

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Інститут, Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра, Кафедра автоматики
(повна назва кафедри)

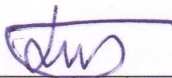
Освітній ступінь, бакалавр

Галузь знань, 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність, 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітня програма, «Електромеханіка та електротехнології»

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри


(підпис)

І. С. Білюк

« 15 » червня 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності, 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва спеціальності)

освітня програма, Електротехніка та електротехнології
(назва освітньої програми)

на тему: Автоматизація відкривання ролетних воріт

Виконав: студент IV курсу, групи 4311

Чубчик Станіслав Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

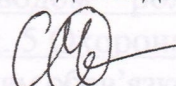
Керівник, асист. каф. автоматики, к.т.н, Іванов А.В.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Нормоконтроль, доц. каф. автоматики, Савченко О.В.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Рецензент, доц. каф. СЕЕС, к.т.н., доц., Новогорецький С.М.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Засвідчую, що у цій кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент


(підпис)

м. Миколаїв – 2026 р.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Інститут, факультет Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
Кафедра автоматики
Освітній ступінь бакалавр
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
(шифр і назва)
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва)
Освітня програма «Електромеханіка та електроенергетика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, к.т.н. доцент

Васильєв О. Г.

« 16 » лютого 2026 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ

гр.4311

Чубчик Станіслав Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Автоматизація відкривання ролетних воріт»

керівник роботи Іванов Антон Віталійович, кандидат технічних наук, асистент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від « 22 » квітня 2026 року
№ 286-УЧ

2. Строк подання студентом роботи 10 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: керований об'єкт — масивні ролетні ворота; тип електроприводу — внутрішньовальний асинхронний електродвигун змінного струму; джерело живлення — мережа 230 В змінного струму; живлення контуру керування та датчиків — 24 В та 5 В постійного струму; метод керування — ручний (кнопковий пост) та автоматизований (за допомогою радарів руху та інфрачервоних фотоелементів); контролер — ESP32 або інший мікроконтролер;

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Аналіз сучасних систем керування ролетними воротами. 2 Проектування системи керування електроприводом ролетних воріт. 3 Програмна реалізація та алгоритми роботи системи. 5 Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових графіків)

1 Аналіз типів систем керування ролетами. 2 Механічна характеристика привода Somfy LT 60. 3 Принципова електрична схема системи керування ролетою. 4 Блок-схеми алгоритмів ініціалізації, підняття та опускання ролети. 5

Часові діаграми (осцилограми) базових режимів роботи електропривода та переривання контурами безпеки.

6. Консультанти розділів роботи

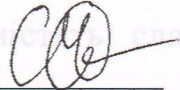
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання вида	завдання прийняв
Охорона праці	Іванов А. В., к.т.н., асистент кафедри	25.05.26	01.06.26

7. Дата видачі завдання 16 лютого 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз сучасних систем керування жалюзі	06.02.26	
2	Проектування системи керування електроприводом жалюзі	02.03.26	
3	Програмна реалізація та алгоритм роботи системи керування	07.05.26	
4	Охорона праці	01.06.26	

Студент


(підпис)

Чубчик С. С.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Іванов А. В.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Ключові слова: ролетні ворота, ESP32, автоматизація, система керування, електропривод, контур безпеки, інфрачервоний датчик.

Об'єм пояснювальної записки складає 66 аркушів, вона містить 4 розділи, 22 ілюстрації, 3 таблиці, 20 найменувань у списку використаної літератури та 7 аркушів мультимедійної презентації.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці автоматизованої системи керування ролетними воротами. Розроблена система базується на двоядерній мікроконтролерній платформі ESP32 та забезпечує як ручне управління, так і автоматичну реакцію на перешкоди. В роботі подано характеристику основних компонентів системи, таких як інфрачервоний радар Optex OA-72C, фотоелектричний бар'єр Autonics BEN5M-MDT, твердотільні реле SSR-25 DA та внутрішньовальний тубулярний привод Somfy LT 60. Складено структурно-функціональну та принципову електричну схеми, обґрунтовано вибір елементної бази та побудовано механічну характеристику електродвигуна. Розроблено програмне забезпечення мовою C++ із застосуванням неблокуючих таймерів для безперервного моніторингу датчиків. Для демонстрації логіки роботи системи використано блок-схеми, а працездатність алгоритмів керування та контурів безпеки підтверджено віртуальним моделюванням у середовищі Wokwi з отриманням часових діаграм. Крім того, в роботі розглянуті питання з охорони праці під час експлуатації ролетних систем. Додатки містять слайди мультимедійної презентації (Додаток А).

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ РОЛЕТНИМИ ВОРОТАМИ	8
1.1 Типи приводів та систем керування ролетами: від механічних до інтелектуальних.....	8
1.2 Огляд технологій дистанційного керування: радіоканал, Wi-Fi та Bluetooth рішення.....	11
1.3 Структурний аналіз апаратних компонентів автоматизованих в'їзних груп.....	16
1.4 Порівняльний аналіз ефективності сучасних систем автоматизації.	22
Висновки за розділом.	23
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ РОЛЕТНИХ ВОРОТ.....	25
2.1 Структурно-функціональна схема автоматизованої системи керування.	25
2.2 Обґрунтування вибору компонентної бази	26
2.2.1 Вибір центрального контролера (наприклад, ESP32 для дистанційного керування).....	28
2.2.2 Датчики безпеки та кінцевих положень.	31
2.2.3 Двигун та його силовий блок керування (релейні модулі або драйвери).....	34
2.3 Розробка електричної принципової схеми.	39
Висновки за розділом	41
РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА АЛГОРИТМИ РОБОТИ СИСТЕМИ	42
3.1 Алгоритм функціонування системи в автоматичному та ручному режимах.....	42
3.2 Написання програмного забезпечення для контролера.	49

3.3 Тестування та аналіз часових характеристик роботи воріт.....	56
Висновки за розділом	60
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ	61
4.1 Аналіз умов праці під час експлуатації автоматизованих ролетних систем	61
4.2 Заходи щодо забезпечення безпечної експлуатації автоматизованої системи керування ролетою.....	63
ВИСНОВОК.....	65
Список використаних джерел	66
ДОДАТОК А. МУЛЬТИМЕДІЙНА ПРЕЗЕНТАЦІЯ.....	68

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку інфраструктури та промисловості важливе значення має автоматизація систем контролю доступу та в'їзних груп. Впровадження інтелектуальних засобів керування дозволяє не лише підвищити комфорт користувачів, а й гарантувати високий рівень безпеки та безперебійність логістичних процесів.

Якщо легкі побутові ролети успішно функціонують за допомогою простих ручних механізмів, то керування масивними гаражними чи промисловими воротами вимагає надійного електропривода та складної логіки контролю. Стандартні заводські блоки керування часто мають обмежений функціонал, не дозволяють гнучко налаштовувати алгоритми роботи та важко інтегруються із сучасними багаторівневими системами безпеки. У зв'язку з цим актуальним є питання розробки кастомних систем автоматизації, здатних задовольнити жорсткі вимоги до безпеки та віддаленого моніторингу.

Перспективним напрямом вирішення цієї задачі є використання сучасних двоядерних мікроконтролерних систем. Платформа ESP32, завдяки високій обчислювальній потужності та вбудованим мережевим інтерфейсам, дозволяє створити швидку, гнучку та надійну систему керування. Її застосування дає можливість об'єднати силову комутацію, бездротові технології та комплекс датчиків безпеки в єдиний злагоджений апаратний комплекс.

Метою дипломної роботи є розробка автоматизованої системи керування ролетними воротами на базі мікроконтролерної платформи ESP32. Об'єктом дослідження є процес функціонування та автоматизованого керування рухом масивних ролетних воріт. Предметом дослідження є апаратно-програмний комплекс керування електроприводом ролетних воріт на базі мікроконтролера ESP32.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ РОЛЕТНИМИ ВОРОТАМИ

1.1 Типи приводів та систем керування ролетами: від механічних до інтелектуальних.

Ролети вже давно стали невід'ємною частиною сучасного життя для власників приватних будинків, міських квартир та комерційних приміщень. Вони не лише захищають від палючого сонця та сторонніх поглядів, але й виконують важливу функцію безпеки, шумоізоляції та збереження тепла. Проте справжній комфорт щоденного використання цих конструкцій безпосередньо залежить від того, який саме механізм приводить їх у рух.

Базовим та найдоступнішим варіантом завжди залишалися механічні ручні приводи. Стрічковий, ланцюжковий або шнуровий механізм є класичним і дуже простим рішенням, що працює за принципом звичайної рулетки. Будову ланцюжкової механічної ролети представлено на рис. 1.1. Ви тягнете за стрічку, і полотно слухняно піднімається або опускається. Це чудовий варіант для невеликих і легких віконних ролет, де зовсім не потрібні значні фізичні зусилля. Для важчих конструкцій зазвичай використовують воротковий або карданний привід. Керування в такому випадку відбувається за допомогою спеціальної ручки-воротка, обертання якої через редуктор передається на вал. Цей процес вимагає трохи більше часу, але дозволяє без надмірних зусиль піднімати доволі значну вагу. Ще одним дуже популярним механічним рішенням є інерційно-пружинний механізм. У середині валу розташована потужна пружина, яка компенсує масу захисного полотна, тому ролету можна легко підняти або опустити просто руками за спеціальну ручку на нижньому профілі, після чого надійно зафіксувати ключем або засувкою. Такий стандарт найчастіше зустрічається на комерційних об'єктах, різноманітних вхідних групах, гаражах та торгових павільйонах [1].

Зі стрімким розвитком технологій на зміну ручній праці прийшли електричні приводи, які вивели поняття комфорту на принципово новий рівень. Основою такої автоматизованої системи є внутрішньовальний електродвигун, який дуже компактно ховається безпосередньо в коробі ролети і жодним чином не псує зовнішній вигляд фасаду чи інтер'єр приміщення. Електричні приводи повністю знімають фізичне навантаження з людини та забезпечують максимально плавний і рівномірний рух металевого полотна, що суттєво продовжує термін експлуатації всієї конструкції та зменшує знос деталей. [1]

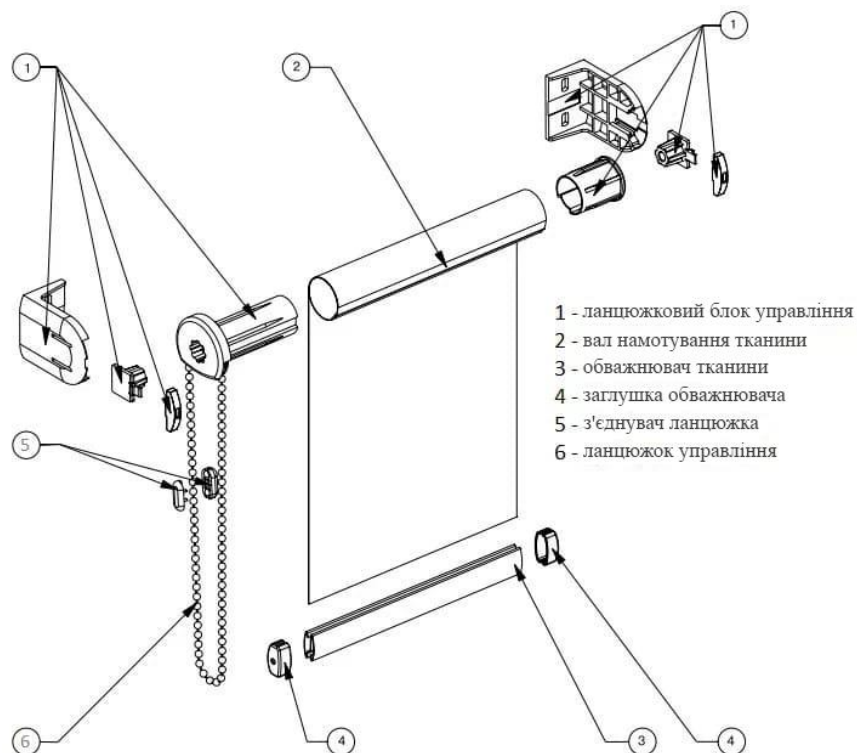


Рисунок 1.1 – Будова механічної ролети

Керування такими двигунами реалізується через різні інтерфейси. Найпростішим є класичне дротове рішення, коли поруч із вікном або дверима встановлюється настінний клавішний вимикач. Дротове керування є надзвичайно надійним і ніяк не залежить від радіоперешкод чи необхідності періодично міняти батарейки. Більш зручним та просунутим кроком є

дистанційне радіокерування, яке рятує власників від необхідності штробити стіни та псувати ремонт для прокладання кабелів. Завдяки вбудованим радіоприймачам ролетами можна керувати за допомогою компактних пультів, відкриваючи як кожную конструкцію абсолютно окремо, так і всі вікна одночасно одним коротким натисканням кнопки, що ідеально підходить для великих просторих будинків або офісів [2].

Найвищим рівнем розвитку в цій сфері є розумні інтелектуальні системи (рис. 1.2), які повністю та безперешкодно інтегрують ролети в єдину систему керування об'єктом.

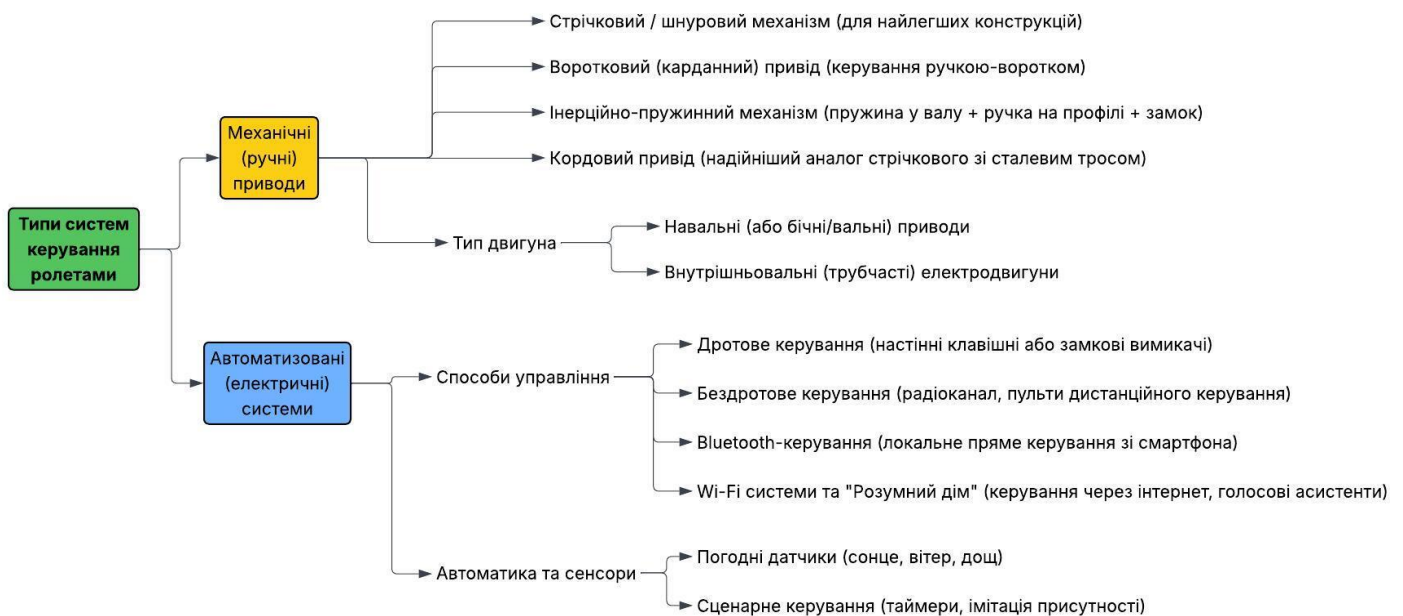


Рисунок 1.2 – Типи систем керування ролетами.

Якщо розглядати технології дистанційного керування детальніше, то сьогодні на ринку переважають три основні напрями, кожен із яких має своє оптимальне застосування:

- Радіоканал – перевірене та автономне рішення для стабільного локального керування за допомогою пультів, що не залежить від наявності інтернету [2].

- *Bluetooth* – зручна технологія для швидкого прямого зв'язку та управління ролетами безпосередньо зі смартфона, що ідеально працює на невеликих відстанях [3].

- *Wi-Fi* системи – бездротовий стандарт, який підключає ролети до домашньої мережі та відкриває можливості для повноцінної участі в екосистемі "розумного будинку" [4].

Ці три кити дистанційного зв'язку дозволяють автоматизувати процеси, підключати погодні датчики та створювати складні сценарії.

1.2 Огляд технологій дистанційного керування: радіоканал, Wi-Fi та Bluetooth рішення.

Радіоканальне керування ролетами базується на передачі бездротового сигналу від пульта або настінного радіовимикача до приймача, який вбудований безпосередньо в трубчастий електродвигун або змонтований окремо поруч із ним. Найчастіше такі системи працюють на стандартизованих частотах 433 МГц або 868 МГц. Вибір саме цих радіодіапазонів є інженерно обґрунтованим, адже вони забезпечують ідеальний баланс між дальністю дії та здатністю хвилі ефективно долати різноманітні фізичні перешкоди, такі як цегляні кладки, залізобетонні перекриття чи металопластикові профілі. Завдяки цьому користувач отримує змогу керувати захисними конструкціями без необхідності прямої видимості приймача, перебуваючи в іншій кімнаті, на іншому поверсі або просто під'їжджаючи до власного будинку. Дальність стабільного прийому в умовах щільної забудови або всередині приміщень зазвичай становить близько двадцяти-тридцяти метрів, чого повністю вистачає для покриття площі стандартного приватного котеджу або великого офісу [2].

Фундаментальним питанням під час використання радіоканалу для захисних систем є безпека та захист від несанкціонованого перехоплення сигналу. Якщо найперші системи використовували статичне кодування, яке

легко копіювалося зломисниками за допомогою кодграбберів, то сучасна ролева автоматика працює виключно на базі технології динамічного кодування, відомої як ролінг-код. Її принцип полягає в тому, що під час кожного нового натискання кнопки на пульті мікропроцесор генерує абсолютно нову, унікальну цифрову комбінацію за складним криптографічним алгоритмом. Приймач у двигуні синхронізований із цим алгоритмом і приймає команду до виконання, але якщо хтось спробує записати цей сигнал і відтворити його пізніше, система його просто проігнорує. Це робить радіокерування максимально надійним бар'єром для захисту гаражних воріт, вікон перших поверхів та входних груп [2].

Одним із прикладів радіокерування є приймально-передавальний модуль *NRF24L01* (рис. 1.3), який працює на частоті 2.4 ГГц і є найпопулярнішим базовим рішенням для створення індивідуальних мікроконтролерних систем [5].

