

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр

Освітній рівень

Пристрій керування суперконденсаторною батареєю

Назва теми

КВРАКІТ. 2020025.01.02.ПЗ

Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

Шифр, назва

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Шифр, назва

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

Назва

Виконав:

студент 4 курсу, група АКІТ-20-1



Підпис

Назар ГАРЮК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник:

д-р техн. наук, проф.



Підпис, дата

Валерій МАРТИНЮК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер



Підпис, дата

Людмила КОРЕЦЬКА

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
зав. кафедри автоматизації,
комп'ютерно-інтегрованих
технологій та робототехніки



Підпис, дата

Валерій МАРТИНЮК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

«24» червня 2024 р.

Хмельницький 2024

Хмельницький національний університет

Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та
робототехніки
Освітній рівень перший (бакалаврський)
Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування
Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітня-професійна програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

ЗАТВЕРДЖУЮ


Зав. кафедрою АКІТ о.р

В. Мартинюк
«10» 01 2024р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ





Гарюк Назар Олександрович

- 1 Тема роботи: Пристрій керування суперконденсаторною батареєю
керівник роботи Мартинюк В.В., д.т.н, професор
Затверджено наказом по університету від «15» лютого 2024р. №8.
- 2 Строк подання студентом роботи на кафедру: 01.06.2024р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування
- 4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ. Огляд літературних джерел та патентних даних. Основна частина.
Розробка пристрою керування суперконденсаторною батареєю. Висновки.
5. Перелік графічного матеріалу: 11 презентаційних слайдів.

Завдання отримав 

Науковий керівник 

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи


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

7. Дата видачі завдань « 01 » 02 2024 р.


КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів дипломної роботи	Примітка
1	Вступ	15.02.2024р.	Виконано
2	Огляд літературних джерел та патентних даних	15.03.2024р.	Виконано
3	Основна частина	10.04.2024р.	Виконано
4	Розробка пристрою керування суперконденсаторною батареєю	10.05.2024р.	Виконано
5	Висновки	15.05.2024р.	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки до КРБ	25.05.2024р.	Виконано
7	Оформлення презентаційних матеріалів	1.06.2024р.	Виконано

Студент

 Підпис Н. Гареок Ініціали, прізвище

Керівник роботи

 Підпис В. Марущиш Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Пристрій керування суперконденсаторною батареєю».

Автор роботи: Гарюк Назар Олександрович.

Керівник роботи: Мартинюк Валерій Володимирович

Пояснювальна записка: 65 с., 18 рис., 1 дод., 40 джерел.

Графічна частина: 11 презентаційних слайдів.

ПРИСТРІЙ КЕРУВАННЯ, СУПЕРКОНДЕНСАТОРНА БАТАРЕЯ,
ПЕРЕТВОРЮВАЧ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ У ПОСТІЙНУ НАПРУГУ.

Мета кваліфікаційної роботи – розробка пристрою керування суперконденсаторною батареєю, що є важливою функцією для використання суперконденсаторів для зберігання енергії. Пристрій керування суперконденсаторною батареєю може підвищувати або знижувати напругу постійного струму та перетворювати її в напругу в стаціонарному стані.

Пристрій керування суперконденсаторною батареєю використовується у високоефективній автономній системі електроживлення установки переробки полімерних відходів у дизпаливо для компенсації пікових струмів навантаження і забезпечення стабільної роботи в моменти пульсації потужності навантаження



Підпис студента

03.06.2024

Дата

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПАТЕНТНИХ МАТЕРІАЛІВ .5	5
1.1. Особливості суперконденсаторних батарей.....	5
1.2. Особливості перетворювачів постійної напруги у постійну напругу ..	8
1.3. Висновки до першого розділу	17
2. ОСНОВНА ЧАСТИНА	18
2.1. Математична модель пристрою керування суперконденсаторною батареєю	18
2.2. Імітаційне моделювання пристрою керування суперконденсаторною батареєю	19
2.3. Висновки до другого розділу	23
3. РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ КЕРУВАННЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРНОЮ БАТАРЕЄЮ	24
3.1. Розрахунок елементів схеми електричної принципової пристрою керування суперконденсаторною батареєю	24
3.2. Розробка програми роботи пристрою керування суперконденсаторною батареєю	41
3.3. Висновки до третього розділу	55
ВИСНОВКИ.....	56
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	57
Додатки.....	65

КРБАКІТ. 2020025.01.02.ПЗ								
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Пристрій керування суперконденсаторною батареєю Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав		Гарюк Н.О.		24.06.24		у		
Перевір		Мартинюк В.В.		24.06.24			2	65
Т. Конт						ХНУ, АКІТ-20-1		
Н. контр.		Корецька Л.О.		24.06.24				
Затвер.		Мартинюк В.В.		24.06.24				

ВСТУП

Актуальність теми.

Перетворення постійного струму в постійний є важливою функцією для використання суперконденсаторів для зберігання енергії. Теоретичне дослідження та порівняння методів, алгоритмів і методів для програмно керованих перетворювачів постійного струму були використані для розробки системи, яка може підвищувати або знижувати змінну напругу постійного струму та перетворювати її в напругу в стаціонарному стані.

Проаналізована теорія управління, заснована на управлінні Bang-Bang, з процесором ARM LPC1768. Він був реалізований для вирішення проблем комерційних перетворювачів, оскільки вони не можуть працювати з суперконденсаторами через низький внутрішній опір.

Результатом є пристрій, який може забезпечувати програмовану напругу від 4,5 В до 25 В, апаратне забезпечення може підтримувати до 6 А та здатне контролювати робочий струм, що протікає через перетворювач. Його можна використовувати з суперконденсаторами, як показано в цій роботі, але його також можна використовувати як загальну платформу для перетворення напруги та енергії.

Крім того, розроблене обладнання має потенціал для роботи з інтелектуальними мережами через роз'єм Ethernet, сонячними панелями з алгоритмами МРРТ і, нарешті, для керування енергією між різними типами джерел напруги постійного струму та пристроями.

Метою роботи є розробка автоматизованого пристрою керування суперконденсаторною батареєю.

Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати такі **завдання**:

- проаналізувати відомі пристрої перетворення постійного струму в постійний;

- розробити імітаційну модель автоматизованого пристрою керування суперконденсаторною батареєю;

- розробити програму роботи автоматизованого пристрою керування суперконденсаторною батареєю

Об'єктом дослідження є процес керування автоматизованим пристроєм керування суперконденсаторною батареєю.

Предметом дослідження є автоматизований пристрій керування суперконденсаторною батареєю.

Практична значимість отриманих результатів.

У роботі розроблена схема електрична принципова автоматизованого пристрою керування суперконденсаторною батареєю.

Кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків до кожного розділу, висновків, списку використаних джерел, 1 додатку. Загальний обсяг роботи складає 59 сторінок комп'ютерного тексту, у тому числі: 33 рисунки, список використаних джерел вміщує 23 найменувань.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПАТЕНТНИХ МАТЕРІАЛІВ

1.1 Особливості суперконденсаторних батарей

Турбота про навколишнє середовище та зростання використання відновлюваних джерел енергії створюють нові сценарії заміни старих джерел енергії. Тому здається логічним, що нові види енергії потребують нових видів зберігання для них.

Традиційні свинцево-кислотні батареї є основною підтримкою для накопичення електроенергії, але їхні характеристики мають слабкі сторони, включаючи високий внутрішній опір, обмежений термін служби залежно від робочої температури та глибокі циклічні зміни.

Вони також містять забруднюючі елементи, такі як свинець, які менш бажані з екологічної точки зору. Батареї на основі суперконденсаторів можуть замінити традиційні батареї з хімічними елементами в енергетичному світі, оскільки вони відповідають вимогам бути сумісними з відновлюваними джерелами енергії. Тим не менш, вони мають важливий недолік; їх вихідна напруга непостійна і залежить від кількості накопиченої енергії.

Пристрій керування суперконденсаторною батареєю дозволяє забезпечувати енергією будь-який пристрій, який працює з напругою постійного струму (ПС). Пристрій керування суперконденсаторною батареєю базується на перетворювачі постійного струму в постійний струм, який дозволяє використовувати суперконденсатори для живлення інших пристроїв, а також накопичення енергії від джерел постійного струму.

На рисунку 1.1 [1] зображена структурна схема універсального пристрою керування суперконденсаторною батареєю.



Рисунок 1.1 - Структурна схема універсального пристрою керування суперконденсаторною батареєю [1]

Універсальний програмований перетворювач постійної напруги у постійну напругу повинен мати можливість перетворювати напругу постійного струму в програмовану постійну напругу, не залежно від вихідного навантаження. Цей механізм може вирішити проблему комерційних конвертерів.

Існуючі програмовані перетворювачі постійної напруги у постійну напругу не можуть працювати із суперконденсаторами через низький внутрішній опір суперконденсаторів. Тому існуючі програмовані перетворювачі постійної напруги у постійну напругу виходять із ладу, що призводить до обмеження струму, що надходить в батарею.

Суперконденсатори можуть заряджуватися струмом до 60 А, тому їх струм потрібно обмежити, щоб зберегти перетворювач. Для цього

потрібен контролер, який працює незалежно від навантаження, наприклад гістерезисний контролер.

Крім того, цей перетворювач в першу чергу розроблений для роботи з відновлюваними джерелами енергії, тому він повинен мати можливість працювати з сонячними батареями або розумними електромережами.

Батарея суперконденсаторів складається з групи високоякісних суперконденсаторів, які можуть зберігати велику кількість енергії. Ці суперконденсатори мають низький внутрішній опір, тривалий термін служби, високу потужність і не шкідливі для навколишнього середовища.

В якості прикладу розглянемо суперконденсатори виготовлені компанією MAXWELL TECHNOLOGIES [2]. Вони мають ємність 3000 F і максимальну робочу напругу 2,7 В.

Батарея складається з 16 суперконденсаторів, 8 груп по 2 паралельно з'єднаних послідовно з'єднаних суперконденсаторів, тому еквівалентна ємність батареї становить 750 Ф.

$$C_{\phi} = \frac{1}{\frac{1}{C+C} + \frac{1}{C+C} + \frac{1}{C+C} + \frac{1}{C+C} + \frac{1}{C+C} + \frac{1}{C+C} + \frac{1}{C+C} + \frac{1}{C+C}} = \frac{C}{4} = 750 \text{ Ф} \quad (1.1)$$

Максимальна напруга батареї суперконденсаторів становить 21,6 В, і вона може накопичувати 116160 Дж або 32,3 Вт·год, що становить близько 7% від автомобільного акумулятора (BOSCH S3001 12V може зберігати 1771200 Дж).

$$E_{\sigma} = \frac{1}{2} C_{\sigma} (V_{\max} - V_{\min})^2 = 116160 \text{ Дж} = 32,3 \text{ Вт} \cdot \text{год}. \quad (1.2)$$

1.2 Особливості перетворювачів постійної напруги у постійну напругу

У роботі [10] розроблено перетворювач напруги для електромобілів. Розроблений перетворювач напруги для електромобілів є двонаправленим понижуючим/підвищувальним перетворювачем із ковзним режимом керуванням (КРК), який дозволяє отримати бажану напругу на виході.

На рисунку 1.2 [10] зображено схему перетворювача напруги для електромобілів, який керується мікроконтролером dsPIC30F2010. Живлення мікроконтролера dsPIC30F2010 здійснюється від регулятора 5 В.

Живлення драйверів струму (HAL50S), здійснюється від регуляторів ± 15 В. Драйвери комутатора (IR2110) незалежні один від одного і дозволяють реалізувати всі можливі конфігурації мікроконтролером.

У роботі [11] було розроблено перетворювач із КРК на основі постійної напруги та поверхні перемикання максимальної похибки струму.

Цей підхід визнано ефективним інструментом для проектування надійних контролерів для складних нелінійних динамічних установок високого рівня, що працюють у невизначених умовах.

Перетворювач із КРК має декілька переваг: стабільність навіть при великих коливаннях вхідної напруги та навантаження, надійність, хорошу динамічну реакцію.

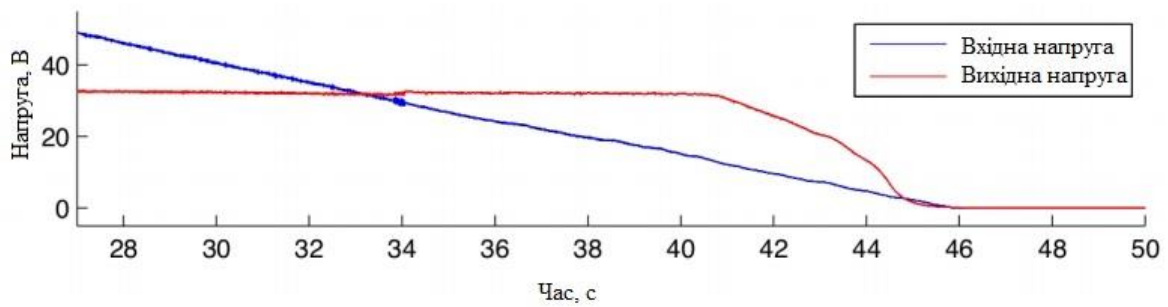


Рисунок 1.3 - Вхідна і вихідна напруги перетворювача

Він має наступні переваги.

1. Понижуючий і підвищувальний режими роботи з однаковими компонентами, що дозволяє реалізувати його на простих компонентах та здійснювати швидке перемикання між собою.

2. Відсутність сигналів управління ШІМ означає швидше та простіше програмне забезпечення.

Контролери з ГК є контролерами зі змінною структурою (КЗС) спеціально розроблені для керування сигналами в системах з переривчастою передачею, наприклад, у перетворювачах постійної напруги у постійну.

Вони використовуються в додатках, які потребують оптимального керування, вирішують проблеми за мінімальний час, а також часто реалізуються через простоту чи зручність.

Перевагами контролерів з ГК є: ефективність, надійність перед невизначеними робочими умовами, стабільність навіть для широкого діапазону вхідної напруги, хороша динамічна відповідь, мінімальна реалізація апаратного забезпечення та незалежність від коливань навантаження [14-16]

Правильна робота контролерів з ГК незалежно від коливань навантаження дозволяє працювати з батареєю суперконденсаторів.

Наприклад, лінійний ПД (Пропорційний Інтегральний Диференційний) регулятор змінює свою продуктивність, коли відбувається зміна від резистивного до комплексного навантаження, і створює систематичну помилку на виході [17], тому він не може працювати з суперконденсаторами.

ГК полягає у вмиканні або вимкненні керуючого впливу, щоб досягти бажаної точки стабільності. Поведінку системи можна отримати, змодельовавши її за допомогою системи диференціальних рівнянь для кожної комбінації двох перемикачів, а потім проаналізувавши її, обчисливши її фазовий портрет.

У теорії керування ковзний режим або КРК, є нелінійним методом керування. ГК також змінює динаміку нелінійної системи шляхом застосування переривчастого керуючого сигналу. Це змушує систему «ковзати» уздовж поперечного перерізу нормальної поведінки системи, що називається «поверхнею перемикавання».

Основними відмінностями між ГК керуванням і КРК, які застосовуються до перетворювачів постійного струму, наступні.

1. ГК не контролює зміну струму та напруги, він лише перевіряє кінцеву бажану напругу.

2. КРК визначає «поверхню перемикавання», де динаміка має певну конвергенцію та точку стабільності.

3. Поверхня постійної напруги, визначена в ГК, не має конвергенції, але має точку стабільності. З цієї причини його неможливо реалізувати в КРК.

4. КРК першого порядку базується на визначенні вихідної помилки та її похідної як змінних стану. Це забезпечує більш швидке керування, ніж ГК, але це залежить від навантаження конвертера.

Можна реалізувати перетворювач з КРК, який визначає обмежений діапазон для комплексного навантаження. Однак зробити це за допомогою ГК є простішою задачею.

Існують різні конфігурації перетворювачів постійного струму, які можна використовувати як понижувальні та підвищувальні трансформатори постійного струму.

Однак є один з них, який забезпечує мінімальну апаратну і максимально просту альтернативу без зміни полярності вхідної напруги. Крім того, він може працювати різними способами та допускає кілька конфігурацій, а також вони будуть описані нижче.

Це двонаправлений неінвертуючий понижуючий/підвищувальний перетворювач, який зображений на рисунку 1.4.

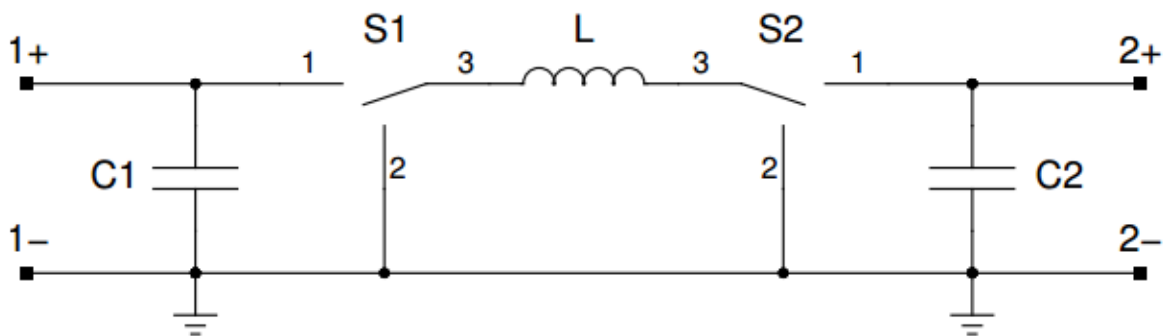


Рисунок 1.4 – Схема двонаправленого неінвертуючого понижуючого/підвищувального перетворювача

Такий понижуючий/підвищувальний перетворювач налаштовує апаратне ядро та забезпечує основні необхідні функції. Ця конфігурація має можливість підвищувати або зменшувати вхідну напругу, керуючи системними перемикачами.

