугу частот сигналу кольоровості в порівнянні з смугою частот для сигналу яскравості кольорового телебачення NTSC і PAL.

*Лекція 12.* Особливості формування сигналів яскравості і кольоровості. Кольоро-різницеві сигнали. Системи кольорового телебачення NTSC, PAL, SECAM.

### **Особливості формування сигналів яскравості і кольоровості**

В кольоровому телебаченні в даний час використовується адитивний метод змішування кольорів, який, в свою чергу може бути або послідовним (почерговим) або одночасним.

Цей метод можна проілюструвати шляхом одночасної безперервної проекції на екран трьох основних кольорів за умови перекривання ними однієї і тієї ж поверхні екрану. Відповідно до трикомпонентної колірної теорії, використовуючи зміщення трьох основних кольорів, виявилось можливим отримати необхідну безперервну гамму колірних тонів. У тих ділянках, де основні кольори не перекриваються, вони зберігають свій первісний тон.

Різні комбінації яскравості змішаних основних кольорів дозволяють отримати інші відтінки, а відсутність всіх трьох кольорів сприймається як чорне.

Слід зауважити, що колірний тон результуючої суміші завжди залежить від співвідношення інтенсивностей змішуваних кольорів. Якщо збільшити (або зменшити) інтенсивність первинних кольорів в однакове число разів, то колірний тон суміші залишиться незмінним, зміниться лише її яскравість. Будь-яка зміна відносних інтенсивностей змішуваних кольорів неминуче призводить до зміни результуючої суміші.

Експериментально встановлено, що кількісно і якісно світловий потік  $E'$  може бути визначений таким рівністю:

$$E'_Y = r E'_R + g E'_G + b E'_B \quad (3.3)$$

Значення коефіцієнтів  $r$ ,  $g$ ,  $b$  на передавальній стороні визначаються координатами основних кольорів і білого кольору, які є різними в системі NTSC і системах SECAM, PAL. Однак історично склалося так, що для всіх систем КТ прийняті однакові значення коефіцієнтів, що відповідають основним кольорам системи NTSC і так званому білому С (це колір світіння абсолютно чорного тіла при температурі 6500°C). При цьому формула (3.3) набуде вигляду (3.4)

$$E'_Y = 0,299 E'_R + 0,587 E'_G + 0,114 E'_B \quad (3.4)$$

Штрихи показують, що сигнали пройшли ланцюги  $\gamma$ -корекції, що компенсують спотворення, викликані нелінійною залежністю яскравості світіння екрана кінескопа від амплітуди модулюючого сигналу.

Такий яскравісний сигнал необхідний для роботи приймачів чорно-білого телебачення. Нерівнозначність числових коефіцієнтів в останньому рівнянні враховує особливості спектральної чутливості зору людини.

Зі співвідношення (3.3) очевидно, що при наявності сигналу яскравості  $E_Y$  немає необхідності в передачі трьох кольороподілених сигналів,  $E_R$ ,  $E_G$  і  $E_B$ . Досить передати будь-які два з них, а третій можна отримати безпосередньо на приймальному боці шляхом вирахування переданих двох з сигналу яскравості. Таке перетворення називається колориметричним кодуванням.

Наприклад, зелений колір в приймальнику можна отримати за допомогою рівняння:

$$E_G = 1,7 E_Y - 0,51 E_R - 0,19 E_B \quad (3.5)$$

При користуванні приведеними тут рівняннями необхідно пам'ятати, що знак мінус перед числовим коефіцієнтом означає інверсію полярності розглянутого сигналу по відношенню до сигналу, полярність якого прийнято вважати позитивною. Іншими словами, операцію віднімання одного сигналу з іншого замінюють складанням, попередньо змінивши полярність того сигналу, перед вираженням якого стоїть знак мінус.

### **Кольоро-різницеві сигнали**

Практично в сумісних системах кольорового телебачення передача інформації про колір здійснюється за допомогою двох будь-яких кольоро-різницевих сигналів.

Кольоро-різницеві сигнали передаються для того, щоб забезпечити принцип постійної яскравості, заснований на тому, що розподіл яскравості зображення визначається тільки яскравісним сигналом і не змінюється при додаванні сигналу кольоровості. Це необхідно для забезпечення вимоги сумісності систем кольорового і чорно-білого телебачення.

У звичайних передачах кольорового телебачення велику питому вагу мають зображення з численними чорно-білими ділянками. Крім того, більшість ділянок цих зображень мають слабку насиченість, тобто переважають рожеві, світло-блакитні, слабо-зелені і тому подібні тони. Деталі з високою насиченістю зустрічаються відносно рідко. Слід зазначити, що складові колірних сигналів  $E_R$  і  $E_B$ , що передаються всередині спектра сигналу яскравості  $E_Y$ , будуть видні на екрані чорно-білого телевізора у вигляді мілкоструктурної сітки, що повільно переміщується. Ця заважаюча сітка буде існувати і при передачі чорно-білих об'єктів, так як три передають трубки розкладають це зображення на три кольорових, в результаті чого утворюються сигнали  $E_R$ ,  $E_G$ ,  $E_B$ . Тому

навіть при передачі чорно-білих зображень повний сигнал буде містити крім сигналу яскравості  $E_Y$  і колірні сигнали  $E_R$  і  $E_B$ .

У всіх сучасних телевізійних системах завдання усунення завад від мілкоструктурної сітки вирішується шляхом заміни в повному сигналі кольорового телебачення кольорових сигналів  $E_R$  і  $E_B$  кольоро-різницевиими сигналами  $E_R - E_Y$  і  $E_B - E_Y$ . Останні створюються у відповідних матрицях передавального пристрою шляхом обчислення сигналу яскравості з відповідного сигналу кольороподілених зображень:

$$E_{R-Y} = E_R - E_Y; E_{G-Y} = E_G - E_Y; E_{B-Y} = E_B - E_Y \quad (3.6)$$

Віднімання з сигналу основного кольору сигналу яскравості формально означає, що кольоро-різницевий сигнал містить дані про палітру кольорів, але не про яскравість.

Для передачі по ТБ тракту використовують яскравісний сигнал  $Y$  і кольоро-різницеві сигнали  $R - Y$ ,  $B - Y$ . Перехід до цієї тріади сигналів, запропонований при розробці системи NTSC, вирішує ряд фундаментальних завдань:

1. Яскравісний сигнал забезпечує пряму сумісність, тобто можливість прийому кольорових передач на чорно-білі телевізори без будь-якої переробки останніх.

2. Так як у властивостях зорового сприйняття дрібні деталі можна відтворювати без забарвлення, в чорно-білому вигляді, то повну смугу відеочастот, необхідну стандартом, повинен мати лише яскравісний сигнал. Це дозволяє істотно скоротити загальну смугу частот кольорового ТБ тракту, завдяки чому сигнали  $Y$ ,  $R - Y$  та  $B - Y$  прийняті не тільки для існуючих систем кольорового ТБ, але і для перспективних систем, для яких вимога сумісності не обов'язкова. Крім того, застосування колірних



сигналів, що мають більш вузьку смугу частот і вносять малий внесок в яскравість ТВ зображення, дозволяє підвищити стійкість системи.

3. З сигналів  $E_{R-Y}$  і  $E_{B-Y}$  частково виключена надлишкова інформація про яскравість. Завдяки цьому, зокрема, їх амплітуда звертається в нуль при передачі білого і сірого (коли  $E_R = E_G = E_Y$ ) і мала на слабо насичених кольорах. Так як такі кольори зазвичай переважають, то середня амплітуда кольоро-різницевих сигналів набагато менша максимальної і набагато менша за ту середньої амплітуди, яка була б при передачі сигналів  $E'_R$ ,  $E'_B$ . Це значно покращує сумісність, а також стійкість.

4. Кольоро-різницеві сигнали дуже зручні для побудови приймача: при виділенні їх шляхом детектування, залишається лише скласти їх з сигналом  $E'_Y$ , щоб отримати сигнали  $E'_R$  і  $E'_B$ , які можна подавати на приймальню трубку (це додавання іноді виконують прямо в трубці). Навіть безпосередня передача сигналів  $E'_R$  і  $E'_B$  виявляється менш зручною, так як до них треба додавати в приймальнику високоякісні компоненти з сигналу яскравості ("суміш високих"), що в схемному відношенні набагато складніше.

### **Системи кольорового телебачення NTSC, PAL, SECAM**

В даний час існують три сумісні системи кольорового телебачення: американська NTSC (від англ. National Television System Committee - Національний комітет телевізійних систем), західнонімецька PAL (від англ. - Phase Alternation Line - рядки зі змінною фазою) і спільна радянсько-французька система SECAM (Systeme sequential couleurs a memoire (франц.) - послідовна передача квітів із запам'ятовуванням).

В усіх трьох системах використовується сигнал яскравості і два кольоро-різницевих сигналів  $E_{R-Y}$  і  $E_{B-Y}$ , які передаються на піднесучій (або на піднесучих, розташованих в спектрі яскравісного сигналу). Різниця полягає в способах модуляції піднесучої (піднесучих).

**Система NTSC** була розроблена і впроваджена в США в 1953 році і стала першою сумісною системою, кольорового телебачення.

У цій системі для передачі двох кольоро-різницевих сигналів використовується квадратурна модуляція. Принцип квадратурної модуляції полягає в тому, що обидва кольоро-різницеві сигнали  $E_{R-Y}$  і  $E_{B-Y}$  модулюють за амплітудою дві складові однієї і тієї ж піднесучої, зсунуті одна відносно іншої по фазі на 90 градусів. Частота піднесучої дорівнює  $= 3,579545$  МГц. Модуляція здійснюється за допомогою балансових модуляторів, в яких піднесуча кольоровості пригнічується, а залишаються лише бічні смуги. Придушення колірної піднесучої істотно зменшує завади на екрані телевізора. Потім вихідні сигнали складаються, утворюючи геометричну суму цих сигналів, тобто повний сигнал кольоровості, який буде змінюватися як за амплітудою, так і по фазі. При цьому амплітуда цього сигналу визначає насиченість, а фаза - колірний тон переданого зображення.

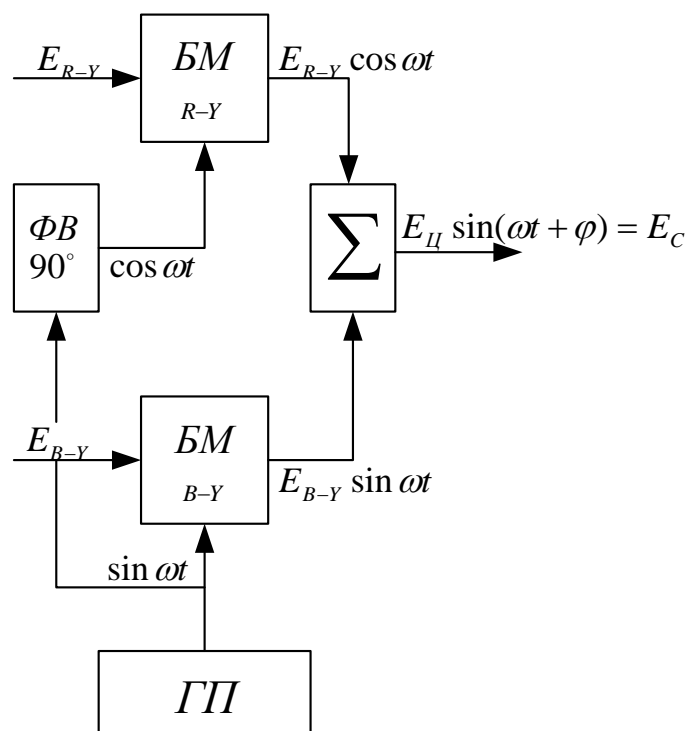


Рис. 3.17. Система NTSC

$$\begin{aligned}
 U_{\text{вых.БМ}} &= E_{R-Y} \cos \omega t + E_{B-Y} \sin \omega t = \\
 &= \sqrt{E_{R-Y}^2 + E_{B-Y}^2} \cdot \left[ \frac{E_{R-Y}}{\sqrt{E_{R-Y}^2 + E_{B-Y}^2}} \cos \omega t + \frac{E_{B-Y}}{\sqrt{E_{R-Y}^2 + E_{B-Y}^2}} \sin \omega t \right] = \\
 &= \left| \begin{array}{l} \sqrt{E_{R-Y}^2 + E_{B-Y}^2} = E_{\Pi} \\ \operatorname{tg} \varphi = \frac{E_{R-Y}}{E_{B-Y}} \end{array} \right| = E_{\Pi} \cdot (\sin \varphi \cdot \cos \omega t + \cos \varphi \cdot \sin \omega t) = \\
 &= E_{\Pi} \cdot \sin(\omega t + \varphi)
 \end{aligned} \tag{3.7}$$

Перевага: Відсутність спектральної складової несучої в спектрі вихідного сигналу.

$$U_{\text{mod}} = \sin \Omega t \tag{3.8}$$

$$U_{\text{вых.БМ}} = A_0 \sin \omega t \cdot \sin \Omega t \tag{3.9}$$

В передаючому пристрої сигнал кольоровості складається з яскравісного сигналу, куди надходять також рядкові і кадрові синхроімпульси, гасячі імпульси і сигнал колірної синхронізації, який необхідний на приймальній стороні, щоб відновити подавлену піднесучу для наступного детектування сигналів активності.

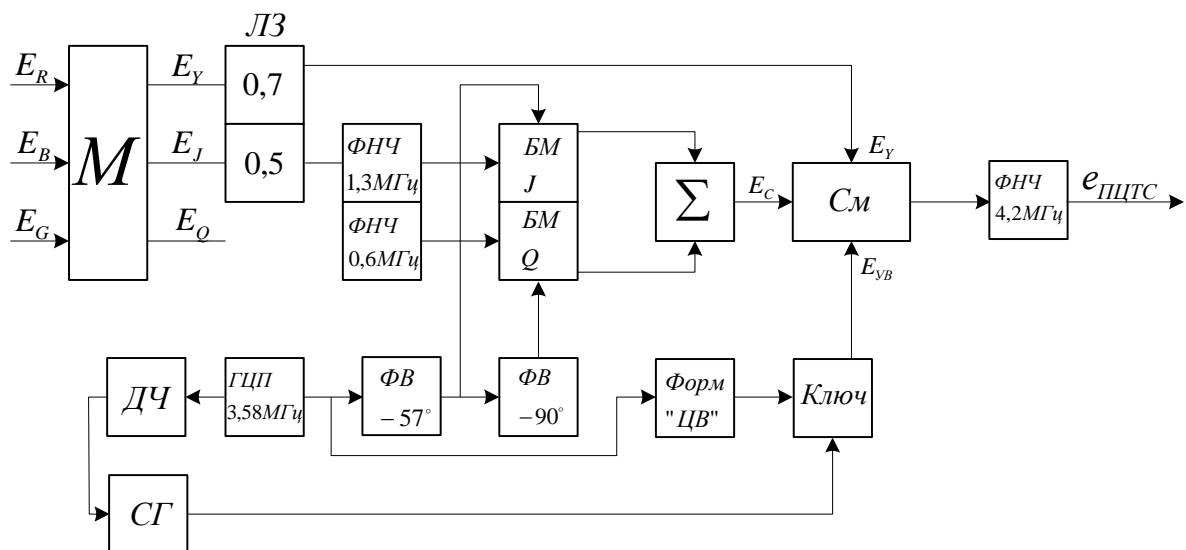


Рис. 3.18. Структурна схема NTSC.

М – матриця;  
 ФНЧ – фільтр низьких частот;  
 БМ – балансний модулятор.;  
 СМ – змішувач;  
 ДЧ – подільник частоти;  
 ГУП – генератор кольорової піднесучої.;  
 ФВ – фазовертач;  
 Форм “ЦВ” – формувач кольорового спалаху;  
 СГ – синхрогенератор.

Для неспотвореного відтворення кольору в приймачі, передавальна станція передає еталонний сигнал по фазі генератора кольорної піднесучої у вигляді сигналу кольорного "спалаху" - це  $f$  періодів  $\sin$  напруги генератора кольорної піднесучої, нульова фаза, якого відповідає негативному напрямку осі В-У. Розташований цей сигнал на задній полиці рядкового гасячого імпульсу.

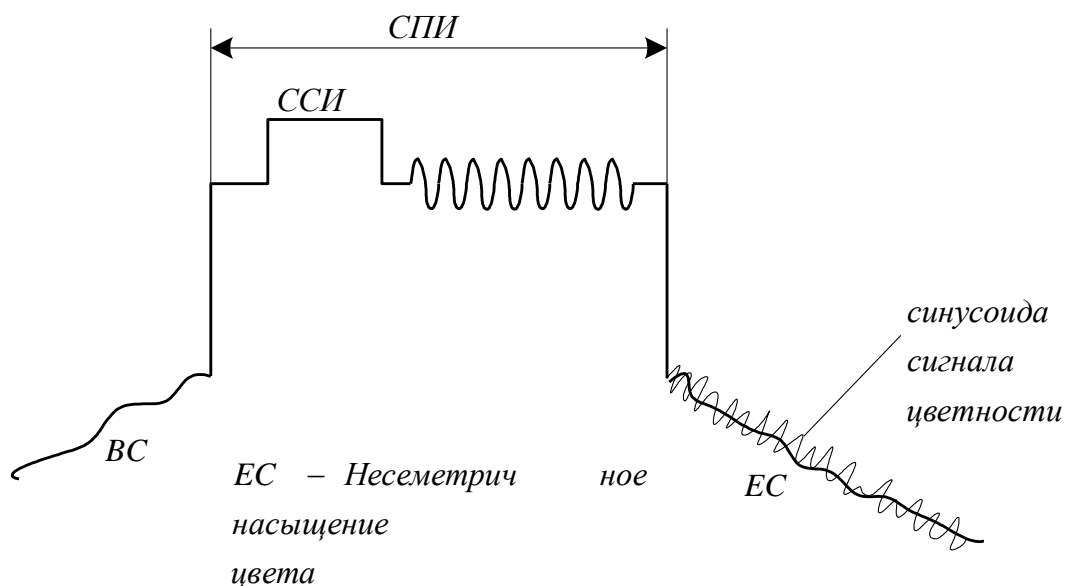


Рис. 3.19. Утворення повного кольорного телевізійного сигналу

При проходженні сигналу через канал з обмеженою пропускнуою здатністю виникає затримка, тривалість якої залежить від ширини смуги. Для часового збігу всіх трьох сигналів  $E_Y, E_Q, E_J$  в більш широкосмугові канали, встановлюються лінії затримки. Так утворюється повний колірний телевізійний сигнал (ПЦТС).

У кольорових телевізорах системи NTSC повний сигнал кольорості розділяється на два кольоро-різницеві сигнали за допомогою синхронних детекторів.

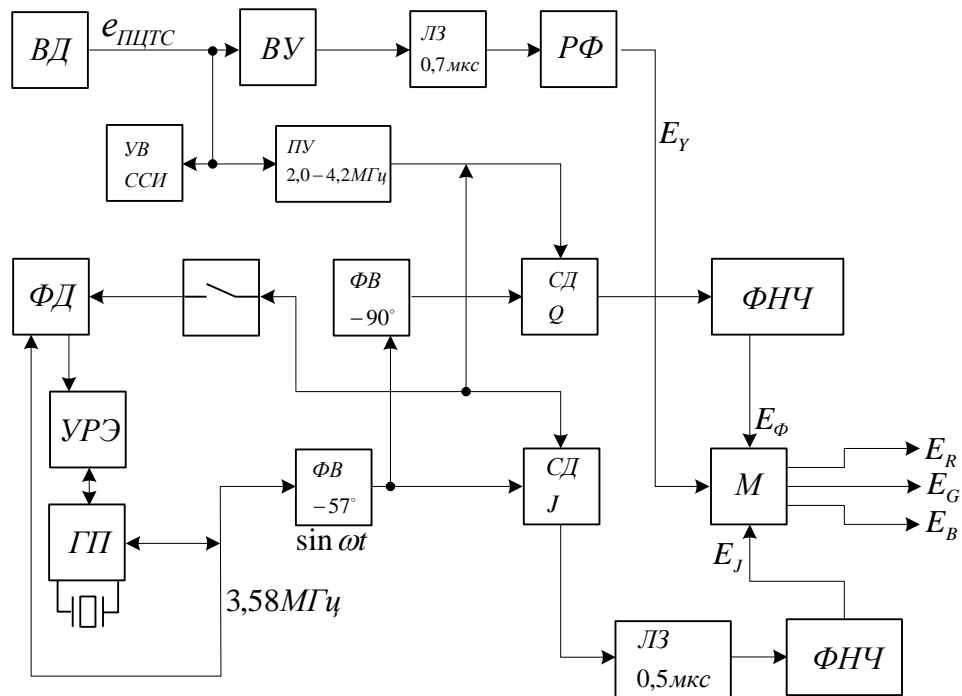


Рис. 3.20. Структурна схема декодуєчого пристрою NTSC.

- ВД – відеодетектор;
- ВУ – відеопідсилювач;
- ЛЗ – лчнчя затримки;
- РФ – режекторний фільтр;
- УВ ССИ – пристрій виділення ССИ;
- ПУ – полосовий підсилювач;
- СД – синхронний детектор;

ФВ – фазовертач;  
 ФНЧ – фільтр НЧ;  
 М – матриця;  
 ФД – фазовий детектор ;  
 УРЭ – керований реактивний елемент;  
 ГП – генератор піднесучої.

Робота:

Схема декодуючого пристрою містить три канали:

- 1-й канал яскравості;
- 2-й канал кольоровості;
- 3-й пристрій фазового підстроювання частоти генератора піднесучої.

Сигнал колірної спалаху виділяється за допомогою ключа керування пристрою виділення ССІ і надходить на один з входів фазового детектора, на інший вхід фазового детектора надходить вихідний сигнал генератора піднесучої. При наявності неузгодженості в частоті і в фазі цих сигналів, на виході фазового детектора з'являється напруга керування, яка впливає на інший реактивний елемент генератора піднесучої нав'язуючи йому частоту і фазу колірної спалаху. Для отримання фазового кута відповідного кольору J (оранжевого) вихідний сигнал генератора піднесучої зсувається на "-57", а для отримання фазового кута кольору Q (пурпурного) ще на "-90". Ці сигнали надходять на відповідні входи синхронних детекторів, на інші входи синхронних детекторів надходить закодований сигнал кольоровості, виділений полосовим підсилювачем. Синхронний детектор - перемножувач сигналів, що надходять на його входи.

$$\begin{aligned}
 U_{\text{вих.СД.}J} &= E_C \sin \omega t = E_{\text{Ц}} \sin(\omega t + \varphi) \sin \omega t = \\
 &= (E_J \sin \omega t + E_Q \sin \omega t) \sin \omega t = \frac{E_J}{2} (1 - \cos 2\omega t) + \\
 &+ \frac{E_Q}{2} \sin 2\omega t = \frac{E_J}{2} \\
 &\text{подавляється ФНЧ} \\
 &\text{подавляється ФНЧ}
 \end{aligned}
 \tag{3.10}$$

В найбільш широкосмугові канали (яскравості і оранжевого кольору) встановлюються лінії затримки, з метою забезпечення одночасного приходу сигналів на входи матриці М. Сигнали основних кольорів відновлюються за формулами:

$$E_R = E_Y + 0,956E_J + 0,621E_Q \quad (3.11)$$

$$E_G = E_Y - 0,272E_J + 0,648E_Q \quad (3.12)$$

$$E_B = E_Y - 1,105E_J - 1,702E_Q \quad (3.13)$$

Переваги:

1. Висока колірна чіткість при вузькополосному каналі передачі.
2. Відносна простота кодуєчих і декодуєчих пристроїв.
3. Хороша сумісність з Ч/Б телевізором за рахунок балансної модуляції і перемежування спектра.

недолік:

Сильна чутливість до фазових спотворень які призводять до зміни колірному тону:

$$e_{ЦТВ} = E_Y + E_C = E_Y + E_C (\sin \omega t + \varphi_C) \quad (3.14)$$

Система NTSC забезпечує високу чіткість кольорового зображення, легко здійснює поділ кольоро-різницевих сигналів без застосування лінії затримки, але має велику чутливість до фазових спотворень, які призводять до залежності колірному тону від амплітуди сигналу яскравості.

Крім фазових спотворень, система NTSC схильна до амплітудно-частотних спотворень, які викликають зміну насиченості в кольорах темних і світлих ділянок зображення.

Система NTSC забезпечує найвищу якість кольорового зображення, але вимагає високої технічної якості прийомопередавальної апаратури.

Система PAL була розроблена і впроваджена на початку 60-х років фірмою «Телефункен» (ФРН). Система PAL є більш досконалою, ніж NTSC. Вона дозволяє істотно зменшити властиві системі NTSC фазові спотворення.

Як і в системі NTSC, в системі PAL застосована квадратурна модуляція (колірної) піднесучої, але на відміну від неї фаза складової піднесучої, яка модулюється червоним кольоро-різницею сигналом, змінюється від рядка до рядка на 180 градусів (рис. 3.21).

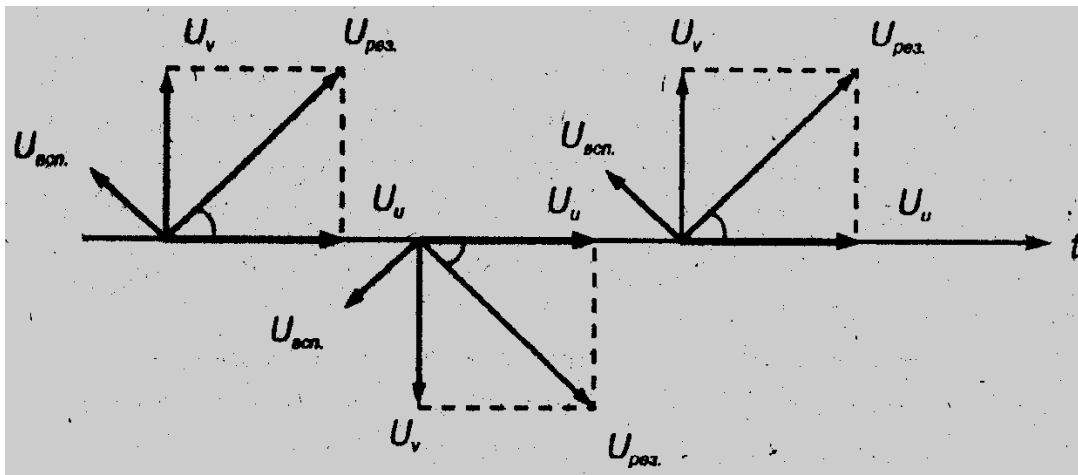


Рис.3.21. Векторограма сигналу PAL

Модуляція здійснюється сигналами  $E_U = 0,493 E_{B-Y}$  і  $E_V = 0,877 E_{R-Y}$ .

Складова піднесучої, модульована синім кольоро-різницею сигналом, має постійну фазу. Частота піднесучої обрано рівною  $= 4,43361875$  МГц з урахуванням мінімальної помітності цієї піднесучої на забарвлених ділянках кольорового зображення. На чорно-білих ділянках зображення завада від піднесучої відсутня, так як вона придушується при передачі чорно-білого зображення. Модуляція піднесучої здійснюється за допомогою балансових модуляторів (рис. 3.22).



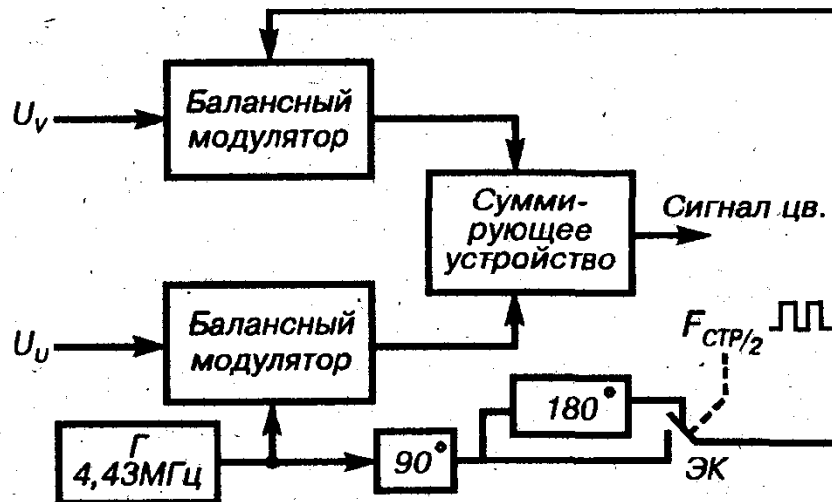


Рис.3.22. Спрощена структурна схема кодуєчого пристрою PAL

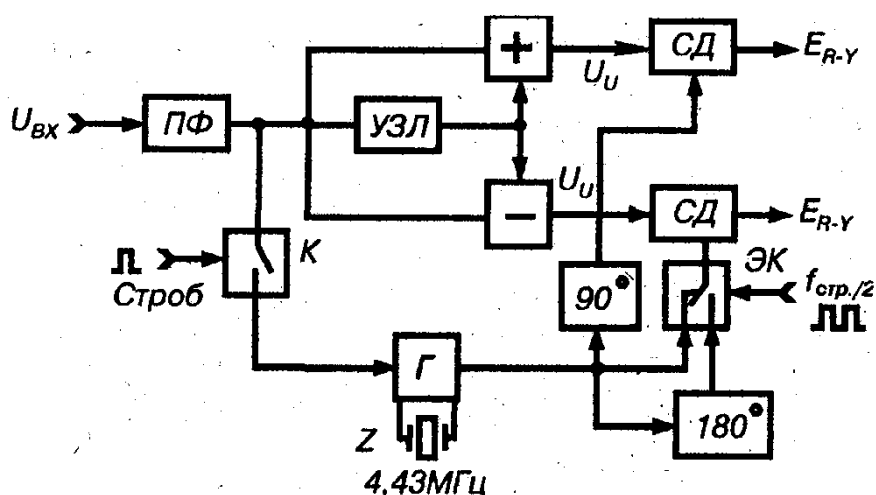
Сигнали, одержувані на виходах балансних модуляторів, складаються в сумуючому пристрої, утворюючи результуючий сигнал кольоровості  $V_{рез}$ . З рис.3.22 видно, що піднесуча, яка подається на модулятор «В-У» з генератора Г, подається безпосередньо (фаза 0 градусів), а на модулятор «R-У» через електронний комутатор ЕК, який перемикається сигналом напіврядкової частоти  $f_{стр}/2$ . Причому в одному рядку піднесуча надходить на модулятор через фазообертач 90 градусів, а в інший -через інвертор 180 градусів.

Як і в системі NTSC, результуюче коливання має одночасно амплітудну і фазову модуляції. При цьому амплітуда сигналу кольоровості визначає насиченість, а фаза - колірний тон переданого зображення.

Для відновлення в телевізорі придушеної піднесучої кольоровості, як і в системі NTSC, на задньому майданчику рядкового гасячого імпульсу передається спалах піднесучої, що складається з десяти періодів колірної піднесучої.

На відміну від NTSC фаза спалаху дорівнює +45 градусів і -45 градусів щодо негативного напрямку осі R-У в парній і непарній рядках відповідно.

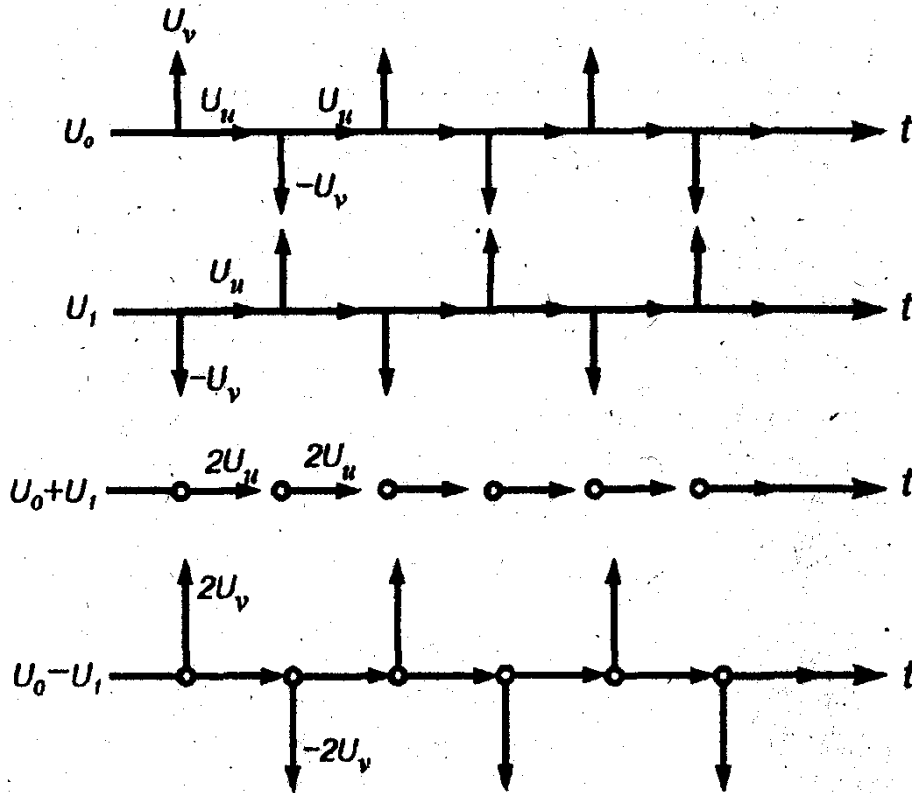
За фазою спалаху в телевізорі визначається знак складової  $U_V$ .



Мал. 3.23. Спрощена структурна схема декодера PAL.

Розглянемо спрощену структурну схему одного з варіантів декодера PAL (рис. 3.23).

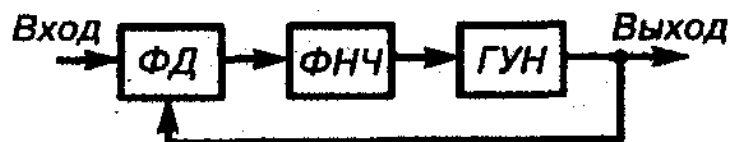
Повний колірний телевізійний сигнал надходить на полосовий фільтр ПФ, налаштований на смугу частот, яку займає сигнал кольоровості в спектрі відеосигналу. Виділений полосовим фільтром сигнал кольоровості надходить на вхід ультразвукової лінії затримки на час одного рядка (64 мкс), на електронний ключ К, що виділяє сигнал колірної синхронізації (спалах), і на пристрій складання (+) і віднімання (-). В результаті складання прямого сигналу із затриманим придушуються складові і виділяються подвоєні складові з постійним знаком. При відніманні затриманого сигналу з прямого придушуються складові і виділяються подвоєні складові. Знак чергується від рядка до рядка. На рис. 3.24 показані векторограми, що пояснюють принцип поділу сигналів кольоровості PAL.



Мал. 3.24. Векторграмми, що пояснюють принципи поділу сигналів PAL

Для отримання з компонент  $U_V$  і  $U_U$  кольоро-різницевих сигналів необхідно їх продетектувати. Застосовується синхронне детектування. Для його роботи потрібно мати опорний сигнал, частота і фаза якого рівні сигналу придушеної колірної піднесучої. Сигнал формується з спалаху, яка виділяється за допомогою електронного ключа К з повного кольорового телевізійного сигналу.

Спалах подається на генератор, виконаний за системою фазового автоматичного підстроювання частоти ФАПЧ (рис. 3.25).



Мал. 3.25. Формування опорного сигналу піднесучої за допомогою системи ФАПЧ

Система ФАПЧ складається з генератора, керованого напругою ГКН (ГУН), фазового детектора ФД і фільтра нижніх частот ФНЧ.

Напруга генератора, керованого напругою впливає на один з входів фазового детектора, на інший вхід-сигнал спалаху. Якщо частота генератора, керованого напругою близька до частоти спалаху, то відбувається захоплення генератора, керованого напругою по частоті і фазі. У сталому режимі опорний сигнал на виході генератора, керованого напругою дорівнює частоті спалаху, а отже, частоті колірної піднесучої.

Для підвищення стабільності роботи ФАПЧ а також його завадозахищеності частоту генератора, керованого напругою стабілізують кварцем. Розділені сигнали кольоровості надходять на входи синхронних детекторів СД.

У сталому режимі фаза опорної піднесучої на виході генератора, керованого напругою збігається з віссю виходу R-Y і дорівнює 90 градусам.

Для правильного детектування необхідно забезпечити збіг фаз опорного сигналу з сигналами кольоровості. Для цього на синхронний детектор сигналу кольоровості (B-Y) опорний сигнал необхідно подавати через фазообертач на 90 градусів, на синхронний детектор сигналу кольоровості (R-Y) опорний сигнал подають на один з входів електронного комутатора ЕК безпосередньо, а на іншій - через фазоінвертор на 180 градусів.

Електронний комутатор перемикається за допомогою сигналу напіврядкової частоти  $f_{стр}/2$ . Фаза роботи ЕК засинхронізована за допомогою блоку колірної синхронізації (на рис. 3.23 не показаний).

Якщо у вхідному сигналі є фазові спотворення, то при додаванні (відніманні) прямого і затриманого сигналів під час їх поділу ці спотворення компенсуються.

Система PAL має ряд переваг:

1. Відсутня завада від піднесучої на незафарбованих ділянках зображення, так як піднесуча не передається.

2. фазові спотворення відсутні і тому не викликають порушень колірному тону.

3. Мала чутливість до «асиметрії» смуги пропускання каналу кольоровості.

4. При поділі сигналів кольоровості виділяється подвоєна амплітуда складових  $U_V$  і  $U_U$ , що підвищує відношення сигнал / шум.

5. Зменшуються «перехресні» спотворення, що виникають між сигналами яскравості і кольоровості (визначається оптимальним вибором частота піднесучої).

Недоліком системи PAL є зниження чіткості зображення через усереднення сигналу кольоровості в двох наступних рядках.

### **Особливості кодування і декодування системи SECAM.**

Система SECAM була запропонована французьким інженером Анрі де Франсом в 1958 році, потім велися спільні роботи радянських і французьких інженерів, і 1 жовтня 1967 року система була одночасно введена в експлуатацію в СРСР і Франції.

У цій системі кольоро-різницеві сигнали передаються по черзі: протягом одного рядка передається, наприклад, червоний, протягом наступного - синій кольоро-різницевий сигнал і т. д.

Кольоро-різницеві сигнали передаються за допомогою двох піднесучих частот:

$$f_{or} = 4,406 \text{ МГц}$$

$$f_{ob} = 4,250 \text{ МГц.}$$

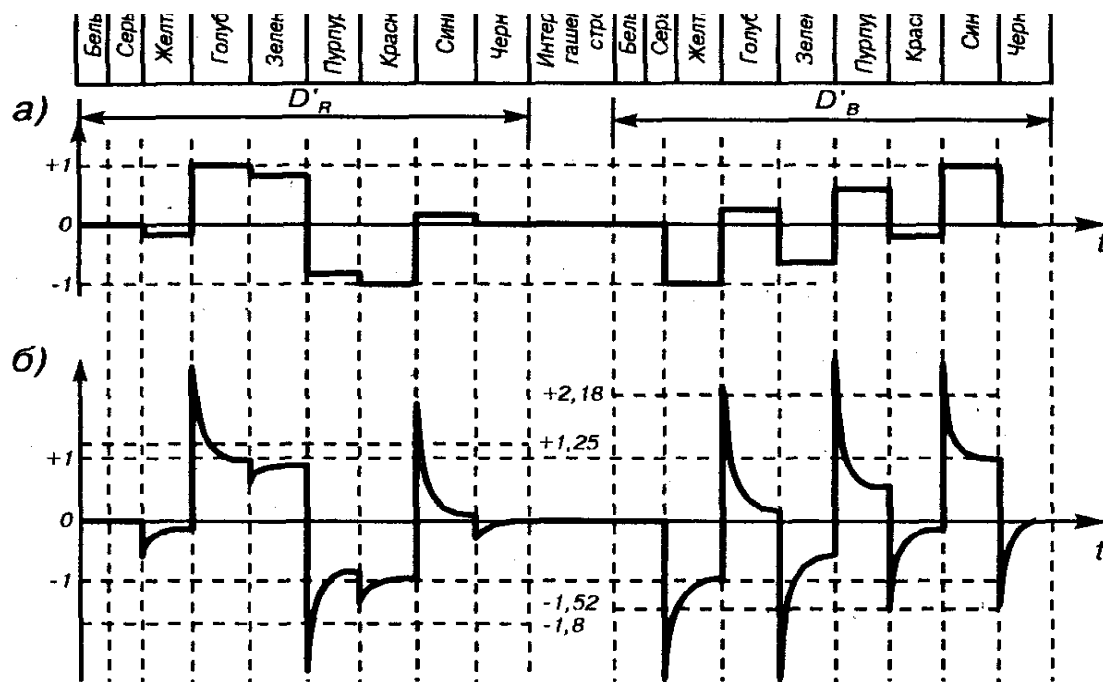
Ці частоти є гармоніками рядкової розгортки (перша в 282 рази, а друга в 272 рази вище частоти рядкової розгортки). Вибір частот піднесучих,

проведений з умов максимального придушення завад від піднесучих на екранах телевізорів.

Піднесучі модулюють дещо видозміненими кольоро-різницевиими сигналами (див. Рис. 3.26 а).

$$D_r = -1,9 E_{p-y} \quad \text{і} \quad D_b = 1,5 E_{B-Y} \quad (3.15)$$

Використання сигналів  $D_r$  і  $D_b$  також зменшує видимість завади від піднесучої на екранах чорно-білих телевізорів, тобто поліпшується сумісність а також стійкість системи.



Мал. 3.26. Формування повного колірною ТВ-сигналу вертикальних кольорових смуг по системі SECAM

а - сигнали  $D_r$  і  $D_b$  до НЧ передспотворень; б - сигнали  $D_r$  і  $D_b$  після НЧ-передспотворень

На рис. 3.27. показана структурна схема кодууючого пристрою системи SECAM.

За допомогою спеціальних кольороподільних дзеркал, які входять до складу передавальної камери, зображення розкладається на три основні складові світлового потоку - червону R, зелену G і синю B.

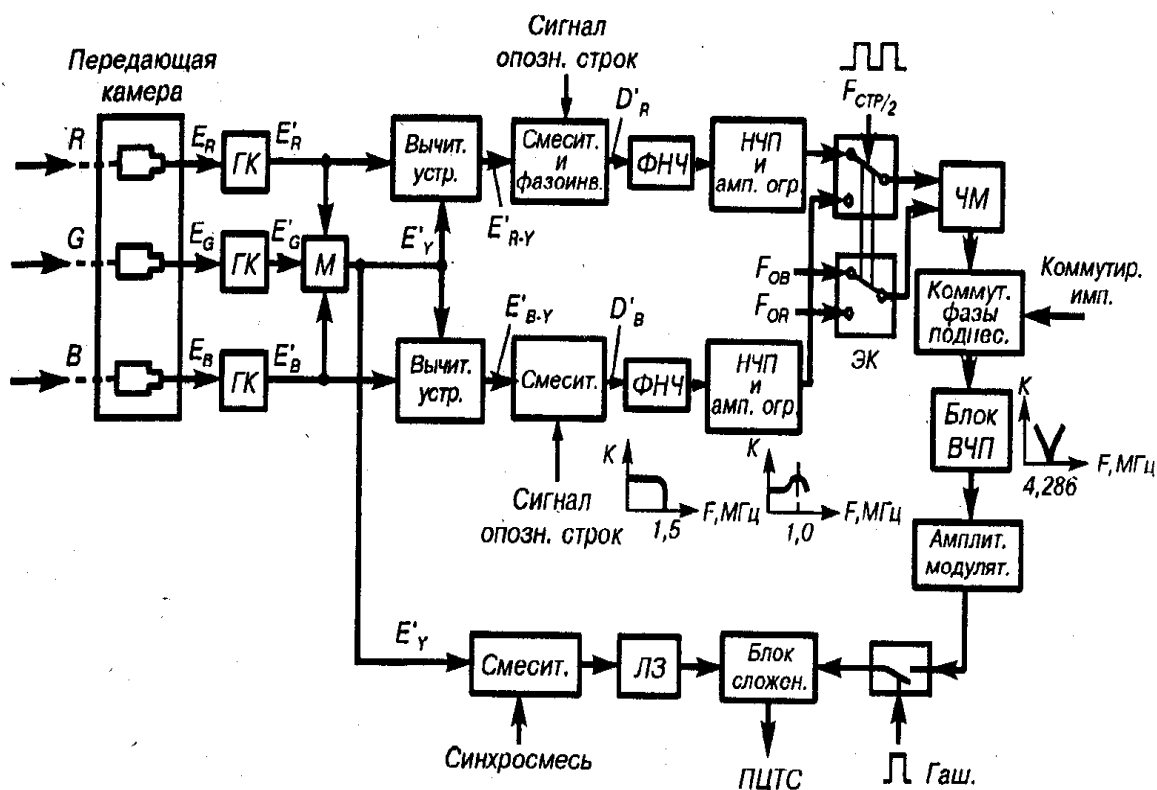


Рис. 3.27. Структурна схема кодуєчого пристрою системи SECAM

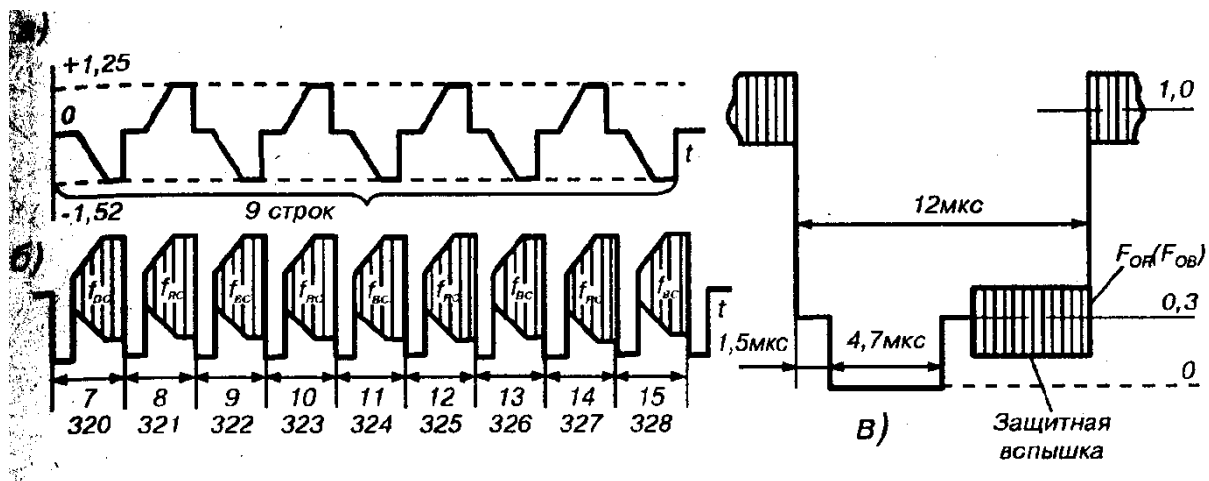
В передавальній камері світлові потоки за допомогою трьох передавальних трубок перетворюються в електричні сигнали  $E_R$ ,  $E_G$  і  $E_B$ , що несуть інформацію тільки про певний колір. Сигнали  $E_R$ ,  $E_G$  і  $E_B$  проходять через гамма-коректор ГК, де відбувається компенсація спотворень, викликаних нелінійною залежністю яскравості світіння екрана кінескопа від амплітуди модулюючого сигналу. (Сигнали, які пройшли через гамма-коректори ГК прийнято позначати зі штрихом  $-E_R'$ ,  $E_B'$ ,  $E_G'$ ,  $E_Y'$  і т. Д. У подальшому для спрощення штрихи в тексті опущені.)

В матриці М все три сигнали  $E_R$ ,  $E_G$  і  $E_B$  складаються в певній пропорції для отримання сигналу яскравості  $E_Y$ .

В віднімаючих пристроях із сигналів основних кольорів  $E_r$  і  $E_b$  віднімається сигнал яскравості  $E_y$ , в результаті чого на їх виходах утворюються кольоро-різницеві сигнали  $E_r-y$  і  $E_b-y$ .

Сигнал  $E_r-y$  надходить на змішувач і фазоінвертор. Тут сигнал  $E_r-y$  посилюється і перетворюється в сигнал  $D_r = -1,9 E_r-y$ . Сигнал же  $E_b-y$  перетворюється в сигнал  $D_b = 1,5 E_b-y$ . До них додаються сигнали колірної синхронізації (сигнали впізнання рядків), необхідні для належного функціонування електронного комутатора в телевізорі.

Сигнали колірної синхронізації представляють собою дев'ять імпульсів у формі усіченої трапеції з полярністю, що змінюється від рядка до рядка (рис. 3.28 а). Ці імпульси модулюють по частоті піднесучі кольоровості  $f_{or}$  і  $f_{ob}$ , збільшуючи в червоних рядках або зменшуючи в синіх рядках їх частоту (рис. 3.28 б).



Мал. 3.28. Сигнали колірної синхронізації а - низькочастотні; б - високочастотні; в - захисний пакет (спалах)

Сигнали колірної синхронізації передаються під час кадрового гасячого імпульсу КГИ в рядках 7-15 і 320-328, (рис. 3.28 б).



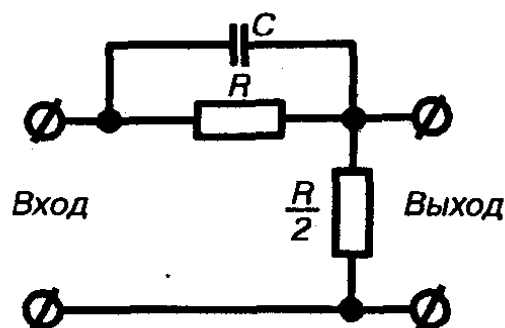
Згідно з рекомендацією міжнародної консультативної комісії - МККР, покадрова колірна синхронізація надалі буде виключена, щоб звільнити місце для, передачі іншої інформації, наприклад, сигналів телетексту.

В якості сигналів колірної синхронізації можна використовувати захисні пакети (спалахи), що передаються на задньому майданчику рядкового гасячого імпульсу (рис. 3.28 в).

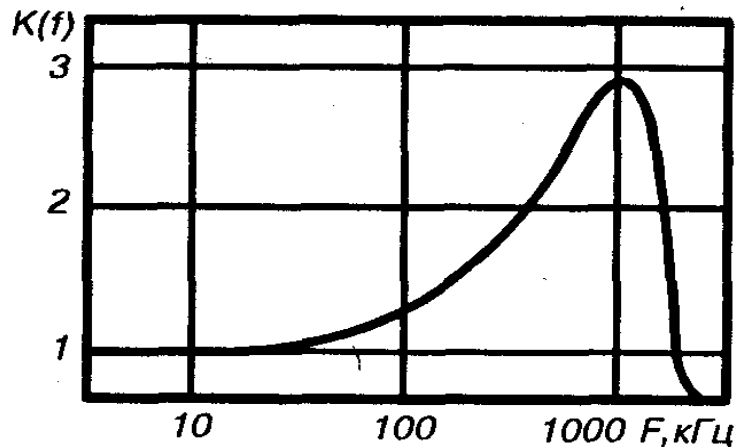
Захисні пакети мають частоту піднесучих сигналів кольоровості  $f_{or}$  і  $f_{ob}$  і служать для завершення перехідних процесів в каналі кольоровості телевізора до початку активної частини рядка. Використовуються захисні пакети і для формування в кольоро-різницевих сигналах плоских ділянок для фіксації рівня чорного;

Потім сигнали  $D_r$  і  $D_b$  проходять фільтри нижніх частот - ФНЧ, в яких спектр цих сигналів обмежується до 1,5 МГц. З виходу ФНЧ сигнали надходять на пристрій НЧ передспотворень НЧП, де відбувається підйом високочастотних складових сигналів  $D_r$  і  $D_b$ . Попередня корекція цих сигналів проводиться з метою підвищення їх завадостійкості. На рис. 3.29 показана ланцюг, що виконує подібну корекцію.

На рис. 3.30 приведена амплітудно-частотна характеристика цього ланцюга.



