

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра автоматизації виробничих процесів

«Допущено до захисту»

Зав. кафедри АВП

к.т.н., доцент

_____ Дідик О.К.

« ____ » _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему

**«Автоматизована система керування процесом
завантаження підйомника при паркуванні легкових
автомобілів»**

**«Automated control system for the lift loading process during
car parking»**

Виконав здобувач вищої освіти II курсу групи
АК-23 М-2 (1,4)

174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка»

_____ Петренко С.А.

« ____ » _____ 2024 р.

Керівник роботи

к.т.н, професор

_____ Каліч В.М.

« ____ » _____ 2024 р.

Рецензент

_____ 2024 р.

м. Кропивницький

ЗМІСТ

Вступ.....	3
1 Призначення та область застосування електромеханічної системи автопаркувального підйомника.....	5
1.1 Технології організації автоматичних парковок.....	5
1.2 Загальні відомості про підйомник.....	8
1.3 Будова і робота підйомника та його складових частин.....	11
1.3.1 Опис кінематичної схеми підйомника.....	11
1.4 Опис складових частин автопідйомника.....	13
2 Огляд існуючих рішень та обґрунтування прийнятого принципу побудови виробу.....	18
2.1 Існуюча система керування завантаження підйомника при паркуванні.....	18
2.2 Постановка задачі завантаження підйомника.....	20
3 Опис та обґрунтування обраних проектних рішень та конструкцій.....	23
3.1 Функціональна схема системи.....	23
3.2 Вибір та розрахунок електродвигуна.....	24
3.2.1 Розрахунок потужності двигуна.....	25
3.2.2 Розрахунок максимального статичного моменту на валу двигуна.....	26
3.2.3 Розрахунок сумарного моменту інерції системи приведенного до валу двигуна.....	28
3.3 Розробка датчиків контролю.....	29
3.3.1 Датчик позиціонування платформ.....	29
3.3.2 Датчик контролю наявності автомобіля.....	34
3.4 Розробка структурних схем алгоритмів роботи елементів системи керування.....	37
3.5 Технічна реалізація керуючого пристрою.....	40
3.5.1 Вибір програмованого логічного контролера.....	40

3.5.2 Технічні вимоги до ПЛК.....	41
3.5.3 Середовище програмування ПЛК.....	42
3.5.4 Розробка програми контролера.....	45
4 Розрахунки та експериментальні матеріали, що підтверджують працездатність та надійність виробу.....	56
4.1 Дослідження динамічних характеристик системи.....	56
4.1.1 Розрахунок параметрів асинхронного двигуна за даними каталогу.....	56
4.2 Аналіз динамічних режимів.....	60
Висновок.....	68
Література.....	70
Додаток А. Охорона праці.....	

ВСТУП

Сьогодні в містах України спостерігається суттєве збільшення кількості автомобілів, що створює нагальну потребу у виділенні територій для паркування. Це питання стає особливо актуальним і вимагає нестандартних підходів до вирішення. Найгостріше проблема відчувається в центральних частинах міст, де обмеженість території поєднується з високою інтенсивністю транспортних потоків. Доступність і комфортність паркувальних місць часто виступають ключовим фактором для вибору автомобіля як засобу пересування під час внутрішньоміських поїздок.

З переходом країни до ринкової економіки відбулися суттєві зміни в підходах до розвитку міських територій. Державний контроль за темпами зростання рівня автомобілізації було скасовано, що призвело до неконтрольованого збільшення кількості транспортних засобів. Така ситуація створила специфічні виклики у формуванні інфраструктури паркувальних зон у містах. Наразі спостерігається значна невідповідність між числом приватних автомобілів та рівнем забезпечення організованими місцями для паркування.

Зважаючи на специфіку розвитку міст України в сучасних економічних умовах, виникає нагальна потреба у створенні ефективних підходів до організації паркувальних зон для легкових автомобілів індивідуального користування. Проблема гармонійного поєднання міської забудови з раціональним регулюванням транспортного руху стає дедалі гострішою через стрімке збільшення рівня автомобілізації. За останнє десятиліття значне зростання кількості автотранспортних засобів спричинило надмірне навантаження на вулично-дорожню мережу як у малих, так і у великих містах України, особливо в центральних районах. У зв'язку з цим виникає потреба у розробці та впровадженні дієвих заходів, спрямованих на мінімізацію негативного впливу транспорту на міське середовище.

Раціональним вирішенням проблеми недостатньої кількості місць для паркування є використання сучасних автоматизованих парковок та інноваційних

паркувальних систем. Завдяки таким технологіям можна значно збільшити кількість транспортних засобів, що розміщуються на обмеженій території. Організація виробництва автоматичних парковок безпосередньо в Україні забезпечує суттєве зниження їхньої вартості на 30-40% у порівнянні з аналогічними системами іноземного виробництва, що робить їх більш доступними для впровадження.

1 Призначення та область застосування електромеханічної системи автопаркувального підйомника

1.1 Технології організації автоматичних парковок

Розбудова мережі місць для паркування автомобілів є однією з ключових проблем сучасного містобудування. Ця проблема особливо актуальна для населених пунктів, де рівень автомобілізації значно перевищує доступність територій, придатних для облаштування автостоянок та гаражів.

У містах з історичною забудовою ситуація стає ще складнішою: сучасні вимоги до паркувальних майданчиків, а також прийняті в інших регіонах принципи організації відкритих автостоянок, наземних і підземних гаражів часто суперечать необхідності збереження культурної і архітектурної спадщини, що є унікальним надбанням таких міст.

Великі гаражні кооперативи, що розраховані на понад 1000 автомобілів, зазвичай розміщуються на відкритих ділянках, у санітарно-захисних зонах поруч із залізничними коліями або під естакадами. Менші стоянки, які здебільшого мають комунально-комерційний характер, облаштовуються на незабудованих територіях у різних районах міста. У центральній частині такі стоянки часто займають невеликі орендовані майданчики для паркування, розташовані поблизу проїжджої частини, на газонах чи навіть тротуарах.

Однією з ключових переваг автоматизованих паркувальних систем є можливість значного збільшення кількості місць для автомобілів у кілька разів порівняно з традиційними способами організації стоянок. Наприклад, на площі, яка зазвичай вміщує два транспортні засоби, за допомогою автопаркувального підйомника можна розмістити до десяти автомобілів. Такий ефект досягається завдяки застосуванню компактних підйомно-транспортних пристроїв, які дозволяють розташовувати транспортні засоби на кількох рівнях, що значно оптимізує використання простору.

Під час визначення локацій для зведення гаражів чи облаштування автостоянок слід враховувати такі ключові аспекти:

- Місце розташування у міській структурі: це може бути центральна частина міста, житлові райони, зони тяжіння транспорту (об'єкти зовнішнього транспортного сполучення, громадські споруди) або ділянки вздовж магістралей міського значення для перехоплення транспортних потоків.

- Цільова аудиторія споживачів: користувачами можуть бути місцеві жителі, приїжджі, туристи або відвідувачі значущих громадських об'єктів та закладів культурно-побутового обслуговування.

- Режим функціонування: об'єкти можуть бути постійного, тимчасового чи епізодичного користування. Також можливе застосування схеми "день-ніч", яка передбачає почергове використання стоянок працівниками й відвідувачами спеціалізованих установ у денний час, а мешканцями прилеглих районів — у нічний.

Найбільш дієвим способом розв'язання питання, пов'язаного з паркуванням, є будівництво багаторівневих паркінгів, які можуть бути як підземними, так і наземними (рис. 1.1). Зведення таких споруд доцільно здійснювати поза межами історичних частин міста, здебільшого в мікрорайонах, сформованих у період 1960–1980-х років. У процесі проектування та зведення цих житлових масивів питання організації паркувальних місць залишалося невирішеним, що нині створює значні труднощі для жителів і транспортної інфраструктури.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд підземного (наземного) багаторівневого паркінгу

У сучасних урбанізованих центрах райони з високою густотою населення часто стикаються з гострою нестачею місць для паркування. Такі рішення, як багаторівневі гаражі манежного типу або автоматизовані паркінги, досі не набули значного поширення, головним чином через їхню значну вартість, яка обмежує їх доступність для масового впровадження.

Більшість власників автомобілів прагнуть мати можливість зберігати свої транспортні засоби поблизу місця проживання. Одним із можливих варіантів вирішення цієї проблеми є облаштування автостоянок у структурах житлових будинків. Це може бути реалізовано у вигляді підземного рівня, прибудови чи інтегрованої вставки. Такий підхід відповідає міжнародному досвіду, який підтвердив ефективність використання як паркінгів, інтегрованих у житлові будівлі, так і окремо розташованих наземних механізованих стоянок. Зокрема, у багатьох країнах успішно функціонують паркінги з місткістю понад 60 автомобілів, демонструючи високу ефективність та зручність.

Перспективним напрямком для організації зберігання автомобілів є використання індивідуальних модульних систем автоматизованого паркування (рис. 1.2). Їх різноманітність дозволяє реалізовувати широкий спектр рішень: від дво- чи триповерхових напіввідкритих споруд, які можна встановлювати над

діючими наземними парковками, до багаторівневих висотних башт, що забезпечують значну економію простору та зручність користування.

Серед багатьох прикладів багаторівневих паркінгів і гаражів варто виділити автоматизовані парковки, створені українською компанією "Ліфт-Одеса-Паркінг". Ці системи мають конструкцію, що нагадує стелаж із модулями для розміщення двох автомобілів, які механічно піднімаються на вищі рівні. Усього одна така конструкція здатна вмістити до десяти транспортних засобів. Завдяки швидкому процесу монтажу ці паркінги є мобільними, що дозволяє встановлювати їх у будь-якій локації. Це особливо актуально для історичних міст під час організації масових заходів [19].

Вибір розташування, типу та формату паркувальних зон визначається необхідністю їх облаштування в певній частині міста, з урахуванням специфічних умов міської забудови, техніко-економічних характеристик та обмежень, що обумовлені історико-архітектурною цінністю території. При цьому враховуються можливості гармонійного інтегрування таких об'єктів у загальний міський ландшафт та дотримання вимог збереження культурної спадщини.



Рисунок 1.2 – Загальний вигляд автоматичного модульного паркувальника

Проектування мережі гаражів і парковок, які є невід’ємною частиною транспортної інфраструктури, має велике значення, адже їхнє ефективне розташування безпосередньо впливає на регулювання транспортних потоків. Це, у свою чергу, позначається на створенні комфортного середовища для життя мешканців, покращуючи якість міського простору та підвищуючи його функціональність.

1.2 Загальні відомості про підйомник

Підйомник побудований за принципом «колеса огляду», у якому підвіски з платформами розташовані на замкнутій траєкторії у вертикальній площині з можливістю переміщення по ній [6]. У нижніх позиціях платформ передбачено паркування автомобілів. Платформи підвісок з обох боків шарнірно з’єднані з важелями ланцюгових транспортерів, які розміщені у напрямних передньої та задньої стінок підйомника. На рисунку 1.3 представлено загальний вигляд конструкції багатоярусного підйомника.

Привід ланцюгових транспортерів розміщено на нижній секції передньої стінки. Синхронний вал забезпечує взаємодію транспортерів, що розташовані на передній і задній стінках конструкції. Натяг ланцюгів виконується за допомогою натяжних механізмів, встановлених у верхніх секціях передньої та задньої стінок. Конструкція передньої та задньої стінок складається зі збірних секцій, кількість яких залежить від числа ярусів підйомника. Між собою секції ярусів передньої та задньої стінок з’єднані стягувачами у центральній частині, фундаментом — у нижній частині, а також болтовими з’єднаннями у вертикальному напрямку.

Кількість автомобілів, які здатен розмістити такий підйомник, варіюється від чотирьох до десяти залежно від числа рівнів парковки. Висота автопідйомника, розрахованого на максимальну кількість місць (10 автомобілів), становить не більше 14 метрів. Список основних елементів конструкції підйомника, зображеного на рис. 1.3, представлений у табл.1.1.

Таблиця 1.1 – Перелік складових частин підйомника

Позначення	Найменування
1	Основа
2	Стінка передня
3	Стінка задня
4	Направляючі переміщення платформ
5	Платформа
6	Синхронний вал
7	Коробка передач
8	Передній тяговий ланцюг
9	Задній тяговий ланцюг
10	Пульт керування

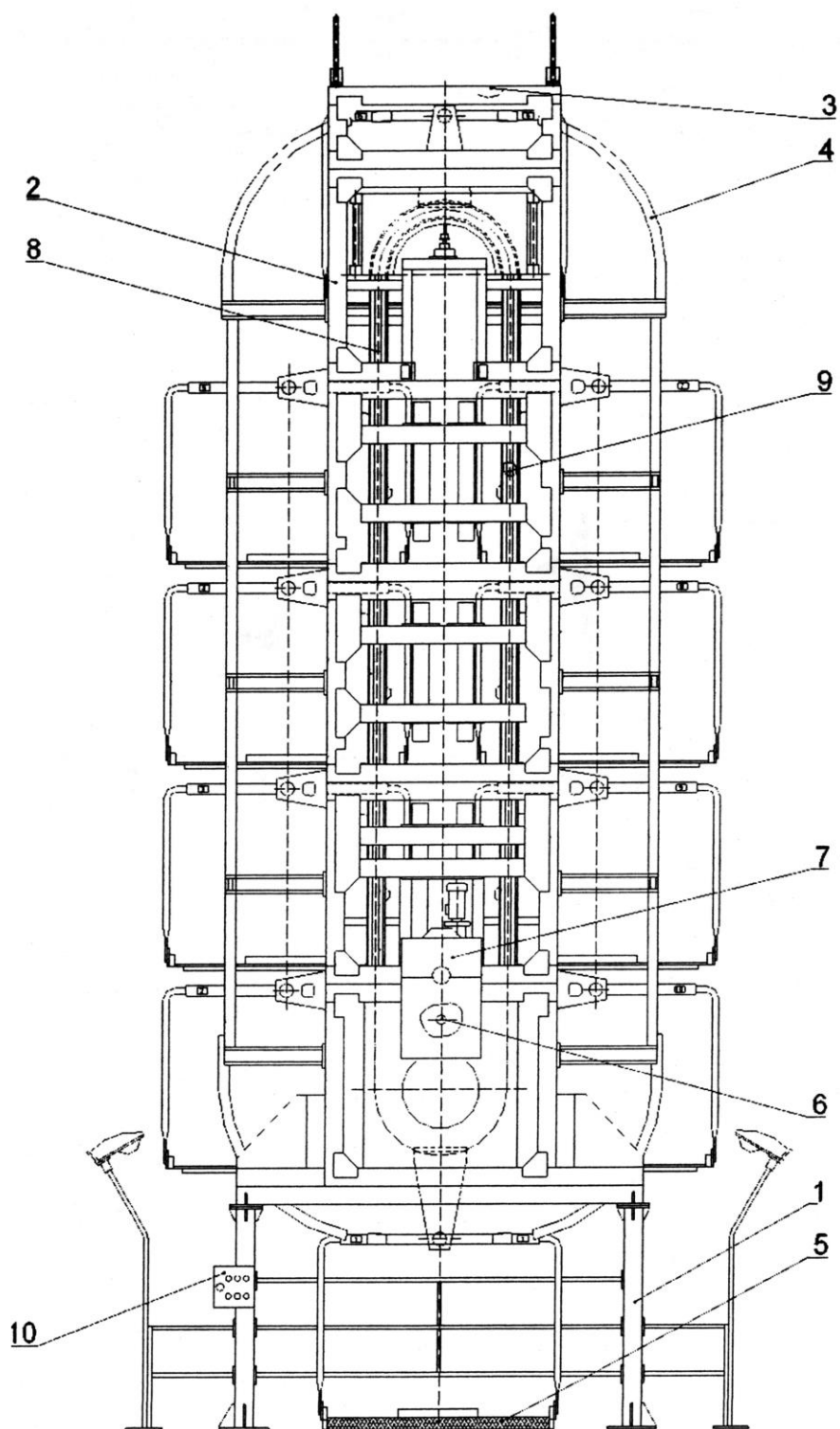


Рисунок 1.3 – Автопаркувальний підйомник ППМ-101

1.3 Будова і робота підйомника та його складових частин

1.3.1 Опис кінематичної схеми підйомника

Підйомний механізм обладнаний ланцюгами, які забезпечують переміщення платформ уздовж заданої траєкторії. Ці платформи можуть транспортувати автомобілі або переміщуватися без них для подальшого розміщення на парковці. Електродвигун передає крутний момент на одноступінчатий черв'ячний редуктор (позначений як елемент 1). Далі через коробку передач і вали I та II цей момент передається на шестерні (елементи 2, 3, 4), які запускають обертання синхронного валу III. Останній, використовуючи зубчасті передачі (елементи 5, 6, 7), передає обертальний рух водилам (елементи 8) і ланцюговим передачам (елементи 9).

