

Розробка адресної оптичарі як ефективного рішення для масштабування систем керування

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2025.124>

Семенко Богдан-Роман

Національний університет водного господарства
та природокористування
м. Рівне, Україна
semenko_vg24@nuwm.edu.ua

Андрій Христюк

Національний університет водного господарства
та природокористування
м. Рівне, Україна
a.o.khrystyuk@nuwm.edu.ua

Олена Присяжнюк

Національний університет водного господарства
та природокористування
м. Рівне, Україна
o.v.prysiazhniuk@nuwm.edu.ua

Анотація — В роботі проведено аналіз існуючих методів масштабування систем керування на базі мікроконтролерів та виявлено їхні суттєві недоліки, зокрема високу вартість, складність розводки плат та дефіцит пінів GPIO. Запропоновано нове рішення — "Адресна Оптичарі" (патент України №160500), що поєднує в собі принцип роботи адресних світлодіодів та оптичну розв'язку. Розроблено та описано принципову будову компонента, який дозволяє керувати практично необмеженою кількістю виконавчих механізмів, використовуючи лише один цифровий пін контролера. На відміну від традиційних мультиплексорів, запропоноване рішення надає можливість не лише бінарної комутації, але й плавного аналогового керування навантаженням шляхом модуляції кольору випромінювача.

Ключові слова — оптичарі; адресний світлодіод; мультиплексор; ESP32; керування.

I. АКТУАЛЬНІСТЬ І ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Сучасні системи автоматизації, Інтернету речей (IoT) та "розумного будинку" вимагають одночасного керування дедалі більшою кількістю виконавчих пристроїв. Водночас, ключові елементи цих систем — мікроконтролери — мають фізичні обмеження. Навіть потужні плати, як-от Arduino Mega, хоч і пропонують до 70 пінів вводу/виводу, є громіздкими та дорогими. Більш сучасні та популярні рішення, як-от ESP32, мають значно меншу кількість вільних пінів (близько 25-27), що стає критичною проблемою при проєктуванні складних систем.

Традиційним рішенням цієї проблеми є використання мультиплексорів (наприклад, CD4067)

або розширювачів портів (shift registers). Однак цей підхід має суттєві недоліки: для керування 16 каналами мультиплексор вимагає 5-6 дефіцитних пінів контролера, а для 32 каналів — вже 8. Це значно ускладнює розводку друкованих плат, збільшує їхній розмір та кінцеву вартість виробу. Таким чином, існує гострий попит на нове, більш ефективне та гнучке рішення для масштабування систем керування..

II. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою є розробка та опис нового схемотехнічного рішення — адресної оптичарі, що дозволяє вирішити проблему дефіциту пінів мікроконтролерів. Для досягнення мети поставлено такі завдання: (1) провести порівняльний аналіз існуючих методів розширення кількості керованих каналів; (2) розробити принципову будову нового компонента на базі доступної елементної бази; (3) описати принцип роботи запропонованого пристрою та його ключові переваги; (4) продемонструвати унікальні можливості компонента, недоступні традиційним аналогам (зокрема, аналогове керування).

III. ВИРІШЕННЯ ПОСТАВЛЕНОЇ ЗАДАЧІ

Для вирішення поставленої задачі було розроблено та запатентовано (Патент України на корисну модель №160500) новий компонент — "Адресна Оптичарі". На відміну від стандартної оптичарі, де використовується простий світлодіод, запропоноване рішення базується на поєднанні двох ключових елементів: світлодіодний випромінювач з індивідуальною адресацією (наприклад, WS2812B

або аналог) та фотоприймач у вигляді фоторезистора.

Традиційна оптопара, як показано на (Рис. 1), складається зі світлодіода (LED) та фотоприймача (наприклад, фоторезистора). Її головним недоліком є необхідність виділення окремого піна контролера для керування кожним таким компонентом.

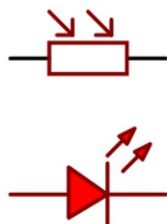


Рис. 1. Схематичне зображення компонентів стандартної оптопари (світлодіод та фоторезистор)

Запропоноване рішення (Рис. 2) модернізує цей підхід, замінюючи простий світлодіод на інтелектуальний адресний випромінювач (наприклад, WS2812B). Цей випромінювач має інтегровану логіку з виводами живлення (VDD, VSS), входом даних (DIN) та виходом даних (DOUT).