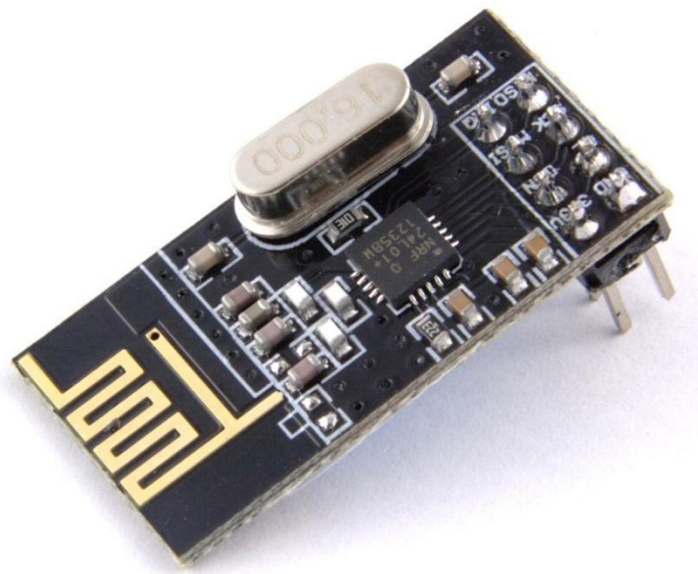


Рисунок 1.3 – Радіомодуль *NRF24L01*

Найбільшою практичною перевагою технології радіоканалу є її виняткова гнучкість у налаштуванні логіки роботи та абсолютна незалежність від наявності доступу до інтернету чи справності домашнього роутера.

Сучасні багатоканальні пульти дистанційного керування дозволяють прив'язувати до однієї кнопки як окремий двигун, так і цілі групи моторів. Це дає змогу реалізовувати зручні локальні сценарії без прокладання кілометрів силових та сигнальних кабелів по всьому будинку. Наприклад, ви можете запрограмувати систему таким чином, щоб один канал відповідав виключно за вікно у вітальні, інший керував ролетами лише на сонячному боці будівлі, а третій канал забезпечував одночасне закриття абсолютно всіх ролет на об'єкті одним натисканням перед вашим від'їздом. До одного і того ж приймача можна "прив'язати" одразу кілька різних пультів або настінних радіопередавачів, що дозволяє організувати точки керування з різних куточків кімнати, забезпечуючи високу відмовостійкість та стабільність роботи всієї системи [2].

Технологія *Bluetooth* у сфері керування захисними ролетами займає особливу нішу, забезпечуючи надійний локальний зв'язок без необхідності розгортання складної мережевої інфраструктури. На відміну від *Wi-Fi*, цей протокол працює за принципом прямого з'єднання між мобільним пристроєм користувача та приймачем, вбудованим у двигун. Радіус дії такої системи зазвичай становить до 10-15 метрів і залежить від фізичних перешкод на об'єкті. Завдяки цьому *Bluetooth* виступає як сучасна цифрова альтернатива класичним пультам дистанційного керування, дозволяючи відкривати чи блокувати ролети безпосередньо зі смартфона, перебуваючи в зоні прямого візуального контакту з конструкцією [3].

З інженерної та експлуатаційної точки зору, *Bluetooth*-модулі є надзвичайно ефективним інструментом для пусконаладжувальних робіт та технічного обслуговування. За допомогою спеціалізованого програмного забезпечення інсталятори можуть дистанційно зчитувати діагностичні дані, регулювати чутливість виявлення перешкод та виконувати калібрування електронних контурів керування приводом. Такий підхід дозволяє проводити тонке налаштування кінцевих положень захисного полотна або оновлення

мікропрограмного забезпечення двигуна без фізичного розбирання корпуса, що значно прискорює та спрощує сервісне обслуговування системи [3].

Надійним представником *Bluetooth*-модулів є плата *HM-10* (рис. 1.4), яка працює на базі сучасного енергоефективного стандарту *BLE (Bluetooth Low Energy)* [6].

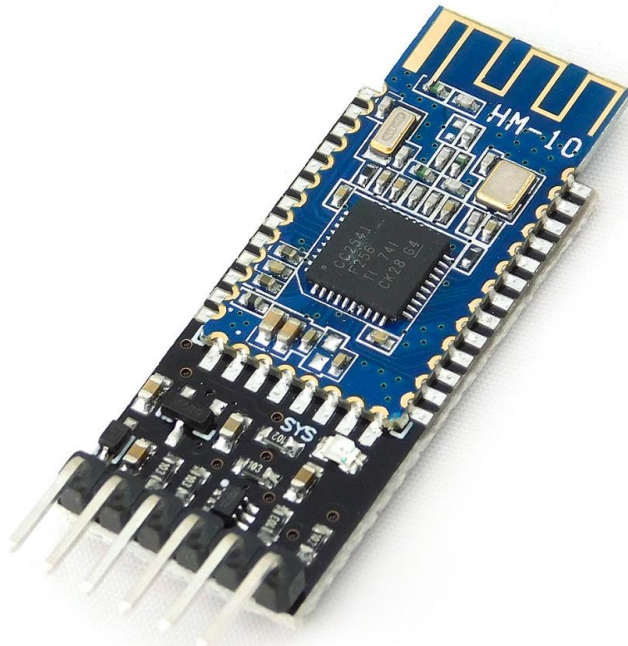


Рисунок 1.4 – *Bluetooth*-плата *HM-10*

Щодо питань безпеки та автономності, *Bluetooth*-рішення демонструють високу стійкість до зовнішніх втручань. Сполучення між пристроєм керування та ролетою відбувається виключно через зашифрований канал із використанням авторизації, що унеможливорює несанкціоноване підключення сторонніх осіб до автоматики. Важливою перевагою є повна незалежність цієї технології від зовнішнього інтернету чи працездатності домашнього маршрутизатора. У разі аварійного відключення локальної мережі або навмисного придушення Wi-Fi сигналу, пряме з'єднання по *Bluetooth* гарантує, що користувач збереже повний локальний контроль над фізичним захистом будівлі та зможе надійно заблокувати всі необхідні проєми [3].

Підключення ролетних систем за допомогою *Wi-Fi* модулів кардинально відрізняється від локальних радіоканалів тим, що приводи інтегруються безпосередньо в мережу об'єкта та отримують вихід в інтернет. Це дозволяє здійснювати повноцінний двосторонній обмін даними між пристроєм та користувачем. Ви не просто відправляєте команду на рух, а отримуєте телеметричний зворотний зв'язок про фактичний стан захисного полотна у режимі реального часу. Навіть перебуваючи за тисячі кілометрів, через спеціалізоване програмне забезпечення можна з високою точністю перевірити, чи повністю заблоковані вікна та двері, що є критично важливим фактором для контролю за фізичною безпекою будівлі [4].

Оскільки захисні ролети виконують насамперед функцію надійного бар'єра, їхня мережева інтеграція розкриває широкі можливості для роботи в комплексі з іншими охоронними системами. *Wi-Fi* контролери дозволяють програмно об'єднати ролетні приводи з сигналізацією, камерами відеоспостереження або датчиками руху периметра. Наприклад, у разі несанкціонованого проникнення на територію або спрацювання тривоги, центральний хаб може миттєво подати команду на примусове опускання всіх ролет, повністю блокуючи шляхи доступу до будівлі ще до прибуття групи швидкого реагування. Не менш важливою є інтеграція з системами пожежної безпеки: за умови спрацювання датчиків задимлення розумна автоматика здатна примусово відкрити металеві конструкції, розблоковуючи шляхи для екстреної евакуації людей [4].

Окремим вагомим напрямом використання *Wi-Fi* технологій є автоматизація кліматичного та фізичного захисту будівлі завдяки синхронізації із зовнішніми сенсорами. Розумні системи здатні безперервно збирати та аналізувати дані з локальних метеостанцій: датчиків температури, швидкості вітру, опадів та інтенсивності ультрафіолету. На основі цих показників алгоритми самостійно приймають рішення. Наприклад, під час шквального вітру, граду або сильної зливи ролети автоматично закриваються для захисту дорогоцінних віконних конструкцій від пошкоджень. Крім того,

автоматичне опускання полотна на сонячних фасадах у години пікової спеки дозволяє суттєво знизити теплове навантаження на приміщення, що оптимізує роботу кліматичного обладнання та заощаджує електроенергію.

Серед *Wi-Fi* рішень найпопулярнішим базовим стандартом є модуль на базі чіпа *ESP8266* (рис. 1.5), який дозволяє підключити плату керування безпосередньо до локального інтернет-маршрутизатора [7].

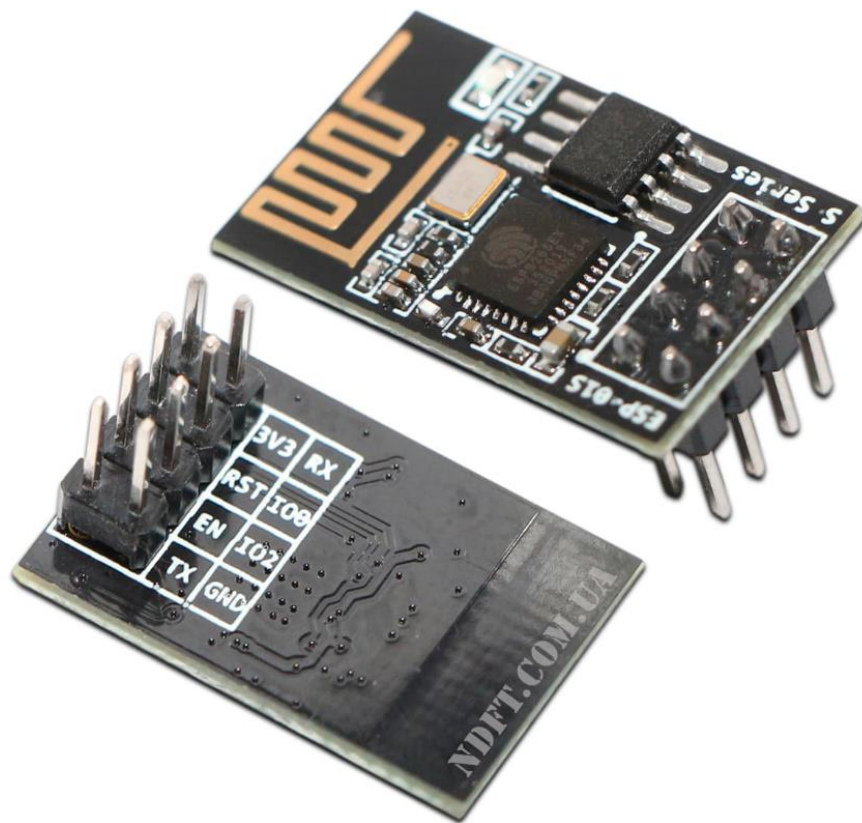


Рисунок 1.5 – *Wi-fi* модуль *ESP8266 ESP-01S*

1.3 Структурний аналіз апаратних компонентів автоматизованих в'їзних груп.

Приводи, або двигуни, є фундаментальним силовим елементом будь-якої системи автоматизації ролетних воріт. Їхнє головне завдання полягає у перетворенні електричної енергії на механічний рух, який забезпечує підняття та опускання масивного металевого полотна. Сьогодні абсолютною нормою

на ринку є використання електромеханічних приводів, які довели свою високу надійність, універсальність та відносну невибагливість в обслуговуванні. Залежно від конструктивних особливостей об'єкта, маси самої ролети та інтенсивності її використання, інженерні рішення поділяються на два основні типи: компактні трубчасті двигуни та потужні зовнішні редукторні системи. Вибір конкретного типу є критичним етапом проєктування, адже від нього залежить не лише здатність системи виконувати свою базову функцію, але й загальний ресурс її безперебійної роботи [1].

Трубчасті двигуни отримали свою назву завдяки циліндричній формі, яка дозволяє повністю сховати їх усередині октагонального валу ролети. Це ідеальне рішення для приватних гаражних воріт або невеликих комерційних павільйонів, де на першому місці стоїть економія простору та естетичний вигляд, оскільки механізм взагалі не виступає за межі короба. Однак їхня потужність фізично обмежена діаметром труби, в яку вони вбудовані. Для важких промислових ролет, де вага полотна може сягати сотень кілограмів, застосовуються масивні зовнішні редукторні системи (навальні приводи). Вони встановлюються збоку від валу і передають значний крутний момент безпосередньо або через ланцюгову передачу. Завдяки зовнішньому розміщенню, такі двигуни мають більші та надійніші редуктори, краще охолодження та здатні витримувати екстремальні механічні навантаження. Порівнюючи ці варіанти, стає зрозуміло: якщо трубчасті мотори – це про компактність і закриття базових побутових потреб, то редукторні системи – це про безкомпромісну тягову силу для промислових масштабів [10].

При детальному аналізі апаратної частини особливу увагу слід звертати на параметри живлення та швидкісні характеристики. Традиційні електромеханічні приводи на 230В змінного струму забезпечують максимальний стартовий крутний момент, що чудово підходить для подолання інерції важкого полотна, особливо в умовах зимового обледеніння або сильного вітру. Натомість двигуни на 24В постійного струму беззаперечно виграють у сценаріях із високою інтенсивністю експлуатації. Вони практично

не перегріваються при частих циклах відкривання та закривання, а також дозволяють легко підключити резервні акумуляторні батареї на випадок знеструмлення об'єкта. Крім того, тип живлення прямо впливає на швидкість та кінематику роботи: низьковольтні 24В системи часто дозволяють гнучко налаштовувати швидкісні профілі, прискорюючи хід посередині циклу і м'яко гальмуючи в кінці для збереження механіки. Високовольтні аналоги на 230В зазвичай працюють із постійною і дещо нижчою швидкістю, проте компенсують це витривалістю до перевантажень [1] [10].

Електронний блок керування – це своєрідний “мозок” автоматизованої системи. Найпростішим і найбільш перевіреним рішенням у цій ніші є класичні релейні блоки. Їхнє завдання полягає у звичайному замиканні та розмиканні електричних кіл, що живлять двигун. Це базовий та економічно вигідний варіант для об'єктів (наприклад, окремого гаража), де потрібна лише одна функція: підняти або опустити ролету за прямою командою. Функціонал таких систем досить обмежений. Керування відбувається переважно через настінні вимикачі, ключі-кнопки або прості радіоприймачі для пультів. Оскільки тут немає мікропроцесорної логіки, у таких блоках неможливо налаштувати закриття за таймером, плавний старт або підключити *Wi-Fi*. Також до них вкрай складно під'єднати сучасні датчики безпеки, такі як фотоелементи [2].

Наступним, більш просунутим рівнем після простих релейних збірок є мікроконтролерні системи керування. Це своєрідна “золота середина”, яка сьогодні масово використовується в більшості сучасних автоматичних воріт та ролет. На відміну від звичайних реле, де логіка задається виключно фізичним з'єднанням дротів, тут усім керує гнучкий програмний код, що відкриває широкі можливості для налаштування роботи приводу (програмні таймери, налаштування точного часу роботи двигуна, плавний старт і м'яка зупинка) [11].

Базовим рівнем таких систем виступають плати сімейства *Arduino*. Вони є популярним інструментом для створення прототипів завдяки доступності та

простоті програмування. Проте для повноцінних систем автоматизації їхні апаратні можливості обмежені, а реалізація бездротового зв'язку вимагає підключення додаткових зовнішніх модулів [11].

Сучасним промисловим стандартом для розробки інтелектуальної кастомної автоматизації є мікроконтролер *ESP32*. На відміну від класичних *Arduino* або одноядерних чіпів попереднього покоління, наприклад *ESP8266* (рис. 1.6), *ESP32* оснащений потужним двоядерним процесором. Ця апаратна архітектура критично важлива для безпеки воріт: одне ядро обробляє мережеву комунікацію, тоді як друге безперервно і без системних затримок опитує датчики безпеки (фотоеlementи, кінцевики) та керує приводом. Унікальною перевагою *ESP32* є апаратна інтеграція відразу двох інтерфейсів на одному кристалі: *Wi-Fi* для глобального віддаленого контролю через інтернет та *Bluetooth* для прямого локального керування у разі втрати зв'язку з маршрутизатором. Значна кількість контактів вводу/виводу (*GPIO*) дозволяє одночасно підключити всю необхідну периферію, що робить цей мікроконтролер оптимальною платформою для розробки швидких і надійних систем керування [7] [8].

Програмовані логічні контролери (*PLC* або ПЛК) – це спеціалізоване обладнання промислового класу, призначене для управління складними автоматизованими процесами. У контексті в'їзних груп та масивних ролевих воріт *PLC* застосовуються там, де можливостей стандартних побутових контролерів уже недостатньо. Це оптимальне рішення для великих логістичних центрів, промислових підприємств або багаторівневих паркінгів із дуже високою інтенсивністю руху, де потрібен найвищий рівень безвідмовності та здатність гнучко керувати складними процесами [].

Аналізуючи функціональні можливості *PLC*, варто відзначити їхню практично необмежену гнучкість. На відміну від простих плат із жорстко заданими алгоритмами, тут інженер-програміст може прописати будь-яку логіку роботи: каскадні таймери, розумне автозакриття (наприклад, з різними затримками для дня і ночі), або складні сценарії "шлюзування", коли другі

ворота відчиняються лише після повного закриття перших. Щодо можливості підключення датчиків, то ПЛК здатні одночасно обробляти сигнали від великої кількості периферії: кількох пар фотоелементів, індукційних магнітних петель, радарів та чутливих кромek безпеки. При цьому для кожного датчика програмно призначається свій унікальний пріоритет та індивідуальна реакція системи [12].

