

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра мікроелектронних інформаційних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проект)

другий магістерський
(рівень вищої освіти)

на тему Дослідження та розробка пристрою
для керування потужністю фотоелектричних
систем

Виконав: студент II курсу, групи Ф-1539
спеціальності 153 Мікро- та наносистемна техніка
(код і назва спеціальності)

спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

освітньої програми мікроелектронні інформаційні системи
(назва освітньої програми)

Лимник Д.О.
(ініціали та прізвище)

Керівник доц. Коломоєць П.Р.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент зас. наг. кафедри ПАТ "Університет" Чебоксар С.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя

2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут _____
Кафедра Мікроелектроніки та електронік інформаційних систем
Рівень вищої освіти _____
Спеціальність 153 мікро- та наносистемна техніка
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма мікроелектронні інформаційні системи

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Кривська Т.В.

« 1 » листопада 2020 року

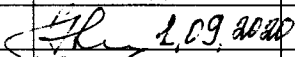
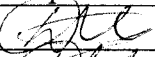
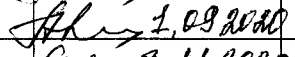

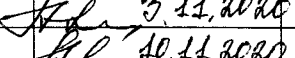
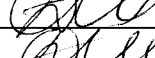
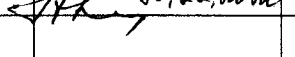
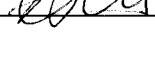
З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Линику Дмитру Александровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи (проєкту) Дослідження та розробка
присади для контролю потужності фотоелектрич-
них систем
керівник роботи доц. Коломєць Ганна Геннадівна
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затвержені наказом ЗНУ від «25» травня 2020 року № 600
- Строк подання студентом роботи 1.12
- Вихідні дані до роботи 1. Принципи роботи фотоелектричних систем
та методи контролю потужності. 2. Розрахунок частоти пристрою
для керування потужністю фотоелектричної системи. 3. Блок-схема
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити) 1. Принципи роботи фотоелектричних систем та методи контролю
потужності. 2. Розрахунок частоти пристрою. 3. Типові електричні схеми
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
А1-Типова структурна схема фотоелектричної системи; А2-Типова структурна та блок-схема
алгоритму роботи згідно максимальної потужності; А3-Структурна схема стабилизатора;
А4-Схема структурна електрична мікроелемента LT8490. А5-Моделювання пристрою
у редакторі LTSpice. А6-Моделювання схеми індикації заряду у редакторі Proteus
А7-Друкарська плата пристрою для керування потужністю на мікроелементі
LT8490. А8-Схема електрична принципова пристрою для керування
потужністю фотоелектричних систем на мікроелементі LT8490.


6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
I	Коломоєць Р.Р., доцент	 1.09.2020	
II	Коломоєць Р.Р., доцент	 1.09.2020	
III	Коломоєць Р.Р., доцент	 3.11.2020	
IV	Коломоєць Р.Р., доцент	 10.11.2020	

7 Дата видачі завдання 1.09.2020


КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз методів калібрації потужності джерел світ.	25.05.2020	
2.	Розробка структурної схеми пристрою	16.09.2020	
3.	Розрахунок основних параметрів пристрою	1.10.2020	
4.	Розробка пристрою для індикації	26.10.2020	
5.	Моделювання в спеціальному середовищі	11.11.2020	
6.	Техніко-економічне обґрунтування	19.11.2020	
7.	Діагностика праці та технічного безпека	30.11.2020	
8.	Архівування роботи	10.12.2020	

Студент  Лимник Р.О.
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту)  Коломоєць Р.Р.
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер  Вересовий А. та 
(підпис) (ініціали)

прізви

РЕФЕРАТ

Дипломна робота містить 93 сторінку, 30 рисунків, 6 таблиць, 26 джерел літератури.

Об'єкт дослідження – пристрій для керування потужністю фотоелектричних систем.

Мета роботи – розробка та дослідження пристрою для керування потужністю фотоелектричних систем

Задачі роботи – розробити схему електричну принципову та проаналізувати функціонування розробленого пристрою.

Методика досліджень – моделювання пристрою за допомогою програмних забезпечень LTspice, Proteus 7.7, SPlan 7.0, Sprint Layout.

Короткий виклад результатів досліджень – проведений аналіз проблем сучасних фотоелектричних систем та розроблені заходи їх вирішення.

Результати впроваджень – електронна модель приладу пройшла випробування за допомогою програмних забезпечень кафедри МЕІС.

Прогнозні пропозиції: результати роботи рекомендуються до використання при розробці сучасних приладів контролю потужності фотоелектричних систем або для покращення існуючих мікросхем.

ЗНИЖУЮЧИЙ-ПІДВИЩУЮЧИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ, ДРОСЕЛЬ, ШІМ - КОНТРОЛЕР, ТРАНЗИСТОР, ФОТОЕЛЕКТРИЧНА СИСТЕМА, ПОШУК ТОЧКИ МАКСИМАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ (MPPT), СТАБІЛІЗАТОР НАПРУГИ ТА СТРУМУ, СОНЯЧНИЙ МОДУЛЬ

Дипломну роботу виконано на кафедрі мікроелектронних інформаційних систем, з 03.07.2020 р. по 10.12.2020 р.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ПРИНЦИПИ РОБОТИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ ТА МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ПОТУЖНОСТІ	7
1.1 Структурні схеми автономних фотоелектричних енергетичних установок.....	7
1.2 Режими експлуатації сонячних і акумуляторних батарей та їх характеристики	8
1.3 Контролер заряду-розряд акумуляторних батарей.....	20
1.4 Алгоритми стеження за точкою максимальної потужності та їх варіації	21
1.5 Основні типи імпульсних стабілізаторів	30
2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	36
2.1 Характеристики сонячного модуля та мікросхеми для керування потужністю ФЕС	36
2.2 Розрахунок пристрою для керування потужністю фотоелектричної системи	46
2.3 Моделювання у програмному середовищі LTspice.....	56
2.4 Пристрій світлодіодної індикації стану напруги на батареї.....	58
3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ДОСЛІДНИЦЬКОЇ РОБОТИ	66
3.1 Обґрунтування актуальності проблеми при роботі з пристроями контроля потужності.....	66
3.2 Формулювання науково-технічної проблеми ефективності роботи з сонячною енергією.....	66
3.3 Розрахунок вартості застосованої елементної бази.....	67
3.4 Розрахунок параметрів надійності розробленого приладу.....	68
3.5 Економічна ефективність науково - дослідницької роботи.....	73
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	75

4.1 Шкідливі і небезпечні чинники при виготовленні макету приладу	75
4.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів	78
4.3 Виробнича санітарія.....	81
4.4 Електробезпека.....	82
4.5 Пожежна безпека.....	83
4.6 Висновки	85
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ:.....	86
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	87
ДОДАТОК А.....	88
ДОДАТОК Б	89
ДОДАТОК В.....	90
ДОДАТОК Г	91

ВСТУП

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 видів палива і загострює проблему забруднення довкілля. Тому існує необхідність в розвитку альтернативних (відновлюваних) джерел енергії для забезпечення стійких енергопостачань споживачеві, а також для зменшення локальних і глобальних забруднень навколишнього середовища[1].

Сонячна енергетика – один з перспективних напрямків розвитку відновлюваних джерел енергії. Всього за 9 хвилин Земля отримує більше енергії від Сонця, ніж людство виробляє за весь рік. Отже, сонячна енергія є одним з найбільш підходящих варіантів генерації електроенергії, оскільки вона невичерпна, абсолютно безкоштовна (з точки зору її доступності) і екологічно чиста. За оцінками деяких фахівців, до 2100 року сонце стане домінуючим джерелом енергії на планеті.

Існує 2 основних недоліки в сонячній енергетиці: кількість сонячного світла, і вартість обладнання. Перший залежить від географії застосування, а другий поступово знижується зі збільшенням обсягів виробництва. Уже зараз інвестиції в сонячні елементи виправдовують себе.

Розвиток малих сонячних фотоелектричних систем (ФЕС), що працюють як паралельно з мережею, так і в автономному режимі, може поліпшити електропостачання побутових споживачів ефективніше і швидше, ніж розвиток великої енергосистеми. Тому робота, присвячена дослідженню і вдосконаленню обладнання малої сонячної фотоелектричної системи (ФЕС) є актуальною і має велике практичне значення.

1 ПРИНЦИПИ РОБОТИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ ТА МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ПОТУЖНОСТІ

1.1 Структурні схеми автономних фотоелектричних енергетичних установок

Автономні фотоелектричні енергетичні установки в загальному випадку складаються з масиву фотоелектричних перетворювачів (ФЕП), акумуляторних батарей (АБ), інвертора-перетворювача постійної напруги в змінну напругу (якщо необхідно), і контролера заряду-розряду акумуляторних батарей (КАБ)[2]. З'єднання даних елементів системи проводиться згідно структурної схеми, представленої на рисунку 1.1.

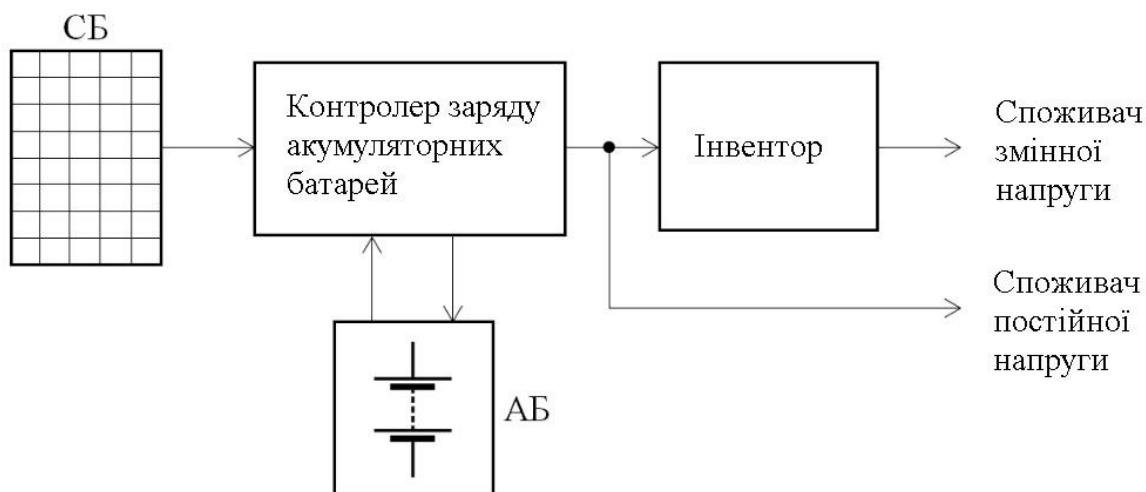


Рисунок 1.1 – Структурна схема фотоелектричної енергетичної системи

Відома структура фотоелектричної системи (рисунок 1.2), в якій реалізовано екстремальне регулювання потужності сонячних батарей і автоматичне наведення СБ на Сонце[3]. На схемі прийняті наступні позначення: СБ - Сонячний батарея; КНС-контролер наведення СБ на Сонце; ДКД1, ДКД2 – драйвери управління кроковими двигунами; М1, М2 – крокові двигуни; Р1 - Р4 – редуктори; КАБ – контролер заряду акумуляторних батарей; І – інвертор; АБ – акумуляторна батарея.

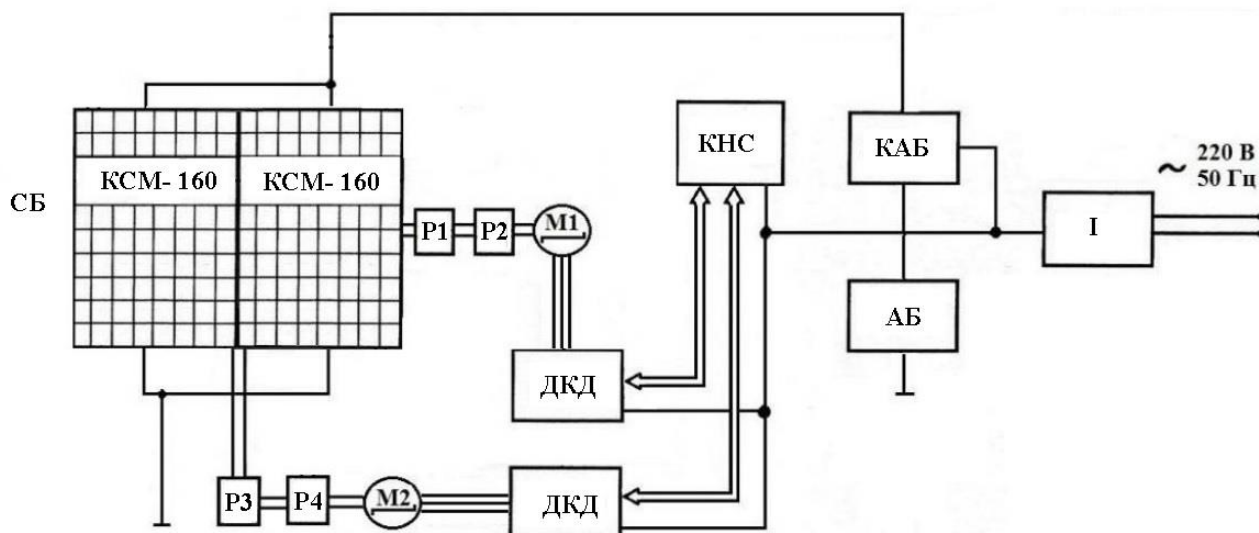


Рисунок 1.2 – Структурна схема ФЕС з функцією наведення сонячних батарей на сонце та екстремальним регулюванням потужності СБ

Склад і структура фотоелектричні системи в основному залежать від умов експлуатації і вимог кінцевого споживача. В даний час відомі різні методи визначення структури, параметрів і характеристик ФЕС.

