

М.М.Сіренко

# ТЕХНОЛОГІЇ І ЗАСОБИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Навчальний посібник



Харків 2023

УДК 621.397

Затверджено Редакційно-видавничою радою  
університету, протокол №2 від 28.06.23 р.

**Сіренко, М.М.**

Технології і засоби візуалізації вимірювальної інформації : навчальний  
посібник / М.М.Сіренко - Харків : НТУ «ХП», 2023. - 126 с.

В навчальному посібнику приведена класифікація засобів відображення інформації у вимірювальній техніці за їх експлуатаційними ознаками. Розглядається різноманіття сучасних технологій візуалізації з прикладами їх реалізації в модульній продукції індикаторів, дисплеїв і екранів провідних виробників для засобів вимірювань як в автономному режимі їх роботи, так і для інтерактивних застосувань. Проаналізовані шляхи інтеграції засобів візуалізації у вимірювальну техніку. Навчальний посібник розроблений відповідно до робочої програми дисципліни «Реєстрація та відображення інформації» для студентів магістратури за спеціальністю 175 - Інформаційно-вимірювальні технології.

**УДК 621.397**

## ЗМІСТ

Вступ.....	5
1. ВИДИ ТЕХНОЛОГІЙ І ЗАСОБІВ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ.....	7
1.1. Класифікація видів ВЗВІ.....	7
1.2. Переважні сучасні фізичні принципи і технології візуалізації.....	8
2. ЛЮМІНЕСЦЕНТНІ ТЕХНОЛОГІЇ І ДИСПЛЕЇ.....	11
2.1. Електролюмінісцентна індикація.....	11
2.2. Вакуумно-флуоресцентні дисплеї.....	17
3. СВІТЛОДІОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ І ДИСПЛЕЙНІ МОДУЛІ .....	24
3.1. Технологія візуалізації LED.....	24
3.2. Світлодіодні індикатори.....	25
3.3. LED дисплеї і екрани.....	31
3.4. Різновиди технології і дисплеїв OLED.....	40
3.5. Квантові екранні технології QLED.....	49
4. РІДКОКРИСТАЛІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ І ЗАСОБИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ.....	53
4.1. Технології візуалізації рідкими кристалами.....	53
4.2. Сегментні індикатори.....	68
4.3. Матричні технології формування зображення LCD.....	70
4.4. Матричні модулі монохромних LCD.....	73
4.5. Графічні дисплеї.....	77
4.6. Конструктивні і технологічні особливості LCD TFT.....	79
5. ГАЗОРОЗРЯДНІ ІНДИКАТОРИ І ПЛАЗМОВІ ПАНЕЛІ.....	86
6. ІНТЕРАКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ І ЗАСОБИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ.....	90
6.1. Інтерактивні засоби візуалізації у вимірювальній техніці.....	90
6.2. Сенсорні панелі і їх конструкції.....	92
6.3. Резистивні сенсорні технології і панелі.....	94
6.4. Ємнісні сенсорні технології і панелі.....	97
6.5. Оптичні сенсорні технології і панелі.....	101

6.6. Акустичні сенсорні технології і панелі.....	104
7. ІНТЕГРАЦІЯ ЗАСОБІВ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ У ВИМІРЮВАЛЬНУ ТЕХНІКУ.....	108
7.1. Вимоги до ВЗВІ при їх виборі або проектуванні.....	108
7.2. Модульні технології для приладобудівних OEM.....	112
7.3. Системна інтеграція в приладобудуванні.....	116
7.4. Інформаційна і рекламна підтримка OEM засобів вимірювань....	119
СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ.....	121

## ВСТУП

Вимірювальну інформацію про контрольовані об'єкти та технологічні процеси оператору надають засоби вимірювання. Наочне відображення параметрів і форм вимірюваних сигналів формується в них візуальними засобами відображення інформації (ВЗВІ), якими є пристрої для створення динамічних інформаційних моделей об'єктів контролю, моніторингу, управління. Тому візуалізація інформації є властивістю технічної системи відтворювати інформацію у формі, зручній для сприйняття оператором [1].

Слід відзначити, що сучасні технології візуалізації мають своє комерційне призначення і в першу чергу спрямовані для масового споживчого ринку у якості ВЗВІ для мобільних гаджетів і електронних книг (Е-paper), екранів колективного і групового користування (телевізорів, інформаційних табло, терміналів тощо). Лише частина з них знаходить застосування у вимірювальній техніці. Сучасні засоби вимірювання випускаються з індикаторними модулями або дисплейними матрицями різних видів світлодіодної, рідкокристалічної і люмінесцентної технологій візуалізації з опціями сенсорного управління. Вивчення пропозицій модульних ВЗВІ на ринку дозволяє виробнику засобів вимірювання обирати їх із заданими параметрами і елементами управління, що значно поліпшує технологічність їх виробництва із заданим рівнем якості, зменшує витрати.

Деякі технології (електронно-променеві, вакуумного розжарювання, газорозрядні) мали відносно короткостроковий життєвий цикл і вже заміщаються сучасними. Інші, які ще декілька років тому вважалися перспективними (Interferometric Modulation, Electrowetting, Field Emission Display), поки що знаходяться в стадії удосконалення або комерційно обмежені, тому також тут детально не розглядаються. Акцентованою метою посібника є ознайомлення з сучасними технологіями і засобами візуалізації вимірювальної інформації для промислового, наукового, медичного, військового та інших застосувань, які мають перспективи розвитку.

Звертається увага на термінологію виробників у назвах технологій і засобів візуалізації, в яких легко заплутатися. В цьому аспекті спостерігаються як різні назви одних і тих же технологій, так і «фірмові» патентовані назви, які по суті є їх модифікаціями і спрямовані на просування власних продуктів на ринках. Також роз'яснюється плутанина з класифікацією ВЗВІ по назвах технологій візуалізації і способів управління їх роботою.

Структура посібника спирається на послідовне ознайомлення читача з класифікацією видів ВЗВІ, сучасними технологіями і засобами візуалізації вимірювальної інформації (в тому числі сенсорними), шляхами їх інтеграції у вимірювальну техніку. Приведені описи сучасних технологій візуалізації і огляди модульної продукції провідних виробників ВЗВІ є прикладом інформаційної підтримки на їх сайтах всіх зацікавлених осіб, починаючи від студентів, і закінчуючи приладобудівниками.

В посібнику після кожного розділу пропонуються контрольні запитання з дисципліни «Реєстрація та відображення інформації» для самопідготовки студентів магістратури спеціальності 175 - Інформаційно-вимірювальні технології. Посібник може бути корисним для аспірантів, інженерів і вітчизняних приладобудівників.

# 1. ВИДИ ТЕХНОЛОГІЙ І ЗАСОБІВ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

## 1.1. Класифікація видів ВЗВІ

Огляд розвитку виробництва ВЗВІ для вимірювальної техніки за останні 50 років дозволяє виділити його етапи. Починалося виробництво ВЗВІ для цифрових приладів з газорозрядних і рідкокристалічних монохромних індикаторів та електронно-променевих трубок для осцилографів. Певну частку парку засобів вимірювань в Україні досі складають ці прилади, які експлуатуються десятиріччями завдяки своїй надійності і придатності до ремонту. Індикатори до них ще є у продажу, але слід мати на увазі, що після ремонту в результаті перевірки вони можуть бути визнані не придатними до експлуатації. Електронно-променеві осцилографи також є ознакою минулих часів.

Друге покоління ВЗВІ базується на кольорових світлодіодних, рідкокристалічних і люмінесцентних матричних індикаторах і плазмових екранах підвищеної інформаційної ємності, конструктивно сполучених із мікропроцесорними елементами управління.

Сучасними є кольорові пласкі матричні індикатори, алфавітно-знакові і графічні дисплеї, широкоформатні поліхромні екрани і мнемосхеми високої інформаційної ємності, інтегрально сполучені з мініатюрними пристроями обробки вимірювальної інформації і управління їх світінням. До їх складу входять драйвери, контролери, мікропроцесори, пристрої пам'яті, сенсорні панелі, відеоадаптери тощо. За фізичними принципами дії ВЗВІ, які найчастіше застосовуються у сучасній вимірювальній техніці, можна поділити на групи люмінесцентних (Luminescent Display - LD), світлодіодних (Light Emitting Diodes - LED), рідкокристалічних (Liquid Crystal Display - LCD) і газорозрядних (плазмових).

Огляд і аналіз різноманіття сучасних ВЗВІ дозволив виділити основні критерії (ознаки) і класифікувати за ними види індикаторів, дисплеїв, екранів засобів вимірювань, зведені до табл. 1.1 [1-3].

Таблиця 1.1 - Класифікація видів ВЗВІ для вимірювальної техніки

Ознака класифікації	Види індикаторів, дисплеїв і екранів
Користування операторами	індивідуальні, групові, колективні
Функціональне призначення	розрядні, шкальні і цифро-аналогові індикатори; індикатори-модулі; екрани-індикатори; мнемосхеми
Взаємодія з оператором	автономні, інтерактивні
Вид візуалізації	алфавітно-знакові, графічні, універсальні
Спосіб формування знаку	моделюючі, синтезуючі
Кольоровість візуалізації	монохромні, поліхромні (багатокольорові), градаційні
Принцип формування світлового зображення	активні, пасивні
Спосіб формування зображення у часі	статичні, динамічні
Інформаційна ємність	одно розрядні; багато розрядні з фіксацією знакових місць і без неї
Можливість програмування	не програмовані, програмовані
Фізичний принцип дії (технологія візуалізації)	світлодіодні, рідкокристалічні, люмінесцентні, газорозрядні (плазмові)

Розгорнутий опис класифікованих видів ВЗВІ приведений у посібнику [1], тому далі будемо користуватися лише їх назвами.

## 1.2. Переважні сучасні фізичні принципи і технології візуалізації

Для побудови сучасних дискретних індикаторів, дисплеїв і екранів засобів вимірювань використовують різні фізичні явища для їх світіння:

- здатність напівпровідникових речовин (люмінофорів) випромінювати світло під дією електричного поля (люмінесцентні ВЗВІ);
- люмінесценція, обумовлена рекомбінацією електронів і дірок при їх інжекції під дією прямої напруги на р-п - переході (напівпровідникові світлодіодні індикатори, LED дисплеї і екрани та їх технологічні різновиди);
- оптичні ефекти в рідких кристалах під дією електричного поля (рідкокристалічні індикатори, LCD та їх технологічні різновиди);

- світіння інертного газу, викликане електричним розрядом (газорозрядні індикатори та плазмові панелі).

Відомий ще ряд явищ, які поки що рідко використовують для побудови ВЗВІ із-за технічних недоліків і технологічних складнощів, високої вартості. В них використовуються ефекти дії електричного поля для світіння (або відбиття світла) індикаторів, але вони рідко застосовуються в засобах вимірювань. Останні можна об'єднати в групи електричних магнітомеханічних, оптичних і хімічних індикаторів. Вони з часом можуть бути перспективними, тому коротко розглянемо їх.

Явище зміни кольорів речовин (триоксид вольфраму, іридієво-оксидні плівки) при пропусканні крізь них струму використано в електрохромних індикаторах. Основні їх недоліки (висока інерційність і мала довговічність) обмежують їх застосування, але завдяки високій енергоефективності вони можуть бути використані для індикації повільних вимірювальних процесів.

Перенесення заряджених пігментних частинок у колоїдній суспензії лягло в основу роботи електрофорезних індикаторів. В них між скляною пластинкою і підкладкою знаходиться суспензія нейтральних забарвлених часток, які створюють фон зображення. Електроди у вигляді сегментів напilenі на внутрішню поверхню скляної пластинки і підкладки. У рідину додані негативно заряджені частинки пігменту контрастного кольору. Подаючи на сегменти-електроди постійну напругу, можна формувати і видаляти зображення. Основний недолік, стримуючий доки їх застосування, це деградація в часі, особливо в умовах вібрації. Частинки пігменту довільно перерозподіляються і окремі ділянки зображення мають різну контрастність.

Кристали ряду сегнетоелектриків мають виражений електрооптичний ефект у вигляді зміни показника оптичного заломлення середовища, викликаного зовнішнім електричним полем. Дія цього модулятора світла ґрунтована на залежності площини поляризації світла, що проходить через кристал, від напруженості електричного поля. Досить висока вартість і складність технології обмежують їх застосування у приладобудуванні.

В електрохімічних індикаторах носіями зарядів є іони в електролітах. Електрохімічні індикатори дозволяють створювати малогабаритні ВЗВІ про різні процеси з низькими рівнями сигналів із забезпеченням можливості швидкого зчитування в широкому полі зору. Вони мають високу надійність, але складність технології і висока вартість теж обмежують їх застосування.

Також відомі ефекти зміни оптичних властивостей речовин при переході з рідинної фази у пароподібну при нагріванні електричним струмом. Вони складають принцип роботи парових індикаторів. Переміщення (поворот) кульок або дисків-шторок, половина з яких мають різний колір, є основою принципу дії електромагнітомеханічних індикаторів.

Отже, переважними технологіями візуалізації і видами ВЗВІ за фізичним принципом їх дії у вимірювальній техніці сьогодні є люмінесцентні, напівпровідникові світлодіодні, рідкокристалічні і газорозрядні (плазмові) індикатори і екрани, які далі детально розглянемо.

### **Контрольні запитання**

1. Що таке ВЗВІ? Що розуміється під цим терміном?
2. Які види ВЗВІ є за їх функціональним призначенням?
3. Як ВЗВІ розрізняються за видом візуалізації?
4. Як індикатори поділяються за способом формування знаку?
5. Які дисплеї бувають за кольоровістю візуалізації?
6. Які ВЗВІ відомі за принципом формування світлового зображення?
7. Які ВЗВІ бувають за інформаційною ємністю?
8. Які фізичні явища використовуються для світіння ВЗВІ?
9. Які переважні технології візуалізації і види ВЗВІ за фізичним принципом їх дії для застосування у вимірювальній техніці Ви знаєте?

## 2. ЛЮМІНЕСЦЕНТНІ ТЕХНОЛОГІЇ І ДИСПЛЕЇ

Сучасними видами люмінесцентних ВЗВІ є електролюмінісцентні (ЕЛ) і вакуумні люмінесцентні (ВЛ) або вакуумно-флуоресцентні (ВФ) індикатори і дисплеї, які отримали відповідні міжнародні скорочені назви ELD (Electroluminescent Display) та VFD (Vacuum Fluorescent Display). Обидва ці види дисплеїв застосовуються у вимірювальній техніці.

Технологічна різниця в появі світіння їх елементів відображення полягає у тому, що принцип дії ELD ґрунтується на фізичному явищі електричної люмінесценції, тобто здатності деяких напівпровідникових речовин (люмінофорів) випромінювати світло в зоні дії електричного поля, а принцип дії VFD - на явищі катодної люмінесценції, що виникає при збудженні люмінофорів електронним пучком від розігрітих катодів.

### 2.1. Електролюмінісцентна індикація

При збільшенні напруженості електричного поля в ЕЛ індикаторі (ЕЛІ) атоми люмінофора збуджуються, а при зменшенні частина поглиненої ними енергії випромінюється у вигляді квантів світла. Їх яскравість залежна від напруженості цього поля а також від його частоти, якщо поле є змінним. Випускаються два види ЕЛІ. Першим є індикатори на основі збудження постійним електричним полем (напругою) світіння порошкоподібних люмінофорів в місцях їх контакту з металевою пластиною, яка є трафаретом відповідного символу. Вони часто застосовуються як світлові індикатори стану засобів вимірювання (включення їх живлення, вказівники режимів роботи). У засобах вимірювання найбільше поширення отримали індикатори на основі тонких плівок люмінофорів із збудженням їх світіння високочастотною змінною напругою. На відміну від першого типу у тонко плівкових ЕЛІ реалізований ємнісний зв'язок електронів з люмінофором, тому сам індикатор фізично є конденсатором, у якого одна обкладинка виконана прозорою, а інша непрозорою. Між ними розміщений люмінофор.

Типова конструкція ЕЛІ побудована на скляній підкладці 7 з електропровідним прозорим електродом 2 з оксидів олова або цинку і з люмінофором 3 (рис. 2.1). Шар люмінофору покритий діелектриком 4, на який нанесені непрозорі електроди 5, виконані у формі знаків, цифр, букв або фігур. Всі шари наносяться на скляну підкладку методом вакуумного напилення і розміщуються в герметичному корпусі.

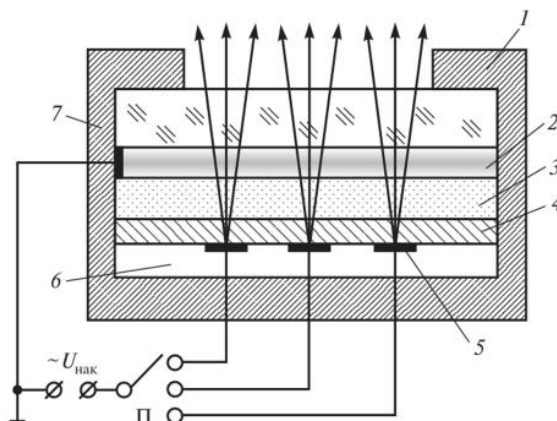


Рисунок 2.1 - Типова конструкція електролюмінісцентного індикатора

Більшість ЕЛІ випускаються монохромними. Але застосування нових люмінофорів і можливість зміни напруги та її частоти дозволяє створювати поліхромні ВЗВІ, що сприяє світловому кодуванню інформації. Матричні точкові модулі ЕЛІ створюються з масиву взаємно перпендикулярних тонких електродів. При подачі змінної напруги на перетин пари електродів відбувається світіння люмінофорної точки, яскравістю якої управляють зміною напруги і частоти. Аналогічним чином управляються і сегментні ЕЛІ.

Перевагами їх є висока яскравість, тривалий термін служби, невелика споживана потужність, компактність і мала товщина, невисока вартість, а їх недоліками є необхідність джерела напруги і певна складність управління.

Електролюмінісцентні дисплеї (ELD) і індикатори використовують в якості індикаторів у вимірювальних приладах і дисплеїв систем управління, контролю і зв'язку; в медичному обладнанні; на панелях транспортних засобів; в авіаційному приладобудуванні тощо. ELD мають низку переваг

перед різними сучасними ВЗВІ, створеними за іншими технологіями. Це стосується як роздільної здатності, контрастності, кута огляду ELD, так і у деяких випадках їх енергоефективності.

Лідером виробництва тонко плівкових електролюмінесцентних (TFEL - Thin Film Electroluminescent) індикаторів і дисплеїв є фінська компанія Veneq Oy, яка випускає їх під торговою маркою Lumineq® за технологією нанесення тонких плівкових покриттів ALD (атомно-шарове осадження) на різні поверхні для утворення плівок діелектриків та люмінофору із кристалів фосфору P (або арсеніду галію GaAs). Останні розташовані між двома шарами провідника (тонкими алюмінієвими електродами та прозорими електродами, рис. 2.2,а). В різних їх моделях можуть використовуватись прозорий і непрозорий шари електродів. При підключенні змінної напруги електропровідний люмінофор випромінює світло [4].

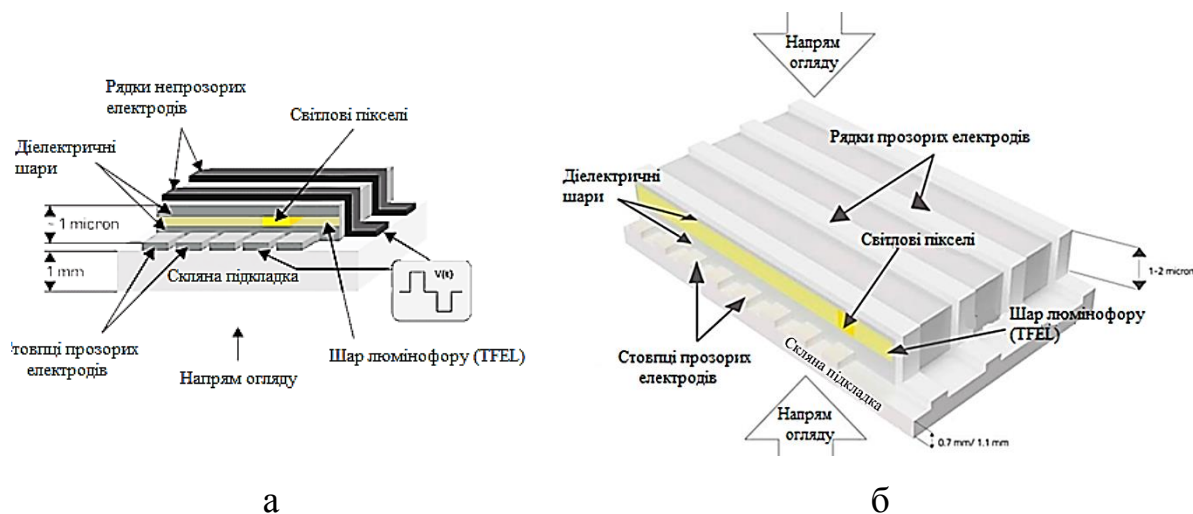


Рисунок 2.2 - Структура TFEL індикаторів (а) і дисплеїв (б) Lumineq® [4]

Структурно TFEL дисплеї складаються із скляної панелі, електронної схеми управління і джерела живлення [4]. Тонкий шар люмінофору затиснений між прозорими діелектричними шарами і матрицею рядкових і стовпчикових електродів (рис. 2.2,б). Модуль з електронними пристроями управління підключається до задньої частини скляної панелі, а у прозорих

дисплеїв збоку. Потрібний піксель підсвічується при подачі напруги на електроди рядка та стовпця, внаслідок чого піксель з люмінофором випромінює світло. Прозорість дисплею з прозорими шарами електродів (рис. 2.2,б) перевищує 80%, що задовольняє вимоги, наприклад, до лобового скла любого транспортного засобу від автомобіля до літака.

Індикатори і дисплеї TFEL Lumineq® є активними ВЗВІ, на які не впливає навколишнє середовище (кліматичні фактори, рівень освітлення). Саме ця технологія дозволяє отримати прозорі і гнучкі ВЗВІ, які здатні функціонувати в екстремальних умовах. Вони є міцними та надійними, що забезпечує їх конструкція з демпферами і прокладками між склом і платою; мають чіткі відображення рухливих об'єктів і високу швидкодію (до 1 мс) в найширшому температурному діапазоні від – 60 °С до +85 °С. Термін служби дисплеїв досягає 15 років при безперервній експлуатації. При цьому втрата яскравості досягає лише 15%. За останні 30 років технологія TFEL довела свою перевагу у ВЗВІ безлічі вимірювальних приладів і систем, де потрібні надійність і точність відображення. Фірма Veneq Оу пропонує демонстраційні модулі монохромних сегментних алфавітно-цифрових (ELT40S, рис. 2.3,а) і символічних (ELT15S, рис. 2.3,б) та аналого-цифрових індикаторів (ELT78S-HUD, рис. 2.3,в), які допомагають обрати або виготовити певний ВЗВІ для проєктованих засобів вимірювання [4].

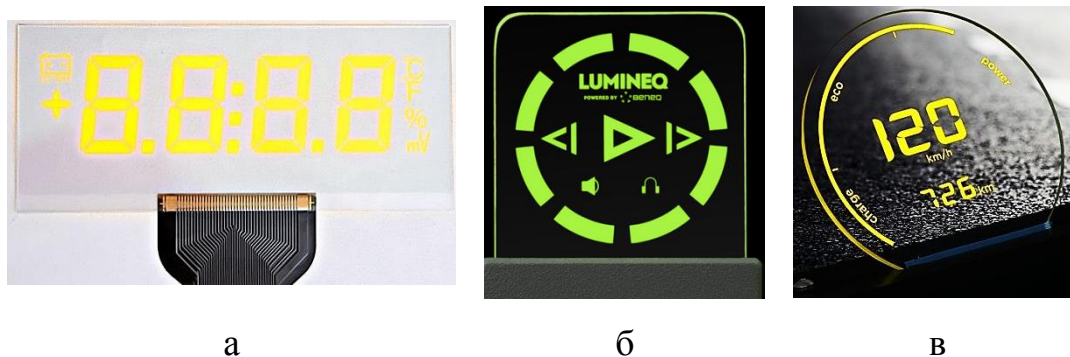


Рисунок 2.3 - TFEL модулі сегментних індикаторів Lumineq® [4]

Технологія ICEBrite™ (Integral Contrast and Brightness Enhancement - «Інтегральне покращення контрастності») дисплеїв Lumineq® шляхом спеціальної обробки скла зменшує віддзеркалення зовнішнього освітлення і тим самим забезпечує найвищу якість зображення у складних візуальних умовах з коефіцієнтом контрастності до 1000:1, що дуже зручно оператору для сприйняття інформації при яскравому освітленні (рис. 2.4) [4].

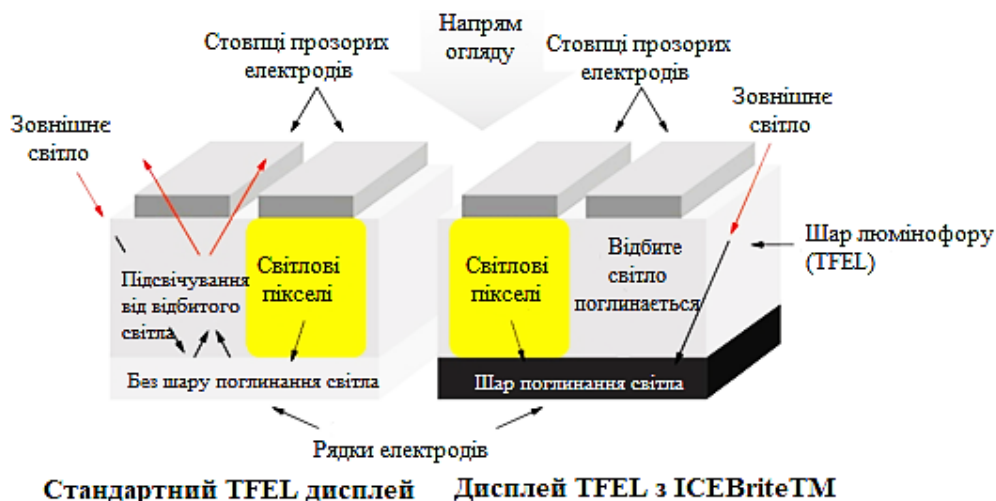


Рисунок 2.4 - Порівняння стандартної TFEL і ICEBrite™ технологій [4]

По технології ICEBrite™ випускаються малоформатні модулі графічних дисплеїв Lumineq® для засобів вимірювань. Лінійка стандартних графічних TFEL дисплеїв Lumineq включає ряд версій з роздільною здатністю від 160×80 до 640×480 пікселів та діагоналлю від 3" до 10,4". В окремих моделях реалізована функція регулювання яскравості зображення, що дозволяє зменшити енергоспоживання та забезпечити більший комфорт оператору при спостереженні в умовах змінного зовнішнього освітлення. Їх прикладами є монохромні аналого-цифрові індикатори TFEL EL320.240.36 (рис. 2.5,а) і графічний дисплей EL240.128.45 (рис. 2.5,б), багатокольоровий екран EL320.240-FA3 (рис. 2.5,в) модульного виконання [4].

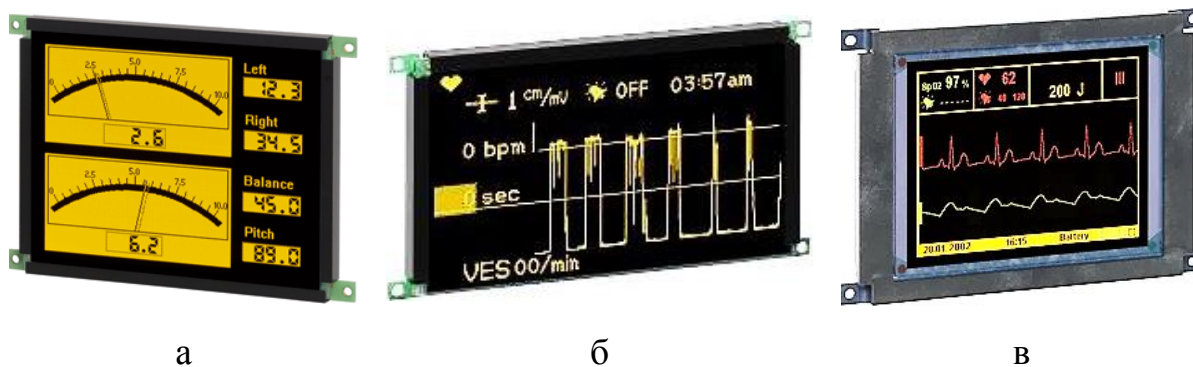


Рисунок 2.5 - Монохромні (а, б) і кольорові (в) ELD Lumineq® [4]

Дисплеї, які виробляються по технології TAESL, є прозорими завдяки прозорості електродів. У дисплеях TEFL і TAESL використовується технологія COG (Chip-On-Glass - «чип на склі»), коли мікросхема драйвера встановлюється безпосередньо на одному з країв дисплея. Прозорі дисплеї TAESL Lumineq® можуть бути повністю герметичними автономними блоками або модулями, готовими до ламінування на більші листи скла або полікарбонату. Вони поставляються з відкритими шарами тонкої плівки без захисного скла, тому оптимізовані для ламінування. Виготовляються у монохромному (жовтому або зеленому) кольорі і використовуються там, де захисне скління можна перетворити на ВЗВІ: на прозорій скляній підлозі екскаватора (рис. 2.6,а), в оптичному прицілі або в дальномірі (рис. 2.6,б) [4].



Рисунок 2.6 - Промислові застосування прозорих ELD Lumineq® [4]

Товстоплівкова діелектрична електролюмінісцентна технологія (TDEL) розроблена канадською компанією iFire Technology [5]. Вона ґрунтується на методі неорганічної електролюмінісцентної обробки (IEL) скла способом трафаретного друку, що поєднує в собі як товсто плівкові, так і тонко плівкові технології із застосуванням люмінофорів. Структура TDEL екранів складається із скла або інших прозорих підкладок, покритих шарами товсто плівкового діелектрика і тонко плівкового люмінофора, затиснутих між двома наборами електродів для створення матриці пікселів. Неорганічні люмінофори у цій матриці випромінюють світло під дією змінних електричних сигналів. Цією компанією створені спеціальні джерела світла, малоформатні графічні і сегментні дисплеї, монітори. Запатентована твердотільна товсто плівкова багат шарова структура iFire™ підвищила технологічність виробництва TDEL дисплеїв за нижчою ціною. Для поліхромних екранів фірма iFire розробила флуоресцентну технологію Color By Blue з використанням неорганічного синього люмінофору високої яскравості у поєднанні із спеціальними матеріалами [5]. Ця флуоресценція можлива, тому що фотони синього світла мають вищі енергетичні рівні і можуть генерувати червоне або зелене світло. Тому люмінофор поглинає синє світло та повторно випромінює червоне або зелене. За рахунок цього контрастність та колірний спектр TDEL дисплеїв значно покращені. Дисплеї iFire™ мають необмежені кути огляду, повний кольоровий режим, високу швидкодію, стійкість до ударів, вібрацій та коливань температури.

## **2.2. Вакуумно-флуоресцентні дисплеї**

Це ВЗВІ, що розроблені на основі вакуумно-флуоресцентних індикаторів (ВФІ) і які ще називають дисплеями з катодною люмінесценцією. В них електрони від розігрітого катоду, зіштовхуючись із люмінофорним анодом, змушують його випромінювати світло. Цей принцип дії удосконалений у сучасному їх поколінні і проілюстрований компанією Futaba (Японія) на рис. 2.7 [6].

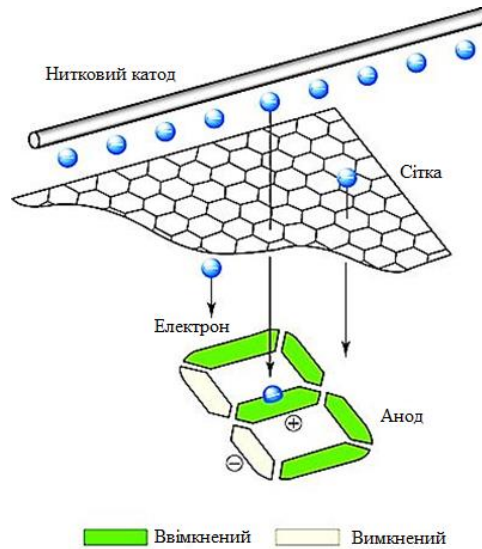


Рисунок 2.7 - Конструкція і фізичний принцип дії ВФ індикаторів [6]

Основними елементами конструкції ВФІ є катод, сітка і аноди, розміщені у плоскому вакуумному балоні. Катод при нагріві до 600 °С викликає термоіонну емісію. Коли до сітки прикладається позитивна напруга, то електрони від катоду рухаються з прискоренням до анода, а коли негативна - то їх потік зупиняється. Анод є провідником, покритим люмінофором із заданим графічним рисунком сегментів символу (літери, цифри, знаку). Позитивна напруга, прикладена до анода, притягує електрони, які стикаються з люмінофором і викликають випромінювання світла. Для усунення небажаного світіння люмінофору інших анодів на сітку подається невелика негативна напруга зміщення відносно катода. Розповсюдженим люмінофором є ZnO:Zn (окис цинку активований цинком), який працює при низькій напрузі і має довжину хвилі 505 нм (це пік зеленого кольору). Використання світлофільтрів дозволяють змінювати колір світіння.

Аналогічна побудова і у екранів VFD (рис. 2.8). Це багат шарова структура, розташована між скляними підкладкою і екраном у вакуумі. На підкладці нанесений ізоляційний шар з управляючою сіткою (матрицями) анодних електродів із доріжками проводки. Над нею розташована опорна пластина з нитковими катодами, які утримуються між опорами для їх

натягування. Катод (нитка розжарення) виконаний з тонкого вольфрамового дроту, а сітка сформована методом травлення з нержавіючої сталі. Гетер (бар'євий газопоглинач) підтримує вакуум між скляними пластинами. Багатошарова конструкція накрита переднім склом, яке є екраном VFD. При виробництві VFD використовуються технології фотолітографії, травлення та напилення. На задньому склі VFD нанесено темне (чорне) покриття для забезпечення кращого контрасту зображення.

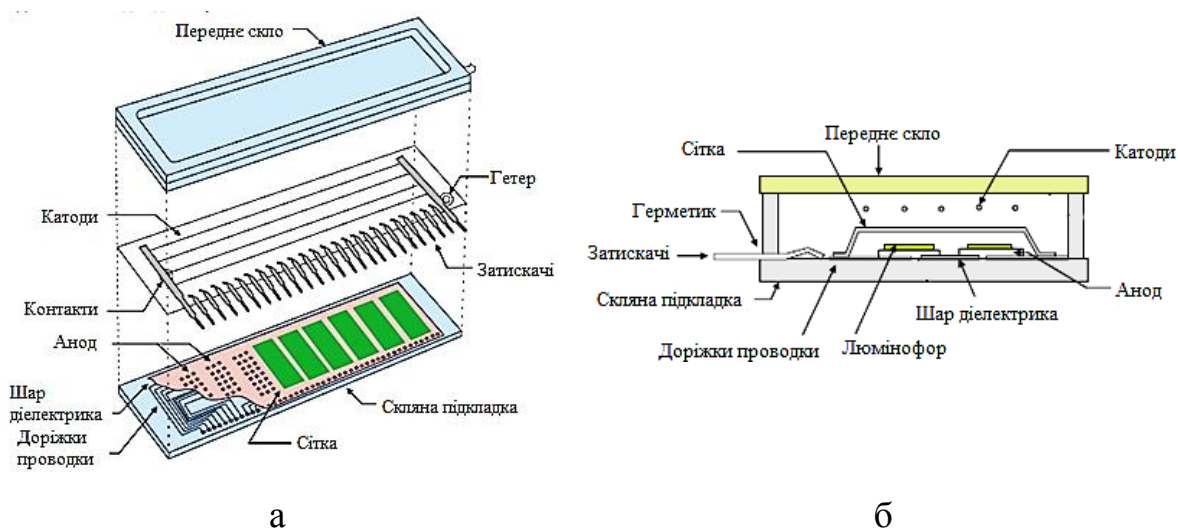


Рисунок 2.8 - Конструкція VFD пошарова (а) і у перерізі (б) [6]

Для управління індикаторами потрібно чотири джерела напруги: анодної, живлення розжарення, зміщення відносно катода та управління сіткою. Залежно від типу управління анодами розрізняють схеми з прямим управлінням (рис. 2.9,а) та з мультиплексуванням анодів (рис. 2.9,б).

