

ПАСПОРТ

«Прилад зчитування-опрацювання показників лічильників»
(хаб)

Рівне-2025

ЗМІСТ

Технічні умови ТУ У

1. Структурно-функціональна схема пристрою
2. Принципова електрична схема пристрою
3. Схемотехнічна модель пристрою
4. Топологічна схема розміщення компонентів
5. Монтаж та схеми електричних з'єднань
6. Порядок роботи з пристроєм
7. Вимоги до техніки безпеки та безпечного поводження
8. ДОДАТКИ

Технічні умови (ТУ У 27.1–XXXXX–001:2025)

1. Призначення

Хаб призначений для централізованого збору та обробки даних з адаптерів, що зчитують сигнали з побутових або промислових лічильників (електроенергії, води, газу). Забезпечує прийом інформації за протоколом LoRa, індикацію стану та передачу зібраних даних на сервер або в локальну систему.

2. Основні технічні характеристики

Номінальна споживана сила струму, I_n , А	До 0.5 А
Максимальна споживана сила струму, $I_{\text{макс}}$, А	Не більше 2 А
Робоча напруга адаптера живлення, В	220 В
Діапазон робочої напруги адаптера живлення	0,8-1,15 U_n
Діапазон робочих температур	-10 ...+50°C
Споживана потужність, Вт	Не більше 10 Вт.
Основне живлення мікроконтролера	5V (через USB Type-C або DC-роз'єм)
Частота безпроводної комунікації	868 МГц
Потужність передавача	до 30 дБм (1 Вт)
Дальність зв'язку	до 5 км на відкритій місцевості
Клас точності елементів внутрішньосхемної обв'язки	20 %

3. Вимоги до виготовлення

- Монтаж компонентів на двосторонній друкованій платі відповідно до стандарту IPC-A-600 (не нижче класу 2).
- Застосування сертифікованих компонентів, дозволених для експлуатації в заданому температурному діапазоні.
- Наявність фільтрації живлення, захисту від перенапруг та перешкод.
- LED-індикатори та кнопка підключаються до GPIO з обмежувальними резисторами.

4. Випробування

- Функціональні тести (прийом LoRa, реакція на кнопку, робота LED).
- Випробування на живлення, температурну витримку, вологість (до 90 %).
- Електрична перевірка відповідності напруг живлення, струму споживання.

5. Маркування

На корпус наноситься:

- Найменування виробу
- Серійний номер

- Дата виготовлення
- Позначення роз'ємів

6. Пакування

- Індивідуальний антистатичний пакет
- Комплектація: пристрій, паспорт, інструкція
- Зовнішня тара — картонна коробка з амортизацією

7. Гарантії

- Гарантія — 12 міс.
- Термін служби — ≥ 5 років

8. Комплектація:

1. Концентратор
2. Антена
3. Блок живлення 5В, 2А
4. Кабель живлення USB – Type-C (1 м)
5. Інструкція
6. Упаковка

1. Структурно-функціональна схема пристрою

Пристрій збору даних від лічильників, побудований на базі мікроконтролерного модуля ESP32 та радіомодуля LoRa-зв'язку, призначений для автоматизованого зчитування та бездротової передачі даних зі споживчих облікових приладів (лічильників електроенергії, води, газу тощо).

Пристрій виконує функцію автономного вузла в системі телеметрії з підтримкою LoRa-зв'язку для роботи на великих відстанях. Основними функціональними блоками є джерело живлення, стабілізатор напруги, центральний обчислювальний модуль, вхідний інтерфейс для підключення лічильників, LoRa-модуль для передачі даних, а також конфігураційний інтерфейс через UART або USB.

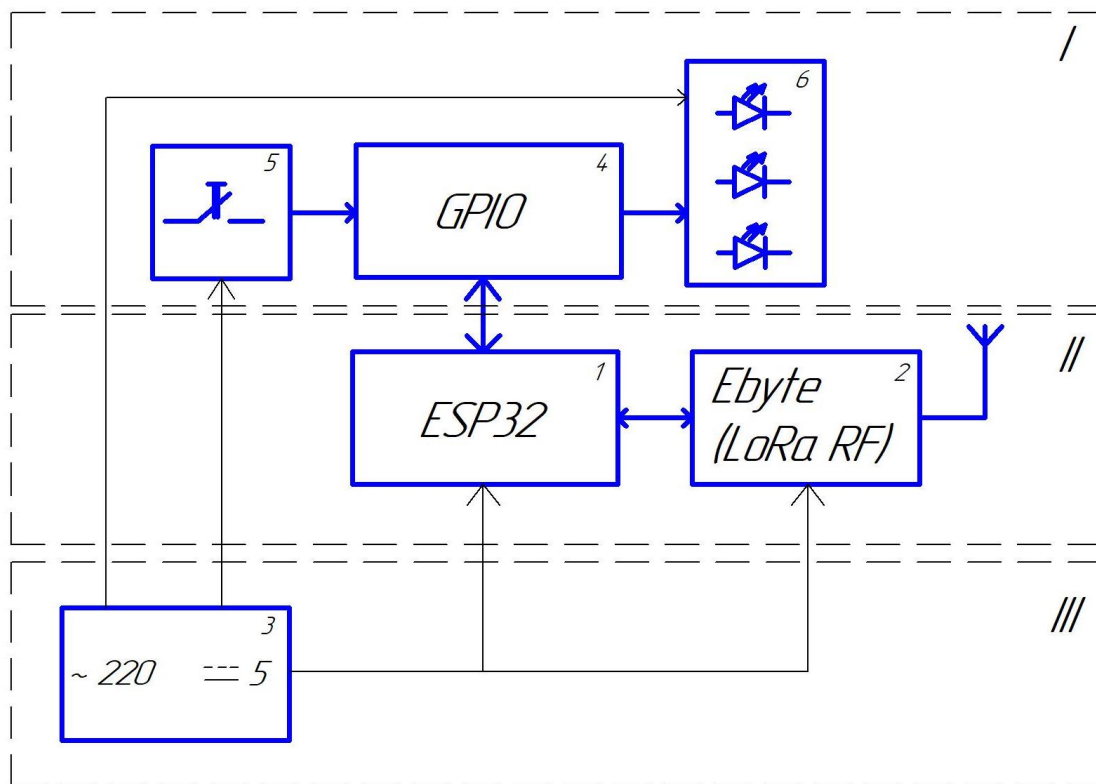


Рис. 1.1. Структурно-функціональна схема пристрою

- 1 – Керуючий мікроконтролер на базі ESP32
- 2 – Радіомодуль LoRa на базі LLCC68
- 3 – Блок живлення, 5 В, 2 А
- 4 – Вводи-виводи мікроконтролера
- 5 – Керуюча кнопка конфігурації
- 6 – Світлодіодні індикатори стану пристрою

Живлення пристрою здійснюється від стабільного джерела постійної напруги 5 В. Центральним обчислювальним елементом виступає ESP32 — високопродуктивний двоядерний мікроконтролер з підтримкою бездротових інтерфейсів Wi-Fi та Bluetooth, основна комунікація реалізується через зовнішній LoRa-модуль. Мікроконтролер здійснює обробку даних з лічильників, формує пакети даних згідно з внутрішнім протоколом і передає їх на радіомодуль.

