

# ДИСКРЕТНО-АНАЛОГОВИЙ ІНДИКАТОР ДЛЯ ВБУДОВАНИХ СИСТЕМ

Груєва Альона Павлівна

*студентка групи ІНб-1-24-4.0д,*

*Київського столичного університету імені Бориса Грінченка*

*науковий керівник – д.т.н., проф. Бушма О.В.*

## ВСТУП

Розвиток інформаційно-вимірювальних та вбудованих систем зумовлює потребу у засобах відображення даних, які поєднують простоту апаратної реалізації, невисокі обчислювальні витрати та наочність подання результату. Для систем на мікроконтролерах одним із таких засобів є шкальний дискретно-аналоговий індикатор, у якому числове значення подається не послідовністю цифр, а як кількість активованих елементів інформаційного поля. Такий спосіб відображення дає змогу безпосередньо оцінювати величину контрольованого параметра за положенням межі активної частини шкали. Це суттєво полегшує роботу оператора у засобах людино-машинного інтерфейсу, дозволяючи миттєво фіксувати зміни вимірюваних величин без необхідності зчитування багаторозрядних цифрових показників [1].

Проведені дослідження показали високу ефективність дискретно-аналогових пристроїв відображення інформації зі світлодіодною шкалою на основі мікроконтролерів [1 – 4]. Програмні платформи реалізували двотактні та багатотактні інформаційні моделі формування зображення на шкалі [3; 4]. Основна увага в цих розробках була приділена розробці універсальних апаратно-програмних платформ. При цьому мало уваги приділялося зменшенню витрат процесорного часу на обслуговування підсистеми індикації.

Метою дослідження є створення апаратно-програмної платформи, яка забезпечує перетворення цифрового коду у дискретно-аналогове подання даних на 64-елементній світлодіодній шкалі з мінімізованими витратами обчислювальних ресурсів та може бути інтегрована до інформаційно-вимірювальних і вбудованих систем. Додатковими сферами використання визначено інженерні задачі, ергономічні дослідження людино-машинного інтерфейсу та навчальний процес.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Предметом розробки є комп'ютерна програма для мікроконтролерів серії MCS-51, призначена для перетворення вхідних цифрових даних у сигнали керування оптоелектронним напівпровідниковим шкальним дискретно-аналоговим індикатором. Інформаційне поле індикатора містить 64 елементи, електрично об'єднані у матрицю світлодіодів 8x8. Програма забезпечує динамічне формування візуального образу впродовж восьми тактів, що дає змогу реалізувати багатотактний режим сканування матриці. На відміну від рішень на спеціалізованих мікросхемах, розробка спирається на дискретну схемотехніку та підхід до програмування на мові асемблера, що забезпечує гнучкість налаштування та повну незалежність від сторонніх драйверів [5].

Функціонально програма реалізує перетворення цифрового коду у візуальний образ на шкальному індикаторі. Вхідні дані надходять у цифровій формі як двійковий нормальний код, після чого за ними визначається кількість елементів інформаційного поля, які повинні бути збуджені. Для індикатора з 64 елементами це відповідає 64 можливим рівням шкального відліку. Візуальний образ визначається кількістю послідовно активованих елементів від 1 до 64.

Особливістю розробки є те, що 64 елементи індикатора не керуються як 64 незалежні виходи. Вони об'єднані у матрицю світлодіодів 8x8, тому для формування зображення організовано відповідний часовий поділ процесу керування. У кожному такті активується певний старший розряд матриці світлодіодів, а коди молодших розрядів визначають стан елементів обраного старшого розряду матриці. Повний візуальний образ формується за вісім тактів, які циклічно повторюються.

Важливою складовою дослідження є інформаційна модель подання одного візуального символу як сукупності елементів, активованих у різні моменти часу. Відповідно до моделі, візуальний образ визначається множиною елементів шкали, яка розподіляється між  $q$  тактами, де для розробленої системи  $q = 8$ . Відповідна аналітична модель має наступний вигляд

$$S_{vBG} \Leftrightarrow A_{vBG}^D = \bigotimes_{i=1}^v a_i \bigg|_{T_s} = \bigotimes_{q=1}^n A_{vBG}^q \bigg|_{T_s} =$$

