

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій та
робототехніки

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Другий (Магістерський)
Освітній рівень.

Галузь знань 15 Автоматизація та приладобудування

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня програма 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

На тему “Удосконалений метод керування зарядною станцією електромобілів”

КвРАКІТтаР. 2022220.22.01.05 ПЗ

Виконав:

студент 2 курсу, група АКІТм-22-1



Підпис

Віталій КАЛУЖСЬКИЙ

Керівник

Д-р техн наук, проф



Підпис

Валерій МАРТИНЮК

Нормоконтролер



Підпис

Людмила КОРЕЦЬКА

До захисту допускаю:

Зав. кафедри АКІТтаР д.т.н., проф



Підпис

Валерій МАРТИНЮК

21 12 2023р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА РОБОТОТЕХНІКИ

Освітній рівень ДРУГИЙ (МАГІСТРСЬКИЙ)

Галузь знань 15 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

Спеціальність 151 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА РОБОТОТЕХНІКИ

Освітня програма АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА РОБОТОТЕХНІКА

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

В. Маросевич
"10" 09 20 рік

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Калужський Віталій Вячеславович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалений метод керування зарядною станцією електромобілів

Керівник роботи Мартинюк Валерій Володимирович, д.т.н., професор

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

Затверджена наказом по університету від 15.09.2023р № 130

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 02.12.2023р

3. Вихідні дані Аналізувати роботу зарядних станцій. Виявити сильні та слабкі сторони використання технології. Покращити роботу та ефективність роботи зарядних станцій.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Огляд методів та інформаційних технологій систем заряду електромобілів. Математична модель PID-регулятора. Тереотична розробка покращеного метода зарядної станції електромобіля. Симуляція методу.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) 1. Огляд методів та інформаційних технологій систем заряду електромобілів 2. Шлях розвитку технологій зарядки акумуляторів електромобілів 3. Технології заряджання автомобіля за допомогою відновлювальних джерел енергії 4. Математична модель Buck та модель Boost 5. Модель Buck 6. Модель Boost 7. Математична модель PID-регулятора 8. Тереотична розробка покращеного метода зарядної станції електромобіля 9. Симуляція методу 10. Висновки

Завдання отримав

Науковий керівник

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормконтроль	к.т.н, доцент Корецька Л.О.		
Антиплагіат	к. т. н. доцент Федула М. В.		

7. Дата видачі завдання: « 4 » вересня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Грунтовне ознайомлення з предметною галуззю	4.09.2023	Виконан
2	Визначення структури магістерської роботи	7.09. 2023	Виконан
3	Робота над першим розділом магістерської роботи	3.10. 2023	Виконан
4	Робота над першою статтею за результатами обробки літературних джерел	8.10. 2023	Виконан
5	Робота над другим розділом магістерської роботи	3.11. 2023	Виконан
6	Робота над третім розділом магістерської роботи	12.11. 2023	Виконан
7	Робота над четвертим розділом магістерської роботи	22.11. 2023	Виконан
8	Підготовка ілюстративного матеріалу	1.12. 2023	Виконан
9	Оформлення текстової і графічної частини магістерської роботи	3.12. 2023	Виконан
10	Попередній захист магістерської роботи	8.12. 2023	Виконан
11	Захист ДРМ на засіданні ЕК	15.12. 2023	Виконан

Студент

Підпис

Ініціали, прізвище

Керівник роботи

Підпис

Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

Тема магістерської роботи: «Удосконалений метод керування зарядною станцією електромобілів».


Автор роботи: Калужський Віталій Вячеславович.

Керівник роботи: Мартинюк Валерій Володимирович.

Пояснювальна записка: 81 с., 31 рис., 0 табл., 1 дод., 43 джерела.

GaN, ГАЛІЙ НІТРИД, PID, ПРОПОРЦІЙНО - ІНТЕГРАЛЬНО - ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИЙ МЕТОД.

Під час написання роботи були досліджені пристрої та системи для зарядки електромобілів. Метою магістерської роботи було створення методу керування зарядною станцією електромобіля на основі PID-алгоритму та компонентів GaN для підвищення ефективності процесу. Всі завдання були виконані.


Підпис студента

20.12.2023
Дата

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1 ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ СИСТЕМ ЗАРЯДУ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ.....	8
1.1 Шлях розвитку технологій зарядки акумуляторів електромобілів.....	8
1.2 Технології заряджання автомобіля за допомогою відновлювальних джерел енергії.....	16
1.3 Методи підзаряджання транспортних засобів за допомогою відновлювальних джерел енергії.....	30
1.4 Висновки до розділу 1.....	35
2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ PID-РЕГУЛЯТОРА.....	37
2.1 Зворотній зв'язок.....	37
2.2 Компоненти P. I. D.....	43
2.3 Модель PID.....	54
2.4 Висновки до розділу 2.....	56
3 ТЕОРЕТИЧНА РОЗРОБКА ПОКРАЩЕНОГО МЕТОДУ ЗАРЯДНОЇ СТАНЦІЇ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ.....	58
3.1 Сучасний метод зарядки електромобілів.....	58
3.2 Технологія GaN і технологія PID.....	62
3.3 Висновки до розділу 3.....	67
4 СИМУЛЯЦІЯ МЕТОДУ.....	69
4.1 Вибір програми для симуляції.....	69
4.2 Симуляція.....	71
4.3 Висновки до розділу 4.....	75
ВИСНОВКИ.....	77
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	78
Додаток А Стаття у фаховому журналі.....	82

ВСТУП

Актуальність теми. Актуальність розробки удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобілів визначається сучасними тенденціями розвитку транспортної системи та виробництва електроенергії. Зростання кількості електромобілів на дорогах, прагнення до зменшення викидів CO₂ та перехід до стійких джерел енергії роблять цю тему особливо важливою.

Удосконалення методів керування спрямоване на покращення ключових аспектів зарядної інфраструктури. Швидкість зарядки стає визначальним фактором для зручності користувачів, і вдосконалення цього процесу може значно полегшити прийняття електромобілів в суспільстві.

Зокрема, оптимізація використання енергії та інтеграція з відновлювальними джерелами сприяє підвищенню стійкості та ефективності електромобільних систем. Адаптивне управління може забезпечити гнучкість та ефективність в умовах змінного навантаження. Подальший розвиток методів керування також важливий для забезпечення безпеки користувачів та захисту їхніх особистих даних. З урахуванням цих аспектів, вивчення та вдосконалення методів керування зарядними станціями є ключовим напрямком для вирішення викликів, пов'язаних з масовим впровадженням електромобілів та переходом до сталого енергетичного майбутнього.

Мета роботи. Основною метою є створення системи, яка відповідає сучасним екологічним та технологічним вимогам, сприяє розширенню цієї галузі та сприяє сталому розвитку. Розробка удосконаленого методу керування станцією зарядки є ключовим етапом в створенні інфраструктури, яка задовольняє потреби сучасного суспільства в мобільності, енергоефективності та екологічній стійкості.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є метод керування зарядною станцією електромобілів.

Предмет дослідження. Це є розробка покращеного методу керування використовуючи сучасні технології.

Методи дослідження. При вирішенні поставлених задач буде використано фізичні методи та автоматизацію процесів.

Наукова новизна отриманих результатів. Наукова новизна даної роботи проявляється в кількох ключових аспектах. По-перше, це може бути новаторський підхід до інтеграції передових технологій, таких як галієвий нітрид (GaN) та пропорційно-інтегрально-диференціальний (PID) регулятор. Важливим є розгляд можливостей оптимізації алгоритмів управління зарядною станцією, зокрема розробка нових чи вдосконалення існуючих стратегій зарядки, які враховують змінні умови та потреби користувачів.

Практична значимість. Практична значимість роботи удосконалення методу керування зарядною станцією електромобілів виявляється в реальних перевагах для суспільства та електромобільної індустрії. Цей дослідження спрямоване на підвищення швидкості та ефективності зарядки, що полегшує щоденне використання електромобілів для користувачів. Завдяки удосконаленню методів керування, користувачі зможуть швидше та зручніше заряджати свої електромобілі, що може стимулювати більший інтерес до використання таких автомобілів.

Апробація результатів дослідження. Результати досліджень були представлені в науковому журналі "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах" №5 2023р.

У сучасному світі активно набуває популярності концепція зеленої енергетики. На різних континентах ведеться інтенсивний пошук та використання відновлювальних природних ресурсів для забезпечення енергії. Особливу увагу приділяють використанню сонячної енергії, яка є

найбільш пріоритетною. Для її видобутку не потрібні специфічні географічні умови, на відміну від інших джерел. Вітрові електростанції вимагають розташування біля водойм, у гірських районах чи місцях з інтенсивними вітровими потоками. Гідроелектростанціям необхідні потужні та повноводні річки, чия вода пройде через греблю, приводячи в рух турбіни для виробництва енергії. Вітрові та гідроелектростанції використовують турбіни для забезпечення потоку енергії. На відміну від них, сонячна енергетика абсолютно статична, не маючи рухомих частин.

У сонячних електростанціях відсутні турбіни, ротори та статори, а енергія виробляється за допомогою чутливих фотоелементів, що реагують на світло. Фотони, що потрапляють на фотоелемент, викликають рух електронів у кремнії, матеріалі сонячних елементів. Великі сонячні панелі складаються з окремих малих елементів, які, у сукупності, формують відому всім панель. Ці панелі покривають великі площі суходолу, утворюючи великі сонячні електростанції. Площі таких станцій можуть бути вимірювані гектарами, а їх потужності - мегаватами. Незважаючи на це, кожна така станція все одно поступається за потужністю будь-якій тепловій електростанції, що використовує спалювання газу, вугілля або дерева для видобутку енергії. Проте сонячні електростанції неодмінно займатимуть перші позиції у списках пріоритетності джерел енергії. Зовсім недавно сонячні електростанції вважалися дуже дорогими, малоефективними, складними у виготовленні та обслуговуванні.

У сучасний період часу сонячні електростанції та електромобілі стали повсякденністю, не викликаючи здивування, і вважаються стандартом для багатьох. Практично кожна особа може собі дозволити хоча б просту сонячну панель, призначену для зарядки телефону. Аналогічно відбулося із електромобілями, які набули популярності приблизно 15 років тому, коли великі автомобільні компанії почали випускати свої перші моделі електромобілів. Різні країни, які підтримують

ініціативи для збереження екології, почали активно підтримувати ці розробки. Деякі країни знизили податки на покупку електромобілів, зменшили податки на експлуатацію таких транспортних засобів, або взагалі зробили паркування для електромобілів безкоштовним. Все це стало чудовим стимулом від держави для того, щоб її громадяни переходили на екологічно чистий транспорт та сприяли власній країні.

Внаслідок таких заходів від країн, виробники електротранспорту приділяли більше уваги виробництву особистого електротранспорту. Кожен електротранспорт має вбудований акумулятор, який живить всю систему. Для заряджання акумулятора потрібен особливий спосіб заряджання через інвертор струму, який перетворює напругу від побутових 220 вольт або промислових 380 вольт до спеціального постійного струму. Однак виробники рекомендують використовувати лише спеціально призначені для цього зарядні розетки та надають конкретний перелік вимог до таких джерел струму.

В наш час сонячні електростанції і електромобілі стали стандартом, не викликаючи здивування. Практично кожна особа може собі дозволити принаймні просту сонячну панель, призначену для заряджання телефону. Схожа ситуація склалася і з електромобілями, які набули великої популярності приблизно 15 років тому, коли великі автомобільні виробники розпочали виробництво своїх перших електромобілів. Різні країни, які приділяють увагу екології, почали підтримувати ці розробки, знижуючи податки на покупку, експлуатацію та паркування електромобілів. Це служить чудовим стимулом від держави для переходу громадян на екологічно чистий транспорт і сприяє загальному благополуччю країни.

Зараз кожен електромобіль обладнаний акумулятором, який живить всю систему. Акумулятор вимагає заряджання, і оскільки його напруга специфічна, виробники рекомендують використовувати лише спеціальні

зарядні станції, а не звичайні розетки. Інвертор струму в електромобілі перетворює напругу від побутових 220 вольт або промислових 380 вольт до спеціальної напруги постійного струму. Виробники надають докладний перелік вимог до таких зарядних станцій.

Але ця робота має на меті використання РІD та GaN для зарядки батареї електромобіля. Також, розробка оптимізованих методів використання енергії та інтеграції з відновлювальними джерелами сприятиме створенню більш сталої та екологічно чистої інфраструктури зарядки. Це має позитивний вплив на відображення електромобілів в контексті збереження навколишнього середовища.

Врахування аспектів безпеки та конфіденційності даних у нових методах керування сприятиме створенню довіри серед користувачів. Це важливо для успішного впровадження використання електромобілів та побудови надійної інфраструктури. Таким чином, практична вага цієї роботи полягає в реальних покращеннях для кінцевих користувачів, електромобільної індустрії та життєздатності зеленої енергетичної системи.

1 ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ СИСТЕМ ЗАРЯДУ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

1.1 Шлях розвитку технологій зарядки акумуляторів електромобілів

Цікаво розпорядився період часу, коли було створено електродвигун а саме тим, що електродвигун з'явився раніше, ніж двигун внутрішнього згоряння — на 30 років раніше, у 1821 році. Створення такого двигуна приписують фізику Майклу Фарадею, який вперше продемонстрував його функціональність, а саме перетворення електричної енергії у механічну, на виставці у Франції. Ротор такого двигуна пускався в рух за допомогою електричного поля, що формувалося мідними котушками, намотаними на статорі. На котушки подавався змінний струм, і навколо них формувалося електричне поле, що викликало рух ротора такого двигуна. Для того часу це була проривна технологія, оскільки перетворення електричної енергії в механічну визначало прогрес у багатьох галузях, де для руху різних механічних частин використовували пару. Така пара вимагала випаровування великої кількості води та її нагрівання різними горючими матеріалами, такими як нафта, мазут, вугілля, дерево. Для того, щоб пустити в рух ротор такого двигуна, потрібна була окрема котельня та команда людей, які займалися нагріванням води і підтримкою потрібного тиску у трубах. Тоді розпочався розвиток електродвигунів, оскільки вони дозволяли значно легше налагоджувати виробництво без особливих втрат по потужності.

Електротранспорт в той період також приймав свої перші форми. Його принципи були дуже подібні до теперішніх електрокарів, проте з часом ці принципи і методи функціонування еволюціонували, отримуючи вдосконалення завдяки новітнім технологіям. Перші моделі електромобілів включали в себе системи акумуляторів, що дозволяли їм подолати відстань

між різними точками, заряджатися та подовжувати свій шлях, слідуючи тим же принципам, що і зараз.

Видаток віддаленої подорожі для першого електромобіля становив лише 20 кілометрів у середньому. Дальність поїздки значно залежала від рельєфу дороги. Максимальна швидкість цього транспорту становила 12 кілометрів за годину. Нові моделі електромобілів були розроблені з врахуванням значно покращеної продуктивності. Ці автомобілі рухалися швидше, здатні подолати більші відстані та перевозити більше вантажів. Навіть був введений електричний громадський транспорт, який перевозив пасажирів, і його батареї гарантували запас ходу у 80 кілометрів. Це дозволяло йому курсувати між містами без додаткових зупинок для заряджання, використовуючи зарядні станції, спеціально побудовані для цього виду транспорту. Було зведено більше десятка таких громадських транспортних засобів.

Але прискорення і пройдений шлях стали предметом постійної уваги розробників. Наприкінці дев'ятнадцятого століття було встановлено рекорд щодо швидкості руху автомобіля, який було розігнано до 105 кілометрів за годину. Для того часу це був абсолютний досягнутий рекорд, яким жоден інший автомобіль не міг похизуватися, але електромобілю це вдалося. Це транспортний засіб відомий як "La Jamais Contente" або "Вічно Невдоволена" був створений як символ конкуренції між двома конструкторами, які не могли визначити, хто з них створює більш швидкі автомобілі. Електромобіль "La Jamais Contente" представлений на рисунку 1.1 разом із своїм пілотом і розробником - Камілем Женатці [1].

Маса електромобіля становила практично 1500 кілограмів, половину якої займали батареї, за допомогою яких транспорт здійснював рух. Саме з того моменту етап розвитку електромобілів спрямовувався на зменшення ваги та удосконалення якості акумуляторів.



Рисунок 1.1 - “La Jamais Contente” - найшвидший електромобіль XIX століття

Зарядка електромобілів того періоду відбувалася застарілим та не надто зручним методом. Тодішня риторика про екологічні проблеми ще не існувала, бо навколишнє середовище не було настільки пошкодженим, і ніхто не сумував заряджати електромобіль від бензинових генераторів. Процес виглядає наступним чином: батареї приєднувались до бензинового двигуна, який функціонував як генератор змінного струму, і починалося заряджання батареї струмом. З самого початку швидкість та запас можливої відстані електромобілів практично не відрізнялися від тих, що працювали на бензині - вони були майже однаковими. Однак головною проблемою електромобілів було ускладнене заряджання батареї під час руху. На той час випрямлення струму за допомогою діодного мосту ще не було винайдено, ця технологія з'явилася пізніше і не принесла суттєвих полегшень. Зарядка з використанням бензинового генератора залишалася

єдиною доступною альтернативою та активно використовувалася. Незважаючи на незручність цього методу, його впроваджували протягом кількох наступних років.

Тим часом автомобілі на паровій тязі стають популярними, зокрема серед водіїв. Але електромобілі не виходять з уваги: вони також користувалися популярністю, налічуючи десятки тисяч одиниць тільки у великих містах. Особливу популярність вони здобували в сферах громадського транспорту та комунальних служб. Наприклад, служби таксі використовували виключно електромобілі, а деякі технічні засоби, які виконували завдання по місту, також були електричними. Проблемою того часу залишалася вага та об'єм батарей: джерело енергії завжди потрібно було перевозити з собою, і це займало багато місця, було важким та ненадійним.

У різних аспектах електромобілі здобули загальне визнання. Люди відзначали їх тишу під час руху, відсутність виділення вихлопних газів та кіптяви, комфортність управління та високу потужність, оскільки вона не зменшувалась при нагріванні чи згорянні палива. Навіть на початку ХХ століття електромобілі визнавали як "найзручніший і найбільш придатний для користування тип автомобіля для майбутнього світу", але одночасно визнавали, що вони ще потребують значних поліпшень та доробок. Однією з головних труднощів було покращення акумуляторів та системи заряджання. Батареї були великими та важкими, а процес заряджання вимагав багато часу та призводив до великих втрат. Хоча були деякі успіхи у зменшенні ваги та розмірів акумуляторів, це не призвело до суттєвих результатів, і вони залишалися великими та важкими[2].

Спроби поліпшити акумулятори включали зміну їх типу та композиції, наприклад, впровадження газоліно-електричних акумуляторів. Їхній принцип полягав у використанні динамо-машин, які приводилися в рух за допомогою згоряння газоліну. Однак ця система все ще вимагала

перевезення додаткового генератора. На жаль, розвиток електромобілів того часу був зупинений, оскільки розвиток двигунів внутрішнього згоряння відбувався набагато швидше, і вони випередили електродвигуни за доступністю та обслуговуванням. Увага світових розробників та інженерів переключилася на підтримку двигунів внутрішнього згоряння, і навколо них почала будуватися інфраструктура.

Підвищена увага до особистого електротранспорту відновилася вноvinу у 60-х роках, що відбулося на тлі наростання екологічних проблем, пов'язаних із парниковим ефектом та енергетичною кризою. Однак це зацікавлення було тимчасовим, і розвиток знову зупинився. Інженери зрозуміли, що раніше невирішені проблеми, зокрема вага та розмір батарей, продовжували існувати, і вони були досі великими та важкими.

Наступна хвиля розвитку електромобілів повернулася в 90-х роках. На той час технології вже дозволяли створювати компактні батареї та надавати їм різноманітні форми, зокрема плоскі, які були необхідні для конструювання автомобілів у звичайних формах. Батарейний блок повинен був розташовуватися в нижній частині автомобіля, вистилаючи дно, як показано на рисунку 1.2. Таким чином можна було компактно та зручно розмістити великий плоский акумулятор, враховуючи конструкцію автомобіля.

Також значущою складовою для комфортного використання електромобіля є можливість ефективно та швидко його заряджати. У самому початку серйозного розвитку цієї галузі з цим виникли найбільші труднощі, оскільки потрібно було будувати нову інфраструктуру, спрямовану на поліпшення умов використання виключно електромобілів.