1.2 Режими експлуатації сонячних і акумуляторних батарей та їх характеристики

Сонячні батареї – основна частина фотоелектричної енергетичної системи. Перетворення енергії в ФЕП (фотоелектричному перетворювачі) засновано на фотоелектричному ефекті, що виникає при впливі сонячного випромінювання в неоднорідних напівпровідникових структурах [4]. Неоднорідність структури ФЕП може бути отримана легуванням одного і того ж напівпровідника різними домішками (створення р-п переходів) або шляхом з'єднання різних напівпровідників з неоднаковою шириною забороненої зони – енергетичного відриву електрона з атома (створення гетеропереходів), або ж за рахунок зміни хімічного складу напівпровідника, що приводить до появи градієнта ширини забороненої зони.

Можливі також різні комбінації перерахованих способів.

Ефективність перетворення залежить від електрофізичних характеристик неоднорідною напівпровідникової структури, а також оптичних властивостей ФЕП, серед яких найбільш важливу роль грає фотопровідність. Вона обумовлена явищами внутрішнього фотоефекту в напівпровідниках при опроміненні їх сонячним світлом. Втрати енергії в фотоелектричних перетворювачах зв'язані:

- з відбиттям сонячного випромінювання від поверхні перетворювача;
- проходженням частини випромінювання через ФЕП без поглинання в ньому;
- розсіюванням на теплових коливаннях ґрат надлишкової енергії фотонів;
- рекомбінацією утворених фото-пар на поверхнях і в об'ємі ФЕП;
- опір ФЕП;
- іншими фізичними процесами.

Для зменшення втрат енергії в ФЕП проводяться такі заходи:

- створення текстурованої фронтальної поверхні;
- використання напівпровідників з оптимальною для сонячного випромінювання шириною забороненої зони;
- спрямоване поліпшення властивостей напівпровідникової структури шляхом її оптимального легування і створення вбудованих електричних полів;
- перехід від гомогенних до гетерогенних і варізонних напівпровідникових структур;
- оптимізація конструктивних параметрів ФЕП (глибини залягання рп-переходу, товщини базового шару, частоти контактної сітки і ін.);
- застосування багатофункціональних оптичних покриттів, які забезпечують просвітлення, терморегулювання і захист ФЕП від космічної радіації;

- створення каскадних ФЕП із спеціально підібраними по ширині забороненої зони напівпровідниками, що дозволяють перетворювати в кожному каскаді випромінювання, що пройшло через попередній каскад;
- створення перетворювачів з двостороннім чутливістю (до +80% до вже наявного ККД одного боку);
- попереднє розкладання сонячного спектра на дві або більше спектральні області за допомогою багат шарових плівкових світлоділних (дихроїчних дзеркал) з подальшим перетворенням кожної ділянки спектру окремим ФЕП.

В фотоелектричних енергетичних установках можна використовувати різні типи ФЕП, але не всі вони задовольняють комплексу вимог до таких систем:

- висока доступність сировини і можливість організації масового виробництва;
- прийнятна з точки зору термінів окупності витрат на створений системи перетворення;
- висока надійність при тривалому ресурсі роботи;
- зручність техобслуговування.

В даний час на представлено кілька різних видів фотоелектричних перетворювачів. Вони діляться на дві основні групи: кремнієві і плівкові. Кремнієві в свою чергу можна розділити на полікристалічні, монокристалічні і аморфні. Плівкові виготовляються на основі телуриду кадмію (CdTe), селеніду міді-індію (CuInSe₂) – полімерні [4].

Найбільше застосування в наземних ФЕС отримали ФЕП на основі кремнію. Пояснюється це широким поширенням кремнію в земній корі, його відносною дешевизною і високим показником продуктивності в порівнянні з деякими іншими видами сонячних батарей.

Монокристалічні СБ є силіконові осередки, об'єднані між собою. Для їх виготовлення використовують максимально чистий кремній. Після затвердіння готовий монокристал розрізають на тонкі пластини товщиною 250-300 мкм, які пронизують сіткою з металевих електродів. Технологія є

порівняно дорогої, тому й коштують монокристалічні батареї дорожче, ніж полікристалічні або аморфні. Вибирають даний вид сонячних батарей за високий показник ККД (17-22%) [4].

Для отримання полікристалів кремнієвий розплав піддається повільному охолодженню. Така технологія вимагає менших енерговитрат, отже, і собівартість кремнію, отриманого з її допомогою, менше. Єдиний мінус-полікристалічні сонячні батареї мають більш низький ККД (13-16%) [4].

В фотоелектричних перетворювачів на основі аморфного кремнія використовується НЕ кристалічний кремній, а силан, або кремніє-водород, який тонким шаром наноситься на матеріал підкладки. ККД таких батарей становить всього 5-6%

Сонячні батареї на основі телуриду кадмія є одними з найперспективніших в наземної сонячної енергетики. Значення ККД становить близько 11%, в порівнянні з кремнієм ця цифра менше, але вартість вата потужності таких СБ на 20-30% менше, ніж у кремнієвих [4].

Сонячний батарея на основі селеніда-міді-індію здатна перетворити 15-18% падаючого на неї сонячного випромінювання в електричну енергію. Як видно, по ККД цей вид мало чим відстає від монокристалічної кремнієвої батареї.

В якості світлопоглинаючих матеріалів в полімерних сонячних батареях використовуються органічні напівпровідники, такі як поліфенілен, вуглецеві фулерени, фталоціанин міді та інші.

Полімерні сонячні батареї мають на сьогоднішній день ККД 5-6%. Але їх головними перевагами вважаються низька вартість виробництва, низька маса, відсутність шкідливого впливу на навколишнє середовище. Застосовуються полімерні батареї в областях, де найбільше значення має механічна еластичність і екологічність утилізації [4].

Існують сонячні батареї на основі арсеніду галію. Найсучасніші гетероструктурні арсенід-галієві ФЕП забезпечують перетворення падаючої сонячної енергії в електричну за ККД 35-40%, а тришарові арсенід-галієві 45%.

Але ці високоефективні панелі не можуть масово використовуватися в наземних ФЕС через високу вартість [4].

Сонячний батареї фотоелектричних енергетичних систем використовуються при умовах експлуатації, які значно змінюються, вони сильно схильні до впливу навколишнього середовища [4]. Вольт-ватні характеристики (ВВХ) мають яскраво виражений максимум генеруємої потужності, максимум якої суттєво змінюється від умов експлуатації (ресурсу, температури, освітленості). Основний вплив на ВВХ фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії надають ступінь освітленості і температура. Освітленість ФЕП падає при зміні орієнтації по відношенню до Сонця, тобто при появі кута між сонячним вектором і вектором нормалі до панелей СБ. При куті 180° і попаданні в тінь освітленість падає практично до нульового значення. Пропорційно до зміні освітленості змінюється і струм СБ (рисунок 1.3) [4].

Часткове затінення СБ веде до зменшення її потужності, а також до виникнення високих зворотніх напруг на затінених і паралельно з ними з'єднаних фотоперетворювачах, перегріву і деградації СБ [4]. Навіть при повному усуненні негативного впливу часткових затінення і електризації, прогнозоване зменшення потужності СБ може складатися 15-20% до кінця п'ятого року експлуатації, і 30% після 10 років роботи СБ [4]. Найбільш істотні зміни ВВХ відбуваються в момент виходу Сонця з хмари після тривалого затінення панелей. В літній час, при середній температурі $20-25^\circ$ градусів тепла і відсутності вітру, температура панелей сонячної батареї може підвищитися до $50-70$ градусів. У цьому випадку напруга холостого ходу і оптимальної робочої точки може зменшитися на 25%. Час прогріву панелей СБ залежить від конструкції і розташування, і як правило, не перевищує 20 хвилин [4]. При інтенсивності освітлення, що відповідає сонячній, фотоЕРС перетворювачів з кремнію лінійно падає при збільшенні температури з градієнтом $1,5-2,5$ мВ/К [4]. При зміні температури від плюс 70° С до мінус 30° С напруга оптимальної робочої точки кремнієвої СБ збільшується

орієнтовно в 1,5 рази (напряга кремнієвого фотоелемента змінюється в діапазоні 0,5-0,75 В) [4]. Зміна температури панелей СБ веде до зсуву ВАХ уздовж осі напруги. При цьому струм СБ незначно залежить від температури (рисунок 1.4).

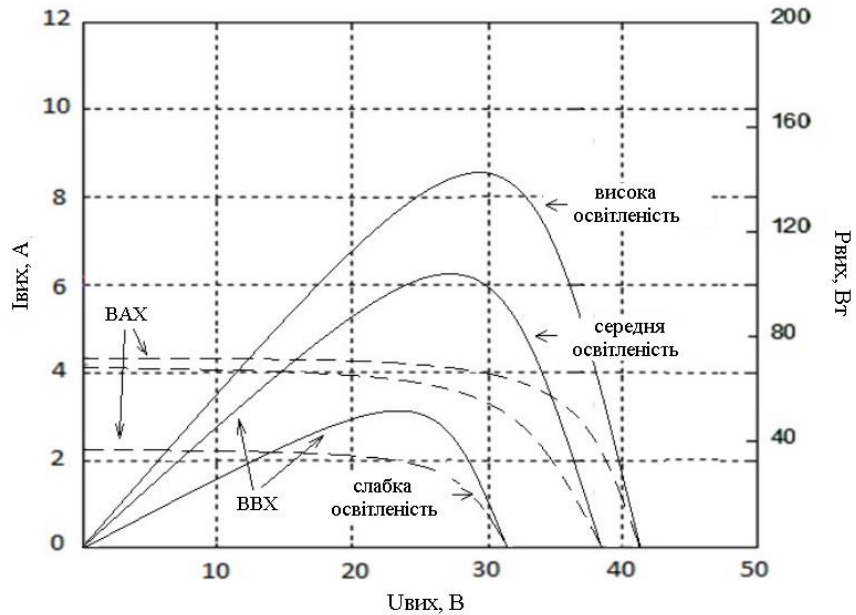


Рисунок 1.3 – ВАХ і ВВХ сонячного модуля при різного ступеня освітленості (Освітленість: висока – 950Вт / м²; середня – 650Вт / м²; слабка – 300Вт / м²)

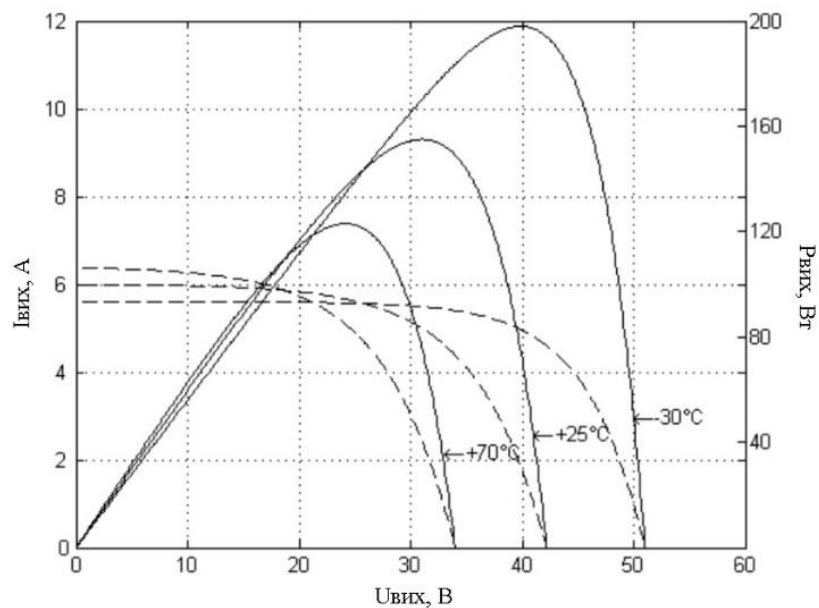


Рисунок 1.4 – ВАХ і ВВХ сонячного модуля в температурному діапазоні - 30 – + 70° С

Іншими факторами, що впливають на параметри СБ, є радіаційні впливи, механічні пошкодження і електризація.