Радіомодуль, що працює в діапазоні 868 МГц, реалізує фізичний рівень передачі даних з використанням LoRa-модуляції. Він забезпечує надійний зв'язок у середовищі з перешкодами на відстані до 3 км у прямій видимості та підтримує гнучке налаштування параметрів передачі (адресація, швидкість, потужність, канали).

Взаємодія з пристроєм для налаштування, діагностики та оновлення прошивки здійснюється через вбудований UART/USB-конфігуратор, що дозволяє проводити технічне обслуговування без демонтажу пристрою з інсталяційного місця.

Додатково може бути реалізована підтримка OTA-оновлень (для сервісних цілей).

Таблиця 1.1. Апаратні специфікації пристрою

Компонент	Характеристики
Модуль ESP32	2 ядра, 240 МГц, 520 КБ SRAM, 4 МБ Flash, Wi-Fi/Bluetooth, UART, GPIO
LoRa Ebyte	Потужність 30 дБм, дальність до 3 км, UART, модуляція LoRa, 868МГц
Живлення пристрою	5 В DC
Інтерфейси лічильників	GPIO для імпульсів, UART для цифрових протоколів (Modbus, IEC, DLMS)
Стабілізатор живлення	3.3 В LDO, струм до 800 мА, захисти від КЗ та перегріву
Конфігуратор	UART або USB-UART
Антенa	Зовнішня SMA 868 МГц, 2–5 dBi, 50 Ом

2. Принципова електрична схема пристрою

У процесі розробки пристрою збору даних (хабу) було виконано проектування принципової електричної схеми, яка є основою апаратної частини системи. До складу схеми входить модуль на базі мікроконтролера ESP32, що виконує функції керування, живлення, обробки даних та взаємодії з бездротовим модулем зв'язку. Для організації далекодійної передачі інформації передбачено LoRa-модуль Ebyte, який підключено до ESP32 із використанням додаткових ліній керування.

Для забезпечення живлення пристрою використано блок живлення напругою 5 В та максимальним струмом 2 А. Таке рішення забезпечує надійну роботу та забезпечує захист елементів системи. Принципова електрична схема відображена на Рис. 2.1.

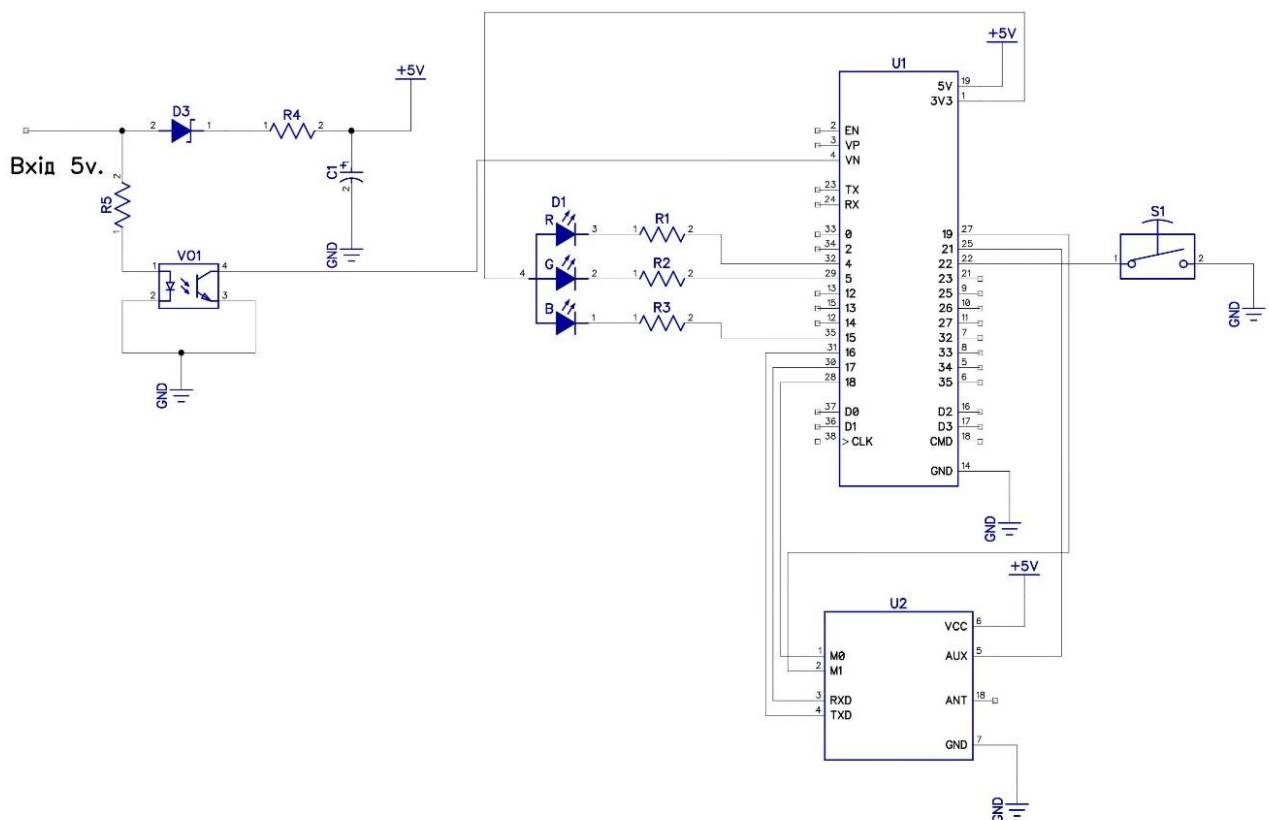


Рис. 2.1. Принципова електрична схема концентратора

Особливу увагу приділено елементам індикації та управління. У пристрій інтегровано три світлодіоди, у форматі RGB-індикатора, які відображають стан живлення, передачу даних і помилки або режим очікування, що значно полегшує технічне обслуговування та моніторинг у польових умовах, або в умовах недостатньої інформації. Для взаємодії користувача з пристроєм передбачено одну контактну кнопку, яка дозволяє активувати режим передачі,

виконати скидання або переключити конфігурацію. Контактна кнопка є комплексним компонентом разом із RGB-індикатором.

