МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

мікроелектронних та електронних інформаційних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проєкт)

магістр
(рівень вищої освіти)

на тему Розробка блока оптимального відбору потужності

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1719.

спеціальності 171 „Електроніка"
(код і назва спеціальності)

(код і назва спеціальності)

спеціалізації
(код і назва спеціалізації)

освітньої програми
(назва освітньої програми)

Коноваленов О.А.
(ініціали та прізвище)

Керівник Критська Т.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент Шершов С.А.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут _____
Кафедра мікроелектронних та електронних інформаційних систем
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 171 Електроніка
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма електроніка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри _____
«07» 09 2020 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Коноваленов Олександр Анатолійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Розробка блока оптимального відбору потужності

керівник роботи д.т.н. проф. Критська Т.В.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «25» 05 2020 року № 600-с
2 Строк подання студентом роботи 30.11.20
3 Вихідні дані до роботи _____

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналітичний огляд, елементна база, системи управління, розробка алгоритма, структури та моделювання пристрою, конструкторсько-технологічна частина, техніко-економічна обґрунтув.
5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Результати моделювання, економічні показники, математична модель, результати моделювання, алгоритм пошуку оптимальної точки, принципова пошуку оптимальної точки, схема електрична структурна, схема ел. принципова

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1.	д.т.н. проф. Крилська		
2.	д.т.н. проф. Крилська		
3.	д.т.н. проф. Крилська		
4.	д.т.н. проф. Крилська		
5.	д.т.н. проф. Крилська		

7 Дата видачі завдання 7.09.2020

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Вступ	25.09	
	1. Розділ	9.10.	
	2. Розділ	20.10.	
	3. Розділ	3.11.	
	4. Розділ	20.11.	
	5 Розділ	23.11.	
	Графічна частина	27.11.	

Студент _____ Коновалов О.А.
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту) _____ Крилська Г.Д.
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Дуришев К.О.
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Дипломний проект: 93 стор., 35 рис., 11 табл., 24 джерел

Об'єкт дослідження:сонячна батарея.

Предмет дослідження: алгоритми та схемотехнічні рішення для пошуку оптимальної точки відбору потужності.

Мета роботи: дослідження роботи контролерів сонячних батарей і алгоритмів їх роботи для підвищення ефективності використання в системах альтернативних джерел живлення.

У даній роботі проведено дослідження потенціалу використання сучасних контролерів сонячних батарейі для побудови альтернативних джерел живлення. Показано переваги використання контролерів з функціями пошуку оптимальної точки відбору потужності.

Розглянуто алгоритми роботи системи пошуку оптимальної точки, типи первинних перетворювачів та проведено математичне моделювання.

ТОЧКА МАКСИМАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ, ФОТОВОЛЬТАЇКА, СОНЯЧНА БАТАРЕЯ, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ, ЧАСТКОВЕ ЗАТІНЕННЯ, СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ.

ЗМІСТ

Вступ 6
1 Аналітичний огляд 8
1.1 Переваги сонячної енергії 8
1.2 Сонячні елементи і їх структура 10
1.3 Характеристики сонячних елементів 11
1.4 Основні елементи сонячної електростанції і їх особливості 14
1.4.1 Сонячні батареї (фотоелектричні модулі) 14
1.4.2 Контролер заряду акумуляторних батарей 14
1.4.3 Інвертор 19
1.5 Існуючі схемотехнічні рішення пристроїв перетворення сонячної енергії 20
1.5.1 Прості схемотехнические решенія для малопотужних батарей 20
1.5.2 Джерело живлення на сонячній батареї 21
1.5.3 Схемотехніческіе рішення середньої складності 21
1.5.4 Складні схемотехнічні рішення 24
2 Елементна база систем управління 25
2.1 Аналіз рішень MPPT контролерів, які існують 25
2.2 Принцип дії MPPT контролерів 28
2.3 Порівняння параметрів і можливостей MPPT контролерів різних виробників 30
2.4 Технічні характеристики і функціонал контролера 33
2.5 Вибір компонентів 35
2.6 Датчик струму 36
2.7 Драйвер управління затворами транзисторів 38
2.8 Вихідні конденсатори 39
3 Розробка алгоритма, структури та моделювання пристрою 41
3.1 Розробка структурної схеми 41

3.2 Розробка алгоритму 41
3.3 Імітаційне моделювання роботи пристрою 44
3.3.1 Принцип роботи імпульсного перетворювача постійної напруги ІППН 44
3.3.2 Імітаційна модель ІППН 47
4 Конструкторсько-технологічна частина 55
4.1 Шляхи отримання плати друкованої 55
4.2 Технологія виготовлення друкованої плати 57
4.3 Монтаж друкованої плати 60
4.3 Заходи, щодо охорони праці 65
4.3.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів 65
4.3.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів 68
4.3.3 Виробнича санітарія 71
4.3.4 Електробезпека 72
4.3.5 Пожежна безпека 72
4.3.6 Розрахунок захисного занулення 75
5 Техніко-економічне обгрунтування 81
5.1 Визначення стадій розробки 81
5.2 Розрахунок заробітної плати 83
5.3 Розрахунок кошторису витрат 84
Висновоки 86
Список використаних джерел 87
Додаток А 91
Додаток Б 92

ВСТУП

Складна енергетична і екологічна ситуація, що існує в сучасному світі, в результаті високого рівня споживання електроенергії, змушує науку і промисловість шукати інтенсивні шляхи вирішення проблем створення альтернативних джерел електроенергії. Одним з перспективних напрямків альтернативної енергетики є перетворення сонячної енергії в електричну. У контексті вирішення цих проблем велике значення набуває розробка і впровадження пристроїв для живлення різних видів споживачів від сонячної батареї.

Актуальність теми. Існуючі в даний час контролери для роботи з сонячними панелями мають різні схемотехнічні і конструкторські рішення, ККД, вартість і масогабаритні характеристики. Більшої актуальності на сьогоднішній день набувають пристрої для заряду акумуляторної батареї в різній радіоелектронної апаратури.

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи є розробка блоку оптимального відбору потужності від сонячної панелі, за критерієм мінімальної вартості і високої надійності виробу.

У відповідності з цією метою в роботі вирішуються наступні завдання:

- розглянути особливості сонячних елементів, виконаних по полікристалічної і монокристалічної технологіям;
- провести аналіз типових схемотехнічних і конструкторських рішень контролерів заряду АКБ від сонячних панелей;
- розробити схему структурну і схему електричну принципову блоку оптимального відбору потужності;
- для забезпечення низької вартості і високої надійності пристрою застосовувати елементи високого ступеня інтеграції, прості схемотехнічні рішення, з урахуванням необхідного рівня функціональності виробу;
- провести математичне моделювання розробленого пристрою.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження в даній роботі є електрохімічні зарядно-розрядні процеси, що відбуваються в акумуляторної батареї.

Предмет дослідження. Контролер заряду акумуляторної батареї від сонячної панелі.

Практичне значення результатів. Можливість заряду акумуляторів різних типів, що мають різну ЕРС і ємність. Цей пристрій можна використовувати, також для живлення різноманітної радіоелектронної апаратури.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Переваги використання сонячної енергії

Відомо, що світове споживання електроенергії щорічно збільшується, і, як очікується, подальше зростання буде обумовлене зростанням чисельності населення і зростаючими вимогами сучасного способу життя. Збільшення попиту на електроенергію призводить до швидкого виснаження традиційних викопних видів палива і загострює проблему забруднення навколишнього середовища. Тому існує необхідність в розвитку альтернативних (відновлюваних) джерел енергії для забезпечення стійких енергопостачань споживачеві, а також для зменшення локальних і глобальних забруднень навколишнього середовища.

Сонячна енергетика - напрямок нетрадиційної енергетики, заснований на безпосередньому використанні сонячного випромінювання для отримання енергії в будь-якому вигляді. Сонячна енергетика використовує поновлюване джерело енергії і є екологічно чистою, тобто не виробляє шкідливих відходів.

Існує два основних способи перетворення сонячної енергії: фототермічний і фотоелектричний (фотовольтаїчний). Перший спосіб більш широко використовуваний, а інший - високотехнологічний, але дорожче.

Також відомо, що недоліком фотовольтаїчної системи є низька віддача потужності сонячного випромінювання через зміни умов навколишнього середовища. Недорогим і практичним рішенням для перетворення сонячної енергії є відстеження точки максимальної потужності сонячної батареї. В роботі виконано огляд методів пошуку точки максимальної потужності, заснованих на обурення фотовольтаїчної системи. Проведено порівняльний аналіз методів, виявлено їх переваги та недоліки. Показаний приклад побудови аналогової системи управління перетворювачем постійної напруги гістерезисного типу. Розглянуто роботу сонячної батареї в умовах часткового затінення, що приводить до труднощів відстеження глобальної точки максимальної потужності, і способи вирішення цієї проблеми. Сонячна

енергія є одним з найбільш підходящих варіантів генерації електроенергії, оскільки вона невичерпна, абсолютно безкоштовна (з точки зору її доступності) і екологічно чиста. Багато країн переходять до використання фотовольтаїчних (ФВ) систем вироблення електричної потужності навіть при високій їх собівартості. За всю історію фотовольтаїки були досягнуті великі успіхи в поліпшенні технології ФВ осередків, проте загальна ефективність сонячного модуля все ще залишається на низькому рівні [1].

Найбільш широко на сьогодні використовується фототермічна спосіб перетворення сонячної енергії. В даному випадку теплоносій, зазвичай вода, нагрівається до високої температури і використовується для опалення приміщення. Сонячна батарея встановлюється на даху будинку так, щоб сонячні промені найбільш ефективно направлено на його площу. Оскільки енергія сонячного випромінювання розподіляється на велику площу (тобто, має низьку щільність), будь-яка установка для прямого використання сонячної енергії повинна мати пристрій для її збору - колектор з достатньою поверхнею. Простий пристрій такого роду - це чорна плита, добре ізольована знизу. Вона прикрита склом або пластмасою, яка пропускає світло, але не пропускає інфрачервоне теплове випромінювання. Між плитою і склом найчастіше розміщують чорні трубки, через які течуть вода, масло, ртуть, повітря, сірчистий ангідрид і ін. Сонячне випромінювання, проникаючи через скло або пластмасу в колектор, поглинається чорними трубками і плитою і нагріває робочу речовину в трубках. Теплове випромінювання не може вийти з колектора, тому температура в ньому значно вище, ніж температура навколишнього середовища. В цьому проявляється так званий парниковий ефект.

Фотоелектричний спосіб. На думку експертів, майбутнє сонячної енергії пов'язано з прямим перетворенням сонячного випромінювання в електричний струм за допомогою напівпровідникових фотоелементів - сонячних батарей.

У фотоелектричних перетвореннях сонячної енергії використовується кремній з добавками інших елементів.

Ефективність сучасних кремнієвих фотоелементів досить висока. Їх ККД досягає 10-20%, а чим вище ККД, тим менше потрібна площа сонячних батарей.

Використовуючи енергію сонця, можна щорічно економити традиційні джерела опалення:

до 75% - для гарячого водопостачання протягом року;

до 95% - для гарячого водопостачання при сезонному використанні;

до 50% - тільки з метою опалення;

до 80% - з метою почергового опалення.

Виробництво енергії за допомогою сонячних електростанцій добре узгоджується з концепцією розподіленого виробництва [2].

1.2 Сонячні елементи і їх структура

Сонячні елементи (СЕ) виготовляються з матеріалів, які безпосередньо перетворюють сонячне світло в електрику (рис. 1.1).

Велика частина СЕ, що випускаються комерційно, виготовляється з кремнію (хімічний символ Si).

Кремній це напівпровідник. Він широко поширений на землі у вигляді піску, діоксидом кремнію ("кварцит"). Зокрема застосування у металургії елементарний кремній використовується у електрониці для більшості конструкцій напівпровідникових приладів і мікросхем.

Конструкція СЕ включає задній контакт і 2 шари кремнію різної провідності. Зверху є сітка з металевих контактів і покриття антивідблиску, що просвітлює, яке дає СЕ характерний синій відтінок.

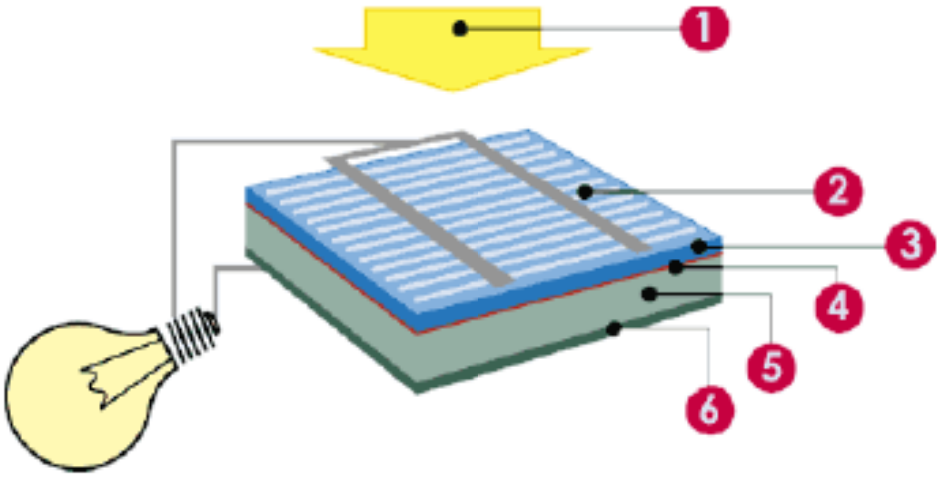


Рисунок 1.1 - Структура сонячного елемента з кремнію: 1 - світло (фотони); 2 - лицьової контакт; 3 - негативний шар; 4 - перехідний шар; 5 - позитивний шар; 6 - задній контакт.

1.3 Характеристики сонячних елементів

У пошуках нових джерел енергії в лабораторії Белла був винайдений кремнієвий сонячний елемент, який став попередником сучасних сонячних фотоперетворювачів. Лише на початку 50-х років 20-го століття сонячний елемент досяг щодо високого ступеня досконалості.

Перетворення енергії в сонячних елементах засноване на фотовольтаїчному ефекті в неоднорідних напівпровідникових структурах при впливі на них сонячного випромінювання.

Використовувати енергію сонячних елементів можна також як і енергію інших джерел живлення, з тією різницею, що сонячні елементи не бояться короткого замикання. Кожен з них призначений для підтримки певної сили струму при заданій напрузі. Але на відміну від інших джерел струму характеристики сонячного елемента залежать від кількості світла, що падає на його поверхню. Наприклад, набігла хмара може знизити вихідну потужність більш ніж на 50%.

Крім того відхилення в технологічних режимах тягнуть розкид вихідних параметрів елементів однієї партії. Отже, бажання забезпечити

максимальну віддачу від фотоелектричних перетворювачів призводить до необхідності сортування елементів по вихідному струму.

Кремнієві сонячні елементи є нелінійними пристроями, для пояснення характеристик елемента можна користуватися сімейством простих для розуміння кривих - вольтамперних характеристик (ВАХ) зображених на рис 1.2.

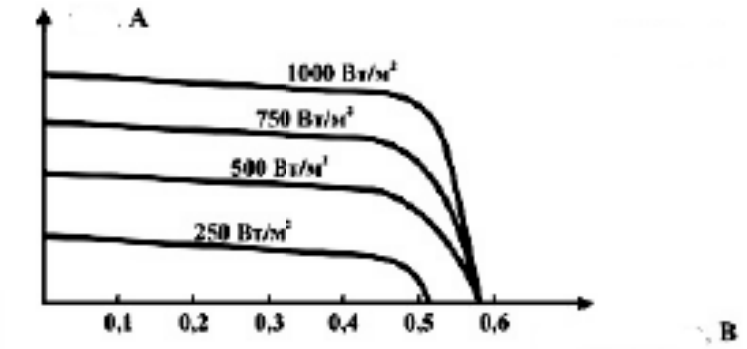


Рисунок 1.2 - ВАХ кремниевых солнечных элементов

Напруга холостого ходу, що генерується одним елементом, злегка змінюється при переході від одного елемента до іншого в одній партії і від однієї фірми виробника до іншого і становить близько 0,6 В. Ця величина не залежить від розмірів елемента. Струм залежить від інтенсивності світла і розміру елемента, під яким мається на увазі площа його поверхні [3].

Пікова потужність відповідає напрузі близько 0,47 В. Таким чином, щоб правильно оцінити якість сонячного елемента, а також заради порівняння елементів між собою в однакових умовах, необхідно навантажити його так, щоб вихідна напруга дорівнювала 0,47 В. Після того, як сонячні елементи підібрані для роботи, необхідно їх спаяти. Серійні елементи забезпечені токознімальними мережами, які призначені для припаювання до них провідників.

Батареї можна складати в будь-якої бажаної комбінації. Простий батареєю є ланцюжок з послідовно включених елементів.

Можна з'єднати паралельно, отримавши так зване послідовно - паралельне з'єднання.

Важливим моментом роботи сонячних елементів є їх температурний режим. При нагріванні елемента на один градус понад 25 ° С він втрачає в напрузі 0,002 В, тобто 0,4% / градус. На малюнку 1.3 наведені сімейство кривих В АХ для температур від 25 ° С до 75 ° С.

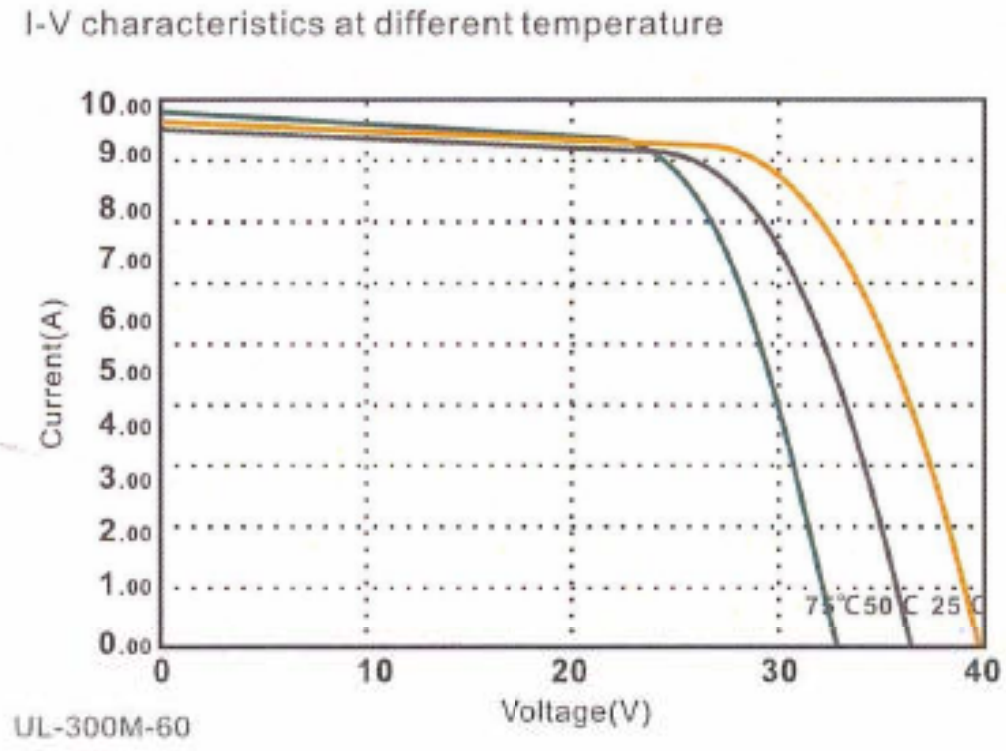


Рисунок 1.3 - Сімейство кривих ВАХ для температур 25°С, 50°С и 70°С.

У яскравий сонячний день елементи нагріваються до 60-70 ° С втрачаючи 0,07-0,09 В кожен. Це і є основною причиною зниження ККД сонячних елементів, призводячи до падіння напруги, що генерується елементом.

ККД звичайного сонячного елемента в даний час коливається в межах 10-16%. Це означає, що елемент розміром 100х100 мм при стандартних умовах може генерувати 1-1,6 Вт.

Стандартними умовами для паспортизації елементів у всьому світі визнаються наступні:

- освітленість 1000 Вт / м;

- температура 25 ° С;
- спектр АМ 1,5 (сонячний спектр на широті 45 ° С).

1.4 Основні елементи сонячної електростанції і їх особливості

1.4.1 Сонячні батареї (фотоелектричні модулі)

Сонячні батареї - це ланка сонячної електростанції, яке виробляє електричну енергію (постійний струм) під дією сонячного світла фотонів, які надходять при прямому і розсіяному сонячному випромінюванні. Загальна потужність сонячних батарей і їх кількість залежать від того, скільки електроенергії потрібно на добу. Цілком очевидно, що чим більше електроенергії потрібно, тим більше повинні виробляти сонячні батареї за світловий день, і тим більше повинна бути їх загальна потужність. Тому, загальна потужність сонячних батарей визначається добової потреби будинку в електричній енергії.

Сонячні батареї, можуть бути виготовлені на основі кремнію різної якості (чистоти): монокристалічного, полікристалічного, аморфного. Якість кремнію впливає на термін служби сонячної батареї, на її продуктивність, і на її вартість. Також на вартість, надійність, довговічність і ефективність впливає безліч інших параметрів сонячної батареї: якість скла і підкладки, якість профілю, збір коробки і т.і. [4]

1.4.2 Контролер заряду акумуляторних батарей

Контролер заряду управляє процесами заряду блоку акумуляторних батарей від сонячних батарей (рис. 1.4). Контролери заряду розрізняються по алгоритмам заряду on / off, pwn, mppt. Від алгоритму заряду залежить: чи повністю використовується ємність акумуляторних батарей (для алгоритму on / off заряд до 90% від ємності), термін служби акумуляторних батарей, повністю буде використана потужність сонячних батарей (контролери

працюють за алгоритмом MPPT дозволяють знімати на 10-30% більше енергії з сонячних батарей).

Рисунок 1.4 – Контролер сонячних батарей

Пристроями найбільш адаптованими до умов експлуатації, ємності і напруги акумуляторних батарей є MPPT - контролери. MPPT - контролери представляють собою останнє покоління контролерів заряду з кращою технологією перетворення енергії, що генерується фотомодулем. Абревіатура MPPT (Maximum power point tracker) – механізм стеження за точкою максимальної потужності (ТМП). Ці контролери самі вибирають оптимальне співвідношення напруги і струму, які знімаються з фотомодулів. Такі контролери знімають більш високу напругу з сонячних батарей і конвертують її в оптимальну напругу для заряду акумуляторних батарей (АКБ).

Оптимальна напруга фотомодуля майже завжди відрізняється від напруги на АКБ. Для стандартних 12 В акумуляторів необхідно витримувати заряд напругою 14,4 В протягом 2-4 годин. Ця стадія називається стадією абсорбції (насичення).

При слабкій освітленості, коли напруга на фотомодулі нижче напруги акумуляторної батареї і, як наслідок, відсутній заряд, MPPT контролери

підвищують цю напругу і заряд все одно відбувається. MPPT контролер весь час стежить за струмом і напругою на фотомодулі, примножує їх значення і визначає пару ток-напруга, при яких потужність сонячної батареї максимальна. Процесор стежить за стадією заряду, в якій знаходиться акумулятор (наповнення, насичення, вирівнювання, підтримка) і на підставі цього регулює струм, що подається в АКБ.

Також процесор може давати індикацію параметрів на табло (при наявності), зберігати дані і т.п.

Застосування MPPT контролерів дозволяє отримувати від сонячних батарей на 15-30% більше електроенергії в порівнянні з іншими контролерами.

Якщо розглянути стандартну вольтамперну характеристику фотоелектричного модуля, можна відзначити, що вироблена електроенергія може бути збільшена, якщо контролер заряду відстежить точку максимальної потужності фотомодуля (рис. 1.5).