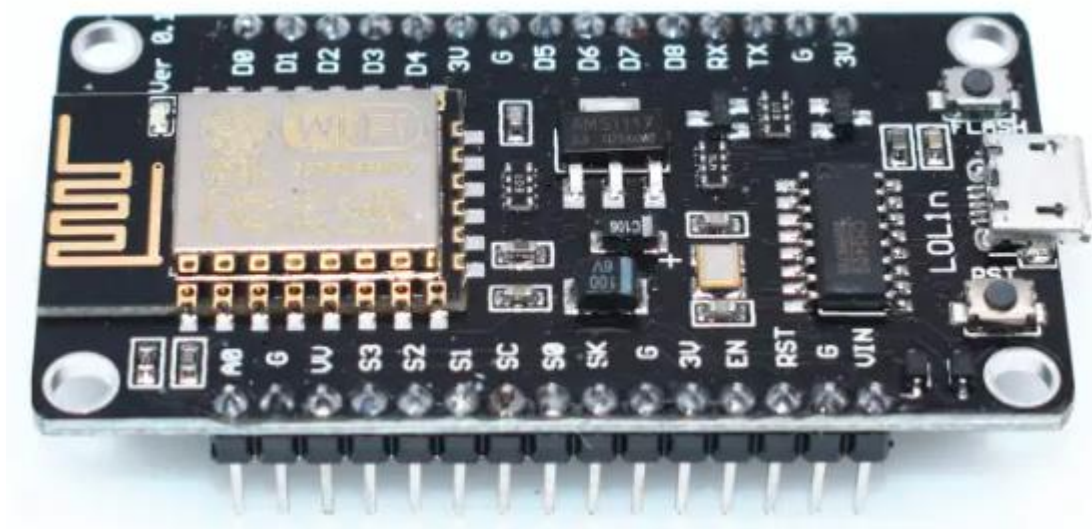


Рисунок 1.6 – Зовнішній вигляд мікроконтролерного модуля *NodeMCU* на базі *ESP8266*

З точки зору інтерфейсів, програмовані контролери пропонують найширший спектр інтеграцій. Звісно, вони підтримують роботу зі звичайними дротовими кнопками та зовнішніми *RF*-модулями (радіоприймачами для пультів). Проте їхня головна перевага – наявність промислових мережевих портів (наприклад, *Ethernet* або *RS-485*). Це дозволяє легко підключати систему до маршрутизаторів для керування через *Wi-Fi* або повноцінно інтегрувати ворота в глобальну систему диспетчеризації будівлі (*SCADA*). Завдяки цьому оператор чи охоронець може дистанційно контролювати стан в'їзної групи, вести облік циклів роботи та миттєво бачити коди системних помилок на моніторі комп'ютера. Однак висока вартість

промислових ПЛК робить використання мікроконтролерів на базі *ESP32* економічно виправданим для локальних об'єктів [8] [12].

Невід'ємною ланкою взаємодії користувача з автоматикою є засоби ініціації руху, серед яких класичним рішенням залишаються пульти радіокерування. Вони працюють у радіусі 10-40 метрів, захищені динамічним шифруванням (ролінг-кодом) та є ідеальними для приватного використання. Альтернативний фізичний підхід пропонують системи радіочастотної ідентифікації (*RFID*-картки або магнітні ключі). Вони забезпечують зручне адміністрування бази доступу та є економічно вигідним рішенням для об'єктів із великою кількістю користувачів, таких як закриті паркінги чи прохідні підприємств [2].

Більш гнучкі підходи до управління реалізуються через *GSM*-модулі та мобільні додатки. *GSM*-контролери дозволяють відкривати ворота дзвінком без обмежень по дальності, що є вкрай практичним для колективного використання. Керування через додатки (*Wi-Fi* або *Bluetooth*) перетворює смартфон на інтелектуальний пульт із можливістю віддаленого моніторингу, проте вихід контролера в інтернет створює потенційні ризики кібератак порівняно з локальними системами. Підсумовуючи, вибір пристрою диктується специфікою об'єкта: для приватного будинку найефективнішою є комбінація класичного радіопульта та локального *Bluetooth*-керування, тоді як для масових об'єктів найраціональнішим рішенням є масштабовані *GSM*-модулі або *RFID*-системи контролю доступу [2] [3] [4].

Безпека експлуатації автоматизованих воріт та ролет є найважливішим аспектом, за який відповідає цілий комплекс спеціалізованих апаратних засобів. Головним ешеленом активного захисту виступають інфрачервоні фотоелементи. Принцип їхньої роботи базується на створенні невидимого оптичного променя між передавачем і приймачем. Якщо під час закриття воріт цей промінь перетинає людина, тварина або автомобіль, система миттєво віддає контролеру команду на зупинку або реверс (зворотний рух). Точність і швидкість спрацювання фотоелементів є максимально високими – реакція

електроніки відбувається за лічені мілісекунди. Їхня роль у безпеці абсолютно фундаментальна, оскільки вони діють на випередження і запобігають самому факту фізичного зіткнення масивної стулки з об'єктом. Саме тому сучасні європейські стандарти безпеки категорично забороняють введення в експлуатацію автоматичних воріт без встановлення хоча б однієї пари фотоелементів [2].

Наступним критично важливим компонентом є кінцеві вимикачі. Вони бувають класичними механічними (спрацьовують від фізичного натискання пружини) або більш надійними магнітними (геркони, що реагують на наближення магніту). Їхнє головне завдання - з абсолютною міліметровою точністю фіксувати крайні точки, коли ворота повністю відкрилися або закрилися, та вчасно відключати живлення двигуна. Швидкість їхньої реакції миттєва, і хоча вони не захищають безпосередньо людину, їхня роль у технічній безпеці величезна: кінцевики бережуть механіку від ударів у стовпи та запобігають критичному перегріванню приводу [10].

Як додатковий рубіж захисту застосовують струмовий захист (амперометрію) та контактні гумові кромки, які миттєво зупиняють привод при зростанні механічного опору або фізичному контакті з перешкодою, зводячи силу удару до безпечного мінімуму [2] [4].

1.4 Порівняльний аналіз ефективності сучасних систем автоматизації.

Підсумовуючи проведений аналіз апаратних засобів, можна стверджувати, що загальна ефективність системи автоматизації в'їзних груп визначається не максимальними характеристиками окремого вузла, а правильною інженерною синергією силової, обчислювальної та периферійної частин. Порівняння існуючих рішень демонструє чітку сегментацію технологій залежно від поставлених експлуатаційних завдань.

У силовому сегменті вибір приводів диктується фізичними параметрами об'єкта. Якщо для надвисокої інтенсивності роботи (наприклад, багатоквартирні паркінги) доцільними є низьковольтні 24В системи, то для масивних промислових чи складських ролет безальтернативними залишаються приводи змінного струму на 230В, здатні забезпечити високий стартовий крутний момент. Відповідно, ефективність управління такою потужністю вимагає застосування надійних комутаційних засобів: переходу від контактних механічних реле до сучасних твердотільних модулів (SSR) з обов'язковою гальванічною (оптичною) розв'язкою та апаратним блокуванням зустрічних фаз.

В еволюції електронних блоків керування прослідковується остаточний перехід від жорсткої релейної логіки до гнучких мікропроцесорних систем. Порівняльний аналіз показує, що хоча промислові ПЛК пропонують найширший функціонал для масштабної інфраструктури, їх використання для локальних об'єктів є економічно надлишковим. Водночас базові плати *Arduino* не відповідають сучасним вимогам до комунікацій та безпеки без використання великої кількості зовнішніх модулів. Оптимальним інженерним стандартом у цій ніші виступає використання мікроконтролерів сімейства *ESP32*. Наявність двоядерної архітектури дозволяє безпечно розділити критичні процеси: одне ядро гарантує безперебійне опитування систем безпеки (фотоелементів, кінцевиків) за мілісекунди, тоді як інше обробляє мережеві запити (*Wi-Fi*, *Bluetooth*) без ризику програмного зависання механіки [8].

Висновки за розділом.

Підсумовуючи перший розділ, можна стверджувати, що сучасні системи керування захисними ролетами та масштабними в'їзними групами пройшли величезний шлях еволюції від примітивних ручних конструкцій до складних багатокомпонентних комплексів. Аналіз показав, що ключовим етапом

розвитку став масовий перехід на компактні трубчасті електродвигуни та впровадження різноманітних бездротових технологій. Сьогодні вибір між перевіреним автономним радіоканалом, швидким локальним *Bluetooth*-зв'язком або *Wi-Fi* інтеграцією дозволяє максимально гнучко налаштовувати керування під специфіку будь-якого об'єкта – від базового дистанційного відкриття ізольованого гаража чи комерційного павільйону до повноцінної інтеграції захисних конструкцій у складні інфраструктурні мережі та загальні системи диспетчеризації будівель.

Водночас, автоматизація великих в'їзних груп вимагає значно серйознішого апаратного забезпечення через високі механічні навантаження, інерцію та різну інтенсивність трафіку. Як було досліджено, стабільність роботи таких об'єктів напряду залежить від правильного вибору силової установки – від високовольтних приводів для важкого старту до витривалих низьковольтних систем на 24В для безперервної роботи. Безпосереднє управління цією потужністю лежить на електронних блоках керування (від мікроконтролерів до промислових ПЛК), які паралельно обробляють команди від зручних засобів ідентифікації (пультів, *GSM*-модулів чи *RFID*-карток) та забезпечують миттєву реакцію систем безпеки (фотоелементів і датчиків перешкод).

Загальним та найголовнішим висновком є те, що реальна ефективність будь-якої сучасної системи автоматизації полягає виключно у правильній інженерній синергії. Найкращий результат досягається не встановленням найдорожчих деталей, а лише тоді, коли тип двигуна, логіка контролера, технологія дистанційного зв'язку та комплекс датчиків ідеально збалансовані та повністю відповідають реальним умовам експлуатації конкретного об'єкта, гарантуючи його довговічність та абсолютну безпеку.

РОЗДІЛ 2

ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ РОЛЕТНИХ ВОРОТ

2.1 Структурно-функціональна схема автоматизованої системи керування.

Розроблена система автоматизації ролети побудована за модульним принципом і являє собою замкнений контур керування. Загальну структуру системи можна умовно розділити на наступні функціональні блоки:

1. Блок живлення (БЖ) Забезпечує перетворення мережевої змінної напруги 230 В у стабілізовану напругу постійного струму. Блок має дворівневу архітектуру: первинне джерело перетворює напругу для живлення периферійних датчиків (24 В), а вторинний *DC-DC* перетворювач знижує її до рівня (5 В), необхідного для живлення мікропроцесорного ядра [10].

2. Мікропроцесорний блок керування (МБК) Є "мозком" системи. Виконаний на базі мікроконтролера *ESP32*. Він безперервно збирає дискретні сигнали від датчиків та органів керування, обробляє їх згідно із закладеним алгоритмом кінцевого автомата (*State Machine*) та формує керівні впливи на силові комутаційні апарати [8] [10].

3. Блок вводу інформації та безпеки (БВІ) Включає в себе пристрої, що передають інформацію про стан навколишнього середовища та команди оператора до МБК.

4. Силовий комутаційний блок (СКБ) Складається з твердотільних реле (*Solid State Relay*), які забезпечують безконтактну комутацію силових кіл змінного струму. Вони виконують функцію гальванічної розв'язки між низьковольтним контуром керування мікроконтролера та високовольтною мережею живлення привода.

5. Виконавчий механізм (ВМ) Являє собою однофазний асинхронний тубулярний привод, що безпосередньо виконує механічну роботу з підняття або опускання полотна ролети.

6. Блок світлової сигналізації (БСС) Призначений для візуального сповіщення людей у зоні дії механізму про початок (функція "предаларм") або процес руху ролети, що є обов'язковою вимогою промислової безпеки.

У штатному режимі сигнал від органу ручного керування надходить до МБК. Мікроконтролер перевіряє стан пристроїв безпеки (радарів та фотоелемента). Якщо зона вільна, МБК спочатку активує БСС для попереджувальної сигналізації, а після заданої витримки часу подає логічний сигнал на відповідний канал СКБ. Силове реле відкривається, подаючи напругу на ВМ, який приводить ролету в рух. Будь-яке спрацювання елементів БВІ під час закриття миттєво обробляється контролером для зупинки або екстреного реверсу механізму.

2.2 Обґрунтування вибору компонентної бази

Для реалізації розробленої структурно-функціональної схеми було підібрано відповідну апаратну базу. Для загального живлення системи використано імпульсний блок *U1* (*HDR-30-24*) (рис. 2.1) промислового формату на *DIN*-рейку. Він перетворює мережеву напругу 230 В змінного струму на стабілізовані 24 В постійного струму (30 Вт), що є стандартом для промислової автоматики і необхідним рівнем для стабільної роботи периферійних датчиків та реле. Оскільки мікропроцесорний блок живиться від 5 В, для узгодження рівнів напруги застосовано понижуючий *DC-DC* перетворювач *U2* (24V -> 5V). Він ефективно знижує базову напругу 24 В до безпечного рівня, забезпечуючи високий ККД та мінімальне тепловиділення порівняно з лінійними стабілізаторами. Таке рішення додатково гарантує стабільну роботу вбудованих радіомодулів мікроконтролера при пікових навантаженнях під час увімкнення привода. Крім того, наявність вбудованих

фільтрів у перетворювачі надійно захищає чутливу цифрову логіку системи від високочастотних імпульсних завад з боку силового контуру [13].



Рисунок 2.1 – Блок живлення *Mean Well HDR-30-24 (24VDC, 30W)*

Для комутації обмоток привода застосовано твердотільні реле *K1* і *K2* (*SSR-25 DA*) (рис. 2.2). Вони дозволяють напряду керувати силовим навантаженням від логічних 3.3 В мікроконтролера, виключаючи необхідність у додаткових підсилювачах [14].



Рисунок 2.2 – Твердотільне реле *SSR-25 DA*

Обов'язковим елементом системи безпеки є сигнальна лампа *HL1*. Вона забезпечує візуальне попередження (“предаларм”) за 2 секунди до початку, а також під час усього циклу руху ролети. Оскільки струм споживання лампи значно перевищує допустиме навантаження на порт *ESP32*, для її комутації використано проміжний реле-модуль *KL1*. Цей модуль оснащено вбудованою оптопарою, що забезпечує повну гальванічну розв'язку керуючого цифрового контуру від лінії живлення. Таке інженерне рішення надійно ізолює чутливий мікропроцесор від індуктивних викидів та імпульсних завад, що виникають під час комутації, гарантуючи абсолютну стабільність роботи системи [8] [10].

Апаратне дублювання безпеки при опусканні ступки реалізовано через фотоелектричний датчик *BL3* — інфрачервоний бар'єр активного типу. Даний пристрій відрізняється підвищеною експлуатаційною надійністю та миттєвою швидкістю реакції на появу перешкоди. При перетині оптичного променя датчик апаратно формує сигнал логічного нуля на вхід контролера. Цей сигнал обробляється системою з найвищим пріоритетом, ініціюючи алгоритм екстреного зупинення привода та його негайного реверсу. Важливо зазначити, що такий захист діє на випередження, не допускаючи навіть мінімального фізичного контакту масивного полотна з об'єктом, що є суворою вимогою сучасних стандартів промислової автоматизації та безпеки.

2.2.1 Вибір центрального контролера (наприклад, ESP32 для дистанційного керування).

Для завдань автоматизації промислових воріт та ролет часто застосовуються промислові програмовані логічні контролери (ПЛК). Однак використання ПЛК є економічно та технічно доцільним переважно для масштабних промислових об'єктів або для керування цілим комплексом таких воріт, об'єднаних у єдину диспетчерську *SCADA*-систему. Для локального керування однією автономною ролетою обчислювальна потужність, габарити та вартість класичного ПЛК є надлишковими. З огляду на це, "мозком"

розробленої системи було обрано сучасний мікроконтролерний модуль *ESP32* (модифікація *DevKitC V4*) (рис. 2.3) [8].

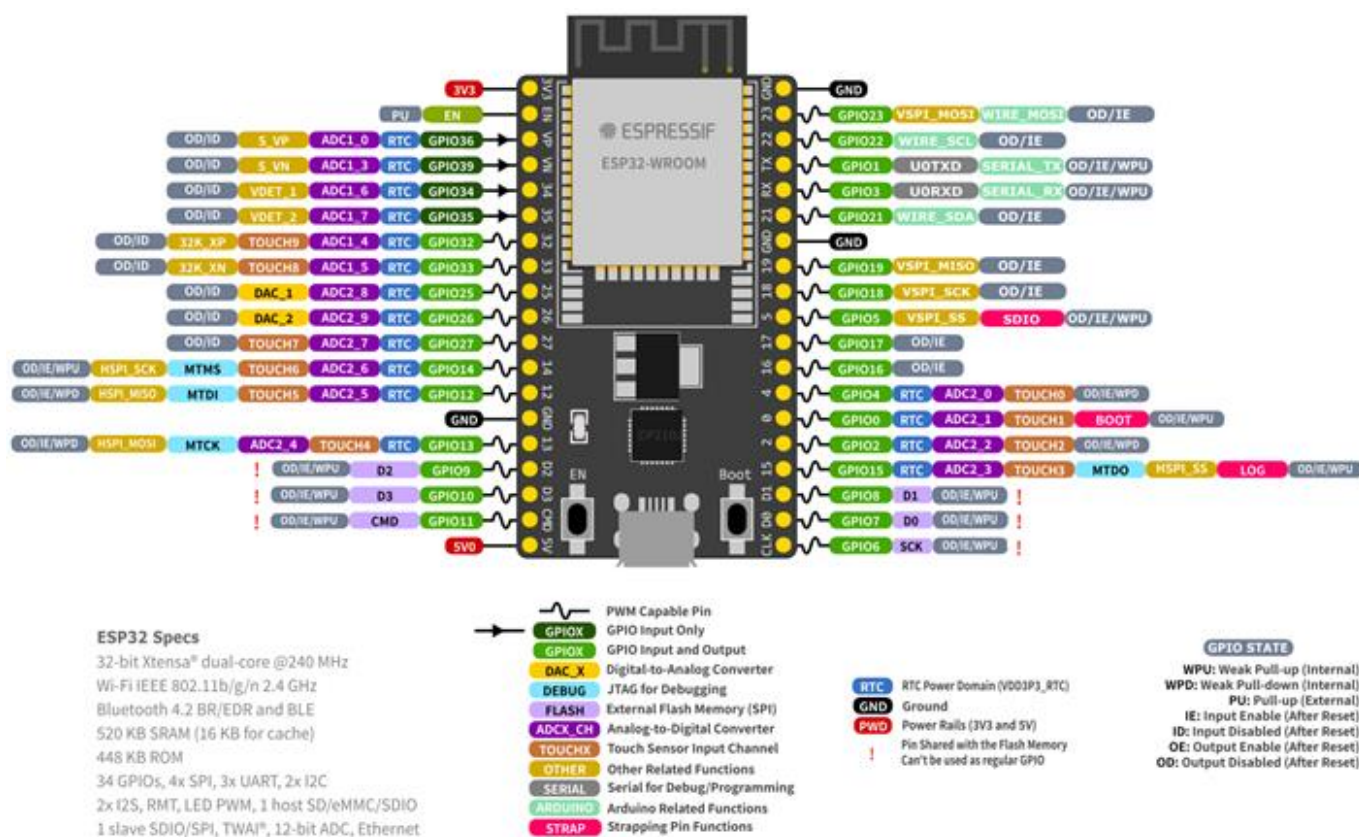


Рисунок 2.3 – Архітектура портів вводу/виводу мікроконтролера *ESP32*

В основі *ESP32* лежить високопродуктивний двоядерний 32-розрядний мікропроцесор *Xtensa Dual-Core 32-bit LX6*, що працює на тактовій частоті до 240 МГц. Для порівняння, класичні 8-бітні контролери систем базової автоматизації (наприклад, сімейства *AVR*) працюють на частотах близько 16 МГц. Такий значний запас обчислювальної потужності гарантує абсолютно безперебійну роботу контуру керування навіть при одночасній обробці кількох апаратних переривань від датчиків безпеки. Наявність двох незалежних ядер дозволяє в перспективі розділити завдання на апаратному рівні: одне ядро відповідатиме виключно за критичну до часу логіку руху механізму, а інше – за мережевий зв'язок та діагностику [8].