Перелік складових частин кінематичної схеми автопідйомника наведений в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Перелік складових частин кінематичної схеми автопарку вального підйомника

Позначення	Найменування
1	Редуктор
2,3,4	Шестерні коробки передач
5,6,7	Зубчасті шестерні
8	Водило
9	Ланцюговий транспортер
10,11	Черв'ячні колеса
12	Шарико-гвинтові передачі
I, II	Проміжні вали коробки передач
III	Синхронний вал

Кінематична схема підйомника приведена на рис. 1.4

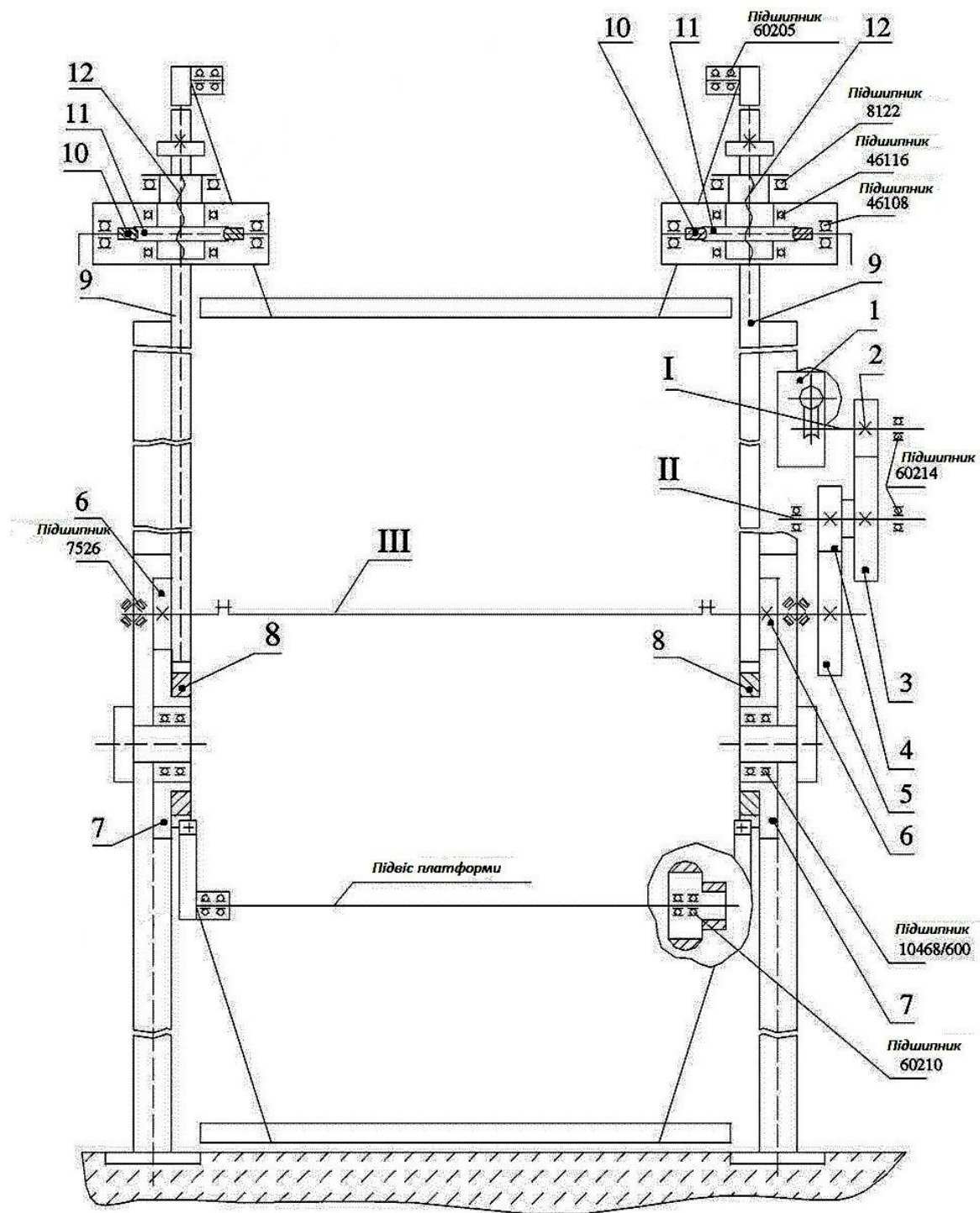


Рисунок 1.4 – Схема кінематична

Регулювання натягу ланцюгових передач здійснюється за рахунок використання черв'ячних редукторів, які включають черв'яки (10) та черв'ячні колеса (11), у поєднанні з кулько-гвинтовими механізмами (12). Ці елементи встановлені у верхніх секціях ланцюгового транспортера, розташованих уздовж передньої та задньої стінок підйомного механізму.

1.4. Опис складових частин автопідйомника

Основа. Конструкція основи складається з двох рам П-подібної форми, які з'єднуються між собою подовжніми трубами в місцях дотику з фундаментом. У верхній частині основа з'єднується з приводними секціями, розташованими на передній і задній стінках.

Передня стінка. Фронтальна стінка конструкції складається з кількох окремих секцій. Кожна секція являє собою зварену раму, виготовлену з труб прямокутного профілю. Вертикальні та горизонтальні елементи рами з'єднуються між собою за допомогою болтів і штифтів. Нижня секція конструкції кріпиться до рам основи, причому це кріплення здійснюється за допомогою болтів і шпильок, а також додатково фіксується поперечною пластиною на торці передньої частини. Така конструктивна схема формує міцний портал, всередині якого передбачається здійснювати процес паркування транспортних засобів.

Передня частина підйомника моделі ППМ101, призначеного для обслуговування 10 автомобілів, складається із шести окремих секцій. У конструкції нижньої секції передбачено можливість встановлення редуктора, який працює у парі з коробкою передач. Окрім того, у цій секції розміщуються синхронізуючий вал із шестернями та направляючі елементи для ланцюгової передачі, що забезпечує стабільність і точність роботи механізму.

Верхня частина ланцюгового транспортера сконструйована аналогічно до інших секцій, але додатково оснащена механізмом для регулювання натягу ланцюгової передачі. Цей механізм включає стаціонарно встановлений черв'ячний редуктор, який забезпечує вертикальне переміщення повзуна за допомогою кульково-гвинтової передачі. Привод черв'яка виконується вручну, що дозволяє регулювати натяг ланцюга шляхом підняття повзуна. У конструкції повзуна передбачені кругові направляючі для ланцюга, які з'єднуються зі спеціальними вставками, що дозволяють інтегрувати їх із вертикальними направляючими. Інші секції транспортера мають спрощену конструкцію, оскільки в них відсутні складні механізми, характерні для нижньої та верхньої секцій.

Задня стінка. Задня стінка конструкції має таку ж будову, як і передня. Вона також складається з шести окремих секцій, призначених для підйомника, розрахованого на десять автомобілів. Нижня частина задньої стінки виготовлена за принципом, подібним до нижньої секції передньої стінки, але з урахуванням змін, які обумовлені відсутністю потреби у встановленні редуктора та коробки передач.

Верхня частина конструкції побудована у дзеркальному відображенні відносно секції передньої стінки, проте використовує аналогічні технічні рішення. Проміжні секції, у свою чергу, мають схожі характеристики та виконання, як і елементи передньої стінки.

Орієнтирні направляючі положення платформи. Орієнтаційні направляючі елементи платформ розроблені для забезпечення їх стабільного вертикального положення, як з автомобілями, так і без них. Для досягнення цієї мети в конструкції передбачено два закріплені ролики, які розташовані на протилежних кінцях квадратної труби платформи. Ці ролики знаходяться на певній відстані від осі шарніра платформи, що забезпечує стабільність. Один із роликів розташовується в П-подібній направляючій, що обмежує можливість відхилення платформи від вертикального положення. Направляючі, що задають траєкторію руху ролика, виготовляються з урахуванням його переміщення як по вертикалі, так і по кривій траєкторії під час переходу шарніра платформи між рівнями підйомника. Оскільки подібні направляючі елементи встановлюються як у зоні передньої стінки, так і біля задньої частини, вони фіксуються до відповідних секцій стінок. Ця конструктивна особливість забезпечує надійність платформи на всіх етапах її роботи.

З огляду на модульну конструкцію підйомників, яка адаптується до різної кількості ярусів, кожна з чотирьох направляючих складається з трьох елементів. Два з них є постійними та розташовуються у зонах верхньої і нижньої секцій, а третій елемент змінюється залежно від характеристик протилежних секцій. Всі частини направляючих з'єднуються між собою у відповідності до конструктивних вимог.

Платформа. Конструкція платформи призначена для забезпечення розміщення автомобіля під час паркування. Основним елементом є база, на яку заїжджає транспортний засіб. У передній частині платформи розташований обмежувач із гумовим упором для запобігання зайвому руху автомобіля. Уздовж бокових сторін основи закріплені металеві труби з фланцями на кінцях, які з'єднуються поперечною трубою. Поперечна труба має шарнірне з'єднання з підвіскою, що забезпечує гнучкість конструкції. В подовжньому напрямку платформи поперечні елементи об'єднані двома паралельними трубами. На поперечних трубах встановлені ролики, які слугують орієнтирами та сприяють точному позиціонуванню платформи під час її переміщення. У конструкції основи передбачено спеціальний канал для заїзду лівих коліс автомобіля, що підвищує зручність використання.

Синхронний вал. Синхронний вал слугує для передачі обертального моменту до осі водила ланцюгової передачі, що розташована на задній стінці конструкції. Через значну довжину валу, він виконаний у трьох окремих сегментах. Перша частина, приводна, пов'язана з шестернею коробки передач через консоль. Друга частина, проміжна, виготовлена у вигляді труби з привареними фланцями, що дозволяють з'єднати її з фланцями першої та третьої секцій, забезпечуючи передачу обертального моменту до водила ланцюгової передачі задньої стінки. Кінцеві частини валу, перша та третя, встановлені на підшипниках кочення, закріплених у корпусах, які, своєю чергою, прикріплені до поперечних труб нижніх секцій стінок. У ролі опор використовуються здвоєні косороликові підшипники. На шийках першої та третьої частин синхронного валу змонтовані шестерні, що передають обертальний момент водилам ланцюгових передач передньої та задньої стінок. Опори шестерень водил закріплюються на стаканах, прикріплених до вертикальних листів нижніх секцій конструкції.

Коробка передач. Механізм коробки передач у поєднанні з черв'ячним редуктором забезпечує ефективну передачу крутного моменту до синхронного валу та водил ланцюгових передач під час обертання. Конструкція включає дві зубчасті передачі: перша передає обертальний рух на проміжний вал, а друга – з

проміжного вала на синхронний. Усі передачі захищені спеціальним корпусом та щитками, що гарантує герметичність і запобігає витіканню мастильних матеріалів за межі конструкції.

Ланцюговий привід. Ланцюговий привід складається з водила ланцюгової передачі, самого ланцюга та елементів, що з'єднані з натягувачем верхніх секцій стінок. Для реалізації цієї передачі використовується тяговий ланцюг з катками, крок якого становить 500 мм. У цьому стандартному типі ланцюга верхня пластина замінена спеціальним важелем, який через шарнір прикріплений до осі платформи. Завдяки цьому механізму рух ланцюга сприяє переміщенню платформи, не змінюючи її вертикальної орієнтації, навіть у ситуаціях, коли важіль разом із ланцюгом переміщується по кругових направляючих у верхніх або нижніх секціях. У процесі встановлення такого ланцюга разом із важелем замінюються також осі, на яких він закріплюється.

Огорожа робочої зони. Огородження робочої зони покриває територію, яка унеможливорює перебування людей під платформами підйомного обладнання. Воно охоплює весь фундаментний майданчик і міцно закріплюється до основи конструкції, забезпечуючи надійність і безпеку експлуатації.

Технічні вимоги

Параметри та технічні властивості автопідйомника мають бути узгоджені з даними, наведеними у табл.1.3.

Таблиця 1.3 – Основні параметри і характеристики

№ п/п	Найменування показників	Значення показників
1	Показники габаритів і маси розміщуваних автомобілів	
1.1	Довжина, см	5200
1.2	Ширина, см	2100
1.3	Висота, см	1600
1.4	Маса одного автомобіля не більше, т	2,15
2	Показники призначення підйомника	
2.1	Кількість встановлених автомобілів, шт	10
2.2	Максимальна вантажопідйомність, не більше, т	21,5
2.3	Швидкість підйому (опускання), не менше, м/хв	1,0
2.4	Висота підйому (від рівня підлоги), мм	12845+10
3	Показники якості позиціонування платформ	
3.1	Точність позиціонування платформи, не більше, м	±0,02
4	Показники силових характеристик	
4.1	Тип електродвигуна	реверсивний
4.2	Вид струму	змінний, трифазний
4.3	Напруга, В	380±38
4.4	Частота, Гц	50±1
5	Габаритні розміри підйомника	
5.1	Довжина, мм	5914
5.2	Ширина, мм	7060
5.3	Висота, мм	13140

2 Огляд існуючих рішень та обґрунтування прийнятого принципу побудови виробу

2.1 Існуюча система керування завантаження підйомника при паркуванні

Параметри та технічні властивості автопідйомника мають бути узгоджені з даними, наведеними у табл.1.3.

Система керування, що присутня на автопаркувальному підйомнику має ряд недоліків:

1. Відсутність оперативного доступу до платформи з транспортним засобом. Для виклику платформи до позиції завантаження або розвантаження необхідно запускати двигун у відповідному напрямку й очікувати, поки обрана платформа досягне необхідної точки. Після цього оператор змушений своєчасно зупиняти механізм, що ускладнює процес і знижує загальну ефективність системи.

2. Відсутність механізму автоматичного балансування підйомника. Конструкція системи не дозволяє тривалого дисбалансу між сторонами підйомного механізму, який перевищує два автомобілі. Через це оператор повинен постійно контролювати заповненість платформ, розраховувати способи їх подачі до нижньої точки, зважаючи на необхідність збереження рівноваги системи. Така вимога значно ускладнює роботу паркувальної системи.

3. Відсутність функції автоматичного вибору напрямку обертання механізму. Оператор змушений вручну визначати положення необхідної платформи та самостійно задавати напрямок запуску двигуна. Це створює додаткові ризики помилок і потребує постійної уваги з боку обслуговуючого персоналу, що уповільнює робочий процес.

Зазначені недоліки є найбільш суттєвими, хоча вони далеко не вичерпують весь спектр можливих проблем. Для забезпечення безпечної експлуатації подібної системи потрібен оператор, який володіє базовими знаннями щодо принципів

функціонування та особливостей автоматизованого управління процесом завантаження автомобілів на підйомник.

На рис.2.1 зображено загальну конфігурацію та зовнішній вигляд наявного пульта управління.

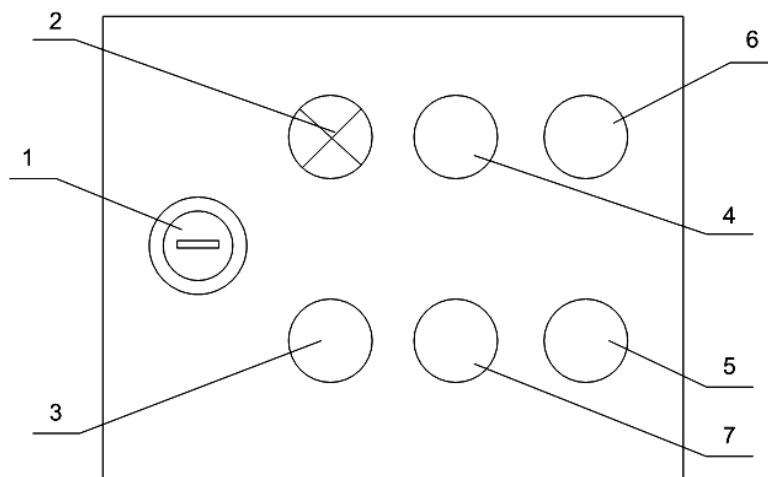


Рисунок 2.1 – Пульт керування підйомником

Перелік органів управління розташованих на пульті:

1. Вмикач живлення.
2. Сигнальна лампочка «Мережа».
3. Кнопка «Стоп».
4. Кнопка «Освітлення справа».
5. Кнопка «Освітлення зліва».
6. Кнопка «Платформа вліво».
7. Кнопка «Платформа вправо».

2.2 Постановка задачі завантаження підйомника

Провівши аналіз слабких сторін чинної системи управління завантаженням підйомного механізму, можна дійти до висновку, що вона вимагає суттєвої модернізації та доопрацювання для забезпечення більш ефективного функціонування.

Сьогоднішнє машинобудування практично немислиме без застосування складних мікросхем, які здатні докорінно змінити уявлення про зручність і

простоту експлуатації різноманітних механізмів. Завдяки доступності та відносно низькій вартості апаратного забезпечення, їх впровадження стає не лише доцільним, а й економічно вигідним рішенням, що знімає всі можливі сумніви щодо їх використання у виробничих процесах.

Для реалізації апаратної частини майбутньої системи управління планується застосування сучасного програмованого логічного контролера (ПЛК), який забезпечує високу надійність, гнучкість і адаптивність у налаштуванні під специфіку технологічного процесу.

Система керування, що розробляється, повинна виконувати наступні функції:

- Забезпечення стабільності конструкції шляхом розподілу платформ відповідно до їх завантаженості, з урахуванням допустимих перевантажень для кожної з них.

- Визначення найближчої доступної платформи для подачі на позицію завантаження, враховуючи необхідність збереження балансу конструкції.

- Управління прямим запуском електродвигуна у двох напрямках для забезпечення функціонування системи.

- Можливість подачі платформи як з автомобілем, так і без нього, використовуючи безконтактні Proximity-карти для доступу.

- Автоматичний вибір напрямку обертання електродвигуна для оптимізації витрат часу та споживання електроенергії.

- Забезпечення функції зупинки електродвигуна у визначений момент.

- Захист від потенційного перевантаження та коротких замикань у системі.

- Точне позиціонування платформ при їх наближенні до зон завантаження або розвантаження автомобілів.

- Контроль процесу в'їзду та виїзду транспортних засобів для кожної з 10 платформ, забезпечуючи безперебійне функціонування системи.

Відповідно до визначених вимог щодо створення системи автоматизованого управління, буде розроблено новий пульт керування (рис. 2.2). Цей пристрій передбачає наявність 10 кнопок для прямого виклику платформ за

їхніми номерами, двох кнопок, що відповідають за вибір напрямку руху платформ, кнопки «Стоп», сигнального індикатора у вигляді лампи з позначенням «!», а також кнопки для активації чи деактивації електроживлення.

На рис.2.2 зображено оновлений дизайн пульта управління автоматизованою системою паркування.

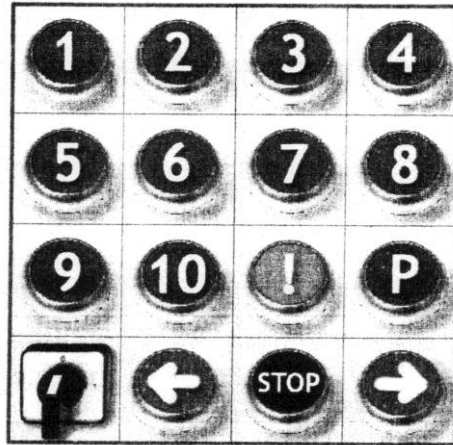


Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд пульта керування

Новий пульт управління дозволяє викликати платформу з автомобілями, використовуючи їхній номерний знак, при цьому напрямок руху підйомника визначається автоматично. Водночас передбачена можливість ручного вибору напрямку руху за допомогою відповідних кнопок. Для екстреного зупинення підйомника в будь-якому його положенні використовується кнопка «STOP». Сигнальна лампа із позначкою «!» служить для індикації можливих порушень балансу системи, що забезпечує додатковий рівень безпеки під час експлуатації.

Поданий пульт управління здійснює взаємодію з програмованим логічним контролером (ПЛК) через передачу дискретних сигналів. Кнопки, розташовані на пульті, мають імпульсну дію і не оснащені механізмом фіксації. Сигнали, що генеруються кожною кнопкою, передаються на відповідні дискретні входи програмованого контролера, забезпечуючи його коректну роботу.

Електрична схема пульта керування представлена на рис. 2.3.