Точка максимальної потужності може обчислюватися різними способами. Як правило, контролер послідовно знижує напругу від точки холостого ходу до напруги на акумуляторі. Точка максимальної потужності буде знаходитися десь в проміжку між цими значеннями.

Положення точки максимальної потужності залежить від ряду факторів - від освітленості, температури модуля, різнорідності використовуваних модулів і т. і. Контролер час від часу намагається злегка "відійти" від знайденої точки в обидві сторони, і якщо потужність при цьому збільшується, то він переходить на роботу в цій точці. Теоретично, при пошуку ТМП втрачається трохи енергії, але ця втрата дуже незначна в порівнянні з тією додатковою енергією, яку забезпечує MPPT контролер.

За допомогою постійного перетворення напруг контролер підтримує різну напругу на вході і виході. Кількість додатково отриманої енергії, яку дають MPPT контролери, складно однозначно оцінити чисельно. Основними факторами, що впливають на додаткову вироблену енергію, є температура і

рівень зарядженості акумуляторної батареї. Найбільша добавка буде помітна при низьких температурах модуля і виряджених АКБ.

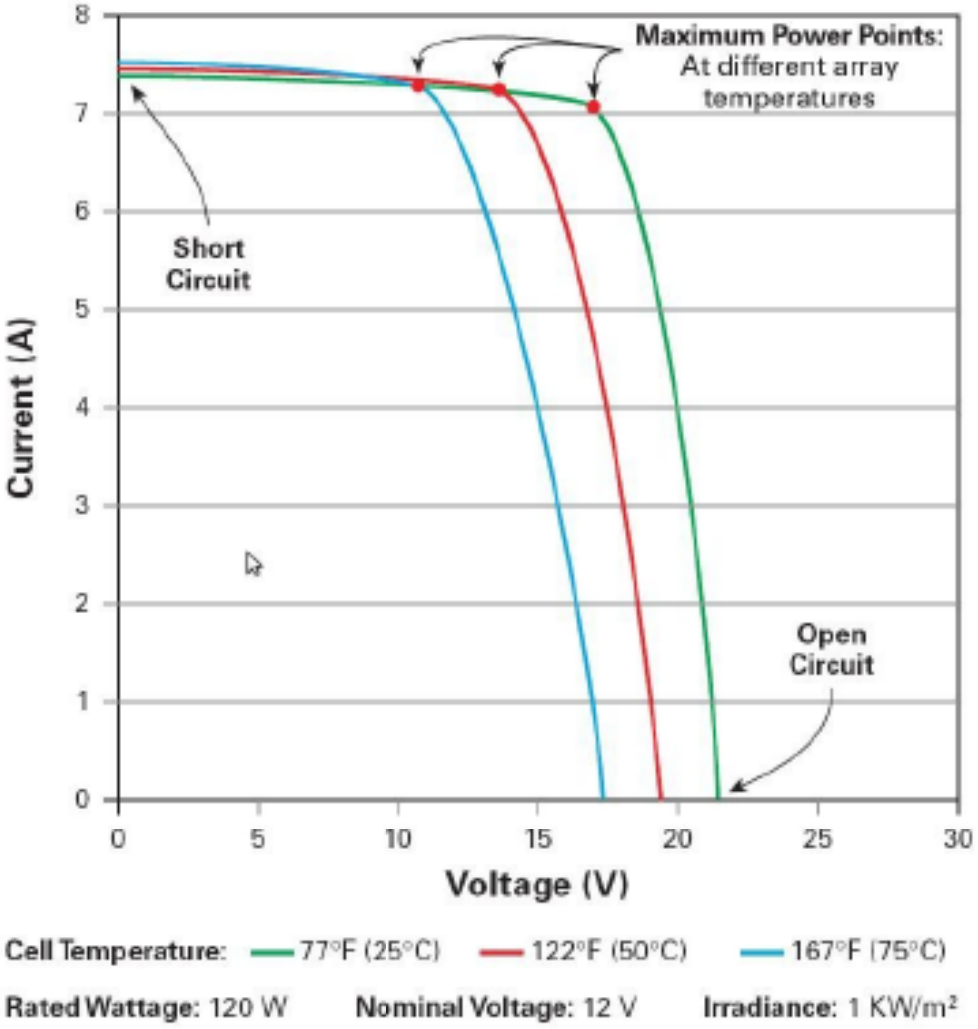


Рисунок 1.5 - Зміна напруги в точці максимальної потужності при різних температурах модуля

Напруга може змінюватися в точці максимальної потужності при різних температурах модуля - чим більше нагріто сонячний модуль, тим нижче його напруга, і, відповідно, виробляється нижча енергія фотомодуля.

Тому, як правило, при використанні MPPT контролерів сонячні модулі збирають на більш високу напругу. Основна маса контролерів відстежує точку максимальної потужності в досить широких межах. Таке рішення дозволяє збільшувати вироблення енергії сонячною батареєю при низькій

освітленості. Однак не слід робити занадто велику різницю між вхідною і вихідною напругою, так як це призводить до зниження ККД контролера.

Основні переваги контролерів MPPT:

- відсутність втрат при заряді АКБ;
- оптимальна робота при затіненні частини площі сонячних панелей;
- підвищена віддача при слабкому освітленні і при похмурій погоді;
- можливість використовувати більш високу вхідну напругу від фото-модулів;
- дозволяє зменшити перетин кабелів;
- дозволяє збільшити дистанцію від панелей до контролера. [4]

Порівняльна діаграма генерації енергії фотоелектричної системи з ШИМ-контролером і MPPT представлена на рисунке 1.6.

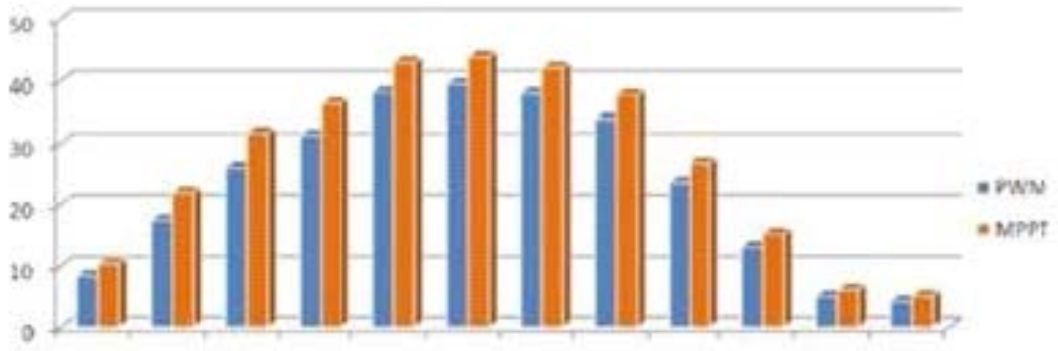


Рисунок 1.6 - Порівняльна діаграма PWM контролера і MPPT

Як видно з діаграми, приріст електроенергії в рік системою з MPPT контролером проти ШІМ становить близько 20%.

У наведеному нижче графіку (рис. 1.7) показано, як при певному значенні напруги сила струму починає різко падати. Разом з силою струму падає потужність, а, отже, зменшується ефективність використання батареї. Для того, щоб використовувати всю потужність батареї, були розроблені спеціальні контролери заряду, які можуть відстежувати точку максимальної потужності.

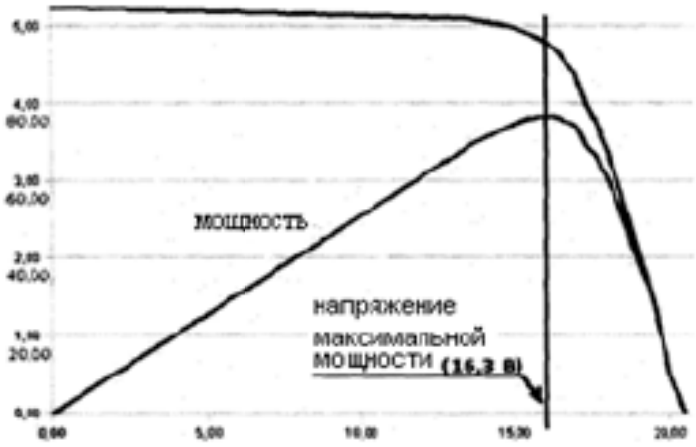


Рисунок 1.7 - Реальний графік потужності і струму сонячної батареї 80 Вт в залежності від напруги

Принципова відмінність контролера заряду MPPT від всіх інших полягає в тому, що він знаходить і відстежує точку максимальної потужності сонячної батареї і використовує всю доступну потужність шляхом широтно-імпульсного перетворення при всіх режимах заряду, а не тільки при останньому режимі для підтримки граничної напруги зарядки. Таким чином, використання MPPT контролера дозволяє збільшити кількість використовуваної сонячної енергії від однієї і тієї ж батареї на 10-30% в залежності від глибини розряду акумулятора[3].

1.4.3 Інвертор

Інвертор призначено для перетворення постійного струму акумуляторних батарей в змінний струм з необхідними параметрами (АС 230В, АС 380В, чиста або модифікована синусоїда 50 Гц). Деякі моделі інверторів володіють розширеними функціями: автоматичне введення резерву, запуск генератора, вбудований контроллер заряду або інтерфейс для спільної роботи з контролером заряду.

Основний параметр при виборі інвертора - це номінальна потужність навантаження і пускові струми навантаження. Потужність інвертора визначається на основі сумарної потужності (кВт або кВА) і сумарних

пускових струмів електричних споживачів будинку, що підключаються до сонячної електростанції. Тобто потужність інвертора повинна бути не менше загальної потужності електричних споживачів будинку, що підключаються до цього інвертора. А часто і більшою, якщо присутнє обладнання з високими пусковими струмами.

1.5 Існуючі схемотехнічні рішення пристроїв перетворення сонячної енергії

1.5.1 Прості схемотехнічні решенія для малопотужних батарей

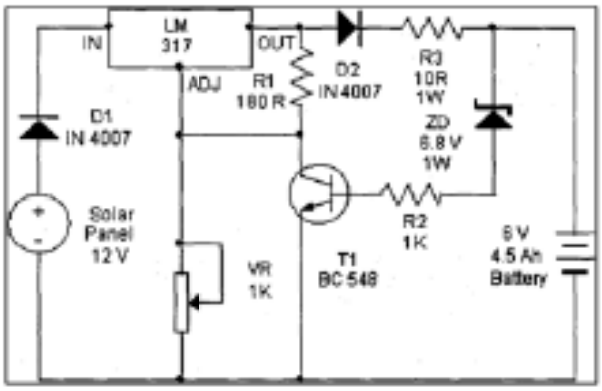


Рисунок 1.8 - Схема зарядного пристрою від сонячної батареї

В даному зарядному пристрої використовується 12-ти вольтова сонячна батарея зі стабілізатором напруги. Сонячна батарея складається з сонячної панелі по 1,2 В. 12-ти вольтова сонячна батарея здатна заряджати 12 В автомобільний акумулятор.

Струм від сонячних елементів, через діод D1 поступає на стабілізатор напруги LM 317 (рис. 1.8). Електрод ADJ (регулювання) дозволяє регулювати вихідний струм і напругу. Для зарядки необхідна напруга 9В, яка виходить, шляхом підстроювання змінного резистора VR. Резистор R3 обмежує струм заряду, а діод D2 служить для запобігання розряду акумулятора.

Транзистор T1 і стабілітрон ZD служать для виключення зарядки після того, як акумулятор перевищує 6,8 В, стабілітрон відкривається і струм надходить на базу транзистора T1, який також відмовляється і струм від LM 317 тепер проходить через нього на мінус джерела живлення [5].

1.5.2 Джерело живлення на сонячній батареї

Приклад джерела живлення на сонячній батареї може бути зібраний за схемою, зображеної на рис. 1.9.

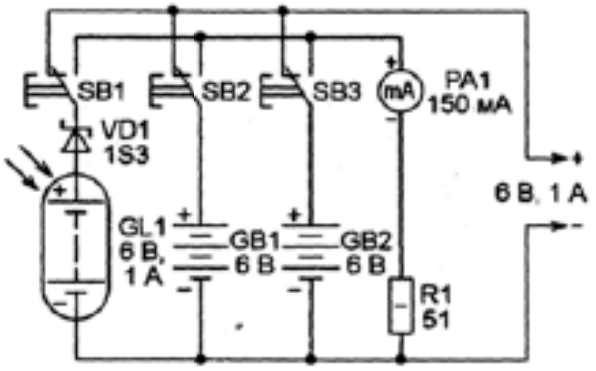


Рисунок 1.9 - Схема джерела живлення на сонячній батареї

Акумуляторні батареї GB1 і GB2 заряджаються від сонячної батареї GL1. Діод VD1 не допускає їх розрядки через сонячну батарею, коли її напруга нижче номінального значення, в результаті недостатнього освітлення.

Натискаючи на кнопки SB1-SB3, які контролюють напругу батарей, підключають до них через баластний резистор R1 міліамперметр PA1. Струм, споживаний при вимірі, навмисно обрано досить великим (близько 100 мА). Це дозволяє більш точно оцінити освітленість сонячної батареї і ступінь зарядженості акумулятора.

1.5.3 Схемотехніческіе рішення середньої складності

Принципова схема пристрою стеження за сонцем зображена на малюнку 1.10. Схема містить мікросхему операційного підсилювача (LM 358), транзистори BD 139 і BD 140.

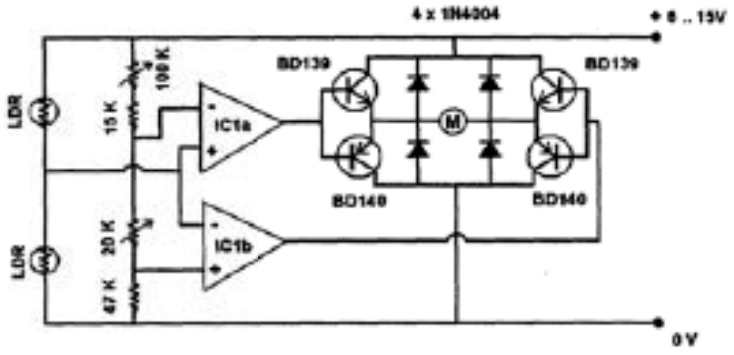


Рисунок 1.10 - Принципова схема пристрою стеження за сонцем

Різні схеми живлення мікроконтролерів від сонячних елементів представлено на рис. 1.11.

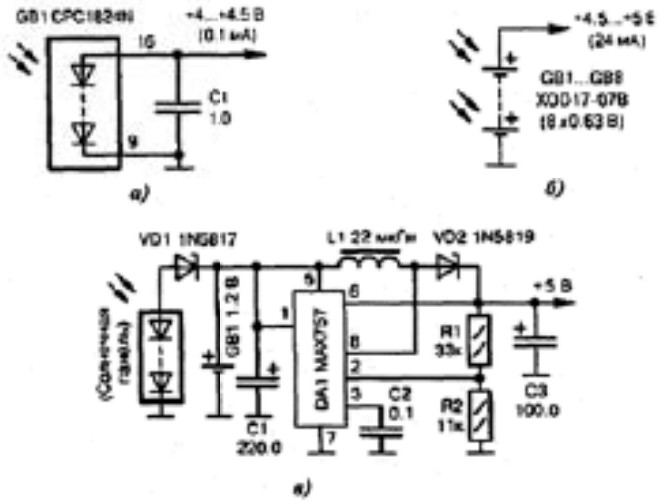


Рисунок 1.11 - Різні схеми живлення від сонячних елементів

а) малогабаритна сонячна батарея ОВ1 в планарном корпусі SOIC - 16. Її енергії достатньо для живлення МК, працює в максимальному режимі з низькою тактовою частотою 32768 Гц. Максимальний струм забезпечується при прямому сонячному освітленні або поблизу від яскравої лампи розжарювання. Заміна сонячної батареї GB1 - CPC1822 фірми IXYS;

б) GB1 ... GB8 - це збірна сонячна панель, що складається з восьми батарей фірми IXYS. Кожна батарея видає напругу 0,63 В при струмі 24 мА з високим (17%) ККД;

в) напруга від сонячної батареї ОВ1 одночасно заряджає;

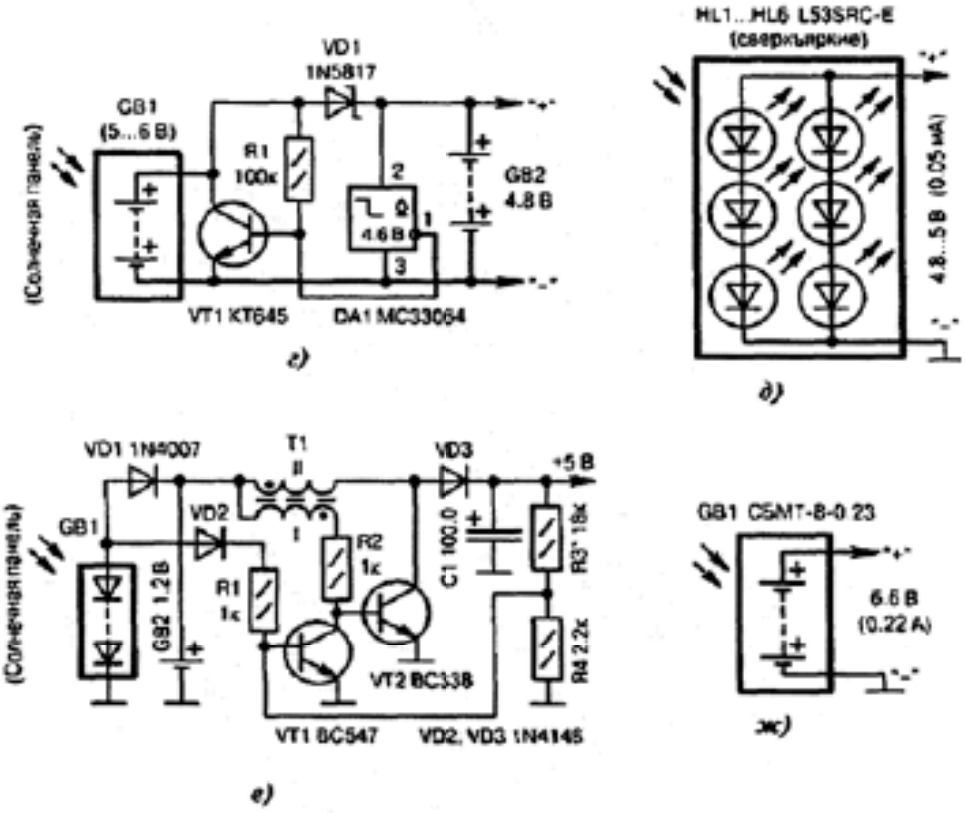


Рисунок 1.12 - Різні схеми живлення від сонячних елементів

г) спільна робота сонячної батареї GB1 і акумулятора GB2. Як тільки напруга на виході акумулятора стає менше +4,6 В, супервізор DA1 закриває транзистор VT1 і енергія починає надходити від сонячної батареї. Діод VD1 запобігає розряд акумулятора GB2 через відкритий транзистор VT1;

д) нестандартне застосування більш яскравих світлодіодів HL1 ... HL6 як сонячних елементів для живлення Мікропотужні конструкцій, в тому числі і з застосуванням МК. Вихідна напруга одного світлодіода складає 1,65 В при струмі 25 мкА. Використовується принцип світловий оборотності, або принцип часткової взаємозамінності світлодіодів і фотодіодів;

е) спільна робота сонячної батареї GB1 і акумулятора GB2. На транзисторах VT1, VT2 зібраний DC / DC-перетворювач за схемою блокінг-генератора з регулюванням напруги резистором R3. Трансформатор TI намотується на феритових кільцях діаметром 7-10 мм і містить в первинній обмотці 20 витків, а у вторинній - 35 витків дроту ПЕВ-0,3;

ж) промислова сонячна батарея GB1 може служити безкоштовним джерелом енергії для живлення мобільних телефонів в тих місцях, де за статистикою спостерігається велика кількість сонячних днів в році. Є можливість використовувати таку батарею для живлення саморобних конструкцій з МК.

1.5.4 Складні схемотехнічні рішення

Як видно зі схеми на Додатках А, енергія світла, перетворена сонячними батареями в електричну, надходить на вхід модуля CBC5300. Включений в модуль перетворювач step up, що працює в діапазоні вхідних напруг від 0,5 V до 4,1 V, піднімає напругу до 4,1 V. Цією напругою заряджають два твердотільних акумулятора CBC050 ємністю 50 mkAh і напругою 3,8 V. Одночасно з зарядом акумуляторів, заряджається і конденсатор ємністю 1000 ТКР, встановлений в модулі CBC - SEH-01 [5].

Ці акумулятори та конденсатор не дадуть впасти напрузі живлення мікроконтролера при роботі радіомодуля датчика. Живлення 3,5 V, стабілізоване модулем CBC5300, надходить на бездротової датчик T430 - RF2500T через роз'єм J1 модуля [5].

В результаті вивчення матеріалів аналітичного огляду встановлено, як розроляти виділений контролер заряду акумуляторної батарей від сонячних модулів. З розглянутих варіантів найбільш перспективним рішенням, при побудові контролера, представляється MPPT-контролер - пошук точки максимальної потужності (ТМП).

Даному питанню й будуть присвячені наступні розділи.

2 ЕЛЕМЕНТНА БАЗА СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

2.1 Аналіз рішень MPPT контролерів, які існують

MPPT контролери з'явилися на ринку ще в кінці 80-х років. Поступово вони стали застосовуватися все ширше і ширше, і в майбутньому, швидше за все, все контролери матимуть функцію стеження за ТММ сонячного модуля. Зараз на ринку з'явилися MPPT контролери з поліпшеною схемотехнікою, надійними електронними компонентами та з управлінням мікропроцесором.

У простих контролерів сонячний модулі підключається до акумулятора безпосередньо, таким чином напруга їх порівнюється. В реальності ж оптимальна напруга сонячної батареї майже завжди відрізняється від напруги на акумуляторі. Типовий 12 В акумулятор вимагає для повного заряду підтримувати заряд при 14,4 В протягом 2-4 годин. Ця стадія називається стадією абсорбції (насичення).

Якщо подивитися на типову вольт-амперну характеристику сонячної батареї, можна побачити, що вироблення енергії може бути збільшено, якщо контролер заряду буде стежити за точкою максимальної потужності сонячної батареї.

Типовий MPPT контролер постійно відстежує струм і напругу на сонячній батареї, перемножує їх значення і визначає пару ток-напруга, при яких потужність СБ буде максимальною. Вбудований процесор також стежить, на якій стадії заряду знаходиться акумулятор (наповнення, насичення, вирівнювання, підтримка) і на підставі цього визначає, який струм повинен подаватися в акумулятори. Одночасно процесор може давати команди на індикацію параметрів на табло (при наявності), зберігання даних, і т. і.

Точка максимальної потужності може обчислюватися різними способами. У найпростішому випадку контролер послідовно знижує напругу від точки холостого ходу до напруги на акумуляторі. Точка максимальної потужності буде знаходитися десь в проміжку між цими значеннями.

Положення ТММ залежить від декількох параметрів - від освітленості модуля, температури, різнорідності використовуваних модулів і т. і. Контролер буде робити періодичні спроби трохи «відійти» від знайденої на попередній стадії точки в обидві сторони, і якщо потужності при цьому збільшується, то він переходить на роботу в цій точці. Теоретично, при пошуку ТММ втрачається трохи енергії, але ця втрата дуже незначна в порівнянні з тією додатковою енергією, яку забезпечує MPPT контролер.

