

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
“Харківський авіаційний інститут”

О.В. Заболотний, В.О. Книш

**НАПІВПРОВІДНИКОВІ ТА РІДИННОКРИСТАЛИЧНІ ПРИСТРОЇ
ВІДОБРАЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ**

Навчальний посібник до курсового
та дипломного проектування

Харків “ХАІ” 2008

УДК 621.3.085.3

Заболотний О. В. Напівпровідникові та рідиннокристаличні пристрої відображення інформації: навч. посібник до курс. та дипл. проектування / О.В. Заболотний, В.О. Книш. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т “Харк. авіац. ін-т”, 2008. – 47с.

Розглянуто питання розроблення систем індикації на семи-сегментних світлодіодних індикаторах, рідиннокристаличних дисплеях. Наведено приклади розрахунку статичного і динамічного типів індикації.

Для студентів факультету систем керування літальних апаратів.

Іл. 28. Табл. 9. Бібліогр.: 16 назв

Рецензенти: канд. техн. наук, доц. М.В. Гунбін, В.А. Борисенко

© Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
“Харківський авіаційний інститут”, 2008 р.

1 РОЗРОБЛЕННЯ СВІТЛОДІОДНИХ ІНДИКАТОРІВ

1.1 Вибір і розрахунок світлодіодних індикаторів

Світлодіоди – найпоширеніші пристрої індикаторних пристроїв. Простота реалізації електронної схеми та використання мікроконтролерної техніки дозволяє вирішувати різні задачі індикації та відображення інформації. Але для інженерних задач світлодіодні індикаторні дошки повинні бути правильно розраховані [1].

Основні параметри світлодіодів. Світлодіод – точкове джерело світла, де основними світлотехнічними параметрами є сила світла I_v у канделах (кд). Інколи у паспорті світлодіодного індикатора яскравість може бути задана у мкд/м². Залежність між силою світла і яскравістю визначається виразом

$$L_v = \frac{I_v}{S_{ел}}, \quad (1.1)$$

де $S_{ел}$ – площа елемента, що світиться.

При розробленні засобів відображення інформації важливою характеристикою є контрастність зображення в умовах зовнішнього освітлення K_{ve} – параметр, який залежить від параметра приладу та від умов зовнішнього освітлення. Для впевненого сприйняття інформації величина K_{ve} повинна бути не менше 2,4. Якщо ця величина має значення 1,4, то працювати з таким індикатором не комфортно.

Для активних індикаторів контраст K_{ve} визначається як відношення яскравості елемента у робочому стані до його яскравості у вимкненому стані за відсутності зовнішнього освітлення. Для світлодіодів цей параметр перевищує значення 100 і в паспорті його не завжди вказують. Водночас за рахунок відбиття зовнішнього світлового потоку у вимкненому стані елемент індикації L_{vs} залежить від коефіцієнта відбиття ρ_v і зовнішньої освітленості E_v (лм/м² або лк):

$$L_{V \max} = L_{vs} = \frac{E_v \cdot \rho_v}{\pi}. \quad (1.2)$$

У активному стані яскравість вибраного елемента обчислюється за виразом

$$L_{V \max} = L_v + L_{vs}. \quad (1.3)$$

При зовнішньому освітленні контрастність зображення K_{ve} визна-

чається так:

$$K_{VE} = \frac{(L_V + L_{vs})}{L_{vs}}. \quad (1.4)$$

Комбінуючи вирази (1.1) – (1.4), отримаємо

$$K_{VE} = \frac{\pi \cdot I_V}{\rho_V \cdot E_V \cdot S_{en}} + 1. \quad (1.5)$$

Для монолітного планарного індикатора на поглинальній підкладці $L_V \approx 0,1$. Контраст індикаторів значно поліпшується при використанні нейтральних і смугових фільтрів. У цьому випадку контрастність визначається як

$$K_{VE} = 66 \cdot \frac{\pi \cdot I_V}{\rho_V \cdot E_V \cdot S_{en} \cdot K_S \cdot \Delta\lambda \cdot \tau_V} + 1, \quad (1.6)$$

де $\Delta\lambda$ – смуга пропускання індикатора на рівні $0,5 \cdot I_V(\lambda)_{MAX}$, нм (задається в паспортних даних індикатора); $K_S \approx 1 \text{ нм}^{-1}$ – спектральний коефіцієнт освітлювання на центральній частоті спектра λ_p ; τ_V – коефіцієнт пропускання смугового фільтра (0,2...0,5).

Таким чином, контрастність можливо збільшити як за рахунок збільшення сили світла індикатора, так і за рахунок зменшення смуги пропускання $\Delta\lambda$.

На основі виразів (1.5) і (1.6) за умов $K_{VE} \geq 2,4$ можна отримати вимоги до мінімальної сили світла індикатора:

$$I_V \geq 1,35 \cdot 10^3 \cdot E_V \cdot S_{en} \quad (\text{без фільтра}), \quad (1.7)$$

$$I_V \geq 1,35 \cdot 10^3 \cdot E_V \cdot S_{en} \cdot K_S \cdot \Delta\lambda \quad (\text{з фільтром}). \quad (1.8)$$

Так, при $E_V = 10000$ лк [2], що відповідає освітленості приміщення в яскравий сонячний день, вимоги до мінімальної сили світла індикаторів будуть визначатись за такими умовами:

$$I_V \geq 450 \cdot S_{en} \quad (\text{без фільтра}), \quad (1.9)$$

$$I_V \geq 13,5 \cdot S_{en} \cdot K_S \cdot \Delta\lambda \quad (\text{з фільтром}). \quad (1.10)$$

Для різних марок світлодіодних індикаторів номінальне значення сили світла I_V знаходиться у межах від часток мікродел (мкд) (наприклад для АЛС324Б1 $I_V = 0,15$ мкд) до десятків і майже сотень мкд. Для одиночних індикаторів сила світла може сягати декількох тисяч мкд (для світлодіода LC503TPG1-15H $I_V = 23000$ мкд). З формул (1.7) і (1.8) випливає, що сила світла індикатора залежить не тільки від рівня

зовнішньої освітленості, але й від геометричних розмірів елемента відображення $S_{ел}$. Припустимо, що потрібний семисегментний індикатор з висотою знака 25 мм. Для цього був вибраний індикатор LD1-BWA0SR-A11 червоного кольору світіння, у якого сила світла $I_V \geq 8$ мкд (при номінальному струмі $I_C=10$ мА), $\Delta\lambda = 20$ нм, площа сегмента $S_{ел} = 52 \cdot 10^6$ м². При освітленості в 10000 лк відповідно до (1.10) для цього індикатора сила світла $I_V \geq 15$ мкд. Може бути також випадок підвищення яскравості до потрібного значення за рахунок підвищення прямого струму I_C . **Вважаючи**, що яскравість світлодіода приблизно лінійно залежить від струму, можливо отримати потрібну силу світла, підвищивши I_C у $15/8 = 1,75$ раза, тобто

$$I_{CP} = I_C \cdot \frac{I_{VP}}{I_{VZ}}, \quad (1.11)$$

де I_{VP} – потрібна сила світла (у нашому випадку – 15 мкд); I_{VZ} – задана за паспортом світлодіода сила світла (у нашому випадку – 8 мкд).

Таким чином, $I_{CP} = 10 \cdot 1,75 = 17,5$ мА при припустимому значенні 25 мА.

Також необхідно враховувати, що при підвищенні температури понад 25 °С припустиме значення струму знижується на 0,3 мА/°С. Отже, якщо задана максимально припустима температура навколишнього середовища, наприклад 40 °С, максимальне значення сталого струму повинне бути не більше 20,5 мА. Крім того, зі збільшенням температури для більшості індикаторів сила світла знижується приблизно на 1 %/°С. А оскільки приймачем випромінювання є око людини, необхідно також враховувати температурне змінення світлової чутливості самого ока. Таким чином, сумарна зміна сили світла, що сприймається, в червоній області світіння – 1,86 %/°С, а в зеленій – 1,08 %/°С.

Для високоякісних систем відображення інформації також необхідно враховувати відносний розкид сили світла (від сегмента до сегмента) δI_V , який може сягати відношення 2:1.

При розробленні великих світлодіодних індикаторів елемент відображення (піксель) формується із n світлодіодів, які конструктивно об'єднані у так званий “кластер” (матрицю). У цьому випадку яскравість світлодіодного індикатора можливо розрахувати за формулою

$$L_V = \frac{n \cdot I_V}{p^2}, \quad (1.12)$$

де ρ – крок пікселів, м.

Наприклад, якщо піксель складається з трьох світлодіодів з силою світла $I_V = 0,3$ кд і кроком пікселів $\rho = 10$ мм, то яскравість становить $L_V = 9000$ кд/м². А якщо для пікселів того ж складу збільшити крок до 20 мм, то яскравість знизиться до 2025 кд/м². Для оцінення контрастності зображення в умовах зовнішнього освітлення K_{VE} потрібно враховувати, що поверхня світлодіодного екрана складається з неоднорідних оптичних ділянок: світлодіодів з високим коефіцієнтом відбиття (наприклад 0,9) і проміжків між ними з низьким коефіцієнтом відбиття (наприклад чорна поверхня з коефіцієнтом 0,1). Тоді у випадку рівномірного зовнішнього освітлення можливо отримати таку оцінку середнього коефіцієнта відбиття ρ_{Vmid} :

$$\rho_{Vmid} = 0,1 + \frac{0,8 \cdot S_{EЛ}}{S_{PIX}}, \quad (1.13)$$

де $S_{EЛ}$ – площа світлодіода в одному пікселі; S_{PIX} – площа пікселя.

Для потужних світлодіодів, що використовуються при підсвітлюванні об'єктів, як основний світлотехнічний параметр використовується потужність енергії випромінювання, яка називається світловим потоком Φ_V . Світловий потік виражається в люменах (лм). Світловіддача сучасних світлодіодів (більше 25 лм/Вт) набагато більша за інші джерела світла, що дало можливість використовувати їх у системах підсвітлювання різних об'єктів, наприклад, у рекламі, в автомобільних освітлювальних системах. У перспективі вони повинні витіснити інші джерела світла, такі, як лампи розжарювання.

Ще однією важливою характеристикою індикаторів є кут огляду – максимальний кут спостереження, який забезпечує надійне сприйняття інформації. Для світлодіодів використовується термін повного кута спостереження або кута половинної потужності випромінювання (50% Power Angel) $2\theta_{1/2}$. Для інформаційних систем перевіряється, який контраст забезпечується на межі заданого кута огляду. За формулою (1.4) можливо розрахувати, що при нульовому куті огляду контраст досягає 2,4, тоді як при куті спостереження, що дорівнює θ , $K_{VE} = 1,7$, така сила світла в цьому напрямку зменшилась удвічі. Якщо задати первинне значення контрасту 1,4, то по краю кута спостереження контраст знизиться до неприпустимої величини 1,2. Деякі світлодіоди мають по вертикалі й горизонталі різні значення кута θ . На рис. 1.1 показано кут половинної потужності випромінювання $2\theta_{1/2}$.

До світлотехнічних характеристик також відноситься довжина

хвилі випромінювання λ , нм, яка визначає колір світлового потоку. До традиційних червоних $\lambda=625$ нм, жовтих $\lambda=590$ нм і зелених $\lambda=550$ нм світлодіодів зараз додалися світлодіоди з синім $\lambda=470$ нм і білим кольорами світіння. Розроблення синього світлодіода дозволило створити повнокольорові світлодіодні екрани. Створення зеленого (чисто-зеленого або ізумрудно-зеленого) світлодіода з більш короткою довжиною хвилі дозволило значно підвищити кольорові характеристики зображення.

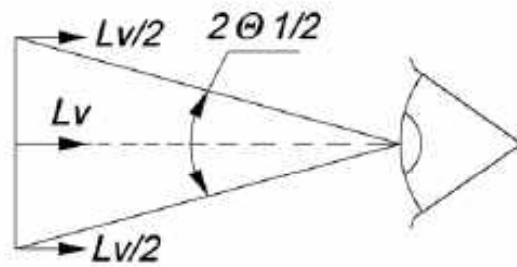


Рисунок 1.1 – Кут огляду світлодіода

Крім центральної або домінуючої частоти λ задається ширина спектра на половині його висоти $\Delta\lambda_{0,5}$, яка, як вище зазначено, впливає на контрастність формування зображення. Крім монохромних індикаторів сучасна промисловість пропонує дво- і триколірні індикатори. Наявність в одному корпусі світлодіода трьох основних кольорів – червоного (R), зеленого (G) і синього (B) – дозволила створювати повноколірні екрани. У великих екранах повноколірний піксель отримують за рахунок того, що в кластері застосовують RGB набір світлодіодів. Також слід враховувати, що світлодіоди різних кольорів, які формують один піксель, мають різну потужність світла, у зв'язку з чим кількість світлодіодів кожного кольору може бути різною. Оцінку середньої яскравості кольорового пікселя можливо обчислити за формулою

$$L_V = \frac{(aI_{VR} + cI_{VG} + dI_{VB})}{p^2}, \quad (1.14)$$

де a – кількість світлодіодів червоного світіння в кластері; c – кількість світлодіодів зеленого світіння в кластері; d – кількість світлодіодів синього світіння в кластері.

1.2 Геометричні параметри світлодіодів

Геометричні розміри світлодіодних індикаторів і їх елементів за-

даються на кресленні загального вигляду або у паспортних даних індикатора. На рис. 1.2 показано основні розміри елементів індикатора FYS-3911.

Висота знака h також визначає вибір знакового індикатора. Отже, потрібне значення h залежить від відстані D до спостерігача:

$$h = 2 \cdot D \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{a}{2}\right) \approx D \cdot a, \quad (1.15)$$

де a – кутовий розмір знака, рад.

У зв'язку з вимогами ергономіки для забезпечення надійної ідентифікації знака мінімальний кутовий розмір повинен бути не менше $14 \dots 21'$ ($0,004 \dots 0,006$ рад), отже, необхідно, щоб

$$h \geq D \cdot (0,004 \dots 0,006). \quad (1.16)$$

Використовуючи вираз (1.15), можна визначити, що для показаного на

рис. 1.2 індикатора з висотою знака $h = 25$ мм надійна ідентифікація буде забезпечуватись на відстані $D < 4 \dots 6$ м.

При створенні інформаційних відеоекранів розмір пікселя звичайно вибирають з умови, щоб при середній відстані до спостерігача не була помітна дискретна структура екрана, яка забезпечується при кутовому розмірі пікселя не більше $1'$.

1.3 Режими індикації

Розрізняють два основних режими індикації – статичний і мультиплексний (динамічний) [1, 3, 4]. При статичному режимі усі елементи екрана висвітлюються одночасно, а при динамічному весь екран є матрицею $m \times n$ (n – кількість елементів у рядку, m – кількість рядків) і зображення формується розгорткою по рядках або стовпцях.

Щоб не виникало мерехтіння кадру, він повинен повторюватися (регенеруватися) із частотою f_k , не меншою за критичну частоту мерехтіння (50 Гц).

Відношення $t_{\text{інд}} / T_k = 1/n$ ($t_{\text{інд}}$ – час індикації одного фрагмента зображення, T_k – час формування кадру) називається коефіцієнтом мультиплексування D .