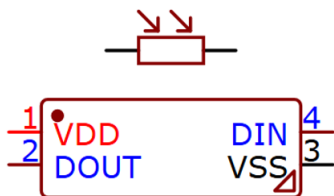


Рис. 2. Схематичне зображення запропонованої адресної оптопари

Обидва елементи розташовані в одному корпусі та оптично зв'язані (Рис. 3). Принцип роботи полягає в наступному: контролер (наприклад, ESP32) підключається до входу DIN першого компонента. Далі компоненти з'єднуються послідовно (DOUT одного до DIN наступного), утворюючи просту трипровідну шину (живлення, земля, дані). Це дозволяє, використовуючи лише один цифровий пін контролера, передати унікальну команду (що містить параметри кольору та яскравості) на будь-який із тисяч компонентів у ланцюгу.

Ключові переваги розробки: (1) радикальна економія пінів. Керування будь-якою кількістю пристроїв (16, 100 чи 1000) здійснюється лише одним піном; (2) спрощення розводки плати: замість "павутини" дротів від мультиплексора використовується проста послідовна шина; (3) аналогове керування: це унікальна перевага, оскільки фоторезистор має різну спектральну чутливість, а адресний світлодіод є RGB-пристроєм, з'являється можливість керувати опором на виході оптопари, надсилаючи різні кольорні коди. Це дозволяє плавно регулювати навантаження, а не лише вмикати/вимикати його, як це робить мультиплексор.

На (Рис. 3) та (Рис. 4) детально зображено принципову будову розробленої адресної оптопари. Компонент складається з наступних елементів: корпус (11), в якому розташовані: адресний

світлодіод WS2812b (3); фоторезистор (1), що розміщений над світлодіодом; область оптичного контакту (10), яка може містити світлофільтр для забезпечення ефективної оптичної взаємодії.

Для інтеграції в електричну плату пристрій має такі виводи: контакти живлення світлодіода: «+» (VCC) (4) та «-» (GND) (8). Контакти даних світлодіода: цифровий вхідний (DIN) (7) та цифровий вихідний (DOUT) (5) для послідовного з'єднання. Контакти фоторезистора (2, 6, 9): виводяться за корпус для зчитування аналогового сигналу (опору).

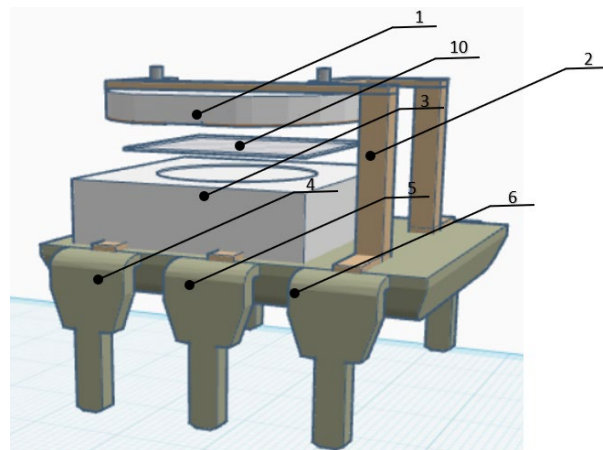


Рис. 3. Принципова будова адресної оптопари (вигляд 1)

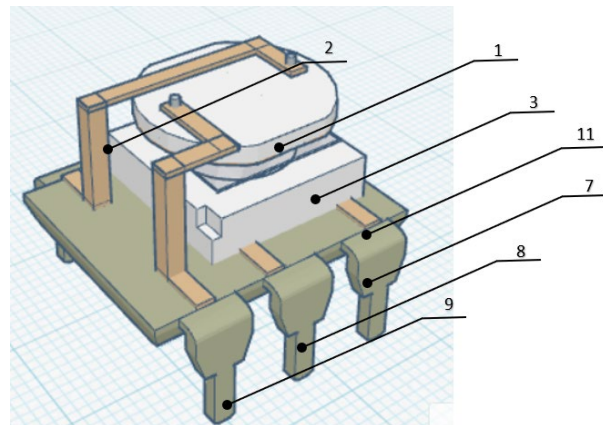


Рис. 4. Принципова будова адресної оптопари (вигляд 2)

Така будова дозволяє реалізувати принципово нову архітектуру системи, показану на (Рис. 5). Контролер підключається до DIN першого компонента. Далі компоненти з'єднуються послідовно (DOUT одного до DIN наступного), утворюючи просту трипровідну шину (Живлення, Земля, Дані).