Мал. 3.29. Ланцюг НЧ- передспотворень кольоро-різницевих сигналів



Мал. 3.30. АЧХ ланцюга НЧ-передспотворення кольоро-різницевих сигналів

Форма сигналів  $D_r$  і  $D_b$  після НЧ-корекції представлена на рис. 3.26 б. В результаті НЧ-корекції в сигналах з'являються викиди на переходах. Амплітуда викидів обмежується таким чином, щоб не допустити надмірного збільшення девіації частоти піднесучої. Далі сигнали  $D_r$  і  $D_b$  надходять на частотний модулятор ЧМ через електронний комутатор ЕК, керований імпульсами напіврядкової частоти.

Комутатор ЕК поперемінно підключає кольоро-різницеві сигнали до частотного модулятора. На другий вхід модулятора через інший комутатор надходять, також поперемінно, піднесучі частоти червоного і синього кольоро-різницевих сигналів.

Обидва комутатора працюють синхронно, тому, коли передається червоний кольоро-різницевий сигнал, на модулятор поступає піднесуча частотою  $f_{or} = 4,406$  МГц, а коли передається синій кольоро-різницевий сигнал, на модулятор надходить відповідно піднесуча частотою  $f_{ob} = 4,250$  МГц. Варто відзначити, що оскільки піднесучі частоти  $f_{or}$  і  $f_{ob}$  передаються по черзі, то вбачається доцільним вибір значення однієї частоти. Так, власне, і було зроблено в першому варіанті системи SECAM.

Однак подальший досвід експлуатації показав, що найкращі умови завадозахищеності виникають, коли кольоро-різницеві сигнали модулюють свою піднесучу. Цим і пояснюється використання двох піднесучих частот  $f_{or}$  і  $f_{ob}$ .

Для зменшення помітності на екрані телевізора завад від піднесучих в комутаторі фази здійснюється перемикання фази кожної з піднесучих на 180 градусів через два рядки.

У блоці високочастотних передспотворень ВЧП сигнали кольоровості пропускаються через спеціальний фільтр, в якому піднесучі придушуються з метою ослаблення видимості цих піднесучих на чорно-білому зображенні.

Амплітудно-частотна характеристика (рис. 3.31) цього фільтра має форму перевернутого дзвону - «антикlesh» (франц.). Після проходження через ланцюг ВЧ-передспотворень амплітуда сигналів кольоровості стає залежною від частоти девіації (при частотній модуляції частота модульованого коливання відхиляється від свого середнього значення, рівного несучій частоті  $F_0$ , в більшу і меншу сторону на визначену величину, названу девіацією частоти).

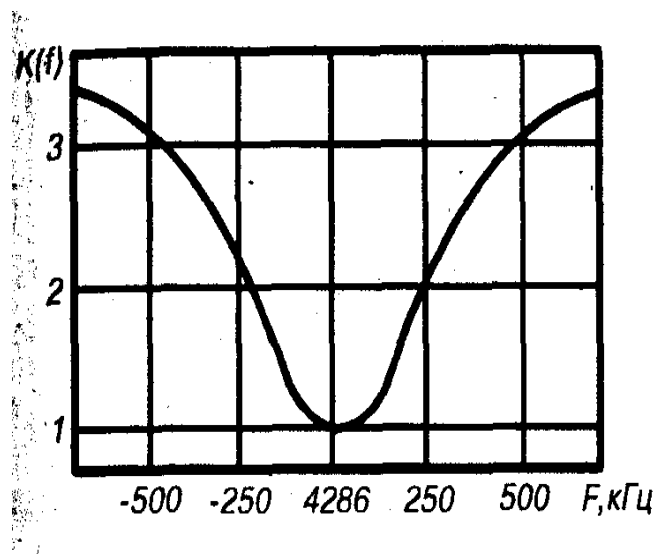
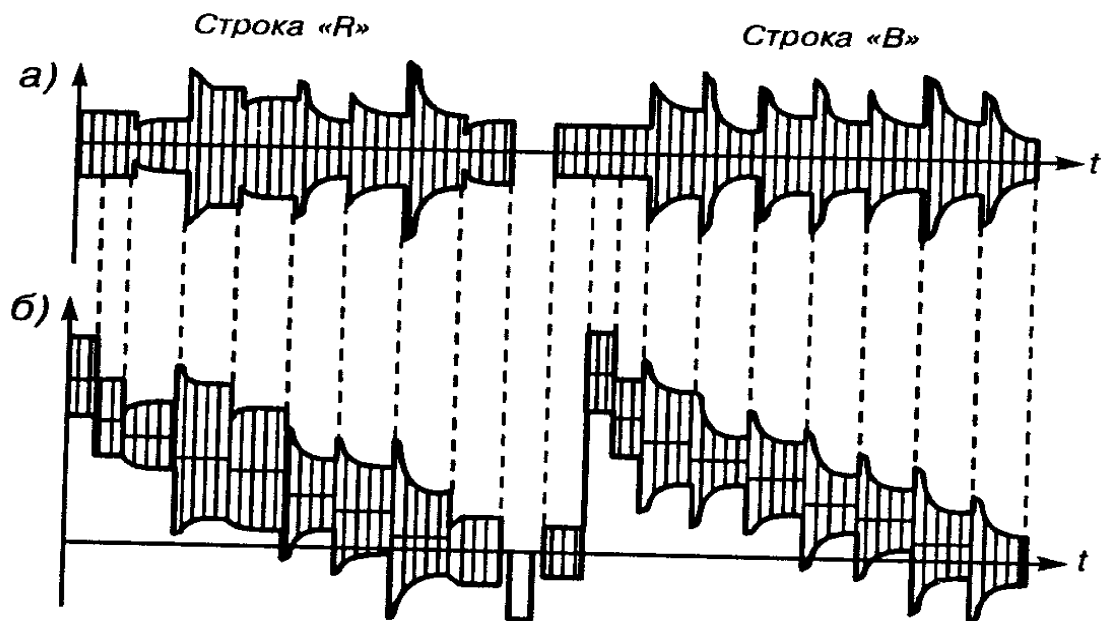


Рис.3.31 Амплітудно-частотна характеристика фільтра

Форма сигналів кольоровості після високочастотних передспотворень показана на рис. 3.32 а.

Далі сигнали кольоровості піддаються додатковій амплітудній модуляції. Для цього в спеціальному пристрої (на структурній схемі не вказано) з сигналу  $E_y$  виробляється напруга з частотами, близькими до піднесучих. Ці напруги і подаються на амплітудний модулятор.



Мал. 3.32. Формування повного колірний ТВ-сигналу вертикальних кольорових смуг ' а - сигнали кольоровості «R» і «B»; б - повний колірний телевізійний сигнал

Додаткова амплітудна модуляція сигналів кольоровості зменшує перешкоди, викликані сигналом яскравості  $E_y$  в каналі кольоровості телевізора. Сигнал яскравості  $E_y$  з виходу матриці  $M$  надходить на змішувач, де змішується з синхроімпульсами. Потім сигнал яскравості проходить лінію затримки на 0,4 мкс, щоб компенсувати запізнювання сигналів кольоровості. У блоці складання сигнал яскравості змішується з сигналами кольоровості, утворюючи повний колірний телевізійний сигнал (рис. 3.32 б).

Слід додати, що перед вступом до блоку складання сигнали кольоровості проходять комутатор К, де відбувається придушення піднесучих при надходженні кадрових і рядкових синхроімпульсів. Таким чином, колірні піднесучі присутні постійно під час передачі відеосигналу, крім моментів часу, коли передаються синхросигнали. Це необхідно для нормальної роботи рядкової й кадрової розгортки в телевізорі.

### **Особливості декодування сигналу SECAM**

На рис. 3.33 показана структурна схема декодуючого пристрою системи SECAM.

Повний колірний телевізійний сигнал надходить на смуговий фільтр «Кльош» (або коректор високочастотних передспотворень КВП), налаштований на частоту 4,286 МГц. Фільтр виділяє сигнали кольоровості з повного кольорового телевізійного сигналу і, крім того виробляє зворотню корекцію високочастотних передспотворень, що вводяться на передавачі для підвищення завадостійкості системи. Після фільтра «Кльош» сигнали кольоровості надходять на підсилювач-обмежувач, де вони посилюються і обмежуються за амплітудою. Потім сигнали кольоровості надходять одночасно в прямий і затриманий канали. За прямому каналу сигнали надходять на вхід електронного комутатора, а в затриманому каналі сигнали кольоровості потрапляють на ультразвукову лінію затримки УЛЗ, де затримуються на тривалість одного рядка 64 мкс, потім надходять на вхід 2 комутатора ЕК. Комутатор ЕК перемикається за допомогою симетричного тригера Тр, який виробляє прямокутні імпульси тривалістю в один рядок. Тригер запускається спеціальними стробуючими імпульсами, що чергуються з частотою рядків.

Протягом одного рядка ЕК знаходиться в положенні, коли з'єднаний вхід 1 з виходом 1' і вхід 2 з виходом 2', а протягом наступного рядка вхід 1 з'єднаний з виходом 2' і вхід 2 - з виходом 1'. Так як ультразвукова лінія

затримки затримує сигнал кольоровості на час рядка, то на входах електронного комутатора будуть завжди діяти одночасно сигнал кольоровості червоного рядка та сигнал кольоровості синього рядка. При правильній фазі роботи тригера  $Tr$  електронний комутатор буде направляти в канал «червоного» сигнал кольоровості червоного рядка, а в канал «синього» - сигнал кольоровості синього рядка.

Для правильної роботи тригера, щоб сигнали потрапляли в «свої» канали, на нього подаються імпульси з блоку колірної синхронізації БКС.

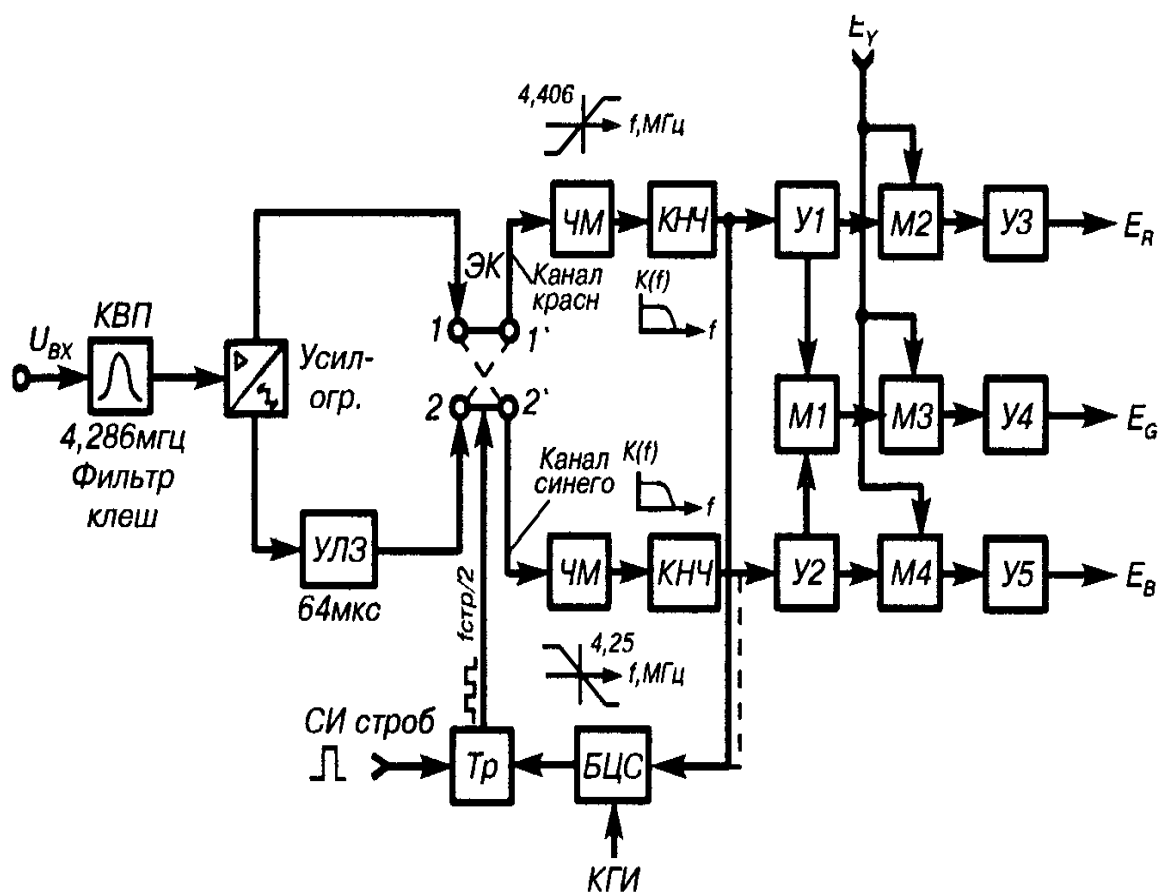


Рис. 3.33. Структурна схема декодуєчого пристрою системи SECAM

Імпульси колірної синхронізації передаються протягом дев'яти рядків на задньому майданчику кадрового гасячого імпульсу. Блок колірної синхронізації відмикається кадровими гасячими імпульсами КГИ, тобто під

час дії імпульсів впізнання. На другий вхід блоку колірної синхронізації надходять сигнали впізнання з каналу «червоного» (можна використовувати сигнали впізнання з каналу «синього»).

При правильній фазі роботи тригера на блок колірної синхронізації будуть надходити сигнали впізнання червоного рядка (частотою 4,67 МГц), на виході блоку колірної синхронізації діятимуть імпульси з полярністю, яка не вплине на роботу тригера. При неправильній фазі роботи тригера на блок колірної синхронізації буде надходити сигнал впізнання синього рядка (частотою 3,9 МГц). Тоді на виході блока колірної синхронізації діятимуть імпульси з полярністю, яка змінить фазу роботи тригера Тр.

З виходу електронного комутатора сигнали кольорності надходять на відповідні частотні детектори ЧД. Так як на вході частотного детектора червоного діє сигнал Ер-у, а на вході детектора синього - сигнал Еб-у, то нахили амплітудних характеристик частотних детекторів повинні мати протилежне значення, для того щоб на їх виходах утворилися кольоро-різницеві сигнали однієї полярності.

З виходу частотних детекторів кольоро-різницеві сигнали Ер-у і Еб-у надходять на коректори низькочастотних передспотворень КНЧ, після яких форма кольоро-різницевих сигналів буде відповідати формі вихідних кольоро-різницевих сигналів Ер-у і Еб-у.

Після посилення в підсилювачах У1 і У2, кольоро-різницеві сигнали надходять на матрицю М1 де в результаті їх складання в певній пропорції виділяється кольоро-різницевий сигнал  $E_{Q-Y}$ . У матрицях М1, М3, М4 в результаті складання кольоро-різницевих сигналів з яскравісним сигналом Еу виділяються сигнали основних кольорів Ер, Ег і Еб.

З виходів матриць сигнали Ер, Ег і Еб надходять на вихідні підсилювачі, де посилюються до рівня, необхідного для модуляції струмів променів кінескопа.

Система SECAM, як і інші системи кольорового телебачення, має свої переваги і недоліки. Так, наприклад, в порівнянні з NTSC фазові спотворення не призводять до спотворення колірному тону зображення. Однак в системі SECAM колірні чіткість знижена вдвічі, так як сигнали кольоровості передаються через рядок і в телевізійному приймачі відсутній сигнал займається з попереднього рядка.



## РОЗДІЛ 4. МУЛЬТИМЕДІЙНІ ПРИСТРОЇ ВІДОБРАЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ

### **Тема 4.1. Проектори**

*Лекція 13.* Мультимедійні проектори. CRT-технологія. LCD-технологія. D-ILA-технологія. DLP-технологія. Лазерні проектори.

Проектор це пристрій, що підключається до комп'ютера або ноутбука, планшету, відеокамери і т.д. для отримання зображення на проекційному екрані (Рис. 4.1).



Рис. 4.1. Мультимедійний проектор

У середині корпусу проектора знаходиться джерело світла – лампа або лазерний світлодіод і перетворювач вхідного сигналу в зображення (модулятор). Як правило, проектор має вхід для підключення сигналу від комп'ютера і один або два входи для комутації сигналів відео. У проекторах є також аудіо входи для відтворення звуку на вбудовані динаміки. Проектори мультисистемні і працюють з усіма стандартами телесистемами

(PAL / SECAM / NTSC). Це означає, що ви можете відтворювати будь-яку телевізійну програму і записи з відеокасет і лазерних дисків.

Яскравість і графічне розширення зображення це найважливіші властивості проекторів для презентацій. Говорячи про яскравість проекторів, ми будемо мати на увазі світловий потік проектора, тобто кількість світла, що випромінюється проектором. Світловий потік не залежить ні від розміру екрану, ні від відстані від об'єктива проектора до площини екрану і вимірюється в ANSI люменах. Світловий потік сучасних офісних проекторів перевищує 1000 ANSI-люменів, що дозволяє проводити презентації при звичайному штучному світлі.

Оптична схема проекторів зі стандартними об'єктивами влаштована так, що нижній край зображення виявляється на рівні об'єктива проектора. У більшості моделей проекторів передбачена можливість корекції вертикальних трапецієподібних перекручувань, що виникають при розміщенні проектора значно вище або нижче нормального робочого стану. Проектори формують зображення заданого розміру. При використанні стандартних об'єктивів з коефіцієнтом 2:1 відстань від об'єктива проектора до площини екрану збігається з подвоєною шириною екрану.

Як джерело світла в проекторах використовуються надійні металогалоїдні або металогалогенові лампи з терміном служби не менше 2000 годин. Всі ці лампи по суті є ртутними лампами в які додані солі йоду і бромю. Ці лампи дуже потужні і поставляються в спеціальному ламповому модулі, який включає лампу, відбивач і власне сам модуль з контактами і направляючими для установки в певний проектор. При виході з ладу лампи проектора змінюється весь ламповий модуль в зборі.

### **Мультимедійні проектори: базові технології**

Серед розроблених на сьогоднішній день технологій видачі зображення на проекційний екран можна виділити чотири основні, які отримали

найбільш широке застосування в комерційних продуктах провідних виробників і різняться в першу чергу типом елемента, використовуваного для формування зображення:

- CRT - Cathode Ray Tube.
- LCD - Liquid Crystal Display.
- D-ILA - Direct Drive Image Light Amplifier.
- DLP - Digital Light Processing.

У кожному разі властивості формувача визначають основні переваги та недоліки технології, а, отже, і область застосування створених на її основі проєкційних апаратів.

### **CRT-технологія.**

Мультимедійні проєктори на базі електронно-променевої трубки (CRT) випускаються протягом вже декількох десятиліть (Рис. 4.2). Але, не дивлячись на появу сучасніших технологій, за якістю відтворення зображення (розширення, чіткість, точність передачі кольору), рівню акустичного шуму (менше 20 дБ) і тривалості безперервної роботи (10 000 годин і більше) вони до сих пір не мають собі рівних. Жодна інша технологія поки не забезпечує настільки ж глибокий рівень чорного і настільки ж широкий динамічний діапазон яскравості зображення, завдяки яким CRT-проєктори дозволяють розрізняти деталі навіть при демонстрації затемнених сцен. Фізичні характеристики флюоресцуючого покриття екрану трубки (див. Пристрій CRT-проєктора) виключають втрату інформації при відтворенні відеосигналів різних стандартів (NTSC, PAL, HDTV, SVGA, XGA і т. Д.), А подібність технології виробництва використовуються в проєкторах трубок з телевізійними забезпечує точність передачі кольорів без застосування додаткових алгоритмів гамма-корекції.



Рис. 4.2. CRT-проектор

Володіючи безсумнівними достоїнствами, особливо при демонстрації відео, CRT-проектори мають і ряд істотних недоліків, що обмежують сферу їх застосування. При значних габаритах і масі в кілька десятків кілограм вони програють сучасним портативним мультимедіа-проекторам в яскравості. При характерному для них світловому потоці в межах від 100 до 300 ANSI-лм перегляд програм можливий лише за відсутності зовнішнього освітлення. Для досягнення найкращої якості зображення при встановленні CRT-проектора потрібно виконати безліч тонких налаштувань (зведення променів, баланс білого і т. Д.), Що вимагає залучення кваліфікованого персоналу. Також, після переміщення апарата на нове місце, заміни вийшовшого з ладу компонента або природного спаду параметрів з плином часу всі процедури необхідно повторити заново. Таким чином, до досить високої ціни самого пристрою можуть додатися значні експлуатаційні витрати.

### **Пристрій CRT проектора**

Найбільш досконалі CRT-проектори будуються на трьох електронно-променевих трубках з розміром екрану від 7 до 9 дюймів по діагоналі.

Кожна трубка відтворює один з базових кольорів простору RGB - червоний, зелений або синій (Рис. 4.3).

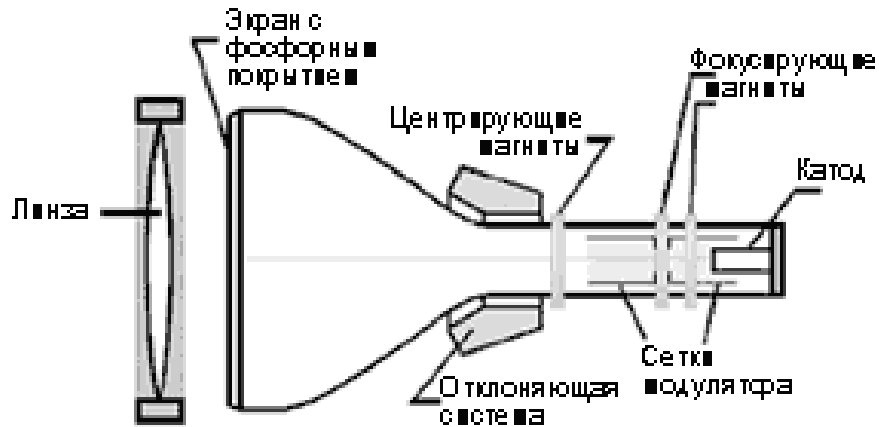


Рис. 4.3. CRT трубка проектора

Виділені з вхідного сигналу кольорні складові керують роботою модуляторів відповідних трубок, змінюючи інтенсивність електронного променя, який під впливом відхиляючого магнітного поля, сканує внутрішню поверхню екрану трубки з фосфорним покриттям. Таким чином на екрані трубки формується зображення одного кольору. За допомогою лінзи воно проектується на зовнішній екран, де змішується з проєкціями від двох інших трубок для отримання повнокольорового зображення.

#### **Переваги CRT:**

- Висока якість зображення.
- Велика тривалість безперервної роботи.
- Глибокий рівень чорного (контрастність).
- Практично необмежене розширення.
- Низький рівень шуму, достатність пасивного охолодження.
- Випробувана часом технологія (понад півстоліття).

#### **Недоліки CRT:**

- Низький рівень яскравості.

- Необхідне періодичне калібрування.
- Нечітка геометрія.
- Не рекомендується для статичних зображень.

### **LCD-технологія**

У мультимедійних проекторах, виконаних за технологією LCD (Liquid Crystal Display), функції формувача зображення виконує LCD-матриця просвітлого типу. За принципом дії такі апарати нагадують звичайні діaproектори (див. Пристрій LCD-проектора) з тією різницею, що зображення, яке проектується на зовнішній екран формується при проходженні випромінюваного лампою світлового потоку не через слайд, а через рідкокристалічну панель, що складається з безлічі електрично керованих елементів - пікселів . Залежно від величини прикладеного до кожного такого елемента змінної напруги змінюється його прозорість, а, отже, і рівень освітленості ділянки екрану, на який проектується даний піксель.

LCD-технологія дозволила істотно здешевити проєкційні апарати, зменшити їх габарити і одночасно збільшити випромінюваний ними світловий потік (в найбільш потужних моделях він досягає і 10000 ANSI-лм). LCD-проектори прості у використанні і налаштуванні і зберігають свої параметри після транспортування.

Разом з тим, через обмеженість власного оптичного розширення, що визначається числом пікселів в рідкокристалічній матриці формувача зображення, LCD-проектори відтворюють без спотворення сигнали тільки одного, як правило, комп'ютерного стандарту SVGA, XGA, HD і т.д. Для відтворення сигналів інших стандартів, в тому числі телевізійних, застосовуються спеціальні алгоритми перетворення графічної інформації до природного для даного проектора цифрового формату. Наявність непрозорих проміжків між окремими пікселями в рідкокристалічних

матрицях призводить до появи на екрані сітки, помітною з близької відстані. З переходом на полікремнієві матриці з більш щільною структурою пікселів і розширенням XGA і вище цей недолік стає практично непомітним, а постійне вдосконалення алгоритмів формування кольорового зображення значно покращує його якість в порівнянні з моделями більш ранньої розробки.

### **Пристрій LCD проектора**

Принцип роботи рідкокристалічних матриць, що використовуються в LCD-проекторах як формувачів зображення, ґрунтується на властивості молекул рідкокристалічної речовини змінювати просторову орієнтацію під впливом електричного поля і надавати поляризуючий ефект на світлові промені (рис. 4.4). У багат шаровій структурі матриці, що представляє собою прямокутний масив безлічі окремо керованих елементів (пікселів) (Рис. 4.5), шар рідких кристалів поміщається між скляними пластинами, на поверхні яких нанесені борозенки. Завдяки їм, у всіх елементах матриці вдається зорієнтувати молекули ідентичним чином, причому, внаслідок взаємно перпендикулярним розташуванням борозенок двох пластин, орієнтація молекул змінюється в міру віддалення від однієї з них і наближення до іншої на 90 градусів.

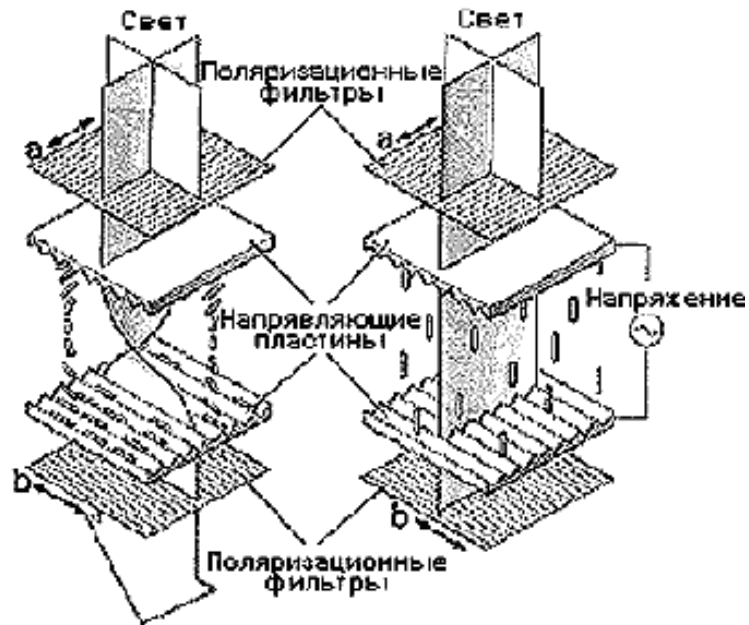


Рис. 4.4. Пристрій LCD комірок

Пропущений через такий шар рідкокристалічної речовини поляризоване світло (див. Рис. 4.4) Також змінює площину поляризації на 90 градусів. Тому структура, в яку додані вхідний і вихідний поляризаційні фільтри з взаємно перпендикулярними осями поляризації (a і b), виявляється прозорою для зовнішнього світлового потоку, частково слабшає при проходженні вхідного поляризатора.

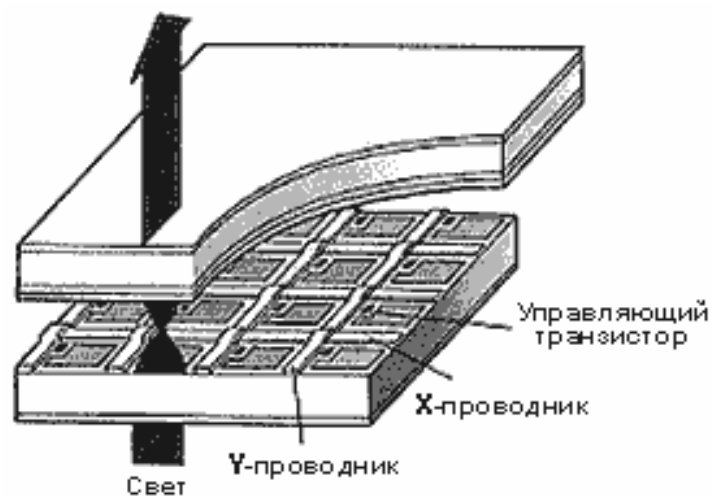


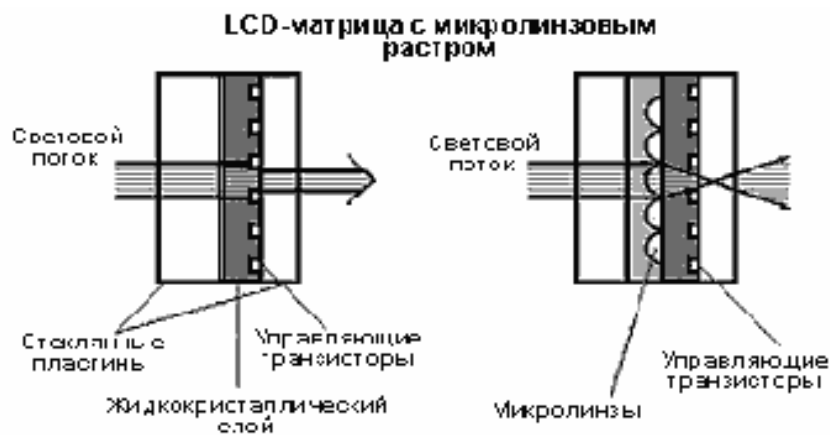
Рис. 4.5. Пристрій LCD матриці



Перебуваючи під впливом електричного поля, молекули рідкокристалічного шару змінюють свою орієнтацію, і кут повороту площини поляризації світлового потоку помітно зменшується. У цьому випадку велика частина світлового потоку поглинається вихідним поляризатором. Таким чином, керуючи рівнем електричного поля, можна змінювати прозорість елементів матриці.

У LCD-панелях з активною адресацією пікселів, виконаних з застосуванням підкладок з аморфного кремнію, кожен елемент працює під управлінням окремого тонкоплівкового транзистора (TFT - Thin Film Transistor).

Сам транзистор і сполучні провідники, займаючи значну частину поверхні матриці, знижують її світлову ефективність, перешкоджаючи збільшенню розширення (Рис. 4.6).



Перехід на полікремнієву технологію (p-Si), яка широко застосовується в сучасних LCD-проекторах, дозволив перенести елементи схеми управління в шар полікристалічного кремнію і помітно зменшити розміри провідників і керуючих транзисторів. Тим самим, вдалося підвищити світлову ефективність матриць і забезпечити умови для збільшення їх розширення. Додатковий вигравш по світловому потоку в деяких LCD-

матрицях забезпечує мікролінзовий растр - кожен елемент матриці забезпечується власною мікролінзою, що направляє світловий потік через прозору область. Подібні матриці сьогодні застосовуються в багатьох LCD-проекторах.

Сучасні LCD-проектори виконуються на базі трьох полікремнієвих рідкокристалічних матриць, розміром, в основному, від 0.7 до 1.8 дюймів по діагоналі. Структурна схема такого проектора представлена на Рис. 4.7.

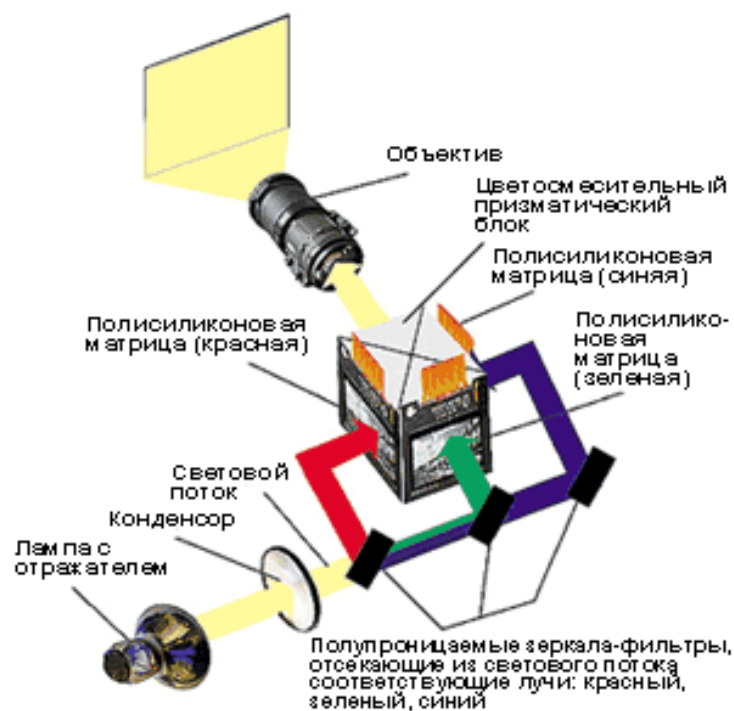


Рис. 4.7. Сучасний LCD проектор

Світлове випромінювання лампи за допомогою конденсора перетворюється в рівномірний світловий потік, з якого дихроїчні дзеркала-фільтри виділяють три колірні складові (червону, синю і зелену) і направляють їх на відповідні LCD-матриці. Сформовані ними кольорові зображення об'єднуються в кольорозмішувальному призматичному блоці в одне повнокольорове, яке потім через об'єктив проектується на зовнішній екран.

На рисунку 4.8 представлений зовнішній вигляд елементів LCD проектора, тоді як на рисунку 4.9 можна побачити приклад об'єктива з блоком рідкокристалічних матриць.

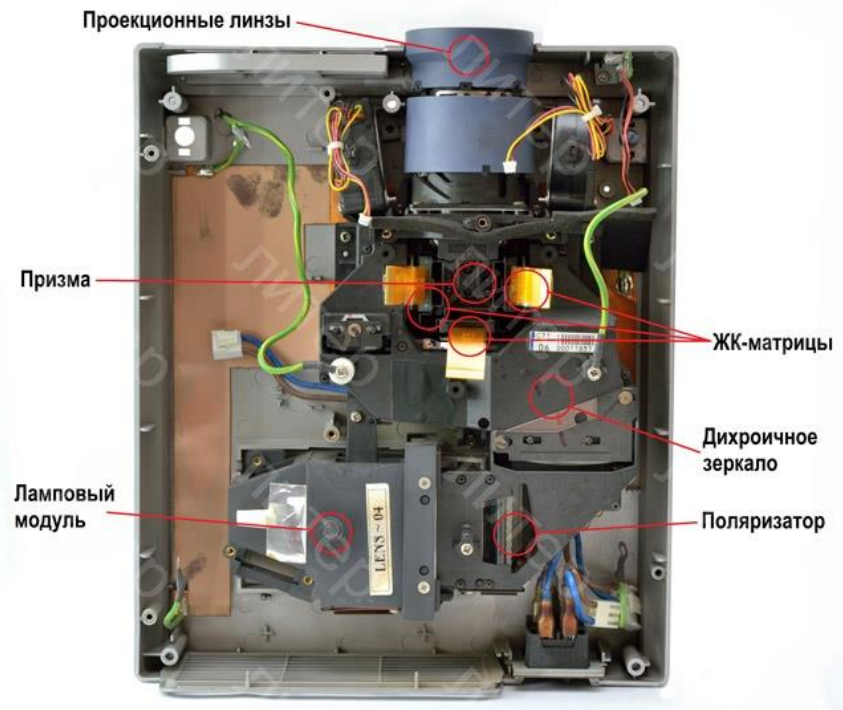


Рис. 4.8. Оптический тракт LCD проектора



Рис. 4.9. Об'єктив з блоком РК матриць. До кожної матриці йде контактний шлейф.

## **Переваги LCD**

- Мала вага.
- Низька вартість.
- Чудово підходить для презентацій.
- Висока яскравість.
- Ідеальна геометрія.
- Легка настройка і використання.
- Підходить для дуже великих екранів.

## **Недоліки LCD**

- Необоротна деградація (старіння) LCD матриці через 3-4 роки експлуатації.
- Невисокий рівень чорного.
- "Мертві" пікселі.
- Обов'язкове активне охолодження, більш високий рівень шуму.
- Висока вартість лампи.

## **D-ILA-технологія**

Відносно недавно розроблена компанією Hughes-JVC технологія D-ILA (Direct Drive Image Light Amplifier) фактично є першим комерційним втіленням так званої технології LCOS, що представляє, на думку більшості експертів, одне з найбільш перспективних напрямків в області створення проєкційного обладнання. Подібно LCD-технології вона базується на властивостях рідких кристалів, проте, замість звичайних просвітних матриць на основі аморфного або полікристалічного кремнію, передбачає використання в якості формувачів зображення приладів відображувального типу (див. Пристрій D-ILA-проекторів). У матриці D-ILA світломодулюючий рідкокристалічний шар розташовується поверх підкладки з монокристалічного кремнію, на якій фотолітографічним способом сформовані керуючі пікселями електроди, які одночасно

виконують функції відображаючих елементів. Майже вся схема управління матрицею розміщується безпосередньо в підкладці, що забезпечує даної технології ряд істотних переваг в порівнянні з LCD-панелями. Матриці D-ILA простіше у виготовленні і при менших розмірах можуть мати істотно більш високу роздільну здатність. Ефективність використання площі кристала в них досягає 93%, що практично виключає прояв ґратчастої структури на екрані.

Більшість випущених до теперішнього часу D-ILA-проекторів базуються на матрицях з роздільною здатністю SXGA (1365x1024 пікселів) і, володіючи світловим потоком в межах від 1000 до 7000 ANSI люмен, характеризуються порівняно великою масою і високою ціною. Крім того, існують і матриці підвищеного дозволу QXGA (2048x1536 пікселів) розміром 1.3 дюйма по діагоналі. Останні забезпечують повноцінне (без використання алгоритмів стиснення) відтворення відеосигналів стандарту HDTV (1080i).

### **Пристрій D-ILA проекторів**

У D-ILA проекторах функції формувачів зображення виконують рідкокристалічні матриці відбиваючого типу, які характеризуються високою роздільною здатністю і світловою віддачею.

Матриця D-ILA має багат шаровою структуру, розміщену на підкладці з монокристалічного кремнію (Рис 4.10). Всі компоненти схеми управління виконані по компліментарній технології CMOS і розташовуються за світломодулюючим шаром рідких кристалів. Це дозволяє істотно збільшити щільність розміщення пікселів, розміри яких можуть становити всього кілька мікронів, і забезпечити високу ефективність використання площі кристала (досягнутий рівень - 93%).

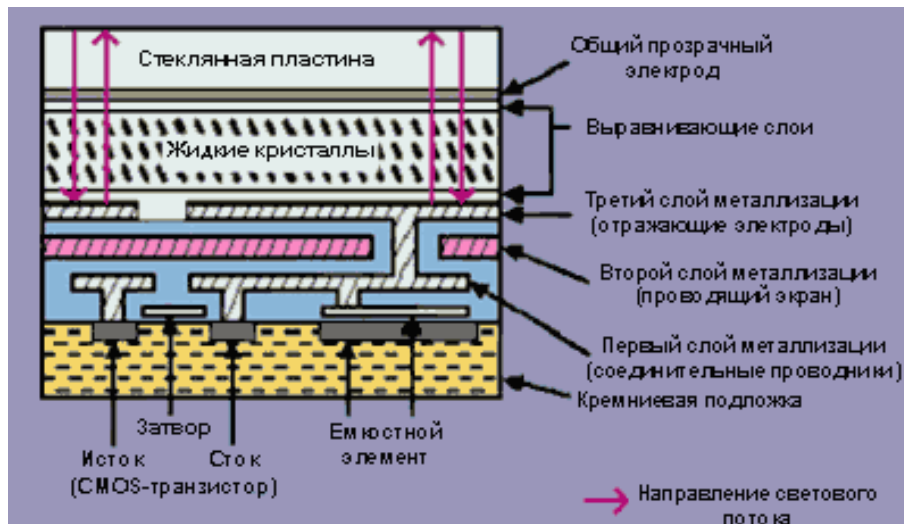


Рис. 4.10. Структура матриці D-ILA

Перевагою технології є також можливість формування світломодуючого шару і схеми управління в ході єдиного технологічного процесу. Відображаючі властивості матриці визначаються станом шару рідких кристалів, мінливого під впливом змінної електричної напруги, яке формується між відображаючими піксельними електродами і загальним для всіх пікселів прозорим електродом.

D-ILA матриці витримують істотне підвищення температури, що дозволяє застосовувати в проекторах, виконаних на їх основі, потужні джерела світла.

### Оптическая схема проектора D-ILA

Проектор D-ILA будуються за триматричною схемою (кожна матриця формує зображення одного з базових кольорів RGB-простору) і демонструють чудове зображення, на якому практично непомітна піксельна структура. Вони з рівним успіхом можуть бути застосовані для відтворення комп'ютерних і відеосигналів, проте в силу новизни технології спектр пристроїв, що випускаються на сьогоднішній день відносно невеликий (Рис. 4.11).

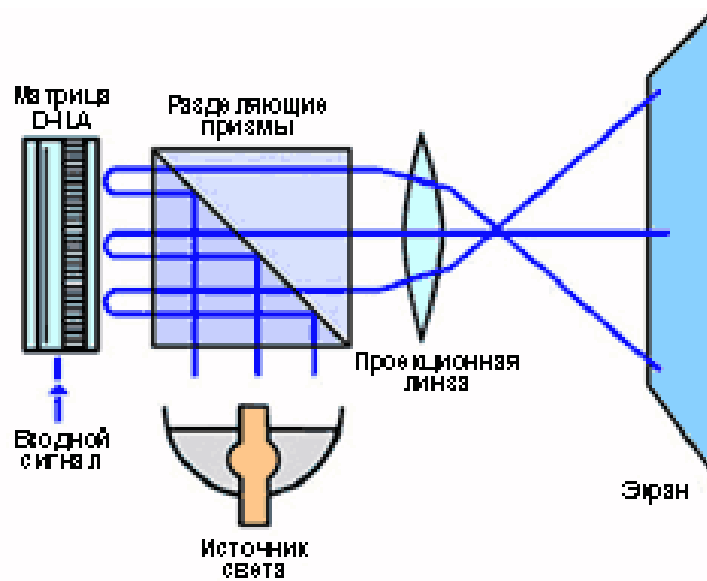


Рис. 4.11. Оптична схема проектора D-ILA

### Преимущества D-ILA

- Мала вага.
- Прекрасно підходять для презентацій.
- Висока яскравість.
- Ідеальна геометрія.
- Підходить для дуже великих екранів.

### Недоліки D-ILA

- Немає даних про довговічність матриць.
- Висока вартість лампи.
- "Биті" піксель.

## DLP-технологія

В основі будь-якого DLP-проектора лежить технологія цифрової обробки світла (DLP), яка базується на розробках корпорації Texas Instruments, що створила новий тип формувача зображення - цифровий мікродзеркальний пристрій DMD (Digital Micromirror Device). DMD-

формував є кремнієвою пластиною, на поверхні якої розміщені сотні тисяч керованих мікродзеркал. Головна його перевага в порівнянні з формувачами іншого типу полягає у високій світловій ефективності, обумовленої двома факторами: більш ефективним використанням робочої поверхні формувача (коефіцієнт використання - до 90%) і меншим поглинанням світлової енергії працюючими на відображення мікродзеркалами, які до того ж не вимагають застосування поляризаторів. В силу цих причин, а також відносно простого вирішення проблеми відведення тепла, DLP-технологія дозволяє створювати як потужні проєкційні апарати з великим світловим потоком (в даний час досягнуто рівня 18000 ANSI-лм), так і надмініатюрні проєктори (ультрапортативні, мікропортативні) для мобільних користувачів. Саме в цих класах продуктів DLP-технологія сьогодні домінує.

Сучасні DLP-проєктори будуються за схемою з одним, двома і трьома DMD-кристалами (див. Пристрій DLP-проєктора). Як і LCD-апарати, вони характеризуються власним оптичним розширенням, що визначається числом мікродзеркал в DMD-матриці, і найкращим чином пристосовані для відтворення графічної і відеоінформації, що зберігається в цифровому форматі (комп'ютерні файли, зображення).

Принцип формування напівтонів, що використовується в них (а також повнокольорового зображення в пристроях з однією DMD-матрицею) ґрунтується на властивості людського ока усереднювати візуальну інформацію за короткий проміжок часу і вимагає застосування складних алгоритмів перерахунку вхідних даних в керуючі мікродзеркалами ШІМ-послідовності. Якість алгоритмів багато в чому визначає результуючу точність передачі кольору.

### **Пристрій DLP- проєктора**

DMD-кристал, по суті, являє собою напівпровідникову мікросхему статичної оперативної пам'яті (SRAM), кожна клітинка якої, а точніше її



вміст, визначає положення одного з безлічі (від декількох сотень тисяч до мільйона і більше) розміщених на поверхні підкладки мікродзеркал з розмірами 16x16 мк (Рис. 4.12).



Рис. 4.12. Принцип формування зображення за допомогою DMD-матриці (Digital Micromirror Device)

Як і керуюча комірка пам'яті, мікродзеркало має два стани, що відрізняються напрямком повороту дзеркальної площини навколо осі, що проходить по діагоналі дзеркала. У кожному стані кут між площиною дзеркала і поверхнею мікросхеми становить 10 градусів. Таким чином, принциповою особливістю будь-якого DMD кристала є наявність в його структурі рухомих механічних елементів.

У DLP проекторах DMD кристал виконує функції формувача зображення. Залежно від положення мікродзеркала відбитий їм світловий

потік направляється або в об'єктив тоді на екрані формується світла пляма, або в світлопоглинач, тоді відповідна ділянка екрану залишається затемненою.

Для відтворення півтонів застосовується метод широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) сигналів, керуючих перемиканням дзеркал. Чим більше часу протягом усередненого оком інтервалу в 1/60 секунди мікродзеркало проводить в стані "включено", тим яскравіше піксель на екрані.

На Рис. 4.13 представлений приклад формування ділянки зображення LCD і DLP матрицями.

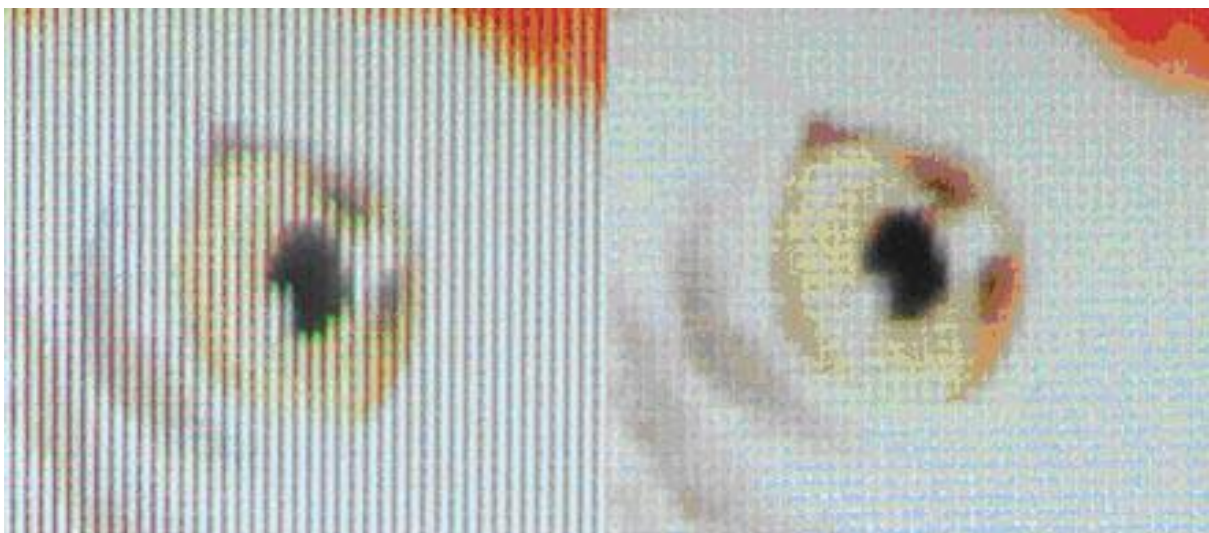


Рис. 4.13. Приклад формування ділянки зображення LCD і DLP матрицями

Сучасні DLP-проектори будуються за схемою з одним, двома і трьома DMD-матрицями.

#### **Оптична схема одноматричного DLP-проектора**

В одноматричному DLP-проекторі світловий потік лампи пропускається через обертовий фільтр з трьома секторами, пофарбованими в кольори складових простору RGB (в сучасних моделях до трьох кольоровим секторам доданий четвертий - прозорий, що дозволяє

збільшити світловий потік мультимедійного проектора при демонстрації зображень з переважаючим світлим фоном) (Рис. 4.14).

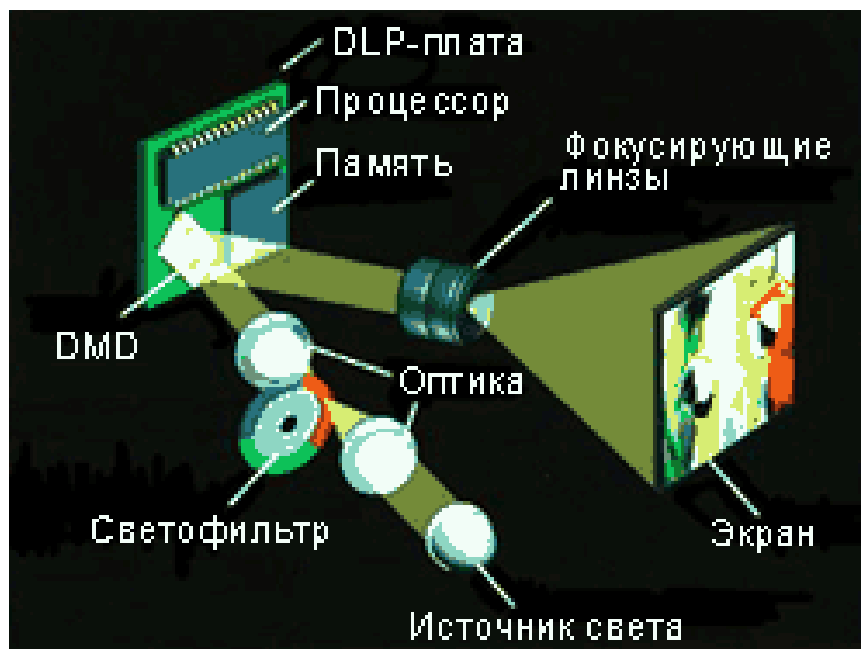


Рис. 4.14. Оптическая схема одноматричного DLP-проектора

Залежно від кута повороту фільтра (а, отже, і кольору падаючого світлового потоку) DMD-кристал формує на екрані синю, червону або зелену картинку, які послідовно змінюють одна одну за короткий інтервал часу. Усереднюючи світловий потік, що відображається екраном, людське око сприймає зображення як повнокольорове. За схемою з одним DMD-кристалом в даний час будуються найбільш мініатюрні DLP-проектори. Вони застосовуються для проведення мобільних бізнес-презентацій, а також для демонстрації кольорового відео. Слід, однак, враховувати, що в останньому випадку світловий потік проектора з чотирьох секторним кольоровим фільтром виявляється нижче зазначеного в технічному паспорті, так як в цьому режимі прозорий сектор не працює, і ефективність використання світлового потоку лампи знижується.

### Оптична схема двоматричного DLP-проектора

У двоматричних DLP-проекторах обертовий кольоровий фільтр має два сектори пурпурного (суміш червоного з синім) і жовтого (суміш червоного і зеленого) кольорів. дихроїчні призми поділяють світловий потік на складові, при цьому потік червоного кольору в кожному випадку направляється на одну з DMD-матриць (Рис. 4.15). На другу в залежності від положення фільтра направляється потік або синього, або зеленого кольору. Таким чином, двоматричні проектори, на відміну від одноматричних, проєктують на екран картинку червоного кольору постійно, що дозволяє компенсувати недостатню інтенсивність червоної частини спектру випромінювання деяких ламп.