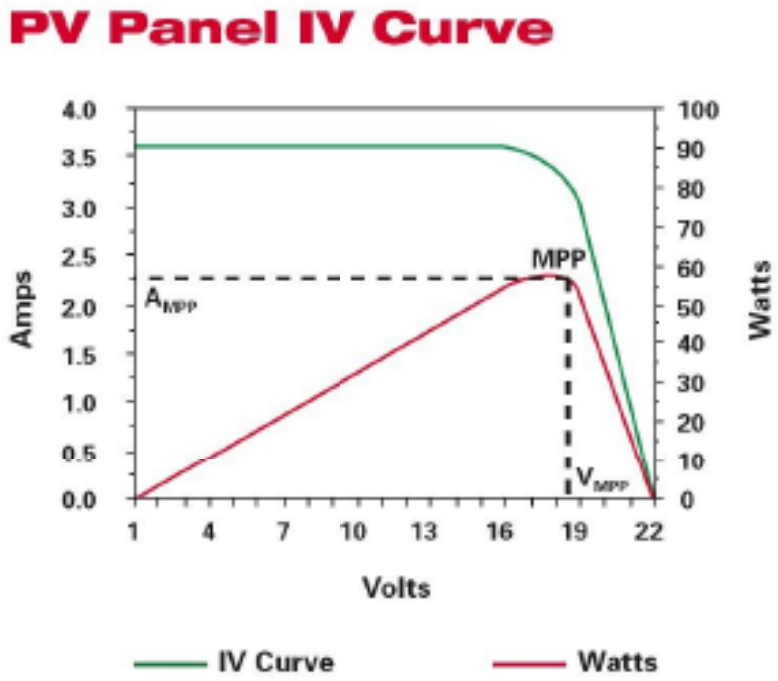


Рисунок 2.1 - Точка максимальної потужності сонячної батареї

Вбудований перетворювач постійного струму підтримує різний напруга на вході і виході контролера. Це схоже на роботу безступінчатим коробки передач в автомобілі, яка підтримує оптимальні оберти двигуна при різній швидкості руху автомобіля.

Кількість додатково отриманої енергії при використанні MPPT контролера важко однозначно визначити. Основними факторами, що впливають на додаткову вироблену енергію, є температура і ступінь зарядженості акумуляторної батареї. Найбільша добавка до вироблення буде при низьких температурах модуля і вирядженних батареях [7].

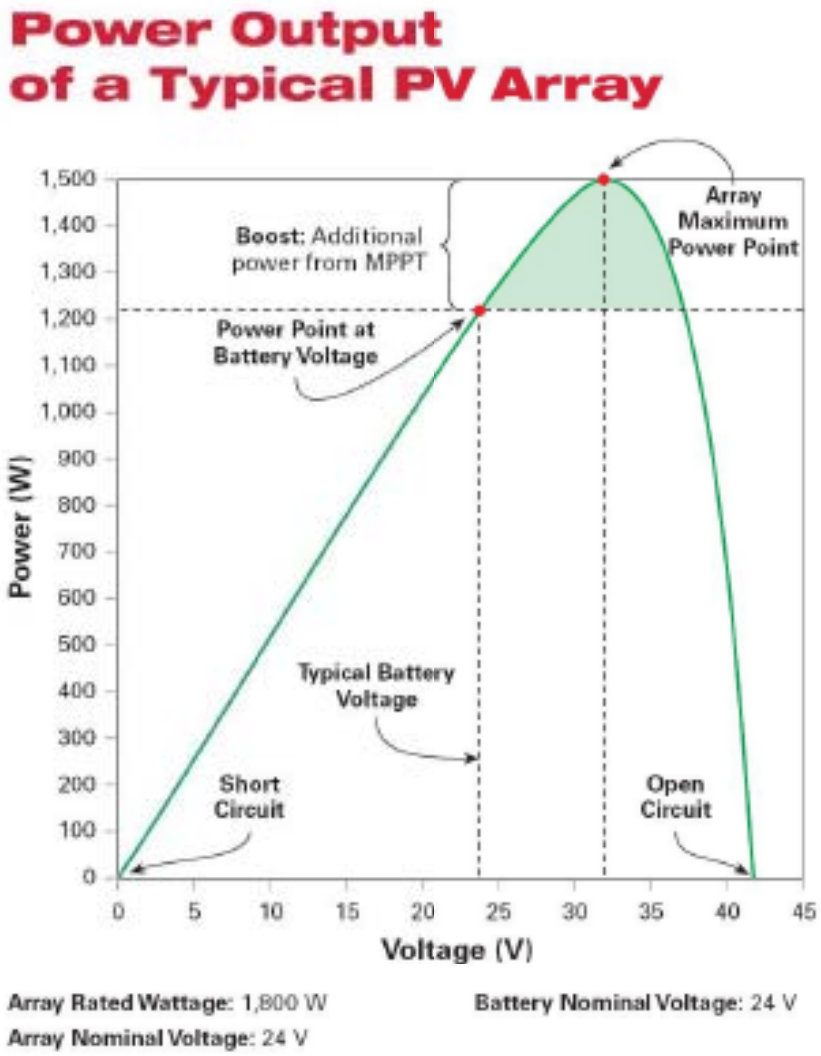


Рисунок 2.2 - Підвищення вироблення енергії сонячним модулем під час стеження за точкою максимальної потужності

Чим гарячише сонячне випромінення, тим менше напруга на модулі і, відповідно, вироблення енергії сонячною батареєю. У якісь моменти точка максимальної потужності може бути нижче напруги на акумуляторі, і в цьому випадку ви не отримаєте ніякого виграшу у виробленні енергії в порівнянні з ШІМ контролером. Такий же вплив надає і часткове затінення сонячної батареї.

Тому зазвичай при використанні MPPT контролерів потрібно комутувати сонячні батареї на більш високу напругу. Більшість контролерів може відстежувати точку максимальної потужності в широких межах. Таке рішення також дозволить підвищити вироблення енергії сонячною батареєю

при зниженому освітленні. Однак, не потрібно робити занадто велику різницю між вхідною і вихідно юнапругою, інакше ККД контролера падає.

Втрати в провідниках обчислюються за формулою:

$$P = I^2 \times R$$

Таким чином, при зменшенні струму в 2 рази, втрати зменшуються в 4 рази. Якщо зменшити струм в 4 рази, то втрати зменшаться в 16 раз, і т. і. Якщо збільшити напругу з боку фотоелектричних модулів, то можна істотно зменшити втрати при тій же переданої потужності [7].

Поточна ціна контролерів дозволяє ефективно їх застосовувати при потужності модулів від 200 Вт, або якщо напруга вашого модуля є нестандартною. Це дозволить збільшити вироблення фотоелектричної системи без додавання фотоелектричних модулів. Якщо не використовувати MPPT контролер, то є можливість недобору енергії від СБ і втрату частини інвестицій в сонячні батареї.

2.2 Принцип дії MPPT контролерів

Ефективні методи пошуку точки максимальної потужності (ТММ) сонячної батареї на даний момент робляються, але зазвичай використовується метод Perturb and Observe. При цьому методі проводиться періодичне повне сканування всієї вольт-амперної характеристики сонячної батареї (ВАХ) (зазвичай раз в 2 години, але в SunStar MPPT цей інтервал можна задавати від 1 хвилини до 4 годин), знаходиться ТММ, і до наступного повного сканування контролер «нишпорить» від цієї точки і обчислює, як змінюється потужність сонячної батареї, і зрушує робочу точку на нове напруження, якщо при ньому потужність більше. Практично у всіх контролерах застосовується саме цей метод. Недоліком методу вважається постійна необхідність проводити вимірювання, під час яких генерація енергії від модулів переривається. Різні виробники підбирають параметри пошуку - глибину і частоту ітерацій, періодичність повного сканування, - для того, щоб

найбільш оптимально відстежувати точку максимальної потужності сонячної батареї і отримувати максимальну енергію від Сонця.

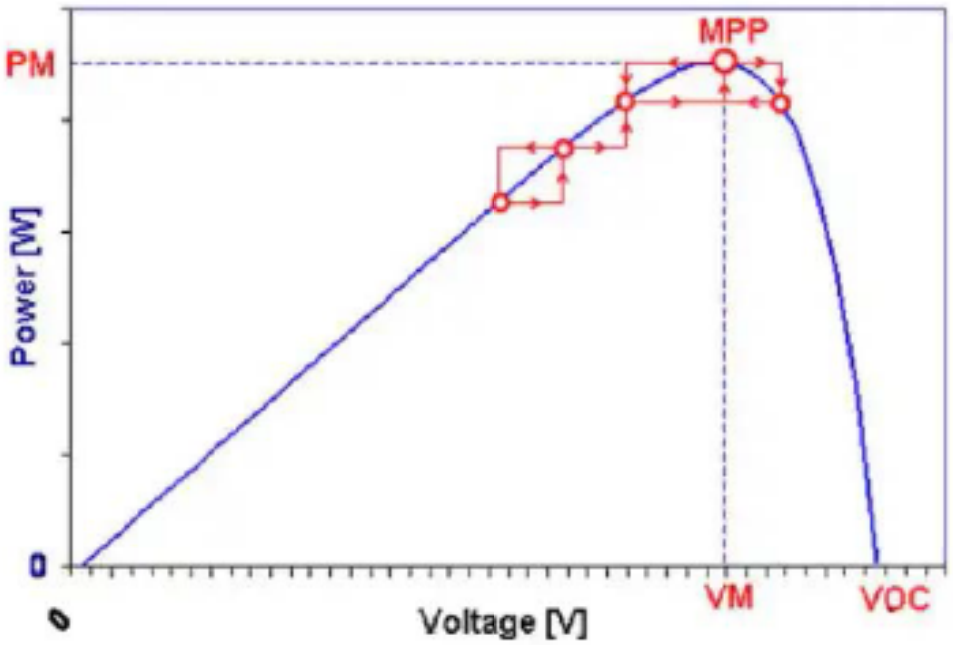


Рисунок 2.3 - Метод пошуку точки максимальної потужності

Багато виробників навіть мають фірмові назви для свого методу пошуку ТММ, але в кінцевому рахунку всі ці методи є реалізацією методу «відхилити і спостерігати» (саме так можна перевести Perturb & Observe). Переважна більшість контролерів не дозволяє вибирати параметри методу пошуку ТММ. Виняток становить тайванський MPPT контролер Prosolar Sunstar MPPT [8].

Всі інші методи доступні для вибору тільки в контролерах Prosolar Sunstar MPPT.

Другий метод - Scan and Hold - після первинного сканування напруга встановлюється на рівні знайденої точки і тримається до наступного повного сканування. Такий метод хороший там, де немає хмар і немає затінення модулів. Переваги - висока швидкість роботи, практично немає переривання генерації на вимірювання.

Третій метод - Percentage of open circuit voltage - змірюється напруга холостого ходу і робоча точка вибирається на рівні Uxx * k, де k може бути від 0 до 1, за замовчуванням 0,8. Точка тримається до наступного сканування. Такий метод хороший там, де немає хмар і немає затінення модулів. Переваги - висока швидкість роботи, практично немає переривання генерації на вимірювання.

Четвертий метод - жорсткий вибір робочої точки. Призначаєте будь-яку напругу, яку контролер буде підтримувати. Ніяких вимірів і обчислень він вже не робить, працює постійно. Недолік - така напруга може бути далеко від реальної ТММ. Однак, якщо ви точно знаєте, при якій напрузі ваша батарея виробляє максимальну потужність, і СБ працює практично постійно при ясному небі, то можна використовувати і цей метод. При запуску системи потрібно задати напругу, яка буде підтримувати контролер, вона обчислюється виходячи з параметрів конкретної сонячної батареї.

Є ще екзотичні методи пошуку ТММ, з використанням штучного інтелекту, але вони в масових контролерах не застосовуються.

2.3 Порівняння параметрів і можливостей MPPT контролерів різних виробників

Так як на ринку останнім часом з'явилося безліч моделей MPPT контролерів, часто покупцям важко зробити правильний вибір. Приклад параметрів наведено в таблиці 2.1 [8].

Таблиця 2.1 - Параметри контролерів[8]

Модель/ Параметри	Модель/ Параметры	EPSolar Tracer MPPT			Steca Solarix	Morningstar MPPT			Prosolar SunStar MPPT				Outback FlexMax		Xantrex
		1210/ 1215	2210/ 2215	4210/ 4215	MPPT 2010	Sun Saver	TS - 45	TS-60	SS-50C	SS-80C	SS-40CX	SS-80CX	FM-60	FM-80	XW MPPT
Макси-мальный ток заряда АБ, А	Макси-мальный ток заря-да АБ, А	10	20	40	20	15			50	80	40	80	60	80	60
Діапазон MPPT, В	Диапазон MPPT, В	12-100/12-150			17-100		12-140		16-112		16-192		12-140		
Максима-	Макси-	100/150			100	75	150		140		240		150		150

льна на-прута, В	мальное напряже-ние, В									
Напрута АБ, В	Напряже-ние АБ, В	12/24		12/24	12/24	12/24/ 36/48	12/24/36/48		12/24/ 36/48/60	
стадій заряду	Стадий заряда	4		4	4		4		5	5
Вбудована індикація	Встроен-ная инди-кация	LED		LED	LED		LCD		LCD	LCD
Виносна панель управлін-ня і інди-кації	Выносная панель управле-ния и индика-ции	MT-2	MT-5	нет	✔		✔		MATE	XW-SCP
Кількість керівників реле	Количе-ство управля-ющих реле	нет		нет	нет		2		1	1
ко-мунікацій ні можли-вості	Комму-никаци-онные возмож-ности	нет		нет	RJ-11	RJ453	RJ45-USB5			XanBus
регулю-вання по SOC9	Регули-рование по SOC9	нет		нет	нет		✔		✔10	нет
Алгоритм пошуку TMM11	Алгоритм поиска TMM11	P&O		P&O	P&O		P&O, S&H,%Voc, HIV		P&O, %Voc	
Наявність контролю навантаження / макси-мальний струм	Наличие контроля нагрузки/ макси-мальный ток	да12 (10A)	да (20A) да (20A)	да (10A)	да (15A)	нет	✔13		✔13	✔13

Всі перераховані контролери є цифровими. Єдиним аналоговим контролером в наданому асортименті є Juta MPPT (він в даному огляді не бере участі). Також, агресивно рекламовані через спам і на інтернет-аукціонах, типи ebay або alibaba контролери Wellsee китайського виробництва не є насправді MPPT контролерами; також, відомі випадки виходу обладнання, яке працювало в одній системі з цими контролерами і часто є численні скарги від власників цих контролерів.

Рекомендації по вибору:

Для бюджетних систем без додаткових вимог рекомендується застосовувати контролери EPSolar Tracer MPPT. Вони забезпечують високу надійно при невисокій ціні.

Недолік - наявність поки контролерів для систем з напругою 12 або 24 В.

Для систем, які вимагають віддаленого моніторингу та зв'язку з комп'ютером, підходять контролери MorningStar Tristar MPPT 60 (модель на 45А не має вбудованого веб-сервера і інтерфейсу Ethernet). Для зв'язку з комп'ютером застосовується добре документований протокол ModBus. Є пристрій для узгодження ББП Sturder Xtender з контролерами MS TrisStar MPPT.

Недоліки: відсутність вбудованої жидкокристаллічної панелі індикації (додаткова опція), немає керуючих контактів, неможливо розрахувати SOC акумулятора.

Якщо потрібно управляти додатковими пристроями в залежності від напруги на АБ - наприклад, вмикати / вимикати балластне навантаження, забезпечити захист АБ від глибокого розряду, управляти зовнішніми пристроями (наприклад, автозапуском генератора, або підключенням додаткового пристрою) - то буде потрібен контролер з додатковими керуючими контактами. Prosolar SunStar MPPT має 2 групи таких контактів, Outback FlexMax і Xantrex XW MPPT - по 1.

Якщо потрібно отримати інформацію щодо ступеня зарядженості АБ (SOC), то найбільш просто отримати таку функцію в контролері Prosolar SunStar MPPT - вона вже вбудована в цей контролер і потрібен тільки додатковий вимірювальний шунт. Контролери Outback формально теж можуть працювати по SOC, але для цього їм потрібен додатковий пристрій - Outback FlexNet DC, HUB і бажано пристрій відображення MATE. Все це сильно здорожує систему, і це доцільно лише при використанні в системі інверторів Outback.

Найбільш оптимальним вибором є контролер Prosolar Sunstar MPPT - він має вбудований рідкокристалічний дисплей, окремі сигнальні дроти для вимірювання напруги на АБ, при використанні вимірювального шунта забезпечує обчислення SOC, його відображення і управління додатковими контактами за цим параметром. Опціональний пристрій узгодження з програмою дозволяють легко підключити його до комп'ютера для збору даних про роботу системи і управління контролером. При цьому контролер Prosolar SunStar MPPT має ціну нижче, ніж всі інші контролери з аналогічними функціями. Більш того, можна з'єднувати до 16 контролерів в паралель для збільшення потужності системи; при цьому вимірювальний шунт може бути один.

2.4 Технічні характеристики і функціонал контролера

Тепер необхідно вирішити що ж повинен вміти контролер, щоб забезпечити необхідний функціонал. По-перше, контролер заряджає АКБ, а отже необхідно реалізувати CC / CV управління (стабілізація струму і напруги) на виході і для цього знадобитися вимірювати струм і напругу на виході. По-друге, для пошуку ТММ необхідно вимірювати ВАХ сонячної панелі, а значить потрібно вимірювати струм і напругу на вході. По-третє, повинен бути понижуючий dc / dc, який опустить вхідну напругу до 12 або 24 В, в даному випадку це буде синхронний buck. Це все дозволить реалізувати основний функціонал пристрою, в результаті функціональна схема буде виглядати як на рис. 2.4.

Схема дуже схожа на приклад топології buck і відмінності лише в додаткових ланцюгах зворотного зв'язку для реалізації алгоритму пошуку ТММ і процесу заряду. Крім цього необхідно реалізувати захист від перегріву, від наскрізних струмів, додати інтерфейси для зручного оновлення прошивки.

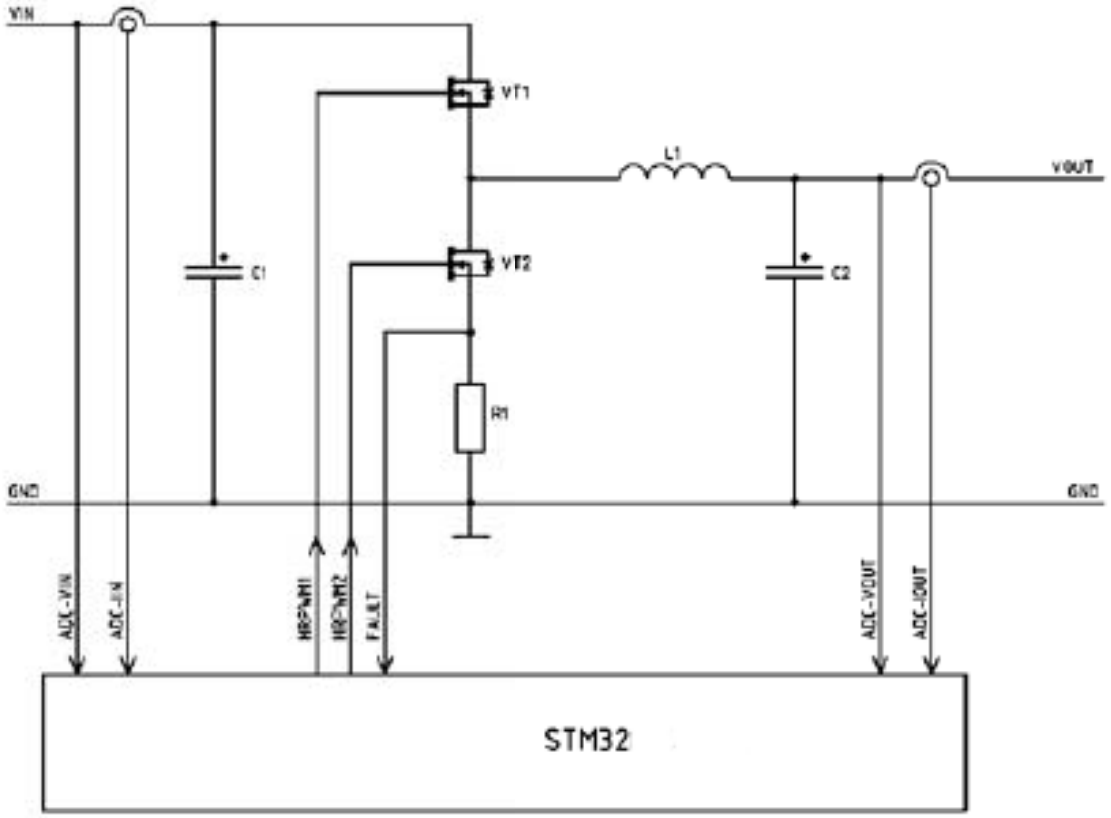


Рисунок 2.4 -Функціональна схема

Технічні характеристики:

Вхідна напруга: 15 ... 60 В

Вихідна напруга: 12 / 24 В

Номінальний вихідний струм: 20 А

Алгоритми MPPT: так

Частота перетворення: 100 кГц

Захист від перегріву: так

Захист від наскрізного струму: так

Захист АКБ: OVP і OCP

Інтерфейси: USB, Modbus

Ресурс: не менше 50 000 годин

Габаритні розміри: 110x90x20 мм

Особливої вишуканості в даному рішення не передбачається, основний ухил на підвищену надійність, ефективність алгоритмів ТММ і збереження адекватної вартості контролера. Із зручностей було вирішено закласти гальванически розв'язаний USB для налаштування і перепрошивки керуючого мікроконтролера плюс його можна використовувати для налагодження, якщо SWO не використовуватиметься. Так само для реалізації віддаленого управління і моніторингу краще використовувати RS-485, який надійний, дешевий в реалізації і дозволяє організувати зв'язок на відстань до 1000 метрів. Від WI-FI та інших засобів радіозв'язку краще відмовитися, тому що контролер зазвичай експлуатується в металевому щиті і як варіант в залізобетонному будинку.

2.5 Вибір компонентів

Пристрій розміщується на двох друкованих платах: 4-х шарових модулях управління і основної 2-х шарової платі. В модуль управління після випробування вирішено внести ряд глобальних змін:

- відмова від вертикального монтажу в роз'єм і перехід до горизонтального. Це дозволило вирішити проблему з роз'ємом і обійтися звичайними 2.54 мм PLS-ами, а так само значно зменшити висоту пристрою. З вертикальної версією висота контролера була б 60 мм, а не 20 і був би великий шанс відламати плату управління. Зараз же вона не виступає на тлі інших компонентів і як і раніше займає мало місця;

- контролер замінений на більш компактний і дешевий STM32F103. Ця заміна так само призвела до зменшення кількості каналів для управління півмилі з 5 до 4-х. Як показала практика, даний контролер не в змозі управляти одночасно 5-ю півмилі, хіба що зовсім прості алгоритми. Виходячи з цього було вирішено відмовитися від корпусг LQFP-64 на користь LQFP-48;

- долучення гальванически розв'язаний USB, а якщо бути точніше, то міст USB-UART, тому що в самому мікроконтролері немає апаратного USB інтерфейсу;

- з плати управління прибрана мікросхема PHY для RS-485, тому що потрібна вона не всім і не завжди, але для її можливого використання на роз'єм виведений UART і додатковий gpio для управління прийом / передачею;

- на оцінний роз'єм крім інтерфейсу SWD було вирішено вивести і SWO для більш зручної відладки програми.

Тепер перейдемо до вибору компонентів для основної (силовийої) частини перетворювача.