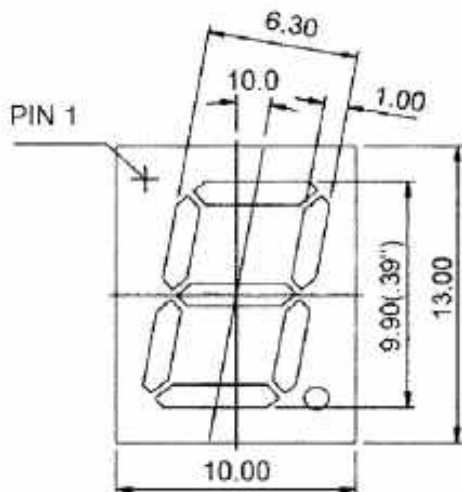


Рисунок 1.2 – Креслення індикатора

При мультиплексному режимі задана яскравість світлодіода ($L_{V_{каж}}$) сприймається спостерігачем і зменшується у $1/D$ разів порівняно з імпульсною яскравістю світлодіода ($L_{V_{имп}}$):

$$L_{V_{каж}} = L_{V_{имп}} \cdot D. \quad (1.17)$$

Для розгортки по n стовпцях $D=1/n$, для розгортки по m стовпцях $D=1/m$.

1.4 Статичний режим індикації

На рис. 1.3 зображено структурну схему статичної індикації.

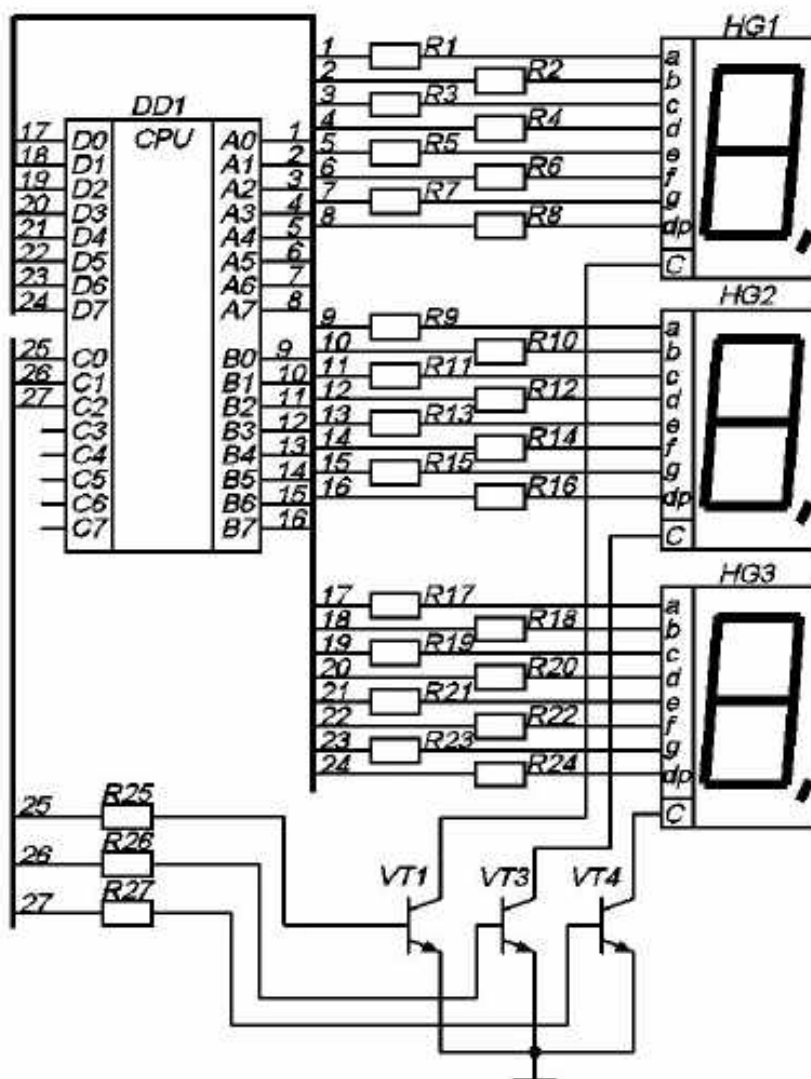


Рисунок 1.3 – Структурна схема статичної індикації

Перевага статичної індикації – менше забруднення мережі живлення, недолік – більше споживання енергії. Розглянемо приклади побудови світлодіодних дисплеїв статичної індикації з використанням мікроконтролера.

Для того щоб реалізувати статичну індикацію на три розряди, необхідно використати чотири порти мікроконтролера [4]. Причому в даному прикладі можливо регулювати силу світла індикаторів за допомогою транзисторних ключів і широтно-імпульсної модуляції. Якщо регулювання сили світла не потрібне, то катоди індикаторів можна приєднати до загальної маси схеми. Резистори R1-R24 потрібні для обмеження струму, який у більшості випадків досягає величини 25 мА. Так, за напруги 5 В номінал цих резисторів становитиме 220 Ом. Але це максимальний струм, на який розраховані індикатори, тому при їх обчисленні потрібно забезпечувати деякий запас міцності. Крім того, необхідно ретельно ознайомитись з технічними характеристиками мікроконтролера, бо у даному випадку через виводи мікроконтролера буде проходити струм 0,6 А (25 мА·24 сегменти = 0,6 А). Якщо мікроконтролер розрахований на керування такою потужністю, то його доцільно використовувати, а якщо ні, то є можливість пошкодити корпус мікроконтролера або вивести його з ладу. Тому при розробленні статичної індикації слід ретельно вибирати елементну базу. А якщо немає такої можливості, то кожен сегмент потрібно під'єднати через потужний ключ. Якщо є необхідність регулювати яскравість, то рекомендується здійснювати її широтно-імпульсною модуляцією. Для цього з заданою частотою перемикання ключів (транзистори VT1–VT2) слід змінювати густину керуючих імпульсів від 0 до 1. При цьому струм I_{ind} , який подається на індикатори, змінюється пропорційно густині керуючих імпульсів:

$$I_{ind} = I_{max} \cdot \gamma, \quad (1.18)$$

де I_{max} – припустимий струм світлодіода (25 мА), або обмежений резисторами; γ – густина імпульсів (для обчислення γ дивись формулу (1.24)).

Частоту модуляції рекомендується вибирати в діапазоні частот 50...400 Гц, причому чим вище частота, тим менше яскравість, але у більшості випадків частоти беруть у діапазоні 100...200 Гц. Також слід враховувати психофізіологічні властивості людини. За частоти 50 Гц мерехтіння індикаторів у приладах, які знаходяться під постійним контролем оператора, можуть викликати стомленість. У таких випадках частоту слід збільшувати.

Схема, що зображена на рис. 1.3, досить складна й потребує багато місця та використання мікроконтролера з декількома портами. Щоб спростити схему статичної індикації з можливістю регулювання сили світла, розроблено спеціалізовані мікросхеми-драйвери з вбудованими джерелами струму. Найпоширенішим драйвером для статичного керування є мікросхема M5450 (5451), що випускається фірмою SGS-Thomson. Функціональним аналогом цієї мікросхеми є мікросхема ST225a фірми STI. Використання мікросхем-драйверів доцільніше, оскільки для реалізації статичної індикації потрібно багато струмових ключів (скільки розрядів і сегментів, стільки і керованих струмових ключів).

Мікросхема M5450 дозволяє організувати роботу чотирьох семи-сегментних індикаторів у статичному режимі. Послідовний синхронний інтерфейс з лінією даних SDI і лінією синхросигналів CLK забезпечує дводротовий зв'язок з джерелом інформації (наприклад, через інтерфейс SPI з мікроконтролером).

Як вихідний буфер використовується набір з 35 джерел струму. Значення струму встановлюється підбором резистора R, що підмикається до входу керування яскравістю BC. При зміні значення вхідного струму керування I_{in} у діапазоні 0...750 мкА вихідний струм кожного джерела струму I_{led} , що протікає через сегмент, змінюється в діапазоні 0...15 мА.

Драйвер M5450 призначений для керування індикаторами із загальним анодом. На рис. 1.4 зображено структурну схему підмикання світлодіодів до драйвера.

Для драйвера струм I_{led} обмежується припустимим значенням потужності, що розсіюється і яку можливо розрахувати за формулою

$$P_{pot} \leq \frac{(T_j - T_{AMB})}{124^\circ C/W}, \quad (1.19)$$

де P_{pot} – припустиме значення потужності, що розсіюється мікросхемою; T_j – припустиме значення температури р-п переходу; T_{AMB} – температура навколишнього середовища; $124^\circ C/W$ – температурний коефіцієнт р-п переходу. З іншого боку,

$$P_{TOT} = V_{OUT} \cdot I_{LED} \cdot N_{SEG} + V_{DD} \cdot I_{DD}, \quad (1.20)$$

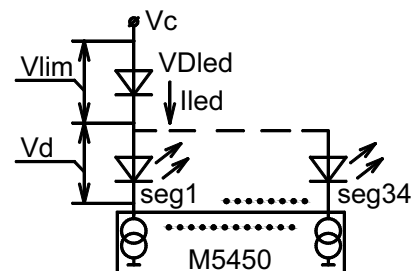


Рисунок 1.4 – Вихідний каскад драйвера

де V_{OUT} – напруга на сегментному виході драйвера при ввімкненому джерелі струму; I_{led} – вихідний струм джерела струму; N_{seg} – кількість використаних сегментів; V_{dd} – напруга живлення керуючої частини драйвера; I_{dd} – максимальний споживаний струм керуючої частини драйвера.

За температури навколишнього середовища $T_{AMB} \leq 40^{\circ}\text{C}$ (робота у приміщенні) відповідно до (1.19) $P_{TOT} \leq 880$ мВт:

$$V_{OUT} = V_C - V_{LED} - V_{LIM}, \quad (1.21)$$

де V_{LIM} – напруга обмеження, що сформована для зменшення V_{OUT} при перевищенні припустимої потужності розсіювання.

Відповідно до (1.19) і (1.20) при вибраному струмі $I_{LED} = 17,5$ мА, $N_{SEG} = 32$, $V_C = V_{DD} = 5$ В, $V_{LIM} = 0,9$ В (за відсутності обмежувального діода) $P_{TOT} = 600$ мВт при припустимому значенні 800 мВт. Зараз пропонується широкий спектр драйверів статичної індикації для світлодіодів (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Драйвери статичної індикації для світлодіодів

Фірма	Тип	Кількість сегментів	Інтерфейс	Вихідний струм, мА	Примітка
SGS-Thomson	MM5450 MM5451	34, 35	SPI (3) дводрововий 26 Мбіт/с	13,5	
SITI	ST226A DM132	16	SPI дводрововий 15 Мбіт/с	5...60	1024 рівні регулювання ШІМ
SITI	DM133	16	SPI дводрововий 15 Мбіт/с	60	128 рівнів регулювання ШІМ. Сигналізація аварійної температури. Діагностика несправностей світлодіодів
MAXIM	MAX6956	28	SPI дводрововий	24	Драйвер портів уведення/виведення
MAXIM	MAX6964 MAX6965	179	SPI дводрововий 400 кбіт/с	50	ШІМ керування яскравістю сегментів
MAXIM	MAX6968	8	SPI чотиридротовий 25 Мбіт/с	–	Індивідуальне керування яскравістю сегментів. Драйвер портів уведення/виведення

Фактично усі драйвери забезпечують регулювання як сили світла усіх розрядів, так і окремо взятих сегментів і дозволяють використовувати будь-яку кількість сегментів. Як інтерфейс передачі даних використовується дводотовий високошвидкісний інтерфейс SPI.

Збільшення кількості розрядів індикатора, що працюють у статичному режимі, здійснюється за рахунок нарощування кількості драйверів з використанням загальної шини даних SDI, шини синхронізації CLK і розмежувальних ліній вибору кристалів SS1 і SS2. На рис. 1.5 зображено схему керування восьмирозрядним індикатором (64 сегменти) у статичному режимі з використанням двох мікросхем M5450.

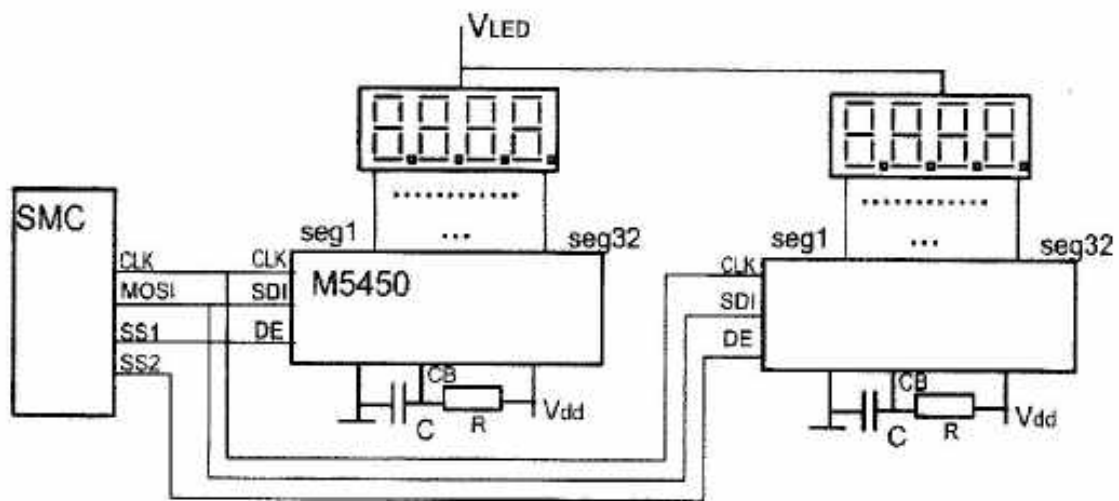


Рисунок 1.5 – Схема керування драйвера M5450

Більшу гнучкість у керуванні світлодіодними індикаторами забезпечують сучасні драйвери, які виконані за технологією Precision Drive і передбачають можливість програмного керування величиною струму кожного сегмента. Це дозволяє вирівнювати яскравість елементів індикації при великому розкиді їхніх параметрів, насамперед при розкиді сили світла.

1.5 Динамічний режим індикації

Схема індикації восьмисегментних індикаторів значно спрощується при використанні динамічної індикації. Для того щоб зменшити кількість каналів керування кожним розрядом, пропонується поділити керування розрядами індикатора в часі. Цього вдалось досягти завдяки фізіологічній особливості зору людини. Визначено, що зір людини мо-

же спостерігати за об'єктами, які зникають і з'являються з частотою до 25 Гц. Отже, якщо частота вище, то ми не зможемо бачити динаміки об'єкта. У зв'язку з цим було розроблено динамічну індикацію, яка передбачає по чергове відображення знака у кожному індикаторі, причому використовуючи лише одну восьмирозрядну шину для усіх розрядів індикатора та додаткові ключі, які синхронно перемикають розряди індикатора. Якщо потрібно керувати тільки одним розрядом (рис. 1.6), то така схема нічим не відрізняється від статичної індикації.