Акумуляторні батареї є невід'ємною частиною ФЕС і служать для накопичення електричної енергії і віддачі її споживачеві в темний час доби, а також при нестачі сонячної енергії (наприклад, в похмуру погоду). Час автономної роботи фотоелектричної системи визначається ємністю акумуляторних батарей. Крім ємності, найважливішими параметрами акумуляторів ФЕС є максимальне число циклів заряду – розряду і термін служби. Вибір акумуляторної батареї з великим життєвим ресурсом – складна проблема при розробці ФЕС через агресивну електрохімічну природу АБ, великої залежності їх характеристик від умов експлуатації, способів заряду, методів контролю параметрів і захисту акумуляторів.

Основні вимоги, що пред'являються до акумуляторним батареям ФЕС:

- електроживлення акумуляторних батарей протягом темного часу доби (визначається ємністю АБ);
- максимально короткий час заряду;
- можливість часткового розряду з подальшим дозарядом;
- надійність і відсутність технічного обслуговування протягом всього терміну служби системи;
- відсутність необхідності в спеціальному приміщенні або системі вентиляції.

По режиму експлуатації акумуляторні батареї можна умовно розділити на групи [5]:

- для роботи в буферному режимі (періоди розряду батареї, в порівнянні з періодами заряду – нетривалі);
- для роботи в циклічному режимі (цикли заряду і розряду постійно чергуються);
- стартерні – використовуються для запуску різних двигунів (для даного режиму характерний короткочасний розряд великим струмом).

В ФЕС акумулятор функціонує в циклічному режимі з неповним розрядом протягом доби і в буферному режимі-протягом світлового (сонячного) дня.

За типом активних компонентів АБ можна розділити:

- на срібно-цинкові (Ag-Zn);
- срібно-кадмієві (Ag-Cd);
- нікель-залізні (Ni-Fe);
- нікель-кадмієві (Ni-Cd);
- нікель-металогідридні (Ni-MH);
- свинцево-кислотні; літій-іонні (Li-Ion);
- літій-полімерні (Li-polymer);
- гелеві.

Нижче докладніше розглянуто кожен з типів.

Срібно-цинкові і срібно-кадмієві акумулятори.

Активними матеріалами даних АБ служать оксид срібла на позитивному, і цинк або кадмій -на негативному електродах відповідно, електролітом є розчин лугу[6]. Характеризуються високою питомою енергією, низьким саморозрядом, але досить дорогі, а також мають низький ресурс. У енергоємних акумуляторних батареях срібно-цинкової електрохімічної системи (90-120 Вт·рік/кг) при збільшенні числа циклів заряду – розряду ємність істотно падає, і при 103-104 циклах становить не більше 30% від початкової. Використовуються в основному для живлення портативних приладів і апаратів у військовій техніці.

Нікель-кадмієві (Ni-Cd) акумулятори

Реагентами в нікель-кадмієвих акумуляторах служать гідроксид нікелю і кадмій, електролітом – розчин гідроксиду калію, тому вони відносяться до лужним акумуляторів. Існують три основні види нікель-кадмієвих акумуляторів: негерметичні з ламельними і з спеченими електродами (ламельні і безламельні акумулятори), та герметичні [7]. Найбільш дешеві ламельні нікель-кадмієві акумулятори характеризуються плоскою розрядною

кривої, високими ресурсом і міцністю, але низькою питомою енергією. Питома енергія, швидкість розряду Ni-Cd акумуляторів зі спеченими електродами вище, вони працездатні при низьких температурах, але дорожчі, характеризуються ефектом пам'яті. Герметичні Ni-Cd акумулятори характеризуються горизонтальною розрядною кривою і здатністю функціонувати при низьких температурах. Недоліком даного типу акумуляторів є застосування токсичного кадмія. Для Ni-Cd акумуляторів переважний бистрий заряд і повільний розряд до стану повного розряду. Також необхідно повний періодичний розряд, інакше на пластинах елементів формуються великі кристали, що значно знижує їх ємність (так званий "ефект пам'яті"). Застосовуються для живлення стаціонарного обладнання, засобів зв'язку, запуску дизелів і авіаційних двигунів і т.п.

Нікель-залізні акумулятори

В цих акумуляторах використовується залізо[8]. Через виділення водню з самого початку заряду ці акумуляторні батареї виготовляють тільки в негерметичному варіанті. Вони дешевші нікель-кадмієвих, мають довгий термін служби і високу механічну міцність. Але характеризуються високим саморозрядом, низькою віддачою по енергії, практично непрацездатні при температурі нижче -10°C . Використовуються в основному як тягові джерела струму в шахтних електровозах, електрокарах і промислових підйомниках.

Нікель-металогідридні акумулятори (Ni-MH)

Активним матеріалом негативного електрода є інтерметаліди, зворотно сорбуючий водень, тобто, фактично, анод є водневим електродом, у якого відновлена форма водню знаходиться в абсорбованому стані. Розрядна крива Ni-MH акумулятора аналогічна кривій Ni-Cd акумулятора. Питома ємність і енергія нікель-металогідридних акумуляторів в 1,5-2 рази вище питомої енергії нікель-кадмієвих акумуляторів, окрім того, вони не містять токсичний кадмій. Застосовуються для живлення портативних приладів і апаратури.

Свинцево-кислотні акумулятори

Свинцеві АБ є найбільш поширеними серед всіх, що існують в даний час хімічних джерел струму[7]. Їх масштабне виробництво визначається як відносно низькою ціною, обумовленою порівняльною не дефіцитністю вихідних матеріалів, так і розробкою різних варіантів цих акумуляторів, що відповідають вимогам широкого кола споживачів. На електричних і експлуатаційних характеристиках, герметизованих свинцевих акумуляторних батарей великої ємності значно позначаються відмінності в конструкції електродів (поверхневого типу, панцирні або стержневі), а також відмінності в сплавах, що використовуються для виготовлення струмопровідних основ. , Герметизовані свинцеві акумуляторні батареї працездатні в інтервалі температур від -30 до $+50^{\circ}$ С, частіше гарантується працездатність при температурі не нижче -15° С. При більш низьких температурах можливості розряду заважає замерзання електроліту. Працездатність акумуляторів при низьких температурах може бути забезпечена збільшенням концентрації електроліту, як це і робиться в спеціальних акумуляторах. Саморозряд в даному типу акумуляторів складає 40% в рік при 20° С і 15% при 5° С. При більш високих температурах зберігання саморозряду збільшується (при 40° С батареї позбавляються 40% ємності за 4-5 місяців). Самий великий вплив на термін служби герметизованого свинцево-кислотного акумулятора надають: робочій температурі, глибині розряду і величині перезарядження. Перерозряд також шкідливий для свинцево-кислотних батарей, як і перезаряд. При багаторазовому розряді зменшується розрядна ємність і знижується термін служби акумулятора. Такі ж зміни можуть відбуватися і при тривалому зберіганні батарей в розрядженому стані. Сучасні герметизовані свинцево-кислотні акумуляторні батареї мають досить високі питомі енергетичні характеристики (до 40 Вт·рік/кг і 100 Вт·рік/л). Вони працездатні в буферному режимі при нормальній температурі протягом тривалого періоду (понад 10 років), а при циклюванні забезпечують кілька сотень циклів при втраті до 20% ємності.

Літій-іонні (Li-ion) акумулятори

Більшість Li-іон акумуляторів виготовляють в призматичних варіантах, оскільки основне їх призначення – забезпечення роботи смартфонів і ноутбуків. Конструкція відрізняється абсолютною герметичністю, це вимога визначається як неприпустимістю витікання рідкого електроліту (негативно діє на апаратуру), так і неприпустимістю попадання в акумулятор кисню і парів води з навколишнього середовища. Кисень і пари води реагують з матеріалами електродів, електролітом і повністю виводять акумулятор з дії. Технологічні операції виробництва електродів і інших деталей, а також збірку акумуляторів проводять в особливих сухих кімнатах або в герметичних боксах в атмосфері чистого аргону. При складанні акумуляторів застосовують складні сучасні технології зварювання, конструкції гермовиводів і т.д. З ростом струму розряду ємність акумулятора знижується незначно, але зменшується робоча напруга. Такий же ефект з'являється в розряді при температурі нижче 10° С. Крім цього, при низьких температурах має місце початкова просадка напруги. При циклюванні Li-іон акумуляторів серед можливих механізмів зниження ємності найбільш часто розглядаються наступні:

- руйнування кристалічної структури катодного матеріалу;
- розшарування графіту;
- осад металевого літію;
- механічні зміни структури електрода в результаті об'ємних коливань активного матеріалу при циклюванні.

Звичайний ресурс комерційних Li-іон акумуляторів до зниження розрядної ємності на 20% становить 500-1000 циклів. Зі зменшенням глибини циклювання ресурс підвищується[7]. Перевагою Li-іон акумуляторів є: мала вага; висока ємність; великі струми віддачі; незначний «ефект пам'яті»; низький рівень саморозряду – не більше 5% в місяць; можливість швидкого заряду. Недоліки: вузький температурний робочий діапазон, при якому ємність і струм віддачі залишається на прийнятному рівні (вимагають дбайливої експлуатації); обмежений термін служби.

Літій-полімерні (Li-pol) акумулятори

В основі літій-полімерного акумулятора лежить відкрите явище переходу деяких полімерів в напівпровідниковий стан в результаті впровадження в них іонів електроліту. Провідність полімерів при цьому збільшується більш ніж на порядок. Сучасні літій-полімерні акумулятори забезпечують питомі характеристики, які можна порівняти з характеристиками літій-іонних акумуляторів. Завдяки відсутності рідкого електроліту, вони більш безпечні у використанні, ніж Li-ion. Li-pol акумулятори компактні і можуть бути виконані в будь-якій конфігурації. Робоча щільності струму незначна, і електричні характеристики Li-pol акумуляторів помітно погіршуються при зниженні температури через кристалізацію полімеру. Для зниження внутрішнього опору Li-pol батареї використовують добавку гелевого електроліту. Процес заряду подібний заряду літій-іонних.

Гелеві

Гелевий акумулятор це варіант роботи без обслуговування свинцево-кислотного акумулятора[9]. Він забезпечений клапаном, який відкривається для викиду надмірно накопиченого газу, в основному водню. Це герметизований акумулятор (без урахування клапану), не обслуговується, з гелеподібним кислотним електролітом. Електроліт загущений за допомогою силікагелю, під час експлуатації АБ поступово твердне. Пари водню і кисню затримуються усередині речовини і реагуючи між собою, перетворюються в воду, яка стікає по стінках акумулятора, зволожуючи гель. Таким чином, майже всі випаровування повертаються назад в акумулятор. Але частина випарів рекомбінувати не вдається, і при надлишковому тиску газ скидається через запобіжні клапани. В процесі експлуатації гелевих акумуляторів, через неминучі втрати води при відкриванні клапана, відбувається осушення гелю і збільшення внутрішнього опору джерел струму. Переваги герметизованих гелевих акумуляторів є: низький саморозряд; можливість експлуатації майже в будь-якому положенні; при руйнуванні корпусу електроліт не витікає; можна використовувати безпосередньо в виробничих і житлових приміщеннях з

природною вентиляцією. Зараз гелеві батареї широко використовуються в альтернативній енергетиці, в домашніх потужних ФЕС, а також електротранспорті. Із аналізу технічних характеристик, переваг та недоліків розглянутих акумуляторних батарей виходить, що найбільш оптимальними для використання в автономних фотоелектричних енергетичних системах невеликої потужності є нікель-кадмієві акумулятори (можливості швидкого заряду). А в системах великої потужності – гелеві, через високу ємності і меншу вартість. Літій-іонні і літій-полімерні акумулятори не можуть бути використані в фотоелектричних енергетичних системах через високу вартість і багату кількістю умов правильної експлуатації.

1.3 Контролер заряду-розряд акумуляторних батарей

Контролер заряду-розряду АБ, елемент в ФЕС, який виконує функції забезпечення ефективної роботи сонячної батареї, регулювання струму заряду і розряду АБ (оберігаючи від глибокого розряду і перезаряду, продовжуючи тим самим термін служби) .В даний час існує декілька типів контролерів-с широтно- імпульсною модуляцією струму заряду (ШІМ) і контролери (з ШІМ) з функцією пошуку точки максимальної потужності (MPPT – Maximum power point tracker) СБ[4].