В роботі [18] зазначено, що цей вид перетворювача складається з понижувального перетворювача із каскадним підсиленням. Він може працювати як одиночний понижуючий, одиночний підвищувальний або

понижуючий/підвищуючий перетворювач залежно від поведінки перемикачів.

Завдяки симетричному дизайну можна керувати потужністю двонаправлено, використовуючи набір датчиків і перемикачів для керування потоком енергії в обох напрямках, як це було реалізовано в [10].

Як зазначалося раніше, для досягнення бажаної точки стабільності важливо знати поведінку та еволюцію системи в ГК. Це можна зробити шляхом вивчення фазових портретів у РНП (Режим Неперервної Провідності) для кожної комбінації перемикачів перетворювача.

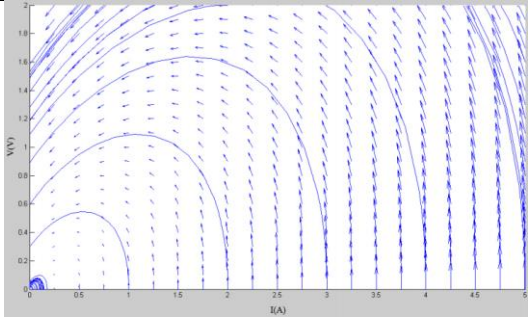
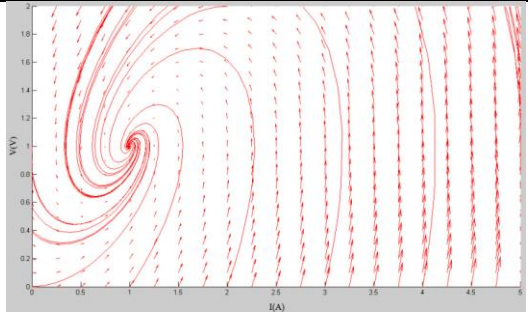
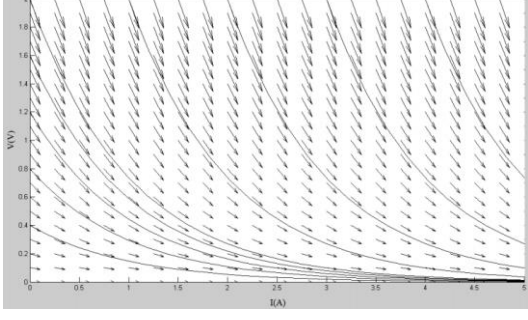
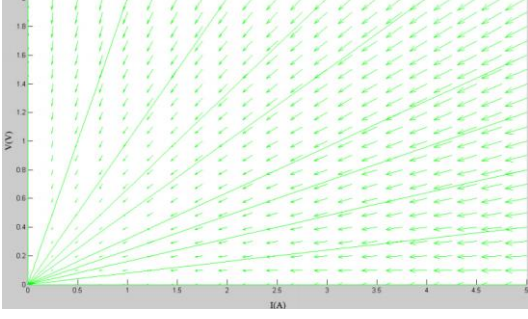
РНП означає, що струм в котушці індуктивності передачі енергії ніколи не доходить до нуля між циклами перемикання. У роботі [10] наведені диференційні рівняння, які моделюють неінвертуючий понижуючий/підвищувальний перетворювач, які описуються виразом (1.3).

$$\begin{pmatrix} i_L' \\ u_{вих}' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -\frac{S_2}{L} \\ \frac{S_2}{C} & -\frac{1}{R_H} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_L \\ u_{вих} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{S_1 u_{ex}}{L} \\ 0 \end{pmatrix} \begin{cases} S_n = 1, \text{ коли положення 1 (режим увімкнено)} \\ S_n = 0, \text{ коли положення 0 (режим вимкнено)} \end{cases} \quad (1.3)$$

Фазовий портрет - це геометричне зображення траєкторій динамічної системи на фазовій площині. У випадку перетворювача вихідна напруга та струм індуктивності є змінними, які утворюють фазову площину.

Крім того, диференційні рівняння, які моделюють поведінку перетворювача, дійсні лише за припущення РНП. Комбінації станів перемикача та їхні відповідні фазові портрети наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Фазові портрети перетворювача

Положення перемикачів		Фазові портрети
1	Перемикач 1 ВІМК Перемикач 2 ВІМК	
2	Перемикач 1 УВІМК Перемикач 2 ВІМК	
3	Перемикач 1 УВІМК Перемикач 2 УВІМК	
4	Перемикач 1 ВІМК Перемикач 2 УВІМК	

Ці нормалізовані фазові портрети показують еволюцію струму індуктивності (вісь x) і вихідної напруги (вісь y) у кожному із станів перетворювача. Стани 1, 2 і 3 об'єднані в пари, визначають три різні режими роботи конвертера. Понижуючий одинарний перетворювач для 1 і 2, підвищувальний одиночний перетворювач для 2 і 3, а також понижуючий/підвищувальний перетворювач для 1 і 3.

Крім того, для кожного режиму роботи перетворювача існує область конвергенції, яка включає стабільні робочі точки. Ці області зображені на рисунку 1.5 над трьома портретами першої фази. Синя область відповідає понижуючому одиночному конвертеру, зелена – підсиленню, а червона – пониженню/підсиленню.

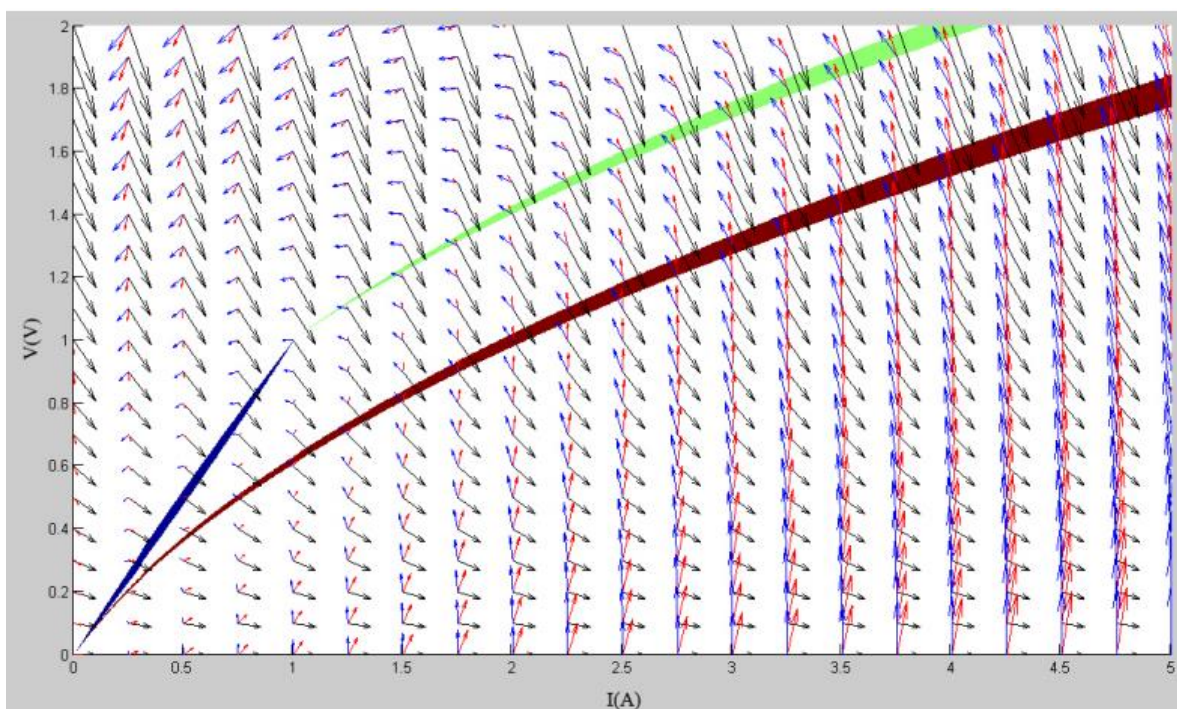


Рисунок 1.5 - Область конвергенції перетворювача

Ці області конвергенції або стабільні робочі точки розташовані там, де кут між векторами, що відповідають похідній напруги та струму для кожної пари комбінацій перемикачів, становить 180° .

області завжди від'ємна. Він збільшує ефективність перетворення, роблячи те саме зі станом 1.

3. Можна виправити втрату ефективності понижувального перетворювача (він не може досягти значень, близьких до вхідної напруги), змінивши робочий режим на підвищувальний, оскільки вони мають спільний стан 2 (завжди ввімкнений понижуючий перетворювач є тим самим, що й підвищувальний перетворювач).

Таким чином, продуктивність перетворювача є постійною між максимальною напругою, досягнутою понижуючим перетворювачем, і мінімальною напругою, досягнутою підвищуючим перетворювачем.

Необхідно зостосовувати допоміжний контролер, щоб отримати оптимальну напругу для перемикання між понижуючим і підвищуючим одиночними перетворювачами.

1.3 Висновки до першого розділу

1. Пристрій керування суперконденсаторною батареєю базується на перетворювачі постійного струму в постійний струм, який дозволяє використовувати суперконденсатори для живлення інших пристроїв, а також накопичення енергії від джерел постійного струму.

2. Існуючі програмовані перетворювачі постійної напруги у постійну напругу не можуть працювати із суперконденсаторами через низький внутрішній опір суперконденсаторів.

3. Перевагами контролерів з ГК є: ефективність, надійність перед невизначеними робочими умовами, стабільність навіть для широкого діапазону вхідної напруги, хороша динамічна відповідь, мінімальна реалізація апаратного забезпечення та незалежність від коливань навантаження.

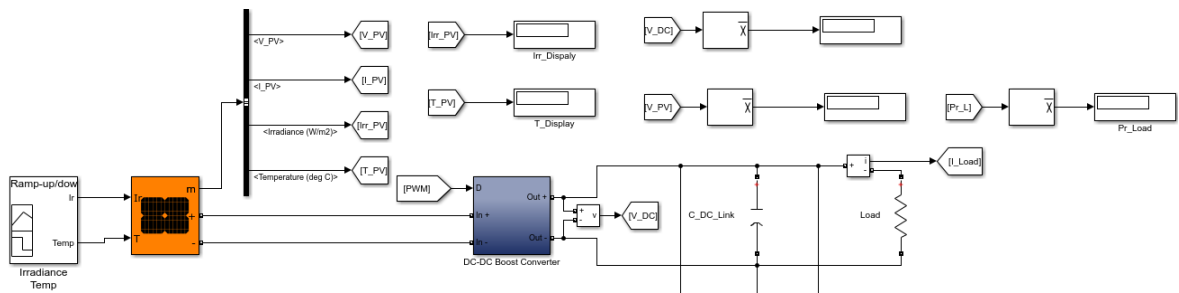


Рисунок 2.1 - Фрагмент математичної моделі пристрою керування суперконденсаторною батареєю, який моделює рівень освітлення сонячної батареї та її температуру, сонячну батарею та підвищуючий перетворювач напруги

2.2 Імітаційне моделювання пристрою керування суперконденсаторною батареєю

Першим блоком на рисунку 2.1 є блок Конструктор сигналів (Signal Builder), який зображено на рисунку 2.2.

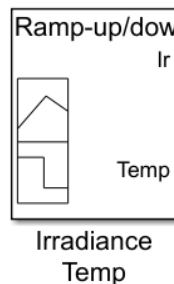


Рисунок 2.2 - Блок конструктор сигналів (Signal Builder)

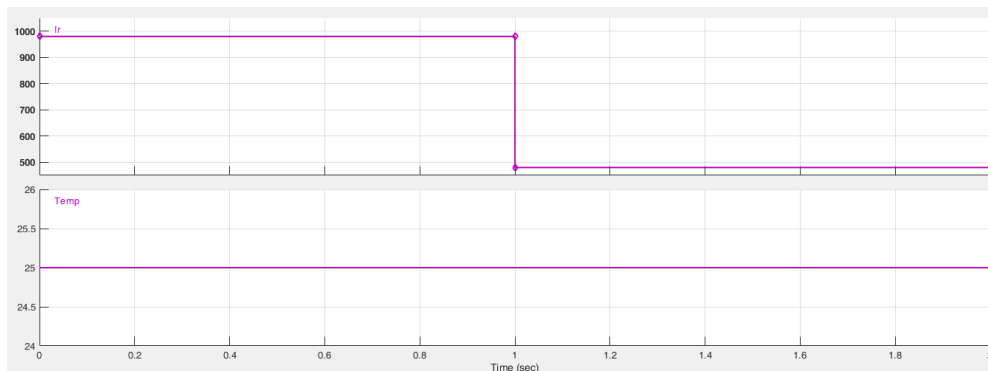
Блок конструктор сигналів (Signal Builder) створює та генерує сигнали рівня освітлення сонячної батареї (Irradiance) та її температуру (Temperature), сигнали яких є кусково-лінійними сигналами.

В процесі моделювання було задано три сценарії зміни рівня освітлення сонячної батареї (Irradiance).

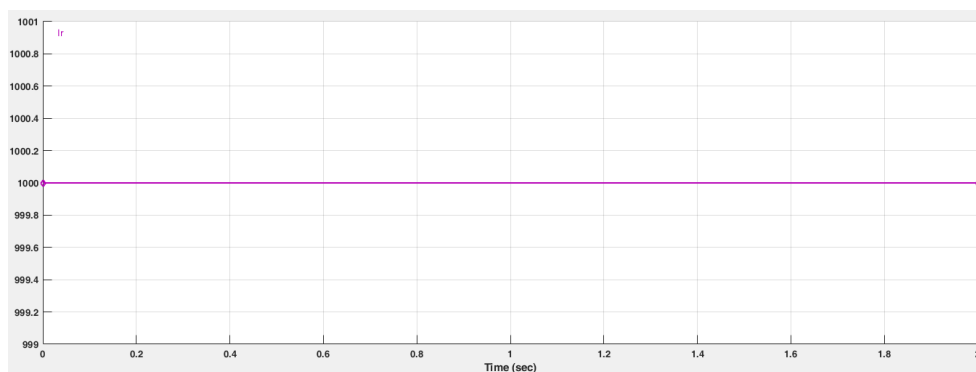
1. Підвищення/зменшення випромінювання (Ramp-up/down irradiance), який зображено на рисунку 2.3, (а).

2. Постійне опромінення (Constant irradiance), який зображено на рисунку 2.3, (б).

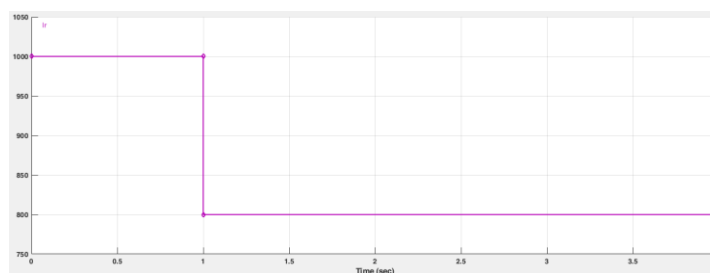
3. Крокове опромінення (Step irradiance), який зображено на рисунку 2.3, (в).



а)



б)



в)

Рисунок 2.3 - Три сценарії зміни рівня освітлення сонячної батареї (Irradiance)

Сигнал рівня температури є постійним і дорівнює $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, як зображено на рисунку 2.3, (а). Сигнали рівня освітлення сонячної батареї та температури поступають на блок, який моделює з'єднання сонячних батарей (PV Array), який зображено на рисунку 2.4.

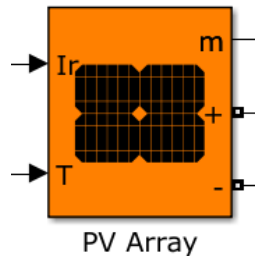


Рисунок 2.4 - Блок, який моделює з'єднання сонячних батарей (PV Array)

Блок PV Array моделює масив фотоелектричних (PV) модулів. Масив складається з рядків модулів, з'єднаних паралельно, кожен рядок складається з модулів, з'єднаних послідовно. Цей блок дозволяє моделювати попередньо встановлені фотоелектричні модулі з моделі System Advisor National Renewable Energy Laboratory (NREL), а також фотоелектричні модулі, які ви визначаєте.

Блок PV Array - це п'ятипараметрична модель, яка використовує джерело струму, що генерується світлом (I_L), діод, послідовний опір (R_s) і шунтовий опір (R_{sh}) для представлення залежних від опромінення та температури ВАХ модулів.

Для проведення моделювання необхідно задати параметри блоку масиву фотоелектричних модулів (PV Array) за допомогою інтерфейсу користувача, який зображено на рисунку 2.5. Для моделювання вибрано сонячні панелі Wearee Energy WU-120, фотографія якої зображена на рисунку 2.6.

PV array (mask) (link)

Implements a PV array built of strings of PV modules connected in parallel. Each string consists of modules connected in series.
Allows modeling of a variety of preset PV modules available from NREL System Advisor Model (Jan. 2014) as well as user-defined PV module.

Input 1 = Sun irradiance, in W/m², and input 2 = Cell temperature, in deg.C.