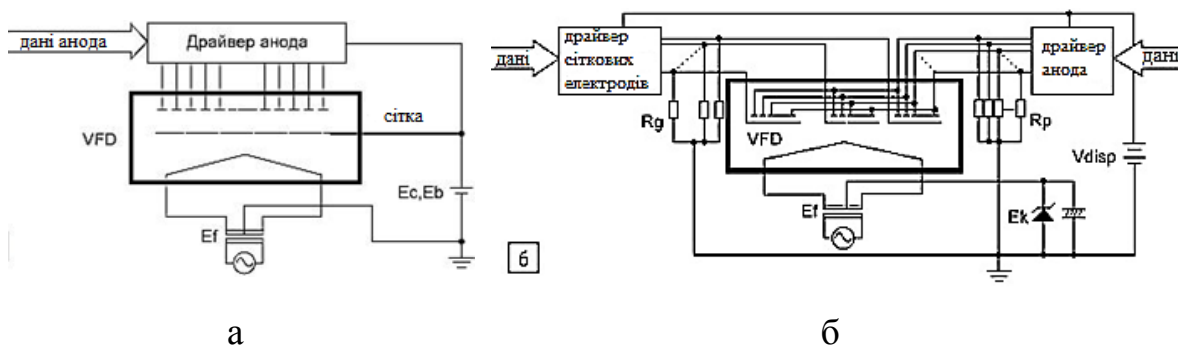


Рисунок 2.9 - Схеми управління VFD

Для управління анодами та сітками необхідні мікросхеми драйверів, які можуть розміщуватись на друкованих платах або монтуватися без корпусів на скляній підкладці вакуумного балона за технологіями COG або CIG (Chip In Glass). Технологія COG дозволяє прямий монтаж перевернутих кристалів (електричних схем) на скляні підкладки за допомогою анізотропної струмопровідної плівки (ACF). За технологією CIG кристал встановлюється на нижню скляну підкладку вакуумного балона (рис. 2.10), що дозволяє зменшити площу індикатора і позбавитися герметизації кристала.

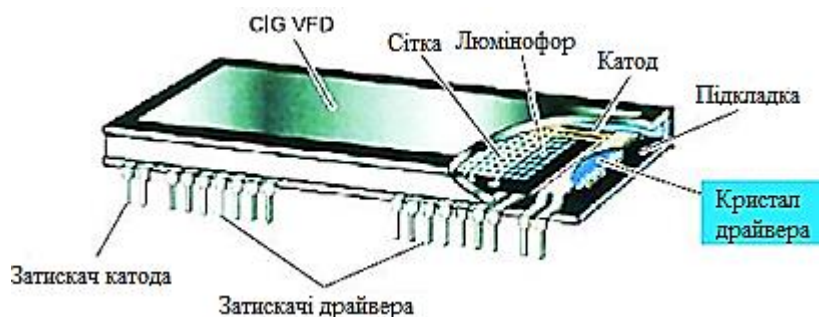


Рисунок 2.10 - Конструкція модуля VFD по технології CIG

В схемі управління VFD використовується мультиплексування, що дозволяє скоротити кількість виводів. Завдяки розширеній палітрі кольорів і нульовим проміжкам між сегментами їх дизайн практично не обмежений технічними складнощами. Ці дисплеї відрізняються високою яскравістю, контрастним зображенням та насиченими кольорами. Стандартні значення яскравості становлять близько  $640 \text{ кд/м}^2$ , при цьому ВЗВІ високої яскравості мають її на рівні  $4000 \text{ кд/м}^2$ , а деякі до  $35\,000 \text{ кд/м}^2$  в залежності від напруги.

Для цього застосовуються різні технології, а типи дисплеїв мають відповідні скорочені їх назви. В індикаторах Futaba FLVFD застосована технологія Front Luminous з нанесенням люмінофора на внутрішній бік переднього скла методом тонко плівкової технології, яка забезпечила розширення кута огляду за рахунок зменшення паралаксу при огляді і

збільшила площу фігур анодних сегментів. У дворівневих BPVFD (Bi-Planar VFD) використання двох наборів сіток і анодів з однією системою ниток розжарювання (катода) розширило можливості для псевдо об'ємного зображення з просторовою глибиною. Така подвійна структура дозволяє змішувати кольори від випромінювання двох шарів люмінофорів анодів. Технологія нанесення люмінофорів в градаційних екранах GVFD забезпечує практично нульові проміжки між сегментами та плавні переходи кольорів в графічних екранах і шкальних індикаторах. Технологія нанесення двох шарів люмінофорів (Double Layer Phosphor Printing) дозволяє методом череди двох кольорів у часі розширити графічні можливості індикатора при формуванні суміші кольорів і їх відтінків з градаціями. Заміна задньої поверхні корпусу на прозоре скло (Clear background VFD) дозволяє використовувати фонове зображення або динамічне контекстне світлодіодне підсвічування. Наявність декількох шарів поверхонь, що світяться або відбивають світло, дозволяє створити ефект об'ємного зображення. Вибір кольору (люмінофора) та яскравість індикатора істотно впливають на термін їх служби, який може змінюватись від 1500 годин для яскраво-червоних VFD до 30 000 годин для більш поширених зелених. Довговічність індикатора в основному визначається поступовим зниженням яскравості люмінофорів, оскільки нитки розжарювання, виконані з вольфраму з добавкою торію, не втрачають емісійної здатності протягом багаторічного терміну служби індикатора.

Модулі VFD випускаються у вигляді індикатора із платою управління, що значно спрощує його інтеграцію в засіб вимірювання. Схема управління модуля VFD з контролером формує всі необхідні напруги від одного джерела живлення (5 В). У якості інтерфейсів передачі даних можна використовувати UART, RS-232, SPI, I<sup>2</sup>C та USB. Модуль забезпечує регенерацію зображення VFD і регулювання його яскравості.

VFD можуть відображати алфавітно-цифрові символи або виконуються у вигляді точкових матриць для графічного зображення (рис. 2.11), яке залежить тільки від форми анодів з люмінофором. Тому випускаються

матричні модулі символічних індикаторів, графічні та багато сегментні VFD разом із драйверами. Прикладами є продукція торгових марок Futaba (Японія), KingHigh (Китай), Samsung (Корея), Matrix Orbital (Канада), Newhaven Display (США) тощо.

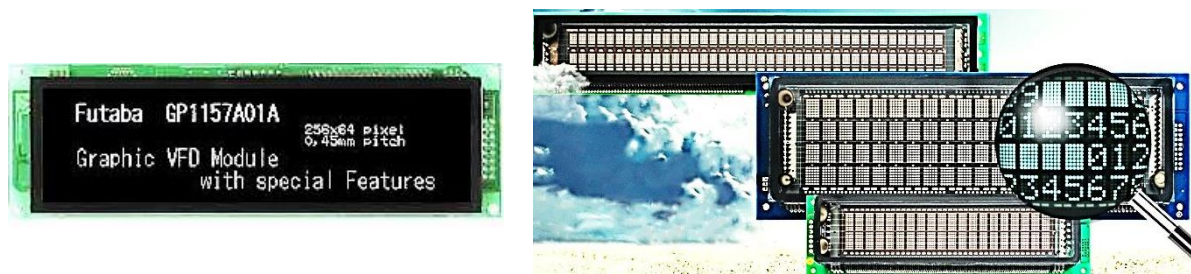


Рисунок 2.11 - Графічний чіп Futaba (а) і матриці KingHigh VFD (б) [6, 7]

VFD застосовуються в різноманітних засобах вимірювань, які в першу чергу експлуатуються в екстремальних умовах і при змінному освітленні. Наприклад, компанія GW Instek (Тайвань) випускає мультиметр GDM-8351 з подвійним алфавітно-цифровим VFD (рис. 2.12,а) [8], а фірма Futaba - кольорові сегментні VFD для автомобільних спідометрів (рис. 2.12,б) [6].



а б  
Рисунок 2.12 - Прилади з VFD [8, 6]

Розвиток вакуумно-люмінесцентних технологій відбувається у напрямку створення дисплейних матриць з активною адресацією (AMVFD) та надвисокою яскравістю. Для цього люмінофор наносять одразу на поверхню кристалів драйверів з кроком від 0,4 мм. Відмова від мультиплексування

анодів дозволяє значно збільшити яскравість дисплеїв, а вбудовані кристали пам'яті та контролер спрощують створення графічних екранів.

Цей вид дисплеїв є популярним і затребуваним завдяки ряду переваг. До них відносяться висока яскравість та контраст, широкий кут огляду і насиченість кольорів, широкий діапазон робочих температур. Вони вібростійкі і надійні, мають високу швидкодію, довгий термін служби, тому рідко знімаються з виробництва. Наприклад, бувший лідер у цій сфері корпорація Futaba у 2020 році оголосила про вихід з ринку VFD, але інші компанії продовжують випускати модулі VFD за її технологіями.

Недоліками VFD є потреба у джерелі живлення, відблиски світла від скляних екранів (в деяких їх моделях) і відносно висока їх вартість.

### **Контрольні запитання**

1. В чому полягає технологічна різниця в появі світіння ELD і VFD?
2. До якого виду ВЗВІ за принципом формування світлового зображення відносяться люмінесцентні індикатори і дисплеї?
3. Для яких умов експлуатації оптимальним є використання ELD?
4. В чому полягає особливість конструкції VFD?
5. В чому суть технологій створення поліхромного зображення у VFD?

### 3. СВІТЛОДІОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ І ДИСПЛЕЙНІ МОДУЛІ

#### 3.1. Технологія візуалізації LED

Світлодіодні індикатори - це пристрої, робота яких основана на явищі люмінесценції, обумовленої рекомбінацією електронів і дірок при їх інжекції під дією прямої напруги на р-n - переході напівпровідникових кристалів. У них з'являється видиме світіння при протіканні по них струму (рис. 3.1). Ця технологія називається світлодіодною або LED (Light Emitting Diodes).

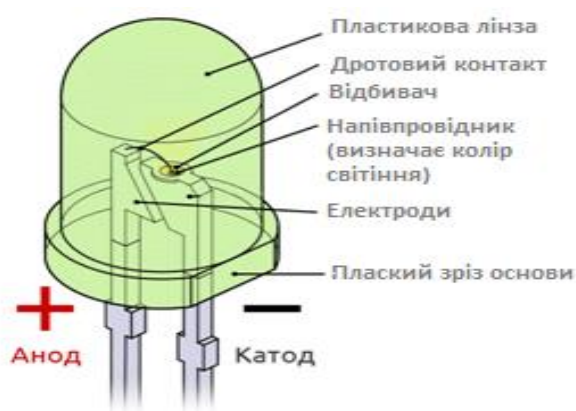


Рисунок 3.1 - Побудова світлодіоду

На основі світлодіодів випускаються індикатори, в яких конфігурація світіння забезпечується за рахунок виконання відповідних ділянок у вигляді єдиного р-n - переходу (або набору переходів). Розміри кристалу світлодіода мікроскопічні і тому він є точковим елементом відображення. Частина ефекту світіння досягається завдяки відбиттю світла від дзеркальних поверхонь. Десятки і сотні світлодіодів об'єднують в індикаторні панелі і екрани, застосовуючи лінзи і рефлектори для посилення світіння.

Для відображення алфавітно-цифрової і символної інформації в засобах вимірювань застосовуються сегментні, матричні і шкальні LED індикатори. Для відображення графічної інформації випускаються LED дисплеї, а динамічної відеоінформації - LED екрани.

### 3.2. Світлодіодні індикатори

Світлодіодні індикатори виготовляються у монолітному або гібридному виконаннях. Монолітними є індикатори з розмірами символів близько 2 мм, в корпуса яких вбудована лінза для збільшення зображення. Вони складаються з ряду р- областей, розташованих в підкладці n- типу, яка є негативним контактом для усіх р-n переходів (рис. 3.2,а). Інші контакти створюються осадженням металу на діелектричний шар поверхні.

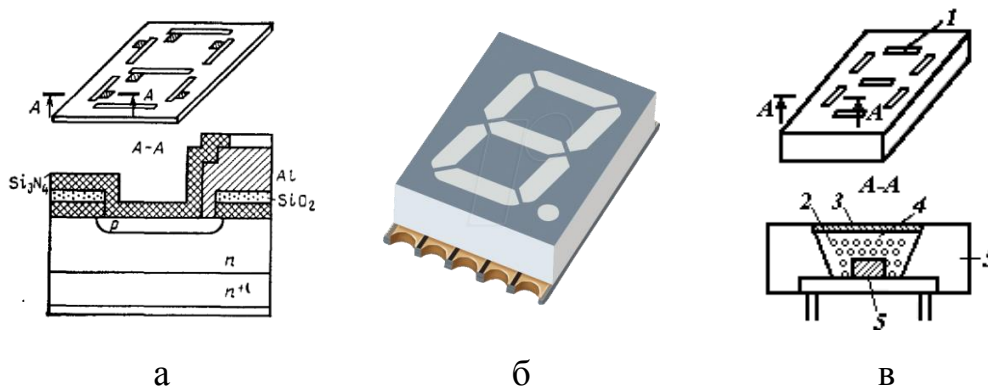


Рисунок 3.2 - Побудова монолітного (а), вигляд (б) і конструкція (в) гібридного індикаторів: 1 - сегмент; 2 - світлорозсіювальний матеріал; 3 - дифузор; 4 - порожнина; 5 - пластмаса; 6 - випромінювач

Гібридні індикатори мають розміри символів більше 7 мм. В них прорізаються порожнини в шарі пластмаси, заповнені світлорозсіювальним матеріалом і закриті згори дифузором (рис. 3.2,б-в). Гібридна конструкція також застосовується для багато розрядних індикаторів.

Поширеними у вимірювальній техніці є алфавітно-цифрові сегментні індикаторні LED модулі, які мають різні кількості сегментів і розрядів (знакових місць), розміри тощо. У більшості вони є монохромними, але випускаються з різними кольорами світіння (від зеленого до червоного).

Сегментні індикаторні LED модулі за габаритами менші, ніж їх рідкокристалічні аналоги, тому вони оптимальні для конструювання відносно простих вимірювальних приладів. Найчастіше саме модулі індикації і

управління з DIP-контактами (Dual In-line Package - корпус з двоярядними виводами для монтажу на платі у наскрізні отвори) своїми розмірами визначають габарити приладу. Тому виробники розробляють лінійки LED індикаторів, починаючи з одно розрядних мініатюрних (з висотою EB від 0,2"). Так, компанія Taiwan Oasis Technology (Oasistek) випускає монохромні 7-сегментні LED індикатори TOS-F2141AP з DIP-контактами, починаючи з висоти їх EB від 0,24" (6,1 мм) і з габаритами від 10x6x6 мм (рис. 3.3,а) [9]. Для більш повного відображення літер різних алфавітів і деяких символів випускаються монохромні 14-сегментні і 16-сегментні LED модулі (рис. 3.3,б-в). Наприклад, такий модуль типу Oasistek TOS-3192 з висотою EB від 9,9 мм застосовується у цифрових приладах з розширеним алфавітом.

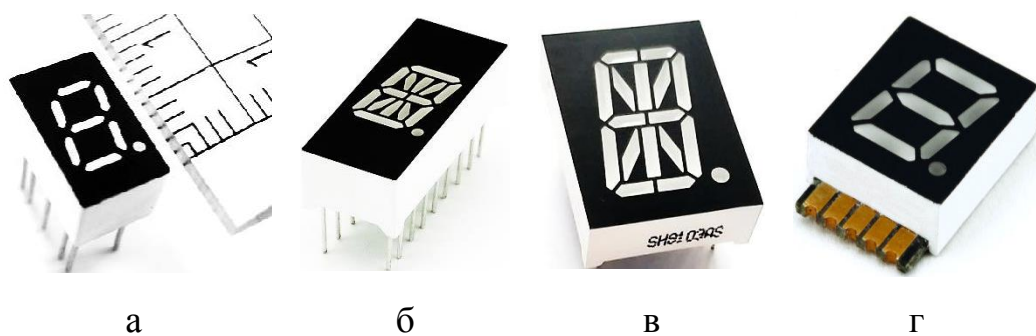


Рисунок 3.3 - LED індикатори Oasistek технологій DIP (а-в) і SMD (г) [9]

У порівнянні з LED модулями з DIP-контактами світлодіодні SMD модулі (Surface Mount Device - для поверхневого монтажу на плату) тонші. Вони випускаються у вигляді одно і багато розрядних монохромних індикаторних модулів у мініатюрному виконанні, наприклад 7-сегментний модуль Oasistek TOS- F2181 з висотою EB від 7 мм і товщиною корпуса лише 3 мм, що удвічі менше ніж найтонші модулі DIP, навіть без врахування довжини їх контактів (рис. 3.3,г). Вони широко застосовуються в переносних вимірювальних приладах і пристроях, промисловій і побутовій електроніці.

Часто сегментні індикатори скомплектовані з платами управління. Наприклад, на рис. 3.4,а показаний модуль AOC455 7-сегментного

монохромного 4-розрядного дисплея розміром 0,36" з управлінням по послідовній шині на драйвері 74НС595 [10]. Він управляється як від контролера Arduino, так і від Raspberry Pi або будь-якого іншого міні-комп'ютера. А на рис. 3.4,б показаний індикаторний клавіатурний модуль АОС510 на мікросхемі ТМ1638, призначений для вводу/виводу інформації з контролера [10]. Плата відображає інформацію на 8-ми 7-сегментних індикаторах, 8-ми світлодіодах і дозволяє вводити інформацію з 8 кнопок. Для управління використовується послідовний інтерфейс.

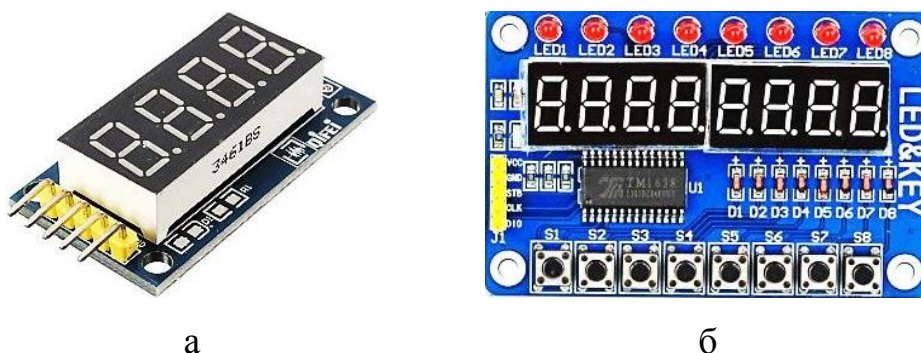


Рисунок 3.4 - Сегментні монохромні індикаторні LED модулі [10]

Найбільш популярними для розробки цифрових приладів є 7-сегментні індикатори з розмірами символів до 1", які є оптимальними для створення компактних вимірювальних приладів. Їх прикладами є готові до панельного монтажу вимірювальні модулі вольтметрів Joy-It™ COM-VM330 (3 розряди, рис. 3.5,а), VM533 (5 розрядів рис. 3.5,б) і VAM10010 (кольоровий, рис. 3.5,в) з 7-сегментними монохромними LED індикаторами 0,36" [11].



Рисунок 3.5 - Вимірювальні модулі вольтметрів Joy-It™ [11]

Але виробники поширили асортимент алфавітно-цифрових індикаторів до діагоналі 5" і виконують їх у багато розрядних (від 2 до 8) версіях з різними кольорами світіння ЕВ, що потрібно для роботи операторів з щитовими приладами систем сигналізації на відстанях (рис. 3.6).

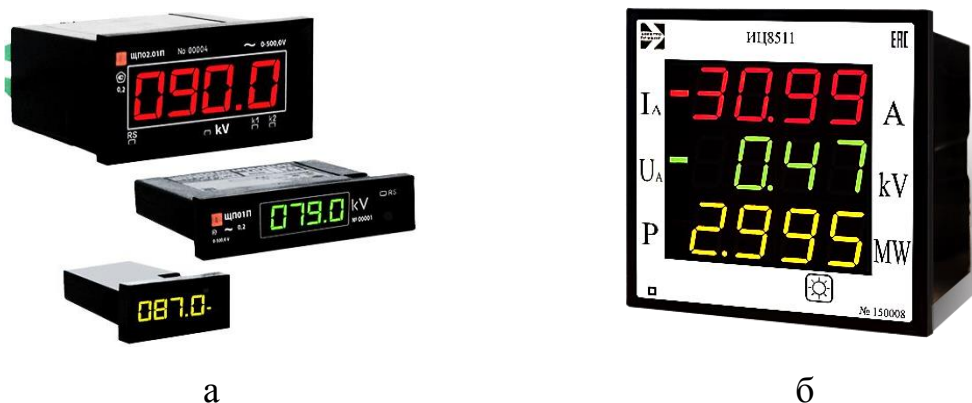


Рисунок 3.6 - Монохромні (а) і різнокольорові (б) світлодіодні сегментні індикатори цифрових щитових приладів [12]

Матричні LED індикатори забезпечують відображення літер, цифр, символів, графічних елементів тощо. Популярними форматами матриць з DIP-контактами є 5x7, 5x8, 8x8, 16x16 з діаметрами точкових LED елементів відображення від 1,4 мм до 10 мм (рис. 3.7,а-б) і кольорами їх світіння від білого до червоного. Також є матричні модулі з квадратними ЕВ (рис. 3.7,в). Матричні LED індикатори випускаються у вигляді окремих модулів і часто у комплекті з драйверами (наприклад, матриця SKV364 формату 8x8 з габаритами 32x32x13 мм із мікросхемою MAX7219, рис. 3.7,б) [10].

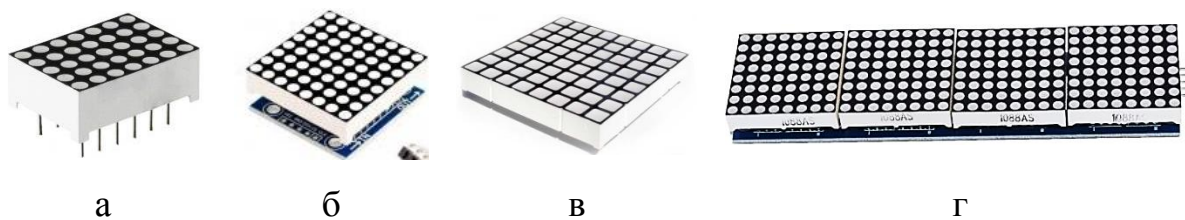


Рисунок 3.7 - Різновиди матричних точкових LED модулів [10]

Комплект матричних модулів дозволяє створювати індикатори-модулі (рис. 3.7, г). Прикладом є модуль SKV365 з 4-х монохромних точкових LED матриць, який управляється по трьох провідній послідовній шині Microwire (3-Wire). Основою кожного модуля є мікросхема MAX7219, яка дає можливість нарощувати розміри індикатору. Кожен із його розрядів має свою адресу, тому інформацію в кожному розряді можна оновити без оновлення всіх розрядів матриці. Драйвер MAX7219 дає змогу ініціалізації режиму декодування кожного розряду. Мікросхема має сплячий режим із запам'ятовуванням інформації, аналогове та цифрове управління яскравістю підключених індикаторів та тестовий режим, що включає всі LED-сегменти. Драйвер управляє вісьмома 7-сегментними індикаторами з точкою або однією матрицею 8x8 [10]. Компанія Simac Electronics GmbH (ФРН) під торговою маркою Joy-It™ пропонує комплект з двох RB-LEDMatrix разом з платою адаптера (рис. 3.8,а) до мікрокомп'ютера Raspberry Pi, що дозволяють створювати індикатори-модулі, наприклад формату 16x8 (рис. 3.8,б) [11].

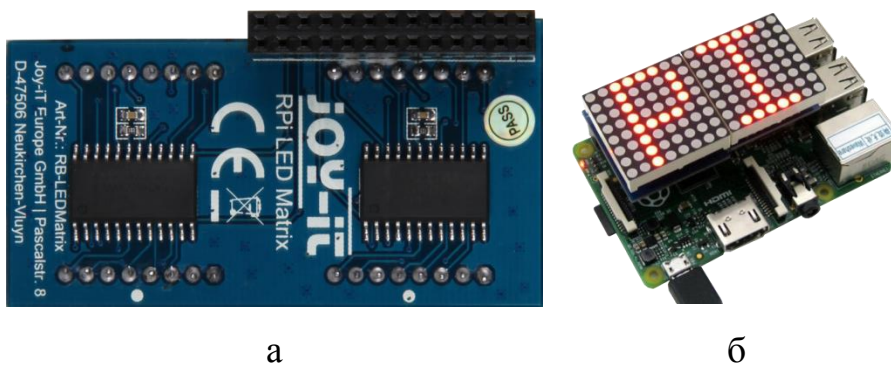


Рисунок 3.8 - Плата адаптера (а) і модуль RB-LEDMatrix (б) [11]

Для відображення аналогових сигналів вимірювальної інформації використовуються сегментні шкальні LED модулі рядкового (стовпчикового) типу (так звані «гістограми», рис. 3.9,а-б) або кругові (рис. 3.9,в). Вони відрізняються кількістю і розмірами сегментів, можуть бути монохромними або багатокольоровими, а також з інтегрованими мікросхемами управління за послідовними протоколами передачі даних [10].

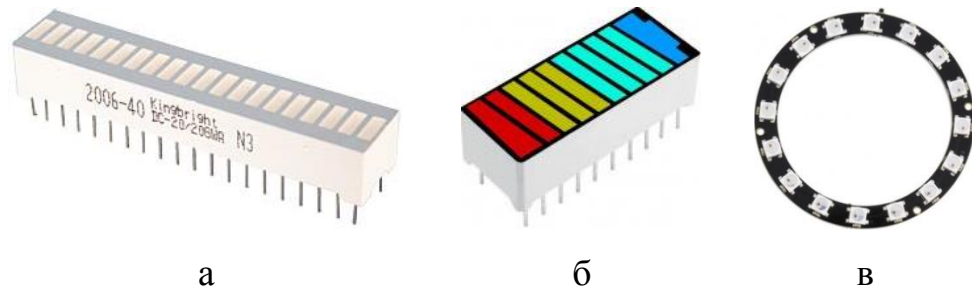


Рисунок 3.9 - LED модулі сегментних шкальних індикаторів [10]

У вимірювальних приладах сегментні алфавітно-цифрові і шкальні LED індикатори часто поєднуються в аналого-цифрові індикатори (рис. 3.10). Такі конструкції ВЗВІ значно пришвидшують реакцію оператора на характер змін контрольованих параметрів (по шкальними індикаторам) з отриманням уточненої цифрової інформації (по алфавітно-цифровим дисплеям). Для цього випускаються кольорові шкальні індикатори рядкового (рис. 3.10,а), стовпчикового (рис. 3.10,б) і кругового (рис. 3.10,в) типів разом з сегментними алфавітно-цифровими ВЗВІ.

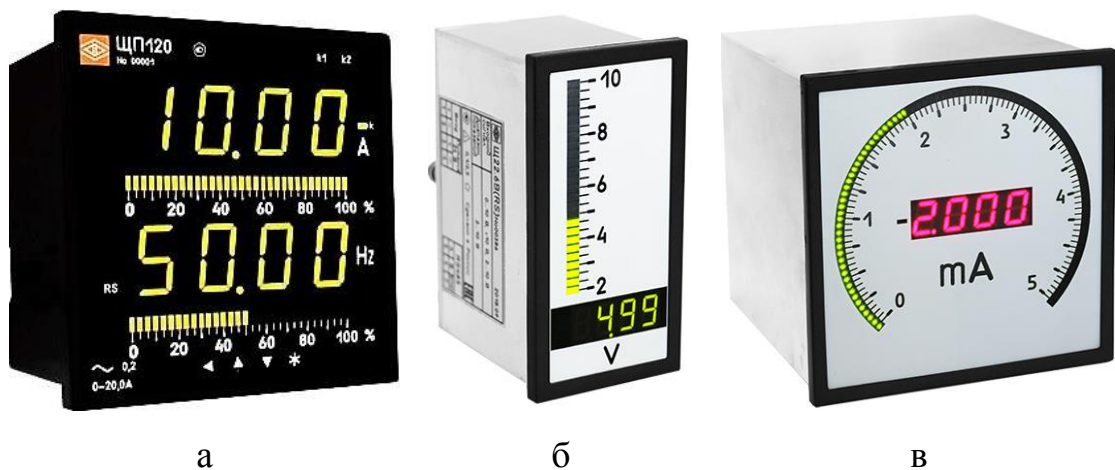


Рисунок 3.10 - Аналого-цифрові індикатори вимірювальних приладів [12]

Перевагами LED індикаторів є яскраве світіння при низькій напрузі, що забезпечує взаємодію з мікросхемами; малі габаритні розміри; дуже тривалий термін служби; висока яскравість і задовільна роздільна здатність;

можливість мультиплексної адресації, яка дозволяє створення матриці індикаторів; можливість отримання кольорового зображення; висока швидкодія. До їх недоліків слід віднести відносно великий споживаний струм а також можливий розкид параметрів і характеристик від зразка до зразка.

### 3.3. LED дисплеї і екрани

В LED екранах основним елементом відображення є піксель, який може бути виконаний в конфігураціях DIP (один світлодіод у корпусі з виводами), SMD (за технологією поверхневого монтажу, рис. 3.11,а-б) і «3in1» (три елементи RGB в одному корпусі, рис. 3.11,в).

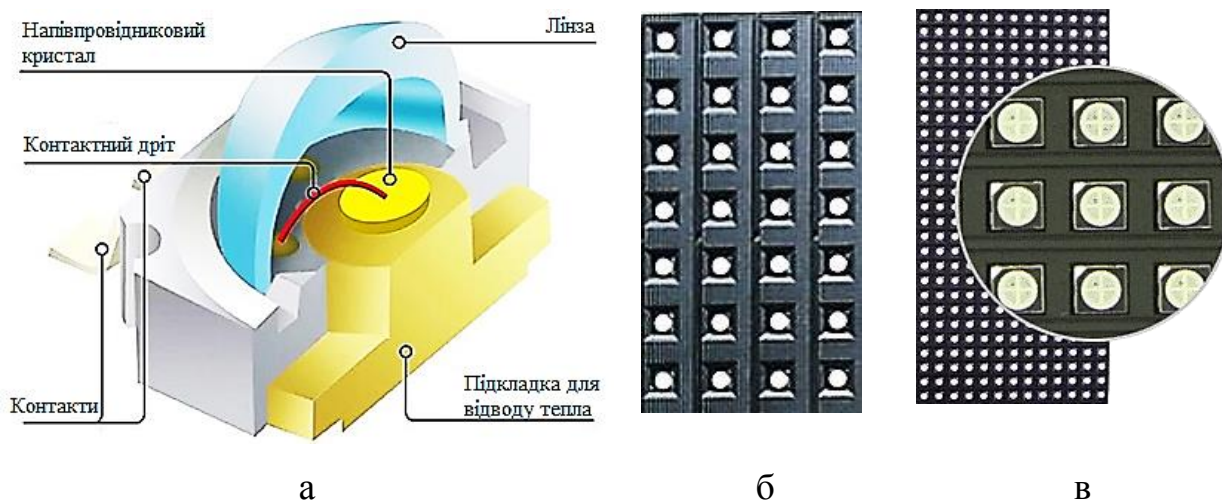


Рисунок 3.11 - Піксель SMD (а), фрагменти екранів типів SMD (б) «3in1» у збільшених зображеннях

Поширеними і недорогими ЕВ для LED екранів є DIP діоди. При монтажі їх модуля елементи вставляють в отвори на платі і припаюють ніжки із зворотного боку. Один піксель багатокольорового модуля формується кількома діодами RGB. Отримати за цією технологією графічне зображення неможливо, бо не дозволяє великий розмір діодів і спосіб монтажу. Пікселям DIP властива висока яскравість і надійність, тому виробники використовують

цю технологію для створення великих екранів або для зовнішнього призначення, тому що комфортний їх огляд доступний від 5 м з кутом до 80°.

Сучасною при виробництві LED дисплеїв і екранів є технологія поверхневого монтажу SMT (Surface Mount Technology) друкованих плат, яка ґрунтується на встановленні SMD компонентів (Surface Mounted Device) на поверхню плати шляхом припаювання їх загнутих виводів (рис. 3.12,а) до її контактних майданчиків з припоєм. В результаті всі SMD компоненти запаяні на контактні доріжки на поверхні плати (рис. 3.12,б).

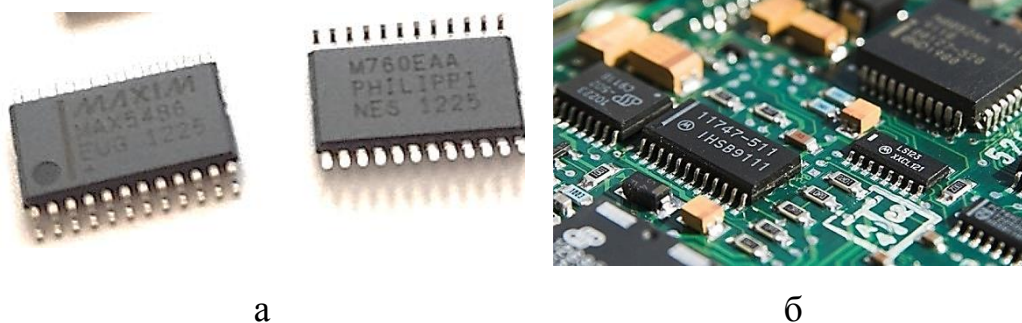


Рисунок 3.12 - SMD мікросхеми (а) і готова плата з ними (б)

Під SMD потрібно все ж таки розуміти саме світлодіоди, мікросхеми та радіодеталі, а не технологію в цілому. Іноді SMD називають просто «чіпами». У порівнянні з монтажем ТНТ (Through Hole Technology) компонентів DIP в наскрізні отвори, ця технологія має переваги. По-перше, не потрібне свердління отворів в платі під виводи компонентів. По-друге, ця технологія дозволяє розміщувати SMD не тільки з одного боку друкованої плати (односторонні плати), але й з обох (двосторонні плати). Сучасні SMD компоненти мають дуже малі габарити і вагу. Тому SMT орієнтована на дрібні компоненти, які забезпечують високу щільність їх розміщення, сприяють мініатюризації плат і повній автоматизації виробництва.