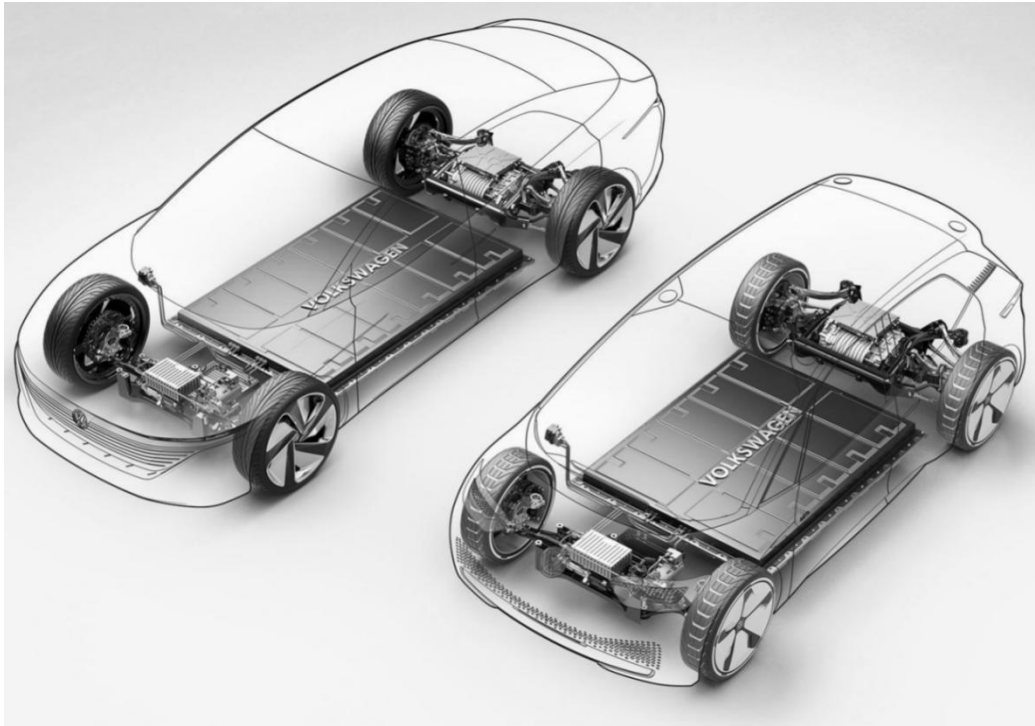


Рисунок 1.2 – Підлога електромобіля вистелена акумуляторами

Для цього було необхідно розміщати зарядні станції розумно та зручно по всьому місту. Метою було забезпечити можливість зарядження свого автомобіля в будь-якому районі міста, не перешкоджаючи при цьому автомобілям із внутрішніми згоряннями. Так почалася справжня боротьба між електромобілями та автомобілями із двигунами внутрішнього згоряння. Це було не просто протистояння нових моделей автомобілів один проти одного. Це стало боротьбою за зовсім новий спосіб використання автотранспорту та за новий ринок, який усі компанії вважали вкрай важливим. Кожен прагнув вийти на цей ринок першим і стати його лідером або монополістом. Символом цієї зацікавленості стало авто General Motors EV1, представлене на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – General Motors EV1, втілення епохи та змагань між електромобілями та автомобілями із внутрішніми згорянням

EV1 – перший електромобіль масового вжитку, який вперше виявив конкурентоспроможність у змаганні з автомобілями із двигуном внутрішнього згорання. Відмінністю його конструкції є те, що інженери та конструктори успішно усунули всі "дитячі хвороби", які вже століття відтягували розвиток електромобілів. Основний недолік – велика вага – було виправлено, встановивши в авто акумулятори тонкого типу, що лежали вздовж підлоги автомобіля. Крім того, нові акумулятори мали легку конструкцію, що дозволило встановити їх більше для отримання значного запасу ходу. Автомобіль міг проїхати близько ста двадцяти кілометрів на одній підзарядці. Слід відзначити, що для цього використовувався акумулятор свинцево-кислотного типу, який був установлений в одній з доступних комплектацій, що була більш доступною ціновою. Покупці найчастіше обирали саме цю комплектацію, яка дозволяла автомобілю подолати до двохсот сорока кілометрів на одній

зарядці. Однак існувала і дорожча комплектація, яка оснащувалася акумуляторами нікель-металогібридного типу і забезпечувала подолання шляху до двохсот сорока кілометрів на одній зарядці.

Здебільшого цей електромобіль вибирали для переміщень по місту: на роботу, в магазини, на прогулянки [3]. Таким чином, більшості клієнтів абсолютно вистачало запасу хоча б до ста двадцяти кілометрів. Кожен з них навіть не використовував більшу половину енергії зарядки, а дехто міг навіть заряджати електромобіль один раз на кілька днів. Зазвичай заряджання відбувалося вночі: власник паркував авто у своєму гаражі, під'єднував кабель до зарядної станції і залишав транспортний засіб на повну ніч заряджатися. Цього періоду часу абсолютно вистачало для того, щоб електромобіль повністю заряджався. Тоді ще не існувало жодних технологій швидкої зарядки, всі вони з'явилися трошки пізніше.

Важливо відзначити, що General Motors EV1 був доступний лише на території США, конкретно в штатах Каліфорнія та Арізона. Цей електромобіль був розроблений групою ентузіастів, які були зацікавлені в проблемах збереження екології, рисунок 1.4. Проте через судові позови від інших компаній та їх неприяне ставлення і заперечення щодо того, що електромобілі завдають більше шкоди, ніж приносять користі, серію EV1 було винищено.

Серія транспортних засобів EV1 визнається справжнім проривом та свіжим подихом для електричних автомобілів. Хоча внаслідок судового рішення вони зазнали ліквідації, це висвітлило необхідність розвитку цього напрямку в галузі автомобілебудування всіма компаніями.



Рисунок 1.4 – Колектив осіб, які несли відповідальність за розробку та створення електричного автомобіля EV1

1.2 Сучасні технології та методи зарядки електромобіля

Кожен інноваційний електричний автомобіль потребує регулярної зарядки. Протягом останніх років в галузі розвитку електромобілів було визначено низку вимог, необхідних для збереження оптимального стану акумуляторів. Це важливо не лише для забезпечення тривалого терміну експлуатації батареї, але і для безпеки користувача, оскільки неправильне використання може призвести до перегріву батарей і навіть може викликати загоряння автомобіля.

Найрозповсюдженіший метод зарядки електрокарів на сьогоднішній день - це зарядка від звичайної мережі через стандартну розетку 220 вольт. Такі розетки можна знайти майже скрізь, де є будь-які будівлі. Однак домовитися про зарядку може бути важливим завданням, порівняно із простою знахідкою розетки. Варто врахувати, що зарядка від будь-якої мережі має свої ризики, і її слід використовувати лише в крайньому випадку, коли іншого виходу просто немає. У такому разі можна піддатися ризику і спробувати підключити автомобіль до доступної мережі. Хоча це не найбезпечніший варіант, його можна розглядати, якщо це абсолютно необхідно. Щоб уникнути неприємностей, існує пристрій для аналізу якості невідомої розетки, до якої планується підключити електромобіль. Це дозволить передчасно визначити, чи є це джерело живлення відповідним та зберегти електромобіль у робочому стані. Примірник такого пристрою, аналізатора розеток, представлено на рисунку 1.5 [4-7].

Якість мережі електропостачання безпосередньо впливає на ефективність та швидкість заряджання електромобіля, забезпечуючи безпеку користування та тривалість його служби в цілому. Для простої зарядки від мережі 220 вольт, яка встановлена в оселі користувача (у гаражі, на подвір'ї, на балконі у випадку багатоквартирного будинку), існують певні вимоги, що повинні бути виконані.

Необхідна стабільна напруга в 220 вольт змінного струму з частотою 50 герц (в контексті України). У розетці обов'язково повинно бути заземлення, яке відповідає стандарту ДСТУ Б В.2.5–82:2016. Кабель до розетки, призначеної для заряджання електромобіля, повинен бути проведений безпосередньо від електрощитової, куди подаються кабелі фази та нуля з загальної користувацької мережі.



Рисунок 1.5 – Пристрій для оцінювання ефективності та визначення наявності всіх з'єднань у розетці електричної системи з напругою 220 ВОЛЬТ

Кабель повинен мати міцність не менше 16 ампер при напрузі 220 вольт, або не менше 3,5 кіловат, для чого його площа поперечного перерізу має бути не менше 1,5 мм², і краще 2 мм². Для захисту від перевантаження та короткого замикання слід встановити автоматичний вимикач на 16А. Також необхідно встановити пристрій захисного відключення для захисту від ураження електричним струмом.

Розетка повинна бути захищена від вологи та пилу, а також обладнана захисною кришкою. Цей набір обов'язкових вимог виявиться

надзвичайно корисним для забезпечення безпеки вашого автомобіля, охорони вашого житла та захисту користувача. Зокрема, можна провести перевірку своєї розетки за допомогою пристрою, представленого на рисунку 5. Такий пристрій забезпечить виявлення стабільності напруги та частоти, наявності заземлення, наявності фази та нуля, відсутності обриву нуля, присутності захисного автоматичного вимикача, реакції розетки на витік струму та відключення пристрою захисного відключення.

На момент написання цього тексту вартість такого пристрою становить приблизно десять доларів. Ця невелика сума гарантує захист електромобіля та його власника від можливих пошкоджень. Таким чином, це необхідна річ, яку варто завжди мати при собі та регулярно використовувати для перевірки мережі на відповідність всім необхідним вимогам для забезпечення стабільної роботи. Час заряджання від звичайної розетки 220 вольт може сягати до дванадцяти годин, що може бути незручним для всіх. Проте для повноцінної зарядки це може бути прийнятним варіантом. На рисунку 1.6 наведено приклад розетки 220 для заряджання електромобіля, а рисунок 1.7 відображає її внутрішні компоненти.

Альтернативний метод заряджання майже не відрізняється від попереднього, оскільки використовує також розетку 220 вольт, проте в даному випадку на спеціальному кабелі заряджання вже вбудований захисний блок, розташований безпосередньо в його перерізі. Такі захисні блоки служать для контролю температури кабеля та напруги, що проходить через нього. Це необхідно для точного регулювання заряджання, терморегуляції електромобіля та захисту будинкової мережі від перевантаження. Альтернативний метод заряджання майже не відрізняється від попереднього, оскільки використовує також розетку 220 вольт, проте в даному випадку на спеціальному кабелі заряджання вже вбудований захисний блок, розташований безпосередньо в його перерізі.



Рисунок 1.6 – Приклад відповідної та належної розетки, призначеної для зарядки електромобіля напругою 220 вольт

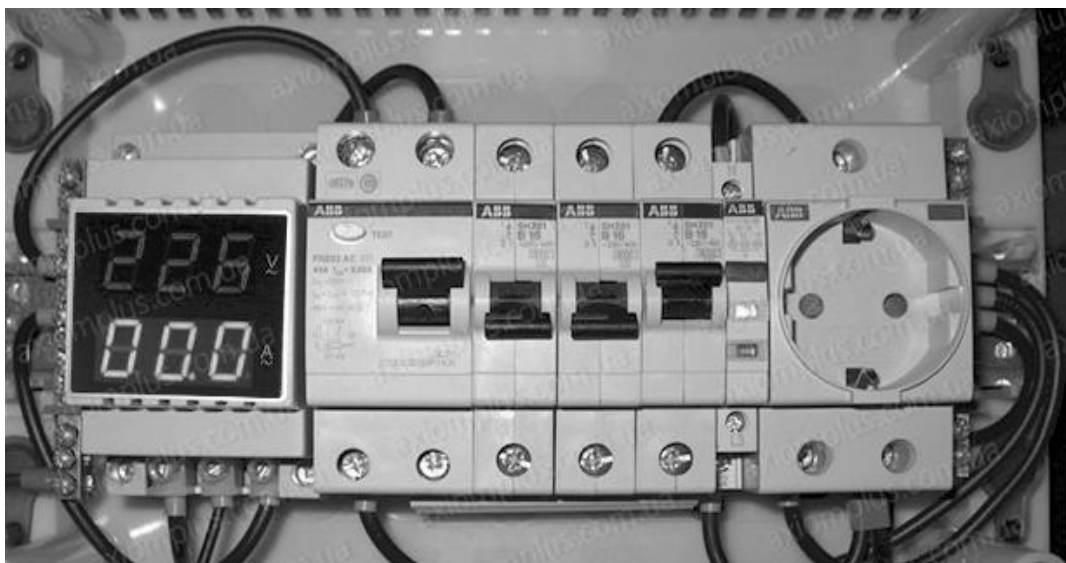


Рисунок 1.7 – Приклад відповідної та належної розетки, призначеної для зарядки електромобіля напругою 220 вольт

Такі захисні блоки служать для контролю температури кабеля та напруги, що проходить через нього. Це необхідно для точного регулювання заряджання, терморегуляції електромобіля та захисту будинкової мережі від перевантаження.

У випадку перевантаження мережі, такий кабель скоротить потужність електрокара і віддасть перевагу електроприладам в будинку. Вночі, коли більшість приладів вимкнена, блок захисту збільшить споживання напруги і струму. Таким чином, забезпечиться зарядка з дотриманням всіх стандартів, уникаючи перевантаження всієї мережі будинку. Зазвичай виробники включають такий кабель до комплекту електромобіля, навіть до базової комплектації, і, як правило, такі кабелі вже виявляються надійними, не потребуючи заміни у випадку пошкодження. Приклад такого кабелю із захисним модулем представлений на рисунку 8. Альтернативний метод заряджання від першого не значно відрізняється.

Цей варіант також базується на використанні розетки 220 вольт, проте в даному випадку спеціальний зарядний кабель вже має вбудований блок захисту, який поміщений безпосередньо всередині його структури. Ці захисні модулі встановлюються для контролю температури кабелю та напруги, яка подається через нього. Все це важливо для точного регулювання процесу заряджання, для моніторингу температури електромобіля та захисту домашньої мережі від перевантаження. У випадку перевищення навантаження, такий кабель автоматично зменшить.

Третій варіант заряджання – зарядка змінним струмом високої потужності. Це, напевно, один із найпоширеніших методів зарядки електромобілів, на даний момент. Використовується у приватних будинках, паркінгах, автозаправних станціях, парковках придорожніх закладів та й загалом по містах. Такі місця створюють спеціально для

зарядки електромобілів, або підключення спеціальної техніки, тому усі вимоги, зазначені раніше, виконуються там безпосередньо.

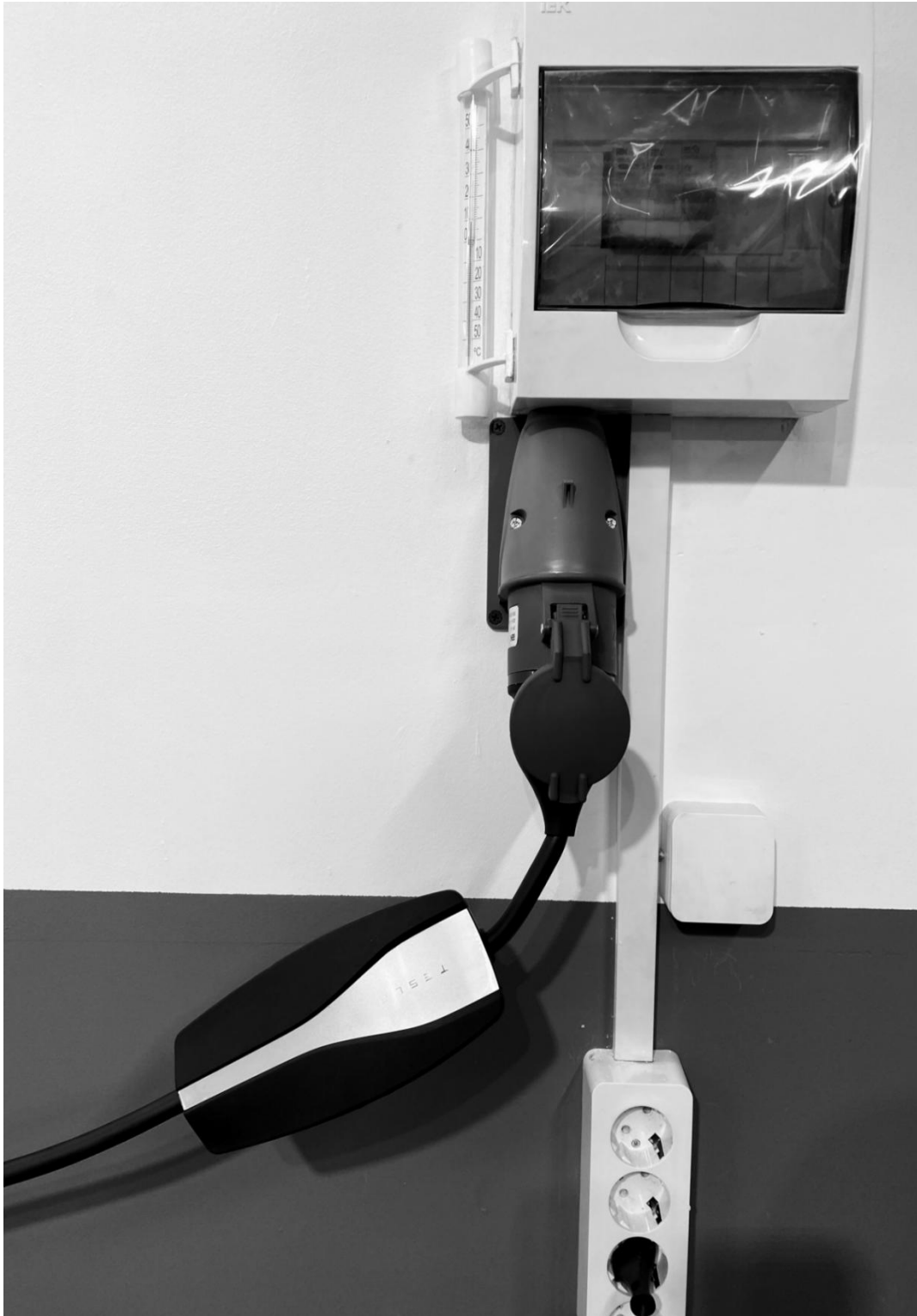


Рисунок 1.8 – Модуль захисту зарядки електромобіля

Така розетка може мати одну потужну фазу, і використовувати однофазні вилки, або така розетка може бути трифазною і використовувати спеціальну вилку та кабель, який буде приєднуватися до такої розетки. Такі вилки зображені на рисунках 1.9 та 1.10.



Рисунок 1.9 – Вилка для однієї фази\

Через таке з'єднання можна отримати не лише 220 вольт і 16 ампер, як у випадку зі звичайним домашнім підключенням, навіть із модулем захисту заряджання, а значно більше потужності. Спеціально розроблені розетки, призначені для підключення зарядних станцій електромобілів або спеціалізованого обладнання, можуть забезпечити від семи до сорока трьох кіловат потужності. Обсяг потужності залежить від типу підключення: однофазного чи трифазного [8,9].



Рисунок 1.10 – Вилка для трьох фаз

Час заряджання від такого підключення значно скорочується і може варіюватися від тридцяти хвилин до чотирьох годин при активному заряджанні. Україна висловлює підтримку розвитку електромобільної інфраструктури та загалом зеленої енергетики. Саме тому заряджання електромобілів такою високою потужністю є безкоштовним на громадських місцях. Вірогідно, що доступ до таких розеток буде регулюватися за допомогою спеціальних карт, які активують замок або відкривають захисну кришку. Зазвичай такі карти належать до системи, що використовує RFID ідентифікацію. Ця система вимагає наявності RFID-карти та дозволяє відкривати доступ до розетки шляхом її прикладення до спеціального сканера. Правила використання таких

розеток зазвичай роз'яснюються працівниками паркінгів, автостоянок чи представниками закладів, де встановлені ці зарядні станції.

Четвертий варіант зарядки, що вважається найтехнологічнішим та найшвидшим, - це зарядка постійним струмом великої потужності. На сучасний момент це вважається оптимальним та найефективнішим способом заряджання електромобіля. Установка схожа на колонку заправки автомобіля на заправній станції, яку можна побачити на рисунку 1.11. Кожен електромобіль оснащений власною вбудованою зарядною станцією. Вилка для підключення до цієї станції аналогічна тим, які використовуються у попередніх варіантах зарядки.

Внутрішня зарядна станція вирівнює змінний струм і передає його на батареї акумуляторів для заряджання. Цей процес випрямлення напруги відбувається постійно, оскільки сучасні акумулятори заряджаються виключно постійним струмом. У цьому методі використовується власний унікальний роз'єм живлення, зокрема CHAdeMO, який є дуже популярним. На станції такої потужності електромобіль може бути заряджений всього за 30 хвилин, що неодмінно вражає. З потужністю, яка може досягати 50 кВт, електромобілі з великим акумулятором і запасом ходу в 500 км можуть бути заряджені за 90 хвилин. На сьогодні цей метод вважається найефективнішим і найшвидшим. Проте станцій такого типу поки дуже мало, і вони розташовані переважно лише у великих містах та на регіональних трасах. Поширення цих станцій обмежене їхньою високою вартістю. На жаль, вони ще не стали стандартом і залишаються рідкісними. Однією з особливостей зарядних станцій постійним струмом високої потужності є швидкісна зарядка до 80% за технологією швидкої зарядки, а інші 20% заряджаються повільно для збереження тривалості служби акумулятора.