Важливим критерієм для систем автоматизації, що можуть експлуатуватися в неопалюваних приміщеннях, є стійкість компонентів. ESP32 підтримує індустріальний діапазон робочих температур (від -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$), що забезпечує стабільність тактового генератора та надійність виконання алгоритмів незалежно від кліматичних умов. Окрім стандартних портів (*GPIO*), платформа має вбудовані 12-бітні аналого-цифрові перетворювачі (АЦП), інтерфейси *I2C*, *SPI* та ШІМ-контролери. Навіть якщо в поточній конфігурації використовуються переважно дискретні сигнали, закладений апаратний потенціал дозволяє легко модернізувати систему (наприклад, додати датчики струму для реалізації апаратного захисту від перевантаження двигуна) [8].

Окрім обчислювальних характеристик, вибір саме цієї платформи обґрунтовується низкою схемотехнічних переваг, які ідеально підходять для поточного завдання:

- Сумісність логічних рівнів: *ESP32* оперує логічним рівнем 3,3 В. Це дозволяє напряду, без додаткових транзисторних каскадів чи мікросхем-драйверів, керувати обраними твердотільними реле (*SSR-25 DA*), що значно спрощує принципову схему та підвищує її надійність.

- Апаратна підтяжка входів (*Pull-up*): Наявність внутрішніх підтягуючих резисторів на портах вводу-виводу дозволила реалізувати безпечну комутацію органів керування. Усі кнопки та контакти датчиків замикаються на спільний провідник (*GND*), що знижує чутливість системи до електромагнітних завад.

- Швидкодія та архітектура коду: Потужність *ESP32* дозволяє легко реалізувати алгоритм кінцевого автомата (*State Machine*) з використанням неблокуючих таймерів. Це гарантує, що під час відліку тривалих робочих циклів контролер не "зависає", а продовжує паралельно зчитувати стан фотоелементів безпеки з мілісекундною реакцією.

- Перспективи масштабування: Наявність на борту *ESP32* вбудованих модулів *Wi-Fi* та *Bluetooth* залишає можливість для подальшої модернізації

системи – інтеграції ролети в систему "розумного дому" або організації віддаленого керування.

У процесі апаратного проєктування було проведено ретельний розподіл портів вводу-виводу (*GPIO*) з урахуванням специфічних апаратних обмежень платформи *ESP32* (наприклад, порти 34 та 35 працюють виключно на приймання інформації, оскільки є тільки входами без можливості апаратної підтяжки) [8].

2.2.2 Датчики безпеки та кінцевих положень.

Робота масивних промислових ролет несе загрозу травмування персоналу та пошкодження транспорту. Згідно зі стандартами безпеки, контур автоматичного закриття має оснащуватися системою безконтактного виявлення перешкод. Датчики безперервно сканують робочу зону та миттєво формують сигнал для мікроконтролера, ініціюючи екстрений реверс або блокування руху при виявленні об'єкта [2] [11].

Важливою експлуатаційною перевагою радара *Optex OA-72C* (рис. 2.4) є гнучка система конфігурації просторової зони виявлення. Залежність габаритів та форми робочої матриці від висоти встановлення датчика (зокрема, параметри для розрахункової висоти монтажу 4 метри) наочно представлена на рисунку 2.5 [15]



Рисунок 2.4 – Датчик ІЧ-*Optex OA-72C*

Для контролю внутрішньої та зовнішньої зон перед ролетою використано активні інфрачервоні датчики присутності *Optex OA-72C*. Вибір

саме цієї моделі зумовлений використанням технології активного ІЧ-випромінювання, а також тим, що технічні характеристики його зони покриття ідеально підходять для надійного сканування простору перед ролетою із заданими габаритами (4х4 метри), гарантуючи стабільну роботу в умовах виробництва [15].

На відміну від класичних мікрохвильових доплерівських радарів, які реагують лише на рух, датчики *Optex* здатні фіксувати нерухомі об'єкти (наприклад, палету з вантажем, що зупинився безпосередньо перед отвором). Це критично важливо для запобігання закриттю воріт на статичну перешкоду. Датчики мають настроювану геометрію зони детекції, що дозволяє точно відкалібрувати їх під простір конкретного промислового приміщення (табл. 2.1), ігноруючи рух на сусідніх ділянках, якщо вони є, тим самим суттєво мінімізуючи ймовірність хибних спрацювань механізму [15].

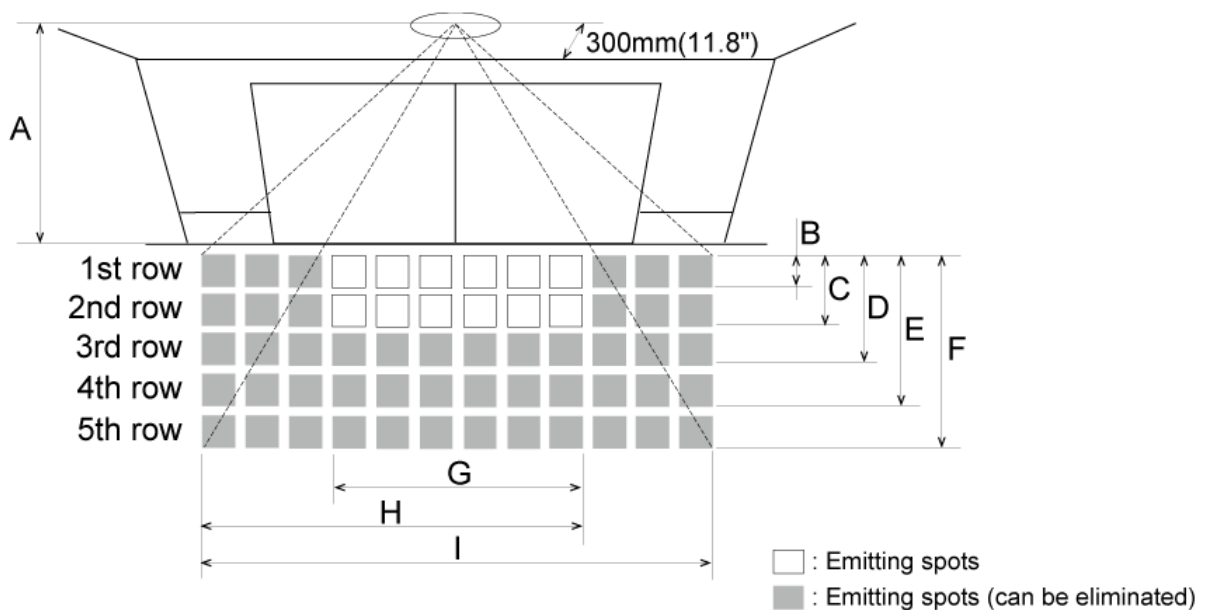


Рисунок 2.5 – Зона детекції та просторовий розподіл променів інфрачервоного датчика *Optex OA-72C*

Як останній, дублюючий рубіж захисту, що працює безпосередньо в площині опускання полотна, обрано промисловий фотоелектричний датчик

Autonics BEN5M-MDT (рис. 2.6). Ця модель ідеально підходить для розробленої системи з наступних причин:

- Оптичні характеристики: Дальність дії від 0.1 до 5 метрів із запасом перебиває ширину воріт (4 метри), гарантуючи стабільний сигнал навіть у разі запиленості приміщення [16].
- Електрична сумісність: Датчик має універсальну напругу живлення 12-24 VDC, що дозволяє жити його безпосередньо від основного блоку *U1* (24 В). Універсальний транзисторний вихід (*PNP/NPN*) забезпечує ідеальне узгодження з логікою мікроконтролера *ESP32* [8] [16].

Таблиця 2.1 – Розміри робочої матриці датчика руху залежно від базової висоти

Параметр	Розмір для висоти 4 м, мм
A	4000
B	240
C	690
D	1160
E	1710
F	2260
G	1980
H	3000
I	4100

Механічний захист та монтаж: Враховуючи жорсткі умови експлуатації в зоні проїзду техніки, датчик встановлено у спеціальному прогумованому амортизаційному корпусі, який надійно захищає чутливу оптику від випадкових ударів та вібрацій. Крім того, для електричного підключення пристрою застосовано спеціальний запружинений (спіральний) кабель. Таке рішення запобігає провисанню, перетиранню та механічному обриву

провідників під час активної експлуатації зони проїзду, значно подовжуючи ресурс роботи системи [16].



Рисунок 2.6 – фотодатчик BEN5M-MDT

Алгоритм взаємодії мікроконтролера з фотоелектричним бар'єром має найвищий апаратний пріоритет: у разі перетину інфрачервоного променя під час циклу опускання ролети, система миттєво перериває сигнал керування та автоматично ініціює екстрений реверс виконавчого механізму для звільнення зони проїзду.

2.2.3 Двигун та його силовий блок керування (релейні модулі або драйвери).

Як виконавчий механізм для автоматизації ролети було обрано спеціалізований внутрішньовальний (тубулярний) привод *Somfy LT 60 Taurus 120/12* (рис. 2.7). Вибір привода саме такого типу зумовлений його конструктивними особливостями: він монтується безпосередньо всередину октагонального намотувального вала ролети, що дозволяє максимально зекономити простір та захистити двигун від впливу навколишнього середовища [9].

Важливою експлуатаційною перевагою обраного привода *Somfy* є наявність вбудованої системи механічних кінцевих вимикачів. Налаштування верхньої мертвої точки (ВМТ - повністю відкрита ролета) та нижньої мертвої точки (НМТ - повністю закрыта) виконується безпосередньо на голівці привода за допомогою регулювальних гвинтів під час пусконаладжувальних робіт [9].

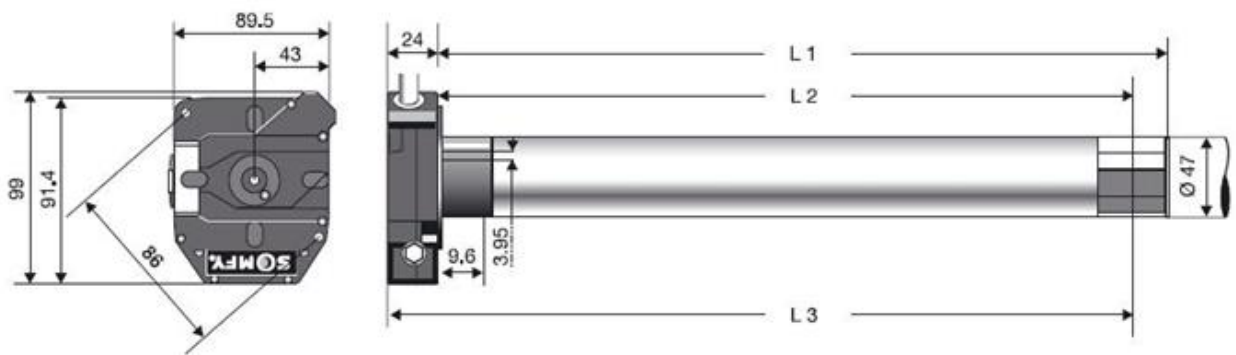


Рисунок 2.7 – Креслення загального вигляду привода *Somfy LT 60*

Завдяки цьому мікропроцесорна система керування на базі *ESP32* не потребує встановлення додаткових зовнішніх герконів або кінцевиків для фіксації крайніх положень. Коли ролета досягає ВМТ або НМТ, внутрішній механізм привода самостійно розриває коло живлення обмотки. Програмний таймер робочого ходу в контролері при цьому виконує функцію дублюючого (аварійного) захисту.

Параметри однофазного привода *Somfy LT 60 Taurus 120/12*

- номінальна потужність $P_n = 0.4$ кВт;
- номінальна частота обертання $n_n = 12$ об/хв;
- напруга живлення $U_n = 230$ В;
- коефіцієнт потужності $\cos \varphi = 0,95$;
- номінальний крутний момент $M_n = 120$ Нм;
- кратність максимального моменту $\lambda_M = 1,8$;
- Синхронна частота обертання вихідного вала $n_0 = 15$ об/хв.

Номінальне ковзання (s_n):

$$s_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0} \quad (2.1)$$

$$s_n = \frac{15 - 12}{15} = 0,2$$

Критичне ковзання (s_k):

$$s_k = s_n(\lambda_M + \sqrt{\lambda_M^2 - 1}) \quad (2.2)$$

$$s_k = 0,2 \cdot (1,8 + \sqrt{1,8^2 - 1}) = 0,66$$

Критичний момент(M_k):

$$M_k = \lambda_k \cdot M_n \quad (2.3)$$

$$M_k = 1,8 \cdot 120 = 216 \text{ Нм}$$

Критична частота обертання:

$$n_k = n_0(1 - s_k) \quad (2.4)$$

$$n_{кр} = 15 \cdot (1 - 0,66) = 5,1 \text{ об/хв}$$

Номинальний струм двигуна:

$$I_n = \frac{P_n}{U_n \cdot \cos\varphi} \quad (2.5)$$

$$I_n = \frac{400}{230 \cdot 0.95} = 1,83 \text{ A}$$

Механічна характеристика асинхронного двигуна описується формулою Клосса:

$$M = \frac{2M_{кр}}{\frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s}} \quad (2.6)$$

А швидкість визначається:

$$n = n_1(1 - s)$$

Розрахунок механічної характеристики виконуємо для кількох значень ковзання, результати наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Механічна характеристика однофазного привода *Somfy LT 60 Taurus 120/12*:

Ковзання (s)	Частота обертання (n), об/хв	Крутний момент(M) Н·м
0,05	14,25	32,57
0,10	13,50	64,05
0,20	12,00	120,00
0,30	10,50	162,85
0,40	9,00	191,57

Ковзання (s)	Частота обертання (n), об/хв	Крутний момент(M) Н·м
0,50	7,50	207,99
0,66	5,10	216,00
0,80	3,00	212,02

За даними наведеної в таблиці 2.2 побудовано графік механічної характеристики електродвигуна (рис 2.8).

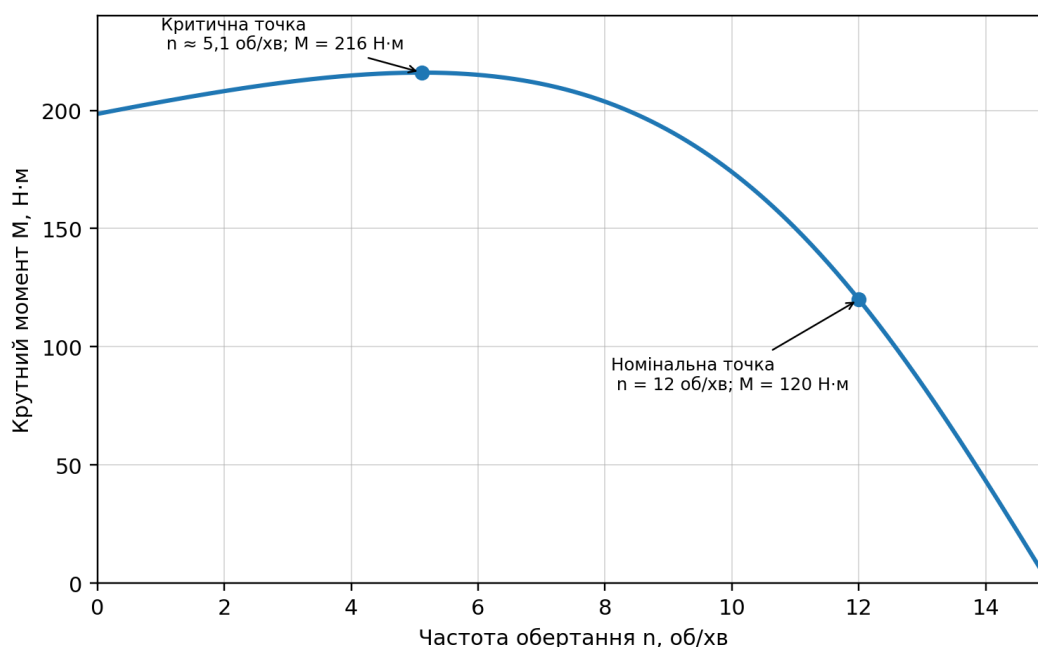


Рисунок 2.8 – Механічна характеристика однофазного привода *Somfy LT 60*
Taurus 120/12

Отримана механічна характеристика свідчить про те, що обраний привод забезпечує достатній пусковий та номінальний крутний момент для надійного переміщення важкого алюмінієвого полотна ролети. Привод має стабільну механічну характеристику в робочій зоні та здатний ефективно долати статичне навантаження, що виникає під час намотування профілю на вал. Це повністю підтверджує технічну доцільність використання привода

Somfy LT 60 Taurus 120/12 у складі розробленої автоматизованої системи керування ролетою на базі мікроконтролера *ESP32* [8] [9].

2.3 Розробка електричної принципової схеми.

Принципова електрична схема розробленої системи автоматизації (рис. 2.9) відображає фізичну взаємодію всіх апаратних компонентів. За функціональним призначенням її можна умовно розділити на силовий ланцюг, ланцюг живлення керуючої логіки та інформаційний контур.