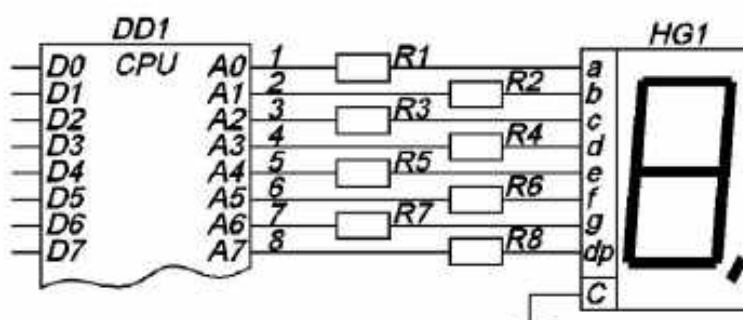


Рисунок 1.6 – Схема індикації для одного розряду

Для індикації з декількома цифровими розрядами потрібно використовувати динамічне керування, що припускає швидку комутацію розрядів, що індикуються (тимчасове ущільнення). Динамічне керування завжди заощаджує порти мікроконтролера. Один із прикладів схеми динамічної індикації наведено на рис. 1.7.

Сегменти індикаторів керуються вісьмома лініями порту А мікроконтролера (прямо або через відповідні підсилювачі), у той час як об'єднані катоди (загальні катоди) по черзі комутуються транзисторними ключами, що підімкнуті до іншого порту С. У динамічній і статичній індикаціях можуть використовуватись індикатори як із загальним анодом, так і загальним катодом. Залежно від цього транзисторні ключі можуть бути n-p-n або p-n-p типу. Типову блок-схему алгоритму керування динамічною індикацією зображено на рис. 1.8.

Порт А у цьому випадку використовується для керування сегментами, а керування розрядами (цифрами) здійснюється портом С. Індикація цифр здійснюється по черзі, тобто за рахунок перемикання відповідних розрядів порту С. Для нормального функціонування індикатора мікроконтролер повинен забезпечити достатню частоту перемикання цифр, яка не була б помітна для очей (не менше 40 Гц), тобто час циклу (час періоду індикації T на всіх трьох розрядах індикатора одного значення) повинен бути не більше 25 мс. Час вмикання t_{imp} одного розряду у даному випадку буде

$$t_{imp} = T/n,$$

(1.22)

де n – кількість розрядів індикатора.

Наприклад: 25 мс / 3 розряди = 8,33 мс.

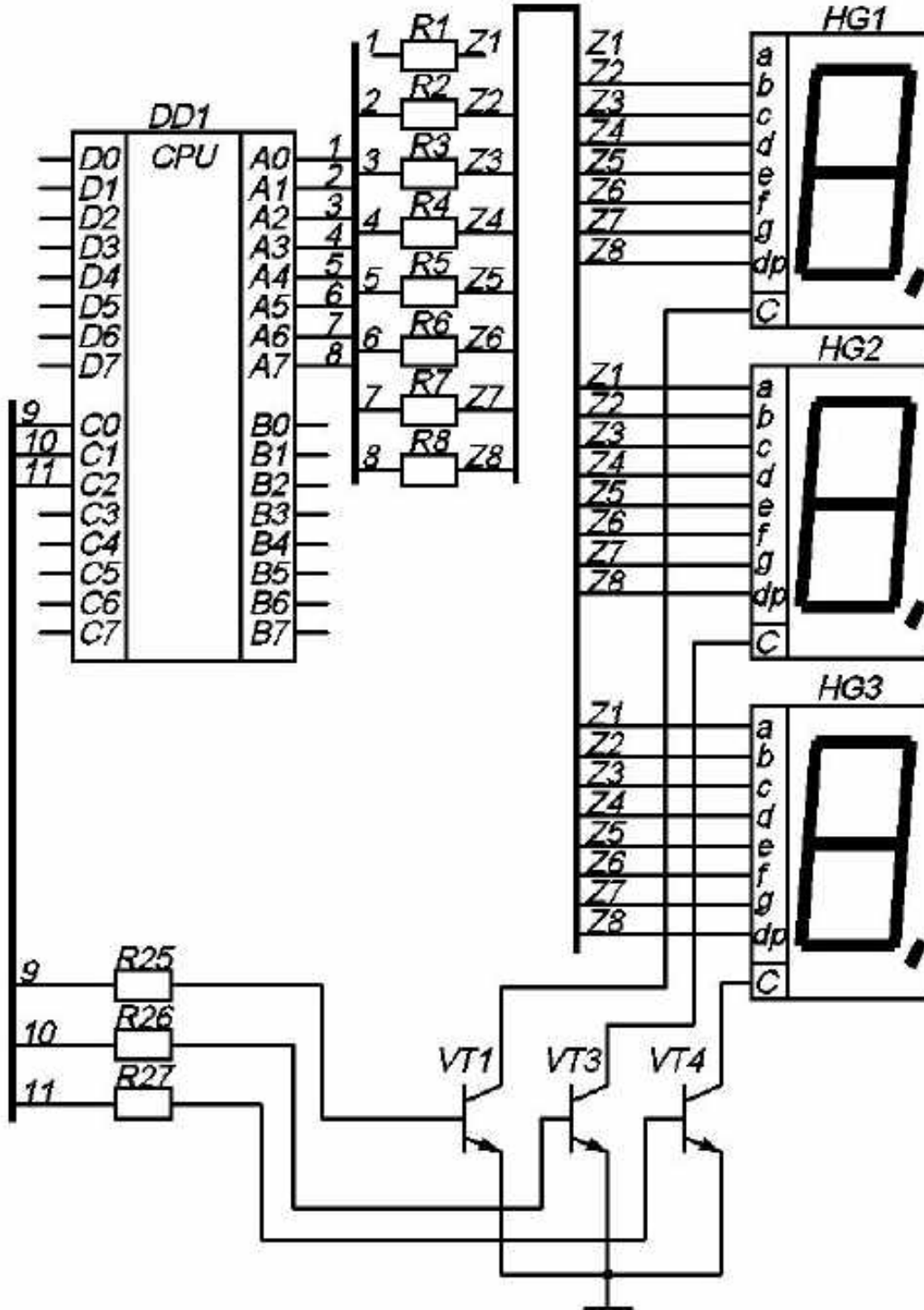


Рисунок 1.7 – Приклад схеми динамічної індикації



Рисунок 1.8 – Блок-схема алгоритму динамічної індикації

Якщо потрібний багаторозрядний індикатор, а кількість виводів портів мікроконтролера обмежена, то доцільно використати спеціалізований драйвер (мікросхему) динамічної індикації або аналогічний йому драйвер статичної індикації.

При використанні такого драйвера мікроконтролера не потрібно формувати та передавати восьмисегментний код на індикатор, що раніше потребувало вісім виводів. Використовуючи інтерфейс SPI, досить передати тільки двійково-десятковий код (BCD) цифри. Оскільки мікроконтролер керує світлодіодами не прямо, то забезпечення необхідного струму здійснюється програмним кодом драйвера, тобто мікроконтролер посилає закодоване значення струму. У такому випадку значно спрощуються схема електрична принципальна та програмне забезпечення. Щодо програмного забезпечення, то тут не потрібно формувати підпрограму індикації, яку зображено на рис. 1.8. Мікроконтролер передає код, а процесом динамічної індикації керує драйвер. Це, у свою чергу, дозволяє не дотримуватися строгого режиму часу, що робить програму мікроконтролера незручною, а у випадках, коли здійснюється передача даних по інтерфейсу RS-232 або іншому, можливі тимчасові проблиски на індикаторі, оскільки часові затримки інтерфейсу й індикації можуть відрізнитись.

Якщо планується організувати динамічну індикацію з використанням мікроконтролера (див. схему на рис. 1.7), то потрібний струм для кожного сегмента при динамічній індикації визначається досить складно. По-перше, необхідно обчислити частоту і густину індикації, по-друге, розрахувати кількість розрядів і сегментів індикатора, по-третє, визначити номінал струмообмежувальних резисторів, що підмикаються до виводів керування сегментами індикатора. Наприклад, задано: період оновлення індикації T (якщо задана частота f , то $T=1/f$); час увімкнення одного розряду t_{imp} , який уже було розраховано. При обчисленому струмі I_{ZAD} за формулою (1.11) потрібний струм I_0 можливо визначити так:

$$I_{ZAD} = \frac{t_{imp}}{T} \cdot I_0. \quad (1.23)$$

Здебільшого у літературі може зустрічатися розрахунок струму або потужності через густину γ :

$$\gamma = \frac{t_{imp}}{T}. \quad (1.24)$$

Номінал резисторів R обчислюється на підставі визначеного значення струму I_0 за формулою

$$R = V_{dd} / I_0, \quad (1.25)$$

де V_{dd} – напруга живлення цифрових схем +5 В.

Як випливає з формул (1.23) і (1.24), значення струму залежить від густини імпульсів увімкнення розряду та номіналу струмообмежувального резистора.

У табл. 1.2 наведено приклад мікросхем-драйверів для динамічної індикації.

Таблиця 1.2 – Драйвери динамічної індикації

Виробник	Тип	Інтерфейс	Призначення
MAXIM	MAX6953	SPI, дводротовий	Драйвер LED дисплея, 4 цифри, матриця 5x7
MAXIM	MAX6950	SPI, дводротовий	Драйвер п'ятирозрядних семисегментних LED дисплеїв
MAXIM	MAX6951	SPI, дводротовий	Драйвер восьмирозрядних семи-сегментних LED дисплеїв

Продовження таблиці 1.2

Виробник	Тип	Інтерфейс	Призначення
MAXIM	MAX6954	SPI, чотири-дротовий послідовний	Драйвер 7-, 14-, 16-семисегментних або 128-піксельних LED дисплеїв з розширенням
MAXIM	MAX6955	I2C послідовний	Драйвер 7-, 14-, 16-семисегментних або 128 точок LED дисплеїв з розширенням
MAXIM	MAX6959	SPI, дводрововий	Драйвер чотири-, п'ятирозрядних семисегментних LED з вісьмома клавішами, що скануються
MAXIM	MAX7232	SPI, дводрововий	Драйвер/декодер 10-, 18-семисегментних символів
MAXIM	MAX7233	Паралельний порт	Драйвер/декодер чотирирозрядних і 18-сегментних LCD дисплеїв
MAXIM	MAX7234	SPI, дводрововий	Драйвер/декодер п'ятирозрядних і 18-сегментних LCD дисплеїв
Philips	SAA104	I2C послідовний	Драйвер чотирирозрядних семисегментних LED дисплеїв

Найбільший вибір таких драйверів надає фірма Maxim [5]. Напряга живлення всіх драйверів фірми Maxim, наведених у табл. 1.2, становить 2,7...5,5 В, у драйвера SAA104 фірми Philips [6] – 4,5...15 В.

Гарним прикладом використання мультиплексного драйвера для керування восьмирозрядним індикатором ($D=1/8$) є мікросхема MAX7219/7221. Мікросхема призначена для керування восьмирозрядними сегментними індикаторами з розділювальними точками, матричним індикатором 8x8 або шкальним індикатором на 64 елементи індикації.

Керування рівнем струму через усі сегменти відбувається шляхом підбору резистора, що підмикається до виводу СВ драйвера. Індивідуальне підстроювання по кожному сегменту здійснюється програмно. Оскільки динамічний (мультиплексний) режим супроводжується комутацією значних струмів, передбачено заходи щодо зниження впливу перешкод (EMI), що створюються драйвером, за допомогою обмеження швидкості наростання імпульсів струму. Через тридротовий послідовний інтерфейс типу SPI кожна цифра може бути індивідуально адресована та модернізована без зміни інших.

Цікавим є драйвер для керування чотирирозрядними семисегментними індикаторами SAA1064 фірми Philips ($D = 1/2$), який оснований на інтерфейсі I2C з двостороннім обміном, що забезпечує передачу інформації по дводротовій лінії з чотирма драйверами.

У Додатку А дано приклад продукції фірм BRIGHT [7] та інформацію про трирозрядні світлодіодні індикатори. Детальніше ознайомитися із продукцією фірми KINGBRITH можна на їхньому сайті [7].

Як приклад варто звернути увагу на те, що існують індикатори, які пристосовані для статичного і динамічного типів індикації. Фактично усі індикатори для статичного типу підходять також і для динамічного типу. Але є індикатори, які пристосовані тільки для динамічного типу. Тому при розробленні пристрою індикації необхідно приділяти певну увагу індикаторам і фірмам-виробникам.

2 РІДИННОКРИСТАЛІЧНІ ПРИЛАДИ ДЛЯ ВІДОБРАЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ

2.1 Елементи теорії рідиннокристалічних індикаторів

Рідиннокристалічні індикатори (РКІ) належать до типу пасивних приладів. У основу їх роботи покладена властивість деяких речовин змінювати свої оптичні показники (коефіцієнти поглинання, відбиття, розсіювання, показник заломлення, спектральне відбиття або пропускання, оптичну анізотропію, оптичну різницю ходу, оптичну активність) під впливом зовнішнього електричного поля. Унаслідок модуляції падаючого світла змінюється колір ділянки, до якої прикладене електричне поле, і на поверхні речовини з'являється зображення потрібної конфігурації.

Речовинами, що мають подібні властивості, є рідинні кристали. **Рідиннокристалічним** (мезоморфним) називається термодинамічно стійкий стан, у якому речовина зберігає анізотропію фізичних властивостей, притаманну твердим кристалам, і текучість, властиву рідинам. Подібний стан мають деякі похідні бензолу, дифенілу, стероїдів, гетероциклічних та інших з'єднань. Характерною особливістю рідиннокристалічних фаз є те, що молекули речовини мають порівняно більшу довжину та відносно малу ширину. Вони належать до діелектриків з питомим опором $10^6 \dots 10^{10}$ Ом·см.

Розрізняють три основних типи рідинних кристалів: *сметичні, нематичні та холестеричні* [1].

У сметичних кристалах молекули розміщені паралельно своїм довгим осям і утворюють шари однакової товщини, що знаходяться на однаковій відстані один над одним (рис. 2.1, а). Текучість забезпечується за рахунок взаємного ковзання шарів.

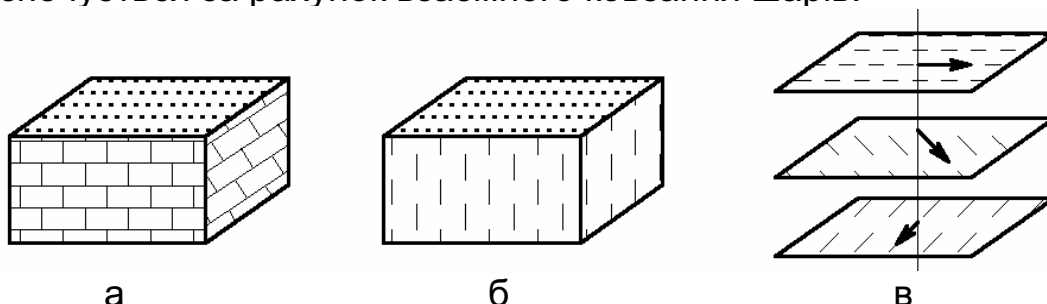


Рисунок 2.1 – Орієнтація молекул у кристалах: а – сметичних; б – нематичних; в – холестеричних

У нематичних кристалах осі молекул також паралельні, але вони

не утворюють шарів і розміщені хаотично (рис. 2.1, б). Ковзання спостерігається уздовж довгих осей. На різних ділянках орієнтація молекул є різною, тому кристал складається з невеликих ділянок, які відрізняються напрямком орієнтації осей. Через таку побудову спостерігаються оптична неоднорідність середовища та сильне розсіювання світла. Тому нематичний кристал є непрозорим для світла, що проходить крізь нього, та відбитого світла. Однак за допомогою зовнішніх впливів (електричного або магнітного поля) можливо досягти оптичної однорідності середовища та його повного просвітління.