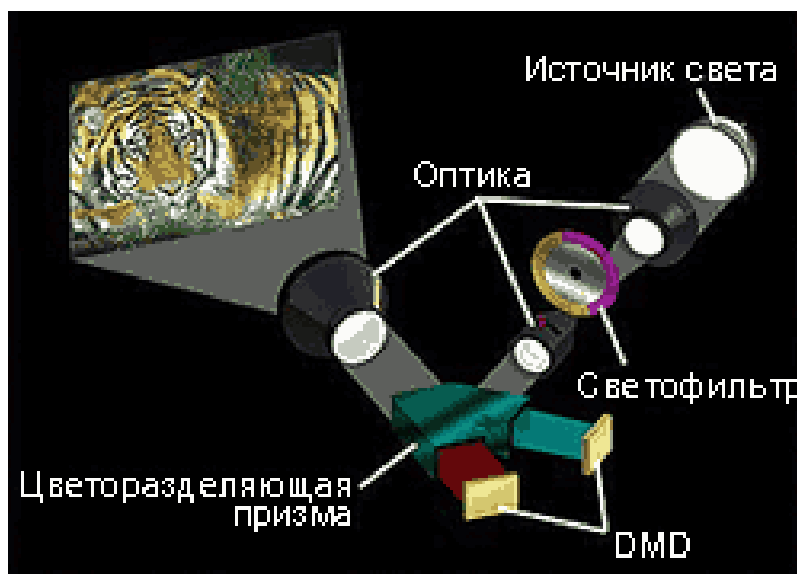


Рис. 4.15. Оптична схема двоматричного DLP-проектора

### Оптична схема триматричного DLP-проектора

У триматричних DLP-проекторах світловий потік лампи за допомогою дихроїчних призм розщеплюється на три складових (RGB), кожна з яких спрямовується на свою DMD-матрицю, яка формує картинку одного кольору (Рис. 4.16). Об'єктив апарату проєктує на екран одночасно три кольорових картини, формуючи таким чином повнокольорове зображення.

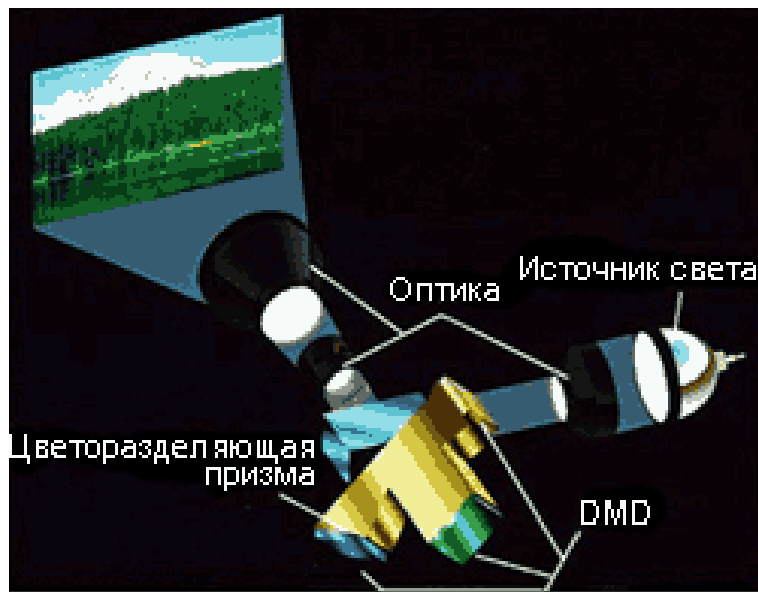


Рис. 4.16. Оптична схема триматричного DLP проектора

Завдяки високій ефективності використання світлового випромінювання лампи, триматричні DLP-проектори, як правило, характеризуються підвищеним світловим потоком, що досягає у найбільш потужних апаратів 18000 ANSI-лм.

### **Переваги DLP**

- Довговічність матриці.
- Мала вага.
- Висока яскравість.
- Ідеальна геометрія.
- Менші витрати на охолодження.
- Менший рівень шуму.
- Підходить для дуже великих екранів.

### **Недоліки DLP**

- Висока вартість лампи.
- "Биті" пікселі.

- Помітна веселка на зображенні якщо використовується одноматричний DLP.

### Нові напрямки. Лазерні проектори

В деякій мірі спадкоємцем електронно-променевих трубок є лазерні проектори, в яких зображення формується за рахунок випромінювання трьох (іноді більше) лазерів (Рис. 4.17). Спадкоємцями - тому, що матриця лазерів формує три променя тих же кольорів, які потім змішуються і зображення створюється дуже складною системою фокусування і розгортки, в якій знаходиться спеціальна система дзеркал. За своєю суттю, формування зображення таким проектором подібно зображенні на екрані ЕПТ телевізора - лазерний промінь «оббігає» проекційний екран зверху вниз до 50 разів на секунду, і очей людини сприймає отриману картину як єдине ціле.

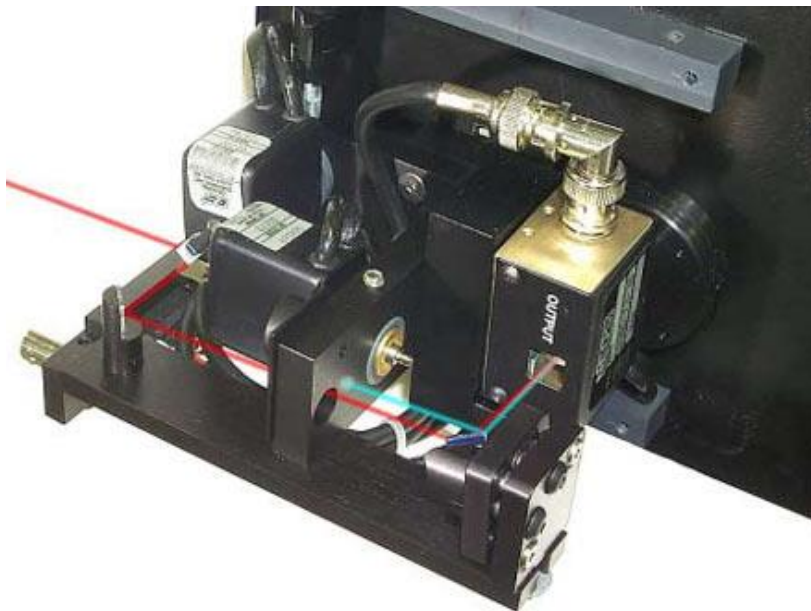


Рис. 4.17. Випромінююча голівка лазерного проектора в розібраному стані

Реалістичне зображення формується при цьому практично на будь-якій, в тому числі і нерівній, поверхні, а його характеристики досить високі.

З 2000 року, коли почалося серійне виробництво таких проекторів, вони стали видавати більше якісну картинку, але все ще залишаються проблеми з передачею кольору, хоча зображення і володіє вражаючими показниками контрасту і яскравості. Такі проектори поки залишаються в більшій мірі дорогими професійними інструментами - вони надмірно великі і споживають багато енергії. Однак вони мають конструкцію, яка дозволяє розділити випромінюючу батарею лазерів з великим виділенням тепла і проєціюючу частину. Також час життя лазера помітно перевершує термін служби лампи традиційних проекторів, а енергії при порівнянних параметрах яскравості, витрачається також менше.

Ну і найголовнішим параметром лазерних проекторів є їх здатність створювати зображення на величезних діагоналях - розміри екранів можуть бути до декількох десятків метрів.

## **Тема 4.2. Лазерні принтери**

*Лекція 14.* Визначення, види. Лазерні принтери. Будова лазерного принтера.

Принтер - це пристрій, здатний виводити зображення на папір або плівку. Принтери створюють так звані тверді копії документів; твердість означає неможливість їх подальшої довільної модифікації. За цією ознакою принтери відносяться до пасивних пристроїв графічного виводу, їх протилежність - активні пристрої виведення - дисплеї. За способом друку принтери поділяються на літеродрукувальні і знакосинтезуючі, а також послідовні і паралельні. Літеродрукувальні принтери здатні друкувати тільки рядки символів з фіксованого набору, що обмежує область їх застосування печаттю текстових документів без можливості використання звичного вже різноманітності шрифтів. Знакосинтезуючі, вони ж матричні принтери, дозволяють друкувати довільні зображення. За способом нанесення барвника вони діляться на ударні (голчасті), термічні, струменеві і лазерні, хоча під матричними, як правило, мають на увазі саме голчасті.

Голчасті принтери мають голівку на якій розташована матриця голчастих молоточків, керованих електромагнітами. Голки вдаряють по паперу через фарбувальну стрічку, папір лежить на валику, переміщаючись тільки поздовжньо (переход з рядку на рядок виконується поворотом валика), але в обох напрямках. Переміщення по рядку виконує сама друкуюча головка - вона досить легка, тому її можна рухати швидко.

Термопринтери по конструкції нагадують голчасті, але замість ударів голок по фарбувальній стрічці їх головки нагрівають окремі точки спеціального термочутливого паперу. Ці принтери відрізняються практично безшумною роботою, правда швидкість друку невисока. Головний недолік - потрібно спеціальний папір, зображення на якому виходить не дуже стійким.



Струменеві принтери також конструктивно аналогічні матричним голчастим, але замість удару по паперу через фарбувальну стрічку вони "стріляють" по папері крапельками спеціального чорнила. Чорнило вистрілюється з мікроскопічних сопел з використанням п'єзоелектричних механічних мікронасосів або бульбашкової технології. Бульбашки пару, що виштовхують чорнила з сопла, утворюються під впливом мікроскопічного нагрівального елемента.

### **Технологія лазерного друку**

Спочатку конкуруючи з пелюстковими і матричними принтерами, лазерний принтер швидко завоював популярність у всьому світі. Перший зразок лазерного принтера був випущений компанією IBM в 1975 році. На жаль, він не отримав масового поширення, тому що був дуже громіздким і мав складне програмне керування. Трохи пізніше, в 80-х роках, подібними розробками зайнялася компанія Canon. Херох викупила у Canon її розробку, довела до технічної досконалості і застосувала в своїх копіювальних апаратах, чим і затвердила технологію лазерного друку. Пізніше розробками займався всім відомий бренд HP, який і випустив перші промислові зразки лазерного принтера HP Laser Jet в 1984 році. Свого часу цей принтер став еталоном якісного лазерного друку. У сучасних лазерних принтерах використовується принцип електрографічного створення зображень. Лазерні принтери формують зображення шляхом позиціонування точок на папері (растровий метод). Спочатку сторінка формується в пам'яті принтера і лише, потім передається на механізм друку. Растрове уявлення символів і графічних образів проводиться під управлінням контролера принтера.

## **Основні визначення**

Лазерний принтер - периферійний друкуючий пристрій виведення бузударної дії з високою роздільною здатністю, що створює текстове і графічне зображення за допомогою електрографічного процесу (принципу електростатичної ксероксної технології).

Ксерографія - процес сухого друку (xeras - сухий, graphos - писати (лат.)).

Електрографічна (електростатична) фотографія – спосіб реєстрації, що полягає у виконанні наступних основних дій:

- отримання прихованого електростатичного зображення на носії з фотонапівпровідниковим шаром;
- формування візуального зображення за допомогою дрібнодисперсного барвника (тонера);
- перенесення зображення на папір;
- закріплення зображення на папері, наприклад термічним способом.

Лазер - когерентне джерело посиленого світла (світла однієї частоти). В лазерних принтерах застосовують напівпровідникові і газові He-Ne лазери.

Світлодіодний спосіб друку полягає в використанні світлодіодної лінійки з керованою інтенсивністю світла, сфокусованого за допомогою лінз на фотоносій.

Тонер-картридж - змінна касета з порошком (тонером), що застосовується в лазерних приладах для одержання візуального зображення.

Тонер - дрібнодисперсний фарбувальний порошок, що складається з полімеру, гуми та сажі. Крім того, до складу тонера входять магнітні частки.

Фотопровідники - барабани або стрічки, покриті світлочутливим напівпровідниковим шаром, виготовленим на базі селену або органічної

фоторечовини, що змінює свій заряд під дією світла і створює на поверхні потенційний рельєф відповідно до друкованого зображення.

Спектральна чутливість - здатність фотопровідника реагувати на діапазон довжин хвиль електромагнітного випромінювання джерела світла.

Фотоелектрична чутливість - величина, що визначає швидкість формування зображення (потенційного рельєфу під дією світла).

Роздільна здатність - визначається числом точок на дюйм (dpi – dots per inch). Лазерний принтер має горизонтальну і вертикальну роздільну здатність, наприклад 1200 x 600 dpi.

Вертикальна роздільна здатність характеризується кроком барабана (1/600 дюйма).

Горизонтальна роздільна здатність визначається числом точок в рядку барабана (1/1200 дюйма), тобто точністю переміщення лазерного променя.

Коротрон - зарядний пристрій, що містить, наприклад, тонкий дріт і сітку, на які подається висока напруга для отримання коронного розряду.

### **Структурна схема лазерного принтера**

Структурна схема лазерного принтера зображена на рис. 4.18 і містить два основні блоки: пристрій сполучення і контролер управління. Базовим компонентом пристрою сполучення є центральний процесор, побудований на основі мікропроцесора MC 68000 фірми Motorola. Останнім часом в лазерних принтерах використовуються процесори RISC або CISC. Дешевше і швидше RISC-процесори, проте вони характеризуються наявністю обмеженого списку команд, а CISC-процесори характеризує широкий список команд. У більш швидкодіючих лазерних принтерах застосовується процесор фірми Intel 80960 з тактовою частотою 33 МГц. Центральний процесор виконує команди мов принтера PCL (Printer Control Language), Adobe Postscript, HP-GL (Hewlett Packard Graphics Language) і ін.

Лазерний принтер має власне програмне забезпечення, вбудований інтерпретатор і мову, що визначає команди і формат даних.

Він виконує програми, що зберігаються в ПЗУ або флеш пам'яті, яка, крім того, зберігає таблиці шрифтів. Процесор принтера звільняє комп'ютер від громіздких обчислень по формуванні даних, що виводяться на друк. Додаткові набори шрифтів (кодові таблиці) розміщуються в зовнішніх картриджах, які з допомогою інтерфейсу картриджів шрифтів підключаються до шини центрального процесора.

За допомогою кнопок і індикаторів панелі керування здійснюється реалізація різних режимів роботи лазерного принтера: роздруківки різних типів шрифтів, самотестування принтера, доступу до меню пам'яті і меню конфігурації, скидання поточних шрифтів і даних, повернення до внутрішніх установкам і т. д.

Крім того, пристрій сполучення лазерного принтера містить відеоінтерфейс, до складу якого входять блоки пам'яті, що готують образ сторінки, яка виводиться на друк і включає виконавчі матриці знаків. Через відеоінтерфейс підготовлена інформація надходить в контролер управління, який і організовує друк всієї сторінки цілком. Для представлення графічних зображень з роздільною здатністю 600 точок на дюйм (24 точки в одному міліметрі) на аркуші формату А4 потрібно ємність пам'яті 4 Мбайт з урахуванням невикористаних країв паперу.

Адресний контролер пристрою сполучення виконує доступ до комірок ОЗУ динамічного типу, що зберігає інформацію, що виводиться на друк і службову, зокрема інформацію про шрифти. Для організації режимів запису і читання, а також для регенерації пам'яті використовується контролер синхронізації.

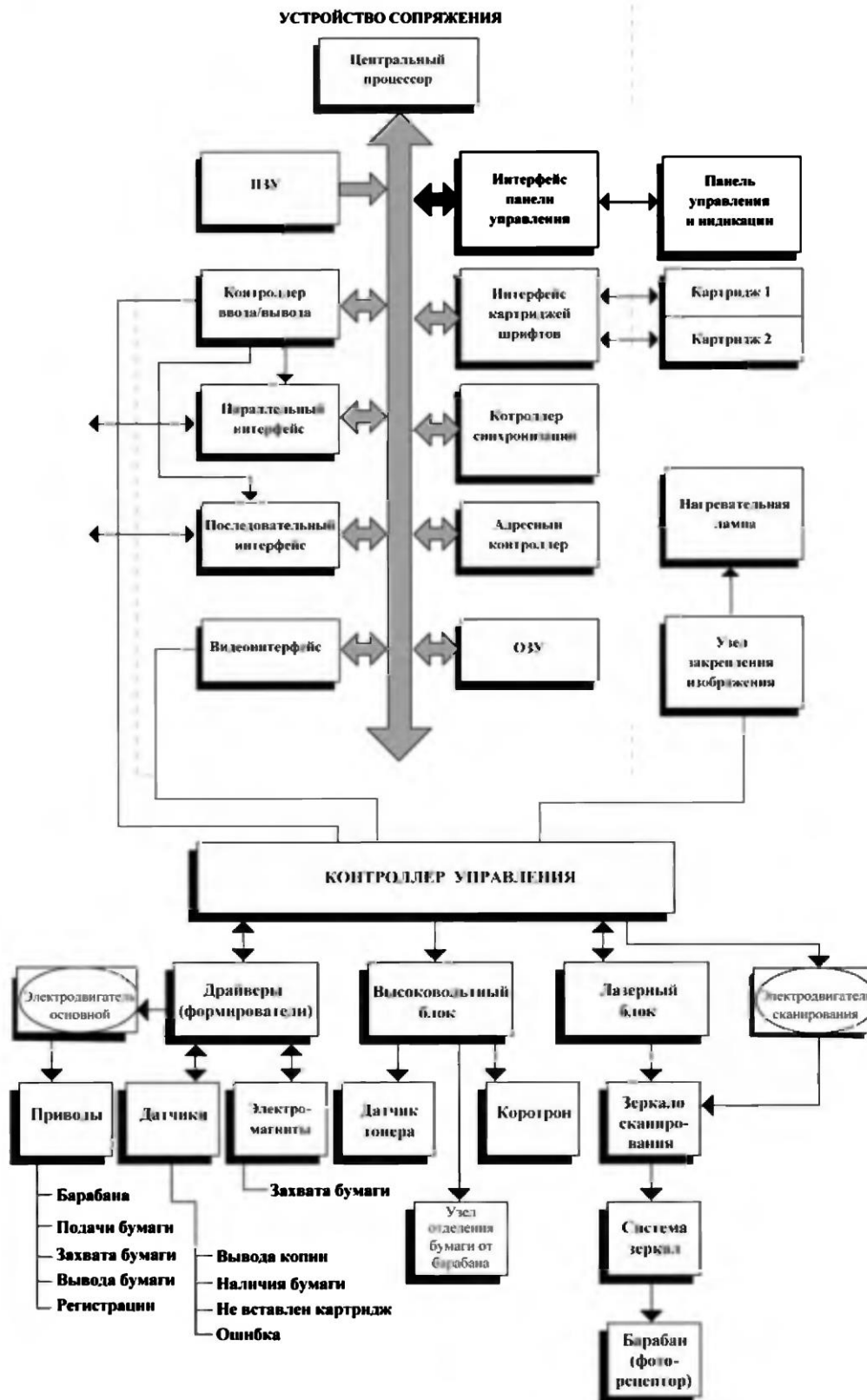


Рис. 4.18. Пристрій спряження

Іншим складним компонентом лазерного принтера є контролер управління, який координує роботу всіх блоків принтера: управляє роботою двигунів, лазерного блоку, високовольтного блоку, здійснює режими передачі, прояви і закріплення зображення і т. д. Високовольтний блок управляє роботою коротрона або магнітного валу, який призначений для нанесення рівномірного статичного заряду на поверхню барабана, тобто для реалізації функції зарядки барабана.

### **Будова лазерного принтера**

Лазерний принтер є складним електронно-механічним пристроєм, який складається з сотень деталей і 5-10 вузлів.

Приклад основних функціональних вузлів:

- Вузол захоплення паперу;
- вузол формування зображення;
- вузол термозакреплення;
- вузол приводу;
- корпус.

Багато вузлів принтера складаються з деталей, які постійно відчують механічний вплив і більше за інших деталей схильні до зносу. Крім механічного впливу велика кількість деталей схильна до забруднення пилом і тонером.

*Лекція 15.* Принцип друку та пристрій картриджа лазерного принтера.  
Пристрій картриджа. Кольоровий друк за допомогою лазерного принтера.  
Будова фотобарабана.

### **Принцип друку та пристрій картриджа лазерного принтера**

Зображення, що отримується за допомогою сучасних лазерних принтерів (а також матричних і струменевих), складається з точок (dots). Чим менше ці точки і чим частіше вони розташовані, тим вище якість зображення. Максимальна кількість точок, які принтер може окремо надрукувати на відрізьку в 1 дюйм (25,4 мм), називається дозволом і характеризується в точках на дюйм (dpi - dot per inch). Принтер вважається непоганим, якщо його роздільна здатність становить 300 dpi (іноді застосовують позначення 300 x 300 dpi, що означає 300 dpi по горизонталі і 300 dpi по вертикалі).

Лазерні принтери менш вимогливі до паперу, ніж, наприклад, струменеві, а вартість друку однієї сторінки текстового документа у них в кілька разів нижче. При цьому недорогі моделі лазерних та світлодіодних монохромних принтерів вже здатні конкурувати за ціною з високоякісними кольоровими струменевими принтерами.

Більшість представлених на ринку лазерних принтерів призначені для чорно-білого друку; кольорові лазерні принтери досить дорогі і розраховані на корпоративних користувачів.

Лазерні принтери друкують на папері будь-якої щільності (від 60 г / м<sup>3</sup>) зі швидкістю від 3 до ... (ця цифра постійно зростає) листів в хвилину (ppm - page per minutes), при цьому дозвіл може бути 1200 dpi і більше. Якість тексту, надрукованого на лазерному принтері з дозволом 300 dpi, приблизно відповідає типографського. Однак якщо сторінка містить малюнки, що містять градації сірого кольору, то для отримання якісного графічного зображення буде потрібно дозвіл не нижче 600 dpi. При

роздільної здатності принтера 1200 dpi відбиток виходить майже фотографічної якості. Якщо необхідно друкувати велику кількість документів (наприклад, більше 40 листів в день), лазерний принтер представляється єдиним розумним вибором, оскільки для сучасних персональних лазерних принтерів стандартними параметрами є дозвіл 600 dpi і швидкість друку 8 ... 12 сторінок в хвилину.

### **Пристрій картриджа**

Перед тим як розповісти про процес передачі і закріплення зображення на папері, розглянемо пристрій картриджа для принтера Laser Jet 1100 фірми Hewlett Packard. В цьому типовому картриджі можна виділити два основних відділення: відділення для відпрацьованого тонера і тонерний відсік.

Основні конструктивні елементи відділення для відпрацьованого тонера (рис. 4.19(2)):

1 - Фотобарабан (Organic Photo Conductor (OPC) Drum). Являє собою алюмінієвий циліндр, покритий органічним світлочутливим і фотопровідним матеріалом (зазвичай оксидом цинку), який здатний зберігати образ, що наноситься лазерним променем.

2 - Вал первинного заряду (Primary Charge Roller (PCR)). Забезпечує рівномірний негативний заряд барабана. Виконаний з струмопровідної гумової або поролоновою основи, нанесеної на металевий вал.

3 - "Вайпер", ракель, чистяче лезо (Wiper Blade, Cleaning Blade). Очищає барабан від залишків тонера, який не був перенесений на папір. Конструктивно виконаний у вигляді металевого каркаса (stamping) з поліуретанової пластиною (blade) на кінці.



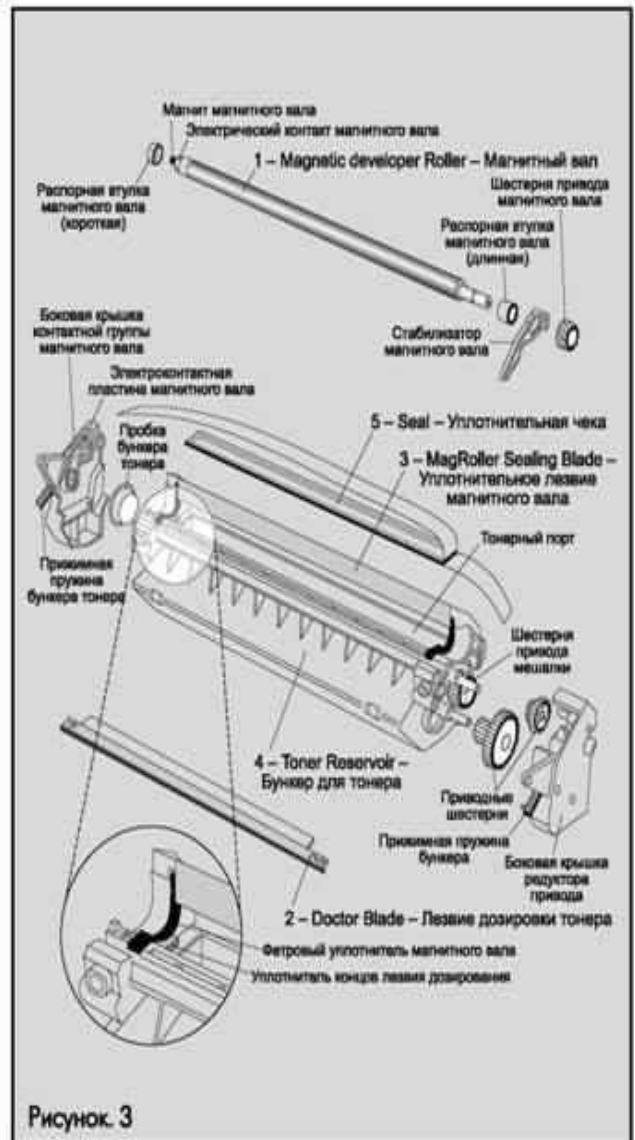
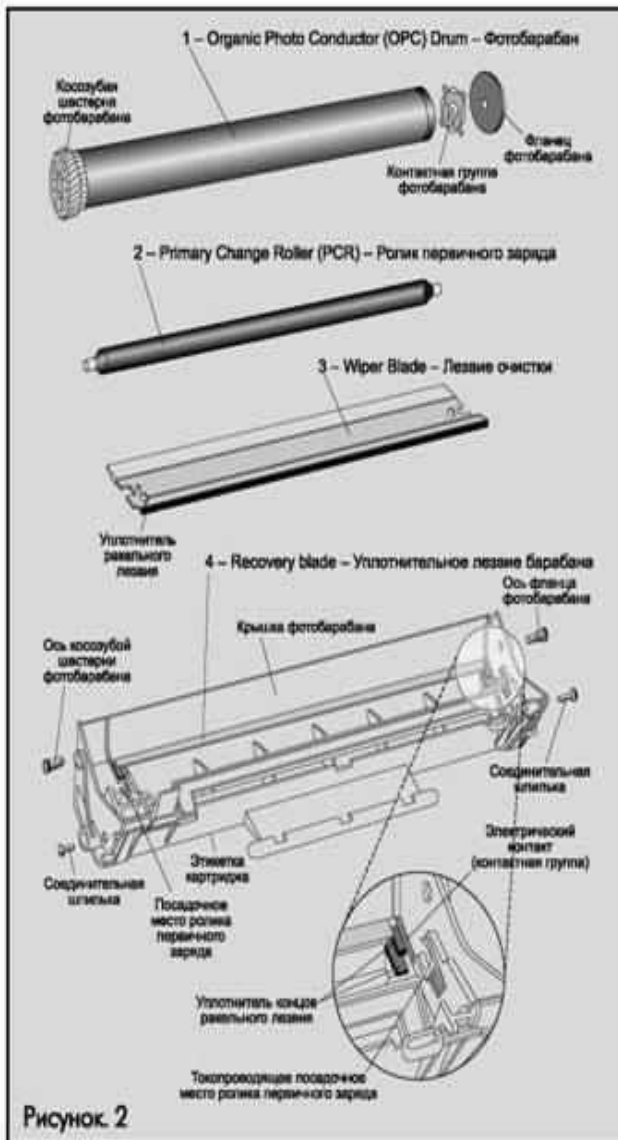


Рис. 4.19. Будова картриджа

4 - Лезо очищення (Recovery Blade). Перекриває область між барабаном і бункером для відпрацьованого тонера. Recovery Blade пропускає тонер, що залишився на барабані, всередину бункера і не дає йому висипатися в зворотному напрямку (з бункера на папір).

Основні конструктивні елементи тонерного відсіку (див. Рис. 4.19(3)):

1 - Магнітний вал (Magnetic Developer Roller, Mag Roller, Developer Roller). Являє собою металеву трубку, всередині якої знаходиться нерухомий магнітний сердечник. До магнітного валу притягується тонер,

який, перед подачею на барабан, набуває негативний заряд під дією постійного або змінної напруги.

2 - "Доктор" (Doctor Blade, Metering Blade). Забезпечує рівномірний розподіл тонкого шару тонера на магнітному валі. Конструктивно виконаний у вигляді металевого каркаса (stamping) з гнучкою пластиною (blade) на кінці.

3 - Ущільнююче лезо магнітного вала (Mag Roller Sealing Blade). Тонка пластина, аналогічна за функціями Recovery Blade. Перекриває область між магнітним валом і відсіком подачі тонера. Mag Roller Sealing Blade пропускає тонер, що залишився на магнітному валі, всередину відсіку, запобігаючи витік тонера в зворотному напрямку.

4 - Бункер для тонера (Toner Reservoir). У середині нього знаходиться "робочий" тонер, який буде перенесений на папір в процесі друку. Крім того, в бункер вбудований активатор тонера (Toner Agitator Bar) - проволочна рамка, призначена для перемішування тонера.

5 - Пломба, чека (Seal). У новому (або регенованому) картриджі тонерний бункер запечатаний спеціальної пломбою, яка запобігає пробудження тонера при транспортуванні картриджа. Перед початком експлуатації ця пломба віддаляється.

### **Будова фотобарабану (OPC)**

OPC (Organic Photo Conductor) - це алюмінієвий циліндр, який покритий декількома шарами різних хімічних композицій (Рис. 4.20). З усіх основних деталей лазерного картриджа фотобарабан є найбільш складний продукт технології тонерних картриджів. Алюміній, як основний метал для створення циліндра був обраний не випадково. Алюміній володіє двома дуже корисними властивостями. Алюміній легкий метал, а це дуже важливо, тому що важкий фотобарабан збільшить загальну масу готового пристрою. Крім цього алюміній добре проводить струм. Для того щоб

належним чином здійснювався процес зарядки і освітлення, хімічний склад фотобарабана для кожної моделі принтера повинен бути ретельно підібраний, а процес виробництва повинен добре контролюватися. Основними виробниками сумісних фотобарабанів в світі сьогодні є компанії FUJI Electric і SCC. На українському ринку також широко представлені фотобарабани компаній Mitsubishi, Hanp, Katun, Samsung, AEG.

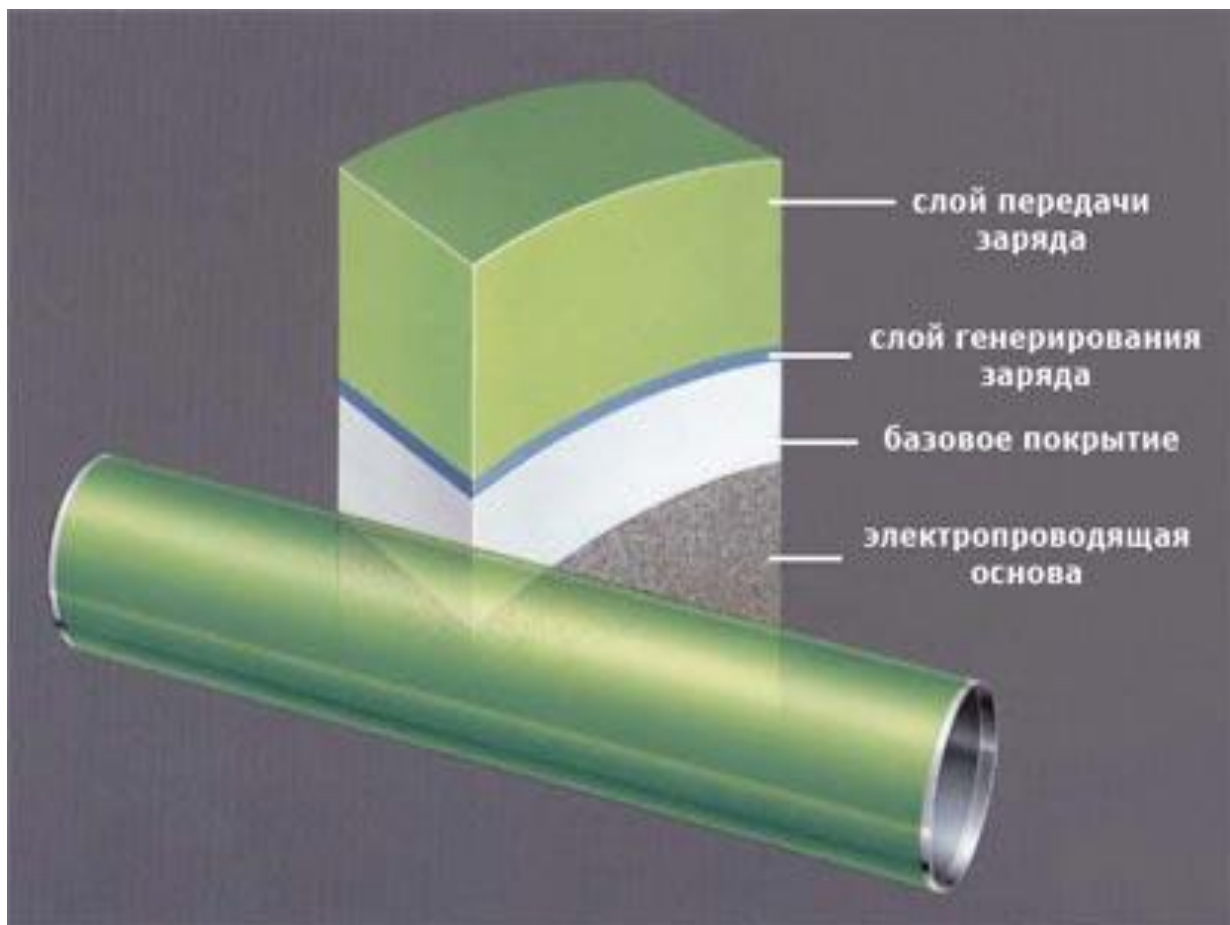


Рис. 4.20. Фотобарабан в розрізі:

Алюмінієвий циліндр покритий такими шарами:

Базове покриття - це перший шар на циліндрі, який згладжує нерівності алюмінію циліндра і забезпечує необхідну основу для нанесення функціональних шарів.

Шар генерування заряду - другий шар товщиною близько 0,1 мкм., Служить для генерування заряду. Цей шар працює подібно фотодіоду і стає електропровідним в одному напрямку під дією світла (лазерних променів). Завдяки цьому поверхня барабана отримує можливість розряджатися.

Шар передачі заряду або транспортний шар - третій з основних шарів. Його товщина близько 30 мкм. Саме цей шар утримує заряд, отриманий від вала первинної зарядки (PCR) або коротрона. Компоненти зовнішнього шару фотобарабана підбираються таким чином, щоб забезпечити механічну міцність поверхні і необхідні електричні властивості.

### **Принцип лазерного друку**

На рис. 4.21(4) зображений картридж в розрізі. Коли включається принтер, всі компоненти картриджа приходять в рух: відбувається підготовка картриджа до друку. Цей процес аналогічний процесу друку, але лазерний промінь не включається. Потім рух компонентів картриджа зупиняються - принтер переходить в стан готовності до друку (Ready).

Після відправки документа на друк, в картриджі лазерного принтера відбуваються такі процеси:

Зарядка барабана (рис. 4.21(5)). Вал первинного заряду (PCR) рівномірно передає на поверхню обертового барабана негативний заряд.

Експонування (рис. 4.21(6)). Негативно заряджена поверхня барабана експонується лазерним променем тільки в тих місцях, на які буде завдано тонер. Під дією світла, фоточутлива поверхня барабану частково втрачає негативний заряд. Таким чином, лазер експонує на барабан приховане зображення у вигляді точок з ослабленим негативним зарядом.

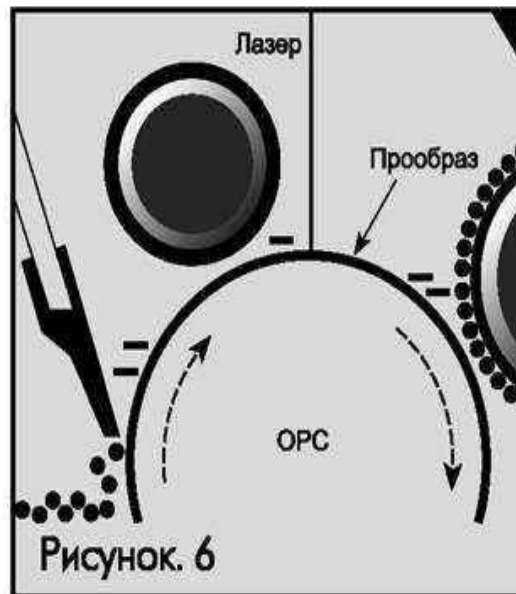
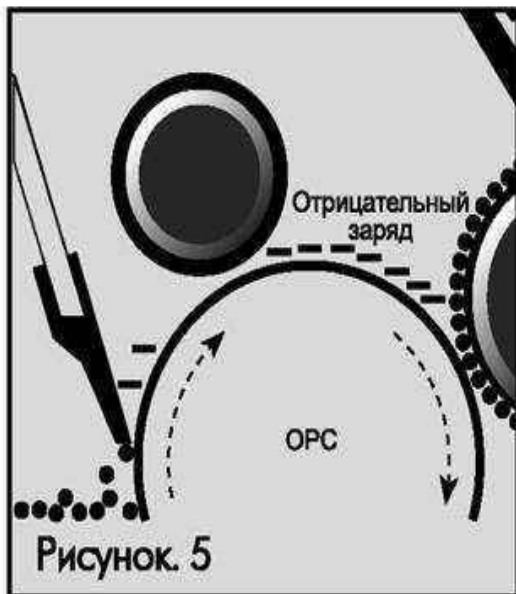
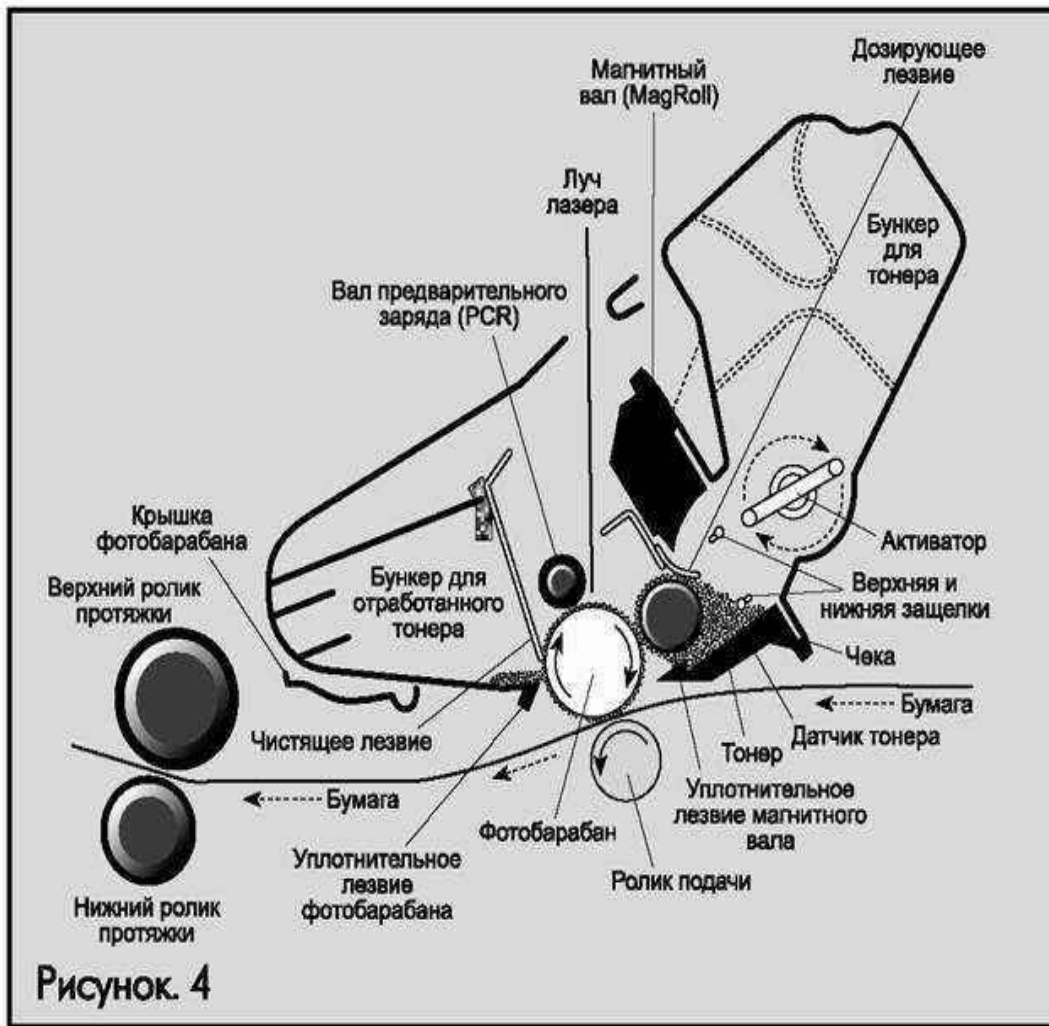


Рис. 4.21. Принцип лазерного друку

Нанесення тонера (рис. 4.22(7)). На цьому етапі приховане зображення на барабані за допомогою тонера перетворюється на видиме зображення, яке буде перенесено на папір. Тонер, що знаходиться близько магнітного вала, притягається до його поверхні під дією поля постійного магніту, з якого виготовлена серцевина валу. При обертанні магнітного вала тонер проходить крізь вузьку щілину, утворену "доктором" і валом. В результаті він набуває негативний заряд і прилипає до тих ділянок барабана, які були експоновані. "Доктор" забезпечує рівномірність нанесення тонера на магнітний вал. Перенесення тонера на папір (рис. 4.22(8)). Продовжуючи обертатися, барабан з виявленим зображенням стикається з папером. Зі зворотного боку папір притискається до валу Transfer Roller, який несе позитивний заряд. В результаті негативно заряджені частинки тонера притягуються до паперу, на якій виходить зображення, "насіпане" тонером.

Для отримання точкового зображення лазер включається і вимикається за допомогою керуючого мікроконтролера. Обертове дзеркало розвертає промінь у вигляді рядка прихованого зображення на поверхні фотобарабана.

Після формування рядка спеціальний кроковий двигун повертає барабан для формування наступної. Цей зсув відповідає роздільній здатності принтера по вертикалі і зазвичай становить 1/600 або 1/1200 дюйма. Процес утворення прихованого зображення на барабані нагадує формування растра на екрані телевізійного монітора.

Закріплення зображення (рис. 4.22(9)). Аркуш паперу з незакріпленим зображенням переміщається до механізму закріплення, що представляє собою два дотичних валу, між якими простягається папір. Нижній вал (Lower Pressure Roller) притискає її до верхнього валу (Upper Fuser Roller). Верхній вал нагрітий, і при зіткненні з ним частки тонера розплавляються і закріплюються на папері.

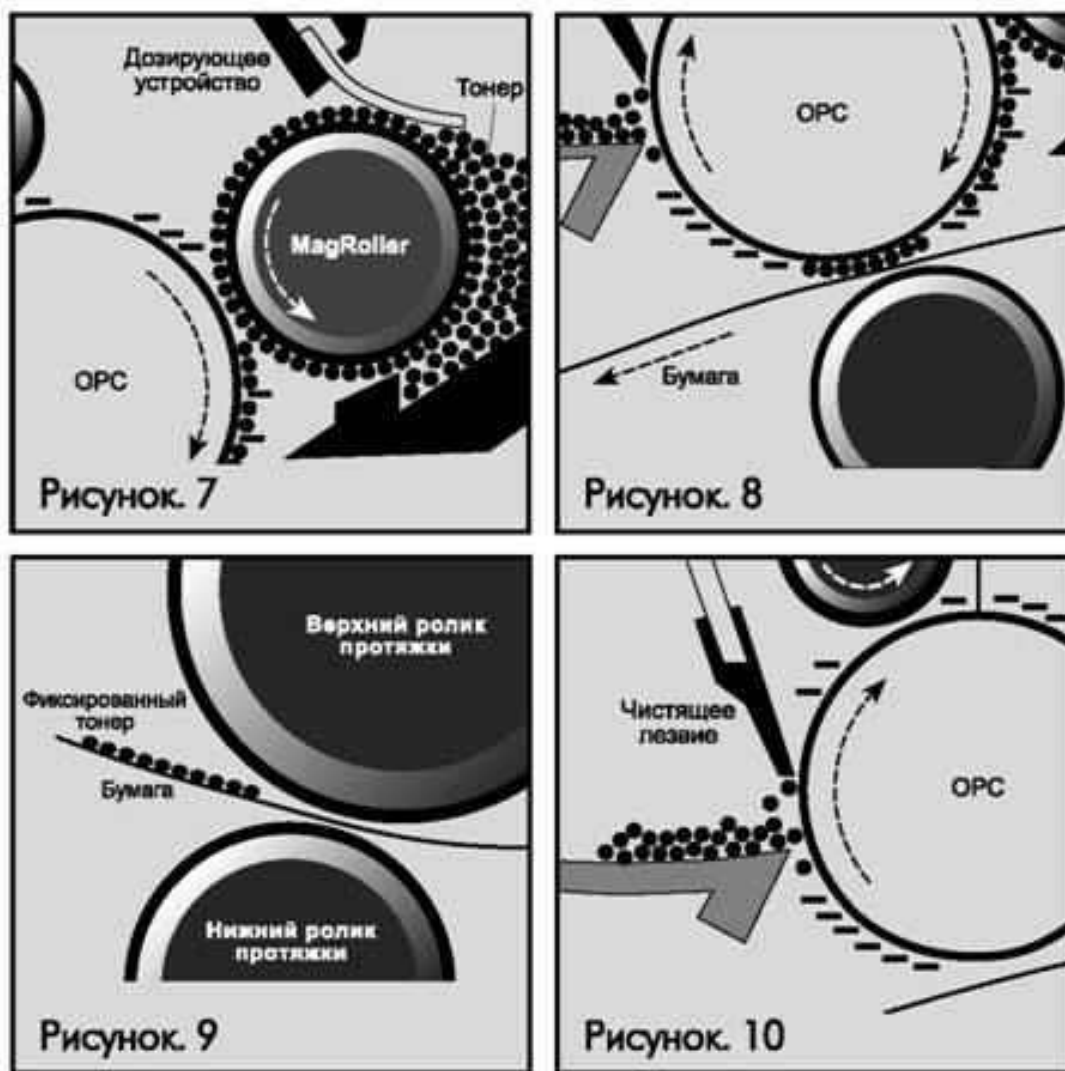


Рис. 4.22. Принцип лазерного друку (продовження)

Очищення барабана (рис. 4.22(10)). Деяка кількість тонера не переноситься на папір і залишається на барабані, тому його необхідно очистити. Цю функцію виконує "вайпер". Весь тонер, що залишився на барабані, счищається вайпером в бункер для відпрацьованого тонера. При цьому Recovery Blade закриває область між барабаном і бункером, не дозволяючи тонеру просипатися на папір. "Видалення" зображення. На цьому етапі з поверхні барабана "стирається" приховане зображення, нанесене лазерним променем. За допомогою валу первинного заряду

поверхню фотобарабана рівномірно "покривається" негативним зарядом, який відновлюється в тих місцях, де він був частково знятий під дією світла.

### **Кольоровий друк за допомогою лазерного принтера**

Кольоровий друк за допомогою лазерного механізму реалізується в кілька етапів по числу базових квітів. Під час кожного з проходів (всього їх, як правило, чотири - СМУК), на папір наноситься тонер якого-небудь одного кольору. Переваги перед усіма іншими технологіями кольорового друку очевидні: висока швидкість і розширення, незалежність від сорту паперу, економічність, відмінні якість, чіткість і довговічність відбитків.

### **Змінний розмір точки і більше відтінків**

REt, дітище Hewlett-Packard, дозволяє варіювати розмір точки за рахунок модуляції потужності лазерного випромінювання та відповідно часткового зняття заряду з фотопровідного барабана (аналог цієї техніки для кольору називається ImageREt 1200). Завдяки цій же технології стало можливим застосування contone методики підвищення якості друку кольорових зображень. Щоб отримати більше відтінків в одній точці, необхідно дозувати нанесення тонерів різних кольорів. Для цього достатньо в кожному проході відповідним чином змінювати інтенсивність лазерного променя в момент промальовування точки. Разом з приходом ери кольору аналогічні методики з'явилися і в арсеналах Apple (PhotoGrade), Lexmark (ColorGrade), Xerox (Intelligent Colour 2.0) і Tektronix. Хоча багато виробників і оголосили про реалізацію повнокольорової (continuouse tone) друку (8-бітова градація насиченості для кожного з чотирьох утворених кольорів), проте фахівці стверджують, що мова йде максимум про 3 або 5-бітових градаціях.



## **Direct-to-Drum**

Використовуючи цю методику, можна забути про проблему суміщення відбитків різних кольорів, яка була вельми специфічною для лазерної кольоровий технології. Сенс зрозумілий з назви: кольорове зображення формується прямо на поверхні фотопровідного барабане, тобто тонери різного кольору змішуються на барабані, а потім разом переносяться на папір. У процесі беруть участь спеціальні магнітні частинки порошку-проявника, які налипають на обертовий магнітний валик і "доставляють" на собі тонер до барабану. Право на Direct-to-Drum належить компанії Hewlett-Packard, проте деякі інші фірми також використовують аналогічні модифікації.

### **Тема 4.3. Електродинамічний гучномовець**

*Лекція 16.* Звукові динаміки або головки прямого випромінювання. Пристрій динамічного гучномовця. Технічні характеристики динамічної головки.

Електродинамічний гучномовець - це гучномовець, в якому перетворення електричного сигналу в звуковий відбувається завдяки переміщенню котушки з струмом в магнітному полі постійного магніту (рідше - електромагніту) з подальшим перетворенням отриманих механічних коливань в коливання навколишнього повітря за допомогою дифузора.

Електродинамічний гучномовець, динамічний гучномовець, динамік, динамічна головка прямого випромінювання - це різноманітні назви одного й того ж приладу, що служить для перетворення електричних коливань звукової частоти в коливання повітря, які і сприймаються нами як звук.

Звукові динаміки або по-іншому динамічні головки прямого випромінювання ви не раз бачили. Вони активно застосовуються в побутовій електроніці. Саме гучномовець перетворює електричний сигнал на виході підсилювача звукової частоти в звук, який людина чує.

Варто зазначити, що ККД (коефіцієнт корисної дії) звукового динаміка дуже низький і становить близько 2 - 3%. Це, звичайно, величезний мінус, але до сих пір нічого кращого не придумали. Хоча варто відзначити, що крім електродинамічного гучномовця існують і інші прилади для перетворення електричних коливань звукової частоти в акустичні коливання. Це, наприклад, гучномовці електростатичного, п'єзоелектричного, електромагнітного типу, але широке поширення і застосування в електроніці отримали гучномовці електродинамічного типу.

Умовне графічне позначення динаміка представлено на Рис. 4.23.

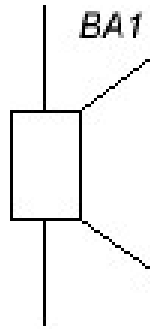


Рис. 4.23. Умовне графічне позначення динаміка.

Поруч з позначенням пишуться літери В або ВА, а далі порядковий номер динаміка в принциповій схемі (1, 2, 3 і т.д.). Умовне зображення динаміка на схемі дуже точно передає реальну конструкцію електродинамічного гучномовця.

### **Пристрій динамічного гучномовця**

Нерухома частина динамічного гучномовця включає дифузотримач і магнітну систему. Дифузор пружно з'єднується з дифузотримачем зовні за допомогою підвісу, а зсередини - за допомогою центруючої шайби. До дифузора жорстко прикріплена звукова котушка, яка може вільно переміщатися в магнітному зазорі, не торкаючись стінок. Отвір в центральній частині дифузора накривається захисним ковпачком.