Пікселі SMD мають майже мікроскопічні розміри, що дозволяє різко збільшити роздільну здатність екранів. Це діод, в корпусі якого розташовані кілька малих кристалів, що генерують зображення з 16,7 млн. кольорів. Чипи

SMD кріпляться безпосередньо до друкованої плати і через відсутність «ніжок» вони мають дуже малі розміри, тому їх можна щільніше встановити в один чіп. Комфортний огляд таких дисплеїв і екранів доступний оператору з 1 м. Сьогодні технологія SMD досягла неймовірної досконалості і завдяки масовому виробництву стала переважною.

Конфігурація пікселів «3in1» поєднала переваги технології SMD з утворення RGB пікселів в одному корпусі, що дало змогу виробництва високоякісних поліхромних модулів LED екранів.

В матричних екранах характеристикою роздільної здатності є крок пікселя або «пітч» (рис. 3.13,а). Це відстань між центрами сусідніх пікселів (у мм), SMD-діодів або груп світлодіодів. Важливість розміру кроку пікселів в тому, що він впливає на оптимальну відстань перегляду інформації на екранах для очей оператора. Чим менший крок пікселя, тим ближче комфортний огляд екрану. Оптимальну відстань (у метрах) перегляду екрана вказує значення кроку пікселя (у мм) у вигляді букви P з цифрою. Наприклад, позначка P5 в типі екрану означає, що у нього крок пікселя 5 мм, на який найкраще дивитися на відстані від 5 м.

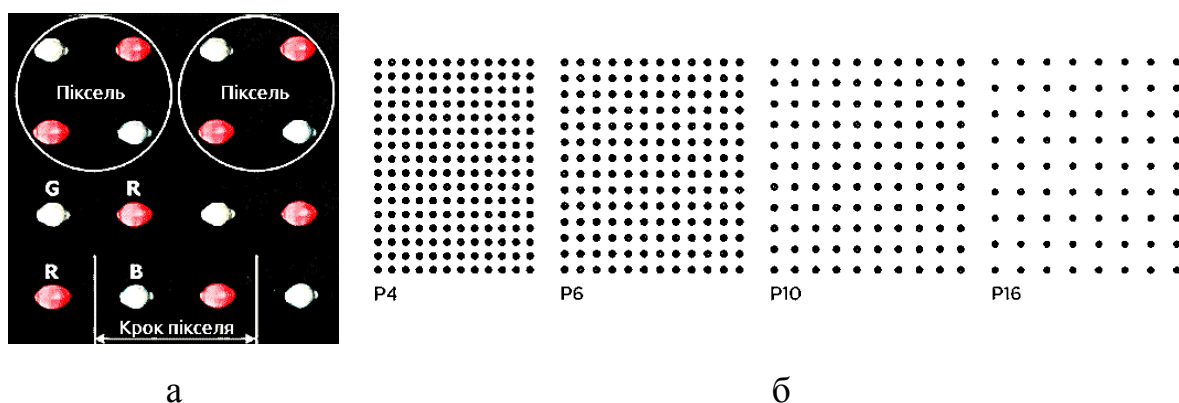


Рисунок 3.13 - Пітч (а) і роздільна здатність екранів з різними пітчами (б)

Хоча висока щільність пікселів (рис. 3.13,б) забезпечує покращення візуального зображення, але це може не дати очікуваного ефекту, тому що вона призначена для екранів з близьким переглядом. На більшій відстані

огляду така висока щільність пікселів втрачає свої візуальні переваги і просто збільшує вартість екрану. Тому вибір розміру пітчу повинен узгоджуватись з призначенням екрану і відстанню оператора від нього.

Для нормальної роботи LED екрана всередині приміщення потрібна яскравість близько  $600 \text{ кд/м}^2$ . Для екранів надворі варто вибирати яскравість більше  $2000 \text{ кд/м}^2$ . Щоб побачити зображення на екрані під сонячними променями, потрібна яскравість мінімум  $6000 \text{ кд/м}^2$ . Екран з яскравістю  $12000 \text{ кд/м}^2$  дозволить побачити інформацію на великій відстані.

Світлодіодні екрани за побудовою поділяються на кластерні і матричні.

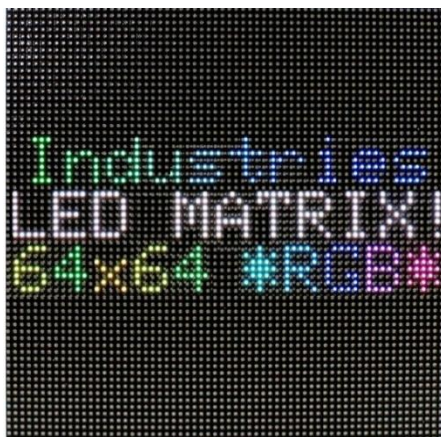
Кластером є елемент екрана, в окремому герметичному корпусі якого містяться три або більше світлодіодів, які складають піксель. Він закритий прозорою пластиковою лінзою. Від кожного кластера відходять дроти для підключення до схеми (плати) управління, яка умовно розбиває все зображення на ділянки, кількість яких дорівнює кількості модулів екрану, і передає відповідні сигнали через контролери потрібним модулям. Так формується повне зображення на LED екрані. Ця побудова є складною і вона поступається більш технологічному матричному принципу.

Під LED матрицею розуміють плату управління з інтегрованими в неї світлодіодами, комутаційними контактами і захисними світловими фільтрами. Світлодіоди в матриці розташовуються з рівними пітчами по горизонталі і вертикалі. В залежності від розміру і роздільної здатності екрану кількість світлодіодів у пікселі може складати від трьох до кількох десятків, а їх розподіл за кольорами в пікселі залежить від типу світлодіодів.

Матричні екрани за технологією поверхневого монтажу (SMD-екрани) є типом модулів із монтажем світлодіодних чипів на друкованих платах, які можуть функціонувати самостійно або з периферійними модулями управління. Світлодіоди RGB розміщуються в одному корпусі і утворюють пікселі, які відображають весь спектр кольорів (рис. 3.11, а-б). У екранів SMD доволі висока роздільна здатність, яка дозволяє експлуатувати їх у

приміщеннях. Варто зазначити, що в SMD-екранах зменшення яскравості не впливає на гаму кольорів.

Екранні LED матриці застосовуються у вимірювальних інформаційних системах у якості екранів або відеостін, віддалених від оператора на (2-5) м. Прикладами поліхромних LED модулів екранів-індикаторів для вимірювальних систем є світлодіодні матриці різних форматів фірми Elecrow Tech Limited (Китай) типу DLE23049P (розмірами 160x160мм, форматом 64x64, рис. 3.14,а) з пітчем 2,5 мм і типу DLM11019L (розмірами 320x160мм, форматом 64x32, пітчем 5 мм, рис. 3.14,б) з автоматичним регулюванням яскравості для рівномірного світіння [10]. Максимальні горизонтальні і вертикальні кути їх огляду складають від 140° до 160°, а строк служби перевищує 100 000 годин.



а



б

Рисунок 3.14 - Поліхромні екранні LED матриці фірми Elecrow [10]

Спереду дисплеїв розташовані матриці RGB-світлодіодів відповідного формату, а на їх звороті - плати схем драйверів їх рядків і стовпців. Дисплеї управляються через 12 контактів вводу/виводу (6 для даних і 6 для сигналів управління), які доступні через роз'єм IDC 2×6. На задній панелі є два роз'єми: «IN» для підключення контактів вводу-виводу мікроконтролера Arduino і «OUT» для каскадного підключення кількох панелей RGB, що

дозволяє створювати дисплеї різних конфігурацій та розмірів, монтувати їх у більші екрани або відео стіни тощо.

В Україні SMD модулі поліхромних LED дисплеїв з конфігурацією пікселя 1R1G1B з різними пітчами і форматами для внутрішніх застосувань випускає завод Flylights Factory (Київ): P1,667 формату 120x90 пікселів і розмірами 200x150 мм (рис. 3.15,а); P2 формату 64x64 і розмірами 128x128 мм (рис. 3.15,б); P2,5 формату 64x64 і розмірами 160x160 мм (рис. 3.15,в) тощо. Вони також обладнані платами управління (рис. 3.15) [13].

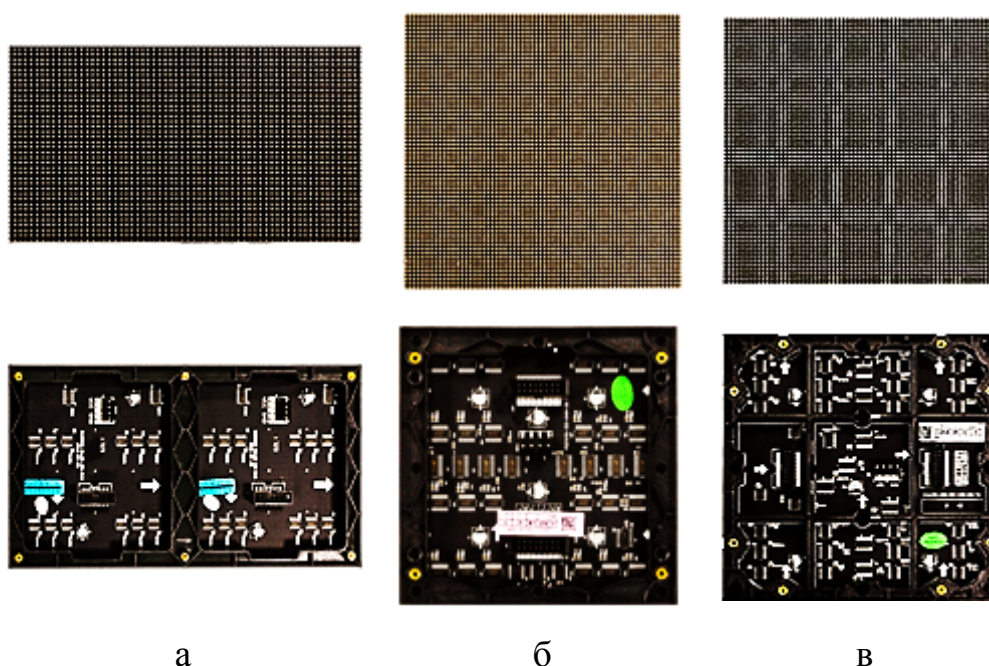


Рисунок 3.15 - Багатокольорові LED модулі SMD заводу Flylights (Київ) [13]

Перевагами LED екранів є висока яскравість, можливість створення екранів великих розмірів, низьке енергоспоживання, висока надійність тощо. Їх недоліком є відносно низька роздільна здатність, що не дозволяє створювати малоформатні графічні екрани для вимірювальних приладів. Для цього використовуються інші технології.

Сучасним перспективним напрямом розвитку LED технологій є виробництво модульних міні- та мікросвітлодіодних матричних екранів, які усувають основний їх недолік (відносно великі розміри пікселів і пітчу).

Наприклад, компанія PlayNitride (Тайвань) виробляє дисплеї microLED на основі мініатюрних кристалів в тому числі і для засобів вимірювань та підсвічування інших дисплеїв [14]. Мініатюризація структури світлодіода відбувається за рахунок видалення корпусу світлодіода та підкладки, тому його розмір зменшується до 50 мкм (рис. 3.16,б). Залишається тільки епітаксіальна [Thin Epitaxial Film] плівка, яка когерентна кристалам, на яких вона формується. Дисплей microLED поєднує LED чіпи мікронного розміру з платою управління (рис. 3.16,в). При їх виробництві чипи RGB переносяться на тимчасову підкладку COC (Chip On Carrier - чіп на носії) і розташовуються із заданим пітчем. Це є ключовим процесом у виробництві мікросвітлодіодів. Прикладом є матричні модулі з пітчем 0,43 мм.

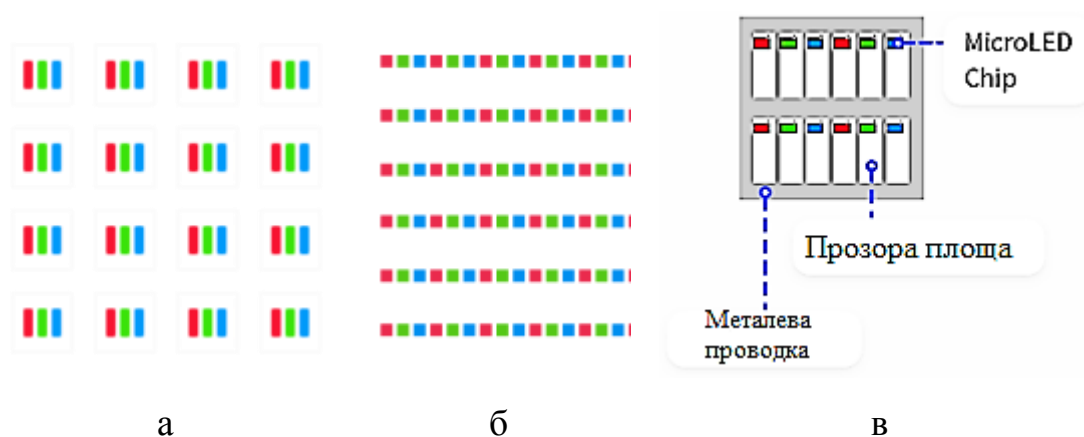


Рисунок 3.16 - Порівняння чипів LED (а) і microLED (б, в) екранів [14]

Модульна технологія PixeLED цієї ж фірми дозволила створювати прозорі дисплеї та гнучкі (або вигнуті) плівки PixeLED (рис. 3.17,а). Технологія PixeLED Matrix на основі друкованих плат призначена для створення мозаїчних дисплеїв (PixeLED Tile) з будь-яким розміром та форматом (рис. 3.17,б). Використання LED технології  $\mu$ -Pixel з кремнієвим чипом дозволила створювати проєкційні ВЗВІ (рис. 3.17,в) з надвисокою яскравістю і контрастністю, окуляри доповненої реальності тощо.

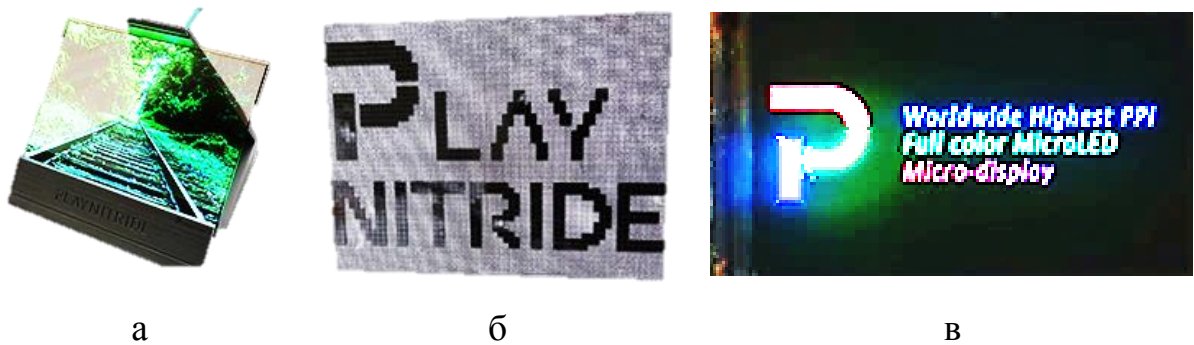


Рисунок 3.17 - MicroLED дисплеї компанії PlayNitride (Тайвань) [14]

Перспективною є матрична технологія microLED із застосуванням мікроскопічних неорганічних світлодіодів на підкладці, що світяться самі. Це світлодіоди субпікселів RGB на основі нітриду індію-галію, які мають розміри від 5 мкм. Дисплеї microLED не потребують підсвічування і кольорових фільтрів. За щільністю розміщення пікселів на площі екрану, яскравістю, контрастністю, часом відгуку та терміном служби вони значно перевершують екрани інших технологій. Модульність їх виробництва дозволяє створювати тонкі і гнучкі екрани будь-яких форм та розмірів.

Технологія microLED дозволила розробляти ВЗВІ у сфері доповненої реальності (Augmented Reality - AR), яка полягає в тому, щоб додати ще один віртуальний цифрований шар візуального зображення поверх реального зорового сприйняття оператором. Комбінування зображень може відбуватися напівпрозорими дзеркалами (Optical See-Through) або за допомогою відеокамер, що знімають реальність і передають відеосигнали для генерації зображення (Video See-Through) на дисплеї AR. Програмне забезпечення AR за певною розміткою або маркерами визначає, де буде розміщувати зображення, а також вибирає тип накладання зображень. Щоб зрозуміти, який саме об'єкт замінити або куди вставити картинку, програма розпізнає об'єкти і відстежує маркери. Тому розробники дисплеїв AR спочатку «вчать» систему бачити певні об'єкти. Для цього вони завантажують у його пам'ять бібліотеки з їхніми зображеннями у всіх ракурсах і програма розпізнає об'єкт за формою. Маркерами можуть бути роздруковані QR-коди на плоскості, де

потрібно відобразити віртуальний об'єкт. Камера захопить їх, а додаток ідентифікує місце їх розташування на екрані. Камера пристрою (наприклад, смартфона) також захоплює навколишній простір і передає його зображення на екран, поверх якого накладається віртуальне зображення доповненої реальності. Для реалізації технології AR використовуються дисплеї у вигляді шолому (Head Mounted Display - HMD), козирки або окуляри AR з датчиками, процесорами і програмним забезпеченням. Наприклад, компанія Sytecs пропонує дисплей AR промислового класу Zebra HD4000, який підключається до терміналу збору даних, завдяки чому не потребує акумулятора та додаткових налаштувань. Він оснащений камерою та вбудованим мікрофоном. Для забезпечення роботи мобільний комп'ютер синхронізується з дисплеєм AR та сканером (рис. 3.18) [15].



Рисунок 3.18 - Комплектація обладнання дисплея Zebra HD4000 [15]

Цей дисплей AR дозволяє оператору або робітнику швидко та безпомилково виконувати завдання (при цьому руки залишаються вільними); підказує розташування об'єктів та надає доступ до візуальної документації (креслень, фото, довідників); додає можливості консультацій з віддаленими експертами в режимі реального часу з трансляцією відео з камери на окуляри AR; попереджає про помилки при виконанні завдання, що автоматично підвищує ефективність роботи персоналу та зменшує ризики браку.

Сьогодні подібними ВЗВІ доповненої реальності вже користуються оператори БПЛА і пілоти літаків, архітектори і будівельники, терапевти і

хірурги, верстатники і складальники на конвеєрах тощо. Дисплеї AR є незамінними у сфері освіти і практичних тренінгів людей різних професій.

Вже відома технологія суміщеної реальності MR (Mixed Reality), яка дозволяє поєднувати цифрову і фізичну реальності у їх взаємодії. Вона поєднує технології віртуальної VR і доповненої AR реальностей і дозволяє оператору бачити, як можуть розташовуватися відносно один одного або взаємодіяти цифровані віртуальні і реальні об'єкти. Але ці цифрові технології створення зображень теж потребують мініатюрних дисплеїв для візуалізації інформації. Тому вчені вже працюють над створенням контактних лінз MR.

### 3.4. Різновиди технології і дисплеїв OLED

Дисплеї типу OLED (Organic Light Emitting Diode) з органічними світлодіодами будують з багатошарових струмопровідних люмінесцентних полімерів. Вони складаються з кольорового фільтра, світло випромінюючого шару, захисної плівки та розділового шару, сформованого на скляній або плівковій підкладці, заповненій поглиначем вологи з ущільнювальною пластиною. Шар випромінювання світла, в свою чергу, складається з шару перенесення електронів, світло випромінюючого шару (між електродами) та шару перенесення дірок (рис. 3.19). Коли до нього прикладена напруга, то OLED випромінює світло.

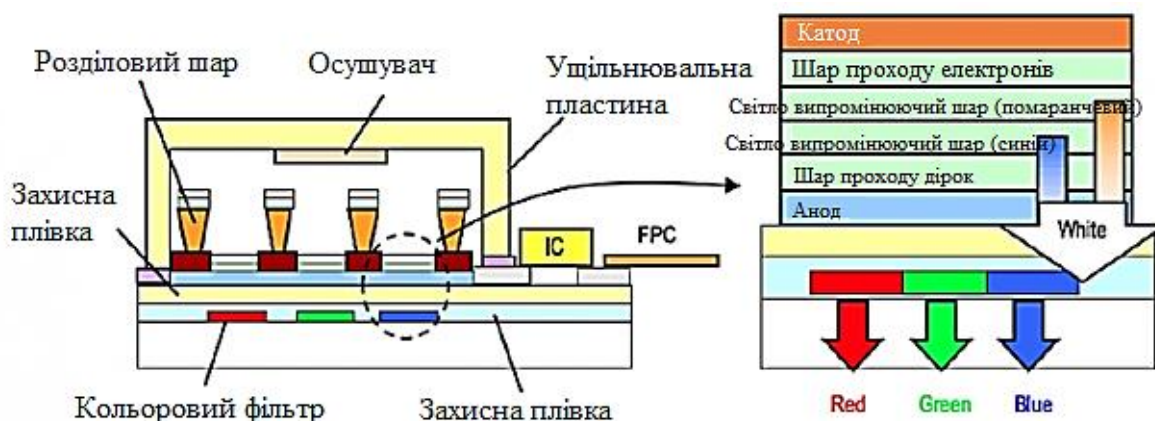


Рисунок 3.19 - Структура і принцип дії OLED дисплея [16]

Якщо на електроди OLED дисплея подається напруга, то електрони інжектуються з катода, а дірки - з анода. Коли електрони та дірки рекомбінують у світло випромінюючому шарі, органічні молекули переходять у збуджений стан із високою енергією. Існує два типи збуджених станів: синглетні та триплетні. Коли молекула повертається із збудженого стану в основний, надмірна енергія вивільняється у вигляді фотонів, тобто випромінюється світло. Флуоресценція відбувається в одноразово збудженому стані, а фосфоресценція в тричі збудженому стані. Фосфоресцентні матеріали мають найкращу люмінесцентну здатність, але поступаються флуоресцентним матеріалам за вартістю і терміном служби. Тому останні частіше використовуються в органічних світлодіодах. OLED є само випромінюючим дисплеєм, для якого не потрібен шар рідких кристалів або світлодіодне підсвічування (рис. 3.20). Він вдвічі тонше і легше звичайних LCD, споживає менше енергії.



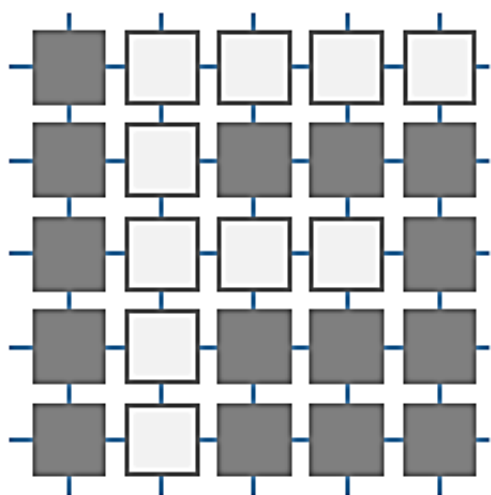
Рисунок 3.20 - Елементи конструкції дисплея OLED [16]

Пікселі OLED не випромінюють світло в чорній області кольору, тому вони відображають темніший чорний колір, ніж дисплеї інших технологій. Це забезпечує чітке зображення із високою контрастністю. Дисплеї OLED застосовуються у засобах вимірювань, які використовуються вночі або в темних приміщеннях. Вони випускаються двох типів: матричні і сегментні.

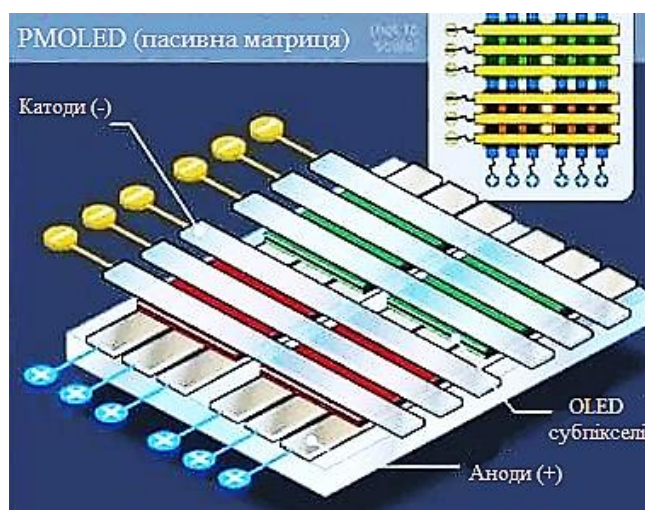
Точкові матричні модулі OLED в залежності від типу управління їх світінням поділяються на PMOLED (з пасивною матрицею - PM) та

AMOLED (з активною матрицею - AM). Їх електроди розташовані взаємно перпендикулярно у вигляді сітки, а пікселі розміщуються на їх перетинах.

В матрицях PMOLED з різним ступенем яскравості та тривалості залежно від параметрів напруги світиться той субпіксель, який знаходиться на перетині електродів з поданою напругою (рис. 3.21,а). Кожен субпіксель має індивідуальні катоди і аноди, які є електропровідними прозорими смужками (рис. 3.21,б). Адресація виконується контролерами. Оскільки при цьому типі управління немає засобів збереження заряду в пікселі, то стан кожного субпікселя контролюється циклічно.



а



б

Рисунок 3.21 - Схема управління світінням (а) і структура (б) PMOLED

Відносна простота і технологічність конструкції, низька вартість PMOLED обумовила їх застосування у якості сегментних символічних і алфавітно-цифрових дисплеїв у монохромних або кольорових версіях. Через обмежену довжину кабелів їх зазвичай випускають з діагоналлю приблизно до 2,5", а дисплеї до 5" зазвичай складають з кількох модулів. Дисплеї PMOLED оптимальні для приладів з низьким енергоспоживанням і використовуються як заміна вакуумних флуоресцентних дисплеїв (VFD). При зростанні розмірів цих екранів знижується їх яскравість. Тому для середніх і

великих поліхромних екранів перевага віддається більш вартісним AMOLED завдяки їх кращим фотометричним параметрам.

В дисплеях AMOLED до кожного пікселя підключені транзисторні перемикачі TFT (Thin Film Transistor - тонко плівкові транзистори) і конденсатори для зберігання заряду (рис. 3.22). Для кожної точки світла генерується необхідна напруга, тому кожен субпіксель можна вмикати та вимикати дуже точно. Дисплеї AMOLED працюють із набагато вищою частотою зміни зображень і відображають інформацію на більших екранах.

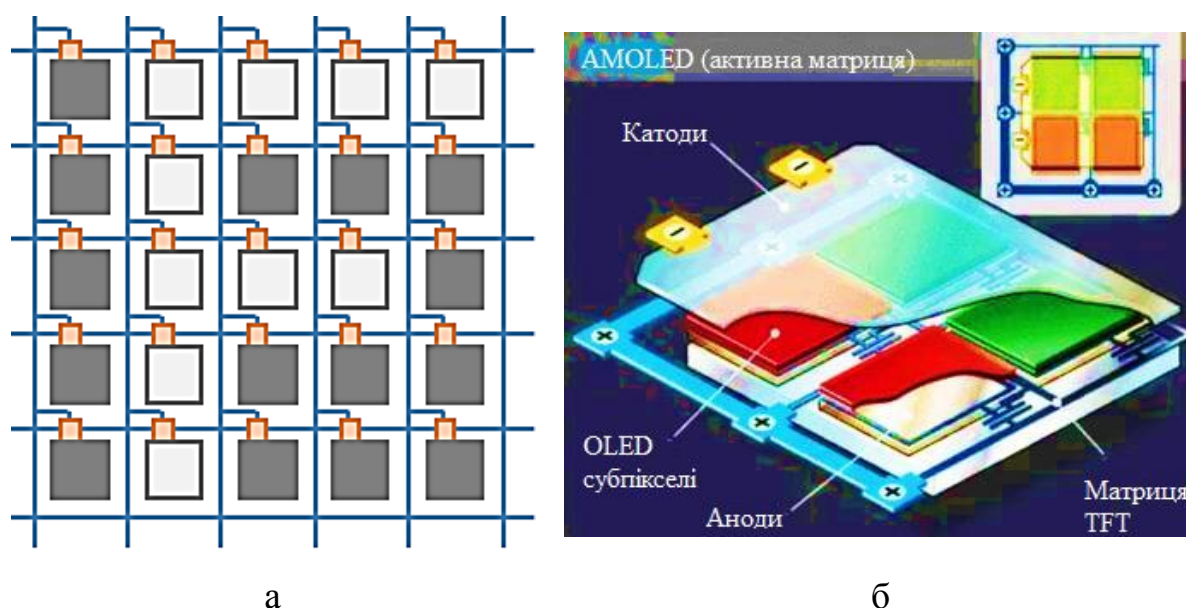


Рисунок 3.22 - Схема управління світінням (а) і структура (б) AMOLED

Взагалі OLED дисплеї мають широкі кути огляду (до  $175^\circ$ ), високу контрастність і швидкодію, тому є оптимальним вибором серед монохромних дисплеїв для приладів. В засобах вимірювань застосовуються монохромні (частіше білого або жовтого кольору) алфавітно-цифрові OLED індикатори розмірами екранів від 1" до 4", форматами від 8x2 до 40x2 знакових місць і висотою знаку від 2,8 мм (рис. 3.23) [17]. Вони випускаються модулями разом із драйверами за різними технологіями монтажу.

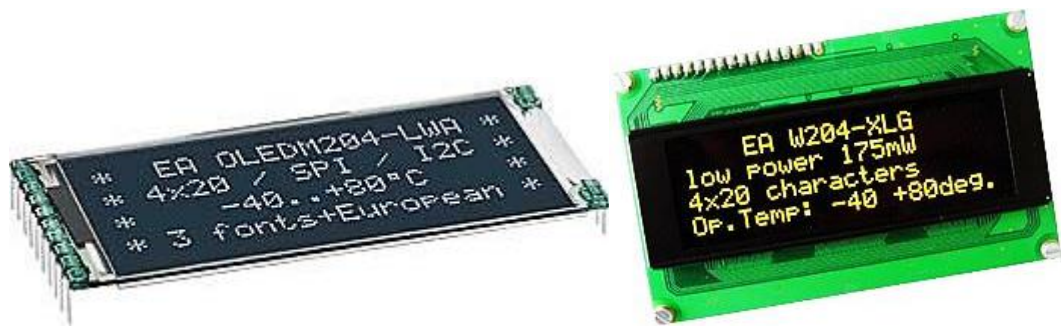


Рисунок 3.23 - Монохромні алфавітно-цифрові OLED індикатори Display Visions [17]

Графічні матричні OLED дисплеї для більшості засобів вимірювань мають стандартні розміри від 0,5" до 5,5" і відображають символну і графічну інформацію у форматах від 48x64 до 256x64 точок матриці з розмірами пікселів від 0,15 мм у різнокольорових і поліхромних версіях (рис. 3.24) [17, 18]. Вони можуть мати різні форми екранів (від прямокутної до круглої) і замінюють TFT LCD, оскільки краще відображають кольори.



Рисунок 3.24 - Модулі графічних OLED дисплеїв [17, 18]

У порівнянні з матричними, сегментні OLED індикатори більш обмежені у типах символів, які вони можуть відображати. Але їх перевагою є те, що вони плавно відображають вигнуті геометричні фігури та символи (рис. 3.25). В них сегменти мають окремі аноди, а їх включення/вимикання здійснюється за статичними схемами управління індикацією. Їх особливістю є те, що час подачі напруги на кожен окремий піксель є постійним, тому

яскравість може бути вищою, ніж у матричних ВЗВІ. Застосовуються вони у цифрових вимірювальних приладах.



Рисунок 3.25 - Сегментні OLED в мультиметрі Keysight 34450A (США) [19]

AMOLED екрани порівняно більших розмірів застосовуються у вимірювальних системах, на пультах систем управління у якості моніторів і багатофункціональних панелей операторів для візуалізації динамічної вимірювальної інформації, в тому числі і відео зображень. Багатошарова структура (рис. 3.26,а) і панельна конструкція (рис. 3.26,б) екранів майже не відрізняється від побудови менших за розмірами OLED дисплеїв.



Рисунок 3.26 - Структура (а) і панельна (б) конструкція OLED екрану

Удосконаленою модифікацією AMOLED став проект фірми Samsung під назвою «Super AMOLED». В цих дисплеях був усунений повітряний шар між матрицею і сенсорним екраном, що дозволило уникнути спотворення

зображень після зміщення осі погляду та покращати передачу кольорів, їх яскравість і контрастність. Однак ключовою перевагою дисплеїв AMOLED є те, що їх можна зробити гнучкими з товщиною в декілька міліметрів. Тому на основі активних матриць розроблена технологія виробництва гнучких екранів FOLED (Flexible OLED). Для цього використовують пластик у якості підкладки з одного боку, і AMOLED модуль в герметичній тонкій захисній плівці з іншого. FOLED екрани дуже тонкі, гнучкі і разом з цим міцні і довговічні, мають наднизьку вагу. Так, компанія SEL (Японія) створила перший у світі складений дисплей (Foldable Display<sup>®</sup>) з емнісною сенсорною панеллю, який витримує понад 100 000 згинань і дотиків (рис. 3.27) [20].

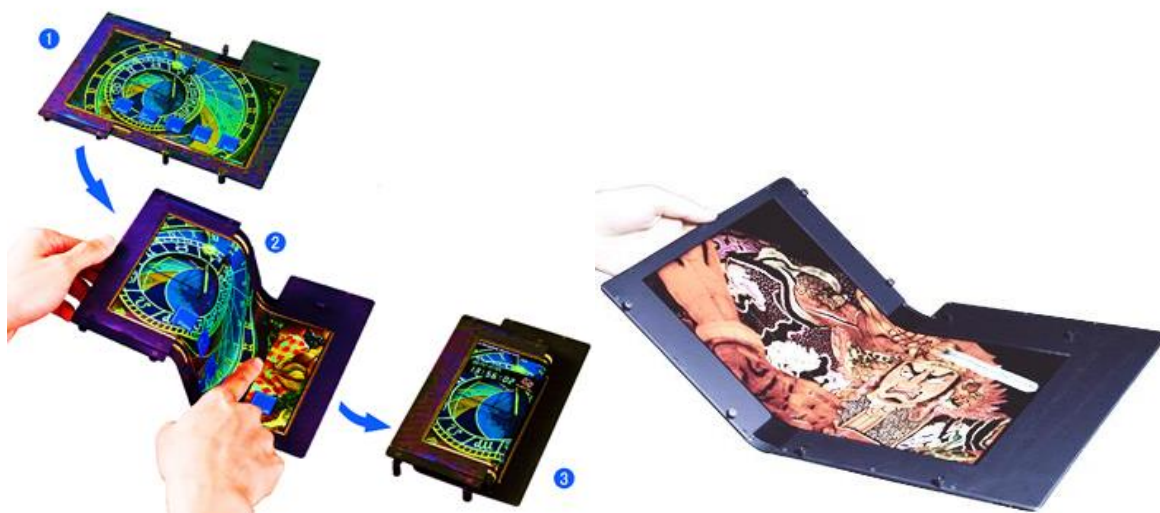


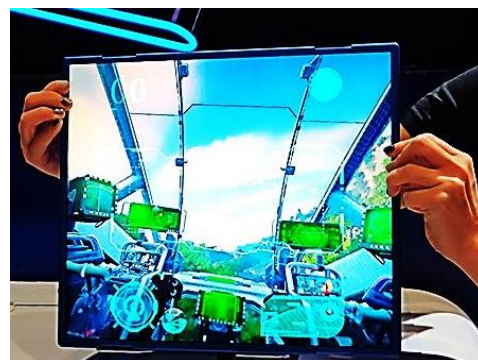
Рисунок 3.27 - Складені OLED дисплеї компанії SEL [20]

У 2023 році Samsung Display представила серію екранів Flex для мобільних ВЗВІ, які поєднують можливості їх складання та висування, а також розсувні панелі для збільшення розмірів екрану [21]. В слайдерних дисплеях Flex Hybrid складання і розкладання екрану до 10,5" (формату 4:3) застосовується до його лівого боку, а розширення до 12,4" (формату 16:10) шляхом розсування - до правої сторони (рис. 3.28,а). Інший портативний (13") дисплей серії Flex має дві концепції: Flex Slidable Solo з розширенням в одному напрямку, і Flex Slidable Duet з розширенням екрану в обох напрямках до 17,3"

(рис. 3.28,б). Звичайно, спочатку вони спрямовані на мобільні гаджети, але з часом подібні ВЗВІ мають успішне промислове впровадження.