Загалом, спроектована електрична схема забезпечує гнучкість, енергоефективність, високу функціональність та можливість масштабування, що робить пристрій придатним для інтеграції в системи "розумного" обліку води, газу чи електроенергії. Таке проектування дозволяє швидко перейти до стадії виготовлення друкованої плати та подальшого моделювання роботи системи.

3. Схемотехнічна модель пристрою

У процесі розробки пристрою, було спроектовано схемотехнічну модель (імітаційну модель), яка значною мірою вплинула на якість, надійність та масштабованість кінцевого виробу. Застосування моделювання дозволяє на ранньому етапі проектування імітувати функціонування електричної схеми, що суттєво знижує ймовірність критичних помилок перед виготовленням фізичної плати. Зокрема, перевіряється коректність підключення живлення та сигналів управління, відповідність логіки роботи цифрових входів/виходів, правильність конфігурації UART-інтерфейсів, а також логіка перемикання режимів роботи LoRa-модуля. Імітаційне середовище дає змогу здійснювати аналіз перехідних процесів, що особливо важливо для вузлів живлення, ліній зв'язку, та трактів живлення.

Схемотехнічна модель хаба у бездротовій системі збору даних на основі ESP32 та LoRa-модуля Ebyte виконує функції центрального вузла обробки та маршрутизації даних, отриманих з адаптерів, підключених до лічильників. У складі моделі передбачено мікроконтролер ESP32, що виконує логіку взаємодії з периферією, модуль LoRa для бездротової комунікації, три світлодіоди для візуальної індикації стану (живлення, активність, помилка) та одну кнопку для ручного керування або ініціалізації подій.

Готова модель, що додається до супровідної документації, відображена на Рис. 3.1.

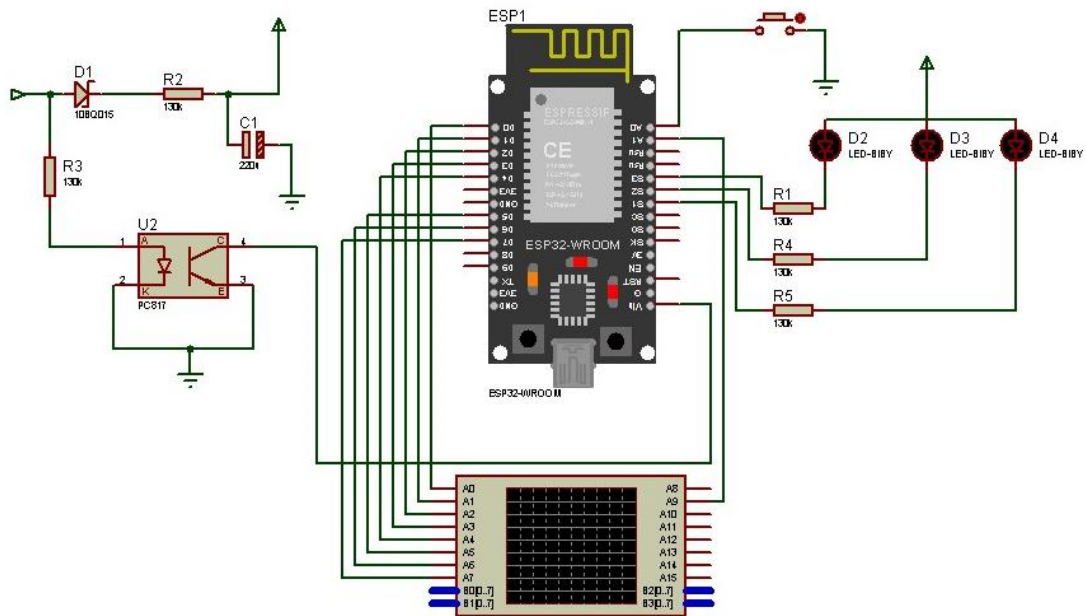


Рис. 3.1. Схемотехнічна модель пристрою

Усі ключові компоненти пов'язані через оптимізовану схему електричних з'єднань: LoRa-модуль підключено до ESP32, індикація реалізована через окремі цифрові виходи з токообмежувальними резисторами. Контактна кнопка підключена з pull-up резистором до відповідного GPIO та обробляється програмно з антидребіжковою затримкою. Живлення хаба здійснюється від джерела 5 В з понижувальним стабілізатором 3.3 В, що живить інші елементи системи.

Передбачено просту модульність, що дає змогу легко замінювати або оновлювати вузли без змін у структурі всієї плати. Архітектура хаба розрахована на ефективну роботу в умовах енергообмеженого середовища, з урахуванням переходу до сплячих режимів, мінімізації електромагнітних завад та підвищеної надійності зв'язку.

Крім того, моделювання дозволяє аналізувати вплив завад, шумів та пульсацій на роботу системи, зокрема у вузлах RF-зв'язку, UART-передачі та живлення. Це сприяло оптимізації топології друкованої плати, описаної у розділі 4.

У процесі відлагодження з'явилась можливість емулювати зовнішні сигнали (наприклад, логічні зміни на виводах), що суттєво полегшує розробку прошивки і тестування програмно-апаратної взаємодії. Моделювання дозволяє передбачити етапи масштабування та модернізації — додаючи нові функціональні блоки, сенсори, інтерфейси чи змінюючи параметри живлення.

Таблиця 3.1. Модулі пристрою, придатні до моделювання

Модуль	Можливість моделювання
ESP32 модуль	Програмна емуляція логіки GPIO, UART, енергозбереження
LoRa-модуль Ebyte	Моделювання UART-обміну, часові затримки
Інтерфейс живлення	Аналіз стабілізації, фільтрації, просідань при імпульсах
GPIO-входи\виходи	Моделювання імпульсів з різною частотою та формою сигналу
USB-UART перетворювач	Емуляція програмного оновлення, прошивки, відлагодження
Антенa (RF тракт)	Електромагнітне моделювання, узгодження імпедансу

Системний підхід до побудови схемотехніки забезпечує не лише надійність у роботі, а й гнучкість у модернізації: у майбутньому можливе додавання нових інтерфейсів, розширення логіки взаємодії з сервером, підтримка зворотного зв'язку тощо. Таким чином, схемотехнічна модель хаба виконує ключову функцію централізованого вузла збору та управління у масштабованій архітектурі збору показів з облікових приладів.

4. Топологічна схема розміщення компонентів

У межах розробки пристрою збору телеметричних даних на базі мікроконтролера ESP32 та бездротового модуля Ebyte було спроектовано друковану плату (PCB), що забезпечує компактне, енергоефективне та електромагнітно-сумісне апаратне рішення. Вибрано двошарову плату розміром орієнтовно 60×40 мм на основі FR4 з товщиною 1.6 мм, з можливістю масштабування до чотиришарової конфігурації за потреби. Розміщення елементів виконано з урахуванням функціонального зонування, мінімізації завад, терморегуляції та оптимізації трасування.

