МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри ЕКТ

_____ Анатолій ОПАНАСЮК
(підпис) (Ім’я та ПРІЗВИЩЕ)
____ _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня «бакалавр»

зі спеціальності 171 «Електроніка»

освітньо-професійної програми «Електронні системи та компоненти»

на тему:

ПРИСТРІЙ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОСАМОКАТОМ

Здобувача групи ЕС-01 _____ Товстогуза Богдана Олександровича

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ _____
(підпис) (Ім’я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник, доцент, к.т.н., доцент Бережна О.В. _____
(підпис)

Суми – 2024

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет електроніки та інформаційних технологій

Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки

Напрям підготовки 171 Електроніка

Освітня програма Електронні системи та компоненти

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою Опанасюк А. С.

"___"_____ 2024 р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу бакалавра

Товстогуз Богдан Олександрович

1. Тема роботи «Пристрій управління електросамокатом»

затверджена наказом по університету "13" березня 2024 р. № 0256-VI.

2. Термін здачі студентом завершеної роботи 12.06.2024

3. Вихідні дані до роботи Розробити пристрій управління електросамокатом на базі мікроконтролера STM32F103C8T6

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що належить розробити) 1) Огляд літератури та постановка задачі роботи. 2) Розробка структурної схеми проектованого електронного пристрою. 3) Розробка алгоритму роботи проектованого електронного пристрою. 4) Розробка принципових схем блоків проектованого електронного пристрою. 5) Розробка програмного забезпечення проектованого електронного пристрою

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1) Схема алгоритму. 2) Схема електрична структурна. 3) Схема електрична принципова.

6. Дата видачі завдання 13.03.2024

8. Керівник роботи Бережна О.В.

9. Завдання прийняв до виконання Товстогуз Б.О.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів дипломного проекту	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Огляд літератури та постановка завдання проектування	26.04.24	
2	Розробка структурної схеми проектованого електронного пристрою	05.05.24	
3	Розробка алгоритму роботи проектованого електронного пристрою	14.05.24	
4	Розробка функціональної схеми проектованого електронного пристрою	17.05.24	
5	Розробка принципових схем блоків проектованого електронного пристрою	22.05.24	
6	Розробка програмного забезпечення проектованого електронного пристрою	25.05.24	
7	Оформлення пояснювальної записки	02.06.24	
8	Оформлення графічного матеріалу	05.06.24	
9	Представлення роботи керівнику і отримання відгуку	09.06.24	
10	Представлення роботи кафедрі для отримання рецензії	09.06.24	

Студент _____ Б.О. Товстогуз
(підпис)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ О.В. Бережна
(підпис)

«____»_____2024 р.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 50 сторінок, 25 рисунків, 3 таблиці, 13 джерел літератури.

Графічна частина роботи містить: схему алгоритму роботи пристрою, структурну та принципову електричні схеми.

Пояснювальна записка містить чотири розділи.

Перший розділ містить огляд технічної літератури за вибраним напрямком проектування.

Другий розділ присвячений розробці алгоритму функціонування і схеми електричної структурної.

У третьому розділі розроблена схема електрична принципова пристрою.

У четвертому розділі розроблено програмне забезпечення для контролера.

По результатам розробки зроблені висновки.

ЗМІСТ

ВСТУП 4
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ 7
1.1 Огляд літератури 7
1.2 Контролер електросамокату 8
1.3 Безщіткове мотор-колесо 9
1.4 Плата BLE 11
1.5 Акумулятор та bms-контролер 13
1.6 Датчики Холла 16
1.7 Круїз контроль 18
1.8 Рекуперація 20
1.9 Прошивка електросамокатів 21
1.10 Постановка завдання 24
2 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТРУКТУРНОЇ ПРИСТРОЮ 25
2.1 Розробка алгоритму функціонування пристрою 25
2.2 Розробка схеми електричної структурної 28
3 РОЗРОБЛЕННЯ СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ 30
3.1 Вибір елементної бази 30
3.2 Мікроконтролер STM32F103C8T6 30
3.3 Bluetooth модуль 33
3.4 LED-індикатор напівсегментний з драйвером TM1637 36
3.5 Драйвер управління мосфетами FAN7842 37
3.6 Понижуючий перетворювач TPS54160A 39
4 РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЕРА 43
ВИСНОВКИ 49
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ 50

ВСТУП

За однією з версій перший самокат був винайдений в Німеччині ще в 1761 році каретним майстром Міхаелем Касслером і з того часу зазнав ряд змін. Самокат розвивався і вдосконалювався, поки в 1910-х роках підлітки не стали встановлювати на нього двигуни. Цю ідею вчасно підхопила компанія Autoped Company of America і вже з 1915 року на постійній основі стала випускати моторизовані самокати, які в народі отримали назву “автопед”. Прогрес не стояв на місці й автопеди вироблялись всього до 1921 року, проте в той час розвитку індустрії це був досить великий термін.

Насправді Autoped можна назвати першим у світі скутером і найцікавіше, що зараз цей моторизований самокат досить часто асоціюють з леді Флоренс Норман, англійською суфражисткою, борцем за права жінок та гендерну рівність. У 1916 році була зроблена фотографія, де леді Норман на своєму автопеді пересувається Лондоном у свій офіс.

За свою нетривалу історію автопеди дали досить сильний поштовх подальшому розвитку моторизованих скутерів і самокатів. На той момент самокати як такі проводилися вже понад 100 років, однак використовувалися в якості іграшок для дітей. Після винаходу автопеда моделлю зацікавилися поштові служби США і Німеччини задля швидкого доставляння деяких посилок.

Двигун був прикріплений до колеса за допомогою дискової муфти. Маховик, розташований з правого боку переднього колеса, містив 6-вольтовий генератор освітлення, який спочатку видавав струм для освітлення і запалення, але пізніше система була змінена шляхом додавання котушки запалювання і чотирьох батарей на сухих елементах. Замок запалювання встановлений на правій стороні рами, а бензобак знаходився над переднім крилом [1].

Електросамокат — невеликий індивідуальний транспортний засіб з електричним мотором, переважно використовується для руху у місті. Як правило розраховані на рух стоячи, однак є варіанти із сидінням. Електросамокат визначається як засіб мікромобільності.

Електросамокати призначені для пересування містом на невеликі відстані, наприклад, від дому до магазину, спортивного майданчика, парку тощо, або від автостоянки до будинку, якщо перед будинком немає місця для паркування. У зв'язку із цим електросамокати інколи називають транспортом «останнього

кілометру». В багатьох містах сприяють поширенню електросамокатів, розширюють майданчики їх прокату сподіваючись на зменшення автомобільного руху, зниження потреб у паркомісцях та забруднення повітря.

Головними компонентами електросамокату є батарея, контролер, мотор та системи керування і навігації. Величина і потужність батареї впливає з одного боку на дальність ходу, а з іншого на вагу. Легкі самокати, з невеликою батареєю, зручні для перенесення та транспортування, але обмежені у кілометражі, натомість самокати із важкими батареями менш зручні в експлуатації, але дозволяють долати більшу дистанцію. Як правило, важкі електросамокати із тривалим ходом на одному заряді використовують для прокату, а легкі — для індивідуального використання.

Через контролер, батарея зв'язана із мотор-колесом, яке може розташовуватись або спереду, або рідше ззаду. Також зустрічались варіанти з окремим мотором, поєднаним із колесом за допомогою ланцюга. Дані про рівень розряду батареї, кількість подоланих кілометрів та швидкість ходу виводиться на дисплей прикріплений у конструкції керма. Гальма можуть бути або традиційні у вигляді колодок, або механічні — коли гальмування здійснюється притисканням ногою заднього болотника до колеса.

У багатьох містах світу діють сервіси прокату електросамокатів, такі як Bird, Lime, Bolt та інші. Ці сервіси дозволяють орендувати електросамокат через мобільний додаток і залишити його у зручному місці після використання. Це сприяє популяризації електросамокатів серед широкого кола користувачів.

Сучасні електросамокати обладнані різноманітними технологічними рішеннями, такими як додатки для смартфонів, GPS-навігація, антивандальні системи та багато іншого. Це робить їх використання ще зручнішим та безпечнішим.

Попри всі переваги, важливо пам’ятати про безпеку. Для керування електросамокатом необхідно дотримуватися правил дорожнього руху, використовувати захисне спорядження (шолом, наколінники) та бути уважним до оточуючих.

Сучасний світ все більше уваги приділяє інноваційним технологіям, що підвищують ефективність і комфорт повсякденного життя. Однією з таких інновацій є електросамокат – компактний і екологічно чистий транспортний засіб, який стає все більш популярним в міських умовах. Їх використання

дозволяє знизити забруднення повітря, уникнути пробок на дорогах і заощадити час на пересування.

Одним з важливих аспектів ефективної роботи електросамоката є система управління, яка забезпечує безпеку, надійність і простоту використання. Пристрій керування включає різні компоненти, які відповідають за регулювання швидкості, балансування, гальмування та інші важливі функції. Від якості і технічних характеристик цих компонентів багато в чому залежить загальна продуктивність і безпеку транспортного засобу.

Дослідження в області розробки і вдосконалення пристроїв управління електросамокатів є актуальним завданням сучасної інженерії. Вивчення різних типів систем управління, аналіз їх переваг і недоліків, а також пошук нових підходів до підвищення ефективності є важливими кроками на шляху створення більш досконалих і надійних електричних скутерів.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ВИБРАНИМ НАПРЯМКОМ ПРОЕКТУВАННЯ

1.1 Огляд літератури

Система управління електросамокатом відповідає і за контроль його руху, гальмування та інших функцій. Вона складається з декількох компонентів, які працюють разом, щоб забезпечити безпечну та комфортну їзду.

Рисунок 1.1 – Електросамокат

Контролер - це "мозок" системи управління. Він отримує сигнали від датчиків та користувача, обробляє їх та надсилає команди двигуну та іншим компонентам.

Датчики збирають інформацію про навколишнє середовище та стан самоката. До поширених датчиків належать датчики швидкості, датчики положення, датчики кута нахилу та акселерометри.

Двигун приводить в рух колесо самоката. Він отримує живлення від акумулятора та керується контролером.

Гальма уповільнюють або зупиняють самокат. Існує два основних типи гальм: дискові та ножні.

Ручка керування використовується для керування самокатом. Вона зазвичай має кнопку газу, кнопку гальма та ручку керма.

1.2 Контролер електросамокату

Рисунок 1.2 - Контролер електросамокату

Керування двигуном:

- Контролер регулює швидкість двигуна шляхом зміни напруги або струму, що подається на мотор.
- Забезпечує плавний старт і зупинку, зменшуючи ривки і підвищуючи комфорт при їзді.

Управління акумулятором:

- Відстежує стан заряду акумулятора, забезпечуючи оптимальне використання енергії.
- Захищає акумулятор від перенапруги, перерозрядження і перегріву, що подовжує його термін служби.

Система гальмування:

- Контролює роботу електричних гальм, забезпечуючи швидке і безпечне зупинення самоката.
- Може включати функцію рекуперації енергії, коли під час гальмування частина кінетичної енергії повертається в акумулятор.

Управління дроселем (ручкою газу):

- Перетворює команди користувача (зміна положення дроселя) в електричні сигнали для двигуна, дозволяючи регулювати швидкість самоката.

Комунікація з іншими компонентами:

- Забезпечує взаємодію з іншими електронними компонентами самоката, такими як дисплей, датчики, світлодіодне освітлення та інші.

Діагностика і захист:

- Постійно моніторить стан системи на наявність несправностей, перегріву, коротких замикань та інших аварійних ситуацій.
- При виявленні проблем контролер може вимкнути систему або обмежити її роботу для запобігання пошкодження компонентів.

Управління режимами роботи:

- Може підтримувати різні режими їзди, наприклад, економічний режим для збереження заряду батареї або спортивний режим для більшої швидкості і динаміки.

Інтерфейс користувача:

- Відображає інформацію про стан самоката (швидкість, заряд батареї, пробіг) на дисплеї.
- Може забезпечувати можливість налаштування параметрів самоката через додаток або інтерфейс.

1.3 Безщіткове мотор-колесо

Безщіткове мотор-колесо, або BLDC (Brushless Direct Current) мотор-колесо, є одним із ключових елементів сучасних електросамокатів та інших електротранспортних засобів. Воно поєднує в собі мотор і колесо в одній конструкції, що забезпечує кілька важливих переваг.

Основний принцип роботи безщіткового мотор-колеса полягає в використанні електроніки для комутації струму, що проходить через обмотки статора, на відміну від традиційних щіткових моторів, де механічні щітки виконують цю функцію. Відсутність щіток значно знижує втрати на тертя і знос компонентів, що підвищує ефективність та довговічність мотора.

У конструкції безщіткового мотор-колеса знаходяться постійні магніти на роторі (зовнішній частині колеса) і обмотки на статорі (нерухомій внутрішній частині). Електронний контролер керує послідовністю подачі струму на обмотки, створюючи обертове магнітне поле, яке змушує ротор обертатися.

Завдяки точному управлінню електронікою, мотор-колеса можуть забезпечувати високу потужність і крутний момент, а також плавну і безшумну роботу [2].

Рисунок 1.3 - Безщіткове мотор-колесо

Основні переваги безщіткових мотор-коліс включають високу ефективність, що дозволяє краще використовувати енергію акумулятора і збільшувати дальність пробігу електросамоката. Відсутність щіток знижує необхідність у технічному обслуговуванні і підвищує надійність. Крім того, така конструкція дозволяє зменшити вагу і розмір мотора, що важливо для мобільних транспортних засобів.

Ще однією важливою особливістю є можливість інтеграції рекуперативного гальмування. Під час гальмування мотор-колесо може працювати як генератор, перетворюючи кінетичну енергію руху в електричну і повертаючи її назад в акумулятор. Це не тільки підвищує енергоефективність, але й забезпечує додаткове гальмування, зменшуючи навантаження на механічні гальма.

Конструктивно безщіткові мотор-колеса можуть бути як вбудованими, так і знімними, залежно від моделі електросамоката. Вбудовані варіанти часто використовуються для досягнення більшої компактності і естетичної привабливості, тоді як знімні можуть полегшувати обслуговування і ремонт.

Безщіткові мотор-колеса є важливим компонентом в сучасних електросамокатах завдяки своїм технічним перевагам, зокрема високій

ефективності, надійності, низькому рівню шуму і можливості рекуперативного гальмування.