У холестеричних кристалах молекули розміщені шарами, як у смектичних, але їхні довгі осі паралельні площинам шарів, а напрямком переважної орієнтації монотонно змінюється від шару до шару, обертаючись на певний кут. Розподіл молекул має спіральний характер. Подібні кристали мають великий показник обертання площини поляризації. Під впливом зовнішніх сил крок спіралі змінюється і відповідно змінюється забарвлення речовини, освітленої білим світлом.

З великої кількості електрооптичних явищ, характерних для рідинних кристалів, у пристроях відображення інформації здебільшого використовують *ефект динамічного розсіювання, твіст-ефект та ефект гість – хазяїн*.

Ефект динамічного розсіювання полягає у тому, що при накладанні електричної напруги кристал у елементарній комірці стає непрозорим і розсіює світло. Час «вмикання» для цього ефекту – 50...500 мс, на «вимикання» витрачається 150...180 мс.

Твіст-ефект полягає у зміні кута обертання площини поляризації під впливом електричного поля. Він спостерігається у нематичних кристалах з позитивною діелектричною анізотропією (різницею діелектричних сталих кристала для паралельного та перпендикулярного орієнтування молекул). У кристалів, які знаходяться між двома світлопровідними пластинами, довгі осі молекул паралельні пластинам, а самі молекули закручені у спіраль аналогічно холестеричному кристалу. Тому за наявності електричного поля світло буде проходити крізь систему, а за відсутності – не проходитиме (закручені у спіраль молекули його не пропускатимуть). Зрозуміло, що при перпендикулярності площин поляризації увімкнений і вимкнений стан буде протилежний ефекту динамічного розсіювання. Твіст-ефект є чисто польовим і при його використанні не потрібний електричний струм. Він забезпечує хорошу контрастність і

проявляється при малих напругах (0,9...1,5 В). Тривалість перехідного процесу вмикання-вимикання – 30...200 мс.

Ефект гість – хазяїн спостерігається у кристалах з розчиненим дихроїчним барвником, який вибірково поглинає світло залежно від орієнтації його молекул відносно падаючого світлового потоку. Тривалість перехідних процесів для встановлення стабільного забарвлення – 30...500 мс, керівна напруга – 2...10 В.

Крім класичних уявлень слід навести сучасні технології виготовлення рідиннокристалічних засобів відображення інформації.

Закручений нематик TN. Це тип рідинного кристалу, у якого поверхня вирівнювання і, відповідно, молекули орієнтовані на кут 90° відносно кожної поверхні скла. Зображення формується у двох режимах: позитив і негатив. У позитивному режимі фон білий, а сегменти чорні. У режимі негативу – навпаки: фон чорний, а сегменти білі.

Коли два поляризаційних фільтри з решітками схрещуються, як показано на рис. 2.2, світло проходить через верхній фільтр і

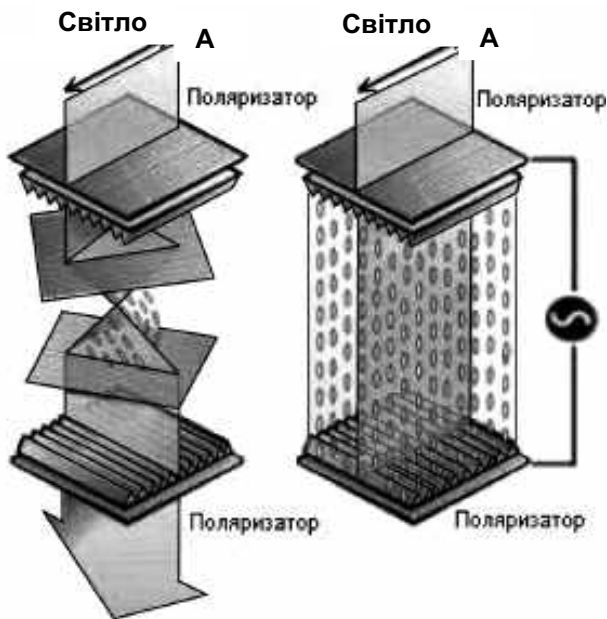


Рисунок 2.2 – TN-кристал

рухається за напрямком молекул рідинного кристалу. За відсутності електричного поля світло розгортається на 90° і безперешкодно проходить крізь нижній фільтр. Коли до поляризаторів приєднано напругу, орієнтація молекул кристала змінюється і світло в даному стані не піддається повертанню і блокується нижнім фільтром. У цьому випадку екран виглядає чорним.

Особливості даної технології:

- фон – чорний, білий;
- кут огляду – 45° (типовий);
- мультиплексне співвідношення – до 64:1 (мультиплексне співвідношення – кількість строк, які можуть відобразитись одночасно);

- найнижча собівартість;

- час спрацьовування – 150 мс при 4,7 В і 64 Гц.

Сильнозакручений нематик NTN. Подібні дисплеї основані на більш сильному молекулярному закручуванні (110°) порівняно зі звичайними закрученими нематиками TN (90°) і, крім того, мають широкий кут огляду та поліпшену контрастність (кристал на рис. 2.3). Низька робоча напруга 2,5 В, а також низька собівартість роблять вигідним застосування таких дисплеїв у переносних автономних пристроях.



Рисунок 2.3 – Нематик NTN

Особливості технології:

- фон – білий і чорний;
- кут огляду – 65° (типово при статичному керуванні);
- час спрацьовування – 50 мс.

Суперзакручений нематик STN. STN – нематик з суперзакручуванням – рідиннокристалічний індикатор для відображення великого обсягу інформації, який використовує настроюване під'єднання двох оптичних режимів для досягнення великої кількості ліній, що мультиплекуються. Забезпечує високу контрастність і велику кількість градацій сірого кольору символів. Поліпшена рідина кристалу (кут закручування 200° і більше) забезпечує більш високу контрастність і кут огляду порівняно зі стандартним закрученим нематиком. На рис. 2.4 зображено графік порівняння залежностей пропускання світла від напруги на електродах для дисплеїв на основі типового TN-нематика та нематика з суперзакручуванням STN.

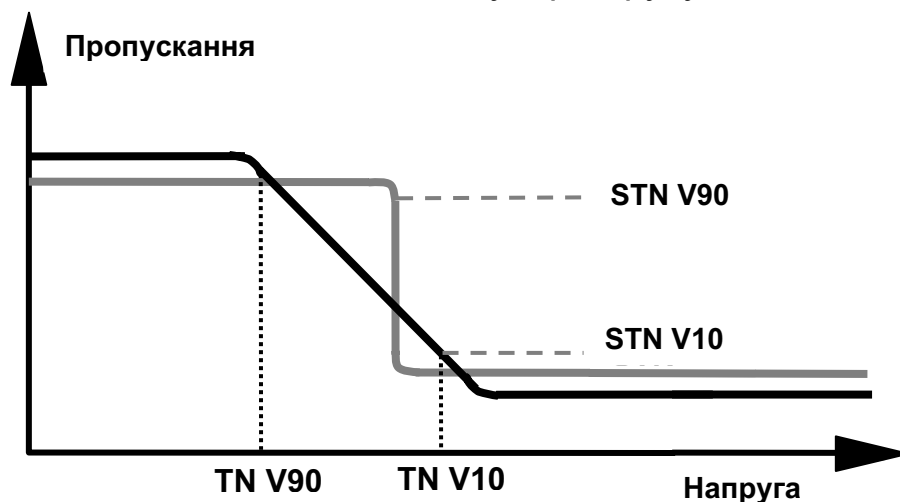


Рисунок 2.4 – Залежність пропускання світла TN- і STN-нематиків

Збільшення кута закручування є еквівалентним збільшенню мультиплексування. Точки V90 і V10 на графіку характеризують напруги, за яких пропускання світла становить 90 і 10% відповідно. На рис. 2.4 видно, що крутизна характеристики STN-індикатора вище, що дозволяє виготовляти такі дисплеї з більшим рівнем мультиплексування. У першу чергу супернематиків були розроблені через складність збільшення рівня мультиплексування звичайних TN-дисплеїв. Як уже згадувалось, мультиплексне співвідношення є еквівалентним кількості строк, які можуть бути відображені одночасно.

Особливості технології:

- фон – жовто-зелений, сірий, синій;
- кут огляду – 75° – типовий і 90° – максимальний; мультиплексне співвідношення – до 480:1; час спрацьовування – 250 мс при 4,5 В; підходить для графічного використання.

Склеєні разом комірки, які заповнені нематиком з суперзакручуванням DSTN. Тип DSTN був першим комерційним чорно-білим перетворенням STN-дисплея та належить до подвійних нематиків з суперзакручуванням. DSTN-дисплеї – це фактично склеєні разом скляні комірки, заповнені нематиком STN. Перша комірка – рідиннокристалічний дисплей, друга – скляна комірка без електродів і поляризаторів, заповнена рідиннокристалічним матеріалом, який використовують як компенсатор і який збільшує контрастність і забезпечує появу чорного кольору на білому фоні (рис. 2.5).

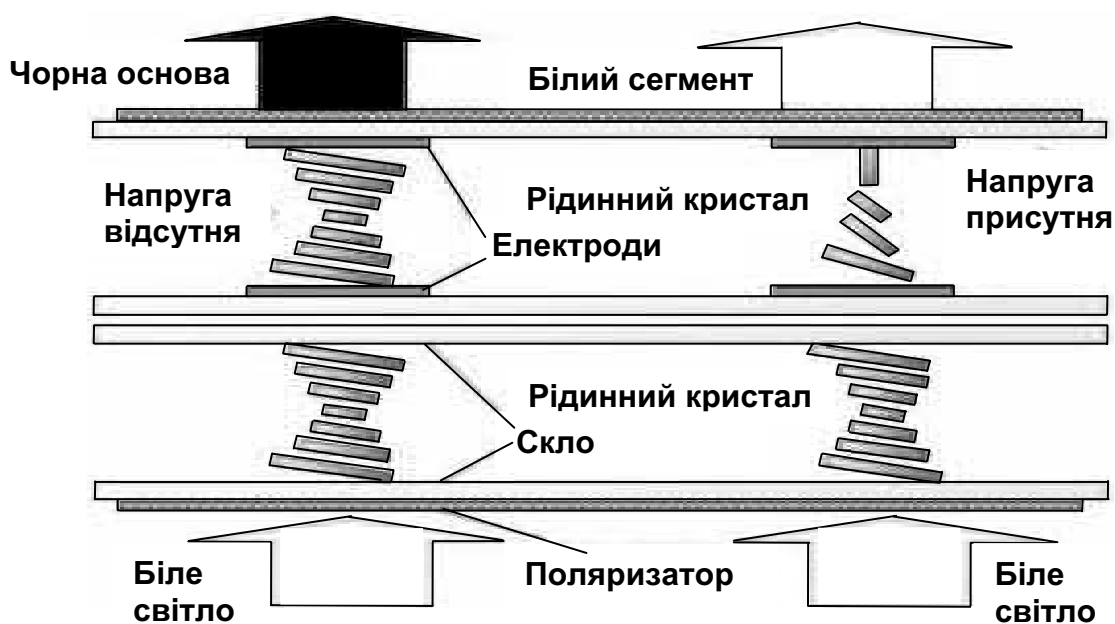


Рисунок 2.5 – Комірки з суперзакручуванням DSTN

Особливості технології:

- контраст – чіткіший, ніж у FSTN і STN, існує автоматична температурна компенсація контрастності;
- час спрацьовування істотно поліпшений;
- оптичний тип DSTN зменшує тенденцію екранів мати червонуватий, зеленуватий або синюватий відтінок;
- кут огляду – разом об'єднує оптимальні напрямки у 6 і 12 годин;
- температурний діапазон робочий – $-30...+80$ °С, зберігання – $-40...+90$ °С;
- режим поляризатора – негативний, потребує освітлення;
- освітлення – флуоресцентна лампа з холодним катодом або світлодіод;
- дискретність зображення – до 122×32 точок;
- галузі використання – автомобільна електроніка, електроніка газоперекачувальних станцій та ін.

Суперзакручений нематик з плівковою компенсацією FSTN.

Подібний кристал є рідиннокристалічним індикатором з додатковою плівкою, яка додається до зовнішнього боку комірки для компенсації зсувів кольорів від насування синього на зелений до зсуву чорного на білий. Плівка виготовлена з полімеру з подвійною рефракцією для виключення можливості інтерференції кольорів. У результаті цього компенсація уповільнюється (рис. 2.6).

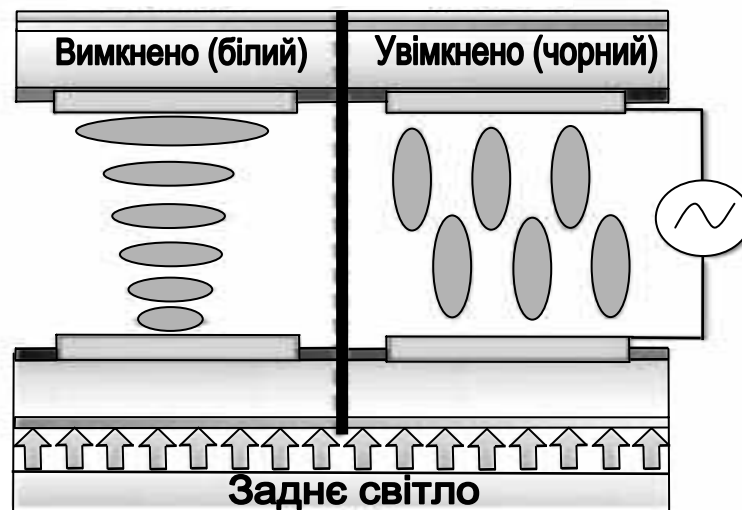


Рисунок 2.6 – Нематик FSTN

Плівка (верхній шар на рис. 2.6) розміщена на дисплеї під верхнім поляризатором або над ним. Деякі системи плівкової компенсації

використовують дві плівки: одну – на тильному боці, вона виконує функції коліматора, і одну – на фронтальному боці, яка виконує функції дисперсійної плівки і розширює кут огляду. Плівкова компенсація поліпшує кут огляду, але погіршує швидкодію. До FSTN відносять усі стандартні STN-дисплеї з полімерною плівкою, прикладеною до скла як компенсуючий шар замість другої комірки DSTN дисплеїв. Для цієї технології характерне більш просте та більш ефективно за вартістю отримання переваги чорного над білим у зображенні.

Особливості технології:

- фон – чорний, білий; кут огляду – 80°;
- мультиплексне співвідношення – до 480:1;
- час спрацьовування – 250 мс при 4,5 В.