Рисунок 1.11 – Пункт заряджання електричного транспортного засобу за допомогою постійного струму великої енергетичної потужності

Також важливо вказати на перспективні концепції зарядки електромобілів. Однією з цікавих та найбільш нестандартних є інноваційний приклад, який дозволяє підзаряджати електромобіль під час руху, використовуючи бездротову технологію вбудовану безпосередньо в дорожнє покриття. Планується створити на шосе ще одну окрему смугу, де вбудована бездротова система заряджання буде живити автомобіль, аналогічно сучасному смартфону від бездротового заряджання. Функціональність автомагістралі буде враховувати присутність автомобіля та його споживчу потужність, активуючи лічильник при русі

по такій смузі. Цей лічильник обліковуватиме кількість спожитої електроенергії та конвертуватиме її у вартість, яку водій оплатить за користування підзарядкою. Цей концепт отримав натхнення від робіт Ніколи Тесли та його передачі енергії на відстані, зокрема, від запалювання електричних ліхтарів на вулицях, які не були прямо підключені до електричної мережі, але отримували живлення дистанційно. Зазначена нова технологія планується впроваджувати через декілька років на одній із трас в США, де буде створена відповідна смуга із бездротовою зарядкою. Суть полягає в вбудованні в дорожнє покриття спеціальних пластин, які будуть підключатися до ліній електропередач та високовольтного інвертора. Під впливом струму ці пластини створюватимуть електричне поле та передаватимуть енергію на електромобіль, що забезпечить його заряджання. Інженери вже досягли певних успіхів, запевняючи, що технологія є функціональною. Наприклад, вже зараз можна зарядити акумулятор невеликого електромобіля протягом всього п'яти годин руху по такій дорозі. Концепцію такої дороги можна побачити на рисунку 1.12.

Концепція транспортної інфраструктури із бездротовою системою зарядки для електромобілів представляє собою новаторське рішення для автомобільного транспорту. Цей технологічний винахід спрямований на створення інтелектуальної дорожньої мережі, яка забезпечує безперервне заряджання електромобілів протягом їх руху.

Суть концепції полягає в тому, що вбудовані в дорожнє покриття бездротові зарядні системи дозволяють електромобілям отримувати електроенергію під час руху. Для досягнення цього мета ставиться на вбудовування спеціальних зарядних пристроїв у дорожнє покриття, які взаємодіють з зарядними модулями на електромобілях. Цей інноваційний підхід використовує принцип бездротової передачі енергії для забезпечення безперервного живлення електромобілів на дорозі.

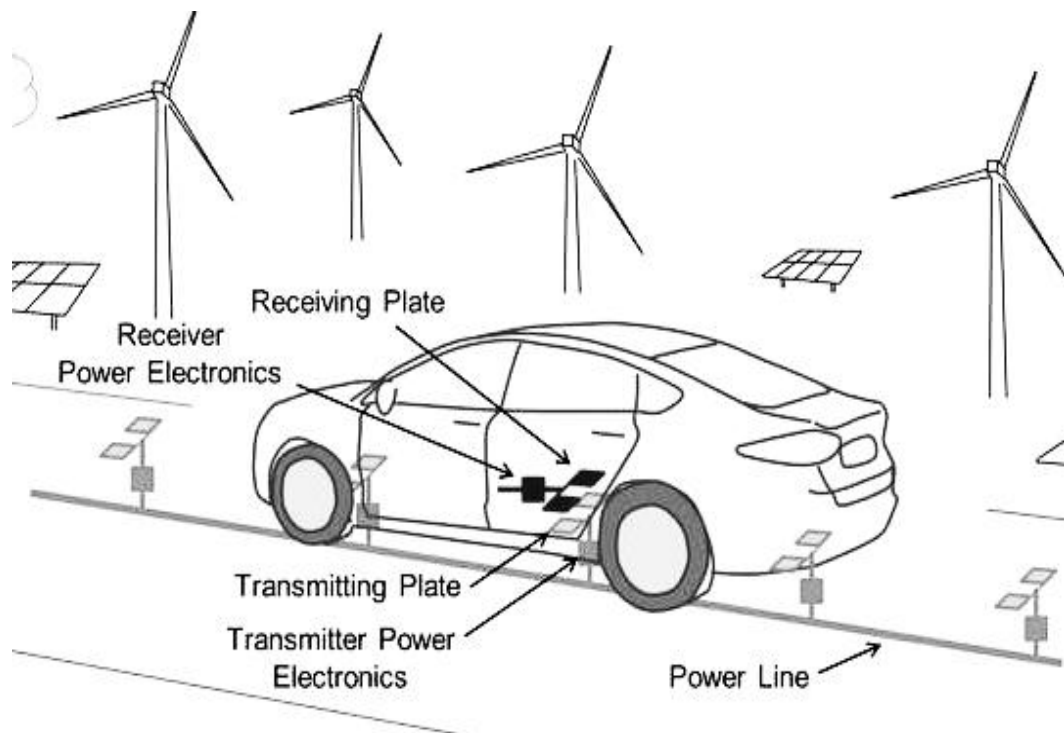


Рисунок 1.12 – Концепт дороги із безпроводною зарядкою електромобіля

При проїзді автомобіля над вбудованими бездротовими станціями, енергія передається на зарядні модулі автомобіля, що дозволяє заряджати акумулятор та продовжувати подальшу поїздку. Ця концепція є відгуком на зростаючий попит на стале розвиток та модернізацію транспортних систем, забезпечуючи більше ефективність та сталий розвиток автомобільного сектора. Розглядається як перспективна та екологічно чиста альтернатива для майбутнього автомобільного руху.

Також основною метою є розробка та впровадження системи сонячного заряджання для електромобіля, яка включатиме в себе сонячні панелі, встановлені прямо на кузові, криші, капоті та багажнику. Це інноваційне рішення надасть можливість заряджати акумулятор під час руху, або при паркуванні у місцях, де недоступна стандартна розетка чи зарядна станція.

У світі вже існують приклади використання сонячних панелей для покриття електромобілів, що дозволяють збільшити пробіг автомобіля на

п'ятнадцять або навіть двадцять відсотків. Завдяки цій роботі, система сонячних панелей, що буде створена, отримає підтримку модуля оптимізації. Цей модуль допоможе утримувати оптимальну ефективність панелей, працюючи завжди на максимальній потужності. Пошук точки максимальної потужності буде базуватися на вхідній та вихідній напрузі, а також на вхідній та вихідній силі струму. Ці параметри є визначальними для розрахунку потужності за допомогою формули 1.1.

$$P = IU. \quad (1.1)$$

Формула для визначення потужності (P), де P - потужність, I - сила струму, U - напруга, використовуватиметься спеціальний модуль. Цей модуль буде автоматично налаштовувати вхідні і вихідні значення напруги та сили струму так, щоб потужність P завжди досягала максимального значення. Це означатиме постійну підтримку найвищої можливої потужності сонячної панелі.

Ілюстрацією успішного застосування цих технологій може служити електромобіль від Hyundai, зображений на рисунку 1.13. Використання сонячних панелей дозволяє використовувати енергію сонця для утримання оптимального рівня заряду акумулятора, що може стати критично важливим в ситуаціях, коли відсутня можливість скористатися зарядною станцією у безпосередній близькості. Такий сонячний модуль виступає як ефективний додаток до системи відновлення енергії в електромобілях.



Рисунок 1.13 – Демонстрація використання сонячних панелей на зовнішніх елементах електрокара

1.3 Методи підзаряджання транспортних засобів за допомогою відновлювальних джерел енергії

Використання збережених джерел енергії стало особливо популярним у XXI столітті. Це стосується не лише загальних тенденцій, але й технологій електромобілів. Електромобілі виготовляються з урахуванням екологічних аспектів та ефективного використання природних ресурсів. У їх конструкції використовуються повністю перероблювальні матеріали. Крім того, в електромобілях впроваджують технології, що сприяють використанню природної енергії та використовують фізичні закони для заряджання себе.

Однією з найпоширеніших технологій є рекуперація, яка полягає в повторному використанні енергії для того ж технічного процесу. У контексті електромобілів рекуперація може діяти як система гальмування, в якій енергія відновлюється та заряджає акумулятор. Також, вона може активуватися, коли електромобіль рухається з гірки. У цьому випадку, під впливом сили тяжіння, електродвигуни перетворюються на генератори, повертаючи частину енергії назад до акумулятора. Рекуперація в контексті автомобілів — це технологічний процес, за якого витрачена енергія під час руху транспортного засобу може бути повернута та використана знову, зазвичай для заряджання акумулятора. Ця система дозволяє збільшити ефективність та покращити показники економії енергії електричних автомобілів. Основна ідея полягає в тому, що під час гальмування або спуску з гірки електромобіль перетворює кінетичну енергію руху назад у електричну енергію, яку можна використовувати для заряджання батареї. Зазвичай це виконується за допомогою електричних генераторів або оборотних електродвигунів, які відновлюють енергію та передають її назад у систему акумуляції. Проста схема рекуперації показана на рисунку 1.14, а загальна, спрощена схема – на рисунку 1.15.

Механізм рекуперації ефективно використовує потенційність електродвигунів для функціонування у ролі генераторів. Цей унікальний аспект був виявлений практично миттєво після винайдення електродвигунів, що використовуються як промислові установки. В обох випадках відбувається обертання ротора за допомогою певної сили, що породжує електричну напругу в обмотках статора. Простіше кажучи, кінетична енергія перетворюється на електричну. Електромобіль, рухаючись, генерує кінетичну енергію, яка використовується під час рекуперації, коли газ не натиснутий. Мотори автомобіля переходять у режим генерації електроенергії, яка потім через модуль перетворення та стабілізації напруги надсилається на контакти батарей для їх підзарядки.

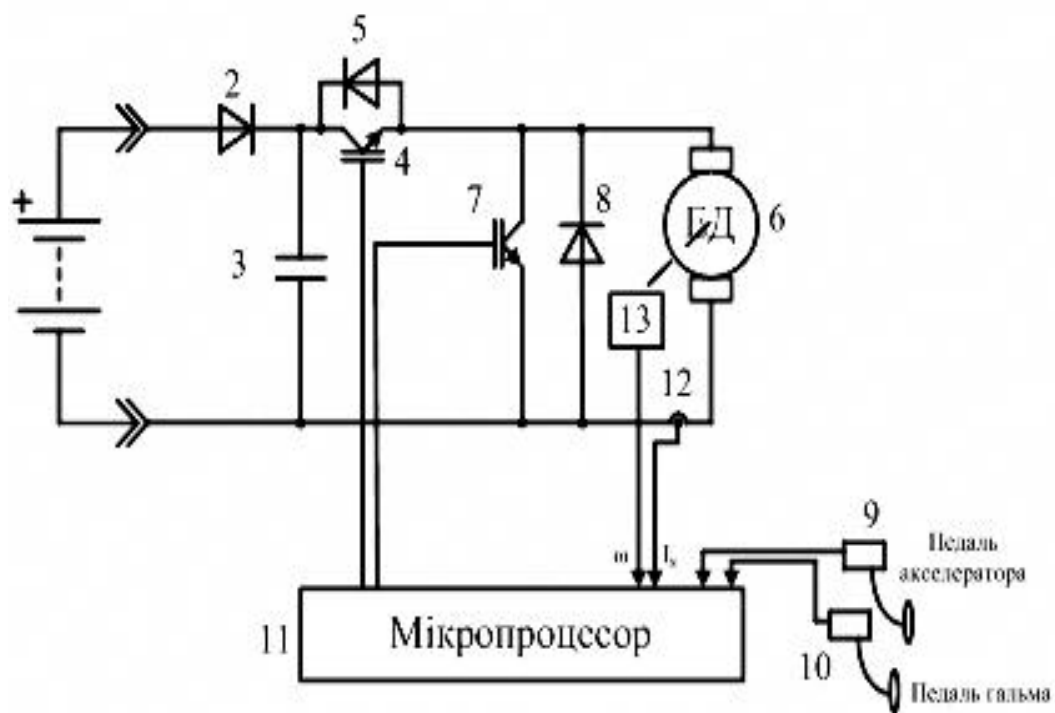


Рисунок 1.14 – Схема рекуперації електромобіля



Рисунок 1.15 – Загальна схема рекуперації

Цей інтегрований підхід значно розширює можливості електромобіля для подолання великих відстаней за звичайних умов експлуатації. Досвідні водії вмiють аналізувати топографію маршруту, що дозволяє їм своєчасно відпустити педаль газу, активуючи режим рекуперації та забезпечуючи зарядку акумуляторів.

Інженери від Audi вразливо підійшли до розробки системи гальмування, ретельно врахувавши особливості водійського досвіду. Педаль гальмування тепер не просто впливає на гальмування, але інтегрована з інноваційною технологією. Коли водій натискає на педаль, він взаємодіє з м'якою платформою, що нагадує подушечку, під нею розташований датчик, який реєструє силу натискання.

Якщо водій вирішує, що гальмування повинно бути м'яким і плавним, система гальмування сприймає це бажання і використовує рекуперацію. Процес рекуперації необхідно уявити як створення електричного поля, яке, якби протистоїть русі ротора, тим самим генеруючи опір системи. При високих обертах це стає схожим на ефект гальмування, але викликане взаємодією з електродвигунами.

Це вдале поєднання, де гальмування відбувається м'яко і без зусиль водія, який, здавалося б, самостійно зменшує швидкість електромобіля. Таке гальмування виникає через опір електродвигунів, що стає частиною рекупераційного процесу.

Проте, є ситуації, коли потрібно різко зупинитися, і в цьому випадку водій швидко та різко тисне на педаль гальмування. Система тут здатна визначити водієві потребу в негайному гальмуванні і використовує традиційні гальмівні диски, обходячи рекуперацію, щоб забезпечити швидку зупинку.

Інший метод використання відновлюваної енергії полягає в застосуванні системи сонячних батарей, розміщених безпосередньо на вільних частинах електромобіля, таких як дах, капот та багажник. Ці

частини електромобіля практично завжди опромінюються сонцем і забезпечують постійну зарядку при наявності сприятливих погодних умов, особливо якщо сонце світить. Сучасні сонячні елементи досягли високого ступеня розвитку, вони володіють довговічністю, стійкістю до різних погодних умов, гнучкі та можуть приймати різні форми, необхідні для покриття різних частин кузова електромобіля. Вони можуть бути тонкими і формувати великі кластери, так як вони є модульними.

Інший метод використання відновлюваної енергії полягає в застосуванні системи сонячних батарей, розміщених безпосередньо на вільних частинах електромобіля, таких як дах, капот та багажник. Ці частини електромобіля практично завжди опромінюються сонцем і забезпечують постійну зарядку при наявності сприятливих погодних умов, особливо якщо сонце світить. Сучасні сонячні елементи досягли високого ступеня розвитку, вони володіють довговічністю, стійкістю до різних погодних умов, гнучкі та можуть приймати різні форми, необхідні для покриття різних частин кузова електромобіля. Вони можуть бути тонкими і формувати великі кластери, так як вони є модульними.

Застосування сонячних елементів в електромобілях не представляє собою нічого нового, однак в унікальності моєї роботи полягатиме у розробці модуля оптимізації напруги, який буде інтегрований з сонячною панеллю. Цей модуль призначений для максимізації використання енергії, зібраної від сонячної панелі, та забезпечення оптимальної роботи всієї системи електромобіля. Механізм рекуперації ефективно використовує потенційність електродвигунів для функціонування у ролі генераторів. Цей унікальний аспект був виявлений практично миттєво після винайдення електродвигунів, що використовуються як промислові установки. В обох випадках відбувається обертання ротора за допомогою певної сили, що породжує електричну напругу в обмотках статора. Простіше кажучи, кінетична енергія перетворюється на електричну.

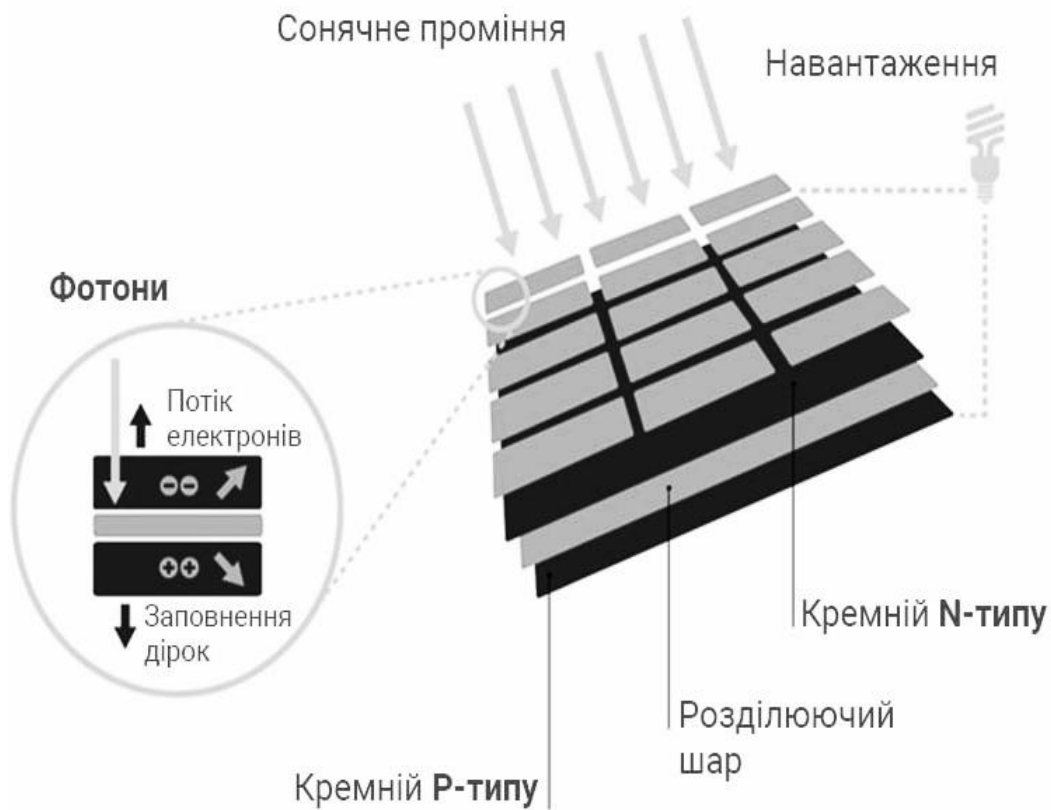


Рисунок 1.16 – Будова сонячного елемента

1.4 Висновки до розділу 1

Однією з основних тем є розробка та вдосконалення технологій зарядки для електромобілів на концепціях швидкої, бездротової та сонячної зарядки. Спостерігається зростання популярності сонячних панелей, зокрема завдяки створенню модулів оптимізації напруги для їхньої ефективної роботи. У роботі відзначено важливість використання відновлювальних джерел енергії для живлення електромобілів, що відповідає сучасним екологічним тенденціям. Рекуперація для підзарядки акумуляторів та новаторські системи управління гальмуванням є ключовими аспектами у вивченні та застосуванні. Зокрема, інженери

підкреслюють важливість взаємодії із навколишнім середовищем. Електромобілі виготовляються з перероблювальних матеріалів, а їхній рух та зарядка можуть використовувати природні ресурси, сприяючи зменшенню впливу на довкілля. Узагальнюючи, інформація, представлена у першому розділі, свідчить про активний розвиток галузі електромобілів, спрямований на поліпшення продуктивності та сталість технологій.

2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ PID-РЕГУЛЯТОРА

2.1 Зворотній зв'язок

Історія PID регулятора виходить з епохи, коли інженери перші спробували впроваджувати автоматичне керування для поліпшення стабільності та точності різноманітних систем. Вже у середині 19-го століття виникли перші пристрої для регулювання величин у промисловості та технологічних процесах. За того часу базові методи, такі як пропорційне регулювання, знаходить своє застосування, але їхні обмеження виявились з часом [10]. Регулятор являє собою концепцію, що виникла в середині 20 століття, тому в 19 столітті конкретно PID регулятор не існував. Проте, в той час існували певні попередники та прості методи автоматичного керування, які визначали напрямок розвитку цієї галузі.

У 19 столітті інженери та вчені активно розробляли системи для автоматичного регулювання промислових процесів та механічних пристроїв. Однак ці системи були далекі від сучасного розуміння PID регулятора.