1.4 Плата BLE

Плата Bluetooth Low Energy (BLE) в електросамокатах виконує важливу роль у забезпеченні бездротової комунікації між самокатом і мобільним пристроєм користувача. Технологія BLE є енергоефективною версією стандарту Bluetooth, що дозволяє пристроям обмінюватися даними на коротких відстанях з мінімальним енергоспоживанням. Це особливо важливо для мобільних пристроїв, таких як електросамокати, де економія енергії має вирішальне значення.

Плата BLE забезпечує бездротовий зв'язок між електросамокатом і смартфоном або іншим мобільним пристроєм. Це дозволяє користувачеві використовувати спеціальні додатки для моніторингу стану самоката, таких як рівень заряду батареї, швидкість, пробіг, а також для зміни налаштувань самоката.

Рисунок 1.4 - Плата BLE

Основні функції плати BLE в електросамокатах включають:

Плата BLE забезпечує бездротовий зв'язок між електросамокатом і смартфоном або іншим мобільним пристроєм. Це дозволяє користувачеві використовувати спеціальні додатки для моніторингу стану самоката, таких як рівень заряду батареї, швидкість, пробіг, а також для зміни налаштувань самоката.

Безпека та доступ: BLE використовується для реалізації функцій безпеки, таких як блокування та розблокування самоката за допомогою мобільного додатку. Це дозволяє власнику самоката захистити його від крадіжки, оскільки для активації самоката потрібен авторизований пристрій.

Оновлення прошивки: Через BLE можна здійснювати бездротові оновлення прошивки контролера та інших електронних компонентів самоката. Це дозволяє виробникам випускати оновлення з покращеннями та виправленнями помилок без необхідності фізичного підключення до самоката.

Моніторинг та діагностика: Плата BLE дозволяє в реальному часі передавати дані про стан різних компонентів самоката до мобільного додатку. Це включає діагностику систем, виявлення помилок та відстеження технічного стану, що може допомогти у своєчасному обслуговуванні та ремонті.

Інтерактивні функції: BLE може використовуватися для інтерактивних функцій, таких як налаштування режимів їзди, зміна параметрів двигуна та гальмування, а також для інтеграції з іншими смарт-пристроями. Це забезпечує користувачам більший контроль над налаштуваннями та персоналізацією електросамоката.

Спільний доступ та оренда: У випадку електросамокатів, які використовуються в системах спільного доступу чи оренди, BLE дозволяє швидко та зручно передавати доступ до самоката новим користувачам через мобільний додаток, що спрощує процес оренди та управління транспортним засобом.

Завдяки своїм можливостям, плата BLE значно підвищує функціональність та користувацький досвід електросамокатів. Вона забезпечує зручність управління, безпеку, можливість швидкого обслуговування та інтерактивність, що робить використання електросамоката ще більш комфортним і сучасним.

1.5 Акумулятор та bms-контролер

Рисунок 1.5 - Акумуляторна батарея

Акумуляторні батареї для електросамокатів зазвичай мають напругу 36V або 48V. Вони складаються з літій-іонних (Li-ion) або літій-полімерних (LiPo) акумуляторних елементів, які забезпечують високу енергетичну щільність, легкість та довговічність.

Акумуляторні елементи - це основні ячейки, з яких складається батарея. Вони зазвичай мають напругу 3.6V або 3.7V кожен. Кількість акумуляторних елементів визначає загальну напругу батареї. Наприклад, для батареї 36V може бути 10 або 10S (10 "серійних" елементів). Чим більше паралельно з’єднаних ячейок – тим більша ємність акумуляторної збірки.

Захист батареї : BMS відповідає за безпеку та ефективність роботи акумуляторної батареї. Він включає в себе мікроконтролер та набір датчиків для моніторингу температури, напруги, струму заряду та розряду. BMS забезпечує захист від перенавантаження, перезаряду, короткого замикання, надмірної температури та інших небезпечних ситуацій.

Обгортка та охолодження: Деякі батарейні пакети можуть мати обгортку та систему охолодження для захисту акумуляторів від ударів, вологи та перегріву, що дозволяє підвищити їхню довговічність та надійність.

Зарядний пристрій: Для заряджання акумуляторної батареї зазвичай використовується спеціальний роз'єм, який дозволяє підключати зарядний пристрій.

Рисунок 1.6 - Акумуляторний елемент формату 18650

Літій-іонний акумулятор (англ. Lithium-ion battery, скорочено Li-ion) належить до одного з основних видів літієвих перезарядних батарей, що входить до категорії вторинних електричних джерел енергії. Його відмінністю від літій-полімерного акумулятора є лише тип електроліту, який застосовується у виробництві. Літій-іонні акумулятори широко використовуються в побутовій електроніці.

Свою назву літій-іонні акумулятори отримали завдяки тому, що електричний струм у зовнішньому колі виникає в результаті переносу літієвих іонів від анода до катода через різні сполуки.

Хімічний склад, експлуатаційні характеристики, вартість і безпечність акумуляторів змінюються залежно від конкретного типу літій-іонних акумуляторів. Найпоширенішими у портативній електроніці є акумулятори з катодом на основі оксиду кобальту (LiCoO2), які характеризуються високою енергетичною щільністю, але мають певні недоліки з точки зору безпеки, особливо у випадку пошкодження. Літій-ферум-фосфатні (також відомі як літій-залізо-фосфатні, LiFePO4), літій-манган-оксидні (LiMn2O4, Li2MnO3 або літій-манганові акумулятори LMO) та літій-нікель-манган-кобальт-оксидні (LiNiMnCoO2 або NMC) акумулятори, названі відповідно до типу катоду, пропонують нижчі рівні енергетичної щільності, проте мають довший життєвий цикл і є безпечнішими з хімічної точки зору.

Такі акумулятори широко використовуються в електроінструментах, медичному обладнанні та інших сферах. Зокрема, NMC є провідним типом акумуляторів у автомобільній промисловості. Літій-нікель-кобальт-алюміній-оксидні (LiNiCoAlO2 або NCA), названі за типом катоду, та літій-титанатні (Li4Ti4O12 або LTO) акумулятори, названі за типом аноду, спеціально розроблені для специфічних нішевих застосувань [3].

Сучасні літій-іонні акумулятори характеризуються високими показниками: 100–180 Вт·год/кг і 250–400 Вт·год/дм³, при робочій напрузі 3,5–3,7 В. Якщо ще кілька років тому розробники вважали максимальною ємністю літій-іонних акумуляторів лише кілька ампер-годин, то нині більшість обмежень на збільшення ємності подолано, і багато виробників вже випускають акумулятори з ємністю в сотні ампер-годин.

- Енергетична місткість: 110–200 Вт·год/кг
- Внутрішній опір: 150–250 мОм (для батареї 7,2 В)
- Число циклів заряд/розряд до втрати 20 % місткості: 500–1000
- Час швидкого заряду: 2–4 години
- Допустимий перезаряд: дуже низький
- Саморозряд при кімнатній температурі: 7 % в рік
- Напруга максимальна в елементі: 4,18–4,20 В (повністю заряджений)
- Напруга мінімальна: 2,5–2,75 В(повністю розряджений)
- Струм навантаження відносно місткості (С): піковий: понад 2С, найбільше допустимий: до 1С
- Діапазон робочих температур: −20 — +60 °С

Li-ion акумуляторні батареї для комерційного використання мають найкращий захист серед усіх типів батарей. Зазвичай у захисній схемі Li-ion батарей застосовується ключ на польовому транзисторі, який відкривається при досягненні напруги 4,30 В на елементі батареї, перериваючи процес заряду. Також передбачено термозапобіжник, який при нагріванні батареї до 90 °С роз'єднує коло, забезпечуючи термозахист.

Деякі акумулятори оснащені вимикачем, який спрацьовує при досягненні внутрішнього тиску 1034 кПа (10,5 кг/см²), розриваючи ланцюг навантаження. Крім того, є захисна схема від глибокого розряду, яка контролює напругу батареї і розриває ланцюг навантаження, якщо напруга на елементі знижується до 2,5 В.

Внутрішній опір захисної схеми акумуляторної батареї мобільного телефону в увімкненому стані складає 0,05–0,1 Ом. Схема складається з двох ключів, з'єднаних послідовно: один спрацьовує при досягненні верхнього, а інший — нижнього порогу напруги на батареї.

У деяких Li-ion батареях, які використовують марганець і мають 1–2 елементи, захисна схема не використовується. Замість неї встановлюється лише один запобіжник. Такі батареї є безпечними через свої невеликі розміри та ємність, а також через "терплячість" марганцю до порушень правил експлуатації.

Ці акумулятори можуть витримувати сотні циклів заряджання-розряджання, зберігаючи при цьому значну частину своєї ємності. Зазвичай вони втрачають лише близько 20% своєї початкової ємності після 500 циклів.

Хоча літій-іонні акумулятори допомагають зменшити залежність від викопного палива, їх виробництво і утилізація мають екологічні наслідки. Видобуток літію і інших рідкісних металів, що використовуються в акумуляторах, може мати негативний вплив на довкілля. Тому важливо розвивати ефективні методи переробки.

1.6 Датчики Холла

Датчики Холла – це електронні компоненти, які використовують ефект Холла для вимірювання магнітного поля. Вони названі на честь американського фізика Едвіна Холла, який відкрив цей ефект у 1879 році. Датчики Холла знаходять широке застосування в різних галузях, включаючи автомобільну, промислову та побутову електроніку. Принцип дії датчика Холла базується на ефекті Холла: коли струм проходить через провідник, що знаходиться в магнітному полі, виникає поперечна електрична напруга (напруга Холла). Ця напруга пропорційна інтенсивності магнітного поля та струму, що проходить через провідник [4].

Аналогові датчики Холла: Вони видають аналоговий вихідний сигнал, який пропорційний інтенсивності магнітного поля. Такі датчики використовуються, наприклад, для вимірювання швидкості обертання або позиції.

Цифрові датчики Холла: Вони видають дискретний вихідний сигнал (включення/вимкнення) при досягненні певного порогового значення магнітного поля. Такі датчики часто застосовуються для визначення положення або обертів.

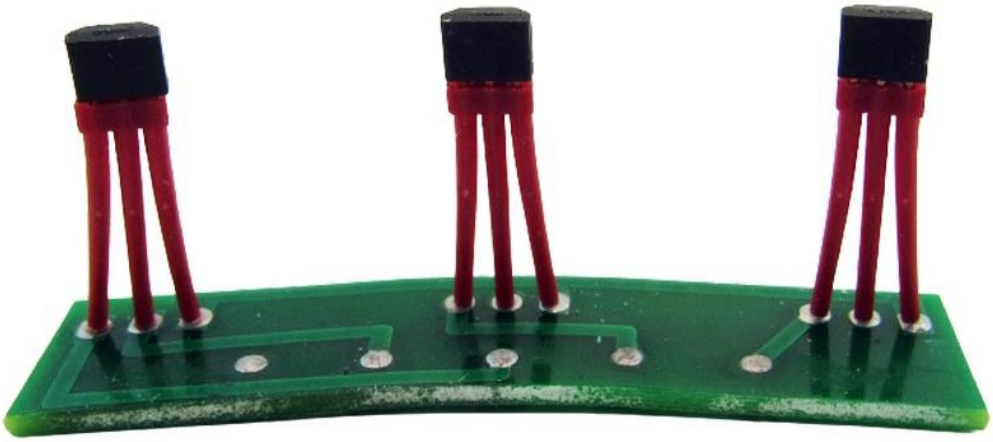


Рисунок 1.7 – Датчики Холла

Автомобільна промисловість: Датчики Холла використовуються в системах запалювання, антиблокувальних системах гальм (ABS), для визначення положення дросельної заслінки, вимірювання швидкості обертання коліс та інших частин автомобіля.

Промислова автоматизація: Вони застосовуються в системах контролю та автоматизації для визначення положення, швидкості та напрямку руху різних механізмів.

Побутова техніка: Датчики Холла використовуються в пральних машинах, холодильниках, вентиляторах та інших побутових пристроях для визначення положення та швидкості обертання моторів.

Комп'ютерна техніка: У клавіатурах, мишах та інших пристроях для визначення положення рухомих частин.

Переваги:

- Висока точність та чутливість.
- Надійність і довговічність.
- Можливість безконтактного вимірювання.

Недоліки:

- Залежність від магнітного поля, що може призводити до помилок у випадку наявності зовнішніх магнітних полів.
- Необхідність калібрування для точних вимірювань.

В електросамокатах датчики Холла часто використовуються в двигунах для визначення положення ротора, що дозволяє забезпечити плавну та ефективну роботу електродвигуна. Крім того, вони можуть використовуватися в системах контролю швидкості та гальмування для забезпечення безпеки та комфорту під час поїздки.

В підсумку, датчики Холла є незамінними компонентами в багатьох сучасних електронних системах завдяки їхній точності, надійності та широкому спектру застосувань.

1.7 Круїз контроль

Круїз-контроль в електросамокатах є корисною функцією, що дозволяє водієві підтримувати постійну швидкість без постійного натискання на акселератор. Ця функція забезпечує комфорт під час довгих поїздок та допомагає знизити втому. Принцип роботи круїз-контролю полягає в тому, що електронні системи підтримують сталу швидкість електросамоката. Круїз-контроль активується, коли водій утримує певну швидкість протягом декількох секунд. Після активації система автоматично підтримує цю швидкість, навіть якщо водій відпускає акселератор.

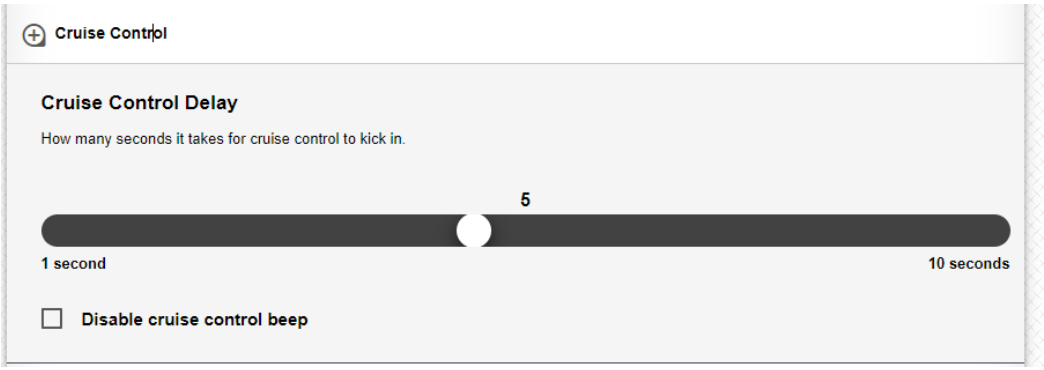


Рисунок 1.8 – Налаштування круїз контролю

Система круїз-контролю складається з кількох основних компонентів. Контролер двигуна є центральним елементом, який отримує сигнали від датчиків швидкості та акселератора. Контролер регулює подачу потужності до двигуна для підтримання встановленої швидкості. Датчики швидкості вимірюють поточну швидкість електросамоката і передають дані до контролера. Часто використовуються датчики Холла, інтегровані в мотор-колесі. Крім того, система має кнопку активації та деактивації, яка дозволяє водієві вручну ввімкнути або вимкнути круїз-контроль. Деякі системи також автоматично вимикаються при натисканні на гальмо або акселератор.