Багатокольорові закручені нематиків STN. Дисплеї на основі закручених нематиків використовують негативний режим. Кольорові покриття та чорна матриця (маска) знаходяться всередині комірки РКІ. Чорна маска дозволяє світлу поширюватись крізь символи та зображення, а не крізь задній фон. Загальна кількість кольорів – до трьох (у доповнення до чорної матриці). Користувач може вибирати колір кожного сегмента. Відбілювання кольорів не спостерігається навіть при температурі 80 °С, що робить ідеальним використання таких дисплеїв у автомобільній електроніці та інших сферах з зовнішнім монтажем. Дисплеї доступні як для статичного керування, так і для динамічного з мультиплексним співвідношенням до 8:1 (рис. 2.7).

Чорна маска використовується для маскуванню тих ділянок сегментів алфавітно-цифрових дисплеїв, які не перемикаються. Мета – поліпшення контрастності та читабельності. Для її досягнення може бути потрібне більш потужне освітлення.

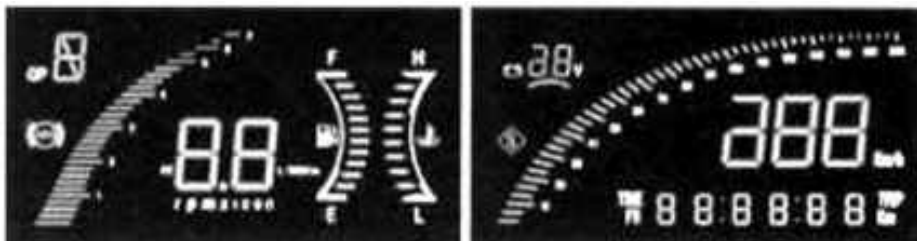


Рисунок 2.7 – Приклади дисплеїв на основі нематиків STN

З наведеного вище можна зрозуміти, що типова елементарна рідиннокристалічна комірка складається з двох прозорих скляних пластин, між якими знаходиться рідинний кристал. Зазвичай з

внутрішньої сторони пластин змонтовані електроди. Їх кількість і розташування беруться такими, щоб можна було реалізувати потрібне зображення. Якщо комірка працює на просвічування, електроди на обох пластинах виготовляють прозорими (див. рис. 2.5). При роботі на відбиття світла задній електрод виконують непрозорим.

Для роботи в умовах поганого природного освітлення застосовують штучне. Для індикаторів, які працюють на просвічування, джерело світла розміщують за задньою скляною пластиною, а для індикаторів, які працюють на відбиття, – спереду або збоку.

Зараз застосовують чотири способи освітлення.

LED (світлодіодне) освітлення. Складається з установлених шляхом поверхневого монтажу світлодіодів, які розміщені послідовно уздовж основи неглибокого пластикового лотка (матриці освітлення) або по гранях дисплея (освітлювальна грань) (рис. 2.8).

Особливості:

- доступні кольори – жовто-зелений, червоний, янтарний, зелений, синій, білий; довговічність – до 50 000 годин;

- робочий температурний діапазон – $-30...+70$ °С.

Живлення – від низької постійної напруги. Просте відімкнення – анод – + 5 В; катод – загальний. Два методи освітлення: освітлення грані або матричне освітлення. Типова напруга для стандартних рідиннокристалічних модулів – + 4,2 В.

EL (електролюмінесцентне) освітлення. EL освітлювач – це тонка мембрана, яка складається з двох електродних пластин з алюмінієвим рефлексором (рис. 2.9). Коли змінна напруга подається на електроди, електрони зіштовхуються з ядром, що випромінює світло. Унаслідок цього виділяється світлова енергія. Для живлення такої лампи, на відміну від світлодіодів, необхідно використовувати перетворювач постійної напруги у змінну.

Особливості:

- доступні кольори – білий, синій, жовто-зелений;
- довговічність – 4000 годин за температури 20 °С і вологості повітря 70%;
- робочий діапазон темпера-



Рисунок 2.8 – LED освітлення

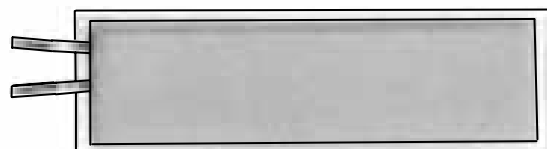


Рисунок 2.9 – EL освітлення

тур – - 20...+ 50 °С.

CCFL (освітлення за допомогою флуоресцентної лампи з холодним катодом). Застосовується мініатюрна високовольтна лампа з холодним катодом (явище автоелектронної емісії), виготовлена із скла з виводами та ртуттю всередині. Забезпечує флуоресцентне освітлення заднього плану індикатора або освітлення його грані. Використано розсіювальний світловод. Така лампа має високу яскравість, ефективність і стійкість до вібрацій (рис. 2.10).

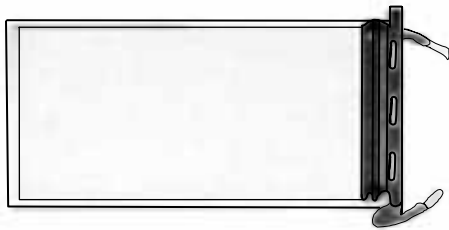


Рисунок 2.10 – Лампа CCFL

Особливості:

- доступні кольори – білий;
- довговічність – 20 000 годин;
- робочий діапазон температур – -20...+50 °С;

Лампа споживає мало енергії, має чудові світлові характеристики, просте керування інтенсивністю освітлення, генерує малу кількість

тепла і має малий діаметр.

FIBER OPTIC (волоконно-оптичне освітлення). Для виготовлення лампи оптичні волокна вирівнюють і потім затискають між двома частинами гнучкої пластмаси. Верхню частину використовують як дифузор. На кінцях установлені відгалуження, які зв'язані зі світлодіодом або галогенною лампою (рис. 2.11).



Рисунок 2.11 – FIBER OPTIC

Особливості:

- доступні кольори – білий, зелений, синій, янтарний і червоний;
- довговічність – до 100000 годин, віддалене джерело світла легко

замінюється.

Індикатори на рідинних кристалах широко використовуються у сучасній техніці для відображення інформації. Основними перевагами таких пристроїв є дуже низький рівень енергоспоживання та довговічність. Зараз на ринку поширені такі групи дисплеїв.

Сегментні. Призначені для відображення інформації, яка складається з сегментів (7-сегментні – для відображення цифр, 14/16-сегментні – для відображення тексту, шкальні – для відображення шкали). Такі індикатори (рис. 2.12) застосовують у вимірювальній апаратурі, касових апаратах, калькуляторах, годинниках, простих лічильниках електроенергії, на автомобільних

заправках.

Знакосинтезуючі. Призначені для відображення текстової й псевдографічної інформації (рис. 2.13). Подібні дисплеї мають знакогенератор і вбудовану пам'ять з таблицею знакогенератора. Цей тип індикаторів застосовують у широкому спектрі різноманітної апаратури: лічильники, технологічні пульти, таксофони, вимірювальні прилади, охоронні системи.

Графічні. Призначені для відтворення будь-якої інформації. Широко використовуються у дуже великому спектрі різної апаратури, де є потреба виводити векторну графіку, систему графічних меню та ін.

STN-панелі. Відрізняються від графічних у три рази більшою кількістю сегментів по горизонталі, а сегменти мають світлофільтри, які змінюються по черзі (червоний, зелений, синій). Дисплеї забезпечують вісім кольорів і застосовуються для створення інтерфейсів користувача у системах керування, моніторингу стану хворих та ін. (рис. 2.15).

TFT-панелі та монітори. Є розвитком кольорових STN-панелей і містять вмонтований тонкоплівковий транзистор (TFT – thin-film technology), який забезпечує підтримання заданої яскравості окремого пікселя. Завдяки цьому TFT-панелі здатні відтворювати тисячі кольорів. Поширені панелі з 18-бітною шиною керування, що відтворює 262144 кольори. Використовувати такі дисплеї доцільно у випадку необхідності відобразити велику кількість кольорів, наприклад, для відтворення відеозображення.



Рисунок 2.12 – Сегментний індикатор



Рисунок 2.13 – Індикатор знакосинтезуючий



Рисунок 2.14 – Графічний індикатор



Рисунок 2.15 – Кольорова STN-панель



Рисунок 2.16 – Кольорова TFT-панель

2.2 Сегментні рідиннокристалічні індикатори

Широко поширені цифрові, літерно-цифрові та мнемонічні індикатори сегментного типу. Типовий цифровий сегментний індикатор показано на рис. 2.17 [2].

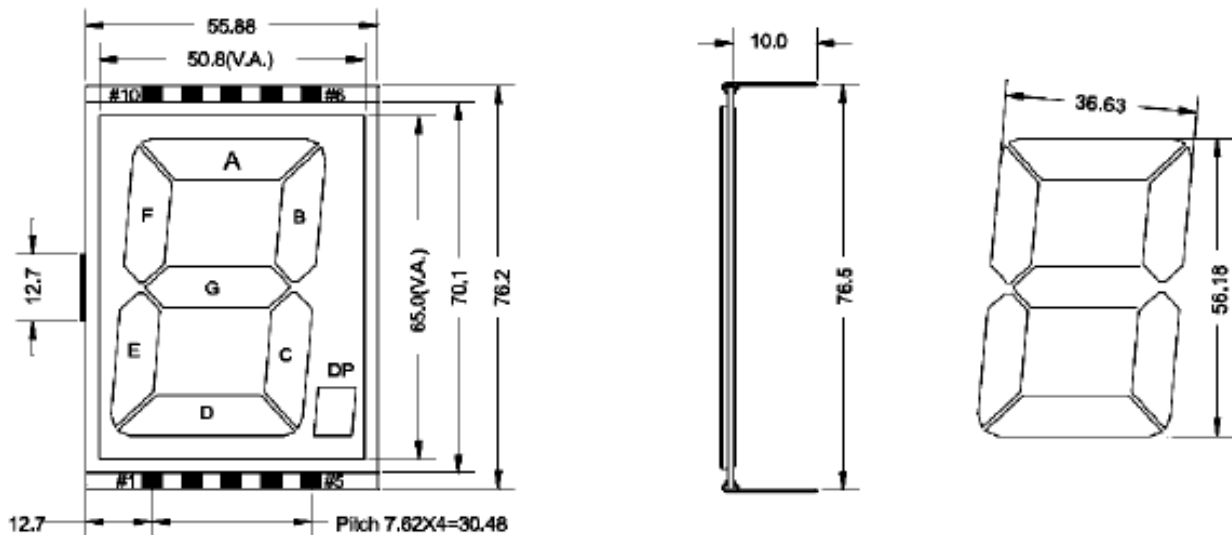


Рисунок 2.17 – Семисегментний РКІ моделі E0006 фірми INTECH

У таких індикаторах прозорі електроди виготовлені у формі цифрових сегментів (*a, b, c, d, e, f, g, dp* на рис 2.17), що мають окремі виводи. Непрозорий електрод *k* один на усі прозорі сегменти і має один вивід. При подаванні напруги на загальний електрод *k* і вибрані прозорі сегменти під цими сегментами утворюються смуги, колір яких істотно відрізняється від фону. Поєднання цих смуг формує потрібні цифру, літеру або знак. Змінюючи сегменти, підімкнуті до джерел напруги, змінюють цифри або знаки.

Індикатор, зображений на рис. 2.17, має позначення виводів, даних у табл. 2.1 (виводи кожного сегмента показані як чорні прямокутники, порядок нумерації дано на рисунку).

Таблиця 2.1 – Позначення виводів індикатора E0006

Вивод	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Функція	COM	E	D	C	DP	G	B	A	F	COM

Відображення кількох цифр, символів або знаків можна здійснити шляхом використання кількох одиничних сегментних індикаторів. Це не дуже зручно, тому сучасна промисловість виготовляє різні типи сегментних індикаторів, здатних відображати кілька символів

(розрядів) одночасно. Трирозрядний індикатор моделі E0812 фірми INTECH показано на рис. 2.18 [3]. Функціональне призначення виводів цього індикатора подано у табл. 2.2.

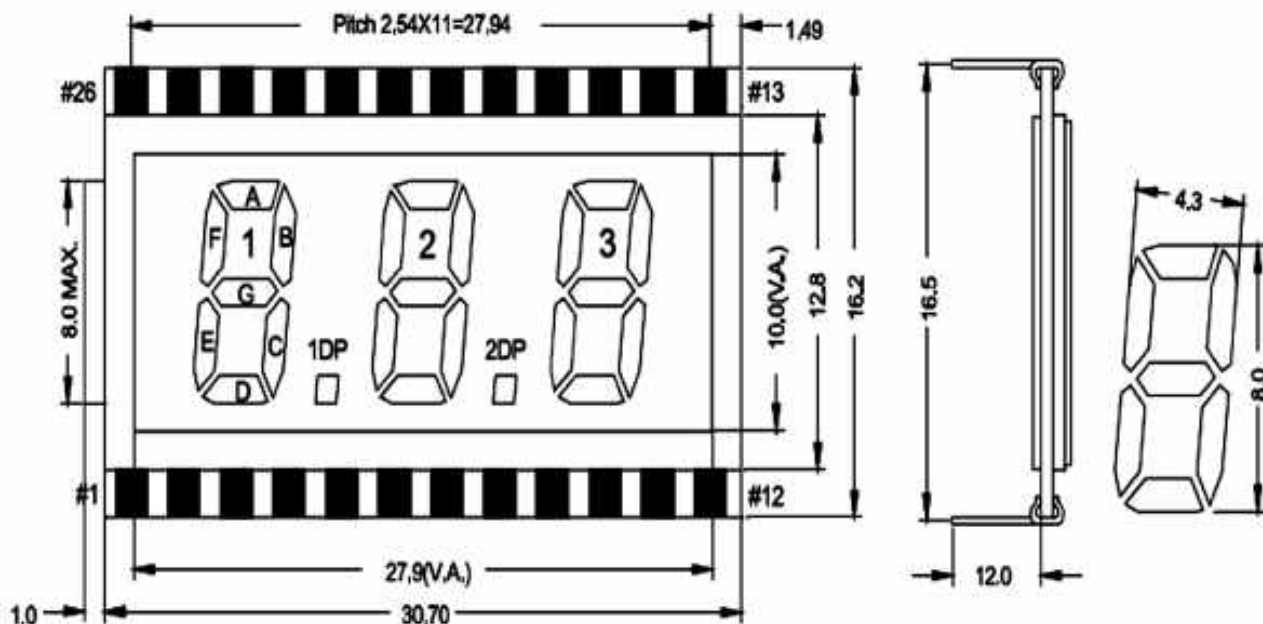


Рисунок 2.18 – Трирозрядний PKI моделі E0812 фірми INTECH

Таблиця 2.2 – Позначення виводів індикатора E0812

Вивод	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Функція	COM	1E	1D	1C	1DP	2E	2D	2C	2DP	3E
Вивод	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Функція	3D	3C	3B	3A	3F	3G	2B	2A	2F	2G
Вивод	21	22	23	24						
Функція	1B	1A	1F	1G						

Сегментний індикатор E0803 фірми INTECH має три з половиною розряди (рис. 2.19). Функціональне призначення його виводів дано у табл. 2.3 [4].