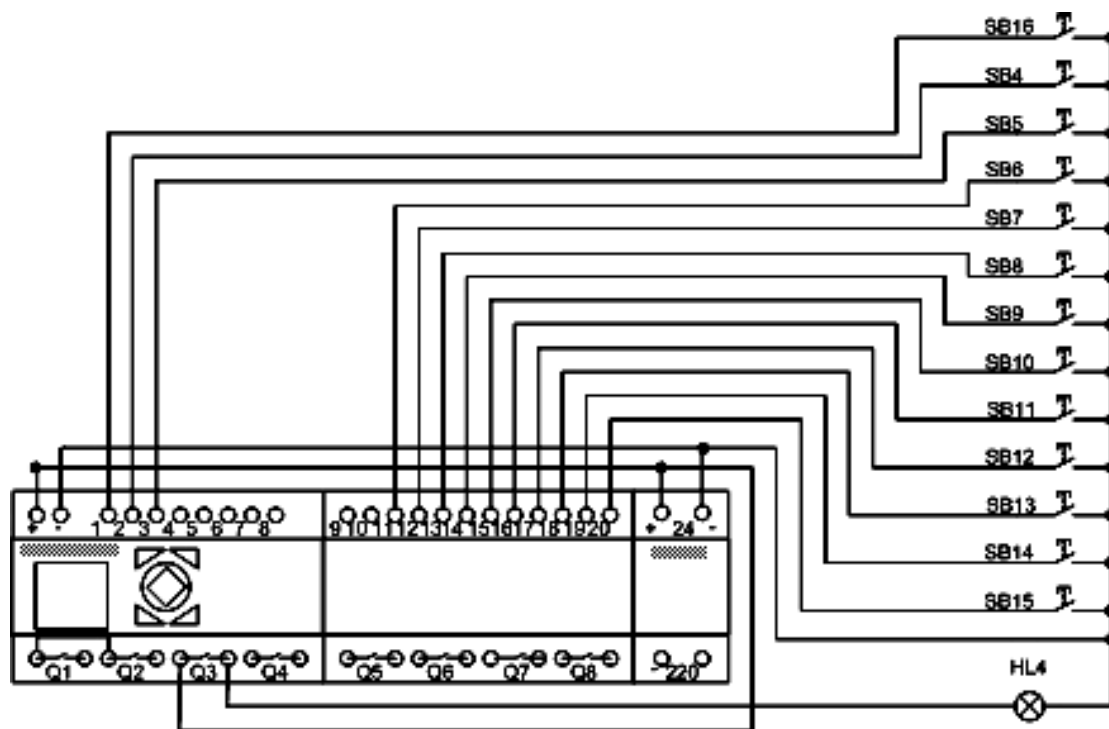


Рисунок 2.3 – Схема підключення пульта керування до ПЛК

SB4,SB5 – кнопки пуску підйомника «Ліворуч» і «Праворуч» відповідно;
 SB6-SB15 – кнопки виклику платформи за її номером, від 1 до 10;
 SB16 – кнопка « Стоп».

3 Опис та обґрунтування обраних проектних рішень та конструкцій

3.1 Функціональна схема системи

Перед початком створення програмного забезпечення для програмованого логічного контролера (ПЛК), основний алгоритм буде розділено на окремі сегменти або підпрограми. Кожна з цих підпрограм відповідатиме конкретному блоку функціональної схеми системи, забезпечуючи структурованість і полегшуючи подальшу розробку.

Функціональна схема системи представлена на рис.3.1.

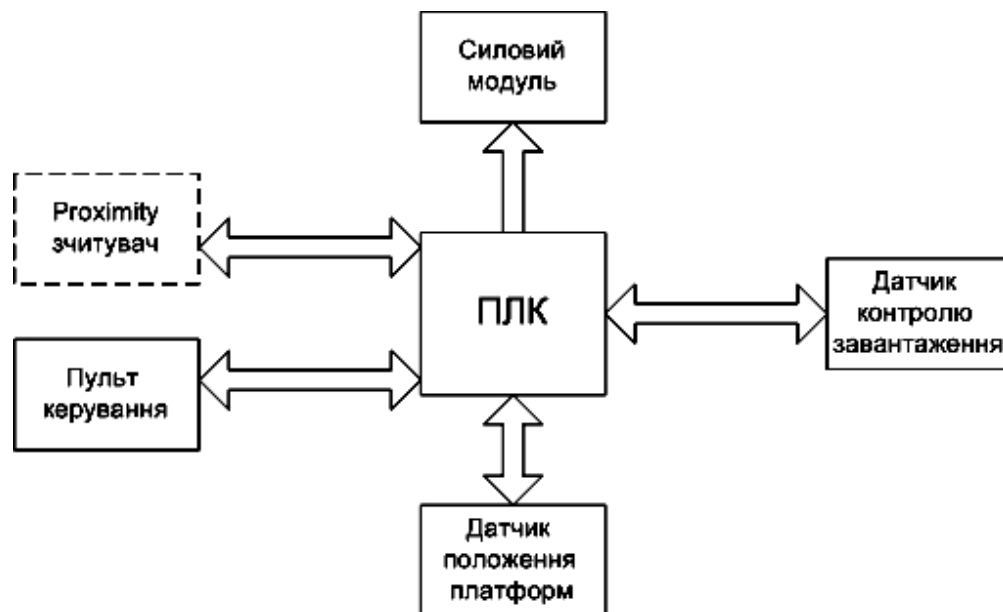


Рисунок 3.1 – Функціональна схема системи керування

Описання функціональної схеми.

Основним елементом автоматизованої системи управління підйомником є програмований логічний контролер (ПЛК). Завдяки його використанню система демонструє високу адаптивність, можливість інтеграції кількох функцій управління одночасно та забезпечує швидке реагування на зміну параметрів. ПЛК регулярно опитує датчики, які відстежують завантаження транспортних засобів і визначають позицію обладнання. Вхідні сигнали, отримані від цих датчиків, аналізуються та зіставляються з даними, що зберігаються у внутрішній

енергонезалежній пам'яті контролера. На основі інформації, отриманої від датчиків, ПЛК генерує відповідні команди управління для силового модуля. До складу силового модуля входять магнітні пускачі двигуна, котушкові кола яких підключені до вільних релейних виходів контролера. Крім цього, ПЛК взаємодіє з пультом керування, дозволяючи оператору здійснювати ручне управління, і може бути доповнений пристроєм для зчитування безконтактних Proximity-карток. Комунікація з пультом керування здійснюється у двосторонньому режимі: контролер отримує сигнали про натискання кнопок і передає інформацію про можливі несправності чи дисбаланс у роботі системи. Завдяки такій архітектурі ПЛК забезпечує високу точність і надійність управління всіма компонентами системи.

3.2 Вибір та розрахунок електродвигуна

Вихідні данні:

- | | |
|---|---------------------------------------|
| 1. Діаметр ведучої шестерні: | $D=1,092 \text{ м}$ |
| 2. ККД двигуна: | $\eta_{\text{дв}}= 0,82 \text{ в.о.}$ |
| 3. Мінімальна лінійна швидкість підйому автомобілів:
(Встановлюється виходячи з вимог до системи: $= 1\text{м/хв}$) | $V_{\text{п}}=0,0166 \text{ м/с}$ |
| 4. Кронштейн кріплення платформ до ланцюга: | $L = 0,95 \text{ м}$ |
| 5. Маса ланцюга: | $T_{\text{ланц}} = 2000 \text{ кг}$ |
| 6. Маса платформи : | $T_{\text{пл}}=200 \text{ кг}$ |
| 7. Довжина синхронного валу: | $L_{\text{вал}}=6,357 \text{ м}$ |
| 8. Діаметр синхронного валу: | $D_{\text{вал}}=0,25 \text{ м}$ |
| 9. Максимально припустиме прискорення: | $a_{\text{max}}=0,024 \text{ м/с}^2$ |

Виходячи з паспортних даних існуючої установки, задаємося наступними параметрами шестерней встановленої коробки передач:

Кількість зубів кожної ланки КП:

$$Z_1 = 32 \quad Z_4 = 116$$

$$Z_2 = 116 \quad Z_5 = 45$$

$$Z3 = 32 \quad Z6 = 180$$

ККД коробки передач:

$$\eta_{кп} = 0,92 \text{ в.о.}$$

3.2.1 Розрахунок потужності двигуна

Розрахуємо передавальне число коробки передач:

$$i_{кп} = \frac{Z1}{Z2} \cdot \frac{Z3}{Z4} \cdot \frac{Z5}{Z6} = \frac{32}{116} \cdot \frac{32}{116} \cdot \frac{45}{180} = 0,019 \text{ в.о.}$$

Розрахункова максимальна вага автомобіля: $m=2150$ кг

Радіус привідної шестерні:

$$R_{зв} = \frac{D}{2} = \frac{1,092}{2} = 0,546 \text{ м.}$$

Необхідна швидкість обертання привідної шестерні:

$$\omega_{зв} = \frac{V_n}{R_{зв}} = \frac{0,0166}{0,546} = 0,03 \text{ рад/с.}$$

Задамося частотою обертання двигуна: $n_n = 1440$ об/хв.

Тоді:

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{\pi \cdot 1440}{30} = 150,796 \text{ рад/с.}$$

Передавальне відношення від двигуна до водила:

$$i_e = \frac{\omega_{зв}}{\omega_n} = \frac{0,03}{150,796} = 2,016 \cdot 10^{-4} \text{ в.о.}$$

Розрахуємо передавальне число редуктора:

$$i_{ред} = \frac{i_e}{i_{кп}} = \frac{2,016 \cdot 10^{-4}}{0,019} = 0,01 \text{ в.о.}$$

Вибираємо редуктор з ряду існуючих:

З огляду на те, що частота обертання n_n дорівнює 1440 об/хв, здійснюється вибір редуктора, який відповідає зазначеному діапазону вхідних швидкостей обертання. Як виробника було обрано італійську компанію «Сіті», яка відома своєю надійністю та високою якістю продукції.

Відповідний редуктор: МІ175 V 1/100, з наступними даними:

$$n_1 = 1400 \text{ об/хв.}$$

$$I_{ред} = 1/100 \text{ в.о.}$$

$$\text{ККД редуктора: } \eta_{ред} = 0,98 \text{ в.о.}$$

Перерахуємо швидкість обертання ведомої шестерні:

$$\omega_{ш} = \omega_n \cdot i_{ред} \cdot i_{кп} = 150,796 \cdot \frac{1}{100} \cdot 0,019 = 0,029 \text{ рад/с.}$$

Тоді лінійна швидкість підйому автомобілів становитиме:

$$V_n = \omega_{ш} \cdot R_{ш} = 0,029 \cdot 0,546 = 0,016 \text{ м/с,}$$

яка відповідає встановленим вимогам до системи, зокрема щодо гранично допустимої швидкості руху вгору і вниз.

3.2.2 Розрахунок максимального статичного моменту на валу двигуна

Для визначення максимально допустимого статичного моменту системи будемо аналізувати випадок, коли на одну сторону підйомного механізму розташовано п'ять автомобілів, тоді як інша сторона залишається повністю порожньою. За таких умов двигун піддається найвищому можливому навантаженню під час підйому, а також досягає найбільшого додатного моменту при опусканні.

З огляду на те, що платформи з автомобілями надійно фіксуються на підйомному ланцюзі за допомогою спеціального кронштейна визначеної довжини, цей фактор слід обов'язково враховувати під час обчислення статичного моменту та моменту інерції всієї системи.

Вплив цього кронштейна як важеля сили проявляється виключно в тих точках конструкції, де він контактує з водилом, що, у свою чергу, призводить до фізичного збільшення довжини важеля сили. У випадку з підйомним механізмом, який містить десять платформ для автомобілів, у будь-який момент часу контакт з водилом і опорною шестернею відбувається лише з двома платформами на одній стороні. Інші платформи, завдяки жорсткості ланцюга, не беруть участі у

створенні обертального моменту, оскільки їхній вплив зрівноважується жорсткістю конструкції.

Проводимо розрахунок:

$$M_c = \frac{(2 \cdot m \cdot g \cdot (R_{зв} + L) + 3 \cdot m \cdot g \cdot R_{зв}) \cdot i_{кп} \cdot i_{ред}}{\eta_{дв} \cdot \eta_{кп} \cdot \eta_{ред}} =$$

$$= \frac{(2 \cdot 2150 \cdot 9,8 \cdot (0,546 + 0,95) + 3 \cdot 2150 \cdot 9,8 \cdot 0,546) \cdot 0,019 \cdot 0,01}{0,82 \cdot 0,98 \cdot 0,92} = 25,104 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Розрахункова маса приводної шестерні (води́ло):

$$m_{конт} = \pi \cdot R_{зв}^2 \cdot h_{ш} \cdot \rho_{стали} ;$$

$$m_{конт} = 3,14 \cdot 0,546^2 \cdot 0,08 \cdot 7700 = 576,92 \text{ кг},$$

де $h_{ш}$ - ширина води́ла; $\rho_{стали}$ - густина сталі.

Враховуючи момент інерції всіх ведених шестерень, припустимо, що він дорівнює сумі ідентичних моментів інерції води́ла та верхнього колеса, з огляду на їхнє дублювання на задній стінці. Крім того, врахуємо момент інерції синхронного валу, що відіграє важливу роль у загальному розрахунку.

Радіус синхронного валу:

$$R_{вал} = \frac{D_{вал}}{2} = 0,125 \text{ м}.$$

Маса валу:

$$m_{вал} = \pi \cdot R_{вал}^2 \cdot L_{вал} \cdot \rho_{стали} = 3,14 \cdot 0,125^2 \cdot 6,36 \cdot 7700 = 2403 \text{ кг}.$$

Сумарний момент інерції всієї конструкції в умовах відсутності навантаження, приведений до осі обертання двигуна:

$$J_{конт} = \left(4 \cdot \frac{1}{2} \cdot m_{конт} \cdot R_{зв}^2 + \frac{1}{2} \cdot m_{вал} \cdot R_{вал}^2 \right) \cdot (i_{ред} \cdot i_{кп})^2 =$$

$$= \left(4 \cdot \frac{1}{2} \cdot 576,92 \cdot 0,546^2 + \frac{1}{2} \cdot 2403 \cdot 0,125^2 \right) \cdot (0,01 \cdot 0,019)^2 = 1,313 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Момент інерції платформ разом із транспортними засобами, враховуючи також масу ланцюга, зведений до осі води́ла:

$$J_{авто} = 4 \cdot \left(m + m_{пл} + \frac{m_{ланц}}{8} \right) \cdot \left(\frac{V_n}{\omega_n} \right)^2 + (m + m_{пл}) \cdot (R_{зв}^2 + L_{вал}^2) \cdot (i_{ред} \cdot i_{кп})^2 =$$

$$= 4 \cdot \left(2150 + 200 + \frac{2000}{8} \right) \cdot \left(\frac{0,0166}{150,796} \right)^2 + (2150 + 200) \cdot (0,546^2 + 6,36^2) \cdot (0,01 \cdot 0,019)^2 =$$

$$= 3,575 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Розрахункова потужність двигуна:

$$P_{\text{дв}} = \frac{M_c \cdot \omega_n}{\eta} = \frac{25,104 \cdot 150,796}{0,95} = 3,985 \text{ кВт.}$$

Підбираємо електродвигун, параметри якого відповідають необхідній частоті обертання та номінальній потужності:

Відповідний двигун: 4A100LY3, з наступними даними:

Номінальний момент двигуна: $M_n = 27 \text{ Н} \cdot \text{м}$

Момент інерції двигуна: $J_{\text{дв}} = 0,011 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$

Номінальна напруга живлення: 380 В

Номінальна частота обертання: 1440 об/хв

Перевантажувальна здатність двигуна: $\lambda = 2,9 \text{ в.о.}$

3.2.3 Розрахунок сумарного моменту інерції системи приведенного до валу двигуна

$$J_{\Sigma} = (J_{\text{авто}} + J_{\text{конс}}) + J_{\text{дв}} =$$

$$= (3,725 \cdot 10^4 + 3,371 \cdot 10^3) \cdot (0,01 + 0,019)^2 + 0,011 = 0,013 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Час розгону при підйомі:

$$t_1 = \frac{V_n}{a_{\text{max}}} = \frac{0,016}{0,024} = 0,653 \text{ с.}$$

Розрахуємо необхідний пусковий момент:

$$M_n = M_c + J_{\Sigma} \cdot \frac{\omega_n}{t_1} = 25,104 + 0,013 \cdot \frac{150,796}{0,653} = 28,936 \text{ кг} \cdot \text{м}.$$

Пусковий момент двигуна :

$$M_{np} = 2 \cdot M_n = 27 \cdot 2 = 54 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Виконаємо оцінку обраного двигуна за параметрами потужності та моменту. Здійснимо аналіз відповідності двигуна його пусковим моментним характеристикам.

$$M_{np} > M_n; 54 \text{ Н}\cdot\text{м} > 28,93 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

Аналіз показує, що обраний двигун здатний забезпечити необхідний пусковий момент із певним резервом потужності, що гарантує його надійну роботу в заданих умовах.

Перевірка двигуна по номінальному моменту:

$$M_n > M_c; 27 \text{ Н}\cdot\text{м} > 25,10 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Номінальний обертовий момент обраного двигуна повністю відповідає статичним вимогам, які висуваються до роботи даної системи.

3.3 Розробка датчиків контролю

Система управління автомобільним підйомником потребує безперервного надходження інформації двох основних видів, зокрема:

- Дані про платформу, яка перебуває в стані завантаження;
- контроль в'їзду-виїзду автомобіля на платформу.

З метою забезпечення стабільного та безперервного надходження потрібної інформації до програмованого логічного контролера (ПЛК) у складі системи управління, планується застосування таких датчиків.

3.3.1. Датчик позиціонування платформ

Датчик, встановлений у нижній частині підйомника, виконує функцію розпізнавання номера платформи, коли вона підходить до зони завантаження. Під час руху платформ у будь-якому напрямку, система управління, якою є програмований логічний контролер (ПЛК), отримує сигнал із кодом від датчика, що вказує на номер платформи, яка перебуває у завантажувальній позиції. Детальний опис конструкції датчика наведено на рис.3.2.

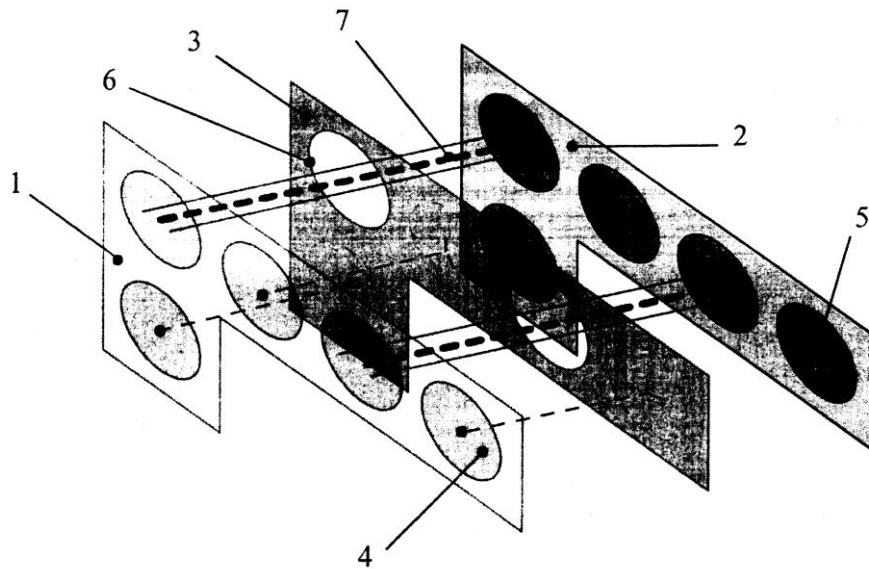


Рисунок 3.2 – Датчик позиціонування платформ

Конструкція датчика.