### **Підвіс**

Гофрований гнучкий підвіс (крайової гофр, «комір») повинен забезпечувати порівняно низьку резонансну частоту (тобто мати високу гнучкість); плоскопаралельний характер руху (тобто відсутність крутильних та інших видів коливань) рухомої системи в обидві сторони від положення рівноваги і ефективне поглинання енергії резонансних коливань рухомої системи. Крім того підвіс повинен зберігати свою форму і властивості в часі і під впливом кліматичних факторів зовнішнього

середовища (температури, вологості та ін.). Як матеріали для підвісів НЧ динамічні головки застосовують натуральні гуми, пенополіуретани, прогумовані тканини, натуральні і синтетичні тканини зі спеціальними демпфіруючими покриттями.

### **Дифузор**

Дифузор - основний випромінюючий елемент гучномовця, який повинен забезпечувати лінійну АЧХ в заданому діапазоні частот. В ідеалі дифузор повинен працювати як поршень, здійснюючи зворотно-поступальні рухи та передавати коливання звукової котушки навколишньому повітрю. Проте з підвищенням частоти в ньому з'являються згинальні зусилля, що призводить до появи стоячих хвиль, а значить - піків і провалів резонансу на АЧХ гучномовця, і як наслідок до спотворень звуку. Для того, щоб знизити вплив цих ефектів, намагаються збільшити жорсткість дифузора, одночасно використовуючи матеріали з меншою щільністю. У сучасних конструкціях для 8-12-дюймових низькочастотних динаміків робочий діапазон простягається до 1 кГц, 5-7 "средньочастотних - до 3 кГц, високочастотних - до 16 кГц.

Дифузори за типом матеріалу бувають:

- жорсткі (керамічні, алюмінієві) забезпечують найменший рівень спотворень, за рахунок меншого вигину поверхні дифузора, але при цьому у них занадто велика добротність, а значить - яскраво виражений пік резонансу. Завдання виробника - зрушити цей пік за межі робочих частот. У той же час ці динаміки займають верхні цінові позиції;
- напівтверді (з склотканини або кевлара зі сполучною полімеризованою і запеченою смолою, «сендвічі») - компромісний варіант між м'якими і жорсткими. Дають більше спотворень, але мають більш низький викид резонансу, і як правило на більш низьких частотах;

– м'які дифузори (поліпропіленові, поліметілпентенові) зазвичай мають рівну АЧХ за рахунок поглинання звукових хвиль матеріалом дифузора і м'який приємний звук майже у всьому діапазоні, але мають погані імпульсні параметри (відсутність чіткості). Крім того, м'який дифузор може кріпитися до дифузороутримача без підвісу;

– паперові дифузори стоять особняком, тому що дають дуже характерне забарвлення звучання, для усунення якого в папір додають різні синтетичні і натуральні волокна, покривають дифузор лаком і т. д. Паперові дифузори більш прості у виробництві і дозволяють в деяких випадках робити дифузор, підвіс і ковпачок з одного матеріалу.

За формою дифузори можуть бути:

– купольні, зазвичай застосовуються в ВЧ-динаміках;

– конусні - поширені більш широко завдяки більшій універсальності.

Майже не застосовуються лише в ВЧ-динаміках через спрямованості випромінювання. Існує кілька видів профілів конусних дифузорів:

- лінійні є максимально жорсткими, але з максимальним значенням резонансу, коли поздовжня хвиля стиснення матеріалу від котушки резонує з поперечною хвилею коливання самої оболонки;

- сегмент кола дозволяє згладити резонанс;

- експонента дозволяє згладити резонанс більш ефективно.

На практиці застосовуються комбінації всіх трьох типів з метою змістити резонанс в область високих частот або розподілити його сплеск на більш широкий діапазон зменшивши амплітуду.

– плоскі дифузори застосовуються рідко, в основному в НЧ-динаміках, через дуже високі інтермодуляційні спотворення.

Рідше застосовуються дифузори більш складної форми, наприклад гофровані, що поєднують в одній деталі дифузор і відразу кілька підвісів - таке рішення застосовується для малогабаритних широкосмугових

динаміків з метою зменшити інтермодуляційні спотворення і розширити діапазон відтворюваних частот.

### **Ковпачок**

Пилезахисний ковпачок - сферична оболонка, яка, виконуючи функцію захисту робочого зазору магнітної ланцюга від попадання пилу, є також окружним ребром жорсткості. Крім того, ковпачок є випромінюючим елементом, що робить свій внесок у формування АЧХ в області середніх частот. Для забезпечення конструктивної жорсткості ковпачки виготовляють, як правило, куполоподібної форми з різними радіусами кривизни. Як матеріал використовують композиції целюлози, синтетичні плівки, тканини з просоченнями. У потужних низькочастотних гучномовцях іноді використовують ковпачки з металеві (алюмінієвої) фольги, що дозволяє використовувати їх як додатковий елемент відведення тепла від звукової котушки. Але у конструкцій з ковпачками в просторі між ковпачком і котушкою виникають високодобротні резонанси, тому деякі виробники замість ковпачків ставлять фазовирівнюючі «Кулі», які не вносять своїх спотворень.

### **Центруюча шайба**

Між дифузором і корпусом динаміка встановлюється спеціальна шайба, яка повинна забезпечувати стабільність резонансної частоти низькочастотних гучномовців в умовах динамічних і температурних навантажень, лінійність пружних характеристик при великих зсувах рухомої системи, запобігати зсуву звукової котушки в радіальному напрямку і «провисання» рухомої системи, а також захищати магнітний зазор від пилу. Зазвичай в низькочастотних гучномовцях використовуються центруючі шайби з синусоїдальним гофруванням (число гофр варіюється від 5-7 до 9-11), плоскі або «мостикові». Однак в деяких моделях

зустрічаються шайби більш складних конфігурацій (наприклад, тангенціальні), що забезпечують, на думку фірм, що їх застосовують, велику лінійність пружних характеристик, стабільність форми і так далі. Спочатку центруюча шайба мала зовсім іншу конструкцію: вона прикріплювалася до керну магнітної системи і внутрішньої частини звукової котушки. Така шайба мала характерний зовнішній вигляд, через якого отримала назву «павук», яке зберіглося в деяких мовах незважаючи на те, що сучасні центруючі шайби мають зовсім іншу конструкцію.

Як матеріали для шайб застосовують натуральні тканини (типу міткалю, бязі і так далі), просочені бакелітовим лаком, синтетичні тканини на основі поліамідів, поліестеру, нейлону і ін. В деяких низькочастотних гучномовцях застосовуються шайби, в матеріал яких вплітаються металеві (алюмінієві, мідні) нитки, які за заявами виробників покращують відведення тепла від звукової котушки.

### **Звукова котушка і магнітна система**

Звукова котушка - котушка з дротом, яка знаходиться в зазорі магнітного ланцюга і забезпечує спільно з магнітною системою динаміка перетворення електричної енергії в механічну. Магнітна система динаміка зазвичай складається з кільцевого магніту і керна, в зазорі між якими рухається звукова котушка, не торкаючись стінок. Велике значення має рівномірність магнітного поля в межах ходу котушки, для чого особливим чином формуються полюса магнітів, а на керн надівається мідний ковпачок. Для зменшення маси котушки (що особливо важливо в ВЧ-динаміках) виробники іноді застосовують алюмінієвий дріт, в тому числі з мідним покриттям. Електричний струм до котушки підводиться за допомогою гнучких проводів, які представляють собою намотану на синтетичну нитку дріт. Провід часто закріплюють на дифузорі, щоб вони при роботі не торкалися до інших частин динаміка. Протилежні кінці проводів підключені

до клемної колодки, розташованої на підставці динаміка (до якого припаюються провідники електронних схем пристрою, в якому встановлений динамік). Дифузори головок, включених синфазно, зміщуються в кожен момент часу в одну сторону (всередину або назовні), що можна візуально проконтролювати шляхом короткочасної подачі на головки невеликої (1,5 В) постійної напруги.

### **Технічні характеристики динамічної головки**

Тип динамічної головки - повно-діапазонна (широкопasmугова - ГДШ, головка динамічна широкопasmугова), низькочастотна (ГДН), середньочастотна (ГДС), високочастотна (ГДВ).

Номінальний діаметр - як правило, зовнішній діаметр дифузортримача (рами). Рідше - діаметр підвісу дифузора або відстань між протилежними кріпильними отворами. Для компресійних драйверів - діаметр горла рупора.

Потужність - може бути зазначено кілька значень потужності:

Потужність по DIN 45500 - потужність (синусоїдальна або музична), при якій спотворення сигналу не перевищують 1%. В СРСР існувало подібне поняття номінальної потужності, для якої, однак, не було встановлено стандартного рівня спотворень;

– Гранична, RMS (Rated Maximum Sinusoidal) - підводиться синусоїдальна потужність, яку витримує головка протягом години без руйнування. Головка може бути зруйнована і набагато меншою потужністю, якщо динамік навантажується понад свої механічних можливостей на дуже низьких частотах (наприклад, електронна музика з великою кількістю баса або органна музика), також руйнування може бути викликано перевантаженням («кліпуванням») підсилювача потужності. В СРСР використовувався схожий параметр - паспортна потужність, однак вимірювалася вона на шумовому сигналі протягом 100 годин;



– Пікова (короткострокова) потужність (РМРО) - потужність, яку може витримати гучномовець протягом короткого часу. В СРСР цей час нормувалося 1 секундою, в той час як в даний час цей параметр не нормується. Може бути в десятки разів більше номінальної потужності. У 90-ті роки багато виробників електроніки нижнього цінового рівня в Китаї наносили це значення потужності на продукцію, проте для кінцевого споживача ця потужність не має сенсу.

*Лекція 17.* Принцип роботи динамічної головки. Стерефонія. Методи стереозапису. Бінауральний ефект. Системи стереофонічного мовлення.

### **Принцип роботи динамічної головки**

Принцип роботи динамічної головки буде найбільш зрозумілий, якщо головку зібрати з самого початку, по порядку.

Для цього буде потрібно кільцевої магніт з полюсами, розташованими з плоского боку кільця (Рис. 4.24):

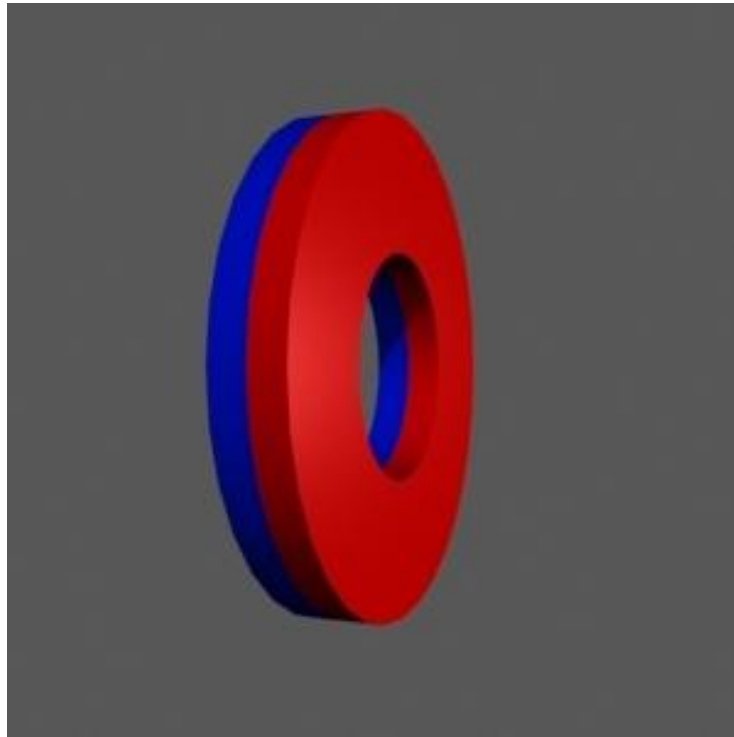


Рис. 4.24. Кільцевий магніт

Магнітне поле в такому магніті буде розташовуватися (поширюватися) таким чином (Рис. 4.25):

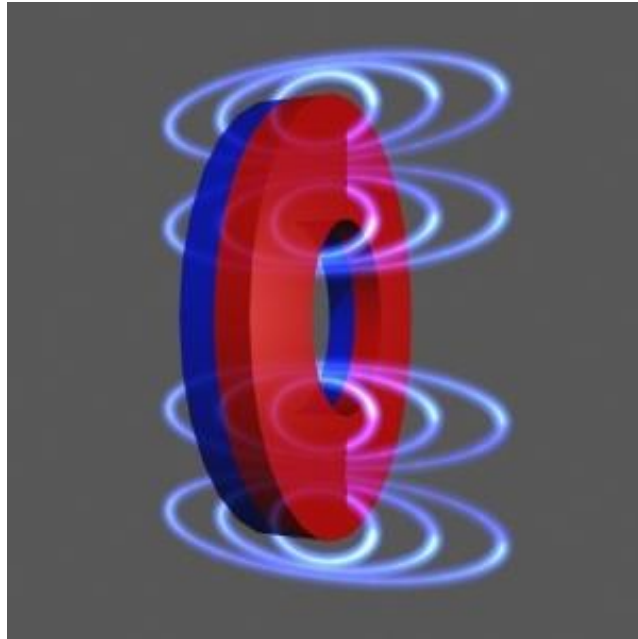


Рис. 4.25. Поширення магнітного поля у кільцевому магніті

Тепер з заднього боку закрисмо магніт сталевим, магнітом'яким листом, круглої форми і діаметром рівним, діаметру магніту (Рис. 4.26)

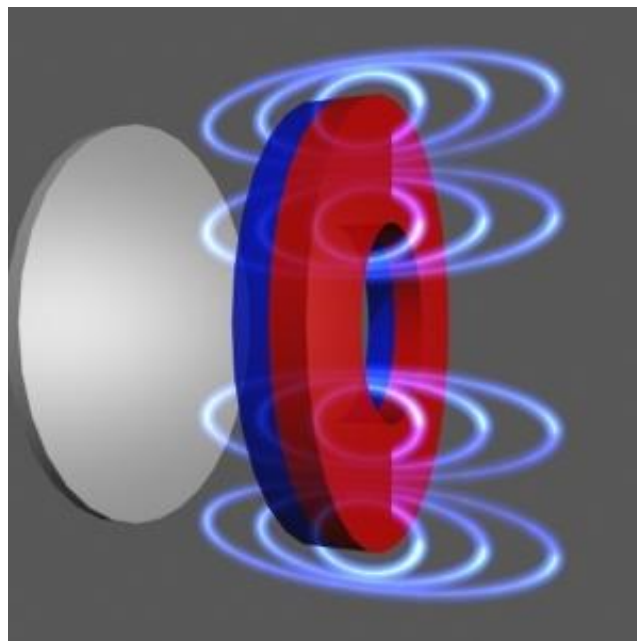


Рис. 4.26. Поширення магнітного поля у кільцевому магніті та сталевий листок.

Магнітне поле вже не буде випромінюватися в навколишнє середовище, а піде по сталевому листу, який тепер виступає в ролі магнітопровода (Рис. 4.27):

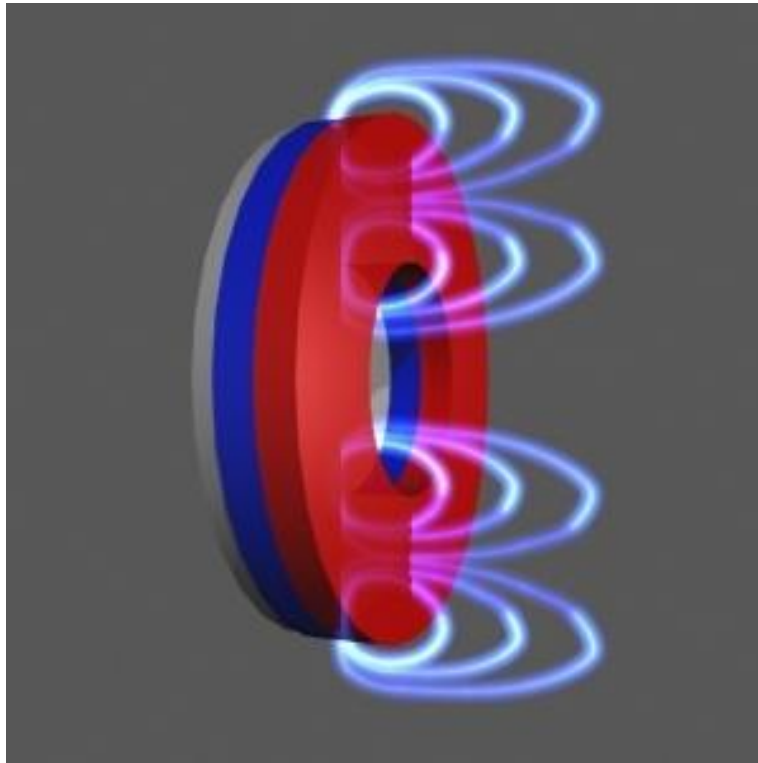


Рис. 4.27. Поширення магнітного поля у кільцевому магніті, що закритий сталевим листком з одного боку.

Таким же листом закриємо магніт з передньої частини, тільки в цьому листі повинний бути отвір, діаметр якого дорівнює внутрішньому діаметру магніту (Рис. 4.28):

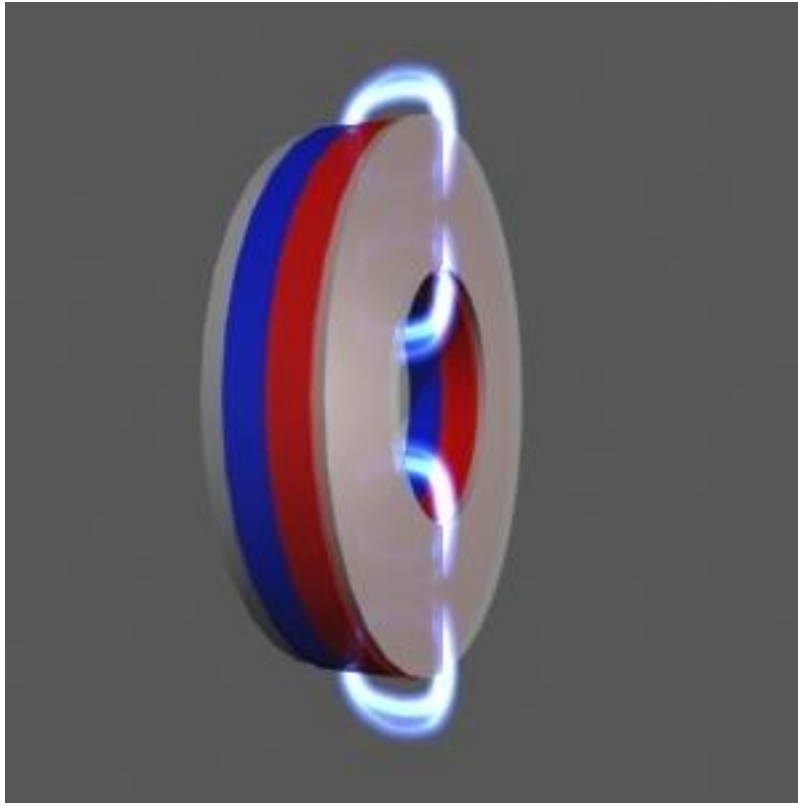


Рис. 4.28. Поширення магнітного поля у кільцевому магніті, що закритий сталевим листком з двох боків.

Магнітне поле і з цього боку замикається, але магнітні лінії всередині магніту потрібно розподілити більш рівномірно, тому всередину вставимо сталевий циліндр. Діаметр циліндра повинен бути менше внутрішнього діаметра магніту, причому різниця в діаметрах залежить від конструктиву використовуваної магнітної котушки. Введення циліндра так само сприяє концентрації магнітного поля в отриманому зазорі, оскільки розриває магнітопровід (Рис. 4.29):

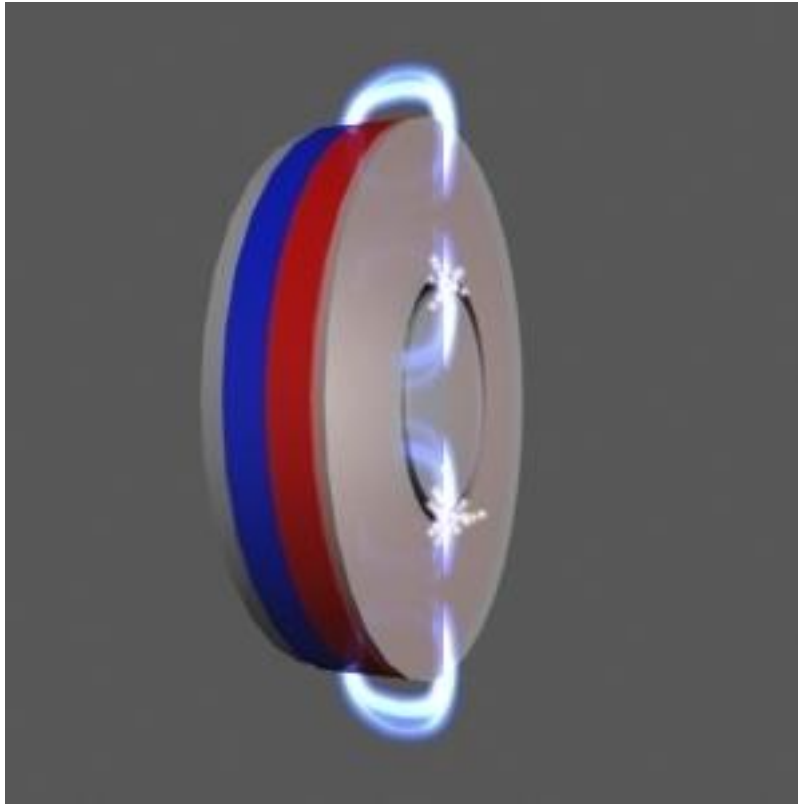


Рис. 4.29. Поширення магнітного поля у кільцевому магніті, що закритий сталевим листком з двох боків та сталевим циліндром всередині.

Далі в зазор поміщається котушка індуктивності, причому величина на яку котушка йде всередину магнітного зазору дорівнює половині висоти котушки, тобто котушка занурюється рівно на половину своєї висоти. Таке розположення котушки необхідно для забезпечення однакового ходу котушки як всередину магнітної системи, так і назовні (Рис. 4.30):

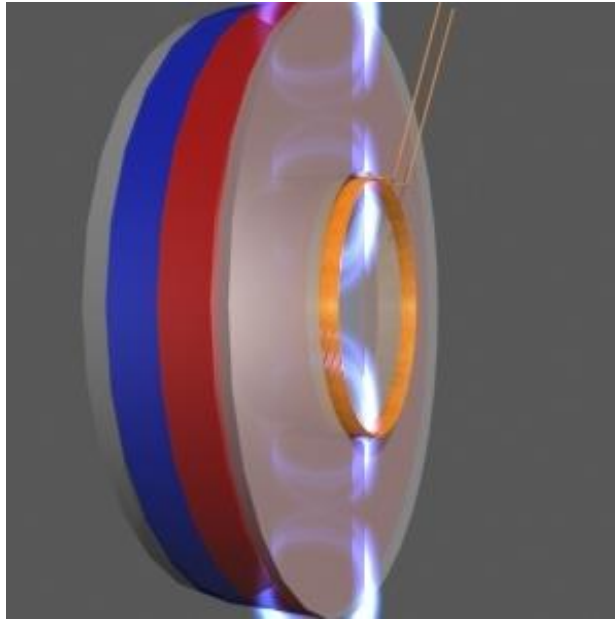


Рис. 4.30. Поширення магнітного поля у кільцевому магніті, що закритий сталевим листком з двох боків зі сталевим циліндром та котушкою індуктивності всередині.

Тепер, якщо до котушки підключити джерело напруги, то котушка буде виштовхуватися, якщо її магнітне поле буде однієї полярності з магнітним полем магніту (Рис. 4.31):

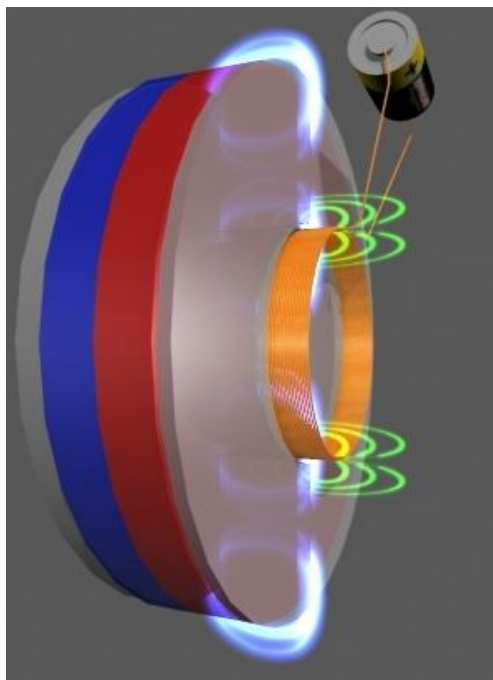


Рис. 4.31. Поширення магнітного поля у кільцевому магніті, що закритий сталевим листком з двох боків зі сталевим циліндром та котушкою індуктивності, підключеною до джерела напруги. Котушка виштовхується.

або втягуватися, якщо її магнітне поле буде протилежним магнітному полю магніту (Рис. 4.32):

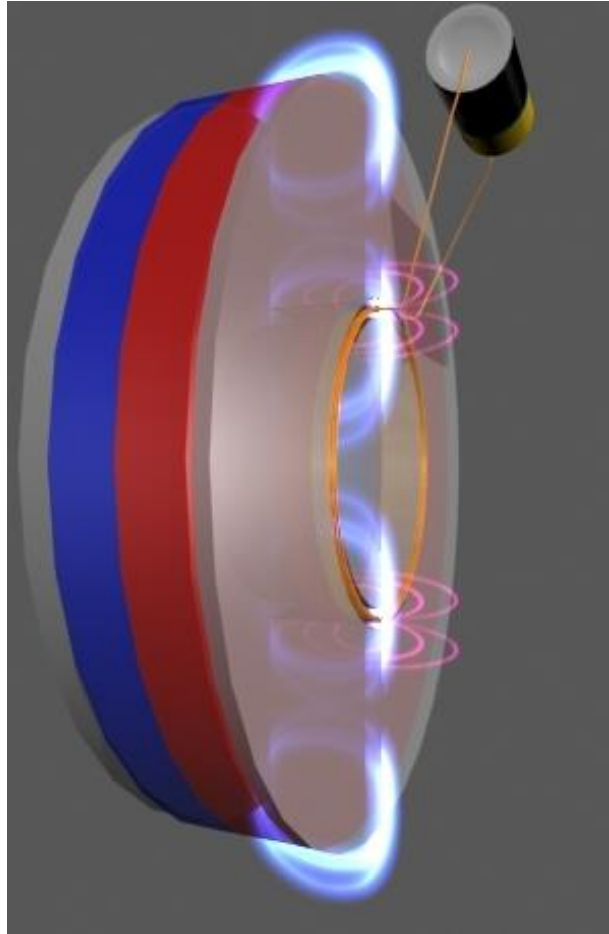


Рис. 4.32. Поширення магнітного поля у кільцевому магніті, що закритий сталевим листком з двох боків зі сталевим циліндром та котушкою індуктивності, підключеною до джерела напруги. Котушка втягується.

Тепер закріпимо котушку на жорсткому циліндрі, а його з'єднаємо з паперовим конусом (Рис. 4.33):



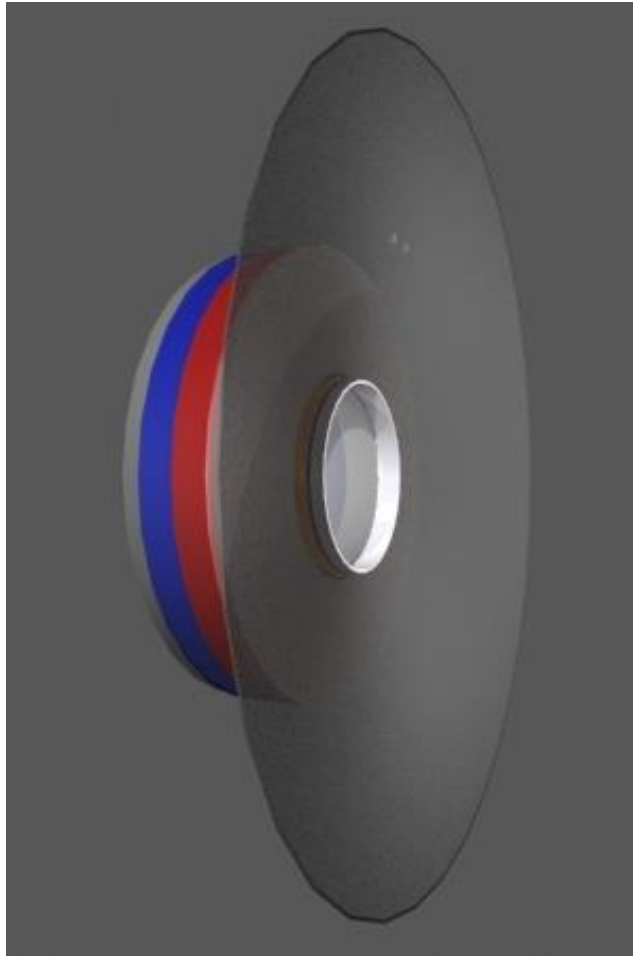


Рис. 4.33. До тієї ж конструкції приєднали паперовий конус.

При русі котушки в магнітному зазорі цей рух буде передаватися конусу і той буде викликати механічний рух повітря, тобто з'явиться звук. Конус називається дифузором і може бути виконаний, як вже зазначалося, не тільки з паперу.

Котушка по суті нічим не закріплена, отже вона може битися і об магніт і об сталевий циліндр, що знаходиться всередині магніту і іменованій керном. Для того, щоб виключити цю неприємність, котушку фіксують в просторі за допомогою центруючої шайби - спайдера, а з широкої сторони конуса, по периметру кріпиться дифузотримач (Рис. 4.34):

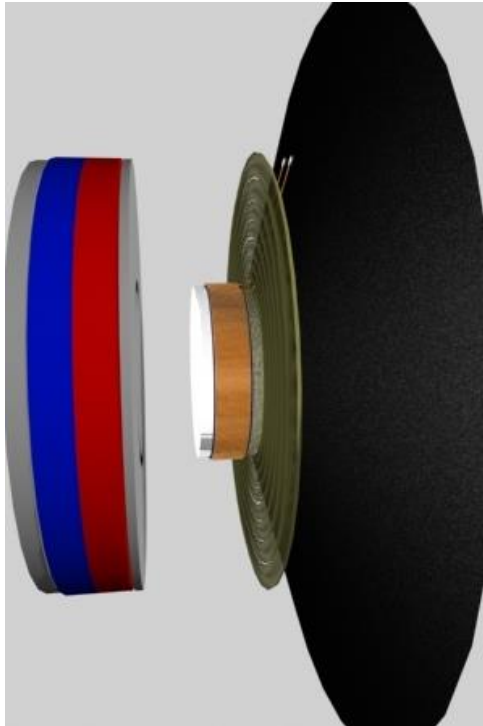


Рис. 4.34. Та ж конструкція, вже з дифузотримачем.

І магніт, і дифузор кріпляться до кошику - магніт або приклепується, або прикручується гвинтами. Дифузор приклеюється, точніше не дифузор, а дифузотримач і спайдер (Рис. 4.35):



Рис. 4.35. Кріплення до кошика

З боку дифузора залишається отвір і його потрібно закрити, щоб уникнути попадання всередину пилу і дрібного сміття (Рис. 4.36):



Рис. 4.36. Отвір з боку дифузора

Для цього використовується захисний ковпачок. Однак ця технологічна деталь виконує ще одну функцію - вона відповідає за відтворення високочастотної складової звукового сигналу. Причина такого поділу праці чисто механічна. Для відтворення ВЧ сигналу необхідна невелика амплітуда, але дуже швидкий зворотно-поступальний рух дифузора. Якщо дифузор буде занадто тонким, значить він буде легким і рішення відтворення начебто забезпечено. Однак якщо дифузор буде тонким він буде занадто м'яким і не зможе повноцінно відтворювати НЧ складову, де необхідне використання всієї площі дифузору. Дифузор просто буде гнутися в середині (Рис. 4.37):



Рис. 4.37. Деформація дифузора

Тому виробники йдуть на різні компроміси - самі дифузори можуть складатися з декількох компонентів, наприклад на просочений папір напилюється алюміній, а захисний ковпачок робиться з більш жорсткого матеріалу, його форма виготовляється таким чином, щоб забезпечити максимальну віддачу на ВЧ. В даному прикладі паперовий дифузор оснащений пластиковим, металізованим захисним ковпачком (Рис. 4.38):



Рис. 4.38. Паперовий дифузор з металізованим захисним ковпачком.

Іноді, щоб ще більше посилити віддачу динамічної головки на ВЧ використовують захисні ковпачки у вигляді рупора, виконаного з паперу, але просоченого жорсткішим просоченням і висушеного під більшим тиском (Рис. 4.39):



Рис. 4.39. Паперовий дифузор з захисним ковпачком з щільнішого паперу у формі рупора.

Залишилося підключити котушку дифузору до клем, і робиться це багатожильним, мішурним проводом, стійким до багаторазових перегинів (Рис. 4.40):

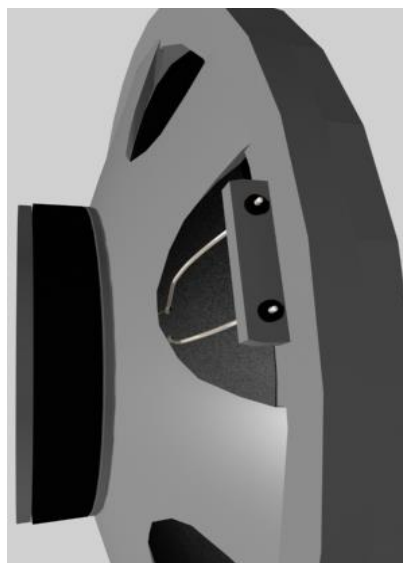


Рис. 4.40. Підключення котушки дифузора до клем.

Динамічні головки, що працюють у всьому діапазоні звукових частот називаються широкосмуговими і при їх виробництві доводиться вирішувати безліч проблем, що дозволяють дійсно отримати більш-менш лінійну АЧХ. Однак є ще один варіант вирішення проблеми відтворення всього звукового діапазону - використання декількох динамічних головок (Рис. 4.41):



Рис. 4.41. Широкополосний динамік.

Кожна динамічна головка призначена для відтворення тільки свого частотного діапазону, а акустичні системи, що використовують такі головки називаються багатосмуговими. Великі динамічні головки в таких системах відповідають за відтворення НЧ і СЧ діапазону, їх паспортна потужність значно перевищує потужність маленьких головок, що відповідають за відтворення СЧ і ВЧ діапазону. Поділ сигналу, що подається на головки

виконується або пасивними фільтрами, що встановлюються всередині акустичної системи, або фільтри ставляться до підсилювачів потужності, але в цьому випадку потрібні більші витрати, оскільки для кожної динамічної головки потрібний свій підсилювач. Зрозуміло, що у кожного із способів є свої плюси і свої мінуси.

При використанні пасивних фільтрів виникають проблеми узгодження динаміків по фазі, але загальний комплект виходить значно простіше і дешевше. При використанні окремих підсилювачів для кожного діапазону з фазуванням проблеми вирішуються простіше, але досить відчутно зростає вартість комплексу.

Ну тепер принцип роботи динамічної головки повинен бути зрозумілий повністю - при подачі змінної напруги з підсилювача потужності котушка то втягується, то виштовхується з магнітного зазору, а оскільки вона жорстко з'єднана з дифузором, то він повторює всі її рухи викликаючи рух повітря з тією ж частотою, що і подається з підсилювача напруги (Рис. 4.42):



Рис. 4.42. Динамічна головка.

## **Технічні характеристики динамічної головки**

**Тип динамічної головки** - повно-діапазонна (широкосмугова - ГДШ, головка динамічна широкосмугова), низькочастотна (ГДН), середньочастотна (ГДС), високочастотна (ГДВ).

**Номінальний діаметр** - як правило, зовнішній діаметр дифузотримача (рами). Рідше - діаметр підвісу дифузора або відстань між протилежними кріпильними отворами. Для компресійних драйверів - діаметр горла рупора.

– **Діапазон частот** - це смуга звукових частот, які здатний відтворити динамік. Вимірюється в герцах (Гц). Нагадаємо, що людське вухо сприймає частоти в діапазоні 20 Гц - 20 кГц. Але, звичайно, ніякої динамік не здатний точно відтворити весь звуковий діапазон. Якість звуковідтворення буде відрізнятися від того, що потрібно.

**Потужність** - може бути зазначено кілька значень потужності:

– **Потужність по DIN 45500** - потужність (синусоїдальна або музична), при якій спотворення сигналу не перевищують 1%. В СРСР існувало подібне поняття номінальної потужності, для якої, однак, не було встановлено стандартного рівня спотворень;

– **Гранична, RMS (Rated Maximum Sinusoidal)** - підводиться синусоїдальна потужність, яку витримує головка протягом години без руйнування. Головка може бути зруйнована і набагато меншою потужністю, якщо динамік навантажується понад свої механічних можливостей на дуже низьких частотах (наприклад, електронна музика з великою кількістю баса або органна музика), також руйнування може бути викликано перевантаженням («кліпуванням») підсилювача потужності. В СРСР використовувався схожий параметр - паспортна потужність, однак вимірювалася вона на шумовому сигналі протягом 100 годин;

– **Пікова (короткострокова) потужність (PMPO)** - потужність, яку може витримати гучномовець протягом короткого часу. В СРСР цей час



нормувалося 1 секундою, в той час як в даний час цей параметр не нормується. Може бути в десятки разів більше номінальної потужності. У 90-ті роки багато виробників електроніки нижнього цінового рівня в Китаї наносили це значення потужності на продукцію, проте для кінцевого споживача ця потужність не має сенсу.

– **Номінальна електричний опір (Ом).** Мідний дріт звукової котушки має активний опір.

– **Реактивний опір.** Реактивний опір утворюється тому, що звукова котушка, це, по суті, звичайна котушка індуктивності і її індуктивність чинить опір змінному струму. Реактивний опір залежить від частоти змінного струму.

– **Повний опір звукової котушки.** Виходить, що активний опір котушки не змінюється, а реактивний опір змінюється в залежності від частоти струму. Щоб внести порядок реактивний опір звукової котушки динаміка вимірюють на фіксованій частоті 1000 Гц і додають до цієї величини активний опір котушки.

У підсумку виходить параметр, який і називається номінальним (або повним) електричним опором звукової котушки. Для більшості динамічних головок ця величина складає 2, 4, 6, 8 Ом. Також зустрічаються динаміки з повним опором 16 Ом.

Варто відзначити той факт, що повний опір котушки десь на 10 - 20% більше активного. Тому визначити його можна досить просто. Потрібно всього лише виміряти активний опір звукової котушки омметром і збільшити отриману величину на 10 - 20%. У більшості випадків можна взагалі враховувати тільки чисто активний опір.

Номінальний електричний опір звукової котушки є одним з важливих параметрів, так як його необхідно враховувати при узгодженні підсилювача і навантаження (динаміка).

Величина потужності, на яку розрахований конкретний динамік як і його опір, можуть бути вказані на його корпусі. Наприклад, ось так - 4 Ом, 1W.

Згадаймо, що ККД динаміка становить близько 2 - 3%. А це означає, що якщо до динаміка підвести електричну потужність в 10 Вт, то в звуковій хвилі він перетворює лише 0,2 - 0,3 Вт. Досить трохи, правда? Але, людське вухо влаштовано дуже витончено, і здатне почути звук, якщо випромінювач відтворює акустичну потужність близько 1 - 3 мВт на відстані від нього в кілька метрів. При цьому до випромінювача - в даному випадку динаміку - потрібно підвести електричну потужність в 50 - 100 мВт. Тому, не все так погано і для комфортного озвучування невеликої кімнати цілком достатньо підвести до динаміка 1 - 3 Вт електричної потужності.

## **Стерефонія**

Стерефонія або Стереозвук - запис, передача або відтворення звуку, при яких зберігається аудильна інформація про розташування його джерела за допомогою розкладання звуку на два (і більше) незалежних аудіоканали. У монозвучанні аудіосигнал надходить з одного каналу.

В основі стереофонії лежить здатність людини визначати розташування джерела з різниці фаз звукових коливань між вухами, що досягається через кінцеву швидкість звуку. При стереофонічному записі запис ведеться з двох рознесених на деяку відстань мікрофонів, для кожного використовується окремий (правий або лівий) канал. У результаті виходить так зване «Панорамне звучання».

### **Псевдостерео**

У 1960-і рр. в США практикувався випуск так званих «дуофонічних» грамплатівок, в яких монофонічним записам надавався ефект стерео.

Псевдостереофонія досягалася за допомогою маніпуляцій з частотами і луною. Монозапис розбивався на два канали, потім у першому каналі через фільтри заглушалися низькі частоти, і на передній план виводилися високі; у другому каналі процедура здійснювалася протилежним чином, тобто з посиленням баса і придушенням високих частот. Після цього звук піддавався затримці на частку секунди, створюючи, таким чином, ефект помилкової луни, який посилювався на одному з каналів.

## Методи стереозапису

### Інтенсивна стереофонія

За даною технікою два мікрофони що направлені в одну сторону розташовують під кутом  $90^\circ$  чи більше один до одного (рис. 4.43). Завдяки різниці звукового тиску на мікрофони досягається стереоефект. Для того, щоб відчуті напрямом звуку, різниця тиску повинна складати 16-20 дБ. Системи X-Y уступають системам A-B через замалу різницю звукового тиску між мікрофонами. При цьому глибина та просторовість звучання гірші.

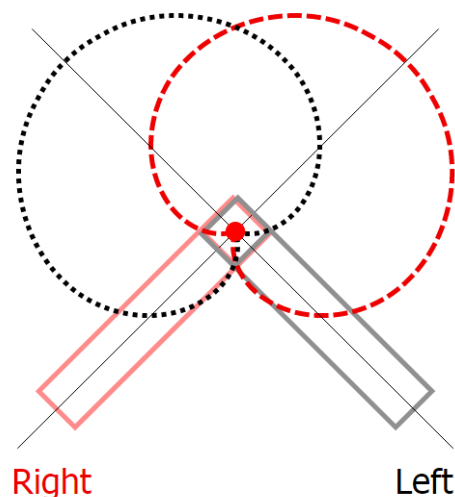


Рис. 4.43. Розташування мікрофонів за принципом X-Y

Для отримання реалістичного звукового образу використовують "пару Блюмлейна". Вона характеризується розташуванням двох двосторонніх мікрофонів під кутом  $\pm 45^\circ$ .

### Фазова стереофонія

При використанні техніки фазової стереофонії два монофонічні мікрофони розташовують на деякій відстані паралельно один одному (рис. 4.44). При цьому виникає різниця у часі прийому та амплітуді звукового сигналу. Завдяки ефекту Хааса, різниця у часі між приходами до слухача сигналів зліва і справа створює ефект локалізації джерела звуку.

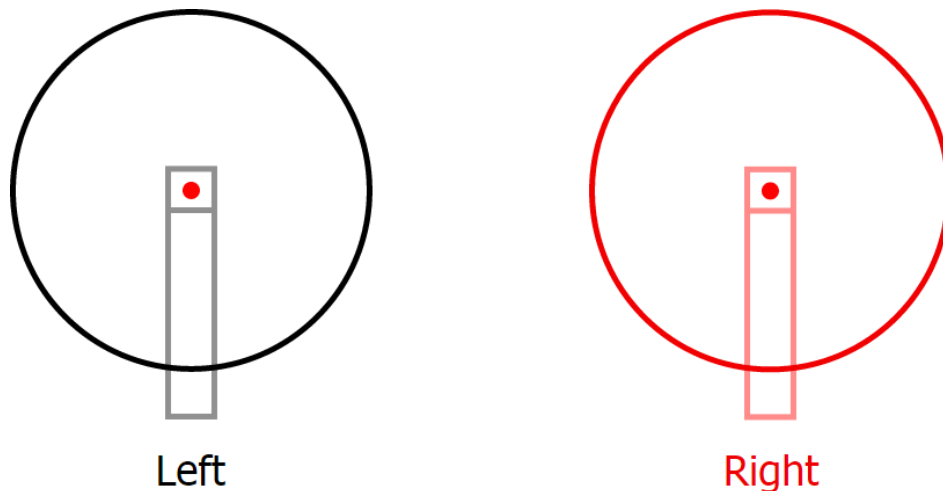


Рис.4.44. Розташування мікрофонів за принципом А-В

При відстані близько 50 см різниця між часом, коли звуковий сигнал досягає першого мікрофона, і часом коли він досягає другого мікрофону становить близько 1,5 мс. Цього достатньо для локалізації джерела звуку у напрямку відповідного динаміка і стереофонічний кут охоплення сягає  $180^\circ$ . Якщо збільшити відстань між мікрофонами, кут охоплення зменшиться.

## Техніка M/S: стереофонії

У системі MS стереофонічний сигнал поділяється на "сигнал середини" (M) та "сигнал напрямку" (S). В цьому випадку (рис. 4.45) в одному місті розташовують два мікрофони - двосторонній мікрофон, вісь максимальної чутливості якого спрямовано перпендикулярно до джерела звуку (S) і кардіоїдний або всенаправлений мікрофон (M). Сигнали від цих мікрофонів мікшуються за наступним принципом: лівий канал отримується додаванням сигналів (підсумовуючий сигнал), а правий - різницею між сигналами (різницевий сигнал, сигнал напрямку інвертується).

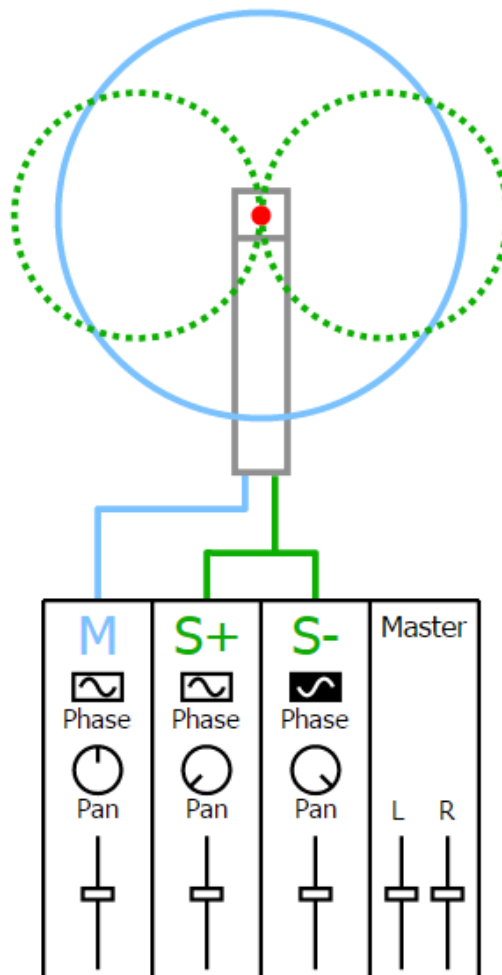


Рис. 4.45. Розташування мікрофонів за принципом Mid-Side

Ця конфігурація дозволяє отримати моно-сумісний сигнал, причому ширину стереобазис можна варіювати, регулюючи співвідношення між сигналами, що робить цю техніку корисною для кінопродукції.

### **Методи стереофонічної звукопередачі**

Первинним звуковим полем назвемо поле, що утворюється первинними джерелами звуку: голосами виконавців, музичними інструментами і так далі.

Вторинним - поле, що являє собою відтворення первинного поля за допомогою системи звукопередачі. Стереофонічною будемо називати звукопередачу, яка зберігає у вторинному полі локалізацію джерел звуку, або відтворює просторову розрізняльність звукових полів окремих джерел первинного поля ( без точної передачі їх дійсного розташування).

Звичайно, це визначення не охоплює численних факторів, що визначають поняття стереофонічного ефекту і типу передачі. Справа в тому, що вторинне поле майже ніколи не буває фізичною копією первинного, а являє собою результат творчого синтезу фактично нового звукового поля. Цей синтез здійснюється шляхом використання різноманітних засобів і методів обробки звукових сигналів, різних принципів розміщення електроакустичних систем, різної кількості каналів звукопередачі.

Можна виділити три основні методи звукопередачі, які в певній мірі задовольняють стереофонічному звучанню.

**Бінауральна система.** Якщо при запису звуку використати макет голови у натуральну величину і замість вух розмістити мікрофони, кожний з яких має свій канал звукопередачі, який закінчується головним телефоном для відповідного вуха, то така система, за умов ідентичності каналів звукопередачі, з великою точністю передає будь - яку різницю в бінауральній парі сигналів, що виникає біля «вух» макету у первинному

приміщенні, і отже, забезпечує точну передачу кута розташування джерел звуку. Але для слухачів, що знаходяться в різних місцях вторинного приміщення, одному й тому ж самому куту будуть відповідати різні лінійні положення джерел звуку, які до того ж будуть залежати від повороту голови слухача. Тому бінауральна система незадовільна для супроводження зображень.

**Система інтегральної локалізації.** В цьому методі використовується дво - або чотириканальна система звукопередачі. за допомогою якої для кожного первинного джерела звуку забезпечується або певна різниця рівнів енергії, або певний зсув у часі однакових звукових сигналів у каналах. В результаті відтворюється ефект інтегральної локалізації, у відповідності з яким віртуальне джерело звуку локалізується у певній точці проміжку між двома випромінювачами звуку. Різниця рівнів або зсув у часі, може відтворюватися за допомогою регулювання підсилення у каналах, впровадження затримки, відповідного розташування гучномовців тощо. Метод використовується у стереофонічних системах побутового призначення, оскільки передбачає розміщення слухача у середині зони стереоефекту.

**Ідеальна система стереофонічної звукопередачі.** Цей спосіб базується на застосуванні багатоканальної системи звукопередачі. У первинному полі на одній горизонтальній лінії встановлюється ряд мікрофонів, кожний з яких пов'язаний каналом звукопередачі з гучномовцями, розташованими у такому ж порядку у вторинному полі. При роботі випромінювача звуку у первинному полі в кожний момент часу буде здійснюватися точна передача змінення звукового тиску із первинного поля у вторинне, тобто буде забезпечена передача кута локалізації джерела звуку. Необхідне число каналів визначається здатністю слуху розділяти кутове положення окремих випромінювачів. Ця здатність залежить від кутової розрізняльної здатністю слуху для рухомих випромінювачів від

точності локалізації дія нерухомих. Відомо, що кутова розрізнявальна здатність слуху дорівнює  $3^\circ$ . а точність локалізації -  $12^\circ$ . Враховуючи це. можна визначити необхідне число каналів звукопередачі (4.1.). Наприклад, якщо ширина приміщення -  $B$ . невідоме число каналів -  $n$ , відстань від лінії випромінювачів до слухачів -  $x$ , то

$$\operatorname{tg} a = \frac{B}{n \cdot x} \text{ і } n = \frac{B}{x \cdot \operatorname{tg} a}, \quad (4.1.)$$

тут  $a$  - кутова відстань між гучномовцями сусідніх каналів (з позиції слухача). Наприклад, в приміщенні шириною  $B=20\text{м}$  для слухача, розташованого на відстані  $x = 20\text{м}$ , достатньо мати :  $n = \frac{1}{\operatorname{tg} 12} = 5$  каналів.

Стерефонічна звукопередача в кінематографії. Наприкінці 50-х років, завдяки розробці нового альтернативного фотографічному методу звукозапису, з'явилася можливість стереозвучання у кінотеатрах. Після друку зображення, на кіноплівку наносились тонкі смужки оксиду металу, подібні магнітній стрічці. Звук записувався на магнітні смужки, а відтворення звуку здійснювалося через магнітні головки, встановлені на кінопроекторі. Технологія магнітного запису надала можливість вперше відтворити стереозвук в кінотеатрах: 4-х каналного стереозвуку на 35-мм кіноплівці та 6- каналного - на 70-мм кіноплівці. Проте, магнітні копії були і залишаються найбільш дорогими у виготовленні. Крім цього, ці копії недовговічні в експлуатації (магнітний шар розстається: через склейки кіноплівки виникають спотворення звуку).