$$= \left[ \begin{array}{c} E\left(\frac{v}{m}\right) \\ \bigotimes_{x=1} \left[ \begin{array}{c} m \\ \bigotimes_{y=1} a_{xy} \end{array} \bigg|_{\substack{t=t+x\tau_g \\ t=t+(x-1)\tau_g}} \end{array} \right] \bigotimes \left[ \begin{array}{c} E\left(\frac{v}{m}\right)+1 \\ \bigotimes_{x=E\left(\frac{v}{m}\right)+1} \left[ \begin{array}{c} v-mE\left(\frac{v}{m}\right) \\ \bigotimes_{y=1} a_{xy} \end{array} \bigg|_{\substack{t=t+x\tau_g \\ t=t+(x-1)\tau_g}} \end{array} \right] \bigotimes$$

$$\bigotimes \left[ \begin{array}{c} n \\ \bigotimes_{x=E\left(\frac{v}{m}\right)+2} \left[ A_{\emptyset} \bigg|_{\substack{t=t+x\tau_g \\ t=t+(x-1)\tau_g}} \right] \end{array} \right],$$

де

$S_{vBG}$  –  $v$ -й символ алфавіту ІМ,  $v = \overline{1, l}$ ;

$l$  – довжина алфавіту ІМ (для програми  $l=64$ ),

$A_{vBG}^D$  – множина збуджених елементів шкали в динамічному режимі,

$a_i$  –  $i$ -й елемент шкали,  $i = \overline{1, p}$ ,

$p$  – загальна кількість елементів шкали (для програми  $p=64$ ),

$A_{vBG}^q$  – підмножина множини  $A_{vBG}^D$  елементів  $a_i$ , яка відповідає  $q$ -му такту формування динамічного візуального подання символу  $S_{vBG}$ ,

$$\bigcap_{q=1}^r A_{vBG}^q = \emptyset$$

причому,  $q = \overline{1, r}$ ;

$r$  – кількість тактів синтезу символу  $S_{vBG}$ ,

$m$  – кількість шин молодших розрядів матриці елементів шкали (для програми  $m=8$ ),

$n$  – кількість шин старших розрядів матриці елементів шкали (для програми  $n=8$ ),

$T_S$  – період формування символу  $S_{vBG}$  на шкалі,

$E(v/m)$  – ціла частина виразу  $(v/m)$ ,

$a_{xy}$  – елемент, який має номер  $y$  в групі з номером  $x$ , причому,  $x = \overline{1, n}$ ,  $y = \overline{1, m}$

$t$  – поточний час,

$\tau_g$  – тривалість одного такту, причому,  $\tau_g = T_S / r$ .

Для реалізації розробленого алгоритму обрано апаратну платформу на основі мікроконтролера AT89C51 та шкального індикатора на базі напівпровідникових світлодіодів, з'єднаних у матрицю 8x8. Схемотехнічне моделювання виконано в середовищі Proteus, що дозволило перевірити сумісну роботу мікроконтролера та необхідної схеми керування напівпровідниковим індикатором.

Програмна частина побудована за модульним принципом і містить два функціонально пов'язані модулі. Перший модуль виконує початкове налаштування середовища виконання індикації. Він запускається одноразово після старту мікроконтролера та готує апаратні ресурси до подальшого формування зображення. Другий модуль забезпечує безпосередню підтримку індикації та реалізований як обробник переривань від таймера. Його виконання відбувається постійно та циклічно, синхронізуючи процес оновлення інформаційного поля індикатора з роботою таймера мікроконтролера.

На початковому етапі налаштовується режим роботи таймера, завантажуються початкові значення, порти мікроконтролера переводяться у стан блокування індикації, після чого дозволяються переривання від таймера та запускається відлік часу. Така послідовність забезпечує контрольований початок циклічного формування зображення. Загальну структуру роботи програми проілюстровано на рис. 1.



Рис. 1. Узагальнена функціональна схема роботи програми.

Основні функції програмної підтримки індикації реалізуються в обробнику переривань. На початку його виконання зберігається стан робочих регістрів основної програми та підключається альтернативний банк регістрів. Це дає змогу ізолювати робочі дані підсистеми індикації від основного програмного середовища. Далі перезавантажується таймер, контролюється інтервал блокування зміни вхідних даних, за необхідності оновлюється значення для відображення та формується буфер керування матрицею шкали PATTERN\_BUF.

Поточні дані для виводу на індикатор зберігаються у змінній MU\_NUM в оперативній пам'яті, де також зберігається попереднє значення даних у змінній PREV\_VAL. Зміна даних для індикації контролюється окремо за допомогою лічильника формування інтервалу блокування у робочому регістрі R7. Робота цього вузла включає декремент значення в лічильнику, перевірку умови завершення інтервалу та повторне завантаження вихідної константи. Це суттєво скорочує витрати процесорного часу на обслуговування підсистеми індикації, виключаючи зайві обчислення при незмінних вхідних даних.