Основним недоліком ШІМ контролерів є те, що для заряду акумуляторної батареї необхідно, щоб напруга СБ відповідала напрузі АБ, інакше енергія фотоелектричних перетворювачів буде недовикористаною. Тобто, для заряду 12 В акумулятора потрібна сонячна батарея з 36 сонячними елементами, з'єднаними послідовно. Для збільшення потужності таких ланцюжків може бути кілька, з'єднаних паралельно. Контролери з MPPT СБ технічно складніше ніж звичайні ШІМ контролери, але до 30% ефективніше. Асортимент контролерів на сучасному ринку великий, вони відрізняються вхідними та вихідними параметрами, сумісністю з різними типами акумуляторних батарей. Основна відмінність це спосіб регулювання

максимуму потужності сонячної батареї і підвищення за рахунок цього енергетичної ефективності СБ.

1.4 Алгоритми стеження за точкою максимальної потужності та їх варіації

Розглянуті традиційні методи стеження за ТММ можна класифікувати як методи збурення і спостереження. Основною ланкою фотоелектричної системи, представленої на рис. 1.5, є перетворювач постійної напруги (ППН), що погоджує вихідний опір сонячного модуля або батареї з опором навантаження[1]. В результаті вимірювання (спостереження) параметрів СБ алгоритм пошуку ТМП коригує опорна напругу U_{ref} , що задає формування нового значення вихідної напруги СБ і обурюють фотоелектричну систему. В якості регулятора напруги, як правило, використовується пропорційно-інтегральний регулятор або регулятор гістерезисного типу. У простіших реалізаціях методів спостереження за ТМП регулятор напруги може бути видалений з представленої структури, а широтно-імпульсний (ШІМ) модулятор буде формувати тривалість відкритого стану силового ключа ППН за результатами роботи алгоритму пошуку ТМП, наприклад, змінюючи цю тривалість з постійним кроком в бік збільшення або зменшення.

При аналізі ефективності того чи іншого методу пошуку ТМП проводять порівняльний аналіз генеруємої сонячним модулем потужності при однакових інших умовах. У цьому випадку використовується ППН (понижуючого або підвищуючого типу) повинен забезпечити реалізацію кожного методу без зміни силових елементів.

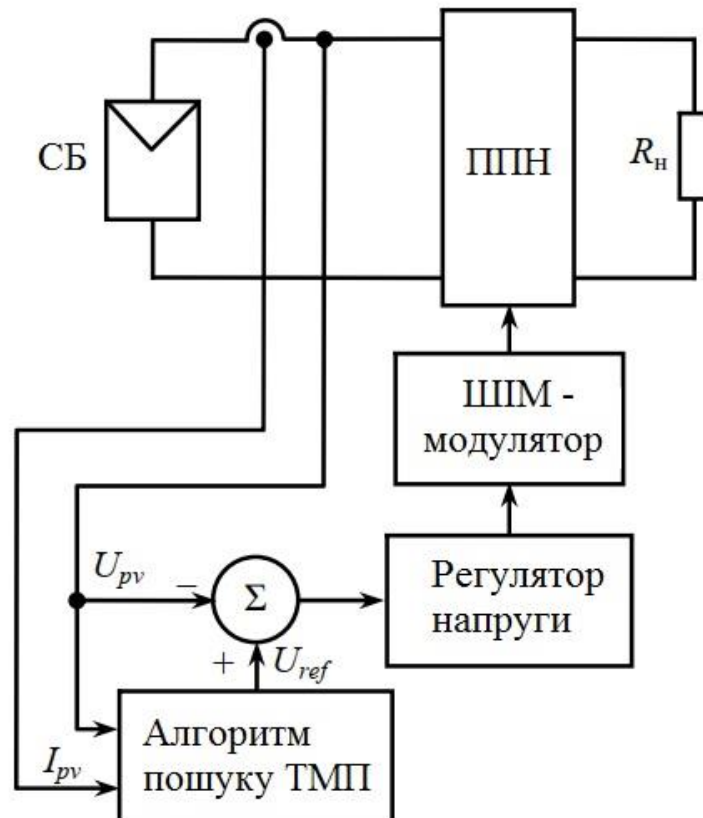


Рисунок 1.5 – Типова структура управління методів спостереження за ТМП

Метод постійної напруги (МПН). Алгоритм постійної напруги є одним з найпростіших алгоритмів пошуку ТМП[1].

Робоча точка сонячного модуля утримується поблизу ТМП за рахунок регулювання вихідної напруги сонячного модуля, відповідного оптимальному постійному значенню джерела напруги U_{opt} (рис. 1.6). Ця напруга встановлюється рівним напрузі ТМП відповідно до характеристикам сонячного модуля. Алгоритм передбачає, що зміни режиму роботи сонячного модуля, такі як температура і сонячне випромінювання, не є істотними (положення ТМП варіюється в межах лише 2%), і постійна напруга U_{opt} є достатнім для досягнення оптимальних характеристик сонячного модуля поблизу ТМП. З цієї причини на практиці алгоритм МПН ніколи не працює точно в ТМП при зміні умов навколишнього середовища. Під час інсталяції ФЕС необхідно якомога більш точно визначити напруга U_{opt} , особливо це

важливо при роботі алгоритму з масивом сонячних модулів. В умовах низької освітленості, метод постійної напруги більш ефективний, ніж методи Р&О і МЗП, тому МПН часто комбінують з іншими методами пошуку ТМП.

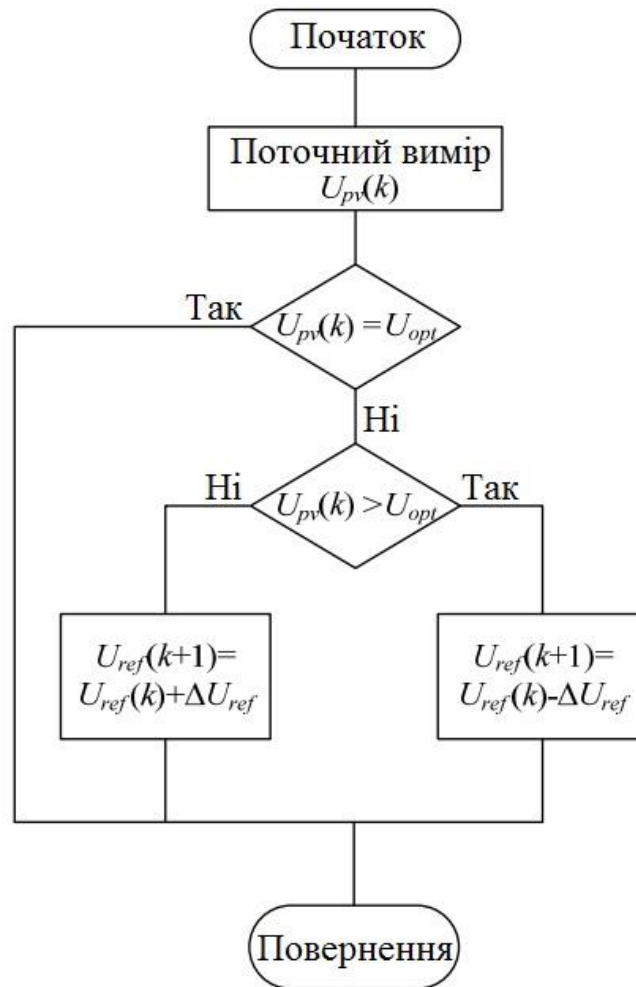


Рисунок 1.6 – Блок-схема методу постійної напруги

$U_{pv}(k)$ – вихідна напруга сонячного модуля на k інтервалі пошуку ТМП;
 $U_{ref}(k)$ – опорна напруга ФЕС, задає напругу на виході сонячного модуля;
 ΔU_r – емпірист опорної напруги.

Метод холостого ходу (МХХ). Алгоритм заснований на тому спостереженні, що напруга, відповідна ТМП, завжди близько до напруги холостого ходу сонячного модуля[1].

Алгоритм МХХ полягає в тому, що оптимальне напруга встановлюється на рівні 76% від напруги холостого ходу U_{ov} і вважається оптимальним

робочою напругою, при якому може бути отримана максимальна вихідна потужність. Контролер ТМП на етапі інсталяції ФЕС повинен визначити напруга холостого ходу сонячного модуля. Це, в найпростішому випадку, вимагає короткочасного періодичного розмикання вихідного ланцюга сонячного модуля, що приводить до втрати потужності. Для стеження за напругою холостого ходу при зміні температури можливо використовувати послідовний ланцюжок з напівпровідникових діодів з р-n-переходом, напруга якої підбирається пропорційно $0,76U_{ov}$. Такий підхід заснований на припущенні, що температурна залежність напруги діодного ланцюжка аналогічна залежності для сонячного модуля. Цей спосіб позбавляє контролер ТМП періодично вимірювати напругу холостого ходу і обчислювати оптимальну напругу. Блок-схема, відповідна методу холостого ходу, зображена на рис. 1.7.

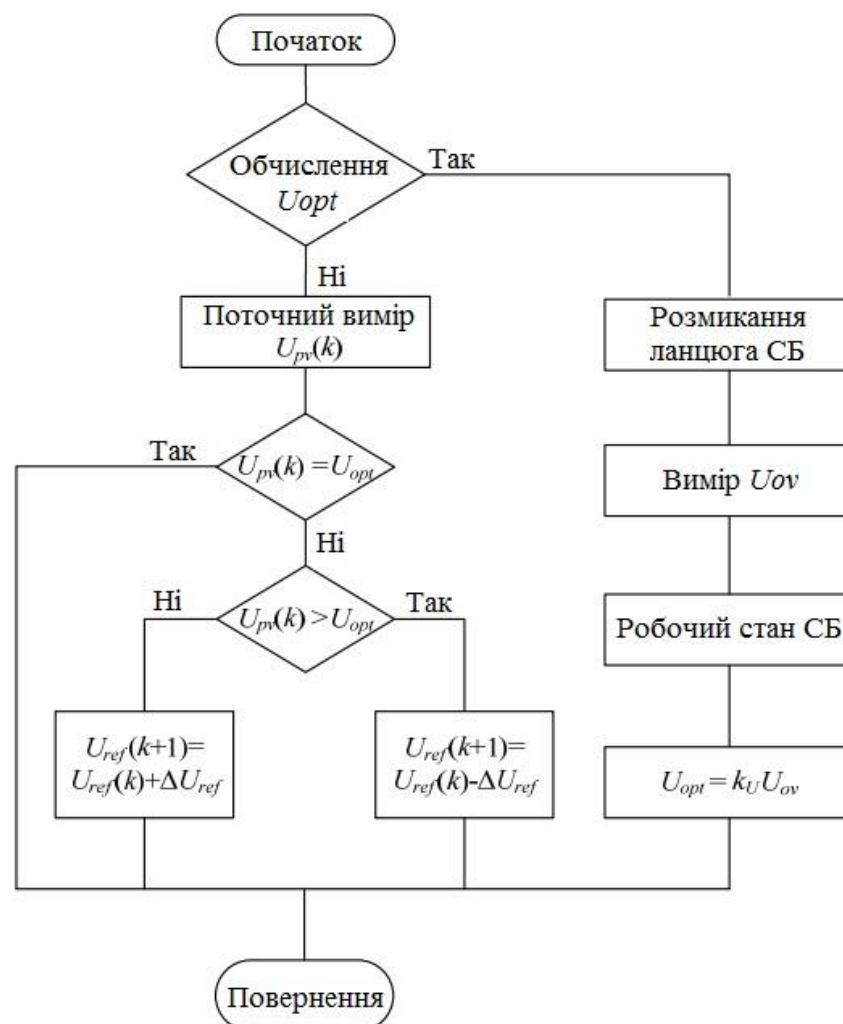


Рисунок 1.7 – Блок-схема методу холостого ходу

Метод короткого замикання (МКК). На відміну від методу холостого ходу в методі короткого замикання фіксується струм сонячного модуля[1].

Вважається, що оптимальне значення вихідного струму сонячного модуля прямо пропорційно току короткого замикання I_{sc} при різних рівнях освітленості в широкому діапазоні зміни температури навколишнього середовища. Коефіцієнт пропорційності k_I (рис. 1.8) становить приблизно 0,92. Таким чином, контролер ТМП на етапі інсталяції ФЕС повинен визначити струм короткого замикання сонячного модуля. Це, в найпростішому випадку, вимагає короткочасного періодичного замикання вихідного ланцюга сонячного модуля, що приводить до втрати потужності. Як і в методі холостого ходу, контролер формує опорну напругу U_{ref} , відповідну оптимальному струму I_{opt} на виході сонячного модуля.

