

БАГАТОРОЗРЯДНА ЦИФРОВА ІНДИКАЦІЯ У ВБУДОВАНИХ СИСТЕМАХ

Кушнір Олег Володимирович

студент групи ІАСм -1-24-1.4д,

Київського столичного університету імені Бориса Грінченка,

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

У сучасних вбудованих системах цифрова індикація відіграє ключову роль у взаємодії користувача з пристроєм. Саме через неї реалізується оперативне відображення результатів вимірювань, станів системи або процесів у реальному часі. Попри появу нових графічних дисплеїв, багаторозрядна цифрова індикація на базі семисегментних модулів залишається одним із найпоширеніших способів візуалізації даних завдяки простоті, енергоефективності та надійності.

Проблема реалізації багаторозрядної індикації полягає у поєднанні обмежених апаратних ресурсів із потребою відображення великої кількості символів. Зі зростанням кількості розрядів експоненційно зростає і кількість необхідних керуючих ліній, тому інженер має забезпечити мінімальне навантаження на мікроконтролер, не погіршуючи стабільність роботи. Оптимальним рішенням у таких випадках є динамічне мультиплексування, яке передбачає послідовне опитування кожного розряду з високою частотою оновлення. Це дозволяє керувати кількома цифрами за допомогою спільних ліній даних, знижуючи апаратну складність системи. Одним із найпоширеніших варіантів реалізації є використання драйвера MAX7219, який забезпечує керування вісьмома розрядами через SPI-інтерфейс. Завдяки підтримці каскадування до восьми мікросхем, цей контролер дозволяє створювати індикаторні панелі до 64 розрядів без додаткових апаратних витрат. MAX7219 має апаратну підтримку яскравості та динамічного оновлення, що робить його ефективним для промислових і лабораторних систем, де стабільність і чіткість відображення мають критичне значення [1].

У малопотужних системах, таких як Arduino Uno або ATtiny85, зазвичай застосовують зсувні регістри 74HC595. Вони дозволяють значно зменшити кількість виводів мікроконтролера за рахунок послідовного виведення бітів даних. Такий підхід забезпечує гнучкість і компактність схеми, однак вимагає оптимізації коду – особливо при роботі з великою кількістю символів. Для підвищення ефективності зазвичай використовують буферизацію в оперативній пам'яті або таблиці символів у Flash-пам'яті, що мінімізує затримки оновлення [2].

У сучасних мікроконтролерах, таких як ESP32, реалізацію динамічної індикації можна винести на апаратний рівень, використовуючи таймери, DMA або апаратні переривання. Завдяки підтримці RTOS і пріоритетів задач у середовищі ESP-IDF забезпечується безперервне оновлення дисплея незалежно від основних процесів. Це відкриває можливість створення інтелектуальних індикаторних систем з адаптивним регулюванням яскравості та енергоспоживання в режимі реального часу [3].

Вибір архітектури системи індикації має визначатися завданням проєкту. Для бюджетних або портативних рішень доцільно використовувати ТМ1637, що поєднує простоту підключення з підтримкою керування яскравістю. Для професійних пристроїв, де важлива надійність і масштабованість, оптимальним є застосування інтелектуальних драйверів – МАХ7219 або НТ16К33, які забезпечують апаратне мультиплексування, керування інтенсивністю світіння та зменшення навантаження на процесор [4].

Дослідження ефективності різних методів побудови багаторозрядної індикації показало, що поєднання апаратного мультиплексування з оптимізованим програмним керуванням дозволяє досягти найкращого балансу між продуктивністю, енергоефективністю та зручністю розробки. Такі рішення широко застосовуються у вимірювальних приладах, системах моніторингу та навчальних лабораторіях, де потрібна наочна подача інформації при мінімальних апаратних витратах [5-6].

ДЖЕРЕЛА

1. Мікросхема МАХ7219 драйвер світлодіодних індикаторів. Arduino.ua. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://arduino.ua/prod2745-mikroshema-max7219-draiver-svetodiodov>. - Дата звернення: 06.10.2025
2. Serial to Parallel Shifting-Out with a 74HC595. Arduino.cc. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/ShiftOut>. - Дата звернення: 08.10.2025
3. ESP32 таймери: Багатозадачність з апаратними таймерами. Geekmatic.in.ua. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://geekmatic.in.ua/ua/esp32-bagatozadachnist-z-tajmerami>. - Дата звернення: 09.10.2025
4. ТМ1637 драйвер світлодіодних індикаторів SOP20. Epstik.com.ua. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://epstik.com/ua/p2524721916-tm1637-drajver-svetodiodnyh.html>. – Дата звернення: 09.10.2025
5. Бушма О. В., Машкіна І. В., Носенко Т. І., & Яскевич, В. О. Кваліфікаційна робота магістра: Навчально-методичний посібник для спеціальності «Комп'ютерні науки», 2024.
6. Abramov, V., Astafieva, M., Boiko, M., Bodnenko, D., Bushma, A., Vember, V., Hlushak, O., Zhyltsov, O., Ilich, L., Kobets, N., Kovaliuk, T., Kuchakovska, H., Lytvyn, O., Lytvyn, P., Mashkina, I., Morze, N., Nosenko, T., Proshkin, V., Radchenko, S., & Yaskevych, V. (2021). Theoretical and practical aspects of the use of mathematical methods and information technology in education and science. <https://doi.org/10.28925/9720213284km>