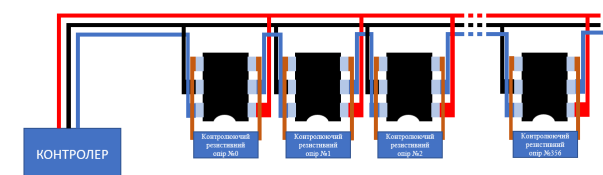


Рис. 5. Архітектура підключення адресних оптопар до контролера (масштабування)

Для підтвердження промислової придатності та практичної реалізації розробленої технології було спроектовано та виготовлено прототип кінцевого

пристрою — модуль керування "BRV ACS Lite". Цей пристрій є повноцінним апаратно-програмним комплексом.

Апаратна частина пристрою (Рис. 6) являє собою спеціально розроблену друковану плату на базі мікроконтролера ESP32. Плата містить всю необхідну схемотехнічну об'язку, роз'єми живлення (IN+, IN-), USB-порт для програмування та моніторингу, а також виходи для підключення виконавчих механізмів, які керуються через шину адресних оптопар.

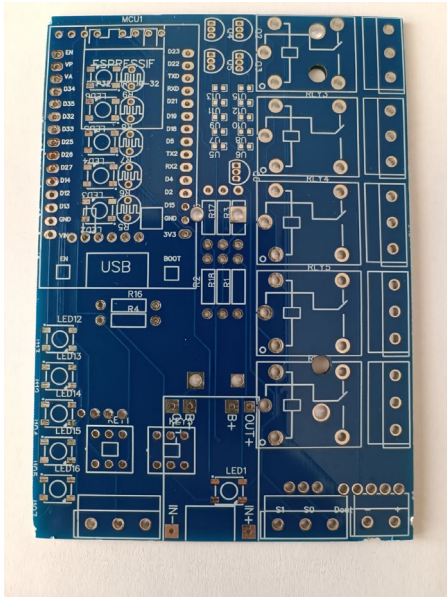


Рис. 6. Друкована плата прототипу "BRV ACS Lite" на базі ESP32

Цей пристрій є компактным модулем (наприклад, для керування 50 релейними каналами), який повною мірою використовує переваги описаної технології. Завдяки застосуванню адресних оптопар, весь модуль підключається до будь-якого керуючого мікроконтролера (наприклад, ESP32) через єдиний сигнальний пін, що радикально спрощує інтеграцію та масштабування систем автоматизації.

Програмна частина комплексу реалізована у вигляді повноцінного веб-інтерфейсу "BRV ACS Lite" (Рис. 7), що працює безпосередньо на мікроконтролері. Він надає користувачу повний доступ до моніторингу стану пристрою (заряд АКБ, поточна IP-адреса) та гнучкого налаштування системи. Це включає конфігурацію мережі Wi-Fi, індивідуальні параметри для кожного реле (наприклад, назва, принцип дії), а також створення складних логічних тригерів, що спрацьовують за часом, датою або іншими подіями.

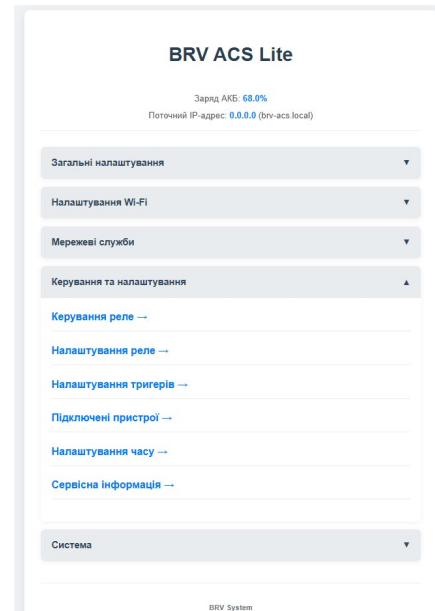


Рис. 7. Головний веб-інтерфейс керування пристроєм "BRV ACS Lite"

Ключовою особливістю системи, яка стала можливою завдяки застосуванню технології адресних оптопар, є можливість масового керування навантаженнями. Веб-інтерфейс дозволяє керувати десятками окремих реле, відображаючи їхній поточний стан (Рис. 8), при тому що сам модуль керує ними через єдиний сигнальний пін.