Круїз-контроль має кілька переваг. Він забезпечує комфорт, оскільки водію не потрібно постійно утримувати акселератор, що знижує втому під час довгих поїздок. Постійна швидкість сприяє більш ефективному використанню енергії акумулятора, що може збільшити запас ходу електросамоката. Крім того, функція круїз-контролю знижує ризик перевищення швидкості, оскільки водій може встановити максимально допустиму швидкість.

Однак круїз-контроль має і свої недоліки та обмеження. У щільному міському трафіку або на дорозі з частими перешкодами круїз-контроль може бути менш корисним, оскільки вимагає частого втручання водія. Водію може знадобитися час, щоб звикнути до роботи системи круїз-контролю та навчитися правильно її використовувати. Крім того, як і будь-яка електронна система, круїз-контроль залежить від справності всіх компонентів. Несправність датчиків чи контролера може призвести до неправильного функціонування.

Щодо використання та налаштування круїз-контролю, щоб активувати його, водій повинен розігнати електросамокат до бажаної швидкості і утримувати цю швидкість протягом кількох секунд. Деякі моделі мають спеціальну кнопку для активації. Система круїз-контролю зазвичай вимикається автоматично при натисканні на гальмо або акселератор. Також може бути спеціальна кнопка для вимкнення. Деякі електросамокати дозволяють змінювати швидкість круїз-контролю під час поїздки, використовуючи кнопки на кермі.

Круїз-контроль є корисною функцією, яка підвищує комфорт та ефективність поїздок на електросамокатах. Він особливо корисний для довгих подорожей по рівних дорогах з невеликою кількістю перешкод. Важливо враховувати особливості роботи цієї системи та дотримуватися правил безпеки при її використанні.

1.8 Рекуперація

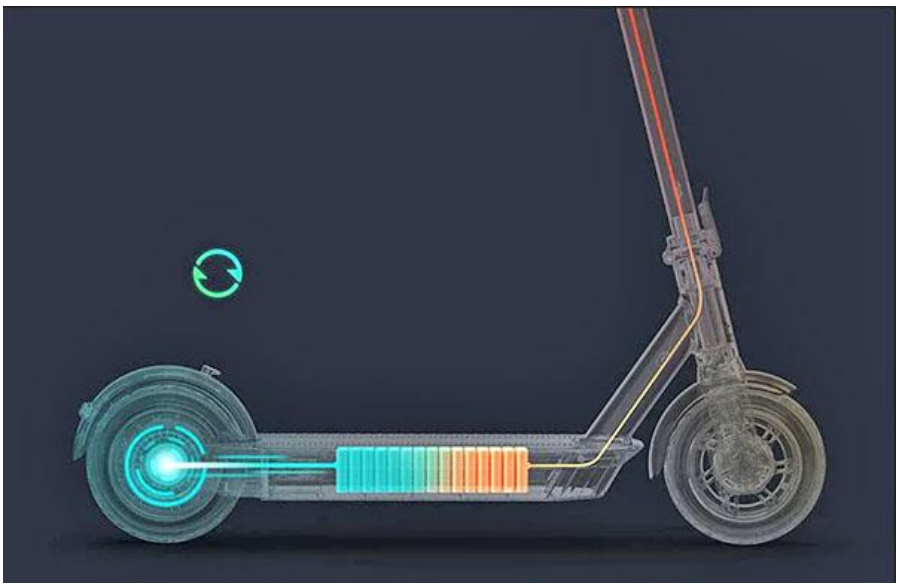


Рисунок 1.9 – Рекуперація електроенергії

Рекуперація на електросамокатах – це технологія, що дозволяє відновлювати частину енергії під час гальмування і використовувати її для зарядки акумулятора. Ця функція підвищує ефективність електросамоката, збільшуючи запас ходу та зменшуючи загальну витрату енергії. Принцип роботи рекуперативного гальмування базується на використанні електродвигуна в режимі генератора. Коли водій електросамоката натискає на гальмо, система перемикає режим роботи двигуна з приводу на генерацію. При цьому кінетична енергія руху електросамоката перетворюється на електричну енергію, яка повертається в акумулятор.

Система рекуперації складається з кількох основних компонентів. Електродвигун виконує функцію приводу під час руху та генератора під час гальмування. Контролер є центральним компонентом системи керування, який визначає, коли потрібно перейти в режим рекуперації та контролює процес зарядки акумулятора. Датчики вимірюють параметри руху та передають інформацію контролеру. Акумулятор накопичує електричну енергію, згенеровану під час рекуперації.

Рекуперативне гальмування має кілька переваг. Воно підвищує ефективність електросамоката, повертаючи частину витраченої енергії назад в

акумулятор, що збільшує запас ходу. Також зменшується знос гальмівних колодок, оскільки частина гальмування здійснюється за рахунок електродвигуна.

Проте, система рекуперації має і свої обмеження. Вона потребує складних електронних систем керування, що може збільшувати вартість електросамоката та вимагати більш ретельного обслуговування. Ефективність рекуперації залежить від умов їзди: вона найбільша в міських умовах, де часто необхідно гальмувати. На тривалих прямолінійних маршрутах ефект від рекуперації буде менш значним.

Використання системи рекуперативного гальмування на електросамокатах зазвичай не потребує спеціальних дій від водія, адже вона автоматично активується при натисканні на гальмо. Деякі моделі електросамокатів дозволяють налаштовувати інтенсивність рекуперації через бортовий комп'ютер або мобільний додаток.

1.9 Прошивка електросамокатів

Прошивка електросамокатів – це процес зміни або оновлення програмного забезпечення контролера самоката для покращення його функціональності та налаштування параметрів під індивідуальні потреби користувача. Одним із популярних додатків для прошивки електросамокатів є Scooter Hacking Utility, який дозволяє користувачам змінювати різноманітні налаштування контролера, такі як максимальна швидкість, струм та інші параметри.

Scooter Hacking Utility – це мобільний додаток, який дозволяє користувачам налаштовувати та змінювати прошивку контролера електросамоката. Він сумісний з багатьма популярними моделями самокатів, такими як Xiaomi M365, Pro, 1S, Essential, Mi Scooter Pro 2, та іншими. Додаток надає користувачам можливість гнучко налаштовувати параметри самоката відповідно до їх потреб [5].

Основні функції та можливості:

Зміна максимальної швидкості: Користувач може змінювати максимальну швидкість самоката, збільшуючи або зменшуючи її відповідно до власних потреб та місцевих законодавчих обмежень.

Налаштування струму: Можна налаштовувати максимальний струм, що подається на двигун. Це впливає на потужність самоката та його прискорення.

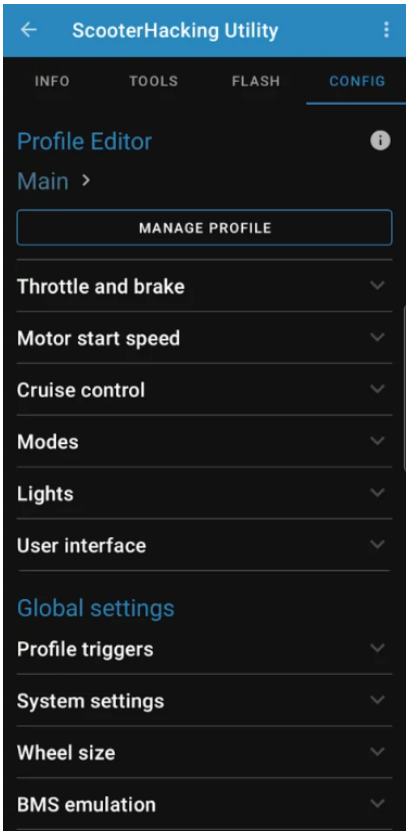


Рисунок 1.10 – Програмне забезпечення для прошивки електросамокатів

Режими їзди: Додаток дозволяє змінювати режими їзди, такі як економічний режим, спортивний режим та інші. Це може включати налаштування різних параметрів для кожного режиму.

Рекуперація: Можливість налаштовувати інтенсивність рекуперативного гальмування, що впливає на відновлення енергії під час гальмування.

Додаткові налаштування: Налаштування таких параметрів, як максимальна потужність, обмеження температури, чутливість акселератора, параметри гальмування та інші.

Законодавчі обмеження: Зміна налаштувань, таких як максимальна швидкість, може суперечити місцевим законодавчим нормам, що регулюють використання електросамокатів.

Для використання додатку Scooter Hacking Utility необхідно завантажити його на смартфон, підключити смартфон до самоката через Bluetooth та слідувати інструкціям для прошивки. Користувачі можуть обирати між різними попередньо налаштованими прошивками або створювати власні налаштування.

Важливо дотримуватися інструкцій та робити резервні копії поточної прошивки перед внесенням змін.

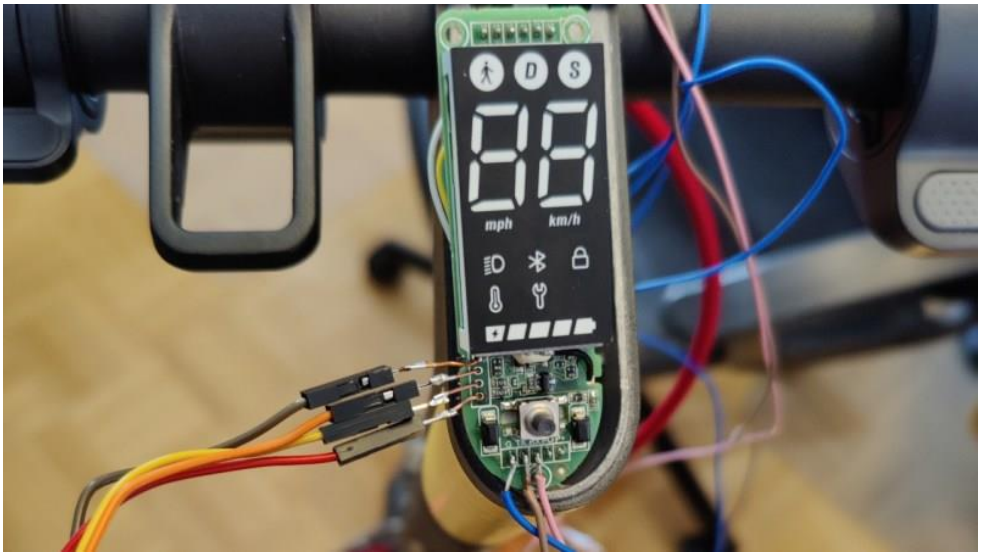


Рисунок 1.11 – Приклад процесу прошивки програматором

Переваги прошивки:

Індивідуалізація: Користувачі можуть налаштовувати свій електросамокат відповідно до власних потреб, наприклад, збільшувати потужність для швидшого прискорення або обмежувати швидкість для більшої безпеки.

Покращення продуктивності: Можливість оптимізувати налаштування самоката для кращої продуктивності, збільшуючи дальність поїздки та ефективність використання енергії.

Відновлення та оновлення: Прошивка може допомогти відновити нормальну роботу самоката у випадку програмних збоїв або оновити ПЗ для отримання нових функцій.

Недоліки та ризики:

Втрачання гарантії: Прошивка самоката може призвести до втрати гарантії від виробника, оскільки це вважається втручанням у роботу пристрою.

Ризик пошкодження: Неправильне налаштування параметрів може призвести до пошкодження електронних компонентів самоката або зниження його безпеки.

В цілому, прошивка електросамокатів за допомогою додатку Scooter Hacking Utility надає користувачам велику гнучкість у налаштуванні та

оптимізації роботи своїх самокатів, але вимагає обережності та розуміння потенційних ризиків.

З неофіційною прошивкою, враховуючи можливості MOSFET'ів та потужність двигуна, можна досягти теоретичної максимальної швидкості до 45-50 км/год. Проте, такі налаштування можуть призвести до швидкого зносу двигуна, контролера та інших компонентів, а також підвищити ризик аварій через недостатню стабільність та ефективність гальмування.

Тому слід дуже уважно та обережно підходити до таких модифікацій, враховуючи всі можливі наслідки.

1.10 Постановка завдання

Виходячи із завдання необхідно розробити пристрій управління електросамокатом, який виконуватиме наступні функції:

- керування двигуном;
- зчитування даних з різних датчиків;
- управління зарядом акумулятора;
- зв'язок з bluetooth модулем;
- зберігання даних;
- круїз контроль;
- рекуперація енергії.

Для досягнення цієї мети необхідно виконати наступне:

1. Визначити основні завдання, які повинен виконувати пристрій управління електросамокатом.
2. Розробити алгоритм функціонування пристрою.
3. Розробити схему електричну структурну пристрою управління.
4. Розробити схему електричну принципову пристрою управління електросамокатом.