Parameters **Advanced**

Array data

Parallel strings

Series-connected modules per string

Module data

Module: **Waaree Energies WU-120**

Maximum Power (W)

Cells per module (Ncell)

Open circuit voltage Voc (V)

Short-circuit current Isc (A)

Voltage at maximum power point Vmp (V)

Current at maximum power point Imp (A)

Temperature coefficient of Voc (%/deg.C)

Temperature coefficient of Isc (%/deg.C)

Display I-V and P-V characteristics of ...

one module @ 25 deg.C & specified irradiances

Irradiances (W/m²)

Plot

Model parameters

Light-generated current IL (A)

Diode saturation current I0 (A)

Diode ideality factor

Shunt resistance Rsh (ohms)

Series resistance Rs (ohms)

OK **Cancel** **Help** **Apply**

Рисунок 2.5 - Інтерфейс користувача блоку масиву фотоелектричних модулів (PV Array)



Рисунок 2.6 – Фотографія сонячні панелі Wearee Energy WU-120

3 РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ КЕРУВАННЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРНОЮ БАТАРЕЄЮ

3.1 Розрахунок елементів схеми електричної принципової пристрою керування суперконденсаторною батареєю

Схему електричну пристрою керування суперконденсаторною батареєю двонаправленого DC/DC понижуючого-підвищувального перетворювача було розроблено з урахуванням певних вимог, щоб стати універсальною платформою для розробки програмного забезпечення або архітектури, які включають елементи, пов'язані з зеленими мережами, мікромережами, батареями суперконденсаторів і сонячними панелями.

Схему електричну пристрою керування суперконденсаторною батареєю розроблено на основі загальної теорії перетворювачів та низки експериментальних тестів з використанням декількох прототипів. Таким чином вдалося перевірити, що цей перетворювач зможе працювати з контролером Bang-Bang і забезпечити схему, здатну працювати з батареєю суперконденсаторів.

Однак він також може бути використаний дослідниками або викладачами як універсальний потужний інструмент для розробки будь-яких додатків, пов'язаних з передачею енергії постійного струму, розумними мережами або зеленою енергією.

Цей перетворювач призначений для перетворення вхідної напруги постійного струму в діапазоні від 5 В до 25 В у вихідну напругу постійного струму в діапазоні від 0 В до 25 В, з максимальним вхідним і вихідним струмом 6 А.

Послідовна комбінація простого підвищувального перетворювача і простого понижувального перетворювача перетворюється на підвищувальний і понижувальний перетворювач, який можна використовувати двонаправлено, залежно від стану перемикачів [18].

Це дозволяє струму, що надходить у перетворювач, досягати будь-якої напруги на ємності одного з кінців перетворювача. Схема електрична, показана на рисунку 3.1, називається неінвертувальним підвищувальним перетворювачем і є найпростішим способом отримати схему, яка здатна підвищувати або знижувати вхідну постійну напругу без зміни її полярності.

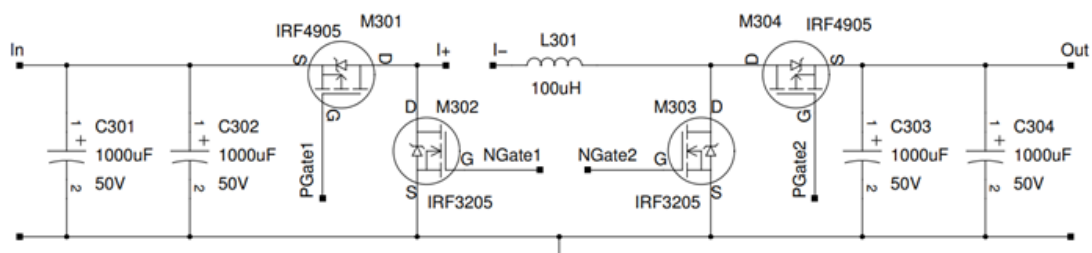


Рисунок 3.1 – Схема електрична неінвертувального підвищувального перетворювача

Двонаправлений неінвертуючий підвищувальний перетворювач оснащений MOSFET-перемикачами. Перше важливе питання, яке слід врахувати, полягає в тому що всі компоненти повинні мати низький послідовний опір оскільки це знижує ефективність перетворення [19-18].

На рисунку 3.2 представлено залежність між вихідною та вхідною напругою в залежності від коефіцієнта заповнення. Можна оцінити, що паразитний послідовний опір обмежує співвідношення перетворення

вихідної та вхідної напруги, а отже, зменшує здатність перетворювача досягати бажаної вихідної напруги.

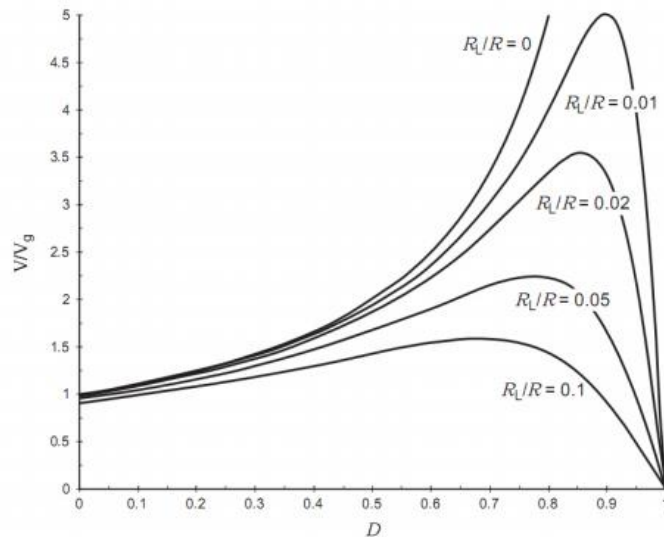


Рисунок 3.2 – Залежність між вихідною та вхідною напругою в залежності від коефіцієнта заповнення

Як зазначено в [18], [19] та [20], перетворювачі постійного струму в постійний можуть працювати в двох режимах. Це режим неперервної провідності (РНП) і режим переривчастої провідності (РПП).

Для пристрою керування суперконденсаторною батареєю РНП дає кращі переваги, такі як вища ефективність, нижчий вихідний опір і менша пульсація на виході. Крім того, контролер Bang-Bang був розроблений для роботи в режимі РНП.

Тому межа між цими режимами встановлює нижнє значення для дроселя і задається наступним чином в залежності від режиму, в якому він працює.

Для понижуючого режиму.

$$L \geq \frac{(1-D)R_{load}}{2f_{switch}} \quad 0 \leq D \leq 1 \quad \geq \frac{R_{load}}{2f_{switch}}. \quad (3.1)$$

Для підвищуючого режиму.

$$L \geq \frac{(1-D)^2 R_{load}}{2f_{switch}} \quad 0 \leq D \leq 1 \quad \geq \frac{4}{27} \frac{R_{load}}{2f_{switch}}. \quad (3.2)$$

Для понижуючого-підвищуючого режиму.

$$L \geq \frac{(1-D)^2 R_{load}}{2f_{switch}} \quad 0 \leq D \leq 1 \quad \geq \frac{R_{load}}{2f_{switch}}. \quad (3.3)$$

В найгіршому випадку $R_{load} \leq 10\Omega$ і $f_{switch} \geq 50kHz$. Отже, значення для котушки індуктивності має бути $L \geq 100\mu H$. Це мінімальне значення, оскільки воно зменшує розмір, вартість і внутрішній опір постійному струму (ОПС).

Виберемо дросель 2312-RC компанії BOURNS JW MILLER з $L = 100\mu H$, $I_{DC\ max} = 7\ A$ і $ОПС_{max} = 37m\Omega$.

Пару конденсаторів розмістимо паралельно на кожному кінці перетворювача для фільтрації напруги, щоб отримати постійну напругу на виході. Вони з'єднані паралельно, щоб зменшити еквівалентний послідовний опір (ЕПО) і тим самим підвищити ККД.

Ємність конденсаторів пов'язана з максимальною пульсацією напруги на виході і визначається наступними виразами в залежності від режиму роботи перетворювача.

Для понижуючого режиму.

$$C_{parallel} \geq \frac{(1-D)}{8Lf_{switch}^2} \left(\frac{V_{out}}{V_{ripple}} \right) \quad 0 \leq D \leq 1 \quad \geq \quad \frac{1}{8Lf_{switch}^2} \left(\frac{V_{out}}{V_{ripple}} \right). \quad (3.4)$$

Для підвищуючого режиму.

$$C_{parallel} \geq \frac{D}{Rf_{switch}} \left(\frac{V_{out}}{V_{ripple}} \right) \quad 0 \leq D \leq 1 \quad \geq \quad \frac{1}{Rf_{switch}} \left(\frac{V_{out}}{V_{ripple}} \right). \quad (3.5)$$

Для понижуючого-підвищуючого режиму.

$$C_{parallel} \geq \frac{D}{Rf_{switch}} \left(\frac{V_{out}}{V_{ripple}} \right) \quad 0 \leq D \leq 1 \quad \geq \quad \frac{1}{Rf_{switch}} \left(\frac{V_{out}}{V_{ripple}} \right). \quad (3.6)$$

Беручи ті самі параметри, що й у випадку з котушкою індуктивності, і враховуючи, що $V_{ripple}/V_{out} \leq 1\%$ впливає, $C_{parallel} \geq 50\mu F$, з (3.4) і $C_{parallel} \geq 200\mu F$ з (3.5) і (3.6).

Виберемо $C_{parallel} = 2000\mu F$ для кожного кінця перетворювача, тому що тоді він стане більш стійким до шумів, коливань вхідної напруги та роботи РПП.

Виберемо конденсатори 108CKS050M компанії ILLINOIS CAPACITOR з $C = 1000\mu F$, $V = 50 V$ і $EPO_{max} = 166m\Omega$.

У перетворювачі використаємо ключі на MOSFET-транзисторах, тому, що вони мають низький вхідний опір і надійність, а це забезпечує високу потужність. Пара Р-канальних і N-канальних MOSFET-транзисторів забезпечує синхронне перемикавання, щоб зменшити втрати порівняно з використанням діода, і дозволяє перетворювачу працювати в двонаправленому режимі.

У синхронних перетворювачах зазвичай використовують здвоєні N-канальні MOSFET-транзисторів, оскільки вони забезпечують менший опір увімкнення. Однак, в будемо використовувати пару Р-канальних і N-канальних MOSFET-транзисторів, оскільки Р-канальний MOSFET-транзистор здатний постійно пропускати струм між котушкою індуктивності і зовнішніми вузлами, а цей факт необхідний для того, щоб змусити його працювати з контролером Bang-Bang і забезпечити двонаправлену поведінку.

Неідеальна поведінка MOSFET-транзисторів як перемикачів, а також внутрішній опір котушки індуктивності і конденсаторів впливають на ефективність перетворювача.

Виберемо MOSFET-транзистори IRF4905 та IRF3205 фірми INTERNATIONAL RECTIFIER. IRF4905 - це Р-канальний MOSFET-транзистор та IRF3205 - N-канальний MOSFET-транзистор.

Як зазначено в [21] і [22], силові MOSFET-транзистори мають великий потенціал як перемикачі для високошвидкісних високовольтних застосувань, таких як імпульсне живлення. Хоча MOSFET-транзистор за своєю суттю здатний до швидкого перемикавання, індуктивність корпусу

та внутрішні ємності значною мірою погіршують продуктивність пристрою.

Ці паразитні опори негативно впливають на ефективність перемикача і, отже, знижують ефективність перетворювача. Для боротьби з цим фактом існують MOSFET-драйвери, які дозволяють накачувати великий струм на затвор MOSFET-транзистора, а потім здійснювати швидкий перехід між станами перемикача, наприклад, FAN3278. На рисунку 3.3 зображені MOSFET-драйвери.

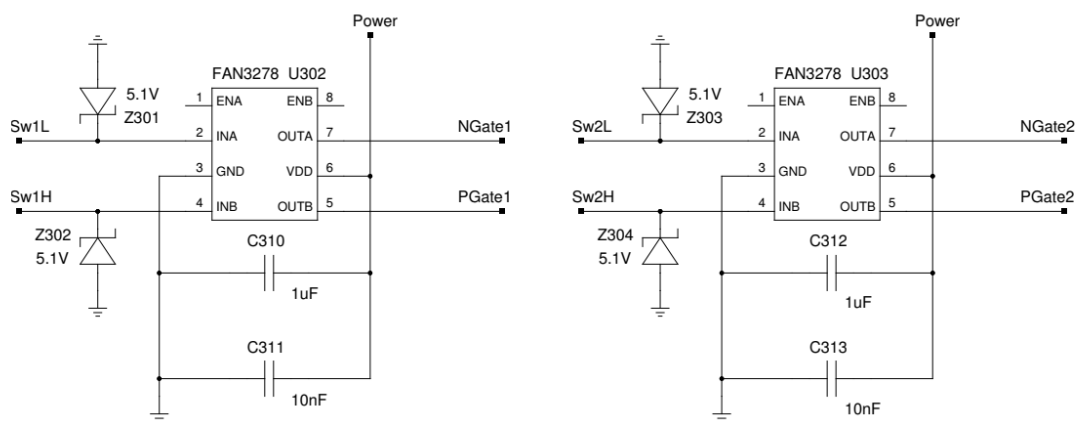


Рисунок 3.3 – MOSFET-драйвери

FAN3278 [23] - це подвійний драйвер затворів транзисторів на 1,5 А, оптимізований для керування високовольтним Р-канальним MOSFET-транзистор і низьковольтним N-канальним MOSFET-транзистором у системах керування перемиканнями, що працюють з напругою до 27 В.

Внутрішня схема обмежує напругу, що подається на затвори зовнішніх MOSFET-транзисторів, до 13 В максимум. Цей компонент

включає в себе MOSFET-пристрої для кінцевого вихідного каскаду, що забезпечують високий струм під час переходу вмикання/вимикання MOSFET-транзисторів для мінімізації втрат на перемикання.

На рисунку 3.3 показано, як було підключено драйвери FAN3278. Крім того, до кожного входу підключено стабілітрон на 5,1 В, щоб захистити мікроконтролер від перенапруги.

Датчики потрібні для моніторингу декількох змінних перетворювача, щоб застосувати відповідну реакцію через драйвери MOSFET-транзисторів. При управлінні за принципом Bang-Bang необхідно контролювати три змінні: вхідну напругу, вихідну напругу і струм індуктивності.

Значення вхідної та вихідної напруги отримуються за допомогою подільника напруги, а потім зчитуються за допомогою АЦП (аналого-цифрового перетворювача) мікроконтролера. Зв'язок між входом і виходом подільника напруги описується виразом (3.7).

$$V_{ADCx} = \frac{12 \text{ k}\Omega}{100 \text{ k}\Omega + 12 \text{ k}\Omega} V = \frac{3}{28} V. \quad (3.7)$$

Таким чином, мікроконтролер може зчитувати значення напруги в діапазоні від 0 В до 30,8 В. Крім того, для фільтрації шумів було додано конденсатор 1 нФ, який забезпечує частоту зрізу, яка визначається виразом (3.8).

$$f_{filter \text{ ADC}} = \frac{1}{2\pi RC} \cong 72 \text{ кГц}. \quad (3.8)$$

Крім того, до кожного подільника було підключено стабілітрон на напругу 5,1 В, завдяки чому мікроконтролер захищено від пошкоджень. На рисунку 3.4 показано схему для кожної напруги, яку потрібно виміряти.

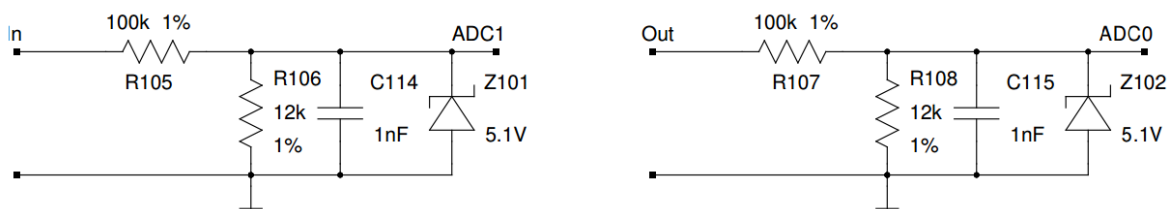


Рисунок 3.4 – Схеми подільників напруги на вході та на виході

ACS710 - це прецизійна лінійна інтегральна схема датчика Холла з мідним провідником, розташованим поблизу поверхні кремнієвої матриці. Прикладений струм протікає через мідний провідник, і аналогова вихідна напруга з датчика Холла лінійно відстежує магнітне поле, що генерується прикладеним струмом.

Ця вихідна напруга, пропорційна струму, і нульовий опорний струм зчитуються двома АЦП мікроконтролера, після чого можна отримати значення струму, що протікає через котушку індуктивності. На рисунку 3.5 показано, як датчик струму був підключений до мікроконтролера.

Двонаправлений датчик необхідний для отримання значення струму дроселя, а також необхідно, щоб він мав менший послідовний опір для максимізації ефективності перетворювача. Датчик струму Allegro ACS710 [24] є економічним і точним засобом для вимірювання струму і ідеально відповідає вимогам перетворювача.