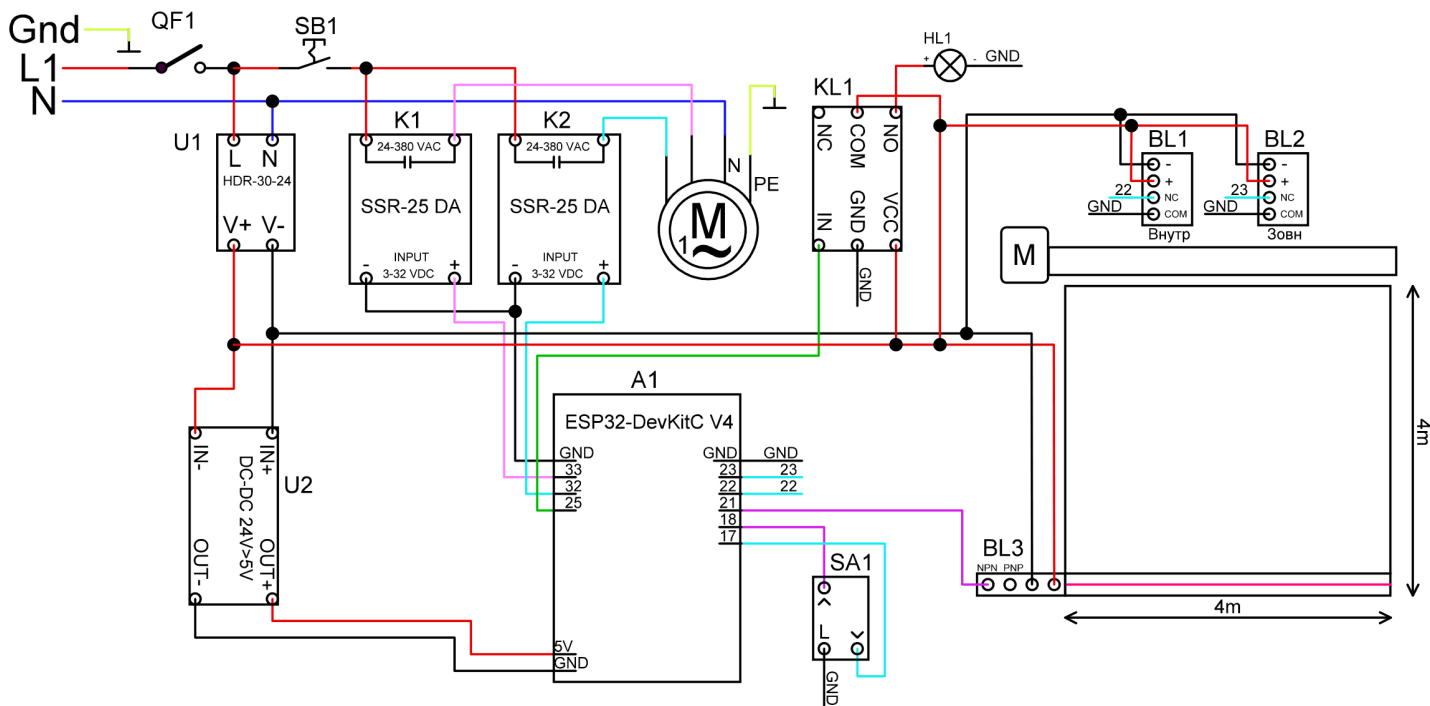


Рисунок 2.9 – Принципова електрична схема системи автоматизації ролетою

1. Силовий ланцюг живлення та комутації Мережева напруга 230 В змінного струму через захисний автоматичний вимикач *QF1* (фаза *L1* та нейтраль *N*) надходить до системи. Для екстреного знеструмлення автоматики в силовому ланцюзі передбачено кнопку аварійної зупинки *SB1* (типу “грибок”

із фіксацією), яка розриває фазний провідник. Після неї напруга надходить на первинні клеми імпульсного блоку живлення $U1$ ($HDR-30-24$), а також безпосередньо на силові контакти твердотільних реле $K1$ і $K2$. Залежно від заданого напрямку руху (відкриття або закриття), мікроконтролер зі своїх портів 32 або 33 подає логічний сигнал керування на відповідне реле, яке замикає силовий ланцюг обмоток однофазного привода M . Захисне заземлення PE підключається безпосередньо до штатного заземлювального провідника кабелю привода (який має заводське внутрішнє з'єднання з його металевим корпусом).

- 2. Ланцюги живлення постійного струму Блок живлення $U1$ формує на виході стабілізовану напругу 24 В постійного струму. Цей контур забезпечує живлення активних радарів руху ($BL1$, $BL2$), фотоелектричного датчика ($BL3$) та проміжного реле-модуля ($KL1$). Паралельно напруга 24 В подається на вхід $DC-DC$ перетворювача $U2$, який знижує її до 5 В – робочої напруги, необхідної для стабільного функціонування мікропроцесорної плати $ESP32$ ($A1$).

- 3. Інформаційний контур та керування Логіка збору сигналів побудована на замиканні інформаційних пінів мікроконтролера на спільний провідник (GND) із використанням внутрішньої апаратної підтяжки портів ($Pull-up$):

- Контур ручного керування: Кнопковий пост $SA1$ підключений до портів 17 та 18. При натисканні відповідної кнопки порт замикається на GND , ініціюючи рух привода.

- Контур безпеки: Радари ($BL1$, $BL2$) та фотобар'єр ($BL3$) підключені до портів 22, 23 та 21 відповідно. Їхні транзисторні виходи (NPN -типу) у штатному режимі підтримують високий рівень сигналу, а при виявленні перешкоди формують низький рівень (логічний нуль), що миттєво обробляється мікроконтролером для зупинки або реверсу.

- Ланцюг сигналізації: Для реалізації функції попереджувального світлового сповіщення (“предаларм”) порт 25 мікроконтролера керує

катушкою проміжного реле *KL1*. При активації цього порту контакти реле замикають ланцюг живлення 230 В на сигнальну лампу *HL1*.

Висновки за розділом

У ході виконання розділу було здійснено комплексне техніко-економічне та схемотехнічне обґрунтування вибору елементної бази для побудови високонадійної системи автоматичного керування ролетою.

Детально проаналізовано апаратну архітектуру й обчислювальні можливості мікроконтролера *ESP32*, який обрано як центральний процесорний блок, а також специфіку функціонування сучасного сенсорного забезпечення (активних інфрачервоних радарів руху *Optex* та фотоелектричного бар'єра *Autonics*). На основі паспортних параметрів обраного виконавчого привода *Somfy* проведено розрахунок та побудовано його механічну характеристику. Її аналіз підтвердив, що привод забезпечує достатній пусковий та номінальний крутний момент для надійної роботи системи та здатний ефективно долати статичні навантаження, які виникають під час підняття й опускання полотна.

На базі обраних компонентів розроблено працездатну схему електричну принципову системи автоматизації. Виконано детальний аналіз її роботи на апаратному рівні, у ході якого чітко розмежовано та структуровано взаємодію силових ланцюгів комутації двигуна, ланцюгів живлення постійного струму та інформаційних контурів збору логічних сигналів. Створена апаратна конфігурація забезпечує необхідний рівень надійності й швидкодії, що є базою для подальшої розробки програмного забезпечення мікроконтролера.

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА АЛГОРИТМИ РОБОТИ СИСТЕМИ

3.1 Алгоритм функціонування системи в автоматичному та ручному режимах.

Перед безпосереднім написанням програмного коду та його завантаженням у пам'ять мікроконтролера *ESP32*, обов'язковим етапом проєктування є розробка візуальної моделі алгоритму роботи. Побудова графічних блок-схем є загальноприйнятим стандартом у галузі розробки систем автоматизації, оскільки вона дозволяє перенести абстрактну логіку керування у наочну площину. Таке візуальне відображення дає змогу детально продумати архітектуру майбутньої програми, системно підійти до керування приводом та чітко визначити послідовність виконання команд. Крім того, графічне моделювання допомагає передбачити реакцію контролера на будь-які зовнішні події, такі як натискання кнопок оператором, зміна стану радарів руху або перетин інфрачервоного фотобар'єра. Розподіл загального технологічного процесу на окремі візуальні блок-схеми значно мінімізує ризик виникнення логічних помилок ще до етапу написання коду (мовою C++) та слугує чітким технічним завданням для програмної інтеграції мікропроцесора з апаратною частиною [8].

Після подачі напруги живлення мікроконтролер виконує первинне налаштування портів вводу-виводу (рис. 3.1). Першочерговою дією є примусове зняття керуючих сигналів із твердотільних реле *K1*, *K2* та вимкнення сигнальної лампи *HL1*. Це програмне блокування гарантує, що у разі перебоїв з електропостачанням привод не почне несанкціонований рух після відновлення живлення.

Наступним кроком є обов'язкова апаратна діагностика контуру безпеки. Контролер зчитує логічні рівні з фотоелектричного бар'єра *BL3* та радарів руху *BL1/BL2*. Якщо хоча б один із датчиків заблокований перешкодою (або

несправний), система переходить у режим аварійного очікування, супроводжуючи це відповідною індикацією – сигнальна лампа *HL1* починає блимати короткими спалахами. Вихід із цього захисного циклу та вимкнення аварійної індикації можливі виключно після звільнення робочої зони датчиків.

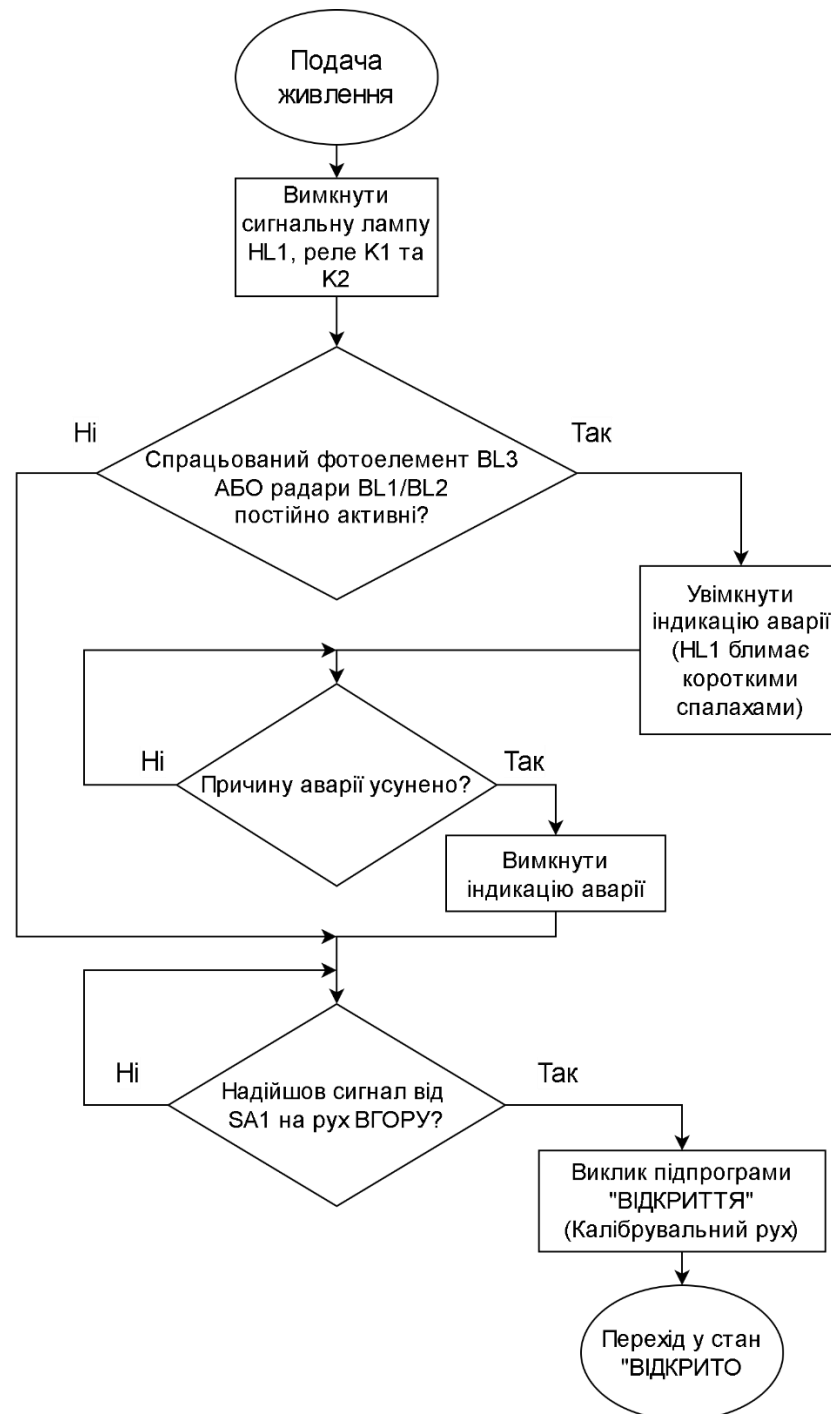


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритму ініціалізації та початкового стану системи

За умови успішного проходження самодіагностики, мікроконтролер переходить у режим очікування першої команди. Оскільки після знеструмлення система не знає поточного фізичного положення полотна, першим дозволеним маневром є рух вгору. Після надходження сигналу від кнопкового поста SA1 на підняття, контролер викликає підпрограму “ВІДКРИТТЯ” (калібрувальний рух). По завершенню цього руху кінцевий автомат фіксує свій глобальний стан як “ВІДКРИТО”, після чого стає доступним повний спектр команд.

Алгоритм роботи системи у режимі підняття (підпрограма “ВГОРУ”) (рис. 3.2) активується після надходження відповідного сигналу від кнопкового поста ручного керування SA1. Першочергово мікроконтролер подає сигнал на порт 25, активуючи котушку проміжного реле KL1, що вмикає сигнальну лампу HL1. Програма реалізує фіксовану витримку часу тривалістю 2 секунди. Цей крок є критично важливим для промислової безпеки, оскільки він заздалегідь попереджає персонал про початок руху механізованого полотна.

Після закінчення 2-секундної затримки контролер подає логічний сигнал на порт 33, який вмикає твердотільне реле K2, що замикає силовий контур живлення обмотки підняття привода. Одночасно з цим запускається програмний таймер зворотного відліку, налаштований на 46 секунд.

Під час руху полотна програма перебуває в постійному циклі опитування стану кнопок. Якщо оператор повторно натискає клавішу кнопкового поста SA1, алгоритм миттєво знімає сигнал керування з реле K2 (рух зупиняється) та ставить на паузу відлік часу програмного таймера. Для відновлення руху оператор повинен повторно натиснути кнопку “Вгору” на посту SA1. При цьому мікроконтролер відновлює живлення реле K2 та продовжує відлік часу таймера з моменту його зупинки.

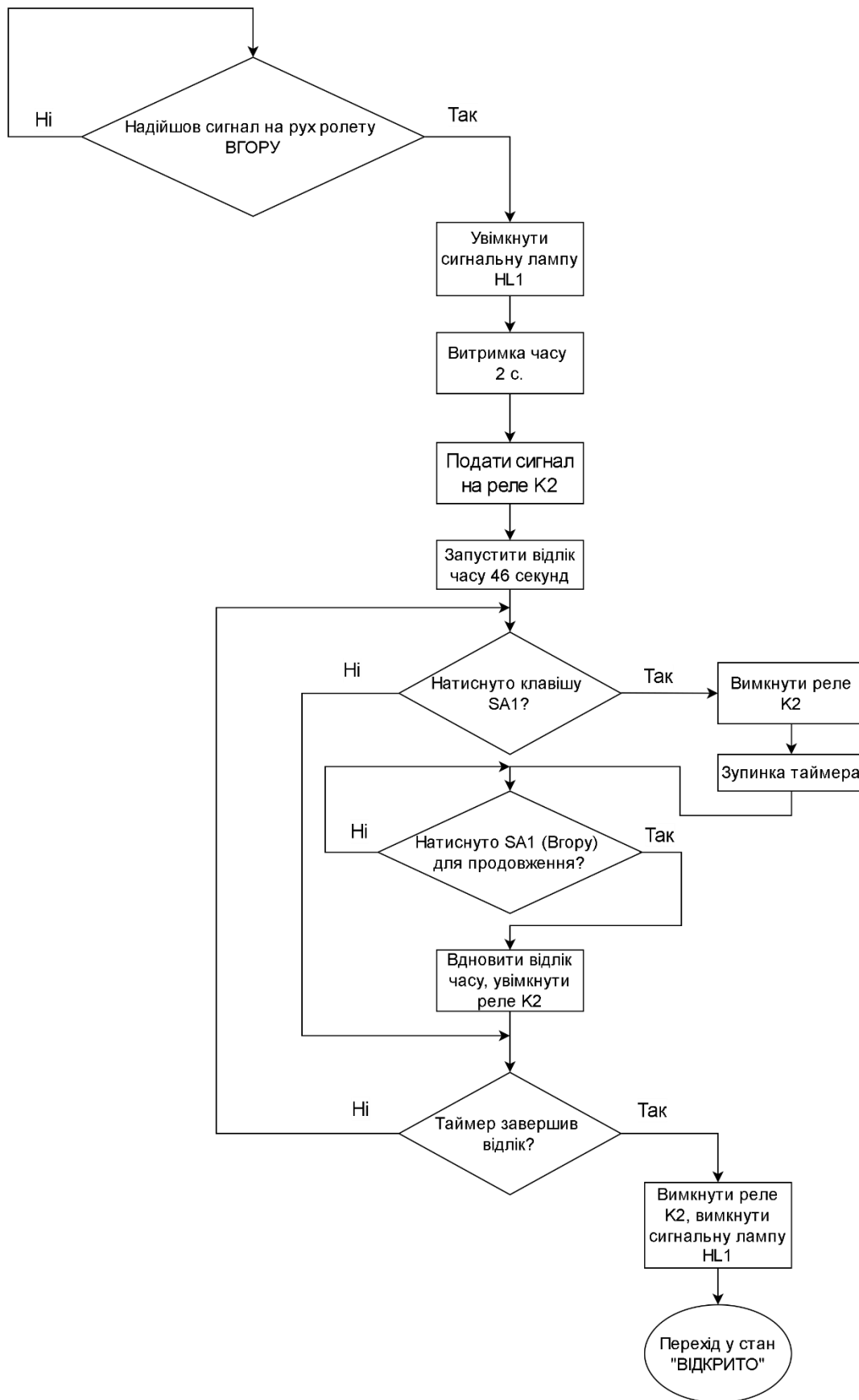


Рисунок 3.2 – Блок-схема алгоритму підняття ролети (підпрограма “ВГОРУ”)

У штатному режимі рух триває доти, доки програмний таймер не завершить повний відлік 46 секунд (фізичний рух припиниться трохи раніше завдяки вбудованим механічним кінцевикам привода, а таймер виступає дублюючим захистом). Після закінчення 46 секунд контролер примусово вимикає реле *K2* та сигнальну лампу *HL1*, а кінцевий автомат фіксує перехід системи у глобальний стабільний стан “ВІДКРИТО”.

Алгоритм опускання (рис.3.3) є найскладнішою частиною програмного забезпечення, оскільки він передбачає безперервну паралельну обробку сигналів від багаторівневого контуру безпеки.

Аналогічно до процесу підняття, на початку циклу мікроконтролер першочергово вмикає сигнальну лампу *HL1*. Витримується захисна пауза тривалістю 2 секунди для попередження персоналу про початок роботи механізму. Після закінчення цієї затримки контролер подає логічний сигнал на порт 32 для увімкнення твердотільного реле *K1*, яке замикає силовий контур опускання привода. Одночасно запускається зворотний відлік програмного таймера тривалістю 46 секунд.