а



б

Рисунок 3.28 - Дисплеї Flex з можливістю збільшення екрану [21]

Загальними перевагами OLED екранів є відсутність необхідності підсвічування; широкий діапазон регульованої яскравості і контрастності; точне відтворення кольорів; мала маса. Кути огляду в них досягають майже 180°. Недоліками OLED технології є поступова деградація пікселів при прямому попаданні сонячного світла і вихід з ладу люмінофорів синього кольору раніше люмінофорів інших кольорів. Однак це тимчасові труднощі становлення цієї технології, оскільки вже розроблені більш довговічні люмінофори. Потреба в перевагах, що демонструються OLED екранами, з кожним роком зростає і вони доволі успішно конкурують з LCD. Графічні дисплеї за цими технологіями стали переважними у вимірювальній техніці наукового, промислового, медичного, військового призначень, де часто не потрібні повно кольорові екрани, але потрібне чітке контрастне зображення. Наприклад, вони є в сучасних осцилографах, кардіографах, приладах нічного бачення, бортових комп'ютерах, GPS навігаторах тощо.

Розвиток технології OLED привів до появи нових її модифікацій для виробництва ВЗВІ, таких як PHOLED, TOLED, SOLED та багато інших.

У PHOLED (Phosphorescent OLED) матрицях робота пікселів ґрунтується на принципі електричної фосфоресценції для перетворення до

100 % електричної енергії у світло, коли традиційні флуоресцентні OLED перетворюють у світло лише близько 30% енергії. Завдяки їх надзвичайній енергоефективності екрани PHOLED можуть використовуватись не тільки для відображення інформації, але і для освітлення приміщень.

Прозорі світло випромінюючі пристрої за технологією TOLED (Transparent OLED) дозволяють створювати прозорі екрани. Напрямок випромінювання світла в них може бути лише вгору, вниз або в обидва напрями. Прозорість екрану досягається при використанні прозорих органічних елементів і матеріалів для виготовлення електродів. За рахунок використання поглинача світла з низьким коефіцієнтом віддзеркалення для підкладки екрану контраст може досягти більш високого рівня, що покращує відображення інформації при яскравому сонячному світлі. За технологією TOLED можна виготовляти багат шарові пристрої і гібридні матриці для подвоєння області зображення при тому ж розмірі екрану.

Екрани SOLED (Stacked OLED) називають складеними, тому що в їх архітектурі зображення підпікселів складається вертикально, на відміну від їх розташування поруч, як у LCD. В них світінням кожного підпікселя можна управляти незалежно. Колір і яскравість пікселя може регулюватись зміною струму (у монохромних дисплеях використовується модуляція ширини імпульсу). Перевагою SOLED екранів є висока щільність заповнення його органічними елементами відображення, за рахунок чого досягається висока роздільна здатність, а отже, і високоякісне зображення.

Відома технологія виготовлення мікродисплеїв Si-OLED, які будуються на кремнієвій підкладці. Так, Sony Semiconductor Solutions Group (SSS, Японія) синтезувала технологію OLED із технологією об'єднаної плати, яка має багат шарову структуру з прозорих електродів, шару OLED, кольорового фільтру (по технології On-Chip Color Filter - OCCF), покрити мікролінзами і залиту прозорим шаром смоли під скляним екраном (рис. 3.29) [22].

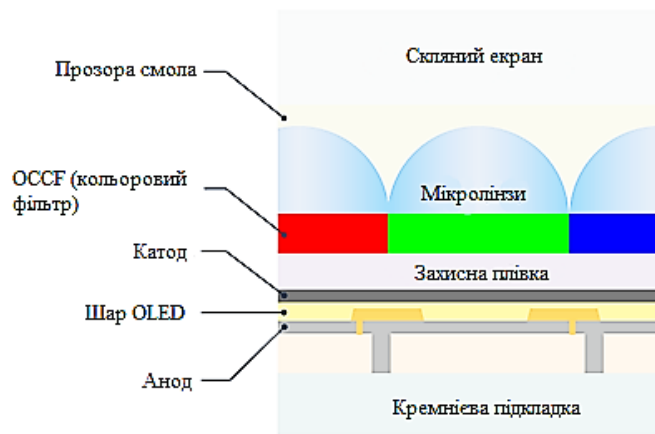


Рисунок 3.29 - Структура дисплею Si-OLED компанії SSS [22].

Завдяки такій структурі досягається надвисока якість зображення, роздільна здатність, контрастність, широка кольорова гама та швидкодія. Модельний ряд цих мікродисплеїв починається з діагоналі близько 0,2". Наприклад, компанія Blume Elektronik (ФРН) випускає мікродисплеї із популярною діагоналлю 0,83" і роздільною здатністю 2560x2560 пікселів, надвисокими значеннями контрастності до 500000:1, високою яскравістю (до 3000 кд/м<sup>2</sup>) і низьким енергоспоживанням [23]. Дисплеї Si-OLED використовуються в окулярах віртуальної і доповненої реальності, інфрачервоних камерах засобів неруйнівного контролю і діагностики тощо.

### 3.5. Квантові екранні технології QLED

Назва матричної технології QLED розшифровується як Quantum LED і походить від повної назви «Quantum Dot Light Emitting Diode», що в перекладі означає «світлодіод на квантових точках». Квантові точки невидимі для людського ока без оптичного збільшення, бо це крихітні напівпровідникові кристали, які випромінюють світло при збудженні їх зовнішнім світлом або електричними імпульсами. В телевізійному екрані їх трильйони. Структури квантових точок складаються з ядра, оболонки та лігандів (атомів або молекул, пов'язаних з іншим атомом-акцептором). Ліганди мають форму розгалужень і розташовані на поверхні оболонки квантової точки, чим допомагають підтримувати відстань між частинками.

У більшості QLED екранів використовується фотолюмінісцентна технологія, яка передбачає збудження світіння квантових точок додатковим світлодіодним підсвічуванням, наприклад високоенергетичним синім світлом (рис. 3.30). Формування кольорового зображення відбувається підсвічуванням ним кристалів неорганічних речовин з розмірами (1-10) нм, кожен з яких відображає чистий червоний, зелений і синій кольори з високою яскравістю. При цьому ядро поглинає та повторно випромінює світло, а шар оболонки, що оточує серцевину квантової точки, збільшує її термін служби та підвищує ефективність світіння. Але відомий і електролюмінісцентний спосіб, коли електричні імпульси подаються до кожного кристала, щоб він самостійно випромінював світло, не вимагаючи підсвічування ззовні.

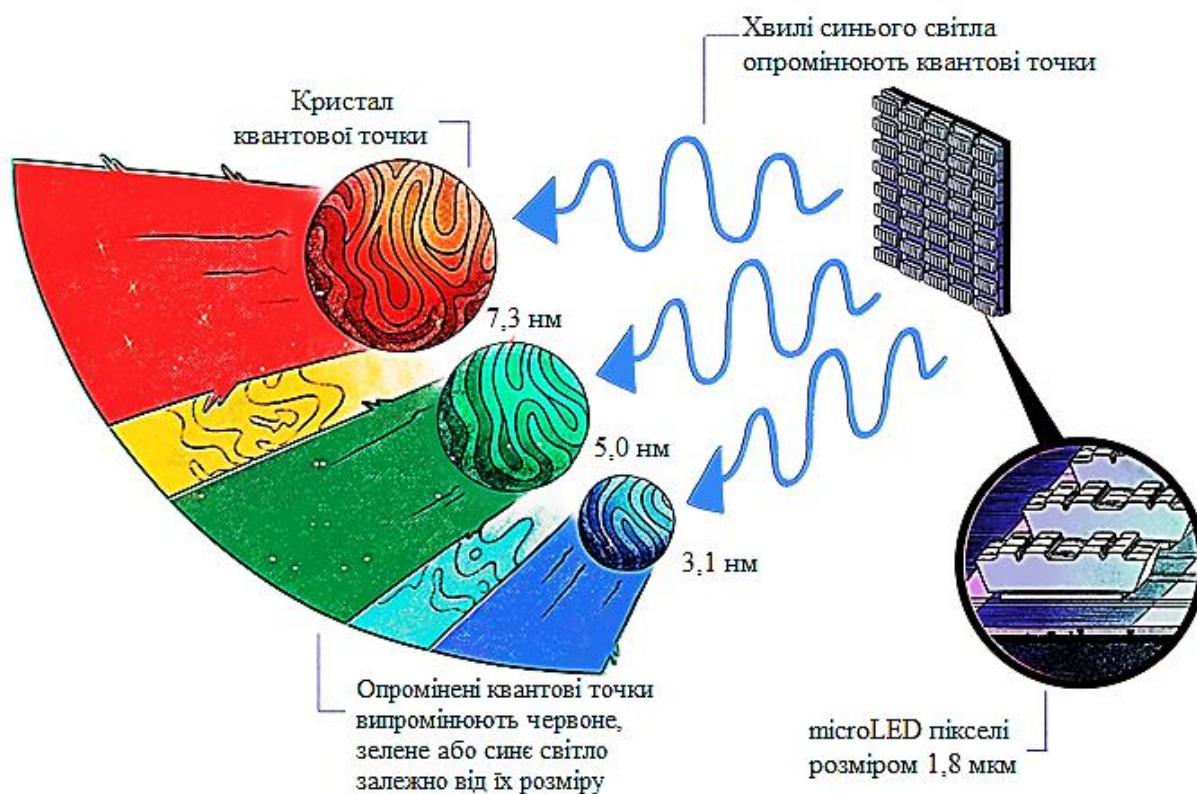


Рисунок 3.30 - Процес появи кольорового світіння квантових точок [24]

Зараз використовується одразу декілька технологій створення QLED екранів. Технологія QDEF передбачає підсвічування синіми світлодіодами та застосування плівки з квантовими точками, що випромінюють зелене та

червоне світло. Вони поєднуються з не поглиненим синім світлом, а результуюче випромінювання проходить через субпіксельний кольоровий фільтр. Технологія QDOG пов'язана з нанесенням квантових точок на тонке скло для зменшення габаритів екранів, а спосіб QDCF передбачає розміщення шару з квантовими точками замість кольорового фільтра.

Дисплеї на квантових точках споживають значно менше енергії, навіть ніж традиційні LCD. Іншими перевагами технології QLED є більш висока яскравість і контрастність, а також триваліший термін служби у порівнянні з OLED дисплеями. Розширити діапазон яскравості між темними і світлими ділянками зображення можна за допомогою технології HDR.

На ринку дисплейні продукти за технологією квантових точок можна ідентифікувати позначеннями QLED, QNED, Quantum, microLED (mini LED, nanoLED) тощо. Лідерами виробництва є компанії Nanosys і Samsung.

Перша заявляє про можливості виготовлення окремих листів з квантовими точками для застосування у різноманітних ВЗВІ і різке зниження їх собівартості. Це дасть можливість розповсюдження цієї технології і на промислові, наукові, медичні та інші застосування. Технології квантових точок Nanosys<sup>®</sup> забезпечують насичені реалістичні кольори, високу яскравість, необмежену гнучкість дизайну ВЗВІ та надають нові можливості розвитку технології microLED [24].

Друга (Samsung Display) працює над створенням поліхромних QLED дисплеїв надвисокої щільності з монолітно інтегрованими піксельними схемами TFT. Зокрема, в екранах лінійки 2023 року застосовується новий алгоритм оптимізації IntelliSense AI та новий матеріал OLED HyperEfficient EL, що покращує колірну яскравість кожного RGB. В результаті максимальна яскравість комбінованої колірної яскравості RGB стає більше 2000 кд/м<sup>2</sup>, що забезпечує чудову якість зображення. Технологія штучного інтелекту IntelliSense AI ґрунтується на зборі поточної інформації про кожен піксель в режимі реального часу та використання її для точного управління фотометричними характеристиками екрану. Крім того, ефективність джерела

світла підвищується за рахунок матеріалу HyperEfficient EL, нанесеного на синій випромінюючий шар QD-OLED. В результаті RGB світло, що проходить через шар перетворення кольору QD, стає набагато яскравішим, а кольори більш чіткими. Компанія оголосила, що екран QD-OLED 2023 року знизив енергоспоживання моделі попереднього року на 25 % за рахунок застосування високоефективних органічних матеріалів та досконалішої технології штучного інтелекту [21].

### **Контрольні запитання**

1. За рахунок чого у світлодіоді виникає видиме світіння?
2. Скільки сегментів можуть мати сегментні LED індикатори?
3. Що можуть відображати матричні LED індикатори?
4. Чим відрізняються світлодіоди DIP від SMD?
5. Що таке «пітч» і що він визначає?
6. В чому різниця між світлодіодним кластером і матрицею?
7. В чому суть технології microLED і для чого вона застосовується?
8. В чому особливість дисплеїв OLED?
9. Які переваги у дисплеїв PMOLED і AMOLED?
10. Яким чином створюється зображення на QLED екранах?

## 4. РІДКОКРИСТАЛІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ І ЗАСОБИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ

### 4.1. Технології візуалізації рідкими кристалами

Для створення зображення в рідкокристалічному індикаторі (РКІ) використовується явище електрооптичного ефекту в рідкому кристалі (РК). РКІ не генерують світло, а тільки управляють його проходженням, тому вони є пасивними індикаторами з малою споживаною потужністю. Слід відмітити, що рідкокристалічні ВЗВІ у міжнародній практиці прийнято позначати як LCD (Liquid Crystal Display - рідкокристалічний дисплей).

Рідкі кристали є анізотропною рідиною, яка змінює орієнтації молекул із зміною її оптичних властивостей під дією електричних або магнітних полів, механічних дій. Тип їх матеріалу визначає контраст, кут огляду та діапазон робочих температур РКІ. За характером взаємної орієнтації молекул розрізняють три типи РК - нематичні, холестеричні та смектичні.

Перші два типи застосовуються в РКІ завдяки зміні прозорості РК в електричних полях. Нематичні РК мають хаотичне розташування молекул і непрозорі для світла до тих пір, поки в осередку РКІ немає електричного поля. Вони розповсюджені в монохромних РКІ і чорно-білих дисплеях. Холестеричні РК під впливом електричного поля формують шари, в яких молекули зміщені на однакові кути у просторі. За наявності джерела білого світла цей ефект дозволяє отримувати кольорове зображення на дисплеї. Смектичні РК через свою високу в'язкість не знайшли застосування в РКІ.

Електрооптичні ефекти можуть викликатися електричною провідністю РК і польовим ефектом за рахунок слабкого електричного поля (для цього не потрібний струм). З електрооптичних ефектів, обумовлених провідністю, найбільше застосування в індикаторах знайшло динамічне розсіювання світла, а з польових ефектів - скручування нематичної фази рідкого кристала.

В індикатори з динамічним розсіюванням світла під дією електричного поля вноситься невелика добавка іонних сполук (електроліту). За відсутності напруги орієнтація витягнутих молекул РК впорядкована і вони

розташовуються перпендикулярно площинам обох електродів РКІ (рис. 4.1,а). Під дією електричного поля структура РК порушується і хаотичний рух молекул змінює їх орієнтації (рис. 4.1,б), тому вони розсіюють світло, РК втрачає прозорість і колір його стає контрастним на фоні екрана індикатора. При знятті напруги молекули РК повертаються в початковий стан орієнтації і його прозорість відновлюється. Цей електрооптичний ефект називається динамічним розсіянням.

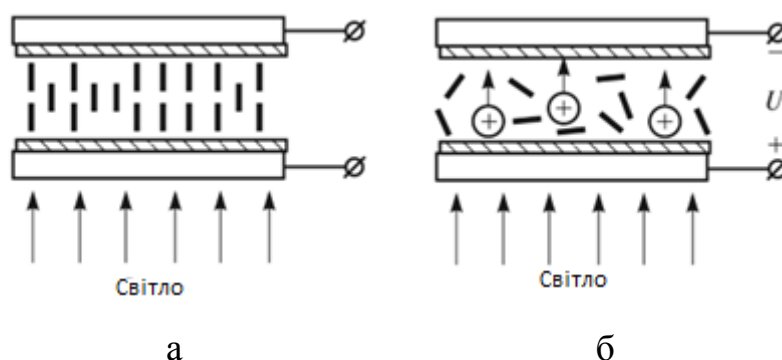


Рисунок 4.1 - Орієнтація молекул РК при відсутності напруги (а) і її дії (б)

В індикаторах із скручуванням нематичних РК при віддаленні від одного електрода до іншого кут повороту молекул збільшується і досягає  $90^\circ$  (рис. 4.2,а). Це явище обертання поляризованого світла тонким (менше 20 мкм) шаром РК отримало назву «твіст-ефект». Скручування РК або блокує проходження світла через РК комірку, або пропускає світло, залежно від прикладеної напруги. Воно зникає при дії на цей шар електричного поля. Технологія TN (Twisted Nematic - скручений нематик) застосована для побудови осередків РКІ, які складаються з тонкого шару РК між скляними пластинами, горизонтального і вертикального поляризаційних фільтрів (поляризаторів), кольорових світлофільтрів (рис. 4.2,б). Індикатори TN можуть бути нормально білими (NW), якщо вони мають два ортогональних лінійних поляризатори, або нормально чорними (NB), якщо в них лінійні

поляризатори паралельні. Назва «нормально» відноситься до кольору фону екрану при відсутності напруги.

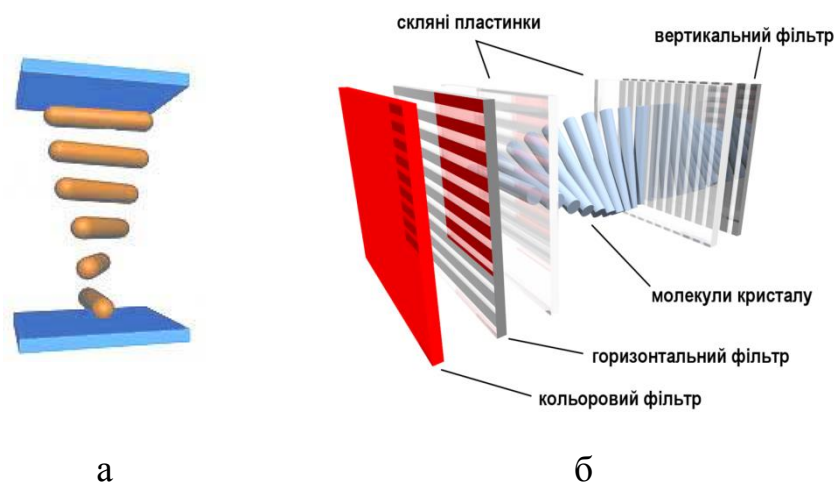


Рисунок 4.2 - Твіст ефект (а) в осередку РКІ (б)

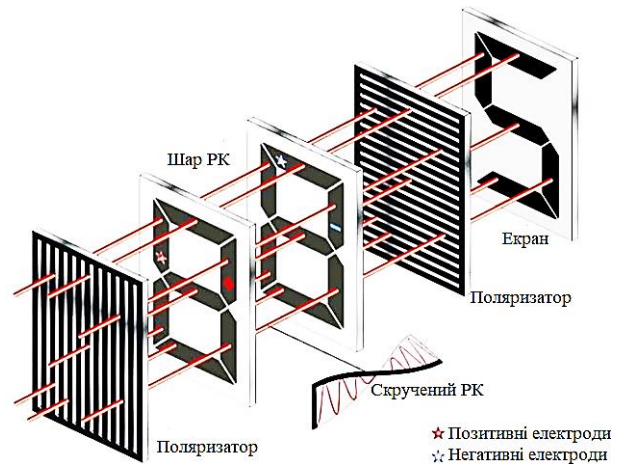
Одним із способів створення такої орієнтації молекул є полірування внутрішніх поверхонь скляних пластин в одному напрямку і потім встановлення їх з поворотом на  $90^\circ$  відносно один одного. В РКІ з пропусканням світла на зовнішні поверхні скляних пластин наносять поляризаційні плівки. Індикатори TN можуть бути нормально білими (NW), якщо вони мають два ортогональних лінійних поляризатори, або нормально чорними (NB), якщо в них лінійні поляризатори паралельні. Назва «нормально» відноситься до кольору фону екрану при відсутності напруги.

Різновидом технології TN є спосіб HTN (Hyper Twisted Nematic), ґрунтований на поверненні нематичних РК задля збільшення контрасту зображення трохи більше ніж на  $90^\circ$ , але менше ніж на  $180^\circ$ .

Принципово електрооптичний ефект в РКІ може створюватись віддзеркаленням (рис. 4.3,а) або пропусканням (рис. 4.3,б) світла. Для цього вони потребують достатнього зовнішнього освітлення або підсвічування додатковим джерелом світла. В РКІ з віддзеркаленням світла за другим поляризатором розміщують дзеркало (рефлектор).



а



б

Рисунок 4.3 - Основні способи формування зображення в РКІ

Рідкі кристали виступають у якості провідників світла. Поляризатори мають мікроскопічні прорізи із взаємно перпендикулярними напрямками, завдяки яким за відсутності електричного поля розташування молекул РК має спіралеподібний (Twisted Nematic) вигляд (рис. 4.2,а), але він є нечітко структурованим. Тому РКІ пропускають світло через світлофільтри і мають світлий (білий) фон. При появі поля кристали шикуються в ряди перпендикулярно світлофільтрам і осередок не пропускає світло, тому він має темний (чорний) фон. Технологія TN є простою і найдешевшою завдяки масовому виробництву рідкокристалічних індикаторів і дисплеїв, особливо монохромних. Цей тип РК індикаторних модулів (рис. 4.4,а) виробники часто називають «Теннесі» (від перших букв TN). Їх перевагами є доволі висока яскравість, швидкодія і енергоефективність; використання різних видів підсвічування. Недоліками є невисока контрастність і обмежені кути огляду по вертикалі через особливості світлофільтрів. Слід зазначити, що для РКІ багатьох приладів вони не є суттєвими.

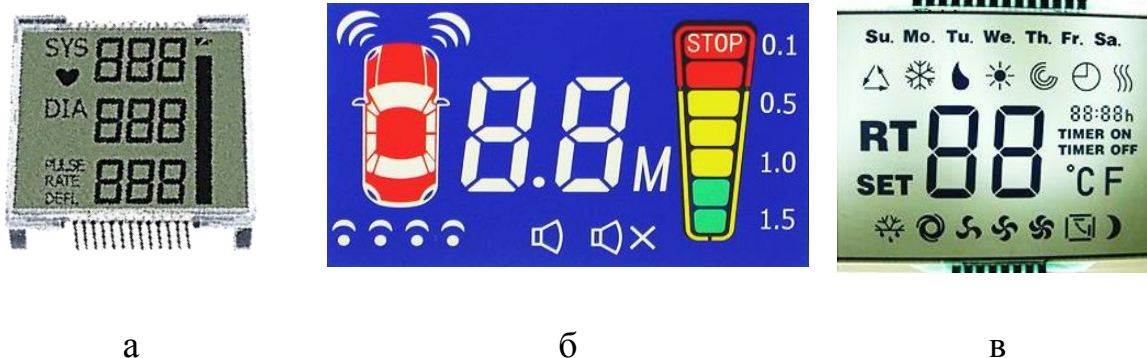


Рисунок 4.4 - РКІ компанії Blaze Display Technology (Китай) за технологіями TN (а), STN (б) і FSTN (в) [25]

Ці недоліки усуває наступна технологія STN (Super Twisted Nematic), яка дозволила збільшити кут скручування нематичних РК до  $270^\circ$  для різкого зменшення різниці напруги між увімкненими та вимкненими пікселями, що дозволяє здійснити адресацію рядків без активної матриці і забезпечує кращу контрастність і кути огляду із збільшенням розмірів інформаційного поля РКІ (рис. 4.4,б). ВЗВІ з поворотом TN від  $210^\circ$  до  $270^\circ$  називають STN дисплеями. Але збільшення роздільної здатності, а відповідно і контрастності дисплеїв STN, приводить до зміни контрастних кольорів монохромних дисплеїв з чорно-білих на жовто-чорні або синьо-білі.

Контрастне кольорове зображення дисплеїв STN обумовлене ефектом двопроменевого заломлення світла. Але використання його в протилежних напрямках може привести до його компенсації. Спочатку це було зроблено суміщенням двох осередків STN. Така технологія формування STN осередків РКІ у пари отримала назву DSTN (Double Super Twisted Nematic). В цій конструкції кожен двошаровий DSTN осередок складається з двох осередків STN, молекули яких під час роботи повертаються в протилежні боки. Контрастність і роздільна здатність DSTN осередків досить висока, що дозволяє виготовляти кольорові індикатори і дисплеї, в яких на кожен піксель припадає по три РК осередки і світлофільтри основних кольорів. Але вони виявилися товщими та дорожчими за звичайні STN. Вирішення цієї

проблеми досягнуто нанесенням шару плівки на осередок STN замість його другого осередку, який до цього і компенсує колірні зсуви від синього на зелений до чорного на білий, а також розширює кути огляду ВЗВІ (рис. 4.4,в). Ця технологія називається STN+film (або FSTN). Удосконалена технологія TSTN (Triple Super Twisted Nematic) основана на додаванні до STN осередків двох тонких шарів полімерної плівки. Вона ще називається FFSTN і застосовується для підвищення якості монохромних і кольорових зображень LCD, які розповсюджені у недорогих промислових і медичних приладах, де не потрібна висока роздільність здатність і поліхромність.

Іншим вдосконаленням технології TN є спосіб розширення кутів огляду LCD, який отримав назву WVTN (Wide View Twisted Nematic) [26]. Тут використовується тонкий шар TN, який полімеризується в одну плівку і замінює багато шарів полімерних плівок у попередніх технологіях.

Японська компанія Tianma Microelectronics пропонує технологію Super Fine TFT (SFT) з прикладанням електричного поля паралельно поверхні, тому молекули РК також розміщуються паралельно (рис. 4.5,а), на відміну від попередніх технологій, де воно прикладається до осередків у напрямку, перпендикулярному поверхні панелі. Цим досягається значно більший кут (до  $178^\circ$ ) огляду LCD без істотної зміни яскравості або кольору (рис. 4.5,б) у порівнянні із попередніми технологіями (рис. 4.5,в) [27].

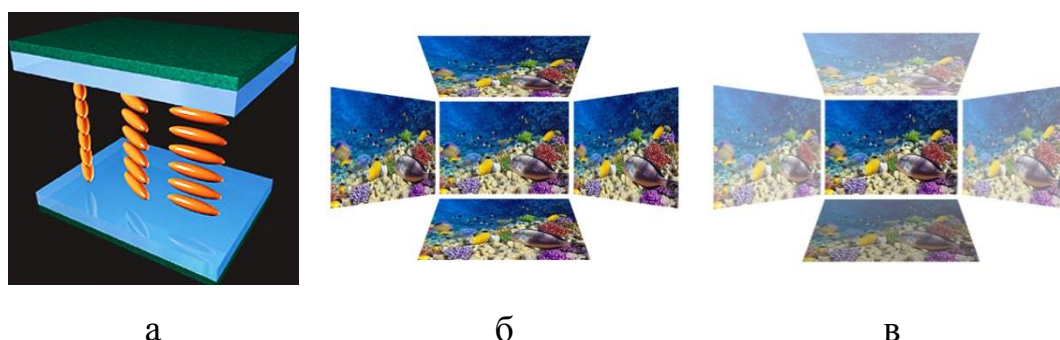


Рисунок 4.5 - РК в дисплеях SFT (а), якість зображень в дисплеях SFT (б) і STN (в) при різних кутах огляду [27].

Технологія IPS (In-Plane Switching) японських компаній NEC і Hitachi є так званим способом «перемикання в площині» і ґрунтується на розміщенні кристалів в одній площині паралельно поверхні панелі (рис. 4.6). Вона одночасно є технологією створення відображення і технологією матричного управління ним. Матриці IPS дозволили забезпечити високу кольорову передачу і контрастність зображень при максимальних кутах огляду дисплеїв. Удосконалення IPS матриць привело до появи маси нових назв її різновидів, які застосовуються, в основному, в моніторах для високоякісного графічного поліхромного відображення динамічних процесів і відеосигналів.

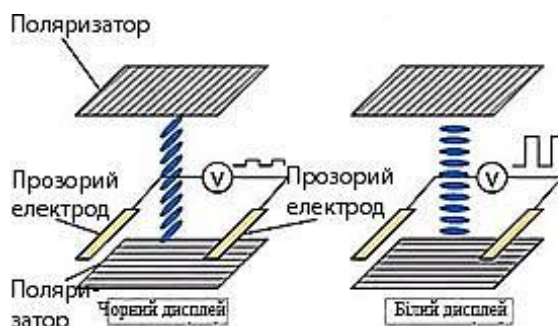


Рисунок 4.6 - Зміна орієнтацій РК в дисплеях IPS [28]

Серйозним недоліком LCD при яскравому сонячному освітленні або ультрафіолетовому випромінюванні (як у приміщеннях, так і зовні) є перетворення їх екранів майже в чорний колір і неможливість зчитування оператором інформації. Для зменшення або усунення цього недоліку їх виробники застосовують пасивні і активні заходи і засоби. Найпоширенішим способом покращення відображення звичайних LCD є впровадження пасивних заходів, таких як спеціальні покриття і узгодження оптичних трактів. Так, компанія AbrahSys використовує проти відблисків покриття задніх і передніх скляних поверхонь LCD, напівпрозорі плівки для поліпшення внутрішнього підсвічування та інше (рис. 4.7) [29]. Такі оптичні покриття розсіюють відбиття променів сонця та зменшують відблиски.

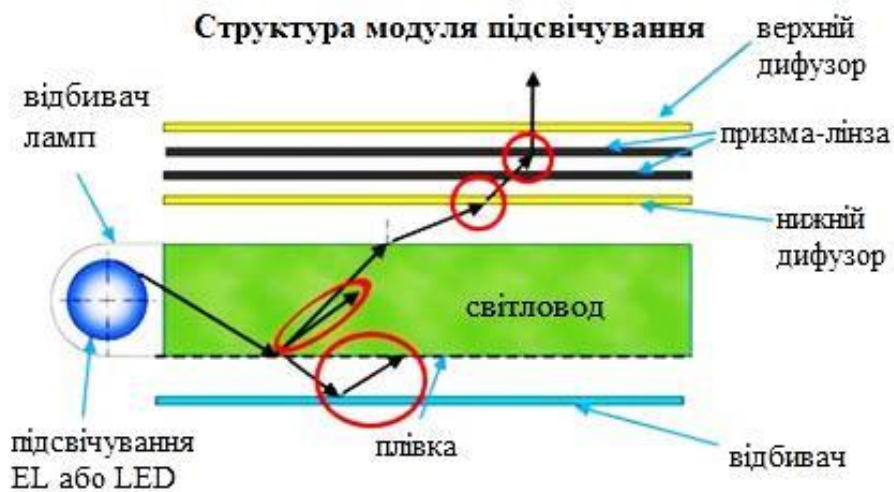
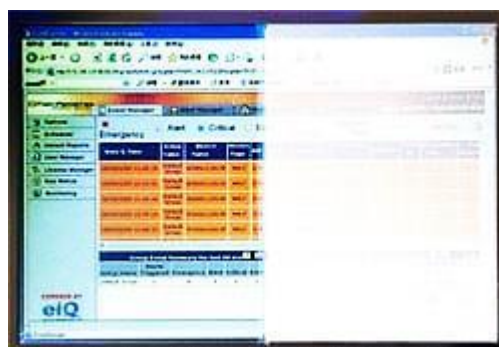


Рисунок 4.7 - Формування зображення в LCD AbraxSys [29]

Активним заходом є адаптація всіх елементів модуля підсвічування фірми AbraxSys до показника заломлення світлового потоку для зменшення віддзеркалення сонячного світла (рис. 4.7). Цим досягається підвищення коефіцієнту контрастності і покращання видимості при яскравих умовах освітлення LCD. Результатом є дисплеї з яскравістю понад  $1000 \text{ кд/м}^2$  (рис. 4.8,а). У порівнянні із звичайним LCD (рис. 4.8,б) вони зберігають звичайне контрастне і яскраве зображення на сонці.



а б

Рисунок 4.8 - Порівняння зображень екранів LCD AbraxSys (а) і звичайного LCD (б) при сонячному світлі [29]

До цього не збільшується енергоспоживання LCD і не виділяється тепло від економного світлодіодного підсвічування. Це дуже важливо для

засобів вимірювання з автономним живленням. Ці технології максимально збільшують термін служби LCD (до 70000 годин), забезпечують більш високу продуктивність процесора та розширюють діапазон їх робочих температур (від  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) [29].

Для засобів вимірювальної техніки з автономним живленням, в яких швидкість оновлення вимірювальної інформації не є критичним фактором, важливою є РК технологія ZBD [30]. Зенітальні РК елементи з двома стійкими станами (ZBD) здатні зберігати свою орієнтацію без дії зовнішнього електричного поля. Ця бістабільність стану РК є важливою для зберігання відображення інформації певний час і забезпечує мінімальну витрату енергії на оновлення зображення. Принцип роботи такого LCD заснований на тому, що кристали можуть знаходитись в одному з двох положень - «чорному» або «білому». Живлення LCD потрібно лише для зміни стану РК на протилежне. В технології ZBD використовуються нематичні РК з пасивною матрицею. Поляризатором є мікроскопічна дифракційна решітка з ґратчастими канавками (рис. 4.9).

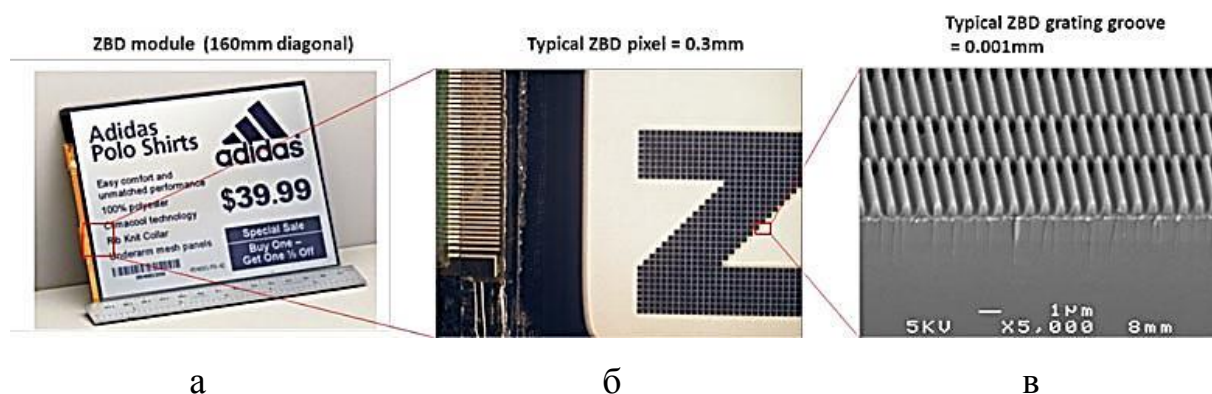


Рисунок 4.9 - ZBD LCD (а), його пікселі (б) і дифракційна решітка (в) [30]

Її поверхню обробляють так, щоби змусити орієнтацію РК бути перпендикулярною до локального напрямку поверхні (рис. 4.10). Це створює вигин та спотворення в шарах РК всередині та поблизу канавок. Таким чином, мікроскопічна поверхнева решітка оптимальних розмірів та хімічного

складу забезпечує два стабільні кути попереднього нахилу (зазвичай  $90^\circ$  і  $5^\circ$ ) до сусіднього РК. У найбільш поширеній конфігурації LCD ZBD грати розміщуються навпроти натертої полімерної поверхні так, що стан решітки з малим нахилом створює розташування кристалів TN під кутом  $90^\circ$ , а стан з великим нахилом призводить до розташування гібридно орієнтованого нематика HAN (рис. 4.10). Передній та задній поляризатори розташовані таким чином, щоби стан кристалів TN був білим, а стан HAN був чорним.