Пропорційне регулювання, яке в основному базується на величині відхилення між вимірюваною та заданою величиною, було одним з ранніх методів, що застосовувався в цей період. За допомогою цього методу регулятор намагався збільшити або зменшити вплив на систему пропорційно до величини відхилення. Це було ефективно для деяких систем, але для інших виявилось недостатнім.

У кінці 19 століття та на початку 20 століття почали з'являтися пристрої, які використовували зворотний зв'язок для регулювання величини. Зворотний зв'язок дозволяв пристрою коригувати вплив на систему на основі реальних вимірювань її стану [11]. Це відкриття

викликало появу різних методів регулювання, які в кінцевому підсумку привели до розвитку PID регулятора у 20 столітті.

Зворотній зв'язок - це важливий аспект у світі автоматичного керування, який має велике значення в різних інженерних та технічних дисциплінах. Розглядаючи його роль, можна зазначити, що це концепція, яка виникла як відповідь на потребу покращення ефективності та стабільності різноманітних систем управління.

Взагалі кажучи, ідея зворотного зв'язку полягає в тому, щоб система отримувала інформацію про свій власний вихід та використовувала цю інформацію для корекції та управління своєю діяльністю. Це подібно до того, як людина сприймає навколишній світ через свої власні дії та досвід, а потім вчиться та адаптується на основі цієї інформації.

Зворотній зв'язок важливий через свою здатність коригувати вихід системи в реальному часі. Це особливо ефективно, коли маємо справу із змінними умовами чи параметрами. Наприклад, в електроніці або автоматизованих системах, система може постійно оцінювати свій вихід і, у випадку будь-якого відхилення від заданих параметрів, негайно вносити корективи.

Це може включати в себе виправлення помилок, компенсацію для змін у середовищі чи реакцію на зовнішні впливи. Взаємодія між зворотнім зв'язком та регуляторами, такими як PID, дозволяє системам бути гнучкими та динамічно адаптовуватися до змін, забезпечуючи оптимальну продуктивність та стабільність. Таким чином, зворотній зв'язок, рисунок 2.1, не тільки розкриває стан системи, але і дозволяє їй реагувати на зміни, вирішуючи виклики та забезпечуючи оптимальну працездатність. Це стає ключовим для багатьох сучасних технологічних досягнень та систем, які ми використовуємо щоденно.

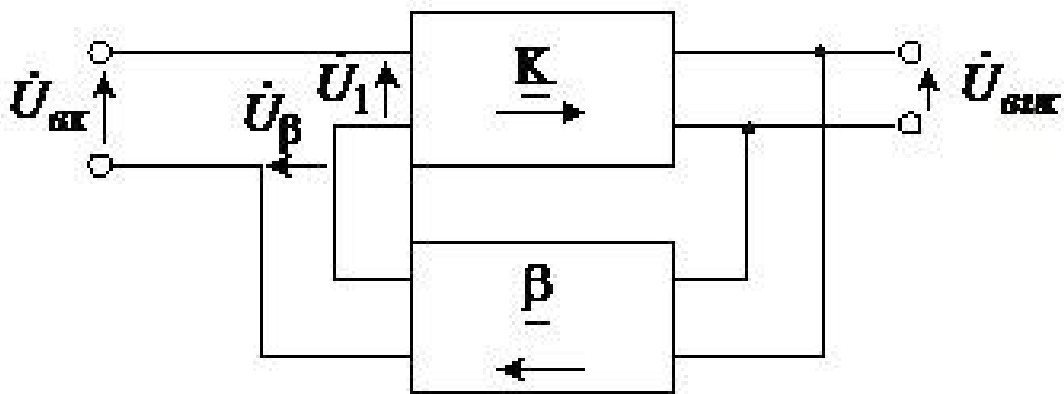


Рисунок 2.1 - Приклад схеми зворотнього зв'язку.

Сучасний світ пронизаний технологіями, де зворотній зв'язок використовується у різноманітних галузях. Від електроніки та промислового управління до автомобільної техніки та медичних пристроїв, цей принцип відіграє важливу роль у забезпеченні ефективності та точності.

У виробництві та промислового контролю зворотній зв'язок допомагає автоматизованим системам утримувати сталість та точність процесів. В електроніці він регулює сигнали для забезпечення високої якості звуку та стабільності комп'ютерних систем. Автомобільна промисловість використовує зворотній зв'язок для покращення ефективності гальмування, керування двигуном та загальної безпеки на дорозі. У медичних технологіях цей принцип є важливим для систем моніторингу та інших медичних пристроїв, які автоматично реагують на зміни у стані пацієнта.

В телекомунікаціях та Інтернет-технологіях, зворотній зв'язок допомагає оптимізувати мережеві ресурси та забезпечує стабільну якість обслуговування. У робототехніці цей принцип забезпечує точність та адаптацію рухів роботів до змін у навколишньому середовищі. У галузі електроніки широко використовується концепція зворотного зв'язку. Цей

принцип грає ключову роль у регулюванні та керуванні різноманітними пристроями та системами. Завдяки зворотному зв'язку електронні пристрої можуть адаптуватися до змін у вхідних умовах, що забезпечує стабільність та точність їхньої роботи. Операційні підсилювачі, часто використовувані в електроніці, працюють на принципі зворотного зв'язку, що дозволяє їм коригувати вихідний сигнал відповідно до вхідного. Імпульсні джерела живлення, регульовані джерела живлення та системи автоматичного керування також використовують цей принцип для забезпечення стабільності та точності.

В електроніці зворотній зв'язок також використовується в регульованих джерелах живлення, які автоматично коригують вихідну напругу чи струм. Автоматичні регулятори, зокрема PID-регулятори, є популярними використанням принципу зворотного зв'язку для досягнення стабільності та точності в різноманітних системах. Мікросхема 555 є дуже популярною та універсальною в інтегральній схемотехніці. Вона використовується як таймер, генератор імпульсів та в інших режимах. У режимі моностабільного мультівібратора (одноразовий таймер), зворотній зв'язок грає ключову роль. У цьому режимі мікросхема 555 генерує один імпульс при спрацьовуванні тригера із зовнішнього джерела. Зворотній зв'язок у цьому випадку забезпечує відновлення початкового стану мікросхеми після генерації імпульсу. Точніше, конденсатор заряджається через резистор, а його напруга контролюється через пороговий рівень та інвертор. Коли напруга на конденсаторі досягає порогового рівня, вивід тригера активується.

Тепер важливий момент у зворотньому зв'язку полягає в тому, що коли тригер активується, він викликає внутрішній вивід "reset" (скидання), який скидає мікросхему в початковий стан. Таким чином, через зворотній зв'язок досягається стабільність та повернення до вхідного стану після

кожного імпульсу. На рисунку 2.2. зображено модель зворотнього зв'язку у мікросхемі 555.

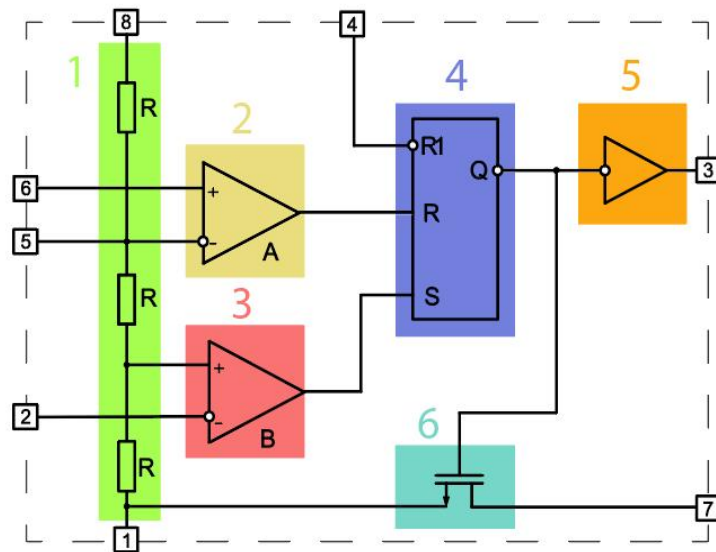


Рисунок 2.2 - Модель зворотнього зв'язку у мікросхемі моделей 555

Деталь під номером 6 якраз здійснює зворотній зв'язок із початковими драйверами.

Формула 2.1 для зворотного зв'язку у контексті мікросхеми 555 може бути представлена у вигляді основних рівнянь для режимів роботи цієї мікросхеми. Проте, важливо врахувати, що зворотній зв'язок в 555 може бути виражений як зміни входних параметрів, таких як резистори та конденсатори, які визначають часові інтервали для генерації імпульсів.

Наприклад, у режимі моностабільного мультівібратора (one-shot) час тригера (високий стан) може бути визначений приблизно наступним чином (2.1):

$$T=0.693 \cdot (R1 + 2 \cdot R2) \cdot C, \quad (2.1)$$

де T - час тригера, R1, R2 - опори, C - ємність.

Це рівняння може використовуватися для визначення часового інтервалу одного імпульсу в залежності від значень опор та конденсатора,

що змінюються згідно з конкретними умовами проєкту. Змінюючи ці параметри, можна впливати на частоту генерації імпульсів та час їх тривалості. В інших режимах мікросхеми 555 формули можуть виглядати по-іншому, але загальна ідея полягає в тому, що зміна значень резисторів та конденсаторів впливає на параметри генерації імпульсів.

Перед винайденням PID-регулятора було відомо про пропорційне регулювання, де вплив на систему залежав від різниці між бажаним та фактичним станом. Це застосовувалося, наприклад, у парових машинах. Ідея інтегрального регулювання виникла в середині 20-го століття, і вона полягала врахуванні накопиченого відхилення від бажаного значення для зменшення помилки. У промисловості, наприклад, в температурному регулюванні, інтегральний ефект використовується для коригування системи на сталих помилках.

Диференційний ефект управління був розглянутий в середині 19-го століття, коли вивчали динамічні ефекти систем. У системах з урахуванням динамічних змін, наприклад, у керуванні рухом автомобілів або космічних апаратів, диференційний ефект може допомагати уникати перереагування системи. Об'єднуючи ці три компоненти, виник PID-регулятор - універсальний підхід до автоматичного регулювання, що використовує пропорційний, інтегральний та диференційний вплив для ефективного керування системами в різних умовах та сценаріях. Без зворотного зв'язку PID-регулятор може бути менш ефективним, оскільки він втрачає здатність адаптуватися до змін у середовищі або системі. Зворотній зв'язок надає PID-регулятору інформацію, необхідну для того, щоб в реальному часі вносити корективи та підтримувати стабільність.

2.2 Компоненти P. I. D.

Існують сценарії, де PID-регулятор може використовуватися без зворотного зв'язку, але це зазвичай пов'язано з дуже простими системами, де можна передбачити та врахувати всі вхідні параметри та умови. В більш складних умовах або змінних середовищах зворотній зв'язок стає критичним для досягнення ефективного та стабільного керування.

Формула 2.2 показує загальний принцип роботи PID без зворотнього зв'язку.

$$u(t) = P \cdot e(t) + I \cdot \int e(t) dt + D \cdot (de(t)/dt) \quad (2.2)$$

Алгоритм роботи PID без зворотнього зв'язку зображено на рисунку 2.3.

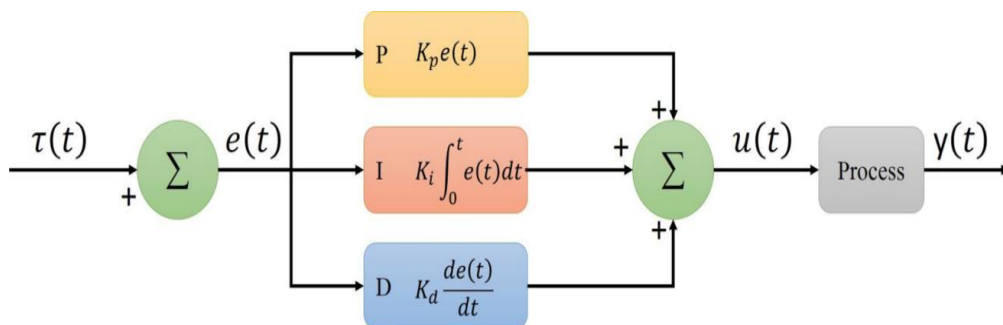


Рисунок 2.3 - Робота PID без зворотнього зв'язку.

У PID представляють різні компоненти, кожен з яких вносить свій вклад у керування системою.

Пропорційний (P) — Ця компонента визначає, наскільки сильно система повинна реагувати на поточне відхилення між фактичним та

бажаним значенням. Чим більше відхилення, тим сильніше коригується вихідний сигнал для приведення системи до бажаного стану.

Інтегральний (I) — Компонента інтегрального впливу враховує накопичену помилку в часі. Її завдання - коригувати систему, якщо існує сталий зсув між бажаним та фактичним значенням. Це допомагає позбутися систематичних похибок.

Диференціальний (D) — Компонента диференціального впливу враховує швидкість зміни відхилення. Вона допомагає уникнути перереагування системи на гострі зміни, зменшуючи вплив динамічних змін відхилення на вихідний сигнал.

Узгоджена робота цих трьох компонентів дозволяє PID-регулятору ефективно підтримувати стабільність та точність системи керування в реальному часі. Правильне налаштування коефіцієнтів P, I і D важливо для досягнення оптимальної продуктивності PID-регулятора в конкретних умовах.

Компонента P в PID-регуляторі, що означає пропорційний, є однією з ключових частин цієї системи. Вона визначає, наскільки сильно реакція системи має бути пропорційною поточному відхиленню між фактичним та бажаним значеннями. Основна ідея полягає в тому, щоб чим більше відхилення, тим сильніше буде коригуватися вихідний сигнал. Принцип її роботи наступний:

1. Визначення відхилення: Система спочатку порівнює фактичне значення з бажаним. Відхилення (e) визначається як різниця між цими двома значеннями.

2. Сила коригування: Компонента P визначає силу коригування, пропорційну величині відхилення. Чим більше відхилення, тим більше сили вводиться в систему для зменшення цього відхилення.

3. Баланс: Налаштування коефіцієнта пропорційності (P) визначає, наскільки сильно величина відхилення впливає на вихідний

сигнал. Правильне налаштування дозволяє досягти балансу між швидкістю реакції системи та уникненням перереагування.

Формула 2.3 для пропорційної компоненти P у PID-регуляторі виглядає наступним чином:

$$u(t)=P \cdot e(t), \quad (2.3)$$

де $u(t)$ - вихідний сигнал (вхід для системи керування), P - коефіцієнт пропорційності, $e(t)$ - відхилення між бажаним і фактичним значеннями (вказує на різницю між вихідним сигналом та бажаним значенням у конкретний момент часу t).

Ця формула показує, що величина впливу компоненти P пропорційна величині відхилення. Коефіцієнт пропорційності P дозволяє налаштувати, наскільки сильно система реагує на поточне відхилення.

Правильне налаштування коефіцієнта P важливо для забезпечення стабільності та швидкої реакції системи на зміни. Недостатньо високий PP може призвести до повільної реакції системи, тоді як надто високий PP може призвести до нестабільності та перереагування. На рисунку 2.4 зображено алгоритм для пропорційної складової.

Алгоритм з тільки пропорційною (P) складовою використовується там, де потрібне пропорційне регулювання, але без інтегрального та диференційного впливу. Він може бути застосований в ситуаціях, де необхідно, щоб величина впливу була пропорційною відхиленню між бажаним і фактичним станом системи, але не враховувала накопичену помилку в часі або швидкість зміни цього відхилення. Декілька прикладів використання алгоритму тільки на P складовій.

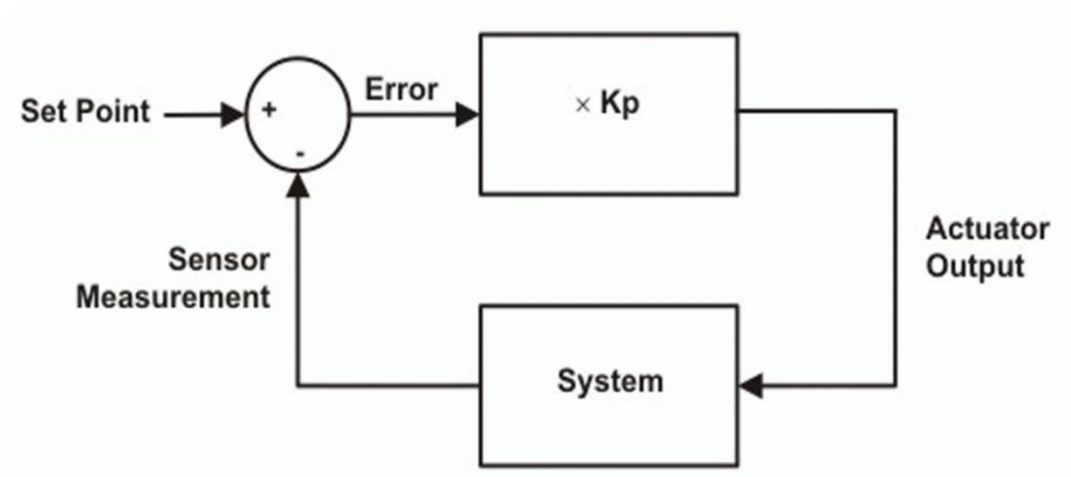


Рисунок 2.4 - Алгоритм для пропорційної складової.



Рисунок 2.5 - Приклад використання тільки пропорційної складової у моторі із сталою кількістю обертів на вольт.

Термостати — у деяких простих термостатах для регулювання температури може застосовуватися алгоритм на Р складовій. Величина впливу (наприклад, робота обігрівача) буде пропорційною відхиленню фактичної температури від бажаної.

Освітлення — у системах автоматичного освітлення, де потрібно підтримувати певний рівень освітленості, алгоритм на Р складовій може реагувати на зміни світлового рівня та підтримувати його на бажаному рівні.

Регулювання води — у системах регулювання рівня води в резервуарах або ємностях, алгоритм Р може контролювати витік або подачу води в залежності від рівня води в системі.

У цих випадках використання тільки Р складової може бути досить ефективним, особливо якщо немає потреби в стійкості до змін і несталості системи. Однак в більшості складних систем інтеграція інших складових PID-регулятора часто є доцільною для досягнення більшої стабільності та точності.

У PID-регуляторі компонента І, що відповідає інтегральному впливу, грає важливу роль у забезпеченні точності та стабільності системи керування. Цей аспект регулятора включає інтеграл від відхилення між бажаним і фактичним значеннями по часу. Це надає регулятору здатність коригувати систему, коли виникає накопичена помилка в часі, сприяючи усуненню систематичних похибок. Одна з ключових характеристик компоненти І - це накопичення помилки, яка виникає, коли фактичний стан системи не збігається з бажаним протягом тривалого часу.

Інтегральна компонента PID-регулятора є своєрідним "пам'ятником" системи, що накопичує помилки в часі. Її роль полягає в усуненні невеликих, але накопичених помилок, які можуть виникнути внаслідок різних факторів, таких як нелінійність системи чи зовнішні впливи. Що важливо у цій компоненті, це інтеграл від відхилення, позначеного як $e(t)$,

де t - час [14]. Цей інтеграл, по суті, є кумулятивною сумою всіх відхилень від бажаного стану, які система "пам'ятає" і використовує для корекції.



Рисунок 2.6 - Приклад використання тільки пропорційної складової у подачі води з відомою кількістю літрів за хвилину

Це дозволяє компоненті I ефективно вирішувати проблеми постійних або довгострокових відхилень, що сприяє усуненню систематичних похибок та забезпечує більш точне регулювання [13]. Формула 2.4 для компоненти I включає коефіцієнт інтегральності (I) та інтеграл від відхилення по часу.

Ця формула виглядає наступним чином:

$$I \cdot \int e(t) dt. \quad (2.4)$$

У цьому виразі символ I є коефіцієнтом інтегральності, і його необхідно помножити на інтеграл від відхилення $e(t)$ по часу $\int e(t) dt$. Таким чином, правильне використання цього виразу передбачає множення I на інтеграл.

Коли в системі виникає систематична помилка, яка накопичується з часом, компонента I дозволяє вирішити цю проблему. Коефіцієнт інтегральності, позначений як I , визначає, наскільки сильно система реагує на накопичену помилку. Більший коефіцієнт означає більш сильну корекцію [15]. Подібно до того, як ми можемо взяти застійний потік води і залишити його плавною струменем за допомогою водопровідного крана, компонента I в PID-регуляторі допомагає "вирівнювати" систему та усуває дрібні, але накопичені відхилення від бажаного стану. Коли система має систематичні похибки, такі, як ті, що тривають трошки довше, ніж хотілося б, інтегральний компонент намагається виправити ці невеликі відхилення, щоб уникнути будь-якого відставання в роботі системи. На рисунку 2.7 зображено систему де використовується тільки компонента I .