На нерухомій планці (поз. 1, рис. 3.2) передбачено отвори однакового діаметра (поз. 4), у яких розміщені світлодіоди. Вони спрямовують світловий промінь у відповідні отвори іншої планки (поз. 2), де розташовані фототранзистори (поз. 5), що приймають це світло. Загальна кількість таких отворів та світлодіодів складає 5 штук. Між цими елементами знаходиться ще одна планка (поз. 3), яка прикріплена до нижньої частини платформи. Вона має лише два отвори (поз. 6), розташування яких залежить від номера платформи. Ця планка пропускає лише два промені світла (поз. 7), забезпечуючи функціонування системи.

Отже, у залежності від номера платформи, в отворах планки-2 функціонує один або два фототранзистори.

Принцип дії датчика.

Планка – 3 (рис. 3.2), прикріплена до нижньої частини платформи автомобіля, переміщується разом із платформою по всьому маршруту. Коли платформа наближається до завантажувальної позиції, планка – 3 опиняється між двома іншими планками. Це розташування частково перекриває певні світлові промені, тоді як інші промені залишаються вільними для проходження. В

залежності від того, які з променів блокуються, а які залишаються відкритими, формується код на виході датчика. Цей код дозволяє визначити номер конкретної платформи. Кожна з проміжних планок має унікальну конфігурацію отворів, яка не повторюється в жодному випадку (приклади таких розташувань показані на рис. 3.3). Завдяки оригінальній комбінації отворів на кожній планці система здатна точно ідентифікувати одну з десяти можливих платформ, що знаходиться на заданій позиції. Ще однією важливою особливістю датчика є те, що частина планки, яка надає їй Г-подібну форму, завжди залишається без отворів. Ця частина планки, перекриваючи світловий промінь, випромінюваний певним світлодіодом, забезпечує фіксований сигнал, який система інтерпретує як «дозвіл» для зчитування коду датчика на виході. Саме це дозволяє забезпечити коректну роботу механізму і точність визначення платформи.

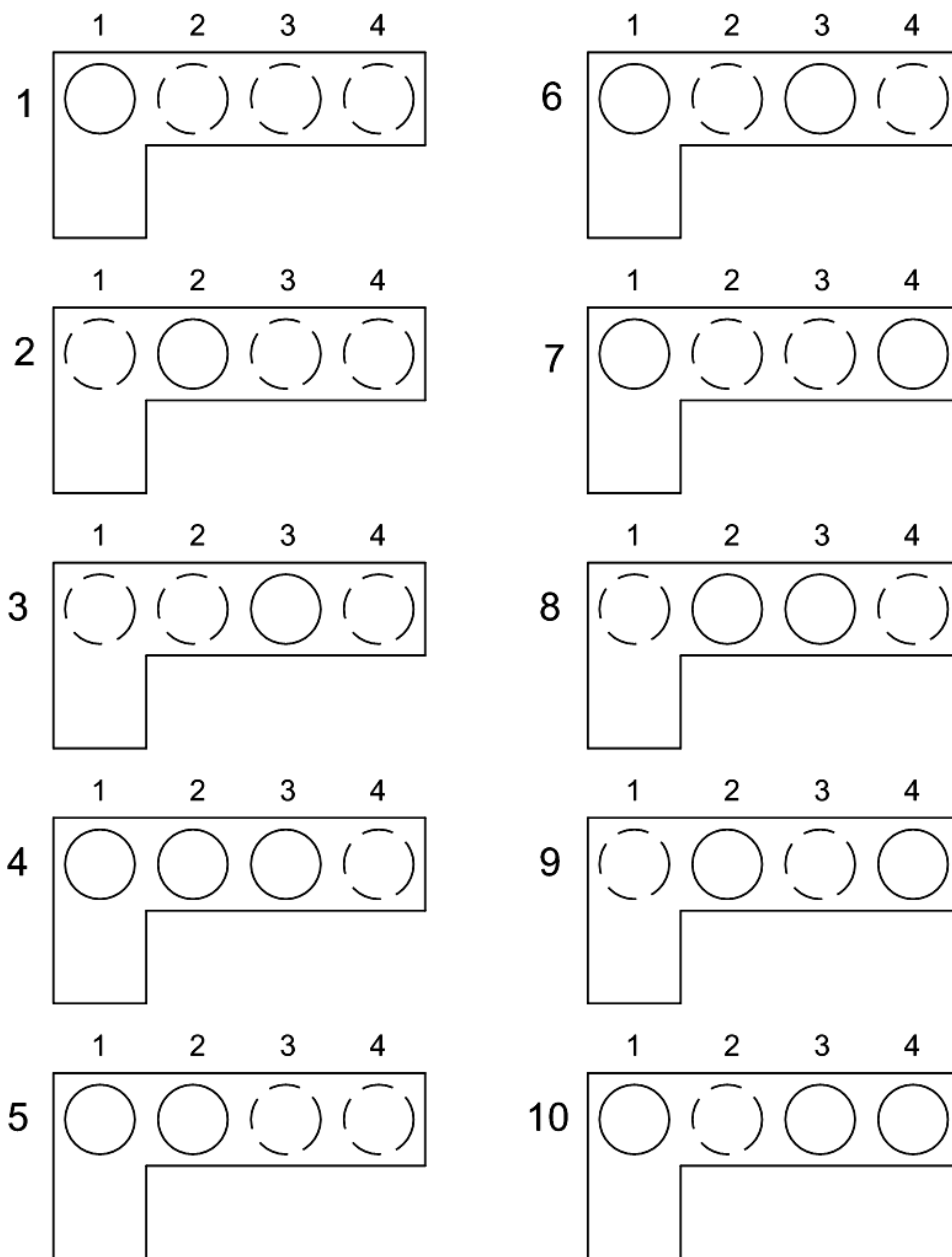


Рисунок 3.3 – Проміжні планки датчика позиціонування платформи

Число світлодіодів та фототранзисторів, розташованих у нерухомих елементах датчика, а також кількість отворів у його рухомій частині визначається, враховуючи загальну кількість платформ, інтегрованих у систему.

Електрична схема пристрою для визначення позиції, а також схема його під'єднання представлені у вигляді, показаному на рис.3.4 і 3.5.

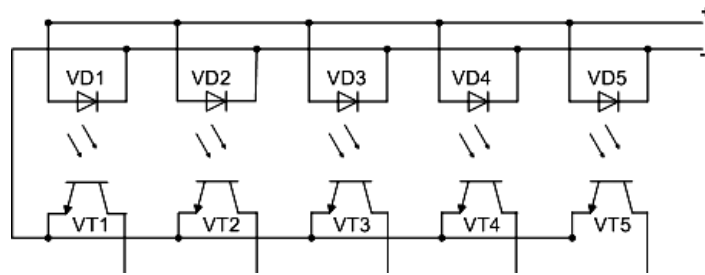


Рисунок 3.4 – Принципова схема датчика позиціонування:
VD1-VD5 – світлодіоди; VT1-VT5 – фототранзистори.

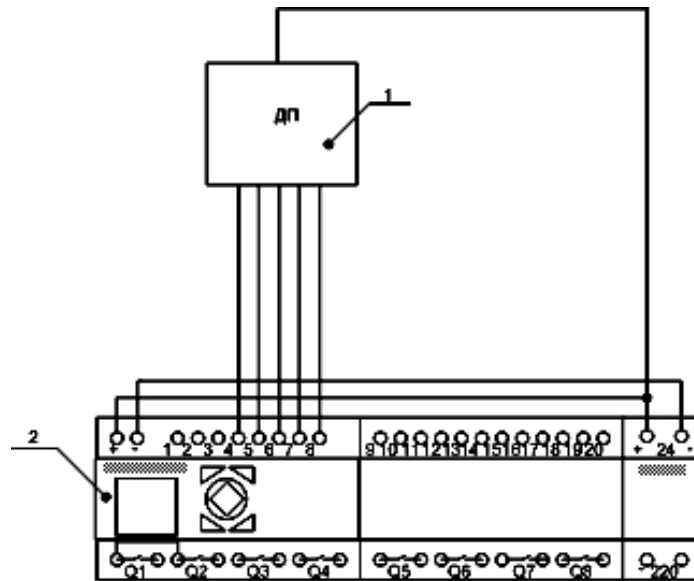


Рисунок 3.5 – Схема підключення датчика позиціонування до ПЛК:
1 - датчик позиціонування; 2 - ПЛК.

На рис.3.5 показано приклад того, як можна підключити датчик позиціонування до програмованого логічного контролера (ПЛК). У цьому випадку використовується модель easy 719-DC-RC, яка випускається виробником Moeller-Eaton.

3.3.2 Датчик контролю наявності автомобіля

Серед сучасних датчиків, призначених для виявлення наявності об'єкта в заданій зоні, широко застосовуються пристрої, засновані на використанні фотодатчиків, інфрачервоних елементів та електричних ваг. Їх активно використовують у системах управління ліфтами, рухомими платформами та іншими механізмами. Однак впровадження таких елементів суттєво ускладнює

конструкцію системи, особливо у випадку платформ. Основною проблемою є передача з'єднань датчиків через ланцюгову передачу, на якій розташована платформа. Розв'язанням цього завдання може стати установка датчика, який не вимагає жодних змін у конструкції й монтується безпосередньо перед зоною завантаження платформи. Такий підхід дозволяє істотно спростити конструкцію і здешевити систему за рахунок зменшення кількості складних компонентів. Датчик виконує функцію реєстрації стану платформи — чи є вона зайнятою, чи звільнилася — і передає цю інформацію до пам'яті контролера. Конструктивно цей пристрій схожий на датчик, який визначає номер платформи. Проте на відміну від нього, тут відсутня додаткова планка, оскільки її роль виконує безпосередньо сам об'єкт, що перебуває під контролем, — наприклад, автомобіль.

На рис.3.6 представлена схема конструкції датчика, який забезпечує контроль за процесами в'їзду та виїзду.

Принцип дії датчика.

На планці-1 розташовані світлодіоди-4, які спрямовують світлові промені-5 до відповідних фототранзисторів-3, закріплених на іншій планці-2. Залежно від послідовності переривання світлових променів об'єктом, що проходить між цими планками, система зчитує інформацію про стан об'єкта. Зокрема, визначається, чи було транспортний засіб завантажено або, навпаки, розвантажено, за умови, що платформа в цей час перебуває в нижньому положенні.

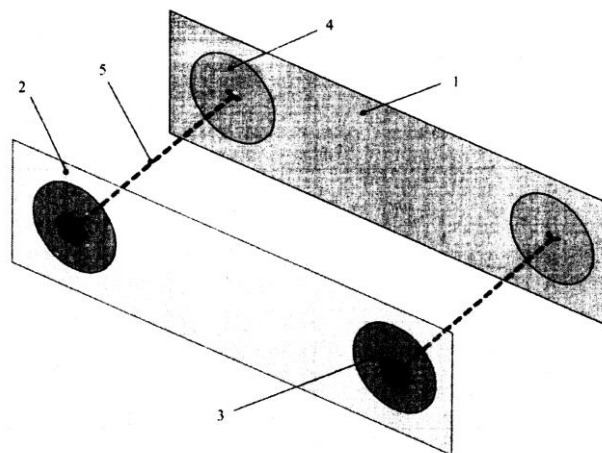


Рисунок 3.6 – Конструкція датчика контролю завантаження

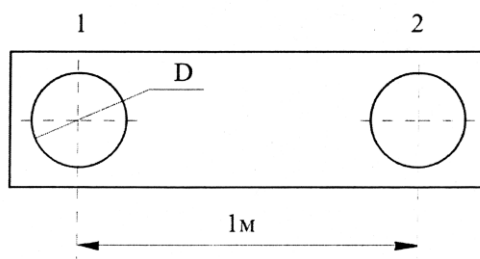


Рисунок 3.7 – Спрощене креслення однієї з планок турнікету

На рис.3.7 представлено креслення однієї з планок датчика, яке демонструє, що відстань між отворами, де розміщуються фототранзистори та світлодіоди, становить 1 метр. Така значна дистанція обумовлена особливостями застосування цього датчика, зокрема потребою уникнення його помилкових спрацювань на сторонні об'єкти, включно з людьми. Діаметр отворів не має фіксованого значення, оскільки цей параметр є другорядним і може варіюватися залежно від характеристик використовуваних діодів у конкретній моделі.

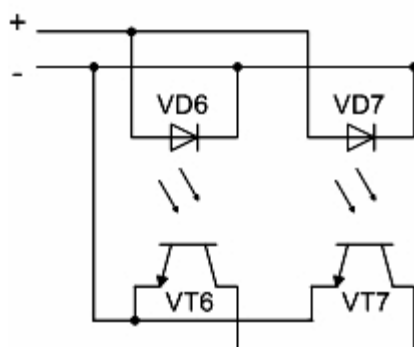


Рисунок 3.8 – Базова схема пристрою для моніторингу рівня завантаження транспортного засобу:

VD6,VD7 – світлодіоди; VT6,VT7 – фототранзистори.

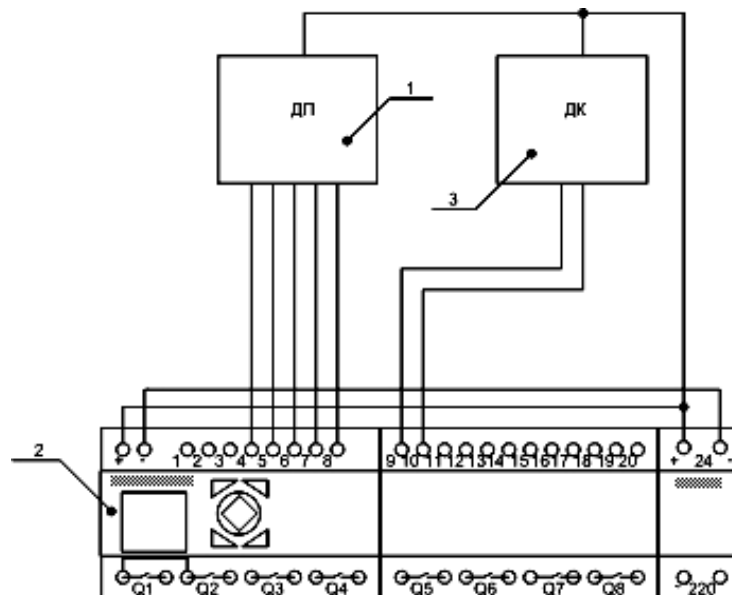


Рисунок 3.8 – Схема інтеграції датчика для моніторингу завантаження та пристрою позиціонування з програмованим логічним контролером (ПЛК):

1 - датчик позиціонування; 2 - ПЛК; 3 - датчик контролю завантаження та розвантаження автомобілів.

3.4 Розробка структурних схем алгоритмів роботи елементів системи керування

Перед розробкою програмного забезпечення для будь-якого елемента управління, зокрема програмованого логічного контролера (ПЛК), який забезпечує функціонування датчиків цієї системи, необхідно спершу розробити детальний алгоритм роботи. Лише після цього можна приступити до вибору апаратних компонентів, визначення типу контролера та підбору відповідного програмного середовища для його налаштування та управління.

Структурна схема алгоритму роботи датчика позиціонування



Рисунок 3.9 – Алгоритм роботи датчика позиціонування

Відповідно до проілюстрованої на рис. 3.9 схеми, програмне забезпечення може вивести номер платформи лише за умови, що вона знаходиться чітко у положенні завантаження або вивантаження. Такий підхід унеможливило помилкове спрацювання датчика внаслідок активації різних фототранзисторів, а отже й генерування випадкових кодів під час руху платформи до нижньої точки траєкторії.

Структурна схема алгоритму роботи датчика контролю завантаження

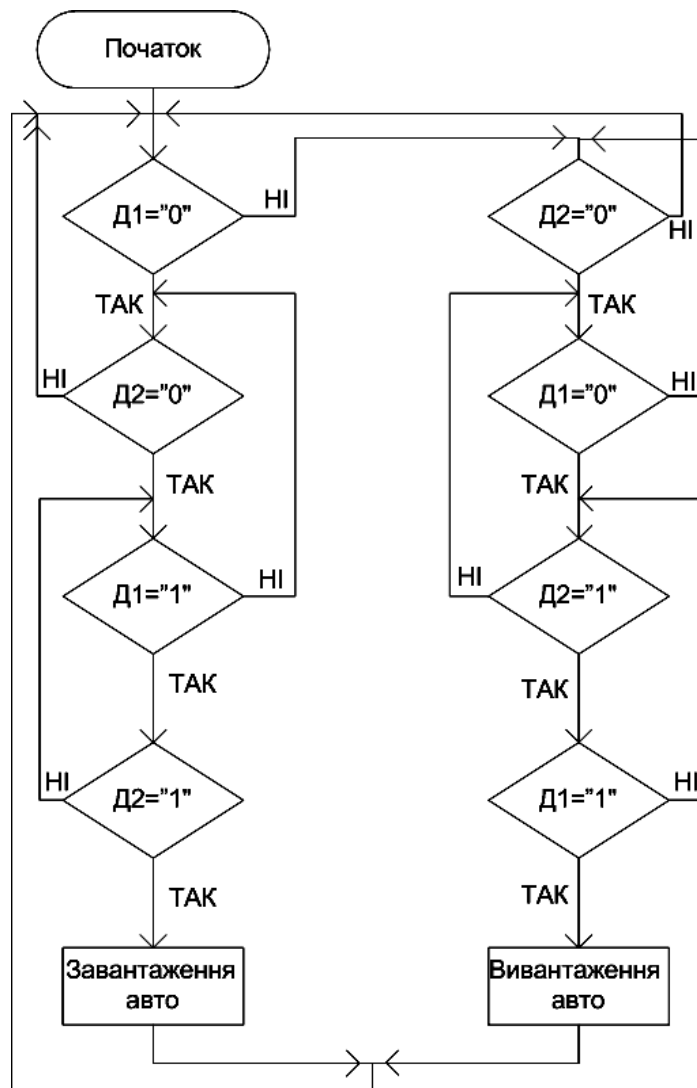


Рисунок 3.10 – Алгоритм роботи датчика контролю завантаження

Аналізуючи рисунок 3.10, можемо зробити висновок, що принцип роботи датчика полягає в безперервній перевірці стану фототранзисторів, розташованих на одній із його планок. Лише при виявленні замикання цих елементів у певній послідовності відбувається запис конкретного значення до пам'яті програми.

Структурна схема алгоритму роботи головної програми

Магістральна програмна структура має інтегрувати індивідуальні компоненти попередньо розроблених підпрограм, призначених для датчиків та пульта управління. Крім того, додатковою функцією програми є обробка вхідних даних з метою формування команд пуску або зупинки двигуна.

На рис.3.11 проілюстровано алгоритм функціонування основної програми. Представлена схема наочно демонструє логіку її роботи, послідовність виконання ключових операцій та взаємодію з іншими програмними модулями системи.