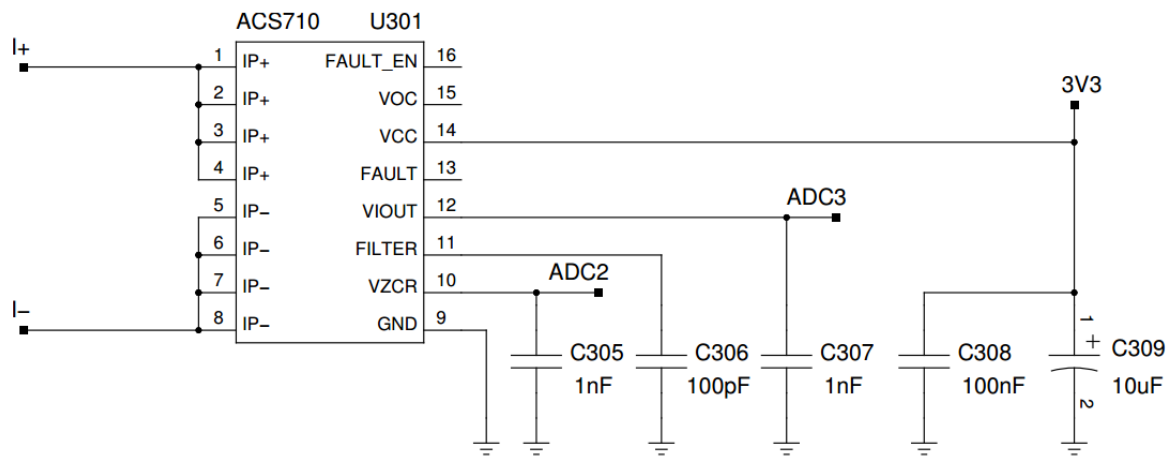


Рисунок 3.5 – Схеми двонаправленого датчика струму

Відповідно до специфікацій ACS710, конденсатор ємністю 100 пФ, підключений до виводу FILTER, забезпечує смугу пропускання вихідного сигналу 120 кГц. Крім того, деякі конденсатори підключені до входу живлення і сигнальних виходів для зменшення шуму.

Зв'язок між струмом індуктивності та напругою, що зчитується мікроконтролером, описується наступною залежністю:

$$I_l = \frac{2(V_{ADC3} - V_{ADC2})}{0.151}. \quad (3.9)$$

Це справедливо для струму в діапазоні $-7,5 \text{ A} \leq I_l \leq 7,5 \text{ A}$ із загальною похибкою виходу 1,6 % від показань.

Вся логіка керування та мікроконтролер живляться як від вхідної, так і від вихідної напруги перетворювача. Як показано на рисунку 3.6, двоанодний діод зі спільним катодом MBR2425CT забезпечує живлення,

необхідне для живлення драйверів MOSFET-транзисторів і стабілізатора 3,3 В NCV4274A.

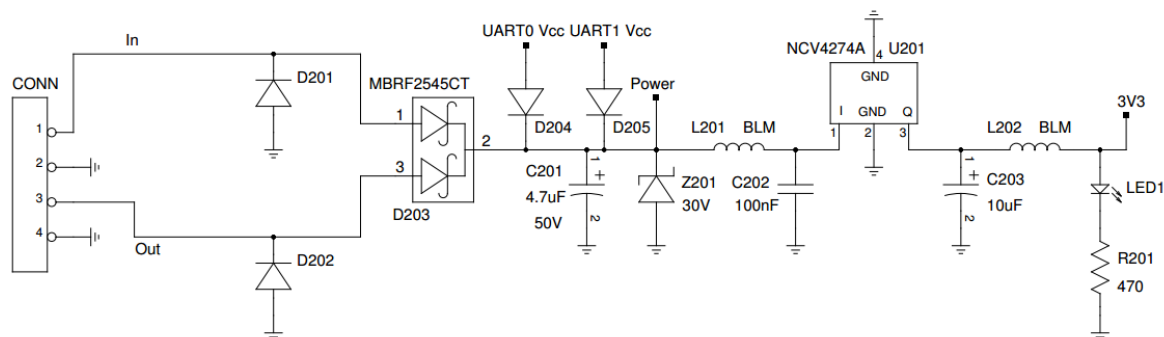


Рисунок 3.6 – Схеми блоку живлення

NCV4274A - це стабілізатор напруги з низьким падінням, який видає на виході 3,3 В при діапазоні вхідної напруги від 4,5 В до 40 В і максимальному вихідному струмі 400 мА. Він використовується для живлення датчика струму, мікроконтролера і логіки порту Ethernet.

LPC1768 - це мікроконтролер на базі ARM Cortex-M3 для вбудованих додатків з високим рівнем інтеграції та низьким енергоспоживанням. ARM Cortex-M3 - це ядро нового покоління, яке пропонує системні покращення, такі як розширені можливості налагодження та вищий рівень інтеграції допоміжних блоків.

LPC1768 живиться напругою 3,3 В від стабілізатора напруги NCV4274A. Набір конденсаторів і котушок індуктивності підключено до виводів живлення для фільтрації шумів.

Крім того, кварцовий генератор на 12 МГц забезпечує зовнішній тактовий сигнал для мікроконтролера, а до сигналу скидання

4. Чотири 12-бітних аналого-цифрових перетворювача (АЦП) з частотою перетворення до 200 кГц.

Чотири аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) LPC1768 підключені до датчиків, і їхні показники використовуються для визначення стану основних змінних перетворювача.

Ці АЦП знімають показання з точністю 12 біт на робочій частоті 200 кГц, а отже, мікроконтролер може перевіряти значення змінних стану з частотою 50 кГц без втрати точності.

ADC0 і ADC1 використовуються для вимірювання напруги на кінцях перетворювача, а ADC2 і ADC3 підключені до виходів датчика струму.

До входів драйверів MOSFET-транзисторів підключено чотири виводи з цифровою поведінкою входів і виходів. Це дозволяє мікроконтролеру контролювати стан чотирьох MOSFET-транзисторів, а потім вирішувати, як працює весь перетворювач. Крім того, два інших загальних вихідних виводи підключені до світлодіодних діодів, щоб забезпечити візуальний сигнал для тестових програм.

З'єднання Ethernet базується на дуже поширеній архітектурі під назвою RMII (Reduced Media Independent Interface). RMII - це стандарт, який стосується підключення приймачів фізичного рівня Ethernet (PHY) до комутаторів Ethernet або MAC-частини інтерфейсу Ethernet кінцевого пристрою.

Він зменшує кількість сигналів/контактів, необхідних для підключення до PHY, з 16 (для MII-сумісного інтерфейсу) до 6-10.

Розроблений інтерфейс зображено на рисунку 3.8. Він базується на загальній конструкції для RMIІ, що працює на швидкості 10 МГц.

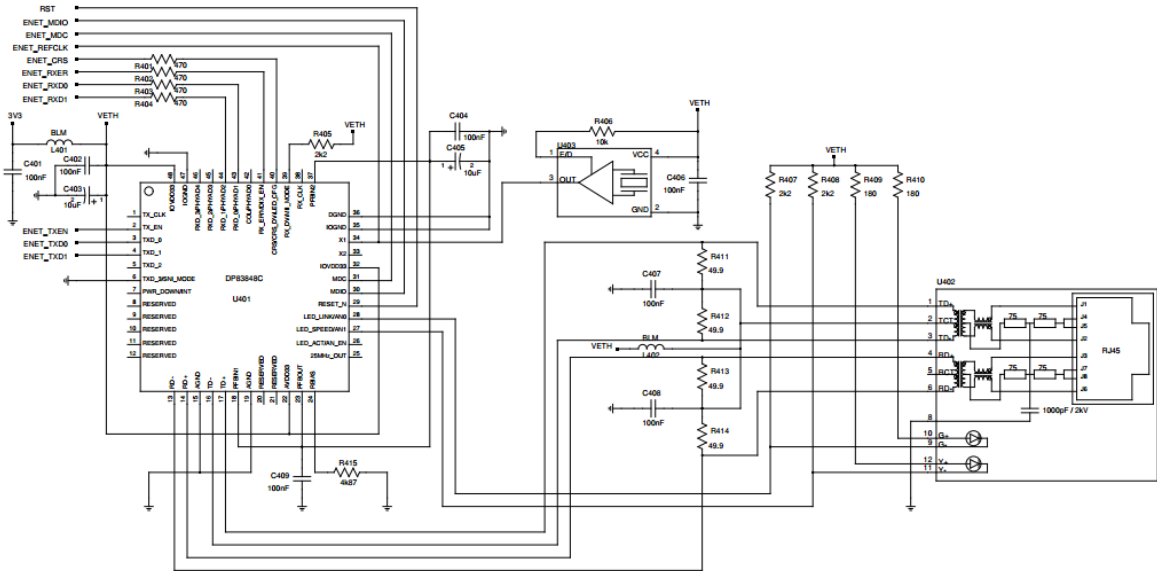


Рисунок 3.8 – Схеми під'єднання до Ethernet

Цей інтерфейс Ethernet, разом з двонаправленою поведінкою ядра перетворювача, забезпечує можливість інтеграції перетворювача в інтелектуальні мережі. Таким чином, можна керувати потоками енергії в мікромережі [25] між окремими елементами та забезпечувати необхідну їм напругу та струм.

Крім того, така конфігурація може стати інструментом для розробки методів зв'язку для дистанційного керування або моторизації перетворювача.

Два послідовних універсальних асинхронних приймачів-передавачів (УАПП) зарезервовані для використання їх як портів зв'язку для зміни параметрів конвертера. Це UART0 і UART1.

Крім того, послідовний порт UART0 можна використовувати для програмування або перепрограмування вбудованої флеш-пам'яті за допомогою програмного завантажувача. Цей метод називається внутрішньо-системне програмування (ВСП).

Код завантажувача флеш-пам'яті виконується кожного разу, коли пристрій вмикається або перезавантажується. Завантажувач може виконувати обробник команд ВСП або код користувацької програми.

Низький рівень після скидання на виводі P2.10 вважається зовнішнім апаратним запитом на запуск обробника команд ВСП. Якщо припустити, що виводи живлення знаходяться на своїх номінальних рівнях, коли формується передній фронт сигналу на виводі RESET, то може пройти до 3 мс, перш ніж буде зроблено вибірку P2.10 і прийнято рішення про продовження роботи з кодом користувача або оброблювачем ВСП.

Якщо рівень P2.10 низький і встановлений прапорець переповнення сторожового таймера, зовнішній апаратний запит на запуск обробника команд ВСП ігнорується. Якщо немає запиту на виконання обробника команд ВСП (P2.10 після скидання є високим), виконується пошук допустимої користувацької програми.

Якщо знайдено коректну програму користувача, то управління виконанням передається їй. Якщо допустиму програму користувача не знайдено, викликається підпрограма автоматичної передачі даних.

Вивід P2.10 використовується як апаратний сигнал запиту до провайдера і може бути згенерований за допомогою кнопки, підключеної до P2.10.

Після скидання P2.10 перебуває у високоімпедансному режимі, після чого підтягуючий резистор забезпечує зовнішній високий рівень, щоб перевести вивід у визначений стан. Ця конфігурація, а також конфігурація з кнопкою скидання, показана на рисунку 3.9.

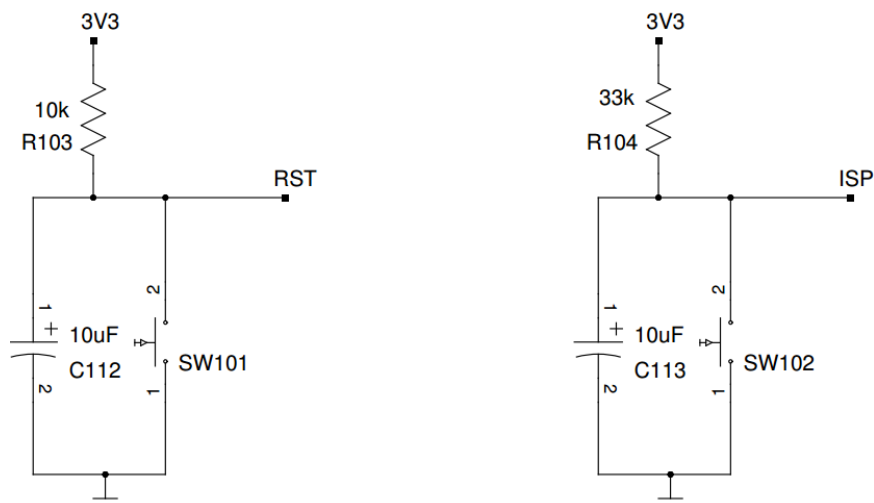


Рисунок 3.9 – Схеми під'єднання кнопок

Одне із застосувань перетворювача - це управління енергією, що зберігається в батареї суперконденсаторів. Для створення батареї були використані суперконденсатори BCAP3000 [1] від MAXWELL TECHNOLOGIES з ємністю 3000F, які допускають максимальну напругу між своїми клемми 2,7 В.

Перевищення цієї напруги може призвести до незворотного пошкодження суперконденсаторів. Тому для їх захисту було розроблено схему захисту від перенапруги, яка замінила балансувальну схему.

Це кілька альтернативних варіантів побудови схеми захисту від перенапруги. Можна використовувати балансувальний ланцюг між усіма

парами, який утримує всі пари на однаковій напрузі, а максимальну напругу 2,7 В можна контролювати, відстежуючи напругу акумулятора. Цей варіант має низьку ефективність і багато енергії втрачається під час процесу балансування.

Іншою альтернативою може бути схема, яка перемикає накопичену енергію між тією чи іншою парою конденсаторів за тим же принципом, що і перетворювач постійного струму. Це було б найбільш ефективною альтернативою, але вона вимагає багато апаратного забезпечення для своєї роботи. Для того, щоб зосередити розробку апаратного забезпечення на конвертері, було обрано варіант, який відповідає ефективності та мінімальним апаратним вимогам.

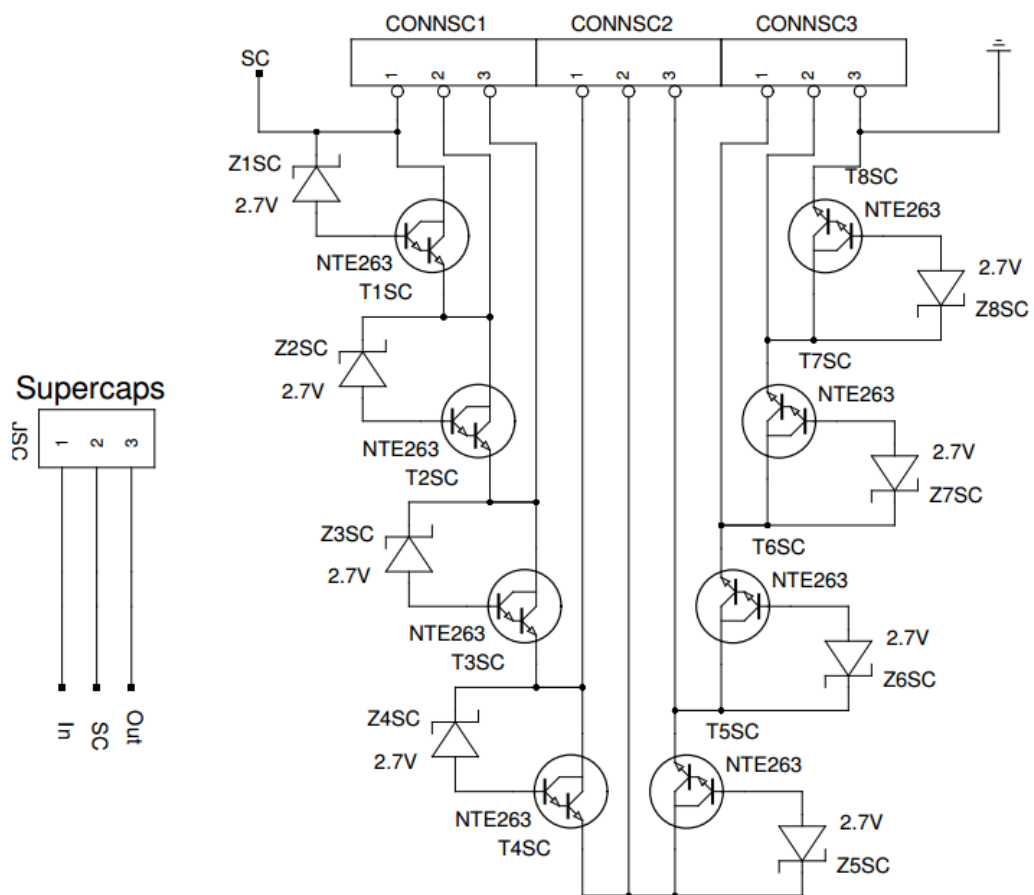


Рисунок 3.10 – Схеми захисту суперконденсаторів

На рисунку 3.10 показано схему захисту від перенапруги, яка може діяти через вісім пар суперконденсаторів. Кожна з них побудована на базі NPN транзистора, керованого 2,7 стабілітроном. Стабілітрони починають проводити струм, коли напруга між клемми суперконденсаторів наближається до 2,7 В. Тоді струм, що протікає через них, потрапляє на базу NPN транзисторів, які починають пропускати струм між виводами суперконденсаторів.

3.2 Розробка програми роботи пристрою керування суперконденсаторною батареєю

Основний генератор використовується як джерело тактової частоти для центрального процесора з використанням фазового автопідстроювання (ФАП). Основний генератор - це кварцовий генератор, який працює на частоті 12 МГц. Ця частота підвищується до максимальної робочої частоти процесора за допомогою основного ФАП (PLL0). Вихід генератора називається `osc_clk`, а тактова частота мікропроцесора - `scclk`, як показано на рисунку 3.11.

До входу PLL0 (`sysclk`), що має бути в діапазоні від 32 кГц до 50 МГц, підключено вихід генератора `osc_clk` і, таким чином, він має частоту 12 МГц. Спочатку вона ділиться на значення "N", яке може бути в діапазоні від 1 до 256. Такий поділ вхідного сигналу забезпечує більшу кількість можливостей для отримання широкого діапазону вихідних частот з тієї ж вхідної частоти. У цьому випадку значення "N" дорівнює 3.