Мікроконтролер розміщено в центральній частині плати, із виведеними GPIO-лініями до периферії. Під модулем реалізовано тепловий контакт із землею (GND-область), що дозволяє ефективно відводити тепло. Ключові сигнальні виводи (EN, IO0, UART) спроектовані таким чином, щоб забезпечити прямий доступ до них через конектори або кнопки. LoRa-модуль E220 розташовано на краю плати, максимально близько до RF-конектора (типу SMA або IPEX), з мікросмужковою лінією, узгодженою на 50 Ом, для стабільного радіочастотного з'єднання. Лінії керування (M0, M1, AUX) підключені до ESP32 через короткі сигнальні траси із фільтрувальними елементами.

Блок живлення включає в себе джерело 5 В (через micro-USB або клему), стабілізатор типу LDO для зниження напруги до 3.3 В, а також необхідні захисні. Живильні шини трасовано широкими доріжками, із суцільною GND-областю на обох шарах, що одночасно служить як захисний екран та тепловідвід.

Індикатор живлення та активності передбачені на фронтальній панелі у вигляді світлодіодів. Колодка живлення (роз'єм usb type-c) розміщена так, щоб забезпечити короткий шлях живлення до основних елементів та зменшити втрати на трасах. Також враховано можливість заміни джерела живлення без повного демонтажу пристрою.

Окремо варто відзначити використання зібраної відлагодженої плати на базі ESP32. Трасування виконано з дотриманням принципів оптимізації довжин сигнальних шляхів, розділення цифрових і аналогових зон, уникнення петель живлення та перехресних перешкод.

Траси UART і LoRa ізолювано від високочастотних ліній і живлення. Для мікросмужкової RF-лінії використано обчислення ширини доріжки відповідно до 50-омного узгодження, з контролем довжини та вигинів траси.

Трасування плати відображено на Рис. 4.1.

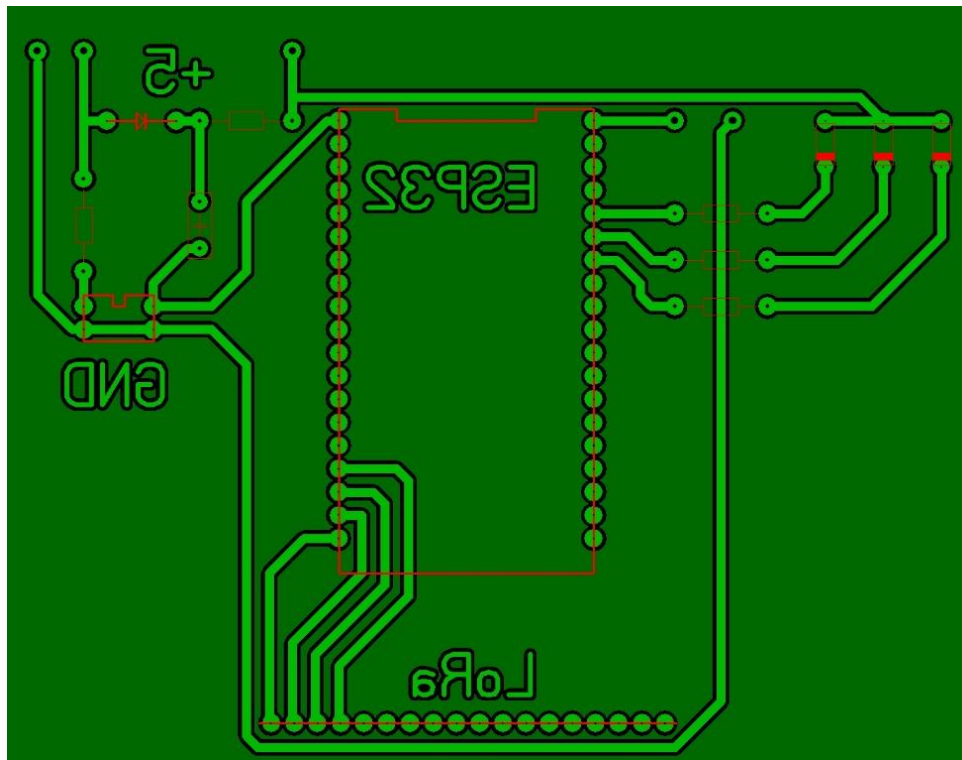


Рис. 4.1 Трасування монтажної плати

Усі компоненти підібрано з урахуванням можливості ручного та автоматизованого монтажу. Застосовано стандарт SMD-формату 0805, а для силових компонентів — SOIC або SOT-23. Критично важливі сигнали винесені на тестові точки. Створена плата є готовою до інтеграції в корпус, передбачено монтажні отвори, а також опціональні кріплення для антени або зовнішніх сенсорів. Пристрій оптимізований для промислового використання з мінімальною потребою в обслуговуванні та високою надійністю передачі даних.

5. Монтаж та схеми електричних з'єднань

У системі реалізовано бездротовий принцип збору даних з приладів обліку (лічильників) на базі мікроконтролера та радіомодуля, що працюють у складі адаптерів та центрального хаба. Монтажна схема передбачає фізичне та електричне встановлення двох ключових типів пристроїв: адаптерів збору даних, які монтуються безпосередньо біля лічильників, та центрального хаба, що слугує вузлом прийому, обробки й передачі даних до подальших систем або інтерфейсів.

Монтаж адаптерів виконується у місцях, максимально наближених до облікових приладів. Кожен адаптер має компактний корпус (із ступенем захисту не нижче IP54), що містить електронну плату з ESP32, LoRa-модулем, схемою живлення, а також входами для зчитування імпульсів з лічильника. Передбачено використання оптоізоляції для забезпечення електробезпеки та зменшення впливу перешкод. Монтаж передбачає надійне кріплення корпусу на технічній поверхні (стіні, щитку, рейці), виведення антени для стабільного радіозв'язку та акуратне підключення сигналів від лічильника до входних клем або роз'ємів.

Центральний хаб встановлюється в зручному для обслуговування місці — з можливістю візуального контролю стану через 3 світлодіоди індикації (живлення, активність, помилка) та одну кнопку керування. Живлення хаба здійснюється через USB-конектор type-c з використанням адаптера живлення. Усі сигнальні з'єднання виконуються згідно з принциповою електричною схемою, показаною в П.2.

У процесі монтажу дотримуються наступні технічні вимоги:

1. Використання провідників з відповідним перерізом (не менше 0.25 мм² для живлення).
2. Розділення сигнальних та силових ліній для зменшення наводок.
3. Гальванічна розв'язка між лічильником та мікроконтролером.
4. Спільна «земля» у межах одного пристрою.
5. Надійна фіксація дротів, антен, роз'ємів та захист від механічного пошкодження.