Під час руху вниз програма безперервно сканує стан датчиків та органів керування, маючи чітку ієрархію пріоритетів. Найвищий апаратний пріоритет закріплено за фотоелектричним бар'єром *BL3*. Якщо інфрачервоний промінь у площині воріт переривається, система миттєво знімає напругу з реле *K1* для екстреної зупинки опускання. Після технічної паузи в 1 секунду, необхідної для гасіння інерції привода та запобігання ударним навантаженням на механізм, контролер автоматично вмикає реле *K2*, активуючи рух вгору (реверс). Одразу запускається таймер на 46 секунд для повного відкриття ролети, після чого система переходить у стан “ВІДКРИТО”.

Наступним рівнем безпеки є радары руху *BL1* та *BL2*. Якщо вони фіксують перешкоду в зонах підходу, алгоритм призупиняє роботу привода (вимикає реле *K1*) і фіксує відлік таймера. Програма переходить у цикл очікування: як тільки об'єкт покидає зону детекції, відлік часу відновлюється, реле *K1* вмикається, і рух вниз продовжується.

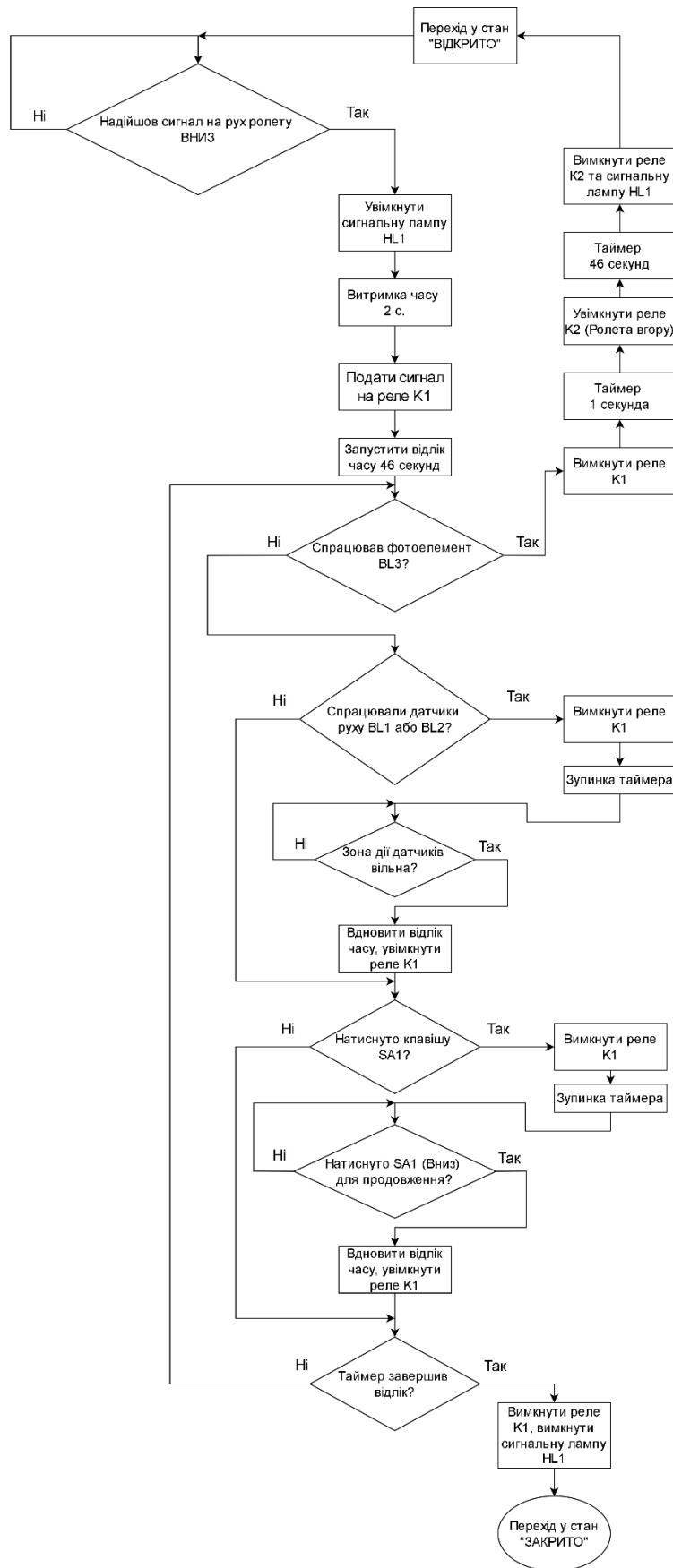


Рисунок 3.3 – Блок-схема алгоритму опускання ролети (підпрограма “ВНИЗ”)

Крім того, передбачено контур ручного втручання через кнопковий пост SA1. При натисканні кнопки оператором під час руху, опускання припиняється, а таймер ставиться на паузу. Продовження роботи алгоритму (відновлення живлення $K1$ та відліку часу) можливе лише після повторного натискання кнопки “Вниз” на посту SA1.

У штатному режимі, якщо під час опускання контур безпеки не ініціював зупинок або реверсу, рух триває до повного закінчення 46-секундного відліку. Після завершення роботи таймера мікроконтролер примусово вимикає реле $K1$, гасить сигнальну лампу $HL1$ та переводить кінцевий автомат у фінальний стабільний стан “ЗАКРИТО”.

Для налаштування програмного таймера в алгоритмі керування необхідно визначити фактичний час, за який ролета здійснює повний цикл відкриття або закриття.

Згідно зі структурною схемою об'єкта, висота отвору воріт становить $H = 4$ м. Для важкого алюмінієвого профілю (площею 16 м^2 та вагою $160\text{--}210$ кг) використовується посилений намотувальний вал. Середній розрахунковий діаметр намотування (з урахуванням збільшення товщини рулону) приймаємо рівним $D = 0,15$ м.

Довжина кола (одного витка) ролети:

$$C = \pi \cdot D \quad (3.1)$$

$$C = 3,14 \cdot 0,15 = 0,471 \text{ м}$$

Кількість обертів вихідного вала, необхідна для повного підняття полотна:

$$N = \frac{H}{C} \quad (3.2)$$

$$N = \frac{4}{0,471} = 8,5 \text{ об}$$

Враховуючи, що номінальна швидкість обертання привода під навантаженням становить $n = 12$ об/хв, розрахуємо фактичний час повного робочого ходу:

$$t = \frac{N}{n} \cdot 60 \quad (3.3)$$

$$t = \frac{8,5}{12} \cdot 60 = 42,5 \text{ с}$$

Отже, фізичне відкриття воріт до спрацювання внутрішніх механічних кінцевиків привода займає близько 42.5 с.

3.2 Написання програмного забезпечення для контролера.

Наступним етапом після затвердження апаратної бази, розробки електричної принципової схеми та візуалізації логіки роботи є безпосереднє написання програмного коду для мікропроцесорного модуля *ESP32*. Програмне забезпечення реалізовано мовою *C++* із суворим дотриманням архітектури скінченного автомата (*State Machine*), що була графічно змодельована у попередньому підрозділі [8].

Зведена таблиця конфігурації портів вводу-виводу (*GPIO*) мікроконтролера, що використовувалася для моделювання та подальшої інтеграції, результати представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Призначення портів вводу-виводу мікроконтролера *ESP32*

Порт ESP32	Апаратний компонент	Логічна дія
GPIO 18	Кнопка поста SA1	Команда ручного підняття (ВГОРУ)
GPIO 17	Кнопка поста SA1	Команда ручного опускання (ВНИЗ)
GPIO 22	Радар руху BL1 (внутрішній)	Апаратне переривання / Пауза
GPIO 23	Радар руху BL2 (зовнішній)	Апаратне переривання / Пауза
GPIO 21	Фотобар'єр Autonics BL3	Екстрена зупинка та реверс
GPIO 32	Твердотільне реле K2	Ввімкнення привода (рух ВГОРУ)
GPIO 33	Твердотільне реле K1	Ввімкнення привода (рух ВНИЗ)
GPIO 25	Реле KL1 / Лампа HL1	Попереджувальна сигналізація

Під час розробки програмної частини враховано всі раніше обґрунтовані інженерні та схемотехнічні вимоги. Зокрема, ініціалізація портів вводу-виводу (*GPIO*) здійснюється з конфігурацією внутрішньої апаратної підтяжки (*Pull-up*), а логіка зчитування сигналів адаптована під *NPN*-виходи обраної сенсорної апаратури. Ключовою особливістю написаного коду є повна відмова від функцій жорсткої програмної затримки процесора. Замість цього використовуються неблокуючі програмні таймери (на базі системного лічильника мілісекунд), що гарантує безперервний паралельний моніторинг контуру безпеки. Такий підхід забезпечує миттєву апаратну реакцію системи на спрацювання фотоелектричного бар'єра або радарів руху, дозволяючи

контролеру ініціювати екстрену зупинку або реверс привода за частки секунди [8].

Код програми:

```
// --- ПІНИ ТА ТАЙМЕРИ ---  
  
const int PIN_K1 = 33, PIN_K2 = 32, PIN_HL1 = 25;  
const int PIN_BTN_UP = 18, PIN_BTN_DOWN = 17, PIN_BL3 = 21, PIN_BL1 =  
22, PIN_BL2 = 23;  
  
const unsigned long TIME_PRE_ALARM = 2000, TIME_FULL_MOVE = 46000,  
TIME_DEADTIME = 500;  
  
  
// --- СТАНИ СИСТЕМИ (State Machine) ---  
  
enum GateState { STATE_INIT, STATE_ERROR, STATE_IDLE_CLOSED,  
STATE_IDLE_OPEN,  
STATE_PRE_ALARM_UP, STATE_PRE_ALARM_DOWN,  
STATE_MOVING_UP,  
STATE_MOVING_DOWN, STATE_PAUSE_MANUAL,  
STATE_PAUSE_SENSOR, STATE_REVERSE_WAIT };  
  
GateState currentState = STATE_INIT, stateAfterPause;  
  
  
unsigned long stateStartTime = 0, timeRemaining = 0, errorBlinkTimer = 0;  
unsigned long lastBtnUpPressTime = 0, lastBtnDownPressTime = 0;  
bool errorLampState = false, lastBtnUpState = HIGH, lastBtnDownState =  
HIGH;  
  
  
void setup() {  
    // Налаштування виходів та початковий стан (вимкнено)  
    pinMode(PIN_K1, OUTPUT); pinMode(PIN_K2, OUTPUT);  
    pinMode(PIN_HL1, OUTPUT);  
    digitalWrite(PIN_K1, LOW); digitalWrite(PIN_K2, LOW);  
    digitalWrite(PIN_HL1, LOW);
```

```

// Налаштування входів з підтяжкою до 3.3V
pinMode(PIN_BTN_UP, INPUT_PULLUP); pinMode(PIN_BTN_DOWN,
INPUT_PULLUP);

pinMode(PIN_BL3, INPUT_PULLUP); pinMode(PIN_BL1, INPUT_PULLUP);
pinMode(PIN_BL2, INPUT_PULLUP);
}

void loop() {
    unsigned long curMs = millis();
    bool isBL1 = !digitalRead(PIN_BL1), isBL2 = !digitalRead(PIN_BL2), isBL3 =
!digitalRead(PIN_BL3);
    bool anyRadar = isBL1 || isBL2;

    // Антибрязкіт кнопок (Debounce)
    bool isBtnUp = false, curUp = digitalRead(PIN_BTN_UP);
    if (curUp == LOW && lastBtnUpState == HIGH && curMs -
lastBtnUpPressTime > 200) {
        isBtnUp = true; lastBtnUpPressTime = curMs;
    }
    lastBtnUpState = curUp;

    bool isBtnDown = false, curDown = digitalRead(PIN_BTN_DOWN);
    if (curDown == LOW && lastBtnDownState == HIGH && curMs -
lastBtnDownPressTime > 200) {
        isBtnDown = true; lastBtnDownPressTime = curMs;
    }
    lastBtnDownState = curDown;
    bool anyBtn = isBtnUp || isBtnDown;

```

```

// --- ГОЛОВНАЯ ЛОГИКА: КОНЦЕВЫЙ АВТОМАТ ---
switch (currentState) {
    case STATE_INIT:
        if (isBL3 || anyRadar) currentState = STATE_ERROR;
        else if (isBtnUp) {
            timeRemaining = TIME_FULL_MOVE; stateStartTime = curMs;
            digitalWrite(PIN_HL1, HIGH); currentState = STATE_PRE_ALARM_UP;
        }
        break;

    case STATE_ERROR:
        if (curMs - errorBlinkTimer > 500) {
            errorBlinkTimer = curMs; errorLampState = !errorLampState;
            digitalWrite(PIN_HL1, errorLampState);
        }
        if (!isBL3 && !anyRadar) { digitalWrite(PIN_HL1, LOW); currentState =
STATE_INIT; }
        break;

    case STATE_IDLE_CLOSED:
        if (isBtnUp) {
            timeRemaining = TIME_FULL_MOVE; stateStartTime = curMs;
            digitalWrite(PIN_HL1, HIGH); currentState = STATE_PRE_ALARM_UP;
        }
        break;

    case STATE_IDLE_OPEN:
        if (isBtnDown) {
            timeRemaining = TIME_FULL_MOVE; stateStartTime = curMs;

```

```

        digitalWrite(PIN_HL1, HIGH); currentState =
STATE_PRE_ALARM_DOWN;
    }
    break;

case STATE_PRE_ALARM_UP:
    if (curMs - stateStartTime >= TIME_PRE_ALARM) {
        digitalWrite(PIN_K2, HIGH); stateStartTime = curMs; currentState =
STATE_MOVING_UP;
    }
    break;

case STATE_PRE_ALARM_DOWN:
    if (curMs - stateStartTime >= TIME_PRE_ALARM) {
        digitalWrite(PIN_K1, HIGH); stateStartTime = curMs; currentState =
STATE_MOVING_DOWN;
    }
    break;

case STATE_MOVING_UP:
    if (anyBtn) {
        digitalWrite(PIN_K2, LOW); timeRemaining -= (curMs - stateStartTime);
        stateAfterPause = STATE_MOVING_UP; currentState =
STATE_PAUSE_MANUAL;
    } else if (curMs - stateStartTime >= timeRemaining) {
        digitalWrite(PIN_K2, LOW); digitalWrite(PIN_HL1, LOW); currentState =
STATE_IDLE_OPEN;
    }
    break;

```

```

case STATE_MOVING_DOWN:
    if (isBL3) {
        digitalWrite(PIN_K1, LOW); stateStartTime = curMs; currentState =
STATE_REVERSE_WAIT;
    } else if (anyRadar) {
        digitalWrite(PIN_K1, LOW); timeRemaining -= (curMs - stateStartTime);
currentState = STATE_PAUSE_SENSOR;
    } else if (anyBtn) {
        digitalWrite(PIN_K1, LOW); timeRemaining -= (curMs - stateStartTime);
        stateAfterPause = STATE_MOVING_DOWN; currentState =
STATE_PAUSE_MANUAL;
    } else if (curMs - stateStartTime >= timeRemaining) {
        digitalWrite(PIN_K1, LOW); digitalWrite(PIN_HL1, LOW); currentState =
STATE_IDLE_CLOSED;
    }
    break;

case STATE_PAUSE_MANUAL:
    if (isBtnUp) {
        if (stateAfterPause != STATE_MOVING_UP) timeRemaining =
TIME_FULL_MOVE;
        stateStartTime = curMs; digitalWrite(PIN_HL1, HIGH); currentState =
STATE_PRE_ALARM_UP;
    } else if (isBtnDown) {
        if (stateAfterPause != STATE_MOVING_DOWN) timeRemaining =
TIME_FULL_MOVE;
        stateStartTime = curMs; digitalWrite(PIN_HL1, HIGH); currentState =
STATE_PRE_ALARM_DOWN;
    }
    break;

```

```

    case STATE_PAUSE_SENSOR:
        if (!anyRadar) { stateStartTime = curMs; digitalWrite(PIN_K1, HIGH);
currentState = STATE_MOVING_DOWN; }
        break;

    case STATE_REVERSE_WAIT:
        if (curMs - stateStartTime >= TIME_DEADTIME) {
            timeRemaining = TIME_FULL_MOVE; stateStartTime = curMs;
            digitalWrite(PIN_K2, HIGH); currentState = STATE_MOVING_UP;
        }
        break;
    }
}

```

Для компіляції та завантаження розробленої програми в пам'ять мікроконтролера *ESP32* використовується середовище *Arduino IDE* з інстальованим пакетом підтримки плат *Espressif*. Фізичне підключення модуля до персонального комп'ютера здійснюється за допомогою стандартного *USB*-кабелю. Після вибору відповідної моделі плати та *COM*-порту в налаштуваннях програмного середовища, вихідний код компілюється і автоматично записується у флеш-пам'ять мікропроцесора через вбудований перетворювач інтерфейсів *USB-UART*. Одразу після завершення прошивки та подальшого перезавантаження плати система готова до роботи і переходить у початковий стан ініціалізації [18].

3.3 Тестування та аналіз часових характеристик роботи воріт.

Для перевірки програмного коду та логіки роботи кінцевого автомата до фізичного складання прототипу, систему було протестовано у віртуальному

середовищі. Моделювання здійснювалося за допомогою онлайн-симулятора *Wokwi*, що забезпечує апаратну емуляцію мікроконтролерів *ESP32* [17].

Використання симулятора дозволило відтворити електричну принципову схему з використанням віртуальних компонентів: мікроконтролера, кнопок (для імітації ручного керування), повзункових перемикачів (для імітації тривалих сигналів від радарів руху та фотоелемента) та світлодіодів (для індикації спрацювання силових реле *K1*, *K2* та сигнальної лампи *HL1*). Такий підхід дав змогу безпечно відлагодити програмні таймери та перевірити пріоритетність спрацювання контурів безпеки в режимі реального часу. Візуальна модель розробленої схеми та підключення портів наведені на рисунку 3.4 [17].