2 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТРУКТУРНОЇ ПРИСТРОЮ

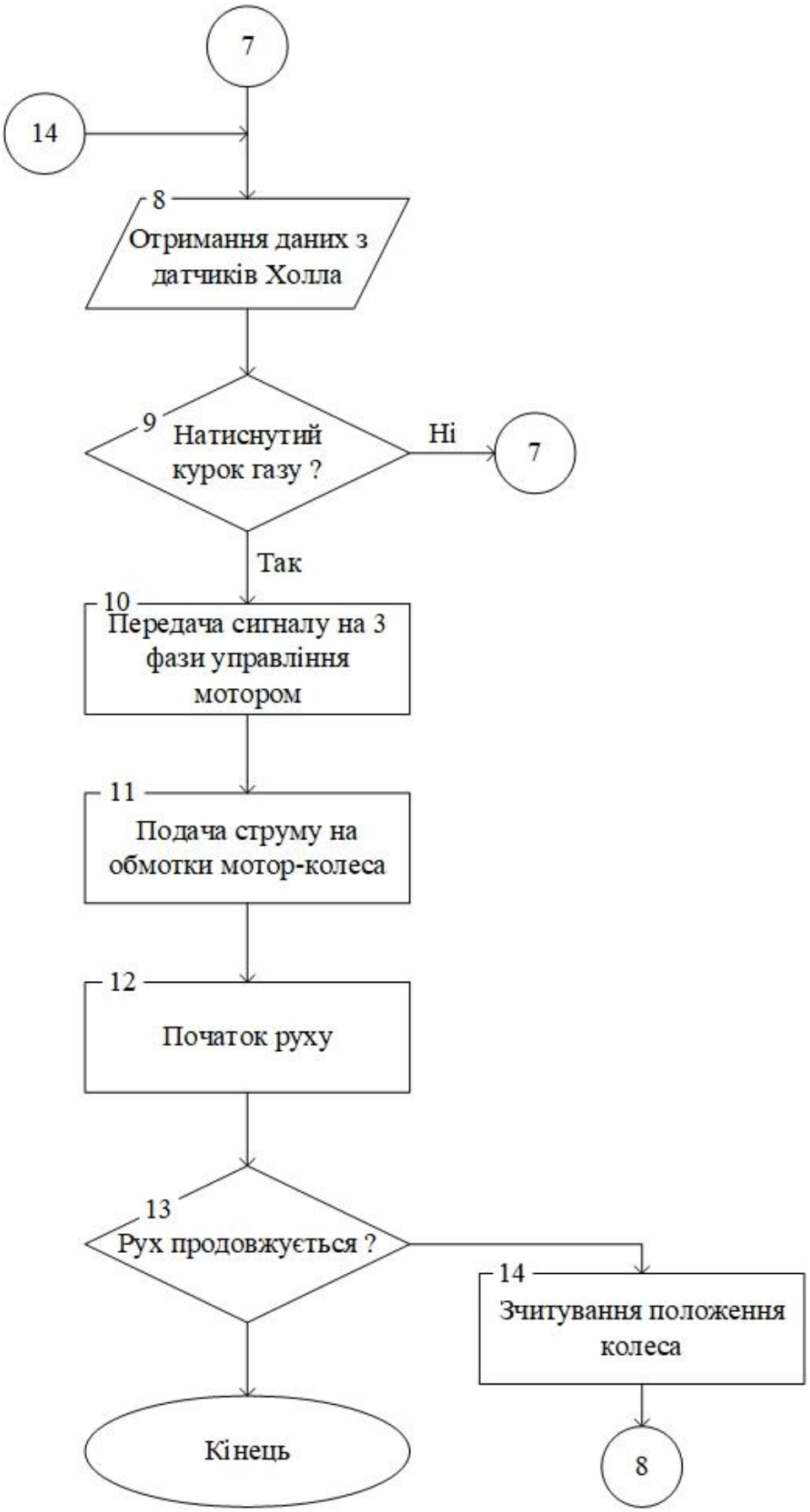
2.1 Розробка алгоритму функціонування пристрою

Алгоритм функціонування пристрою наведений на рисунку 2.1.

Алгоритм роботи:

1. Спочатку відбувається подача живлення 42В від акумулятора до системи.
2. Контроль заряду акумулятора здійснюється системою управління батареєю (BMS).
3. Перевіряється, чи заряджений акумулятор. Якщо акумулятор не заряджений, система повертається до попереднього кроку (контролю заряду).
4. Якщо акумулятор заряджений, напруга перетворюється з 42В до 12В.
5. Контролер приймає живлення і активується.
6. Визначається, чи натиснута кнопка активації. Якщо кнопка не натиснута, система повертається до попереднього кроку (контролера).
7. Якщо кнопка натиснута, відбувається ініціалізація програми плати Bluetooth Low Energy (BLE).
8. Після ініціалізації BLE отримуються дані з датчиків Холла, які визначають положення мотор-колеса.
9. Визначається, чи натиснутий курок газу. Якщо курок не натиснутий, система повертається до попереднього кроку (отримання даних з датчиків Холла).
10. Якщо курок газу натиснутий, передається сигнал на три фази управління мотором.
11. Відбувається подача струму на обмотки мотор-колеса.
12. Починається рух мотор-колеса.
13. Перевіряється, чи продовжується рух. Якщо рух продовжується, зчитується положення колеса для забезпечення подальшого управління і стабілізації руху.
14. Якщо рух не продовжується, система завершує роботу.

Рисунок 2.1 – Схема алгоритму



Продовження рисунку 2.1

2.2 Розробка схеми електричної структурної

Структурна схема пристрою наведена на рисунку 2.2. На схемі зображено систему електроживлення і керування для електричного транспортного засобу, наприклад, електросамоката або електровелосипеда.

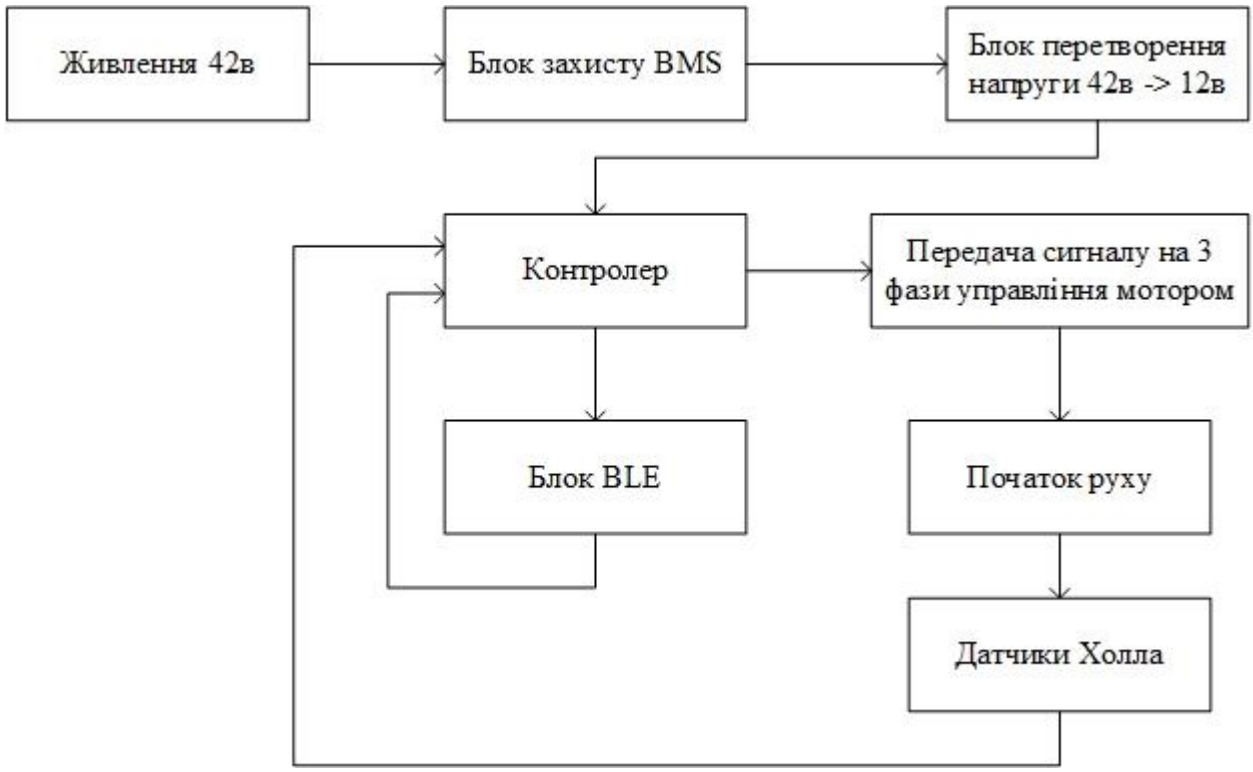


Рисунок 2.2 – Структурна схема пристрою керування електросамокатом

Почнемо з живлення. Вхідна напруга системи становить 42 вольти, що є типовим для багатьох літій-іонних акумуляторів, які використовуються у таких пристроях. Ця напруга живлення подається на блок захисту, відомий як BMS (Battery Management System). BMS відповідає за комплексний захист акумулятора, який включає захист від перенапруги, перерозряду, перегріву та короткого замикання. Це забезпечує довговічність і безпеку роботи акумулятора, запобігаючи потенційно небезпечним ситуаціям, таким як перегрів чи навіть пожежа.

Далі напруга проходить через блок перетворення напруги, який знижує її з 42 вольт до 12 вольт. Такий перетворювач є необхідним, оскільки багато електронних компонентів працюють саме на 12 вольт, а не на вищій напрузі акумулятора. Це зниження напруги дозволяє живити контролер і інші допоміжні компоненти, забезпечуючи їхню стабільну роботу.

Контролер є мозком системи. Він обробляє всю інформацію, яка надходить від різних датчиків і блоків, та керує роботою мотору. Наприклад, коли користувач натискає на газ або змінює налаштування швидкості, контролер обробляє ці команди і відповідно коригує роботу мотору, забезпечуючи плавний і ефективний рух. Крім того, контролер взаємодіє з блоком BLE (Bluetooth Low Energy). Цей блок дозволяє системі комунікувати з зовнішніми пристроями, такими як смартфони. Завдяки цьому користувач може за допомогою мобільного додатку отримувати інформацію про стан акумулятора, налаштовувати параметри їзди або навіть діагностувати можливі несправності.

Передача сигналу на три фази управління мотором здійснюється також контролером. Трифазний мотор є стандартом для багатьох електричних транспортних засобів через його високу ефективність і надійність. Контролер генерує сигнали для кожної з трьох фаз, що дозволяє точно керувати швидкістю і напрямком обертання мотору.

Коли користувач починає рух, контролер активує мотор, базуючись на вхідних даних. Для цього важливу роль відіграють датчики Холла. Ці датчики визначають положення ротора мотору в кожний момент часу, забезпечуючи зворотний зв’язок для контролера. Завдяки цьому контролер може точно синхронізувати імпульси струму до обмоток мотору, забезпечуючи плавний і безшумний рух. Датчики Холла є критично важливими для роботи системи, оскільки без їх точної інформації мотор не зможе працювати належним чином, що може призвести до нерівного руху або навіть пошкодження системи.

Таким чином, схема детально описує процеси і взаємодії між компонентами системи, які разом забезпечують ефективне та безпечне керування електричним транспортним засобом. Кожен елемент, від джерела живлення до мотору, виконує свою ключову функцію, а контролер виступає центральним вузлом, що координує їхню роботу.

3 РОЗРОБЛЕННЯ СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ

3.1 Вибір елементної бази

Для створення пристрою управління електросамокатом важливо вибрати мікроконтролер, який здатний виконувати всі необхідні завдання з високою ефективністю і надійністю. Мікроконтролер STM32F103C8T6 є ідеальним вибором з кількох причин:

Висока продуктивність: STM32F103C8T6 працює на частоті до 72 МГц, що забезпечує достатню обчислювальну потужність для обробки сигналів від датчиків, управління двигуном та комунікації з іншими модулями.

Широкий набір периферійних інтерфейсів: Мікроконтролер має багатий набір інтерфейсів, включаючи UART, SPI, I2C, CAN, які дозволяють легко взаємодіяти з платою BLE, дисплеєм, платою BMS та іншими компонентами системи [6].

Аналогові можливості: STM32F103C8T6 оснащений 12-бітним АЦП (ADC), що дозволяє точно знімати дані з аналогових датчиків, таких як датчики Холла для визначення положення ротора двигуна.

Наявність апаратного PWM: Вбудовані таймери підтримують генерацію PWM сигналів, необхідних для управління швидкістю та моментом двигуна.

Надійність та енергоефективність: Мікроконтролер має вбудовані функції для управління енергоспоживанням, що важливо для мобільних пристроїв, таких як електросамокат.

Розвинене програмне середовище: Існує багато бібліотек та інструментів для розробки на платформі STM32, що значно спрощує процес розробки та налагодження.

3.2 Мікроконтролер STM32F103C8T6

Характеристики STM32F103C8T6:

- Ядро процесора: ARM Cortex-M3, що працює на частоті до 72 МГц.
- Пам'ять:
- Flash пам'ять: 64 КБ.
- SRAM: 20 КБ.

- Периферія:
- Таймери: 3 x 16-бітні таймери загального призначення, кожен з яких має до 4 каналів PWM.
- АЦП: 1 x 12-бітний АЦП з 16 каналами.
- ЦАП: Відсутній.
- Комунікаційні інтерфейси: 2 x SPI, 3 x USART, 2 x I2C, 1 x CAN.
- Цифрові інтерфейси:
- GPIO: До 37 загальноцільових входів/виходів.
- JTAG/SWD: Для налагодження.
- Живлення:
- Напруга живлення: 2.0-3.6 В.
- Споживана потужність: Низьке споживання енергії з різними режимами зниженого енергоспоживання.
- Інші функції:
- Сторожовий таймер (Watchdog Timer): Аппаратний та незалежний.
- RTC: Розширюваний годинник реального часу з окремою батарейною підтримкою.
- Розміри та корпус:
- Корпус: LQFP-48 (48 виводів).
- Розміри: 7x7 мм.

Переваги використання STM32F103C8T6:

Швидкий розвиток прототипів: Завдяки розвиненому екосистемі та підтримці спільноти, розробка на базі STM32F103C8T6 відбувається швидше та легше.

Гнучкість та масштабованість: Велика кількість периферійних інтерфейсів та можливість розширення функціоналу дозволяють використовувати цей мікроконтролер у різних застосуваннях, змінюючи конфігурацію під конкретні потреби.

Низька вартість: Мікроконтролери STM32 відрізняються конкурентоспроможною ціною, що робить їх економічно вигідними для масового виробництва.

Обравши STM32F103C8T6 для управління електросамокатом, я отримав потужний, гнучкий і надійний компонент, який здатний ефективно виконувати

всі необхідні завдання, включаючи обробку даних від датчиків, управління двигуном, комунікацію з іншими модулями та багато іншого.