2.6 Датчик струму

Для управління зарядом АКБ і вимірювання ВАХ сонячної панелі необхідно вимірювати постійний струм в діапазоні від 0 до 20 А. Варіантів виміряти постійний струм не так багато, найефективніші і прості способи - струмовий шунт і датчик на ефекті Холла. У першій версії була зв'язка "шунт + INA194", варіант найбільш робочий, але мікросхема досить гучна і була проблема в вимірі струмів менш 3-4 А. Проблема вирішувалася збільшенням номіналу шунта і цифровим фільтром, але тоді підвищувалася потужність, що виділяється на шунт у вигляді тепла, що не бажано.

Спочатку варіант із застосуванням датчиків Холла не подходить, а саме серії ACS (наприклад, ACS713 або ACS711), тому що вони мають велику похибку і у них низька смуга вимірювання.

При проведенні дослідження, виявилося, що відносно нові серії не реагують на найменші наведення, головне не мати коло себе нічого залізного або того, що може намагнітитися. Вимірювати в проекті потрібно постійний струм в системі, де швидкість його зміни не висока, а отже і смуги в 100 кГц вистачить. Виходячи з простоти і ціни рішення у другій версії MPPT контролера я поставив ACS713ELCTR-30A [9].

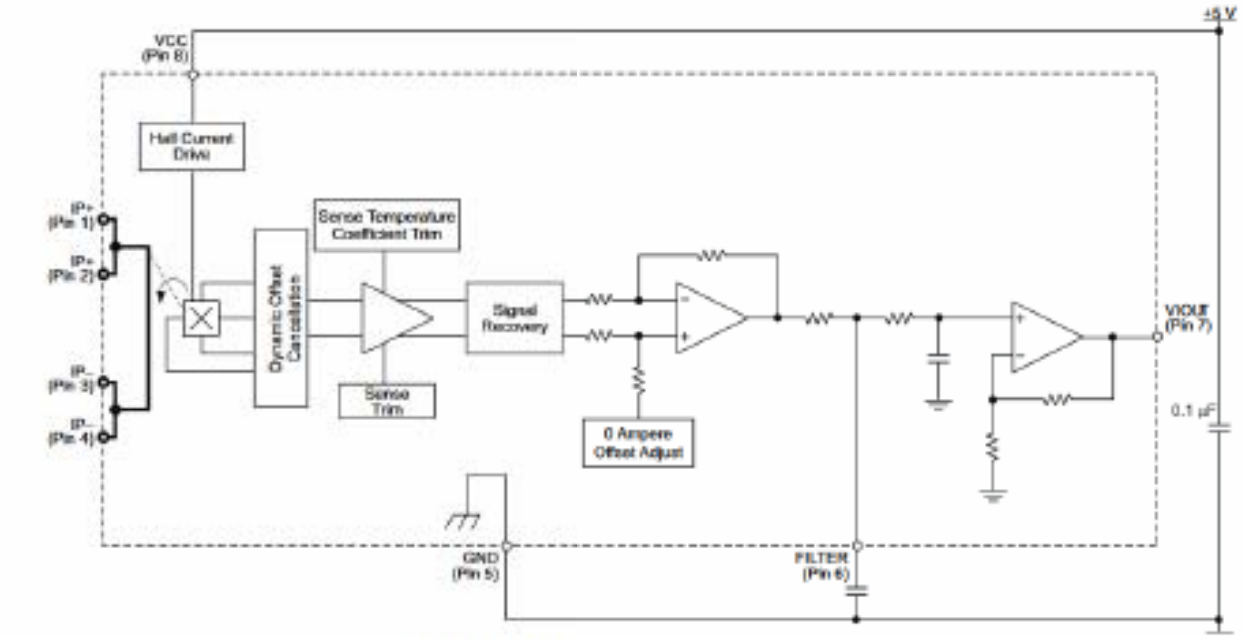


Рисунок 2.6 – Датчик струму

У фірми Allegro є дві версії датчиків - DC і DC/AC, а отже вибір очевидний на користь DC, які так само мають великим значенням "вольт на ампер". Це дозволило досить точно вимірювати не тільки великі значення струму, але і малі, на рівні 0,3 ... 0,5 А з реальною похибкою ± 5%.

Включення стандартне, ніякої магії в схемі немає, єдине що необхідно зробити - "узгодити" вихідний діапазон датчика 0 ... +5 з тим, що може виміряти АЦП у мікроконтролера STM32, а саме з діапазоном 0 ... 3,3. У датчика вихід напругою, він лине і збільшення вихідної напруги на 133 мВ означає збільшення струму, що протікає через датчик, на 1А. Виходячи з цього мінімальна напруга на виході 0 В, а максимальна: 30А * 133 мВ / А = 3,99 В. Теоретично дільник напруги можна було б не ставити, тому що максимальний струм всього 20 А і отже напруга на виході буде в межах 2,66 В і ніяк не загрожує входу АЦП, але краще перестрахуватися. Можливо після тестування і тривалої обкатки пристрої все-таки треба буде прибрати дільник і поставити повторювач напруги на ОУ.

2.7 Драйвер управління затворами транзисторів

На стадії проектування краще відразу відмовитися від повної гальванічної розв'язки керуючої схеми від силової, це дорого, хоча і позбавляє від наведень і захищає цифрову частину. Введення гальванічної розв'язки 2-х напруг і драйвера підвищило б ціну перетворювача на 40%. Тому від улюблених драйверів Infineon серії 1ED/1EDI довелося відмовитися і вибрати щось пристойне з бутстрепним живленням верхнього ключа, вибір потрапив на досить нове рішення - NCP5183DR2G [10]. Драйвер показав себе в роботі дуже стабільним і достатнім для управління парою mosfet на частоті 100 кГц. Мінус в ньому я знайшов один - відсутність окремого входу, наприклад, ShutDown або Enable для виключення драйвера в разі аварії, тому для реалізації захисту необхідно ставити додаткову дискретну логіку або використовувати апаратний вхід FAULT в самому мікроконтролера STM32F103. Вибираємо другий варіант, в результаті схема управління транзисторами виглядає як показано на рис. 2.7:

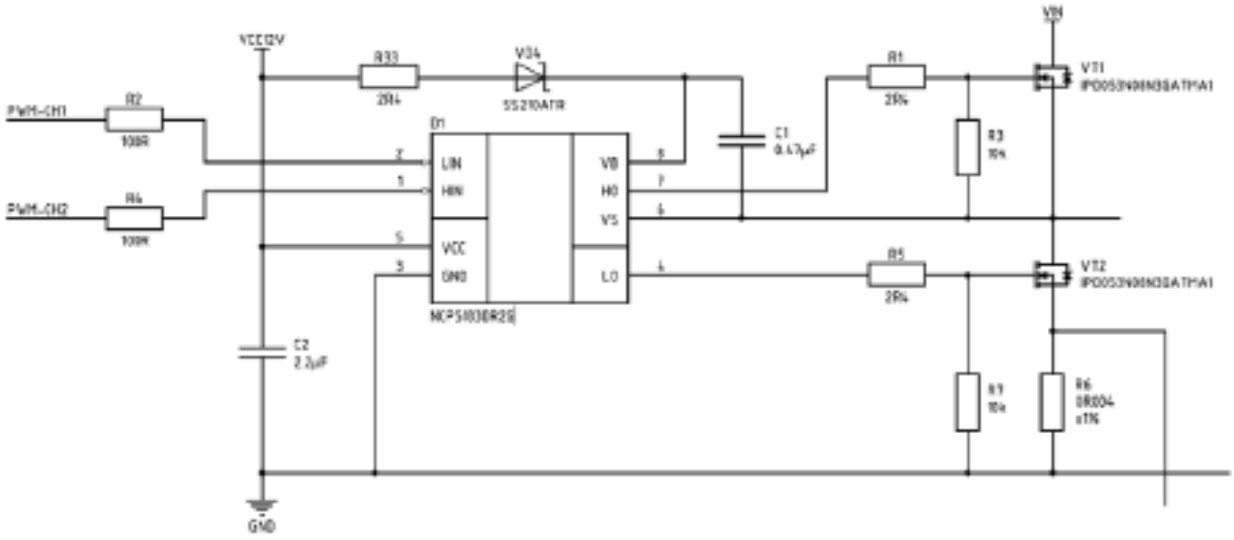


Рисунок 2.7 –Схема включення драйвера транзисторів

Рішення просте і зрозуміле, єдине додам від себе - конденсатор C1 повинен бути керамічним з діелектриком X7R від виробників Yageo / Murata / Samsung.

2.8 Вихідні конденсатори

В силу того, що в пріоритеті надійності і ресурсу перетворювача, а отже необхідно усунути всі слабкі місця. В сучасних DC/DC перетворювачах залишилося одне слабке місце - електролітичні конденсатори, які так чи інакше через деякий час "сохнуть" і деградують, що призводить спочатку до зростання пульсацій і перегріву, а потім до виходу перетворювача з ладу.

У контролері, що розробляється, є 2 місця заряду: конденсатори на вході і виході. Було вирішено замінити вихідні електроліти на твердотільні полімерні конденсатори, які куди легше переносять роботу на токах в десятки ампер і володіють ресурсом на порядок вище, ніж у самого якісного електролітичного конденсатора. Мінус у них один - ціна, дане задоволення від Panasonic коштує 2 $ / шт, але воно того варте.

На вході пристрою напруга може досягати 60 В, а це значить, що твердотільні полімерні конденсатори вже не поставити, їх просто немає, максимум 35 В. Правда є гібридні варіанти, це проміжна ланка між електролітом і твердотілим конденсатором, вони є до 100В. У даного типу конденсаторів рідкий електроліт замінений на пастоподібний, що дозволяє в рази підвищити його ресурс.

Хотілося б окремо сказати про політику вибору компонентів і рішень. Так як ідея передбачає використання даного контролера не тільки для вивчення на столі, але і роботу "в поле", то було вирішено використовувати тільки перевірених виробників і не використовувати китайські компоненти (крім досвіду з Lelon).

Результати:

- індуктивність силового дроселя - 30 мкГн, намотаний на кільці R32 / 20/10 з матеріалу Kool Mu. Кільце відверто з запасом вибрано, тому що планувалися експерименти з частотою і підвищенням струму;

- ємність вихідних конденсаторів - 680 мкФ, що зменшило вихідні пульсації. В принципі припустимобрати б звичайних електролітичних

конденсаторів, якщо немає можливості купити твердотільні. За нашими припущеннями працювати контролер буде без будь-яких проблем;

- транзистори (IPD053N08N3GATMA1) [11]. При пошуку аналогів потрібно вибирати транзистор з опором каналу не більше 8 мОм і затвором не більше 100 нКл. В іншому випадку ККД досить сильно впаде і транзистори будуть істотно перегріватися.

3 РОЗРОБКА АЛГОРИТМА, СТРУКТУРИ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРИСТРОЮ

3.1 Розробка структурної схеми

Опишемо загальну структуру всієї фотоелектричної системи. Основними елементами є: сонячна панель, контролер заряду і акумуляторна батарея. Сонячна панель є джерелом енергії. Контролер заряду забезпечує відбір максимальної потужності від сонячної панелі при зміні умов навколишнього середовища (температури сонячного модуля, рівня освітленості, кута падіння світлового потоку, географічного розташування і т.д.).

На рис. 3.1 показано структурну схему контролера заряду акумуляторної батареї від сонячного модулю.

Рисунок 3.1 - Структурна схема контролера заряду з живленням від сонячного модулю

3.2 Розробка алгоритму

При підключенні контролера заряду до акумуляторної батареї, користувачеві надається можливість ввести параметри навантаження, а саме:

максимальне і мінімальне напруження акумуляторної батареї. Мінімальний рівень напруги повинен бути заданий для запобігання повного розряду акумуляторної батареї. Якщо цей параметр не вводиться користувачем, то мінімальна напруга, при якому буде включений процес зарядки, за замовчуванням приймається на рівні 90% від максимальної напруги акумуляторної батареї. Після введення параметрів навантаження виконується перевірка стану батареї.

Далі реалізується принцип пошуку максимуму потужності шляхом коротких періодичних змін положення робочої точки. Проводиться розрахунок потужності, що відбирається від фотоелектричного модуля, і порівняння її величини з попереднім значенням. Якщо потужність на виході контролера заряду збільшується, то на наступному кроці положення робочої точки знову змінюється в цьому напрямку. Крок зміни напруги визначається розрядністю мікроконтроллера і максимальною напругою сонячної батареї:

$$h = U_{maxPV} / 2^n \qquad (3.1)$$

де h - крок зміни напруги, В;

U_{maxPV} - максимальне напруга сонячної батареї, В;

n- кількість розрядів мікроконтролера.

Одночасно з процесом визначення максимальної точки відбувається відстеження рівня заряду акумуляторної батареї. Якщо напруга на навантаженні більше максимально допустимого (задається користувачем), то процес заряду припиняється. Якщо ж напруга на акумуляторної батареї падає до мінімального значення, то процес заряду знову відновлюється [12].

Блок-схема описаного алгоритму роботи контролера заряду приведенана рисунке 3.2.

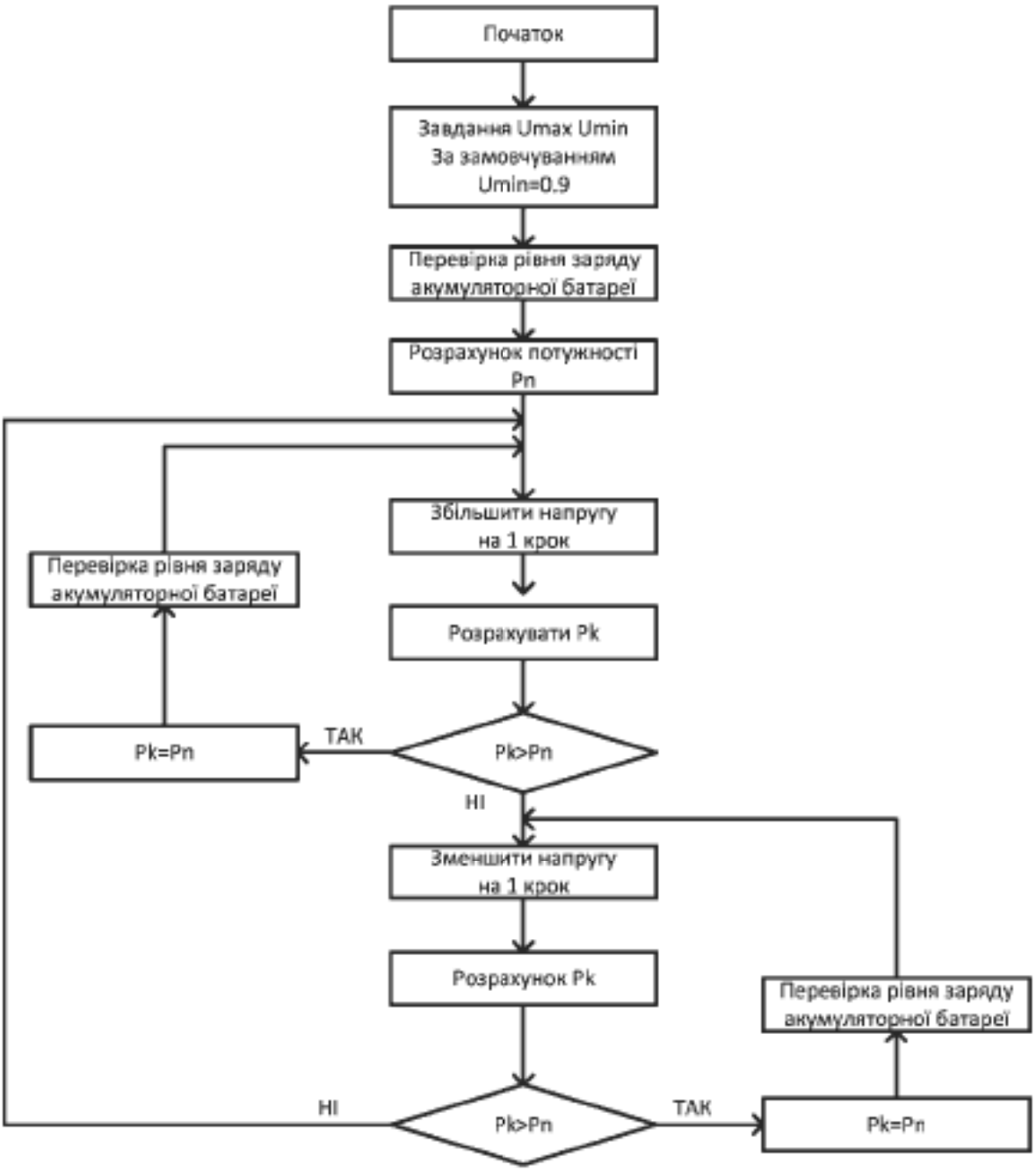


Рисунок 3.2 - Алгоритм роботи пристрою

Підпрограма перевірки рівня заряду акумуляторної батареї приведена на рисунке 3.3.

Рисунок 3.3 - Підпрограма перевірки рівня заряду акумуляторної батареї.

3.3 Імітаційне моделювання роботи пристрою

3.3.1 Принцип роботи імпульсного перетворювача постійної напруги ІППН

Оскільки одним з найважливіших блоків розроблюваної системи є імпульсний перетворювач постійної напруги понижувального-підвищувального типу - ІППН, тому в цьому розділі буде проведено моделювання роботи саме цієї частини пристрою.

Імпульсні перетворювачі постійної напруги характеризуються високим значенням ККД, габаритними показниками і надійності роботи. Вони використовуються в тих випадках, коли потрібно узгодити напругу живлення навантаження з вихідною напругою джерела первинного електроживлення. При побудові мікропроцесорної системи доцільно використовувати мікросхему імпульсного перетворювача напруги. З великого переліку доступних імпульсних повишающе-знижувальних перетворювачів напруги

раціонально застосувати мікросхему LTM4607, так як вона володіє необхідними властивостями і параметрами. А саме, даний перетворювач здатний регулювати вихідну напругу при різній напрузі на вході пристрою (більше, менше або рівним вихідному). LTM4607 працює при вхідних напругах від 4.5 В до 36 В, дозволяє змінювати вихідна напруга від 0.8 В до 24 В, забезпечує вихідний струм 5А. Схема LTM4607 включає в себе синхронний понижуючий - підвищує DC/DC контролер, 4 MOSFET-транзистора (К-канал), схему компенсації[13].

Блок - схема перетворювача ІПІН приведена нарисунке 3.4.

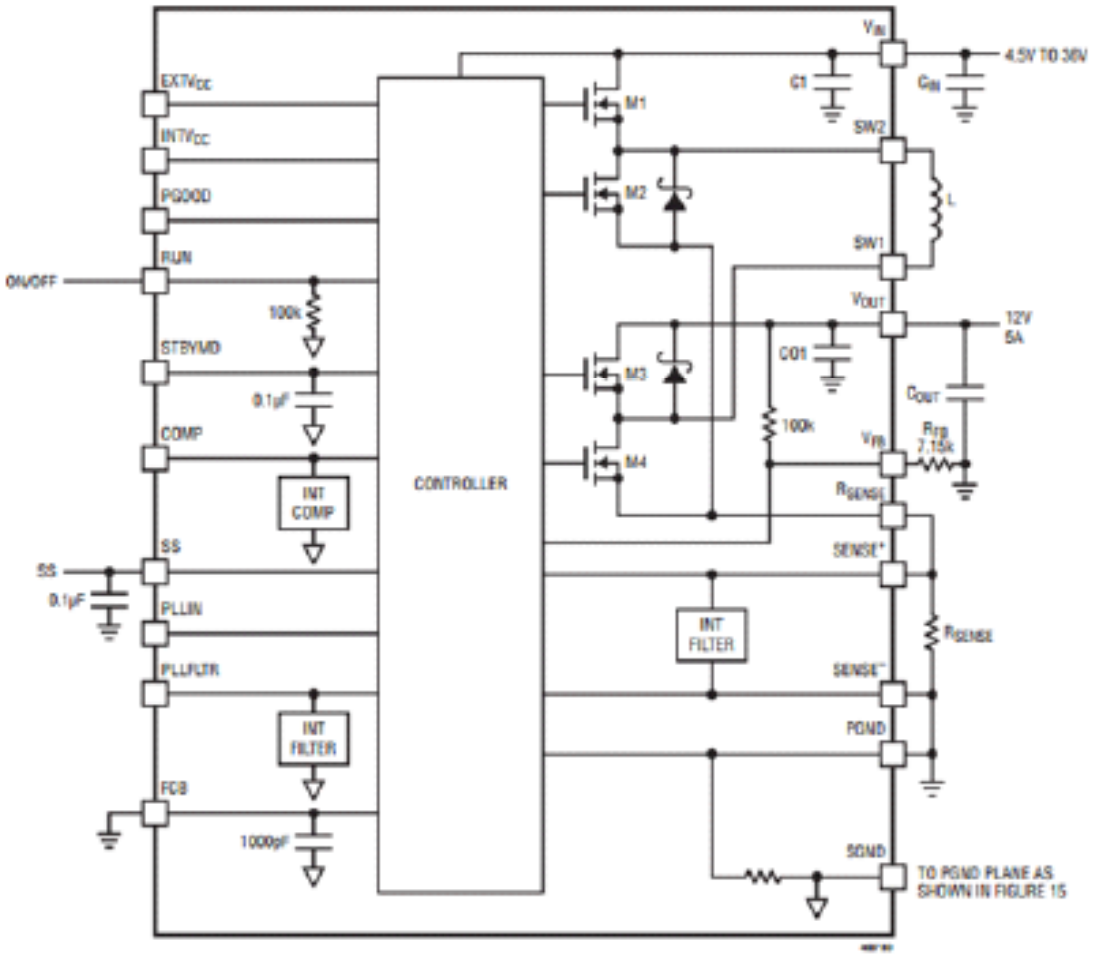


Рисунок 3.4 - Спрощена блок-схема імпульсного перетворювача постійної напруги LTM4607

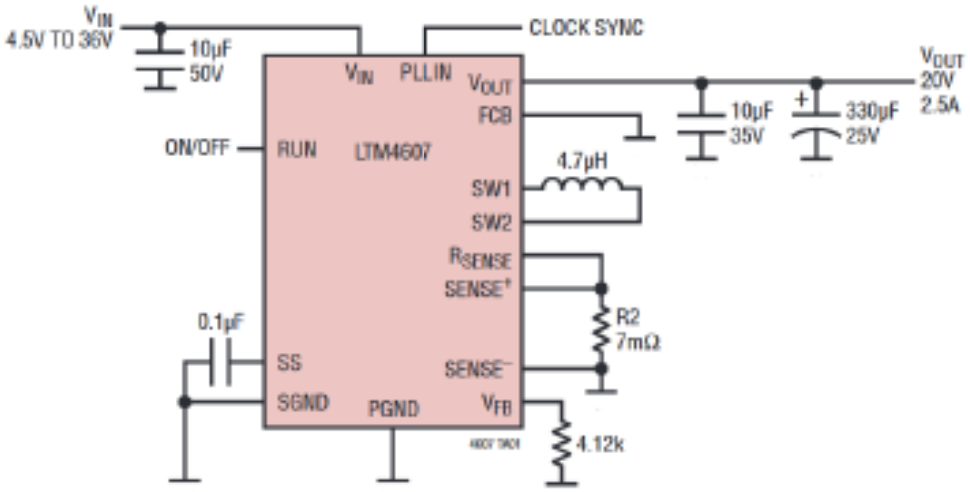


Рисунок 3.5 - Схема підключення імпульсного перетворювача постійної напруги LTM4607

На рисунках 3.6 и 3.73.6 і 3.7 приведені діаграми струму і напруги в ІППН в безперервному і переривистому режимах відповідно[14].

Даний ІППН може здійснювати підвищення або зниження постійної напруги, тобто в залежності від частоти і/або коефіцієнта заповнення (величина, зворотна шпаруватості) керуючих імпульсів на ключ, напруга на навантаженні (акумуляторної батареї) може бути більше або менше напруги джерела (фотоелектричного модуля).