Формула для цієї інтегральної дії проста, але важлива. Вона виглядає як коефіцієнт інтегральності, помножений на інтеграл від помилки по часу. Що це означає? Просто кажучи, це враховує, як триває помилка, і додає відповідну корекцію до вихідного сигналу. А якщо уявити, що інтегральна дія це такий себе "вчитися на помилках" для системи, то вона допомагає системі стати ще точнішою і призначеною для своєї роботи з плином часу.

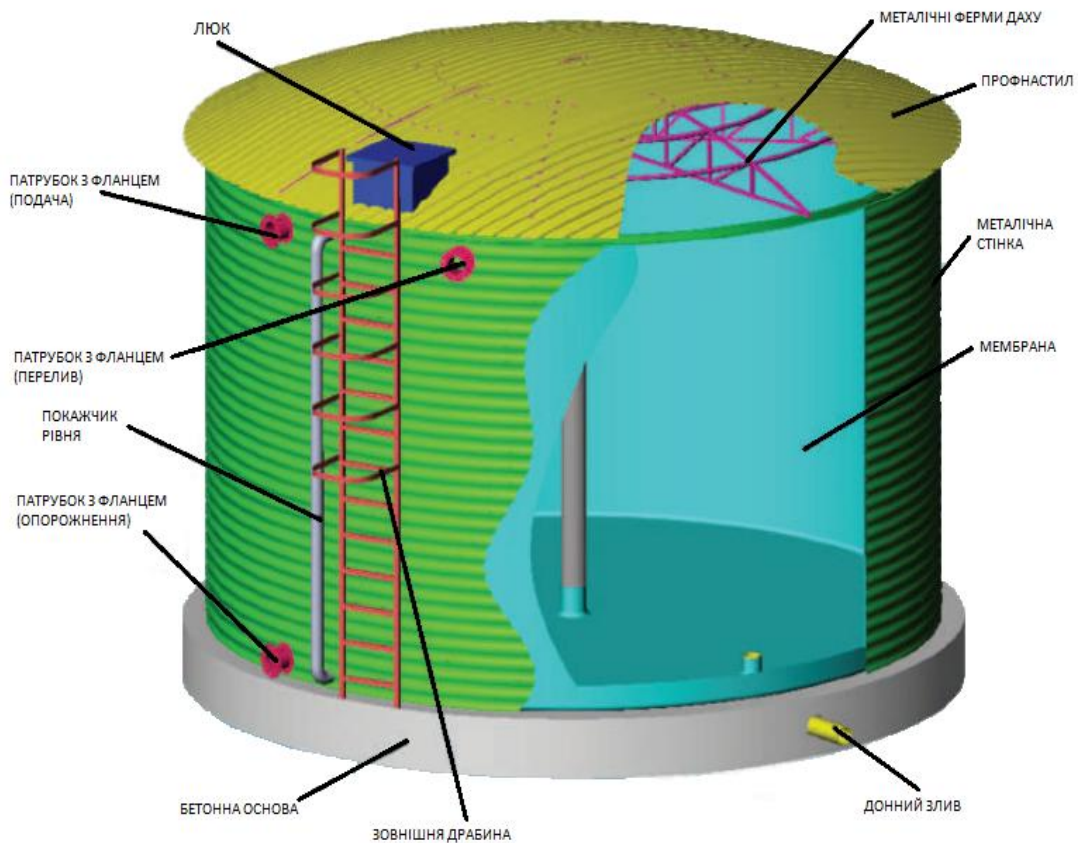


Рисунок 2.7 - Приклад використання тільки складової І. Наповнення резервуару до певного рівня

Диференційний компонент (D) в PID-регуляторі відіграє важливу роль у керуванні системою. Ця компонента фокусується на швидкості зміни відхилення системи від бажаного стану. Основна ідея полягає в тому, щоб запобігти різким або стрибкоподібним змінам вихідного сигналу, що можуть виникнути внаслідок швидких змін у системі. Коли відхилення стрімко зростає або спадає, компонента D реагує, намагаючись зменшити цей різкий нахил або стрибок. Вона фактично передбачає майбутнє значення відхилення, оцінюючи його тенденцію, і намагається попередити великі зміни в системі. Розгляну це так: коли ми маємо систему, яка реагує на зміни, то компонента D взята на озброєння для того, щоб взяти до уваги швидкість зміни стану системи. Це означає, що вона фактично

приглядається, наскільки швидко система реагує на те, що відбувається, і втручається для того, щоб уникнути будь-якого перереагування або реагування занадто повільно.

Формула 2.5 для компоненти D виглядає наступним чином:

$$D = de(t) / dt. \quad (2.5)$$

Формула для цієї частини нескладна, але важлива: D - коефіцієнт диференціації, а $de(t) / dt$ - це фактично похідна від відхилення по часу. Це означає, що компонента D взята на озброєння для того, щоб вивчати, наскільки швидко змінюється величина відхилення в певний момент часу [16-19]. У суті, компонента D є своєрідним "стабілізатором швидкості". Якщо система занадто стрімко змінює свій стан, D входить в гру, щоб згладити ці стрімкі зміни, роблячи систему менш чутливою до гострих змін. Це допомагає уникнути нестабільності та забезпечує більш гладке та точне керування.

Ця формула виражає, як компонента D реагує на швидкі зміни відхилення, забезпечуючи більш гладку та контрольовану реакцію системи. Правильне налаштування коефіцієнта D є ключовим для досягнення ефективного управління системою та запобігання перереагуванню чи нестабільності. Алгоритм з тільки диференційною (D) складовою (без пропорційної і інтегральної) використовується в різних областях там, де потрібна реакція на швидкість змін системи, але не потрібне негайне коригування системи. Ось де цей алгоритм може застосовуватися самостійно:

Автомобільна безпека – у системах контролю стабільності автомобілів може використовуватися алгоритм з компонентою D для реагування на різкі зміни швидкості чи кута нахилу.

Аерокосмічна техніка – у системах управління ракетами або космічними апаратами, де важлива стійкість та уникнення гострих змін, алгоритм D може використовуватися для контролю швидкості змін параметрів [20-24].

Комп'ютерні системи – у деяких випадках управління ресурсами або обробка сигналів у комп'ютерних системах може включати алгоритм з D-складовою для плавного реагування на швидкі зміни навантаження чи обсягу даних.

Медичні пристрої – в системах автоматизованого регулювання деяких медичних пристроїв, наприклад, інфузійних насосів, алгоритм з D-складовою може використовуватися для управління швидкістю введення рідини.

Електроенергетика -у системах автоматичного регулювання напруги чи частоти в електричних мережах, алгоритм D може використовуватися для уникнення різких змін. На рисунку 2.8 зображено систему фрезерувального верстата, який використовує у своїй роботі роботу із компонентою D, яка дозволяє підтримувати кількість обертів та збільшує потрібні напругу на обмотці мотору, для бажаної роботи пристрою [25].

Ці приклади демонструють ситуації, де важливо виявлення та реагування на швидкість змін параметрів, але не обов'язково потрібна корекція, заснована на поточному стані системи. Давайте уявимо, що алгоритм з диференційною (D) складовою - це своєрідні "очі" системи, які ретельно слідкують за тим, як швидко змінюються обставини. Основна мета цієї складової - уникати різких змін і забезпечити плавний, передбачуваний рух. У світі автомобільної безпеки, наприклад, алгоритм з компонентою D може допомагати у виявленні різких змін швидкості чи кута нахилу та вчасно реагувати, забезпечуючи стабільність автомобіля [26].

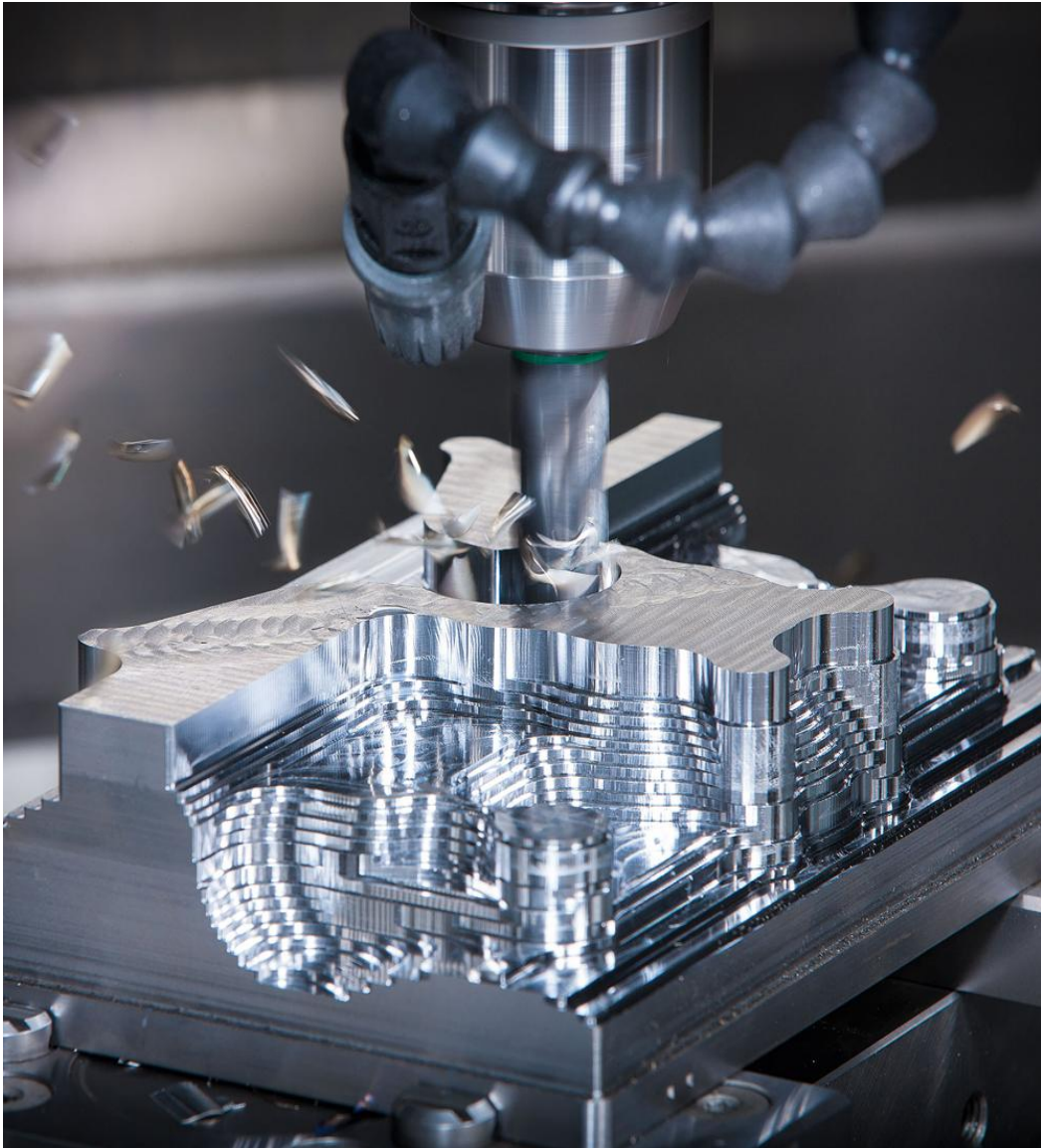


Рисунок 2.8 - Приклад використання алгоритму тільки із складовою D. Із підтримкою потрібної кількості обертів.

Також, у сфері аерокосмічних технологій, де космічні апарати або ракети повинні уникати гострих змін, алгоритм D може використовуватися для контролю швидкості зміни параметрів, забезпечуючи плавну реакцію [27-30].

У сфері комп'ютерних систем цей алгоритм може знаходити своє використання в управлінні ресурсами або обробці сигналів, де важливо плавно реагувати на швидкі зміни навантаження. А в медичних пристроях,

таких як інфузійні насоси, алгоритм D може допомагати управляти швидкістю введення рідини, уникати різких коливань. Також, у галузі електроенергетики, алгоритм D може забезпечувати стабільність системи, уникати різких змін напруги чи частоти в електричних мережах [31]. Ці приклади демонструють, що алгоритм з компонентою D важливий там, де важлива реакція на швидкість змін параметрів, і де потрібно уникнути різких коливань у відповіді системи.

2.2 Модель PID

Термін "PID" (пропорційний-інтегрально-диференціальний) вперше з'явився в літературі наприкінці 1930-х років. Це відзначило перехід від простих методів до більш складних та ефективних систем керування. Формула PID була сформульована як відображення вихідного сигналу регулятора як суми трьох членів: пропорційного, інтегрального та диференціального. Це дозволило забезпечити оптимальне регулювання в різноманітних умовах та системах. Під час другої половини 20-го століття інженери усвідомили необхідність вдосконалення методів автоматичного керування. Просте пропорційне регулювання виявилось недостатнім для систем, які вимагали більш точного та стійкого регулювання. Тоді виникла ідея включити диференціальний та інтегральний члени для поліпшення відповіді системи [32].

PID регулятор швидко став стандартом в інженерному керуванні та знайшов широке застосування в автоматизації, промисловому контролі, робототехніці та інших сферах. Його універсальність та ефективність допомогли поліпшити якість та продуктивність різних технічних систем. Формула PID регулятора з зворотнім зв'язком має вигляд (2.6):

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{d}{dt} e(t) \right) \quad (2.6)$$

де $u(t)$ - керуючий сигнал (вихід PID регулятора), $e(t)$ - відхилення величини від заданого значення (зворотний зв'язок), K_p - коефіцієнт пропорційності (пропорційна складова), K_i - коефіцієнт інтегрування (інтегральна складова), K_d - коефіцієнт диференціювання (диференційна складова), t - час, τ - змінна інтегрування.

Ця формула використовується для регулювання системи, де K_p , K_i та K_d є налаштовуваними параметрами, які визначаються експериментально для досягнення бажаної відповіді системи на збурення чи зміни в заданому значенні [33-36].

Регулятор використовується для стабілізації та автоматичного керування різноманітними технічними системами. Його основна мета - утримання величини на заданому рівні шляхом корекції відхилень в реальному часі. Пропорційна складова реагує на поточне відхилення, інтегральна компенсує системні зміщення, а диференційна запобігає різким змінам. Використовуючи зворотній зв'язок, PID регулятор дозволяє швидко та точно адаптуватися до змінних умов, забезпечуючи стійкість та ефективність системи в різних галузях, таких як промисловий контроль, робототехніка, автоматизація та інші. Підбір коефіцієнтів K_p , K_i та K_d важливий для досягнення оптимального керування в конкретній системі, забезпечуючи високу якість регулювання та пристосованість до змінних умов. В цілому, використання PID регулятора, рисунок 2.9, сприяє досягненню стабільності та точності в роботі технічних систем.

Пропорційна (P) складова визначає вплив на керуючий сигнал в залежності від поточного відхилення величини від заданого значення. Її вираз: $K_p e(t)$, де K_p - коефіцієнт пропорційності.

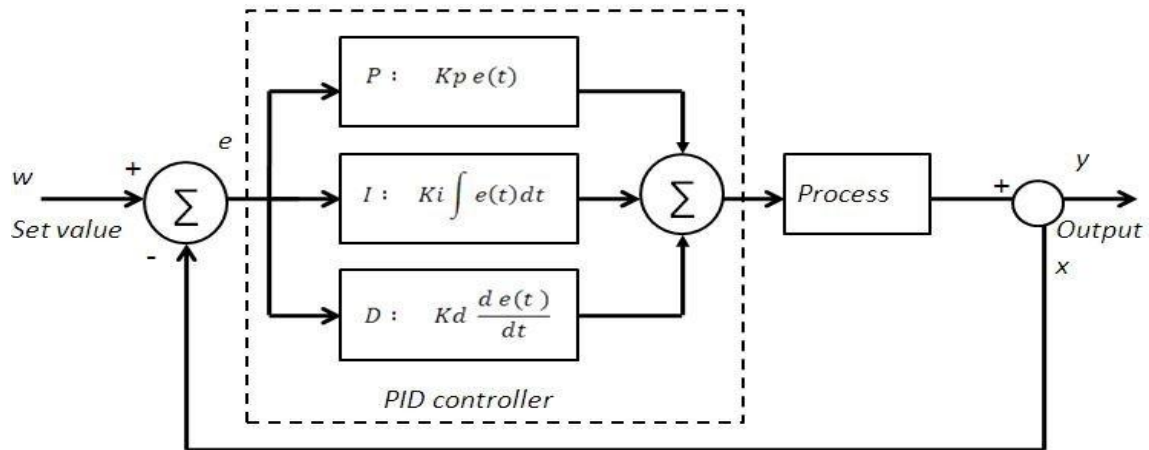


Рисунок 2.9 - Метод роботи PID

Інтегральна (I) складова компенсує системні зміщення, враховуючи кумулятивну суму відхилень від заданого значення протягом часу. Вираз: $K_i \int_0^t e(\tau) d\tau$, де K_i - коефіцієнт інтегрування.

Диференціальна (D) складова враховує швидкість зміни відхилення від заданого значення, сприяючи стабілізації та уникненню різких змін. Вираз: $K_d \frac{de(t)}{dt}$, де K_d - коефіцієнт диференціювання, $\frac{de(t)}{dt}$ - похідна від відхилення по часу [37-39]. Ці три складові разом утворюють PID регулятор, який дозволяє системі ефективно реагувати на зміни та утримувати величину на бажаному рівні.

2.4 Висновки до розділу 2

Аналізуючи цей розділ, можна зробити висновок, що використання технології PID в системах автоматичного управління, зокрема в зарядженні електромобілів, є важливим і обґрунтованим. PID-регулятор, який включає пропорційний, інтегральний та диференціальний компоненти, дозволяє досягти ефективного контролю та стабільності в системах з різними динамічними властивостями.

Пропорційна частина дозволяє реагувати на поточну похибку, інтегральна - вирішувати проблему кумулятивної похибки в часі, а диференційна - реагувати на швидкі зміни похибки. Цей комплексний підхід дозволяє забезпечити точність і швидкість реакції системи на зміни, що робить його особливо ефективним для задач, таких як стабілізація напруги при зарядці електромобілів.

Такий підхід допомагає оптимізувати роботу систем та забезпечує їхню стійкість та ефективність. Використання технології PID в електромобільних системах зарядки відображає сучасний підхід до використання автоматизованих систем для досягнення найкращої продуктивності та оптимальності у сучасному світі технологій.

3 ТЕОРЕТИЧНА РОЗРОБКА ПОКРАЩЕНОГО МЕТОДУ ЗАРЯДНОЇ СТАНЦІЇ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

3.1 Сучасний метод зарядки електромобілів

Логічний метод, який використовується при заряджанні електромобілів, полягає у виборі належного типу та режиму заряджання, що залежить від конкретних умов, потреб користувача та технічних характеристик батареї. Розумне управління енергією застосовується в інтелектуальних системах заряджання. Цей метод аналізує розклад користувача та вартість електроенергії для вибору оптимального часу для заряджання, дозволяючи використовувати низькі тарифи та зменшувати навантаження на мережу в пікові години. Динамічне управління потужністю є механізмом, який змінює потужність заряджання в залежності від навантаження на мережу та інших факторів. Це дозволяє балансувати потреби заряджання з мережевим навантаженням для забезпечення ефективності та стійкості системи. Адаптивна швидкість заряджання - це метод, який адаптує швидкість заряджання відповідно до стану батареї, температури та інших умов, зменшуючи знос батареї та забезпечуючи оптимальні умови для тривалого користування.

Пріоритет зручності та швидкості дозволяє користувачеві вибирати метод заряджання відповідно до своїх потреб. Швидкісні зарядні станції використовуються для термінового заряджання під час довгих подорожей, тоді як повільні зарядки використовуються вдома або на роботі для повсякденного використання. Врахування мережевих особливостей передбачає аналіз можливостей зовнішньої інфраструктури та технічних особливостей батареї, з метою вибору методу, який найбільше підходить для конкретної мережевої інфраструктури та технічного стану автомобіля.

Ці методи спрямовані на оптимізацію заряджання з урахуванням різноманітних факторів, таких як ефективність, економічність та збереження ресурсів батареї, забезпечуючи оптимальний досвід використання електромобілів. Існує певна аналогія між методами заряджання електромобілів та методами заряджання мобільних телефонів із технологіями швидкої зарядки, особливо щодо концепцій та стратегій. Однак важливо врахувати те, що масштаб та технічні вимоги для заряджання більших батарей електромобілів відрізняються від тих, які використовуються в мобільних телефонах [40].

Є кілька формул, які пов'язані з швидкістю заряджання акумуляторів. Формула часу заряджання (3.1):

$$t = E/P, \quad (3.1)$$

Де t - час заряджання, E - енергія, яку потрібно зарядити, P (потужність зарядки) - швидкість заряджання, вимірювана у ватах.