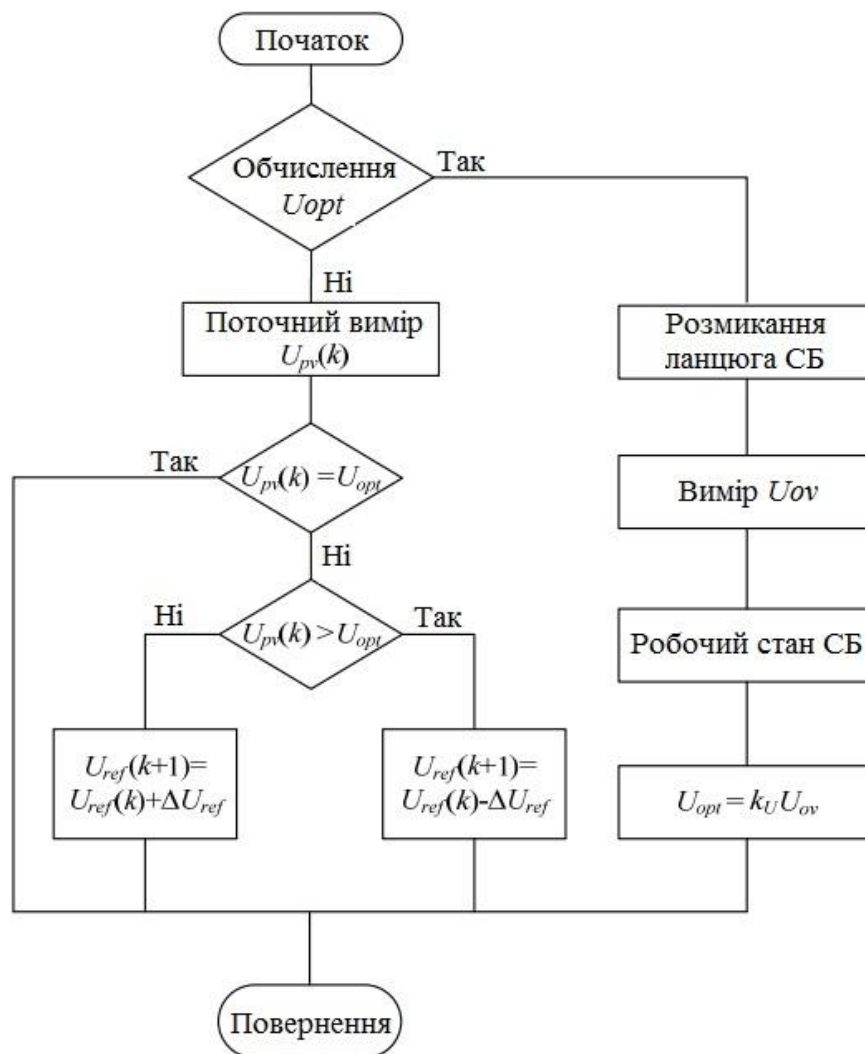


Рисунок 1.8 – Блок-схема методу короткого замикання

Алгоритм обурення і спостереження (perturbation and observation – P&O).

Класичний алгоритм обурення і спостереження передбачає збільшення або зменшення опорного напруги U_{ref} ФЕС з метою обурення системи через рівні проміжки часу і подальше порівняння вихідної потужності сонячного модуля на k і $k-1$ етапах роботи[1]. Якщо при зміні вихідної напруги сонячного модуля на k -м інтервалі вимірювання його потужність зростає (переходи $A2 \rightarrow A1$, $B2 \rightarrow B1$ на Рис. 1.9, а), то система управління продовжує переміщати робочу точку сонячного модуля в цьому напрямку; в іншому випадку знак збільшення опорного напруги ΔU_{ref} змінюється, і робоча точка сонячного модуля переміщається в протилежному напрямку. На кожному наступному етапі обурення алгоритм (рис. 1.10) продовжує працювати таким же чином. Основною перевагою такого підходу є простота реалізації алгоритму. На рис. 10 $U_{pv}(k)$, $I_{pv}(k)$, $P_{pv}(k)$ - напруга, струм і потужність сонячного модуля на k інтервалі пошуку ТММ; $U_{ref}(k)$ - опорна напруга ФЕС, яка задає напругу на виході сонячного модуля.

Регулювання потужності сонячного модуля, як було зазначено, здійснюється із застосуванням підвищувального або понижувального перетворювача постійної напруги. Якщо вважати вихідну напругу перетворювача незмінним, напруга сонячної панелі буде змінюватися в відповідності до відомих рівнянь $U_{pv} = U_{вих} (1 - \gamma)$ для підвищувального перетворювача і $U_{pv} = U_{вих} / \gamma$ для понижуючого перетворювача, де $U_{вих}$ – вихідна напруга перетворювача напруги, на вхід якого надходить напруга з виходу сонячного модуля U_{pv} , γ – відносна тривалість відкритого стану силового ключа перетворювача напруги.

При русі робочої точки від $A2$ до $A1$ (рис. 1.9) напруга сонячного модуля U_{pv} збільшується (система управління отримує позитивне прирощення ΔU_{ref}), що відповідає зменшенню γ (система управління отримує негативне приріст $\Delta\gamma$). І, навпаки, при русі робочої точки до ТММ O від $B2$ до $B1$ напруга сонячного модуля U_{pv} зменшується (Система управління отримує негативне

приріст ΔU_{ref}), що відповідає збільшенню γ (система управління отримує позитивне прирощення $\Delta\gamma$).

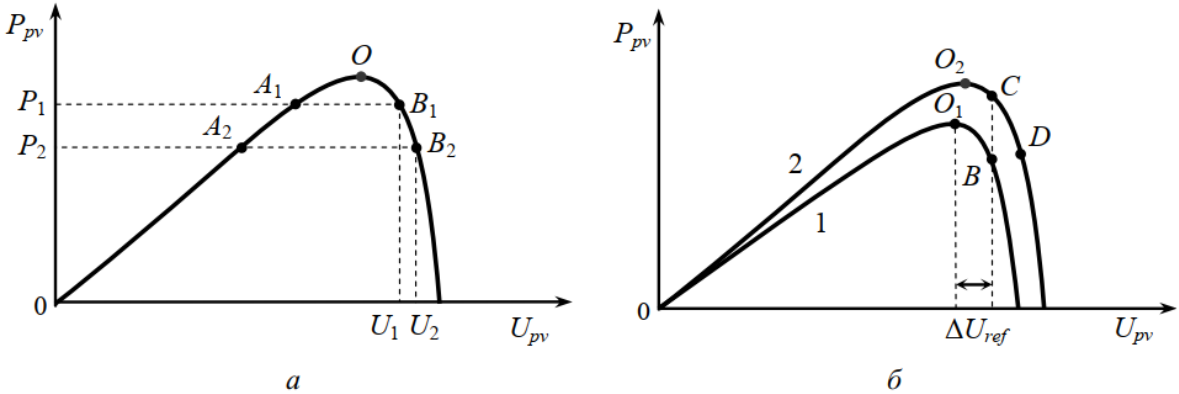


Рисунок 1.9 – Рух робочої точки сонячного модуля в умовах постійного (а) і змінного (б) сонячного випромінювання

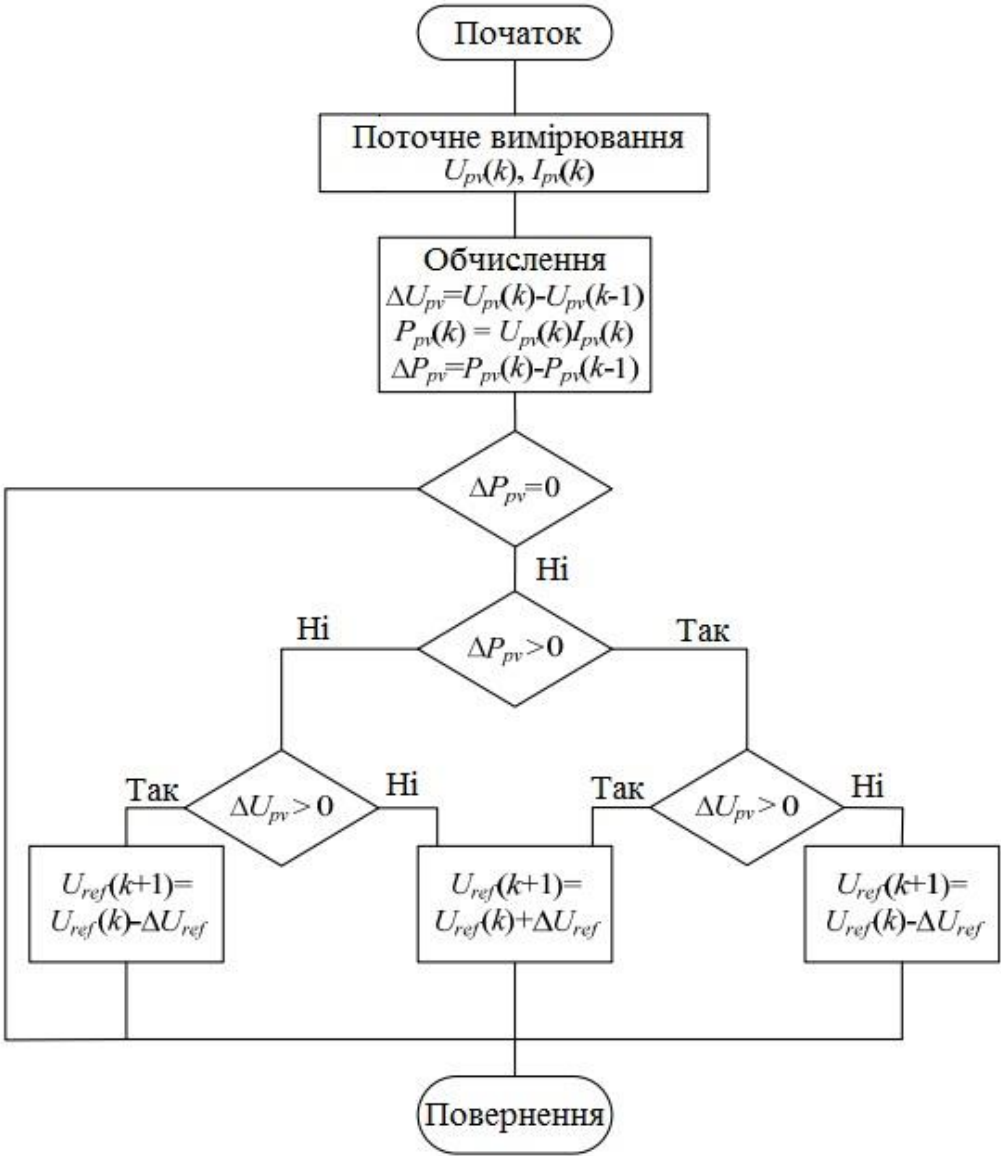


Рисунок 1.10 – Блок-схема алгоритму обурення і спостереження (P&O)

Недоліком класичного алгоритму Р&О є його невисока ефективність при низькому сонячному випромінюванні. З цієї причини були запропоновані альтернативні рішення. Наприклад, алгоритм Р&О об'єднаний з алгоритмом постійної напруги для відстеження ТМП з високою ефективністю як при низьких, так і при високих рівнях сонячного випромінювання. Алгоритм збільшує тривалість відкритого стану силового ключа перетворювача постійної напруги до тих пір, поки вихідна напруга сонячного модуля не стане рівним приблизно 76% від напруги холостого ходу, що є відправною точкою для контролера ТМП.

Алгоритм зростаючої провідності (МЗП). Відомо, що в точці максимальної потужності виконується рівність[1]:

$$\frac{dP_{pv}}{dU_{pv}} = \frac{d(U_{pv}I_{pv})}{dU_{pv}} = I_{pv} + U_{pv} \frac{dI_{pv}}{dU_{pv}} = 0$$

яке може бути перетворено до виду:

$$\frac{dI_{pv}}{dU_{pv}} + \frac{I_{pv}}{U_{pv}} = 0$$

де I_{pv} і U_{pv} – струм і напруга сонячного модуля; I_{pv} / U_{pv} – провідність сонячного модуля; dI_{pv} / dU_{pv} – інкрементна (зростаюча) провідність. Виконання умови (2) при відсутності зміни струму сонячного модуля ($dI_{pv} = 0$), викликане зміною інтенсивності сонячного випромінювання, дозволяє системі управління підтримувати знайдене таким чином номінальну напругу сонячного модуля без додаткового обурення. Алгоритм на k -м інтервалі роботи починається з вимірювання поточних значень струму $I_{pv}(k)$ і напруги $U_{pv}(k)$ сонячного модуля (рис. 12). потім з використанням відповідних значень, отриманих на $k - 1$ інтервалі роботи, обчислюються збільшення струму ΔI_{pv} і напруги ΔU_{pv} . Основний є перевірка виконання рівності (2), за результатами якої буде скориговано опорна напруга U_{ref} , що задає напругу на вихідних затискачах сонячного модуля. При:

$$\frac{dI_{pv}}{dU_{pv}} + \frac{I_{pv}}{U_{pv}} < 0$$

робоча точка на площині $P_{pv}(U_{pv})$ знаходиться праворуч від ТМП, тому

опорна напруга коригується в бік зменшення. При:

$$\frac{dI_{pv}}{dU_{pv}} + \frac{I_{pv}}{U_{pv}} > 0$$

робоча точка сонячного модуля знаходиться зліва від ТМП, що вимагає збільшення опорної напруги для наближення вихідної напруги U_{pv} до номінальної. Перевірка на виконання рівності $\Delta U_{pv} = 0$ включена в алгоритм, щоб визначити, чи потрібно керувачий вплив у вигляді корекції опорної напруги, якщо сонячний модуль вже працював в ТМП на попередньому етапі. Тут зміна атмосферних умов ($\Delta I_{pv} \neq 0$) відповідно до ВАХ сонячного модуля буде визначати, в який бік необхідно змінювати опорна напруга U_{ref} .