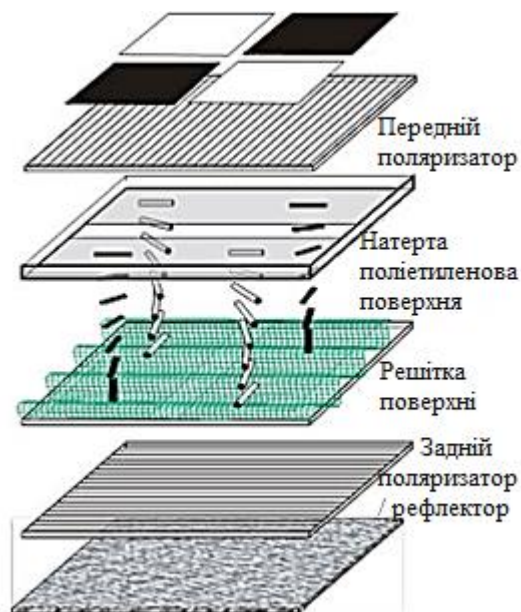


Рисунок 4.10 - Конструкція і принцип дії LCD ZBD [30]

Для забезпечення пасивної матричної адресації потрібні як бістабільність, так і гранична напруга. На відміну від STN дисплеїв з пасивною матрицею, в яких максимальна адресація не перевищує 256 рядків, в LCD ZBD можна адресувати багато тисяч рядків. Практична верхня межа складності відображення в них обмежується питомим опором електродів та вартістю драйвера, а не самою технологією відображення. Технологія ZBD забезпечує високу роздільну здатність з широкими кутами огляду в умовах яскравого освітлення і є енергоефективною (ці ЗВІ навіть називають «екранами з нульовою потужністю»). Такі дисплеї працюють в широкому

діапазоні температур, мають довготривалу стабільність, низьку собівартість. Провідним виробником LCD ZBD є корпорація New Vision Display (Китай).

Найбільш досконала сучасна технологія створення чіткого і яскравого зображення в LCD застосована у VATN дисплеях (Vertically Aligned Twisted Nematic - вертикально орієнтовані скручені РК). Ця рідкокристалічна технологія ґрунтується на вертикальній орієнтації молекул РК у відсутності електричного поля, що дозволяє досягти яскравих кольорових зображень на максимально чорному фоні екрану ВЗВІ. При подачі напруги РК повертаються і пропускають світло між собою, що створює зображення на екрані LCD (рис. 4.11,а). Порівняння технологій створення негативного (VATN) і позитивного (TN) зображень проілюстровано на рис. 4.11 [31].

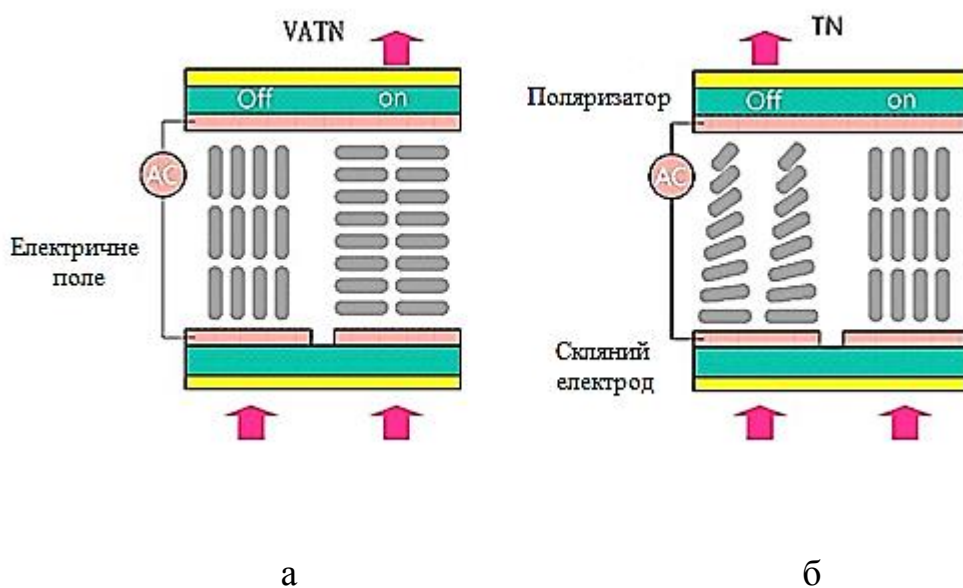


Рисунок 4.11 - Створення зображень в LCD VATN (а) і TN (б) [31]

Із збільшенням куту повороту РК роздільна здатність LCD різко підвищується, тому на фоні чорного екрану досягається висока контрастність (понад 100:1) і яскравість зображення внаслідок світлової проникності нижче 1% завдяки вертикальному розташуванню кристалів. В них суттєво збільшуються кути огляду (до 170° по горизонталі і 110° по вертикалі) у порівнянні з LCD зворотного контрасту, виконаними за технологіями TN,

STN і FSTN, тому що в них кристали не орієнтовані повністю вертикально. Ці властивості LCD VATN є важливими для роботи із засобами вимірювання в умовах змінної і слабкої освітленості (рис. 4.12).



Рисунок 4.12 - Індикатор VATN фірми Blaze Display Technology (Китай) [25]

Перевагою такого розташування РК є дуже темний (чорний) екран із найменшим витоком світла. Це дозволяє створювати дисплеї з чорною маскою та монохромними знаками і символами відображення, причому кожен елемент відображення (або піктограма) може мати лише свій призначений колір. Іноді ці дисплеї називають дисплеями PMVA, щоби відрізнити їх від дисплеїв VA, які використовують активну матрицю.

Технології MVA («Multi-domain» VA) і PVA («Patterned» VA) є торговими марками фірм Fujitsu і Samsung відповідно. Вони удосконалюють технології VATN для усунення зсувів кольорів та інверсії контрасту при малих кутах огляду. В них кожен субпіксель кольорів поділяється на зони (домени) з різним напрямом руху молекул при подачі напруги. Технологія MVA забезпечує це завдяки виступам на внутрішніх поверхнях дисплея, а в PVA використовується тонкий малюнок електродів на обох підкладках. Версією технології MVA є запатентована фірмою Sharp технологія ASV (Advanced Super View - розширене найкраще відображення). Це спосіб вертикального вирівнювання РК з перемиканням їх в радіальних напрямках навколо центру пікселя.

LCD для засобів вимірювальної техніки випускаються за основними технологіями відображення STN, FSTN, CSTN (кольоровий STN), ESTN (розширений STN), VATN. Вони постійно удосконалюються.

В роботі рідкокристалічних ВЗВІ важливе значення мають способи формування світлового відображення (режими роботи поляризатора): відбивний («Reflective», рис. 4.13,а), прозорий («Transmissive», рис. 4.13,б) і прозоро-відбивний («Transflective», рис. 4.13,в). За цими ознаками модулі LCD отримують свої міжнародні назви і технологічну класифікацію.

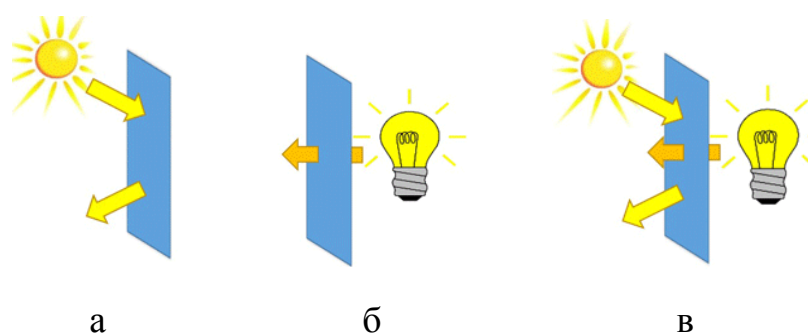


Рисунок 4.13 - Способи формування світлового відображення РКІ

У відбивні («Reflective») LCD зовнішнє світло потрапляє тільки після проходження лівого поляризатора (ЛП). Якщо на сегменти С не подана напруга, то світло після повороту вектору поляризації на  $90^\circ$  проходить через правий поляризатор (ПП) і відбивається рефлектором Р (дзеркальними покриттями їх задніх пластин, рис. 4.14,а). При зворотному проході світло знову обертається на  $90^\circ$  в шарі РК і виходить назовні. В сегментах, на які подано напругу, РК не обертає вектор поляризації, тому промені світла затримуються ПП (рис. 4.14,б). При достатньому зовнішньому освітленні темні сегменти видні на світлому фоні (прямий контраст). Відбивні LCD енергоєфективні, але лише при достатньому зовнішньому освітленні. Для роботи в темних умовах вони потребують внутрішнього підсвічування. Тому виробники додають в ці індикатори джерела підсвічування, які можуть вмикатися автоматично в темних умовах.

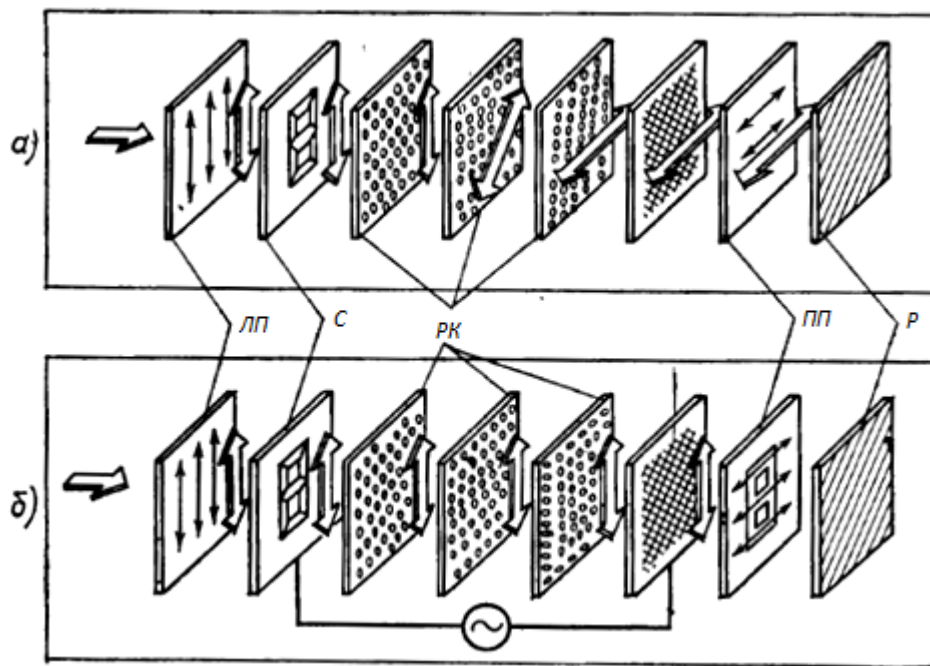


Рисунок 4.14 - Відбивний РКІ без напруги (а) і під напругою (б)

Прозорі («Transmissive») РКІ призначені для умов слабого освітлення, тому вони мають додаткове (LED або EL) джерело світла, розташоване позаду одного з поляризаторів. Їх не рекомендується використовувати при прямому сонячному світлі. Вони мають негативний контраст відображення.

Головним відмінним компонентом прозоро-відбивних («Transflective») РКІ є полімерна плівка (трансфлексор), яка одночасно частково відбиває світло, що падає спереду, і пропускає світло, що йде ззаду. Ці індикатори і дисплеї з позитивним контрастом відображають за всіх умов освітлення.

Для захисту від відбитків пальців (AF), відбиття (AR) і відблисків (AG) зовнішнього яскравого світла екран дисплею покривається багат шаровою плівковою структурою (рис. 4.15,а), наприклад за анти рефлексорною технологією (ART) корпорації AUO (Тайвань) [32]. Цим досягають зміни напрямку відбитого світла і його розсіювання, що робить його непомітним для людського ока та усувають проблеми, що спричиняють погіршення читання та втому очей. Але застосування таких покриттів екранів приводить до зменшення контрасту зображення, тому цьому запобігає ввімкнене

яскраве підсвічування (рис. 4.15,б). В темних умовах воно єдине забезпечує надійне відображення (рис. 4.15,в). При слабкому освітленні дисплею підсвічування може автоматично вмикатись, а при сильному яскравому - вимикатись. Тому прозоро-відбивні («Transflective») РКІ є найбільш універсальними.

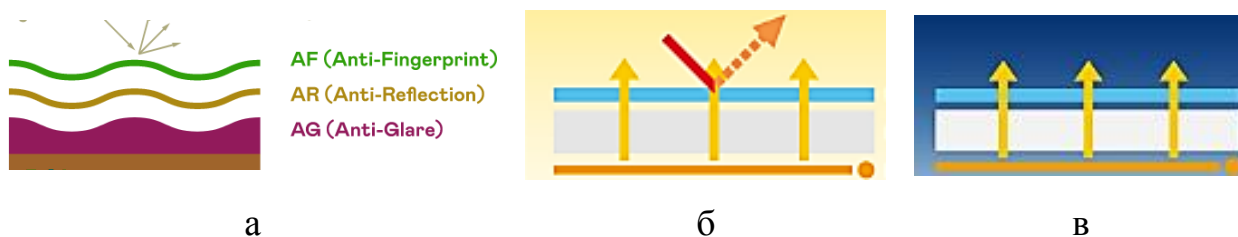


Рисунок 4.15 - Багатошарове плівкове покриття екрану (а), світлове відображення Transflective LCD з увімкненим підсвічуванням при яскравому (б) і слабкому (в) освітленні [32, 27]

Для цього в РКІ застосовуються електролюмінісцентний (EL) і світлодіодний (LED) види підсвічування. Перший застосовується найчастіше завдяки тонкій конструкції, яка розміщується між скляною пластиною і друкованою платою майже без зміни розмірів модуля LCD. Більшість дисплеїв із позитивним контрастом мають зелено-блакитні EL елементи, а в дисплеях із негативним контрастом зазвичай застосовуються білі. Слід мати на увазі, що із збільшенням їх яскравості скорочується термін служби елементів. Світлодіодне підсвічування порівняно більш довгострокове, але застосування LED призводить до більшого енергоспоживання та підвищення розмірів модуля. Тому його не рекомендується використовувати у ВЗВІ з постійно увімкненим підсвічуванням, якщо у приладу акумуляторне живлення. У порівняно більших моніторах застосовуються 2 способи LED підсвічування: з країв екранів («Edge») і по всій їх площі («Direct»).

## 4.2. Сегментні індикатори

У вимірювальних приладах масово використовуються 7-сегментні алфавітно-цифрові РКІ. Вони складаються з передньої прозорої пластини 1 з прозорими електродами 2 РК сегментів (а-ф) і їх виводами 3 (рис. 4.16,б); шару герметика 5 і задньої пластини 6 із загальним електродом 7 з його виводом 4 (рис. 4.16,а). При подачі напруги між електродами 7 і обраного сегменту 2 колір останніх змінюється на контрасті із фоном РКІ. При формуванні зображення способом підсвічування електрод 7 виконується прозорим (тип РКІ - «Transmissive») або напівпрозорим («Transflective»), а при способі відбиття світла - дзеркальним («Reflective»). Прикладом відбивного (Reflective) 7-сегментного модуля є 4-х розрядний РКІ типу DE 119-RS-20/6,35 з фіксованими знаковими місцями німецького виробника Display Electronics GmbH (рис. 4.16,в) [33]. Майже аналогічні модулі цієї ж серії DE 119-TS-20/6,35 і DE 119-MS-20/7,5/N випускаються прозоро-відбивного (Transflective) і прозорого (Transmissive) типів відповідно [33].

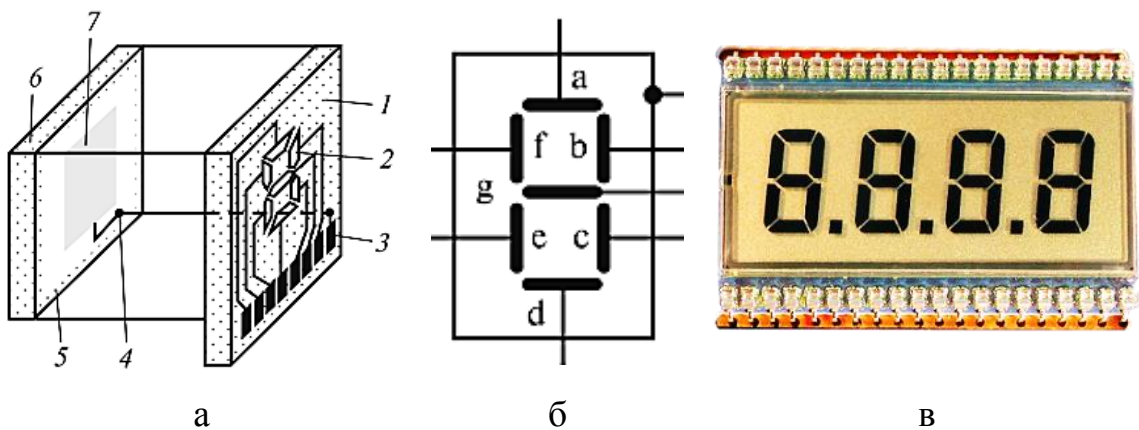


Рисунок 4.16 - Конструкція (а), схема підключення сегментів (б) і вигляд модуля відбивного РКІ [33]

Випускаються багато сегментні індикаторні модулі, в тому числі і з розділовими знаками (крапка, двокрапка, префікс). Наприклад, модулі Display Elektronik 8-ми розрядних 14-сегментних LCD серії DE 301 типів «Reflective» і «Transflective» (рис. 4.17,а) та 3,5 розрядного 16-сегментного

індикатору DE 334-TU-30/13,0 «Transflective» (рис. 4.17,б) жовто-зеленого кольору можуть відтворювати цифри і літери багатьох алфавітів, нескладні графічні символи. А 8-ми розрядний 14-сегментний модуль DEM 9509 TGN-LY (рис. 4.17,в) випускається разом із вбудованим драйвером [33].

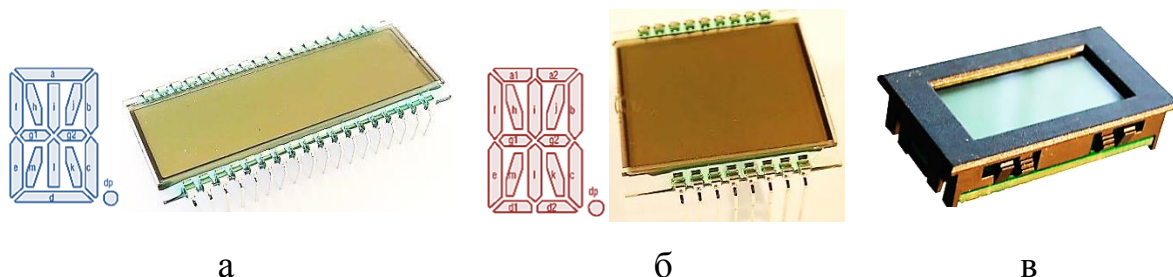


Рисунок 4.17 - Багато сегментні LCD модулі Display Elektronik [33]

Для засобів вимірювань сегментні РКІ випускаються в широкому асортименті з розрядністю від 1 до 8, висотою знаку (5-80) мм, різних способів формування світлового відображення, кольорів знаків і фонів тощо.

Слід відмітити, що в засобах вимірювань розрізняють 3 типи рідкокристалічних ВЗВІ: аналогові, мозаїчні і матричні.

Осередком аналогових РКІ є шар РК, орієнтований обмежувачими фігурними поверхнями електродних пластин. Напруга для управління зображенням прикладається між обома електродами. Вони використовуються для відображення інформації в аналоговій (безперервній) формі у вигляді шкальних індикаторів або елементів мнемосхем. При доповненні шкальних індикаторів сегментними модулями їх називають аналого-цифровими РКІ.

Популярними у виробників вимірювальних приладів є готові їх модулі в корпусах із замиканням для панельного монтажу. Так фірма Display Vision (ФРН) випускає мініатюрні сегментні модулі (30x14x11 мм) вольтметрів мікроDVM EA 4011-ASBL (рис. 4.18,а) і універсальних мультиметрів EA VK1000 (44x24x11 мм, рис. 4.18,б) з монохромними алфавітно-цифровими РКІ, високо контрастні кольорові аналогові сегментні шкальні індикатори EA 4080-1710 (рис. 4.18,в) тощо [34].



Рисунок 4.18 - Модулі вимірювальних приладів Display Vision [34]

Мозаїчні РКІ складаються з двох герметично скріплених по периметру скляних пластин, між якими є проміжок (5-20 мкм), заповнений рідким кристалом. На внутрішніх поверхнях пластин нанесені прозорі електроди і орієнтуючі покриття. Вид інформації, що відображається, залежить від форми електродів, які є сегментами алфавітно-цифрових і умовних символів, цілих слів, графічних елементів схем і піктограм. Вони використовуються в окремих типах цифрових приладів і в мнемосхемах операторських пультів.

У матричному РКІ безліч однакових елементів утворена на перетині рядків і стовпців електродів, розташованих взаємно перпендикулярно. Електричні управляючі сигнали подаються на елементи по кожному рядку. В таких LCD матриця елементів управління розташована на одній з підкладок, а кожен піксель сполучений з управляючим елементом. Матричні модулі використовуються при побудові ВЗВІ всіх видів вимірювальної техніки.

### 4.3. Матричні технології формування зображення LCD

В матричних LCD використовують статичний і динамічний методи управління формуванням зображення. При статичному управлінні кожний піксель безпосередньо приєднується до драйвера. Перевагою його є простота, а недоліком те, що він може застосовуватись тільки для екранів з обмеженою кількістю пікселів. Динамічний метод мультиплексного управління реалізує

точково-матричний спосіб формування зображення з будь-якою кількістю пікселів. Розділені у часі імпульси управління подаються на перетини електродів сигналів і сканування для одночасного управління кількома пікселями. При динамічній адресації кількість контактів значно менша за кількість пікселів, бо вона дорівнює сумі лише рядків і стовпчиків матриці.

Для управління пікселями LCD і OLED екранів використовуються активний і пасивний методи із застосуванням відповідних типів матриць.

Термін «пасивна матриця» (Passive Matrix) з'явився при технологічному розподілі екранної матриці на елементи відображення, кожен з яких завдяки електродам може задавати орієнтацію площини поляризації світлового променя так, що в результаті може бути підсвічений індивідуально для створення зображення. В цій матриці стан кожного пікселя повинен зберігатися без електричного заряду, а їх адресація проводиться по черзі за адресою рядка і стовпця. Зображення формується рядок за рядком шляхом послідовного підведення управляючої напруги на окремі РК осередки, що робить їх прозорими. Через велику електричну ємність осередків напруга на них не може змінюватися швидко, тому оновлення картинки відбувається повільно. Пасивна матриця є масивом анодів, розташованих рядками, і катодів, розташованих стовпцями. Щоби управляти світінням пікселя, необхідно вибрати потрібний номер катода і анода, на перехресті яких знаходиться цільовий піксель, і подати туди імпульс струму (рис. 4.19,а) [26].

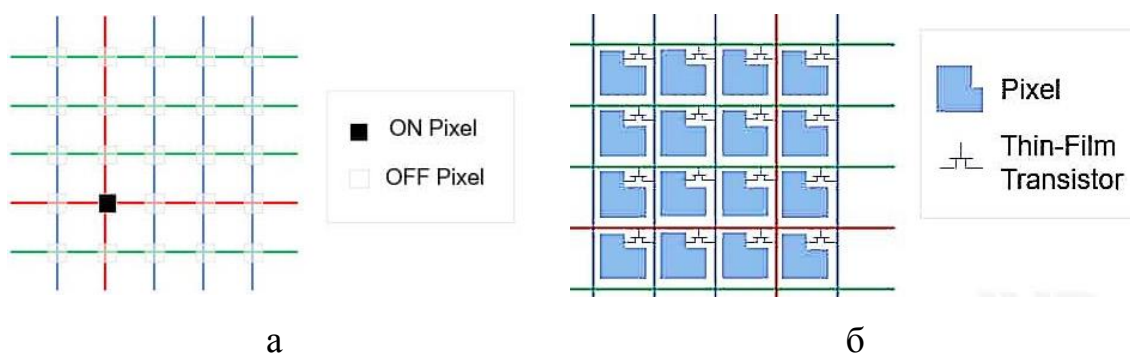


Рисунок 4.19 - Вмикання пікселя пасивної (а) і активної (б) матриць [26]

Перевагами пасивних матриць є простота реалізації адресації, але є недоліки, пов'язані з виникненням одночасного підсвічування нецільових ЕВ із задіяних в цей час рядків і стовпчиків матриці. Крім того, зображення не відображається плавно і може «тремтіти» на екрані. Низька швидкість зміни прозорості кристалів не дозволяє правильно відображати рухомі зображення. Тому пасивні матриці в основному використовуються в монохромних LCD з діагоналлю до 3" для цифрових засобів вимірювань. Але пасивні LCD типу EBN забезпечують високу контрастність (1000:1) та високу швидкість перемикання (80 мс). Майже всі вони налаштовуються на точкове або сегментне відображення, а складні символи можуть бути інтегровані.

В активній матриці (Active Matrix) застосовані окремі підсилювальні елементи для кожного РК осередку, які дозволяють значно зменшити час зміни їхньої прозорості. Принцип активно-матричного управління світінням пікселя базується на застосуванні в активних матрицях електронних ключів, які унеможливають подачу імпульсу напруги на нецільові пікселі матриці. Побудовані вони з пристроїв вмикання (транзистори типу TFT) і пам'яті (конденсатор) (рис. 4.19,б). Тонкоплівкові транзистори (TFT) є перемикачами для заряду конденсаторів, які потім подають напругу на піксель. TFT дуже тонкі з товщиною (0,01-0,1) мкм і можуть бути утворені аморфним кремнієм ( $\alpha$ -Si TFT), низькотемпературним полікристалічним кремнієм LTPS (Low Temperature Poly Silicon) або напівпровідниковими оксидами металів (Ox-TFT або IGZO TFT з індій-галій-цинкового оксиду). Піксель LCD TFT побудований в скляній камері з інтегрованими трьома кольоровими RGB фільтрами. В активних матрицях горизонтальні шини сполучені із затворами TFT, а не з електродами, як у пасивній матриці (рис. 4.19,б). Тому імпульс напруги подається на затвор TFT, який змінює опір між двома іншими його виводами. Один з них підключений до електроду цільового пікселя, а інший до відповідної вертикальної шини. Напруга прикладається до певної горизонтальної шини. Тоді всі транзистори, сполучені з цією шиною, відкриваються і напруга, прикладена до вертикальних шин, подається на

елементи вибраного рядка екрану. Після вимкнення напруги на затворах транзисторів опір між витокком і стоком різко зростає і відключає пікселі від вертикальних шин. Заряд, накопичений на конденсаторі електронного ключа, зберігається до наступного циклу адресації [35].

Активна РК матриця має переваги у порівнянні з пасивною матрицею. Це краща яскравість і кути зору оператора до  $160^\circ$  без змін якості зображення, тому для LCD достатньою є частота сигналу 60 Гц. Вона може відображати рухливі зображення без видимого мерехтіння завдяки швидкодії такого LCD близько 50 мс проти 300 мс з пасивною матрицею.

Виробники пропонують широкий вибір драйверів для LCD. Їх можна класифікувати на групи: звичайні драйвери (без програмного забезпечення); контролери з пристроями пам'яті (мікропроцесорні комплекти); мікроконтролери з вбудованими драйверами. Робота перших аналогічна принципу дії регістрів зсуву з послідовними входами. Для цього потрібні зовнішні імпульси управління, а при мультиплексній роботі з високою частотою їм потрібно їх оновлення. Робота контролерів основана на самостійному управлінні записаними у пристрої пам'яті наборами символів, пам'яттю та мультиплексною адресацією. Також випускаються версії із вбудованими драйверами дисплея разом з елементами пам'яті, до якої можна отримати доступ по команді.

#### **4.4. Матричні модулі монохромних LCD**

Матричні точкові символні (в основному, алфавітно-цифрові) індикаторні LCD модулі для цифрових приладів випускаються окремо або разом з контролерами (платами управління). Опціями є програмне забезпечення, монтажні розетки, проти відблисків і сенсорні панелі тощо.

Знакові синтезуючі РКІ можуть мати від 8 до 80 знакових місць, розташованих у одному, двох або чотирьох рядках (рис. 4.20). Ці формати є ергономічними і найбільш затребуваними приладобудівниками.



Рисунок 4.20 - Алфавітно-цифрові DIP модулі PKI Display Vision [34]

Одними із основних параметрів дисплеїв є габарити їх матриці, яка відображає символи, і розміри самого модуля. Зауважимо, що матричні модулі одного формату можуть мати різні конструктиви, які відрізняються як розмірами знаків, так і РКІ, друкованих плат тощо. Алфавітно-цифрові DIP модулі готові до монтажу, а завдяки їх великому асортименту, надійності і економічності є популярними для недорогого виробництва компактних вимірювальних приладів. Конструкції DIP модулів оптимальні, тому що у них немає виступів друкованих плат, отворів для складання і контактних місць для роз'ємів або кабелів. Вони забезпечують повний набір символів і конфігуруються для роботи на 4-х або 8-бітній шині даних мікропроцесорної системи. Модулі випускаються з різнокольоровим підсвічуванням (LED або EL) у монохромних версіях з прямим або зворотним контрастом, різних форматів і розмірів символів і самих дисплеїв (рис. 4.20). Вони також можуть застосовуватись у якості шкальних (в основному, рядкових) індикаторів.

Сучасною є технологія монтажу COG (Chip On Glass - чіп на склі). Це метод корпусного розміщення інтегральних мікросхем, коли їх кристали встановлюються на виводи («bump»), виконані безпосередньо на контактних майданчиках, які розташовані по всій поверхні кристала мікросхеми. «Бампи» кристала спаюють з контактними майданчиками корпусу за допомогою спеціальних кульок припою, які оплавляються під дією гарячого повітря. Технологія дозволяє безпосередньо з'єднувати контролери на

скляній підкладці за допомогою анізотропної провідної плівки (ACF). Цей метод зменшує площу конструктиву і дозволяє оптимально встановлювати драйвери. Монтаж COG здебільшого використовується для ІС драйверів у технологіях виробництва LCD і OLED дисплеїв, плазмових екранів тощо. Перевагами технології COG є можливість мініатюризації модулів LCD (товщиною до 2 мм) і підвищення ефективності їх роботи у графічних LCD за рахунок зменшення кількості і розмірів застосованих мікросхем.

За технологією COG випускаються матричні монохромні LCD з підсвічуванням (і без нього), різних контрастів, з відображенням алфавітно-цифрової інформації у форматах від 1x8 до 4x20 знакових місць з роздільною здатністю від 97x32 до 320x240 точок з їх розмірами від 0,18 мм до 0,48 мм (рис. 4.21,а) і простої символної графіки (рис. 4.21,б) з розмірами екранів від 1,2" до 5,7". Наприклад, серія DOG монохромних LCD фірми Display Vision (ФРН) була розроблена для портативних приладів (в т.ч. вимірювальних) з низьким енергоспоживанням і підвищеними обсягами вимірювальної інформації. Такі дисплеї можуть працювати безпосередньо від автономних джерел з напругою 3,3 В [34].



Рисунок 4.21- Символьні монохромні LCD серії DOG Display Vision [34]

LCD за технологією VATN є альтернативою традиційним алфавітно-цифровим дисплеям при роботі в умовах змінного або слабкого освітлення за рахунок високої контрастності і яскравості знаків на абсолютно чорному

фоні екрана. Переваги цієї технології добре ілюструють лінійки знакових синтезуючих LCD VATN тайванських компаній Raystar і Winstar (рис. 4.22) з форматами знакових місць 8×2, 16×1, 16×2, 16×4, 20×2, 20×4 [36, 37]. Вони мають високу контрастність (120:1); широкі кути огляду (по горизонталі до 170° та по вертикалі до 110°). Випускаються модифікації у 5 кольорах світіння (білий, зелений, жовто-зелений, синій, червоний) негативного контрасту. За способом підсвічування вони відносяться до прозорого (Transmissive) типу. Ступінь мультиплексування цих дисплеїв становить 1/16 та 1/4. За своїми фотометричними і вартісними показниками VATN дисплеї займають проміжну позицію між OLED та VFD, але у них нижче швидкодія.



Рисунок 4.22 - LCD VATN компаній Raystar (а) і Winstar (б) [36, 37]

При необхідності відображення понад 4 рядків та понад 40 символів у рядку, або формування символів різних розмірів і шрифтів, оптимальніше застосовувати графічні дисплеї. Такими, наприклад, є компактні матричні графічні дисплеї Display Vision серії EA eDIP розмірами 7"/5,7"/4,3"/3,2" і роздільною здатністю 128x64, 160x104, 240x128 і 320x240, які не вимагають трудомісткого «піксельного» програмування графіки за рахунок інтегрованих функцій малювання та 7 вбудованих шрифтів різних розмірів (рис. 4.23) [34]. За своїми можливостями їх скоріше можна віднести до алфавітно-цифрових LCD, але цього достатньо для комплектації ними, наприклад промислових і медичних засобів вимірювань.

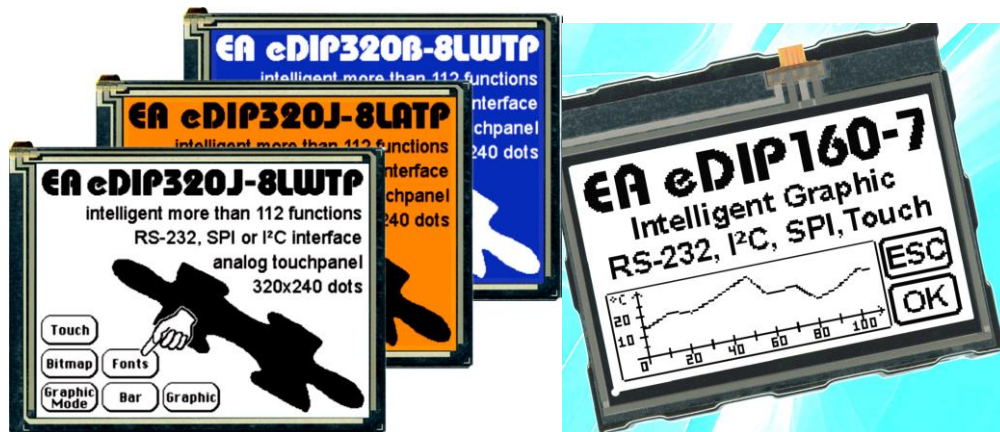


Рисунок 4.23 Графічні LCD серії EA eDIP фірми Display Vision [34]

Усі набори символів можуть бути збільшені до 4 разів і розташовані у центровані рядки або у гістограми з поворотом зображень на 90°, причому компонування екрана відбувається декількома зрозумілими командами. Всі вони засновані на специфікаціях координат і узгоджуються з найближчими пікселями. В модулях є сенсорна клавіша з функцією меню, буфер обміну, вони працюють з багатьма інтерфейсами (RS-232, I<sup>2</sup>C, SPI).