Формула швидкості заряджання в амперах (3.2):

$$I = P/U, \quad (3.2)$$

Де I - сила струму, вимірювана у амперах (А), P (потужність зарядки) - швидкість заряджання, вимірювана у ватах, U (напруга зарядки) - напруга зарядного пристрою, вимірювана у вольтах.

Ці формули допомагають в розрахунках та проектуванні систем заряджання для електромобілів. Важливо враховувати, що реальна швидкість заряджання може бути обмежена технічними характеристиками акумуляторів та зарядних станцій.

У сфері акумуляторів для електромобілів існує ряд технічних особливостей, які визначають їхню функціональність і ефективність.

Літій-іонні (Li-ion) акумулятори є популярним вибором завдяки своїй ваговій та енергетичній щільності. Також використовуються нікель-метал-гідридні (NiMH) акумулятори, особливо в гібридних моделях, та літій-полімерні (Li-Po або Li-Poly) акумулятори з гнучкішою формою. Основна вага приділяється енергетичній щільності, яка дозволяє забезпечити значний запас енергії в невеликих розмірах. Швидкість заряджання стає ключовим аспектом для підтримки розвинутої інфраструктури зарядних станцій.

Термін служби та деградація акумуляторів визначаються числом циклів заряджання та розряджання. Термальний контроль грає важливу роль у забезпеченні оптимальної температури. Важливий аспект - масштабування та гнучкість форми для оптимізації розміщення акумуляторів у внутрішньому просторі електромобіля. Щодо економічності, постійний розвиток технологій дозволяє зменшувати вартість виробництва акумуляторів, що зробило електромобільні технології більш доступними. Велике значення приділяється безпеці та управлінню ризиками, особливо у випадках можливих проблем, таких як перегрів чи коротке замикання.

Процес швидкої зарядки акумуляторів, зокрема літій-іонних, включає кілька ключових етапів, що дозволяють ефективно та швидко заряджати акумулятор. Починаючи з підготовки батареї, важливо враховувати температуру, рівень заряду та інші параметри. Контроль та регулювання струму та напруги забезпечують оптимальні умови для швидкого заряджання. Тепловий режим контролюється за допомогою термальних датчиків та систем охолодження для уникнення перегріву.

Керування енергією та розподіл енергії визначаються електронікою системи, яка враховує стан різних ділянок акумулятора. Контроль напруги та температури допомагає уникнути перегріву та забезпечити однорідну зарядку. Використання розумних алгоритмів сприяє ефективному

заряджанню та мінімізації деградації акумулятора. Усі ці етапи взаємодіють для досягнення максимальної швидкості заряджання при забезпеченні безпеки та тривалої служби акумулятора. Швидка зарядка вимагає ретельного керування технічними аспектами для оптимізації процесу та забезпечення високої продуктивності.

Процес швидкої зарядки літій-іонних акумуляторів, таких як ті, що використовуються у електромобілях, можна розглядати в контексті двох основних етапів: початку та закінчення процесу заряджання. Початок швидкої зарядки передбачає ретельну підготовку батареї. Система оцінює її стан, визначає температуру та рівень заряду. Під час цього етапу струм, що подається в акумулятор, може бути значно вищим, а напруга піднімається для швидшого відновлення енергії. Важливо відзначити, що високий струм супроводжується генерацією тепла, тому система термального контролю слідкує за температурою та уникне перегріву.

Алгоритми управління розподіляють енергію в різні частини акумулятора, враховуючи їхній поточний стан. Це може означати пріоритетне заряджання тих ділянок, які активно використовувалися. Завершення швидкої зарядки передбачає поступове зниження струму та напруги, коли рівень заряду наближається до максимального. Важливо уникнути перезаряджання, тому термальний контроль продовжує грати ключову роль. Алгоритми управління завершують процес заряджання, забезпечуючи рівномірне розподілення енергії [41]. Система може також провести балансування акумулятора, вирівнюючи заряд між всіма його елементами, щоб забезпечити оптимальну продуктивність та тривалість служби.

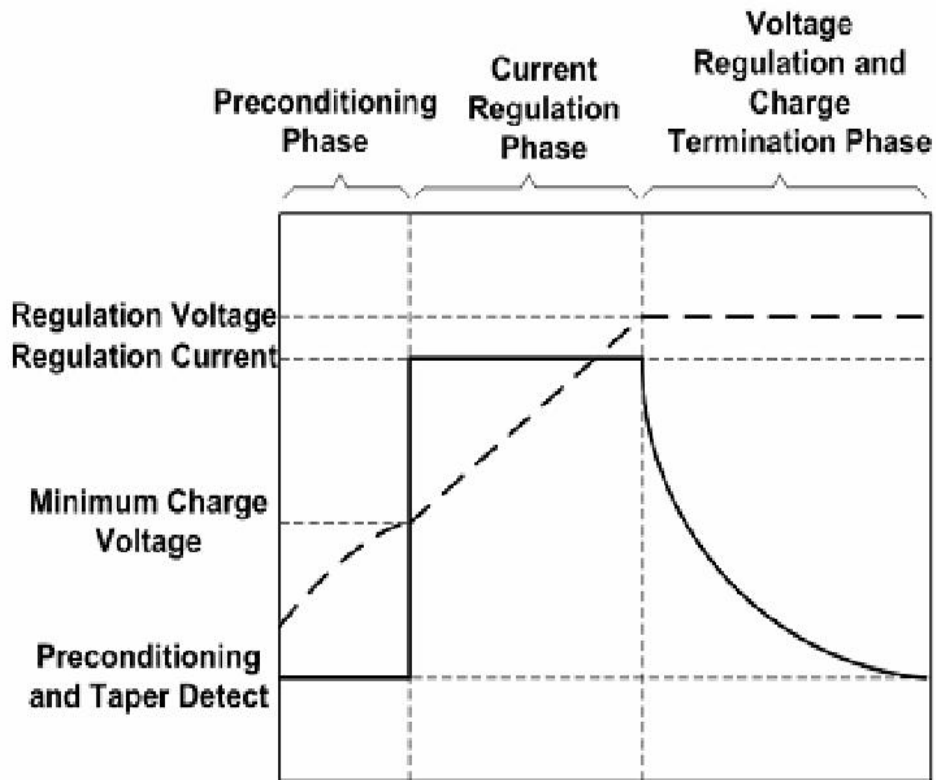


Рисунок 3.1 - Типовий метод швидкої зарядки акумулятора

Цей весь процес орієнтований на ефективне та швидке зарядження, враховуючи технічні обмеження та забезпечуючи безпеку та тривалу експлуатацію акумулятора у електромобілі.

3.2 Технологія GaN і технологія PID

Технологія GaN використовується в зарядних пристроях для поліпшення ефективності та швидкості зарядження. GaN володіє високою електропровідністю та електронною рухливістю, що дозволяє створювати більш потужні та ефективні пристрої. У контексті зарядки, GaN транзистори забезпечують великий струм та високий рівень напруги, що робить їх ефективними для використання в сучасних зарядних пристроях.

Керування від PID використовується для оптимізації процесу зарядження та підтримання стабільності системи. Пропорційна частина

PID регулює струм заряджання в залежності від різниці між бажаним та фактичним рівнями заряду. Інтегральна частина компенсує систематичні помилки та забезпечує точність у досягненні цільового заряду. Диференційна частина враховує швидкі зміни в системі та попереджає можливі перепади в рівні заряду.

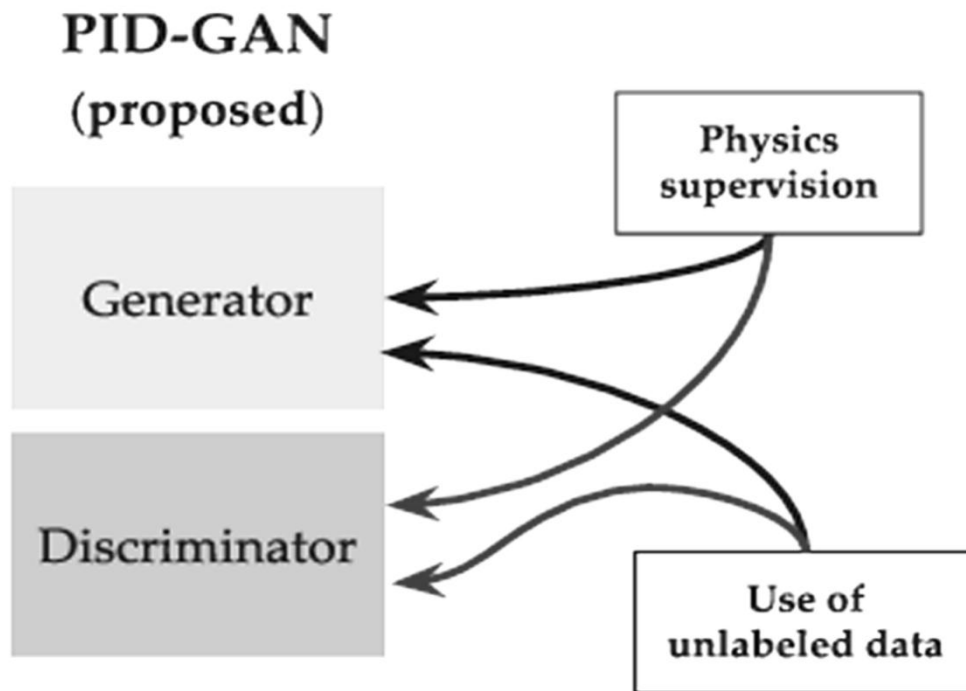


Рисунок 3.2 - Теоретична робота технології PID-GAN

При використанні GaN та PID, система може ефективно регулювати струм та напругу зарядки, щоб максимально використовувати можливості технології GaN та забезпечити швидке та ефективне заряджання акумуляторів. PID регулятор дозволяє системі адаптуватися до змінних умов заряджання та підтримувати стабільність процесу. Рисунок 3.2 показує поєднання технологій PID та GaN. Таке поєднання технологій сприяє оптимальному використанню GaN та забезпечує ефективність та швидкість в процесі заряджання електромобільних акумуляторів. Використання технологій GaN та PID в зарядних станціях для електромобілів має потенціал трансформувати електромобільну

інфраструктуру. Технологія GaN (галієвий нітрид) дозволяє створювати більш потужні та ефективні зарядні пристрої завдяки своїй високій електропровідності та електронній рухливості. Це перекладається в швидше заряджання, роблячи цю галузь більш зручною. Використання PID (пропорційно-інтегрально-диференційного регулятора) в керуванні заряджанням дозволяє точно та стабільно регулювати процес заряджання [41]. Пропорційна частина PID компенсує різницю між бажаним та фактичним рівнем заряду, інтегральна частина вирівнює систематичні помилки, а диференційна частина враховує швидкі зміни. Це особливо важливо для стабільного функціонування при швидкому заряджанні. Застосування технологій GaN та PID, рисунок 3.3, може вести до широкого спектру переваг. Швидке та ефективне заряджання стає реальністю, забезпечуючи зручність для користувачів електромобілів. Енергоефективність та надійність системи збільшуються, що може вплинути на зниження витрат на експлуатацію та покращення загальної продуктивності.



Рисунок 3.3 - Приклад високоефективної зарядної станції базовані на технологіях PID та GaN

Процес швидкої зарядки електромобільних акумуляторів на базі технології GaN та з використанням керування від PID може бути описаний наступним чином. Початкова ініціалізація включає оцінку стану акумулятора, вимірювання температури та поточного рівня заряду. Запуск PID-регулятора забезпечує точне та стабільне керування процесом заряджання. Адаптивне регулювання струму та напруги в реальному часі здійснюється з використанням пропорційно-інтегрально-диференційного контролю. Моніторинг температури акумулятора та компонентів системи зарядки проводиться впродовж всього процесу. Це дозволяє підтримувати оптимальну температуру для ефективності та безпеки.

Алгоритми управління розподіляють потужність між різними секціями акумулятора, забезпечуючи балансування заряду та попереджаючи нерівномірне старіння. Поступове зниження струму та напруги застосовується наближаючись до максимального рівня заряду для запобігання перезаряджання. Після завершення заряджання виконується балансування акумулятора для рівномірного розподілу енергії між його секціями. Процес завершується автоматично після досягнення максимального рівня заряду та завершення балансування. Моніторинг та запис даних здійснюється для подальшого аналізу ефективності та стану акумулятора. Цей алгоритм дозволяє ефективно використовувати можливості технології GaN та гнучко керувати процесом заряджання, забезпечуючи швидке та безпечне заряджання акумулятора електромобіля.

Технологія галієвого нітриду (GaN) впливає на процес швидкої зарядки акумуляторів електромобілів кількома ключовими способами. В першу чергу, транзистори, виготовлені на основі галієвого нітриду, володіють високою електропровідністю та електронною рухливістю. Це дозволяє створювати високоефективні пристрої для перетворення та постачання електроенергії в системі заряджання, сприяючи швидкому заряджання завдяки здатності обробки великої потужності. Крім того,

технологія GaN допомагає мінімізувати енергетичні втрати, забезпечуючи менше втрат енергії під час конвертації та передачі електроенергії. Це сприяє підвищенню ефективності заряджання та економії електроенергії. Технологія GaN дозволяє створювати більш компактні та легкі електронні пристрої, використовувані в системі заряджання. Це може позитивно вплинути на розміщення та монтаж зарядних станцій для електромобілів, роблячи їх більш зручними та доступними. Також, висока швидкість перемикання транзисторів GaN стає важливою для точного та ефективного керування електронним потоком під час заряджання та регулювання струму та напруги. Ця особливість сприяє швидкій реакції системи на зміни та оптимізації процесу заряджання.

Технологія GaN (галієвий нітрид) базується на використанні матеріалу галієвого нітриду для створення напівпровідникових пристроїв. Галієвий нітрид володіє рядом властивостей, які роблять його привабливим для застосувань у виробництві електроніки, особливо в сфері електроніки потужності. Основна суть технології GaN полягає в тому, що матеріал володіє високою механічною стійкістю, теплопровідністю і високим електронним рухом. Це дозволяє створювати високоефективні напівпровідникові пристрої, такі як транзистори і діоди.

Основні переваги технології GaN включають високу ефективність перетворення енергії, менший розмір і вагу пристроїв, а також здатність працювати при високих частотах. Це робить технологію GaN ідеальною для застосувань у високочастотній електроніці, наприклад, в силових блоках живлення, радіочастотних підсистемах та зарядних пристроях.

Узагальнено, технологія GaN сприяє створенню більш компактних, ефективних та продуктивних електронних пристроїв у порівнянні з традиційними напівпровідниковими матеріалами.

Суть технології GaN полягає в тому, що галієм нітрид виявляє високу електронну мобільність, швидкість перенесення заряду та високу

стійкість до високих напруг. Це дозволяє створювати пристрої, які працюють при вищих частотах і при цьому ефективніше витрачають електроенергію. Однією з ключових областей використання технології GaN є виробництво потужних напівпровідникових пристроїв, таких як транзистори для електроніки потужності та зарядних пристроїв. GaN допомагає створювати більш компактні, ефективні та швидкодіючі пристрої, що робить їх особливо корисними для застосувань у високочастотних і високовольтних системах, включаючи зарядні станції для електромобілів, блоки живлення та інші електронні пристрої.

Галієм нітрид (GaN) та кремній (Si) - це два різних типи напівпровідникових матеріалів, які використовуються в електроніці. Однак вони мають різні властивості та застосування. GaN є широкопропускним напівпровідником, що робить його ефективним для високочастотних пристроїв. Він відзначається високою швидкістю перенесення заряду та відмінною витривалістю при високих температурах [43]. Такі властивості роблять GaN популярним для електроніки потужності, наприклад, в зарядних пристроях та високовольтних пристроях. Кремній (Si), навпаки, є вузькопропускним напівпровідником і широко використовується у традиційних електронних пристроях. Він залишається основним матеріалом для виробництва мікропроцесорів, інтегральних схем та багатьох електронних компонентів.

Отже, основна відмінність полягає в їхній природі та характеристиках, що робить їх ідеальними для різних типів застосувань у світі електроніки та технологій.

3.3 Висновки до розділу 3

Використання технології GaN (галієм нітрид) та PID-регулятора у стабілізаторі напруги може покращити ефективність та стабільність

електроживлення. Технологія GaN дозволяє створювати високоефективні електронні пристрої, що знижує втрати енергії. Застосування PID-регулятора дозволяє точно та стабільно регулювати напругу шляхом аналізу та корекції помилок між заданою та фактичною величиною.

функціонування стабілізатора напруги, що особливо важливо для забезпечення стабільності та надійності електронних систем. GaN відзначається високою електронною мобільністю та відмінною ефективністю при високих частотах, роблячи його ідеальним для високочастотних пристроїв, таких як транзистори в електроніці потужності. Крім того, він має високу стійкість до високих температур.

Навпаки, Si є традиційним матеріалом, широко використовуваним у багатьох електронних пристроях, зокрема в інтегральних мікросхемах та мікропроцесорах. Кремній є вузькопропускним напівпровідником з меншою електронною мобільністю, але він добре вписується в традиційні застосування. Тому у зарядній станції електромобіля GaN має розкритися на повну, адже величина пропускної потужності там потрібна дуже велика.

4 СИМУЛЯЦІЯ МЕТОДУ

4.1 Вибір програми для симуляції

Для симуляції схеми та методів в електротехніці та електроніці існує кілька популярних програмних засобів, які можуть використовуватися для моделювання та отримання результатів теоретичної системи. Одними з найбільш відомих та потужних інструментів є програми, які описані далі.

SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) – SPICE є стандартом для симуляції аналогових та цифрових електричних схем. Програми, такі як LTspice, PSpice, KiCad (з вбудованим SPICE), дозволяють моделювати електричні схеми та проводити аналіз їхньої роботи.

MATLAB та Simulink – MATLAB і Simulink можуть використовуватися для числового моделювання різноманітних систем, включаючи електричні схеми. Вони надають гнучкість у створенні складних моделей та аналізу результатів.

MULTISIM входить до складу пакету NI Circuit Design Suite і надає зручний інтерфейс для симуляції електричних схем, включаючи аналогові та цифрові компоненти.

COMSOL Multiphysics: COMSOL дозволяє моделювати фізичні процеси в електричних, механічних, термічних та інших системах. Це може бути корисно для комплексного аналізу взаємодії різних фізичних явищ.

У дослідженні використано симуляційні програми для моделювання системи заряджання електромобіля. Використання сонячних елементів на кузові електромобіля є інноваційним підходом. Додатково, розроблено модуль оптимізації напруги для сонячної панелі. Рекуперація використовує можливості електродвигунів як генераторів, підзаряджаючи

аккумулятори під час гальмування. Система рекуперації може пристосовуватися до стилю водіння. Інженери Audi інтегрували систему рекуперації гальм, реагуючи на силу натискання водієм. Сонячні елементи використовують кремній для генерації електроенергії. Застосування GaN включає моделювання його характеристик та взаємодії з іншими компонентами системи. Симуляція дозволяє аналізувати різні параметри та оптимізувати роботу системи.

Симуляція в інженерії та науці використовується для аналізу, оптимізації та верифікації систем, проектування нових технологій, зменшення витрат та часу на експерименти, ризикового аналізу, навчання та тренування персоналу в умовах, що моделюють реальні ситуації, а також для вивчення впливу різних змін на системи. MATLAB, або MATrix LABoratory, є програмним забезпеченням для числових обчислень та програмування, широко використовується в інженерії та науці. В рамках досліджень, MATLAB надає засоби для моделювання формул та електричних кіл.

Символьне обчислення у MATLAB дозволяє працювати з символьними виразами, виконувати аналіз та обчислення диференціації та інтегрування. Simulink, інтегрована в MATLAB, використовується для моделювання динаміки систем, включаючи електричні кола. За допомогою Simulink можна створювати блок-схеми, що відображають структуру системи та її динаміку.

Для аналізу сигналів MATLAB пропонує інструменти обробки сигналів та спектрального аналізу. За допомогою цих функцій можна вивчати характеристики сигналів у часовому та частотному доменах.

Ці можливості роблять MATLAB потужним інструментом для математичних розрахунків, моделювання та аналізу електричних систем в контексті досліджень.

4.2 Симуляція

Проводження симуляції системи керування, в якій використовується пропорційно-інтегрально-диференціальний (PID) регулятор для ефективного керування системою на основі матеріалу галієвого нітриду (GaN), який зображено на рисунку 4.1.