Крім наведених вище типів існують рідиннокристалічні індикатори на 4, 6 і 8 розрядів.

Принцип використання сегментних індикаторів у сучасних електронних виробках можна зрозуміти з такого прикладу.

Розглянемо спосіб під'єднання сегментного індикатора на три з половиною розряди до вітчизняного АЦП КР572ПВ10.

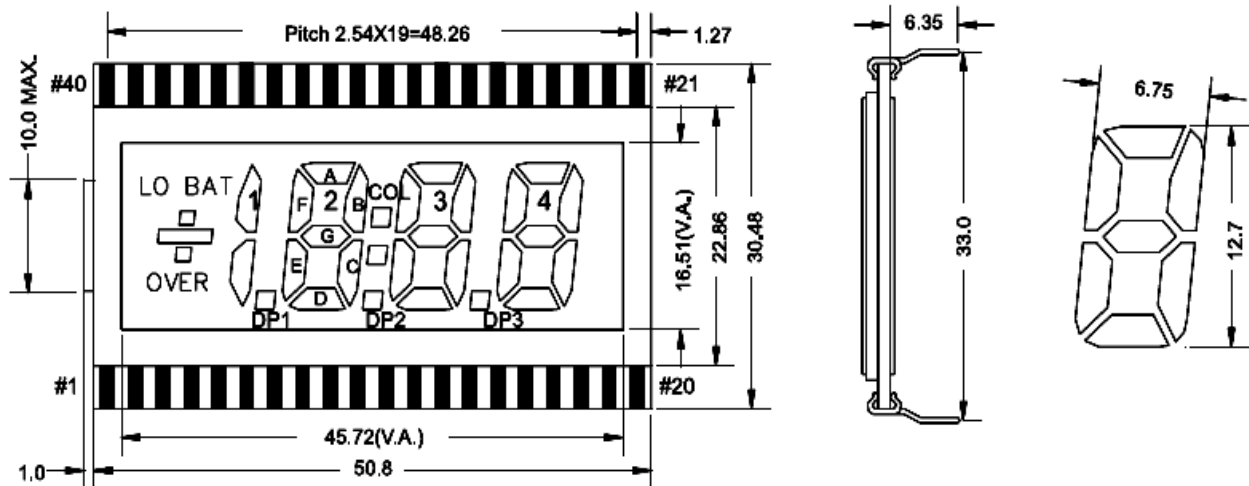


Рисунок 2.19 – Індикатор моделі E0803 фірми INTECH на три з половиною розряди

Таблиця 2.3 – Позначення виводів індикатора E0803

Вивод	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Функція	COM	\	1BC	\	\	\	\	1DP	2E	2D
Вивод	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Функція	2C	2DP	3E	3D	3C	3DP	4E	4D	4C	4B
Вивод	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Функція	4A	4F	4G	3B	3A	3F	3G	CLN	2B	2A
Вивод	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Функція	2F	2G	\	\	\	\	OVER	LOBAT	\	COM

Ця мікросхема призначена для застосування у приладах вимірювання напруги, струму, температури, ваги та ін. з виводом інформації на сегментний рідиннокристалічний індикатор. Мікросхема побудована за принципом подвійного інтегрування, має режим зберігання даних (HOLD) і 40 виводів [5]. Схему підмикання індикатора вітчизняного виробництва ИЖКЦ5-4/8 до даного АЦП показано на рис. 2.20.

За аналогічним принципом до даного АЦП можна підімкнути будь-який індикатор на три з половиною розряди. Щодо індикатора на рис. 2.19 його підмикають за аналогічним принципом, але виводи 8, 12, 16, 28, 37, 38 не будуть використані.

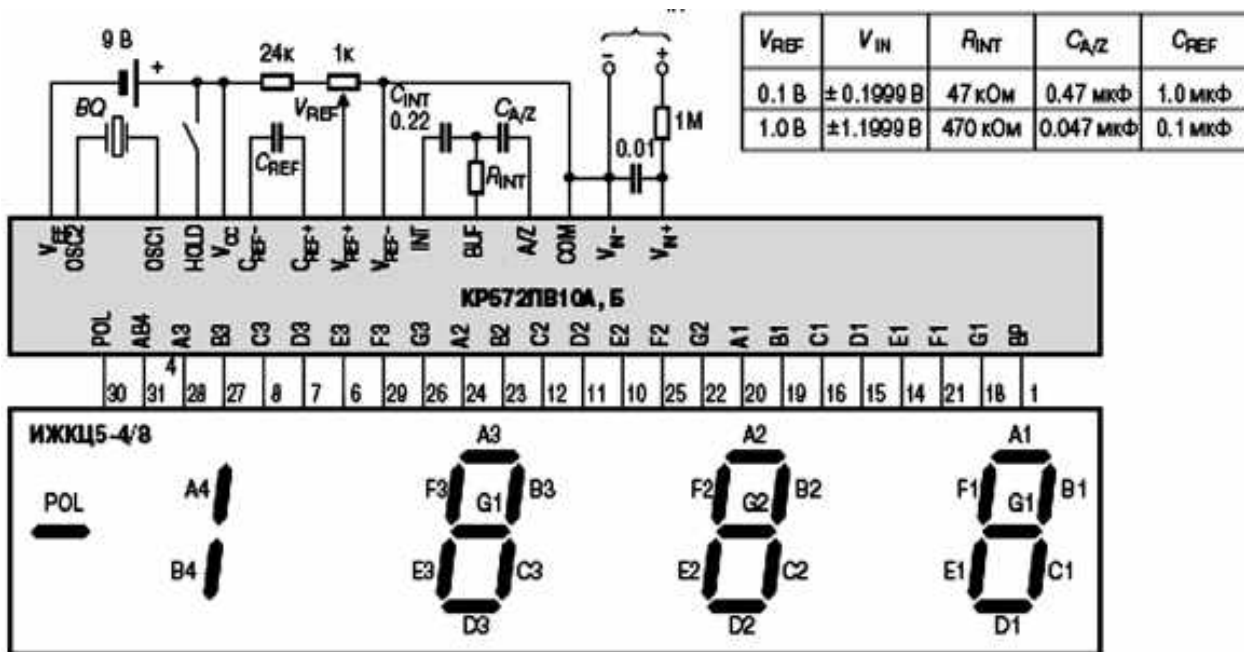


Рисунок 2.20 – Схема підімкнення сегментного індикатора до АЦП

2.3 Знакосинтезуючі рідиннокристалічні індикатори

Для успішного функціонування деяких сегментних, усіх знаковинтезуючих і графічних індикаторів, а також кольорових панелей використовують спеціальні контролери, які керують їхньою роботою. РКІ разом з таким контролером являє собою РКІ-модуль. Перш ніж описувати драйвери та контролери для РКІ, розберемося, що це таке і в чому між ними різниця.

Драйвер забезпечує зв'язок між основним ядром системи (мікроконтролером) і рідиннокристалічною панеллю. Зазвичай драйвер здатний лише відтворювати на дисплеї інформацію зі своєї внутрішньої пам'яті.

Контролер здатний виконувати команди керуючого контролера системи, а також синтезувати текст. Деякі моделі контролерів можуть навіть поєднувати текст з графічним зображенням.

Усі дисплеї з пасивною матрицею, починаючи з сегментних і закінчуючи кольоровими STN-панелями, мають схожу структуру – два електроди, простір між якими заповнено рідинними кристалами.

Існує два режими керування рідиннокристалічним дисплеєм: статичний і мультиплексований.

У першому режимі кожним елементом зображення керує окремий драйвер з використанням одного загального (COM) і одного

сегментного (SEG) проводів. У другому режимі керування здійснюється за допомогою декількох загальних проводів (COM). Мультиплексований режим дозволяє зменшити кількість виводів РКІ, необхідних для відображення однієї і тієї ж кількості елементів зображення. Такий режим характеризують параметром «мультиплекс», який визначає кількість загальних виводів РКІ, а також указує, скільки часу триває вплив на електроди РК панелі. При збільшенні мультиплексу якість зображення погіршується за рахунок зменшення часу впливу напруги на РКІ. Так, наприклад, для відтворення на дисплеї 160 елементів зображення у статичному режимі потрібні один загальний і 160 сегментних виводів, а у чотирикратному мультиплексованому режимі - чотири загальних і 40 сегментних виводів. Режим мультиплексування зазвичай позначають так: 4MUX або 1:4. РКІ не допускають використання сталої напруги, тому для керування застосовують спеціальні драйвери, які формують керуючу напругу потрібної форми.

Контролер HD44780 фірми Hitachi фактично є промисловим стандартом і широко застосовується у виробництві алфавітно-цифрових РКІ-модулів. Аналоги цього контролера або сумісні з ним за інтерфейсом і командною мовою мікросхеми випускає дуже багато фірм: Epson, Toshiba, Sanyo, Samsung, Philips та ін. Ще більше фірм виробляють РКІ-модулі на базі цих контролерів. Такі модулі можна знайти у найрізноманітніших пристроях: вимірювальних приладах, медичному обладнанні, промислового і технологічного обладнанні, офісній техніці.

Алфавітно-цифрові РКІ-модулі є недорогим і зручним рішенням, яке дозволяє зекономити час і ресурси при розробленні нових виробів, при цьому забезпечують відображення великого обсягу інформації з хорошим ступенем розрізнення та низьким енергоспоживанням. Можливість оснащення РКІ-модулів заднім освітленням дозволяє експлуатувати їх в умовах зі знизеним або нульовим освітленням, а використання їх з розширеним діапазоном температур (- 20...+ 70 °C) – у складних експлуатаційних умовах, у тому числі у переносній, польовій і навіть бортовій апаратурі.

Контролер HD44780 потенційно може керувати двома строками по 40 символів у кожній (для модулів з чотирма строками по 40 символів використовують два однотипних контролери) з матрицею символу 5×7 точок.

Існує декілька стандартних форматів РКІ-модулів (символ × рядок): 8 × 2, 16 × 1, 16 × 2, 16 × 4, 20 × 1, 20 × 2, 20 × 4, 24 × 2,

40 × 2, 40 × 4.

Для прикладу розглянемо РКІ-модуль PC2402A фірми Powertip (рис. 2.21).

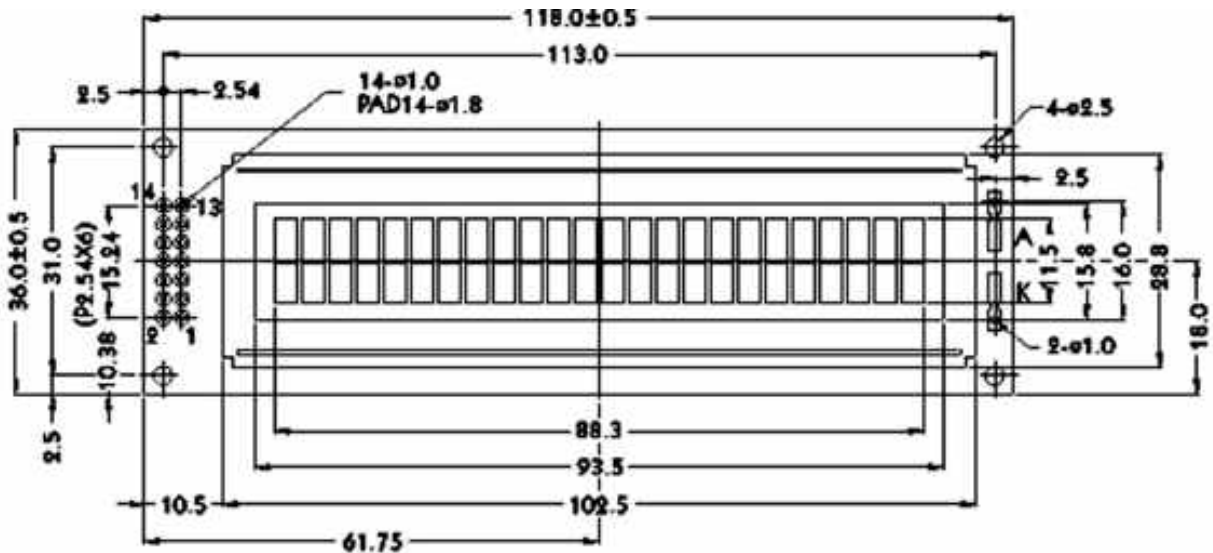


Рисунок 2.21 – РКІ-модуль PC2402A

РКІ-модуль має 14 виводів керування, призначення яких наведено у табл. 2.4 [6].

Таблиця 2.4 – Призначення виводів РКІ-модуля PC2402A

Номер виводу	1	2	3	4	5	6	7
Назва	GND	Vcc	Vo	RS	R/W	E	DB0
Функція	Загальний	Напруга живлення	Контрастність	Команди/дані	Читання/запис	Вибір модуля	Лінія даних 0
Номер виводу	8	9	10	11	12	13	14
Назва	DB1	DB2	DB3	DB4	DB5	DB6	DB7
Функція	Лінія даних 1 <>	Лінія даних 2 <>	Лінія даних 3 <>	Лінія даних 4 <>	Лінія даних 5 <>	Лінія даних 6 <>	Лінія даних 7 <>

Подавання живлення на РКІ-модуль. На початковій стадії потрібно подати живлення на РКІ-модуль і добитись від нього ознак працездатності. Схему підмикання модуля для стандартного діапазону температур зображено на рис. 2.22 [7].

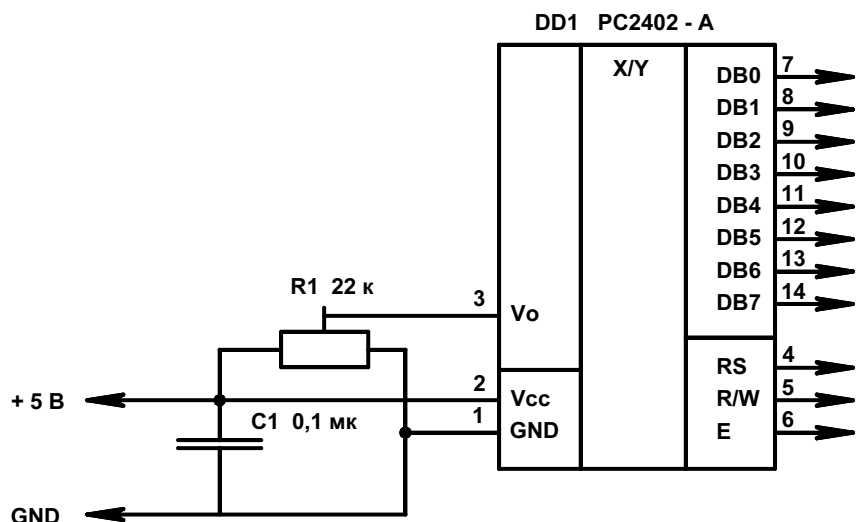


Рисунок 2.22 – Схема живлення модуля PC2402A для стандартного температурного режиму

Підстроювальний резистор R1 дозволяє плавно змінювати напругу живлення драйвера РКІ, що призводить до зміни кута обертання рідинних кристалів. Цим резистором можна відрегулювати фактичну контрастність для деякого переважного кута спостереження (згори вниз або навпаки). Використання даної схеми для РКІ-модуля з розширеним температурним діапазоном не дасть результату, бо такі модулі потребують підвищеної напруги живлення і за напруги 5 В зображення буде неконтрастним або взагалі відсутнім. На вивід Vo необхідно подати негативну напругу, значення якої у граничному випадку – 5 В. Якщо у схемі відсутнє джерело негативної напруги, її можна сформувати власноруч (рис. 2.23). Для активації РКІ-модуля треба подати напругу живлення та покрутити змінний резистор R1. Після закінчення циклу внутрішньої ініціалізації модуль вмикається у режим розгортання однієї верхньої строки. При зміні напруги на виводі Vo сегменти цієї строки повинні змінювати свій стан від прозорого до непрозорого, що свідчить про правильне підімкнення живлення модуля та працездатність контролера і драйверів РКІ. Резистор R1 потрібно установити у таке положення, при якому зображення сегментів верхньої строки ледь-ледь помітне на основному фоні РКІ. Тепер РКІ-модуль є готовим для приймання та відображення інформації.