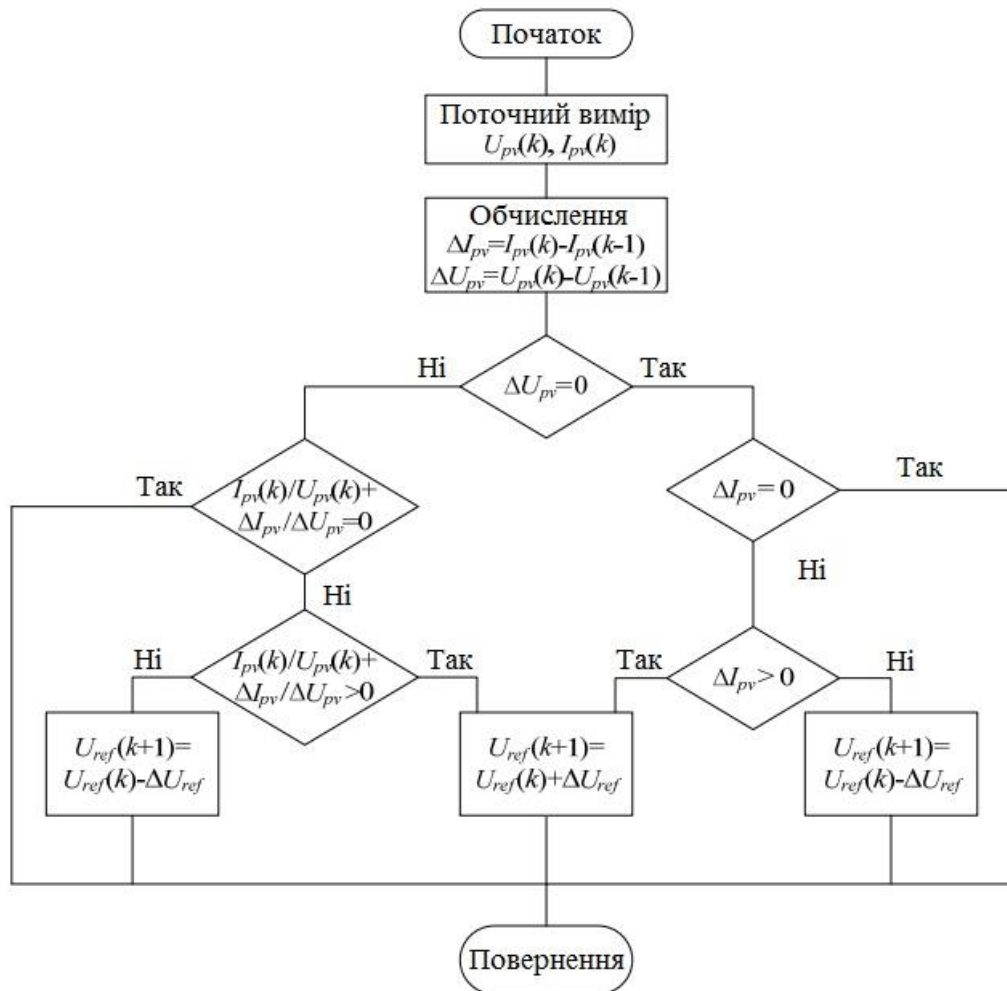


Рисунок 1.10 – Блок-схема алгоритму зростаючої провідності

Розглянутому алгоритму МЗП властиві швидка і коректна система реагування на мінливі умови роботи сонячного модуля, більш точне

відстеження ТМП і менші коливання навколо неї в порівнянні з алгоритмом Р&О. Однак алгоритму притаманний недолік, що полягає в нестабільності, яка може з'явитися через використання операції диференціювання в алгоритмі. Також слід зазначити, що при низьких рівнях сонячного випромінювання операція диференціація складна і схильна до вимірювання шуму, тому результати пошуку ТМП можуть бути незадовільними.

1.5 Основні типи імпульсних стабілізаторів

У якості основних описуються три типи імпульсних стабілізаторів, схематичне зображення яких наведено на рис. 1.11 (верхній ряд – схеми із загальним мінусом, нижній ряд – із загальним плюсом)[10]. Регулювання вихідної напруги в імпульсних стабілізаторах виконується скважністю перемикавання регулюючого елемента (біполярного або польову транзистора), що працює в ключовому режимі (на рис. 1.11 він зображений схематично і позначений буквою "К"). Модульована вхідна напруга надходить індуктивно – ємнісний (LC) накопичувач енергії. Для забезпечення необхідних шляхів заряду-розряду в ньому використовуються діоди (VD).

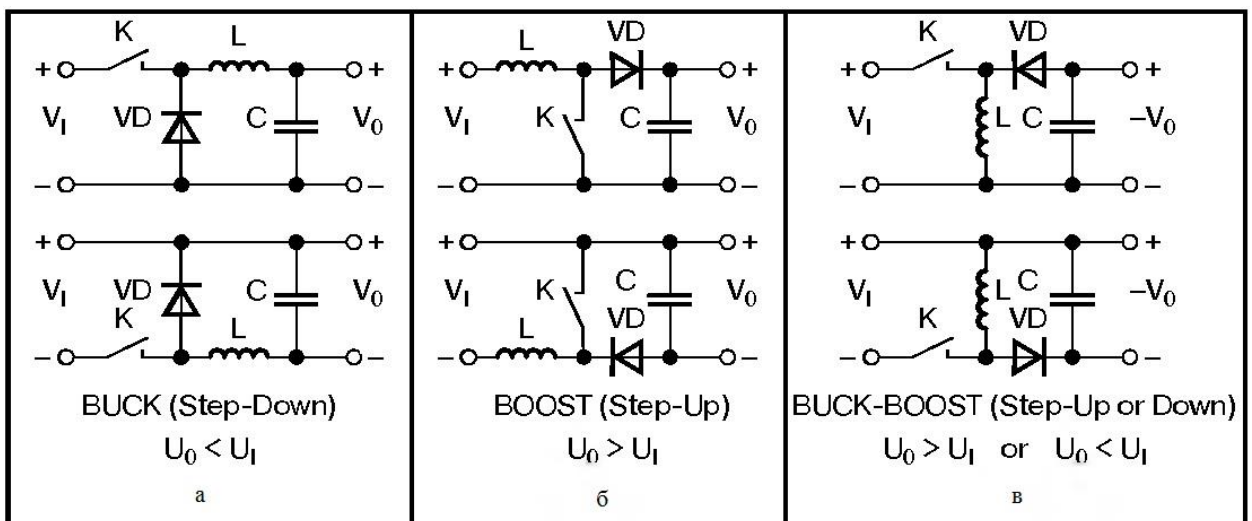


Рисунок 1.11 – схеми імпульсних стабілізаторів різних типів: а)знижуючий; б)підвищуючий; с)знижуючо-підвищуючий

На рис. 1.11 (а), схематично показані імпульсні стабілізатори напруги понижувального типу (в зарубіжній літературі їх прийнято називати BUCK або DOWN-STEP), тобто такі стабілізатори, у яких вихідна напруга менша вхідної. Вихідна напруга в них визначається відношенням тривалості включення ключового елемента τ до періоду проходження імпульсів T :

$$U_{out} = U_{inp} \cdot \frac{\tau}{T}, \quad (1.1)$$

де τ – тривалість імпульсу включення ключового елемента; T – період проходження імпульсів; U_{inp} – вхідна напруга, U_{out} – вихідна напруга.

Принцип роботи такого стабілізатора полягає в тому, що коли регулюючий (ключовий) елемент K відкритий, через нього, індуктивність L і навантаження тече струм [10]. При цьому струм (завдяки властивостям індуктивності) наростає лінійно і досягає свого так званого пікового значення. При цьому також заряджається конденсатор C . Діод VD в цей час закритий. При закриванні ключового елемента K , відкривається діод VD і струм, який лінійно зменшується тече через навантаження, конденсатор C , індуктивність L і діод VD . Очевидно, що індуктивність L повинна мати достатню величину (іншими словами – запасати досить енергії) для забезпечення струму навантаження на час вимикання регулюючого елемента (час паузи t).

На рис. 1.11 (б), схематично показані імпульсні стабілізатори напруги підвищуючого типу (BOOST або STEP-UP), тобто такі стабілізатори, у яких вихідна напруга більше вхідної. Вихідна напруга в таких стабілізаторах визначається відношенням періоду проходження імпульсів T до тривалості вимкнення ключового елемента (паузи) t :

$$U_{out} = U_{inp} \cdot \frac{T}{t}, \quad (1.2)$$

де t – тривалість імпульсу вимкнення ключового елемента; T – період проходження імпульсів; U_{inp} – вхідна напруга, U_{out} – вихідна напруга.

Принцип роботи такого стабілізатора полягає в тому, що коли регулюючий елемент K відкритий, через нього і індуктивність L тече струм. В цей час діод VD закритий, і навантаження живиться від зарядженого конденсатора C . При закритті ключового елемента K відкривається діод VD , і струм, який лінійно зменшується тече через індуктивність L , діод VD , навантаження і конденсатор C , і заряджає останній.

На рис. 1.11 (в), зображені імпульсні стабілізатори напруги інвертуючого типу (BUCK-BOOST або STEP-UP-or-DOWN). У таких імпульсних стабілізаторів вихідна напруга може бути менше або більше вхідної, але має протилежний знак. Вихідна напруга в таких стабілізаторах визначається відношенням тривалості включення ключового елемента τ до тривалості його виключення t :

$$U_{out} = U_{inp} \cdot \frac{\tau}{T}, \quad (1.2)$$

де τ – тривалість імпульсу включення ключового елемента; t – тривалість імпульсу вимкнення ключового елемента; U_{inp} – вхідна напруга, U_{out} – вихідна напруга.

Принцип роботи такого стабілізатора аналогічний попередньому.

З усіх трьох наведених типів імпульсних стабілізаторів кращими енергетичними та масогабаритними характеристиками володіють знижуючі стабілізатори (рис. 1.11, а), найбільш часто застосовуються на практиці. Застосування інших типів імпульсних стабілізаторів відзначається значно рідше через значно більш високі вимоги до параметрів індуктивності L і конденсатора C [10].

Коли необхідно вирішити завдання, коли вхідна напруга може бути і вище, і нижче вихідної, зазвичай при незначних потужностях в навантаженні застосовуються різні перетворювачі з використанням імпульсних трансформаторів, що мають, як мінімум, дві обмотки. При високих потужностях трансформатори повинні забезпечувати передачу струмів до

декількох десятків ампер на високій частоті. Виготовлення таких трансформаторів викликає ряд труднощів, одна з яких - необхідність вести намотування джгутом проводів. Тому, в таких випадках зазвичай використовуються складові імпульсні стабілізатори.

Для побудови складеного імпульсного стабілізатора з вихідною напругою, що лежить в середині діапазону вхідних напруг, можна використовувати послідовне включення двох стабілізаторів знижуючого і підвищуючого типу (рис. 1.11, а, б) в різних комбінаціях або два послідовно включених інвертуючих імпульсних стабілізатора (рис. 1.11, в). При цьому перший з стабілізаторів повинен створювати свою вихідну напругу за межами діапазону вхідних напруг, а другий – формувати необхідну вихідну напругу.

Складові імпульсні стабілізатори, мають певні переваги і недоліки. Безсумнівним і, мабуть, єдиним їх перевагою є зниження рівня пульсацій на виході. До недоліків відносяться складність і громіздкість пристрої (в першу чергу через необхідне використання двох дроселів) і низький ККД. Крім того, не слід забувати, що при послідовному з'єднанні імпульсних стабілізаторів необхідно вживати заходів по виключенню наскрізних струмів через два включені ключові елементи, тобто, необхідно певним чином синхронізувати роботу двох стабілізаторів.