Прорив у технології стереозвуку прийшов в кінці 80-х років. Лабораторія Долбі (Велика Британія) запровадила практичний стереооптичний формат на 35-мм кіноплівці. Основою технології цього формату під назвою Долбі - А став принцип розміщення звуку на двох доріжках на місці розміщення стандартної оптичної односторонньої фонограми, яка містить інформацію



не тільки дія лівого та правого каналів (так званий внутрішній стереозвук), а й інформацію дія третього (центрального ) та дія четвертого каналу об'ємного звучання звуку оточення і спеціальних ефектів. Цей формат дозволив не тільки відтворити 4 канали звуку, а й досягти вищої якості стереофонічного звучання оптичних звукових доріжок. Вперше стало можливим знизити шуми, що спричиняються оптичними звуковими доріжками, вирівняти звучання гучномовців. Наступним кроком у вдосконаленні стереозвуку стала розробка нового процесу запису і відтворення звуку - DOLBY SR ( спектральний запис). Подібний зниженню шумів у системі DOLBY - A - це система дзеркального відображення процесу кодування та декодування при запису і відтворенні звуку. Технологія DOLBY SR забезпечує більш ніж у 2 рази зниження рівня шумів порівняно з DOLBY - A. DOLBY відтворює звук у більш широкому діапазоні частот з більш низькими спотвореннями. У 1992 році Лабораторія Долбі впровадила шести- канальний цифровий оптичний запис стереозвуку додатково до 4-х канального аналогового DOLBY SR, що розміщується на одній копії. Цей цифровий формат під назвою DOLBY - D забезпечує відтворення звуку незалежними лівим, центральним, правим каналами, розділеними лівим та правим каналами оточення (surround) та ще одним каналом зверхнизького звуку (subwoofer). Цифрова фонограма знаходиться на фільмокопії поряд з аналоговою дводоріжечною фонограмою у проміжках між перфораціями.

Проте, при підготовці фонограми фільму «Зоряні війни. Епізод 1» . компанія «Лукасфільм» вважала, що два канали звуку оточення не зможуть реалізувати фантазії авторів фільму. Необхідні ефекти «прольоту» звуку над головами глядачів від екрану до задньої стіни кінозалу і навпаки. Так з'явився окремий третій канал оточення, так званий задній тилловий канал звуку. Ця технологія запису і відтворення звуку називається DOLBY SR - D Surround EX.

У 1994 році корпорація SONY представила новий формат цифрового 8 - каналного звуку під назвою (Sony Dinamic Digital Sound) - SDDS.

5 фронтальних каналів заекранного звуку (лівий, лівий середній, середній, правий середній, правий): 2 канали оточення: лівий і правий оточення: 1 канал наднизьких частот. Ця система запису і відтворення стереозвуку більше підходить для кінотеатрів з великими розмірами екранів (шириною - більше 20 м ). Фонограма записана на кіноплівці під трьома емульсійними шарами плівки і розміщується на краї плівки. Система SDDS використовує подвійне дублювання інформації. Можливі ураження на одній стороні плівки корегуються інформацією з другої сторони. Крім цього, інформація заткана на плівці із затримкою у 7 кадрів. Це надає можливість додатково захистити звукову інформацію при склейках плівки.

Всі перераховані вище системи затоку і відтворення стереозвуку знаходяться на одній кіноплівці. Розміщення фонограм та тайм - коду різних систем показано на рис.4.46.[7]

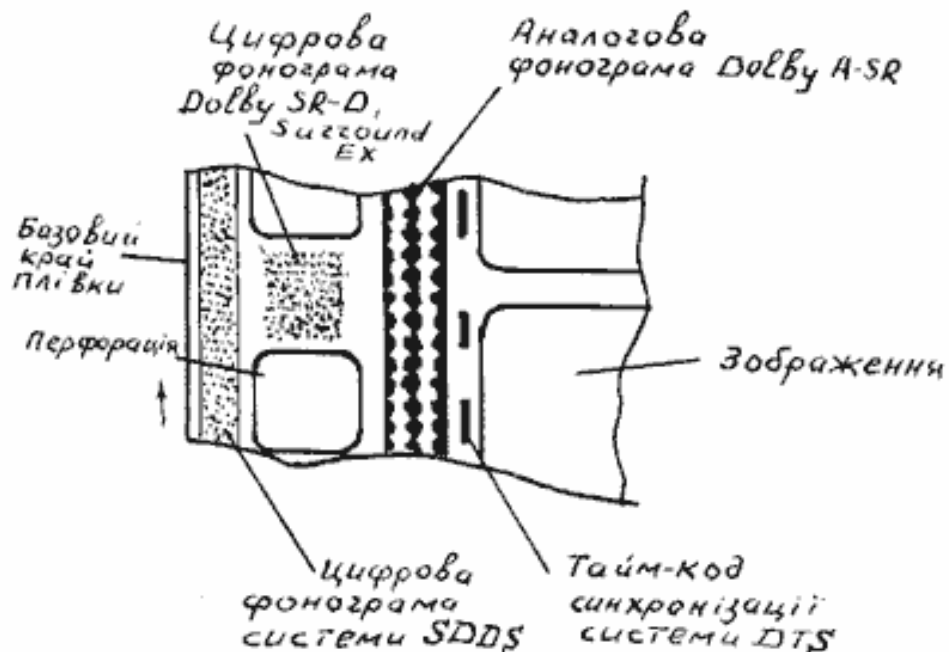


Рис.4.46. Бінауральний ефект

Бінауральним (двоушним) ефектом називається здатність слуху визначати напрям приходу звукової хвилі, тобто локалізувати місце знаходження джерела звуку. Фізичною основою цього ефекту є просторова несумісність двох ушей і екрануючий вплив голови, що призводить до неоднакового збудження правого і лівого вуха. Різниця збудження зводиться до таких факторів:

- а) часового - не збігання моментів впливу однакових фаз звуку на ліве і праве вухо;
- б) амплітудного - неоднакової величини звукових тисків через дифракцію звукової хвилі навколо голови (наприклад, утворення «акустичної тіні» з боку, зворотного до джерела звуку).
- в) спектрального - різниці у спектральному складі звуків, що сприймаються лівим і правим вухом, внаслідок частотної залежності екрануючого впливу голови.

Найменший відчутний кут відхилення джерела звуку складає при сприйнятті звукових імпульсів біля  $3^\circ$ . Цю величину слід вважати кутовою або бінауральною, розрізнявальною здатністю слуху. Інколи її називають точністю локалізації, що не зовсім точно розкриває дійсний зміст цієї величини. Справа в тому, що слух помічає кутове зміщення на  $3^\circ$ , але при визначенні напрямку робить помилку у середньому на  $12^\circ$ . Тому точність локалізації має величину  $12^\circ$ . Для джерел, розташованих за слухачем, ця точність ще менша. Це стосувалося приходу звуку у горизонтальній площині. Здатність визначати напрямок приходу звуку у вертикальній площині розвинута у людини значно слабкіше. Цю здатність звичайно пов'язують з орієнтацією вушних раковин. Вважається, що точність визначення напрямку надходження звукових хвиль у вертикальній площині не перевищує  $20^\circ$ . така ж сама точність і при прослуховуванні одним вухом.

Безпосередньо з бінауральним ефектом пов'язана здатність слуху до сумарної або інтегральної локалізації, що виявляється у певних штучно створених умовах, до яких слух не міг пристосуватися в результаті природної еволюції. Наприклад, замасковані від слухача ідентичні гучномовці 1 і 2, розташовані на відстані  $2\ell$  один від одного (рис.4.47.), відтворюють один і той самий звуковий імпульс. До вух слухача, розташованого симетрично до гучномовців на відстані  $X$  від лінії гучномовців будуть одночасно надходити два однакових звуки: від правого гучномовця - до правого вуха, від лівого - до лівого. Внаслідок ідентичності звуків слух не може їх відокремити і в результаті сприймає єдине уявне джерело звуку, яке знаходиться, як здається слухачу, у середній точці. Якщо в розглянутому випадку зменшити амплітуду тиску гучномовця 2, це буде сприйнято слухом як переміщення уявного джерела у бік гучномовця 1. Отже, змінюючи співвідношення рівнів звукової енергії у каналах, можна відтворювати ілюзію переміщення джерела звуку. Це явище і називається інтегральною локалізацією.[8]

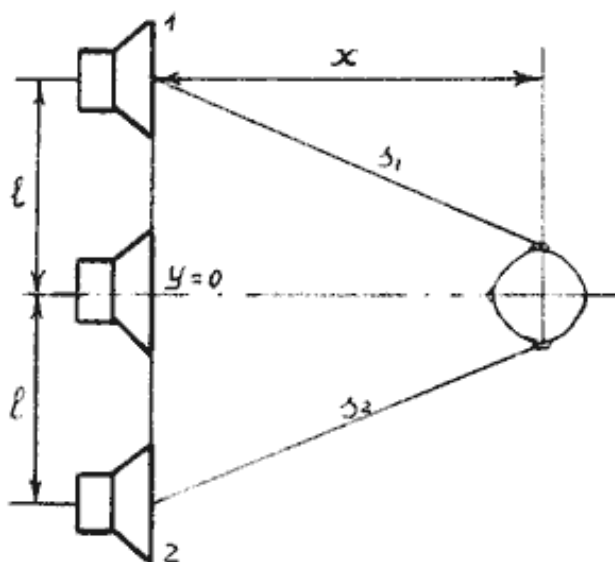


Рис. 4.47. Акустична система для відтворення інтегральної локалізації

## Системи стереофонічного мовлення

При розробці систем стереофонічного мовлення насамперед вирішували завдання сумісності, тобто можливості прийому стереофонічного сигналу на приймач без стереодекодера і монофонічного сигналу на приймач зі стереодекодером.

В обох випадках передачі будуть звучати як монофонічні. За названої вище причини в системах стереофонічного мовлення передаються не сигнали лівого (А) і правого (В) каналів, а їх сума (А + В) і різниця (А-В).

Сигнал несучої УКХ передавача модулюється, сумарним сигналом за частотою, і саме він приймається на монофонічні приймачі.

Різницевий сигнал передається за допомогою несучої, часто тією котра вище спектра звукових частот. Вона також модулює сигнал несучої передавача по частоті.

Тепер розглянемо коротко принцип реалізація стереопередачі у вітчизняній полярній системі.

Сигнал несучої частоти (31,25 кГц) модулюється за амплітудою різницевим сигналом (А-В) і додається до сумарного низькочастотного сигналу (А + В).

В результаті утворюється полярно-модульований сигнал (ПМС). Його форма показана на рис. 4.48, а, спектр - на рис. 4.48, б.

Полярним цей сигнал називається тому, що його верхня огинаюча відповідає звуковому сигналу лівого каналу (А), а нижня - правого (В).

Зручність роботи з ПМС в тому, що для його демодуляції придатний найпростіший двохполярний детектор.

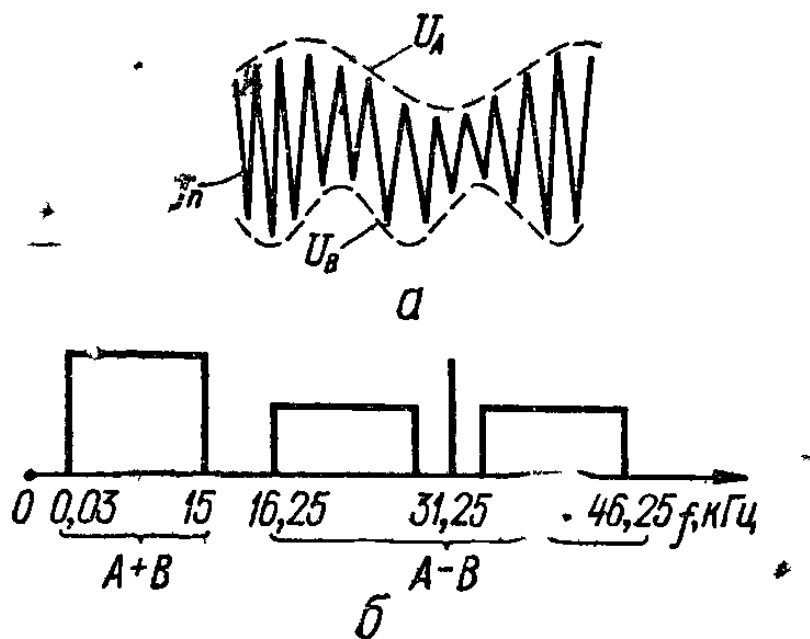


Рис. 4.48 Полярно-модульований сигнал

Подавати ПМС безпосередньо на частотний модулятор передавача не вигідно, оскільки більша частина дозволеної девіації частоти ( $\pm 50$  кГц) пішла б на марну модуляцію несучої.

Тому несучу при передачі штучно зменшують у 5 разів (на 14 дБ) за амплітудою за допомогою режекторного контуру зі стандартизованою добротністю  $100 \pm 5$ .

Одночасно контур послаблює і нижні частоти бічних смуг різницевого сигналу (A-B), як показано до рис.6.1, б штрихованою лінією. Сформований таким чином сигнал називається комплексним стереофонічним сигналом (КСС).

При подачі його на частотний модулятор передавача девіація частоти сигналом несучої складає всього  $\pm 10$  кГц, а на корисні компоненти сигналу залишається ще  $\pm 40$  кГц.

Спрощена схема стереодекодера з полярним детектором для вітчизняної системи показана на рис.4.49.

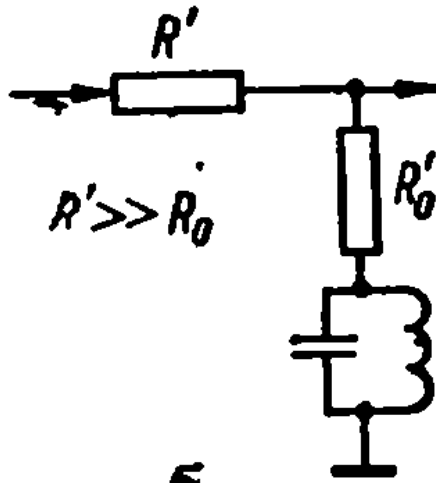


Рис. 4.49. Спрощена схема стереодекодера з полярним детектором

КСС з виходу частотного детектора приймача подається на ланцюжок відновлення несучої, що складається з двох резисторів  $R_1$ ,  $R_2$  і контуру  $L_1C_1$  з добротністю 100, налаштованого на частоту 31,25 кГц.

Контур піднімає рівень сигналу несучої на 14 дБ і компенсує ослаблення нижніх частот різницевого сигналу (А-В).

Отриманий ПМС посилюється підсилювачем  $A_1$  і подається на полярний детектор на діодах  $VD_1$ ,  $VD_2$ , який виділяє сигнали лівого і правого каналів (А і В).

Як відомо, в передавачі при частотній модуляції до формування ПМС в звукові сигнали лівого (А) і правого (В) каналів вводяться попередні спотворення з метою підняти верхні частоти звукового спектра.

Це вирівнює спектр реального звукового сигналу, основна потужність якого зосереджена на низьких частотах, і підвищує відношення сигнал-шум всього тракту передачі.

Попередні спотворення компенсуються в навантажувальному ланцюзі полярного детектора елементами  $R_3C_2$  і  $R_4C_3$ . Постійна часу цих ланцюгів у вітчизняній системі повинна бути 50 мкс.

Як бачимо вітчизняна система стереотрансляції будувалася в розрахунку на застосування амплітудних детекторів, і основним аргументом на її користь була простота стереодекодерів.

Однак з появою інтегральних мікросхем складність схеми перестала бути обмежуючим фактором, і тоді висвітилися недоліки системи: необхідність точного підйому несучої саме на 14 дБ і тільки контуром з добротністю 100 (відхилення параметрів ведуть до погіршення поділу каналів), і підвищені спотворення огинаючої при амплітудному детектуванні сигналу .

Останній недолік посилюється дуже низькою несучою частотою, фактично всього вдвічі перевершує верхню звукову частоту 15 кГц. Через ці спотворення від полярного детектування скоро відмовилися, перейшовши до використання сумарно-різницевих стереодекодерів, званих також матричними.[9][10]

У них КСС розділяється фільтрами на тональну і надтональну частини. Остання після підйому несучої детектується двох напівперіодним або мостовим детектором, частота пульсацій на виході якого вдвічі вище і легше згладжується.

Продетектований різницевий сигнал (A-B) потім додається і віднімається в резисторній матриці з тональним сумарним сигналом (A + B), утворюючи на виході стереодекодера сигнали лівого і правого каналів A і B.

Західноєвропейський стандарт відрізняється дуже незначно. У цій системі також використовуються безпосередня модуляція передавача за частотою сумарним сигналом (A + B), що забезпечує сумісність, і амплітудна модуляція несучої різницевим сигналом (A-B).

Однак сама несуча з частотою 38 кГц пригнічується повністю, і в КСС входять лише бічні смуги модульованого сигналу несучої, причому без частотних спотворень.



Амплітудна модуляція несучої і її придушення забезпечується зазвичай балансним модулятором.

У стереодекодері приймача передбачається синхронне детектування з використанням зразкових коливань частотою 38 кГц. Для отримання або синхронізації цих коливань в КСС вводиться так само пілот-тон на половинній частоті несучої 19 кГц.

Амплітуда його невелика і підбирається так, щоб можна було модулювати ЧС сигнал передатчика на 8 ... 10% від повної девіації  $\pm 75$  кГц.

Попередні спотворення з постійною часу 75 мкс (50 мкс в Європі) вводяться в звукові сигнали лівого і правого каналів ще до формування КСС на передаючій стороні і компенсуються згладжуючими RC-ланцюжками на виході стереодекодера.

Структурна схема формування КСС з пілоттоном на передавальній стороні показу на рис.4.50.

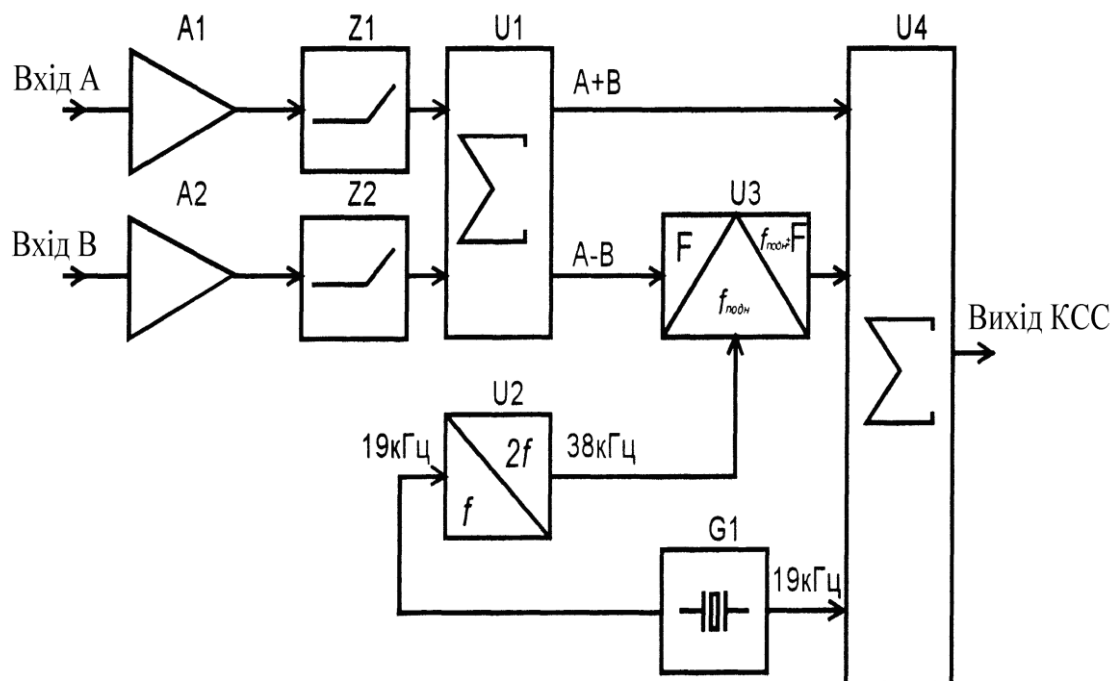


Рис. 4.50. Структурна схема формування КСС

Звукові сигнали каналів А та В через мікрофонні підсилювачі А1, А2 і ланцюги попередніх спотворень Z1, Z2, що піднімають верхні частоти, подаються на сумарно-різницеву матрицю М, на виході якої утворюються сумарний (А + В) і різницевий (А-В) сигнали.

Останній надходить на балансний модулятор D3, де модулює напругу несучої 38 кГц, яка надходить від кварцового генератора пілоттона G1 (19 кГц) через подвоювач частоти U4.

КСС утворюється на виході суматора U5, на який подаються три сигнали:

- сумарний А + В (через лінію затримки U2, компенсуючу затримку сигналу в балансному модуляторі),
- сигнал бічних смуг А-В (з модулятора U3)
- пілот-тон 19 кГц (з генератора G1).

Сформований КСС надходить на частотний модулятор радіомовного передатчика.

Спектр КСС показаний на рис.4.51, причому шкала по вертикалі взята у відсотках від максимальної девіації частоти передавача.

Повна ширина спектра КСС при діапазоні звукових частот 30 Гц...15 кГц - 53 кГц, тобто ширше, ніж у вітчизняній системі (46,25 кГц), що, втім, компенсується і більшою девіацією частоти передавача, прийнятої в стандарті FCC рівній 75 кГц.

Відношення сигнал-шум на виході приймача при цьому повинно бути навіть краще, ніж у вітчизняній системі.

КСС з виходу частотного детектора приймача посилюється каскадом А1 і надходить на пристрій виділення сигналу несучої U1.

Цей сигнал складається з КСС в суматорі U2, і отриманий ПМС детектується полярним детектором на анодах VD1, VD2, утворюючи на виводі сигнали лівого і правого каналів (А і В).

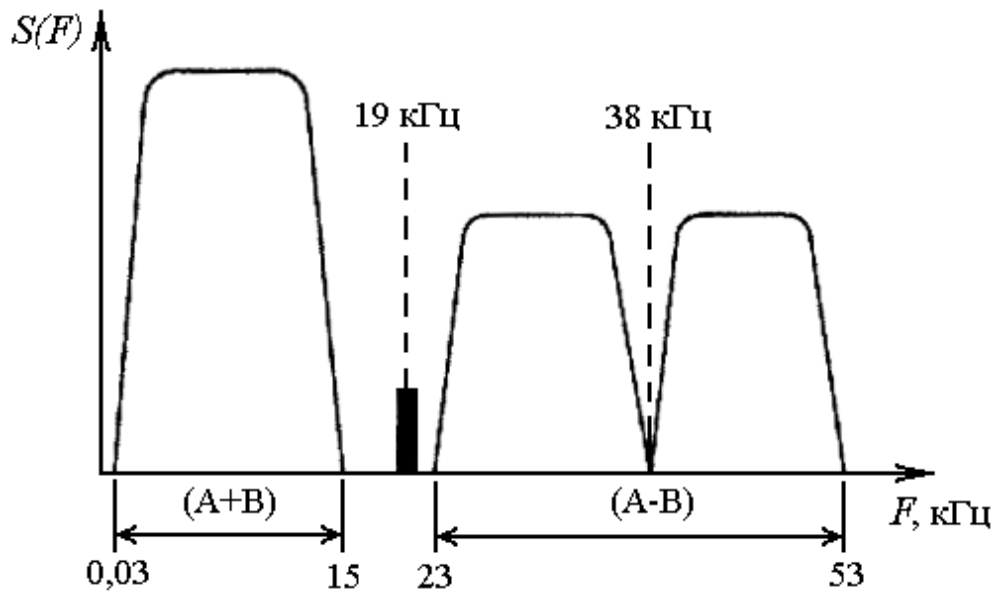


Рис. 4.51. Спектр КСС

Пристрій виділення сигналу несучої  $U_1$  містить контур, відфільтровуючий пілот-тон, подвоювач частоти і контур, що виділяє сигнал несучої.

Принципова схема пристрою дана на рис. 4.52. Як уже згадувалося, до недоліків полярного детектора відноситься підвищений рівень нелінійних спотворень, тому в системі з пілот-тоном частіше використовують синхронний детектор і сумарно-різницеву матрицю для розподілу каналів.

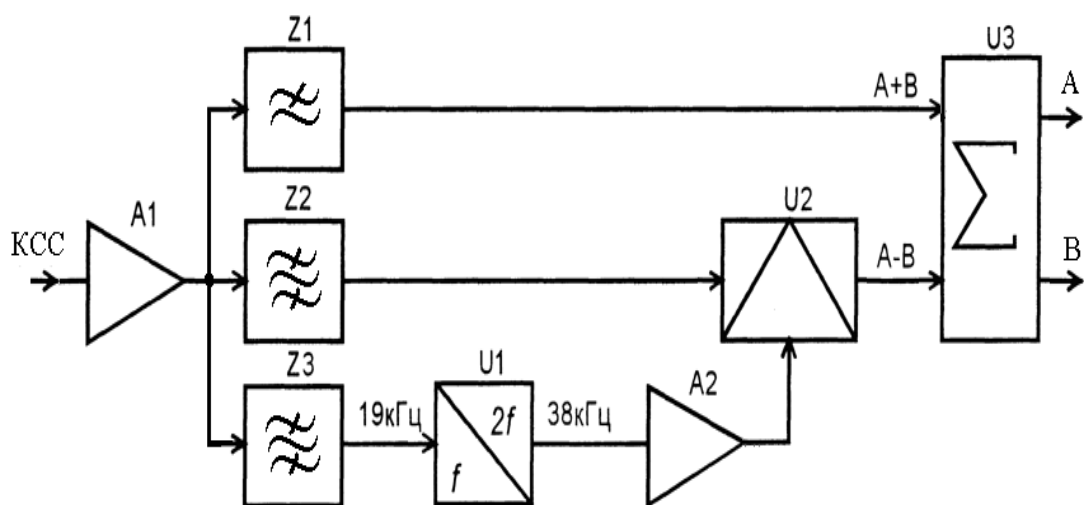


Рис. 4.52. Принципова схема пристроїв

Структурна схема матричного стереодекодера для системи з пілоттоном КСС після попереднього посилення (А1) надходить на систему з трьох фільтрів, які виділяють його тональну (ФНЧ Z1 з частотою зрізу 15 кГц) і надтональну (смуговий фільтр Z2 з полозою пропускання 23 ... 53 кГц) частини і пілот-сигнал (контур Z3, налаштований на частоту 19 кГц).

Пілот-сигнал подається далі на пристрій виділення несучої U1. Виділений сигнал несучої посилюється до необхідного рівня (порядку одиниць вольт) підсилювачем А2 і перемножується в синхронному детекторі U2 з надтональною частиною КСС, утворюючи різницевий сигнал звукових частот (А-В).

Шляхом підсумовування і віднімання його з сумарним сигналом (А + В) в матриці U3 утворюються вихідні сигнали А і В.

У стереодекодера з пілот-тоном важлива правильне фазування коливань несучої при детектуванні сигналу - їх фаза повинна відповідати фазі пригніченої несучої в передавальному тракті.

Спеціальних фазообертачів зазвичай не використовують, коректуючи фазу несучої RC-ланцюгом на вході підсилювача несучої (А2). Ланцюг містить розділовий конденсатор невеликої ємності і резистор, функції якого з успіхом може виконати вхідний опір підсилювача.

Остаточна фаза несучої регулюється підстроюванням контурів, налаштованих на 19 і 38 кГц у подвоювачі частоти, адже, як відомо, крутизна фазочастотної характеристики коливального контуру максимальна поблизу його резонансної частоти.

Зі сказаного видно, що система з пілот-тоном відрізняється від вітчизняної більшою складністю виділення несучої, зате в неї спочатку закладений більш досконалий метод синхронного детектування, що і визначає великі потенційні можливості підвищення якості.

У системі з пілот-тоном не потрібно коригувати спотворення, що вносяться контуром зі стандартизованою добротністю.

Нелінійних спотворень при синхронному детектуванні сигналу значно менше, оскільки, на відміну від амплітудного детектування, тут має місце лінійна операція перетворення частоти - перенесення спектра сигналу з надтональної області в тональну. Менше виникає і інтермодуляційних спотворень.

Полярні детектори в системі з пілот-тоном також працюють значно краще, оскільки рівень підмішують до КСС несучої не обмежений величиною в 14 дБ і може бути як завгодно високим.

При цьому коефіцієнт модуляції утвореного ПМС виявляється малим, а сам полярний детектор працює в псевдосинхронному режимі з «пригніченою» несучою.

Коефіцієнт нелінійних спотворень, який в амплітудному детекторі, як показує теорія, пропорційний квадрату коефіцієнта модуляції, в цьому режимі значно знижується. Додатковою перевагою системи з пілот-тоном - є некритичність стереодекодера до параметрів КСС.

Так, наприклад, зміна рівня несучої практично мало позначається на його роботі, а зміна фази зменшує амплітуду продетектованого сигналу пропорційно косинусу різниці фаз, тобто залежність тут дуже полого.[11]

## РОЗДІЛ 5. ПРИСТРОЇ ЗБЕРЕЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ

### **Тема 5.1. Оптичні диски**

*Лекція 18.* Оптичні диски CD. Пристрій приводу. Види пристроїв зчитування.

#### **Коротка історія.**

В комп'ютер оптичний диск прийшов з техніки цифрового аудіозапису. Історія компакт-дисків почалася в 1982 році, коли фірми Philips і Sony опублікували розроблений ними стандарт зберігання інформації на лазерних дисках. Так як лазерні диски мали діаметр 120 мм, а класичні вінілові пластинки - 300 мм, їх стали називати компакт-дисками, або скорочено CD (Compact Disk).

Спочатку компакт-диски використовувалися виключно в високоякісній звуковідтворювальній апаратурі, замінюючи застарілі носії звуку на зразок вінілових пластинок і магнітофонних касет. Однак незабаром лазерні диски стали використовуватися і на персональних комп'ютерах. Комп'ютерні лазерні диски були названі CD-ROM (Compact Disk - Read Only Memory, компакт-диск - пам'ять тільки для читання).

Для вирішення задачі надійності і ємності носіїв був розроблений новий стандарт запису інформації на спеціальні компакт-диски. Після запису диски можна було читати на звичайних дисководах CD-ROM. Компакт-диски, що підтримують одноразовий запис, були названі CD-R (Compact Disk - Recordable: записуваний компакт-диск). Пізніше з'явилися диски з можливістю перезапису CD-RW (Compact Disk - Rewritable: перезаписуваний компакт-диск).

## **Компакт-диск**

Компакт-диск – це диск діаметром 120 мм, виготовляється з полімерів і покритий металевою плівкою, зазвичай сплавом на основі алюмінію. Інформація зчитується саме з цієї металевої плівки, яку додатково покривають шаром прозорого полімеру, який захищає дані від механічного пошкодження. Зчитування інформації з диску відбувається за рахунок реєстрації змін інтенсивності відбитого від алюмінієвого шару випромінювання малопотужного лазера. Приймач (фотодатчик) визначає, чи відбився промінь лазера від гладкої поверхні, або був розсіяний (поглинутий). Розсіювання або поглинання променю відбувається в тих місцях, де в процесі запису на диск були нанесені поглиблення. Сильне відбиття відбувається в тих областях диску, де таких поглиблень немає. Фотодатчик сприймає лазерний промінь, відбитий від поверхні диска, потім ці сигнали поступають в мікропроцесор зчитуючого пристрою, там вони перетворюються в двійкові дані. Глибина кожного поглиблення на диску дорівнює 0,12 мкм, ширина – 0,60 мкм. Поглиблення розташовані у вигляді спіральної доріжки, відстань між сусідніми витками якої складає 1,60 мкм, що відповідає щільності 16 тисяч витків на дюйм, або 625 витків на мм. Довжина штрихів уздовж доріжки запису може коливатися від 0,9 мкм до 3,3 мкм. Доріжка починається на деякій відстані від центрального отвору диска і закінчується приблизно в 5 мм від краю диска.

## **Пристрій приводу**

По принципу роботи зчитувачі інформації і записуючі пристрої компакт-дисків нагадують звичайні дисководи (Рис. 5.1). У своєму складі вони мають шпиндель, головку, і механізм завантаження диска



Рис. 5.1 Пристрій зчитування-запису інформації

Головка складається з лазерного випромінювача, фотоприймача і нахиленого дзеркала. Все це фіксується на рухливій каретці головки. На хитній підвісці головки закріплена пластмасова фокусуюча лінза, з якою пов'язана малогабаритна котушка індуктивності, вміщена в поле постійного магніту, встановленого на каретці. Котушка і магніт утворюють магнітоелектричний привід підвіски лінзи, що забезпечує її переміщення в напрямку, перпендикулярному площині диска. Привід підвіски лінзи під керуванням контролера, вбудованого в накопичувач, забезпечує точне фокусування променів оптичної системи на світлорефлекційному шарі диска, відстежуючи биття поверхні диска при обертанні. Зрозуміло, то через інерційність системи фокусування є межа швидкості обертання, на якому система вже не встигає відслідковувати коливання. При юстировці оптичної системи лінзу виставляють паралельно площині диска за допомогою регулювальних гвинтів на каретці. Механіка приводу досить проста, але слід пам'ятати про ніжність пластмасової лінзи: неакуратна чистка може залишити в ній мікроскопічні подряпини, і зчитування стане нестійким. Існують накопичувачі з самоочисними лінзами (self-clearing lenses). Для захисту від навколишнього середовища (drive sealing) в накопичувачах можуть застосовуватися подвійні пилозахисні дверки.

#### **Види пристроїв зчитування:**

□ CD-ROM - пристрій зчитування компакт-дисків. Позначення 2x, 4x, ... 52x ... вказує швидкість зчитування (максимальну).



□ CD-R, CD-Recorder - пристрій для запису дисків CD-R, здатний також зчитувати друковані та записувані диски. Позначення виду 2x / 4x відповідає швидкості запису / зчитування.

□ CD-RW, CD-ReWriter - пристрій для запису дисків CD-R і CD-RW, здатний також зчитувати друковані, записувані і перезаписувані диски. Позначення виду 4x / 2x / 32x відповідає швидкості запису (на CD-R) / перезапису (на CD-RW) / зчитування.

□ Multisession CD-ROM дозволяють зчитувати дані, записані за кілька сеансів, або сесій.

□ XA-Ready CD-ROM не мають власного ADPCM-декодера, і звукові дані формату XA можуть бути прочитані тільки за допомогою звукової карти.

□ MultiRead CD-ROM - приводи, здатні зчитувати диски різних форматів, включаючи диски CD-RW, а також диски, записані в пакетному режимі. Старі приводи (включаючи і деякі моделі 8x) не мають цієї здатності

□ MultiMedia CD-ROM - привід, що задовольняє специфікації MPC (MultiMedia PC). Повинен мати зовнішній аудіовихід для програвання CD-DA, швидкість не нижче 1x (MPC1), 2x (MPC2), або 4x (MPC3); починаючи з MPC2 повинен читати і багатосеансові диски, включаючи режим секторів Mode 2.

*Лекція 19.* Принцип оптичного зчитування інформації в CD-програвачах. Пристрій оптичного диска. DVD диски. Біо-оптичні лазерні диски.

### **Принцип оптичного зчитування інформації в CD-програвачах**

Для зчитування інформації з компакт-диска використовується лазерна головка (ЛГ). У корпусі ЛГ встановлені лазерний діод, внутрішня оптична система (дифракційна решітка, циліндрична, Коліматорні і інші лінзи, призма), котушки фокусування і трекінгу яка керує фокусувальною лінзою, лазерний діод (рис. 5.2).

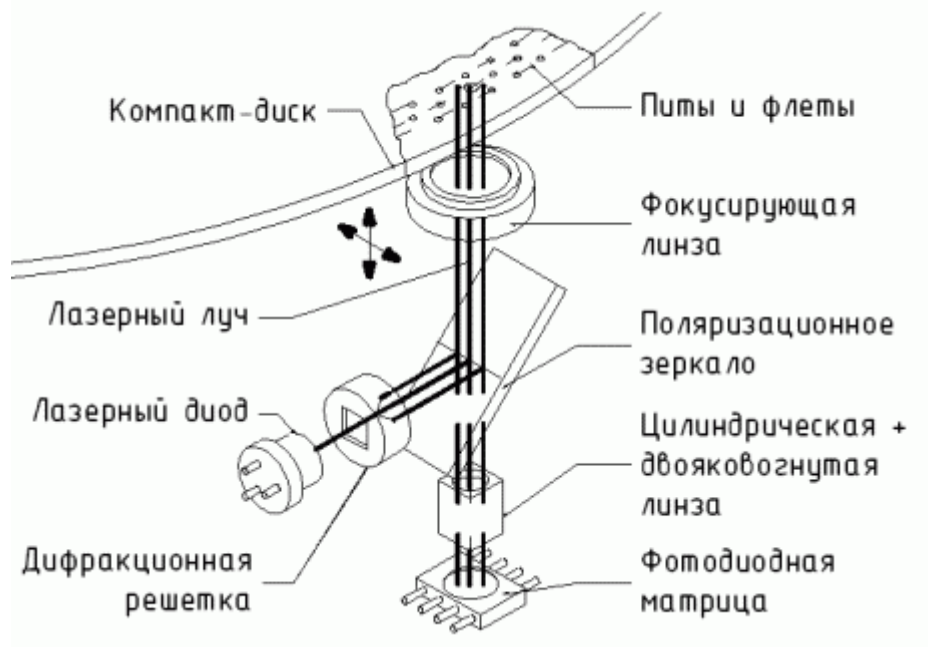


Рис. 5.2. Конструкція лазерної головки

При подачі напруги живлення напівпровідниковий лазерний діод генерує когерентний (різниця фаз хвиль постійна в часі) промінь, який за допомогою дифракційної решітки поділяється на основний промінь і два додаткових. Пройшовши через елементи оптичної системи і фокусируючу лінзу, ці промені потрапляють на компакт-диск (рис. 5.3).

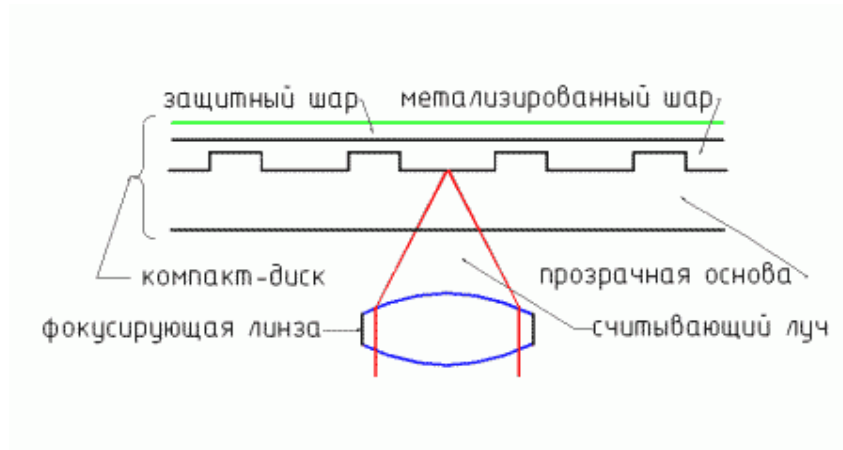


Рис. 5.3. Фокусування променю на поверхні диска

Точне фокусування променів на диску здійснюють котушки фокусування, що встановлюють потрібне положення лінзи. Відбившись від диска, промені знову потрапляють на фокусуючу лінзу і далі в оптичну систему. При цьому відбиті промені відокремлюються від падаючих завдяки їх різній поляризації. Перед тим, як потрапити на фотодатчики (фотодіодну матрицю), основний промінь проходить через циліндричну лінзу, в якій використовується ефект дисторсії для визначення точності фокусування (рис. 5.4).

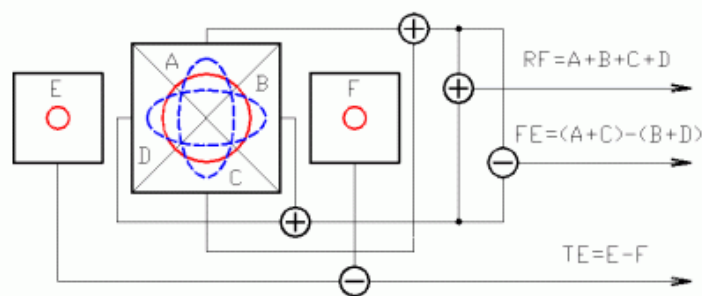


Рис. 5.4. Промені і сигнали на фотодетекторах

Якщо промінь сфокусований точно на поверхні компакт-диска, відбитий промінь на фотодатчик має форму кола, якщо перед або за поверхнею - форму еліпса.

Сигнали з фотодатчиків попередньо посилюються, і по різниці сигналів  $(A + C)$  і  $(B + D)$  визначається помилка фокусування FE (Focus Error). При точній фокусуванні сигнал FE дорівнює нулю. Два бічних променя потрапляють на датчики E і F. Вони використовуються для відстеження проходження основного променя по доріжці зчитування (треку) (рис. 5.5).

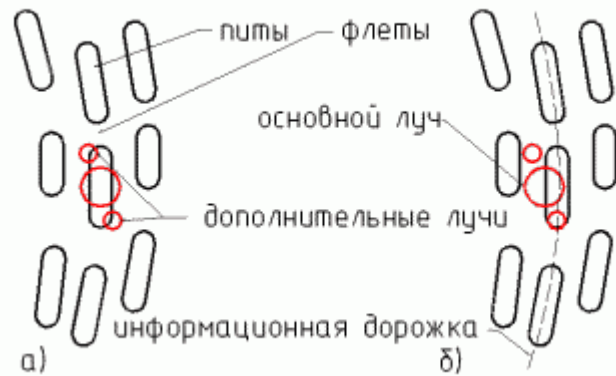


Рис. 5.5. Принцип відстеження треку: а). точне проходження променя по треку; б). помилкове;

### Швидкість зчитування

Початкова швидкість зчитування - 150 Кбайт/с 1x. Далі швидкості позначаються 2x, 4x, 6x, 8x, 10x, 12x, 14x, 16x, 20x, 24, ... 52x.

Дані на компакт-дисках записуються з використанням технології CLV (Constant Linear Velocity – запис з постійною лінійною швидкістю). Це означає, що запис і відтворення даних з компакт-диска відбуваються з постійною лінійною швидкістю переміщення доріжки відносно зчитуючого пристрою. Іншими словами, при зчитуванні інформації з внутрішніх доріжок диск повинен обертатися швидше, а при зчитуванні із зовнішніх – повільніше. Цей спосіб застосовується тому, що спочатку компакт-диски були призначені для відтворення звуку, при якому була потрібна постійна швидкість зчитування даних. У зв'язку з цим спіраль компакт-диска розбивається на блоки (сектори), частота яких при запису і відтворенні

складає 75 блоків в секунду. Це означає, що при повному часі зчитування, що дорівнює 74 хвилини, на диску розташовується 333 тис. блоків (секторів).

До 12х забезпечується швидкість зчитування  $n * 150$  Кбайт / с по всьому об'єму диска. При більшій кратності зазначена швидкість забезпечується тільки на зовнішніх витках спіралі. Щоб забезпечити однакову швидкість для всіх витків, потрібно збільшувати частоту обертання (щоб домогтися необхідної лінійної швидкості), при цьому посилюються биття диска, і система стеження не справляється з забезпеченням фокусування на стрибаючому треку. Рішення проблеми: тримати постійний кутову швидкість обертання на всьому диску, а лінійну швидкість (аудіодиск) підтримувати за рахунок буферної пам'яті. Диски, які забезпечують таке рішення, називаються TrueX.

У високошвидкісних накопичувачів менший час доступу до даних, вони більш критичні до носіїв.

CD-рекордери по конструкції не сильно відрізняються від пристроїв читання, але їх лазер в режимі запису має набагато більшу потужність. Час напрацювання на відмову пристроїв CD-R / RW значно менше, ніж у CD-ROM. Крім того, через більш складну і важку головку час доступу CD-R / RW в режимі зчитування більший, ніж у звичайних CD-ROM, і швидкість зчитування нижча.

### **Спосіб завантаження диска в накопичувач.**

1. Пристрій з висувним лотком (tray-type): висувається лоток, в який вкладається диск, потім цей лоток засувається всередину системного блоку.

Недолік пристрою: диск доводиться брати руками, при цьому можна його подряпати, забруднити, або впустити.

2. Пристрій із захисною касетою (caddy-type): CD укладається в спеціальну захисну касету, аналогічну захисному чохла дискети 3.5".

Касета просто вставляється у вікно накопичувача, і спеціального приводу для завантаження диска не потрібно.

Недолік пристрою: для зручності потрібно зберігати диски в окремих касетах, але це накладно.

Перевага: мала ймовірність пошкодження диска, завантаження при будь-якому положенні диска.

### 3. Пристрій зі зміною декількох дисків (CD-changer):

а) диск (без чохла) вставляється в щілину, і спеціальний привід затягує його всередину корпусу. Після цього пристрою можна «згодувати» наступний диск. Під час вилучення диск висувається з щілини приблизно наполовину, після чого його виймають рукою;

б) кілька дисків «заряджаються» в касету-магазин, яка потім вставляється в пристрій. При цьому зчитування можливо тільки з 1 (активного) диска.

### Пристрій оптичного диска

Оптичні диски CD, CD-R и CD-RW мають прозору полікарбонатну (пластикову) основу, над якою розташований шар, який зберігає інформацію, захищений зверху лаком (Рис. 5.6).

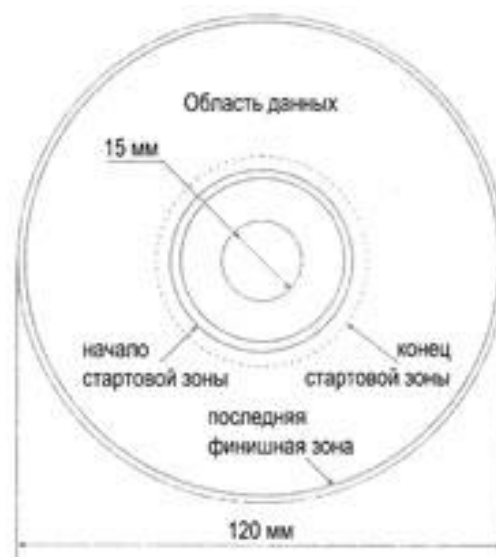


Рис. 5.6. Оптичний диск

На верхній поверхні цього «пирога» може бути нанесена етикетка (Рис. 5.7). Зберігаючий шар розташований найближче до верхньої сторони; механічні пошкодження (подряпини, вм'ятини) з верхньої сторони частіше призводять до непоправних помилок читання. Подряпини і пилинки з нижньої сторони, через яку світить лазер, не так страшні - через них проходить промінь з ще досить великим діаметром плями (близько 1 мм). Промінь фокусується в точку мікронних розмірів вже на самому зберігаючому шарі, так що дрібні дефекти на зовнішній поверхні не роблять істотного впливу на оптичні процеси.

Диск складається з секторів. Кожен сектор має свою адресу, описану в форматі хвилин, секунд і номера сектора, кожна доріжка повинна містити як мінімум 4 секунди (300 секторів). Абсолютний час, що позначається як A-time, вимірюється від початку диска, а час тривалості треку відраховується від моменту старту доріжки. Кожен сектор диска містить 882 байта додаткової інформації, з яких 784 байта становить таблиця CIRC (Cross-Interlaced Reed-Solomon Code) - перестановочний код Ріда-Соломона і 98 контрольних байтів для коду виявлення і виправлення помилок.

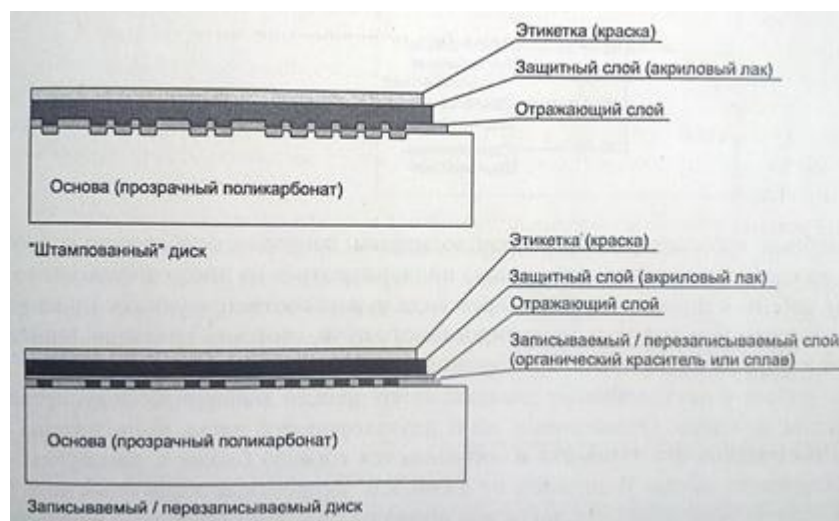


Рис. 5.7. Будова диску

Інформація на диску записується у вигляді спіральної доріжки. Доріжка ця складається з пітів (pit - поглиблень), видавлених в полікарбонатній основі. Проміжки рівної поверхні між пітами називаються лендом (land).

Оптичний привід фокусує промінь лазера на поверхні диска. Поглиблення (pits) і майданчики (lands) відбивають світло по-різному, і оптичний датчик фіксує цю різницю. Результати вимірювань можна перетворити в вихідний цифровий (двійковий) вид. Грубо кажучи: горбок це - цифрова одиниця, а впадина - нуль.

### **Додатково до обробки по Ріду-Соломона в аудіо CD**

Для запобігання шумів, що виникають через подряпини на диску, використовують метод чергування потоку даних. Ідея методу: оцифрований сигнал перед записом по визначеному закону переміщується, а після зчитування з диска вихідна послідовність відновлюється. Результатом цього є те, що якщо на диску кілька значень, що йдуть підряд виявляються зіпсованими подряпиною, то після відновлення початкової послідовності зіпсовані дані виявляються розкиданими між успішно зчитаними, і неприємні клацання прибираються за рахунок усереднення сусідніх значень.

Перезаписувані диски CD-RW в порівнянні з CD і CD-R при зчитуванні дають меншу амплітуду сигналу. Тому приводи без автоматичного регулювання чутливості приймача (старі моделі до 1998р., Включаючи ряд моделей 8x) не можуть зчитувати диски CD-RW. На здатність приводу читати CD-RW вказує логотип "MultiRead".

### **Пристрій зберігаючого шару (довідкова інформація)**

□ Штамповані (друковані) диски CD: мають рельєфну верхню сторону прозорої основи, покриту світловідбиваючим напиленням. Ямки (pits) і



рівні ділянки треку (lands) дають різну інтенсивність відбитого променя, яка реєструється фотоприймачем. Диски виготовляються на спеціальному заводському обладнанні. Вихідна інформація береться з записаного майстер-диска, з якого за кілька технологічних етапів отримують прес-форми.

□ Однократно записувані диски CD-R: мають покриваючий основу шар органічного барвника, поверх якого нанесено світловідбиваюче напилення (золото, або сплав срібного кольору). При записі випалюються фрагменти барвника, в результаті відбитий промінь буде як би промодельований по інтенсивності.

□ Перезаписувані диски CD-RW: під шаром мають реєструючий шар, який може міняти свій стан між полікристалічним і аморфним. Прозорість шару залежить від його стану. При перезапису стан окремих ділянок змінюється: в залежності від ступеня нагріву ділянки променем записуючого лазера при охолодженні фіксується той чи інший його стан. На відміну від друкованих дисків і CD-R, що відбивають близько 70% потужності падаючого променя, диски CD-RW мають істотно меншу відбивну здатність.