Після того як вдасться добитись відображення будь-якого тексту, з'явиться можливість більш точно відрегулювати зображення відповідно до необхідної контрастності та потрібного кута спостереження.

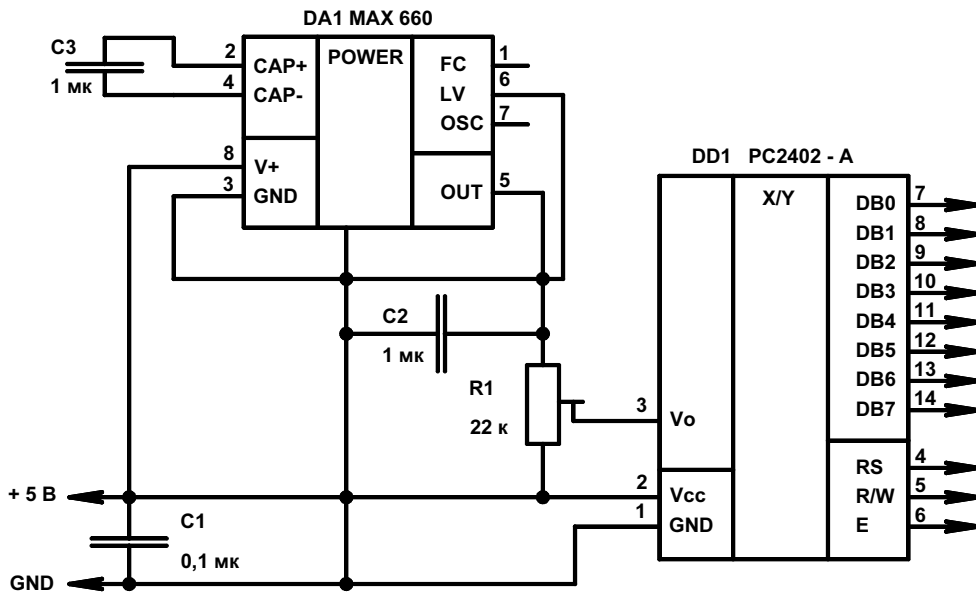


Рисунок 2.23 – Схема живлення модуля PC2402A для розширеного температурного режиму

Підімкнення РКІ-модуля. Для з'єднання РКІ-модуля з керуючою системою застосовується паралельна синхронна шина, яка має чотири або вісім (вибирається за програмою) ліній даних DB0 – DB7, лінію вибору операції R/W, лінію вибору регістра RS і лінію стробування/синхронізації E. Крім ліній керуючої шини існують дві лінії для подавання напруги 5 В: GND і Vcc, а також лінія для подавання напруги живлення РКІ Vo.

Ці назви ліній шини є стандартними, але існує багато різних варіантів розміщення контактів у кожній конкретній конструкції РКІ-модуля. Насправді, єдиним реально стандартним варіантом розміщення контактів є дворядне вертикальне 14-контактне поле, що знаходиться у лівій частині модуля, або відповідне йому дворядне 16-контактне поле, яке містить додаткову пару контактів з виводами живлення освітлення. У будь-якому разі для отримання достовірної інформації потрібно користуватись відповідною довідковою літературою виробника РКІ-модуля.

Для з'єднання модуля з керуючою системою можна вибрати один з двох варіантів: за допомогою 8- або 4-розрядної шини. У першому випадку буде потрібно 11 сигнальних ліній, у другому – тільки 7. Сам процес обміну також може бути організований двома варіантами. Можна підімкнути РКІ-модуль до системної шини (якщо вона існує) і здійснити обмін у синхронному режимі з максимальною швидкістю. Такий спосіб має недоліки: більшість сучасних пристроїв мають однокристалні мікроЕОМ без використання додаткової зовнішньої

пам'яті і, як наслідок, системна шина в них просто відсутня; у сучасних системах високої складності, які мають зовнішню пам'ять і системну шину, швидкість операцій на шині є за межами можливостей контролера HD44780 (2 МГц при живленні 5 В і 1 МГц при живленні 3 В), що може потребувати уведення додаткових схем для уповільнення швидкості роботи шини при здійсненні операцій обміну з РКІ-модулем; підімкнення до системної шини у більшості випадків потребує уведення схем дешифрації й формування сигналів Е і R/W, що знову потребує додаткових витрат.

Наведені вище факти не свідчать про те, що варіант з підімкненням до шини є принципово неефективним. Для якоїсь конкретної системи він може виявитись найоптимальнішим. Крім того, деякі сучасні процесори (сім'я MC68HC12) мають вбудовані засоби для формування сигналів вибірки (CS) з можливістю програмно визначити швидкість обміну з кожним конкретним пристроєм.

Інший варіант – обмін з РКІ-модулем – здійснюється чисто програмними засобами, через порти вводу-виводу керуючої мікроЕОМ. Далі ми сконцентруємо увагу саме на цьому варіанті, бо він дозволяє розглянути загальний випадок, не прив'язуючись до конкретної системи.

На рис. 2.24 зображено схему підімкнення РКІ-модуля з 8-розрядною шиною до абстрактної мікроЕОМ.

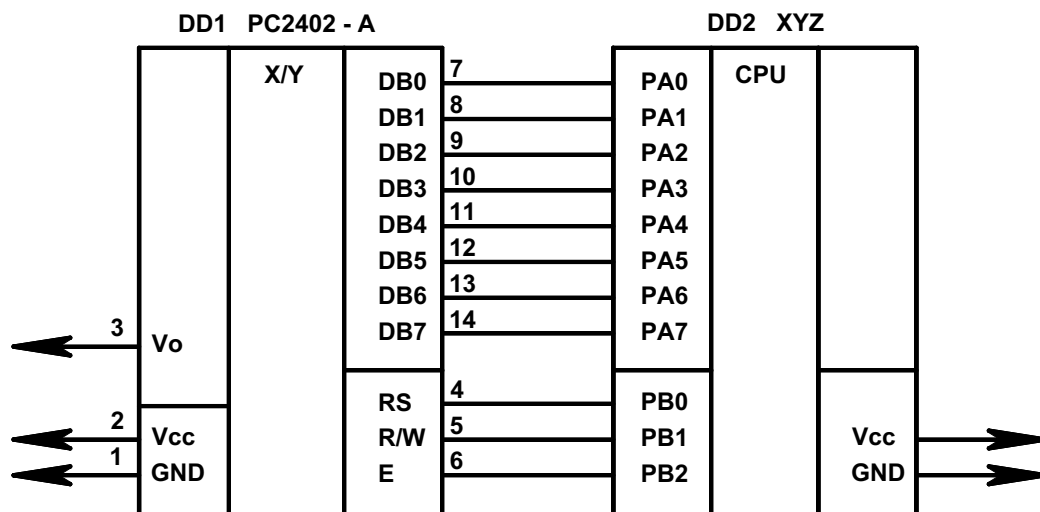


Рисунок 2.24 – Підімкнення РКІ-модуля з 8-розрядною шиною

Ця мікроЕОМ містить два порти: 8-розрядний двонапрямний PA0–PA7, до якого підімкнено шину DB0–DB7 РКІ-модуля, і трирозрядний PB0–PB2, до якого підімкнуті лінії сигналів керування: Е,

RS, R/W. На рис 2.25 зображено схему підімкнення РКІ-модуля до цієї ж мікроЕОМ у 4-розрядному режимі. Зверніть увагу на те, що для обміну у 4-розрядному режимі використовують старшу тетраду шини даних DB4–DB7.

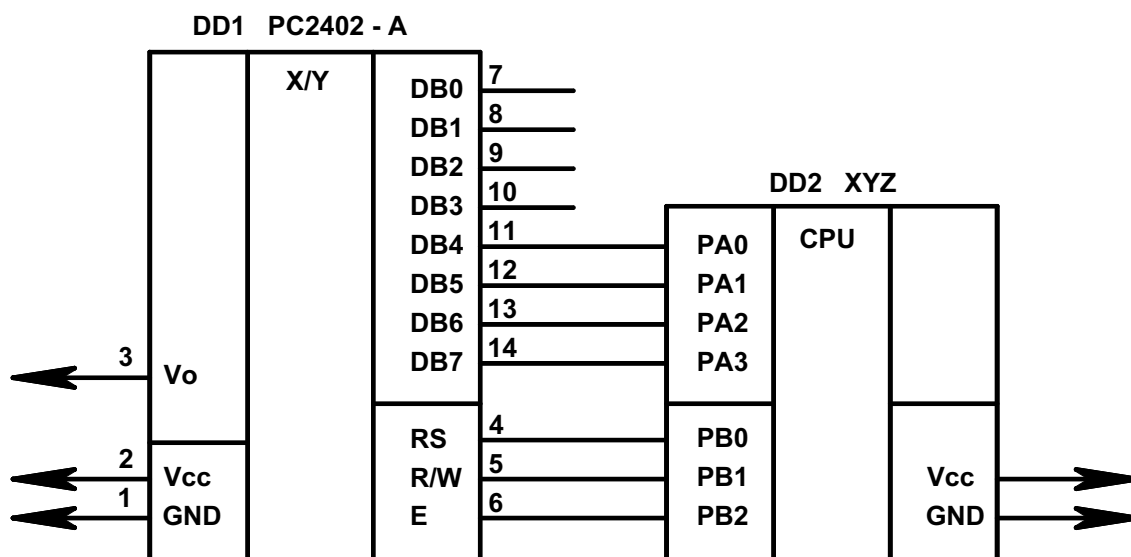


Рисунок 2.25 – Підімкнення РКІ-модуля у 4-розрядному режимі

Послідовність дій, які необхідно виконувати керуючій системі при здійсненні операцій запису та зчитування для 8- і 4-розрядної шини, наведено у табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Операції запису та зчитування для 8- і 4-розрядної шини

<i>Операції запису для 8-розрядної шини</i>
1. Установити значення лінії RS
2. Вивести значення байта даних на лінії шини DB0–DB7
3. Установити лінію E = 1
4. Установити лінію E = 0
5. Установити лінії шини DB0–DB7 = HI
<i>Операції зчитування для 8-розрядної шини</i>
1. Установити значення лінії RS
2. Установити лінію R/W = 1
3. Установити лінію E = 1
4. Зчитати значення байта даних з ліній шини DB0–DB7
5. Установити лінію E = 0
6. Установити лінію R/W = 0

Продовження таблиці 2.5

Операції запису для 4-розрядної шини
1. Установити значення лінії RS
2. Вивести значення старшої тетради байта даних на лінії шини DB0–DB7
3. Установити лінію E = 1
4. Установити лінію E = 0
5. Вивести значення молодшої тетради байта даних на лінії шини DB0–DB7
6. Установити лінію E = 1
7. Установити лінію E = 0
8. Установити лінії шини DB4–DB7 = HI
Операції зчитування для 4-розрядної шини
1. Установити значення лінії RS
2. Установити лінію R/W = 1
3. Установити лінію E = 1
4. Зчитати значення старшої тетради байта даних з ліній шини DB4–DB7
5. Установити лінію E = 0
6. Установити лінію E = 1
7. Зчитати значення молодшої тетради байта даних з ліній шини DB4–DB7
8. Установити лінію E = 0
9. Установити лінію E = 1

Наведені у табл. 2.5 операції розраховані на час виконання кожного кроку не менше 250 нс. При використанні сучасних мікроЕОМ ця умова може бути порушена, тому необхідно старанно контролювати мінімальне значення часових інтервалів і за необхідності вводити затримки.

2.4 Графічні рідиннокристалічні індикатори

Модулі графічних РКІ-дисплеїв мають тонкий профіль, малу вагу, низьке енергоспоживання та легке керування і тому широко застосовуються. У даному підрозділі розглянемо графічні дисплеї з дискретністю 320 × 240 точок фірми Hantronix (рис. 2.26) і спосіб їх підімкнення до керуючого контролера [8]. РК-дисплеї з дискретністю 320 × 240 (1/4 VGA) є дуже популярними у різних обчислювальних системах, хоча й виготовляються зазвичай без вбудованого контролера, який не входить до складу РКІ-модуля.

Даний дисплей має такі характеристики:

- тип заднього освітлення – CCFL;
- вбудований контролер – SED1335;
- вбудований перетворювач напруги (інвертор) – присутній;
- габаритні розміри – 167,1 × 109,0 × 11 мм;

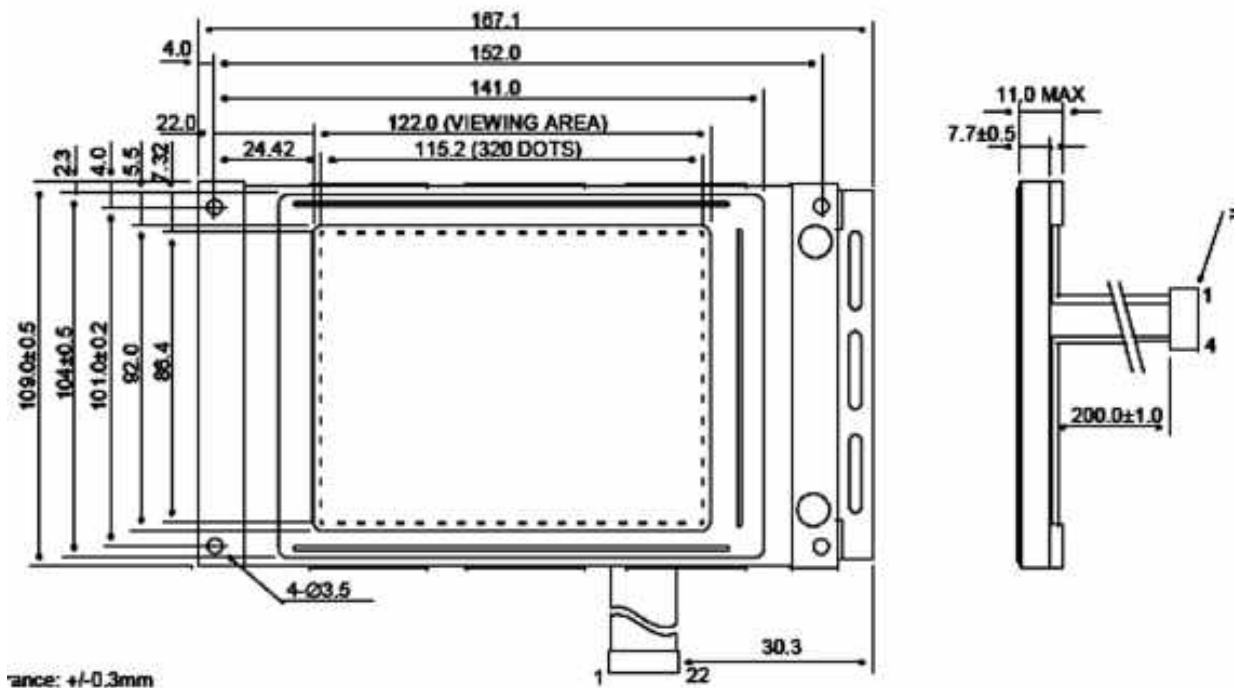


Рисунок 2.26 – Графічний РКІ-модуль HDM3224N-1 фірми Hantronix

- розмір екрана дисплея – 122,0 × 92 мм;
- розмір точки зображення – 0,33 × 0,33 мм;
- вага – 199 г.