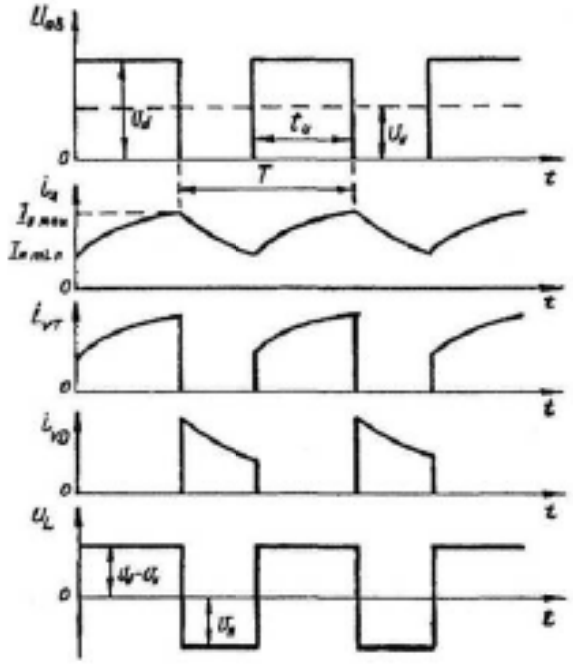


Рисунок 3.6 - Струм і напруга в ІППН в безперервному режимі

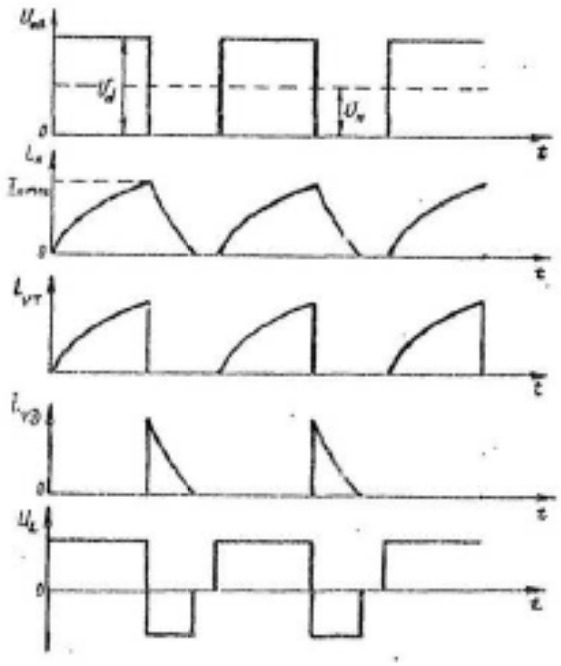


Рисунок 3.7 - Струм і напруга в ІПІН в переривчастому режимі

Метою моделювання є відтворення роботи імпульсного перетворювача постійної напруги в режимах зниження і підвищення напруги.

3.3.2 Імітаційна модель ІПІН

Моделювання здійснюється в додатку Micro-Cap12[15]. Імітаційна модель ІПІН зображена на рис. 3.8.

Напруга джерела живлення, становить 17 В. Модель перетворювача складається з ідеальних ключів, індуктивності, конденсатора і формувача імпульсів.

Результати моделювання представлені на рiс.3.9-3.14.

На рис. 3.9 -3.11 і 3.12 - 3.14 представлені діаграми, що характеризують роботу ІПІН в зменшуючому і підвищує режимах відповідно.

За результатами моделювання можна зробити висновок про те, що даний перетворювач відповідає необхідним вимогам, а саме підвищує / знижує напругу до потрібного для навантаження рівня, забезпечує надійну

роботу всієї системи в цілому і здійснює коректну зарядку акумуляторної батареї.

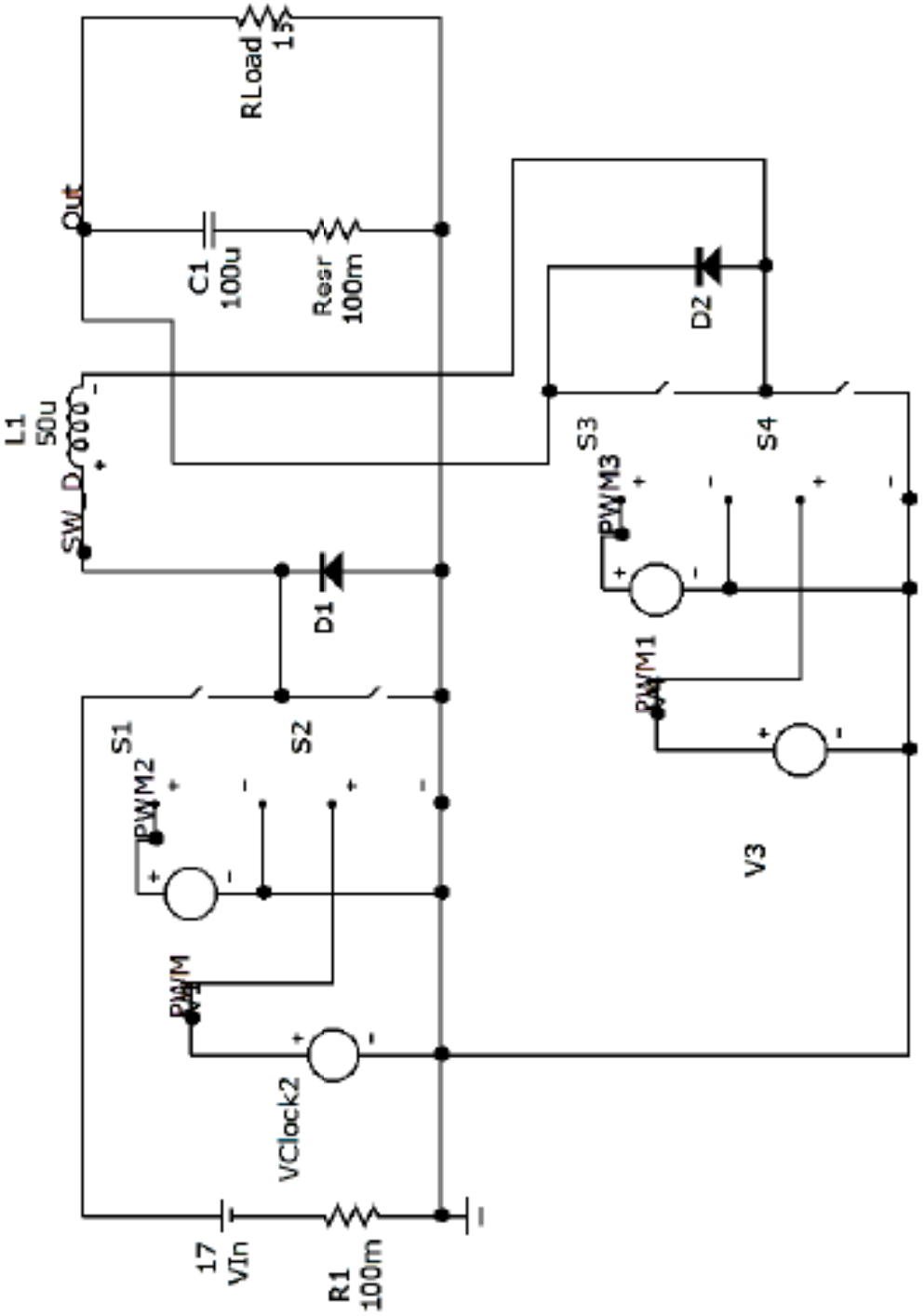


Рисунок 3.8 – Схема математичної моделі перетворювача

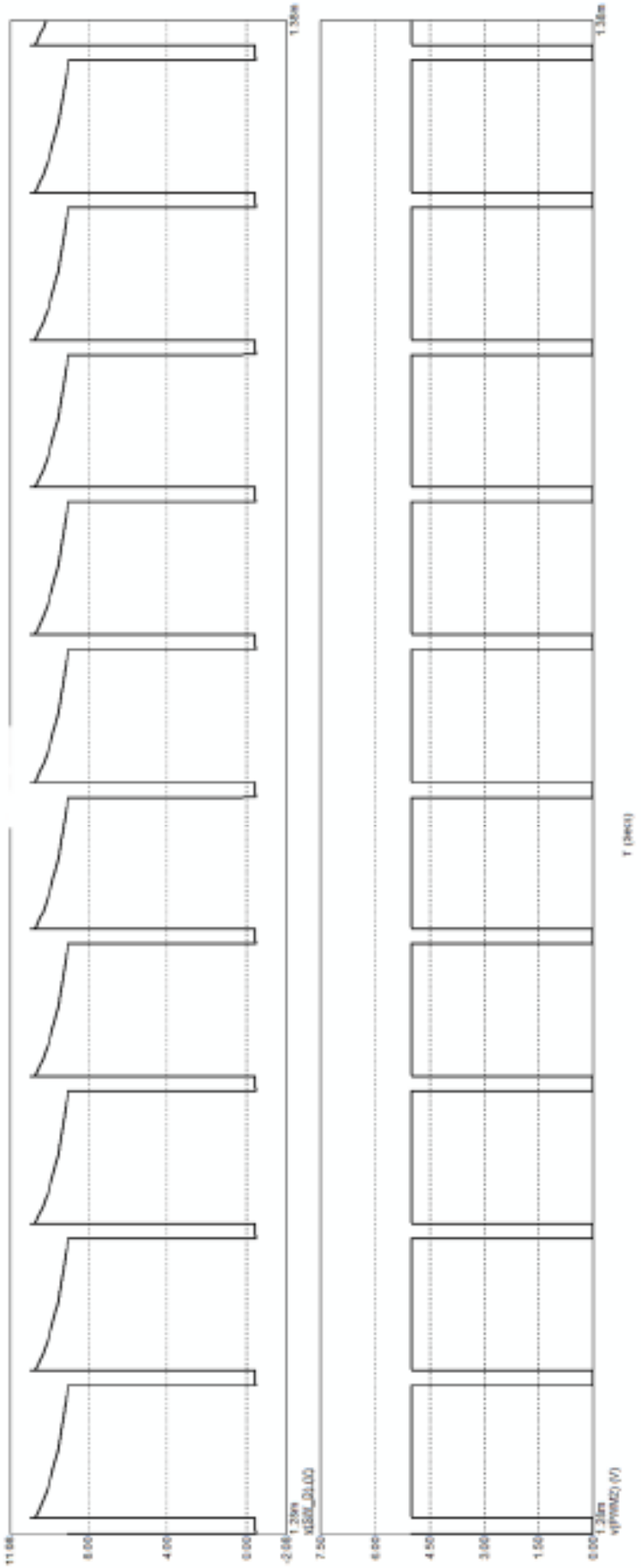


Рисунок 3.9– Сигнал управління

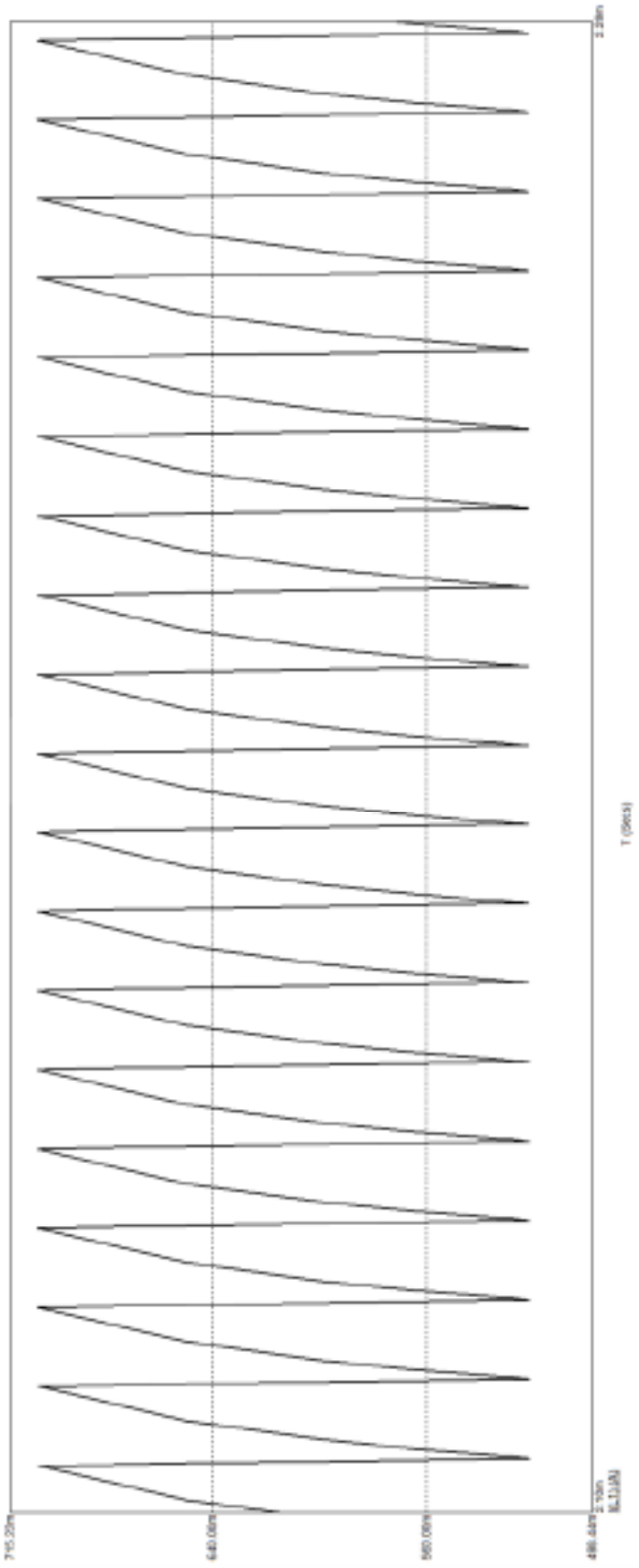


Рисунок 3.10 – Струм індуктивності

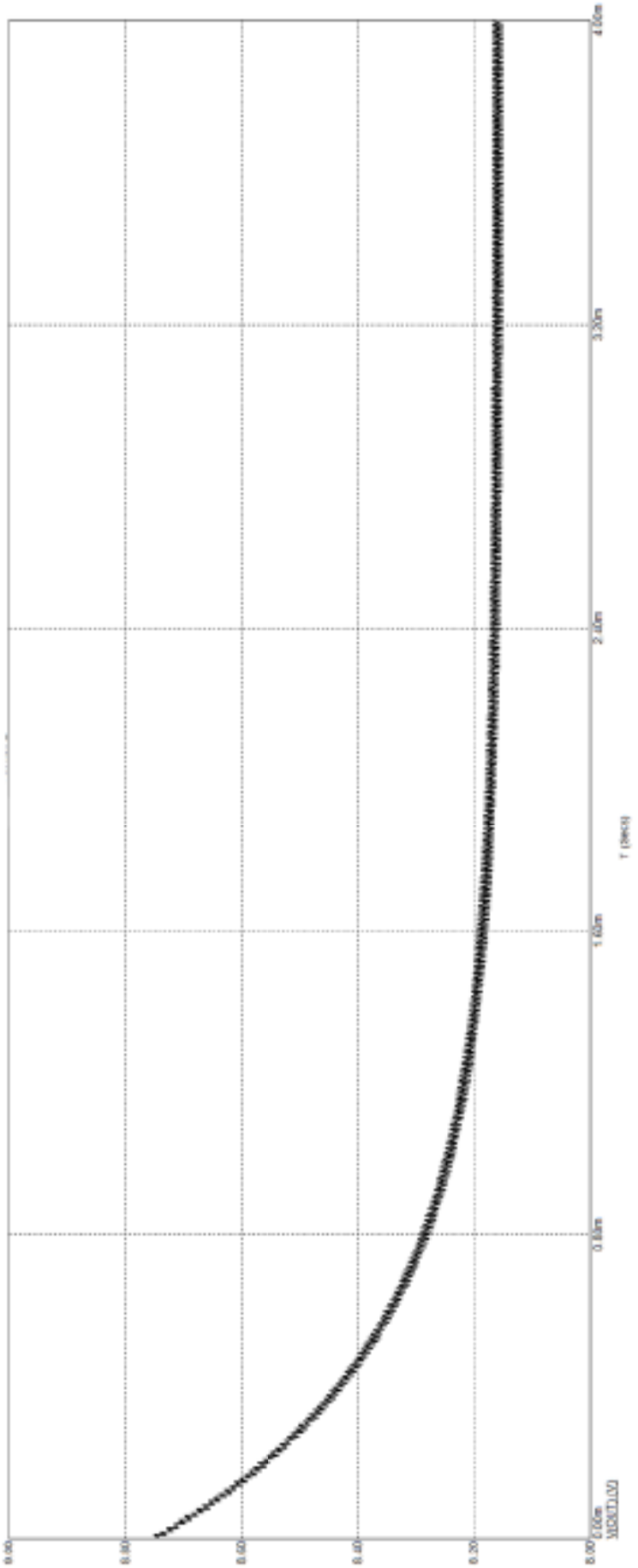


Рисунок 3.11 – Вихідна напруга в режимі зниження напруги

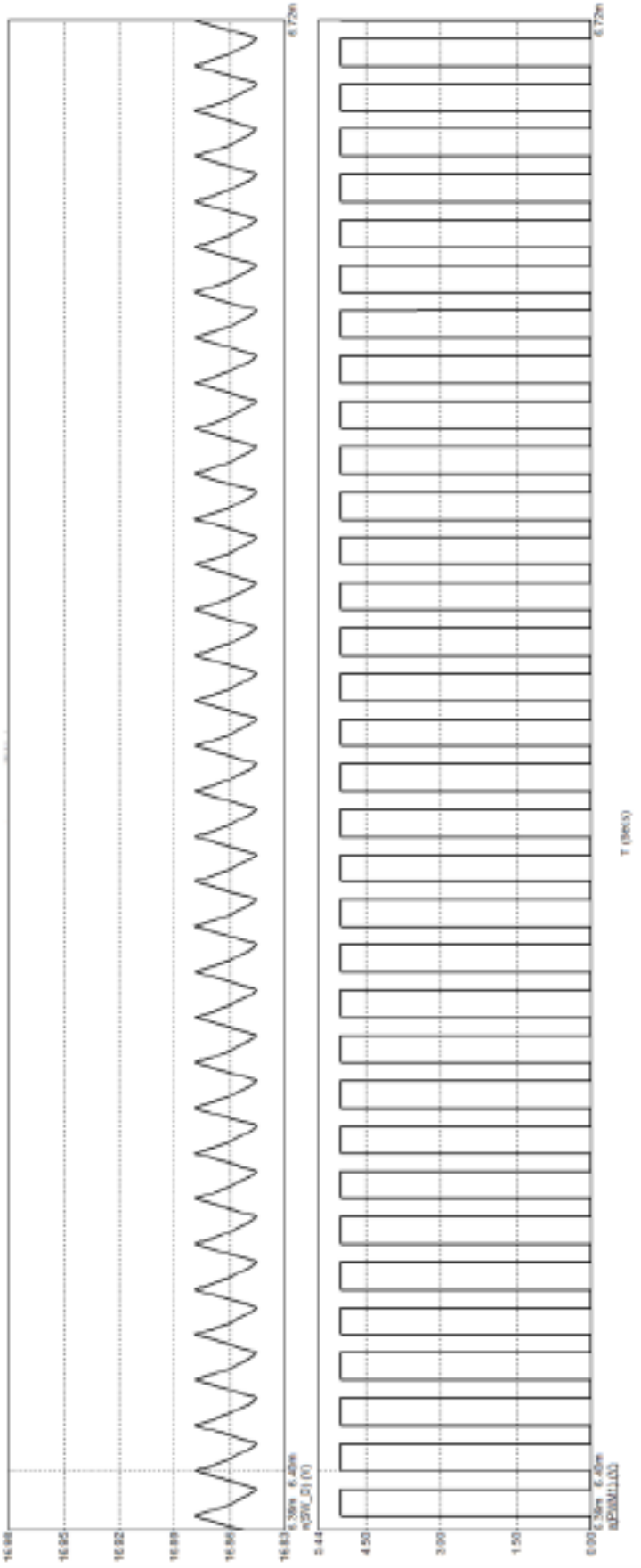


Рисунок 3.12 – Сигнал управління силовими ключами в режимі підвищення

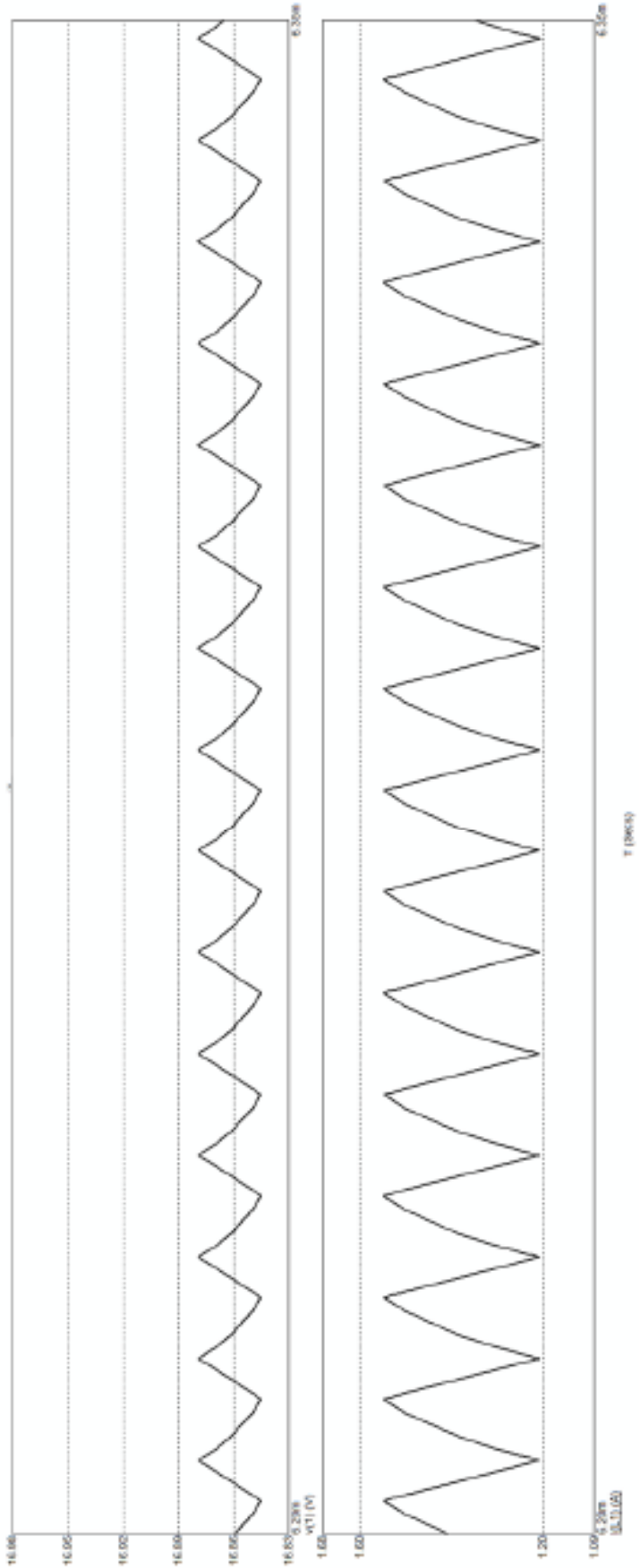


Рисунок 3.13 – Напруга батареї та струм в індуктивності

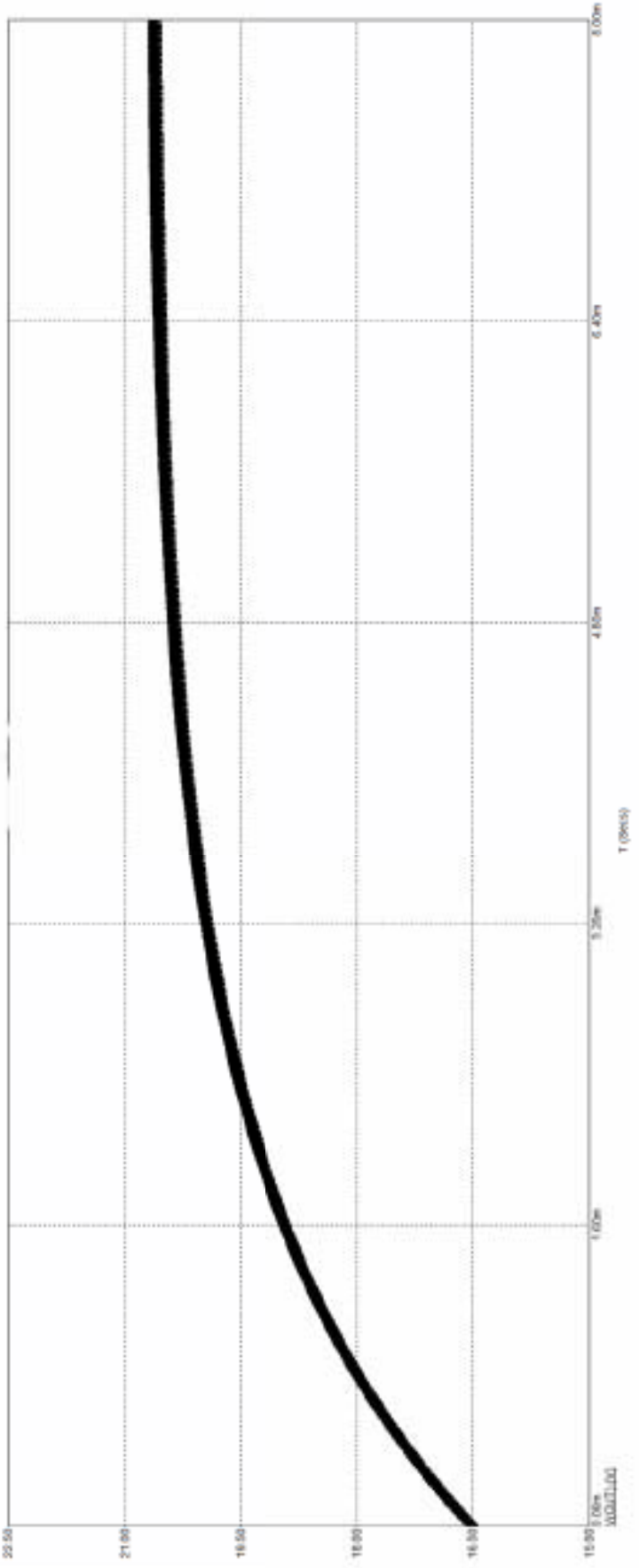


Рисунок 3.14 – Графік вихідної напруги

4 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Шляхи отримання плати друкованої

Проектування принципових схем та друкованих плат проводилось за допомогою програми DipTrace. Це сучасна система наскрізного проектування, яка включає у себе:

Редактор плат - проектування плат за допомогою потужного автотрасувальника, зручного ручного трасування і системи позиціонування компонентів.