При створенні складових стабілізаторів із загальним плюсом виникають додаткові проблеми, пов'язані з тим, що більшість мікросхем управління призначені для роботи в схемах із загальним мінусом.

З метою спроби реалізації комбінованого імпульсного стабілізатора, з'єднаємо послідовно схеми знижуючого і підвищуючого стабілізаторів із загальним плюсом, як показано на рис. 1.12, а.

При уважному розгляді цієї схеми можна виявити, що дві індуктивності $L1$ і $L2$ фактично включені послідовно. Одну з них можна прибрати. Конденсатор $C1$ також може бути видалений. При цих змінах вихідна схема перетвориться в схему, зображену на рис. 1.12 (б).

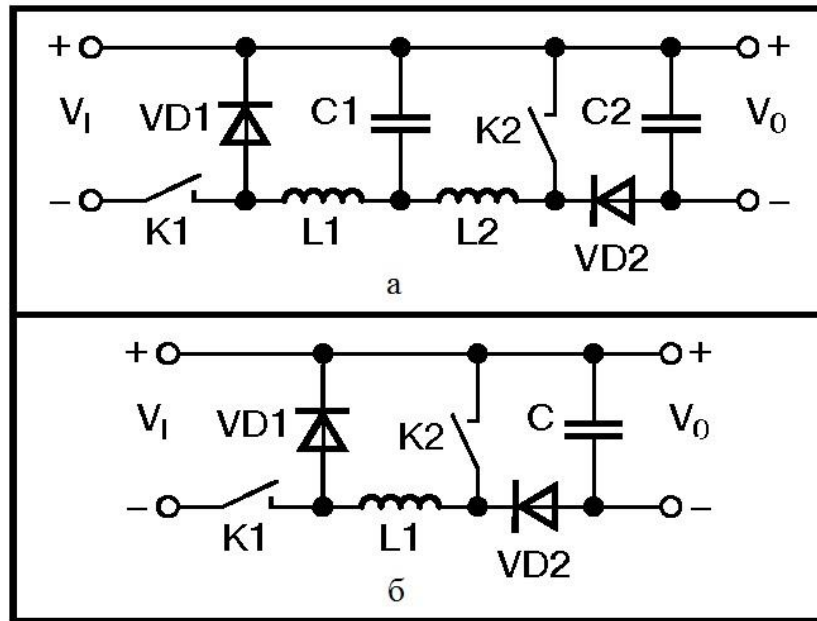


Рисунок 1.12 – схема комбінованого стабілізатора

При цьому, якщо припустити, що на цій схемі регулюючий елемент K2 постійно вимкнений, схема являє собою типовий знижуючий імпульсний стабілізатор, у якого є зайвий діод VD2, що не заважає її роботі[10]. Якщо ж припустити, що регулюючий елемент K1 постійно включений, то ми маємо типову схему підвищуючого імпульсного стабілізатора, у якого є зайвий діод VD1, який також роботі не заважає. Таким чином, якщо розробити схему управління, яка б аналізувала вхідну напругу і включала або режим зниження, або підвищення напруги, ми отримаємо економічний в сенсі апаратних витрат і габаритів комбінований імпульсний стабілізатор. Структурна схема такого комбінованого стабілізатора показана на рис. 1.13.

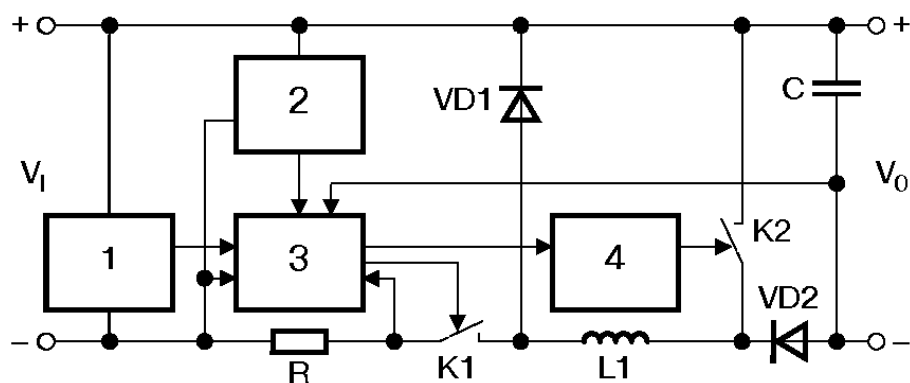


Рисунок 1.13 – структурна схема оптимального комбінованого стабілізатора

Вузол аналізу вхідної напруги 1 зрівнює опорну напругу, яку виробляє контролер 3, з вхідною напругою. Якщо вхідна напруга нижча за вихідну, то імпульсний стабілізатор повинен працювати в режимі підвищення напруги. При цьому вузол аналізу 1 повинен таким чином впливати на контролер, щоб регулюючий елемент К1 був повністю відкритий, а регулюючий елемент К2 працював в складі підвищуючого стабілізатора. Якщо ж вхідна напруга вище вихідної, вузол аналізу повинен виключити з роботи регулюючий елемент К2 і здійснювати регулювання в режимі понижуючого імпульсного стабілізатора з допомогою регулюючого елемента К1.

Лінійний малопотужний стабілізатор або перетворювач напруги 2 необхідний для живлення мікросхем контролера 3 і вузла аналізу 1.

ШІМ контролер отримує напругу з виходу стабілізатора і з струмовимірювального резистора R. Контролер безпосередньо керує регулюючим елементом К1 і повинен керувати регулювальним елементом К2 через вузол гальванічної розв'язки 4.

Саме з метою підвищення ефективності комбінованого стабілізатора, компанія Analog Devices випускає лінійку мікросхем знижуючо-підвищуючого типу, одну з яких буде використано під час розробки пристрою для керування потужністю ФЕС.

2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Характеристики сонячного модуля та мікросхеми для керування потужністю ФЕС

Для початку розрахунку пристрою керування потужності фотоелектричною системою, необхідно визначити вхідні дані цього пристрою.

Тому для прикладу було обрано сонячний елемент на потужність 375 Вт – LP72-375M PERC (рис.2.1). Ця сонячна панель середньо ціновою категорії світового лідера у виробництві кристалічних фотоелектричних елементів компанії **LEAPTON SOLAR (Changshu) CO., LTD.** Кожен фотоелектричний сонячний модуль складається з 72 напівпровідникових монокристалічних кремнієвих елементів (осередків) з'єднаних між собою. Полікристалічні осередки мають унікальні 5-ть струмопровідних шин[11]. Отже підходить для умов дослідження пристрою керування потужністю ФЕС.



Рисунок 2.1 – сонячний елемент LP72-375M PERC

Основні характеристики LP72-375M PERC:

- Країна виробник – Китай;
- Тип кремнію – полікристал;
- Клас фотомодуля – Class "A";
- Мах. потужність, (Вт) – 375;
- Номінальна напруга, (В) – 24;
- Напруга при макс. потужності, (В) – 39.40;
- Струм при макс. потужності, (А) – 9.39;
- Струм к.з. (А) – 9.92;
- Напруга х.х. (В) – 48.09;
- Мінімальна робоча температура, (°С) – 40,0;
- Максимальна робоча температура, (°С) – 85,0;
- Ступінь захисту – IP 67;
- ККД, (%) – не менше 19,1;
- Рама – Анодований алюміній;
- Розміри, (мм) – 1960x990x40;
- Вага, (кг) – 21.5

Для керування потужністю такого сонячного модуля було обрано мікросхему з вбудованим мікроконтролером для пошуку точки максимальної потужності LT8490.

Основні причини вибору цієї мікросхеми – це:

- її малі габарити;
- розширений діапазон вхідних і вихідних напруг (до 80В);
- автоматична компенсація температурних змін;
- схеми зворотніх зв'язків, які можливо реалізувати (4 інтегровані петлі зворотнього зв'язку);
- автоматичний пошук точки максимальної потужності без необхідності в додатковому контролері для виконання цієї задачі;
- можливість реалізації індикації помилок при роботі.

LT8490 – це потужний і простий у використанні контролер зарядки акумулятора з автоматичним відстеженням точки максимальної потужності (MPPT) та компенсацією температури, що реалізує постійний струм постійної напруги (CCCV), який використовується для більшості типів акумуляторів, включаючи герметично свинцево-кислотні (SLA), залиті, гелеві та літій-іонний. Пристрій працює від вхідних напруг вище, нижче або що дорівнює вихідній напрузі, і може живитися від сонячної панелі або джерела постійного струму.

Основні параметри мікросхеми[12]:

- Мінімальна вхідна напруга, (В) – 6;
- Максимальна вхідна напруга, (В) – 80;
- Максимальний вхідний струм, (А) – 10;
- Мінімальна вихідна напруга, (В) – 1,3;
- Максимальна вихідна напруга, (В) – 80;
- Номінальний зарядний струм, (А) – 10;
- Частота синхронізації, (кГц) – від 100 до 400;
- Алгоритм пошуку MPPT – обурення і спостереження(рис 1.10);
- Кількість виводі – 59 (при корпусі на 64);
- Розміри, (мм) – 7x11x0,75.

Спрощена принципова схема підключення зображена на рис. 2.3.

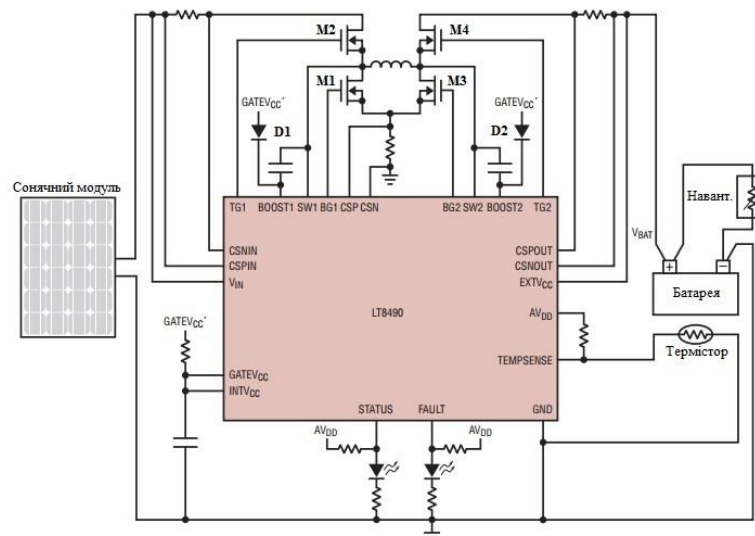


Рисунок 2.3 – спрощена принципова схема підключення мікросхеми

Різність величини вхідних та вихідних напруг при яких може працювати мікросхема досягнуто за допомогою топології знижуючого - підвищуючого перетворювача (Bust - boost converter).

Мікросхема з позначеними на ній виводами зображена на рис. 2.2.