#### 4.5. Графічні дисплеї

Графічні LCD застосовуються у засобах вимірювання промислового, медичного і наукового призначення, де потрібна реєстрація інформації і візуальне представлення її у графічному вигляді разом із алфавітно-цифровими і символічними повідомленнями. Графічне відображення більшості процесів є дуже інформативним, а в багатьох випадках звичним і зручним для оператора. Цим вимогам задовольняють сучасні графічні LCD, тому вони широко застосовуються у якості ЗВІ від осцилографів і кардіографів до моніторів фізичних і технологічних процесів з динамічним їх відображенням. Графічні LCD випускаються у монохромних, різнокольорових і поліхромних (повно кольорових) версіях.

Монохромні графічні LCD застосовуються у вимірювальних пристроях і приладах, де оператору достатньо для прийняття рішень однокольорової

графіки. Колір такого зображення та його фон, позитивний або негативний контраст обираються відповідно до призначення засобу вимірювання і ергономічних вимог. Відомо, що колір є одним із засобів кодування інформації. Тому є різнокольорові дисплеї, в яких відображення динамічних сигналів вимірювальної інформації подається одним кольором, а символна інформація іншими. Матричні модулі монохромних графічних LCD з вбудованими контролерами випускаються багатьма виробниками оптоелектронної продукції і представлені на ринку від мініатюрних за розмірами екранів (близько 1") до більших (7-8)", які є найбільш затребуваними для різноманітної вимірювальної техніки (рис. 4.24).

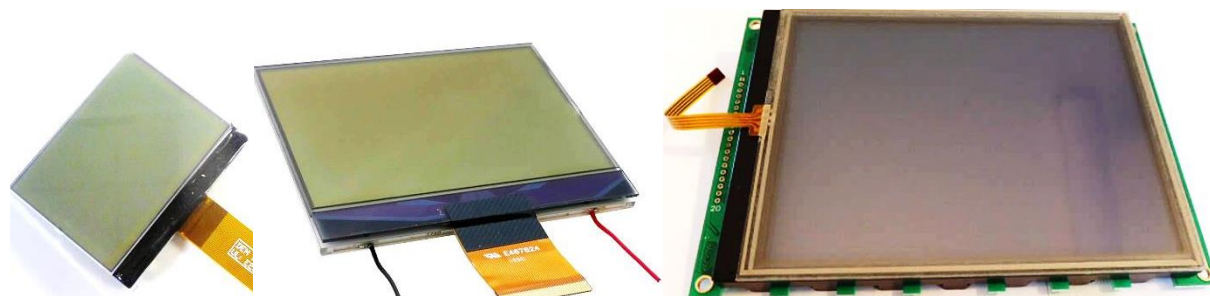


Рисунок 4.24 - Модулі графічних монохромних LCD Display Elektronik [38]

Для зручності вибору ці LCD випускаються з роздільною здатністю від 97x32 до 320x240 пікселів; з різними елементами підсвічування (LED, EL) та без них; прямим і зворотним контрастами (рис. 4.25), або з суміщенням обох.

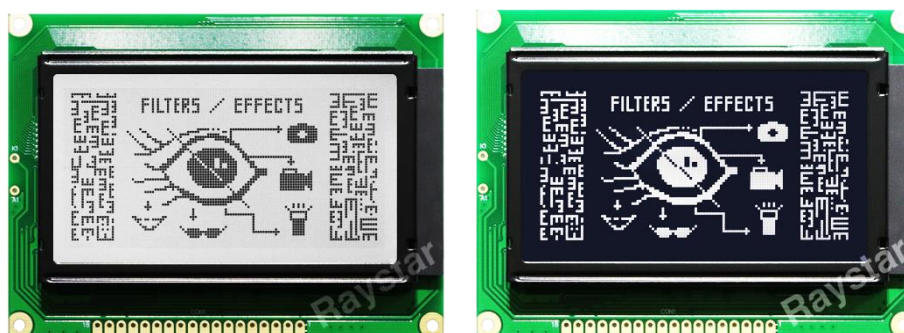


Рисунок 4.25 - Графічні LCD з прямим і зворотним контрастами [39]

#### 4.6. Конструктивні і технологічні особливості LCD TFT

В сучасних вимірювальних приладах від компактних переносних (газоаналізаторів, мультиметрів) до стаціонарних (осцилографів, аналізаторів спектрів, генераторів спеціальних функцій тощо) затребуваними є кольорові графічні дисплеї з розмірами екранів, в основному, від 1" до 10". Цим вимогам повністю задовольняють LCD з матричним управлінням. В матриці можна управляти кожним з пікселів індивідуально, але при збільшенні їх кількості це не просто, оскільки зростає число необхідних електродів. Тому застосовується адресація по рядках і стовпцях. Конструкція модуля LCD з адресними електродами представлена на рис. 4.26.

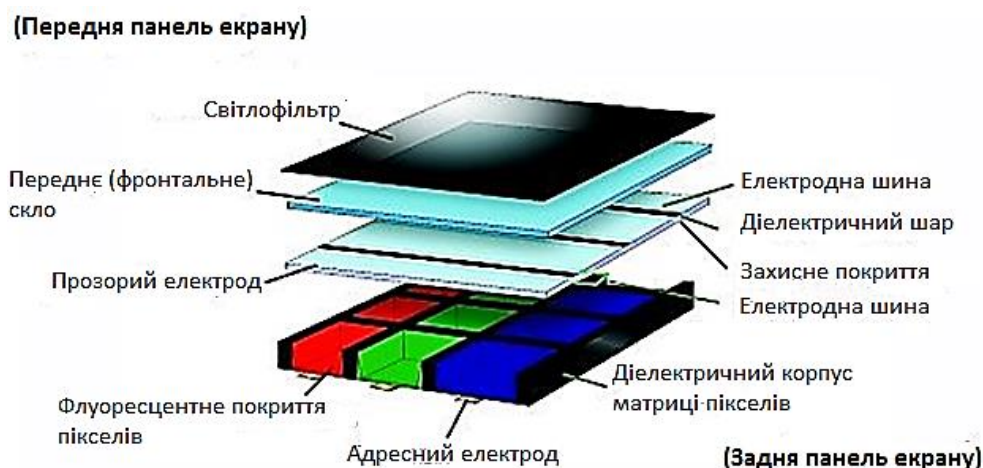


Рисунок 4.26 - Конструкція модуля LCD з адресними електродами

Кожен осередок (субпіксель) пасивної РК матриці є мікроскопічною герметичною капсулою з РК, вкритою склом з прозорим тонкоплівковим електричним провідником. Коли на нього подається електричний потенціал певної полярності, РК упорядковують своє розташування. Коли він відсутній, то РК повертаються в хаотичний стан, тому пасивна матриця має ефект інерційності зображення. Щоб утримати кристали у певному положенні, потенціал має подаватися постійно.

В активній матриці робота пікселів управляється тонко плівковими транзисторами (TFT). Тому в ній до кожного субпікселю замість провідників

підводяться виводи TFT, які зберігають заряд до моменту, поки на них не буде поданий сигнал зворотної полярності. Але застосування транзисторів замість провідників сильно ускладнює конструкцію LCD. Наприклад, в матриці розміром 57,6 x 76,82 мм розташовано 76 800 пікселів розміром 0,24 мм, кожен з яких має тріади RGB субпікселів, які формують при світінні кольорове зображення.

Конструктивно LCD TFT має РК матриці, джерело підсвічування і корпус (рис. 4.27). Пікселі утворені поздовжніми перегородками на склі підкладки екрана та поперечними пластиковими вставками для розміщення РК матеріалу. Вони накриваються TFT склом з струмопровідним плівковим шаром. В товщі РК матриці є ще декілька шарів. Це внутрішній плівковий поляризаційний фільтр, розташований між лампою підсвічування та TFT склом підкладки матриці. Потім йде матриця мікроскопічних кольорових світлофільтрів, в якій кожному субпікселю відповідає один із основних кольорів RGB. На зовнішній поверхні покривного скла екрана наноситься другий шар поляризаційного фільтру (плівка). Зверху матриці, за необхідності, встановлюється прозорий сенсорний екран.

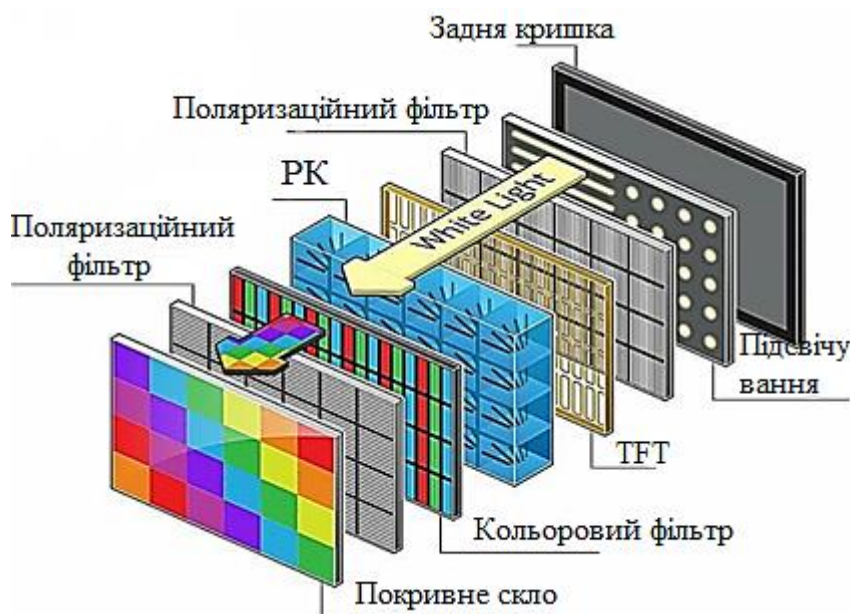


Рисунок 4.27 - Конструкція LCD TFT

Кольорове зображення створюється при застосуванні субпікселів з флуоресцентного матеріалу кольорів RGB з підсвіченням їх. Комбінуючи їх для кожного пікселя, можна відтворити будь-яке зображення. Для його виведення на екран потрібна матриця і джерела підсвічування (EL або LED).

Підсвічування потрапляє на напівпрозорий відбивач, а потім на протилежну від сторони огляду сторону дисплея. Для монохромних екранів застосовують EL лампи (панелі) білого, бурштинового або зеленого світіння. Є варіанти LCD з скляною призмою, яка розсіює світло від торцевої лампи. Світлодіодні лінійки опромінюють задню сторону дисплея. Світло проходить через поляризаційну плівку так, що напрям вектора поляризації збігається з вектором орієнтації кристалів, які під впливом сигналу контролера розташовуються паралельно поляризованим променям світла. Світло в цьому випадку проходить безперешкодно, а піксель яскраво світиться. Якщо кристали розташовуються під кутом до променів світла і частково перекривають його, то піксель виглядає затемненим (так формуються напівтонові зображення). Кристали, розташовані перпендикулярно, повністю перекривають промені світла лампи і піксель виглядає темним.

При створенні динамічних зображень контролер дисплея відповідно до команд операційної системи будує зображення і подає його у вигляді індивідуальних сигналів на TFT субпікселів матриці, яка є адресним ЗВІ. Завдяки цьому зображення LCD TFT відрізняється високою стабільністю та відсутністю спотворень. Яскравість зображення залежить від яскравості лампи підсвічування, а контрастність від точності збігу напрямку променя світла і вектора орієнтації РК поляризаційними фільтрами.

Поляризаційні фільтри (плівки) пропускають тільки ту компоненту світлового пучка, у якої вісь поляризації відповідає заданому. За відсутності напруги кристали вибудовуються в гвинтову структуру, яка заломлює світло таким чином, що до другого фільтру площина його поляризації обертається і через нього світло проходить без втрат (рис. 4.28,а).

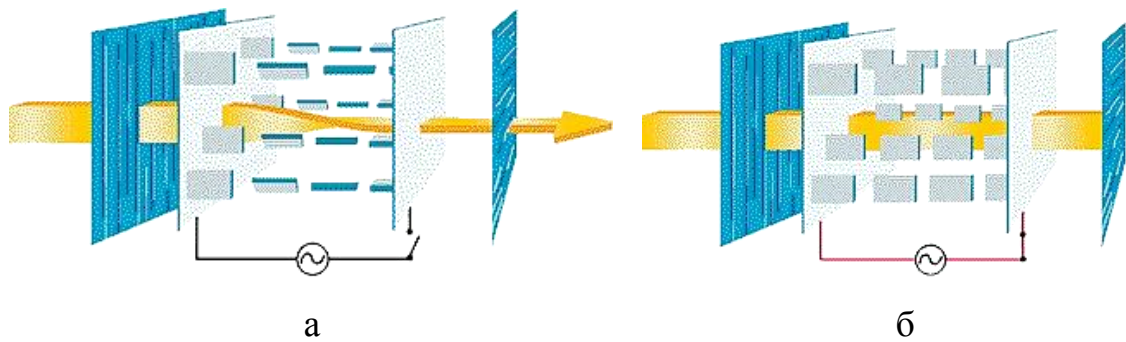


Рисунок 4.28 - Проходження світла без подачі напруги на LCD (а) і з нею (б)

Якщо ж до електродів прикладена напруга, то молекули прагнуть вишикуватися у напрямі вектору електричного поля, яке спотворює гвинтову структуру (рис. 4.28,б). При цьому сили пружності РК протидіють цьому, і при відключенні напруги молекули повертаються в початкове положення. При достатній напруженості електричного поля практично усі молекули РК стають паралельно, що призводить до непрозорості структури. Змінюючи напругу, можна управляти мірою прозорості і кольоровістю.

В технології «Color Filter on TFT» компанії NEC світлофільтри, що закривають субпікселі з TFT, формуються способом фотолітографії на нижній скляній підкладці. У звичайних дисплеях світлофільтри наносяться на другу верхню підкладку, що вимагає точного поєднання двох пластин.

Компанія Hitachi створила технологію багат шарових LCD Super TFT, яка значно збільшила їх кути огляду. В ній подача сигналів управління на електроди, встановлені на нижній скляній пластині, змушує молекули обертатися в площині, паралельній площині екрану. Результатом є чітке і яскраве зображення, навіть при великих кутах огляду.

LCD TFT мають високу роздільну здатність, швидкодію і кольоровість графічних динамічних зображень, для чого вони і створювались. Але на відміну від звичайних монохромних РКІ вони менш енергоєфективні. Їм потрібно дуже яскраве підсвічування, тому що елементи управління на склі та кольорові фільтри «поглинають» частину світла, хоча вони і прозорі. Воно досягається за допомогою плівок BEF (Brightness Enhancer Film - плівка для

підвищення яскравості). Ці плівки фокусують світло підсвічування під маленьким кутом, що створює яскравий дисплей за допомогою лише декількох світлодіодів. Однак при цьому кути огляду дисплею обмежені, тому що при виході за їх межі різко втрачається яскравість і контрастність зображення (рис. 4.29,а).

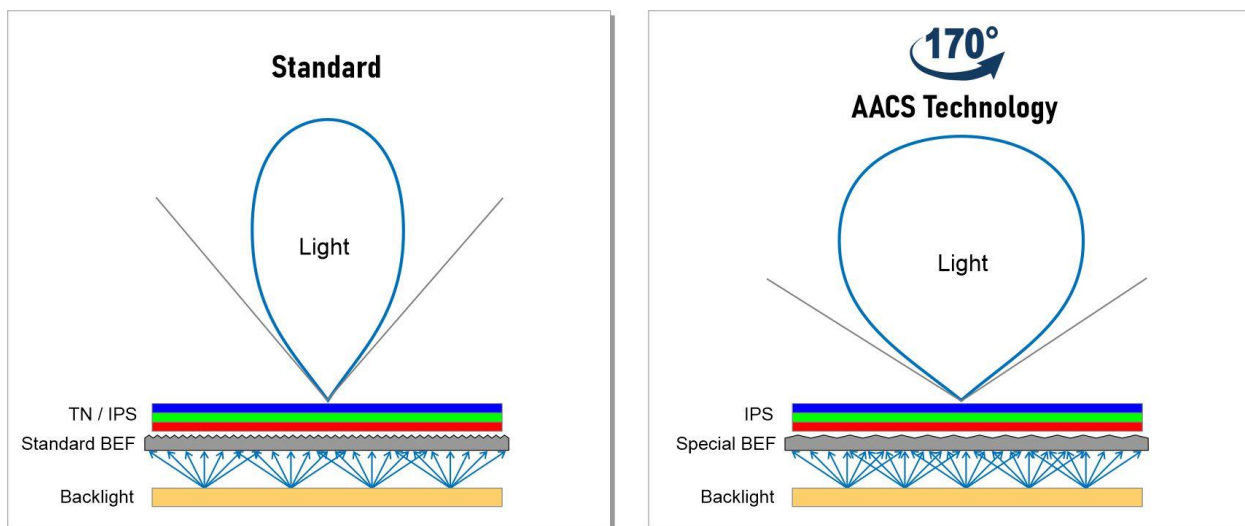


Рисунок 4.29 - Зміна кутів огляду LCD TFT за технологією AACS [28]

Технологія AACS (All Angle Color Stability) дозволяє підтримувати удосконаленими BEF підсвічування з широким кутом, і тим самим значно розширити кути огляду екрану оператором із збереженням стабільними фотометричних характеристик (рис. 4.29,б) [28].

Прикладами застосування розглянутих технологій є серія LCD TFT з матрицями IPS і діагоналями від 0,96" до 10,1" компанії Display Visions для промислової і медичної вимірювальної техніки (рис. 4.30) [34]. В них для підсвічування встановлені яскраві світлодіоди. При яскравості понад 1000 кд/м<sup>2</sup> їх екрани добре читаються навіть під прямим сонячним промінням. Технологія AACS забезпечує повний кут огляду із стабільністю кольорового відображення під усіма кутами оглядів. Вони можуть використовуватися в портретному або ландшафтному режимах без спотворень зображень.



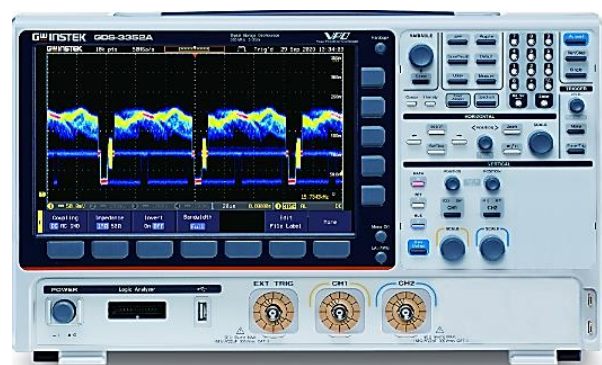
Рисунок 4.30 - Промислова лінійка LCD TFT Display Visions [34]

Перевагами LCD TFT екранів є відмінна яскравість і контрастність зображення, відсутність мерехтіння, тонкий екран. Недоліками є обмеженість розмірів екранів, складність технологій, порівняно підвищена вартість.

За цією технологією виготовляються екрани цифрових вимірювальних і реєструвальних приладів, панелі і монітори операторів. Наприклад, графічні кольорові LCD TFT застосовує компанія PQ PLUS (ФРН) в апаратних модулях панельного монтажу для вимірювань параметрів електричної енергії (рис. 4.31,а) [40], а фірма GW Instek (Тайвань) - в цифрових осцилографах (рис. 4.31,б) [8].



а



б

Рисунок 4.31 - Графічні LCD TFT в цифрових приладах [40, 8]

Вибір оптимальної версії LCD для засобу вимірювання залежить від багатьох факторів. Формат, розміри, колір або поліхромність, фотометричні і технічні параметри, тип матеріалу РК, спосіб підсвічування, умови огляду і експлуатації - все це залежить від його призначення і впливає на роботу оператора певного засобу вимірювання. Вибір найвищої роздільної здатності для невеликих дисплеїв не обов'язково є найкращим, оскільки це може вплинути на сприйняття інформації на відстані. Джерела підсвічування потрібно вибирати відповідно до необхідної яскравості в заданих робочих умовах експлуатації. Іншим критерієм може бути певний термін їх служби або вартість. Тому стратегія сучасних виробників LCD спрямована на сервіси індивідуальних рішень для створення цих ВЗВІ за вимогами замовника.

#### **Контрольні запитання**

1. На чому ґрунтується принцип дії РКІ?
2. В чому суть технології TN?
3. В чому різниця між дисплеями DSTN і FSTN?
4. В чому особливість технології ZBD?
5. Як працюють VATN дисплеї?
6. В чому різниця дисплеїв типів Reflective і Transmissive?
7. В яких типах LCD використовується підсвічування і для чого?
8. В чому особливість конструкції активної матриці?
9. Для чого використовується технологія COG?
10. Які елементи входять до конструкції LCD TFT?

## 5. ГАЗОРОЗРЯДНІ ІНДИКАТОРИ І ПЛАЗМОВІ ПАНЕЛІ

Газорозрядні індикатори (ГРІ) - це активні ВЗВІ, основані на світінні інертного газу при проходженні по ньому струму. Світіння газового розряду виникає при збудженні атомів газу ударами електронів з поверненням атомів в нормальний стан із виділенням енергії у вигляді квантів світла. Світлове випромінювання може бути як видимим, так і ультрафіолетовим (УФ). Колір видимого світіння залежить від типу інертного газу (неон, аргон тощо). При УФ випромінюванні для перетворення його у видиме світло застосовують люмінофори. За призначенням газорозрядні ВЗВІ поділяються на знакові багато катодні ГРІ для відображення символів відносно великих розмірів і газорозрядні (плазмові) панелі.

За розрядністю ГРІ поділяються на одно- і багато розрядні, а за способом формування знаку - на моделюючі і синтезуючі. Знаковими моделюючими є індикатори, у яких катоди К виконані у вигляді знаків і розташовані у вигляді пакету дротяних знаків, а анодом А є сітка (рис. 5.1,а). Видима частина ГРІ виконана з прозорого матеріалу (рис. 5.1,б). Знаковими синтезуючими є ГРІ, у яких зображення символу складається з сегментів, які є катодами і світяться на одному знаковому місці. Конструктивно вони теж оформлені у балоні 1 з інертним газом, мають загальний анод 2, сегментні катоди 4, виводи 3 і прозорий (скляний) екран 5 (рис. 5.1,в).

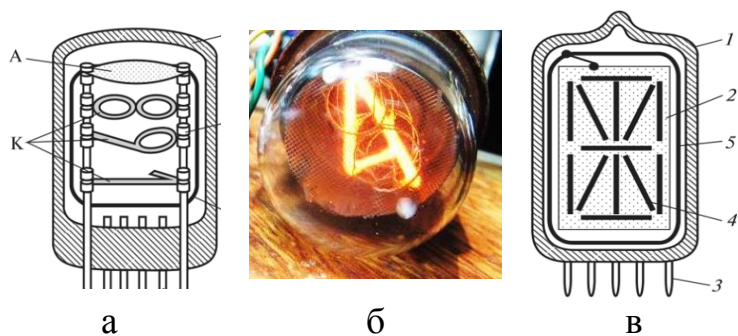


Рисунок 5.1- Знакові моделюючі (а, б) і синтезуючі (в) ГРІ

Перевагами ГРІ є мала споживана потужність, висока надійність, низька вартість, а основним недоліком є досить великі розміри.

Сферами застосування ГРІ є індикатори засобів вимірювань і автоматики для візуалізації алфавітно-цифрової інформації і сигналізації. Вони ще використовуються у цифрових приладах минулих поколінь завдяки звичності зображення символів і невисокій вартості при їх заміні. Сьогодні в основному застосовуються як індикатори стану приладу (рис. 5.2).



Рисунок 5.2 - Неонові ГРІ стану [41]

Газорозрядні плазмові панелі - це ВЗВІ, основані на світінні люмінофору під дією УФ променів, що виникають при електричному розряді в іонізованому газі (у плазмі). Основним їх елементом є газонаповнений осередок (піксель) - найменший логічний елемент двовимірного зображення або фізичний елемент матриці ВЗВІ, що характеризується певним кольором і розмірами 200x200x100 мкм (рис. 5.3).

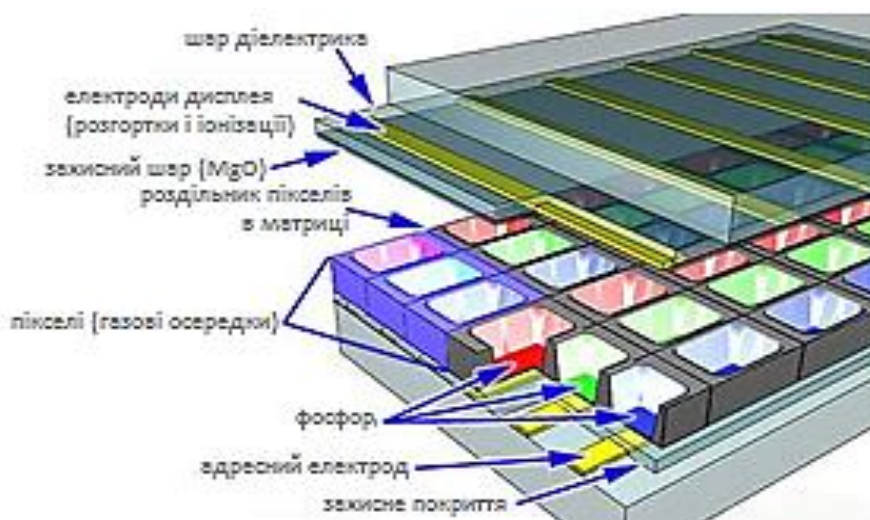


Рисунок 5.3 - Пікселі та інші конструктивні елементи плазмової панелі

Пікселем, що формує окрему точку зображення, є група з трьох субпікселів, які забезпечують світіння трьох основних кольорів (RGB). Кожен субпіксель є окремою мікрокамерою, на стінках якої знаходиться флуоресцентна речовина одного з цих основних кольорів. (рис. 5.4)

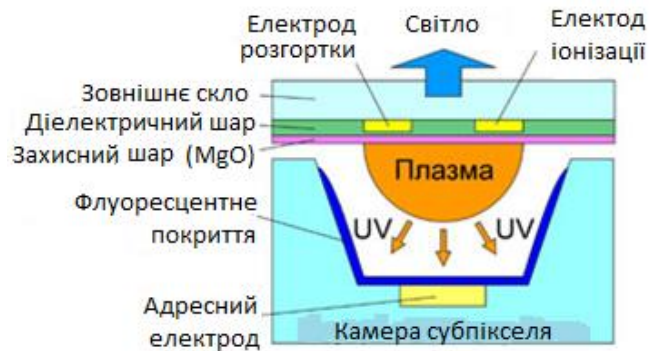


Рисунок 5.4 - Конструкція субпікселя кольорової плазмової панелі

Пікселі знаходяться в точках перетину прозорих електродів, які утворюють прямокутну сітку. Плазмовий екран (панель) є матрицею пікселів, розташованих між паралельними прозорими пластинами з електродами і скляними пластинами (рис. 5.4).

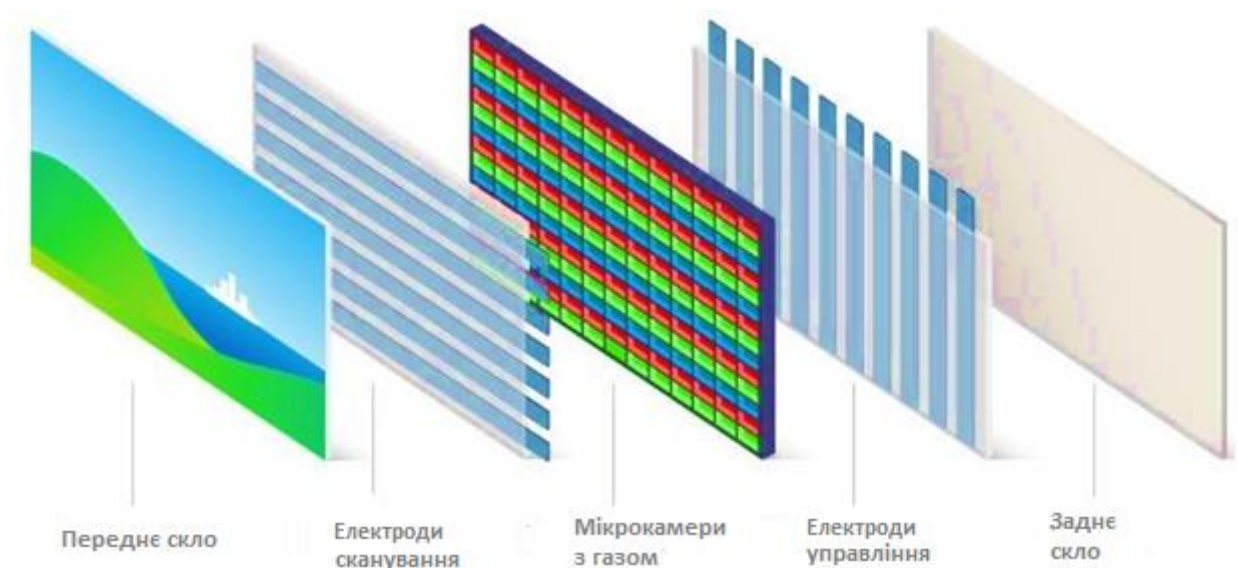


Рисунок 5.4 - Складові частини газорозрядного плазмового екрану

При подачі на електроди високочастотної напруги відбувається іонізація газу, тобто утворення плазми. Розряд в газі протікає між розрядними електродами сканування і підсвічування на фронтальній стороні екрану і електродом адресації на задній стороні. Він призводить до УФ випромінювання, яке викликає видиме світіння люмінофора червоного, зеленого або синього кольорів. Вже різнокольорове світло проходить через передню скляну пластину і потрапляє в око глядача. Зовнішнім склом поглинається 97% УФ випромінювання, шкідливого для очей. Яскравість світіння люмінофора визначається напругою управління. Адресація мільйонів субпікселів здійснюється завдяки розташуванню пари передніх доріжок у вигляді рядків (це шини сканування і підсвічування), а кожної задньої доріжки у вигляді стовпців (це шина адресації). Внутрішня електроніка плазмових екранів автоматично вибирає потрібні пікселі. Ця операція проходить на частотах (400-600) Гц, що не дозволяє людському оку помічати мерехтіння екрану.

Перевагами плазмових панелей є висока яскравість, контрастність і чіткість за відсутності спотворень зображення; мала товщина екрану (менше 1 см); відсутність мерехтіння зображення. Використання площі екрану під зображення досягає 100% з великим кутом огляду, що досягає 170°. Їх недоліками є порівняно висока споживана потужність; низька роздільна здатність при збільшенні розмірів екрану; погіршення властивостей люмінофорів з часом.

### **Контрольні запитання**

1. Який принцип дії ГРІ?
2. Які основні елементи конструкції ГРІ?
3. В чому різниця між моделюючими і синтезуючими знаковими ГРІ?
4. Яким чином утворений піксель плазмової панелі?
5. Який принцип створення зображення у плазмовій панелі?

## 6. ІНТЕРАКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ І ЗАСОБИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ

### 6.1. Інтерактивні засоби візуалізації у вимірювальній техніці

Сучасні технології обміну інформацією між оператором і засобом вимірювання використовуються для обладнання ВЗВІ додатковими модулями сенсорних панелей, поєднання яких дає новий продукт з інтерактивними можливостями - сенсорні екрани. Сенсорні панелі приладів промислового, медичного, військового та інших призначень ідеально підходять до суворих кліматичних і виробничих умов їх застосування або гігієнічних стандартів, де надійність і простота експлуатації є обов'язковими вимогами. Широке впровадження у засобах вимірювань отримали сенсорні дисплеї і екрани, які дозволяють управляти їх роботою в інтерактивному режимі. Виробники пропонують сенсорні елементи окремо у вигляді накладних панелей і рамок або готових модулів сенсорних дисплеїв.

Останні випускаються з можливістю підключення до цифрових засобів вимірювання з USB портами для розширення інформаційного поля візуалізації параметрів і процесів, доступу другого оператора до засобу вимірювання, швидкої заміни несправного дисплею тощо. Так, наприклад, для цифрових приладів компанія Display Visions пропонує малогабаритні (1,7" і 2,9") сенсорні графічні OLED дисплеї з швидкою фіксацією їх на приладі або верстаті само клейними смужками (рис. 6.1,а) [34]. Вони можуть встановлюватися як в портретній, так і ландшафтній орієнтації. А компанія Futaba випускає для вимірювального обладнання сенсорні USB монітори більших розмірів, інтерфейс яких підтримує стандартний драйвер Windows класу USB-HID (рис. 6.1,б) [42].



Рисунок 8.1- Сенсорні USB дисплеї і монітори [34, 42]

В залежності від виробничих завдань і умов експлуатації сенсорні екрани оснащуються різними операційними системами, процесорами та об'ємом пам'яті. Такі можливості дозволяють фізично реалізувати промислові інтерфейси «людина-машина» (Human Machine Interface - HMI), складовою яких є інтерактивні сенсорні екрани інформаційних вимірювальних систем.

Застосування WEB технологій привело до створення інтерактивних WEB панелей (промислових комп'ютерів), які є поєднанням HMI з програмованими логічними контролерами (ПЛК) в цифрову електронну систему, призначену для автоматизації виробничих процесів. Ця система використовує програмовану пам'ять для зберігання технологічних алгоритмів з встановленням послідовності операцій за точними часовими інтервалами, розрахунків параметрів, корекцій технологій, вводу і виводу візуальної інформації на дисплеї тощо. Основна перевага WEB технологій полягає в тому, що програми для HMI необхідно розробити лише один раз, а потім їх можна викликати за допомогою стандартного браузера через WEB-панель або з мобільних пристроїв, підключених по безпроводним мережам. Ще однією перевагою є можливість швидкої заміни сенсорних панелей у разі їх несправності, тому що їх візуалізація здійснюється на WEB-сервері ПЛК. Все це є особливо важливим для гнучких виробництв. WEB панелі є елементами цифрової трансформації виробництв Індустрії 4.0.

## 6.2. Сенсорні панелі і їх конструкції

Сенсорними елементами екранів є додаткові датчики, чутливі до дотиків, які встановлюються на поверхню дисплея або по її краям. Вони потрібні для вводу координат дотиків до екрану і одночасно захищають його. При піднесенні пальця оператора або електронного пера до обраного зображення на екрані контролер визначає координати точки дотику, який може бути контактним або безконтактним. Виробники ці сенсори називають по-різному: датчики дотику, тактильні датчики; сенсорні панелі тощо.

Типова структура ВЗВІ із сенсорним екраном найбільш розповсюджених резистивної або ємнісної технологій складається з дисплейного модуля і сенсорної накладки (панелі) із захисним склом, з'єднаних оптично прозорими клейкою стрічкою або клеєм (рис. 6.2).