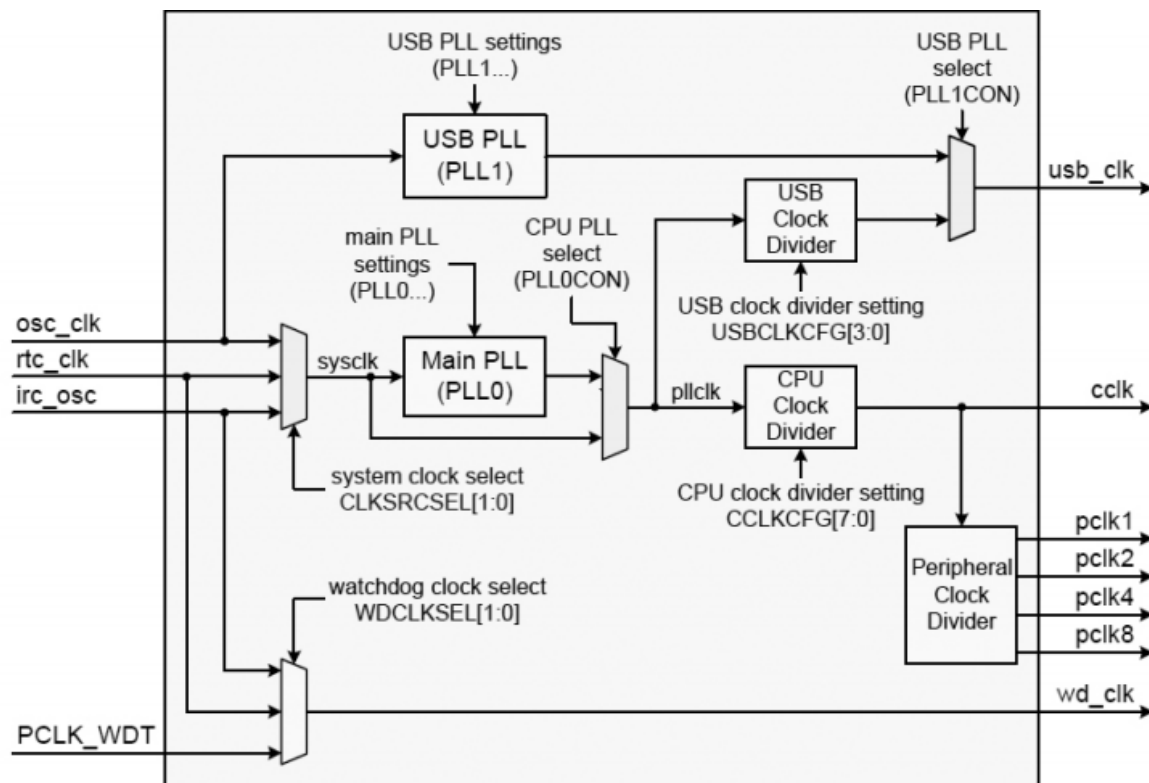


Рисунок 3.11 – Схеми тактового генератора

Після плдільника вхідного сигналу PLL0 знаходиться помножувач ФАП. Він може помножити вихід вхідного дільника за допомогою генератора, керованого струмом (ГКС), на значення "М", в діапазоні від 6 до 512.

Результуюча частота повинна бути в діапазоні від 275 МГц до 550 МГц. Перемножувач працює шляхом ділення виходу ГКС або `pllclk` на значення М, а потім за допомогою фазочастотного детектора порівнює `pllclk` з входом перемножувача.

Значення похибки використовується для налаштування частоти `pllclk`. Для параметра "М" було обрано значення 50, що дає частоту 400 МГц. Структуру ФАП показано на рисунку 3.12.

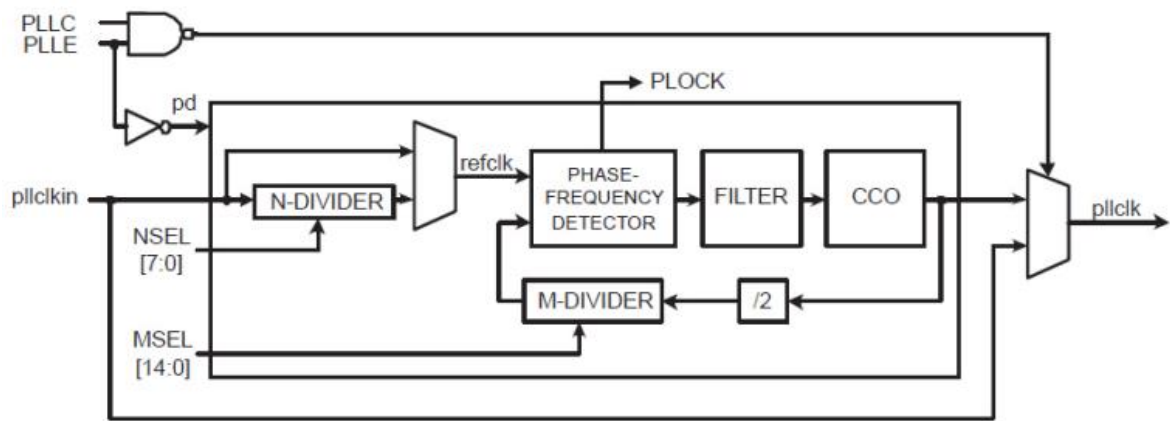


Рисунок 3.12 – Схеми ФАП

На виході PLL0 є додаткові дільники, щоб знизити частоту до тієї, що потрібна для процесора і периферії, наприклад, подільник частоти процесора (ПЧП). Для ПЧП встановлено значення 4. Він ділить тактову частоту PLL0 і забезпечує тактову частоту 100 МГц для системи. Рівняння 3.10 описує, як отримується основна тактова частота 100 МГц.

$$\left. \begin{array}{l} f_{osc_clk} = 12\text{МГц} \\ M = 50 \\ N = 3 \\ CCD = 4 \end{array} \right\} f_{cclk} = \frac{f_{pllclk}}{CCD} = \frac{2 \cdot M \cdot f_{osc_clk}}{N \cdot CCD} = 100\text{МГц}. \quad (3.10)$$

Чотири АЦП (аналоґо-цифрові перетворювачі) використовуються для моніторинґу основних змінних перетворювача. До них відносяться:

1. АЦП0 для вихідної напруги (V_{out}).
2. АЦП1 для входної напруги (V_{in}).
3. АЦП2 для нульового опорного струму (I_{ref}).
4. АЦП3 для струму індуктивності (I_L).

Вхідний тактовий сигнал для кожного з АЦП ($pclk$) має частоту 25 МГц, тому що було обрано подільник на чотири над $cclk$ (100 МГц). Цей програмований подільник включено до кожного перетворювача для масштабування цього тактового сигналу до тактової частоти, необхідної для процесу послідовного наближення АЦП.

Згідно зі специфікацією, максимальна частота для 12-бітової точності перетворення становить 13 МГц, отже, при робочій частоті 25 МГц точність аналого-цифрового перетворення становить близько 10 біт. Більше того, для повністю точного перетворення потрібно 65 таких тактів, тобто частота дискретизації кожного АЦП:

$$f_{\text{АЦП}} = \frac{f_{clk_ADC}}{65} = \frac{f_{cclk}}{4 \cdot 65} \approx 385 \text{ к виборок/с.} \quad (3.11)$$

Враховуючи, що чотири змінні стану повинні бути відомі для пристрою керування суперконденсаторною батареєю, максимальна частота керування буде:

$$f_{control_max} = \frac{f_{ADC}}{4} \approx 96 \text{ кГц.} \quad (3.12)$$

Крім того, переривання АЦП було запрограмовано на послідовне зчитування АЦП від 0 до 3, утворюючи цикл переривання.

Послідовний порт UART0 було сконфігуровано для забезпечення послідовного зв'язку і, таким чином, можливості зміни параметрів перетворювача, таких як бажана вихідна напруга або максимальний

струм індуктивності, без перепрограмування мікропрограми мікроконтролера.

Швидкість передачі даних UART0 було встановлено на 115200 біт/с, налаштувавши відповідні регістри та дотримуючись співвідношення рівняння 3.13.

$$\left\{ \begin{array}{l} f_{cclk} = 100\text{МГц}, UnDLM = 0, UnDLL = 37, \\ DivAddVal = 7, MultiVal = 15 \end{array} \right\} \quad (3.13)$$

$$baud_{UART0} = \frac{f_{cclk}}{16 \cdot (256 \cdot UnDLM + UnDLL) \cdot \left(1 + \frac{DivAddVal}{MultiVal}\right)} \approx 115200\text{bps} \quad (3.14)$$

Крім того, було встановлено вісім біт даних, один стоп-біт та відсутність біта парності. Таким чином, послідовна конфігурація має вигляд 115200 8N1.

Інші початкові конфігурації, які виконуються на початку коду, є наступними.

1. Встановлення цифрових виходів для сигналів керування. Вони підключаються до MOSFET-драйверів і тоді мікроконтролер може керувати станом перемикачів за допомогою них.

2. Ініціалізація таймер повторного переривання (ТПП). Він використовується для реалізації захисту від наскрізного струму та обмеження зворотного струму.

3. Встановлення як цифрових виходів контактів, які підключені до двох світлодіодів. Їх можна використовувати як тестові виводи або для візуального контролю.

4. Ініціалізація внутрішніх змінних. Вони використовуються для зберігання змінних стану та параметрів конвертера

$(V_{out}, V_{in}, I_l, I_{ref}, V_{max}, I_{max}, V_{ref})$.

Після процесу ініціалізації LPC1768 запускає нескінченний цикл, в якому відбуваються операції, необхідні для виконання керування. У цьому основному циклі LPC1768 постійно виконує функцію (обробку команди), яка перевіряє, чи була отримана команда через UART0.

Якщо так, то отримана команда приймається і виконується відповідна підпрограма. Цей процес виконується до тих пір, поки прапорець (UpdateChannel) не буде встановлений перериванням АЦП.

Цей прапорець вказує на те, що чотири АЦП було прочитано і після цього можна виконувати функцію керування. На рисунку 3.13 показано блок-схему основного циклу.

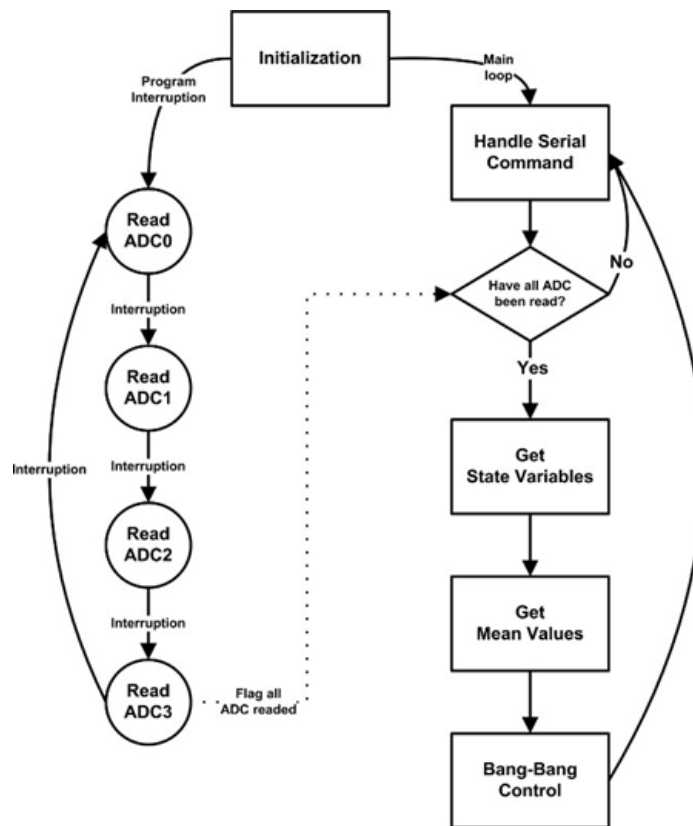


Рисунок 3.13 – Основний контур, керований перериваннями АЦП

Після встановлення прапорця АЦП отримані значення вихідної та вхідної напруги, а також струму індуктивності піддаються низькочастотній фільтрації, щоб видалити шум з показань. Він також може відкидати деякі зразки, виявлені як збої, спричинені периферійними пристроями АЦП.

Цей факт був помічений і протиставлений деякими користувачами LPC1768 [27]. Іншим важливим фактором, який було враховано, є те, що і фільтрація, і збережені значення змінних стану мають цілочисельний формат, оскільки він дозволяє працювати швидше, ніж формати з плаваючою комою.

Після цього інша функція (MeanValues) відповідає за обчислення середніх значень змінних стану кожні 100000 зчитувань. Ці значення використовуються для звіту про стан перетворювача через послідовний порт і можуть бути використані для керування ТМП або інших удосконалень.

Алгоритм роботи пристрою керування суперконденсаторною батареєю, який реалізовано у LPC1768, показано на рисунку 3.14. Він виконується кожного разу, коли змінні стану зчитуються з а допомогою АЦП, і визначає стан MOSFET-транзисторів перетворювача.

Кроки алгоритму наступні.

Якщо $V_{ref} = 0$, перетворювач переходить у стан ALL OFF. Тоді всі транзистори відключені і струм через котушку індуктивності не протікає. V_{ref} - це бажана стабільна напруга на виході, вона може бути налаштована в діапазоні $0 \leq V_{ref} \leq V_{max}$ і її початкове значення $V_{ref} = 0$.

Якщо $V_{out} > V_{max}$, перетворювач переходить у стан

значення становить $V_{max} = 25$ В.

Якщо $I_l > I_{max}$, струм, що протікає через котушку індуктивності, необхідно зменшити. I_{max} задає максимальний струм на котушці індуктивності, він може бути налаштований в діапазоні $0 \leq I_{max} \leq 6$ і його початкове значення $I_{max} = 1$. Існує дві альтернативи залежно від вхідної та вихідної напруги.

Якщо $V_{out} > V_{in}$, перетворювач переходить у стан BOOST OFF. В цьому випадку струм можна зменшити, не відключаючи індуктор від вхідного живлення. В іншому випадку перетворювач переходить у стан BUCK OFF і дросель відключається від вхідного живлення.

Якщо $V_{ref} > V_{in}$, перетворювач повинен працювати в режимі форсування.

Якщо $V_{out} > V_{ref}$, перетворювач повинен зменшити напругу на своєму виході. Залежно від струму, що протікає через котушку індуктивності, можливий перехід у стан BOOST OFF або BOOST SOFT. Вибір між цими режимами дає змогу захистити перетворювач від пробою та зворотного струму.

В іншому випадку перетворювач переходить у стан BOOST ON. Тоді струм, необхідний для підвищення вихідної напруги до значення V_{ref} , забезпечується вхідним живленням.

Врешті-решт, якщо $V_{ref} \leq V_{in}$, перетворювач повинен працювати в режимі пониження. Так само, як і в режимі підвищення, перетворювач повинен перейти в належний стан в залежності від співвідношення між V_{out} і V_{ref} , а також від струму, що протікає через індуктор. BUCK OFF, BUCK SOFT і BUCK ON є еквівалентними станами для режиму підвищення.

Кожному стану перетворювача відповідає комбінація вимкненого або активного стану MOSFET-транзисторів.

Таблиця 3.1 – Стани MOSFET-транзисторів

State	N-канал 1	P-канал 1	N-канал 2	P-канал 2
BUCK OFF	УВИМКНЕНО	ВИМКНЕНО	ВИМКНЕНО	УВИМКНЕНО
BUCK SOFT	ВИМКНЕНО	ВИМКНЕНО	ВИМКНЕНО	УВИМКНЕНО
BUCK ON	ВИМКНЕНО	УВИМКНЕНО	ВИМКНЕНО	УВИМКНЕНО
BOOST OFF	ВИМКНЕНО	УВИМКНЕНО	ВИМКНЕНО	УВИМКНЕНО
BOOST SOFT	ВИМКНЕНО	УВИМКНЕНО	ВИМКНЕНО	ВИМКНЕНО
BOOST OF	ВИМКНЕНО	УВИМКНЕНО	УВИМКНЕНО	ВИМКНЕНО
DISCHARGE	УВИМКНЕНО	ВИМКНЕНО	УВИМКНЕНО	ВИМКНЕНО
ALL OFF	ВИМКНЕНО	ВИМКНЕНО	ВИМКНЕНО	ВИМКНЕНО

Перехід між цими станами може спричинити негативний вплив на ефективність перетворювача. Це явище називається пробоем, і для мінімізації його наслідків було реалізовано механізм.

Крім того, до станів, наведених у таблиці 3.1, додано ще два стани, які необхідні для реалізації керування, щоб уникнути ще одного негативного ефекту, який називається зворотним струмом.

Обидва ефекти з'являються в синхронних перетворювачах, і їх потрібно мінімізувати, щоб отримати вищий ККД, ніж у несинхронних перетворювачах.

Пробій визначається як стан, коли обидва MOSFET-транзистори (P-канал і N-канал) повністю або частково увімкнені, забезпечуючи шлях для струму пробоем від V_{in} або V_{out} до GND у відповідності до рисунку 3.15 [28].

Щоб звести до мінімуму пробій, синхронні стабілізатори напруги або підсилювачі використовують одну з двох технологій, які

забезпечують роботу транзисторів за принципом «перерва перед початком роботи».

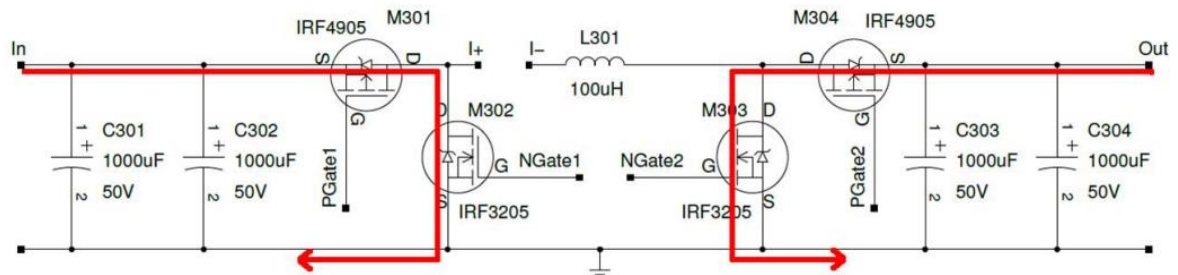


Рисунок 3.15 – Ефект наскрізного пробою

1. Фіксований "мертвий час".