За умови надходження нових даних блок-перетворювач інформації фіксує нове значення та виконує логічний розподіл коду. Молодші розряди виділяються за допомогою порозрядного логічного маскування трьох молодших бітів, а кількість повністю збуджених старших розрядів обчислюється шляхом трьох послідовних циклічних зсувів акумулятора праворуч із накладанням відповідної бітової маски. Після цього ініціалізуються вказівники та запускається цикл заповнення восьми комірок буфера індикації PATTERN\_BUF, кожна з яких відповідає байту молодших розрядів для окремого старшого розряду матриці світлодіодів.

У процесі формування буфера алгоритм зіставляє поточний індекс старшого розряду з числом повністю збуджених старших розрядів, розрізняючи три принципові стани елементів: повністю збуджені старші розряди матриці світлодіодів, для яких формується байт максимальної активності молодших розрядів; не повністю збуджені старші розряди, для яких код керування молодшими розрядами вибирається з таблиці DATA\_TABLE за значенням виділених молодших розрядів; та незбуджені старші розряди з нульовим кодом молодших розрядів. Завдяки табличному перетворенню двійковий нормальний код залишку безпосередньо трансформується в одиничний нормальний код.

Безпосереднє виведення на шкалу організовано як послідовність восьми часових тактів. Спочатку порти перемикаються у стан блокування для усунення паразитного збудження елементів шкали при перехідних процесах. Далі за лічильником поточного такту в регістрі R0 з буфера PATTERN\_BUF зчитується код молодших розрядів і передається до порту P2, а з таблиці сканування

SCAN\_TABLE зчитується активний рівень старших розрядів і подається до порту P1, знімаючи блокування відповідного старшого розряду матриці світлодіодів. Після завершення такту лічильник R0 збільшується на одиницю, а при досягненні восьми скидається в нуль. Далі робочі регістри відновлюються і керування повертається до основної програми вбудованої системи.

Для перевірки фізичної працездатності розробленої апаратно-програмної платформи в середовищі Proteus було реалізовано повну принципову схему з дискретних компонентів, зображену на рис. 2.

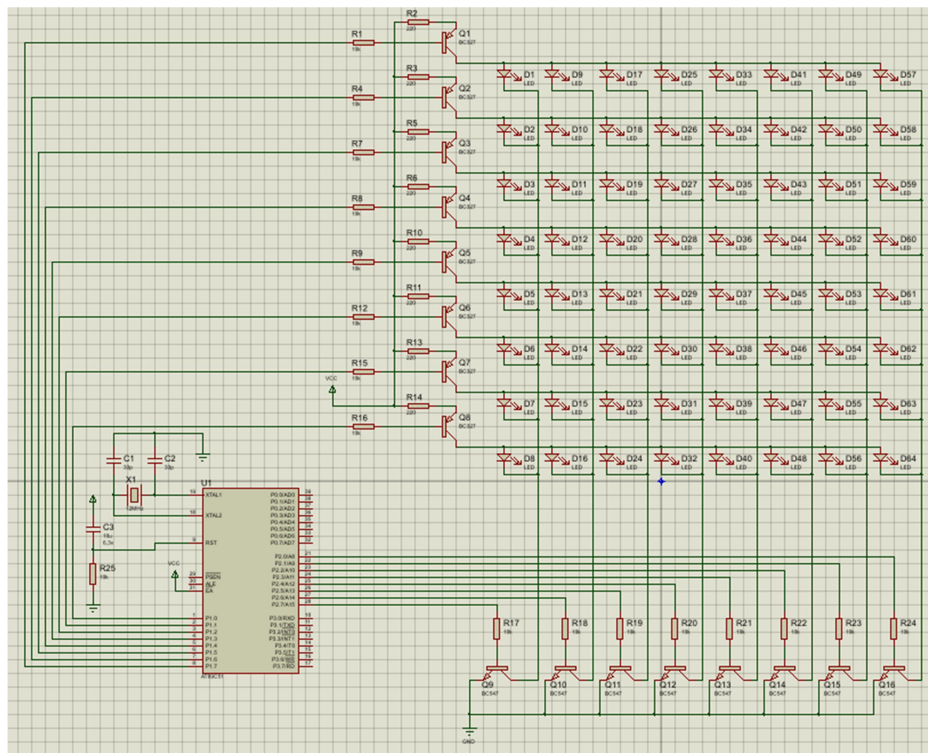


Рис. 2. Принципова електрична схема системи індикації на базі мікроконтролера AT89C51, змодельована в середовищі Proteus