Особлива увага приділяється безпечному підключенню до лічильників, що може включати роботу з мережевими елементами. Для цього використовуються оптопари, захисні діоди, а також дотримуються правил монтажу слабкострумівих систем.

Перевагою обраної схеми є її модульність і масштабованість: кожен адаптер працює автономно, передаючи дані на центральний хаб без необхідності прокладки проводів між усіма точками збору. Це дозволяє встановлювати систему в існуючих будівлях з мінімальним втручанням у інфраструктуру.

Монтажну схему із функціональними можливостями хабу показано на Рис. 5.1.

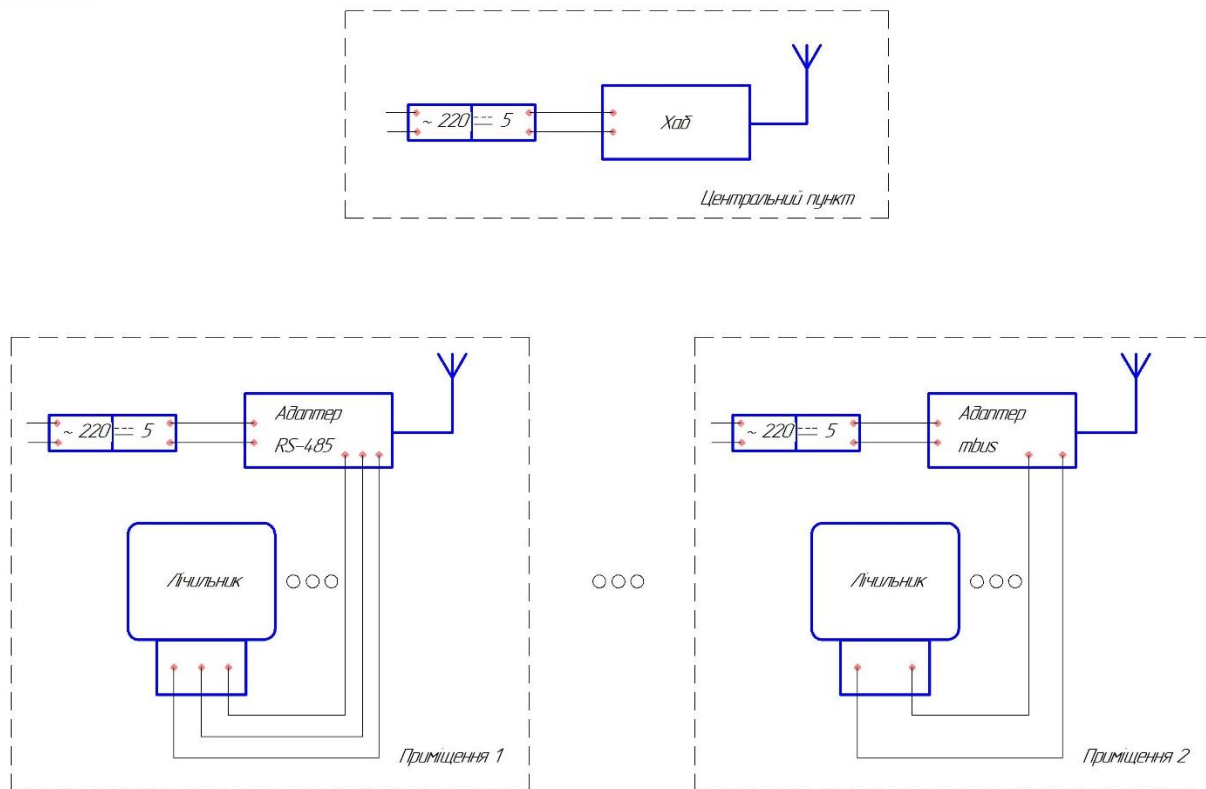


Рис. 5.1. Схема монтажу та підключення пристроїв в систему

Монтажна схема враховує також аспекти подальшого обслуговування — зокрема, можливість оновлення прошивки, доступ до кнопки керування, зручність діагностики за допомогою LED-індикації.

Таким чином, дана система та її монтажна реалізація відповідає сучасним вимогам до надійності, енергоефективності та безпеки бездротових технологій збору даних в умовах житлових і комерційних об'єктів.

6. Порядок роботи з пристроєм

Вимоги

- Концентратор повинен бути розташований на відстані не більше 10 метрів від Wi-Fi роутера для забезпечення стабільного з'єднання.
- Важливо: Підключайте живлення **ТІЛЬКИ** після встановлення антени!

Підключення концентратора

1. Встановіть антену:
 - Приєднайте антену до відповідного роз'єму на концентраторі.
2. Підключіть до мережі:
 - Вставте блок живлення в розетку 220 В.
3. Підключіть кабель живлення:
 - Вставте один кінець кабелю USB – Type-C у роз'єм Type-C на концентраторі.
 - Інший кінець кабелю (USB) вставте в роз'єм USB на блоці живлення.
4. Після підключення, концентратор автоматично перейде в режим налаштування, про що свідчитиме блимання кнопки білим кольором.

Налаштування концентратора

1. *Доєднайтесь до Wi-Fi мережі концентратора:*
 - На вашому пристрої (смартфон, планшет або комп'ютер) відкрийте список доступних Wi-Fi мереж.
 - Знайдіть мережу концентратора (назва мережі вказана на корпусі пристрою або в документації) та підключіться до мережі. Пароль (якщо потрібен) також вказаний у документації.
2. *Перейдіть на сторінку налаштування:*
 - 2.1. Відкрийте браузер і введіть у рядок адреси: <http://192.168.0.1>. На сторінці ви побачите:
 - Список підключених адаптерів (пристроїв для зчитування показників).
 - Можливість додати новий адаптер.
 - Налаштування Wi-Fi мережі для концентратора.
3. *Налаштування Wi-Fi мережі:*

У відповідному розділі введіть параметри вашої Wi-Fi мережі:

 - SSID: Назва вашої Wi-Fi мережі.

- Тип шифрування: Виберіть тип шифрування (наприклад, WPA2, WPA3 тощо).
- Пароль: Введіть пароль вашої Wi-Fi мережі.
- Тип підключення: Зазвичай DHCP (автоматичне отримання IP-адреси), або статичний IP, якщо потрібно.

4. Збережіть налаштування:

- Після введення всіх параметрів і підключення адаптерів натисніть кнопку Зберегти на сторінці налаштування.
- Дочекайтесь, поки концентратор підключиться до мережі.
- Після успішного підключення до сервера кнопка на концентраторі засвітиться зеленим кольором, що вказує на встановлене з'єднання з сервером.
- Якщо кнопка світиться червоним кольором, це означає, що є помилка: відсутнє з'єднання з Інтернетом. У цьому випадку перевірте налаштування Wi-Fi, підключення до роутера або зверніться до технічної підтримки.