MOSFET-транзистор вимикається, після чого забезпечується фіксована затримка перед увімкненням низького рівня. Ця схема проста і зазвичай ефективна, але страждає від її недостатньої гнучкості, якщо з даним контролером потрібно використовувати широкий діапазон ємностей затвора MOSFET-транзистора.

Занадто довгий мертвий час означає високі втрати провідності. Занадто короткий час затримки може призвести до пробою. Фіксований час очікування, як правило, повинен відхилятися в бік "занадто довгого", щоб дозволити MOSFET-транзисторам повністю розрядитися перед вмиканням додаткового MOSFET-транзистора.

2. Адаптивний привід затвора.

Цей метод аналізує напругу на затворі MOSFET-транзистора, який вимикається, щоб визначити, коли ввімкнути додатковий MOSFET-транзистор. Теоретично, адаптивний привід затвора забезпечує

найкоротший можливий мертвий час для даного MOSFET-транзистора без пробою.

Метод фіксованого "мертвого часу" було обрано тому, що його можна легко реалізувати без додавання додаткового обладнання до перетворювача (у методі 2 для кожного транзистора потрібен додатковий АЦП). За "мертвий час" було обрано 2 мкс, оскільки цього достатньо для розрядки затвору активного транзистора. На рисунку 3.16 показано поведінку сигналів керування в захисті від пробойів.

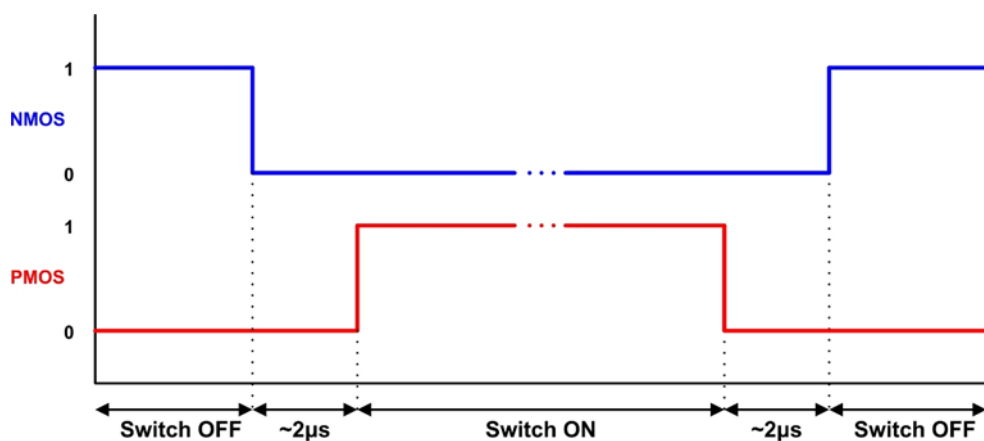


Рисунок 3.16 – Захист від наскрізного пробую

"Мертвий час" контролюється таймером повторюваних переривань (ТПП) і встановлюється кожного разу, коли змінюється стан перетворювача. Однак, якщо ефект пробую відсутній у поточному переході стану, мікроконтролер ігнорує цей фіксований "мертвий час" і негайно переходить у відповідний стан.

Зворотна провідність синхронних випрямлячів є основним фактором, що впливає на ефективність перетворювача [29]. У деяких

випадках зворотна провідність може навіть призвести до руйнування перетворювача.

Коли перетворювач працює при повному великому навантаженні (наприклад, з батареєю суперконденсаторів), синхронні випрямлячі завжди більш ефективні, ніж стандартне рішення на діодах Шоттки (за умови, що перетворювач працює на прийнятній частоті менше 500 кГц).

Реалізований метод уникнення ефекту зворотного струму полягає в тому, що транзистори, які пропускають зворотний струм, є активними лише протягом короткого проміжку часу, в даному випадку це близько 8 мкс у відповідності до рисунку 3.17.

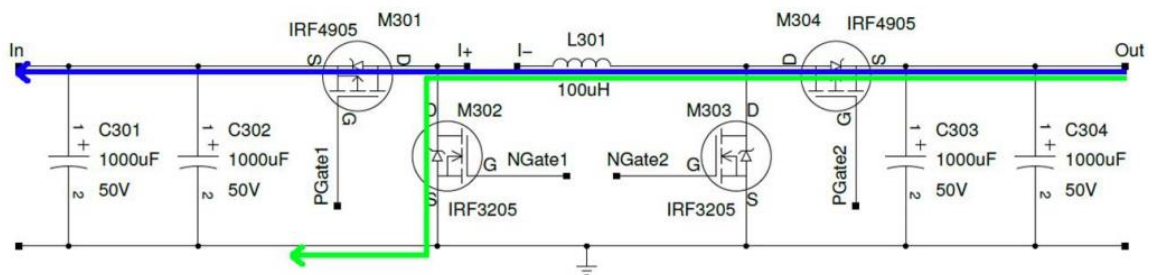


Рисунок 3.17 – Ефект зворотного струму

Це відбувається під час станів BUCK OFF і BOOST OFF. Решту часу до наступного виконання алгоритму ці транзистори (N-канал 1 або P-канал 2) перебувають у відсіченому стані, і струм може протікати через їхні корпусні діоди. Це відповідає станам BUCK SOFT і BOOST SOFT.

Після цього в наступному рішенні контролера перевіряється, чи є струм дроселя додатнім. Якщо так, то мікроконтролер знову повторює

3.3 Висновки до третього розділу

1. Схему електричну пристрою керування суперконденсаторною батареєю двонаправленого DC/DC понижуючого-підвищувального перетворювача було розроблено з урахуванням певних вимог, щоб стати універсальною платформою для розробки програмного забезпечення або архітектури, які включають елементи, пов'язані з зеленими мережами, мікромережами, батареями суперконденсаторів і сонячними панелями.

2. Послідовна комбінація простого підвищувального перетворювача і простого понижувального перетворювача перетворюється на підвищувальний і понижувальний перетворювач, який можна використовувати двонаправлено, залежно від стану перемикачів.

3. У синхронних перетворювачах зазвичай використовують здвоєні N-канальні MOSFET-транзисторів, оскільки вони забезпечують менший опір увімкнення. Однак, в будемо використовувати пару P-канальних і N-канальних MOSFET-транзисторів, оскільки P-канальний MOSFET-транзистор здатний постійно пропускати струм між котушкою індуктивності і зовнішніми вузлами, а цей факт необхідний для того, щоб змусити його працювати з контролером Bang-Bang і забезпечити двонаправлену поведінку.

4. Алгоритм роботи пристрою керування суперконденсаторною батареєю реалізовано у LPC1768. Він виконується кожного разу, коли змінні стану зчитуються з а допомогою АЦП, і визначає стан MOSFET-транзисторів перетворювача.

ВИСНОВКИ

В процесі розробки пристрою керування суперконденсаторною батареєю отримали пристрій, який може забезпечувати програмовану напругу від 4,5 В до 25 В. Апаратне забезпечення пристрою керування суперконденсаторною батареєю може підтримувати до 6 А та здатне контролювати робочий струм, що протікає через перетворювач.

Його можна використовувати з суперконденсаторами, як показано в цій роботі, але його також можна використовувати як загальну платформу для перетворення напруги та енергії.. Результати можна вважати прийнятними, якщо деталі, які пакуються, не дуже крихкі для впливу вібрації, а рівень шуму машини можна вважати прийнятним через те, що вона виконуватиме операцію пакування на промисловому об'єкті.

В першому розділі були розглянуті наступні питання: будова і принцип роботи пристрою керування суперконденсаторною батареєю, а також алгоритм керування пристрою керування суперконденсаторною батареєю.

У другому розділі розроблено математичну модель пристрою керування суперконденсаторною батареєю, який моделює рівень освітлення сонячної батареї та її температуру, сонячну батарею та підвищуючий перетворювач напруги.

У третьому розділі розроблено схему електричну принципову та програму роботи пристрою керування суперконденсаторною батареєю.

Electronics, electrical drives, automation and motion, 2008. speedam 2008, Ischia, Italy, 2008, pp.727–732.

9 Chemali, E., McCurlie, L., Howey, B., et al.: ‘Minimizing battery wear in a hybrid energy storage system using a linear quadratic regulator’. Industrial Electronics Society, IECON 2015-41st Annual Conf. of the IEEE, Yokohama, Japan, 2015, pp. 003265–003270.

10 Nwesaty, W., Bratcu, A.I., Sename, O.: ‘Mimo hinf control for power source coordination-application to energy management systems of electric vehicles’. 19th IFAC World Congress (IFAC WC 2014), Le Cap, South Africa, 2014, p.7.

11 Zhang, Y., Jiang, Z.: ‘Control and small-signal analysis of battery and supercapacitor hybrid energy storage systems’, Int. J. Power Electron., 2012,4, (1), pp. 49–70.

12 Jung, H., Conficoni, C., Tilli, A., et al.: ‘Modeling and control design for power systems driven by battery/supercapacitor hybrid energy storage devices’. American Control Conf. (ACC), Washington, DC, USA, 2013, pp.4283–4288.

13 Hredzak, B., Agelidis, V.G.: ‘Direct current control of a battery-ultracapacitor power supply’. IECON 2012-38th Annual Conf. on IEEE Industrial Electronics Society, Sydney, NSW 2052, Australia, 2012, pp. 4024–4028.

14 Hredzak, B., Agelidis, V.G., Jang, M.: ‘A model predictive control system for a hybrid battery-ultracapacitor power source’, IEEE Trans. Power Electron., 2014, 29, (3), pp. 1469–1479.

15 Ilchmann, A.: ‘Non-identifier-based high-gain adaptive control’, ser. Lecture Notes in Control and Information Sciences.

16 Ashman, F.A.J., Ilchmann, A.: ‘High-gain adaptive a-tracking for nonlinear systems’, *Automatica*, 1997, 33, pp. 881–888.

17 Ilchmann, A., Ryan, E.: ‘Universal γ -tracking for nonlinearly-perturbed systems in the presence of noise’, *Automatica*, 1994, 30, (2), pp. 337–346.

18 Hackl, C.M.: ‘Contributions to high-gain adaptive control in mechatronics’. Ph.D. dissertation, Technische Universität München, 2012.

19 Khalil, H.: ‘Nonlinear systems’ (Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2002, 3rd edn (4) (PDF) Battery Super-Capacitor Hybrid System for Electrical Vehicle Transportation’s Systems - An Energy Integrated Approach.

20 I. PVPS et al., “Trends in photovoltaic applications,” Survey report of selected IEA countries between. Режим доступу: <http://iea-pvps.org/>

21 D. Rekioua and E. Matagne, Optimization of photovoltaic power systems: modelization, simulation and control. Springer Science & Business Media, 2012.

22 A. Labouret and M. Villoz, Solar photovoltaic energy. IET, 2010, vol. 9.

23 F. Spertino G. Graditi, “Power conditioning units in grid-connected photovoltaic systems: A comparison with different technologies and wide range of power ratings”, *Solar Energy*, vol. 108, pp. 219-229, 2014.

24 Y. Yang, F. Blaabjerg, H. Wang and M. G. Simões, “Power Control Flexibilities for Grid-Connected Multi-Functional Photovoltaic Inverters”, in Proc, of International Workshop on Integration of Solar Power into Power Systems, November 2014.

25 M. S. ElNozahy, M. M. A. Salama, “Technical impacts of grid-

connected photovoltaic systems on electrical networks – A review”, Journal of Renewable and Sustainable Energy, vol. 5, no. 3, 2013.

26 R. Van Haaren, M. Morjaria, V.Fthenakis, “An energy storage algorithm for ramp rate control of utility scale pv (photovoltaics) plants,” Energy, vol. 91, pp. 894–902, 2015.

27 A. Zahedi, “Maximizing solar PV energy penetration using energy storage technology”, Renewable Sustainable Energy, vol. 15, pp. 866–870, 2011.

28 J. Marcos, O. Storkeil, L. Marroyo, M. Garcia, and E. Lorenzo, “Storage requirements for pv power ramp-rate control,” Solar Energy, vol. 99, pp. 28–35, 2014.

29 M. G. Ippolito, E. Telaretti, G. Zizzo, and G. Graditi, “A new device for the control and the connection to the grid of combined RES-based generators and electric storage systems”, 4th International Conference on Clean Electrical Power: Renewable Energy Resources Impact (ICCEP), pp. 262-267, 2013.

30 G. Graditi, R. Ciavarella, M. Valenti, G. Ferruzzi, G. Zizzo, “Frequency stability in microgrid: control strategies and analysis of BESS aging effects”, International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, (SPEEDAM), pp. 295-299, 2016.

31 Y. Yang, L. Niu, J. Jiang, Y. Boa, D. Zhang, “Research on battery storage system configuration in active distribution networks”, International Journal of Smart Grid and Clean Energy, vol. 4, no 1, pp. 38-44, 2014.

32 E. Telaretti, G. Graditi, M.G. Ippolito, G. Zizzo, “Economic feasibility of stationary electrochemical storages for electric bill management applications: The Italian scenario”, Energy Policy, vol. 94, pp. 126-137, 2016.

33 T. M. I. Mahliaab, T. J. Saktisahdana, A. Jannifarc, M. H. Hasanc, H. S. C. Matseelar, “A review of available methods and development on energy storage; technology update”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 33, pp. 532-545, 2014.

34 O. M. Toledo, D. O. Filho, A. S. A. C. Diniz, “Distributed photovoltaic generation and energy storage systems: A review”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. no.1, pp. 506–511, 2010.

35 C. Jin, P. Wang, J. Xiao, Y. Tang, and F. H. Choo, “Implementation of hierarchical control in dc microgrids,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 61, no. 8, pp. 4032–4042, 2014.

36 N. Kakimoto, H. Satoh, S. Takayama, and K. Nakamura, “Ramprate control of photovoltaic generator with electric double-layer capacitor,” IEEE Trans. Energy Convers., vol. 24, no. 2, pp. 465–473, 2009.

37 J. Xiao, P. Wang, and L. Setyawan, “Hierarchical control of hybrid energy storage system in dc microgrids,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 62, no. 8, pp. 4915–4924, 2015.

38 S. K. Kollimalla, M. K. Mishra, and N. L. Narasamma, “Design and analysis of novel control strategy for battery and supercapacitor storage system,” IEEE Trans. Sustain. Energy, vol. 5, no. 4, pp. 1137–1144, 2014.

39 Y. A.-R. I. Mohamed and H. H. Abdeltawab, “Robust energy management of a hybrid wind and flywheel energy storage system considering flywheel power losses minimization and grid-code constraints,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 63, no. 7, pp. 4242–4254, 2016.

40 S. Muyeen, J. Tamura, and T. Murata, Stability augmentation of a grid-connected wind farm. Springer Science & Business Media, 2008.

ДОДАТКИ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА НА ТЕМУ:

Пристрій керування суперконденсаторною батареєю

Виконав

ст. гр. АКІТ-20-1

Назар ГАРЮК

Науковий керівник

д.т.н., проф.