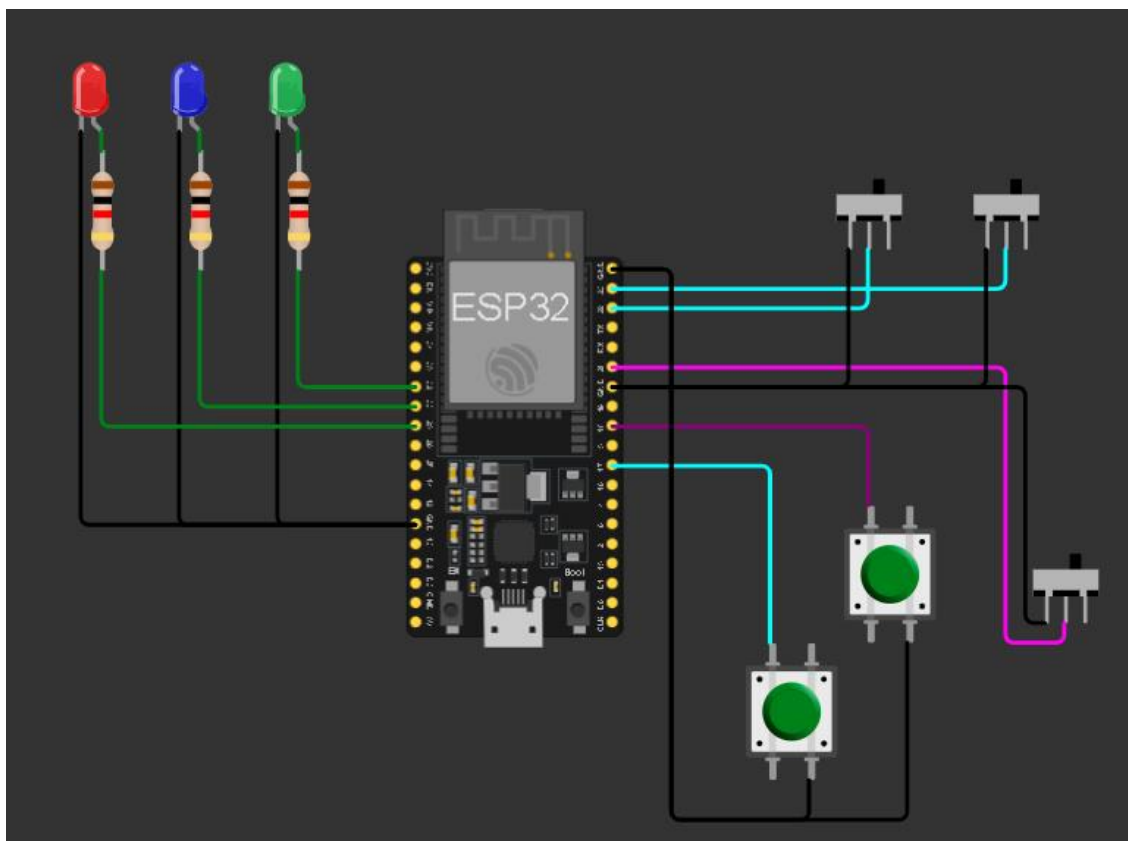


Рисунок 3.4 – Віртуальна модель електричної схеми системи в симуляторі

За результатами моделювання роботи керуючого алгоритму було отримано часові діаграми (осцилограми), які наочно демонструють реакцію

мікроконтролера на вхідні сигнали та підтверджують правильність розрахованих програмних затримок.

На осцилограмі зображено класичний робочий цикл системи (рис. 3.5). При надходженні керівного сигналу від кнопки “Вгору” (на 1-й секунді) мікроконтролер миттєво активує сигнальну лампу *HL1*. Відповідно до алгоритму безпеки, вмикання твердотільного реле *K2* (рух вгору) відбувається з фіксованою затримкою у 2 секунди (на 3-й секунді). Рух триває рівно 46 секунд, після чого на 49-й секунді контролер автоматично знімає живлення з реле та вимикає лампу – привод досягає стану “ВІДКРИТО”.

Аналогічна логіка відпрацьовує при поданні команди “Вниз” (на 55-й секунді): система витримує 2-секундний “предаларм”, після чого активує реле *K1* на 46 секунд (до 103-ї секунди), переводячи ролету в стан “ЗАКРИТО”. Таймери працюють абсолютно коректно.

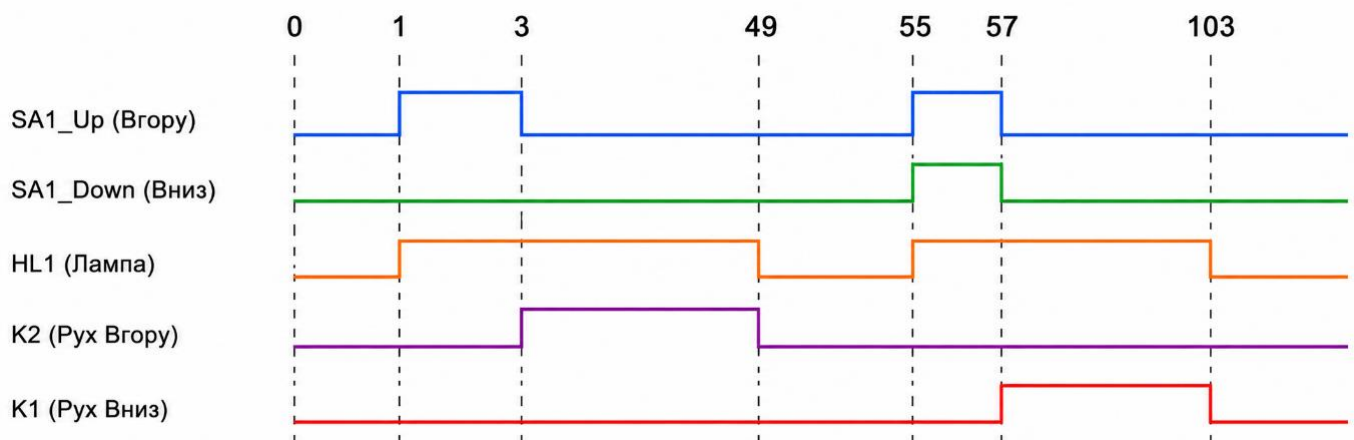


Рисунок 3.5 – Часова діаграма штатного циклу роботи привода без втручання контурів безпеки

Друга осцилограма демонструє найвищий пріоритет апаратного контуру безпеки (рис. 3.6). Система починає стандартне опускання полотна (кнопка “Вниз” натиснута на 1-й секунді, рух починається на 3-й). Однак, на 15-й секунді відбувається перетин інфрачервоного променя фотоелектричного датчика BL3.

Друга осцилограма демонструє найвищий пріоритет апаратного контуру безпеки. Система починає стандартне опускання полотна (кнопка “Вниз” натиснута на 1-й секундї, рух починається на 3-й). Однак, на 15-й секундї відбувається перетин інфрачервоного променя фотоелектричного датчика BL3.

Алгоритм реагує миттєво: реле K1 (рух вниз) екстрено вимикається. Далі програма витримує технічну захисну паузу тривалістю 0.5 секундї (між 15-ю та 15.5-ю секундями), що необхідно для гасіння кінетичної інерції привода та запобігання перевантаженню механіки. Після цієї мікропаузи (на відмітці 15.5 с) контролер автоматично вмикає реле K2, ініціюючи екстрений реверс вгору. Відлік нового 46-секундного таймера завершується на 61.5 секундї повним відкриттям зони проїзду.

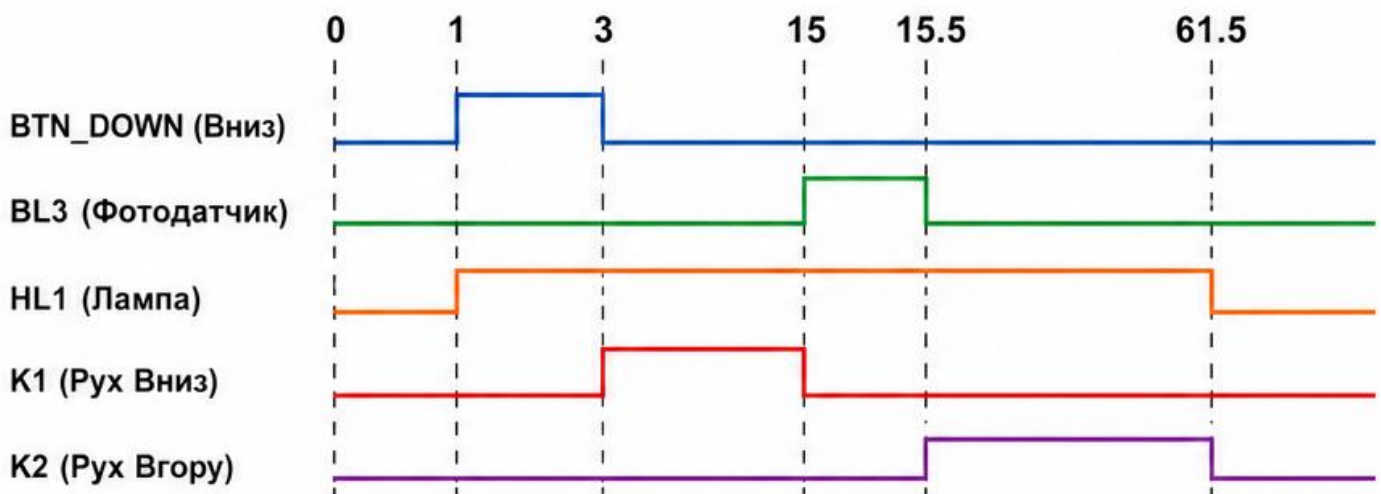


Рисунок 3.6 – Часова діаграма роботи системи при екстреному спрацюванні фотоелектричного датчика

Третя діаграма підтверджує коректність роботи математичного апарату програмних таймерів (рис. 3.7). На 3-й секундї починається штатне підняття ролети. На 10-й секундї оператор натискає протилежну кнопку, що викликає

миттєву зупинку привода (реле K2 та лампа вимикаються). Час, який ролета перебувала в русі (7 секунд), фіксується у пам'яті контролера.

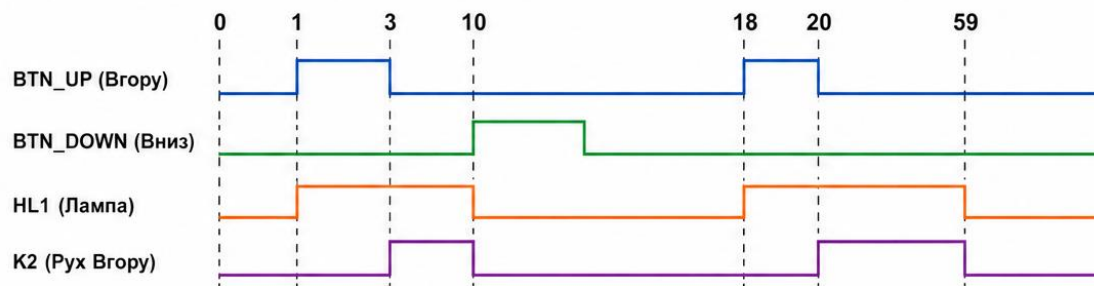


Рисунок 3.7 – Часова діаграма переривання та відновлення роботи привода

На 18-й секунді рух відновлюється. Відпрацювавши 2-секундний «предаларм», на 20-й секунді вмикається реле K2. Привод працює залишкові 39 секунд і зупиняється на 59-й. Така логіка доводить, що багаторазові зупинки зберігають точність загального часу роботи алгоритму.

Висновки за розділом

У розділі спроектовано програмне забезпечення системи керування ролетою для ESP32. Логіку роботи структуровано блок-схемами та реалізовано мовою C++. Використання неблокуючих таймерів замість жорстких затримок гарантувало безперервний моніторинг безпеки та миттєву реакцію системи на перешкоди.

Працездатність алгоритмів верифіковано у віртуальному середовищі. Осцилограми підтвердили точне відпрацювання 2-секундної сигналізації, ручних пауз та екстреного реверсу. Розроблена програмна частина відповідає вимогам безпеки і повністю готова до апаратної інтеграції.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз умов праці під час експлуатації автоматизованих ролетних систем

Під час експлуатації масивних автоматизованих ролетних систем особлива увага повинна приділятися забезпеченню безпечних умов праці оператора та безпечному перебуванню людей у робочій зоні. Промислові та габаритні гаражні ролети належать до обладнання з підвищеним ризиком, оскільки рух масивного металевого полотна здійснюється за допомогою потужного електропривода. Наявність рухомих механічних елементів, силових електричних кіл та систем керування створює потенційну небезпеку травмування працівників або пошкодження майна у разі недотримання вимог охорони праці та правил експлуатації [19].

До основних небезпечних факторів під час роботи автоматичних ролет належать: рух важкої стулки, можливість удару людини чи транспортного засобу в площині опускання (зоні перекриття), ураження електричним струмом, а також небезпека виникнення аварійних ситуацій через несправність керуючої логіки або виконавчих механізмів.

Одним із важливих факторів безпеки є правильна організація електроживлення обладнання. У даній роботі система керування ролетою побудована на базі мікроконтролера ESP32, твердотільних реле SSR-25 DA, блоку живлення HDR-30 та внутрішньовального трубчастого електродвигуна. Експлуатація такого електротехнічного обладнання вимагає обов'язкового виконання заходів щодо захисту від ураження електричним струмом. Для цього необхідно використовувати автоматичні вимикачі, пристрої захисного відключення (ПЗВ), надійне заземлення напрямних та короба, а також забезпечувати якісну ізоляцію кабельних з'єднань.

Критично важливим елементом безпеки автоматичних воріт є використання засобів безконтактного виявлення перешкод та кінцевих вимикачів. У розробленій системі керування передбачено безперервний контроль зони проїзду за допомогою інфрачервоних фотоелементів (Autonics BEN5M-MDT) та радарів руху (Optex OA-72C). У разі перетину оптичного променя або виявлення об'єкта під час закриття, система миттєво блокує рух та ініціює екстрений реверс електропривода. Додатковим фізичним рубежем захисту виступають контактні гумові кромки. Використання цих засобів дозволяє звести нанівець ризик травмування.

Для підвищення рівня безпеки застосовується дистанційне бездротове керування (по радіоканалу, Wi-Fi або Bluetooth) та впроваджена світлова сигналізація. Програмно реалізована 2-секундна попереджувальна пауза перед кожним запуском двигуна завчасно інформує людей про початок руху механізму. Такий підхід дає змогу оператору контролювати процес із безпечної відстані, перебуваючи поза межами небезпечної зони.

Під час роботи ролетного обладнання також виникає шум та вібрація. Джерелами акустичного дискомфорту є робота трубчастого електродвигуна та механічне тертя ламелей полотна по напрямних профілях. Для зменшення рівня шуму необхідно забезпечити жорстке кріплення короба, використання якісних ущільнювачів та своєчасне технічне обслуговування (очищення напрямних). Крім того, зона проїзду повинна відповідати вимогам норм щодо освітлення.

Особливу увагу необхідно приділяти організації постів керування. Настінні клавішні вимикачі та блоки керування повинні бути розташовані у зручному для оператора, добре освітленому місці. Головний вимикач для зняття напруги з системи повинен мати чітке маркування та бути легкодоступним для швидкого знеструмлення привода у разі виникнення надзвичайної ситуації.

Під час виконання робіт із технічного обслуговування або ремонту ролетної автоматики необхідно обов'язково відключати систему від

електромережі. Забороняється виконувати ремонтні роботи при поданій напрузі або під час руху полотна. До обслуговування електрообладнання допускаються лише фахівці, які мають відповідну групу з електробезпеки.

Використання сучасної мікропроцесорної системи керування дозволяє суттєво підвищити безпеку експлуатації ролетного обладнання. Завдяки застосуванню мікроконтролера ESP32 та алгоритмам на базі неблокуючих таймерів забезпечується безперервний паралельний моніторинг контуру безпеки, миттєве блокування аварійних режимів та запобігання зіткненню ще до моменту фізичного контакту.

4.2 Заходи щодо забезпечення безпечної експлуатації автоматизованої системи керування ролетою

Для забезпечення безпечної експлуатації автоматизованої системи керування ролетою необхідно реалізувати комплекс організаційних та технічних заходів. Їхньою основною метою є запобігання виникненню аварійних ситуацій, захист людей та транспортних засобів від небезпечних факторів, а також забезпечення стабільної роботи обладнання.

Одним із головних заходів є застосування захисного заземлення електрообладнання. Усі металеві елементи конструкції (напрямні, захисний короб), корпус електродвигуна, монтажна шафа та струмопровідні частини повинні бути надійно заземлені. Це мінімізує ризик ураження електричним струмом у разі пошкодження ізоляції або короткого замикання [20].

Для захисту від перевантажень і коротких замикань використовуються автоматичні вимикачі та пристрої захисного відключення (ПЗВ). Блок живлення HDR-30 додатково має вбудований електронний захист від стрибків напруги. Ці апаратні засоби підвищують надійність привода та запобігають термічному пошкодженню твердотільних реле й мікроелектроніки.

Безпека в зоні опускання ролети забезпечується системою безконтактного виявлення перешкод на базі інфрачервоних фотоелементів та

радарів руху. При перетині оптичного променя під час роботи привода система автоматично вимикає опускання та ініціює екстрений реверс, зводячи до мінімуму ризик фізичного удару.

Безпечний запуск привода гарантується дистанційним керуванням та світловою сигналізацією. Робочий цикл розпочинається виключно після 2-секундної попереджувальної паузи із ввімкненням лампи, що виключає фактор раптового руху. Крім того, програма обов'язково перевіряє готовність датчиків безпеки перед кожним стартом.

Важливу роль відіграє програмна частина. Для мікроконтролера ESP32 передбачено безперервний паралельний моніторинг датчиків за допомогою неблокуючих таймерів. У разі несправності фотоелементів або обриву сигнальних ліній, система алгоритмічно переходить у безпечний режим і блокує рух обладнання до усунення неполадки.

Під час експлуатації необхідно регулярно проводити технічне обслуговування: перевіряти стан кабельних з'єднань, надійність кінцевих вимикачів, чистоту лінз оптичних датчиків та контакти реле. Своєчасне очищення напрямних і діагностика електроніки забезпечують стабільну та безпечну роботу автоматики.

Таким чином, реалізація комплексу технічних та організаційних заходів дозволяє забезпечити безпечну експлуатацію системи керування ролетою. Використання мікропроцесорної автоматизації, систем безконтактного блокування та програмного контролю на базі скінченного автомата значно підвищує рівень безпеки та ефективність роботи обладнання.

ВИСНОВОК

У кваліфікаційній роботі вирішено актуальне інженерне завдання з розробки автоматизованої системи керування захисною ролетою на базі ESP32. Аналіз еволюції в'їзних груп показав, що їх ефективність та довговічність досягаються виключно завдяки інженерній синергії, коли трубчастий привод, логіка контролера та комплекс датчиків безпеки ідеально збалансовані під умови експлуатації.

Здійснено техніко-економічне та схемотехнічне обґрунтування елементної бази. Центральним пристроєм обрано ESP32 у поєднанні з радаром Optex та фотобар'єром Autonics. Розрахунок механічної характеристики привода Somfy підтвердив його здатність ефективно долати навантаження. На базі компонентів розроблено принципову електричну схему, яка чітко розмежовує силові ланцюги комутації двигуна та інформаційні контури.