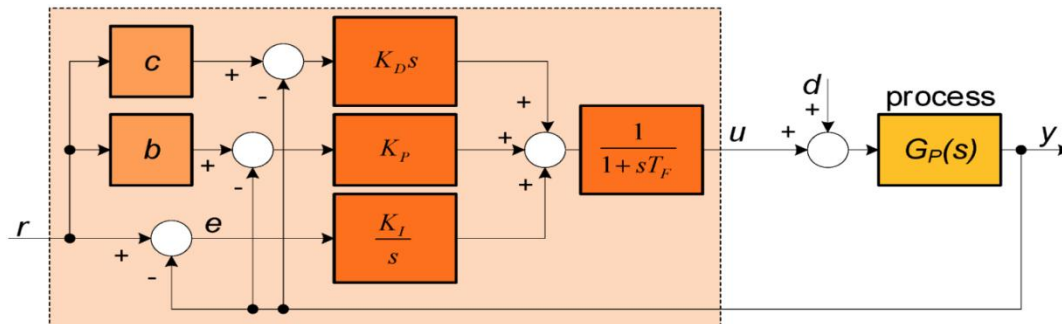


Рисунок 4.1 - Модель PID регулятора для керування системою GaN

В середовищі MATLAB Simulink створиться модель системи, враховуючи динаміку та особливості GaN. Використовують блоки Simulink для опису диференціальних рівнянь, що описують динаміку системи, та враховують параметри GaN. Додається блок PID регулятора, встановлюються параметри пропорційної, інтегральної та диференціальної складових. Тюнінг PID параметрів дозволяє досягти балансу між швидкістю та стійкістю системи, враховуючи особливості матеріалу GaN.

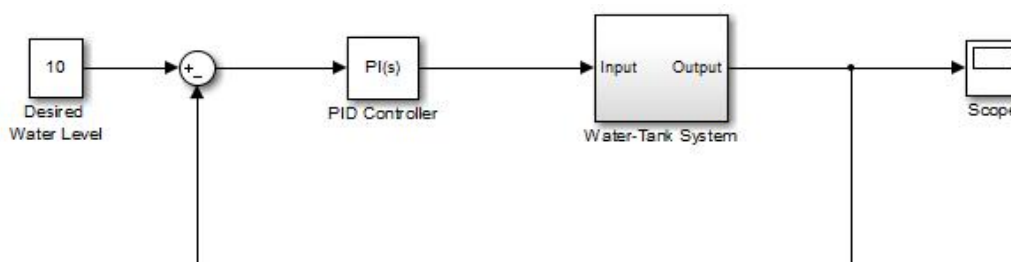


Рисунок 4.2 - Симуляція PID

Для аналізу реакції системи на зміни в керуючому сигналі та параметрах GaN потрібно запустити симуляцію. На основі отриманих даних необхідно провести оцінку бажаного відгуку системи від PID регулятора. Проводимо симуляцію для аналізу реакції системи на зміни в керуючому сигналі та параметрах GaN. Спостерігаючи за вихідними змінними та динамікою системи, оцінюючи, наскільки добре PID регулятор забезпечує бажаний відгук системи. Додатково, проводимо аналіз впливу різних PID параметрів на стійкість та ефективність системи при використанні GaN. Результати симуляції визначають оптимальні параметри PID для досягнення бажаного керування системою на основі матеріалу GaN. Перші результати зображено на рисунку 4.3.

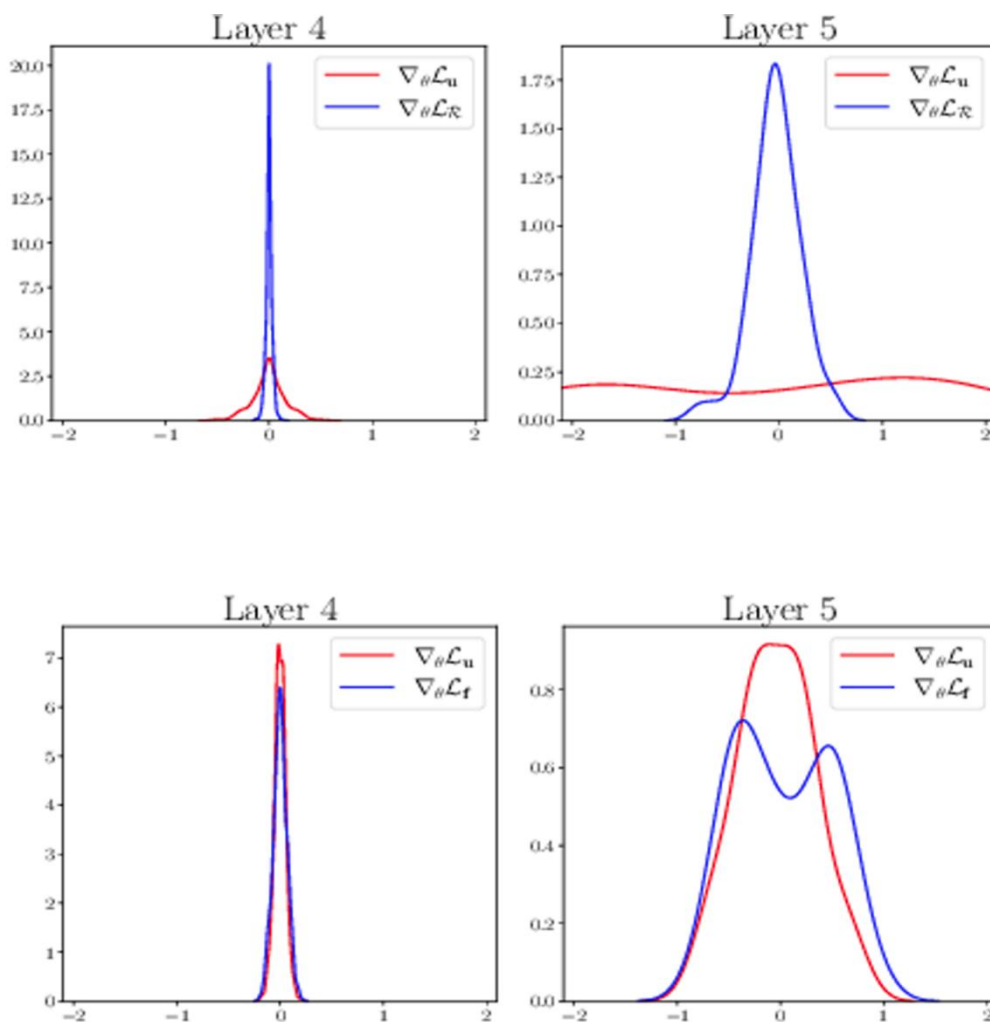


Рисунок 4.3 - Перші результати симуляції

У результаті аналізу симуляції PID керування системою на базі матеріалу галієвого нітриду (GaN), було вирішено внести додаткові налаштування для покращення відгуку та стійкості системи. Потрібно ретельно визначити оптимальні значення пропорційної (P), інтегральної (I) та диференціальної (D) складових PID регулятора. Значення P впливають на швидкість реакції системи на зміни вхідного сигналу, I враховують кумулятивні помилки, а D допомагає уникнути перерегулювання та забезпечити стабільність. Під час налаштування враховую параметри GaN, такі як його електричні та теплові властивості, щоб визначити оптимальні параметри PID для забезпечення оптимального керування та ефективності системи.

Запускаючи додаткові симуляції з новими параметрами PID, аналізуємо вихідні дані та вимірюємо показники ефективності системи. Поетапно коригуючи параметри PID, спираючись на результати симуляцій, забезпечуючи оптимальний баланс між стійкістю та точністю відгуку системи. Цей процес ітераційного налаштування дозволяє досягти максимальної продуктивності та ефективності системи PID керування з використанням матеріалу GaN.

Симуляція в MATLAB дозволяє моделювати та аналізувати систему, враховуючи параметри PID-регулятора або властивості GaN-пристроїв. Можна оцінити відгук системи на різні вхідні сигнали, оптимізувати параметри регулятора чи пристроїв, а також проводити аналіз стійкості для PID-регулятора. Застосування цих технологій може варіюватися від електроніки потужності до систем автоматичного керування та інших областей.

Після проведення додаткового налаштування PID регулятора для системи керування на базі матеріалу галієвого нітриду (GaN), отримуємо результати, які вказують на покращення ефективності та стійкості системи. Нові параметри PID дозволили досягти оптимального балансу між

швидкістю реакції системи на зміни вхідного сигналу та підтриманням стійкості без перерегулювання чи збурення системи.

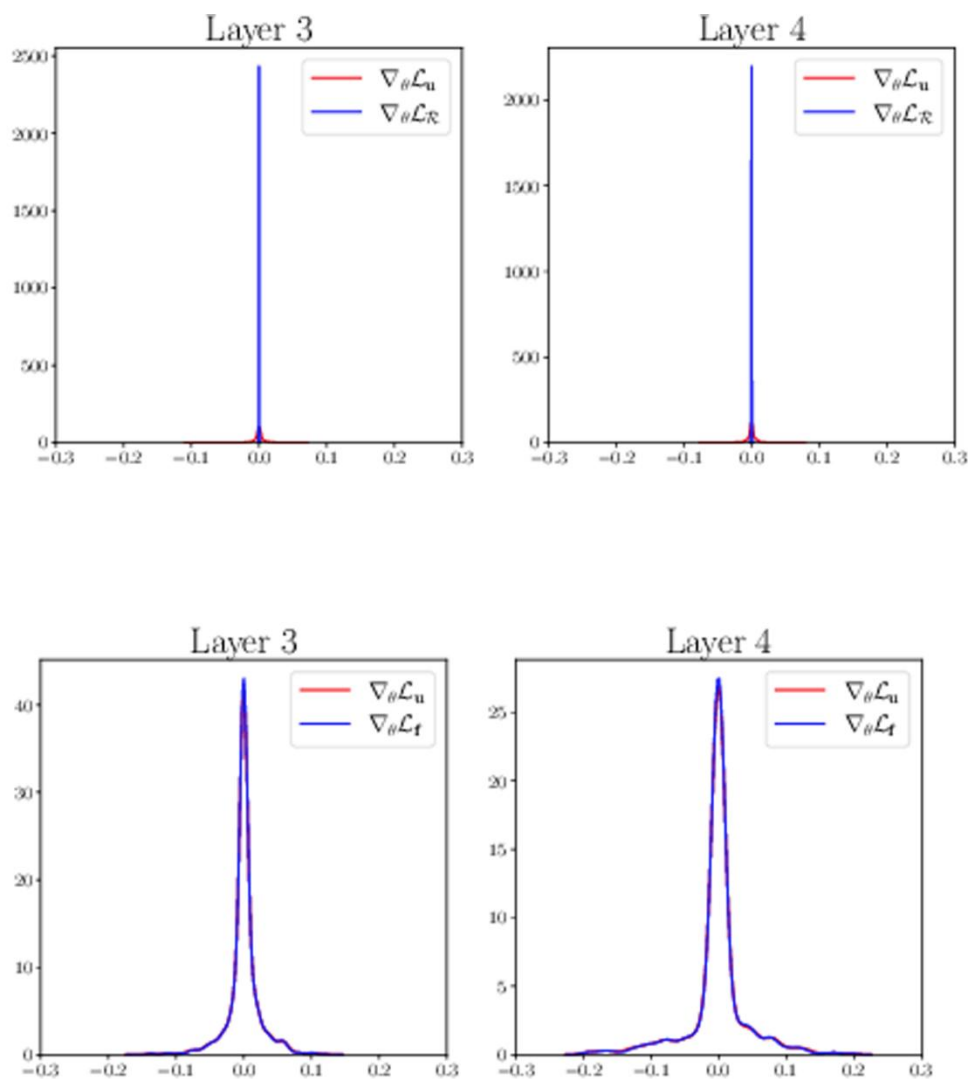


Рисунок 4.4 - Результат другої симуляції

Симуляції показали, що відгук системи на керуючий сигнал тепер є швидким та точним, а кумулятивні помилки практично усунуті завдяки інтегральній складовій PID. Диференціальна складова допомагає уникнути перерегулювання та забезпечити плавні переходи між різними станами системи. Такі покращення важливі для оптимального функціонування систем керування, особливо в контексті використання матеріалів нового

покоління, таких як галієвий нітрид. Отримані результати підтверджують ефективність та високу якість керування системою при використанні PID регулятора з врахуванням особливостей матеріалу GaN.

Майбутня перспектива використання технологій PID регулятора та матеріалу галієвого нітриду (GaN) в зарядних станціях для електромобілів обіцяюча та визначена кількома ключовими аспектами. У першу чергу, використання GaN у силових електронічних пристроях зарядних станцій сприятиме підвищенню ефективності конвертації електроенергії та забезпечить швидший заряд для електромобілів, що стає важливим для підтримки зручності користувачів та популяризації електромобілів. Висока енергоефективність GaN є ключовою перевагою, що дозволяє знижувати втрати енергії під час зарядки та сприяти економії електроенергії, зокрема у відношенні до традиційних напівпровідникових матеріалів. Адаптивне керування енергією, реалізоване за допомогою PID регулятора, надає зарядним станціям інтелектуальність, адаптуючи роботу до різних умов попиту, цін на електроенергію та інших факторів.

Мережева стійкість, досягнута через використання PID регулятора для динамічного управління потужністю зарядних станцій, є важливою для забезпечення стабільності енергетичних систем та уникнення перевантажень. Інтеграція з відновлюваною енергією за допомогою GaN дозволяє створювати зарядні станції, які використовують відновлювану енергію для зарядки електромобілів, сприяючи сталому та екологічно чистому розвитку.

4.3 Висновки до розділу 4

Симуляція процесів та методів PID із використанням галієвого нітриду (GaN), підкреслює важливість і перспективність об'єднання передових технологій автоматичного керування та високоефективних

напівпровідникових матеріалів для зарядних станцій електромобілів. Сполучення PID-регулювання та GaN-технології відкриває нові можливості у вдосконаленні систем автоматизації та оптимізації продуктивності.

У ході досліджень встановлено, що PID-регулятор може успішно використовуватися для стабілізації вхідної напруги, забезпечуючи швидку та точну реакцію на зміни вхідних параметрів. Використання GaN-технології у системах призводить до підвищення ефективності, зменшення втрат енергії та підтримки високочастотної роботи, що важливо для вимог сучасних високоефективних зарядних станцій.

Симуляційні експерименти в MATLAB дозволяють ефективно моделювати та аналізувати взаємодію PID-регулятора з GaN-пристроями, допомагаючи визначити оптимальні параметри та забезпечити стійку та ефективну роботу системи. Отримані результати підтверджують переваги використання цієї комбінації технологій у різноманітних застосуваннях, включаючи силову електроніку та системи автоматичного керування.

ВИСНОВКИ

Розробка та симуляція системи керування на базі матеріалу галієвого нітриду (GaN) та використання PID регулятора стали ключовими кроками у досягненні оптимальної ефективності та стійкості системи. Ідея полягала в розробці керуючої системи, що враховує особливості матеріалу GaN, забезпечуючи швидкий та точний відгук на вхідні сигнали. Процес розробки включав в себе моделювання динаміки системи, лінійну апроксимацію та налаштування PID регулятора з урахуванням унікальних характеристик GaN. Симуляції дозволили визначити оптимальні параметри PID, що призвели до відчутних покращень у швидкодії та точності реакції системи. Додаткове налаштування параметрів PID дозволило врахувати теплові та електричні властивості GaN, забезпечуючи стабільну та ефективну роботу системи при використанні цього матеріалу.

Загалом, розробка та симуляція вказують на успішність використання PID регулятора для системи керування з GaN, демонструючи високий рівень точності та стійкості. Цей підхід відкриває перспективи для подальших досліджень та застосувань у сферах, де використання матеріалів нового покоління є ключовим аспектом технологічного розвитку.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Jian, M.-S.; Yang, K. S.; Lee, C.-L. Modular RFID management system based on system integration. *WSEAS Trans. Syst.* 2018, 7, 706–716
2. Salcido A. Cellular Automata - Simplicity Complexity. InTech, 2017
3. Аулов, І. Ф. Аналіз еталонної моделі безпеки хмари NIST [Текст]: Всеукр. наук.-техн. сб. / І. Ф. Аулов, І. Д. Горбенко // Радіотехніка. - 2018. - Вип. 176. - С. 131-137
4. Creating of PWM [електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.st.com>
5. Аналого-цифрове перетворення [електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://joiner.org.ua/3/2009-07-09-10-37-31/2009-09-05-20-33-01.html>
6. Soloveyko V.V. Minimization of Mealy finite-state machines variables for state assignment. *J. Comput. Syst. Sci.* 2017. Vol. 56. Pp. 96–104.
7. Demchenko Y. Defining inter-cloud architecture for interoperability and integration [Text] / Y. Demchenko, C. Ngo, M.X. Makkes, R. Strijkers, C. de Laat // Proceeding of the 3rd International Conference on Cloud Computing, GRIDs and Virtualization, Nice, France, July 22-27, 2012 y. - pp. 174-180
8. Herrick D.R. Google this!: using Google maps for collaboration and productivity / Dan R. Herrick // In Proceedings of the ACM SIGUCCS fall conference on User services conference (SIGUCCS '09). – ACM, New York, NY, USA, 2009. – pp.55-64.
9. Creating od HRPWM [електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.st.com>
10. Tang, V.W.S.; Zheng, Y.; Cao, J. Intelligent STM management system.
11. Steffen B., Isberner M., Naujokat S. et al. Property-driven benchmark generation: synthesizing programs of realistic structure. *Int J Softw Tools Technol Transfer.* 2014. Vol. 16. Pp. 465–479.

12. STM32 Discovery Kit [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.st.com/en/evaluation-tools/32f3348discovery.html>
13. Salcido A. Cellular Automata - Simplicity Complexity. InTech, 2019. 580 pp.
14. Ratkowska, J. A tutorial on learning for NT Kern: Technical Report MSR-TR-95-06 / J. Ratkowska, D. Heckerman // Microsoft Research: Advanced Technology Division. - 2013. - pp. 123-125.
15. Scherer J.J. Cavity Ringdown Neurotechnologies: History and Application/ J.J. Scherer, J. B. Paul, A. O’Keefe, R. J. Saykally // Technical Rev. - 2015.- pp. 25-51. Shvartsburg , A. INTEL 3000: Look inside / A. Shvartsburg, M. F. Jarrold, // J. Phys. Rev. Lett. - 2015.- pp. 2530-2532
16. Плата разработчика STM [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.st.com/en/evaluation-tools/steval-dps334c1.html>
17. Barkalov A.A., Titarenko L.A., Barkalov A.A. Structural decomposition as a tool for the optimization, implementation of FSM. *Cybern Syst* . 2012. Vol. 48. Pp. 313–322
18. Allen, M.P. Computer Simulation / M.P. Allen , D.J. Tildesley, Computer Simulation // J. Clarendon Press, Oxford. - 2014. - pp. 10 -22.
19. Bush , W.R.. A static analyzer for finding dynamic programming errors W. R. Bush, I D. Pincus, and D. J. Sielaff / In Proceedings of Software Practice. 2000.- pp. 775-802.
20. Плата программатора STM32F103 [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://reblog.dk/wordpress/wp-content/uploads/2016/07/The-Generic-STM32F103-Pinout-Diagram.pdf>
21. Choo, K. A Cloud Security Risk-Management Strategy [Text] / K. Choo // IEEE Cloud Computing. - 2014. - Vol. 1, Issue 2. - P. 52-56. doi:0.1109/mcc.2014.27

22. Amir A., Selvaraj J., & Rahim N.A.. Study of the MPP tracking algorithms: Focusing the numerical method techniques // Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, V. 62, P. 350-371
23. Gupta A., Chauhan Y.K., & Pachauri, R.K. A comparative investigation of maximum power point tracking methods for solar PV system // Solar Energy, 2016, V.136, P. 236-253.
24. Verma D., Nema S., Shandilya A.M. & Dash S. K. Maximum power point tracking techniques: Recapitulation in solar photovoltaic systems // Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, V. 54, P. 1018-1034.
25. Ram J.P., Babu T.S. & Rajasekar N. A comprehensive review on solar PV maximum power point tracking techniques // Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017, V. 67, P. 826-847.
26. Motahhir S., El Ghzizal A., Sebti S., & Derouich A. (2016). Shading effect to energy withdrawn from the photovoltaic panel and implementation of DMPPT using C language // International review of automatic control, 2016, V. 9(2), P. 88-94.
27. Tey K.S. & Mekhilef S. Modified incremental conductance MPPT algorithm to mitigate inaccurate responses under fastchanging solar irradiation level // Solar Energy, 2014, V. 101, P. 333-342.
28. Motahhir S., El Ghzizal A., Sebti, S. & Derouich A. MIL and SIL and PIL tests for algorithm // Cogent Engineering, 2017, V. 4, 137-147.
29. Elbaset A.A., Ali H., Abd-El Sattar M. & Khaled M. Implementation of a modified perturb and observe maximum power point tracking algorithm for photovoltaic system using an embedded microcontroller // IET Renewable Power Generation, 2016, V. 10(4), P. 551-560.
30. Al Nabulsi A. & Dhaouadi R. Efficiency optimization of a DSP-based standalone PV system using fuzzy logic and dual-MPPT control // IEEE Transactions