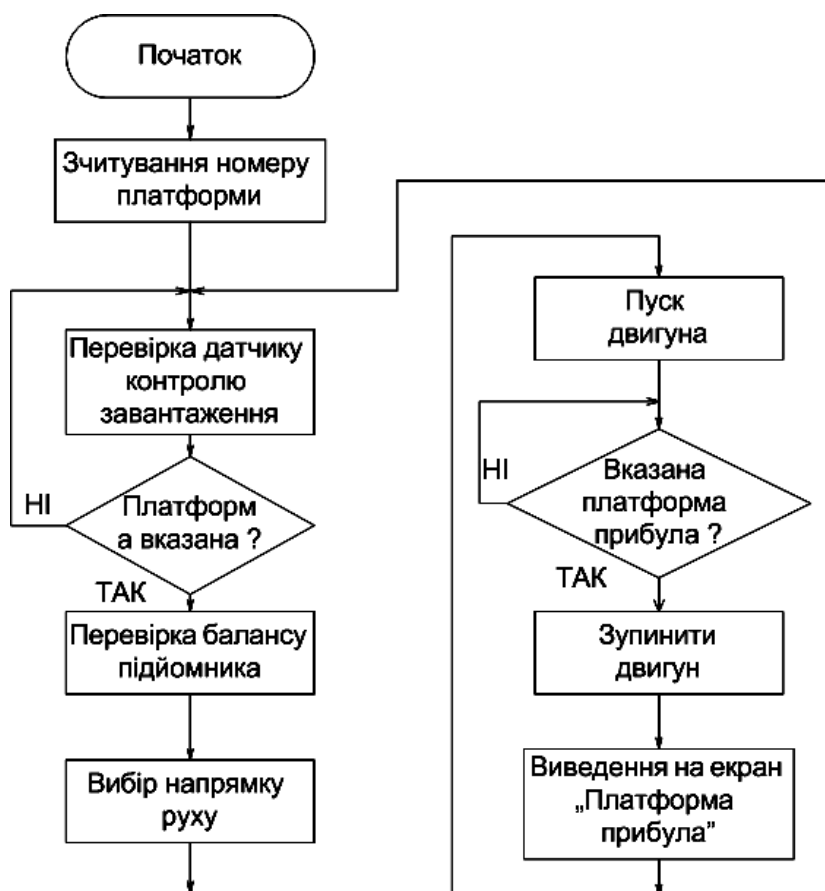


Рисунок 3.11 – Спрощений алгоритм роботи ПЛК

3.5 Технічна реалізація керуючого пристрою

3.5.1. Вибір програмованого логічного контролера

Програмований логічний контролер (ПЛК), що є аббревіатурою від англійського терміну Programmable Logic Controller, або програмований контролер, є спеціалізованим цифровим пристроєм, розробленим для автоматизації різноманітних технологічних процесів. На відміну від універсальних комп'ютерів, ПЛК оснащені високоефективними системами введення-виводу, що забезпечують взаємодію з датчиками та виконавчими механізмами. Вони спроектовані для безперебійної роботи протягом тривалого часу без необхідності

в частому технічному обслуговуванні і здатні функціонувати в складних та екстремальних умовах навколишнього середовища. Такі пристрої працюють у режимі реального часу, що дозволяє здійснювати миттєве реагування на зміни в системі.

За технічними характеристиками, що визначають складність виконуваних завдань, програмовані логічні контролери (ПЛК) класифікуються на кілька категорій: нано-, мікро-, малі, середні та великі. Спочатку їхнє основне призначення полягало в заміні релейно-контактних схем, які складалися з дискретних компонентів, таких як реле, лічильники, таймери та елементи жорсткої логіки. Сучасні ПЛК значно розширили свої функціональні можливості, охоплюючи складніші процеси автоматизації та інтеграції.

Основна відмінність програмованих логічних контролерів (ПЛК) від традиційних релейних схем полягає в тому, що їх функціонування повністю базується на програмному забезпеченні. В одному контролері можна здійснити реалізацію логічної схеми, яка за складністю та ефективністю здатна замінити тисячі елементів фізичної логіки. Важливо зазначити, що надійність функціонування такої системи не залежить від її масштабності чи складності, що робить ПЛК більш гнучким та стійким до змін у технологічних процесах.

Для написання програм для програмованих логічних контролерів (ПЛК) зазвичай застосовуються універсальні мови програмування, які відповідають міжнародним стандартам.

LD – мова релейних схем, найбільш розповсюджена;

FBD – мова функціональних блоків;

SFC – мова діаграм станів, використовується для програмування автоматів;

IL – асемблер;

ST – паскале-подібна мова.

Крім згаданих мов програмування, на практиці часто зустрічаються також мови, подібні до C або Java, що використовуються для різноманітних завдань у галузі розробки програмного забезпечення.

Багато виробників ПЛК застосовують власні закриті архітектури своїх контролерів, що вимагає використання спеціалізованого програмного забезпечення для їх налаштування та програмування. Такий підхід обмежує гнучкість у виборі інструментів розробки та може ускладнювати інтеграцію з іншими системами.

Оскільки вимоги до керуючого пристрою ПЛК не є надто складними, у випадку з паркувальним підйомником автомобілів ми зосередимося на ПЛК, який має найпростіший та найбільш доступний функціонал для реалізації цієї системи.

Серед провідних компаній, що спеціалізуються на виготовленні подібних пристроїв, можна виділити такі бренди: Moeller з лінійкою easy, Omron з серією ZEN, Siemens з моделлю LOGO!, а також Mitsubishi з Alpha XL. Ці пристрої мають схожі характеристики та функціональні можливості. Зазвичай максимальна кількість входів і виходів таких контролерів не перевищує 40 одиниць.

3.5.2 Технічні вимоги до ПЛК

Технічними вимогами до ПЛК виступають:

- загальна кількість дискретних входів/виходів;
- загальна кількість релейних/дискретних виходів;
- наявність людино-машинного інтерфейсу;
- доступність засобів програмування ПЛК;
- напруга живлення ПЛК.

Виходячи з необхідності підключення двох датчиків та пульта управління до одного програмованого логічного контролера (ПЛК), розрахуємо загальну кількість потрібних дискретних вхідних сигналів.

Для датчика контролю позиціонування платформ потрібно 5 вхідних сигналів,

для датчика контролю завантаження автомобіля - 2 вхідні сигнали,

а для пульта управління - 12 вхідних сигналів.

Отже, загальна кількість необхідних дискретних входів становить 19 штук.

Також визначимо потрібну кількість релейних вихідних сигналів.

Для керування електричним двигуном необхідно 3 вихідні сигнали, а для забезпечення сигналізації несправності чи помилки - 1 вихідний сигнал.

Отже, загальна кількість необхідних релейних виводів – 4.

Оскільки ПЛК повинен бути обладнаний засобами людино-машинного інтерфейсу, зокрема екраном для відображення інформації, необхідно вибрати контролер з відповідними технічними параметрами та функціональними можливостями для забезпечення ефективного взаємодії з користувачем.

Пристрій Moeller easy 719-DC-RC оснащений 20 дискретними входами, 8 релейними виходами та має вбудований екран. Він призначений для роботи з живленням від джерела постійного струму, напруга якого становить 24 В.

Даний контролер також має можливість під'єднання модуля зв'язку Modbus RTU, що дозволяє інтегрувати його в мережеву систему разом з іншими приладами. У випадку застосування паркувального підйомника, ця функція ПЛК easy може знадобитися при розширенні функціоналу, наприклад, при під'єднанні контролера до зчитувача Proximity. Це уможливить персоналізацію користувачів підйомника та спростить процес підняття платформи з автомобілем або без нього. Достатньо просто піднести Proximity-карту до зчитувача і почекати, поки під'їде автомобіль.

3.5.3 Середовище програмування ПЛК

Кожен виробник електротехнічного обладнання, особливо в галузі автоматизації, прагне створити унікальне програмне забезпечення для своїх виробів. Без такого ПЗ налаштування контролера може стати складним або навіть неможливим. Одним з таких середовищ є Easy Soft, розроблене компанією Moeller, яке використовується для програмування контролерів серії Easy.

Для програмування програмованих логічних контролерів (ПЛК) використовуються різні мови програмування, серед яких можна виділити

наступні: FBD (Functional Block Diagram) — мова функціональних блоків, Ladder — мова сходових діаграм, також відома як мова "релейної логіки". Ці мови дозволяють ефективно реалізовувати логічні схеми управління та забезпечують гнучкість і зручність у програмуванні автоматизованих систем.

Загальна інформація про мову програмування FBD.

Діаграма функціональних блоків (FBD) є графічною мовою, яка нагадує релейну логіку, проте замість реле в ній використовуються функціональні компоненти. На відміну від традиційної релейної схеми, FBD-діаграма застосовує модульний підхід, де кожна функція представлена окремим блоком. Ця методика дозволяє наочно візуалізувати логічні зв'язки між різними операціями та спростити процес проектування автоматизованих систем.

Функціональні блоки, з'єднані між собою відповідно до певної логічної структури, формують програму на мові FBD. Ця мова розроблена для інженерів-технологів і спеціалістів з налаштування систем КІП, котрі займаються автоматизацією технологічних процесів. Вона забезпечує значне спрощення процесу створення складних схем автоматизації, а також надає можливість для досягнення високої наочності в програмуванні. Використання функціональних блоків повторно та можливість зміни значень заводських параметрів безпосередньо в FBD дозволяють швидко отримати налаштовану програму. Таким чином, весь процес програмування зводиться до простого з'єднання готових компонентів, які може створити і налаштувати сам користувач.

Загальний вигляд програми на FBD представлений на рис.3.12

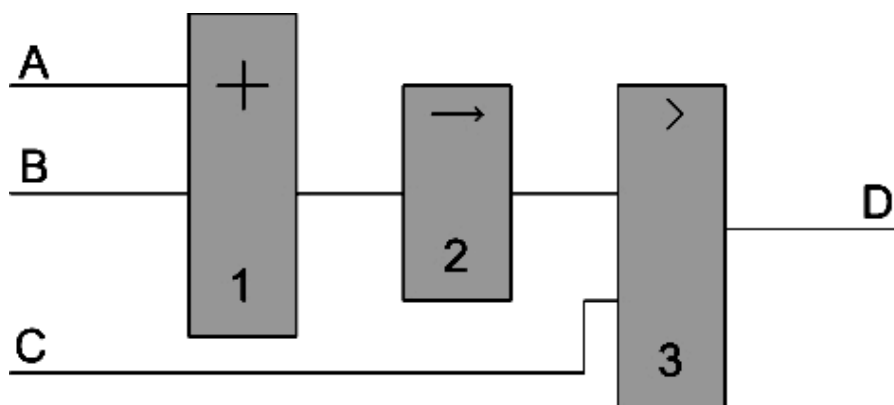


Рисунок 3.12 – Загальний вигляд розміщення функціональних блоків програми

Програмування на мові FBD ґрунтується на принципі, що час виконання кожної програми має бути чітко визначеним, тобто детермінованим. Це означає, що жодна програма не може заиклитися на невизначений період, наприклад, на очікуванні події. Такий підхід гарантує, що виконання одних програм не перешкоджатиме іншим. Завдяки цьому забезпечується прозорість і спрощене розуміння процесу. Оскільки в системі відсутні переривання, вона є повністю детермінованою. Завдання виконуються у фіксованій послідовності, що дозволяє ефективно оцінити ситуацію в умовах найгіршого випадку і точно розрахувати максимальні затримки.

Загальні відомості про мову програмування – LADDER.

Ladder Diagram (LD, LAD, PKC) — це графічна мова програмування, заснована на принципах релейної логіки, яку іноді називають мовою релейно-контактної логіки або релейними діаграмами (схемами). Її ключове призначення полягає в розробленні програм для промислових контролерів (ПЛК), що використовуються в широкому спектрі виробничих процесів. Структура та синтаксис LD історично сформувалися як логічний аналог класичних релейно-контактних схем, завдяки чому інженери-автоматизатори, звиклі до традиційних електромеханічних рішень, можуть без надмірних труднощів перейти до сучасних методів керування обладнанням. Ця мова орієнтована переважно на спеціалістів із галузі автоматизації, які працюють на підприємствах різної сфери діяльності. Вона спрощує проектування керуючих систем, скорочує час введення обладнання в експлуатацію, а також полегшує діагностику можливих несправностей, що значно прискорює процес ремонту й технічного обслуговування. LD є домінуючою мовою програмування ПЛК в США та здобула поширення у більшості промислово розвинених регіонів світу. Однією з головних переваг Ladder Diagram є зрозумілий та інтуїтивний графічний інтерфейс. Він візуально нагадує електричні ланцюги, складені із замкнених або розімкнених контактів, а результат логічної операції відображається у вигляді "струму" в ланцюзі. Якщо умовно "струм" протікає, то логічна змінна приймає значення True, а за його відсутності – False. До основних елементів належать контакти, що відповідають стану логічних змінних, а також

coil (котушка), яка уособлює цільову змінну, пов'язану з виконавчим механізмом. Нормальнорозімкнені та нормальнозамкнені контакти трактуються за аналогією із перемикачами в електричних колах: перші пропускають "сигнал" у стані True, а другі, навпаки, працюють при False. Такий підхід дозволяє ефективно моделювати логіку керування різноманітним обладнанням, від простих реле до складних електромеханічних систем. Сучасні програмні середовища для розробки на мові LD надають інструменти для тестування, емуляції та швидкого налагодження керуючих програм. Це значно прискорює процес інтеграції нових технологічних рішень у виробничі лінії та підвищує загальну ефективність промислових систем управління.

Зазвичай конкретні версії мов програмування впроваджуються в межах програмних продуктів, які призначені для роботи з певними типами ПЛК. Окрім цього, ці реалізації часто включають додаткові команди, що розширюють стандартний набір команд мови. Це зумовлено прагненням виробників краще задовольнити потреби клієнтів, але часто призводить до того, що програми, створені для різних типів контролерів, стають несумісними.

Загальний вигляд програми на мові Ladder представлено на рис. 3.13.

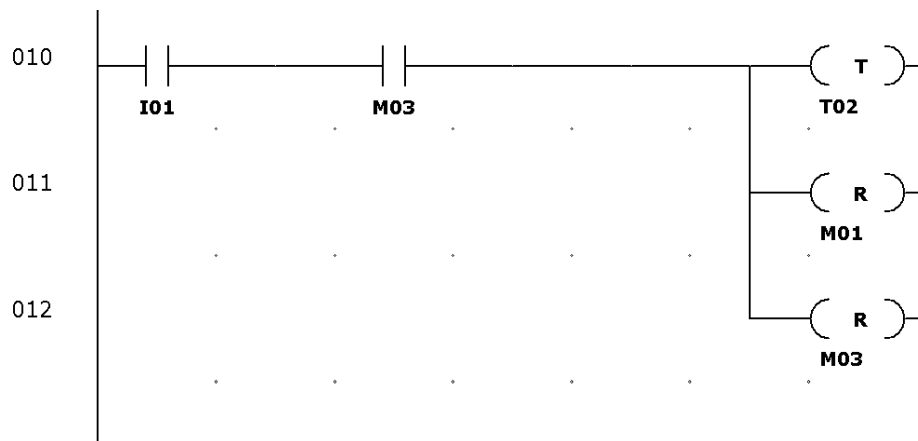


Рисунок 3.13 – Загальний вигляд програми на Ladder

3.5.4 Розробка програми контролера

Для створення програми відповідно до наведеної функціональної схеми (рис. 3.14) необхідно розділити її на кілька окремих підпрограмних блоків. Це

дозволить забезпечити зручність у розробці, тестуванні та подальшому масштабуванні програмного забезпечення.

- підпрограма датчика контролю завантаження;
- підпрограма датчика положення платформ;
- підпрограма роботи пульта керування.

Зважаючи на тип і модель вибраного програмованого логічного контролера (ПЛК), для розробки програмного коду буде використано офіційне програмне забезпечення, що надається виробником цього обладнання. Це дозволить забезпечити сумісність з пристроєм, а також скоротити час на налаштування та тестування системи.

Складемо програму за допомогою мови Ladder.

Схематичні позначення:

I – дискретні входи I1– I20;

M – маркер M;

N – маркер N;

T – реле часу, таймер.

Підпрограма роботи датчика контролю завантаження підйомника автомобілями

Програма повинна контролювати стан дискретних входів, до яких надходять сигнали від фототранзисторів. Зазвичай сигнали від цих датчиків поступають без перерв. Коли автомобіль заїжджає на платформу, відбувається зміна сигналів, при цьому проміні датчика блокуються в такій послідовності:

Спочатку зникає перший промінь, після чого зникає другий. Потім знову з'являється перший промінь, а слідом за ним — другий. Коли автомобіль виїжджає з платформи, ситуація змінюється на протилежну: спочатку зникає другий промінь, потім перший, а після цього знову з'являється другий, і за ним — перший.

Після виконання програми, програмований логічний контролер (ПЛК) повинен вивести на екран дані, що вказують на те, чи було завантажено або вивантажено автомобіль. Крім того, ПЛК має замкнути нормально відкритий проміжний реле, що дозволить використовувати отриману інформацію для подальших операцій у головній програмі.

1. Виявлення завантаження автомобіля.

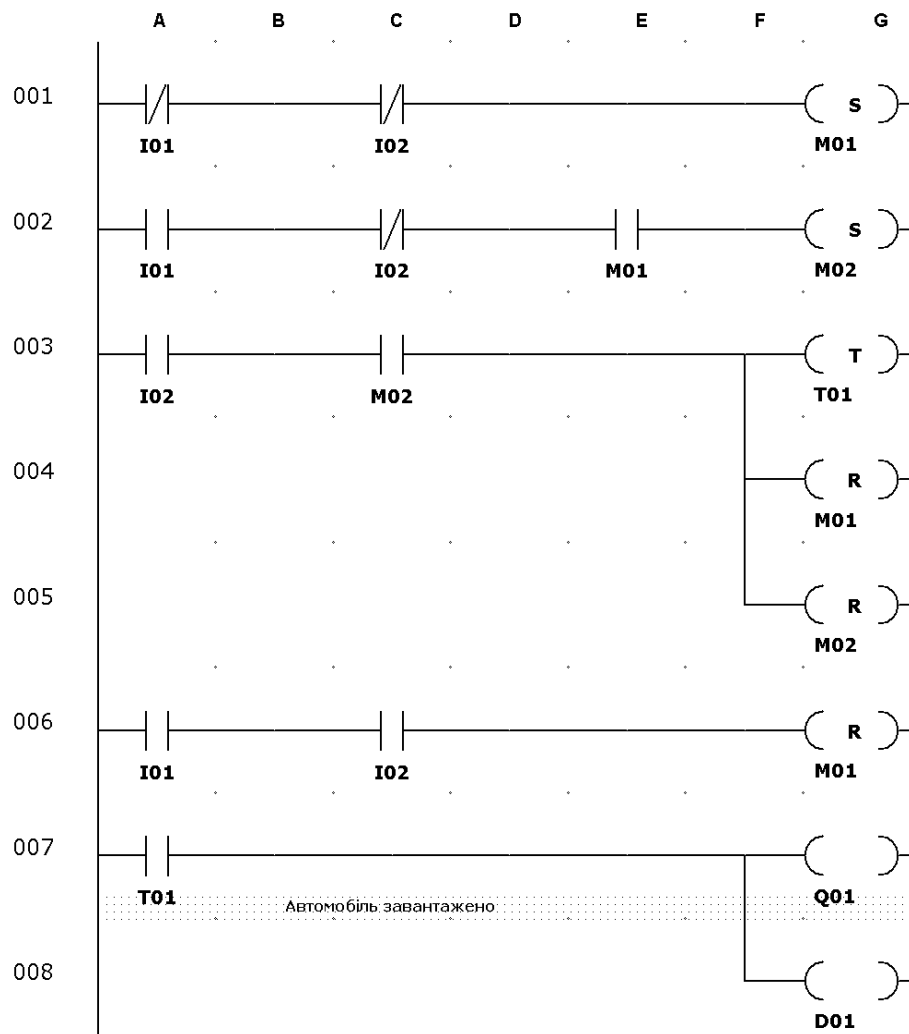


Рисунок 3.14 – Підпрограма виявлення завантаження автомобіля

Принцип роботи підпрограми

На початковому етапі обидва сигнали надходять на дискретні входи I01 та I02 (рис. 3.14). Як тільки автомобіль перекриває перший промінь датчика, сигнал на вході I01 зникає. Після того, як другий промінь датчика також перекрито, сигнал на вході I02 зникає, що спричиняє встановлення маркера M01 (SM01) в

логічну «1». Оскільки автомобіль продовжує рух в тому ж напрямку, згодом сигнал знову з'являється на вході I01, що активує маркер M02 (SM02) і встановлює на ньому логічну «1». Коли автомобіль проходить повз другий датчик, на вході I02 знову з'являється сигнал, що в рамках програми завершує цикл «I01--M02--TT01».