Редактор схем - проектування схем з підтримкою ієрархії і необмеженої кількості листів. Експорт в редактор плат, список мереж (netlist) або симулятор.

Редактори компонентів і корпусів - дозволяють створювати свої бібліотеки.

Стандартні бібліотеки - містять більше 100 000 компонентів.

3D передперегляд - дозволяє переглядати тривимірну модель плати. З програмою поставляються більше 2.5 тис. 3D-моделей корпусів.

Імпорт/Експорт - система може імпортувати схеми, плати і бібліотеки з P - CAD, PADS і інших популярних програм. Експорт в P - CAD, Gerber і інші формати дозволить підготувати плати для будь-якого виробництва.

Програма має найбільш зручний серед САПР для проектування друкованих плат призначеним для користувача інтерфейсом. Уся робота супроводжується підсвічуванням редагованих і залежних від них елементів, що дозволяють наочно оцінювати ситуацію. Логічна структура принципової схеми або плати формується відразу при побудові і зміна одного елементу відбивається на залежних від нього.

У редакторах корпусів і компонентів застосована пошарова система малювання, можливе створення компонентів і корпусів на основі готових шаблонів. Допускається створення корпусів зі змінними параметрами

(кількість ніжок, відстань між ними), які потім можна буде змінювати прямо в PCB.

Схемотехніка підтримує створення багатолистових принципових схем, перехід з одного листа на інший здійснюється за допомогою загальних шин, які сполучені міжсторінковими переходами. Створена принципова схема перетвориться в друковану плату вибором відповідного пункту меню або натисненням комбінації клавіш в схемотехніці. Переведена плата є корпусами компонентів з логічними зв'язками.

При ручному трасуванні виконується підсвічування усіх виведень мережі і автоматичне видалення вже розлучених зв'язків, при редагуванні розлучених трас можливе переміщення фрагментів провідників з дотриманням кутів 90 і 45 градусів або вільне, зміна ширини, переклад з одного шару в інший і тому подібне Автотрасування здійснюється за допомогою вбудованого сіткового оптимізаційного трасувальника - Simple Router.

Виведення принципових схем і друкованих плат на принтер виконується в довільному масштабі, для друкованої плати вказуються об'єкти, принципової схеми - листи. Можлива підстановка рамки і штампу(штампів), для рамки може задаватися розмітка зон. Створення штампів здійснюється прямо в програмі через спеціальний редактор, працюючий за принципом електронних таблиць.

Програма підтримує експорт плат в DXF, Gerber і N/C Drill. Для Gerber існує можливість розмітки отворів. При експорті тексту здійснюється векторизація із заданим кроком, таким чином що можна використати будь-який шрифт, встановлений в системі. Також підтримується векторизація і експорт в Gerber растрових чорно-білих зображень. [16]

4.2 Технологія виготовлення друкованої плати

Друкована плата (ДП) є плоскою ізоляційною основою, на одній або обох сторонах якого розташовані струмопровідні смужки металу (провідники) відповідно до електричної схеми.

Друковані плати служать для монтажу на них електро-радіоелементів (ЭРЭ) за допомогою напівавтоматичних і автоматичних установок з подальшою одночасною пайкою усіх ЭРЭ зануренням в розплавлений припій або на хвилі рідкого припою ПОС- 60. Отвори на платі, в які вставляються виведення ЭРЭ при монтажі, називають монтажними. Металізовані отвори, що служать для з'єднання провідників, розташованих на обох сторонах плати, називають перехідними. [30]

Виготовлення друкованих плат здійснюється хімічним, електрохімічним або комбінованим способом. Останнім часом отримали поширення нові способи виготовлення - адитивні. Нижче дана коротка характеристика кожного із способів (таблиця 4.1) [17].

Таблиця 4.1 - Коротка характеристика методів виготовлення ПП

Спосіб виготовлення ДП	Початковий матеріал	Наявність металізованих отворів	Вид плат	Мінімальна ширина провідників, мм, до	переваги	недоліки
Хімічний	Фольгированный діелектрик	Ні	опп, дпп	0,2	Мінімальна трудомісткість; висока міцність зчеплення провідників з основою	Необхідність в металевих втулках при двосторонньому монтажі; непродуктивна витрата міді
Електрохімічний	Нефольгированный діелектрик	Так	опп, дпп	0,15	Підвищена щільність монтажу	Велика нерівність провідників по краях; низька міцність зчеплення провідників з основою
комбінований	Фольгированный з двох сторін діелектрик	Так	опп, дпп, мпп	0,2	Підвищена щільність монтажу	Значна трудомісткість; розрив технологічного процесу через застосування ручних операцій; свердління через лакову плівку

Адитивний	Нефольгированный діелектрик	так	опп, дпп, мпп	0,1	Висока щільність монтажу; зниження вартості плат на 15-20%; скорочення виробничих площ; рівномірність шару осадження міді; можливість повного виправлення дефектних ПП після підбурювання міді і повторної металізації	

Хімічний (субстрактивный) метод полягає в тому, що на мідну фольгу, приклеєну до діелектрика з однієї або двох сторін, наносять позитивний або негативний малюнок схеми провідників. Подальшим травлінням повністю віддаляється мідь і створюється малюнок, що проводить.

При електрохімічному (напівадднтивному) методі малюнок, що проводить, створюється в результаті електрохімічного осадження металу, а не витравленням.

Комбінований спосіб є поєднанням перших двох способів. Малюнок, що проводить, отримують витравленням міді, а металізація отворів здійснюється за допомогою хімічного міднення з подальшим електрохімічним нарощуванням шару міді.

Адднтивний метод полягає в створенні малюнка, що проводить, за допомогою металізації досить товстим шаром хімічної міді (25-35 мкм), що дозволяє виключити застосування гальванічних операцій і операцій того, травлення.

Після вибору методу виготовлення друкованої плати йдуть 5 основних етапів:

- попередня підготовка заготівлі (очищення поверхні, знежирення);

- нанесення захисного покриття;
- видалення зайвої міді з поверхні плати (травлення);
- очищення заготівлі від захисного покриття;
- свердління отворів, покриття плати флюсом, лудіння.

Попередня підготовка заготівлі

Цей етап є початковим і полягає в підготовці поверхні майбутньої друкованої плати до нанесення на неї захисного покриття. В цілому за тривалий проміжок часу технологія очищення поверхні не зазнала скільки-небудь значних змін. Увесь процес зводиться до видалення оксидів і забруднень з поверхні плати з використанням різних абразивних засобів і подальшого знежирення.

Завершальний етап підготовки поверхні полягає в знежиренні. Для цього можна використати шматочок м'якої тканини, що не залишає волокон, змочений спиртом, бензином або ацетоном. Тут слід звернув увагу на чистоту поверхні плати після знежирення, оскільки останнім часом стали попадатися ацетон і спирт зі значною кількістю домішок, які залишають на платі після висихання білуваті смуги. Якщо це так, то варто пошукати інший знежирюючий склад. Після знежирення плату слід промити в проточній холодній воді. Якість очищення можна контролювати, спостерігаючи за мірою змочування водою поверхні міді. Повністю змочена водою поверхня - без утворення на ній крапель і розривів плівки води, є показником нормального рівня очищення. Порушення в цій плівці води вказують, що поверхня очищена недостатньо.

Нанесення захисного покриття

Нанесення захисного покриття є найважливішим етапом в процесі виготовлення друкованих плат, і саме їм на 90 % визначається якість виготовленої плати.

На знежирену поверхню треба нанести водовідштовхувальну речовину. Від якості нанесення залежить якість струмопровідних доріжок на друкованій платі.

Видалення зайвої міді з поверхні плати (травлення)

Існує багато складів для хімічного підбурювання міді. Усі вони відрізняються швидкістю протікання реакції, складом речовин, що виділяються в результаті реакції, а також доступністю необхідних для приготування розчину хімічних реактивів. Наприклад:

- Хлорне залізо($FeCl_3$);
- Персульфат амонія($(NH_4)\ 2S_2O_8$);
- Розчин соляної кислоти(HCl) і перекису водню(H_2O_2).

Очищення заготівлі від захисного покриття

Після завершення травільника і промивання плати необхідно очистити поверхню від захисного покриття. Зробити це можна яким-небудь органічним розчинником.

Наступним етапом є покриття плати флюсом з подальшим лудінням. Використовують спеціальні флюси промислового виготовлення (що краще всього змиваються водою або взагалі не вимагаючі змивання) або просто покрити плату слабким розчином каніфолі в спирті. Лудіння можна робити двома способами: зануренням в розплав припою або за допомогою паяльника і металевого обплетення, просоченого припоєм. [17]

4.3 Монтаж друкованої плати

Вихіднимпараметром приконструюваннідрукованихплат єкрок координатноїсітки.За допомогою координатної сітки регламентуються основні геометричні розміри друкованих плат. Як правило, центри всіх видів отворів на друкованих платах розташовуються у вузлах координатної сітки. Її основний крок 2.5мм, додатковий - 0.635мм.

При компонуванні друкованої плати прагнуть досягти максимального заповнення її поверхні навісними елементамиі розмістити їх так, щоб забезпечити найкоротші зв'язки між ними, що виконуються друкованими провідниками. Розміри визначаються видом чи нормативами і ГОСТами. За даними цих документів максимальний розмір друкованої плати неповинен

перевищувати 240х360 мм. Перевага при розробці віддається малогабаритним платам, так як великогабаритні друковані плати мають малу механічну міцність і складні у виготовленні [17].

Товщина плати, як правило, відповідає товщині фольгованого діелектрика і вибирається залежно від вимог, що пред'являються до конструкції виробу, методу виготовлення плати, ваги і габаритам встановлюваних елементів і не перевищує 3 мм.

Перехідним елементом від отвору, в який вставляється вивід встановлюваного елемента, до друкованого провідника є контактна площадка. Площу контактних майданчиків слід максимально збільшувати, передбачаючи формування кільцевого поясу навколо отвору в місці з'єднання друкованого провідника з контактною площадкою. Збільшення площі контактних майданчиків запобігає відрив їх в процесі виготовлення плат і покращує якість сполук.

Для підвищення продуктивності праці при пайці всі елементи повинні бути заздалегідь встановлені свої виводи ув монтажні отвори друкованих плат і закріплені в них.

На односторонніх платах навісні елементи розташовують тільки з одного боку, незалежно від їх габаритів і призначення - всі навісні лементи встановлюють паралельно поверхні платиз боку, протилежного до розташування друкованих провідників.

На платах з двостороннім розташуванням друкованих провідників всі навісні елементи встановлюють з тієї сторони, яка вказана в складальному кресленні на виріб. Корпуси елементів розміщують на друкованій платі паралельно або перпендикулярно один одному.

Виводи елементів вставляють в отвори друкованої плати. У кожному отворі можна розміщувати вивід тільки одного елементу.

Виводи елементів, які надходять на складання і монтаж, рихтують, захищають і, якщо потрібно, лудять, а потім формують відповідно до вимог ТУ та конструкторської документації.

Вимоги до формування виводів елементів, що встановлюються на друковані плати, такі ж, як при об'ємному монтажі: у місцях введення в корпусне повинно виникати механічних напруг. Якщо спеціальні вказівки в ТУ або кресленнях відсутні, відстань від корпусу елемента до осізі гнутого виведення приймається рівною 2мм.

Відстань між корпусом елемента і краєм друкованої плати, якщо вона не обумовлена в кресленні, має бути не менше 1 мм, а відстань між висновком елемента і краєм плати - не менше 2 мм.

Відстань між корпусами сусідніх елементів або між корпусами і виводами сусідніх елементів вибирають залежно від умов тепловідведення та допустимої різниці потенціалів між ними, але не менше 0,5мм.

Попереднє формування виводів елементів, які припаюють до контактних площадок внахлестку, здійснюють так, щоб були витримані розміри, зазначені в ТУ на елементи. Як правило, розмір контактуючої поверхні повинен бути 1,5-2 мм. Виняток становлять ІМС в метало скляних корпусах з планарними виводами, для яких цей розмір повинен бути не менше 0,5 мм.

Формовку круглих або стрічкових виводів елементів і обтискання стрічкових виводів виробляють монтажним інструментом або пристроями таким чином, щоб вилучити механічні навантаження на місця кріплення вводів до корпусу.

При формовці виводів не допускається їх механічне пошкодження, порушення захисного покриття, вигин в місцях спаю і у ізоляторів, скручування щодо осі корпусів, розтріскування скляних ізоляторів і пластмасової герметизації корпусів [17].

Ручна формовка виводів і установка елементів на друковані плати повинні проводитися таким чином, щоб у процесі контролю проглядалось маркування номіналів на корпусах елементів. При автоматизованому і напівавтоматичному формуванні виводів і установці елементів допускається довільне розташування маркування.

Радіоелементи й вузли апаратури з великою кількістю виводів закріплюються на платі в залежності від їх конструктивних особливостей і механічної міцності плати.

Важкі елементи (наприклад, трансформатори) або елементи, схильні до механічних впливів (тумблери, потенціометри, підлаштування конденсатори), встановлюються насамперед за допомогою своїх утримувачів. Такі утримувачі забезпечують механічне кріплення відповідних елементів до платиі запобігають обриві поломку виводів під впливом механічних навантажень.

У разі необхідності роблять додаткове кріплення корпусів елементів до плати за допомогою прив'язки, приклеювання, установки хомутів, скоб іінших утримувачів.

Установку елементів на друковані плати рекомендується починати зменших за розмірами. Всі елементи встановлюють таким чином, щоб луджена частина виведення виходила з монтажного отвору.

При встановленні на плату елементів з діаметром виводів до 0,3 мм їх підгинають до контактного майданчику під кутом 45°. Довжина підігну того у бік виводу повиннабути не менше 0,6 мм.

При установці елементів з діаметром виводів від 0,3 до 0,8 мм слід підгинати їх уздовж друкованого провідника, як що у конструкторській документації немає інших вказівок.

Всі елементи повинні щільно прилягати своїми корпусами до друкованої плати, щоб вивід, що підпаяний до друкованого провідника, при натисканні на корпус елемента не відривав його від плати. Цього досягають натягом виводів перед їх загинанням.

Виводи елементів діаметром понад 0,8 мм і обтиснуті стрічкові виводи не підгинають, також не підгинають виводи при установці многовиводних елементів і вузлів РЕА на плати з металізованими отворами. Висота таких виводів над поверхнею плати повинна бути в межах 0,5-2 мм. Усування надлишків виводів роблять після їх пайки.

Пайка лементів на друковані плати.

Елементи кріплять до друкованої плати пайкою виводів в її монтажні отвори електричним паяльником потужністю 20-60 Вт, заточеним таким чином, щоб кут при вершині становив 25-30°. Температура нагріву стрижня паяльника 280-300° С.

Пайку здійснюють короткочасним дотиком на 2-3 секунди стрижня паяльника із запасом припою до контактного майданчику і кінця виводу. Паяльник віднімають від разу після розплавлення припою і заповнення ним отворів і зазорів між виводом елемента і контактним майданчиком.

Для запобігання перегріву радіоелементів і відшаровування фольги від поверхні плати стежать за тим, щоб час зіткнення паяльника з вузлом, що піддається пайці, не перевищував 3 секунди. З тією ж метою застосовують тепловідвід з мідними губками, які накладають на дротяні виводи в безпосередній близькості від корпусу радіоелементу.

Після пайки надлишок виводу елемента обрізається кусачками. При цьому зрізаний торець виводу елемента має бути видно. Довжина обрізаної ділянки виводу неповинна перевищувати 0,6-2 мм. При обрізанні надлишків виводу не допускається механічне порушення паяного з'єднання.

Пайку виводів елементів дозволяється виконувати з двох сторін друкованої плати при дотриманні ТУ на елементи. Для закріплення дру кованих плат і їх поворотув процесі монтажу застосовують спеціальні засоби.

Елементи діаметром виводів 0,8мм і менше можуть розпаюватися на контактні площадки внахлестку. Прицьому виводи резисторів, конденсаторів, діодів і мікросхем не повинні виходити за межі відведених для них контактних майданчиків. Якщо довжина виводу від корпусу елемента до місця пайки внахлестку перевищує 7мм, необхідно закріпити його на проміжній колодці.

З'єднання пайкою виводів елементів один з одним слід проводити після попереднього їх закріплення механічним способом. Для цього роблять

повний оборот дротяного виводу елемента навколо виводу, розташованого в монтажному отворі. Після цього виводи обжимають і пропаюють [17].

4.3 Заходи, щодо охорони праці

4.3.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів

У дипломній роботі проведена розробка контролера для сонячної батареї з режимом пошуку максимальної точки.

Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів при виробництві контролера.

При розробці, проектуванні й виробництві імпульсних джерел для електронних лічильників присутні наступні потенційно небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

– підвищений рівень шуму на робочому, що виникає від установки штучної вентиляції, паяльної станції та роботи комп'ютеру;

– погана освітленість робочої зони;

– пил, та мікрочастинки склотекстоліту, які з'являються під час механічної обробки друкованої плати;

– підвищена температура при роботі з паяльниками та паяльними станціями;

– небезпека ураження електричним струмом;

– вміст у повітрі робочої зони шкідливих речовин, які утворюються під час пайки;

– пари етилового спирту, які виникає в повітрі під час промивання друкованої плати;

– вплив електромагнітних та електростатичних полів від моніторів ПК.

Відповідно до складального креслення в якості припою використовується олов'яно-свинцевий припій, а як флюс використовується

безкислотний флюс. Для видалення залишків флюсу застосовується етиловий спирт.

Свинець є надзвичайно небезпечною речовиною (клас 1), відповідно до [18]. ГДК у повітрі робочої зони 0,01мг/м^3. Олово є речовиною помірковано небезпечним (клас 3). ГДК у повітрі робочої зони 10 мг/м^3. Спирт етиловий є мало-небезпечною речовиною (клас 4). ГДК у повітрі робочої зони 10 мг/ м^3.

При перевищення допустимої концентрації парів свинцю під час проведення паяльних робіт на організм людини приводить до зміни репродуктивної, нервової, серцево-судинної, імунної та ендокринної систем. Сполуки свинцю можуть викликати легке отруєння, отруєння середньої важкості та важке отруєння. При тривалому впливі виникає отруєння свинцем (сатурнізму). Для легкого отруєння характерними є розвиток анемії, для середньої важкості – токсичний гепатит, свинцева коліка, астеновегетативний синдром, для важкого – енцефалопатія, порушення координації рухів, розлади мови, периферичні нейропатії. Характерними симптомами свинцевої інтоксикації є свинцева кайма по краю ясен, а також «свинцевий колорит» - землисто-сіре забарвлення шкіри. Виникає енцефалопатія, яка характеризується головними болями, розладами сну, епілептичними паралічами, коматозними станами, депресією. Рухові розлади характеризуються поліневритом з переважним ураженням розгиначів кисті та стопи. Розвивається тремор витягнутих рук, посмикування очних яблук, болі в руках і ногах, болючість при пальпації по ходу нервів, погіршення зору. При свинцевій інтоксикації виникає свинцева коліка з тріадою симптомів: різкі переймоподібні болі в животі, підвищення артеріального тиску. Хворих турбують також гарячка, тошнота, блювота, зміни зі сторони серцево-судинної системи – болі в ділянці серця, аритмія, тахікардія, глухі тони, систолічний шум. Для жінок свинець представляє особливу небезпеку, тому що цей елемент має здатність проникати через плаценту і накопичуватися в грудному молоці.

Шум від вентилятора паяльної станції може тимчасово активізувати або постійно пригнічувати психічні процеси в організмі людини. Він не лише погіршує самопочуття людини і знижує продуктивність праці на 1—15%, але нерідко призводить до професійних захворювань [18]. Інтенсивний щоденний, він повільно й незворотно впливає на незахищений орган слуху і призводить до розвитку нейросенсорної приглухуватості.

Робота за ПК, супроводжується підвищеним напруженням зору, інтенсивністю і монотонністю праці, збільшенням статичних навантажень, нервово-психічним напруженням, впливом різного виду випромінювань та ін. Внаслідок цього трапляються такі професійні захворювання, як передчасна стомлюваність, погіршення зору, м'язові і головні болі, психічні й нервові розлади, хвороби серцево-судинної системи, онкологічні захворювання та інш.

Приміщення лабораторії знаходиться на п'ятому поверсі панельного будинку. Основні геометричні розміри приміщення, у якому будуть проводитися роботи з проектування плати зарядного пристрою:

- довжина a = 10 м;
- ширина b = 6 м;
- висота h = 3,5 м.

В приміщенні є 5 робочих місця, кожне з яких обладнано робочим столом та місцем для розміщення контрольно-вимірювальних приладів, ПК, паяльної станції. Розміщення робочих місць відповідає нормативам.