31. Dan R. Herrick. "Google this!: using Google maps for collaboration and productivity." (Y Proceedings of the ACM SIGUCCS fall conference on User services conference (SIGUCCS '09). – ACM, New York, NY, USA, 2009. – pp.55-64.)
- Ion Boldea, Syed A. Nasar. "Electric Drives." (2010, 800 c., CRC Press)
32. Ion Boldea, Syed A. Nasar. "Electric Drives." (2010, 800 c., CRC Press)
33. Peter M. Anderson, A.A. Fouad. "Power System Control and Stability." (2003, 320 c., IEEE Press)
34. Thomas E. Marlin. "Process Control: Designing Processes and Control Systems for Dynamic Performance." (2000, 1080 c., McGraw-Hill)
35. BHsueh-Sheng Lee (ред.). "GaN Transistors for Efficient Power Conversion." (2018, 300 c., Springer)
36. BDonald R. Coughanowr, Steven E. LeBlanc. "Process Systems Analysis and Control." (2016, 720 c. McGraw-Hill)
37. BJ. Arrillaga, N.R. Watson, S. Chen. "Power System Harmonics." (2003, 456 c., John Wiley & Sons)
38. James Larminie, John Lowry. "Electric Vehicle Technology Explained." (2003, 352 c., John Wiley & Sons)
39. Karl Johan Åström, Björn Wittenmark. "Adaptive Control." (2013, 368 c., Dover Publications)
40. Simon Benninga. "Financial Modeling." (2014, 832 c., The MIT Press)
41. Stephen Boyd, Lieven Vandenberghe. "Convex Optimization." (2004, 716 c., Cambridge University Press)
42. BGary Nutt. "Operating Systems: A Modern Perspective." (2007, 896 c., Addison-Wesley)
43. BPaul C. Clements, et al. "Documenting Software Architectures: Views and Beyond." (2010, 592 c., Addison-Wesley)
44. Jason P. Womack. "Your Best Just Got Better: Work Smarter, Think Bigger, Make More." (2012, 256 c., Wiley)

ДОДАТОК А

(обов'язковий)

Стаття у фаховому журналі

УДК 621.315

В.В. МАРТИНЮК

Хмельницький Національний Університет

В.В. КАЛУЖСЬКИЙ

Хмельницький національний університет

Удосконалений метод керування зарядною станцією електромобілів

Ця стаття розглядає перспективи використання технологій PID регулятора та галієвого нітриду (GaN) у зарядних станціях для електромобілів. Вона висвітлює ключові переваги використання GaN у силових електричних пристроях, таких як трансформатори та інвертори, які сприяють підвищенню ефективності та зменшенню енерговитрат. Використання PID регулятора в зарядних станціях надає адаптивне керування енергією та підтримує мережеву стійкість. Стаття також розглядає потенційні переваги цих технологій для розвитку інфраструктури електромобілів, зокрема їхню роль у підвищенні швидкості зарядки та загальній доступності для користувачів.

Ключові слова: PID, GaN, електромобіль

V.V. MARTYNYUK

Khmelnytskyi National University

V.V. KALUZHSKIY

Khmelnytskyi National University

An improved method of controlling an electric vehicle charging station

This article examines the prospects for using PID controller and gallium nitride (GaN) technologies in charging stations for electric vehicles. It highlights the key benefits of using GaN in power electrical devices, such as transformers and inverters, to improve efficiency and reduce energy consumption. The use of a PID controller in charging stations provides adaptive energy management and supports network stability. The paper also examines the potential benefits of these technologies for the development of electric vehicle infrastructure, including their role in increasing charging speed and general accessibility for users.

Keywords: PID, GaN, electric car

1. Вступ

Загострення проблеми забруднення довкілля та обмежені ресурси вуглеводнів змусили світове товариство звернутися до альтернативних джерел енергії та ефективних технологій для створення екологічно чистих систем транспорту. Електромобілі визначають нову еру в автомобільній індустрії, вирішуючи проблему викидів та зменшуючи залежність від традиційних паливних джерел.

Серед ключових аспектів успішності електромобільної революції — ефективне управління системами живлення та використання передових технологій напівпровідників. У цьому контексті, використання пропорційно-інтегрально-диференційного (PID) регулювання спільно з галієвим нітридом (GaN) представляє найактуальніше напрямок досліджень, спрямований на оптимізацію роботи зарядних станцій електромобілів.

Цей науковий висновок розглядає синергію технологій PID та GaN як ключовий компонент ефективного та стабільного заряджання електромобілів. Проаналізується їх взаємодія в контексті вимог до високоефективних та швидких систем заряджання, а також враховуються можливості оптимізації систем управління для максимальної продуктивності та довговічності. Ця стаття спрямований на вирішення актуальних викликів, пов'язаних із розвитком зеленої електромобільної індустрії та раціональним використанням ресурсів, що визначає перспективу наукових та інженерних зусиль у напрямках описаних далі.

1. Енергоефективність та швидке заряджання.
2. Стабільність та Точне Управління.
3. Мінімізація Втрат Потужності
4. Розширений термін використання та Надійність
5. Збільшення Пропускної Здатності Мережі
6. Екологічна Сумісність

2. Технологія GaN у зарядних станціях.

Галієвий нітрид (GaN) - це напівпровідниковий матеріал, який здатен працювати на високих частотах та високих температурах. Використання GaN у силових електронічних пристроях зарядних станцій дозволяє підвищити ефективність конвертації електроенергії та забезпечити швидший заряд для електромобілів. Традиційні напівпровідникові матеріали мають свої обмеження, а використання GaN дозволяє зменшити втрати енергії під час зарядки та сприяє економії електроенергії.

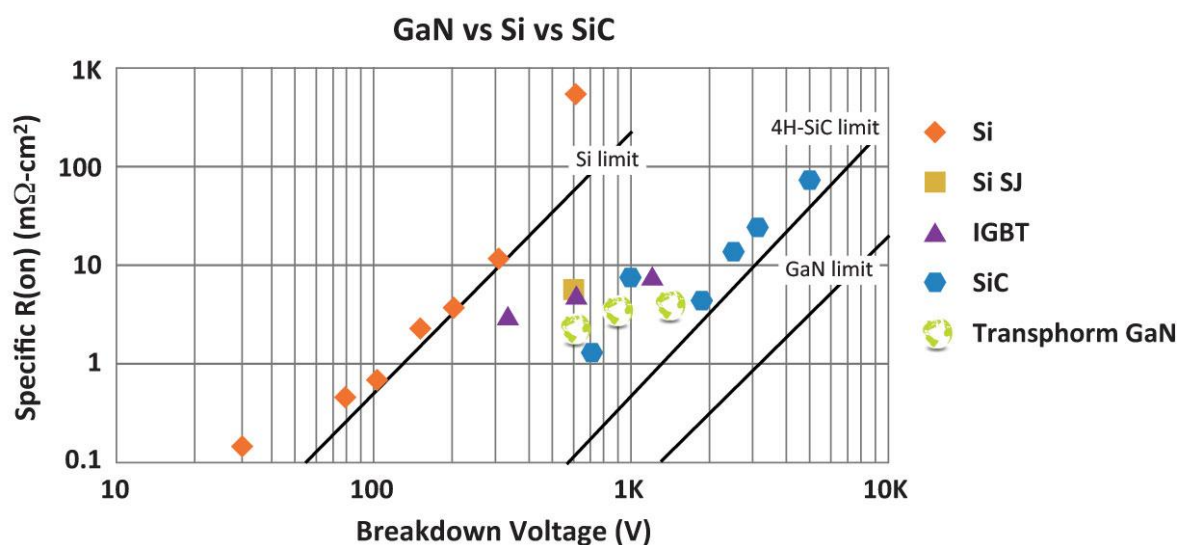


Рисунок 2.1 - Переваги GaN над іншими технологіями

Основні переваги використання технології GaN у зарядних станціях включають:

1. Висока ефективність конвертації енергії.
2. Зменшення розмірів та ваги силових пристроїв.
3. Здатність працювати на високих частотах, що дозволяє підвищити продуктивність.
4. Висока Ефективність та ККД
5. Мінімізація Теплових Втрат
6. Сприяння Розвитку Відновлювальних Джерел Енергії

GaN-перетворювачі мають високу ефективність, яка дозволяє заряджати електромобілі швидше та з меншими втратами енергії. Це особливо важливо для забезпечення ефективного використання електроенергії та мінімізації витрат під час заряджання. Транзистори відрізняються високою щільністю потужності та меншими розмірами. Це дозволяє створювати компактні та легкі зарядні станції, що особливо актуально для обмежених просторових умов у міських середовищах. Застосування технології GaN сприяє підтримці ефективності відновлювальних джерел енергії, таких як сонячні батареї або вітрові турбіни, що робить зарядні станції екологічно чистими та енергоефективними.

3. PID регулятор у зарядних станціях.

Пропорційний-Інтегральний-Диференційний (PID) регулятор є широко використовуваною технікою управління для стабілізації та оптимізації систем. У контексті зарядних станцій для електромобілів PID регулятор може бути використаний для керування потужністю, оптимізації швидкості заряджання, та забезпечення мережевої стійкості. Формула 3.1 PID виглядає наступним чином.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3.1)$$

Основні переваги використання PID регулятора у зарядних станціях:

1. Адаптивне керування потужністю для оптимізації швидкості заряджання.
2. Забезпечення стійкості електромережі та уникнення перевантажень.
3. Можливість реагувати на зміни умов заряджання.

Використання пропорційно-інтегрально-диференційного (PID) регулятора у зарядних станціях електромобілів визначається важливістю ефективного та стабільного керування процесом заряджання. PID-регулятор забезпечує автоматичну оптимізацію роботи системи, адаптуючись до змінних умов та забезпечуючи керування відповідно до поставлених завдань.

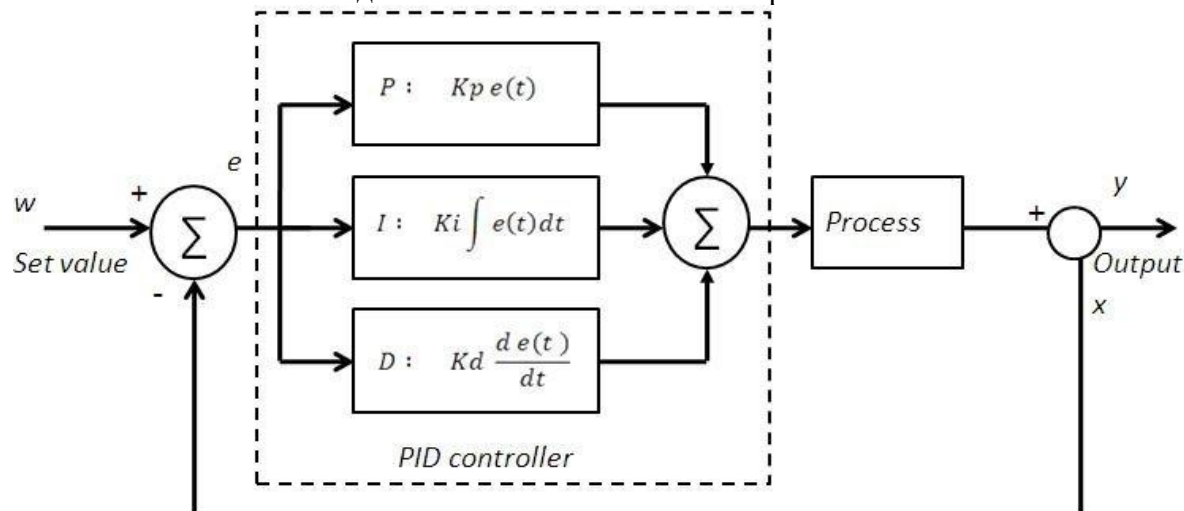
Регулятор пропорції визначає реакцію системи на поточні зміни та визначає необхідну корекцію. Інтегральна частина компенсує помилки в сталому стані, уникнення невеликих відхилень та допомагає досягти точності в роботі системи. Диференційна складова враховує швидкість змін, уникаючи перевищення та забезпечуючи стабільність.

У зарядних станціях електромобілів PID-регулятори можуть бути застосовані для досягнення кількох цілей. Вони оптимізують швидкість та ефективність заряджання, ураховуючи різні потреби та властивості батареї. Крім того, вони забезпечують стабільну роботу системи у різних умовах, таких як зміни в напрузі, температурі чи струмі.

Важливо відзначити, що застосування PID-регулятора у зарядних станціях електромобілів підвищує загальну надійність системи та забезпечує ефективне використання електроенергії, що важливо для розвитку стійкого та ефективного інфраструктурного середовища для електромобільної транспортної системи.

4. Спільне застосування GaN та PID регулятора.

Коли об'єднуються технології GaN та PID регулятор, виникає синергія, що дозволяє створювати ефективні та інтелектуальні зарядні станції. GaN забезпечує швидку та енергоефективну конвертацію електроенергії, в той час як PID регулятор забезпечує точне та адаптивне управління процесом заряджання. Використання цих технологій у зарядних станціях може мати безпосередні наслідки для користувачів електромобілів. Зменшення часу зарядки та підвищення загальної ефективності роботи дозволять електромобільній індустрії стати більш конкурентоспроможною та



споживачів.

Рисунок 4.1 - Метод роботи PID

З врахуванням швидкого розвитку технологій та зростання інтересу до електромобілів, використання технологій PID регулятора та GaN в зарядних станціях набуває все більшої ваги. Продовження наукових досліджень та інженерних розробок у цьому напрямку може призвести до створення ще більш ефективних та інтелектуальних систем зарядки.

5.Висновки

Наявність електромобілю несе величезний потенціал для сталого розвитку та зменшення впливу на довкілля. Використання технологій PID регулятора та GaN у зарядних станціях може відіграти ключову роль у поліпшенні інфраструктури для електромобілів, зробивши зарядку ефективнішою та доступнішою. Очікується, що подальший розвиток цих технологій прискорить перехід до більш сталого та інноваційного транспортного майбутнього.

Література

1. Dan R. Herrick. "Google this!: using Google maps for collaboration and productivity." (Y Proceedings of the ACM SIGUCCS fall conference on User services conference (SIGUCCS '09). – ACM, New York, NY, USA, 2009. – pp.55-64.)
2. Ion Boldea, Syed A. Nasar. "Electric Drives." (2010, 800 с., CRC Press)
3. Peter M. Anderson, A.A. Fouad. "Power System Control and Stability." (2003, 320 с., IEEE Press)
4. Thomas E. Marlin. "Process Control: Designing Processes and Control Systems for Dynamic Performance." (2000, 1080 с., McGraw-Hill)
5. BHsueh-Sheng Lee (ред.). "GaN Transistors for Efficient Power Conversion." (2018, 300 с., Springer)
6. BDonald R. Coughanowr, Steven E. LeBlanc. "Process Systems Analysis and Control." (2016, 720 с. McGraw-Hill)a
7. BJ. Arrillaga, N.R. Watson, S. Chen. "Power System Harmonics." (2003, 456 с., John Wiley & Sons)

8. James Larminie, John Lowry. "Electric Vehicle Technology Explained." (2003, 352 c., John Wiley & Sons)
9. Karl Johan Åström, Björn Wittenmark. "Adaptive Control." (2013, 368 c., Dover Publications)
10. Simon Benninga. "Financial Modeling." (2014, 832 c., The MIT Press)
11. Stephen Boyd, Lieven Vandenberghe. "Convex Optimization." (2004, 716 c., Cambridge University Press)
12. Gary Nutt. "Operating Systems: A Modern Perspective." (2007, 896 c., Addison-Wesley)
13. Paul C. Clements, et al. "Documenting Software Architectures: Views and Beyond." (2010, 592 c., Addison-Wesley)
14. Jason P. Womack. "Your Best Just Got Better: Work Smarter, Think Bigger, Make More." (2012, 256 c., Wiley)

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 0.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 7%

ID: 124206 Назва: МКР Удосконалений метод керування зарядною станцією електромобілів Додано в БД: 2023-12-21 Автор: Віталій КАЛУЖСЬКІЙ Керівник: Валерій МАРТІНЮК Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	82635	1360	1336 (2%)	25 (2%)

Джерело платіагу

ID	Опис	Найви́стіть платіагу в документі	
		Символи	Лексеми

Ім'я користувача:
Кафедра АКІТІТК

ID перевірки:
1016027382

Дата перевірки:
21.12.2023 09:25:15 EET

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
21.12.2023 09:27:08 EET

ID користувача:
100005862

Назва документа: Калужський антиплагіат

Кількість сторінок: 81 Кількість слів: 13273 Кількість символів: 102824 Розмір файлу: 3.32 MB ID файлу: 1015716535

96 слів позначені як "вилучені" та не враховуються у підрахунку слів

2.45% Схожість

Найбільша схожість: 2.05% з Інтернет-джерелом (<http://elar.khmnu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/12980/1/%d0%9a>).

2.45% Джерела з Інтернету 27 Сторінка 83

2.13% Джерела з Бібліотеки 19 Сторінка 83

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Посилання 1 Сторінка 83

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи 9

РЕЦЕНЗІЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ
освітнього ступеня «магістр»

Студент: Калужський Віталій Вячеславович

Тема: Удосконалений метод керування зарядною станцією електромобілів

Спеціальність: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Обсяг кваліфікаційної роботи освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр»:

кількість листів креслень 2; кількість сторінок записки 73.

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень У кваліфікаційній роботі розроблено удосконалений метод керування зарядною станцією електромобілів використовуючи PID та GaN.

2. Висновок про відповідність кваліфікаційної роботи завданню Кваліфікаційна робота у повній мірі відповідає поставленому завданню як в теоретичній, так і в практичній частині.

3. Характеристика виконання кожного розділу роботи, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У вступі подана загальна характеристика поставленої задачі, сформульована актуальність. Визначені задачі, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети, практична цінність отриманих результатів, У першому розділі проведено огляд використовуваних систем керування заряду акумулятора електромобіля та основні підходи до його проєктування, виконане обґрунтування актуальності теми дослідження і виконана постановка задачі. В другому розділі проведено обґрунтування обраного методу рішення та описано будову пристрою на рівні структурної схеми. В третьому розділі описано та розроблено алгоритми роботи системи, спроектовано схему алгоритму. В четвертому розділі просимульовано алгоритм та визначено ефективність його роботи.

4. Позитивні сторони роботи Кваліфікаційна робота має комплексну практичну цінність. Практична цінність результатів кваліфікаційної роботи полягає у створенні удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобілів. Використовується складне керування силовою частиною за допомогою методу PID.

5. Негативні сторони роботи Не виявлено

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи Графічне оформлення виконане відповідно до теми кваліфікаційної роботи з дотриманням стандартів. Графічне оформлення виконане якісно, пояснювальна записка відповідає нормам оформлення.

7. Відгук про роботу в цілому Кваліфікаційна робота заслуговує позитивної оцінки. Весь матеріал кваліфікаційної роботи структурований, чіткий та послідовний. Усі розділи роботи послідовні та логічні, що дозволяє чітко розуміти викладений матеріал. Графічний матеріал дозволяє наочно побачити доцільність та ефективність рішень.

8. Інші зауваження Окремі описи в пояснювальній записці подано занадто деталізовано, що ускладнює сприйняття матеріалу не фахівцями в обраній предметній галузі

9. Оцінка кваліфікаційної роботи Враховуючи всі позитивні сторони представленої кваліфікаційної роботи, можна зробити висновок, що вона заслуговує оцінку «відмінно».

РЕЦЕНЗЕНТ (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи)

Клюш Юрій Павлович, к.т.н., доцент,
завідувач кафедри підприємств

« 20 » 12 2023.

 (підпис)

Завідувачу кафедри АКІТ
д-ру техн.наук, проф. Мартинюку В.В.

Калужського Віталія Вячеславовича

ІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курсу, групи АКІТм-22-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2022 (зі змінами від 26.11.2022), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

18.12.2023

дата



підпис

РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
РОБОТОТЕХНІКИ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Автоматизація системи очищення повітря промислових підприємств

Автор: Калузький Віталій Вячеславович

Спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Науковий керівник: Мартинюк Валерій Володимирович, доктор технічних наук, професор

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої й електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того, як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укріття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка, відомість документів), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;

3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.


Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 1,74% і адресується до 43 джерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Дата 29.12.2023

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи



Валерій МАРТИНЮК

Валерій МАРТИНЮК

Валерій МАРТИНЮК