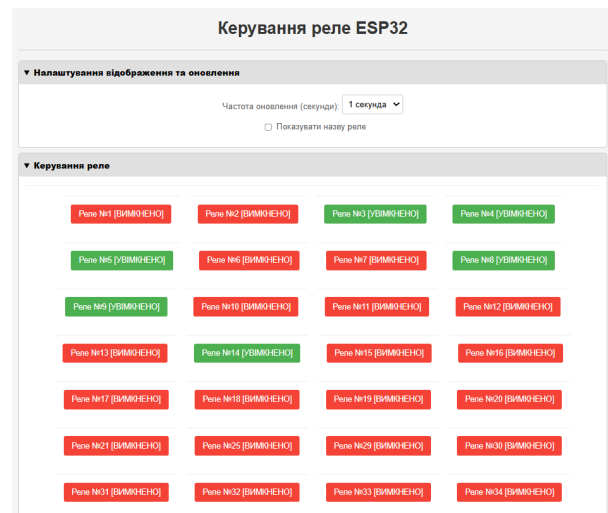


Рис. 8. Інтерфейс керування та моніторингу стану 34 реле

Окрім веб-інтерфейсу, система інтегрована з хмарними сервісами, зокрема з Telegram-ботом (Рис. 9). Це дозволяє не лише дистанційно керувати реле за допомогою текстових команд (наприклад, /toggle_1) та отримувати зворотний зв'язок про стан, але й отримувати миттєві сповіщення про спрацювання тригерів (наприклад, за показами температури). Це підтверджує високий рівень автоматизації та гнучкість розробленого рішення.

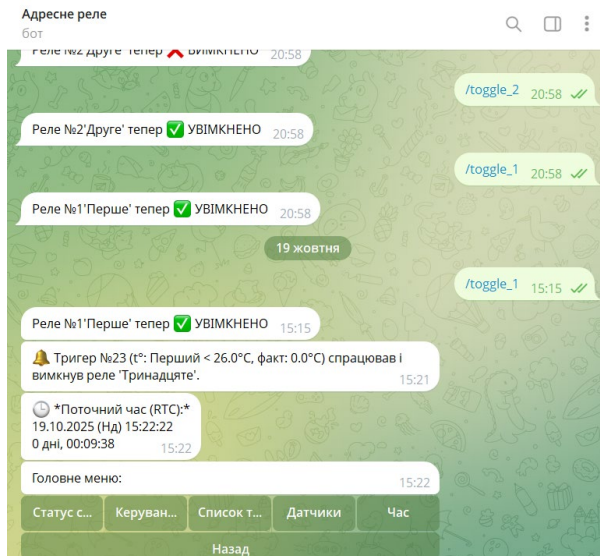


Рис. 9. Інтеграція пристрою з Telegram-ботом для керування та сповіщень

IV. ВИСНОВКИ

У ході роботи було розроблено, описано та запатентовано (Патент України №160500) інноваційний компонент — "Адресну Оптопару". Проведений аналіз довів, що дане рішення має значні технічні та економічні переваги над традиційними мультиплексорами, вирішуючи проблему дефіциту пінів мікроконтролерів та додаючи унікальну функцію аналогового керування шляхом модуляції кольору.

Для підтвердження практичної цінності та промислової придатності технології, на її основі було розроблено повноцінний апаратно-програмний комплекс — модуль керування "BRV ACS Lite". Це включало проектування та виготовлення кастомної друкованої плати, а також розробку гнучкого програмного забезпечення з багатофункціональним веб-інтерфейсом та інтеграцією з Telegram-ботом для дистанційного керування.

Таким чином, робота демонструє повний цикл розробки: від інноваційної схемотехнічної ідеї до готового, масштабованого та комерційно придатного продукту для сучасних систем автоматизації, Інтернету речей та "розумного будинку".

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Worldsemi. WS2812B Intelligent control LED integrated light source. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mouser.com/pdfDocs/WS2812BEN1-2.pdf>.
- [2] Texas Instruments. CD74HC4067 High-Speed CMOS Logic 16-Channel Analog Multiplexer. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd74hc4067.pdf>.
- [3] Maximizing Microcontroller GPIO Pin Utilization. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.allpcb.com/allelectrohub/maximizing-microcontroller-gpio-pin-utilization>.
- [4] Семенко Б.Р.В. Патент України на корисну модель № 160500. ОПТОПАРА. Зареєстровано 10.09.2025, Бюл. № 37.