Таблиця 4.1 – Оцінка умов праці робочого місця інженера-електроніка

№	Фактори виробничого середовища та трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	Характер праці			Тривалість дії фактора за зміну, %
				1	2	3	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м3: – пари спирту – свинець та його	0,1...10	0,2	X			10...90

	неорганічні з'єднання	0,01	0,005	X			
2	Неіонізуюче випромінювання: –радіочастотний діапазон. В/м –діапазон промислової частоти, кВ/м	 25 2,5	 20 1,0–1,5				100
3	Мікроклімату приміщені (т.п.): – швидкість руху повітря, м/с –температура повітря, ^{0}C – відносна вологість, %	 0,1 22–24 40–60	 0,1–0,3 21–25 45–60	 <1 ^{0}C			 100 100
4	Атмосферний тиск, мм.рт. ст.	760	750				100
5	Дрібні стереотипні рухи кистями та пальцями рук, кіл. за зміну	5000	5000-6000				50
6	Напруженість праці увага (тривалість концентрації, %)		80	>75			80-100
7	Напруженість аналізаторних функцій			точна			80
8	Шум, дБА	60	70	10			20%

4.3.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Працівники, які працюють у лабораторії повинні проходити інструктаж з правил безпеки. Кожен працівник, який влаштовується на роботу повинен пройти протипожежний інструктаж.

Для зниження шуму у лабораторії застосовуються звукоізолювальні кожухи, екрани, стіни, перетинки виготовляють із щільних твердих матеріалів, здатних запобігати розповсюдженню звукових хвиль (метал, пластмаса, бетон, цегла). Звукопоглинаючими матеріалами є поліуретан, мінеральна вата, супертонке скловолокно, пористий бетон, перфоровані гіпсові плити - акмігран та ін., що мають коефіцієнт звукопоглинання а>0,2. Звукопоглинаючі та звукоізолюючі матеріали зазвичай використовують разом.

Природне освітлення забезпечується за допомогою площі вікон, яка дорівнює 2 $м^2$, але повинно доповнюватись штучним. Штучне освітлення у приміщеннях з ПК здійснюється у вигляді комбінованої системи з використанням люмінесцентних джерел світла у світильниках загального освітлення, які розташовують над робочими місцями у рівномірно-прямокутному порядку. Пульсація люмінесцентних ламп не повинна перевищувати 10%.

Також потрібна наявність аптечки в кабінеті інженерів та конструкторів для забезпечення першої допомоги при отруєнні випаровуваннями, ураженні струмом, сильному опіку та інших факторах небезпечних для людини.

Медичні профілактичні заходи:

- застосування змінного ритму і темпу роботи;
- медичні огляди (попередні та періодичні);
- виконання профілактичних та психологічних вправ.
- раціональне і профілактичне харчування;

Площа робочого місця користувача ПК в лабораторії з ЕПТ-дисплеєм повинна становити не менше 6 $м^2$, для ПК з LCD дисплеєм - 4,5 $м^2$. У приміщеннях повинна проводитися щоденне вологе прибирання і систематичне провітрювання після кожної години роботи. Шумляче обладнання (друкувальні пристрої, сканери, сервери і тому подібні), рівні шуму якого перевищують нормативні, повинне розміщуватися поза робочих місць співробітників.

Загальні ергономічні вимоги до робочих місць викладено в міждержавних стандартах ГОСТ 12.2.032-78 (під час виконання робіт сидячи) та ГОСТ 12.2.033-78 (під час виконання робіт стоячи).

Робочі столи слід розміщувати таким чином, щоб монітори були орієнтовані бічною стороною до світлових прорізів, щоб природне світло падало переважно зліва. При розміщенні робочих місць відстань між робочими столами повинно бути не менше 2,0 м (рис. 4.1), а відстань між бічними поверхнями відеомоніторів - не менше 1,2 м.

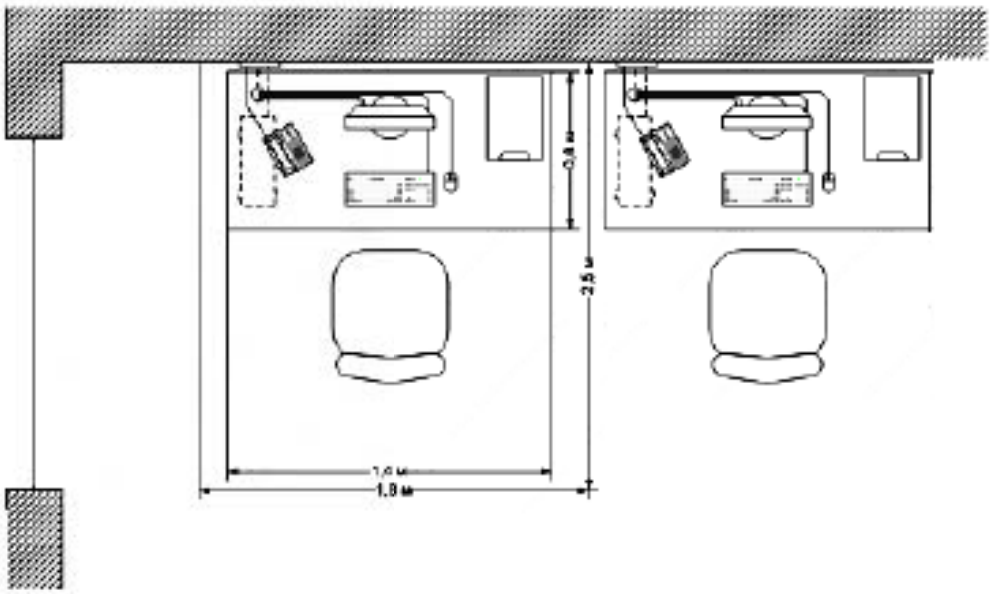


Рисунок 4.1 - Схема розташування робочих місць.

Конструкція робочого столу повинна забезпечувати оптимальне розміщення на робочій поверхні використовуваного обладнання, паяльної станції, ПК, вимірювальних пристроїв. Висота робочої поверхні столу повинна бути 725 мм, робоча поверхня стола повинна має ширину 1200 мм і глибину 800 мм. Робочий стіл має простір для ніг висотою 650 мм, шириною - 600 мм, глибиною на рівні колін - 470 мм, на рівні витягнутої ноги - 700 мм. Конструкція робочого стільця або крісла забезпечує підтримку раціональної робочої пози працівника і дозволяти змінювати позу з метою зниження статичного напруження м'язів шийно-плечової області і спини. Робочі стільці є підйомно-поворотними, регульованими по висоті і кутам нахилу сидіння і спинки, а також відстані спинки від переднього краю сидіння, при цьому регулювання кожного параметра є незалежним, легко здійснюється та має надійну фіксацію. Клавіатури розташовані на поверхні столу на відстані 200 мм від краю, зверненого до користувача, або на спеціальній поверхні, відокремленої від основної стільниці. Екран відеомонітора знаходится від очей користувача на відстані 600 мм [19].

4.3.3 Виробнича санітарія

Лабораторія обладнана системами центрального опалення,припливно-витяжної вентиляції з механічним спонуканням, кондиціонування повітря. Система вентиляції забезпечує нормативну величину повітрообміну. Також двічі на день проводиться й природня вентиляція через вікна. Згідно Гігієнічної класифікації труда роботи, які виконуються, за ступенем важкості відносяться до категорії Іб – середньої важкості, роботи виконуються сидячи та супроводжуються незначним фізичним навантаженням [18].

Роботи із шкідливими і вибухопожежонебезпечними речовинами при нанесенні припоїв, флюсів, паяльних паст, сполучних і розчинників повинні проводитися при діючій загальнообмінної та місцевої витяжної вентиляції. Системи місцевих відсмоктувачів повинні включатися до початку робіт і вимикатися після їх закінчення [20].

Умови праці визначаються характером і важкістю роботи, яка виконується, а також параметрами навколишнтого виробничого середовища. Плануючи робоче місце, виходять з того, щоб робітник протягом зміни не знижував встановленої продуктивності праці, витрачаючи мінімум фізичних зусиль, був захищений від впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Важливе значення мають також робоча поза, темп і ритм виконуваної роботи. Виключаються статичні м’язові напруги і, як наслідок, профзахворювання (викривлення хребта, розширення вен, плоскостопість) при робочій позі, яка забезпечує розташування центру ваги тіла в межах площі опори.

При покиданні робочого місця треба виконувати стандартні засоби гігієни, перед прийманням їжі, або йдучи додому, такі як: миття рук після пайки, розводці плати, або просто після користування ПК.

Штучне освітлення виконується за допомогою люмінесцентних ламп. Прийняті значення освітленості для лабораторії наступні: розряд зорової роботи 3Б, норма освітлення при використанні системи комбінованого — 750 лм [21].

4.3.4 Електробезпека

У лабораторії основне обладнання являє собою електроустановки (персональні комп'ютери, паяльна станція, принтери, система освітлення), які представляють реальну небезпеку ураження електричним струмом. Основне живлення здійснюється від трифазної мережі частотою 50 Гц, напругою 220 В. Електрообладнання лабораторії відноситься до установок напругою до 1000В. Лабораторія відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки, тому що в ньому відсутні умови, що створюють підвищену або особливу небезпеку (підвищена вологість, температура, струмопровідний пил то що).

Основними технічними способами і засобами захисту від ураження електричним струмом, використовуваними окремо або в поєднанні один з одним, є: захисне заземлення; занулення; електричне розділення мереж; захисне вимкнення; ізоляція струмоведучих частин; сигналізація, ізолюючи захисні та запобіжні застосування [21].

Навіть при розвиненій системі захисних заходів не слід вважати, що вони створюють умови абсолютної безпеки.

У всіх випадках постійно необхідно високоякісне обслуговування електричних установок і періодичний профконтроль, підтримання якісного стану ізоляції, висока дисципліна персоналу і виконання правил безпеки.

На підставі цих правил на підприємстві розробляють систему безпечної експлуатації електричних установок та наказом встановлюють структуру і штат персоналу.

Важливу роль у підвищенні надійності та безпеки роботи з будь-якими електропристроями, чи то паяльник, ПК або просто електрочайник, мають профілактичні випробування, перелік і терміни, проведення яких суворо регламентують.

4.3.5 Пожежна безпека

По категорії приміщень, лабораторія відноситься за пожежною безпекою до категорії Д. В зв'язку з тим, що в лабораторії знаходяться

електроприлади по класу пожежі її можна віднести до класу Е. Площа лабораторії складає 60 м^2.

Згідно норм протипожежної безпеки для даного приміщення рекомендується встановити 2 вогнегасники вуглекислотного типу ОУ-2 [23].

Дії при виникненні пожежі

— При виникненні пожежі на енергетичному об'єкті особа, яка першою виявила займання, зобов'язана негайно повідомити начальника відділу (диспетчера або чергового підстанції) до гасіння пожежі засобами пожежогасіння, дотримуючись при цьому правил техніки безпеки.

— особисто або з допомогою чергового персоналу перевірити ввімкнення автоматичної установки пожежогасіння (при її наявності), а у випадку відмови задіяти її в ручному режимі;

— вжити заходів із створення безпечних умов для персоналу і пожежних підрозділів для ліквідації пожежі;

— виділити для зустрічі пожежних підрозділів особу, яка добре знає місця заземлення технічних засобів і розташування під'їзних шляхів та вододжерел;

Під час гасіння пожежі електроустановок під напругою забороняється:

— використання усіх видів піни;

— проводити будь-які відключення та інші операції з електричним обладнанням особовому складу пожежних підрозділів;

— використовувати воду зі змочувачами при подаванні компактних струменів води, як для гасіння, так і для охолодження електрообладнання та будівельних конструкцій;

— наближатися до машин і механізмів, які застосовуються для подачі води (вогнегасних речовин) на електроустановки під напругою, особам, безпосередньо не зайнятим на гасінні пожежі [23].

План дій при пожежі наведено в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 - План дій при пожежі

№ п/п	Заходи	Відповідальний	Дії персоналу
1	2	3	4
1.	тривога (включення звукової сигналізації);	Зам. директора, співробітник охорони	Будь-яка людина - член персоналу лабораторії - при виявленні пожежі повинен без коливань підняти тривогу про пожежу. Оповіщення про пожежну тривогу (серія дзвінків) в будь-якій частині будівлі повинно служити сигналом для повної евакуації з будівлі.
2.	виклик пожежної охорони, МНС, швидкої медичної допомоги, міліції	черговий адміністратор	Про виникнення пожежі, навіть самого невеликого, або ж про підозру на пожежу потрібно негайно повідомити пожежну охорону за телефоном 101. Дублювання виклику пожежної охорони здійснює черговий адміністратор, який повинен доповісти про те, що пожежна охорона викликана, директору (черговому адміністратору).
3.	евакуація	Заст. директора, співробітник охорони	Почувши тривогу, співробітники залишають кабінети ланцюжком по одному і йдуть за маршрутом евакуації до збірного пункту . Вийшовши до сходів , спіробітники повинні триматися разом і не бігти натовпом , а організовано спускатися по одному тільки з одного боку сходів , залишаючи іншу бік сходів для проходу , не допускаючи , щоб окремі співробітники обганяли один одного. Всі, хто не присутній в лабораторії під час сигналу тривоги (наприклад, знаходиться в туалетах, коридорі і т.п.), повинні негайно йти до місця збору і приєднатися до групи . Всі

			прибиральниці , адміністративний та інший персонал , почувши тривогу , повинні негайно попрямувати до місця збору.
4.	відключення електроживлення	Директор або особа, яка його заміщає	Директор або особа, його заміщає, почувши тривогу, дає команду на відключення електроживлення школи і негайно повинен прослідувати до заздалегідь обумовленого місця в збірному пункті, де він буде у всіх на виду, і залишатися там до тих пір, поки не отримає рапорт від усіх підрозділів та лабораторій.
5.	винос матеріальних засобів	Зам.директора по АХР	Організувати винесення матеріальних засобів із залученням технічного персоналу.
6.	збір всього складу у відведеному місці	Зам.директора	Місце збору-згідно зі схемою евакуації. Прийшовши на місце збору, кожен окремий співробітник або група людей повинні зайняти своє заздалегідь визначене місце і перебувати там з розходячись
7.	переклик (перевірка персо налу)	Директор, Зам. директора	Після прибуття класів на місце збору негайно повинен бути проведен переклик по списках, треба потім негайно повідомити директору про присутність в повному складі. Якщо хтось відсутній, персонал повинен негайно почати його пошуки.
8.	зустріч пожежної охорони	Директор	Після прибуття пожежної охорони начальника варти зустрічає директор і негайно інформує про те, чи всі люди були безпечно евакуйовані.

4.3.6 Розрахунок захисного занулення

Спроектувати занулення електрообладнання з номінальною напругою 220 В і номінальним струмом 4 А (табл. 4.3). Для заземлення сервера або

робочої станції в лабораторії де здійснюється проектування імпульсних джерел живлення.

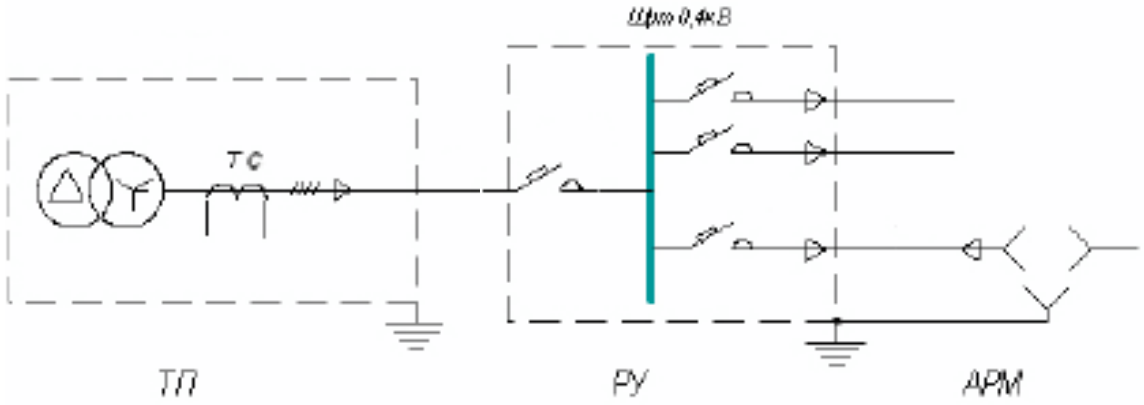


Рисунок 4.2 - Схема живлення робочої станції.

Умовні позначення на рис. 4.2:

ТП – Трансформаторна підстанція;

РП – Розподільний пункт;

АРМ – Автономне робоче місце;

ТС – трансформатор струму.

Спорудження повторного заземлення не є необхідним, оскільки жоден з розглянутих ділянок не перевищує довжини 200 м.

Таблиця 4.3 - Номінальні струми

Найменування	Струм, А	Кількість, шт.	Разом, А
Системний блок	0,5	4	2,0
Монітор	0,3	4	1,2
Принтер	0,8	1	0,8
Разом:			4,0

Застосуємо для захисту лабораторії автоматичний вимикач ABB SH 201 B 6A з електромагнітним розчеплювачем і струмом уставки 6 А, виходячи з умови:

$$Iуст.авт. = \frac{3 \cdot Кавт \cdot IH}{2,5} = \frac{3 \cdot 1,25 \cdot 4}{2,5} = 6А \quad (4.1)$$

де I_H — номінальний струм, споживаний в лабораторії.

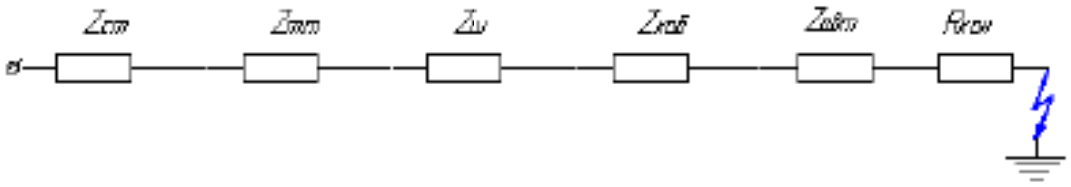
Якщо захист здійснюється автоматичними вимикачами, що мають електромагнітні розчеплювача, тобто спрацьовують без витримки часу, то К вибирається в межах 1,25-1,4.

Якщо захист здійснюється плавкими запобіжниками, час перегорання яких залежить від величини струму (зменшується зі зростанням струму), то з метою прискорення відключення К беруть =3.

Для захисту інших лабораторій на поверсі в щиту встановимо автоматичний вимикач типу ABB SH203L C16.

Перевірка занулення на здатність, що відключає.

Схему заміщення для розрахунку короткого замикання можна представити у вигляді (рис. 4.3) ланцюжка послідовно включених опорів, розташованих між точкою короткого замикання і шинами лабораторного трансформатора.



$Z_{ст.}$ – повний опір силового трансформатора; $Z_{т.т}$ – повний опір трансформатора струму(датчик); $Z_{ш.}$ – повний опір шинопроводів; $Z_{авт}$ – повний опір струмових котушок автоматів; $Z_{каб}$ – повний опір кабелів; $R_{кон}$ – сумарний опір контактних з'єднань.

Рисунок 4.3 - Схема заміщення для розрахунку короткого замикання.

Відповідно до рис. 4.3 активні та індуктивні опори короткозамкненого ланцюга визначаються таким чином [21]:

$$r_{\Sigma} = r_{ст} + r_{тт} + r_{ш} + r_{авт} + r_{каб} + r_{кон} \quad (4.2)$$

$$x_{\Sigma} = x_{ст} + x_{тт} + x_{ш} + x_{авт} + x_{каб} \quad (4.3)$$

Значення $r_{ст}$ і $x_{ст}$,Ом приймаються за таблицями або визначаються за формулами:

$$r_{ст} = \frac{\Delta P_к \cdot U_н^2}{S_н^2}; \quad x_{ст} = \sqrt{z_{ст}^2 - x_{ст}^2}; \quad z_{ст} = \frac{U_к \cdot U_н^2}{S_н};$$

де $S_н$ – номінальна потужність, кВА;

$U_н$ – номінальну напругу обмотки нижчої напруги, В;

$\Delta P_к$ – втрати короткого замикання, кВт;

$U_к$ – напруга короткого замикання, %;

Беручи значення за даними каталогу силових трансформаторів, для ТС – 1000, має: $\Delta P_к$ – 11,2 кВт, $U_к$ – 5,5 %.

$$r_{ст} = \frac{\Delta P_к \cdot U_н^2}{S_н^2} = \frac{11{,}2 \cdot 0{,}4^2}{1000^2} = 1{,}792 \cdot 10^{-6} \text{Ом}; \quad (4.4)$$

$$z_{ст} = \frac{U_к \cdot U_н^2}{100 \cdot S_н} = \frac{5{,}5 \cdot 0{,}4^2}{100 \cdot 1000} = 8{,}8 \cdot 10^{-6} \text{Ом}; \quad (4.5)$$

$$x_{ст} = \sqrt{z_{ст}^2 - x_{ст}^2} = \sqrt{(8{,}8 \cdot 10^{-6})^2 - (1{,}792 \cdot 10^{-6})^2} = 8{,}6 \cdot 10^{-6} \quad (4.6)$$

Опір трансформатора струму приймаємо рівним:

$$r_{тт}=0{,}05*10^{-3} \text{ Ом}; \; x_{тт}=0{,}07*10^{-3} \text{ Ом}. \quad (4.7)$$

Для автоматичного вимикача ABB SH203L C16 маємо:

$$r_{ABB16} = 0{,}06*10^{-3} \text{ Ом}; \quad x_{ABB16} = 0{,}13*10^{-3} \text{ Ом}; \quad (4.8)$$

Для автоматичного вимикача ABB SH 201 B:

$$r_{ABB6} = 13*10^{-3}\ \text{Ом};\quad x_{ABB6} = 8{,}6*10^{-3}\ \text{Ом}; \tag{4.9}$$

Для двох автоматів отримаємо:

$$r_{авт} = r_{ABB16} + r_{ABB6} = (0{,}06+13)*10^{-3} = 13{,}06*10^{-3}\ \text{Ом}; \tag{4.10}$$

$$x_{авт} = x_{ABB16} + x_{ABB6} = (0{,}13+8{,}6)*10^{-3} = 8{,}73*10^{-3}\ \text{Ом}; \tag{4.11}$$

Для алюміневих плоских шин перетином 100 х 8 мм^{2}опору рівні:

$$r'_{ш} = 0{,}049*10^{-3}\ \text{Ом}, \tag{4.12}$$

$$x_{ш} = 0{,}157*10^{-3}\ \text{Ом}, \tag{4.13}$$

$$r_{ш} = r'_{ш} * l_{ш} = 0{,}049*100*10^{-3} = 4{,}9*10^{-3}\ \text{Ом}, \tag{4.14}$$

$$x_{ш} = x'_{ш} * l_{ш} = 0{,}157*100*10^{-3} = 15{,}7*10^{-3}\ \text{Ом}, \tag{4.15}$$

Сумарний опір контактів при КЗ, близько розподільного щита підстанції лабораторії слід прийняти $r_{кон} = 15*10^{-3}$ Ом.