Підключення адаптера до концентратора

1. Переконайтеся, що концентратор перебуває в режимі налаштування (індикатор блимає білим кольором).
2. Увімкніть адаптер (див. розділ "Інструкція з використання адаптера").
3. На сторінці налаштування концентратора (192.168.0.1) у списку з'явиться новий адаптер.
4. Виберіть адаптер зі списку та натисніть кнопку Підключити (або аналогічну, залежно від інтерфейсу).
5. Дочекайтесь підтвердження про успішне підключення адаптера.

Перевірка підключених адаптерів

1. На сторінці 192.168.0.1 перевірте список підключених адаптерів.
2. Переконайтеся, що всі адаптери відображаються та працюють коректно.
3. Якщо адаптер не з'явився, повторіть процедуру підключення або перевірте, чи увімкнений адаптер.

Завершення налаштування

1. Після підключення адаптерів та налаштування Wi-Fi збережіть усі зміни на сторінці.
2. Концентратор вийде з режиму налаштування, і індикатор перестане блимати білим кольором.
3. Пристрій готовий до роботи та зчитування даних із підключених адаптерів.

7. Вимоги до техніки безпеки та безпечного поводження

Під час монтажу, налагодження та експлуатації пристрою необхідно суворо дотримуватись вимог техніки безпеки, які забезпечують захист персоналу, цілісність обладнання та уникнення аварійних ситуацій.

7.1. Електробезпека

1. Забороняється підключення пристрою до джерел живлення без попередньої перевірки схеми на наявність коротких замикань.
2. Перед подачею живлення необхідно впевнитися в коректності полярності живлення, особливо при підключенні зовнішніх адаптерів.
3. Усі роботи, пов'язані з монтажем або ремонтом, повинні виконуватися при відключеному живленні.

7.2. Захист від електростатичного розряду

1. При роботі з мікроконтролерами, чипами пам'яті, LoRa-модулями та іншими чутливими компонентами необхідно використовувати антистатичні браслети або заземлені килимки.
2. Забороняється торкатись відкритих виводів мікросхем голими руками без попередньої розрядки статичного потенціалу.

7.3. Пожежна безпека

1. Під час ремонту чи модернізації використовувати виключно справне паяльне обладнання з терморегуляцією.
2. Усі роботи з легкозаймистими матеріалами (наприклад, очищувачами флюсу, спиртом) повинні виконуватись у добре провітрюваному приміщенні, подалі від джерел відкритого вогню.

7.4. Температурна та механічна безпека

1. Під час експлуатації модулів не допускається їх перегрів: температура корпусу мікросхем не повинна перевищувати рекомендованих значень (для ESP32 — до 85 °C).
2. Плата не повинна зазнавати згинання, перекручування або ударів — це може призвести до мікротріщин і відшарування шарів друкованої плати.
3. Робота з антенами та клемами повинна проводитися з використанням ізольованих інструментів.

7.5. Радіочастотна безпека

1. Забороняється експлуатація LoRa-модуля без підключеної антени — це може спричинити пошкодження вихідного каскаду передавача.
2. Під час випробувань пристрою з увімкненим передавачем необхідно дотримуватися правил використання радіочастотного спектру.

3. Заборонено використовувати потужні LoRa-передавачі в безпосередній близькості до інших чутливих електронних приладів (особливо медичних).

7.6. Організаційна безпека

1. Роботи з монтажу, налаштування, ремонту та модернізації мають виконуватися тільки під керівництвом або за участі осіб, які мають відповідну кваліфікацію.
2. Робоче місце повинно бути чистим, організованим, без зайвих предметів, з відповідним освітленням та вентиляцією.
3. Після завершення робіт необхідно знеструмити всі пристрої, прибрати інструменти, очистити поверхні від флюсу та залишків дротів.

Дотримання вищезазначених вимог дозволяє гарантувати не лише безпечну експлуатацію пристрою, але й підвищити загальний рівень надійності, зменшити ризик аварійних ситуацій, забезпечити довготривалу роботу електронних компонентів у складних умовах експлуатації.