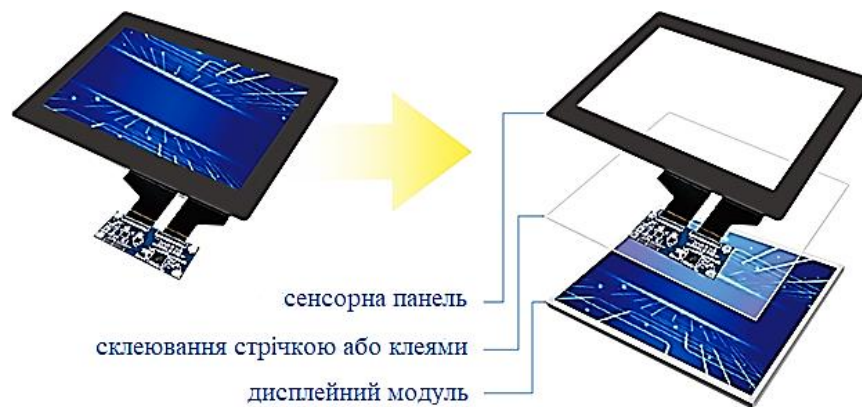


Рисунок 6.2 - Типова структура ВЗВІ із сенсорним екраном [43]

Датчики дотику з прозорими електродами розміщуються на прозорих скляних або плівкових підкладках. Оскільки плівки м'які, то їх можна використовувати і для екранів з вигнутими поверхнями. Захисний шар часто виконується з полікарбонату або із загартованого скла, яке витримує удари. Деякі типи захисного скла можуть бути модифіковані для захисту від відбитків пальців, бруду та масел. Ці варіації часто потрібні для промислового і медичного вимірювального обладнання. Існують два способи

з'єднання елементів сенсорної панелі з дисплейним модулем: з повітряним зазором і оптичного з'єднання.

Перший спосіб монтажу є економічним і простим, оскільки для з'єднання рамки дисплея та сенсорної панелі використовується двостороння клейка стрічка. Однією з його істотних переваг є те, що шари можна розібрати для повторної обробки або заміни компонентів. Недолік полягає в тому, що світло може відбиватися в повітряному зазорі, погіршуючи якість зображення, особливо під сонячними променями (рис. 6.3,а).

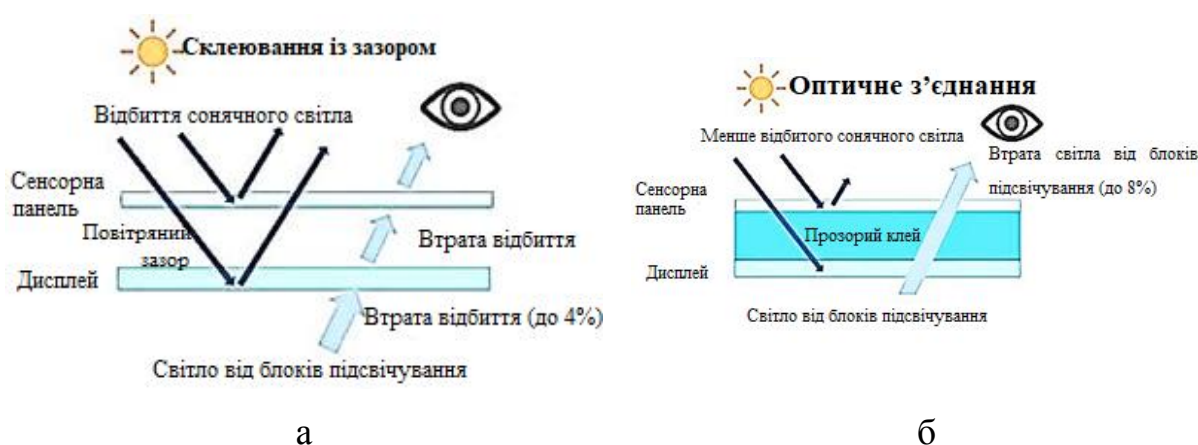


Рисунок 6.3 - Способи з'єднання сенсорної панелі з дисплеєм [43]

Комбінація датчика та захисного скла може бути приклеєна до поверхні дисплея оптично прозорою смолою або клейкою плівкою (рис. 6.3,б). Клейовий матеріал підбирається так, щоб він запобігав паралаксу, зменшував відбиття зовнішніх джерел світла і відповідав показникам оптичного заломлення скла або полікарбонату. Цей спосіб забезпечує високу чутливість до дотику, контрастність зображення, механічну міцність.

Компанія Synaptics (США) пропонує технологію поєднання драйверів сенсорного екрану і дисплея (Touch and Display Driver Integration - TDDI), яка поєднує схеми управління дисплеєм і сенсорною панеллю шляхом інтеграції їх елементів одразу у пікселі [44]. Вона забезпечує єдину монолітну

конструкцію сенсорного екрану, високу чутливість до дотиків, зниження витрат і енергоспоживання та покращує дизайн і технологічність дисплеїв.

Сенсорні панелі за оптичними і акустичними технологіями є накладними у вигляді рамок з розташованими на їх боках відповідними елементами датчиків дотиків (випромінювачами і приймачами).

Розповсюдженими сенсорними технологіями і панелями є резистивні і емнісні, а більш обмеженими у застосуванні - оптичні і акустичні.

### 6.3. Резистивні сенсорні технології і панелі

Поширені дві конструкції резистивних сенсорних панелей: з 4-ма або 5-ма електродами. Принцип їх дії оснований на появі електричного контакту при натисканні на екран і автоматичному визначенні його координат.

Конструкція 4-електродних сенсорних панелей складається з прозорих скляної підкладки і пружної пластикової мембрани з прозорим сітковим електропровідним покриттям ІТО з оксиду індію (рис. 6.4,а). З ними з'єднані пари металевих взаємно перпендикулярних електродів, до яких під'єднані джерела живлення, а між ними встановлені мініатюрні ізолятори (рис. 6.4,б).

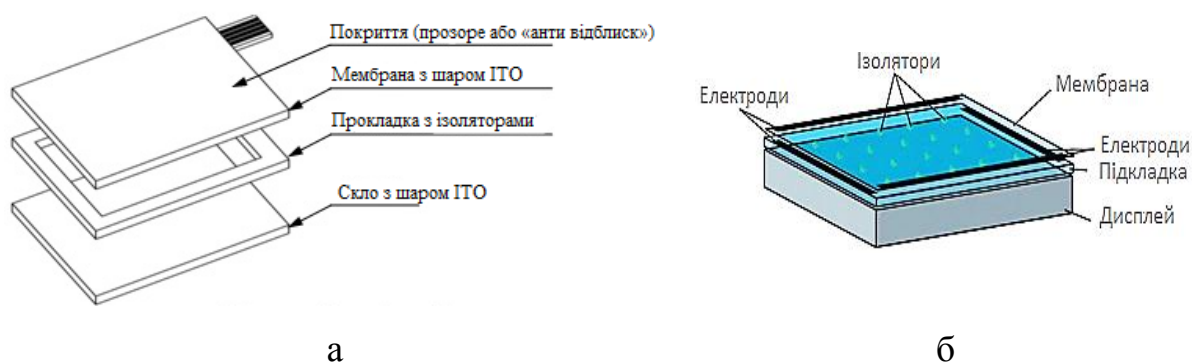


Рисунок 6.4 - Конструкція резистивної панелі з 4-ма електродами

При натисканні на поверхню екрану мембрана в цьому місці стикається з підкладкою, внаслідок чого виникає контакт між електропровідними шарами (рис. 6.5,а). Зчитування координат точки натискання виконується

послідовно. Спочатку один з електродів підкладки підключається до джерела постійного струму, а інший заземляється. Електроди мембрани з'єднуються, і контролер вимірює напругу на них, визначаючи горизонтальну координату. Потім струм подається на електроди мембрани, і контролер з АЦП вимірює напругу на сполучених електродах, фіксуючи вертикальну координату.



Рисунок 6.5 - Принцип дії (а) і сенсорні резистивні панелі АМТ з 4, 5 та 8 електродами (б) [43]

В 5-електродній панелі чотири електроди встановлюються на кожній із сторін підкладки, а п'ятий підключається до мембрани. При дотику мембрана стикається з підкладкою, а контролер по черзі подає постійну напругу на горизонтальний і вертикальний електроди. Контролер визначає координати точки дотику по величині напруги на електроді, підключеному до мембрани. 8-електродні панелі працюють так само, як 4-електродні. В них є додатковий провідник для компенсації спаду напруги на краях шини при дотику. Ці сенсорні панелі оптимальні для екранів від 6" до 22" (рис. 6.5,б) [43]

Ще доволі популярною у виробників є резистивна технологія GFG Touch (сенсорна панель «скло-фольга-скло»). Різняться ці панелі від попередніх лише тим, що їх зовнішня поверхня є дуже міцним склом, яке надійно захищає екран і забезпечує найкращу його прозорість. Панель GFG дуже стійка до подряпин, впливів вологи, пилу, лугів, кислот, крові. Ці

панелі можна використовувати в розширеному діапазоні температур від -25°C до +70°C, ними можна управляти пальцями, в тому числі у рукавичках, іншими предметами без ушкодження панелі. Ці панелі дуже добре підходять для промислової автоматизації, медичної техніки, засобів вимірювання у машинобудуванні, хімічній і фармацевтичній промисловості. Панелі GFG Touch є стійкими до забруднення кров'ю, що важливо для медичного обладнання в хірургії і засобів контролю харчових технологій обробки м'яса.

Перевагами резистивних сенсорів є простота конструкції і принципу дії, стійкість до забруднень і вологи, реагування на дотики рук у перчатках, невисока вартість. Недоліками є відносно низька механічна міцність; середня точність визначення координат точки натиску; знижена яскравість і чіткість зображення із-за багат шарового екрану.

Резистивні сенсорні панелі застосовуються в інтерактивних дисплеях промислового і медичного обладнання. Наприклад, компанія TL Electronic (ФРН) виготовляє сенсорні LCD дисплеї для промислового застосування, які працюють в складних кліматичних і виробничих умовах у безперервному режимі (рис. 6.6). Вони монтується у шафах управління і в панелях НМІ, на верстатних консольях. Їх управління здійснюється одним пальцем [45].



Рисунок 6.6 - Сенсорні резистивні LCD дисплеї компанії TL Electronic [45]

#### 6.4. Ємнісні сенсорні технології і панелі

Принцип дії цих панелей оснований на виникненні електричної ємності у місці дотику і автоматичному визначенні його координат. Оператор, дотикаючись до екрану, створює разом з ним конденсатор, який проводить змінну напругу. Ємнісні сенсорні панелі і технології поділяються на два види: поверхнево-ємнісні і проекційно-ємнісні.

Поверхнево-ємнісні сенсорні панелі мають скляну підкладку з резистивним матеріалом для підвищення електропровідності, а електроди розміщуються у чотирьох кутах панелі, на які подається змінна напруга (рис. 6.7,а-б). При натисканні на екран відбувається витік змінної напруги через конденсатор, який складає екран і людина. Витік захоплюється детекторами і передається на контролер (рис. 6.7,б). Контролер вимірює співвідношення струмів з кожного кута екрану і визначає координати точки дотику.

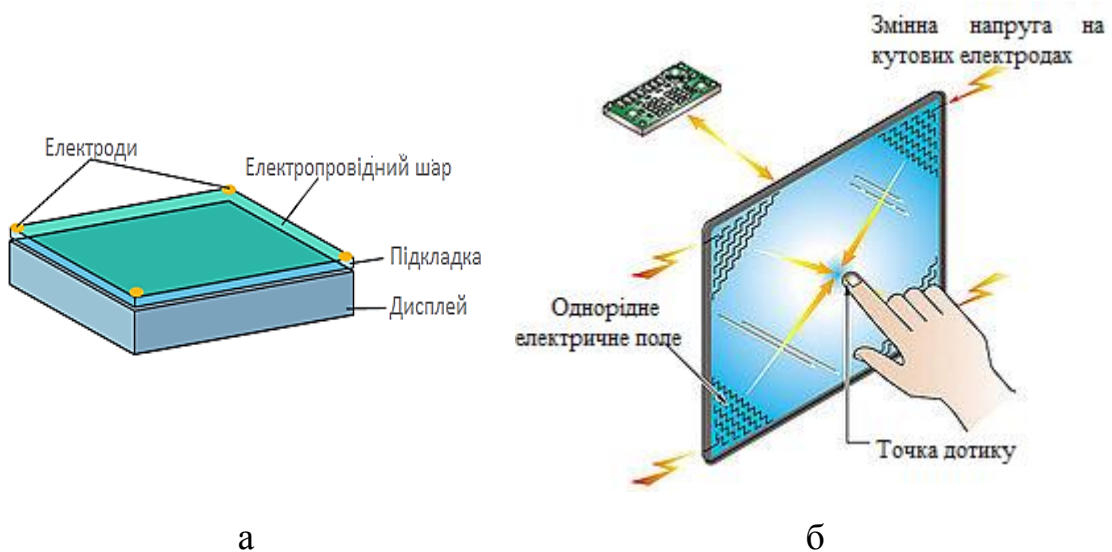


Рисунок 6.7 - Конструкція (а) і принцип дії (б) сенсорної ємнісної панелі [46]

Ці екрани мають значно більшу яскравість, контрастність і чіткість зображення, високу надійність і ширше застосовуються в інтерактивних екранах вимірювальних приладів. Їх недоліками є втрата працездатності при проникненні рідини та неможливість роботи оператора у рукавичках.

Проекційно-ємнісні панелі (Projective Capacitive Touch - PCAP) мають дві скляні пластини (рис. 6.8,а), між якими є сітка тонких прозорих провідників (електродів). Принцип дії базується на реєстрації зміни електростатичного поля (ємності) дотиків на перетинах електродів. На кожен з електродів контролер послідовно подає напругу для створення рівномірного електростатичного поля на панелі. При наближенні пальця оператора до панелі топографія її поля змінюється, тому що ємність між відповідними електродами збільшується. Контролер отримує сигнали з електродів точки дотику і обчислює її координати (рис. 6.8,б).

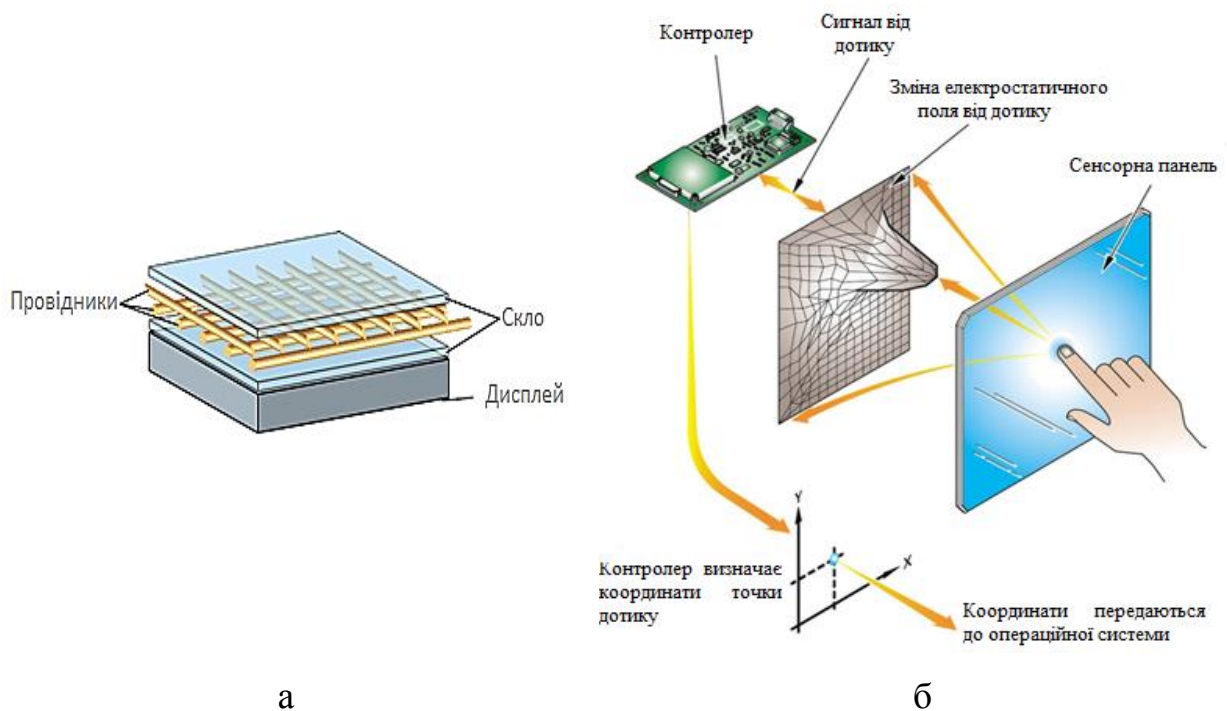


Рисунок 6.8 - Конструкція (а) і принцип дії (б) PCAP панелі [46]

Їх перевагами є висока стійкість до забруднень; механічна міцність і довговічність; прозорість (близько 90%); швидкодія і точність визначення координат точки дотику; можливість реакції як на дотик оператора у рукавичках, так і піднесення пальця лише до екрану. Ця технологія дозволяє реалізувати оперування візуальною інформацією за допомогою функцій «Multi-touch» (множинних дотиків) з відомими маніпуляціями обома руками

і розпізнаванням жестів оператора (рис. 6.9). Для цього створюються інтуїтивно зрозумілі інтерфейси засобів вимірювань. Дворучне управління забезпечує швидший процес обміном інформацією. Оператор може вибирати параметр однією рукою, а іншою встановлювати його значення; вирізати і переміщувати діаграми вимірюваних величин; збільшувати діапазони вимірювань і зображень, гортати зображення тощо.



Рисунок 6.9 - Основні функції Multi-touch сенсорних екранів

До недоліків цих панелей можна віднести більш високу вартість, особливо при збільшенні розміру і роздільної здатності панелі.

Проекційно-ємнісні панелі в основному виготовляються у двох версіях. Є панелі на основі ПЕТ плівки, які мають гнучку структуру і можуть ламінуватись на покривне скло. Другою версією є панелі на жорсткій скляній підкладці і оптично з'єднані з покривним склом. Провідні компанії випускають готові модулі РСАР у пило - та вологозахисних корпусах (до класу захисту IP65) з вибором технологій, розмірів та конфігурацій ВЗВІ, кольорів корпусу, видів монтажу тощо (рис. 6.10) [47].



Рисунок 6.10 - Корпусні модулі сенсорних РСАР панелей ТСІ (ФРН) [47]

Проекційно-ємнісні панелі стійкі до корозії і легко очищаються. Також вони мають можливість монтажу в різні вимірювальні системи і обладнання. Вони все частіше використовуються в системах управління і контролю технологічних процесів, наукових і медичних приладах, бортових системах транспортних засобів тощо. Наприклад, сенсорні PCAP панелі вбудовані в цифрові мультиметри (рис. 6.11,а) компанії Tektronix (США) [48] і вимірювачі щільності продуктів серії DSG (рис. 6.11,б) компанії Bellingham+Stanley (Велика Британія) [49].



а



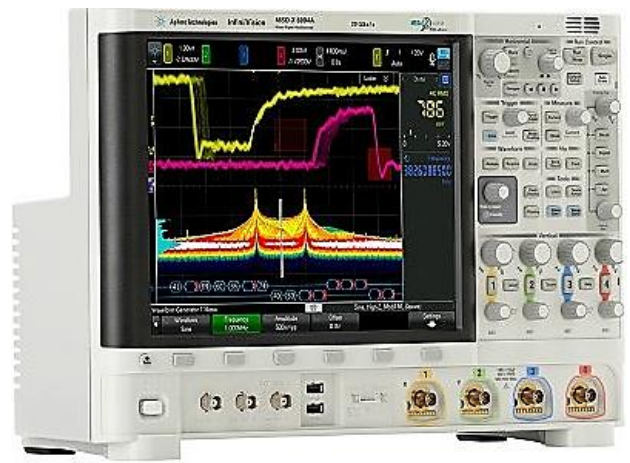
б

Рисунок 6.11 - Вимірювальні прилади з сенсорними PCAP панелями [48, 49].

Сенсорні PCAP панелі застосовуються як інтерактивні НМІ, тому що вони придатні для роботи у складних виробничих і кліматичних умовах в безперервному режимі. Ці інтегровані системи складаються з монітору і блоку обробки інформації для створення людино-машинного інтерфейсу, що забезпечує управління та моніторинг виробництва, і використовуються на виробничих або складальних конвеєрах. Прикладом є кольоровий сенсорний PCAP екран з функцією «Multi-touch» компанії TL Electronic (рис. 6.12,а) [45]. Розширені функції багатомовного голосового і жестового управління мають осцилографи Keysight InfiniiVision DSOX6004A з сенсорним поліхромним PCAP дисплеєм (рис. 6.12,б) [50].



а



б

Рисунок 8.12 - Панельний НМІ (а) і цифровий осцилограф (б) із сенсорами РСАР [45, 50]

### 6.5. Оптичні сенсорні технології і панелі

Сенсорна панель з нерухомими інфрачервоними (ІЧ) оптичними парами здійснює безконтактну реєстрацію дотиків на перетинах невидимої сітки ІЧ променів.

На відміну від попередньо розглянутих технологій сенсорні елементи розташовані не на поверхні панелі, а на її рамці, де з двох суміжних її сторін розташовані лінійки джерел світла (ІЧ світлодіодів), а на протилежних від них боках - лінійки детекторів світла (фото транзисторів). Включені світлодіоди формують над поверхнею екрану невидиму сітку з ІЧ променів. Коли об'єкт наближається до поверхні екрану, він перекриває промені, що перетинаються в цій точці. Відсутність променя в точці дотику фіксується світлочутливими детекторами оптичних пар, по зміні стану яких контролер визначає координати точки дотику (рис. 6.13).

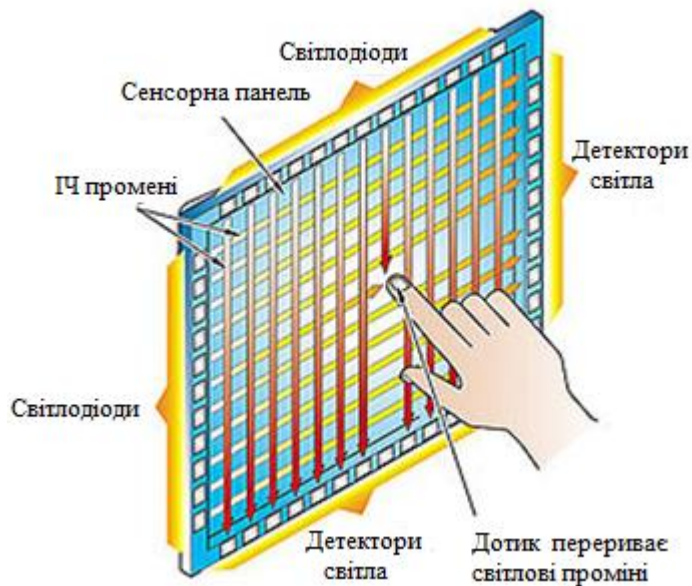


Рисунок 6.13 - Конструкція і принцип дії панелі з оптичними парами [46]

Перевагами їх є найвища прозорість завдяки відсутності скла із сіткою електродів; можливість виконання роз'ємних модулів, які встановлюють на дисплеї; безконтактне управління пальцями, ручками, указками тощо.

До недоліків слід віднести низьку роздільну здатність із-за розмірів оптичних пар; відносно високу вартість; потребу у чистоті поверхонь оптичних пар, тому використовувати їх можна вони тільки у «чистих» приміщеннях без прямого сонячного світла, наприклад в лабораторних або медичних засобах вимірювальної техніки.

Сенсорний екран з рухливим ІЧ променем здійснює безконтактну реєстрацію дотиків рухливими ІЧ або лазерними променями. В ньому замість масиву оптичних пар використовується одне джерело ІЧ випромінювання (світлодіод або напівпровідниковий лазер) і механізм розгортки, який забезпечує рух променя, що сканує робочу поверхню з високою швидкістю. За відсутності дотику промінь розсіюється, а за наявності - промінь відбивається від неї і уловлюється фотодіодом. По зміні стану фотодіода контролер фіксує дотик у відповідній точці. Їх перевагами є компактність модуля, що дає можливість застосування в мобільних пристроях і приладах; високі фотометричні характеристики; можливість поєднання цієї технології з

проекційними зображеннями широких розмірів без змін їх характеристик; безконтактне управління інтерфейсом; невисока собівартість. Недоліками їх є невелика роздільна здатність; досить великі похибки визначення координат точки дотику по краях екрану. Сферами застосування їх є віртуальні клавіатури, екрани любых розмірів, мультимедійні системи.

Оптичні сенсорні екрани на основі відеокамер мають проектор для передачі зображення у видимому діапазоні на екран, джерела випромінювання (ІЧ світлодіоди) і цифрову відеокамеру (рис. 6.14).

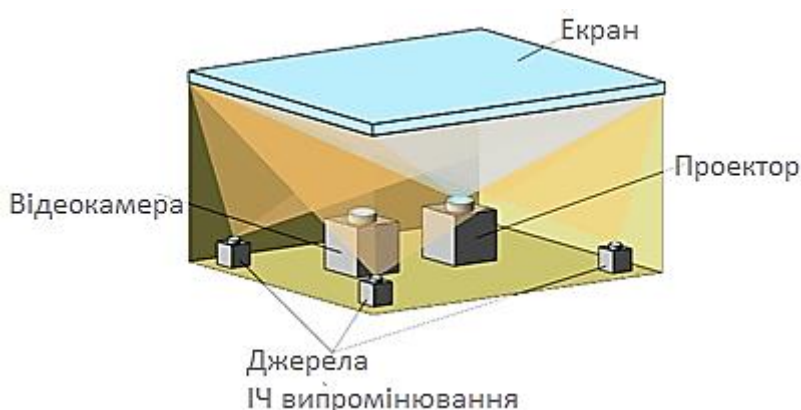


Рисунок 6.14 - Конструкція сенсорного екрану на основі відеокамер

Камер може бути декілька для підвищення надійності і розширення можливостей. Зображення на екрані формується проектором методом зворотної проекції. Внутрішня поверхня екрану підсвічується ІЧ променями. За відсутності предметів на поверхні екрану ІЧ промені безперешкодно проходять крізь скло, а у разі дотику промені відбиваються від перешкоди і відеокамера фіксує пляму на однорідному фоні. Отримане зображення обробляється контролером для визначення координат точок дотику.

Такі екрани також забезпечують роботу системи розпізнавання об'єктів. Для цього на нижню сторону предметів, використовуваних з цим пристроєм, наносяться мініатюрні мітки, по яких мікропроцесор може визначити тип об'єкту і автоматично виконати асоційовану з ним дію - відкрити документ з описом, запустити додаток або передачу даних тощо. Інші їх переваги і

недоліки аналогічні попереднім конструкціям. Застосовуються в сенсорних екранах з функціями розпізнавання об'єктів.

### 6.6. Акустичні сенсорні технології і панелі

Відносно новою є поверхнево-акустична хвильова (ПАХ) технологія, яка отримала міжнародну назву SAW (Surface Acoustic Wave). В ній використовують ультразвукові (УЗ) хвилі, що проходять по поверхні сенсорної панелі. Коли до неї торкаються, частина хвиль поглинається. Ця зміна фіксується як дотик і надається в контролер для обробки. Сенсорна панель є скляною пластиною, яка монтується перед екраном з невеликим проміжком. У кутах пластини встановлені п'єзоелектричні перетворювачі (ПЕП) і приймаючі датчики, а по краях - відбивачі УЗ хвиль (рис. 6.15,а). В інших конструкціях приймаючі датчики розташовані на суміжних сторонах сенсорної панелі, протилежних куту з ПЕП (рис. 6.15,б).

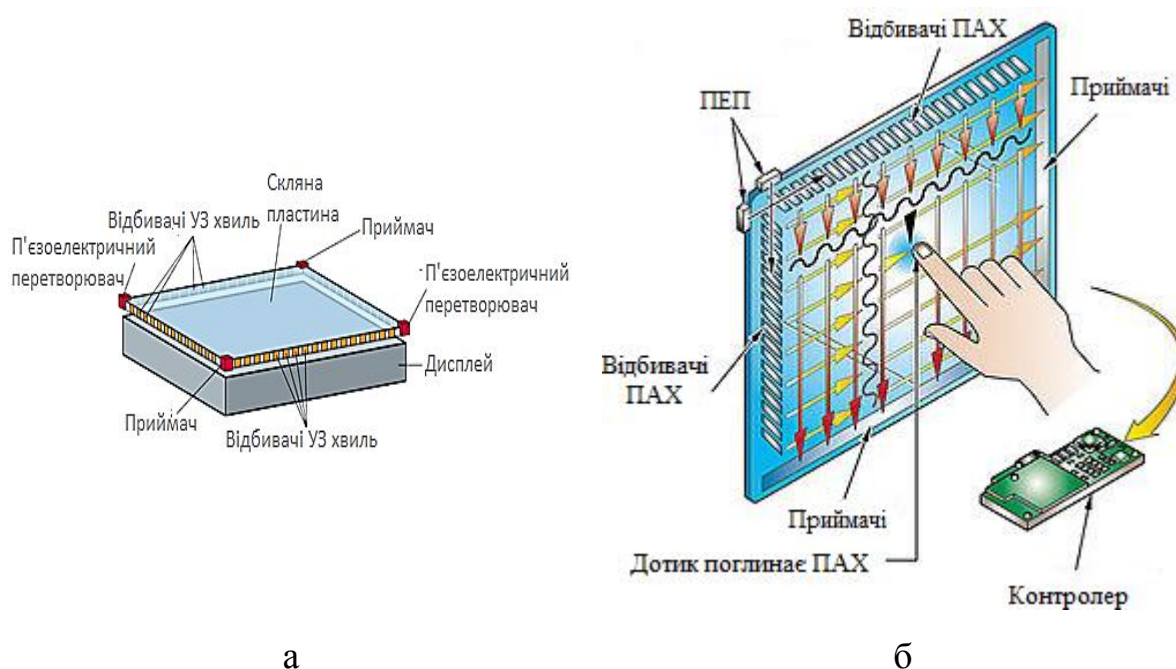


Рисунок 6.15 - Конструкції SAW сенсорних панелей [46]

Контролер подає високочастотний електричний сигнал на ПЕП, які, у свою чергу, збуджують в скляній пластині ПАХ частотою близько декількох

мегагерц. Ці хвилі рівномірно розподіляються відбивачами по площі пластини. Для контролера сенсорна панель є умовною цифровою матрицею, кожне значення якої відповідає певній точці її поверхні. Потім ПАХ уловлюються приймачами, які перетворюють їх в електричний сигнал і подають до контролеру. При дотику частина енергії ПАХ поглинається. По зміні сигналів від приймачів контролер визначає координати точки дотику.

Їх перевагами є високі надійність (вони витримують десятки мільйонів натискань в одній точці) і показники прозорості (більше 90%). Вони також можуть визначати і силу дотику. Недоліками є чутливість до забруднення робочої поверхні; не висока точність визначення координат точки дотику; залежність працездатності від сильного шуму і вібрацій; порівняно висока вартість. Тому вони застосовуються переважно в екранах розмірами від 19", наприклад у якості промислових SAW сенсорних моніторів (рис. 6.16) [45] .



Рисунок 6.16 - Промислові SAW сенсорні монітори TL Electronic [45]

Технологія розпізнавання акустичних імпульсів (Acoustic Pulse Recognition, APR) базується на перетворенні акустичних хвиль дотику до екрану в електричний сигнал з фільтрацією шумів і порівнянням з еталонами. Панель є скляною пластиною, в кутах якої встановлені 4 п'єзоелектричні перетворювачі звукових хвиль в електричний сигнал (рис. 6.17). Звук, що

виникає при дотику до кожної з точок сенсорної поверхні, є унікальним. Звуковий імпульс, досягнувши краю екрану, впливає на ПЕП, який перетворює його в електричний сигнал і передає до контролеру. Останній порівнює сигнали, що поступають з датчиків, зі збереженими в пам'яті еталонними сигналами, зафіксованими при дотиках до різних точок панелі. При відмінностях звуків від еталонних контролер не реєструє дотик. Так реалізована ефективна система фільтрації зовнішніх шумів і вібрацій.



Рисунок 6.17 - Конструкція сенсорного екрану на основі технології APR

Тому їх перевагами є незалежність від сторонніх шумів і вібрацій; висока точність визначення координат точки дотику; високий показник пропускання світла (більше 90%); збереження працездатності при подряпинах і забрудненні сенсорної панелі; висока стабільність роботи. Основним недоліком є відносно висока вартість.

Вони знайшли застосування в сенсорних екранах різних розмірів.

Сенсорні екрани з УЗ пером перетворюють УЗ в координати точки дотику до екрану. Тому для роботи з сенсорним екраном використовується спеціальне перо, в якому розміщені генератор, випромінювач УЗ хвиль і мініатюрне джерело живлення. На рамці екрану поблизу від його верхніх кутів є два датчики, які реагують на УЗ (рис. 6.18). При дотику пера до екрану спрацьовує вимикач, і перо починає випромінювати УЗ хвилі. Контролер фіксує час спрацьовування кожного з датчиків і по різниці цих значень обчислює координати точки дотику.



Рисунок 6.18 - Конструкція сенсорного екрану з УЗ пером

Їх перевагами є незалежність від зовнішніх перешкод, низька вартість і простота реалізації, бо не потрібно вносити зміни в конструкцію екрану. Недоліками відповідно є необхідність застосування спеціального УЗ пера; відносно невелика точність визначення координат точки дотику; неможливість застосування для портативних пристроїв. Тому їх сферою застосування є сенсорні екрани середніх і великих розмірів.

### Контрольні запитання

1. Які відомі способи з'єднання сенсорної панелі з дисплеєм?
2. Який фізичний принцип дії сенсорної резистивної панелі?
3. Яка конструкція і принцип дії сенсорної проекційно-ємнісної панелі?
4. Яка конструкція і принцип дії сенсорної панелі з оптичними парами?
5. Який фізичний принцип дії SAW сенсорних панелей?

## 7. ІНТЕГРАЦІЯ ЗАСОБІВ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ У ВИМІРЮВАЛЬНУ ТЕХНІКУ

### 7.1. Вимоги до ВЗВІ при їх виборі або проектуванні

Аналіз складових інформаційного поля ВЗВІ і вивчення їх характеристик дозволяє визначити ряд вимог до дискретних індикаторів і дисплеїв, які пред'являються при їх виборі або проектуванні для засобів вимірювальної техніки. Їх можна згрупувати за відповідними показниками.

Вимогами до показників функціонального призначення є:

- врахування форм подачі сигналів вимірювальної інформації, яка повинна відповідати призначенню засобу вимірювання і виключати необхідність додаткових перетворень (для зчитування алфавітно-цифрової інформації застосовують індикаторні модулі; для відтворення графічної інформації або визначення характеру змінних сигналів - дисплеї; для спостереження змін сигналів - стовпчикові або дугові шкальні індикатори; для моніторингу технологічних процесів - мнемосхеми і екрани тощо);

- використання літер для передачі інформації про назву, цифр - про кількість, кольору про значущості, а геометричних фігур у випадках, коли оператору необхідна наочна картина для швидкого прийняття рішень;

- обрання способу кодування інформації, виходячи з числа елементів відображення і їх фотометричних характеристик (наприклад, найменший час має пошук за кольором, а найбільший - за яскравістю та розміром; легше розпізнають прості фігури; при кольоровому кодуванні потрібно використовувати не більше 12 кольорів, тому що найточніше розрізняються оком фіолетовий, блакитний, зелений, жовтий і червоний кольори);

- застосування світлового мерехтіння індикаторів і екранів (або зон їх інформаційного поля) для звертання уваги оператора, при цьому число сигналів (або зон) з мерехтінням одночасно не повинно перевищувати три.