Програмне забезпечення розроблено мовою C++ із застосуванням архітектури скінченного автомата (State Machine). Відмова від жорстких затримок на користь неблокуючих таймерів гарантувала безперервний паралельний моніторинг контурів безпеки та миттєву апаратну реакцію системи на перешкоди.

Працездатність алгоритмів успішно верифіковано шляхом тестування в середовищі емуляції Wokwi. Осцилограми підтвердили коректність закладеної логіки: безпомилкове відпрацювання 2-секундної попереджувальної сигналізації, збереження залишку часу при ручних паузах та миттєву ініціалізацію екстреного реверсу із захисною паузою 0.5 с.

Загалом, розроблена система автоматизації є технічно довершеним та економічно доцільним рішенням. Вона відповідає вимогам промислової безпеки і повністю готова до фізичного монтажу та інтеграції в реальний апаратний комплекс.

Список використаних джерел

1. Смирнов В. М., Халізов М. В. Системи автоматизованого керування електроприводами: підручник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021.
2. Гавриш П. І. Сучасні системи контролю доступу та автоматики: проєктування та монтаж. Київ: Каравела, 2019.
3. Копчак Б. Л. Бездротові мережі та технології Інтернету речей: навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2021.
4. Жуйков В. Я., Терещенко Т. О., Петергеря Ю. С. Мікропроцесорні системи управління в силовій електроніці та електромеханіці. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020.
5. NRF24L01+ Single Chip 2.4GHz Transceiver Product Specification [Електронний ресурс] / Nordic Semiconductor. – Режим доступу: https://infocenter.nordicsemi.com/pdf/nRF24L01P_PS_v1.0.pdf
6. HM-10 Bluetooth 4.0 BLE Module Datasheet [Електронний ресурс] / Jinan Huamao Technology. – Режим доступу: <https://www.rhydolabz.com/documents/37/datasheet%20HM-10.pdf>
7. ESP8266EX Datasheet [Електронний ресурс] / Espressif Systems. – Режим доступу: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf
8. ESP32 Series Datasheet [Електронний ресурс] / Espressif Systems. – Режим доступу: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
9. Somfy LT50 Tubular Motor Technical Data [Електронний ресурс] / Somfy Systems. – Режим доступу: https://service.somfy.com/downloads/in_v5/lt50jet10_32.pdf
10. Бойко В. С., Соколова Н. П. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019.

11. Денисов Ю. О., Рибін О. В. Мікропроцесорні системи автоматизації: навчальний посібник. – Київ: НТУУ “КПІ”, 2014.
12. Пупена О. М. Програмовані логічні контролери в системах автоматизації. Київ: НУХТ, 2017.
13. HDR-30 Series 30W Ultra Slim Step Shape DIN Rail Datasheet [Електронний ресурс] / MEAN WELL. – Режим доступу: <https://www.meanwell.com/Upload/PDF/HDR-30/HDR-30-SPEC.PDF>
14. SSR Series Solid State Relay Datasheet [Електронний ресурс] / Fotek. – Режим доступу: <http://radiolux.com.ua/files/pdf/SSR.pdf>
15. OA-72C Instruction Manual [Електронний ресурс] / OPTEX. – Режим доступу: <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/optex-europe/sensor-downloads/optex-oa-72c-manual-en.pdf>
16. BEN Series Photoelectric Sensor Datasheet [Електронний ресурс] / Autonics. – Режим доступу: <https://vikiwat.com/userfiles/productimages/104872/files/ben-series-datasheet-en.pdf>
17. Wokwi Simulator Documentation [Електронний ресурс] / Wokwi. – Режим доступу: <https://docs.wokwi.com/>
18. Arduino IDE Documentation [Електронний ресурс] / Arduino. – Режим доступу: <https://docs.arduino.cc/software/ide/>
19. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Держнаглядохоронпраці.
20. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підручник. – Львів : Афіша, 2014.

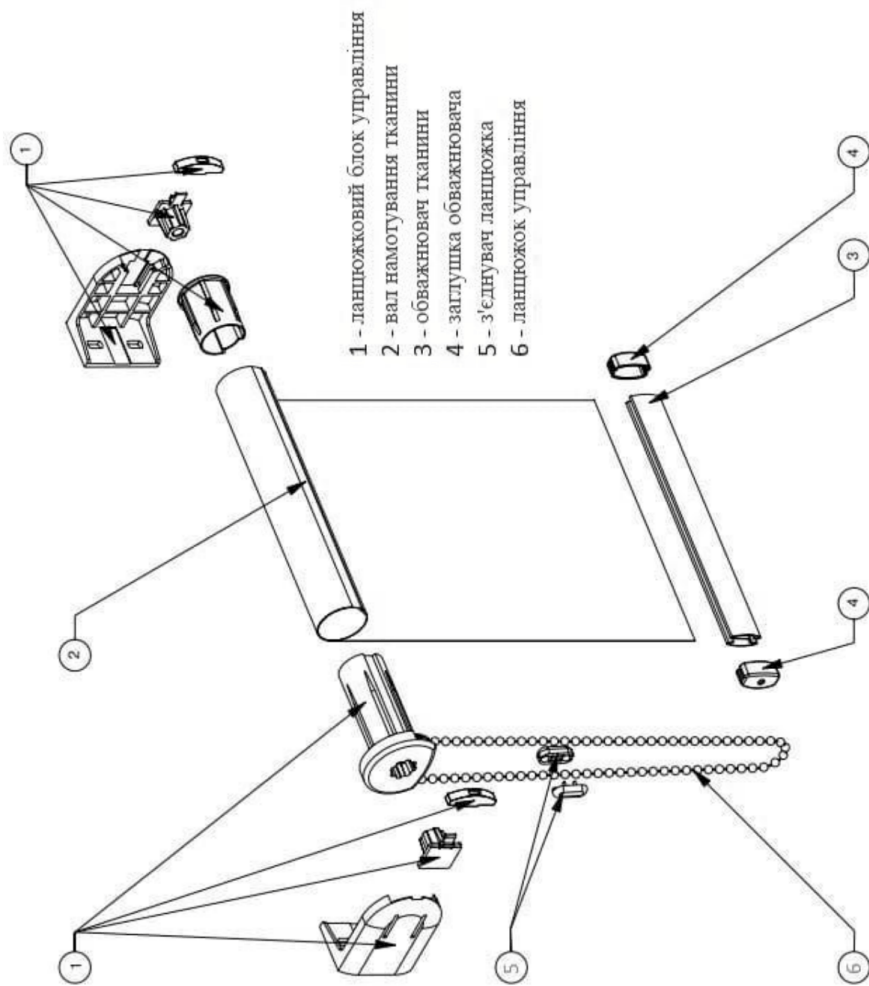
Кваліфікаційна робота для здобуття
ступеню бакалавр на тему:

«Автоматизація відкривання ролетних воріт»

Виконав: студент групи 4311
Чубчик Станіслав Сергійович
Керівник: к.т.н., Іванов А.В.

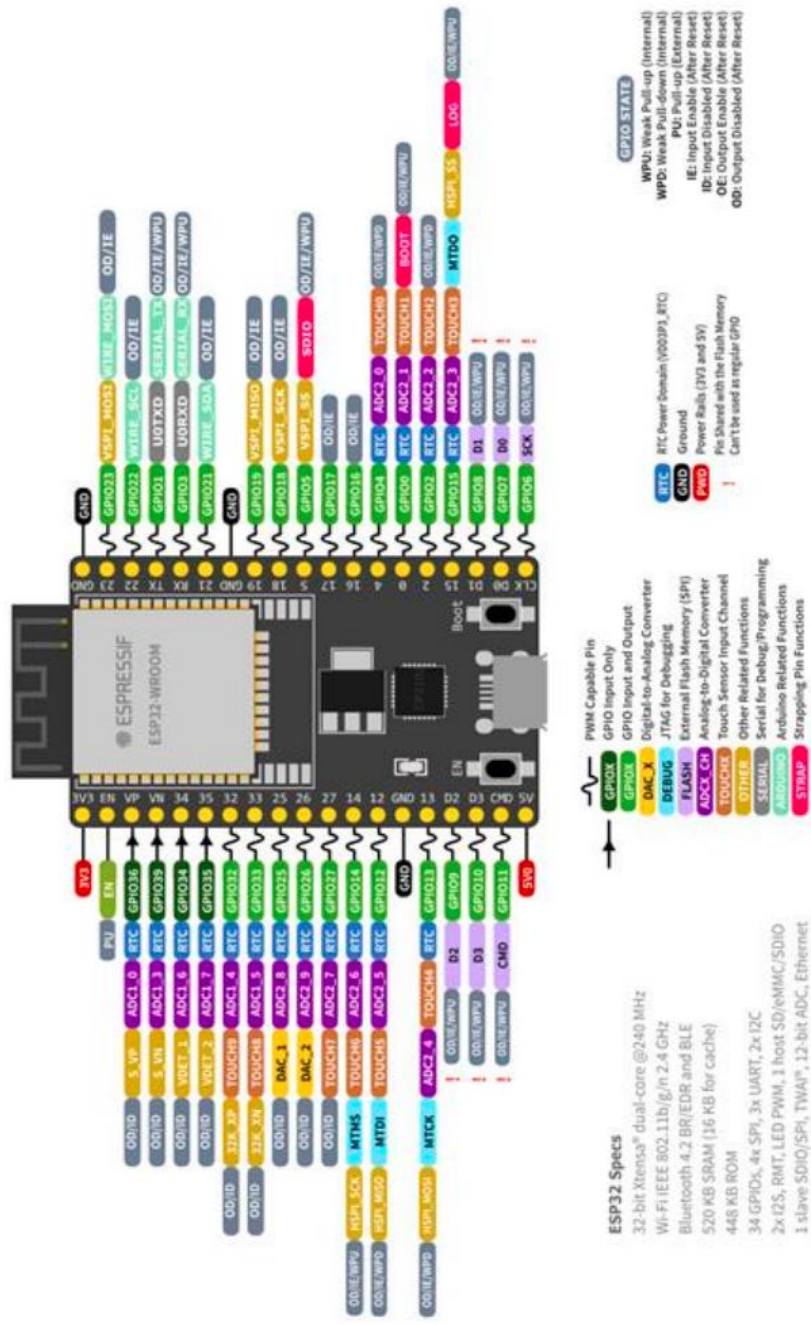
Слайд 1 – Титульний слайд

Будова механічної ролети



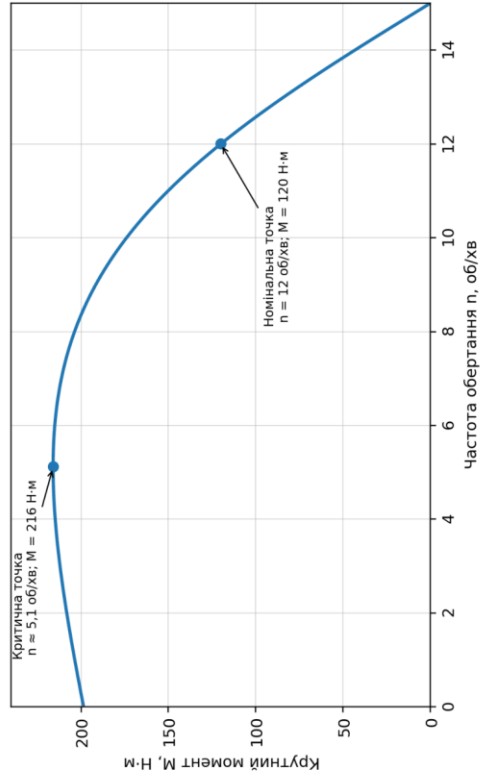
Слайд 2 – Будова механічної ролети

Архітектура портів мікроконтролера ESP32

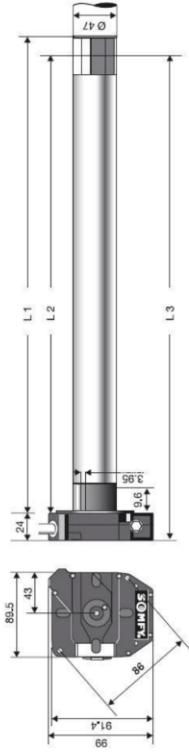


Слайд 3 – Архітектура портів мікроконтролера ESP32

Механічні та габаритні характеристики привода Somfy LT60



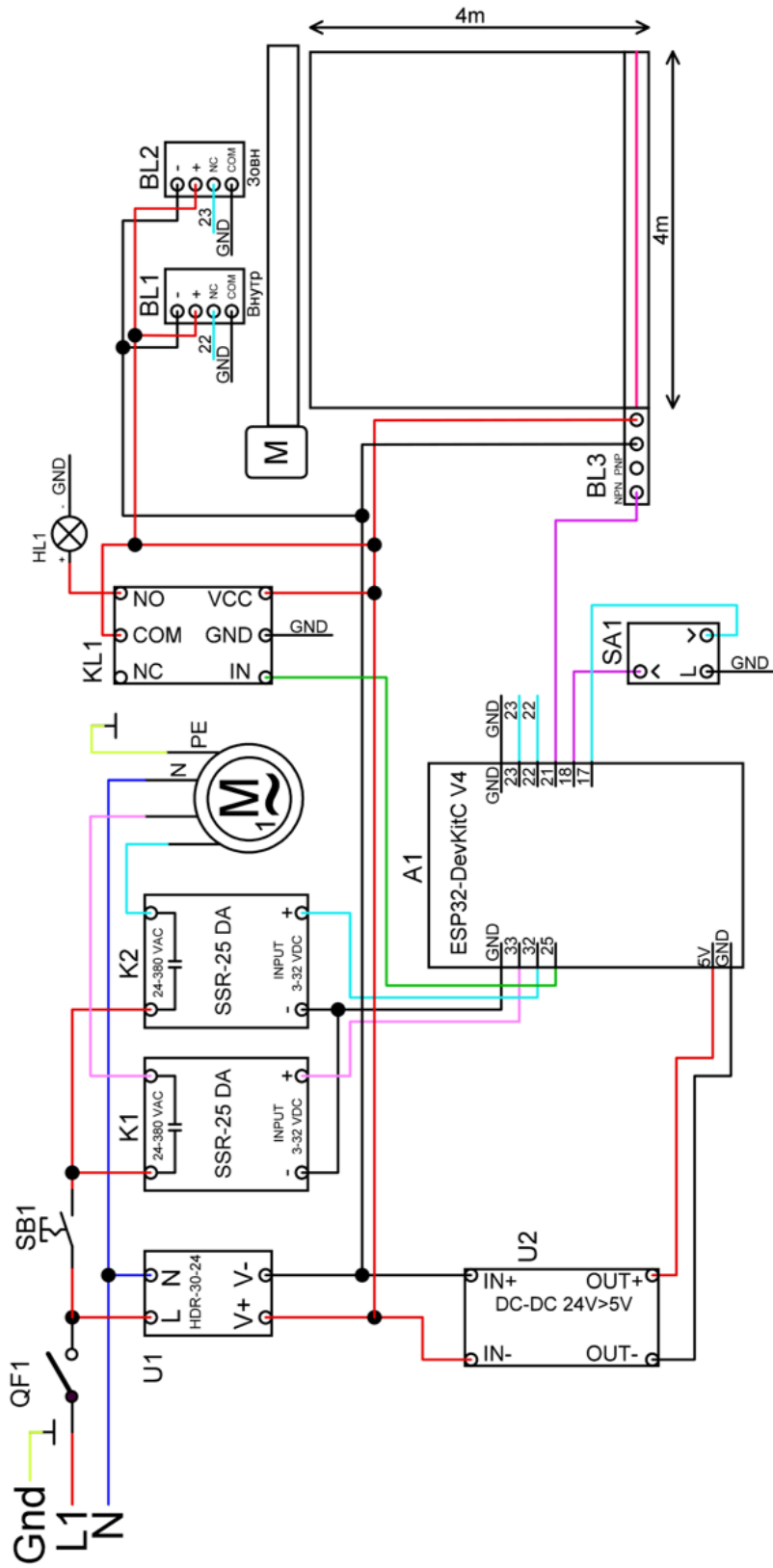
Механічна характеристика привода Somfy LT60



Загальний вигляд привода Somfy LT60

Слайд 4 – Механічні та габаритні характеристики привода Somfy LT60

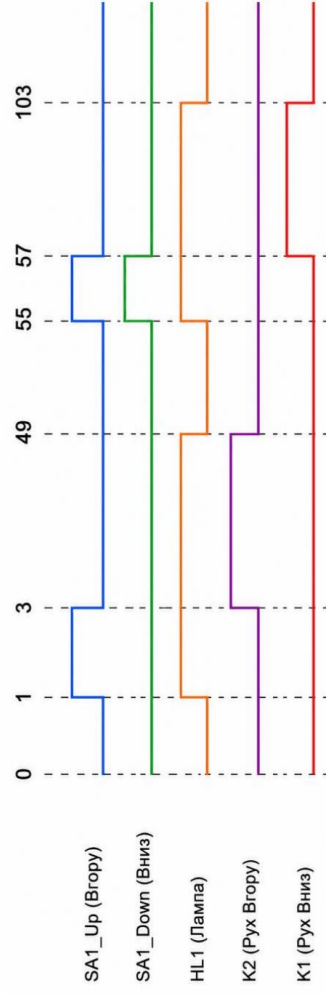
Принципова електрична схема системи керування ролетою



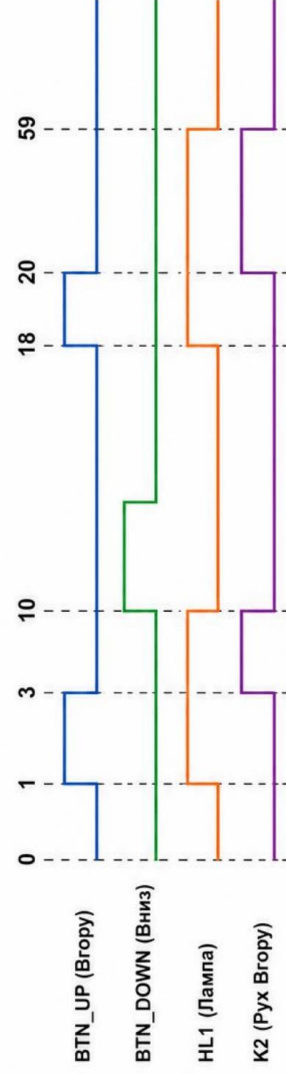
Слайд 5 – Принципова електрична схема системи керування ролетою

Часові діаграми базових режимів роботи електропривода

Циклограма роботи привода в штатному режимі



Циклограма переривання та відновлення роботи привода кнопковим постом



Слайд 7 – Часові діаграми базових режимів роботи електропривода