Трішки детальніше. Диск CD-RW має активний шар із сплаву Ag-In-Sb-Te (срібло-індій-сурма-телур). Такий шар при нагріванні до 500-700 °C розплавляється, втрачаючи відбиваючі властивості, таким чином можна здійснити запис інформації. При нагріванні до температури близько 200 °C відбиваючі властивості шару відновлюються, таким чином запис на такий носій можна здійснювати багато разів. Проте не всі CDRW Drive читатимуть CD-RW диски. Річ у тому, що стандарт CDRW вимагає, щоб відбиваюча здатність поверхні CD була не нижче 70%, а відбиваюча здатність поглиблень – не більше 28%. Відбиваюча здатність CD-RW – близько 25%, але різниця між відбиваючою здатністю поверхні диска і поглиблень досить велика.

## **Болванка (target)**

При виготовленні по всій поверхні наноситься спіральна доріжка розмітки (pregroove), яка починається від внутрішньої сторони диска. Розмітка видрукувана на верхньому шарі полікарбонатного субстрату, по ній під час запису наводиться голівка. Ця доріжка, по якій під час запису диск розбивається на кадри, містить коди розмітки диска за часом. На цій доріжці є і інформація про необхідну потужність лазера і можливу швидкість запису. Швидкість запису залежить як від диска, так і від приводу. При спробі запису на диск зі швидкістю більшою, ніж гарантована, чіткість зміни оптичних властивостей ділянок погіршується, і диск може виявитися нечитабельним.

Болванки мають маркування типу:

- CD-R або Compact Disc Recordable - диски з одноразовою записом, підходять для пристроїв CD-R і CD-RW;
- CD-RW або Compact Disc Rewritable - диски з багаторазової записом, підходять тільки для пристроїв CD-RW.

На диску також вказується можлива швидкість запису. Якщо диск придатний для запису на швидкості 2x і вище, то на ньому повинна бути позначка «MultiSpeed» і зазначено максимальну швидкість, наприклад «4x compatible». При відсутності таких відміток можливий запис тільки на однократній швидкості.

Диск на швидкості 1x записується  $74 \pm 2$  хвилини. Збільшення швидкості скорочує час запису в n раз ( $n$ ,  $n = 2, 4, 6, \dots, 52$ ), але при цьому дорожчає сама болванка.

Стандартний розмір болванки - 74 хвилини / 650 Мбайт. Це відповідає 333 000 секторам по 2048 байт користувальних даних - 681 984 000 байт. Якщо пишуть 780 Мбайт, то це означає що враховують байти службової інформації (333 000 секторів по 2336 байт).

## **Колір дисків (довідкова інформація)**

Колір диска залежить від кольору відбиваючого і реєструючого шарів:

□ Сріблястий: друквані диски (прозора підкладка, алюмінієвий відбиваючий шар). Час життя диска - 10-15 років (через окислення алюмінію змінюються відбиваючі властивості);

□ Блакитний, зелений: CD-R. В реєструючому шарі використовується ціанін - матеріал блакитного кольору. Зелений колір болванок дає золотий відбиваючий шар, блакитний залишається при відбиваючому шарі зі срібла або сплавів алюмінію. Середня стійкість до перепадів температури і сонячного світла, очікуваний час життя диска при нормальних умовах - 75 років;

□ Золотий: CD-RW. Мають реєструючий шар з фталоціаніна, який більш стійкий до зовнішніх впливів. Очікуваний час життя диска - 200 років;

□ Сіро-коричневий: CD-RW (колір реєструючого шару).

Матеріал реєструючого шару CD-R схильний до старіння: запис критична до оптичних властивостей матеріалу, які з часом змінюються. Тому час життя болванок до запису обмежений 5-10 роками. Цей матеріал також чутливий до ультрафіолетових променів і сонячного світла.

CD-RW особливо чутливі до вигину, оскільки їх реєструючий шар знаходиться в аморфному (напіврідкому) стані.

## **DVD диски**

DVD (ді-ві-ді, англ. Digital Versatile Disc - цифровий багатоцільовий диск; також англ. Digital Video Disc - цифровий відеодиск) - носій інформації, виконаний у формі диска, що має такий же розмір, як і компакт-диск, але більш щільну структуру робочої поверхні, що дозволяє зберігати і зчитувати більший обсяг інформації за рахунок використання лазера з меншою довжиною хвилі і лінзи з більшою числовою апертурою.

Для зчитування і запису DVD використовується червоний лазер з довжиною хвилі 650 нм. Крок доріжки - 0,74 мкм, це більш ніж в два рази менше, ніж у компакт-диска.

Диски DVD використовуються для запису і зберігання даних в наступних форматах:

DVD-Video - містять фільми (відео та звук);

DVD-Audio - містять аудіодані високої роздільної здатності (набагато вище, ніж на звукових компакт-дисках);

На відміну від компакт-дисків, в яких структура аудіодиска принципово відрізняється від диска з даними, в DVD завжди використовується файлова система UDF (Universal Disk Format, також для даних може бути використана ISO 9660). DVD-відео, для яких існує вимога «бути програною на побутових програвачах», використовують ту ж файлову систему UDF, але з низкою обмежень (документ ECMA-167) - наприклад, не допускається фрагментація файлів.

Фізично DVD може мати одну або дві робочі сторони та один або два робочих шарів на кожній стороні. Від їх кількості залежить ємність диска (через що 8-см диски отримали назви DVD-1, -2, -3, -4, а 12-сантиметровий диски - DVD-5, -9, -10, -14, - 18, за принципом округлення ємності диска в Гб до найближчого зверху цілого числа):

Ємності і номенклатура DVD

SS = односторонній (single-sided), DS = двосторонній (double-sided), SL = одношаровий (single-layer), DL = двошаровий (dual-layer), ± може означати «-» або «+», R (W) - «R» або «RW»

## **Записувані DVD**

Спочатку HP розробила записувані носії DVD для збереження даних при резервному копіюванні і переносі.

Записувані DVD тепер використовуються і в побутових аудіо-та відеопрогравачах або рекордерах. Існують три формати записуваних і перезаписуваних DVD-R / RW, DVD + R / RW (плюс) і DVD-RAM (мінус, тире). DVD-R поширений двох типів: General, з довжиною хвилі записи 650 нм і Authoring, з довжиною хвилі записи 635 нм. Обидва типи програються на будь-якому DVD-плеєрі, запис здійснюється в залежності від моделі. DVD-авторинг відео можливий для будь-якого з цих типів, але тільки для останнього можливий запис відео з використанням Content Scramble System.

Зараз DVD-рекордери, в основному, можуть записувати як DVD + R / RW, так і DVD-R / RW формати (зазвичай вказують DVD  $\pm$  R або для кожного формату окремо логотипи DVD Forum і DVD + RW Alliance), а програвачі - читати обидва цих формати, проте випущені раніше можуть мати складнощі з «+». А деякі перші моделі DVD-плеєрів могли привести до пошкодження DVD  $\pm$  R / RW / DL при спробі їх програти.

DVD-диски є можливістю багаторазового перезапису RAM, на відміну від RW, мають більш високу надійність, можливість більшого числа циклів перезапису (до  $\sim 100$  тис., RW «всього» більш  $\sim 1$  тис.), Але також і більш високу вартість.

Одиниця швидкості (1x) читання / запису DVD становить 1 385 000 байт / с (тобто близько тисячі триста п'ятьдесят дві Кбайт / с = 1,32 Мбайт / с), що приблизно відповідає 9-й швидкості (9x) читання / запису CD, яка дорівнює  $9 \times 150 = 1350$  Кбайт / с. Таким чином, 16-швидкісний привід забезпечує швидкість читання (або записи) DVD, рівну  $16 \times 1,32 = 21,12$  Мбайт / с.

### **Формати DVD-R і DVD + R**

Стандарт запису DVD-R (W) був розроблений в 1997 році японською компанією Pioneer і групою компаній, що приєдналися до неї і увійшли в

DVD Forum, як офіційна специфікація записуваних (згодом і перезаписуваних) дисків.

Створені на базі DVD-R диски DVD-RW спочатку мали неприємність, пов'язану з несумісністю старих приводів з цими новими дисками (проблема полягала в відмінності оптичного шару, відповідального за «запам'ятовування» інформації, який мав меншу (порівняно з носіями з одноразовим записом і штапованими дисками) відбиваючу здатність). Надалі дана проблема була майже повністю вирішена, хоча раніше саме через це старі DVD-приводи не могли нормально програвати нові перезаписувані диски.

Так як при розробці стандартів DVD-R і DVD-RW не були враховані розробки фірм Sony, Philips і деяких інших (а також ціна ліцензії на цю технологію була занадто висока), то ці виробники записуючих приводів і носіїв для запису об'єдналися в DVD + RW Alliance, який і розробив в середині 2002 року стандарт DVD + R (W), вартість ліцензії на який була нижче.

Створений альтернативний формат, який отримав назву DVD + R і DVD + RW, мав інший матеріал відбиваючого шару і спеціальну розмітку, яка полегшує позиціонування головки (LPP, Land pre-pits - предзаписані піти між доріжками, що містять дані адресації та іншу службову інформацію, ці дані дозволяють приводу DVD записувати інформацію в бажані місця на диску) - основна відмінність подібних «плюсових» дисків від «мінусових». За допомогою цього диски DVD + RW здатні в кілька прийомів здійснювати запис (поверх існуючої) як в звичайному касетному відеомагнітофоні, виключаючи попереднє стирання всього вмісту (для DVD-RW спочатку необхідно цілком стерти наявну запис).

Крім цього, під час використання перезаписуваних «плюсових» дисків кількість помилок зменшується, а коректність запису збільшується, в результаті чого зіпсований сектор можна з легкістю перезаписати, а не

стирати і не записувати весь диск заново. Отже, якщо ви маєте намір активно користуватися функцією перезапису і запису, краще вибрати рекордер, що підтримує «плюсової» формат (на що зараз здатне більшість моделей).

### **Таємниця великої ємності**

Для зчитування і запису DVD-Rom використовує червоний лазер з довжиною хвилі 650 нм. (Нанометрів) (в CD -780 нм) і кроком доріжки - 0,74 мкм. (Мікрометра). Це більш ніж в два рази менше, ніж у звичайного CD компакт-диска. Саме зменшення довжини хвилі лазера (що дозволяє зчитувати більш дрібні деталі поверхні диска) і розміру "пітів" дало можливість, свого часу, вмістити на DVD диску 4,7 гігабайта даних.

В DVD диску (в порівнянні з CD) розміри "пітів" зменшилися з 0,83 до 0,4 мікрон, а ширина спіральної доріжки - з 1,6 до 0,74 мікрона. Звідси - підвищення щільності запису.

Мало того, диски можуть бути:

- двосторонніми
- двошаровими
- Двосторонніми та двошаровими одночасно

Це збільшує повний обсяг одного такого "бутерброда" до 17 гігабайт!

Технологія виготовлення двошарових DVD дисків зводиться до того, що перший шар отримують пресуванням, а другий, додатковий напівпрозорий, напилюють поверх нього. При відтворенні запису зчитуючий лазер переходить з одного шару на інший, автоматично змінюючи фокусування.

## **Винайдено біо-оптичні лазерні диски**

Команда вчених США з Університету Пердью розробила унікальні біо-оптичні лазерні диски ВіоСD, які, в перспективі, передбачається застосовувати при проведенні детального аналізу крові.

Принцип дії ВіоСD аналогічний принципам, покладеним в основу традиційних компакт-дисків. Зокрема, як і звичайні носії, ВіоСD мають доріжки. Правда, вони використовуються не для запису інформації, а для зберігання спеціальних речовин, що реагують на строго певний тип білків. Іншими словами, треки ВіоСD нагадують мікроскопічні пробірки з реактивами. Для проведення аналізу досить нанести краплю крові на поверхню диска і зчитати результати за допомогою лазерного приводу.

За словами Девіда Нолта, керівника проекту, людська кров містить близько десяти тисяч різних білків, які, в ідеалі, повинні реєструвати біо-оптичні диски. Адже навіть незначні зміни концентрації деяких з цих білків можуть провіщати розвиток серйозних захворювань.

Слід додати, що в даний час при проведенні детальних досліджень крові застосовується дуже дороге обладнання вартістю до 50 тисяч доларів і вище. Разом з тим, поява біо-оптичних детекторів дозволить значно знизити вартість проведення процедур, оскільки зчитувати дані можна буде за допомогою лише незначно модифікованих СD-приводів. Правда, в даний час запропонована методика потребує серйозних доопрацювань, і перш ніж ВіоСD з'являться на ринку, пройде не менше десяти років.



## **Тема 5.2. Жорсткий диск**

*Лекція 20.* HDD, жорсткий диск і вінчестер. Історія створення. Будова та принцип роботи жорсткого диску комп'ютера. Технології магнітного запису. Основні характеристики вінчестерів. Форматування вінчестерів. Основні інтерфейси підключення. Виникнення нечитаних секторів на поверхні жорсткого диску.

Що таке HDD, жорсткий диск і вінчестер - ці слова є різними широко поширеними термінами одного і того ж пристрою, що входить до складу комп'ютера. У зв'язку з необхідністю зберігання інформації на комп'ютері з'явилися пристрої, зберігачі інформації, такі як жорсткий диск, і стали невід'ємною частиною персонального комп'ютера.

Раніше на перших обчислювальних машинах інформація зберігалася на перфострічках - це картонний папір з пробитими дірками, наступним кроком людини для розвитку комп'ютера використання магнітного запису, принцип роботи якого збережений в нинішніх жорстких дисках. На відміну від сьогоденних терабайтних HDD, інформація яка збереження вміщувалась на них налічувала десятки кілобайт, це нікчемні розміри в порівнянні з сьогоденними об'ємами інформації.

### **1. Історія створення.**

На початку 1970-х років фірма IBM розробила перший у світі 14-дюймовий вінчестер. 30-доріжковий накопичувач містив по 30 секторів на кожній доріжці, що становило 16 КБ корисної ємності. Спочатку йому було присвоєно назву 30/30. Трохи пізніше, за аналогією з гвинтівками "Вінчестер", які мають калібр 30/30, такі накопичувачі почали називати вінчестерами. У 1973 р фірмою IBM був створений перший Hard Disk Drive, конструкція якого передбачала кілька дисків ємністю 140 МВ. Його можна було купити за ціною 8600 доларів.

Розвиток технологій HDD можна умовно розділити на кілька етапів:

- Перший етап (до 1979 р) - застосування традиційних головок для запису і відтворення;
- Другий (1979-1991гг.) Пов'язують з використанням тонкоплівкових головок в жорстких дисках;
- Третій етап (1991-1995рр.) - Використання магніторезистивних (Magneto-Resistive, MR) головок;
- Четвертий етап (1995-2000рр.) - В жорстких дисках використовують супермагніторезистивні головки (Giant Magneto-Resistive, GMR). Зменшено магніту щілину в записуючій голівці і підвищена чутливість читаючої голівки завдяки використанню матеріалів з підвищеним коефіцієнтом магніточутливості;
- П'ятий етап (з 2000 р і донині) - з'являються моделі з антиферомагнітним зв'язком (AFC).

### **Будова жорсткого диску**

Вінчестер складається з декількох металевих дисків, покритих особливою речовиною, яка може зберігати магнітне поле. Кількість металевих пластин в жорсткому диску буває від однієї до трьох. Такі диски мають дуже гладку поверхню і відмінне балансування. Ці якості необхідні для високої швидкості обертання. Спеціальні магнітні головки, розташовані по одній з різних сторін дисків, дозволяють здійснювати запис на них (Рис. 5.8). Головки володіють магніторезистивними властивостями, добре реагують на зміни магнітного поля через зміни сили струму, збуджуваного в голівці. Отриманий сигнал зчитується, а потім перетворюється в цифрову форму. Сама головка під впливом імпульсів струму здатна створювати магнітне поле. Залежно від напрямку магнітного моменту відбувається намагнічування ділянок диска.

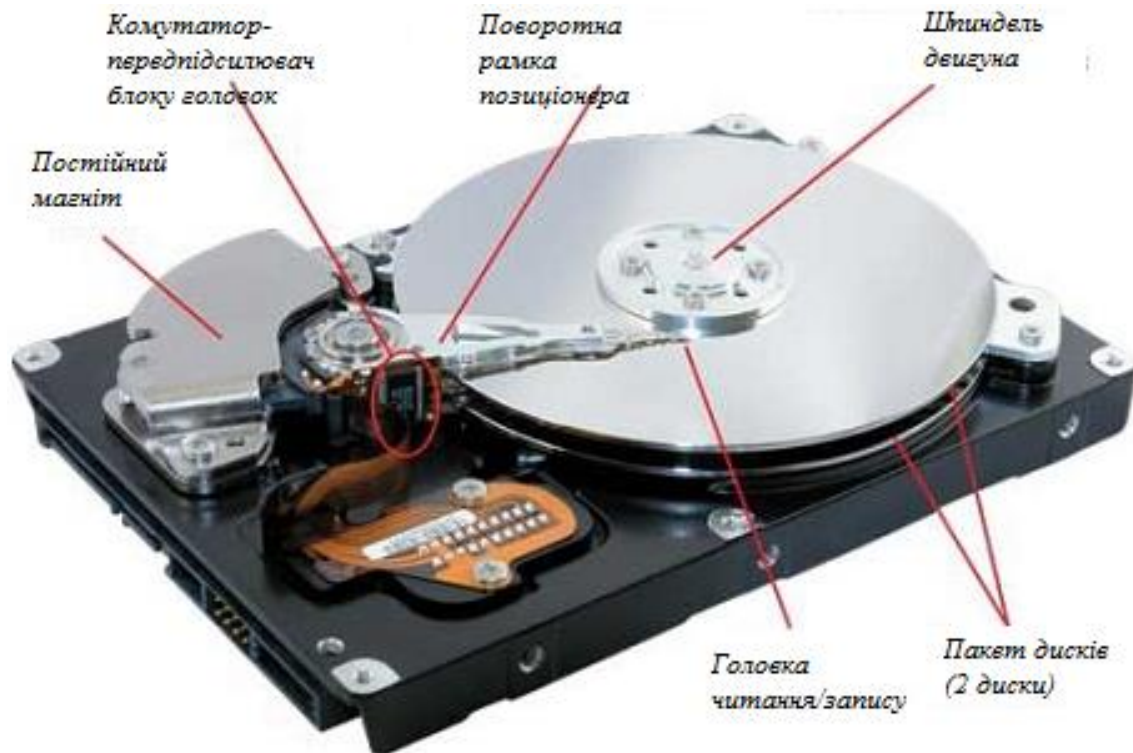


Рис.5.8. Будова жорсткого диску

Дані на дисках зберігаються на так званих доріжках. По ходу роботи вінчестера магнітні головки змінюють своє місцерозташування з однієї доріжки на іншу. У сучасних HDD для зміни положення магнітних головок застосовується соленоїдний привід.

Доріжка складається з секторів, в кожному з яких зберігається 512 байт даних. Найменший обсяг диска - це сектор. Добуток циліндрів, секторів і кількість головок, це і є максимальний обсяг, який може зберігатися на вінчестері. Майже всі виробники прагнуть зробити якомога більш щільні доріжки і скоротити кількість дисків.

Під час роботи жорсткого диска з'являються зіпсовані сектори і доріжки. При низкорівневому форматуванні вони спеціально позначаються і надалі при роботі вінчестера не враховуються.

**Мікропрограма жорсткого диска (Firmware або службова інформація)**

Мікропрограма (firmware) контролера частково зберігається в мікросхемі, частково - на самих магнітних дисках. Для цього їй відведена спеціальна службова область, недоступна для користувачів. Після того, як на жорсткий диск подана робоча напруга або відбулася активізація сигналу «скидання» на інформаційній шині, мікропроцесор запускає / перезапускає програму, записану в мікросхемі. Виконується самодіагностика, тестується оперативна пам'ять, програмуються мікросхеми, що знаходяться на внутрішній шині жорсткого диска, і якщо відсутня аварійна ситуація, запускається двигун. Наступним кроком вимірюється період проходження імпульсів фазних обмоток і відбувається очікування того моменту, коли двигун набере номінальну швидкість обертання. Після цього контролер посилає команду на переміщення магнітних головок до доріжки, що містить основну частину мікропрограми, і починає зчитувати серворозмітку, щоб остаточно стабілізувати швидкість обертання. По завершенню зчитування мікропрограми та її виконання, жорсткий диск готовий приймати сигнали від зовнішнього інтерфейсу комп'ютера.

### **1.Принцип роботи**

У своїй роботі вінчестери використовують принцип магнітного запису, який вперше був застосований при запису звуку на магнітну стрічку, дані записуються і зчитуються спеціальними головками з поверхні магнітних дисків, що обертаються. Якщо при записі на головку подається спочатку позитивний сигнал, а потім негативний (або навпаки), то магнітні поля доменів орієнтуються відповідно до напрямку магнітних полів, створюваних головкою запису (рис. 5.9).

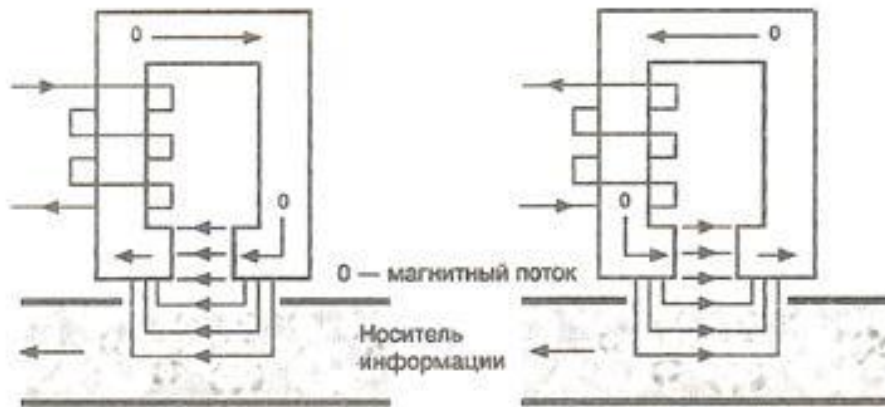


Рис. 5.9. Зміна напрямку магнітного поля в обмотці

Під час читання головка реєструє моменти зміни полярності і видає ряд імпульсів, кожний з яких відповідає моменту зміни полярності. Імпульси декодуються в послідовність двійкових даних.

Щоб уникнути втрат або спотворення інформації необхідна синхронізація записуючої і зчитуючої головок. Як правило синхросигнал об'єднаний з сигналом даних і передається разом з ним по одному каналу в відповідності з використанням методом кодування.

За минулі роки було розроблено безліч різних методів кодування сигналів, але широко використовувалися тільки FM, MFM і RLL. Найпершим був метод частотної модуляції - FM (Frequency Modulation). При використанні даного методу кожна бітова ячейка починається з повторної зміни полярності магнітних доменів. Таким чином одиничний біт записується у вигляді двох близько розташованих зон зміни полярностей, а при записі "0" відстань між зонами подвоюється.

В даний час при кодуванні даних використовується метод RLL (Run Length Limited), який дозволяє розмістити на диску в три рази більше інформації, ніж при FM-кодуванні. Суть методу в збільшенні числа ячеек між зонами зміни полярностей. Існують різні модифікації методу RLL. На практиці зазвичай використовують метод RLL 2,7: тут перша цифра

позначає мінімальне, а друга максимальну кількість біт, яке можна розташувати між двома зонами зміни полярностей. Існують різні таблиці кодувань за методом RLL, що застосовуються різноманітними фірмами. Як приклад в табл. 1 наведена схема кодування, розроблена корпорацією IBM.

Таблиця 5.1. Кодування даних по методу RLL 2,7 корпорації IBM

Біт даних	Послідовність полярностей доменів	тон	зміни
10	○●○○		
11	●○○○		
000	○○○●○○		
010	●○○●○○		
011	○○●○○○		
0010	○○●○○●○○		
0011	○○○○●○○○		

## 2. Технології магнітного запису

Традиційним методом вважається технологія поздовжнього (горизонтального) магнітного запису, як це показано на рис. 5.10, а, яка використовувалася на всіх побутових магнітофонах. У сучасних вінчестерах принцип запису даних точно такий же, але для підвищення щільності інформації на магнітному шарі використовуються найрізноманітніші прийоми. Зокрема, для запису даних досі застосовується магнітна голівка, а от для читання більш популярним рішенням є зчитуючий сенсор, в якому використовується інший фізичний принцип, наприклад магніто-резистивний ефект. Крім того, виробники майже відмовилися від традиційного способу запису даних на магнітному шарі, і сьогодні всі топові моделі вінчестерів використовують принцип перпендикулярного магнітного запису.

Традиційна технологія магнітного запису протягом декількох десятиліть удосконалювалася, і сучасна блок-схема поздовжнього запису показана на рис. 5.10, а. Основна ідея цієї технології заснована на тому, що елементарні магнітики - магнітні домени - розташовані горизонтально в площині магнітного диска (вони показані стрілочками з назвами полюсів S і N). Магнітна головка, проходячи повз домен, перемагнічує його, тобто повертає на  $180^\circ$  або залишає без зміни. Зміна намагнічування домену відбувається тільки в області зазору магнітної головки, де магнітне поле найбільше, а за межами зазору поле так швидко убиває, що не впливає на сусідні домени. Читаюча головка (іноді вона виконана окремо від записуючої головки) реагує на зміну полярності у магнітних доменів. Так як магнітні домени лежать у площині магнітного диска, то зробити їх зовсім невеликими не вдається. І це добре ілюструє той факт, що технологія поздовжнього запису дозволяла створювати вінчестери об'ємом всього в кілька гігабайт. Подальше збільшення обсягу вінчестера наштовхується на обмеження розміру магнітних доменів, які не можуть бути нескінченно малими.

Для збільшення щільності запису сьогодні застосовується метод перпендикулярного, чи інакше вертикального запису, коли магнітні домени не лежать в площині магнітного диска, а розташовуються перпендикулярно їй. Блок-схема цієї технології показана на рис. 5.10, б. На перший погляд різниця малоістотна, але незначні зміни в конструкції магнітної головки призводять до вражаючих результатів, дозволяючи збільшити обсяг вінчестера мало не в тисячу разів.

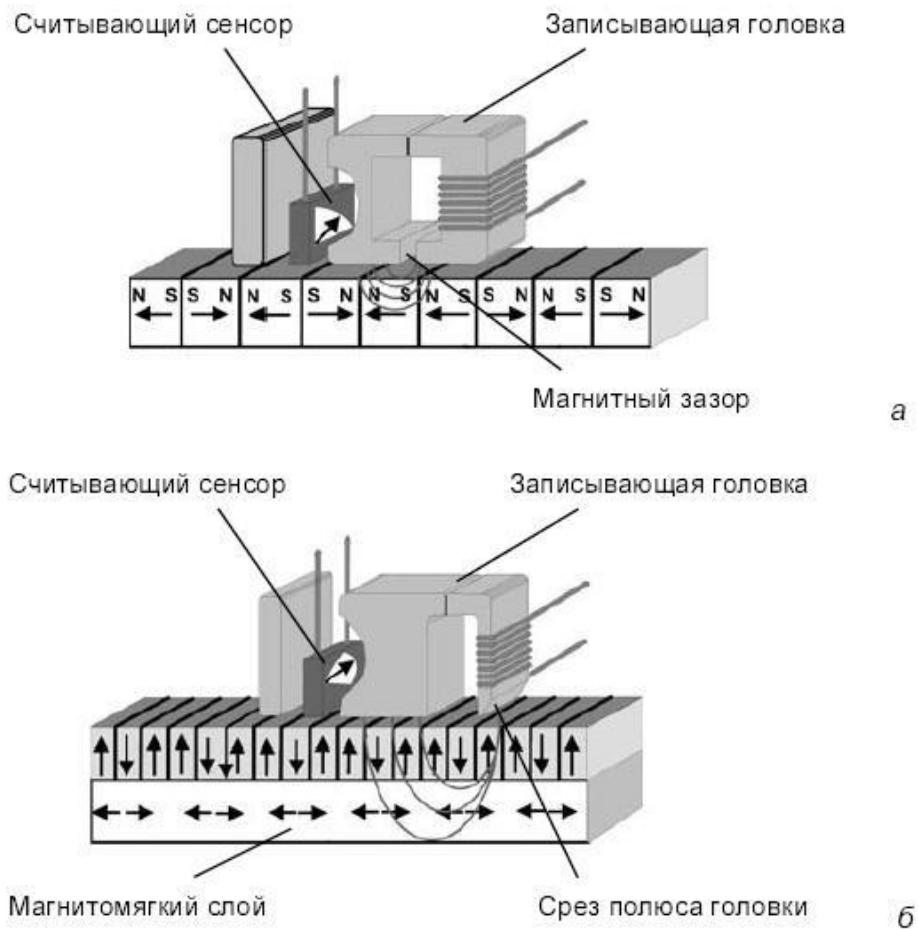


Рис. 5.10. Методи магнітного запису за матеріалами компанії Hitachi  
 а - сучасна блок-схема поздовжнього (горизонтального) запису; б – блок-схема методу перпендикулярного (вертикального) запису.

На рис. 5.10, б можна звернути увагу, що на магнітному диску з'явилося два шари: у верхньому, як і раніше, розташовуються магнітні домени, котрі тепер уже розміщені вертикально - перпендикулярно. Під шаром з магнітними доменами додатково розташований шар з магнітом'яким матеріалом, який не запам'ятовує інформацію, а розподіляє рівномірно магнітне поле від магнітної головки по великій зоні і не впливає на намагніченість доменів.

У магнітної головки тепер уже немає магнітного зазору, як це розумілося в паралельному записі, а два полюси стали різними. Один полюс



дуже вузький, а другий широкий. Це дозволяє перемагнічується домени тільки під вузьким полюсом, де напруга магнітного поля максимальна. Широкий полюс замикає магнітні лінії у великій області, в якій напруженість магнітного поля невелика і не впливає на намагніченість доменів. Головка читання майже у всіх сучасних вінчестерах виконується окремо, а в її принципі роботи використовується тунельний магніторезистивний ефект (TMR Heads).

### **Конструкція**

На рис. 5.11 показаний зовнішній вигляд моделі сучасного вінчестера формфактора 3,5". Якщо зняти захисну алюмінієву кришку, то під нею можна розглянути внутрішні елементи вінчестера (рис. 5.12).



Рис. 5.11. Зовнішній вигляд вінчестера виробництва корпорації Hitachi (SATA)

Розглянемо докладніше механічні елементи вінчестера, як це наведено на рис. 5.13. У корпусі з пресованого алюмінію об'єднані такі елементи вінчестера, як двигун, що обертає диски, носій інформації (диски), головки читання / запису і електроніка.



Рис. 5.12. Внутрішній устрій вінчестера SpinPoint P80 Serial ATA виробництва корпорації Samsung

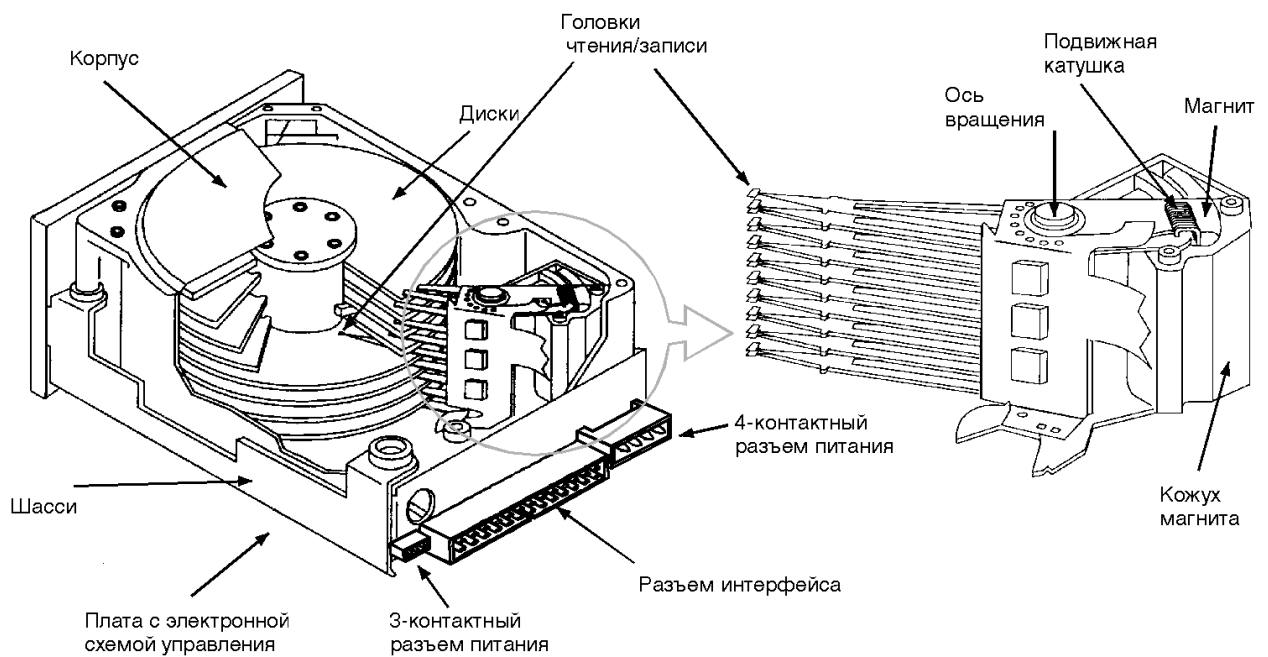


Рис. 5.13. Основні вузли накопичувача на жорсткому диску

## Диски

В принципі жорсткі диски подібні дискетам. У них інформація також записується на магнітний шар диска. Однак цей диск, на відміну від дискет, зроблений з твердого матеріалу, на який нанесений феромагнітний

(робочий) шар. Як правило, диски виготовляються з алюмінію, але один час для їх виробництва використовувалася склокераміка, наприклад в вінчестерах IBM.

В якості робочого шару раніше використовували полімерне покриття з наповнювача з оксидів заліза, яке отримували шляхом розбризкування суспензії порошку оксиду заліза з наступним поліруванням та обробкою спеціальними полімерами. В даний час використовується так званий тонкоплівковий робочий шар вінчестера, який міцніше, тонше і якісніше. Тонкоплівковий робочий шар створюється на диску або шляхом електролізу (занурення диска у ванни із спеціальними розчинами), або методом напилення (осадження на диск газоподібних речовин – фосфорита нікелю і магнітного кобальтового сплаву - у спеціальних вакуумних камерах). Товщина робочого шару в останньому випадку складає всього 0,025-0,05 мкм. Склад шару і технологія нанесення вважається секретом компанії виробника. Крім того, як правило, на диск наноситься декілька шарів з різними магнітними властивостями.

Якщо дискета фізично складається з одного диска, то вінчестер - з декількох однакових дисків, розташованих один під одним (рис. 5.14). Кількість дисків може бути від 1 до 8, але сучасні вінчестери частіше мають 1- 2 диска, що забезпечує кращі технічні характеристики в сенсі енергозбереження, спрощення конструкції, приводу електромотора і т. д.

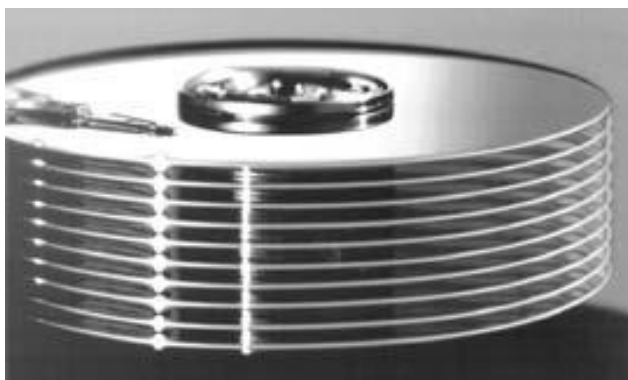


Рис. 5.14. Блок магнітних дисків

Розміри дисків залежать від форм-фактора вінчестера (див. Далі). У наш час популярні диски діаметром 3,5"; 2,5 і 1,8". Пакет дисків, змонтований на осі-шпинделі, приводиться в рух спеціальним двигуном, компактно розташованим під ним. Швидкість обертання дисків перших вінчестерів становила 3000-3600 об. / хв, а це означає, що головки рухалися з відносною швидкістю 60-80 км / год. Згодом швидкість обертання дисків у вінчестерах EIDE була збільшена до 5400 об. / хв, а SCSI - 7200 об. / хв. У 1997 р фірма Segate випустила вінчестер SCSI зі швидкістю обертання дисків 10000 об. / хв, а в 1998 р - вінчестер EIDE із швидкістю обертання 7200 об. / хв. А 1999 фірма Hitachi пододала 10 000-й бар'єр і випустила вінчестер SCSI зі швидкістю обертання дисків 12000 об. / хв. Сьогодні найбільш продуктивні вінчестери мають швидкість обертання дисків 15000 об. / хв, але для більшості комп'ютерів використовуються диски зі швидкістю обертання 5400-7200 об. / Хв, які мають найбільш вдале співвідношення ціна / об'єм.

### **Гермоблок жорсткого диска**

Більшу частину конструкції жорсткого диска займає цільний металевий корпус, що оберігає магнітні пластини і точну механіку від впливів навколишнього середовища. Назва гермоблоку говорить сама за себе: це герметична область, яка захищає жорсткий диск від пилу та інших дрібних частинок. Гермоблок необхідний, так як будь-яка, навіть дуже дрібна порошок, якщо вона потрапить у вузький зазор між головкою і поверхнею диска, може пошкодити чутливий магнітний шар і зробити жорсткий диск непридатним для подальшого використання. Так само корпус захищає накопичувач від електромагнітних перешкод, тобто відіграє роль екрана. Внутрішній простір гермоблоку заповнений простим, але повністю очищеним від пилу повітрям. Його не задувають туди спеціально, просто зборка здійснюється в такому приміщенні, де на один кубічний метр

повітря припадає менше ста порошинок. Проте, не дивлячись на назву, гермоблок не зовсім герметичний. Для вирівнювання його внутрішнього тиску з атмосферним, в корпусі робиться отвір, який закритий щільним фільтром, щоб запобігти потраплянню пилу (рис. 5.15).



Рис. 5.15. Будова гермоблоку

У процесі роботи, пластини обертаються, створюючи циркулюючий потік повітря. Цей потік проходить крізь ще один фільтр, який виробляє додаткове очищення.

### **Фільтр**

Усередині корпусу вінчестера знаходиться повітряна щілина, яка забезпечена мікрофільтром для того, щоб захистити матеріал дисків від пилу. Через цю повітряну щілину вирівнюється тиск повітря між дисководом і навколишнім середовищем. Інший фільтр видаляє частинки, що утворюються в результаті роботи механічних частин диска (рис. 5.16)

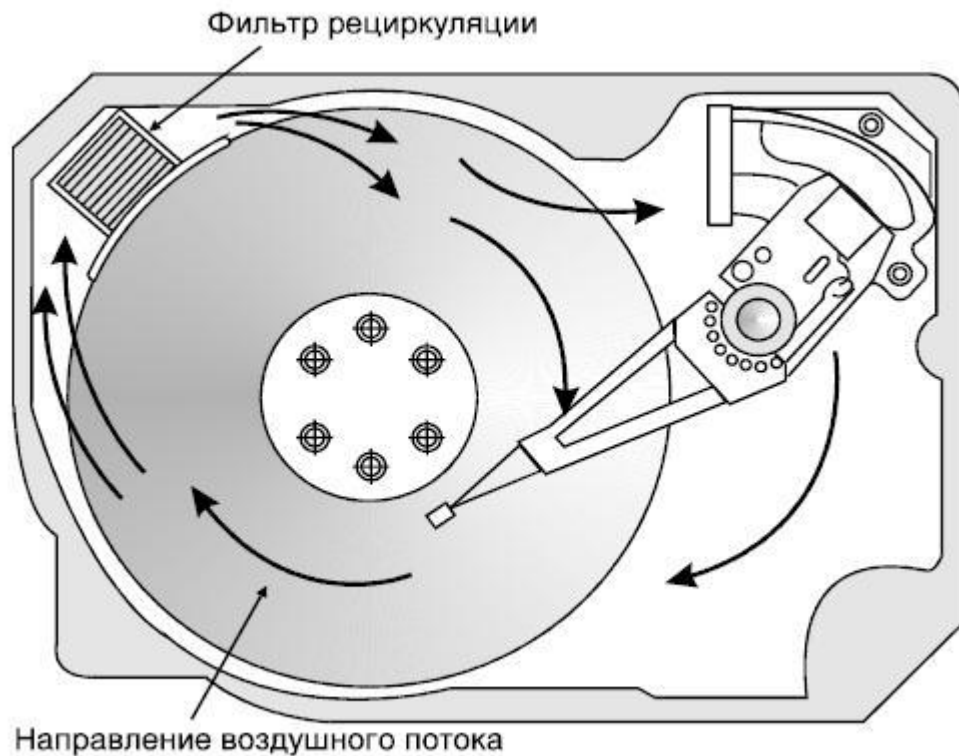


Рис. 5.16. Циркуляція повітря в накопичувачі

### Магнітна пластина жорсткого диска

Магнітна пластина в більшості випадків являє собою диск з легких сплавів на основі алюмінію (рис. 5.17). Є моделі, в яких пластини виготовлені з кераміки або спеціального скла, але вони вкрай рідкісні. На поверхню пластин, незалежно від їх складу, для додання магнітних властивостей, наноситься шар кобальту. Технологія вакуумного напилення магнітного шару диска аналогічна технології використовуваної при виробництві інтегральних мікросхем. Структура магнітного покриття така, що вона являє собою велику кількість мікроскопічних областей, названих доменами. У процесі запису, магнітна головка створює зовнішнє магнітне поле, яке, впливаючи на домен, змінює вектор його намагніченості. Після того, як зовнішнє поле зникає, на поверхні диска утворюються зони залишкової намагніченості. Саме за таким принципом і здійснюється запис і зберігання інформації на магнітних дисках. Процес зчитування відбувається

наступним чином: в магнітній головці, коли вона знаходиться навпроти ділянки залишкової намагніченості, наводиться електрорушійна сила, яка і дозволяє зчитувати інформацію. Кількість пластин в жорсткому диску може бути різним. Кількість робочих поверхонь, відповідно, в два рази, більша, оскільки у кожної пластини дві робочі сторони.



Рис.5.17. Магнітна пластина

### **Головки читання / запису**

Головки читання / запису відповідають робочим головкам дисководу. Для кожного диска є пара таких головок, які приводяться в рух і позиціонуються соленоїдним приводом чи інакше званим приводом з рухомою котушкою, що працює за принципом звукової котушки динаміка (у старих вінчестерах застосовувався кроковий двигун). Всі головки розташовані "гребінкою". Позиціонування однієї головки обов'язково викликає аналогічне переміщення і всіх інших, тому коли мова йде про логічну структуру вінчестера, зазвичай говорять про циліндри (Cylinder), а не про доріжки.

При виключенні шпиндельного двигуна вінчестера, після його повної зупинки, головки лягають на поверхню диска в так званій зоні паркування.

Коли диски починають обертатися, головки відриваються від робочої поверхні і "парять" над нею на висоті 0,08-0,5 мкм. Думка, що всередині корпусу дисководу створюється вакуум, є помилковим, так як там, де є вакуум, звичайно ж, не може бути повітряних подушок.

Внаслідок великої швидкості обертання диска і малої відстані, на якому розташована головка від диска, частинки бруду представляють собою потенційну загрозу руйнування матеріалу носія. Для порівняння: людське волосся приблизно в 25 разів товще, ніж повітряна подушка під магнітною головкою (рис. 5.18). Для головки читання / запису зустріч з такими частинками порівнянна з сильним ударом. Така колізія може призвести до відхиленню головки від своєї "орбіти", торкання поверхні диска і його пошкодження.

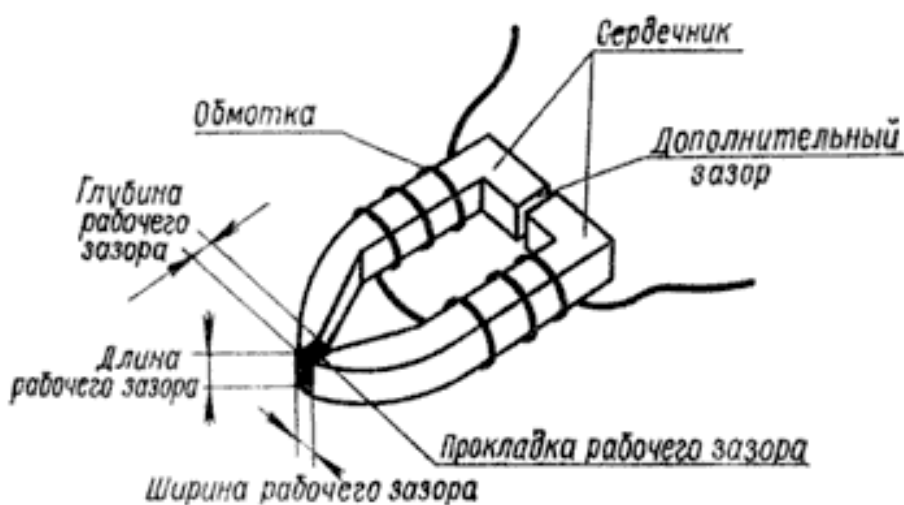


Рис. 5.18 Робочий зазор головки

До тих самих наслідків (пошкодження головкою поверхні диска) можуть привести вібрація або переміщення вінчестера під час процесу зчитування/запису. Тому уважно стежте за тим, щоб привід був закріплений стабільно і встановлений з усім необхідним кріпленням.

Щільність запису залежить не тільки від якості робочій поверхні і застосування найбільш досконалого способу кодування даних, а в першу



чергу від магнітної головки. У табл. 5.2 наведені основні характеристики магнітних головок.

Таблиця 5.2. Основні характеристики магнітних головок

Наименование	Технические особенности	Отличие от предшественника	Плотность записи
Ферритовые головки (1950—70-е гг.)	Сердечник на основе прессованного феррита с обмоткой	—	—
Головки с металлом в зазоре (MIG — Metal-In-Gap) (1980-е гг.)	Заполнение магнитным сплавом технологического зазора	Увеличение магнитной индукции в рабочем зазоре головки	—
Тонкопленочные головки (Thin Film — TF) (первая половина 1990-х гг.)	Уменьшение веса и габаритов за счет использования фотолитографического способа изготовления головок и применения новых материалов для сердечника	Увеличение магнитной индукции в рабочем зазоре головки. Уменьшение расстояния (до 0,03 мкм) от головки до рабочей поверхности	600—700 Мбит/дюйм <sup>2</sup>
Магниторезистивные MR (вторая половина 1990-х гг.)	Включение в состав головки дополнительной обмотки, через которую протекает измерительный ток	Увеличение амплитуды выходного сигнала. Применяется только для чтения (для записи — TF-головка)	до 3 Гбит/дюйм <sup>2</sup>
Магниторезистивные с гигантским магниторезистивным эффектом GMR	—	—	4,1—10 Гбит/дюйм <sup>2</sup>

Голівки переміщуються над поверхнею диска і встановлюються на заданий циліндр за допомогою механізму, званого приводом головок. У перших моделях вінчестерів в якості приводу головок використовувався

кроковий двигун, проте потім його змінив привід з рухомою котушкою. Котушка жорстко з'єднується з блоком головок і перебуває в полі постійного магніту. При подачі на котушку електричного струму вона переміщається під впливом електромагнітних сил. Для точного позиціонування головок використовується спеціальний сигнал зворотного зв'язку, в якому міститься інформація про взаємне розташування доріжок і головок. Для цієї мети на ділянках між інформаційними доріжками диска при виготовленні записуються спеціальні сервокоди, які не змінюються протягом всього терміну його експлуатації.

У процесі роботи сучасних вінчестерів періодично (приблизно 2 рази на годину) здійснюється так зване температурне калібрування (T-cal), при якому всі головки по чергово переводяться з нульового на інший циліндр для оцінки їх зсуву щодо результатів попередньої калібрування. Вираховуються необхідні поправки і записуються в пам'ять вінчестера.

Для захисту поверхні робочого шару диска більшість сучасних дисків мають функцію автоматичного паркування головок і свіпіння (sweep) диска.

Автоматичне паркування головок полягає в тому, що при включенні і виключенні РС головки встановлюються в міру необхідності на визначений, найчастіше, останній циліндр, де не містяться дані. Ця паркувальна позиція позначається Landing Zone або скорочено L-Zone. У вінчестер ранніх випусків потрібно було встановлювати головки в паркувальну позицію за допомогою спеціальних утиліт.

Якщо голівка тривалий час перебуває над однією і тією ж доріжкою, то це може привести до передчасного зносу доріжки і можливу втрату даних внаслідок повітряного тертя. У цьому випадку здійснюється свіпіння диска, тобто головка автоматично переміщається на довільну доріжку до краю диска, де лінійна швидкість диска максимальна, а отже повітряний зазор найбільший.

## Двигун жорсткого диска

Стабільне обертання пластин змонтованих на осі (шпинделі) забезпечує шпиндельний трифазний двигун (рис. 5.19). Усередині двигуна містяться три обмотки, які включені зіркою з виводом посередині. Ротор являє собою постійний секційний магніт. Щоб забезпечити малі биття на високих оборотах, використовуються гідродинамічні підшипники.



Рис.5.19. Двигун жорсткого диску

Шпиндельний двигун запускається тільки після повної внутрішньої діагностики жорсткого диска. Спочатку двигун розкручується у форсованому режимі, не аналізуючи швидкість обертання магнітних дисків. Для забезпечення цього етапу роботи, блок живлення комп'ютера повинен мати запас пікової потужності. Після того, як магнітні головки виводяться із зони паркування, швидкість обертання дисків стає контрольованою. Вона управляється сигналом серворозмітки, яка була записана на диск в процесі його виготовлення. Електроніка жорсткого диска виділяє сервомітки (вони знаходяться між секторами) із загального потоку даних і по них стабілізує швидкість обертання пластин.

По суті, швидкість обертання пластин є однією з найважливіших характеристик продуктивності жорсткого диска. Чим вище швидкість, тим менше час, необхідний для пошуку інформації, і тим більше швидкість читання і запису інформації. У сучасних жорстких дисках швидкість обертання пластин в накопичувачах з інтерфейсами PATA і SATA становить від 4200 до 10000 оборотів в хвилину. У дорогих серверних системах з інтерфейсом SCSI, вона може досягати 15 000 оборотів в хвилину. Однак подальше збільшення швидкостей обертання обмежується тим, що підвищується робоча температура дисків, а це негативно позначається на магнітному шарі. Також для більш швидкісних моделей потрібні більш якісні підшипники, а їх виготовлення збільшує кінцеву вартість жорстких дисків. Для накопичувачів із швидкістю обертання пластин 7200 обертів на хвилину і вище вже потрібні комп'ютерні корпуси з продуманою конструкцією пасивного охолодження або ж використання додаткової системи активного охолодження жорстких дисків.

### **Основні характеристики вінчестерів**

Основними характеристиками вінчестерів, на які слід звернути увагу при виборі пристрою, є:

- ємність
- швидкодія
- час безвідмовної роботи

### **Ємність**

Основним критерієм для користувача є ємність вінчестера, тобто максимальний обсяг даних, який можна записати на носій. Деякі фірми-виробники позначають ємність своїх вінчестерів НЕ в мегабайтах, а в мільйонах байтів. При цьому в якості одиниць виміру вказується "МВ", що можна трактувати по-різному. Пам'ятайте, що 1 Мбайт рівний не 1 000 000

байт, а  $1024 * 1024 = 1048576$  байт, 1 Гбайт рівний не  $1000000000$  байт, а  $1024 * 1024 * 1024 = 1073741824$  байт. Крім того, може бути вказано як форматована, так і неформатована ємність (остання, звичайно ж, більше).

## **Швидкодія**

### ***Середній час доступу***

Одним з основних показників швидкодії є середній час доступу. Це час, що потрібно накопичувачу для того, щоб почати обмін даними після отримання запиту від контролера. Будь-яка прикладна програма, яка часто звертається до даних на диску (наприклад, база даних), працюватиме набагато ефективніше, якщо вінчестер має малий час доступу.