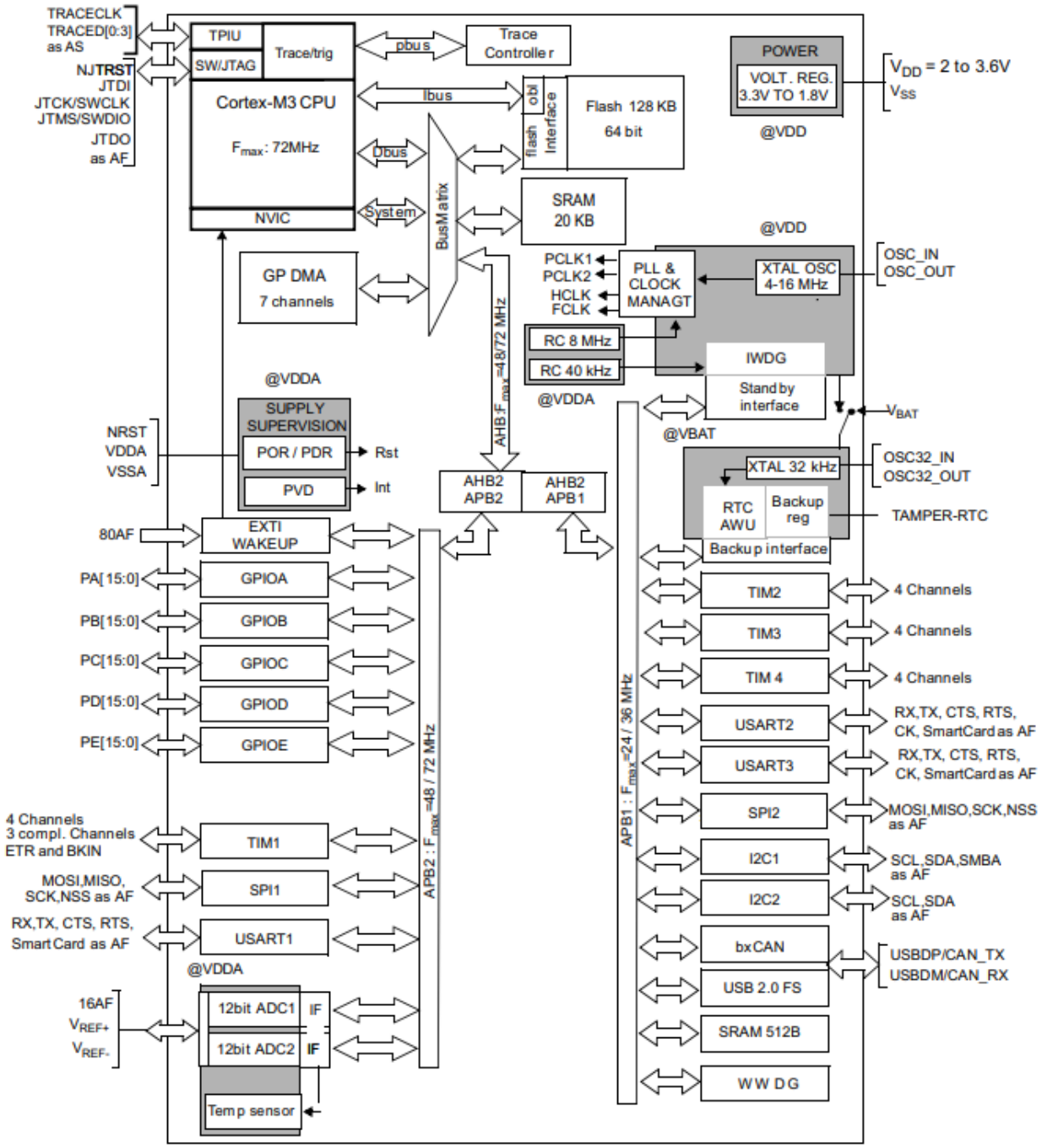


Рисунок 3.1 – Блок-схема пристрою

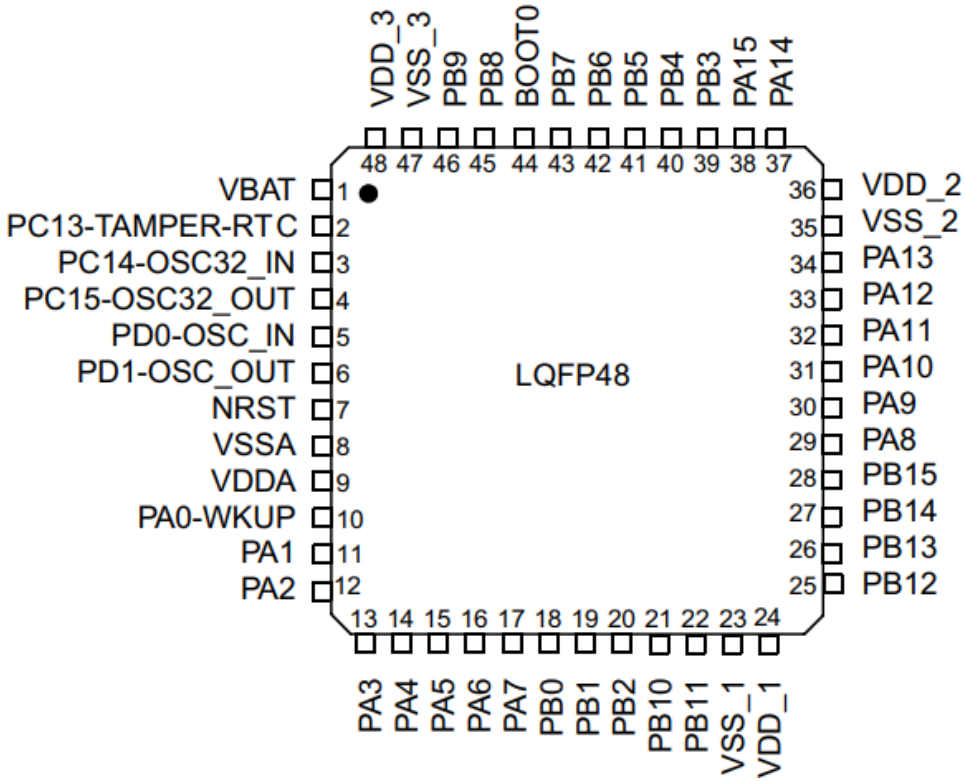


Рисунок 3.2 - Призначення виводів

3.3 Bluetooth модуль

Рисунок 3.3 - Вигляд мікросхеми BLE

Bluetooth Low Energy і 2,4 ГГц SoC nRF51822 — це універсальний процесор із наднизьким енергоспоживанням, який ідеально підходить для власних бездротових додатків Bluetooth® Low Energy і 2,4 ГГц. Він побудований на основі 32-розрядного процесора ARM® Cortex™-M0 із 256/128 КБ флеш-

пам’яті та 32/16 КБ оперативної пам’яті. Гнучка радіостанція з частотою 2,4 ГГц підтримує власний протокол Bluetooth Low Energy і 2,4 ГГц, наприклад Gazell.

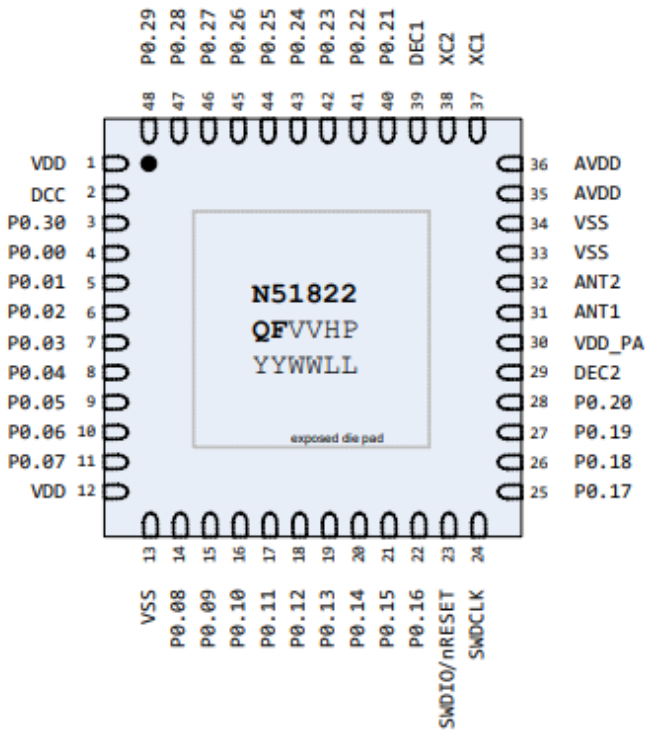


Рисунок 3.4 - Призначення виводів мікросхеми BLE

Він включає в себе багатий вибір аналогових і цифрових периферійних пристроїв, які можуть взаємодіяти безпосередньо без втручання центрального процесора через систему програмованого з'єднання периферійних пристроїв (PPI). Гнучкі GPIO дають змогу підключати цифрові інтерфейси, такі як SPI Master/slave, TWI Master і UART, до будь-якого з 31 GPIO на пристрої.

Цей мікроконтролер оснащений процесором ARM Cortex-M0 з тактовою частотою до 16 МГц. Він підтримує Bluetooth Low Energy (BLE) 4.0 та 2.4 ГГц власний протокол від Nordic Semiconductor (Enhanced ShockBurst). Мікроконтролер має до 256 кБ флеш-пам'яті та до 32 кБ оперативної пам'яті. Робоча напруга складає від 1.8 В до 3.6 В, що забезпечує низьке споживання енергії і робить його ідеальним для додатків з живленням від батареї [7].

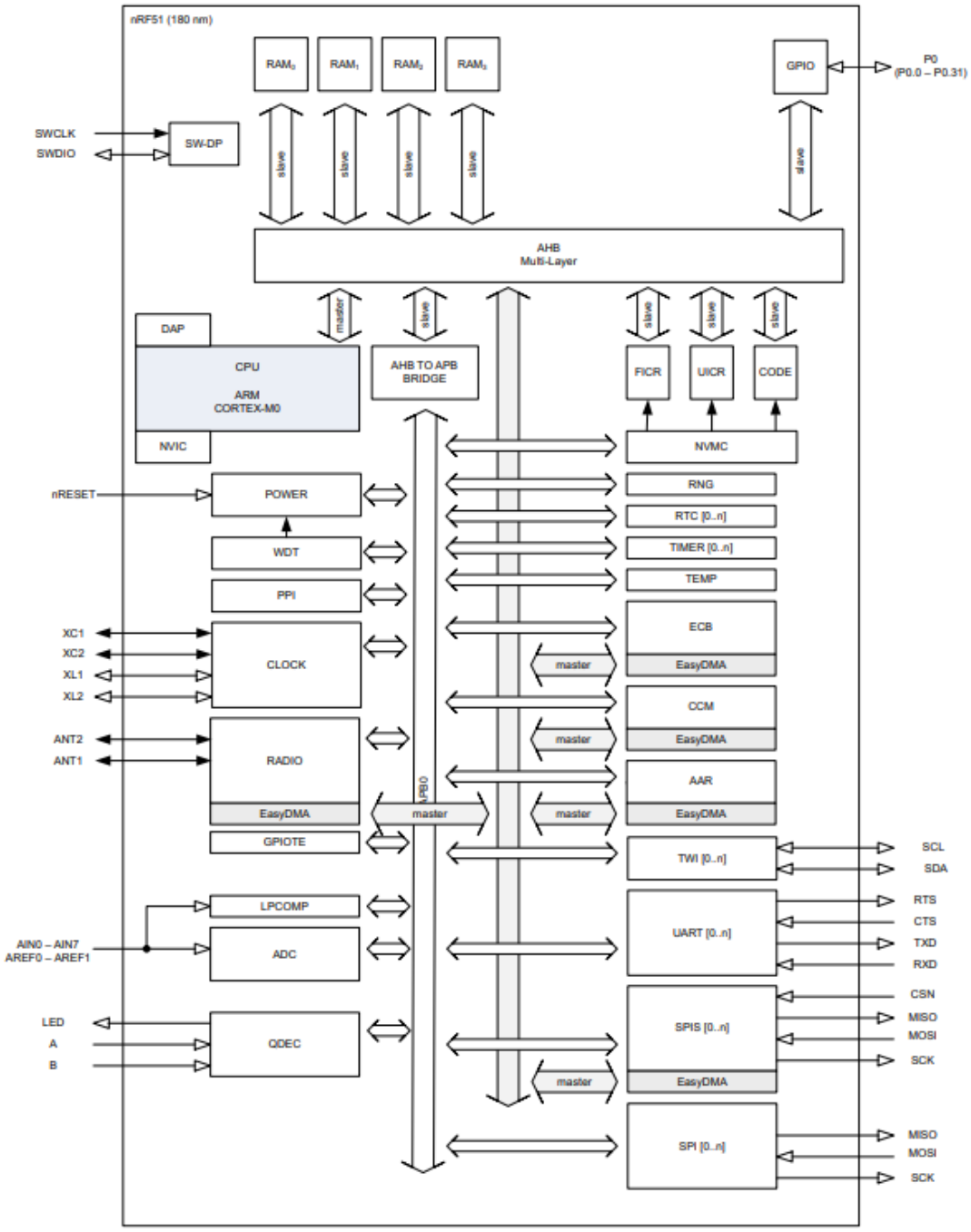


Рисунок 3.5 - Блок схема BLE

Інтерфейси мікроконтролера включають UART, SPI, I2C для підключення периферії, а також АЦП (аналогово-цифровий перетворювач) та GPIO (виводи загального призначення). Він підтримує програмне оновлення через повітря (OTA) та має вбудовані безпровідні стекі для швидкого розвитку застосунків. Застосування цього мікроконтролера охоплює розумні пристрої (Internet of

Things, IoT), носимі пристрої (wearables), медичні пристрої, дистанційні контролери та датчики, а також бездротові аксесуари для ПК та мобільних пристроїв.

Основні переваги nRF51822 включають високу інтеграцію функцій, що дозволяє зменшити розмір та вартість кінцевого пристрою, а також відмінну підтримку з боку Nordic Semiconductor, включаючи доступ до SDK (Software Development Kit) та прикладів застосунків. Ця мікросхема є популярною серед розробників завдяки своїй гнучкості, низькому енергоспоживанню та підтримці бездротових технологій.

Підтримка програмного оновлення через повітря (Over-the-Air) дозволяє легко оновлювати програмне забезпечення самоката, додаючи нові функції або виправляючи помилки без потреби фізичного підключення до пристрою.

3.4 LED-індикатор напівсегментний з драйвером TM1637

Модуль напівсегментного 4-значного дисплея 0,35 дюйма червоного кольору збільшеного см по послідовному шині на драйвері управління TM1637. Модуль прекрасно керується як від контролера Arduino, так і від іншого Raspberry Pi або будь-якого міні-комп'ютера. Часи, секундомер, буквенно-цифрове позначення та багато іншого, тепер все стало доступним і простим [8].

Рисунок 3.6 - LED-індикатор напівсегментний з драйвером TM1637

Напівсегментні LED-індикатори складаються з сегментів, які можуть бути окремо включені або виключені для формування цифр та деяких букв. Кожен сегмент представляє собою окремий світлодіод або групу світлодіодів. Зазвичай, для відображення однієї цифри використовується 7 сегментів, плюс один додатковий сегмент для десяткової точки.