Підімкнення модуля до напруги живлення та керуючих каналів здійснюється за допомогою двох шлейфів: шлейфа з чотирма виводами для живлення заднього освітлення (показано на вигляді збоку) і шлейфа з 22 виводами для підімкнення керуючих каналів (показано на головному вигляді внизу). Функціональне призначення виводів дано у табл. 2.6, 2.7.

Таблиця 2.6 – Призначення виводів модуля HDM3224N-1

Номер виводу	Символ	Рівень	Функція
1	V_{ss}	0 В	Загальний
2	V_{dd}	4,5 В	Живлення для логічних мікросхем
3	V_L		Робоча напруга дисплея
4	AO	H/L	Вибір типу даних
5	WR (R/W)		Сигнал запису (сім'я 8080) R/W сигнал (сім'я 6800)

Продовження таблиці 2.6

Номер виводу	Символ	Рівень	Функція
6	\overline{RD} (E)		Зчитування (сім'я 8080) Сигнал дозволу (сім'я 6800)
7–14	DB0 · · DB7		Тристанова шина вводу-виводу інформації
15	\overline{CS}		Вибір кристала
16	\overline{RES}		Reset контролер
17	V_{EE}	- 23 В	Живлення дисплея
18	SEL ₁	-	0 для сім'ї 8080 1 для сім'ї 6800
19–22	-	-	Не використовуються
Заднє освітлення			
1	V_{CFL}	-	Живлення заднього освітлення
2	-	-	Не використовується
3	-	-	Не використовується
4	V_{CFL}	-	Загальний

Таблиця 2.7 – Електричні параметри модуля HDM3224N-1

Параметр	Символ	Стан	Мінімум	Номінал	Максимум	Позначка
Напруга живлення	V_{dd}	-	4,23	4,5	4,73	В
	$-V_{EE}$	-	22,8	23,1	23,4	В
Струм живлення	I_{dd}	-	-	77	116	мА
Напруга ССFL	V_{CCFL}	-	-	260	-	В ~
Струм ССFL	I_{CCFL}	-	4	5	6	мА ~
Частота ССFL	F_{CCFL}	-	-	35	-	кГц
Яскравість	L	Усе увімкнено		28,4		кд/м ²
		Усе вимкнено		3,4		

Непоганим вибором контролера з вбудованим 8-розрядним мікроконтролером і контролером РКІ-дисплея може стати Epson/S-MOS SED1335 або OKI MSM6255/6355.

Нижче наведено приклад підімкнення графічного РКІ з

контролером SED1335 до керуючого контролера Phillips 87C751.

Серія дисплеїв Hantronix 320×240 має стандартний промисловий 4-розрядний інтерфейс. Цьому інтерфейсу необхідний контролер для безперервного оновлення зображення і для підтримки RAM дисплея. Перед тим як мікроконтролер зможе керувати дисплеєм, потрібно надіслати серію байтів ініціалізації у контролер PKI для встановлення робочих параметрів і опису зображення у контролері.

Після ініціалізації мікроконтролер зможе відправити текстові або графічні дані у контролер PKI, де вони будуть відформатовані та збережені у RAM дисплея. Одночасно з оновленням RAM контролер PKI безперервно зчитує дані з RAM дисплея, упорядковуючи їх та пересилаючи на дисплей. Мікроконтролер 87C751 не має прямого доступу до RAM дисплея і повинен надсилати усі дані та команди у контролер PKI.

У нашому прикладі мікроконтролер 87C751 підімкнено до контролера PKI через паралельні порти вводу-виводу (I/O) (рис. 2.27).

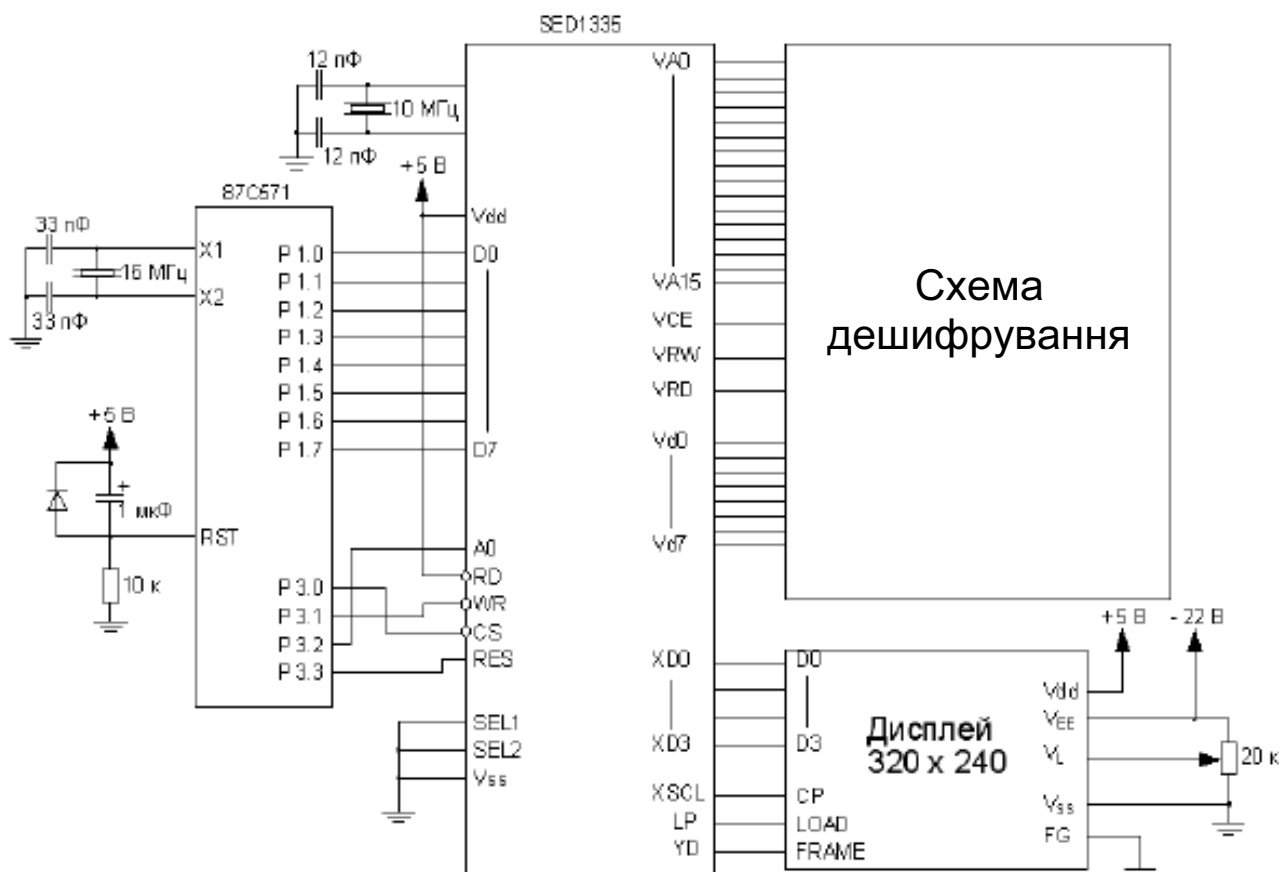
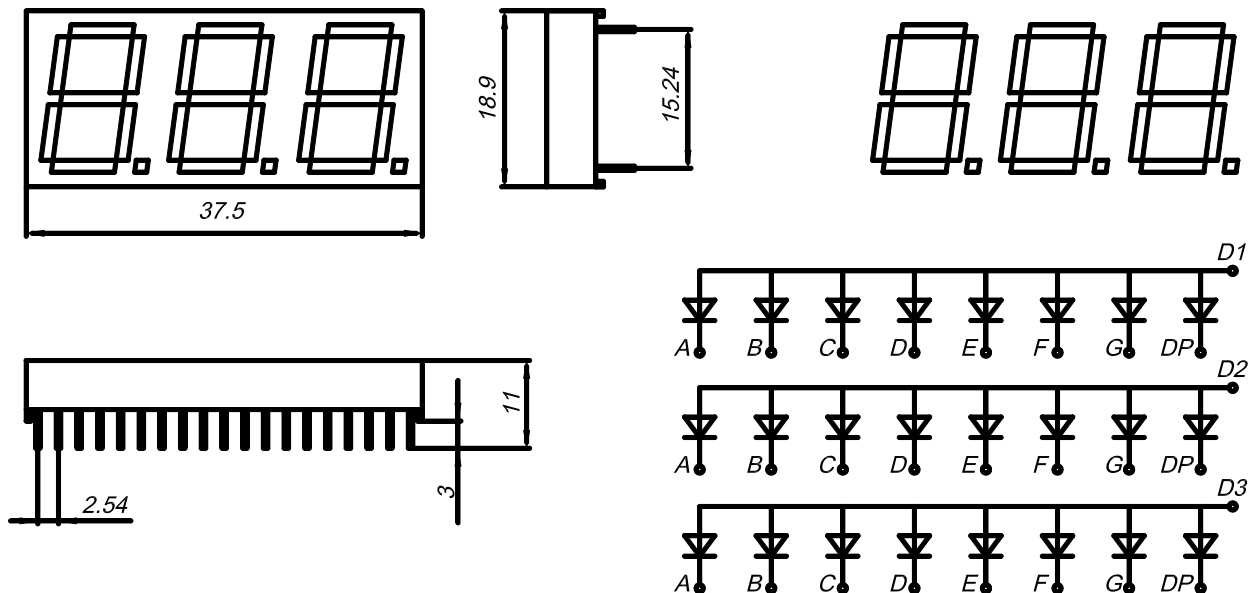


Рисунок 2.27 – Схема підімкнення графічного модуля до контролера 87C751

ДОДАТОК А

Перелік поширених трирозрядних світлодіодних індикаторів
фірми BRIGHT

Розмір, дюйм/ тип корпусу	Зі спільним анодом	Зі спільним анодом	Матеріал/ колір випроміню- вання	Пікова дов- жина хвилі λ_p , нм	Пря- мий струм I_f , mA	Піковий струм I_p , mA	Пряма напруга V_f , В	Потуж- ність світла I_v , мКд
0,52 three digit/ TD-07	BT-A531RD	BT-C531RD	GaAsP/Red	655	40	200	1.7	1.0
	BT-A532RD	BT-C532RD	GaAsP/Bri- ght Red	700	15	50	2.2	1.5
	BT-A535RD	BT-C535RD	GaP/ Green	568	30	150	2.2	3.0
	BT-A533RD	BT-C533RD	GaAsPGa/ Yellow	585	30	150	2.1	2.0
	BT-A534RD	BT-C534RD	GaAsPGa P/ Orange	635	30	150	2.0	3.0
	BT-A51DRD	BT-A51DRD	GaAlAs/ DH Super Red	660	30	150	1.7	7.0



БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Троицкий Ю. Основные принципы построения индикаторных панелей / Ю. Троицкий, А. Нестеров // Схемотехника. – 2007. – № 2. – С. 13–19.
2. ГОСТ 25066-91. Индикаторы знаковосинтезирующие. Термины, определения и буквенные обозначения. – Взамен ГОСТ 25066-81; введ. 01.07.1992. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 64 с.
3. Быстров Ю.А. Сто схем с индикаторами / Ю.А. Быстров, А.П. Гапунов, Г.М. Перестанов. – М.: Радио и связь. 1990. – 112 с.
4. Предко М. Справочник по PIC-микроконтроллерам: пер. с англ. – М.: ДМК Пресс, 2002. – 512 с.
5. www.maxim-ic.com.
6. www.nxp.com/products/displays/index.html (теперішня філія Philips).
7. www.brightled.com.tw.
8. www.kingbright.com.tw.
9. Гусев В.Г. Электроника / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. – М.: Высш. шк., 1991. – 621 с.
10. www.intech-lcd.com/image/LCD_Panel_E0006.pdf.
11. www.intech-lcd.com/image/LCD_Panel_E0812.pdf.
12. www.intech-lcd.com/image/LCD_Panel_E0803.pdf.
13. Нефедов А.В. Интегральные микросхемы и их зарубежные аналоги: справ.: в 2 т. / А.В. Нефедов. – М.: ИП РадиоСофт, 1998. – Т. 2. – 640 с.
14. Алфавитно-цифровые интегрирующие ЖК-модули фирмы Powertip: каталог. – М.: КТЦ – МК, 1998. – 64 с.
15. LCD Controller / Driver LSI. Data book. – Hitachi America Ltd, 1994. – 284 p.
16. Hantronix Crystal Clear and Visibly Superior LCD Modules. Application Note. – Hantronix Inc., 2000. – 288.

ЗМІСТ

1	РОЗРОБЛЕННЯ СВІТЛОДІОДНИХ ІНДИКАТОРІВ	3
1.1	Вибір і розрахунок світлодіодних індикаторів	3
1.2	Геометричні параметри світлодіодів	7
1.3	Режими індикації	8
1.4	Статичний режим індикації	9
1.5	Динамічний режим індикації	13
2	РІДИННОКРИСТАЛІЧНІ ПРИЛАДИ ДЛЯ ВІДОБРА- ЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ	20
2.1	Елементи теорії рідиннокристалічних індикаторів	20
2.2	Сегментні рідиннокристалічні індикатори	30
2.3	Знакосинтезуючі рідиннокристалічні індикатори	33
2.4	Графічні рідиннокристалічні індикатори	40
	БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	43
	ДОДАТОК А	44

Заболотний Олександр Віталійович
Книш Валентин Олександрович

НАПІВПРОВІДНИКОВІ ТА РІДИННОКРИСТАЛИЧНІ ПРИСТРОЇ
ВІДОБРАЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ

Редактор С. П. Гевло

Зв. план, 2008

Підписано до друку 16.09.2008

Формат 60x84 1/16. Папір офс. № 2. Офс. друк.

Ум. друк. арк. 2,6. Обл.-вид. арк. 2,94. Наклад 100 прим.

Замовлення 399. Ціна вільна

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського

“Харківський авіаційний інститут”

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

<http://www.khai.edu>

Видавничий центр “ХАІ”

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

izdat@khai.edu