Середній час доступу визначається тим, як організовано зберігання даних на диску і наскільки швидко переміщуються головки читання / запису. Середній час доступу сучасних вінчестерів становить близько 7-10 мс.

Середній час доступу складається з середнього часу пошуку та середнього часу очікування.

Максимальний час доступу (Maximum Seek Time) вимірюється як інтервал часу, який необхідний гребінці з головками, щоб одноразово переміститися по всій поверхні диска (з першої доріжки на останню).

### ***Середній час пошуку***

Час, який необхідно вінчестера, щоб перемістити всю гребінку з головками від одного циліндра до наступного. Цю величину називають середнім часом пошуку, або часом позиціонування головки на доріжці (Average Seek Time). Для того щоб визначити середній час пошуку, виробники перевіряють свої вінчестери з допомогою численних тестів, виконавши серію операцій пошуку випадково вибраних доріжок, а потім розділивши загальний час пошуку на кількість операцій. Для сучасних вінчестерів значення цього параметра становить менше 4-7 мс.

### ***Середній час очікування***

Після того як контролер ініціює переміщення головок, вони починають переміщатися до відповідного циліндра. В ідеальному випадку під голівкою відразу виявиться потрібний сектор, в найгіршому випадку буде необхідно зробити цілий оборот диска. Час, необхідний для підходу потрібного сектора до голівки, називається часом очікування, а усереднене його значення - середнім часом очікування (Average Latency Time).

Середній час очікування сучасних вінчестерів становить 3 мс і менше.

### ***Швидкість передачі даних***

Швидкість передачі даних пропонується в якості другого параметра для оцінки продуктивності вінчестера. Час доступу характеризує тільки швидкість позиціонування головки, а те, як швидко ця інформація зчитується, залежить від таких характеристик вінчестера, як кількість байт в секторі, кількість секторів на доріжці і, нарешті, від швидкості обертання дисків.

Знаючи перераховані параметри, можна визначити максимальну швидкість передачі даних (Maximum Data Transfer Rate, MDTR) за такою формулою:

$$\text{MDTR} = \text{SRT} \times 512 \times \text{RPM} / 60 \text{ (байт / с)},$$

де SRT - кількість секторів на доріжці; RPM - швидкість обертання дисків, об. / хв.

### ***Час безвідмовної роботи***

В описах накопичувачів вказується такий параметр, як середньостатичний час між збоями (Mean Time Between Failures, MTBF), характеризуючий надійність пристрою, який зазвичай становить 20 000-500000 годин, але може дорівнювати і 1 млн годин. Ці значення є розрахунковими (очікуваними) з відомою ймовірністю, а для отримання достовірних даних про надійність пристрою необхідно протестувати групу

однакових накопичувачів і підрахувати кількість відмов за час, що перевищує, як мінімум, в два рази очікуване значення МТBF. Неважко вирахувати, що при цілодобовій роботі комп'ютера протягом року його напрацювання складе 8760 годин. Таким чином, для підтвердження заявлених 500 тис. годин безвідмовної роботи знадобиться приблизно 57 років. з вищесказаного можна зробити висновок: показник МТBF далеко не завжди відповідають реальної надійності пристрою. Як показує досвід, якщо накопичувач на жорстких дисках безвідмовно працює протягом першого гарантійного місяця, то він буде також безвідмовно працювати до повного свого морального старіння. Однак відомі випадки, коли безвідмовно працюючий протягом півроку накопичувач раптом починав давати збої, а його продуктивність - погіршувалася. Причина цього була виявлена: виявилось, що багато фірм-виробники випускають накопичувачі на жорстких дисках для використання їх в якості резервних пристроїв архівування даних (тобто накопичувачів Slave). Гарантійне час безвідмовної роботи таких накопичувачів значно менший, так як вони розраховані на менше число операцій читання / запису (вартість їх також нижча).

У більшості сучасних накопичувачів на жорстких дисках гермо блоки комплектуються протиударною підвіскою. Між корпусом накопичувача і монтажним каркасом встановлюються спеціальні прокладки з еластичної гуми (або полімерного матеріалу), компенсуючі (частково або повністю) удари і вібрацію.

Однією з причин скорочення терміну служби дисків є висока температура середовища.

### **Кеш-пам'ять вінчестера**

Під терміном кеш-пам'ять в даному випадку розуміється не буфер оперативної пам'яті РС, організований програмним шляхом, а фактично комірка пам'яті у контролері вінчестера. Ця кеш-пам'ять може істотно

впливати на швидкість роботи вінчестеру, так як вона в змозі зберігати з упередження дані, які з високою вірогідністю знадобляться процесору. Для сучасних ЖД її об'єм складає від 2 до 32 Мбайт.

### Логічна структура жорстокого диску

Логічна структура жорстокого диску подібна до дискети. Жорсткий диск ділиться на доріжки и сектори (рис 5.20). Кожна доріжка визначається номером голівки і порядковим номером диску відносно зовнішнього краю. Сектори ідентифікуються своїм порядковим номером відносно початку доріжки. Нумерація секторів на доріжці починається з одиниці, а голівка циліндрів – з нуля.

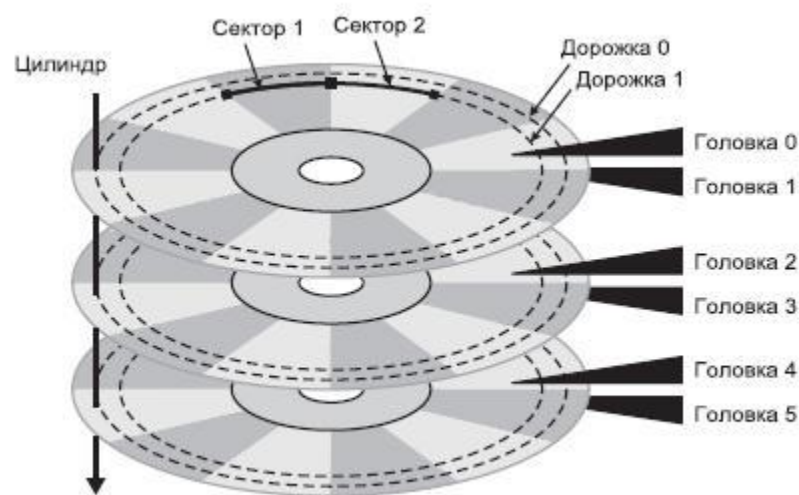


Рис.5.20 Розбивка HDD на доріжки та сектори

Кількість секторів може бути різноманітною (від 17 до 150) в залежності від типу накопичувача. Кожен сектор має деяку службову інформацію та дані. Зазвичай об'єм сектора 512 байти. На початку кожного сектору записується заголовок, по якому визначається початок сектору і його номер, а в кінці сектора міститься контрольна сума, необхідна для перевірки цілісності даних. Між заголовком і кінцем сектору знаходиться область даних об'ємом 512 байт. Запис інформації на доріжках



здійснюється не постійним потоком, як в побутових магнітофонах, а блоками по 512 байт.

Число дисків, головок і доріжок вінчестера встановлюється виробником, виходячи з властивостей і якості дисків. Змінити ці характеристики можна. Кількість секторів на диску залежить від методу запису, а щільність – від носія: чим краще матеріал диска, тим щільніше можуть бути записані на ньому дані. Сучасні вінчестери містять до 150 секторів на доріжці. Знаючи цю величину, завжди можна розрахувати загальний обсяг пам'яті HDD.

Формула пояснює це:

Загальний обсяг (байт) =  $C \times H \times S \times 512$  (байт),

де  $C$  - кількість циліндрів;  $H$  - кількість головок;  $S$  – кількість секторів.

Однак ця загальна ємність в значній мірі обмежується логічною структурою дисків. Тут потрібна (як і у випадку дискет) деяка дискова пам'ять, необхідна для управління розміщенням даних. У дисків об'ємом 200 Мбайт це розходження між ємністю "нетто" і "брутто" може становити кілька відсотків.

Описане вище форматування диска називається низькорівневим (Low Level) і для сучасних вінчестерів виконується тільки на заводі.

### **Interleave**

При обертанні диска головка повністю зчитує 512-байтний сектор і посилає дані в контролер, звідки вони передаються процесору. Тим часом диск продовжує обертатися, пропонуючи голівці наступний сектор, а контролер все ще зайнятий обміном даними з процесором. Тому для того щоб прочитати наступний сектор, головка повинна очікувати повного обороту диска.

Для збільшення продуктивності в дисках перших випусків дані були організовані так, що сектори розташовуються не послідовно, а в іншому порядку, що визначається Interleave-фактором (рис. 5.21). При цьому при позиціонуванні головки контролер має достатньо часу для передачі інформації без зайвого обороту диска.

У сучасних вінчестерах параметр Interleave, або як його ще називають Interleave-фактор, не грає помітної ролі, так як контролери HDD працюють за іншим принципом. Для організації безперервного читання секторів дані зчитуються з декількох секторів (так би мовити, "з підозрою" на їх необхідність) і запам'ятовуються в буфері, звідки згодом вони можуть бути вилучені.

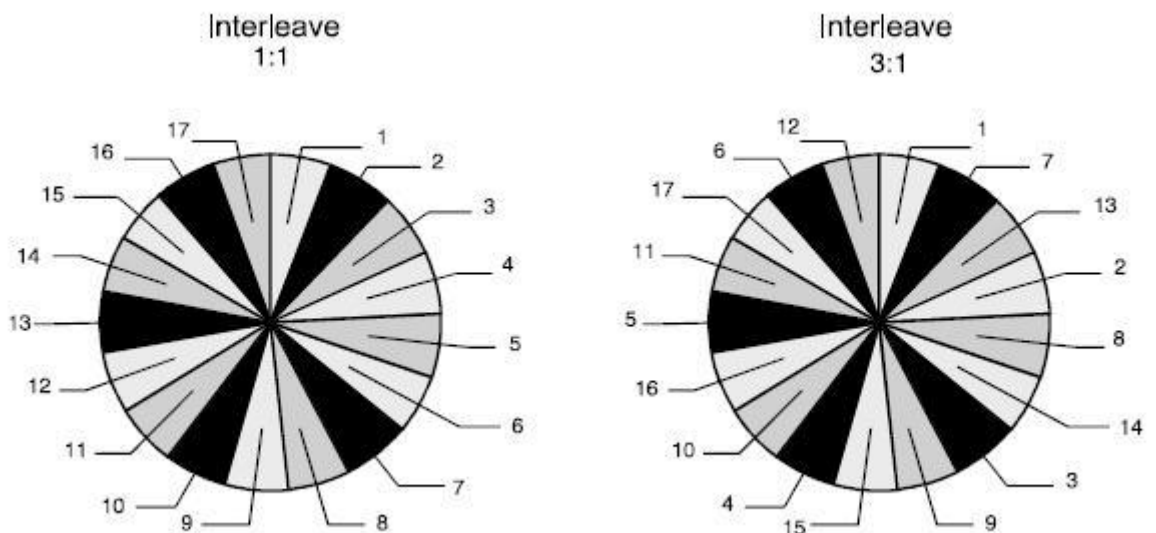


Рис. 5.21. Розміщення секторів при Interleave-факторах 1 і 3

### Кластери

В якості одного елемента адресації на диску використовується кластер, об'єднання кілька секторів. Кластери стали використовувати з виходом файлової системи FAT16, яка історично є найстарішою файлової системою з 16-розрядної адресацією. Для файлової системи FAT максимально можливу кількість кластерів на одному логічному диску не

перевищує 65 536, і максимальний розмір одного кластера - 32 Кбайт. Якщо поррахувати, то максимальний розмір логічного диска складає 2 Гбайт.

Один з головних недоліків файлових систем FAT - це великий розмір кластера. Справа в тому, що при кластері 32 Кбайт файл розміром 1 байт займає на диску 32 Кбайт. Теоретично можна заповнити файлами розміром 1 байт кожен логічний диск ємністю 2 Гбайт 65 536, хоча фізично диск буде практично порожній.

Спроба відмовитися від обмежень класичної FAT і видозмінити її була зроблена корпорацією Microsoft у версії Windows 95 OEM Service Release 2. У цьому варіанті Windows 95 таблиця розміщення файлів стала 32-розрядною (FAT32). З 32 біт 4 були зарезервовані. Таким чином, максимальний розмір розділу в цьому варіанті стає 2 Тбайт (2048 Гбайт), а розділ в 8 Гбайт отримує кластер розміром всього 4 Кбайт, і кореневої каталог диска не має фіксованого розміру, що знімає обмеження на кількість файлів і каталогів в кореневому каталозі. При цьому додатки DOS НЕ можуть працювати з файлами об'ємом більше 2 Гбайт, а 32-розрядні додатки Windows можуть працювати з файлами об'ємом до 4 Гбайт.

Для операційної системи Windows NT була розроблена файлова система NTFS, яка тепер застосовується у всіх сучасних операційних системах Windows XP / Vista. Існує кілька її модернізацій. Технічна інформація про файлову систему NTFS корпорацією Microsoft не розкривається, тому сторонні розробники використовують реінжиніринг, щоб забезпечити сумісність своїх розробок з ОС Windows. Наприклад, розробники операційної системи Linux провели велику роботу, і сьогодні з ОС Linux можна коректно працювати з даними, які розташовані на розділах NTFS.

## **Висновок**

Сучасний комп'ютер неможливо уявити без основного носія інформації - жорсткого диска, або вінчестера (Hard Disc Drive, HDD). Уже більше чверті століття жорсткі диски є одним з основних компонентів комп'ютерних систем, причому ні бездисккові термінали, ні глобальні сховища даних Всесвітньої павутини так і не змогли скласти серйозну конкуренцію персональним комп'ютерам з локальними пристроями зберігання даних.

Але в той же час ми вже використовується різного роду комп'ютери без "вінчестерів": смартфони, планшети, ноутбуки - будь-які пристрої, в яких замість коробочок з обертовими всередині пластинами встановлені накопичувачі на основі чіпів флеш-пам'яті. І незважаючи на те що в перерахунку на 1 Гб твердотільні накопичувачі поки не здатні конкурувати за ціною з класичними HDD, результат цього протистояння, здається, зумовлений: висока швидкість, низьке енергоспоживання, висока стійкість до механічних навантажень, мініатюрність - все говорить про те, що рано чи пізно SSD доб'є механіку.

## **Тема 5.2. Flash пам'ять**

*Лекція 21.* Поняття flash пам'яті. Загальний пристрій роботи комірки flash пам'яті.

Флеш-пам'ять (англ. Flash memory) - різновид напівпровідникової технології електрично перепрограмованої пам'яті (EEPROM). Це ж слово використовується в електронній схемотехніці для позначення технологічно закінчених рішень постійних запам'ятовуючих пристроїв у вигляді мікросхем на базі цієї напівпровідникової технології. У побуті це словосполучення закріпилося за широким класом твердотільних пристроїв зберігання інформації.

Завдяки компактності, дешевизні, механічній міцності, великим обсягом, швидкості роботи і низькому енергоспоживанню, флеш-пам'ять широко використовується в цифрових портативних пристроях і носіях інформації.

Як відомо, природною для комп'ютера арифметикою є двійкова логіка, коли вся інформація кодується за допомогою логічних нулів і одиниць - інформаційних бітів. З позиції електроніки двійковій логіці відповідає два дискретних стану сигналу, одному з яких приписується значення логічного нуля, а другого - логічної одиниці. Відповідно і пам'ять, яка використовується в цифровій електроніці, являє собою організоване сховище логічних нулів і одиниць. У найпростішому випадку кожна елементарна комірка пам'яті зберігає один біт інформації, тобто або 0, або 1. Відомі типи пам'яті розрізняються між собою лише конструктивними особливостями елементарної комірки пам'яті і принципами організації масиву цих осередків.

Осередки флеш-пам'яті бувають як на одному, так і на двох транзисторах. У найпростішому випадку кожна клітинка зберігає один біт інформації і складається з одного польового транзистора зі спеціальною

електрично ізольованою областю ( "плаваючим" затвором - floating gate), здатної зберігати заряд багато років. Наявність або відсутність заряду кодує один біт інформації. При записи заряд поміщається на плаваючий затвор одним з двох способів (залежить від типу комірки): методом інжекції "гарячих" електронів або методом тунелювання електронів. Стирання вмісту комірки (зняття заряду з "плаваючого" затвора) проводиться методом тунелювання. Як правило, наявність заряду на транзисторі розуміється як логічний "0", а його відсутність - як логічна "1". Сучасна флеш-пам'ять звичайно виготовляється по 0,13 і 0,18-мікронному техпроцесу.

### **Структура транзистора з плаваючим затвором**

Розглянемо спочатку ситуацію, коли на плаваючому затворі немає електронів. У цьому випадку транзистор веде себе подібно до вже розглянутого традиційного транзистору. При подачі на керуючий затвор позитивної напруги (ініціалізація осередки пам'яті) він буде перебувати у відкритому стані, що відповідає логічному нулю (рис. 5.22). Якщо ж на плаваючому затворі поміщений надлишковий негативний заряд (електрони), то навіть при подачі позитивного напруги на керуючий затвор він компенсує створюване керуючим затвором електричне поле і не дає утворюватися каналу провідності, тобто транзистор буде знаходитися в закритому стані.

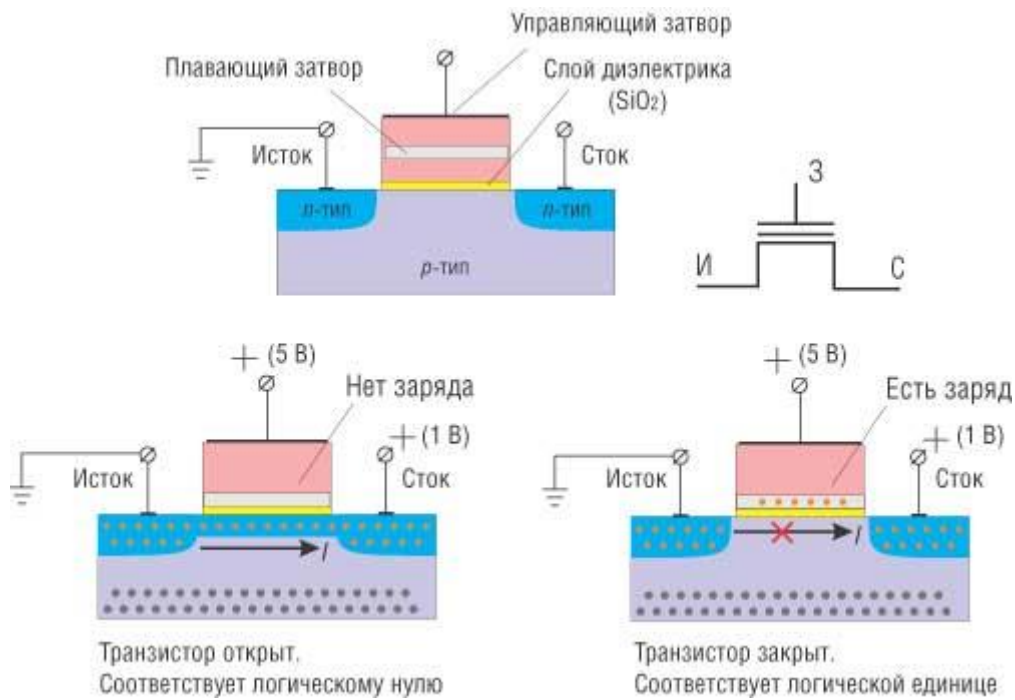


Рис.5.22. Структура транзистора с плавающим затвором

Таким чином, наявність або відсутність заряду на плаваючому затворі однозначно визначає стан транзистора (відкритий або закритий) при подачі одного і того ж позитивного напруги на керуючий затвор. Якщо подачу напруги на керуючий затвор трактувати як ініціалізацію осередки пам'яті, то за напругою між виток і стоком можна судити про наявність чи відсутність заряду на плаваючому затворі. Виходить своєрідна елементарна комірка пам'яті, здатна зберігати один інформаційний біт. При цьому важливо, щоб заряд на плаваючому затворі (якщо він там є) міг зберігатися там як завгодно довго як при ініціалізації осередки пам'яті, так і при відсутності напруги на керуючому затворі. В цьому випадку осередок пам'яті буде енергонезалежною. Залишилося лише придумати, яким чином на плаваючий затвор поміщати заряд (записувати вміст комірки пам'яті) і видаляти його звідти (прати вміст комірки пам'яті) в разі необхідності.

Приміщення заряду на плаваючий затвор (процес запису) реалізується або методом інжекції гарячих електронів (CHE-Channel Hot Electrons), або

методом тунелювання Фаулера-Нордхейма (аналогічно тому, як це робиться при видаленні заряду - див. Далі).

При використанні методу інжекції гарячих електронів на стік і управляючий затвор подається висока напруга (рис. 5.23), щоб надати електронам в каналі енергію, достатню для подолання потенційного бар'єру, створюваного тонким шаром діелектрика, і тунелювати в область плаваючого затвора (при читанні на керуючий затвор подається меншу напругу і ефекту тунелювання не спостерігається).

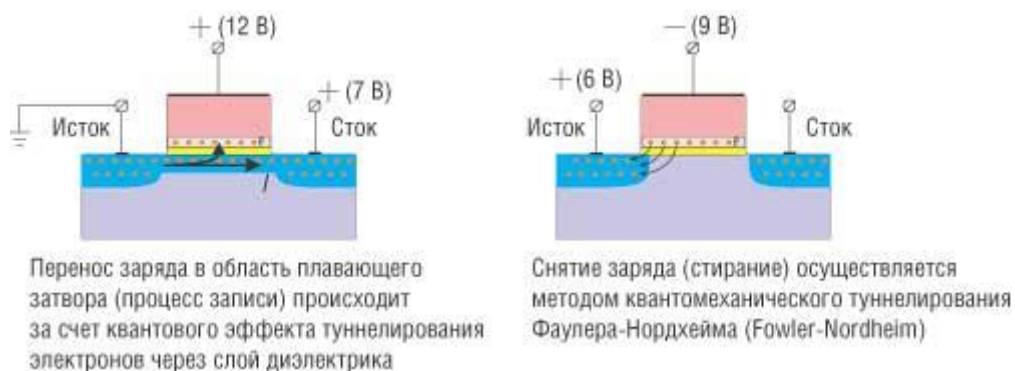


Рис. 5.23. Метод інжекції гарячих електронів

Для видалення заряду з плаваючого затвора (процес стирання осередки пам'яті) на керуючий затвор подається висока (близько 9 В) негативна напруга, а на область витоку - позитивна напруга (рис. 5.23). Це призводить до того, що електрони тунелюють з області плаваючого затвора в область витоку (квантове тунелювання Фаулера-Нордхейма - Fowler-Nordheim, FN).

Розглянутий нами транзистор з плаваючим затвором може виступати в ролі елементарного осередку флеш-пам'яті. Однак одностраністорний осередки мають ряд суттєвих недоліків, головний з яких - погана масштабованість. Справа в тому, що при організації масиву пам'яті кожна комірка пам'яті (транзистор) підключається до двох перпендикулярних шин: керуючі затвори - до шини, званої лінією слів, а стоки - до шини, званої бітової лінією (надалі дана організація буде розглянута на прикладі NOR -



Архітектура). Внаслідок наявності в схемі високої напруги при записі методом інжекції гарячих електронів всі лінії - слів, бітів і витоків - необхідно мати у своєму розпорядженні на досить великій відстані один від одного для забезпечення необхідного рівня ізоляції, що, природно, позначається на обмеженні обсягу флеш-пам'яті.

### Двотранзисторна комірка пам'яті

Для того щоб уникнути недоліків одностранзисторних комірок пам'яті, використовують різні модифікації елементів пам'яті, проте головний базовий елемент - транзистор з плаваючим затвором - залишається в будь-якому варіанті осередки пам'яті. Одним з модифікованих варіантів комірок пам'яті є двотранзисторна комірка, що містить звичайний CMOS-транзистор і транзистор з плаваючим затвором (рис. 5.24). Звичайний транзистор використовується для ізоляції транзистора з плаваючим затвором від бітової лінії.

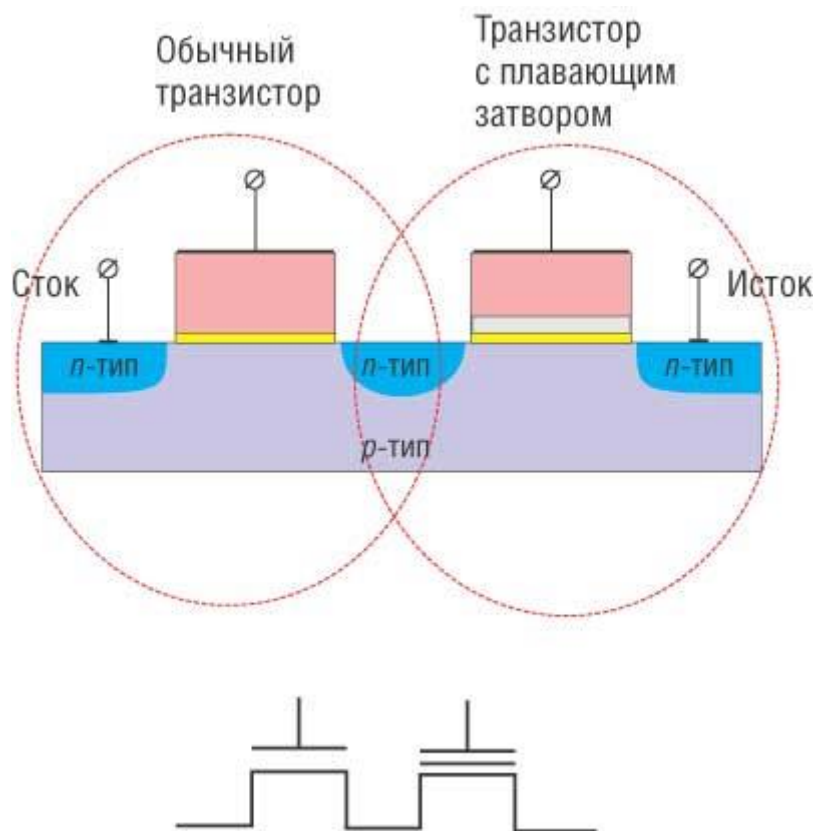


Рис. 5.24. Двотранзисторна комірка пам'яті та її позначення

Перевага двотранзисторної комірки пам'яті полягає в тому, що з її допомогою можна створювати більш компактні і добре масштабовані мікросхеми пам'яті, оскільки в даному випадку транзистор з плаваючим затвором ізолюється від бітової лінії. Крім того, на відміну від одностранзисторної комірки пам'яті, де для запису інформації використовується метод інжекції гарячих електронів, в даному випадку і для запису, і для стирання інформації застосовується метод квантового тунелювання Фаулера-Нордхейма, що дозволяє знизити напругу, необхідне для операції записи. Як буде показано в подальшому, двухтранзисторного осередку використовуються в пам'яті з архітектурою NAND.

### **MLC-комірки пам'яті**

Всі які розглядалися до цього варіанти осередків пам'яті здатні зберігати тільки один біт інформації в розрахунку на одну клітинку. У одnobітових комірках розрізняють тільки два рівня заряду на плаваючому затворі. Такі осередки називають однорівневими (англ. Single-level cell, SLC). Однак існують і такі осередки, кожна з яких зберігає за кілька бітів, - це багаторівневі комірки, або MLC (MultiLevel Cell).

Принцип роботи багаторівневої MLC-осередки пам'яті досить простий і багато в чому схожий з принципом роботи одностранзисторний осередки на базі транзистора з плаваючим затвором.

Як уже зазначалося при розгляді одностранзисторних комірок пам'яті, наявність логічної одиниці або нуля визначається за значенням напруги на бітової лінії і залежить від наявності або відсутності заряду на плаваючому затворі. Якщо на керуючий затвор подається позитивна напруга, то при відсутності заряду на плаваючому затворі транзистор відкритий і напруга між стоком і витокм мало, що відповідає логічному нулю. Якщо ж на плаваючому затворі є негативний заряд, своїм полем екранує поле, створюване керуючим затвором, то транзистор виявляється в закритому

стані, що відповідає високій напрузі між стоком і витоком (логічна одиниця). Зрозуміло, що навіть при наявності негативного заряду на плаваючому затворі транзистор можна перевести у відкритий стан, однак для цього доведеться подати більшу напругу (порогове напруга) на керуючий затвор. Отже, про відсутність або наявність заряду на плаваючому затворі можна судити по пороговому значенню напруги на керуючому затворі. Оскільки гранична напруга залежить від величини заряду на плаваючому затворі, то можна не тільки визначити два граничних випадки - відсутність або присутність заряду, а й за величиною порогового напруги судити про кількість заряду. Таким чином, якщо є можливість розміщувати на плаваючому затворі різну кількість рівнів заряду, кожному з яких відповідає своє значення порогового напруги, то в одній комірці пам'яті можна зберігати кілька інформаційних бітів. Наприклад, для того, щоб з використанням такого транзистора зберігати в одній комірці 2 біта, необхідно розрізнити чотири порогових напруги, тобто мати можливість розміщувати на плаваючому затворі чотири різних рівня заряду. Тоді кожному з чотирьох порогових напруг можна поставити у відповідність комбінацію двох бітів: 00, 01, 10, 11.

Для того щоб мати можливість записувати в одну клітинку 4 біта, необхідно розрізнити вже 16 порогових напруг.

Осередки MLC активно розробляються компанією Intel, тому технологія пам'яті на основі MLC-осередків отримала назву Intel StrataFlash.

Зазвичай під MLC розуміють пам'ять з 4 рівнями заряду (2 біта), пам'ять з 8 рівнями (3 біта) називають TLC [3], з 16 рівнями (4 біта) - 16LC. [4].

## Лекція 22. Архітектура flash пам'яті. Карти пам'яті.

### Архітектура флеш-пам'яті

Розглянута нами найпростіша комірка флеш-пам'яті на основі транзистора з плаваючим затвором, здатна зберігати один біт інформації, може використовуватися для створення масивів незалежній пам'яті. Для цього потрібно тільки відповідним чином об'єднати в єдиний масив безліч комірок, тобто створити архітектуру пам'яті.

Існує кілька типів архітектур флеш-пам'яті, але найбільшого поширення набули архітектури NOR і NAND.

### Архітектура NOR

Найпростіша для розуміння архітектура флеш-пам'яті - архітектура NOR (рис. 5.25).

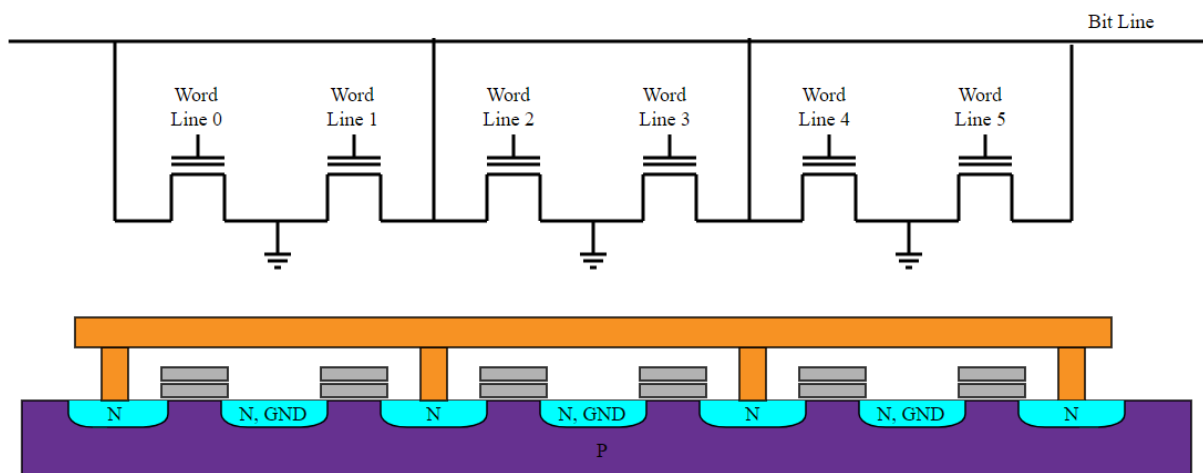


Рис. 5.25. Компонівка шести комірок NOR flash

Як уже зазначалося, для ініціалізації комірки пам'яті, тобто для отримання доступу до вмісту комірки, необхідно подати напругу на керуючий затвор. Тому всі керуючі затвори повинні бути приєднані до лінії управління, званої лінією слів (Word Line). Аналіз вмісту комірки пам'яті

проводиться за рівнем сигналу на стоці транзистора. Тому стоки транзисторів підключаються до лінії, званої лінією бітів (Bit Line).

Своєю назвою архітектура NOR зобов'язана логічній операції АБО-НЕ (англійська аббревіатура - NOR). Логічна операція NOR над декількома операндами дає середнє арифметичне значення, коли всі операнди рівні нулю, і нульове значення у всіх інших випадках. Якщо під операндами розуміти значення осередків пам'яті, то в розглянутій архітектурі середнє арифметичне значення на бітовій лінії буде спостерігатися тільки в тому випадку, коли значення всіх осередків, підключених до даної бітової лінії, дорівнює нулю (всі транзистори закриті).

Архітектура NOR забезпечує довільний швидкий доступ до пам'яті, однак процеси записи (використовується метод інжекції гарячих електронів) і стирання інформації відбувається досить повільно. Крім того, в силу технологічних особливостей виробництва мікросхем флеш-пам'яті з архітектурою NOR, розмір самої комірки виходить дуже великим і тому така пам'ять погано масштабується.

### **Архітектура NAND**

Іншою поширеною архітектурою флеш-пам'яті є архітектура NAND, відповідна логічній операції І-НЕ. Операція NAND дає нульове значення тільки в тому випадку, коли всі операнди рівні нулю, і середнє арифметичне значення у всіх інших випадках. Як ми вже відзначали, нульове значення відповідає відкритому станом транзистора, тому архітектура NAND має на увазі, що бітова лінія має нульове значення в разі, коли всі під'єднані до неї транзистори відкриті, і середнє арифметичне значення - коли хоча б один з транзисторів закритий. Таку архітектуру можна організувати, якщо підключати транзистори з бітової лінії не по одному (як в архітектурі NOR), а послідовними серіями (рис. 5.26).

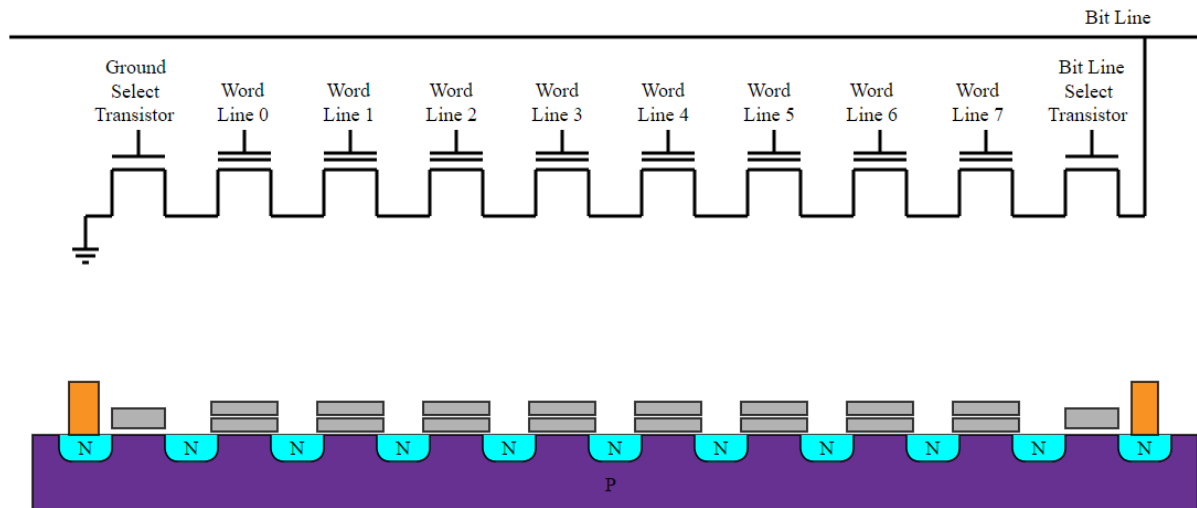


Рис. 5.26. Структура одного стовбцю NAND flash

У порівнянні з архітектурою NOR дана архітектура в силу особливостей технологічного процесу виробництва дозволяє домогтися більш компактного розташування транзисторів, а отже, добре масштабується. На відміну від NOR-архітектури, де запис інформації проводиться методом інжекції гарячих електронів, в архітектурі NAND запис здійснюється методом тунелювання FN, що дозволяє реалізувати більш швидкий запис, ніж для архітектури NOR. Щоб зменшити негативний ефект низької швидкості читання, мікросхеми NAND забезпечуються внутрішнім кешем.

Крім розглянутих нами архітектур NOR і NAND, у флеш-пам'яті використовуються і інші архітектури, наприклад AND, DiNOR і т.д., але вони не набули масового поширення.

### Довговічність

Час зберігання заряду дуже велике і вимірюється роками, але все ж обмежена. Закони термодинаміки і дифузії свідчать, що концентрація електронів в різних областях рано чи пізно вирівнюється.

З тієї ж причини обмежена кількість циклів запису-перезапису: від ста тисяч до декількох мільйонів. Згодом неминуче відбувається деградація самого матеріалу і р-п-переходів. Наприклад, карти Kingston Compact Flash розраховані на 300 000 циклів перезапису. Transcend Compact Flash - на 1 000 000, а flash-диск Transcend 32 Gb USB - всього на 100 000.

Найбільшими виробниками NAND-чипів є компанії Intel, Micron Technology, Sony і Samsung. Асортимент чипів досить великий, а оновлення його відбувається кілька разів на рік.

### **Контролери**

Для управління читанням і записом служить контролер пам'яті. В даний час контролер завжди виконується у вигляді окремого елемента (це або мікросхема одного зі стандартних форм-факторів, або безкорпусний чіп, вбудований в карту пам'яті), хоча ведуться роботи по інтеграції контролера безпосередньо в кристал flash-пам'яті.

Контролери розробляються і випускаються під цілком певні мікросхеми flash-пам'яті. Спосіб адресації осередків конструктивно закладений в контролері. Дані при записі в мікросхему flash-пам'яті розташовуються певним способом, мінливих від моделі до моделі. Виробники ці тонкощі тримають в секреті і, по всій видимості, розкривати не планують. Очевидно, мікропрограм контролерів створюється значно більше, ніж самих моделей контролерів. Мікропрограма контролера (прошивка) і таблиця трансляції адрес (транслятор) записуються в службову область flash-пам'яті. Саме цю область контролер починає зчитувати відразу після подачі на нього живлення. Крім власне адресації осередків, контролер виконує ряд інших функцій: функції контролю bad-секторів, корекції помилок (ECC - error check and correct) і рівномірності зносу осередків (wear leveling).

Технологічною нормою при виготовленні мікросхем пам'яті вважається наявність в них в середньому до 2% неробочих осередків. Згодом їх кількість може збільшуватися, тому, як і в вінчестерах, у flash-пам'яті передбачений резервний об'єм. Якщо з'являється дефектний сектор, контролер в процесі форматування або запису підміняє його адресу в таблиці розміщення файлів адресою сектора з резервної області. Корекція здійснюється контролером, але реалізується на рівні файлової системи конкретного носія.

Через обмеженого ресурсу осередків (порядку декількох мільйонів циклів читання / запису для кожної) в контролер закладена функція обліку рівномірності зносу. Щоб запис інформації здійснювалася рівномірно, вільний простір умовно розбивається на ділянки, і для кожного з них враховується кількість операцій запису. Статистика циклів заноситься в приховану службову область пам'яті, і за цими відомостями контролер періодично звертається до неї. На адресацію це не впливає.

## **Висновки**

На даний момент поки ще рано говорити про повну перемогу SSD-накопичувачів над магнітними дисками. Якщо враховувати обсяг і швидкість роботи SSD-накопичувача, порівнюючи їх з аналогічними параметрами для традиційних HDD, то головним стримуючим фактором переходу на твердотільні диски все ще залишиться їх ціна. Аналіз декількох останніх років показав небажання виробників знижувати ціну на NAND-пам'ять. Тільки останні півроку можна спостерігати невелику тенденцію щодо зниження ціни на SSD, і то це, швидше за все, обумовлено спадом споживчого попиту, що викликане світовою кризою. Твердотільні накопичувачі вже кілька років представлені в широкому асортименті на світовому ринку, але навіть такий значний для цифрових технологій термін не зміг вплинути на їх конкурентоспроможність за критерієм «ціна за ГБ



збереженої інформації» по відношенню до магнітних дисків. Щільність запису на один магнітний диск постійно збільшується, що сприяє випуску все більш ємних моделей (на даний момент широко доступні HDD ємністю 2 ТБ). Такий розподіл ринку може змусити покупця віддати перевагу SSD накопичувачу тільки в разі гострої необхідності в швидкості читання або стійкості до вібрації / удару, але основний обсяг інформації все одно буде зберігатися на класичних жорстких дисках.

## РОЗДІЛ 6 ПРИСТРОЇ ОПТИЧНОЇ РЕЄСТРАЦІЇ ІНФОРМАЦІЇ

### Тема 6.1. Фотоапарат.

Лекція 23. Світлочутлива матриця. Пристрій одного пікселя матриці.

Характеристики матриць.

На рис. 6.1 представлений вигляд оптичного тракту всередині фотоапарату.

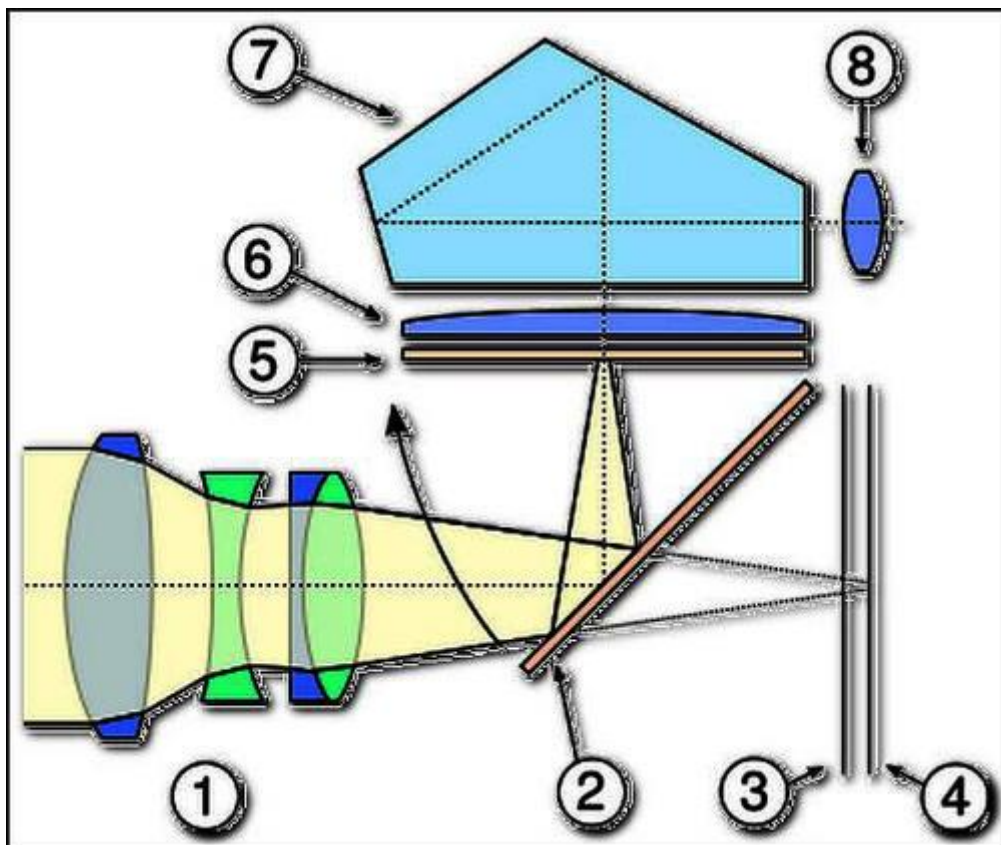


Рис. 6.1. Світлочутлива матриця

- 1. Об'єктив камери
- 2. Проектоване дзеркало
- 3. Затвор
- 4. Фотосенсор або фотоплівка
- 5. Матове скло

- 6. Лінза
- 7. Пентапризма
- 8. Окуляр видошукача

Матриця або світлочутлива матриця - спеціалізована аналогова або цифро-аналогова інтегральна мікросхема, що складається з світлочутливих елементів - фотодіодів (рис. 6.2).

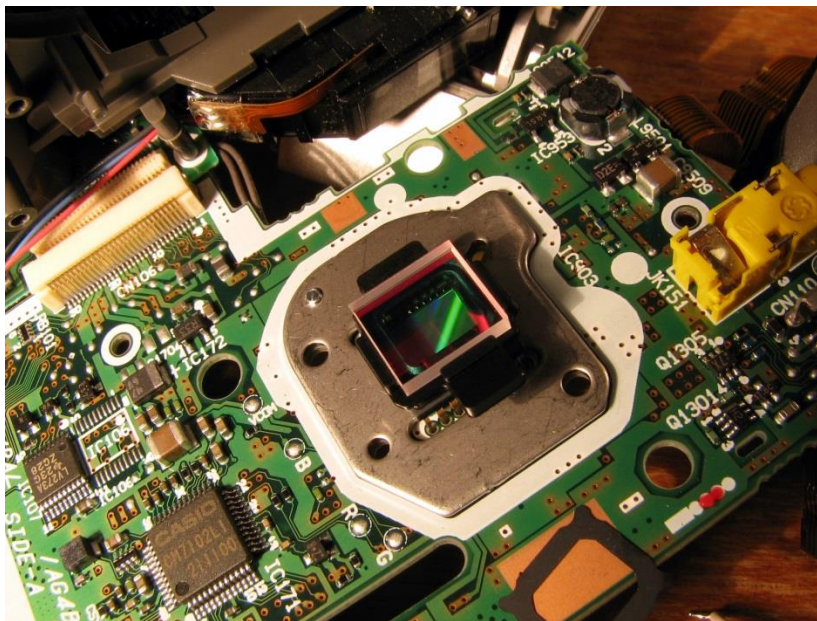


Рис. 6.2. Матриця на друкованій платі цифрового фотоапарата

- Призначена для перетворення проєкційованого на неї оптичного зображення в аналоговий електричний сигнал або в потік цифрових даних (при наявності АЦП безпосередньо в складі матриці).
- Є основним елементом цифрових фотоапаратів, сучасних відео- та телевізійних камер, фотокамер, вбудованих в мобільний телефон, камер систем відеоспостереження та багатьох інших пристроїв.
- Застосовується в оптичних детекторах переміщення комп'ютерних мишей, сканерах штрих-кодів, планшетних і проєкційних сканерах, системах астро- і сонячної навігації.

Матриця фотоапарата - один з основних компонентів сучасної фототехніки. На її поверхні будується зображення, яке фіксується чутливими елементами (їх називають пікселями). Існує безліч ефективних алгоритмів подальшої обробки сигналу, але саме матриця стоїть на самому початку електронного тракту фотокамери і найбільшою мірою впливає на якість фотознімку.

До появи матриці використовувалася плівка. Принципово пристрій фотоапарата з тих пір змінився мало. Зображення, як і раніше, будується об'єктивами різних типів на світлочутливої поверхні, а далі за допомогою різних технологічних процесів переноситься або на папір, або на дисплей комп'ютера. Але матриця має перед плівкою одну істотну перевагу - миттєве отримання результату. Саме це головним чином і визначило широке застосування матриць в якості фотосенсорів.

### Пристрій одного пікселя матриці

Архітектура пікселів у виробників різна. Для прикладу тут наводиться архітектура ПЗС-пікселя (рис. 6.3).

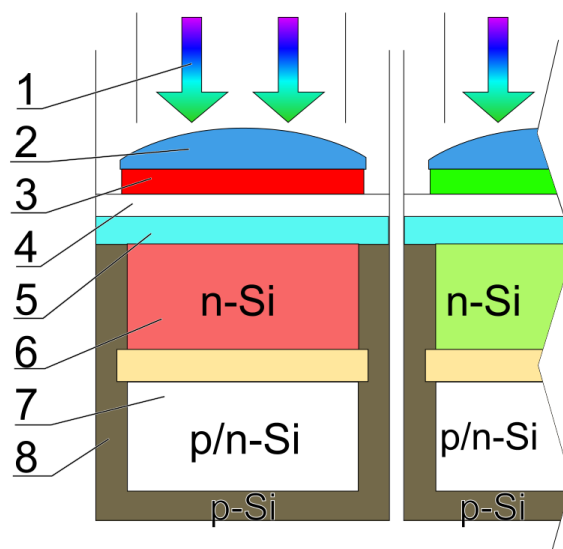


Рис. 6.3. Приклад субпікселя ПЗС-матриці з карманом n-типу

**Позначення на схемі субпікселя ПЗС-матриці - матриці з карманом n-типу:**

- 1 - фотони світла, що пройшли через об'єктив фотоапарата;
- 2 - мікролінза субпікселя;
- 3 - R - червоний світлофільтр субпікселя, фрагмент фільтра Байера;
- 4 - прозорий електрод з полікристалічного кремнію або сплаву індію та оксиду олова;
- 5 - оксид кремнію;
- 6 - кремнієвий канал n-типу: зона генерації носіїв - зона внутрішнього фотоефекту;
- 7 - зона потенційної ями (карман n-типу), де збираються електрони з зони генерації носіїв заряду;
- 8 - кремнієва підкладка p-типу.

### **Мікролінза субпікселя**

Буферні реєстри зсуву на ПЗС-матриці, так само як і обрамлення КМОП-пікселя на КМОП-матриці «з'їдають» значну частину площі матриці, в результаті, кожного пікселя дістається лише 30% світлочутливої області від його загальної поверхні. У матриці з повнокадровим перенесенням ця область становить 70%. Саме тому в більшості сучасних ПЗС-матриць над пікселем встановлюється мікролінза. Такий найпростіший оптичний пристрій покриває велику частину площі ПЗС-елемента і збирає всю падаючу на цю частину частку фотонів в концентрований світловий потік, який, в свою чергу, спрямований на досить компактну світлочутливу область пікселя.

Перша матриця працювала за технологією ПЗС (прибор с зарядовой связью, прилад із зарядним зв'язком, або CCD, «charge-coupled device»), оскільки ця технологія простіше і була впроваджена першою. Зараз більш перспективним вважається принцип КМОП (комплементарная структура

металл-оксид-полупроводник, комплементарна структура метал-оксид-напівпровідник; англ. CMOS, complementary metal-oxide-semiconductor), оскільки попереднє посилення сигналу безпосередньо в елементі матриці дозволяє підвищити чутливість, знизити шуми, скоротити енергоспоживання і зменшити вартість матриці. Незважаючи на це, ПЗС матриці все ще продовжують використовуватися і сьогодні.

Елементи, з яких складається матриця фотоапарата, здатні фіксувати тільки інтенсивність падаючого на них світла. Для того, щоб записати колір, необхідно, як мінімум, три таких елемента (така кількість пов'язана з особливостями сприйняття кольору людським оком, мають три види колбочок), кожен з яких відповідає за свою область спектра (рис. 6.4). Щоб реалізувати колірну чутливість, перед кожним елементом ставиться світлофільтр, який пропускає тільки цілком певний колір - червоний, зелений або синій (модель RGB - Red-Green-Blue - яка використовується в переважній більшості матриць).