На відміну від інших електронних пристроїв переважне значення при проектуванні або виборі ВЗВІ мають психофізіологічні показники. Вибір типу інформаційної моделі ВЗВІ і її алфавіту повинен насамперед

забезпечувати оптимальну взаємодію оператора із засобом вимірювання. До цих показників пред'являються такі вимоги:

- врахування звичної для оператора форми сприйняття знакової інформації (наприклад, просторове кодування використовують для передачі напрямку, декілька крапок для позначення кількості об'єктів тощо);

- вибір просторових геометричних характеристик і параметрів яскравості з урахуванням параметрів поля ясного зору оператора;

- врахування розмірів поля зору оператора при компоюванні елементів відображення на інформаційному полі ВЗВІ, маючи на увазі, що оптимальне охоплення досягається рухом тільки очей, максимальне - рухом і ока і голови; поле зору складає  $30^\circ$  униз від горизонтальної лінії у положенні стоячи і  $38^\circ$  у положенні сидячи; максимальний кут огляду при повороті тільки очей складає  $70^\circ$ , а при одночасному русі очей і голови він дорівнює  $90^\circ$  вгору і  $55^\circ$  униз від горизонталі;

- визначення психофізіологічних характеристики із врахуванням інерційності очей оператора;

- компоювання ВЗВІ повинне створювати оптимальні умови для формування інформаційної моделі та здійснюватися з урахуванням характеристик системи «оператор - засіб вимірювання».

Для покращення огляду на дисплеях під різними кутами застосовується низка технологій, що робить їх придатними для промислового застосування. Сучасні технології дозволяють досягати кутів огляду майже  $90^\circ$  у чотирьох напрямках без спотворень огляду.

Особливими є і фотометричні показники, які формують якість зорового сприйняття інформації оператором: відтворення градацій яскравості і кольоровості, півтонів; контрастність, сприйняття інформації оператором в темряві і на світлі. Для промислових дисплеїв важливо, щоби вони забезпечували чітке зображення під різними кутами зору оператора в різних умовах навколишнього освітлення. Чим яскравіше навколишнє середовище, тим важче зчитувати інформацію з дисплеїв з типовою яскравістю до 300

кд/м<sup>2</sup>, тому виробники для цих умов підвищують яскравість до 800 кд/м<sup>2</sup>. Також потрібно враховувати значення контрасту екрану та інтервали яскравості для забезпечення чіткості зображення. Збільшення коефіцієнту контрастності дисплея є ще одним ефективним способом покращення огляду дисплея в умовах яскравого освітлення. Типові коефіцієнти контрастності для непромислових дисплеїв знаходяться в діапазоні від 200:1 до 300:1, що може бути недостатньо, коли оператор дивиться на дисплей з відстані. Тому часто дисплеї з коефіцієнтом контрасту близько 500:1 є оптимальними для промислових виробництв або польових умов.

Показниками технологічності вважаються простота конструкції і можливість побудови із доступних і дешевих модулів; можливість реалізації багатоелементних, матричних або мозаїчних ВЗВІ; сумісність із стандартною елементною базою електронних і мікропроцесорних компонентів; можливість роботи в мультиплексному режимі; мінімальна кількість виводів модулів і їх висока площинність (мала товщина).

Основними вимогами до експлуатаційних показників дисплеїв є їх надійність, широкі діапазони робочих температур, механічна і вібраційна міцність, вологостійкість, енергоефективність, оптимальні розміри і маса.

При виборі дисплейних модулів для промислового застосування потрібно враховувати, що їх надійність пов'язана з тривалим їх життєвим циклом (зазвичай від 10 років). Тому, коли виробник знімає з виробництва промисловий модуль, наступна його версія повинна бути сумісною з конструкцією засобу вимірювання без його перепроектування.

Здатність працювати при екстремальних температурах і витримувати їх перепади, удари та вібрацію також є ключовим фактором при виборі дисплеїв для сучасних промислових засобів вимірювань. Промислові дисплеї зазвичай розміщуються в загальному корпусі як частина іншого обладнання, в тому числі і вимірювального. При цьому тепло, що виділяється навколишнім устаткуванням, утримується всередині корпусу, що може вивести з ладу багато типів дисплеїв. Тому при виборі дисплея важливо

оцінювати діапазони робочих температур як всередині корпусу, так і зовні, за можливості вжити заходів для відведення тепла (наприклад, примусову вентиляцію). Але найбільш ефективним способом все ж таки є вибір дисплеїв, оптимізованих для температур робочих середовищ. Тим більше, що багато типів дисплеїв працює в діапазонах від  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Робочі умови з підвищеною вологістю теж потрібно враховувати при виборі дисплею.

Промислові прилади мають бути міцнішими і вібростійкими у порівнянні із лабораторними. Цьому сприяють багато технологій, такі як «чип на склі», загартування скла для екранів, металеві рамки та корпуси тощо.

Розміри ЗВІ також є факторами їх вибору. Дисплеї з діагоналлю від 2" до 12" найчастіше використовуються у промислових засобах вимірювальної техніки. Ці габарити забезпечують достатню площу ергономічного огляду екрану і займають мінімум площі панелі приладу. Виробники промислових дисплеїв переходять з стандартних форматів 4:3 (для моніторів) та 5:3 (для індикаторів) на широкі формати, починаючи від стандарту WVGA (з роздільною здатністю 800x480 пікселів) до WXGA (1366x768 пікселів) з відношенням сторін 16:9. Це пояснюється тим, що більш широкий екран ВЗВІ дозволяє переглядати довші графічні зображення або більше алфавітно-цифрової інформації на одному дисплеї по горизонталі.

Модулі дисплеїв також можуть проектуватися з функціями сенсорних клавіш. Це дозволяє виробникам багатофункціональних засобів вимірювань відмовитися від фізичних перемикачів і кнопок та розробляти прилади, які ґрунтуються більше на програмному забезпеченні, ніж на апаратному.

Найбільш енергоефективними теоретично є пасивні ВЗВІ, наприклад LCD. Для промислових середовищ оптимальними є напівпрозорі дисплеї, які забезпечують роботу в умовах змінної освітленості і одночасно заощаджують споживання енергії. Слід мати на увазі, що енергоефективність дисплеїв є пріоритетом у виробників і її показники вони обов'язково вказують.

## 7.2. Модульні технології для приладобудівних OEM

Приладобудування ґрунтується на модульному принципі побудови засобів вимірювань, оскільки виробництво потрібних модулів, з яких можна скласти майже любий засіб вимірювання, дуже розвинуте. Він дав поштовх розвитку виробництва під брендом OEM (Original Equipment Manufacturer - виробник оригінального обладнання), яким зазвичай є модульний продукт, побудований на базовому функціоналі з використанням дешевих стандартних комплектуючих і технологій. За рахунок мінімальної комплектації і знижених витрат виробника на маркетинг товари OEM на (10-40) % дешевше подібних продуктів провідних виробників у роздрібній торгівлі. Тому товарами OEM фактично є комплектуючі, призначені для промислових виробників (власне OEM), але які продаються в роздрібній мережі [51]. Ця схема дає змогу виробникам засобів вимірювальної техніки зосередити зусилля на удосконаленні вимірювальних технологій, конструкцій і характеристик приладів, користуючись при цьому компонентами інших спеціалізованих виробників, наприклад дисплейними модулями. За цією схемою працюють як провідні приладобудівні компанії з серійним виробництвом, так і фірми з малими обсягами випуску засобів вимірювань.

На ринку ВЗВІ виробники і їх дистриб'ютори пропонують індикатори, мініатюрні дисплеї і широкоформатні екрани, які побудовані за різними фізичними принципами і технологіями, мають різноманітні розміри і формати, фотометричні і експлуатаційні характеристики тощо. Відмінністю сучасних ВЗВІ є модульний принцип їх побудови, оскільки всі перелічені вище індикатори і дисплеї випускаються у вигляді модулів, які мають електричне, інформаційне і механічне сполучення з іншими компонентами засобів вимірювань. Тому часто вони оснащені друкованими платами (теж модулями) з електронними елементами управління. Для тестування і супроводу розробок OEM до введення в експлуатацію ними нових зразків вимірювальної техніки виробники дисплейних і індикаторних модулів також пропонують оцінювальні і стартові комплекти. До їх складу зазвичай входять

індикатори (дисплеї) з платами драйверів, контролерів або мікропроцесорних пристроїв управління, інтерфейси, USB кабелі, програмне забезпечення з бібліотеками шрифтів, знаків, символів тощо (рис. 7.1) [52]. Ці комплекти можуть мати пристрої підсвічування, а дисплеї можуть бути з сенсорними панелями.



Рисунок 7.1 - Приклади оцінювального (а) і стартового комплектів дисплеїв компанії Display Vision для OEM [52]

Також ними надаються у вільний доступ редактори/компілятори для Windows і віртуальні симулятори для оптимального вибору, супроводу розробки і тестування дисплеїв. Їх можна використовувати для моделювання макетів екранів алфавітно-цифрових індикаторів або графічних дисплеїв з різними варіантами підсвічування. Симулятори також можуть обмінюватися даними через один із послідовних інтерфейсів ПК або через термінал.

Дуже зручною є модульна платформа Arduino на базі мікроконтролерів з безкоштовними бібліотеками різноманітного програмного забезпечення. Модулі Arduino є платами з вбудованим процесором, пам'яттю і периферією, які дозволяють реалізувати базовий функціонал за допомогою однієї плати. Для розширення можливостей служать плати розширення (shield), які працюють з модулями різних типів, з Ethernet, Bluetooth та Wi-Fi а також

здатні читати та писати на карти пам'яті та накопичувачі, підтримувати USB Host. Модулі розширення рівня Industrial мають гальванічну розв'язку. Модулі базових контролерів Arduino поширені завдяки своїй універсальності. Популярні плати Arduino Uno та Leonardo мають достатній набір периферії, а плати Due та Mega - розширений. Компактними є модулі типу Pro, Micro та Nano. Модулі Mega випускаються відразу із встановленим SoC ESP8266 та бездротовим зв'язком Wi-Fi (рис. 7.2) [10]. Модулі індикаторів (дисплеїв) комбінуються з основною платою-контролером і потім конфігуруються у середовищі Arduino IDE. Тому багато виробників дисплейних модулів орієнтуються на модульну платформу Arduino.

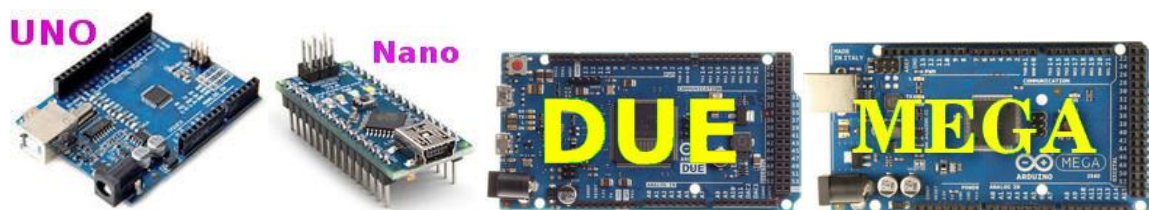


Рисунок 7.2 - Популярні модулі Arduino [10]

Всі корпуси комплектуючих і дисплейні модулі стандартизовані для спрощення технологічного процесу їх монтажу на друковані плати. Для цього застосовуються різні їх види, які мають відповідні виводи.

При технології монтажу в отвори друкованих плат електронні елементи можуть мати ряд виконань. Це компоненти з плоскими корпусами SIP (Single In-line Package) для вертикального монтажу з одним рядом прямих виводів по довгій стороні (рис. 7.3,а) або зигзагоподібних виводів ZIP (Zigzag In-line Package, рис. 7.3,б). Корпуси прямокутної форми з двома рядами виводів по довгих сторонах DIP (Dual In-line Package) мають більшість мікросхем і дисплейних модулів, призначених для монтажу в отвори плати (рис. 7.3,в). Вони можуть бути виконані з пластика (PDIP) або кераміки (CDIP). Зазвичай в їх позначенні вказується число виводів.

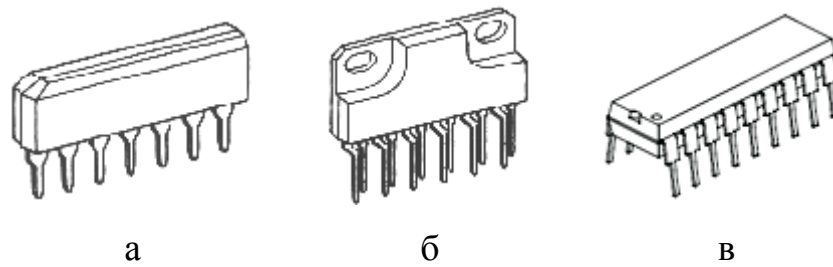


Рисунок 7.3 - Корпуси елементів для монтажу в отвори друкованих плат

Основними елементами для поверхневого монтажу на платі є SMD компоненти (чипи). Серед них є різновиди типів корпусів елементів, такі як SOIC (Small Outline Integrated Circuit) і SOP (Small Outline Package), які займають на платі на (30-50)% менше площі, ніж аналогічний корпус DIP, а також мають на (50-70)% меншу товщину (рис. 7.4,а). Тонкий TSOP (Thin SOP) і зменшений SSOP (Shrink SOP) є різновидами SOP корпусу (рис. 7.4,б-в). Різниця між ними полягає у сторонах (короткі або довші) розташування виводів. Ще одним типом є квадратний плоский корпус QFP (Quad Flat Package) з чотирма рядами контактів по його краям (рис. 7.4,г). Оскільки вони мають малу висоту, то їх ще позначають як тонкі TQFP (Thin QFP) або низько профільні LQFP (Low-profile QFP).

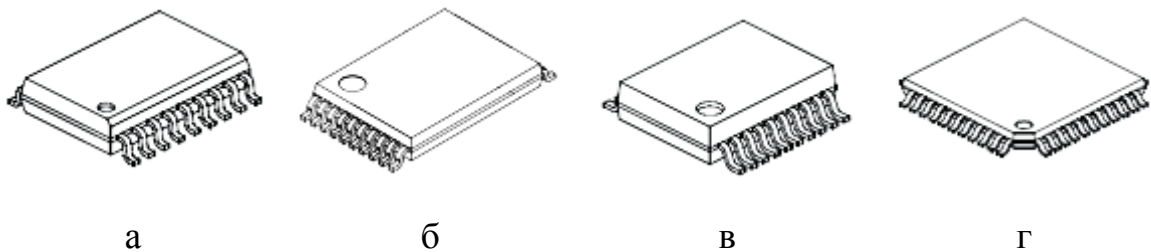


Рисунок 7.4 - Корпуси елементів для поверхневого монтажу на платі

Є ряд конструктивів, які називаються без свинцевими утримувачами чипів (Leadless Chip Carrier - LCC). Це пакети для інтегральних мікросхем, які не мають звичайних виводів. В цих пристроях поверхневого монтажу застосовані металеві прокладки на краях для з'єднання з платою. Завдяки зменшенню ваги, площі і об'єму, ці конструктиви довговічніші, можуть

витримувати вібрацію і удари, і тому популярні. Зазвичай вони мають вигляд квадратного керамічного (CLCC) або пластмасового (PLCC) корпусу з розташованими на його нижній частині контактами для установки в спеціальну панель, яку ще називають «ліжечком» (рис. 7.5,а-б).

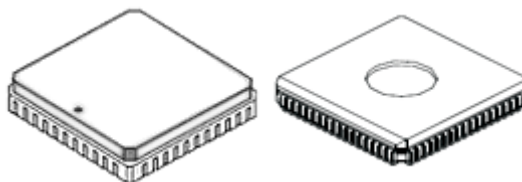


Рисунок 7.5 - Без свинцеві утримувачі чипів (LCC)

### **7.3. Системна інтеграція в приладобудуванні**

Специфікою сучасної спеціалізації серед виробників ВЗВІ є серійне виробництво стандартної продукції та/або виконання індивідуальних замовлень OEM з послугами супроводу, починаючи з її проектування, і закінчуючи випробуваннями. Часто ці два напрямки компанії поєднують.

В системній інтеграції в приладобудуванні можна виділити два напрями - технічний (модульна комплектація) і технологічний (послуги).

Під технічною системною інтеграцією розуміють процес підготовки до з'єднання за стандартними електричними, інформаційними, механічними протоколами різних підсистем (компонентів) в інформаційну вимірювальну систему (або прилад), що після складання буде функціонувати як єдине ціле. Метою такої інтеграції є покращення характеристик системи, прискорення інформаційних потоків, підвищення надійності, розширення умов експлуатації тощо. Прикладом є людино-машинні інтерфейси НМІ, які у рамках концепції Industry 4.0 інтелектуального промислового виробництва стали основним компонентом автоматизованих систем вимірювань і управління. Основним завданням проектувальника НМІ є дотримання балансу між функціональними вимогами до нього та зручністю використання оператором. У промисловому НМІ не продуманий дизайн інтерфейсу може

призвести до експлуатаційних втрат, технологічних помилок, які ведуть до загроз продуктивності, а іноді і безпеки. Найчастіше НМІ реалізується з використанням типових операторських панелей візуалізації (індикаторів, дисплеїв, екранів), комп'ютерів та програмного забезпечення.

Для виконання індивідуальних замовлень OEM провідні виробники дисплейної продукції виступають в ролі системних інтеграторів, реалізуючи технологічну системну інтеграцію. Робота системного інтегратора полягає в пропонуванні клієнтам OEM інформаційної, технічної і технологічної підтримки на етапі проектування засобів вимірювання. Для цього вони здійснюють планування, координацію постачальників, складання графіків виробництва, тестування продукції, обслуговування інформаційних систем.

Тому, для виконання, в основному, індивідуальних замовлень OEM провідні виробники дисплейної продукції пропонують проводити поетапну системну інтеграцію, починаючи з визначення змісту проекту, тобто функціонального призначення проектованого приладу або системи, умов їх експлуатації тощо. Далі розробляється концепція з вибором технологій відображення і управління (в т.ч. сенсорних), дисплейного модуля, плат і елементів схем управління, програмного забезпечення тощо. Після цього відбувається конструювання і компоновка дисплею, створення дослідних зразків. Останнім етапом перед впровадженням у виробництво є тестування і випробування продукту з визначенням його характеристик. При цьому OEM слід мати на увазі, що при виробництві власних приладів застосування стандартних дисплеїв не завжди є дешевшим у порівнянні з індивідуальними замовленнями і часто складніше виводяться на ринок засобів вимірювань.

Класичним прикладом системного інтегратора є компанія Raustar, яка надає технологічні рішення OEM, такі як технологія візуалізації (LCD TFT, OLED та інші) і дизайн комунікаційного інтерфейсу (в тому числі з сенсорними панелями), мембранні або сенсорні клавіатури, програмування графічних модулів з бібліотекою багатомовних шрифтів, плати драйверів, нестандартні форми і розміри друкованих плат, вихідний інтерфейс, варіанти

і методи монтажу тощо [53]. Ще одним світовим інтегратором у сфері виробництва НМІ є компанія Siemens, яка, з одного боку, пропонує ряд готових сенсорних промислових панелей від програмованих кнопкових (Key Panels) і малогабаритних стаціонарних панелей (Basic Panels), наприклад, для операторів верстатів з ЧПУ, до широкоформатних поліхромних екранів (Comfort Panels) і мобільних безпроводних сенсорних панелей (Mobile Panels) для інженерів-технологів, керівників виробництв і проектів тощо (рис. 7.6) [54]. Всі вони орієнтовані на вирішення задач людино-машинного інтерфейсу безпосередньо у виробничих умовах.

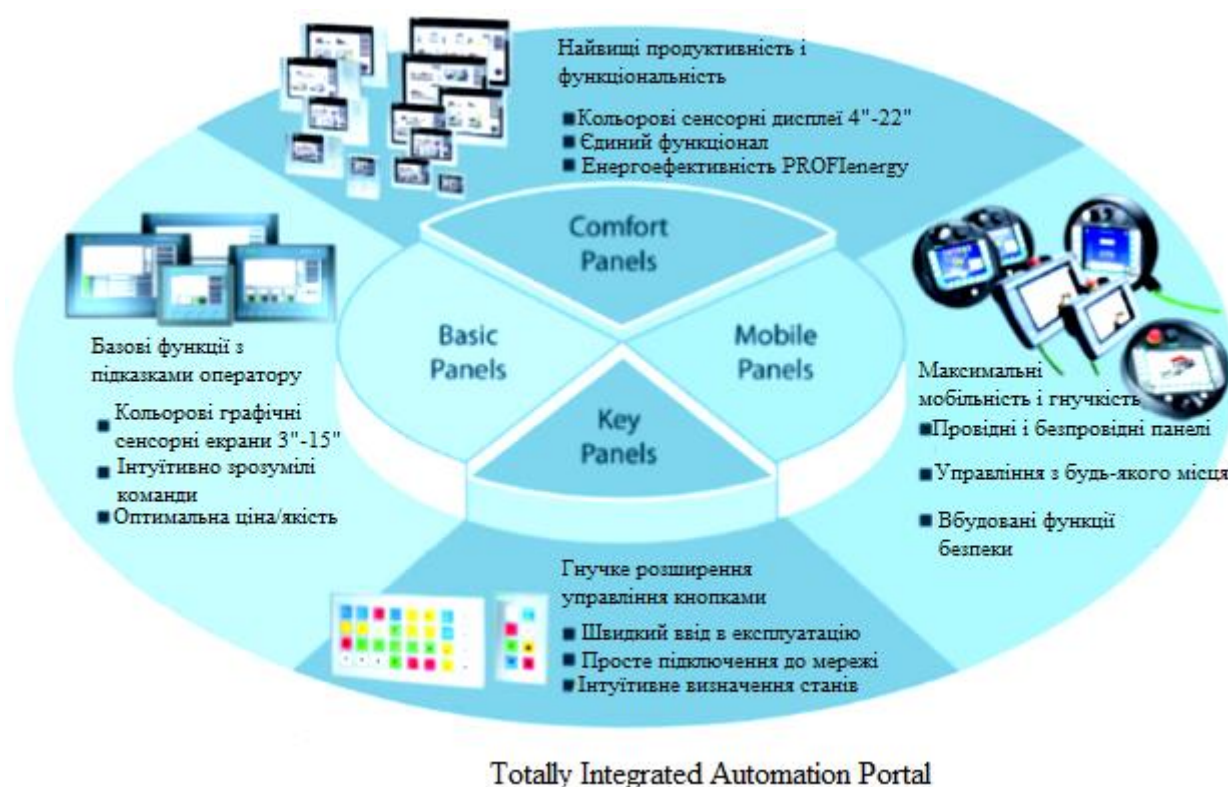


Рисунок 7.6 - Системна інтеграція Siemens для приладобудування [54]

З іншого боку, компанія Siemens пропонує власну систему комплексної автоматизації (Totally Integrated Automation® - TIA) на основі системної інтеграції окремих засобів вимірювань і автоматики, починаючи від датчиків і технологій вводу/виводу на панелях, і закінчуючи рівнем управління виробництвом. Концепція TIA базується на трьох основних принципах:

однакові способи конфігурування/програмування, управління даними і організації мережевого обміну даними. Підтримка цих принципів дозволяє суттєво скорочувати витрати на розробку комплексних проектів. Будучи частиною ТІА, панелі НМІ використовують ті ж засоби розробки під Windows, корпоративні комунікації та звертаються до даних, що спільно використовуються на підприємстві (стандарти, креслення, описи). Для розробки проектів панелей операторів SIMATIC та найпростіших систем комп'ютерної візуалізації використовуються інструментальні засоби пакету SIMATIC WinCC (TIA Portal). Обсяг підтримуваних функцій залежить від типу наданої фірмою ліцензії [54]. Отже, компанія Siemens пропонує не тільки стандартний спектр дисплеїв для широкого діапазону завдань оперативного контролю та моніторингу, а і реалізує системи НМІ за індивідуальними замовленнями. Крім того, вона здійснює супровід своєї продукції, пропонуючи заміну застарілих моделей ВЗВІ на нові.

#### **7.4. Інформаційна і рекламна підтримка OEM засобів вимірювань**

Міжнародна спільнота з технологій і засобів відображення інформації (SID) є єдиною професійною організацією, яка займається електронними дисплеями та візуальними інформаційними технологіями [55]. SID надає унікальну платформу для галузевого співробітництва, спілкування та навчання всім зацікавленим фахівцям, демонструючи при цьому найкращі нові продукти галузі. Члени організації є професіоналами в техніці і бізнесі, пов'язаних із дослідженнями дисплеїв, дизайном, виробництвом, додатками, маркетингом та продажами. Для сприяння розвитку промислових і наукових технологій, інформування споживачів про передові технології SID проводить конференції, які об'єднують промисловість, наукові та академічні кола для розвитку технологій, що визначають майбутнє ВЗВІ [55].

Звичайно, OEM вимірювальної техніки мають інформаційну підтримку виробників ВЗВІ на їх сайтах, адреси багатьох з яких наведені тут у списку джерел інформації. Компанії представляють не тільки описи характеристик

ВЗВІ, а і надають пояснення щодо технологій і можливостей їх продукції, переліки переваг і сфер застосування, технічні специфікації, рекламні проспекти, відео презентації, анкети OEM для їх індивідуальних замовлень.

### **Контрольні запитання**

1. Які вимоги до обрання способу кодування інформації у ВЗВІ?
2. Які вимоги до ВЗВІ при врахуванні розмірів поля зору оператора?
3. Що мається на увазі під показниками технологічності?
4. Які формати екранів використовуються для індикаторів і моніторів?
5. Які види корпусів електронних компонентів з виводами для монтажу у отвори плат і поверхневого монтажу Ви знаєте?
6. Які напрями виділяють в системній інтеграції в приладобудуванні?

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Сіренко М.М. Характеристики засобів візуалізації вимірювальної інформації : навчально-методичний посібник / М.М.Сіренко - Харків : НТУ «ХП», 2023. - 74 с.
2. Крилик Л. В. Засоби відображення інформації. Частина 1: навчальний посібник / Л. В. Крилик, О. О. Селецька, І. В. Сухоцька. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 82 с.
3. Системи та пристрої відображення інформації: монографія / С. В. Павлов [та ін.] - Вінниця: ВНТУ, 2018. - 216 с.
4. Дисплейні продукти LUMINEQ [Електронний ресурс] : Режим доступу: <https://www.lumineq.com/products>. - 07.06.23. - Назва з екрану.
5. Sparking a new revolution in flat panel technology [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://www.ifire.com/> - 14.06.23. - Назва з екрану.
6. VFD. Самостійний дисплей із чудовою видимістю та контрастністю [Електронний ресурс] : Режим доступу: <https://www.futaba.co.jp/en/product/vfd> - 15.06.23. - Назва з екрану.
7. Ласкаво просимо до GOVSA [Електронний ресурс] : Режим доступу: [http://www.kinghigh.com.cn/?\\_l=en](http://www.kinghigh.com.cn/?_l=en) - 15.06.23. - Назва з екрану.
8. GWINSTEK. Продукти [Електронний ресурс] : Режим доступу: <https://www.gwinstek.com/en-global/products/indexs> - 15.06.23. - Назва з екрану.
9. OASISTEK. Продукти. Однозначний дисплей [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.oasistek.com/en/Products/LED-Display/Digit-Display/Single-Digit-Display/> - 16.06.23. - Назва з екрану.
10. Arduino.ua. LED [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://arduino.ua/cat259-led> - 16.06.23. - Назва з екрану.
11. Joy-it. Продукти. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.joy-it.net/en/products> - 16.06.23. - Назва з екрану.
12. Каталог [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.elpribor.ru/catalog/> - 16.06.23. - Назва з екрану.

13. SMD LED Модулі [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://fly-factory.com/led-modules.html> - 16.06.23. - Назва з екрану.
14. Технологія MicroLED [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.playnitride.com/en/microledtechnology/> - 16.06.23. - Назва з екрану.
15. Рішення доповненої реальності ZEBRA [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://sytecs.com.ua/ua/tekhnohii/%20sistema-dopovненоуi-realnosti-zebra-hd4000/> - 16.06.23. - Назва з екрану.
16. Органічний світло випромінюючий діод (OLED) [Електронний ресурс] : Режим доступу: <https://www.futaba.co.jp/en/product/oled/about> - 14.06.23. - Назва з екрану.
17. Display Visions. OLED [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.displayvisions.us/products/oled.html> - 16.06.23. - Назва з екрану.
18. Цвет OLED [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://ru.enrichlcddisplay.com/oled/color-oled/> - 16.06.23. - Назва з екрану.
19. Цифрові мультиметри (DMM) [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.keysight.com/us/en/products/digital-multimeters-dmm.html> - 16.06.23. - Назва з екрану.
20. Oxide Semiconductor Display [Електронний ресурс]: Режим доступу: [https://www.sel.co.jp/en/technology/os\\_display.html](https://www.sel.co.jp/en/technology/os_display.html) - 16.06.23. - Назва з екрану.
21. [Прес-реліз] Дисплей Samsung демонструє продукти «Майбутнє OLED» на виставці CES 2023 [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://global.samsungdisplay.com/31057> - 16.06.23. - Назва з екрану.
22. Мікродисплей OLED [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.sony-semicon.com/en/products/microdisplay/oled.html> - 16.06.23. - Назва з екрану.
23. OLED дисплеї. Оптоелектроніка в Blume Elektronik [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.blume-elektronik.de/produkte/optoelektronik/displays/oled/> - 16.06.23. - Назва з екрану.
24. Майбутнє дисплею яскравіше та сміліше [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://nanosys.com/> - 17.06.23. - Назва з екрану.

25. Скляна РК панель [Електронний ресурс]: Режим доступу <http://www.blazedisplay.com/en/products/LCDGlassPanel/> - 17.06.23. - Назва з екрану.

26. LCD алфавітний суп: розуміння типів LCD технології [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.newvisiondisplay.com/types-of-lcd-technology/> - 18.06.23. - Назва з екрану.

27. Інноваційні технології [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.tianma.eu/technologies/> - 17.06.23. - Назва з екрану.

28. IPS чи TFT? [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.lcd-module.com/lcd-tft-code-example-programming/better-ips-tft-tn-lcd.html> - 17.06.23. - Назва з екрану.

29. Монітори, які читаються на сонячному світлі [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.abraxsyscorp.com/Sunlight-Readable-LCD-Display-Monitors.html> - 17.06.23. - Назва з екрану.

30. Що таке ZBD LCD? [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.newvisiondisplay.com/what-are-zbd-lcds/> - 17.06.23. - Назва з екрану.

31. WINSTAR. Technology [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.winstar.com.tw/technology/stn/11.html> - 17.06.23. - Назва з екрану.

32. Догляд за очима [Електронний ресурс]: Режим доступу: [https://www.auo.com/en-global/technologies/index/Display/Eye\\_Care](https://www.auo.com/en-global/technologies/index/Display/Eye_Care) - 17.06.23. - Назва з екрану.

33. LCD: 7-сегментні модулі [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://display-elektronik.de/de/produkte/lcd/7-segment-glaesern/> - 18.06.23. - Назва з екрану.

34. РК, OLED і TFT дисплеї, доступні, високоякісні та довгострокові [Електронний ресурс] : Режим доступу: <https://www.lcd-module.com/products> - 14.06.23. - Назва з екрану.

35. Засоби відображення інформації. Електронні дисплеї : навчальний посібник МОН / З. Ю. Готра, В. П. Кожем'яко, З. М. Микитюк [та ін.] ; за ред. З. Ю. Готри. - Вінниця : ВНТУ, 2014. - 162 с.

36. RAYSTAR. Дисплей VATN LCD, алфавітно-цифровий модуль LCD дисплея [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.raystar-optronics.com/vatn-alphanumeric-lcd-display.htm> - 18.06.23. - Назва з екрану.

37. WINSTAR. VATN LCD [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.winstar.com.tw/products/vatn-lcd-display.html> - 18.06.23. - Назва з екрану.

38. LCD: графічні монохромні модулі [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://display-elektronik.de/de/produkte/lcd/grafik-monochrom-module/> - 18.06.23. - Назва з екрану.

39. Монохромний графічний РК дисплей, модуль графічного РК дисплея [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.raystar-optronics.com/graphic-lcd-display-module.htm> - 18.06.23. - Назва з екрану.

40. Апаратні компоненти техніки вимірювання енергії [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.pq-plus.de/produkte/hardwarekomponenten/> - 18.06.23. - Назва з екрану.

41. Неоновий індикатор кріплення на панелі [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://vcclite.com/product-category/panelmountindicator/rmineon/> - 18.06.23. - Назва з екрану.

42. USB дисплей [Електронний ресурс]: Режим доступу: [https://www.futaba.co.jp/en/product/module/usb\\_display](https://www.futaba.co.jp/en/product/module/usb_display) - 18.06.23. - Назва з екрану.

43. Ласкаво просимо до АМТ [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.amtouch.com.tw/> - 18.06.23. - Назва з екрану.

44. Інтеграція сенсорного дисплея (TDDI) [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.synaptics.com/technology/display-integration> - 18.06.23. - Назва з екрану.

45. TL Product world [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.tl-electronic.com/tl-product-world/> - 18.06.23. - Назва з екрану.
46. Поширені запитання [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.tci.de/en/tci-competence/faq-page/> - 01.06.23. - Назва з екрану.
47. Сенсорні панелі у вашому дизайні. Масштабована К-серія [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://info.tci.de/en/k-series> - 01.06.23. - Назва з екрану.
48. Цифрові мультиметри (DMM) від Tektronix і Keithley [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.tek.com/de/products/keithley/benchtop-digital-multimeter> - 01.06.23. - Назва з екрану.
49. Цифрові вимірювачі густини - серія DSG [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.bellinghamandstanley.com/en/density-meters/dsg-density-meters> - 05.06.23. - Назва з екрану.
50. Настільні осцилографи з дисплеєм [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.meilhaus.de/produkte/oszilloskope/benchtop/> - 04.06.23. - Назва з екрану.
51. Arthur V. Hill. The Encyclopedia of Operations Management: A Field Manual and Glossary of Operations Management Terms and Concepts. - New Jersey: FT Press, 2012. P.248.
52. Набір для оцінювання [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://shop.lcd-module.com/> - 04.06.23. - Назва з екрану.
53. Системна інтеграція [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.raystar-optronics.com/system-integration.htm> - 05.06.23. - Назва з екрану.
54. Панелі SIMATIC HMI - легка робота на рівні машини [Електронний ресурс] : Режим доступу: <https://www.siemens.com/de/de/produkte/automatisierung/simatic-hmi/panels.html>. - 07.06.23. - Назва з екрану.
55. SID.ORG. Інновації в дисплеї [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.sid.org/> - 05.06.23. - Назва з екрану.

Навчальне видання

СІРЕНКО Микола Миколайович

**ТЕХНОЛОГІЇ І ЗАСОБИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ  
ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ**

Навчальний посібник

Відповідальний за випуск Ю.В.Хомяк

Роботу до видання рекомендував Б.М.Горкунов

В авторській редакції

План 2023 р., поз.

Підп. до друку \_\_.\_\_.\_\_. Формат 60×84 1/16. Папір друк. №2.

Друк – ризографія. Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. \_\_\_\_. Обл.-  
вид. арк. \_\_\_\_. Наклад \_\_\_\_ прим. Зам №\_\_\_\_. Ціна договірна.

---

Видавничий центр НТУ «ХП».

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 116 від 10.07.2004 р.  
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

---