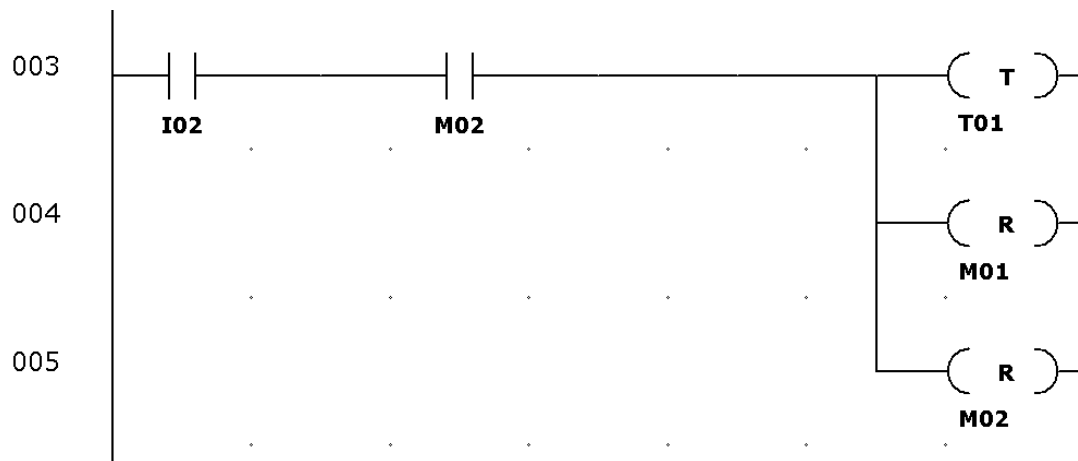


Рисунок 3.15 – Спрацювання реле часу

Окрім встановлення реле часу (рис 3.15), виконуються наступні умови:

I02--M02--RM02

I02--M02--RM01

RM - (Reset Marker) ініціює повернення маркерів до їх початкових значень, встановлюючи для них нульові параметри.

Значення реле часу «TT01» буде використане нами далі в програмі.

2. Виявлення вивантаження автомобіля.

Механізм функціонування підпрограми, призначеної для фіксації процесу вивантаження транспортного засобу, має аналогічні риси з попередньою версією, проте відрізняється початковою точкою виконання. У момент вивантаження автомобіля (рис. 3.16), першочергово припиняється надходження сигналу I02, після чого сигнал I01 також зникає. У цей час активується маркер M01 (SM01), який слугує ідентифікатором даної операції.

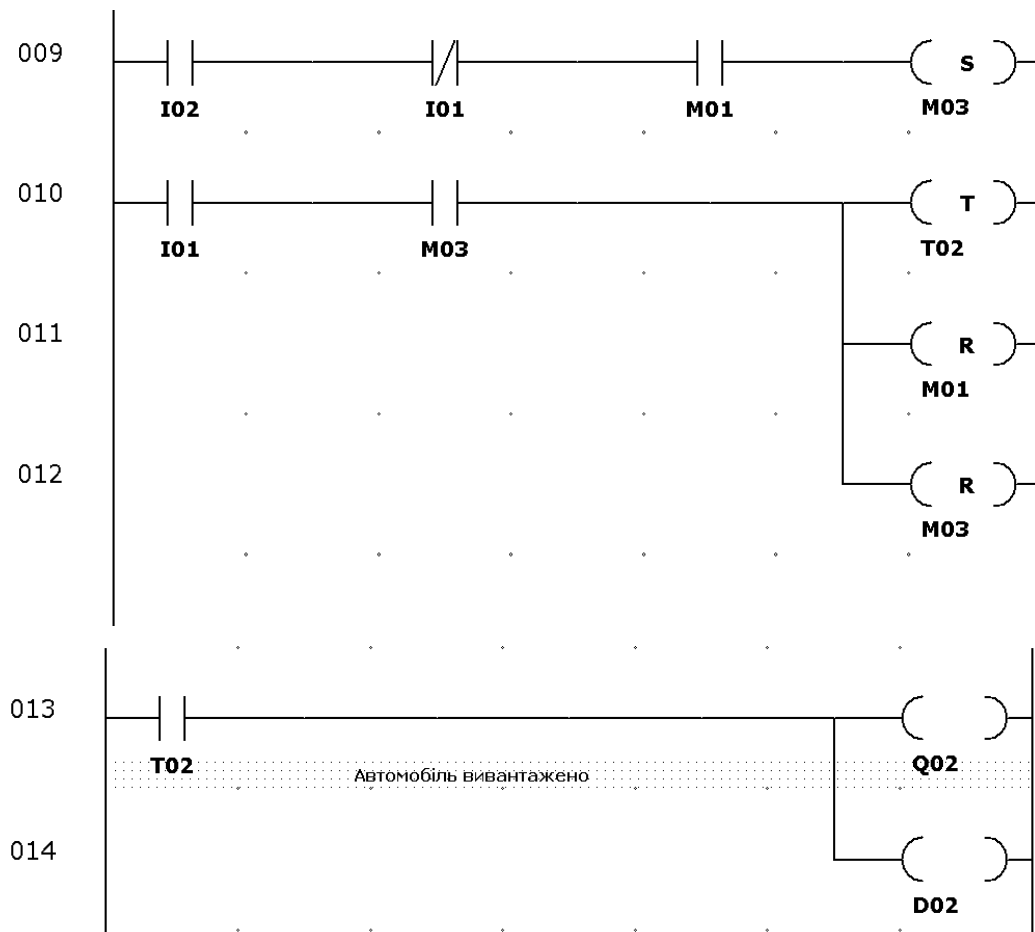


Рисунок 3.16 – Підпрограма виявлення вивантаження автомобіля

Коли транспортний засіб перетинає ділянку з розташованим датчиком і сигнал I02 знову активується, встановлюється маркер M03 (SM03). У подальшому, при виїзді автомобіля з паркувального місця, повторно фіксується сигнал I01. У цей момент відбувається активація реле часу. Крім того, одночасно із запуском реле часу (рис. 3.17) виконуються наступні умови:

I01-M03-RM03

I01-M03-RM01

М - (Reset Marker), повертає відповідним маркерам нульові значення.

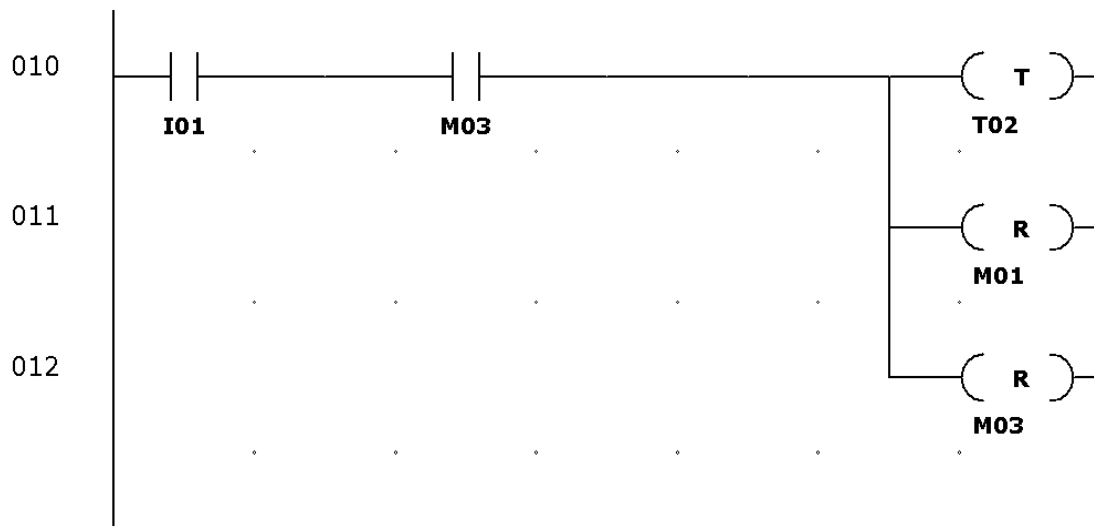


Рисунок 3.17 Спрацювання реле часу

Застосування таймерів (рис. 3.18) дозволяє забезпечити комутацію виходів ПЛК на заданий інтервал часу тривалістю 2 секунди. Цей проміжок є оптимальним для виконання сигналізації, яка інформує про процес завантаження або вивантаження автомобіля.



Рисунок 3.18 – Комутація виходів ПЛК

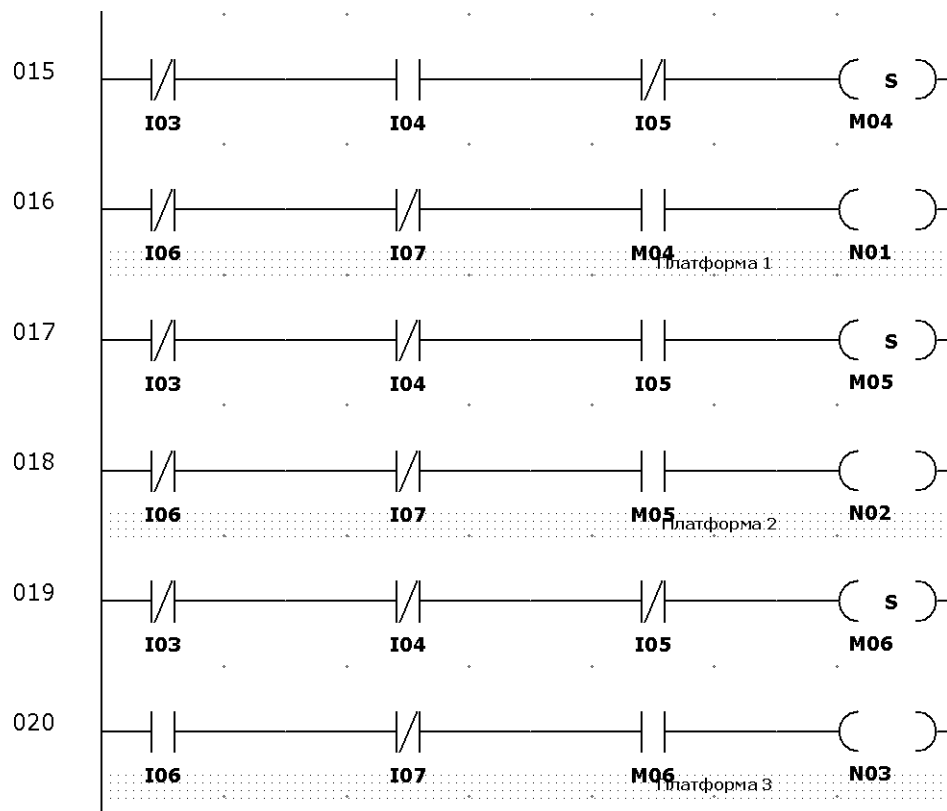
Схема роботи датчика позиціонування платформ

З урахуванням конструктивних характеристик датчика, що відповідає за визначення позиції, складемо таблицю, яка відображає взаємозв'язок між номером платформи та отримуваним від нього сигналом.

Таблиця 3.1 – Співвідношення номеру платформи та сигналів від датчика

Номер платформи	Наявність сигналів на дискретних входах ПЛК
1	I03- <u>I04</u> -I05-I06-I07
2	I03-I04- <u>I05</u> -I06-I07
3	I03-I04-I05- <u>I06</u> -I07
4	I03-I04-I05-I06- <u>I07</u>
5	I03- <u>I04</u> - <u>I05</u> -I06-I07
6	I03- <u>I04</u> -I05- <u>I06</u> -I07
7	I03- <u>I04</u> -I05-I06- <u>I07</u>
8	I03-I04- <u>I05</u> - <u>I06</u> -I07
9	I03-I04- <u>I05</u> -I06- <u>I07</u>
10	I03-I04-I05- <u>I06</u> - <u>I07</u>

Використовуючи інформацію, наведену в таблиці 3.1, виконаємо побудову релейно-контактної схеми для реалізації програми датчика визначення положення (рис. 3.19):



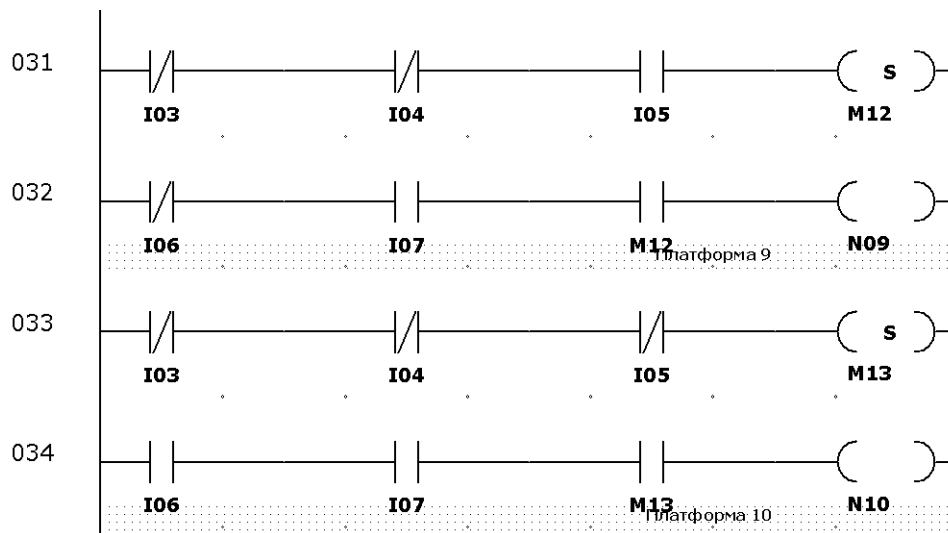


Рисунок 3.19 – Схема роботи програми датчика позиціонування

З огляду на специфіку мови Ladder, виникає потреба у внесенні певних корективів до способу запису логічних виразів. За рахунок аналізу заданих комбінацій дискретних сигналів на вході, програмований логічний контролер ідентифікує номер платформи, яка перебуває у положенні для завантаження транспортних засобів. Після цього встановлюється маркер М, який зберігає своє значення до моменту, коли платформа починає рух (рис. 3.20).

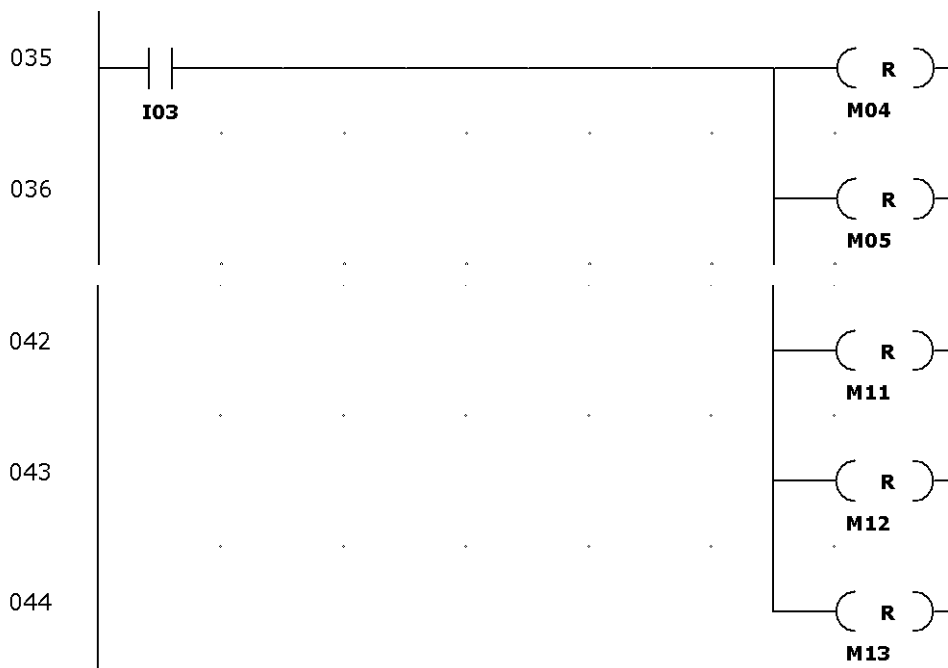


Рисунок 3.20 – Зняття маркеру М

Розглянемо детальніше підпрограму, що забезпечує взаємодію між пультом управління та сенсором, який визначає положення платформ. Ця програма

призначена для генерації сигналів, необхідних для запуску та зупинки роботи електродвигуна.

Принцип побудови підпрограми взаємодії пульта керування та датчика позиціонування платформ

На основі інформації, отриманої від сенсора, що відстежує положення платформ, та даних про стан кнопок пульта управління, здійснюється активація двигуна для обертання вліво або вправо. Визначення напрямку руху проводиться, спираючись на загальну концепцію розташування платформ на підйомному механізмі.

Приклад вибору напрямку руху представлено на рис. 3.21.