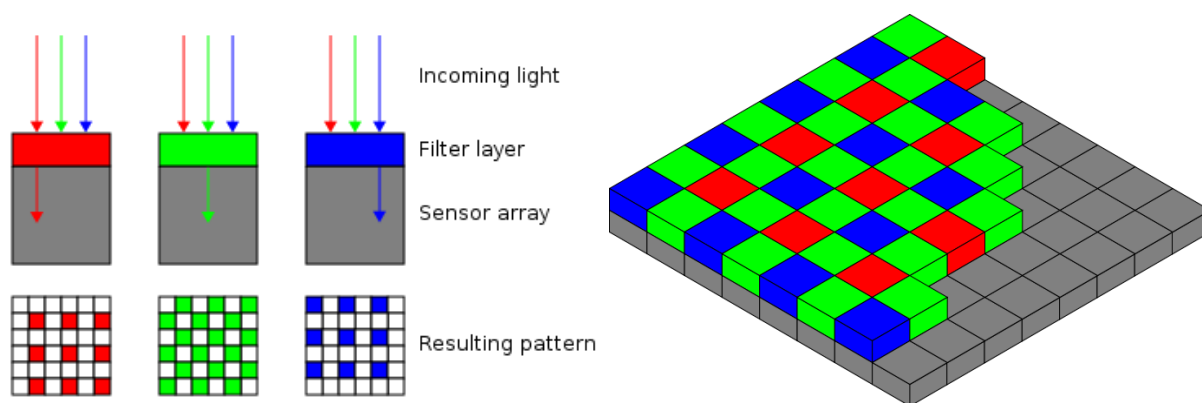


Рис. 6.4 Модель RGB - Red-Green-Blue - яка використовується в переважній більшості матриць.

Таким чином, виходить, що матриця складається з набору трьох видів сенсорів, при цьому розташовуватися вони можуть різними способами - чотирикутником, у деяких матриць шестикутником, та й кількість елементів різного кольору може бути різним. Наприклад, в широко поширеному

фільтри Байєра на кожен червоний і блакитний елемент доводиться два зелених, при цьому вони ще й розподілені випадковим чином (рис. 6.5). Це зроблено, щоб змоделювати підвищену колірну чутливість людського ока до зеленого кольору.



Рис. 6.5. Фрагмент зображення на матриці та його оцифровка у % кольору, як вона сприймається при зчитуванні інформації.

Важлива особливість матриць полягає в тому, що в матриці, яка має  $N$  мегапікселів міститься дійсно  $N$  мегапікселів, і більш того, зображення з цієї матриці теж складається з  $N$  мегапікселів. Ви скажете, що ж тут дивного? А дивно ось що - як ви вже знаєте, на зображенні кожен піксель складається з трьох кольорів, червоного, зеленого і синього. Здавалося б, і на матриці кожен піксель повинен складатися з трьох світлочутливих елементів, відповідно червоного, зеленого і синього кольорів. Однак на ділі це не так. Кожен піксель складається тільки з одного елемента. Звідки ж тоді береться колір? Насправді, на кожен піксель нанесений світлофільтр таким чином, що кожен піксель сприймає тільки один з кольорів. Світлофільтри чергуються - перший піксель сприймає тільки червоний колір, другий - тільки зелений, третій - тільки синій. Після зчитування інформації з матриці, колір для кожного пікселя обчислюється за кольорами

цього пікселя і його сусідів. Звичайно, такий спосіб дещо спотворює зображення, проте алгоритм обчислення кольору влаштований так, що спотворюватися може колір дрібних деталей, але не їх яскравість. А для людського ока, що розглядає знімок, важливіше саме яскравість, а не колір цих деталей, тому ці спотворення практично непомітні. Така структура має назву структури Байєра (Bayer pattern) на прізвище інженера фірми Кодак, який запатентував таку структуру фільтрів.

## Характеристики матриць

### Розмір матриці

Найважливіша характеристика. І ось чому. Будь-який приймач випромінювання володіє шумами, тобто на корисний сигнал завжди накладається паразитний шум. Матриця не є винятком. З теорії відомо, що чим більше світла надходить в приймач випромінювання, тим менше відносний вплив шуму. Звідси випливає очевидний висновок: чим більше площа чутливого елемента, тим більше на нього падає світла, тим менше шум (рис. 6.6).

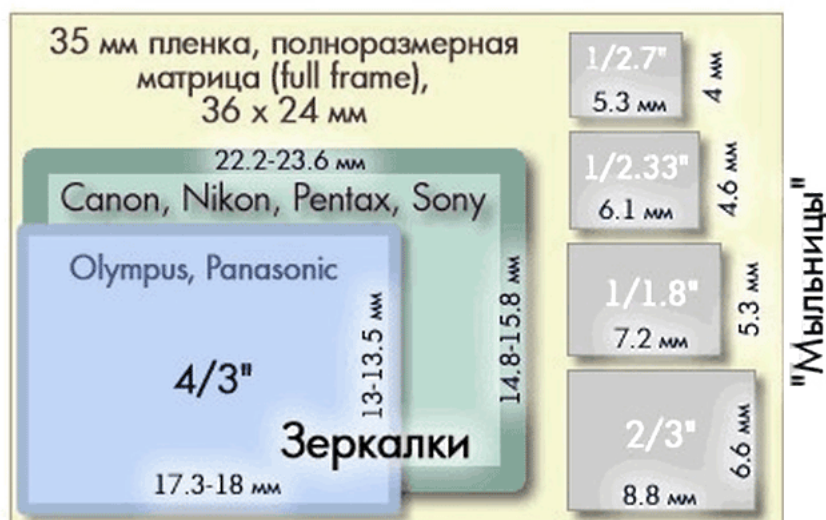


Рис. 6.6. Порівняння за розміром матриць різних типів фотоапаратів



Таким чином, щоб матриця менше шуміла, вона повинна мати більший розмір і менше пікселів. В цьому випадку можна буде знімати з більшою чутливістю ISO, з довгими витримками, в темний час доби, вночі і т. д., і отримувати при цьому фотографії високої якості. Розглянемо, які розміри мають сучасні матриці.

### **Роздільна здатність матриці**

Друга важлива характеристика. Відповідає за деталізацію зображення. Вимірюється в мільйонах пікселів - мегапікселях (Мпікс.). Чим більша роздільна здатність, тим більшого формату фотографію можна надрукувати і більше збільшити зображення на моніторі. Іншими словами, тим більша кількість інформації несе цифровий знімок.

На жаль, ця характеристика сильно постраждала в маркетингових війнах виробників фототехніки. Коли цифрова фотографія тільки починалася, роздільна здатність дійсно була головним параметром матриці. Тоді матриця фотоапарата мильниці мала роздільну здатність 3 - 4 Мпікс., А у професійних дзеркалок близько 6. Цього мало, оскільки з 6 Мпікс. можна надрукувати фотографію розміром не більше А4, але ж це професійна камера!

Але потім почалася гонка мегапікселів, яка призвела до того, що якість зображення недорогий мильниці з 16 Мпікс. стала гірша, ніж у дзеркалки з 10 Мпікс. Маленька матриця 1 / 2,7 "просто не в змозі забезпечити прийнятний світловий потік для 16 Мпікс. втиснутих в 5,27x3,96 мм. Знімок виходить зашумленим, шумозаглушуючі алгоритми замилюють картинку, чіткість падає. При цьому з 16 Мпікс можна було б легко надрукувати фотографію 40x30 см і навіть більше (!). Правда, в разі матриці більшого розміру (наприклад, формату APS-C розміром 25,1 × 16,7 мм), а не з тієї, про яку я говорю.

Фотоматриця оцифровує (розділяє на шматочки - «пікселі») те зображення, яке формується об'єктивом фотоапарата. Але, якщо об'єктив в силу недостатньо високої роздільної здатності передає ДВІ точки, об'єкта, що світиться, розділені третьою чорною, як одну точку, що світиться на ТРИ посліпль розташованих пікселя, то говорити про точну роздільну здатність зображення фотоапаратом не доводиться.

У фотографічної оптики існує приблизне співвідношення [6.1]: якщо роздільну здатність фотоприймача висловити в лініях на міліметр (або ж в пікселях на дюйм), позначимо її як  $M$ , і так само виразити роздільну здатність об'єктива (в його фокальній площині), позначимо її як  $N$ , то результуюча роздільна здатність системи об'єктив + фотоприймач, позначимо його як  $K$ , можна знайти за формулою:

$$\text{або} \quad . \quad (6.1)$$

Це співвідношення максимальне при  $N=M$ , коли роздільна здатність рівна  $N/2$ , тому бажано, щоб роздільна здатність об'єктива відповідала роздільної здатності фотоприймача.

У сучасних цифрових фото-матриць роздільна здатність визначається розміром пікселя, який варіюється у різних фотоматриці в межах від 0,0025 мм до 0,0080 мм, а у більшості сучасних фотоматриці він дорівнює 0,006 мм. Оскільки дві точки будуть відрізнятися, якщо між ними знаходиться третя (незасвічені) точка, то роздільна здатність відповідає відстані в два пікселя, тобто:

У цифрових фото-матриць роздільна здатність становить від 200 ліній на міліметр (у великоформатних цифрових фотокамер) до 70 ліній на міліметр (у web-камер і мобільних телефонів).

## Світлочутливість матриці

Світлочутливість фотоматеріалу - характеристика фотографічного матеріалу, що відображає його здатність змінювати свою оптичну щільність під впливом світла і подальшого прояву [1]. Світлочутливість обернено пропорційна експозиції, яка потрібна для отримання заданої оптичної щільності [2]. Розділ метрології, що вивчає світлочутливість фотоматеріалів, називається сенситометрією. Одиниці ISO, що використовуються для позначення світлочутливості в даний час, є міжнародними, і стандартизовані однойменною організацією (рис. 6.7).

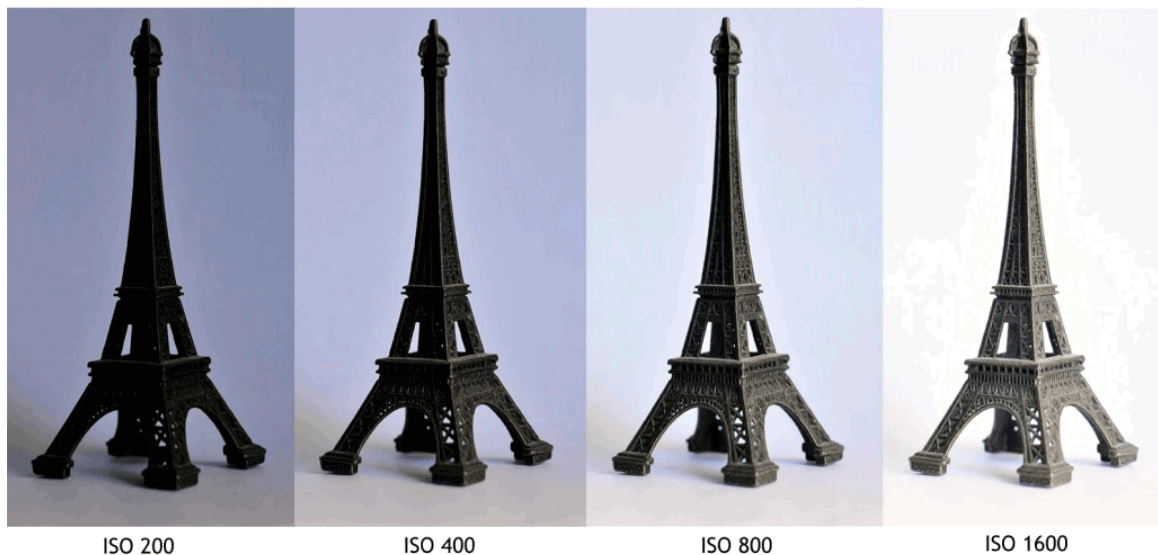


Рис. 6.7. Світлочутливість матриці

Поняття світлочутливості, що застосовується в цифровій фотографії не має нічого спільного з чутливістю фотоматеріалів, оскільки до електронних способів реєстрації зображення принципи сенситометрії не можна застосовувати. Крім того, в цифровій фотографії використовується величина, яка відображає не стільки чутливість матриці, скільки ступінь посилення її електричних сигналів і їх подальшу цифрову обробку [3].

Світлочутливість цифрової фотокамери - характеристика цифрового фотоапарата, що визначає залежність числових параметрів створеного ним

цифрового зображення від експозиції, отриманої світлочутливою матрицею. Світлочутливість цифрових фотоапаратів прийнято виражати в одиницях, еквівалентних світлочутливості ISO желатіносрібних фотоемульсій [1]. Це дозволяє користуватися методами вимірювання експозиції, властивими класичній плівковій фотографії.

До матриць застосовується термін еквівалентної «чутливості», тому що:

в залежності від призначення матриці формальне значення чутливості може визначатися різними способами за різними критеріями;

аналоговим посиленням сигналу і цифровою постобробкою можна змінювати значення чутливості матриці в широкому діапазоні.

У цифрових фотоапаратів значення світлочутливості може змінюватися в діапазоні 50-102400 ISO. Максимальна використовується в масових фотоапаратах чутливість відповідає відношенню сигнал / шум 2-5 (рис. 6.8).

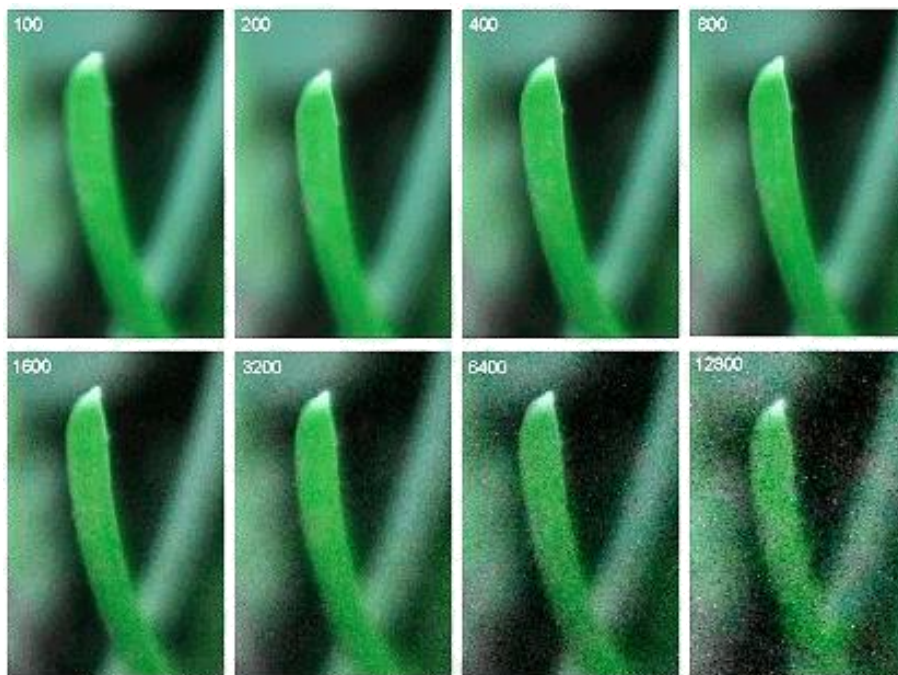


Рис. 6.8. Приклад шуму матриці з різними значеннями чутливості ISO

Ця характеристика визначає можливість матриці реєструвати слабкі світлові потоки, тобто, знімати в темряві або з короткими витримками. Визначається в одиницях міжнародного стандарту ISO. Як ми вже говорили вище, чим більше чутливість, тим більше шумів. Матриця фотоапарата типу КМОП шумить менше, ніж ПЗС. Велика за розмірами менше, ніж маленька. З меншою роздільною здатністю менше ніж з великою.

Деякі величини.

Експозиція (в фотографії, кінематографії і телебаченні) - кількість актинічного випромінювання, одержуваного світлочутливим елементом. Для видимого випромінювання може бути розрахована як добуток освітленості на витримку, протягом якої світло впливає на світлочутливий елемент: матрицю або фотоемульсію (рис. 6.9) [1].



Рис. 6.9. Демонстрація впливу витримки на фотографію. Зі збільшенням витримки при незмінній діафрагмі збільшується експозиція

Для видимого випромінювання експозиція виражається в лк × с (люкс-секунда). Термін також вживається стосовно до самого процесу експонування світлочутливого елемента, і в інших областях, пов'язаних з опроміненням світлочутливих шарів: фотолітографії і т.д. При експонуванні змінюються фізико-хімічні або електричні властивості світлоприймачів. Наприклад, в галогенідах срібла відбувається відновлення металевого срібла.

**Актинічність**, актинічність фотографічна (грец. Aktis, родовий відмінок грец. Aktinos - промінь) - здатність випромінювання надавати фотографічну дію на світлочутливий матеріал.

**Актинічне світло** - електромагнітне випромінювання, що володіє здатністю впливати на конкретний світлочутливий матеріал передбаченим способом.

**Неактинічне світло** - електромагнітне випромінювання, що не викликає передбаченої цим світлочутливим матеріалом фотохімічної зміни.

### **Співвідношення сигнал / шум матриці**

Будь-яка фізична величина робить деякі коливання від свого середнього стану, в науці це називається флуктуаціями. Тому і кожна властивість будь-якого тіла теж змінюється, коливаючись в деяких межах. Це справедливо і для такої властивості, як світлочутливість фотоприймача, незалежно від того, що собою являє цей фотоприймач. Наслідком цього є те, що деяка величина не може мати якогось конкретного значення, а змінюється в залежності від обставин. Якщо, наприклад, розглянути такий параметр фотоприймача, як «рівень чорного», тобто те значення сигналу, яке буде показувати фотодатчик при відсутності світла, то і цей параметр буде якимось чином флуктуватись, в тому числі ця величина буде змінюватися від одного фотодатчика до іншого, якщо вони утворюють деякий масив (матрицю).

Як приклад можна розглянути звичайну фотоплівку, де фотодатчики - зерна бромистого срібла, і їх розмір і «якість» неконтрольовано змінюються від точки до точки (виробник фотоматеріалу може забезпечити тільки середнє значення параметра і величину його відхилення від середнього значення, але не самі конкретні значення цієї величини в конкретних позиціях). Таким чином, ця плівка, проявлена без експозиції, покаже деяке, дуже маленьке, але відмінне від нуля почорніння, яке називається «вуаль». І

у фотоматриці цифрового фотоапарата спостерігається те ж саме явище. В науці таке явище називається шумом, так як воно заважає правильному сприйняттю і відображенню інформації, і для того, щоб зображення добре передавало структуру вихідного сигналу, необхідно, щоб рівень сигналу в деякій мірі перевищував рівень шумів, характерних для даного пристрою. Це називається відношенням сигнал / шум. [1]

Додам, що крім типу, розміру, чутливості, шум залежить ще і від температури матриці, чим вона вища, тим шум більше. А при інтенсивній роботі матриця нагрівається. У бездзеркальних фотоапаратах матриця працює постійно, а в зеркалках тільки в момент спрацьовування затвора, тому при інших рівних умовах матриці навіть аматорських дзеркальних фотоапаратів шумлять менше.

Боротьба з шумом це окрема тема. Розвиток цифрової техніки йде дуже швидкими темпами і з кожним роком матриці стають все більш досконалими.

### **Співвідношення сторін кадра**

- Формат кадру 4: 3 в основному застосовується в аматорських цифрових фотоапаратах. Деякі фірми, наприклад, Canon, допускають в цих фотоапаратах настройку співвідношення сторін в діапазонах 4: 3 і 16: 9 [5].
- Формат кадру 3: 2 застосовується в дзеркальних цифрових фотоапаратах, крім виконаних за стандартом 4: 3.
- Випускається незначне число моделей з кадром 16: 9.

### **Пропорції пікселя**

Випускаються матриці з трьома різними пропорціями пікселя:•

- Для відеоапаратури випускаються сенсори з пропорцією пікселя 4: 3 (PAL)•

- або 3: 4 (NTSC);•
- Фотографічне, рентгенографічне і астрономічне обладнання, а також HDTV-відеообладнання, що розвивається зараз, зазвичай має квадратний піксель.



*Лекція 24. Технології виготовлення матриць. Методи отримання кольорового зображення.*

### **Типи матриць за застосовуваним технології**

- ПЗС-матриця (CCD, «Charge Coupled Device»);
- КМОП-матриця (CMOS, «Complementary Metal Oxide Semiconductor»);
- SIMD WRD (Wide dynamic range) матриця;
- Live-MOS-матриця;
- Super CCD-матриця.
- QuantumFilm-матриця.

Довгий час ПЗС-матриці були практично єдиним масовим видом фотосенсорів. Реалізація технології Active Pixel Sensors близько 1993 року і подальший розвиток технологій привели в підсумку до того, що в 2008 році КМОП-матриці стали практично альтернативою ПЗС [6].

### **ПЗС-матриця**

ПЗС-матриця (скор. Від «прилад із зарядним зв'язком»), або CCD-матриця (скор. Від англ. CCD, «charge-coupled device») - спеціалізована аналогова інтегральна мікросхема, що складається з світлочутливих фотодіодів, виконана на основі кремнію, що використовує технологію ПЗЗ - приладів із зарядним зв'язком.

ПЗС-матриці випускаються і активно використовуються компаніями Nikon, Canon, Sony, Fujitsu, Kodak, Matsushita, Philips і багатьма іншими.

### **Історія ПЗС-матриці**

Прилад із зарядним зв'язком був винайдений в 1969 році Уїллардом Бойл і Джорджем Смітом в Лабораторіях Белла (AT & T Bell Labs). Лабораторії працювали над відеотелефонією (англ. Picture phone) і розвитком «напівпровідникової бульбашкової пам'яті» (англ. Semiconductor bubble memory). Прилади з зарядним зв'язком почали своє життя як

пристрої пам'яті, в яких можна було тільки помістити заряд у вхідний регістр пристрою. Однак здатність елемента пам'яті пристрою отримати заряд завдяки фотоелектричного ефекту зробила таке застосування ПЗС пристроїв основним.

У 1970 році дослідники Bell Labs навчилися фіксувати зображення за допомогою простих лінійних пристроїв.

Згодом під керівництвом Кадзуо Івама (Kazuoo Iwama) компанія Sony стала активно займатися ПЗС, вклавши в це великі кошти, і зуміла налагодити масове виробництво ПЗС для своїх відеокамер.

Івама помер в серпні 1982 року. Мікросхема ПЗС була встановлена на його надгробній плиті для увічнення його внеску.

У січні 2006 року за роботи над ПЗС У. Бойл і Дж. Сміт були удостоєні нагороди Національної Інженерної Академії США (англ. National Academy of Engineering) [1].

У 2009 році ці творці ПЗС-матриці були нагороджені Нобелівською премією з фізики.

### **Загальний пристрій і принцип роботи**

ПЗС-матриця складається з полікремнію, відокремленого від кремнієвої підкладки, у якій при подачі напруги через полікремнієві затвори змінюються електричні потенціали поблизу електродів.

До експонування зазвичай подачею певної комбінації напружень на електроди відбувається скидання всіх раніше утворених зарядів і приведення всіх елементів в ідентичний стан.

Далі комбінація напруг на електродах створює потенційну яму, в якій можуть накопичуватися електрони, що утворилися в даному пікселі матриці в результаті впливу світла при експонуванні. Чим інтенсивніше світловий потік під час експозиції, тим більше накопичується електронів в потенційній ямі, відповідно тим вище підсумковий заряд даного пікселя.

Після експонування послідовні зміни напруги на електродах формують в кожному пікселі і поруч з ним розподіл потенціалів, який призводить до перетікання заряду в заданому напрямку, до вихідних елементів матриці.

## **Класифікація за способом буферизації**

### **Матриці з повнокадровим перенесенням**

Сформоване об'єктивом зображення потрапляє на ПЗС-матрицю, тобто промені світла падають на світлочутливу поверхню ПЗС-елементів, завдання яких - перетворити енергію фотонів в електричний заряд. Відбувається це приблизно так.

Для фотона, що впав на ПЗС-елемент, є три варіанти розвитку подій - він або «зрикошетить» від поверхні, або буде поглинений в товщі напівпровідника (матеріалу матриці), або «проб'є наскрізь» її «робочу зону». Очевидно, що від розробників постає задача створити такий сенсор, в якому втрати від «рикошету» і «прострілу навиліт» були б мінімізовані. Ті ж фотони, які були поглинені матрицею, утворюють пару електрон-дірка, якщо сталося взаємодія з атомом кристалічної решітки напівпровідника, або ж тільки електрон (або дірку), якщо взаємодія була з атомами донорних або акцепторних домішок, а обидва перерахованих явища називаються внутрішнім фотоефектом. Зрозуміло, внутрішнім фотоефектом робота сенсора не обмежується - необхідно зберегти «відібрані» у напівпровідника носії заряду в спеціальному сховищі, а потім їх рахувати.

### **Елемент ПЗС-матриці**

У загальному вигляді конструкція ПЗС-елемента виглядає так: кремнієва підкладка р-типу оснащується каналами з напівпровідника n-типу (рис. 6.10). Над каналами створюються електроди з полікристалічного кремнію з ізолюючим прошарком з оксиду кремнію. Після подачі на такий електрод електричного потенціалу, в збідненій зоні під каналом n-типу створюється потенційна яма, призначення якої - зберігати електрони.

Фотон, здатний проникати в кремній, призводить до генерації електрона, який притягається потенційною ямою і залишається в ній. Більша кількість фотонів (яскраве світло) забезпечує більший заряд ями. Потім треба зчитати значення цього заряду, іменуєвим також фотострумом, і посилити його.

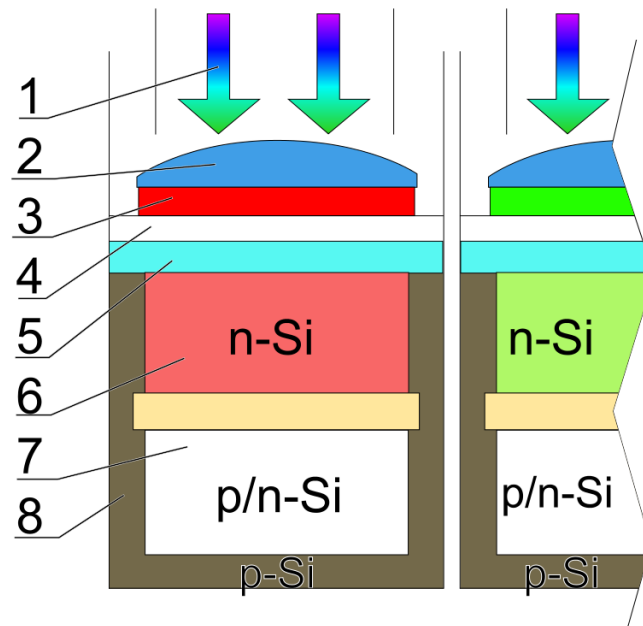


Рис. 6.10. Приклад субпікселя ПЗС-матриці з кишенею n-типу

Зчитування фотострумів ПЗС-елементів здійснюється так званими послідовними регістрами зсуву, які перетворюють рядок зарядів на вході в серію імпульсів на виході. Дана серія представляє собою аналоговий сигнал, який надалі надходить на підсилювач.

Таким чином, за допомогою регістра можна перетворити в аналоговий сигнал заряди рядку з ПЗС-елементів. Фактично, послідовний регістр зсуву в ПЗС-матрицях реалізується за допомогою тих же самих ПЗС-елементів, об'єднаних в рядок. Робота такого пристрою базується на здатності приладів із зарядним зв'язком (саме це позначає абревіатура ПЗС) обмінюватися зарядами своїх потенційних ям. Обмін здійснюється завдяки наявності спеціальних електродів переносу (transfer gate), розташованих між

сусідніми ПЗС-елементами. При подачі на найближчий електрод підвищеного потенціалу заряд «перетікає» під нього з потенційної ями. Між ПЗС-елементами можуть розташовуватися від двох до чотирьох електродів перенесення, від їх кількості залежить «фазність» регістра зсуву, який може називатися двофазним, трифазним або чотирифазним.

Подача потенціалів на електроди перенесення синхронізована таким чином, що переміщення зарядів потенційних ям всіх ПЗС-елементів регістра відбувається одночасно. І за один цикл перенесення ПЗС-елементи як би «передають по ланцюжку» заряди зліва направо (або ж справа наліво). Ну а той, що опинився «крайнім» ПЗС-елемент віддає свій заряд пристрою, розташованому на виході регістра - тобто підсилювача.

В цілому, послідовний регістр зсуву є пристроєм з паралельним входом і послідовним виходом. Тому після зчитування всіх зарядів з регістра є можливість подати на його вхід новий рядок, потім наступний і таким чином сформувати безперервний аналоговий сигнал на основі двовимірного масиву фотострумів. У свою чергу, вхідний паралельний потік для послідовного регістра зсуву (тобто рядки двовимірного масиву фотострумів) забезпечується сукупністю вертикально орієнтованих послідовних регістрів зсуву, який іменується паралельним регістром зсуву, а вся конструкція в цілому як раз і є пристроєм, що має назву ПЗС-матрицею.

«Вертикальні» послідовні регістри зсуву, що становлять паралельний, називаються стовпцями ПЗС-матриці, а їх робота повністю синхронізована. Двовимірний масив фотострумів ПЗС-матриці одночасно зміщується вниз на один рядок, причому відбувається це тільки після того, як заряди попереднього рядку з розташованого «в самому низу» послідовного регістра зсуву пішли на підсилювач. До звільнення послідовного регістра паралельний змушений простоювати. Ну а сама ПЗС-матриця для нормальної роботи обов'язково повинна бути підключена до мікросхеми

(або їх набору), яка подає потенціали на електроди як послідовного, так і паралельного реєстрів зсуву, а також синхронізуючої роботу обох реєстрів. Крім того, потрібний тактовий генератор.

### **Повнокадрова матриця**

Даний тип сенсора є найбільш простим з конструктивної точки зору і іменується повнокадровою ПЗС-матрицею (full-frame CCD-matrix). Крім мікросхем «обв'язки», такому типу матриць необхідний також механічний затвор, що перекриває світловий потік після закінчення експонування. До повного закриття затвора зчитування зарядів починати не можна - при робочому циклі паралельного реєстра зсуву до фотоструму кожного з його пікселів додадуться зайві електрони, викликані потраплянням фотонів на відкриту поверхню ПЗС-матриці. Дане явище називається «розмазування» заряду в повнокадровій матриці (full-frame matrix smear).

Таким чином, швидкість зчитування кадру в такій схемі обмежена швидкістю роботи як паралельного, так і послідовного реєстрів зсуву. Також очевидно, що необхідно перекривати світловий потік, що йде з об'єктива, до завершення процесу зчитування, тому інтервал між експонуванням теж залежить від швидкості зчитування.

### **Матриці з буферизацією кадру**

Існує вдосконалений варіант повнокадрової матриці, в якому заряди паралельного реєстра не надходять порядково на вхід послідовного, а «складаються» в буферному паралельному реєстрі. Даний реєстр розташований під основним паралельним реєстром зсуву, фотоструми порядково переміщуються в буферний реєстр і вже з нього надходять на вхід послідовного реєстра зсуву. Поверхня буферного реєстра покрита непрозорою (частіше металевою) панеллю, а вся система отримала назву матриці з буферизацією кадру (frame-transfer CCD).

У даній схемі потенційні ями основного паралельного регістра зсуву «випорожнюються» помітно швидше, так як при перенесенні рядків в буфер немає необхідності для кожного рядка очікувати повний цикл послідовного регістра. Тому інтервал між експонуванням скорочується, правда при цьому також падає швидкість зчитування - рядку доводиться «подорожувати» на вдвічі більшу відстань. Таким чином, інтервал між експонуванням скорочується тільки для двох кадрів, хоча вартість пристрою за рахунок буферного регістра помітно зростає. Однак найбільш помітним недоліком матриць з буферизацією кадру є подовжений «маршрут» фотострумів, який негативно позначається на збереження їх величин. І в будь-якому випадку між кадрами повинен спрацьовувати механічний затвор, так що про безперервний відеосигнал говорити не доводиться.

### **Матриці з буферизацією стовпців**

Спеціально для відеотехніки був розроблений новий тип матриць, в якому інтервал між експонуванням був мінімізований не для пари кадрів, а для безперервного потоку. Зрозуміло, для забезпечення цієї безперервності довелося передбачити відмову від механічного затвора.

Фактично дана схема, що отримала найменування матриці з буферизацією стовпців (interline CCD matrix), в чомусь схожа з системами з буферизацією кадру - в ній також використовується буферний паралельний регістр зсуву, ПЗС-елементи якого приховані під непрозорим покриттям. Однак буфер цей не розташовується єдиним блоком під основним паралельним регістром - його стовпці «перетасовані» між стовпцями основного регістра. В результаті поряд з кожним стовпцем основного регістра знаходиться стовпець буфера, а відразу ж після експонування фотоструми переміщуються не «зверху вниз», а «зліва направо» (або «справа наліво») і всього за один робочий цикл потрапляють в буферний

регістр, цілком і повністю звільняючи потенційні ями для наступного експонування.

Заряди, які потрапили в буферний регістр в звичайному порядку зчитуються через послідовний регістр зсуву, тобто «зверху вниз». Оскільки скидання фотострумів в буферний регістр відбувається всього за один цикл, навіть при відсутності механічного затвора не спостерігається нічого схожого на «розмазування» заряду в повнокадровій матриці. А ось час експонування для кожного кадру в більшості випадків за тривалістю відповідає інтервалу, що витрачається на повне зчитування буферного паралельного регістра. Завдяки всьому цьому з'являється можливість створити відеосигнал з високою частотою кадрів - не менше 30 кадрів секунду.

Найчастіше у вітчизняній літературі матриці з буферизацією стовпців помилково називають «чересстрочною». Викликано це, напевно, тим, що англійські найменування «interline» (буферизація рядків) і «interlaced» (чересстрочная розгортка) звучать дуже схоже. На ділі ж при зчитуванні за один такт всіх рядків можна говорити про матрицю з прогресивною розгорткою (progressive scan), а коли за перший такт зчитуються непарні рядки, а за другий - парні (або навпаки), мова йде про матриці з чергуванням розгортку (interlace scan).

### **Матриці з ортогональним перенесенням зображення**

У цих матрицях заряди можуть переміщатися в сусідні комірки по команді системи керування. Застосовуються в космічних телескопах для компенсації турбулентності атмосфери, вібрації механізму телескопа та інших механічних і оптичних перешкод. [2]



## КМОН-матриця

**КМОН-матриця** - світлочутлива матриця, виконана на основі КМОП-технології.

**КМОН** (комплементарна структура метал-оксид-напівпровідник; англ. CMOS, complementary metal-oxide-semiconductor) - технологія побудови електронних схем. У більш загальному випадку - КМДП (зі структурою метал-діелектрик-напівпровідник). В технології КМОН використовуються польові транзистори з ізольованим затвором з каналами різної провідності (рис. 6.11). Відмінною особливістю схем КМОН порівняно з біполярними технологіями (ТТЛ, ЕСЛ і ін.) є дуже мале енергоспоживання в статичному режимі (в більшості випадків можна вважати, що енергія споживається тільки під час перемикання станів). Ще однією особливістю структури КМОН в порівнянні з іншими МОН-структурами (N-МОН, P-МОН) є наявність як n-, так і p-канальних польових транзисторів; як наслідок, КМОН-схеми мають більш високою швидкістю дії і меншим енергоспоживанням, проте при цьому характеризуються складнішим технологічним процесом виготовлення і меншою щільністю упаковки.

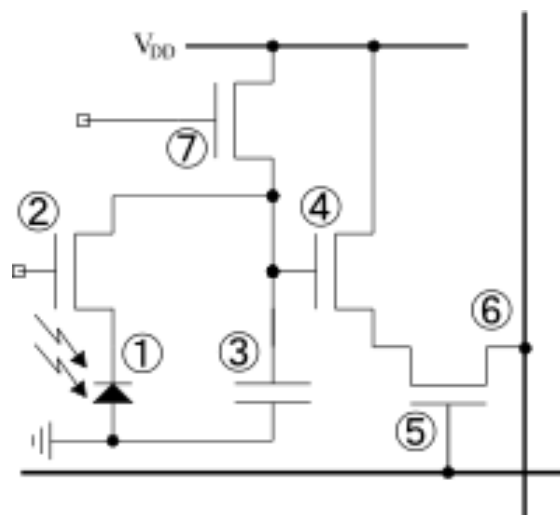


Рис. 6.11. Еквівалентна схема комірки КМОН-матриці: 1 - світлочутливий елемент (фотодіод); 2 - затвор; 3 - конденсатор, який зберігає заряд з діода; 4 - підсилювач; 5 - шина вибору рядка; 6 - вертикальна шина, що передає сигнал процесору; 7 - сигнал скидання.

Переважає більшість сучасних логічних мікросхем, зокрема процесорів, використовують схемотехніку КМОН.

### Історія

В кінці 1960-х рр. багато дослідників відзначали, що структури КМОН (CMOS) володіють чутливістю до світла. Однак прилади із зарядним зв'язком забезпечували настільки більш високу світлочутливість і якість зображення, що матриці на КМОН технології не отримали скільки-небудь помітного розвитку.

На початку 1990-х характеристики КМОН-матриць, а також технологія виробництва були значно поліпшені. Прогрес в субмікронній фотолітографії дозволив застосовувати в КМОН-сенсорах більш тонкі з'єднання. Це призвело до збільшення світлочутливості за рахунок більшого відсотка площі матриці, що опромінюється.

Переворот в технології КМОН-сенсорів стався, коли в лабораторії реактивного руху (Jet Propulsion Laboratory - JPL) NASA успішно реалізували Active Pixel Sensors (APS) - активно-піксельні датчики [2]. Теоретичні дослідження були виконані ще кілька десятиліть тому, але практичне використання активного сенсора відсунулося до 1993 року. APS додає до кожного пікселя транзисторний підсилювач для зчитування, що дає можливість перетворювати заряд в напругу прямо в пікселі. Це забезпечило також довільний доступ до фотодетекторів на зразок реалізованого в мікросхемах ОЗУ.

В результаті до 2008 року КМОН стали практично альтернативою ПЗЗ.

У 2011 році на форумі MWC в Барселоні компанія Samsung продемонструвала КМОН-сенсори нового типу, які орієнтовані на застосування в смартфонах.

### Принцип роботи

- До зйомки подається сигнал скидання

- В процесі експозиції відбувається накопичення заряду фотодіодом
- У процесі зчитування відбувається вибірка значення напруги на конденсаторі.

### **Переваги**

- Основна перевага КМОН технології - низьке енергоспоживання в статичному стані. Це дозволяє застосовувати такі матриці в складі енергонезалежних пристроїв, наприклад, в датчиках руху і системах спостереження, що знаходяться більшу частину часу в режимі «сну» або «очікування події».

- Важливою перевагою КМОН матриці є єдність технології з іншими, цифровими елементами апаратури. Це призводить до можливості об'єднання на одному кристалі аналогової, цифрової та обробної частини (КМОН-технологія, будучи в першу чергу процесорною технологією, має можливості не тільки «захоплення» світла, але і процес перетворення, обробки, очищення сигналів не тільки власне-захоплених, але і сторонніх компонентів РЕА), що послужило основою для мініатюризації камер для самого різного устаткування і зниження їх вартості з огляду на відмову від додаткових процесорних мікросхем.

- За допомогою механізму довільного доступу можна виконувати зчитування обраних груп пікселів. Дана операція отримала назву кадрованого зчитування (англ. Windowing readout). Кадрування дозволяє зменшити розмір захопленого зображення і потенційно збільшити швидкість зчитування в порівнянні з ПЗС-сенсорами, оскільки в останніх для подальшої обробки необхідно вивантажити всю інформацію. З'являється можливість застосовувати одну й ту ж матрицю в принципово різних режимах. Зокрема, швидко зчитуючи тільки малу частину пікселів, можна забезпечити якісний режим живого перегляду зображення на вбудованому в апарат екрані з відносно малим числом пікселів. Можна

відсканувати лише частина кадру і застосувати її для відображення на весь екран. Тим самим отримати можливість якісного ручного фокусування. Є можливість вести репортажну швидкісну зйомку з меншим розміром кадру і розширенням.

- На додаток до підсилювача всередині пікселя, підсилювальні схеми можуть бути розміщені в будь-якому місці по ланцюгу проходження сигналу. Це дозволяє створювати підсилювальні каскади і підвищувати чутливість в умовах поганого освітлення. Можливість зміни коефіцієнта посилення для кожного кольору покращує, зокрема, балансування білого.

- Дешевизна виробництва в порівнянні з ПЗС-матрицями, особливо при великих розмірах матриць.

### **Недоліки**

- Фотодіод комірки займає значно меншу площу елемента матриці, в порівнянні з ПЗС матрицею з повнокадровим переносом. Тому ранні матриці КМОН мали суттєво нижчу світлочутливість, ніж ПЗС. Але в 2007 році компанія Sony випустила на ринок нову лінійку відео- і фотокамер з КМОН-матрицями нового покоління з технологією Exmor, яка раніше застосовувалася тільки для КМОН-матриць в специфічних оптичних пристроях таких як електронні телескопи. У цих матрицях електронна «обв'язка» пікселя, що перешкоджає попаданню фотонів на світлочутливий елемент, була переміщена з верхнього в нижній шар матриці, що дозволило збільшити як фізичний розмір пікселя при тих же геометричних розмірах матриці, так і доступність елементів світла, що, відповідно, збільшило світлочутливість кожного пікселя і матриці в цілому. Матриці КМОН вперше зрівнялися з ПЗС-матрицями по світлочутливості, але виявилися більш енергозберігаючими і позбавленими головного недоліку ПЗС-технології - «боязні» точкового світла. У 2009 році компанія Sony поліпшила КМОН-матриці з технологією EXMOR застосувавши до них

технологію «Backlight illumination» ( «освітлення з заднього боку»). Ідея технології проста і повністю відповідає назві.

- Фотодіод комірки матриці має порівняно малий розмір, величина ж одержуваної вихідної напруги залежить не тільки від параметрів самого фотодіода, але і від властивостей кожного елемента пікселя. Таким чином, у кожного пікселя матриці виявляється своя власна характеристична крива, і виникає проблема розкиду світлочутливості і коефіцієнта контрасту пікселів матриці. В результаті чого перші вироблені КМОН-матриці мали порівняно низький дозвіл і високий рівень так званого «структурного шуму» (англ. Pattern noise).

- Наявність на матриці великого в порівнянні з фотодіодом обсягу електронних елементів створює додатковий нагрів пристрою в процесі зчитування і призводить до зростання теплового шуму.

**SIMD WRD (Wide dynamic range)** матриця, також виконана на основі КМОН-технології, має в обрамленні кожного пікселя ще й автоматичну систему налаштування часу його експонування, що дозволяє радикально збільшити фотографічну широту пристрої [7].

### **Live-MOS-матриця**

Створена і застосовується компанією Panasonic. Виконана на основі МОН-технології, однак містить меншу кількість з'єднань для одного пікселя і живиться меншою напругою. За рахунок цього і за рахунок спрощеної передачі регістрів і керуючих сигналів є можливість отримувати «живе» зображення при відсутності традиційного для такого режиму роботи перегріву і підвищення рівня шумів.

## **Super CCD-матриця**

У фотоапаратах фірми Fujifilm застосовуються матриці, що отримали назву «Super CCD», в яких присутні зелені пікселі двох різних розмірів: великі, для малих рівнів освітленості, і малі, збігаються за розміром з синіми і червоними. Це дозволяє збільшити фотографічну широту матриці на величину до 4-х ступенів [8].

## **QuantumFilm**

Матриця на основі квантових точок. Перспективна технологія, на відміну від традиційних кремнієвих чіпів датчиків зображення, використання квантових точок є більш ефективним при захопленні світла (захоплення 90-95% світла потрапляє на сенсор), забезпечуючи високу чутливість в умовах низької освітленості, а також більш високий динамічний діапазон. У той час як більшість традиційних датчиків зображення схильні rolling shutter ефекту, що критично для зйомки відео [9].

## **Методи отримання кольорового зображення**

Сам по собі піксель фотоматриці є «чорно-білим». Для того, щоб матриця давала кольорове зображення, застосовуються спеціальні технічні прийоми.

### **Триматричні системи**

Надходяче в камеру світло, потрапляючи на пару діхроїдних призм, ділиться на три основних кольори: червоний, зелений і синій. Кожен з цих пучків направляється на окрему матрицю (найчастіше використовуються CCD матриці, тому в найменуванні відповідної апаратури вживається позначення 3CCD).

Триматричні системи застосовуються в відеокамерах середнього і високого класу.

### **Переваги трьох матриць в порівнянні з одноматричними**

- краще передача колірних переходів, повна відсутність кольорового муару;
- вище роздільна здатність: відсутній необхідний для усунення муару розмиваючий (low-pass) фільтр;
- вище світлочутливість і менший рівень шумів;
- можливість введення корекції постановкою додаткових фільтрів перед окремими матрицями, а не перед знімальним об'єктивом, дозволяє домогтися істотно кращої передачі кольору при нестандартних джерелах світла.

### **Недоліки трьох матриць в порівнянні з одноматричними**

- • принципово більші габаритні розміри;
- • триматрична система не може використовуватися з об'єктивами з малим робочим відрізком;
- • в триматричній схемі є проблема зведення кольорів, так як такі системи вимагають точного юстування, причому, чим більшого розміру матриці застосовуються і чим більше їх фізичне розширення, тим складніше добитися необхідного класу точності.

### **Матриці з мозаїчними фільтрами**

У всіх таких матрицях пікселі розташовані в одній площині, і кожен піксель накритий світлофільтром якогось кольору. Недостатня колірна інформація відновлюється шляхом інтерполяції (докладніше ...).

Існує кілька способів розташування світлофільтрів. Ці способи розрізняються чутливістю і передачею кольору, при цьому чим вище світлочутливість, тим гірше перенесення кольорів:

- • RGGB - фільтр Байєра, історично найбільш ранній;

- RGBW мають більш високу чутливість і фотографічну широту (типово виграш чутливості в 1,5-2 рази і 1 щабель по фотографічній широті), окремий випадок RGBW-матриці - CFAK-матриця компанії Kodak;
- RGEB (червоний - зелений - смарагдовий - синій);
- CGMY (блакитний - зелений - ліловий - жовтий).

### **Матриці з кольоровими пікселями**

Існують дві технології, що дозволяють отримувати з кожного пікселя всі три колірні координати. Перша застосовується в серійному виробництві в камерах фірми Sigma, друга - на середину 2008 року існує тільки у вигляді прототипу.

### **Багат шарові матриці (Foveon X3)**

Фотодетектори матриці X3 компанії Foveon розташовані в три шари - синій, зелений, червоний. Назва сенсора «X3» означає його «тришаровість» і «тривимірність».

Матриці X3 застосовуються в цифрових фотоапаратах Sigma.

### **Повнокольорова RGB-матриця Nikon**

У повнокольорових матрицях Nikon (патент Nikon від 9 серпня 2007 [10]) промені RGB предметних точок в кожному пікселі, що містить одну мікролінзу і три фотодіода, проходять через відкриту мікролінзу і падають на перше дихроїне дзеркало. При цьому синя складова пропускається першим дихроїчним дзеркалом на детектор синього, а зелена і червона складові відображаються на друге дзеркало. Друге дихроїне віддзеркалює зелену складову на детектор зеленого, і пропускає червону і інфрачервону складові. Третє дихроїне віддзеркалює червону складову на детектор і поглинає інфрачервону складову [11].



Незважаючи на те, що прототип матриці вже створено (2008 рік), цей патент навряд чи знайде своє застосування в найближчим часом через труднощів у технології.

У порівнянні з усіма іншими системами, крім триматричних, дана технологія має потенційне перевагу в ефективності використання світлового потоку в порівнянні з технологіями RGBW або фільтром Байєра. (Точний вигравш залежить від характеристик пропускання фільтрів).

У порівнянні з Foveon X3, дана технологія виграє в якості передачі кольору.

У порівнянні з 3CCD системами, даний тип матриці виграє в можливості використання в дзеркальних апаратах і у відсутності необхідності точної юстування оптичної системи [10].

**Роздільна здатність** - здатність оптичного приладу відтворювати зображення об'єктів на близькій відстані.

**Кутова роздільна здатність** - мінімальний кут між об'єктами, який може розрізнити оптична система.

Здатність оптичної системи розрізнити точки зображуваної поверхні наприклад:

Кутова роздільна здатність: 1 '(одна кутова хвилина, близько 0,02 °) відповідає майданчику розміром 29 см, помітною з відстані в 1 км або однієї друкованої точці тексту на відстані 1 м.

**Лінійна роздільна здатність** - мінімальна відстань між помітними об'єктами в мікроскопії.

Загальні відомості

Роздільна здатність оптичних приладів принципово обмежена дифракцією на об'єктиві: видимі точки є нічим іншим, як дифракційними

плямами. Дві сусідні точки виокремлюються, якщо мінімум інтенсивності між ними досить малий, щоб його розглядати. Для зняття залежності від суб'єктивності сприйняття був введений емпіричний критерій дозволу Релея, який визначає мінімальну кутова відстань між точками

$$\sin\theta = 1.22 \frac{\lambda}{D} \quad (6.3)$$

де  $\theta$  — кутове розширення (мінімальне кутова відстань),  $\lambda$  - довжина хвилі,  $D$  — діаметр вхідної зіниці оптичної системи (часто він збігається з діаметром об'єктива). З огляду на надзвичайно малу величину кута  $\theta$ , в оптичній літературі замість синуса кута зазвичай пишуть сам кут.

Коефіцієнт підібраний так, щоб інтенсивність в мінімумі між плямами дорівнювала приблизно 0,75-0,8 від інтенсивності в їх максимумах - вважається, що цього достатньо для розрізнення неозброєним оком.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Рябенський, Володимир Михайлович Схемотехніка електронних пристроїв та систем: підруч. для студ. вищ. навч. закл. : у 6 т. / В. М. Рябенський. - Миколаїв : Іліон, 2011 - 2013. - ISBN 978-617-534-066-0. Т. 6 : Апаратно-програмні засоби відображення інформації / В. М. Рябенський, О. О. Ушкаренко. - 2013. - 463 с.
2. Яблонский Ф. М., Троицкий Ю. В. Средства отображения информации. - М.: Высшая школа, 1985.
3. Березюк О.В., Лемешев М.С. Безпека життєдіяльності: навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 204 с.
4. Устройства отображения информации: учебное пособие, Смирнов В.М., СПб. ГУАП 2008г., с. 91
5. Томилин М. Г., Невская Г. Е. Дисплеи на жидких кристаллах. Учебное пособие. - СПб.: СПбГУ ИТМО, 2010.
6. Седов С. А. Индивидуальные видеосредства. - К.: Наукова думка, 1990.
7. Авдеев В.А. Периферийные устройства: интерфейсы, схемотехника, программирование. - ДМК пресс, 2009 г. – 848 с.
8. Жук М. С. Электродинамический громкоговоритель. – Госэнергоизд, 1950. – 44 с.
9. Алдошина И.А. 'Электродинамические громкоговорители' - Москва: Радио и связь, 1989 - с.272
10. Эфрусси, М.М. Громкоговорители и их применение. - М.: Энергия; Издание 2-е, перераб. и доп., 1976 г – 144 с.
11. Стерефония. Информационный сборник. Под редакцией И.Е.Горона. Москва: Издательство "Связь", 1964 год.
12. Смирнов А. В. Основы цифрового телевидения: Учебное пособие. - М.: Горячая линия-Телеком, 2001.

13. Ревенко В. Н., Сегал В. М. Комплексы средств отображения информации. - М.: Радио и связь, 1985.
14. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. Учебник для ВУЗов. - СПб.: Питер, 2002.
15. Виноградов В. А. Уроки телемастера: Учебно-справочное пособие. - СПб.: ЛЮКСИ, 1996.
16. Верещагин И. К., Косяченко Л. А., Кокин С. М. Введение в оптоэлектронику. - М.: Высшая школа, 1991.
17. Мухин И. А. Современные плоскпанельные отображающие устройства. / BROADCASTING: Телевидение и радиовещание, №1(37), январь-февраль 2004. С. 43-47.
18. Мухин И. А. Развитие жидкокристаллических мониторов. / BROADCASTING: Телевидение и радиовещание, 1 часть - №2(46), март 2005. С. 55-56; 2 часть - №4(48) июнь-июль 2005. С. 71-73.
19. Мухин И. А. Принципы развертки изображения и модуляция яркости свечения ячейки плазменной панели./ Труды учебных заведений связи, №168, СПбГУТ, 2002. С. 134-140.
20. Айфичер, Эммануил С., Джервис, Барри У. Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2-е издание.: Пер. с англ. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2004.
21. Шишигин И. В., Шульман М. Г., Колесниченко О. В., Золотарев С. А. Как выбрать видеокамеру. - СПб.: Лань:Полигон, 1996.