Розроблена в Proteus схема (рис. 2) містить вузол мікроконтролера AT89C51 з кварцовим резонатором і ланцюгом початкового скидання. Блок керування старшими розрядами побудовано на восьми біполярних транзисторах BC327 структури p-n-p. Виводи порту P1 через базові резистори підключені до баз цих транзисторів. Емітери транзисторів через захисні резистори 220 Ом підключені до шин живлення, а колектори з'єднані з анодними лініями матриці. Відкритий транзистор підключає напругу живлення до анодних шин відповідного старшого розряду матриці світлодіодів.

Блок керування молодшими розрядами побудовано на восьми транзисторах BC547 структури n-p-n. Виводи порту P2 через базові резистори керують базами цих ключів. Емітери транзисторів заземлені, а колектори підключені до катодних шин молодших розрядів матриці світлодіодів. Активний рівень відкриває ключ молодшого розряду, замикаючи катоди світлодіодів на загальну шину.

Інформаційне поле шкали утворене 64 окремими напівпровідниковими світлодіодами від D1 до D64. Світлодіод на перетині вибраного старшого та молодшого розряду випромінює світло тільки за умови одночасного

відкривання відповідного транзистора BC327 старшого розряду та транзистора BC547 молодшого розряду. Швидке послідовне сканування старших розрядів матриці світлодіодів сприймається оком як суцільна і стабільна світлова лінія шкали без ознак мерехтіння. Застосування транзисторних ключів надійно захищає виводи мікроконтролера від перевантаження з урахуванням вольт-амперної характеристики світлодіодів.

### ВИСНОВКИ

У результаті дослідження та розробки створено програмно-апаратний засіб для формування дискретно-аналогового візуального подання цифрових даних на 64-елементному шкальному індикаторі, побудованому на матриці світлодіодів 8x8. Програмне рішення орієнтоване на мікроконтролери серії MCS-51 та реалізує динамічне восьмитактне сканування, завдяки якому візуальний образ формується як послідовність часових станів матриці.

Основу алгоритму становить перетворення вхідного цифрового значення у набір кодів керування, їх попередня підготовка у буфері PATTERN\_BUF та циклічне виведення через порти мікроконтролера. Використання окремого модуля початкового налаштування та обробника переривань дає змогу розмежувати підготовку апаратного середовища і постійну підтримку процесу індикації. Застосування альтернативного банку регістрів забезпечує ізоляцію робочих даних підсистеми індикації від основної програми, а лічильник інтервалу блокування R7 ефективно розвантажує процесор.

Схемотехнічна реалізація на базі біполярних транзисторів BC327 та BC547, промодельована в середовищі Proteus, забезпечує надійне струмове розвантаження ліній мікроконтролера та стійку роботу системи.

Запропонована апаратно-програмна платформа забезпечує функціонально завершений цикл перетворення: вхідний код, аналіз даних, формування буфера, багатотактне сканування, керування матрицею 8x8 та отримання дискретно-аналогового образу. Розроблене рішення може ефективно використано використовуватися як складова інформаційно-вимірювальних і вбудованих систем, а також у задачах інженерного та навчального призначення.

### ДЖЕРЕЛА

1. Bushma A. V., Turukalo A. V. Software controlling the LED bar graph displays. *Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics*. 2020. Vol. 23, N. 3. P. 329–335.
2. Бушма О. В., Турукало А. В. Багатоелементні шкальні індикаторні пристрої у вбудованих системах. *Кибербезпека: освіта, наука, техніка*. 2021. Т. 3, № 11. С. 43–60.
3. Bushma A. V., Turukalo A. V. Two-cycle information model in LED bar graph displays on microcontrollers. *Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics*. 2025. Vol. 28, N. 4. P. 493–501.
4. Бушма О. В., Турукало А. В. Оцінка параметрів програмної реалізації шкального відображення даних. *Кибербезпека: освіта, наука, техніка*. 2022. Т. 4, №16. С. 142–158.
5. Theoretical and practical aspects of the use of mathematical methods and information technology in education and science : monograph / V. Abramov, M. Astafieva, M. Boiko [et al.]. Kyiv : Borys Grinchenko Kyiv University, 2021. 248 p.