Валерій МАРТИНЮК

Структурна схема універсального пристрою керування суперконденсаторною батареєю

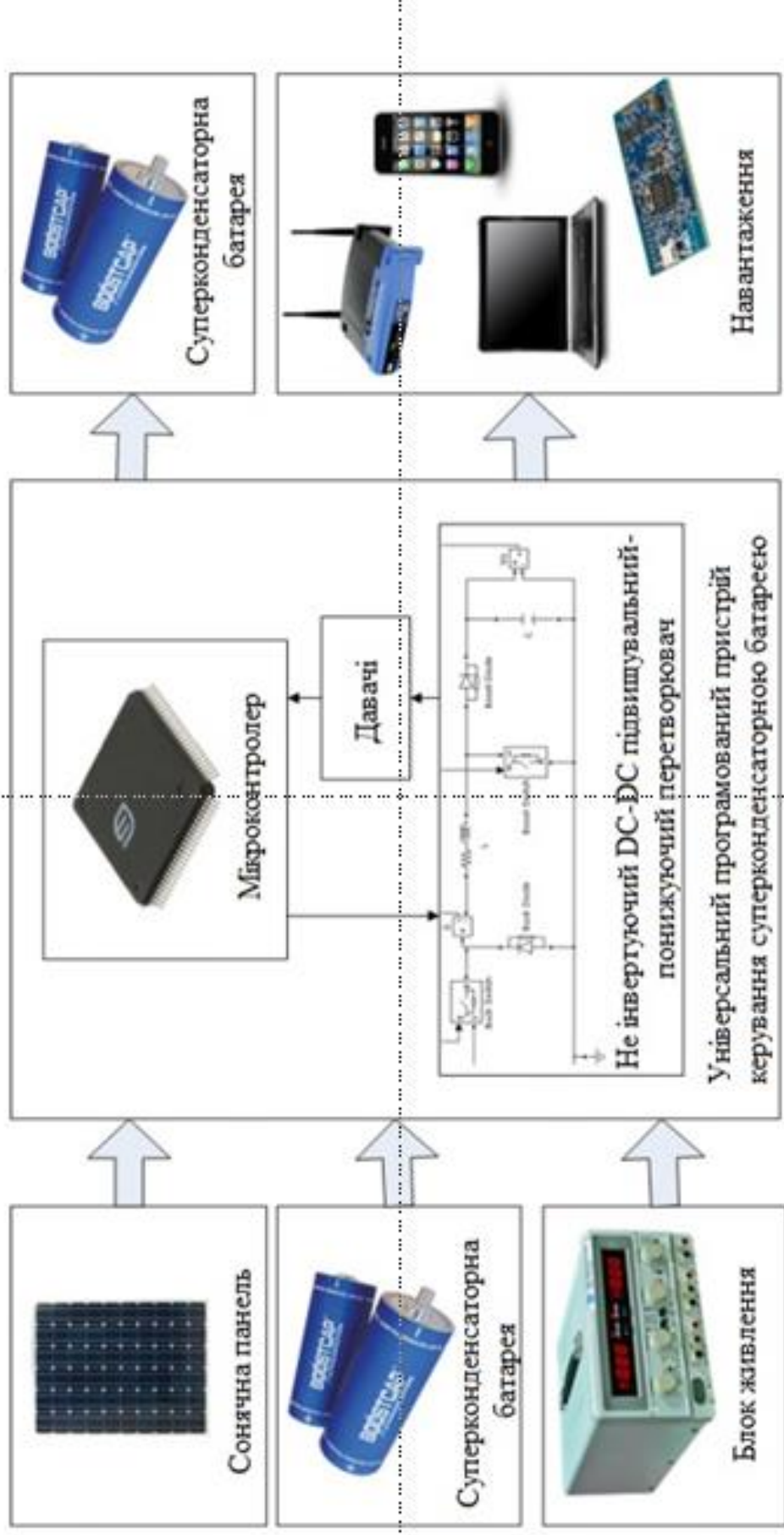


Схема перетворювача напруги для електромобілів

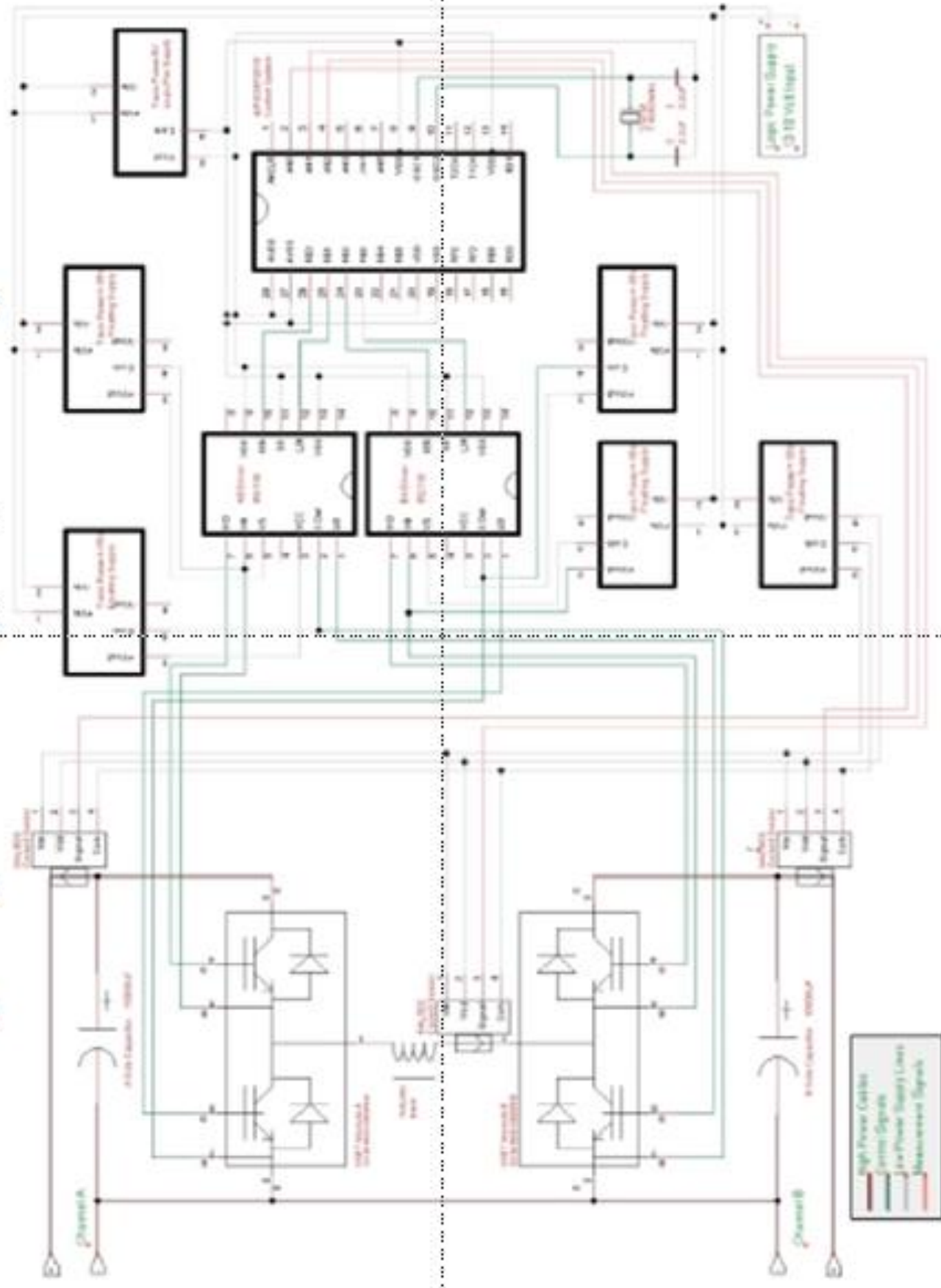
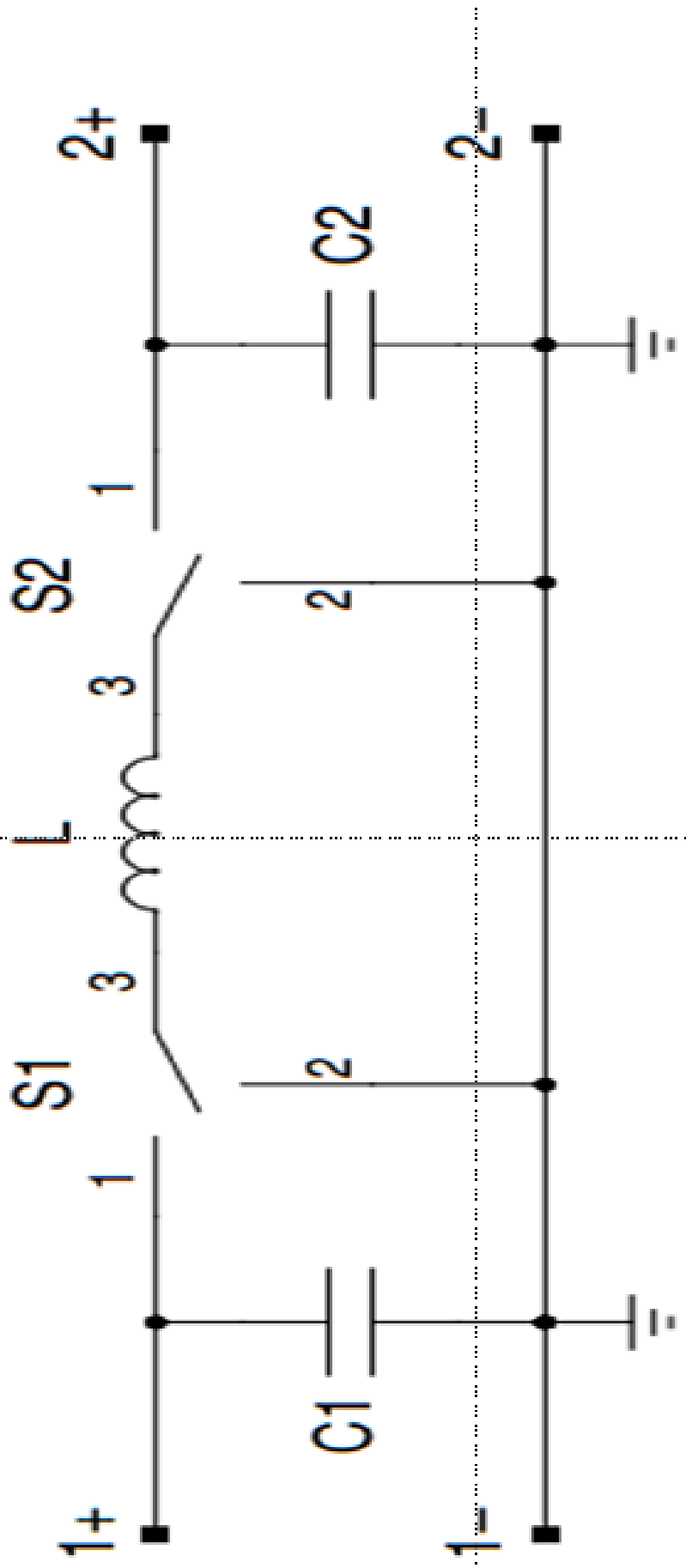


Схема двонаправленого неінвертуючого
понижуючого/підвищувального перетворювача



суперконденсаторною батареєю, який моделює рівень освітлення сонячної батареї та її температуру; сонячну батарею та підвищуючий перетворювач напруги

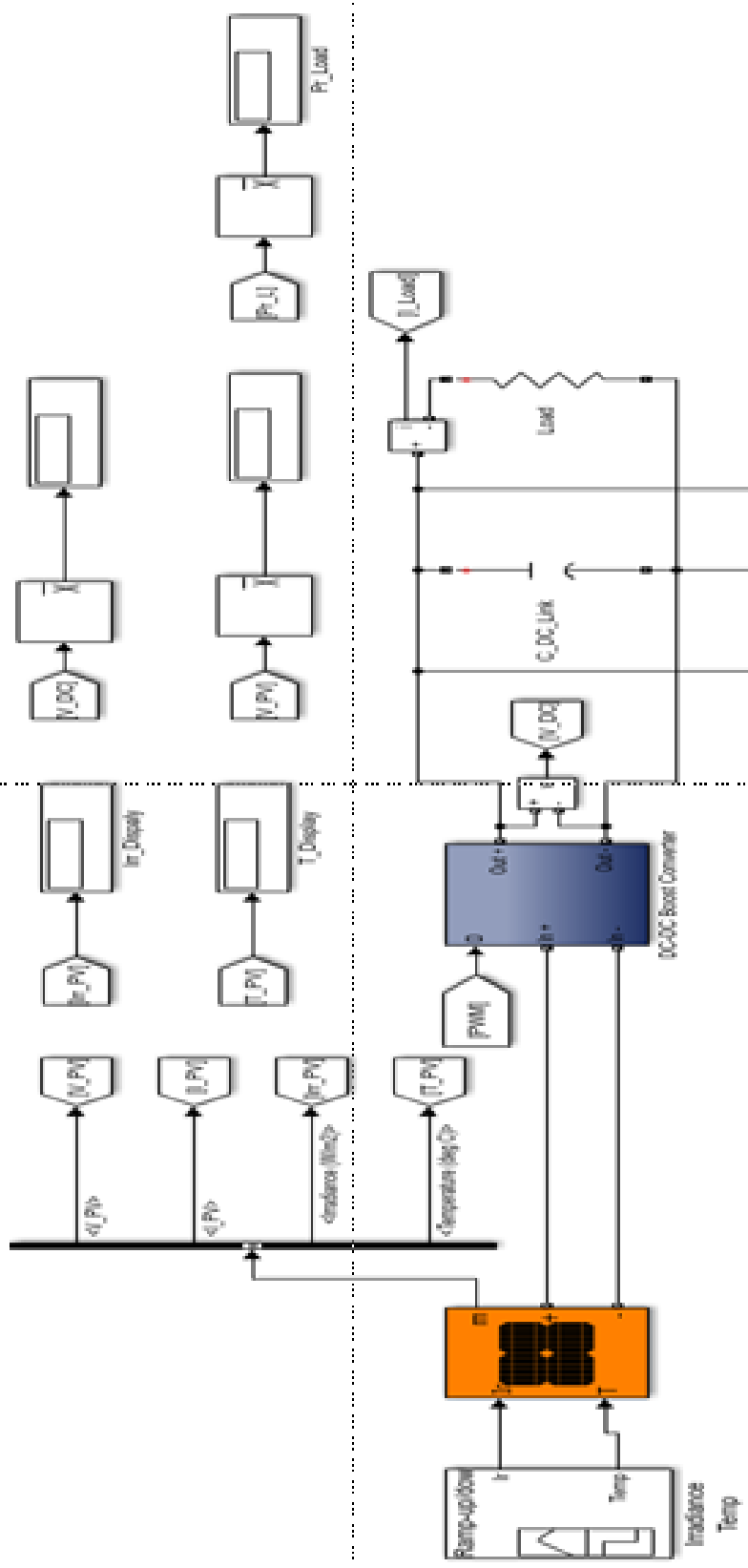
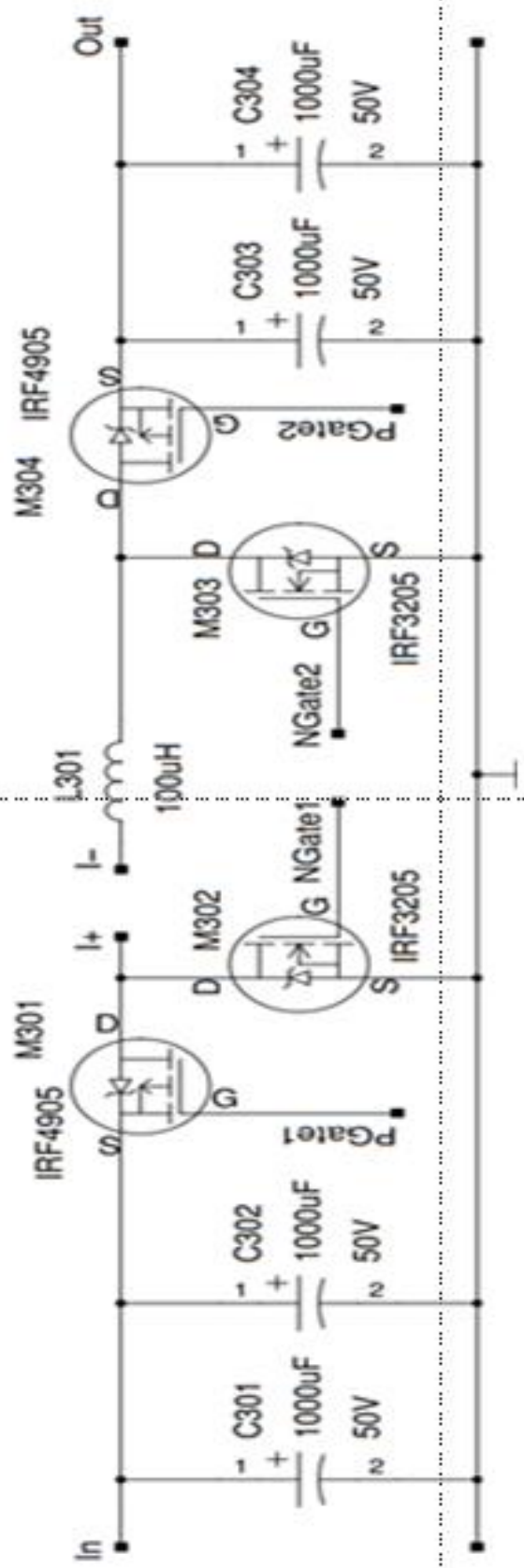
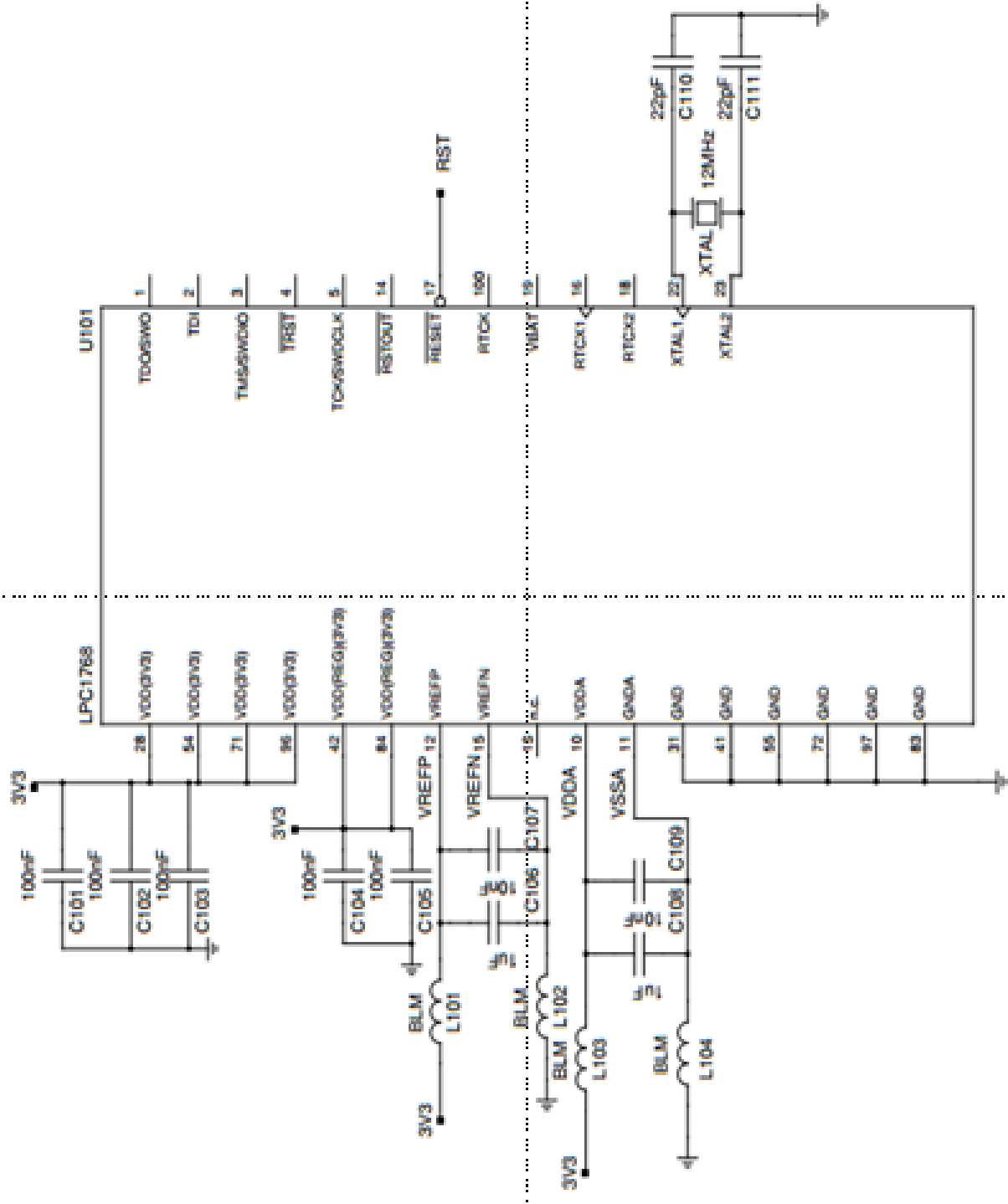