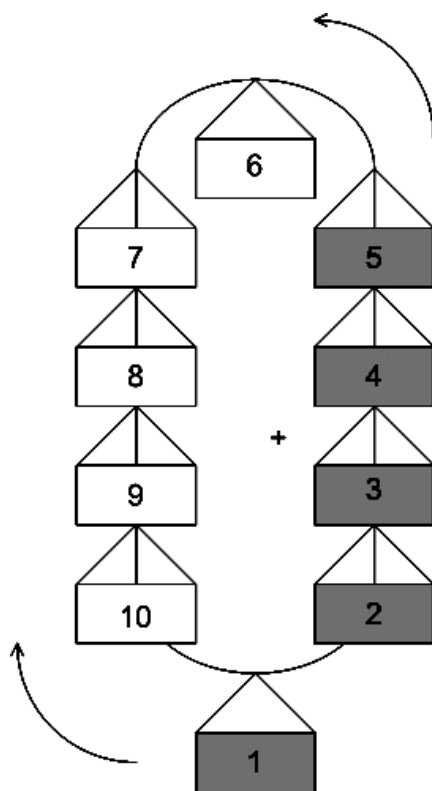


Рисунок 3.21 – Приклад вибору напрямку руху підйомника

Уявімо сценарій, коли оператор, використовуючи пульт управління, викликає платформу з номером «9». У цей момент платформа «1» перебуває у позиції завантаження (3.21). Логічний висновок полягає в тому, що найраціональнішим варіантом руху для підйомника буде напрямок ліворуч. Такий

вибір дозволяє скоротити час очікування прибуття платформи, а також сприяє зменшенню витрат електроенергії.

Схематично програма виглядає наступним чином:

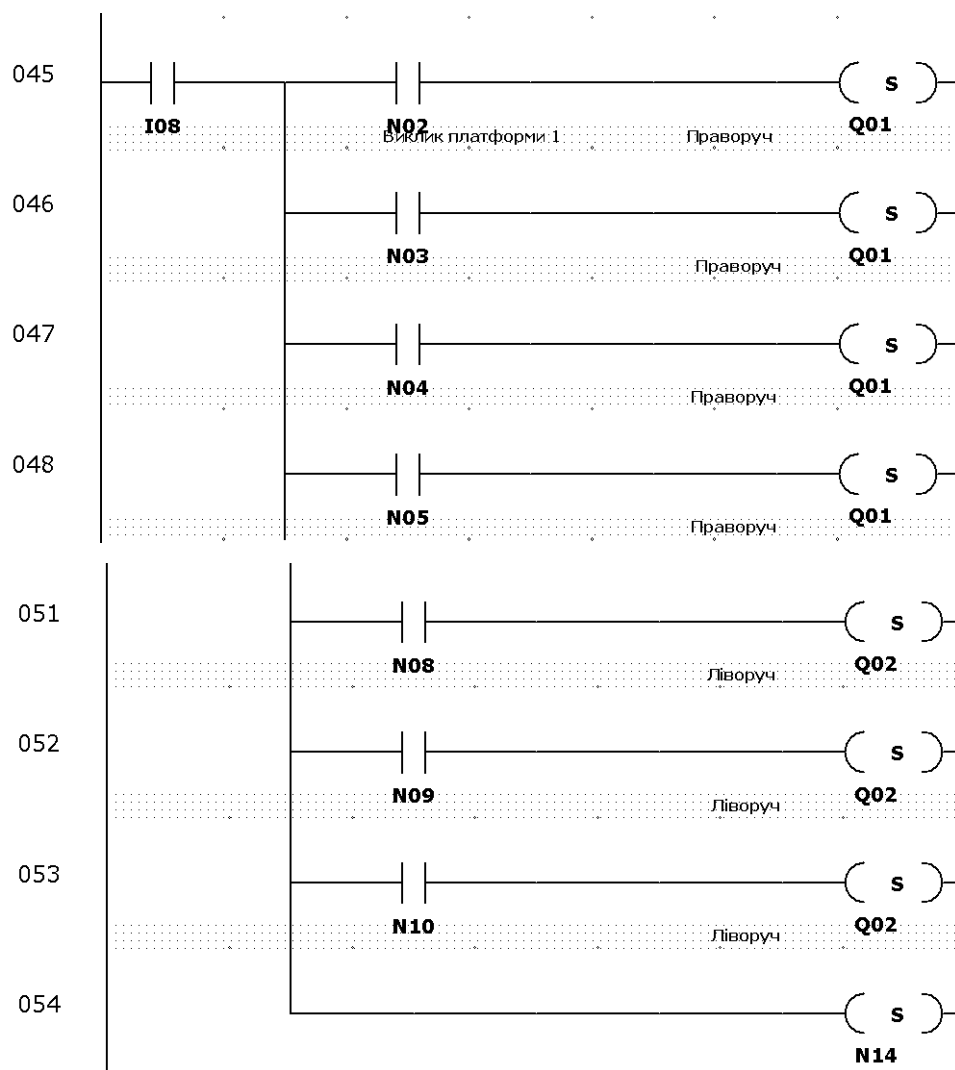


Рисунок 3.22 – Програма керування пуском електродвигуна

На рис. 3.22 показано фрагмент програми, що відповідає за запуск двигуна в ситуації, коли за допомогою пульта управління викликається платформа з номером «1». У цьому випадку алгоритм автоматично визначає оптимальний напрямок руху, активуючи релейний контакт Q01 або Q02 залежно від обраного маршруту. Наприкінці підпрограми встановлюється спеціальний маркер «N14», який зберігає в пам'яті номер викликаної платформи. Ця інформація використовується на наступному етапі для порівняння номера платформи з номерами тих, що наближаються до зони завантаження. Якщо знайдено відповідність між ними, програмований логічний контролер (ПЛК) видасть

команду на зупинку двигуна. Логіка перевірки номерів платформ та алгоритм зупинки двигуна ілюстровано на рис. 3.23.

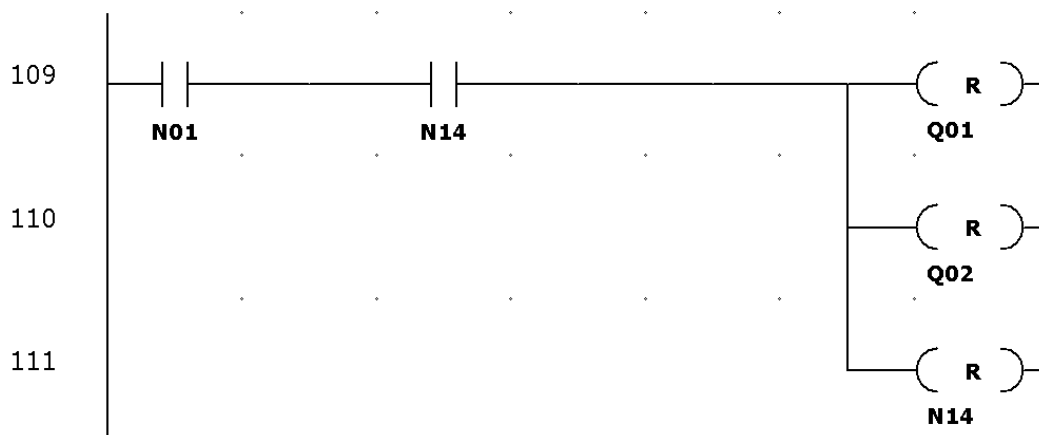


Рисунок 3.23 Програма перевірки номеру платформи та зупинки двигуна

Алгоритм роботи схеми, зображеної на рис.3.23, полягає в наступному. Коли номер активованої платформи, наприклад, маркер "N14", перебуває у стані логічної "1", і номер платформи, розташованої на позиції завантаження, також має значення "1", програмований логічний контролер (ПЛК) розмикає контакти реле Q1 або Q2. Після цього маркер "N14" переводиться в стан логічної "0". Подальші дії програми виконуються за аналогічним принципом, але з урахуванням інших номерів платформ і маркерів.

Функціональність програми була протестована за допомогою режиму «Імітація» у середовищі «easySoft v6.8 pro», а також виконано перевірку окремих підпрограм на реальному програмованому логічному контролері Easy 719-DC-RC. У процесі тестування помилок не виявлено, програмне забезпечення повністю відповідає поставленим вимогам. Загальний обсяг коду становить 127 рядків.

4 Розрахунки та експериментальні матеріали, що підтверджують працездатність та надійність виробу

4.1 Дослідження динамічних характеристик системи

4.1.1 Розрахунок параметрів асинхронного двигуна за даними каталогу

Для виконання розрахунків параметрів асинхронних електродвигунів було використано інформацію, що отримана з авторитетних довідкових джерел та технічної літератури.

Двигун 4A100L4Y3 має наступні параметри:

Номінальна потужність	$P_n = 4,0 \text{ кВт}$
Номінальна лінійна напруга статора	$U_{лн} = 380 \text{ В}$
Число пар полюсів	$p_n = 2$
Момент інерції	$J_d = 0,011 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
Коефіцієнт корисної дії	$\eta = 0,84$
Перевантажувальна здатність	$\cos(\gamma) = 0,84$
Номінальне ковзання	$S_n = 0,046$
Критичне ковзання	$S_k = 0,315$
Номінальна частота напруги статора	$f = 50 \text{ Гц}$

Характеристики Г-подібної схеми заміщення, виражені у відносних одиницях:

Індуктивний опір розсіювання статора	$\overline{X'_1} = 0,079$
Активний опір статора	$\overline{R'_1} = 0,067$
Приведений індуктивний опір розсіювання ротора	$\overline{x''_2} = 0,14$
Приведений активний опір ротора	$\overline{R''_2} = 0,053$
Індуктивний опір намагнічуючого контуру	$\overline{x_\mu} = 2,4$

Розрахуємо параметри номінального режиму двигуна.

Кутова швидкість вектора напруги статора:

$$\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 157 \text{ рад/с.}$$

Швидкість ідеального холостого ходу:

$$\omega_{xx} = \frac{\omega_0}{p_n} = \frac{314}{2} = 157 \text{ рад/с.}$$

Номінальна швидкість двигуна:

$$\omega_n = \omega_{xx} \cdot (1 - S_n) = 157 \cdot (1 - 0,046) = 149,77 \text{ рад/с.}$$

Номінальний момент двигуна:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{4000}{149,77} = 26,7 \text{ Н·м.}$$

Граничний момент двигуна (визначений на основі перевантажувальної здатності згідно з даними каталогу):

$$M_k = \lambda \cdot M_n = 2,4 \cdot 26,7 = 64,08 \text{ Н·м.}$$

Номінальна фазна напруга:

$$U_{1\phi n} = \frac{U_{1\pi n}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В.}$$

Номінальне діюче значення фазного струму статора:

$$I_{1\phi n} = \frac{P_{2n}}{3 \cdot U_{1\phi n} \cdot \eta \cdot \cos(\gamma)} = \frac{4000}{3 \cdot 220 \cdot 0,84 \cdot 0,84} = 8,6 \text{ А.}$$

Номінальний потік :

$$\psi_n = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{1\phi n}}{\omega_0} = \frac{311}{314} = 0,99 \text{ Вб.}$$

Математичну модель асинхронного двигуна (АД), розроблену для схеми заміщення у формі Т, зображеної на рисунку 4.1, використовують у відповідних розрахунках. Для переведення параметрів із Г-подібної схеми заміщення до Т-подібної форми застосовується методика, описана у джерелі [5].

Коефіцієнт, що використовується для приведення параметрів між Т-подібною і Г-подібною конфігураціями:

$$c_1 = \frac{x_\mu + \sqrt{x_\mu^2 + 4 \cdot x_1' \cdot x_\mu}}{2 \cdot x_\mu} = \frac{2,4 + \sqrt{2,4^2 + 4 \cdot 0,079 \cdot 2,4}}{2 \cdot 2,4} = 1,031$$

Параметри Т-подібної схеми заміщення у відносних одиницях:

$$\overline{x_1'} = \frac{x_1'}{c_1} = \frac{0,079}{1,031} = 0,0766 ,$$

$$\overline{R_1'} = \frac{R_1'}{c_1} = \frac{0,067}{1,031} = 0,0649 ,$$

$$\overline{x_2'} = \frac{x_1''}{c_1^2} = \frac{0,14}{1,031^2} = 0,131 ,$$

$$\overline{R_2'} = \frac{R_1''}{c_1^2} = \frac{0,053}{1,031^2} = 0,0499 .$$

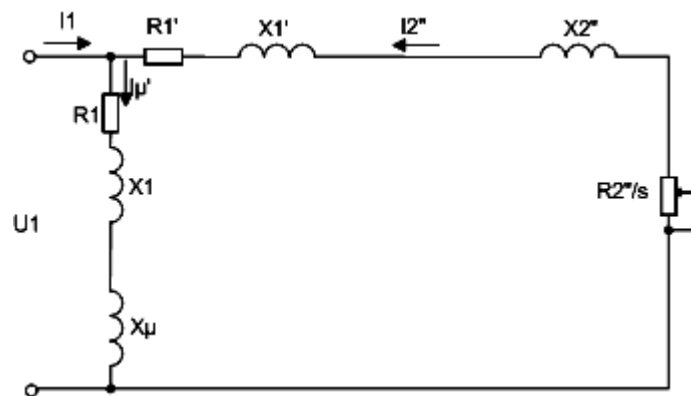


Рисунок 4.1 – Г-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

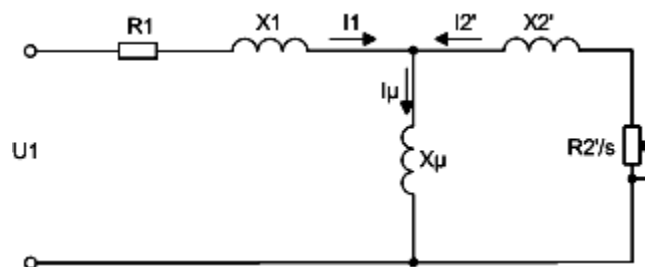


Рисунок 4.2 – Т-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

Параметри Т-подібної схеми заміщення в абсолютних одиницях :

$$x_1 = \overline{x_1'} \cdot \frac{U_{1\phi n}}{I_{1\phi n}} = 0,076 \cdot \frac{220}{8,6} = 1,94 \text{ Ом},$$

$$R_1 = \overline{R_1} \cdot \frac{U_{1\phi n}}{I_{1\phi n}} = 0,0649 \cdot \frac{220}{8,6} = 1,66 \text{ Ом},$$

$$x_2' = \overline{x_2'} \cdot \frac{U_{1\phi n}}{I_{1\phi n}} = 0,079 \cdot \frac{220}{8,6} = 2,02 \text{ Ом},$$

$$R_2' = \overline{R_2'} \cdot \frac{U_{1\phi n}}{I_{1\phi n}} = 0,049 \cdot \frac{220}{8,6} = 1,25 \text{ Ом},$$

$$x_\mu = \overline{x_\mu} \cdot \frac{U_{1\phi n}}{I_{1\phi n}} = 2,4 \cdot \frac{220}{8,6} = 61,39 \text{ Ом},$$

Індуктивності розсіювання статора і ротора:

$$L_{1\sigma} = \frac{x_1}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{1,94}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0061 \text{ Гн},$$

$$L_{2\sigma} = \frac{x_2'}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{2,02}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0064 \text{ Гн}.$$

Індуктивність намагнічуючого контуру:

$$L_m = \frac{x_\mu}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{61,39}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,1955 \text{ Гн}.$$

Індуктивності статора і ротора:

$$L_1 = L_m + L_{1\sigma} = 0,1955 + 0,0061 = 0,201 \text{ Гн},$$

$$L_2 = L_m + L_{2\sigma} = 0,1955 + 0,0064 = 0,2019 \text{ Гн}.$$

Щоб вивести рівняння математичної моделі асинхронного двигуна в координатах (d-q), необхідно розрахувати значення таких коефіцієнтів:

$$\sigma = \frac{L_1 \cdot L_2 - L_m^2}{L_2} = \frac{0,201 \cdot 0,2019 - 0,1955^2}{0,2019} = 0,00564,$$

$$\alpha = \frac{R_2'}{L_2} = \frac{1,25}{0,2019} = 6,19,$$

$$\beta = \frac{L_m}{\sigma \cdot L_2} = \frac{0,1955}{0,00564 \cdot 0,2019} = 0,00114,$$

$$\gamma = \frac{R_1}{\sigma} + \alpha \cdot \beta \cdot L_m = \frac{1,66}{0,00564} + 6,19 \cdot 0,00114 \cdot 0,1955 = 294,32.$$

4.2 Аналіз динамічних режимів

Для визначення динамічних характеристик системи необхідно побудувати структурну модель підйомника. Найраціональнішим підходом буде моделювання системи із змінним моментом динаміки. Розглянемо ситуацію, за якої автопаркувальний підйомник у початковому стані завантажений транспортними засобами лише з одного боку. У цьому випадку оператор, використовуючи пульт керування, викликає платформу з позначенням «7» (рис.4.3).

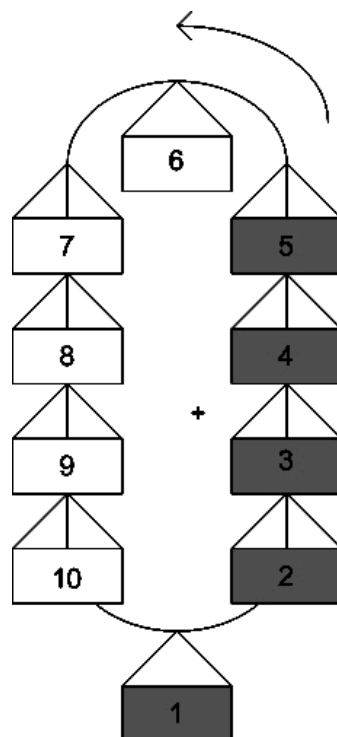


Рисунок 4.3 – Схема навантаження в початковий момент часу

Після виклику платформи з індексом «7» програма управління визначає оптимальний напрямок переміщення, який у цьому випадку обирається як «Рух ліворуч». Це рішення приймається на основі аналізу загальної відстані переміщення платформ і часу, необхідного для прибуття викликаної платформи, що забезпечує найкращий варіант у даних умовах. Під час обертання платформ у лівому напрямку, платформи, які вже зайняті, переміщуються на протилежний бік, що змінює загальний розподіл навантаження. У кінцевій фазі з лівого боку спостерігається зростання навантаження, яке поступово призводить до негативного значення моменту навантаження. На рис. 4.4 представлено схему, яка демонструє стан навантаження підйомника у фінальному положенні.