Таблиця 3.1 - Призначення виводів TM1637

Позначення	Призначення
GND	Загальний
VCC	Живлення
DIO	Вхід даних
CLK	Вхід стробування даних

Драйвер дисплея TM1637:

4 напівсегментні цифри та розділові точки із загальним анодом

Всього 4 контакта підключення

Регульована яскравість дисплея: 8 рівнів яскравості

Логічні рівні: 5В або 3.3В

Струм споживання: до 80 мА;

Кріплення дисплея: 4 гвинта М2

Розміри плат: 41х22 мм

3.5 Драйвер управління мосфетами FAN7842

FAN7842, монолітна мікросхема приводу високого та низького бокового затвора, яка може управляти MOSFET і IGBT, які працюють до +200 В.

Високовольтний процес onsemi та синфазне шумозаглушення техніка забезпечує стабільну роботу драйвера високої сторони під обставини високого dv/dt шуму. Розширена схема зсуву рівня дозволяє працювати драйвер затвора

високої сторони до VS = -9,8 В (типовий) для VBS = 15 В. Вхідний логічний рівень сумісний зі стандартним Логічні вентилі серії TTL [9].

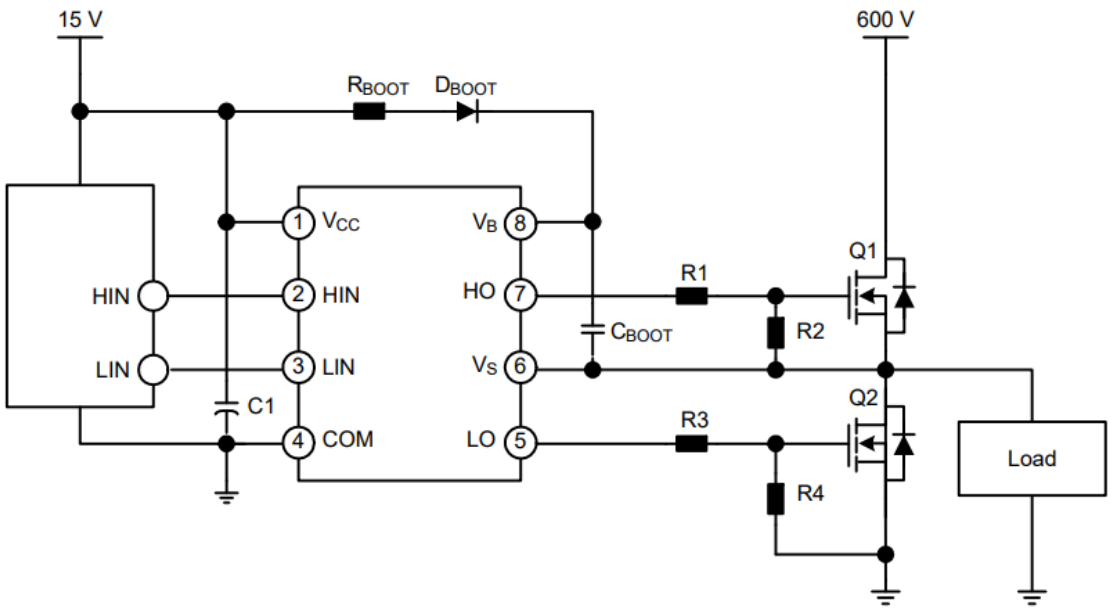


Рисунок 3.7 - Структурна схема FAN7842

Ланцюги UVLO для обох каналів запобігають несправності, коли VCC і VBS нижчі за вказану порогову напругу. Вихід струм драйвера (джерело/споживач) зазвичай становить 350 мА/650 мА відповідно

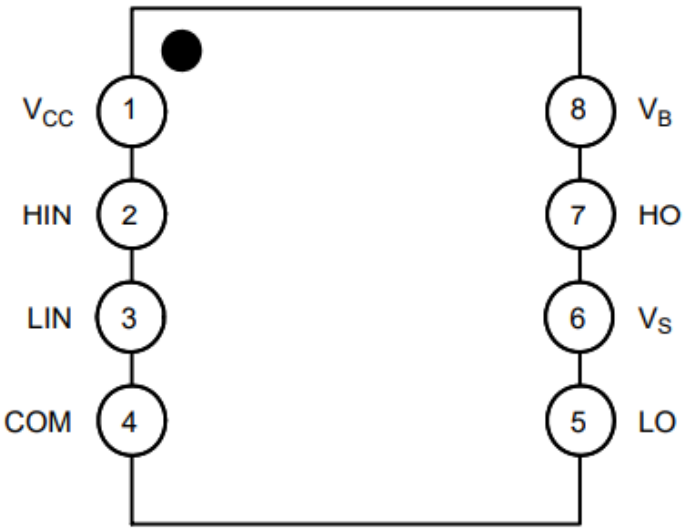


Рисунок 3.8 - Призначення виводів FAN7842

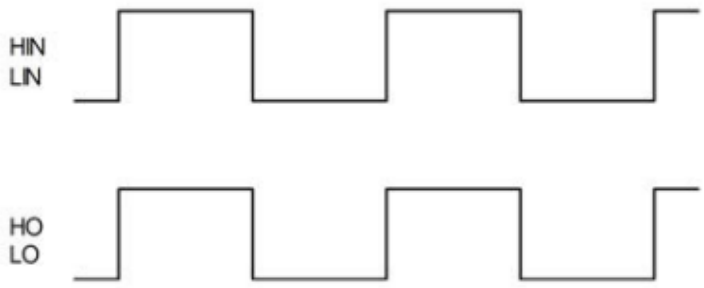


Рисунок 3.9 – Часова діаграма FAN7842

Таблиця 3.2 – Призначення виводів FAN7842

Позначення	Призначення
Vcc	Напруга живлення для мікросхеми. Забезпечує необхідну потужність для внутрішніх схем драйвера.
HIN	Вхід верхнього плеча. Використовується для керування верхнім транзистором.
LIN	Вхід нижнього плеча. Використовується для керування нижнім транзистором.
COM	Загальний (земля). Спільний референс для всієї мікросхеми.
LO	Вихід нижнього плеча. Підключається до затвора нижнього транзистора.
Vs	Вивід джерела верхнього транзистора. Підключається до точки з'єднання між верхнім і нижнім транзисторами.
HO	Вихід верхнього плеча. Підключається до затвора верхнього транзистора.
Vb	Подача напруги для верхнього плеча. Забезпечує напругу для верхнього транзистора.

3.6 Понижуючий перетворювач TPS54160A

Пристрій TPS54160A — це понижуючий регулятор на 60 В, 1,5 А з вбудованим MOSFET високого струму. Керування поточним режимом забезпечує просту зовнішню компенсацію та гнучкий вибір компонентів. Режим

пропуску імпульсу з низькими пульсаціями зменшує регульований вихідний струм без навантаження до 116 мкА. Використовуючи штифт дозволу, струм живлення відключення зменшується до 1,3 мкА [10].

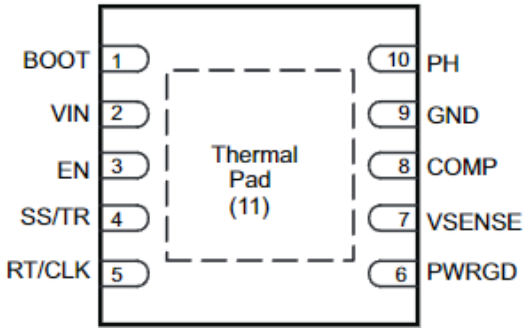


Рисунок 3.9 – Призначення виводів TPS54160A

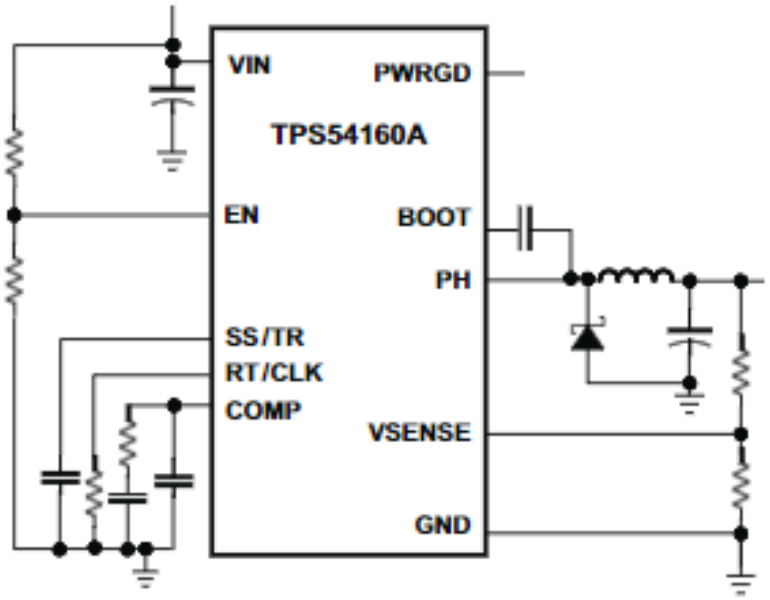


Рисунок 3.10 – Структурна схема TPS54160A

Пристрій має внутрішню петлю фазового блокування (PLL) на контакті RT/CLK, яка використовується для синхронізації повороту перемикача живлення на спадний край зовнішньої системи годинник.TPS54160A має початкову напругу за замовчуванням приблизно 2,5 В. ENpin має внутрішню тягу - джерело струму підвищення, яке можна використовувати для регулювання порогової величини блокування вхідної напруги (UVLO) за допомогою двох

зовнішніх резисторів. Крім того, струм напруги забезпечує умову за замовчуванням. Коли контакт EN плаває, пристрій працює.

Таблиця 3.3 – Призначення виводів TPS54160A

Призначення	Позначення
Boot	Подача підвищуючого напругу для верхнього транзистора
VIN	Вхідна напруга
EN	Ввімкнення/вимкнення
SS/TR	М'який старт/Трекінг
RT/CLK	Задавання частоти роботи або синхронізація
PWRGD	Вихід індикації готовності живлення
VSENSE	Зворотній зв'язок напруги
COMP	Компесуючий вхід
GND	Земля
PH	Вихід перетворювача

Пристрій TPS54160 є понижуючим регулятором на 60 В, 1,5 А, з інтегрованим МОП-транзистором високого каналу. Для покращення продуктивності під час перехідних процесів у лінії та навантаженні пристрій реалізує режим постійної частоти, який зменшує вихідну ємність і спрощує конструкцію компенсації зовнішньої частоти. частота від 100 кГц до 2500 кГц забезпечує ефективність і оптимізацію розміру під час вибору компонентів вихідного фільтра. Частота перемикання регулюється за допомогою резистора із заземленням на контакті RT/CLK.

Інтегрований MOSFET з високою стороною 200 мОм забезпечує високоефективні конструкції джерела живлення, здатні подавати 1,5 А безперервного струму до навантаження Напруга цитатора контролюється ланцюгом UVLO та вимикає MOSFET високої сторони, коли напруга завантаження падає нижче заданого порогу.

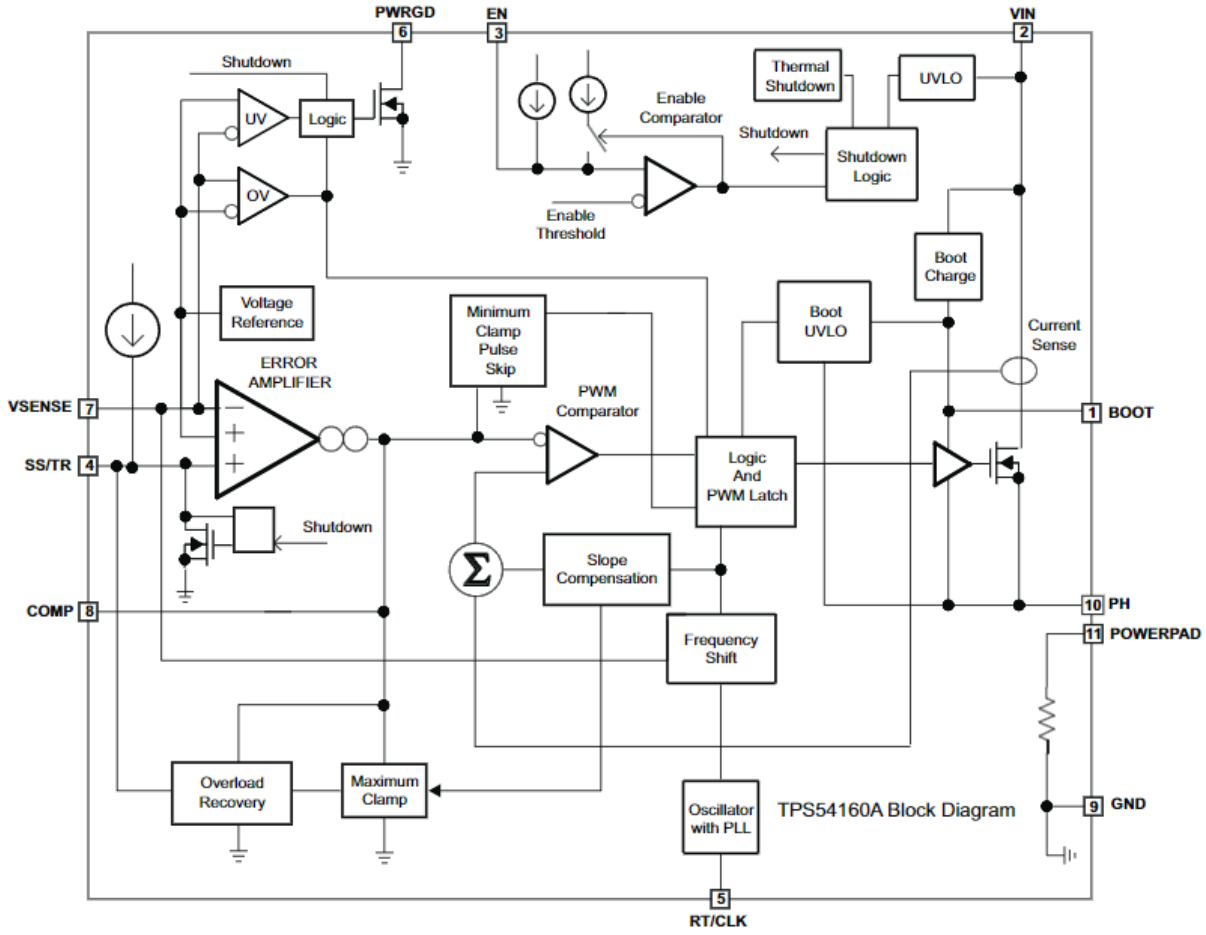


Рисунок 3.10 - Блок схема TPS54160A

Вихідну напругу можна знизити до 0,8 V. TPS54160A має а ‘PWRGD, який визначає, якщо регульована вихідна напруга становить менше 92% або перевищує 109% від номінальної вихідної напруги. TPS54160 мінімізує надмірну вихідну перенапругу (OV), використовуючи переваги компаратора OVpowergood. Коли компаратор OV активований, MOSFET високого боку вимикається та маскується від увімкнення, доки вихідна напруга не стане нижчою за 107%. щоб мінімізувати стрибковий струм або забезпечити послідовність живлення під час увімкнення живлення.