Розрахуємо активний опір фазного і нульового проводу кабелю від щита до АРМ (35 м):

Значення опору для мідного кабелю перетином 1,5 мм^2, при 50^{0}С:

$$r'_{каб} = 0{,}0131\ \text{Ом/м};\quad x'_{каб} = 0{,}000374\ \text{Ом/м};$$

Розраховуємо значення з врахуванням фазового та нульового дроту:

$$r_{каб} = r'_к * l_к * 2 = 0{,}0131 * 35 * 2 * 10^{-3} = 0{,}917 * 10^{-3}\ Ом; \quad (4.16)$$

$$x_{каб} = x'_к * l_к * 2 = 0{,}000374 * 35 * 2 * 10^{-3} = 0{,}02618 * 10^{-3}\ Ом; \quad (4.16)$$

$$r_\Sigma = r_{ст} + r_{тт} + r_ш + r_{каб} + r_{авт} + r_{кон} =$$
$$(0{,}001792 + 0{,}07 + 0{,}049 + 0{,}917 + 13{,}06 + 15)\ 10^{-3} = 0{,}029\ Ом; \quad (4.18)$$

$$x_\Sigma = x_{ст} + x_{тт} + x_ш + x_{каб} + x_{авт} =$$
$$= (0{,}0088 + 0{,}07 + 0{,}157 + 0{,}02618 + 8{,}73) * 10^{-3} = 0{,}0089\ Ом; \quad (4.19)$$

Повний опір петлі фаз:

$$z_п = \sqrt{(0{,}029)^2 + (0{,}0089)^2} = 0{,}303(Ом) \quad (4.20)$$

Величина однофазного струму короткого замикання:

$$I_{к.з} = U_ф / z_п = 220 / 0{,}303 = 726\ А; \quad (4.21)$$

Порівнюємо розрахункові параметри з допустимими:

$$I_{к.з} = 726 > kI_н = 6\ А \quad (4.22)$$

Таким чином, умови ефективності захисту зануленням дотримуються. Миттєве значення струму Ік.з. перевищує (726А) струм вимикання автомату (6А). Отже автомат спрацює, та вимкнеться, знеструмивши нашу систему. Завдяки цьому наслідки при аварійних обставинах будуть мінімальні.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Одним з основних показників, за допомогою якого оцінюється економічна ефективність нової техніки, є величина капітальних вкладень.

До таких капітальних вкладень відносяться витрати на науково-дослідні і дослідно-конструкторські роботи, включаючи випробування і доопрацювання дослідних зразків.

Для визначення вартості конструкторської підготовки виробництва складається кошторис витрат з моменту отримання завдання до виготовлення і заводських випробувань дослідного зразка включно і коректування документації за наслідками цих подій [24].

5.1 Визначення стадій розробки

Стадії роботи, які необхідні для розробки блоку оптимального відбору потужності, а також вміст робіт на кожній стадії зведені в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Стадії розробки блоку оптимального відбору потужності

№ з/п	Стадії розробки	Вміст робіт	Тривалість етапу, днів	Примітка
А	Постановка завдання	Узгодження технічного завдання із замовником	3	1 інженер
Б	Вивчення об'єкту	Аналіз існуючих схемних рішень	10	1 інженер
В	Розробка проекту	Проектування схеми	3	1 інженер
Г	Проведення дослідження та розробки	Розробка технічної документації	20	2 інженери
Д	Узгодження із замовником	Демонстрація. Виправлення помилок.	2	2 інженери
Е	Передача замовнику	Передача результатів замовнику, підписання акту здачі робіт	5	1 інженер

Для визначення терміну виконання етапів розробки блоку оптимального відбору потужності, а також витрат, будується лінійний графік, який відображує в наочному вигляді терміни виконання кожного етапу як окремо, так і в цілому. На рис. 5.1 зображений лінійний графік стадій вказаних в таблиці 5.1.

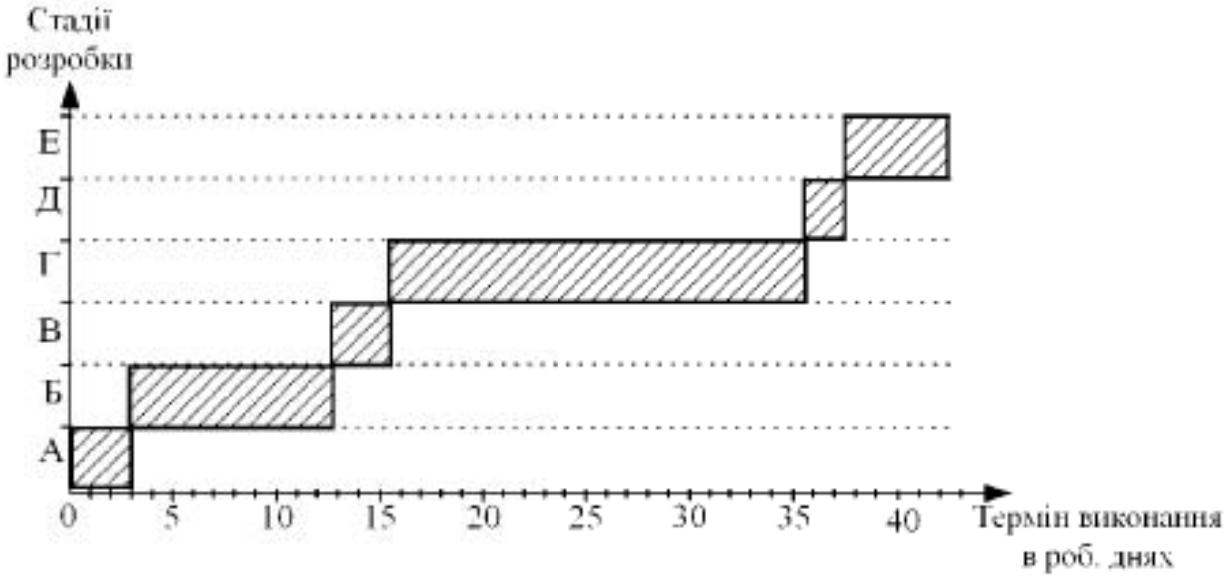


Рисунок 5.1 – Лінійний графік розробки блоку оптимального відбору потужності

Відповідно до рис. 5.1 на види роботи А-Е, потрібно 43 восьмигодинних робочих днів.

Для виконання робіт по етапу А необхідно 1 людину – інженера технічного забезпечення проекту.

Для виконання робіт по етапу Б необхідно 1 людину – інженера технічного забезпечення проекту.

Для виконання робіт по етапу В необхідно 1 людину – інженера технічного забезпечення.

Для виконання робіт по етапу Г необхідно 2 людини – 1 інженера технічного забезпечення, 1 інженер електронної техніки.

Для виконання робіт по етапу Д необхідно 2 людини – 1 інженера технічного забезпечення, 1 інженер електронної техніки.

Для виконання робіт по етапу Е необхідно 1 людину – 1 інженер технічного забезпечення.

У зв'язку з наведеним вище списком працівників для виду робіт, в таблицю 5.2 зводяться всі необхідні співробітники з кількістю робочих днів участі в проекті.

Таблиця 5.2– Співробітники проекту

Найменування	Кількість співробітників людей	Кількість робочих днів участі в розробці, роб. дні	К-ть часу, витраченого на участь в проекті, ч
Інженер технічного забезпечення проекту	1	43	344
Інженер електронної техніки	1	22	176

5.2 Розрахунок заробітної плати

Заробітна плата кожного співробітника нараховується виходячи з годинної тарифної ставки. Вони представлені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Тарифні ставки співробітників

Найменування співробітника	Тариф Тсер, грн./год.
інженер технічного забезпечення проекту	55
інженер електронної техніки	60

Заробітна плата кожного співробітника визначається по формулі [24]

$$ЗП = N_{роб} \cdot T_{сер} \cdot B \quad (5.1)$$

де ЗП – заробітна плата, грн.;

Тсер – ставка кожного співробітника, грн./год;

Nроб – кількість працівників, людей;

В – кількість годин, витрачених на роботу над проектом, год.

Заробітну плату інженера технічного забезпечення збільшуємо на 15%, у зв'язку з необхідністю витрати робочого часу на коректування документів.

Результати розрахунків представлені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Заробітна плата

Найменування	Заробітна плата, грн.
інженер технічного забезпечення проекту	18920
інженер електронної техніки	10560
РАЗОМ	29480

5.3 Розрахунок кошторису витрат

Кошторис витрат складається виходячи з таких показників: основні засоби (комп'ютер з програмним забезпеченням), заробітна плата, відрахування до єдиного фонду – 37%; накладні витрати (60…150% від фонду заробітної плати), які включають різні господарські та адміністративні витрати.

Далі наводиться вартість устаткування і програмного забезпечення, представлені в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Вартість устаткування і програмного забезпечення

Найменування	Ед.вим.	К-ть	Ціна, грн.	Вартість, грн.
Комп'ютер	шт	1	11000,00	11000,00
Програмне забезпечення	шт	1	0	0
Осцилограф	шт	1	5000,00	5000,00
Мультіметр	шт	1	350,00	350,00
Плата з STM32	шт	1	450	450
РАЗОМ				16800,00

Амортизація основних засобів (комп'ютер, осцилограф, мультиметр) [24]:

$$S_{ам} = \sum \frac{\alpha_{ам}}{100} \cdot вартість \cdot \frac{T_{вик}}{T_{можл.вик.}} \quad (5.2)$$

$$S_{аморт} = 0{,}15 \times 16800 \times (43 \times 8/2100) = 412{,}8 \text{ грн.}$$

Електроенергія, що витрачається при роботі інженера електронної техніки:

$$S_e = \text{тариф} \times \text{потужність} \times N \times T_{вик} \quad (5.3)$$

де N – кількість комп'ютерів, осцилографів, мультиметрів

$$S_e = 1{,}90 \times 0{,}5 \times 1 \times 344 = 326{,}8 \text{ грн.}$$

Кошторис витрат на розробку блоку оптимального відбору потужності представлений в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Кошторис витрат

№ з/п	Найменування	Разом:
1	Вартість програмного забезпечення	0,00
2	Основні засоби	16800
3	Амортизаційні відрахування	412,8
4	Витрати на електроенергію (машинний час)	326,8
5	Заробітна плата	29480
	Всього	47019,6

Економічні розрахунки підтвердили доцільність розробки блоку оптимального відбору потужностідлявикористання її в умовах серійного виробництва.

ВИСНОВКИ

В ході дослідження було розглянуто різні моделі контролерів сонячної батареї. В першому розділі наведена інформація про переваги використанння сонячної енергії.

Далі розглянуто схемотехнічні рішення існуючих контролерів. Розглянуто принципи побудови сонячних батарей. Проведено аналіз алгоритмів пошуку оптимальної точки роботи сонячної батареї та наведено переваги такого рішення.

Проведено моделювання режімів роботи контролера сонячної батареї в програмі Micro-Cap 12. Визначили параметри елементів та за довідковими даними обрали елементи схеми. Отримали осцилограми струму та напруги, в різних режимах від часу.

Розглянуто існуючи моделі контролерів, визначено пріоритетні напрямки роботи алгоритмів для побудови пристрою.

В четвертому розділі розглянуті методи виготовлення конструкції та друкованих плат. Також розглянуті заходи з охорони праці при проектуванні контролерів сонячних батарей.

В 5-му розділі проведено економічні розрахунки, які показали доцільність розробки

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К., Солнечная энергетика: Учебное пособие для вузов / Под ред. В.И. Виссарионова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. - с.

2. Струнин, И. В. Способы получения электрики и тепла из солнечного излучения / И. В. Струнин. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2014. — № 4 (63). — С. 265-267.

3. Солнечная энергетика и солнечные батареи. энергии [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://marineagency.dp.ua/katera-i-yakhty/stati/248-solnechnaya-energetika-i-solnechnye-batarei

4. Середенко В.В., к.т.н., проф. Циганок Б.А. Пристрій заряду акумуляторних батарей від сонячних елементів Матеріали XII-ї науково-практичної конференції «Перспективні напрямки сучасної електроніки», КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФЕЛ, 19-20 квітня 2018 р. (електронне видання)

5. Существующие схемотехнические решения устройств преобразования солнечной энергии [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://studbooks.net/2358048/tehnika/suschestvuyuschie_shemotehnicheskie_reshеniya_ustroystv_preobrazovaniya_solnechnoy_energii

6. Солнечные элементы-общие сведения [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://www.solbat.su/solelt/general/

7. MPPT контроллеры [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.solarhome.ru/control/mppt

8. MPPT контроллеры для солнечных станций [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://www.solbat.su/solelt

9. ACS713 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: www.allegromicro.com/mediaFiles/DatasheetsACS713-Datasheet.pdf

10. NCP5183DR2G [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/NCP5183DR2G.html

11. IPD053N08N3 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.infineon.com/dgdl/Infineon- IPD053N08N3-DS-v01_01-en.pdf?fileId=db3a304317a748360117cf072cf31ce8

12. Г.В. Малинин, А.В. Серебрянников/ Слежение за точкой максимальной мощности солнечной батареи. Вестник Чувашского университета. 2016. № 3

13. LTM4607 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.analog.com/ru/products/ltm4607.html

14. Широтно-импульсные преобразователи. Принцип работы, достоинства и недостатки. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://cop320.narod.ru/index/0-51

15. Micro-Cap 12 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: www.spectrumsoftware.com/

16. САПР DipTrace [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://diptrace.com/ua/

17. Друковані плати [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://www.pselectro.ru/article/7/78

18. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу. Охорона праці. – 1998. 44 с.

19. 2. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы»

20. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

21. Правила устройства электроустановок.- «Госэнергонадзор», 2009г. 704с.

22. СниП 11-4-79. Естественное и искусственное освещение.

23. НАПБ Б.03.002-2007 Нормы определения категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

24. Попова В.Д. Методичні вказівки до виконання економічної й організаційної частини дипломної роботи – Запоріжжя, 2005,-36с.

Додаток А

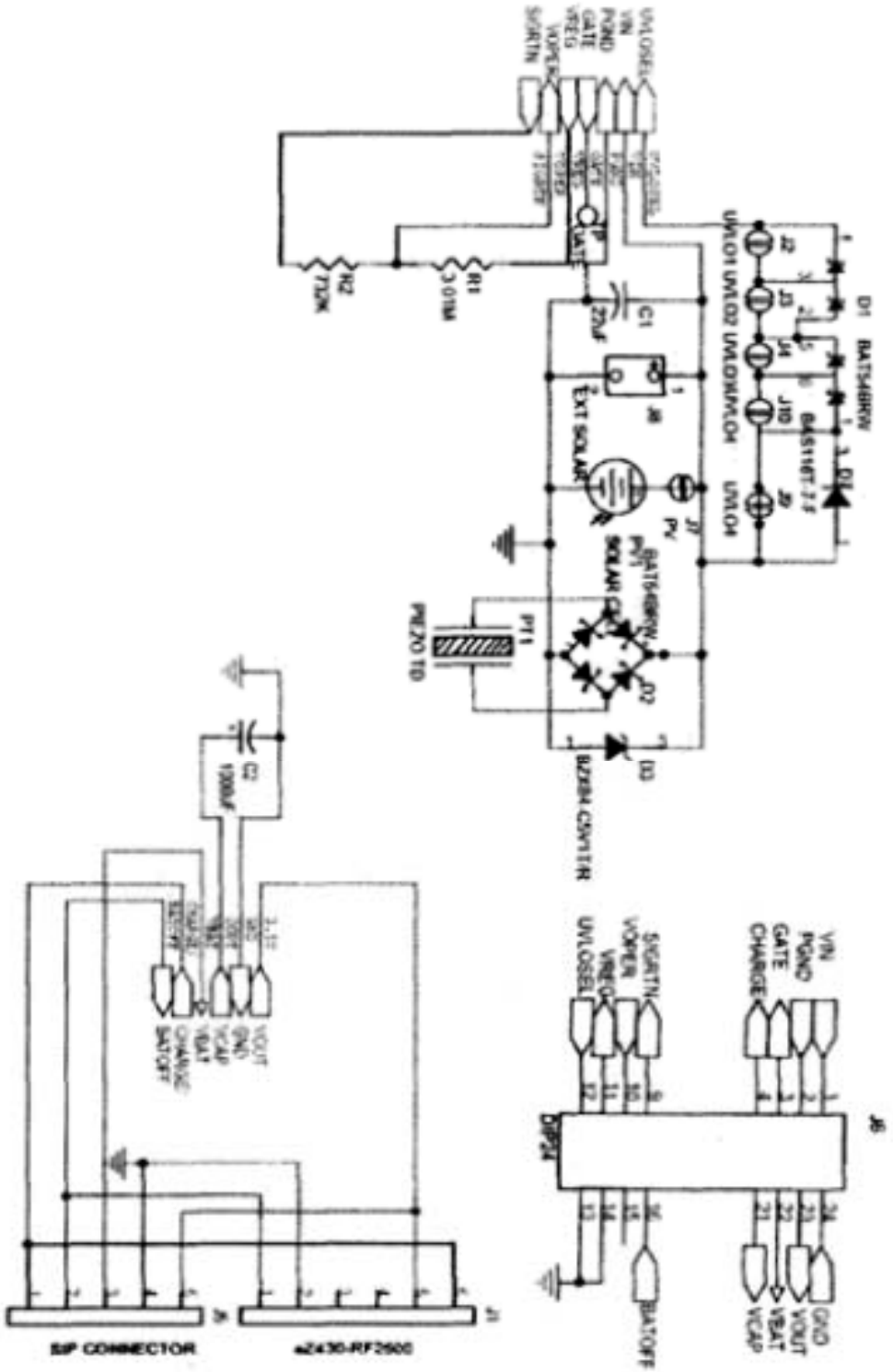


Рисунок 1 - Принципиальная схема модуля солнечной батареи CBC-SHE-01

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме-чание
				Документация		
А1			ЕС М.19151.00.00.00.00.Е1	Розробка блока оптимального		
				відбору потужності		
				Схема електрична структурна		
А1			ЕС М.19151.00.00.00.00.Е3	Розробка блока оптимального		
				відбору потужності		
				Схема електрична принципова		
А1			ЕС М.19151.00.00.00.00.Д1	Розробка блока оптимального		
				відбору потужності		
				Алгоритм пошуку оптимальної точки		
А1			ЕС М.19151.00.00.00.00.Д2	Розробка блока оптимального		
				відбору потужності		
				Принцип пошуку оптимальної точки		
А1			ЕС М.19151.00.00.00.00.Д3	Розробка блока оптимального		
				відбору потужності		
				Математична модель		
А1			ЕС М.19151.00.00.00.00.Д4	Розробка блока оптимального		
				відбору потужності		
				Результати моделювання		
А1			ЕС М.19151.00.00.00.00.Д5	Розробка блока оптимального		
				відбору потужності		
				Результати моделювання		
А1			ЕС М.19151.00.00.00.00.Д6	Розробка блока оптимального		
				відбору потужності		
				Економічні показники		

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Коновалов		
Пров.		Коритська		
Н.контр.		Тиришев		
Утв.		Коритська		

ЕС М.19151.00.00.00.00

Розробка блока оптимального відбору потужності

Лит.	Лист	Листов
		1

ІНКІ ЗНУ 8.1719

Копировал

Формат А4

Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
	Конденсаторы		
C1..C2	K73-17 0,1 мкФ x 50V ТУ6261-015-07594095-2006	2	
C3..C4	K73-17 1 нФ x 50V ТУ6261-015-07594095-2006	2	
C5..C8	K73-17 0,1 мкф x 50V ТУ6261-015-07594095-2006	4	
C9	KF 1000uF 16V	1	"Сархоп"
C10	K73-17 0,1 мкф x 50V ТУ6261-015-07594095-2006	1	
C11	KF 1000uF 16V	1	
C12	K73-17 0,1 мкф x 50V ТУ6261-015-07594095-2006	1	
C13, C14	KF 330uF 35V	2	Сархоп
C15	K73-17 0,1 мкф x 50V ТУ6261-015-07594095-2006	1	
C16..C17	22pF 50V	2	AVX
C18..C19	K73-17 0,1 мкф x 50V ТУ6261-015-07594095-2006	2	
DA1..DA2	Датчик струму ACS 713ELCTR-30A	1	Allergo
DA3	Стабілізатор LM7805	1	Texas Instruments
DA4	Перетворювач LTM 4607	1	
DA5	Стабілізатор LM7833	1	Texas Instruments
DD1	Мікроконтролер STM32103F	1	"ST"
FU1	Запобіжник 0.25A	1	
HG	РК індикатор 1604	1	"Winstar"
L1	Індуктивність 4.7 uH	1	"Epcos"
	Резистори		

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Коновалов		
Пров.		Критська		
Н.контр.		Тиришев		
Утв.		Критська		

ЕС М.19151.00.00.00.00.ПЭ

Розробка блока оптимального відбору потужності

Перелік елементів

Лит.	Лист	Листов
	1	2

ІННІ ЗНУ 8.1719-з

Копировал

Формат А4

Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
R1	5.6k 0.25W ±5%	1	
R2	10k 0.25W ±5%	1	
R3	5.6k 0.25W ±5%	1	
R4	10k 0.25W ±5%	1	
R5	3005P-103-ND POT 10k 3/4 inch	1	
R6	0.07 1W ±5%	1	
R7	4k 0.25W ±5%	1	
R8..R12	1k 0.25W ±5%	4	
R13	100k 0.25W ±5%	1	
R14	10k 0.25W ±5%	1	
R15	100k 0.25W ±5%	1	
R16	10k 0.25W ±5%	1	
	Роз'єми		
XP1	SIL-100-03	1	
XP2..XP3	SIL-100-05	1	
ZQ1	Кварцевый резонатор KXO-210 25 MHz	1	"GEYER"

Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЕС М.19151.00.00.00.00.ПЭ	Лист 2

Копировал Формат А4

Позначення	Найменування	Кол.	Примітка
	Конденсатори		
C1..C2	К73-17 0,1 мкФ х 50V ТУ6261-015-07594095-2006	2	
C3..C4	К73-17 1 нФ х 50V ТУ6261-015-07594095-2006	2	
C5..C8	К73-17 0,1 мкФ х 50V ТУ6261-015-07594095-2006	4	
C9	KF 1000uF 16V	1	"Сархоп"
C10	К73-17 0,1 мкФ х 50V ТУ6261-015-07594095-2006	1	
C11	KF 1000uF 16V	1	
C12	К73-17 0,1 мкФ х 50V ТУ6261-015-07594095-2006	1	
C13, C14	KF 330uF 35V	2	Сархоп
C15	К73-17 0,1 мкФ х 50V ТУ6261-015-07594095-2006	1	
C16..C17	22pF 50V	2	AVX
C18..C19	К73-17 0,1 мкФ х 50V ТУ6261-015-07594095-2006	2	
DA1..DA2	Датчик струму ACS 713ELCTR-30A	1	Allergo
DA3	Стабілізатор LM7805	1	Texas Instruments
DA4	Перетворювач LTM 4607	1	
DA5	Стабілізатор LM7833	1	Texas Instruments
DD1	Мікроконтролер STM32103F	1	"ST"
FU1	Запобіжник 0.25A	1	
HG	РК індикатор 1604	1	"Winstar"
L1	Індуктивність 4.7 uH	1	"Epcos"
	Резистори		

ЕС М.19151.00.00.00.00.ПЭ

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Коновалов		30.11.
Пров.		Критська		
Н.контр.		Туришев		30.11.
Утв.		Критська		10.12.

Розробка блока оптимального відбору потужності
Перелік елементів

Лит.	Лист	Листов
	1	2

ІННІ ЗНУ
8.1719-3

Формат А4

Копировал

обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
R1	5.6k 0.25W ±5%	1	
R2	10k 0.25W ±5%	1	
R3	5.6k 0.25W ±5%	1	
R4	10k 0.25W ±5%	1	
R5	3005P-103-ND POT 10k 3/4 inch	1	
R6	0.07 1W ±5%	1	
R7	4k 0.25W ±5%	1	
R8..R12	1k 0.25W ±5%	4	
R13	100k 0.25W ±5%	1	
R14	10k 0.25W ±5%	1	
R15	100k 0.25W ±5%	1	
R16	10k 0.25W ±5%	1	
	Роз'єми		
XP1	SIL-100-03	1	
XP2..XP3	SIL-100-05	1	
ZQ1	Кварцевый резонатор KXO-210 25 MHz	1	"GEYER"