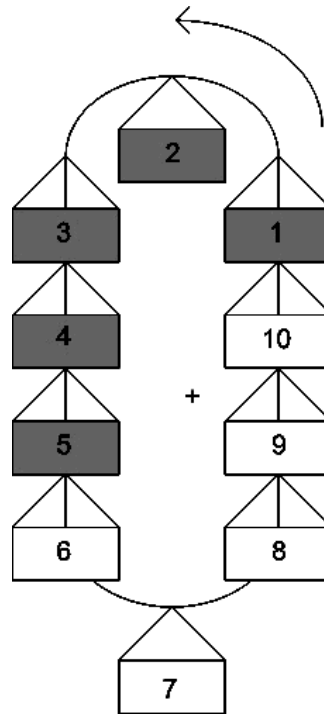


Рисунок 4.4 – Схема навантаження в кінцевий момент часу

Таким чином, з ілюстрації на рис. 4.4 можна зробити висновок, що кількість платформ, розташованих з лівої сторони автопідйомника, перевищує кількість платформ з правої сторони на дві одиниці. Для визначення моменту навантаження, величина якого змінюється залежно від руху платформ, необхідно мати наступну інформацію:

- довжина ланцюга: $L_{ланц} = 24\text{ м}$ - відстань між розташуванням платформ:

$$L_{платф} = \frac{24}{10} = 2,4\text{ м}$$

Виконаємо обчислення моментів навантаження для кожного з чотирьох окремих відрізків:

$$M_{c1} = \frac{(2 \cdot m \cdot g \cdot (R_{зв} + L) + 3 \cdot m \cdot g \cdot R_{зв}) \cdot i_{кп} \cdot i_{ред}}{\eta_{дв} \cdot \eta_{кп} \cdot \eta_{ред}} =$$

$$= \frac{(2 \cdot 2150 \cdot 9,8 \cdot (0,546 + 0,95) + 3 \cdot 2150 \cdot 9,8 \cdot 0,546) \cdot 0,019 \cdot 0,01}{0,82 \cdot 0,98 \cdot 0,92} = 25,104 \text{ Н·м}$$

На другому етапі:

$$M_{c2} = \frac{(-m \cdot g \cdot (R_{зв} + L) + m \cdot g \cdot (R_{зв} + L) + 3 \cdot m \cdot g \cdot R_{зв}) \cdot i_{кп} \cdot i_{ред}}{\eta_{дв} \cdot \eta_{кп} \cdot \eta_{ред}} =$$

$$= \frac{(-2150 \cdot 9,8 \cdot (0,546 + 0,95) + 2150 \cdot 9,8 \cdot (0,546 + 0,95) + 3 \cdot 2150 \cdot 9,8 \cdot 0,546) \cdot 0,019 \cdot 0,01}{0,82 \cdot 0,98 \cdot 0,92} =$$

$$= 8,881 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

На третьому етапі:

$$M_{c3} = \frac{(-m \cdot g \cdot (R_{зб} + L) - m \cdot g \cdot R_{зб} + m \cdot g \cdot (R_{зб} + L) + 2 \cdot m \cdot g \cdot R_{зб}) \cdot i_{кп} \cdot i_{ред}}{\eta_{дв} \cdot \eta_{кп} \cdot \eta_{ред}} =$$

$$= \frac{(-2150 \cdot 9,8 \cdot (0,546 + 0,95) - 2150 \cdot 9,8 \cdot (0,546 + 0,95) + 2 \cdot 2150 \cdot 9,8 \cdot 0,546) \cdot 0,019 \cdot 0,01}{0,82 \cdot 0,98 \cdot 0,92} =$$

$$= 2,96 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

На четвертому етапі:

$$M_{c3} = \frac{(-m \cdot g \cdot (R_{зб} + L) - 2 \cdot m \cdot g \cdot R_{зб} + m \cdot g \cdot (R_{зб} + L) + m \cdot g \cdot R_{зб}) \cdot i_{кп} \cdot i_{ред}}{\eta_{дв} \cdot \eta_{кп} \cdot \eta_{ред}} =$$

$$= \frac{(-2150 \cdot 9,8 \cdot (0,546 + 0,95) - 2 \cdot 2150 \cdot 9,8 \cdot (0,546 + 0,95) + 2150 \cdot 9,8 \cdot 0,546) \cdot 0,019 \cdot 0,01}{0,82 \cdot 0,98 \cdot 0,92} =$$

$$= -2,96 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

У ході проведених розрахунків було визначено чотири різні моменти, які впливають на електродвигун під час переміщення платформ. Під час обчислення цих моментів ми врахували певні припущення, які дозволили спростити розрахунки:

- Значення моменту змінюється різко, без урахування поступового зростання або зменшення в точці проходження зубчастого колеса.

- Власну вагу платформ було проігноровано, оскільки вони розташовані симетрично на підйомному механізмі та взаємно врівноважують одна одну.

- Лінійну швидкість переміщення платформ прийняли умовно рівною 1 м/хв.

Для дослідження динамічних характеристик скористаємося можливостями пакета Simulink 4.0, інтегрованого у середовище MATLAB версії 6.5. Для цього застосуємо спеціально створену модель, зображену на рис.4.5. Ця модель побудована з окремих блоків, кожен з яких відповідає за реалізацію певного елемента структурної схеми. Окрім основних блоків, модель також включає додаткові компоненти, які забезпечують її функціонування та дозволяють візуалізувати результати симуляції.

Опис елементів моделі.

Рисунок 4.5 – Структурна схема системи з АД

Графічне відображення динаміки змін характеристик під час руху підйомника наведено на рис.4.6–4.11.

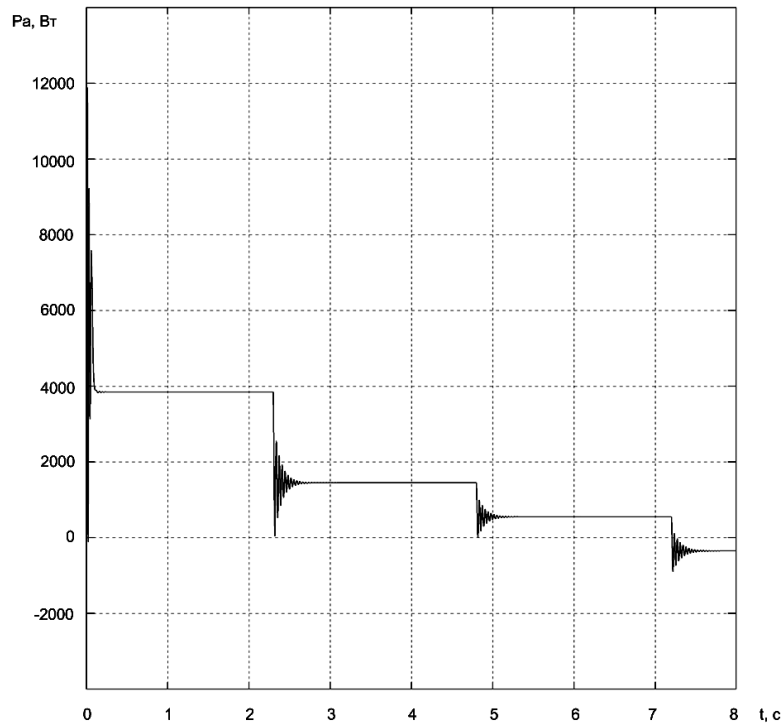


Рисунок 4.6 – Графік зміни активної потужності двигуна

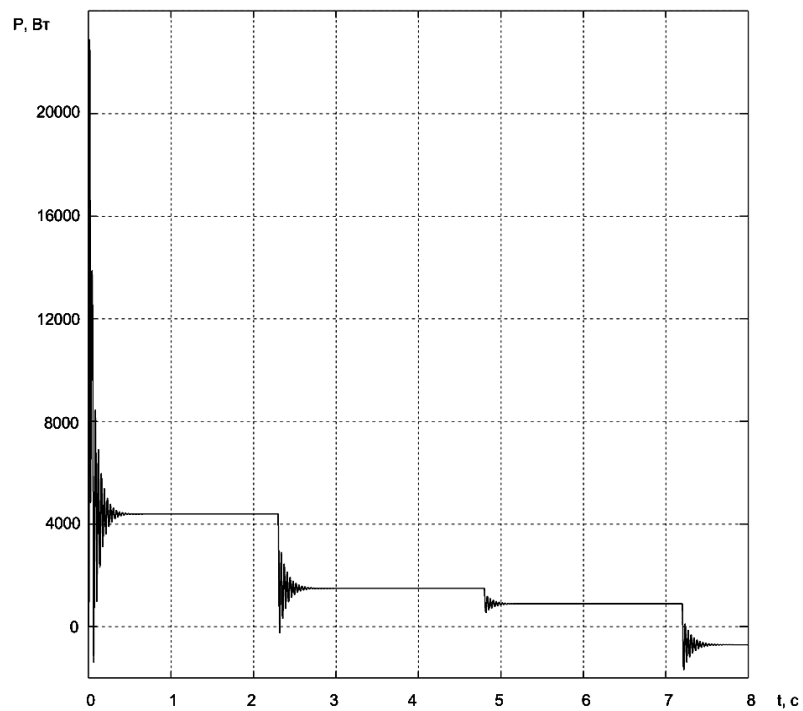


Рисунок 4.7 – Графік зміни механічної потужності

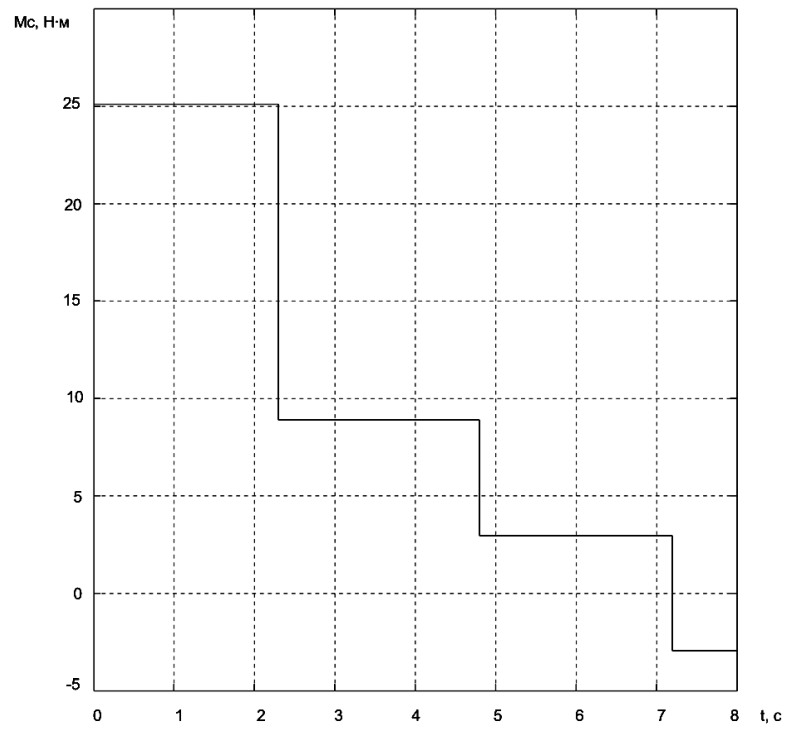


Рисунок 4.8 – Графік зміни моменту навантаження

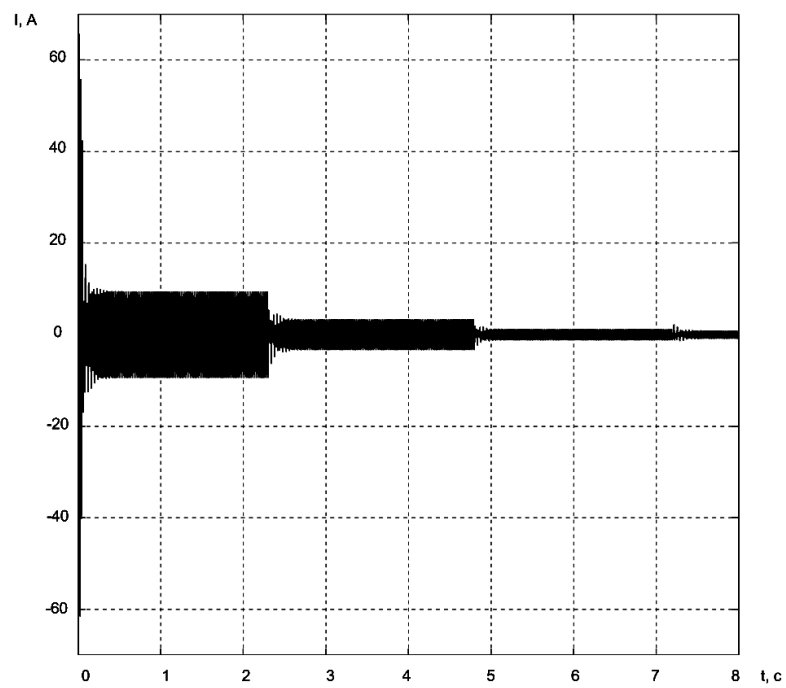


Рисунок 4.9 – Графік зміни струму ротора

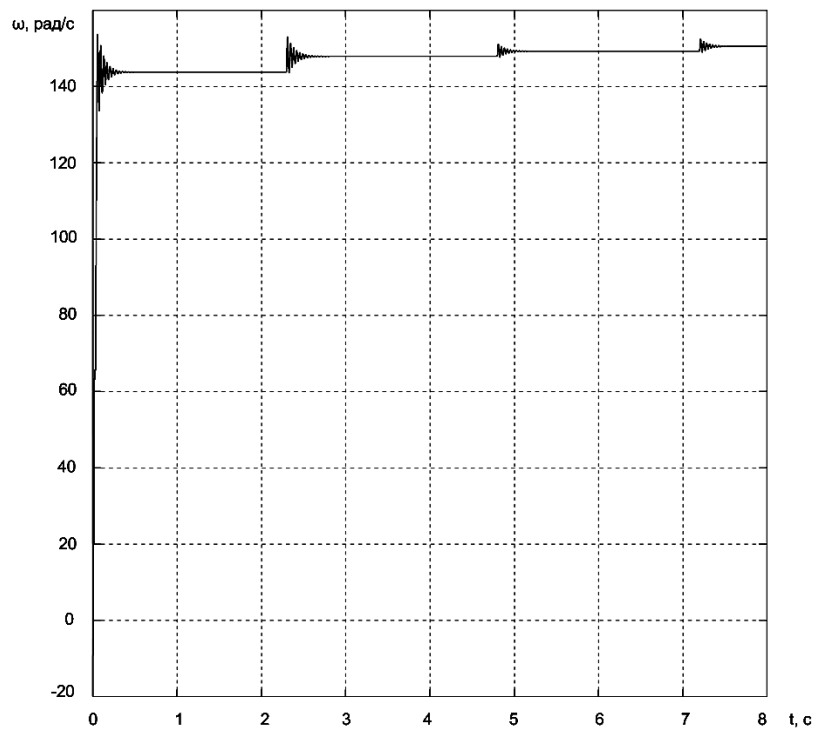


Рисунок 4.10 – Графік перехідного процесу швидкості

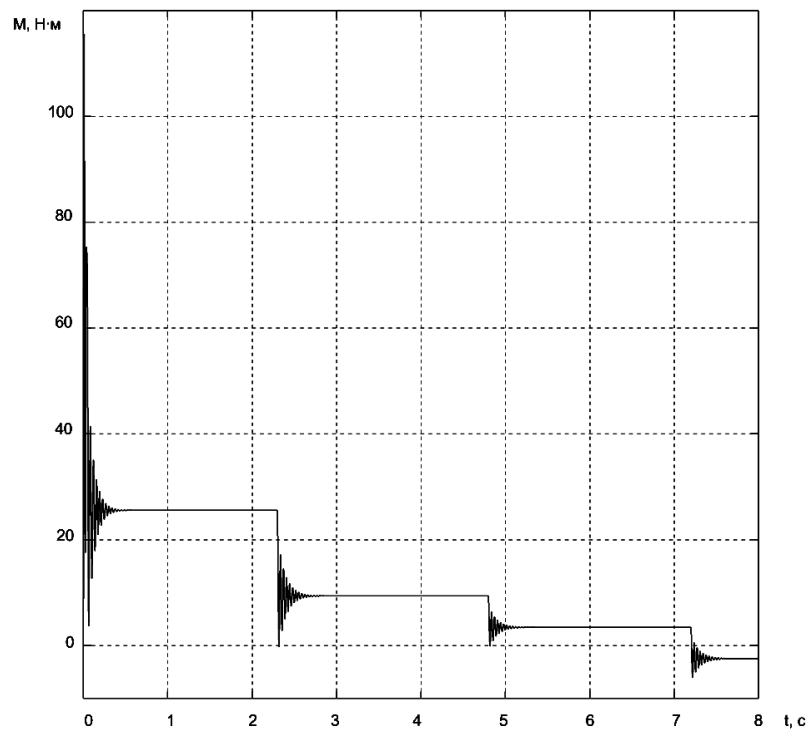


Рисунок 4.11 – Графік зміни моменту двигуна

Аналізуючи графік перехідного процесу зміни кутової швидкості, можна зазначити, що стабілізація цього параметра відбувається за проміжок часу, який становить менше 0,5 секунди.

Аналізуючи динаміку зміни потужності на графіку, можна дійти висновку, що приблизно на 7,2 секунді роботи двигун почав функціонувати в генераторному режимі, тобто розпочав процес рекуперації енергії з поверненням її до електромережі.

У реальних умовах ситуація з нерівномірним розподілом ваги, що була розглянута, зустрічається вкрай рідко. Це обумовлено наявністю спеціальної програми в програмованому логічному контролері (ПЛК), яка виконує розрахунок балансу всієї системи. Конструкція обладнання передбачає, що тривале перевантаження підйомного механізму з одного боку не повинно перевищувати вагу двох автомобілів. Для попередження про можливе порушення балансу на панелі управління встановлено спеціальну сигнальну лампу з позначкою «!», яка інформує оператора про виникнення дисбалансу.

ВИСНОВОК

У межах випускної кваліфікаційної роботи створено електромеханічну систему для автопаркувального підйомника, призначеного для легкових автомобілів. Проведено детальні розрахунки силової частини з вибором відповідного електроприводу та його компонентів. З метою забезпечення точного позиціонування платформ і визначення присутності транспортних засобів було розроблено два спеціалізованих датчики. Їх функціонування базується на принципі паралельної роботи кількох оптопар, що підвищує точність і надійність системи. Основним елементом управління обрано програмований логічний контролер Moeller серії easy 719-DC-RC, який має 20 дискретних входів і 8 релейних виходів, що є достатнім для контролю всіх ключових елементів системи.

Створені алгоритми функціонування підпрограм, що забезпечують опитування датчиків та пульта управління, а також детально розроблений основний алгоритм роботи головної програми. Використовуючи програмне середовище easy Soft версії 6.8, була реалізована програма для програмованого логічного контролера (ПЛК) із застосуванням мови програмування релейно-контактної логіки (Ladder Logic).

За допомогою інструментарію Simulink у середовищі Matlab було виконано моделювання функціонування як виконавчої, так і керуючої частин електромеханічної системи. Проведений аналіз отриманих даних демонструє, що результати відповідають встановленим технічним вимогам та критеріям ефективності системи.

Окрім моделювання режимів динаміки, виконано тестування функціонування програмованого логічного контролера за допомогою інструменту «Симулювання», інтегрованого в програмне забезпечення easySoft. У процесі імітації роботи контролера, що відповідає реальним умовам, було проаналізовано стан усіх регістрів змінних (марок). За результатами перевірки зроблено висновок про коректність функціонування створеної програми.

У процесі створення інноваційної електромеханічної системи для автопаркувального підйомника було досягнуто значного покращення управління. Нова система мінімізує необхідність людського втручання у процедуру паркування транспортних засобів, а також повністю усуває ризик введення оператором некоректних команд, які могли б призвести до перевантаження обладнання та негативного впливу на роботу всієї системи. Завдяки впровадженню автоматизації, процедура паркування стала більш комфортною, ефективною та підвищила загальний рівень безпеки.

ЛІТЕРАТУРА

Додаток А. Охорона праці