Схема відновлення від перевантаження сповільнить вихід від напруги несправності до номінальної напруги регулювання після усунення умови несправності.

4 РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЕРА

Цей приклад коду є базовою демонстрацією основних функцій, які необхідні для управління електросамокатом на базі мікроконтролера STM32F103C8T6. Він включає ініціалізацію периферійних модулів, генерацію PWM сигналів для управління двигуном, зчитування даних з аналогових датчиків і обробку цих даних для динамічного управління заповненням PWM. Повна прошивка для електросамоката буде значно складнішою і включатиме додаткові функції для забезпечення безпеки, комунікації з іншими модулями (наприклад, BLE, BMS, дисплей) і розширену обробку даних.

Пояснення коду:

Ініціалізація HAL і системного тактового генератора: Виконується у функціях HAL_Init() і SystemClock_Config().

Ініціалізація периферій: GPIO для PWM виходу, ADC для зчитування сенсорів, TIM1 для генерації PWM і UART для комунікації.

Основний цикл: Зчитування значення з ADC, розрахунок заповнення PWM і його застосування, відправка даних по UART.

Налаштування системного тактового генератора: Налаштування зовнішнього осцилятора і PLL для отримання необхідної частоти.

Ініціалізація GPIO: Налаштування пінів як альтернативних виходів для PWM.

Ініціалізація ADC1: Конфігурація ADC для зчитування аналогових сигналів.

Ініціалізація TIM1 для PWM: Налаштування таймера для генерації PWM сигналів.

Ініціалізація UART1: Налаштування UART для комунікації.

Лістинг програми

```
#include "stm32f1xx_hal.h"

// Налаштування параметрів PWM для управління двигуном
#define PWM_PERIOD 1000
```

```
#define MAX_DUTY_CYCLE 1000

TIM_HandleTypeDef htim1;
ADC_HandleTypeDef hadc1;

void SystemClock_Config(void);
static void MX_GPIO_Init(void);
static void MX_ADC1_Init(void);
static void MX_TIM1_Init(void);
void Error_Handler(void);

// Основна функція
int main(void)
{
  HAL_Init();
  SystemClock_Config();
  MX_GPIO_Init();
  MX_ADC1_Init();
  MX_TIM1_Init();

  // Старт PWM
  HAL_TIM_PWM_Start(&htim1, TIM_CHANNEL_1);

  uint32_t adc_value = 0;
  uint32_t duty_cycle = 0;

  while (1)
  {
    // Читання значення з ADC (наприклад, датчика струму або положення акселератора)
    HAL_ADC_Start(&hadc1);
    if (HAL_ADC_PollForConversion(&hadc1, HAL_MAX_DELAY) == HAL_OK)
    {
```

```
            adc_value = HAL_ADC_GetValue(&hadc1);
        }
        HAL_ADC_Stop(&hadc1);

        // Розрахунок заповнення PWM на основі ADC значення
        duty_cycle = (adc_value * MAX_DUTY_CYCLE) / 4095; // 4095 - максимальне значення для 12-бітного ADC

        // Застосування нового значення заповнення PWM
        __HAL_TIM_SET_COMPARE(&htim1, TIM_CHANNEL_1, duty_cycle);
      }
    }

    // Налаштування тактового генератора системи
    void SystemClock_Config(void)
    {
      RCC_OscInitTypeDef RCC_OscInitStruct = {0};
      RCC_ClkInitTypeDef RCC_ClkInitStruct = {0};

      RCC_OscInitStruct.OscillatorType = RCC_OSCILLATORTYPE_HSE;
      RCC_OscInitStruct.HSEState = RCC_HSE_ON;
      RCC_OscInitStruct.HSEPredivValue = RCC_HSE_PREDIV_DIV1;
      RCC_OscInitStruct.HSIState = RCC_HSI_ON;
      RCC_OscInitStruct.PLL.PLLState = RCC_PLL_ON;
      RCC_OscInitStruct.PLL.PLLSource = RCC_PLLSOURCE_HSE;
      RCC_OscInitStruct.PLL.PLLMUL = RCC_PLL_MUL9;
      if (HAL_RCC_OscConfig(&RCC_OscInitStruct) != HAL_OK)
      {
        Error_Handler();
      }

      RCC_ClkInitStruct.ClockType = RCC_CLOCKTYPE_HCLK | RCC_CLOCKTYPE_SYSCLK
```

```
                                |                RCC_CLOCKTYPE_PCLK1                |
RCC_CLOCKTYPE_PCLK2;
          RCC_ClkInitStruct.SYSCLKSource = RCC_SYSCLKSOURCE_PLLCLK;
          RCC_ClkInitStruct.AHBCLKDivider = RCC_SYSCLK_DIV1;
          RCC_ClkInitStruct.APB1CLKDivider = RCC_HCLK_DIV2;
          RCC_ClkInitStruct.APB2CLKDivider = RCC_HCLK_DIV1;

          if  (HAL_RCC_ClockConfig(&RCC_ClkInitStruct,  FLASH_LATENCY_2)
!= HAL_OK)
          {
             Error_Handler();
          }
        }

        // Ініціалізація GPIO
        static void MX_GPIO_Init(void)
        {
          __HAL_RCC_GPIOC_CLK_ENABLE();

          GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStruct = {0};
          GPIO_InitStruct.Pin = GPIO_PIN_13;
          GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_OUTPUT_PP;
          GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
          GPIO_InitStruct.Speed = GPIO_SPEED_FREQ_LOW;
          HAL_GPIO_Init(GPIOC, &GPIO_InitStruct);
        }

        // Ініціалізація ADC
        static void MX_ADC1_Init(void)
        {
          ADC_ChannelConfTypeDef sConfig = {0};

          hadc1.Instance = ADC1;
          hadc1.Init.ScanConvMode = ADC_SCAN_DISABLE;
```

```
    hadc1.Init.ContinuousConvMode = DISABLE;
    hadc1.Init.DiscontinuousConvMode = DISABLE;
    hadc1.Init.ExternalTrigConv = ADC_SOFTWARE_START;
    hadc1.Init.DataAlign = ADC_DATAALIGN_RIGHT;
    hadc1.Init.NbrOfConversion = 1;
    if (HAL_ADC_Init(&hadc1) != HAL_OK)
    {
      Error_Handler();
    }

    sConfig.Channel = ADC_CHANNEL_0;
    sConfig.Rank = ADC_REGULAR_RANK_1;
    sConfig.SamplingTime = ADC_SAMPLETIME_1CYCLE_5;
    if (HAL_ADC_ConfigChannel(&hadc1, &sConfig) != HAL_OK)
    {
      Error_Handler();
    }
}

// Ініціалізація таймера для PWM
static void MX_TIM1_Init(void)
{
    TIM_OC_InitTypeDef sConfigOC = {0};

    htim1.Instance = TIM1;
    htim1.Init.Prescaler = 72 - 1;
    htim1.Init.CounterMode = TIM_COUNTERMODE_UP;
    htim1.Init.Period = PWM_PERIOD - 1;
    htim1.Init.ClockDivision = TIM_CLOCKDIVISION_DIV1;
    htim1.Init.RepetitionCounter = 0;
    if (HAL_TIM_PWM_Init(&htim1) != HAL_OK)
    {
      Error_Handler();
    }
```

```
        sConfigOC.OCMode = TIM_OCMODE_PWM1;
        sConfigOC.Pulse = 0;
        sConfigOC.OCPolarity = TIM_OCPOLARITY_HIGH;
        sConfigOC.OCNPolarity = TIM_OCNPOLARITY_HIGH;
        sConfigOC.OCFastMode = TIM_OCFAST_DISABLE;
        sConfigOC.OCIdleState = TIM_OCIDLESTATE_RESET;
        sConfigOC.OCNIdleState = TIM_OCNIDLESTATE_RESET;
        if (HAL_TIM_PWM_ConfigChannel(&htim1, &sConfigOC,
TIM_CHANNEL_1) != HAL_OK)
        {
          Error_Handler();
        }
      }

      // Обробка помилок
      void Error_Handler(void)
      {
        while (1)
        {
          // Можна додати індикацію помилки, наприклад, миготіння
світлодіода
        }
      }
```

ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної роботи було розроблено пристрій управління електросамокатом. Спираючись на огляд літератури, було поставлене завдання розробити систему, яка забезпечує ефективне та безпечне керування електросамокатом, зокрема, управління мотором, моніторинг стану батареї, збір та аналіз даних з датчиків, а також інтеграцію з мобільними додатками через Bluetooth.

Розроблення системи управління електросамокатом є актуальним у наш час, оскільки електричний транспорт набуває все більшої популярності завдяки своїй екологічності, економічності та зручності використання у міських умовах. Використання методів сучасного електронного управління, таких як PWM для регулювання швидкості, ADC для моніторингу сенсорів, а також Bluetooth для бездротової комунікації, дозволяє забезпечити високу точність, надійність та гнучкість роботи системи.

Було вибрано мікроконтролер STM32F103C8T6, оскільки він має достатню обчислювальну потужність, широкий набір периферійних модулів і підтримку популярних інтерфейсів, таких як I2C, SPI та UART. Це дозволило реалізувати всі необхідні функції управління та моніторингу на високому рівні. Крім того, використання HAL бібліотеки для налаштування і управління периферійними пристроями значно спростило розробку програмного забезпечення.

У процесі роботи була розроблена схема алгоритму та електрична структурна, з їх докладним описом. Було запропоновано технічне рішення щодо вибору елементної бази пристрою, що проектується, й розроблена схема електрична принципова пристрою.

В результаті виконаної роботи було продемонстрована доцільність та ефективність запропонованих технічних рішень, а також відкрито перспективи для подальшого вдосконалення та комерційного використання розробленої системи управління електросамокатом.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Що таке електросамокат? [Електронний ресурс]. Режим доступу:https://gamesua.com.ua/blog/obzory-tovarov/shcho-take-elektrosamokat-/
2. Мотор-колесо [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://surl.li/ujdux
3. Літій-іонний акумулятор [Електронний ресурс]. Режим доступу:https://uk.wikipedia.org/wiki/Літій-іонний_акумулятор
4. Датчик ефекту Холла [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Датчик_ефекту_Холла
5. CFW TOOLKITS FOR THE MOST POPULAR E-SCOOTERS [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://scooterhacking.org
6. STM32F103C8T6 Datasheet (PDF) - STMicroelectronics. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://surl.li/ujduq
7. Multiprotocol Bluetooth® low energy/2.4 GHz RF System on Chip. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://surl.li/ujdwm
8. LED-індикатор семисегментний 4-розрядний з драйвером TM1637. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://surl.li/ujdvi
9. High- and Low-Side Gate Driver FAN7842. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/fan7842-d.pdf
10. TPS54160A Datasheet (PDF) - Texas Instruments. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://surl.li/ujdtv
11. Товстогуз Б.О. Спектри поглинання плівок ZnO відпалених у повітрі / Кахерський С.І., Товстогуз Б.О., Опанасюк А.С., Гнатенко Ю.П.// Фізика, електроніка, електротехніка (ФЕЕ-2023). Матеріали та програма науково-технічної конференції. – Суми: СумДу, 2023. – С. 33.
12. Товстогуз Б.О. Аналіз роботи випрямлячів змінного струму на діодах / Борисенко О.А., Товстогуз Б.О. // Фізика, електроніка, електротехніка (ФЕЕ-2023). Матеріали та програма науково-технічної конференції. – Суми: СумДу, 2023. – С. 77-78.
13. Товстогуз Б.О. Пристрій криптографічного захисту інформації на базі алгоритму подвійної перестановки / Бережна О.В., Товстогуз Б.О., Бивалін Р.А. // Фізика, електроніка, електротехніка (ФЕЕ-2024). Матеріали та програма науково-технічної конференції. – Суми: СумДу, 2024. – С. 67.

Додаток А

Таблиця 1 – Призначення виводів STM32F103C8T6

Номер виводу	Призначення	Номер виводу	Призначення
1	Вивід живлення батареї	25	Порт B, вивід 12
2	Вивід для тампера або годинника реального часу	26	Порт B, вивід 13
3	Вхід для 32 кГц кварцового генератора	27	Порт B, вивід 14
4	Вихід для 32 кГц кварцового генератора	28	Порт B, вивід 15
5	Вхід для основного кварцового генератора	29	Порт A, вивід 8
6	Вихід для основного кварцового генератора	30	Порт A, вивід 9
7	Вивід скидання (Reset)	31	Порт A, вивід 10
8	Аналоговий загальний	32	Порт A, вивід 11
9	Аналогове живлення	33	Порт A, вивід 12
10	Вивід для пробудження	34	Порт A, вивід 13
11	Порт A, вивід 1	35	Загальний
12	Порт A, вивід 2	36	Живлення
13	Порт A, вивід 3	37	Порт A, вивід 14
14	Порт A, вивід 4	38	Порт A, вивід 15
15	Порт A, вивід 5	39	Порт B, вивід 3
16	Порт A, вивід 6	40	Порт B, вивід 4
17	Порт A, вивід 7	41	Порт B, вивід 5
18	Порт B, вивід 0	42	Порт B, вивід 6
19	Порт B, вивід 1	43	Порт B, вивід 7
20	Порт B, вивід 2	44	Вивід для вибору режиму завантаження
21	Порт B, вивід 10	45	Порт B, вивід 8
22	Порт B, вивід 11	46	Порт B, вивід 9
23	Загальний	47	Загальний
24	Живлення	48	Живлення

Додаток Б

Спектри поглинання плівок ZnO відпалених у повітрі

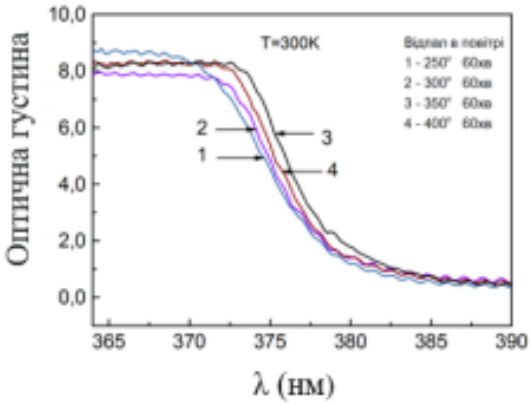
Кахерський С.І. [1], *аспірант*; Товстогуз Б. [1], *студент*;
Опанасюк А.С. [1], *професор*; Гнатенко Ю.П. [2], *професор*

[1]Сумський державний університет, м. Суми, Україна
[2]Інститут фізики НАНУ, м. Київ, Україна

Оксид цинку вважається перспективним матеріалом для використання як віконний шар сонячних елементів (СЕ) різного типу та прозорий струмопровідний контакт. Це обумовлено тим, що він має високу оптичну прозорість і низький опір, не містить в своєму складі рідкісних матеріалів та може бути отриманий за допомогою недорогих хімічних та фізичних методів. Зважаючи на вище викладене ZnO все частіше стає альтернативою традиційним матеріалам віконних шарів.