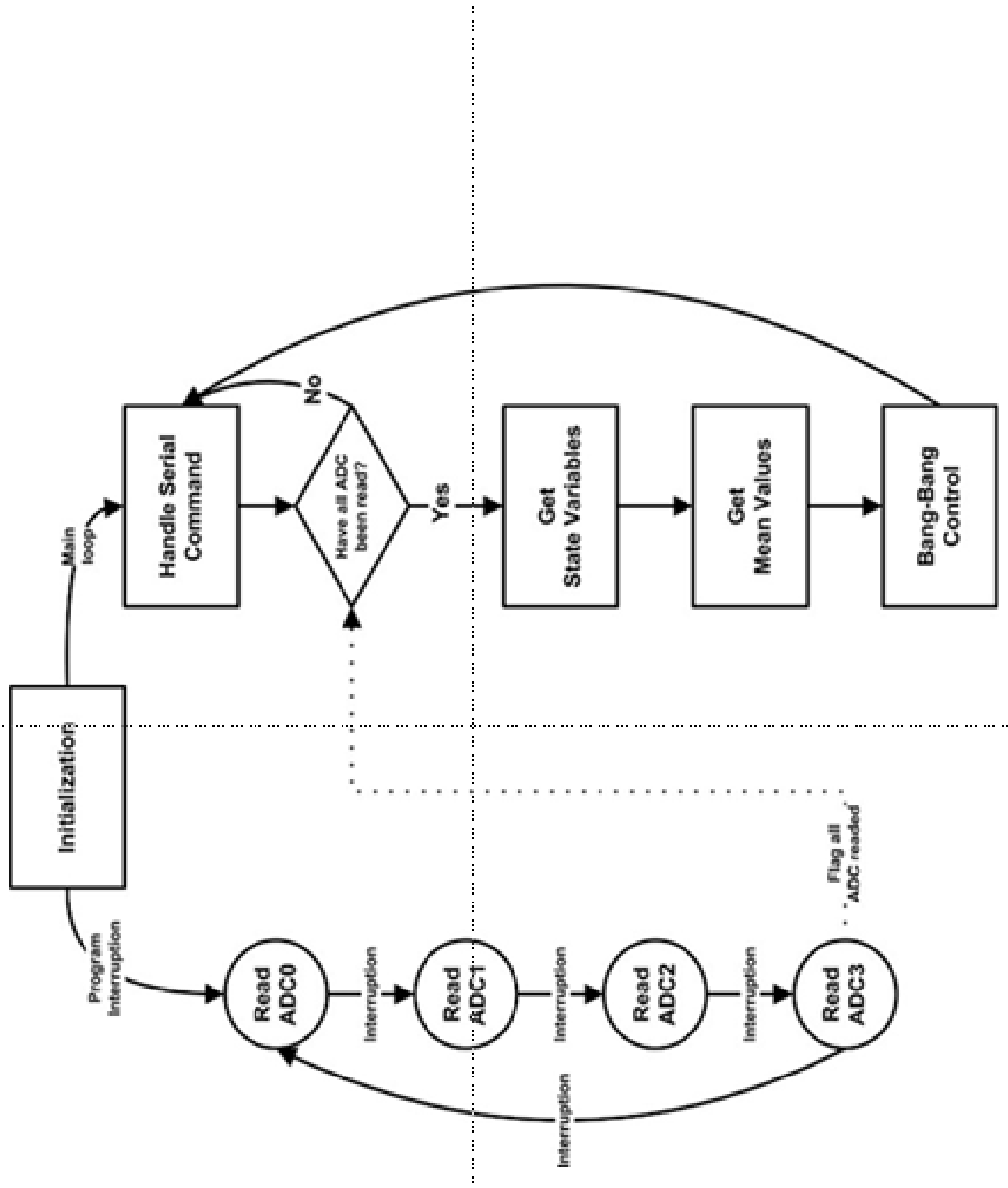
Схема електрична неінвертувального підвищувального перетворювача



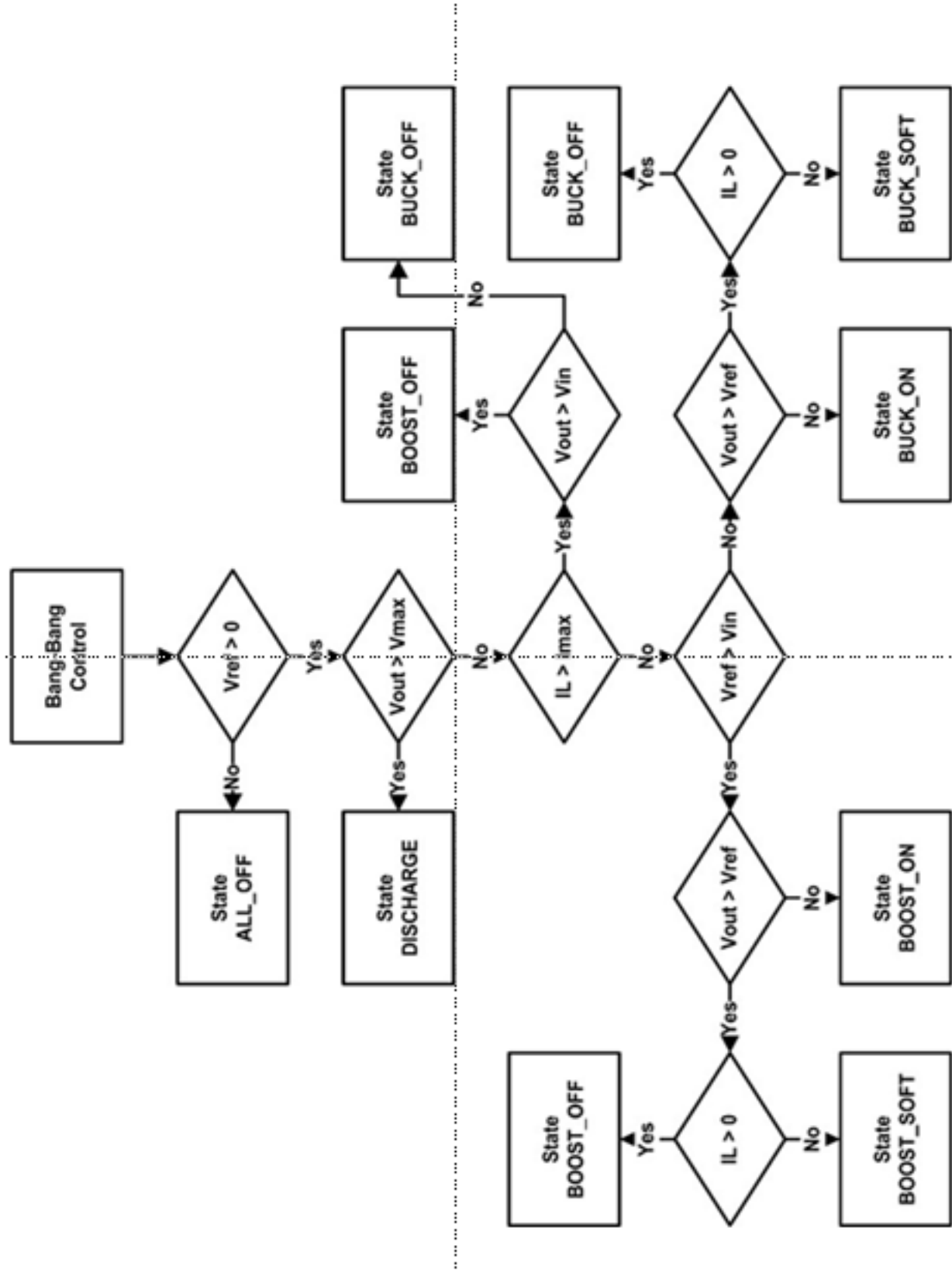
Схеми з'єднання мікроконтролера

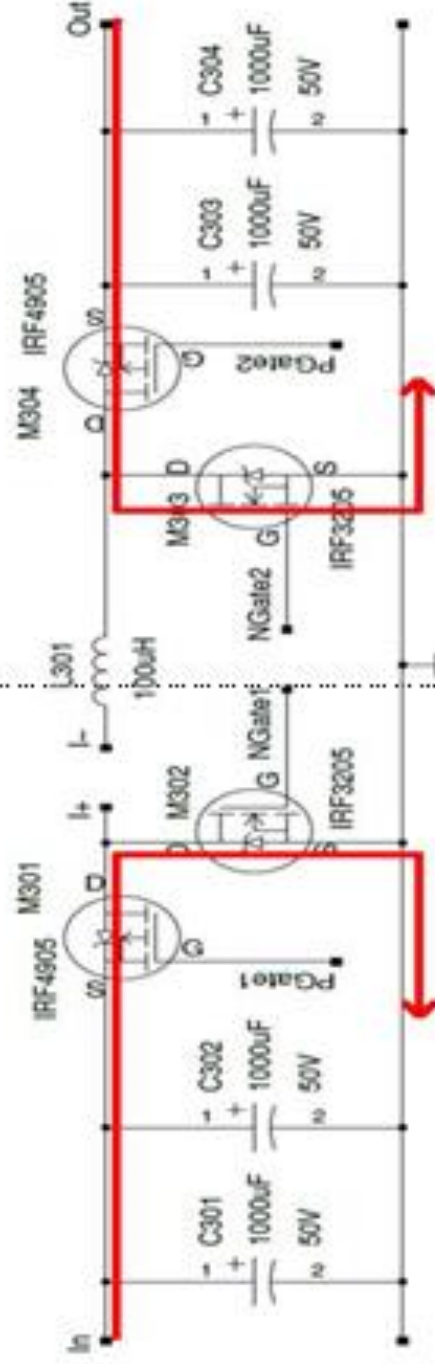


Основной контур, керований перериваннями АЦП

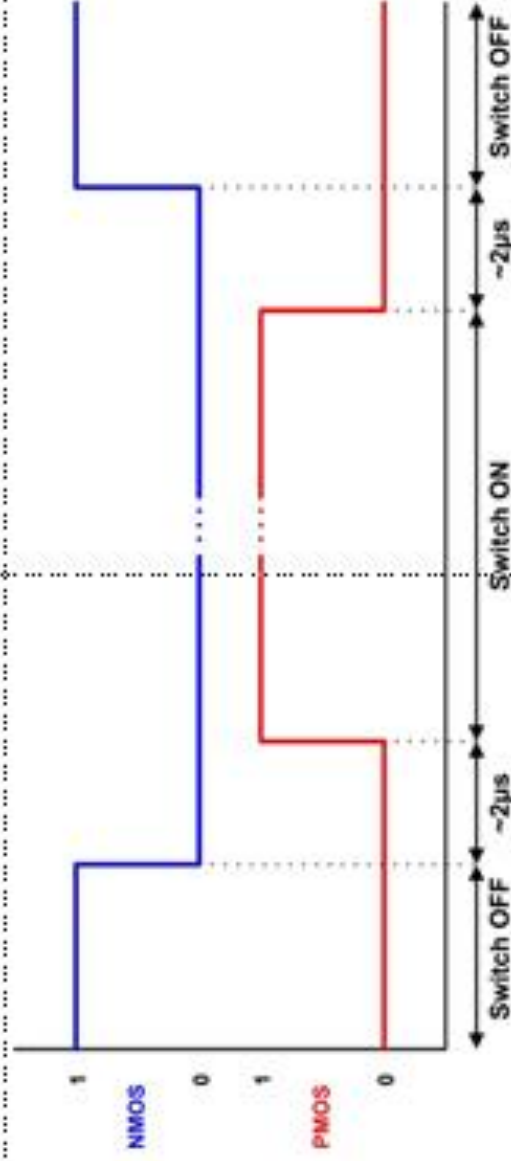


Алгоритм роботи пристрою керування суперконденсаторною батареєю 9





Захист від наскрізного пробую



В процесі розробки пристрою керування суперконденсаторною батареєю отримали пристрій, який може забезпечувати програмовану напругу від 4,5 В до 25 В. Апаратне забезпечення пристрою керування суперконденсаторною батареєю може підтримувати до 6 А та здатне контролювати робочий струм, що протікає через перетворювач.

Його можна використовувати з суперконденсаторами, як показано в цій роботі, але його також можна використовувати як загальну платформу для перетворення напруги та енергії. Результати можна вважати прийнятними, якщо деталі, які пакуються, не дуже крижкі для випливу вібрації, а рівень шуму машини можна вважати прийнятним через те, що вона виконуватиме операцію пакування на промисловому об'єкті.

В першому розділі були розглянуті наступні питання: будова і принцип роботи пристрою керування суперконденсаторною батареєю, а також алгоритм керування пристрою керування суперконденсаторною батареєю.

У другому розділі розроблено математичну модель пристрою керування суперконденсаторною батареєю, який моделює рівень освітлення сонячної батареї та її температуру, сонячну батарею та підвизначний керувальний напруги.

У третьому розділі розроблено схему електричну принципів та програму роботи пристрою керування суперконденсаторною батареєю.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!

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

Гарюк Н. О.

ІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи АКІТ-20-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, 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.

03.06.2024

дата



підпис

Ім'я користувача:
Кафедра АКІПІТК

Дата перевірки:
24.06.2024 09:36:11 EEST

Дата звіту:
24.06.2024 09:49:01 EEST

ID перевірки:
1016384888

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

ID користувача:
100005862

Назва документа: Гарюк_антиплагіат

Кількість сторінок: 63 Кількість слів: 8988 Кількість символів: 69687 Розмір файлу: 3.23 MB ID файлу: 1016195827

1300 слів позначені як "вилучені" та не враховуються у підрахунку слів

Виявлено модифікації тексту (можуть впливати на відсоток схожості)

4.27% Схожість

Найбільша схожість: 2.47% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1015322124)

2.69% Джерела з Інтернету

193

Сторінка 65

3.99% Джерела з Бібліотеки

13

Сторінка 65

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнено

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнено

0.03% Вилучень

Деякі джерела вилучено автоматично (фільтри вилучення: кількість знайдених слів є меншою за 8 слів та 0%)

0.03% Вилучення з Інтернету

16

Сторінка 66

0% Вилученого тексту з Бібліотеки

20

Сторінка 66

Модифікації

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

Замінені символи

19

Підозріле форматування

10
сторінок

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 3.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 12%

ID: 132320 Назва: БКР Пристрій керування суперконденсаторною батареєю Додано в БД: 2024-06-24 Автора: Назар ГАРЮК Керівники: Валерій МАРТИНЮК Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	58547	457	2152 (4%)	18 (4%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломниця: Гарюк Назар Олександрович

Тема: Пристрій керування суперконденсаторною батареєю

Спеціальність: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 11 Кількість сторінок записки 65

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Вступ. Огляд літературних джерел та патентних даних. Основна частина. Розробка пристрою керування суперконденсаторною батареєю. Висновки.
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи В першому розділі були розглянуті наступні питання: будова і принцип роботи пристрою керування суперконденсаторною батареєю, а також алгоритм керування пристрою керування суперконденсаторною батареєю. У другому розділі розроблено математичну модель пристрою керування суперконденсаторною батареєю, який моделює рівень освітлення сонячної батареї та її температуру, сонячну батарею та підвищуючий перетворювач напруги. У третьому розділі розроблено схему електричну принципову та програму роботи пристрою керування суперконденсаторною батареєю.
4. Позитивні сторони роботи: розробка пристрою керування суперконденсаторною батареєю, який може забезпечувати програмовану напругу від 4,5 В до 25 В.

5. Негативні сторони роботи: у роботі недостатньо уваги приділяється розробці універсальної платформи для розробки програмного забезпечення.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

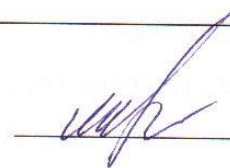
8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: добре (3,25/D)

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

Міщенко Віктор Володимирович, доцент
кафедри ТМІТ

"24" 06 2024 р.

 (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: Пристрій керування суперконденсаторною батареєю

Автор: Гарюк Назар Олександрович

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 укриття 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 4,27% і адресується до 206 джерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи

Валерій МАРТИНЮК

Юрій ФОРКУН

Валерій МАРТИНЮК