ДОДАТКИ

Додаток А Модуль на базі ESP32

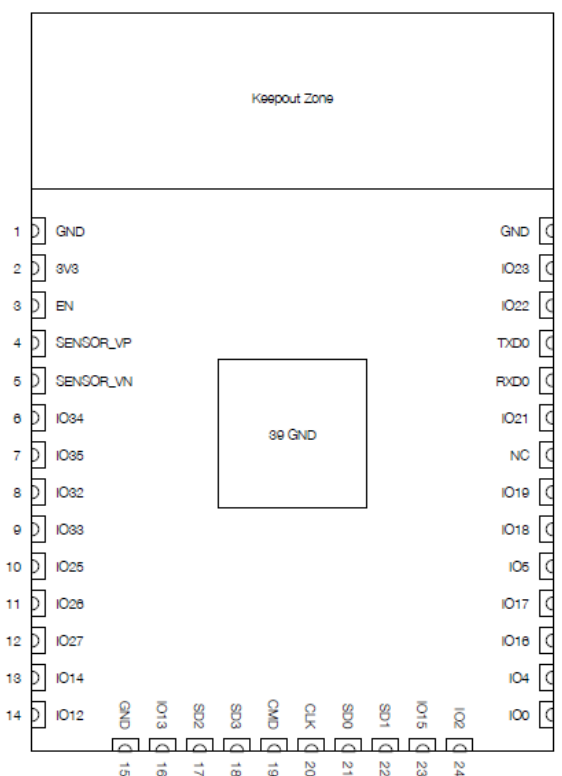


Рис. А1 Контактні ділянки мікроконтролера ESP32

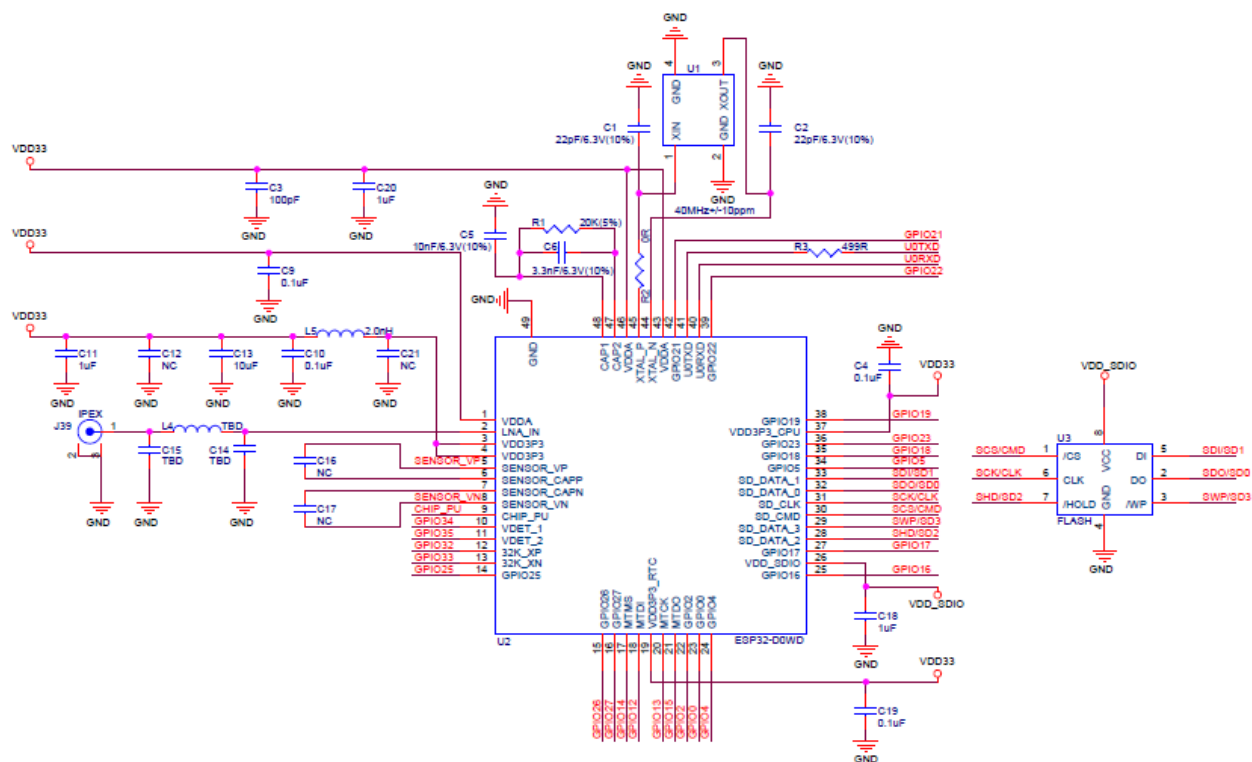


Рис. А2 Принципова електрична схема елементів схемотехнічної обв'язки мікроконтролера ESP32

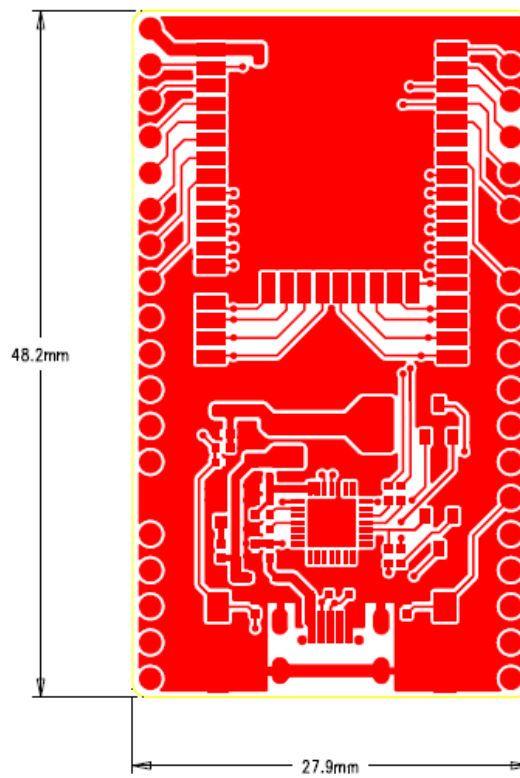


Рис. А3 Топологічна схема плати модуля на базі мікроконтролера ESP32 (сторона А)

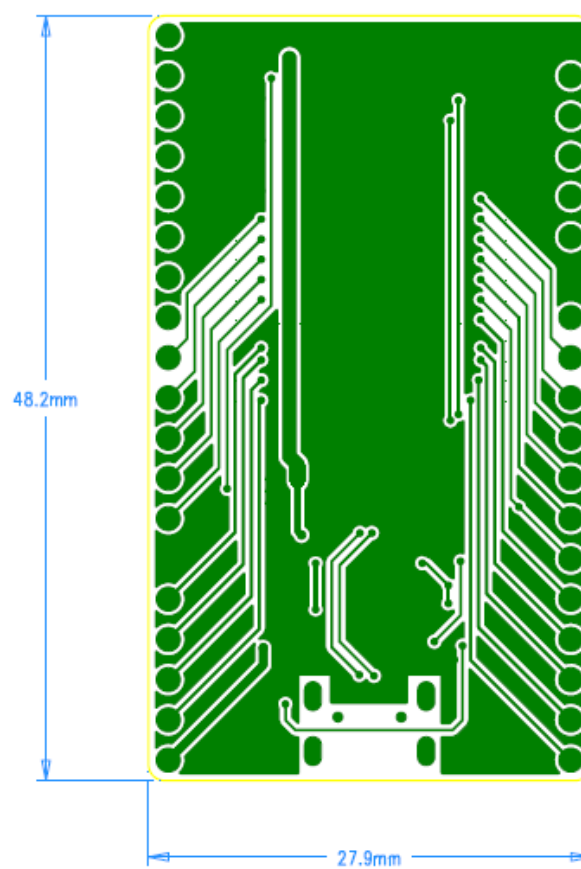


Рис. А4 Топологічна схема плати модуля на базі мікроконтролера ESP32 (сторона Б)

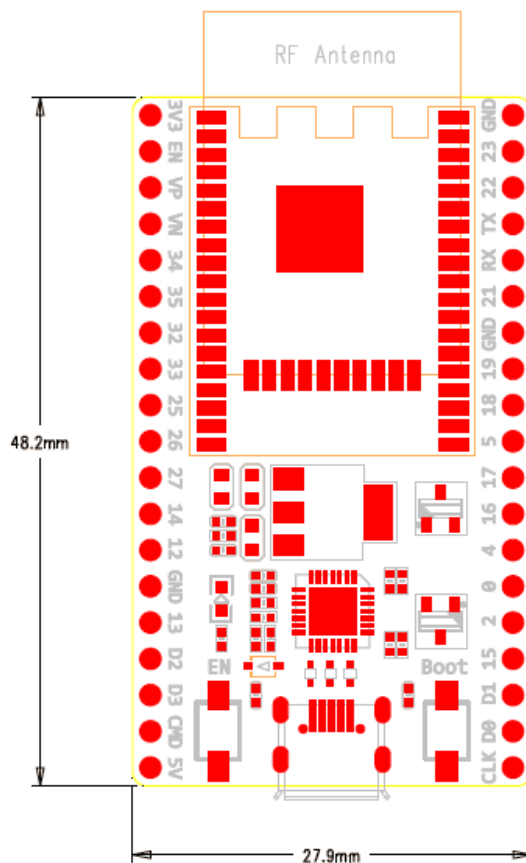


Рис. А5 Схема розташування елементів на платі модуля на базі мікроконтролера ESP32 (сторона А)