Метою дослідження було визначення впливу температури відпалу на оптичну та кристалічну якість плівок ZnO одержаних 3D друком.

На рисунку представлені результати вимірювання краю поглинання наноструктурованих плівок ZnO. Видно, що при збільшенні температури відпалу край поглинання плівок ZnO зміщується в довгохвильову область спектру. Величина такого зміщення є різною для різних значень оптичної густини (*kd*). Так, при значеннях *kd* рівних 7,0 та 4,0 ця величина складає 18 та 11 меВ, відповідно.



Встановлено, що зі зростанням температури відпалу крутизна краю поглинання також зростає, що є свідченням покращення оптичної та кристалічної якості досліджуваних плівок. В області прозорості тонких шарів ZnO значення оптичної густини для різних зразків практично залишаються однаковими і складають $kd \sim 0{,}41$ при дожині хвилі 390 нм. Це свідчить про те, що в процесі відпалу не відбувається генерації структурних дефектів в плівках із мілкими рівнями залягання. В іншому випадку це мало б привести до зростання величини оптичної густини в області прозорості плівок поблизу краю фундаментального поглинання.

Додаток В

Аналіз роботи випрямлячів змінного струму на діодах

Борисенко О.А., *професор*; Товстогуз Б.О., *студент*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Випрямляч змінного електричного струму – напівпровідниковий пристрій, призначений для перетворення змінного вхідного електричного струму в постійний струм. Для цього використовуються елементи, що проводять струм лише в одному напрямку. Ставиться задача розглянути їх структури, що застосовуються на практиці, та провести аналіз їх ефективності і порівняти між собою. Випрямлячі бувають з одним та двома періодами. Більш складними є мостові.

На рисунку нижче показана схема й принцип дії випрямляча з одним півперіодом. Використовуючи односторонню провідність напівпровідникового діода, струм у зворотному напрямку відтинається.

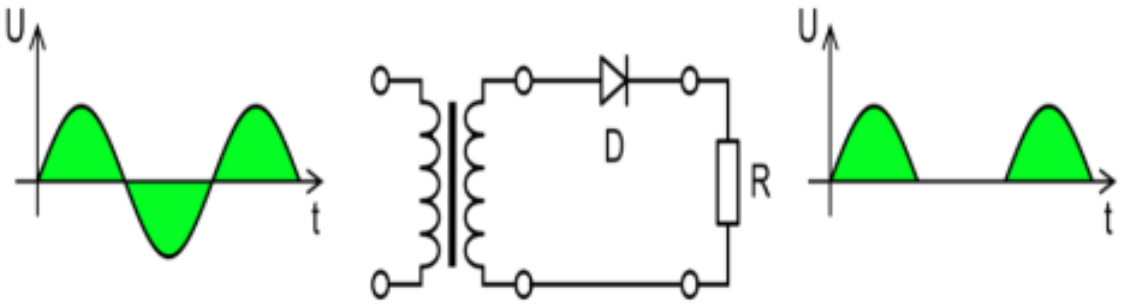


Рис. 1 – Схема випрямляча з одним півперіодом

При встановленні на верхній частині вторинної обмотки трансформатора полярності "+", а на нижній "-" діод «*D*» відкривається і струм протікає від вторинної обмотки трансформатора через навантаження *R*. При зміні полярності напруги на первинній обмотці трансформатора —діод «*D*» закритий і струм через навантаження не протікає.

Перевагою схеми з одним півперіодом є простота схеми, тому що використовується лише один діод. Недоліками даної схеми є малий ККД і велика пульсація напруги на схемі.

Додаток Д

Як видно зі схеми на відміну від випрямляча з одним півперіодом у випрямлячі з двома півперіодами, струм у навантаженні протікає двічі за період у тому ж самому напрямку. Це зменшує величину пульсацій, але ускладнює пристрій.

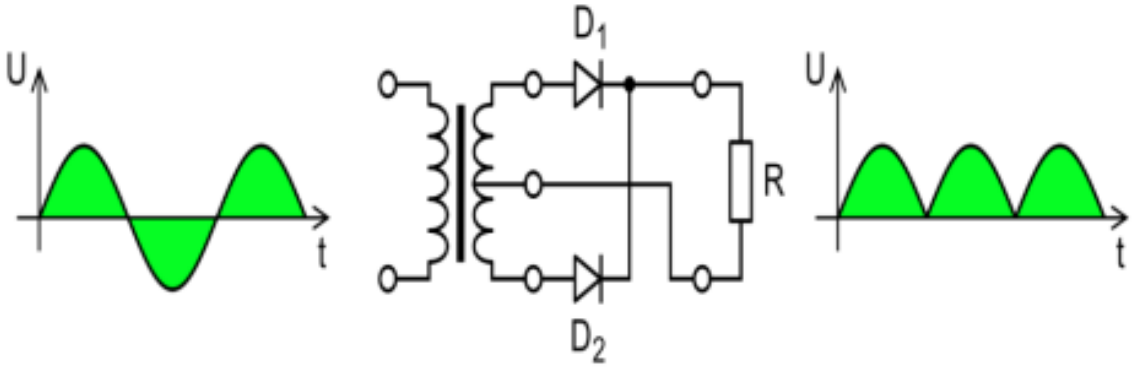


Рис. 2 – Схема випрямляча з двома півперіодами

Для збільшення потужності випрямленого струму використовується мостова схема. Чотири діоди з'єднані таким чином, що під час половини періоду працюють лише два з них, а під час наступної половини — два інші, даючи струм в тому ж напрямку. Перевагою мостового однофазного випрямляча є те, що у цієї схеми вдвічі менша зворотна напруга на діоди, порівняно зі схемою з нульовим виводом та високий коефіцієнт використання потужності трансформатора.

Недоліком схеми є необхідність застосування чотирьох діодів, що призводить до більшого падіння напруги в випрямлячі.

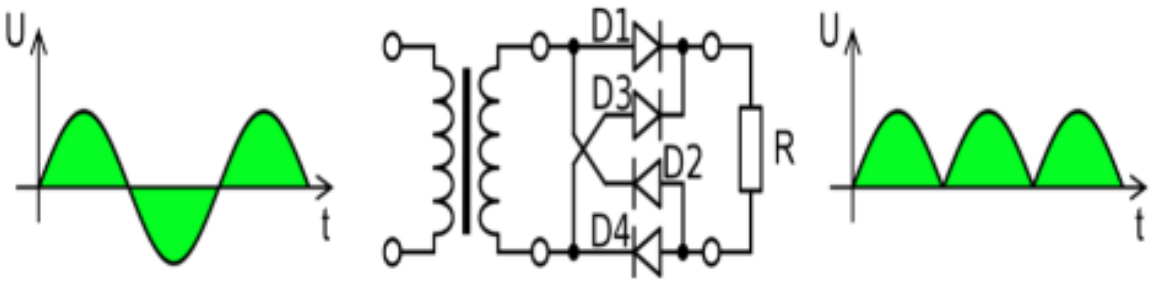


Рис. 3 – Схема мостового однофазного випрямляча

Додаток Е

Пристрій криптографічного захисту інформації на базі алгоритму подвійної перестановки

Бережна О.В., *доцент*, Бивалін Р.А., *студент*,
Товстогуз Б.О., *студент*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Розвиток Інтернету речей значно збільшує кількість об’єктів автоматизації та каналів передачі даних. Значно збільшується кількість каналів витоку інформації та зростає потреба у застосуванні оптимальних методів захисту інформації відповідно до рівня кіберзагроз. Актуальним завдання є пошук напрямків розвитку та застосування таких криптографічних методів, як алгоритм подвійної перестановки.

На сьогоднішній день алгоритми криптографічного захисту, зокрема алгоритм подвійної перестановки, можуть широко використовуватись в різних сферах, таких як інформаційна безпека, електронна комунікація, банківська справа тощо. Вони дозволяють ефективно захищати дані від несанкціонованого доступу та забезпечують конфіденційність інформації.

Однак існують певні недоліки у сучасних рішеннях, пов'язаних з алгоритмом подвійної перестановки. Деякі з них включають обмежену довжину ключа, можливість атак методом перебору ключів та обмежену стійкість до криптоаналітичних атак.

Дослідження показали, що для подолання недоліків алгоритму подвійної перестановки можна використовувати додаткові методи шифрування або покращені версії алгоритму, наприклад:

- застосування додаткових шифрувальних методів: комбінування алгоритму подвійної перестановки з іншими криптографічними методами може підвищити рівень безпеки;
- використання більш складних ключів: використання довших і складніших ключів може зробити атаки зламу складнішими та менш ймовірними.

Запропоновані рішення можуть допомогти подолати недоліки і підвищити ефективність алгоритму подвійної перестановки. Здійснення таких заходів сприятиме підвищенню рівня безпеки конфіденційної інформації, що передається та зберігається в інфокомунікаційних системах.

Поз. позн.	Назва	Кіл.	Примітка
	Індуктивності		
L_1 ,L_2	CW0805 330 мкГн - 5%	2	
L_3 ,L_4 ,L_5	CW0650 1 мкГн - 5%	3	
L_6 ,L_7	CW0650 33мкГн - 5%	2	
	Конденсатори		
C_1 ,C_{10}, C_{19}	ECR 100 мкФ 100В - 10%	3	
C_{12} , C_{13} ,C_{14},C_{17}, C_{18},C_{23}	ECR 150 пФ16В - 10%	6	
C_3 ,C_{25},C_{28}	ECR нФ16В - 10%	3	
C_4 ,C_{36} ,C_{44}	ECR 4.7 нФ 16В - 10%	3	
C_5, C_7, C_{15} , C_{39}	ECR 10нФ 16В - 10%	4	
C_6 ,C_8	ECR 22нФ 16В - 10%	2	
C_9 ,C_{16} ,C_{35}	ECR 47нФ 16В - 10%	3	
C_2 , C_{22},C_{31} , C_{45},C_{47}	ECR 100нФ 16В - 10%	5	
C_{20} ,C_{21},C_{40} ,C_{49}	ECR 220нФ 16В - 10%	4	
C_{11} ,C_{29} , C_{32} ,C_{46} , C_{48}	ECR 1мкФ 35В - 10%	5	
C_2 ,C_{31} ,C_{47}	ECR 2.2мкФ 35В - 10%	3	

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ЕлІТ 6.171.00.10.208 ПЕ		
Розроб.		Товстогуз Б.О.			Пристрій управління електросамокатом Перелік елементів	Літ.	Лист 1 / Листів 3
Перевір.		Бережна О.В.					
Реценз.						СумДУ, гр. ЕС-01	
Н. Контр.		Бережна О.В..					
Затверд.		Опанасюк А.С.					

Поз. обозн.	Назва	Кіл.	Примітка
	Мікросхеми		
U1A, U1B, U1C	FAN 7842	3	U1A, U1B, U1C
U1	LMV324I	1	U1
U3	L320	1	U3
U4	TPS54160A	1	U4
U5	L322	1	U5
	Резистори		
R_1, R_{10}, R_{10}	0805 20кОм 5%	3	
R_2, R_4, R_{11}, R_{13}, R_{20}, R_{22}, R_{31}, R_{33}, R_{49}, R_{50}, R_{53}, R_{54}, R_{58}, R_{76}, R_{85}, R_{86}	0805 10кОм 5%	16	
R_5, R_{14}, R_{23}	0805 5.1Ом 1%	3	
R_6, R_{15}, R_{24}	0805 68 Ом 1%	3	
R_7, R_9, R_{16}, R_{18}, R_{27}, R_{56}, R_{60}	0805 10 Ом 1%	7	
R_8, R_{17}, R_{26}	0805 56 Ом 1%	3	
R_{30}, R_{34}, R_{36}, R_{38}, R_{41}	0805 2.2кОм 5%	5	
R_{35}, R_{37}, R_{39}	0805 240 Ом 1%	3	
R_{45}, R_{48}	0805 3.3кОм 5%	2	
R_{47}, R_{62}, R_{64}, R_{71}, R_{73}, R_{74}	0805 1кОм 5%	6	
R_{57}, R_{63}, R_{67}, R_{69}	0805 24кОм 5%	4	

Поз. обозн.	Назва	Кіл.	Примітка
R_1, R_{10}, R_{10}	0805 20кОм 5%	3	
$R_2, R_4, R_{11}, R_{13}, R_{20}, R_{22}, R_{31}, R_{33}, R_{49}, R_{50}, R_{53}, R_{54}, R_{58}, R_{76}, R_{85}, R_{86}$	0805 10кОм 5%	16	
R_5, R_{14}, R_{23}	0805 5.1Ом 1%	3	
R_6, R_{15}, R_{24}	0805 68 Ом 1%	3	
$R_7, R_9, R_{16}, R_{18}, R_{27}, R_{56}, R_{60}$	0805 10 Ом 1%	7	
R_8, R_{17}, R_{26}	0805 56 Ом 1%	3	
$R_{30}, R_{34}, R_{36}, R_{38}, R_{41}$	0805 2.2кОм 5%	5	
R_{35}, R_{37}, R_{39}	0805 240 Ом 1%	3	
R_{45}, R_{48}	0805 3.3кОм 5%	2	
$R_{47}, R_{62}, R_{64}, R_{71}, R_{73}, R_{74}$	0805 1кОм 5%	6	
$R_{57}, R_{63}, R_{67}, R_{69}$	0805 24кОм 5%	4	
R_{61}, R_{66}, R_{70}	0805 1.5кОм 5%	3	
$R_{32}, R_{65}, R_{68}, R_{72}$	0805 7.5кОм 5%	4	
$R_{44}, R_{79}, R_{81}, R_{84}$	0805 22кОм 5%	4	
R_{80}, R_{82}, R_{83}	0805 6кОм 5%	3	
R_{51}, R_{55}, R_{75}	0805 0 Ом	3	