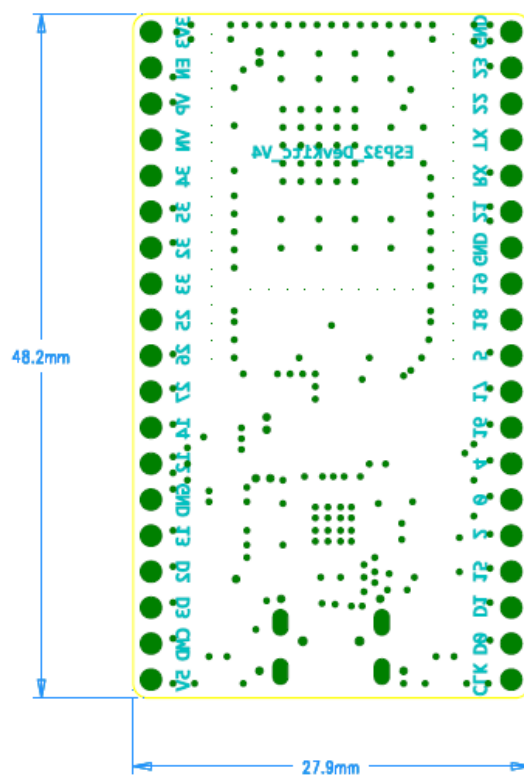


Рис. А6 Схема розташування елементів на платі модуля на базі мікроконтролера ESP32 (сторона Б)

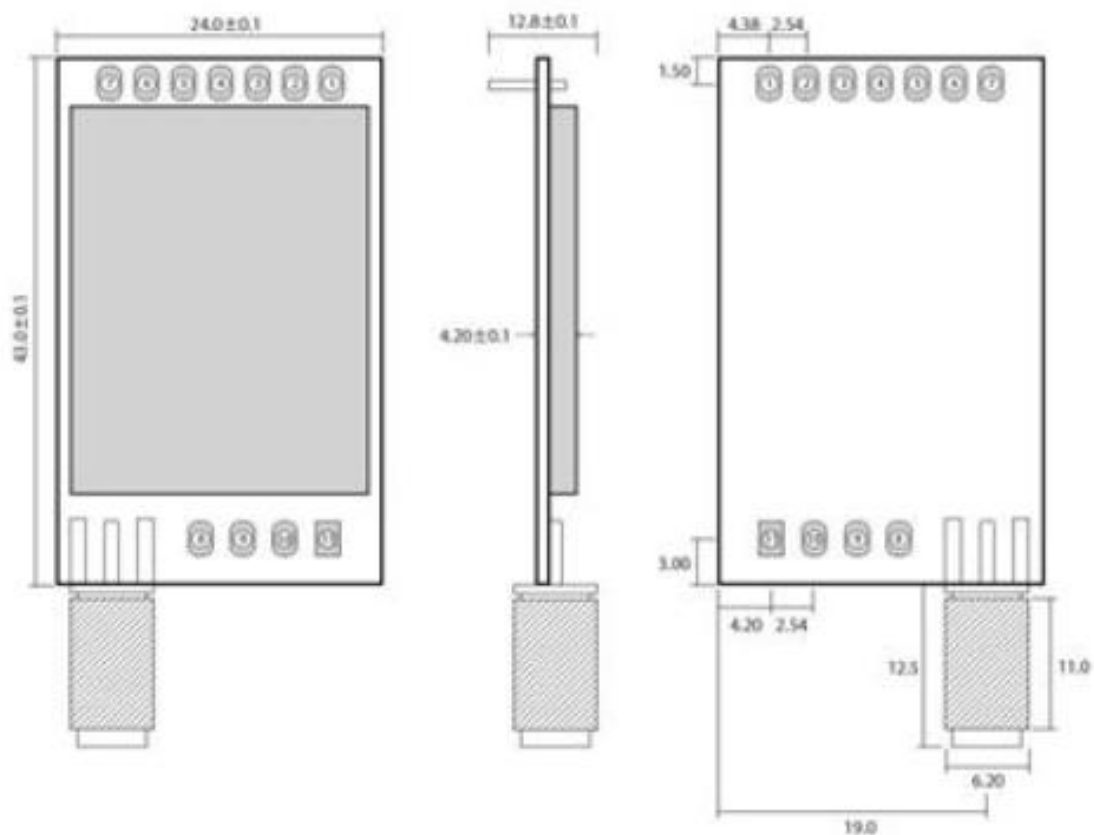


Рис. Б1 Загальний вигляд радіомодуля на базі LLCC68

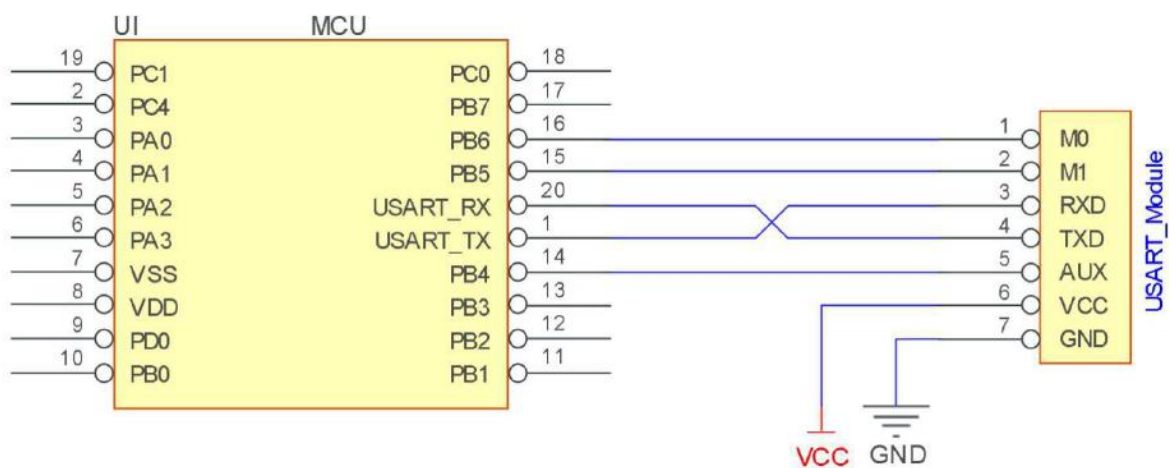


Рис. Б2 Електрична схема підключення радіомодуля на базі LLCC68