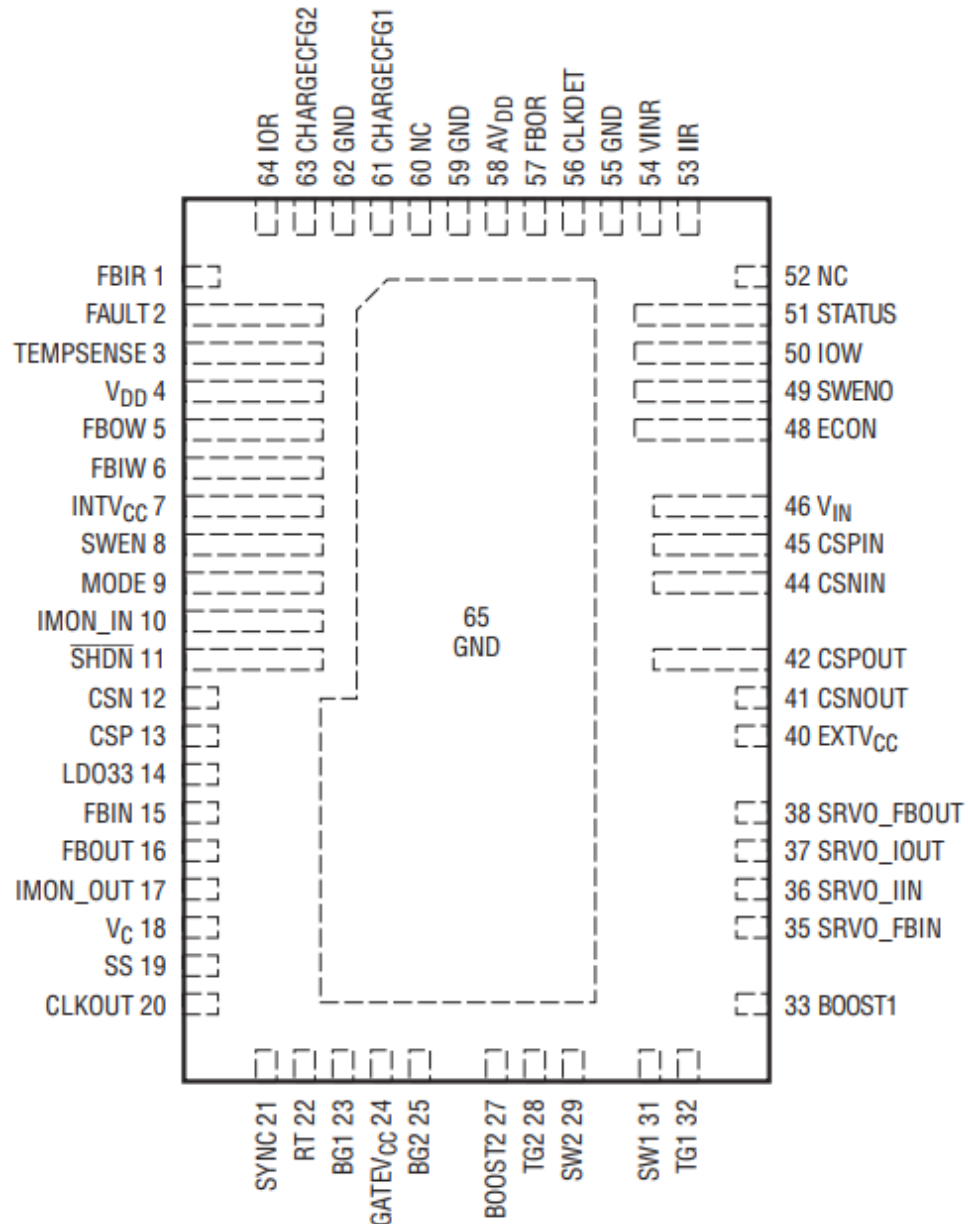


Рисунок 2.2 – Мікросхема LT8490 з позначенням виводів

Призначення та опис виводів мікросхеми LT8490:

FBIR (вивід 1) – A/D вхідний контакт. Підключається до виводу FBIN для вимірювання вхідної напруги зворотного зв'язку;

FAULT (вивід 2) – помилка. Цей вивід генерує активний високий цифровий сигнал, який при використанні зі світлодіодом забезпечує візуальну індикацію події несправності;

TEMPSENSE (вивід 3) – A/D вхідний вивід. Підключається до мережі термісторних дільників для визначення температури батареї або резисторного дільника, якщо вони не використовуються. Цей вивід часто контролюється для компенсації температури та дотримання обмежень температури;

V_{DD} (вивід 4) – керування логічним блоком живлення. Підключається цей вивід до LDO33 та AV_{DD};

FBOW (вивід 5) – ШІМ цифровий вихідний вивід. Підключається до FBOUT через мережу RCR для компенсації температури за напругою акумулятора;

FBIW (вивід 6) – ШІМ-цифровий вихідний вивід. Підключається до FBIN через мережу RCR для регулювання напруги сонячної панелі для MPPT;

INTV_{CC} (вивід 7) – внутрішній вихідний вивід регулятора 6,35В. Підключається до виводу GATEV_{CC}. INTV_{CC} живиться від EXT_{V_{CC}}, коли напруга EXT_{V_{CC}} вище 6,4В, інакше INTV_{CC} живиться від V_{IN};

SWEN (вивід 8) – перемикач Enable Pin. Підключається до виводу SWENO;

MODE (вивід 9) – Вивід режиму. Напруга, що подається на цей вивід, встановлює режим роботи регулятора перемикачання. Підключається вивід до INTV_{CC}, щоб активувати режим безперервного струму. Якщо підключити вивід до землі, працювати мікросхема буде в режимі безперервного струму для низьких струмів зарядки акумулятора та режимі безперервного струму для високих струмів зарядки акумулятора;

IMON_IN (вивід 10) – вивід контролю вхідного струму. Струм, виведений з цього виводу, пропорційний вхідному струму;

SHDN (вивід 11) – вивід для вимкнення. У поєднанні зі схемою UVLO (блокування під напругою) цей вивід використовується для ввімкнення або вимкнення мікросхеми;

CSN (вивід 12) – мінусовий (-) вхідний сигнал струму індуктора (дроселю) та виявлення зворотного струму підсилювача зчитування;

CSP (вивід 13) – плюсовий (+) вхідний сигнал струму індуктора (дроселю) та виявлення зворотного струму підсилювача зчитування. Напруга виводу V_C та вбудовані зміщення між виводами CSP та CSN встановлюють поточний поріг відключення мікросхеми;

LDO33 (вивід 14) – вихід регулятора 3,3В. Цей блок живлення забезпечує живлення виводів V_{DD} і AV_{DD} . Для його обходу, підключити на землю керамічним конденсатором мінімум 4,7 мкФ;

FBIN (вивід 15) – вхідний вивід зворотнього зв'язку. Цей вивід підключений до входу підсилювача зчитування похибки;

FBOUT (вивід 16) – вихідний вивід зворотнього зв'язку. Цей вивід підключає вхід підсилювача зчитування помилок до зовнішнього резисторного дільника з виходу;

IMON_OUT (вивід 17) – вивід контролю вихідного струму. Струм, виведений з цього виводу, пропорційний середньому вихідному струму;

V_C (вивід 18) – вихідний контакт підсилювача зчитування помилок. До нього підключається зовнішня компенсаційна мережа;

SS (вивід 19) – Soft-Start вивід. Від виводу на землю підключається ємність 100 нФ. Після запуску цей вивід заряджається внутрішнім резистором до 2,5 В.

CLKOUT (вивід 20) – Вихідний тактовий сигнал регулятора перемикавання. CLKOUT буде перемикатися з тією ж частотою, що і генератор регулятора перемикавання (OSC1 на блок-схемі), або як вивід SYNC, але приблизно зі здвигом фази на 180°. CLKOUT також може використовуватися як контролер температури регулятора перемикавання, оскільки робочий цикл CLKOUT змінюється лінійно з температурою переходу регулятора перемикавання. Він підключений до CLKDET через RC-фільтр. Вивід CLKOUT може управляти ємнісними навантаженнями до 200pF;

SYNC (вивід 21) – призначений, щоб синхронізувати частоту перемикачання із зовнішнім лічильником. Для його керування він з'єднується із лічильником, високий рівень напруги якого повинен перевищувати 1,3В, а низький рівень повинен бути менше 0,5В. Якщо на цей вивід подається менш ніж 0,5В, він повертається до внутрішнього вільного лічильника (OSC1 на блок-схемі);

RT (вивід 22) – вивід резистора вибірки часу. Налаштовує частоту регулятора перемикачання (OSC1), коли SYNC не керується лічильником. Якщо підключити резистор з цього вивода на землю, встановлюється частота вільного ходу OSC1;

BG1, BG2 (вивід 23, вивід 25) – керування затвором нижніх транзисторів. Переключає затвори нижніх N-канальних МДН транзисторів між землею і $GATEV_{CC}$;

GATEV_{CC} (вивід 24) – живлення затворів. Повинен бути підключений до виводу $INTV_{CC}$. Не живиться від будь-якого іншого джерела живлення;

BOOST1, BOOST2 (вивід 33, вивід 27) – перемикачання підвищуючого живлення. Підключається плюсовий (+) контакт заряду конденсаторів. Вивід BOOST1 коливається від напруги діода нижче $GATEV_{CC}$ до $V_{IN}+GATEV_{CC}$. Вивід BOOST2 коливається від напруги діода нижче $GATEV_{CC}$ до $V_{BAT}+GATEV_{CC}$;

TG1, TG2 (вивід 32, вивід 28) – керування затворами верхніх транзисторів. Приводить у дію верхні N-канальні МДН транзистори з коливаннями напруги, рівної $GATEV_{CC}$, накладеними на вузол перемикача;

SW1, SW2 (вивід 31, вивід 29) – перемикачання вузлів. До них підключається мінусовий (-) контакт заряду конденсаторів;

SRVO_FBIN (вивід 35) – вихід логіки Open-Drain (відкритий – сток). Цей вивід перемикається на землю, коли петля зворотного зв'язку вхідної напруги активна. Цей вивід не використовується для більшості додатків LT8490 і його значення може варіюватися;

SRVO_PIN (вивід 36) – вихід логіки Open-Drain (відкритий – сток). Цей вивід перемикається на землю, коли петля зворотного зв'язку вхідного струму активна. Цей вивід не використовується для більшості додатків LT8490 і його значення може варіюватися;

SRVO_IOUT (вивід 37) – вихід логіки Open-Drain (відкритий – сток). Цей вивід перемикається на землю, коли петля зворотного зв'язку вихідного струму активна. Цей вивід не використовується для більшості додатків LT8490 і його значення може варіюватися;

SRVO_FBOUT (вивід 38) – вихід логіки Open-Drain (відкритий – сток). Цей вивід перемикається на землю, коли петля зворотного зв'язку вихідної напруги активна. Цей вивід не використовується для більшості додатків LT8490 і його значення може варіюватися;

EXTV_{CC} (вивід 40) – зовнішній вхід V_{CC} . Коли $EXTV_{CC}$ перевищує 6,4 В (опційно), $INTV_{CC}$ буде живитися від цього контакту. Коли $EXTV_{CC}$ нижче 6,22 В (опційно), $INTV_{CC}$ буде живитися від V_{IN} ;

CSNOUT (вивід 41) – мінусовий (-) вхід до підсилювача зчитування вихідного струму;

CSPOUT (вивід 42) – плюсовий (+) вхід до підсилювача вихідного струму. Цей вивід та вивід CSNOUT вимірюють напругу на сенсорному резисторі для забезпечення вихідних струмових сигналів;

CSNIN (вивід 44) – мінусовий (-) вхід до підсилювача зчитування сенсора вхідного струму. Цей вивід та вивід CSPIN вимірюють напругу на сенсорному резисторі для забезпечення миттєвих вхідних струмових сигналів;

CSPIN (вивід 45) – плюсовий (+) вхід до підсилювача зчитування вхідного струму;

V_{IN} (вивід 46) – головний вхідний вивід живлення.

ECON (вивід 48) – вихідний цифровий вивід. Необов'язковий вихідний сигнал управління, що використовується для відключення $EXTV_{CC}$ від акумулятора, коли середній струм заряду падає нижче заданого порогу;

SWENO (вивід 49) – вихідний цифровий вивід. Підключіться до SWEN. Вмикає регулятор перемикавання. Від цього виводу на землю підключається знижуючий резистор 200 кОм;

IOW (вивід 50) – вихідний цифровий вивід. Підключається до IMON_OUT через резистор. Перемикаючи вивід між логічним низьким та високим імпедансом, загальний RIMON_OUT змінюється, що змінює границю вихідного струму;

STATUS (вивід 51) – вихідний цифровий вивід. При використанні зі світлодіодом цей сигнал забезпечує візуальну індикацію прогресу алгоритму зарядки. Крім того, STATUS передає два байти UART (8 біт, без парності, один стоп-біт, 2400 бод \approx 1920 біт/сек) кожні 3,5 секунди (опційно), що дає інформацію про стан та несправності;

IIR (вивід 53) – A/D вхідний вивід. Підключається до IMON_IN для зчитування вхідного струму. Використовується для управління MPPT.

VINR (вивід 54) – A/D вхідний вивід. Підключається до резистивного дільника на V_{IN} для вимірювання вхідної напруги. Використовується для управління MPPT та запуску;

CLKDET (вивід 56) – A/D вхідний вивід. Підключається до CLKOUT через RC-фільтр для виявлення робочого циклу CLKOUT. Використовується для управління запуском;

FBOR (вивід 57) – A/D вхідний вивід. Підключається до виводу FBOUT для зчитування вихідної напруги зарядного пристрою. Використовується для управління алгоритмом зарядки;

AV_{DD} (вивід 58) – A/D позитивний контрольний вивід. Підключається до V_{DD} та LDO33;

CHARGECFG1 (вивід 61) – A/D вхідний вивід. Використовується для налаштування холостої напруги, компенсації температури та увімкнення заряду 3-го ступеня;

CHARGECFG2 (вивід 63) – A/D вхідний вивід. Використовується для налаштування часових обмежень та дійсного діапазону температур батареї;

IOR (вивід 64) – A/D вхідний вивід. Підключається до виводу IMON_OUT для зчитування вихідного струму зарядного пристрою. Використовується для управління алгоритмом зарядки.

GND (оголена площадка 65 і виводи 55, 59, 62) – земля;

NC (виводи 52, 60) – не підключаються.

Структурна-схема мікросхеми LT8490 зображена на рис. 2.4.

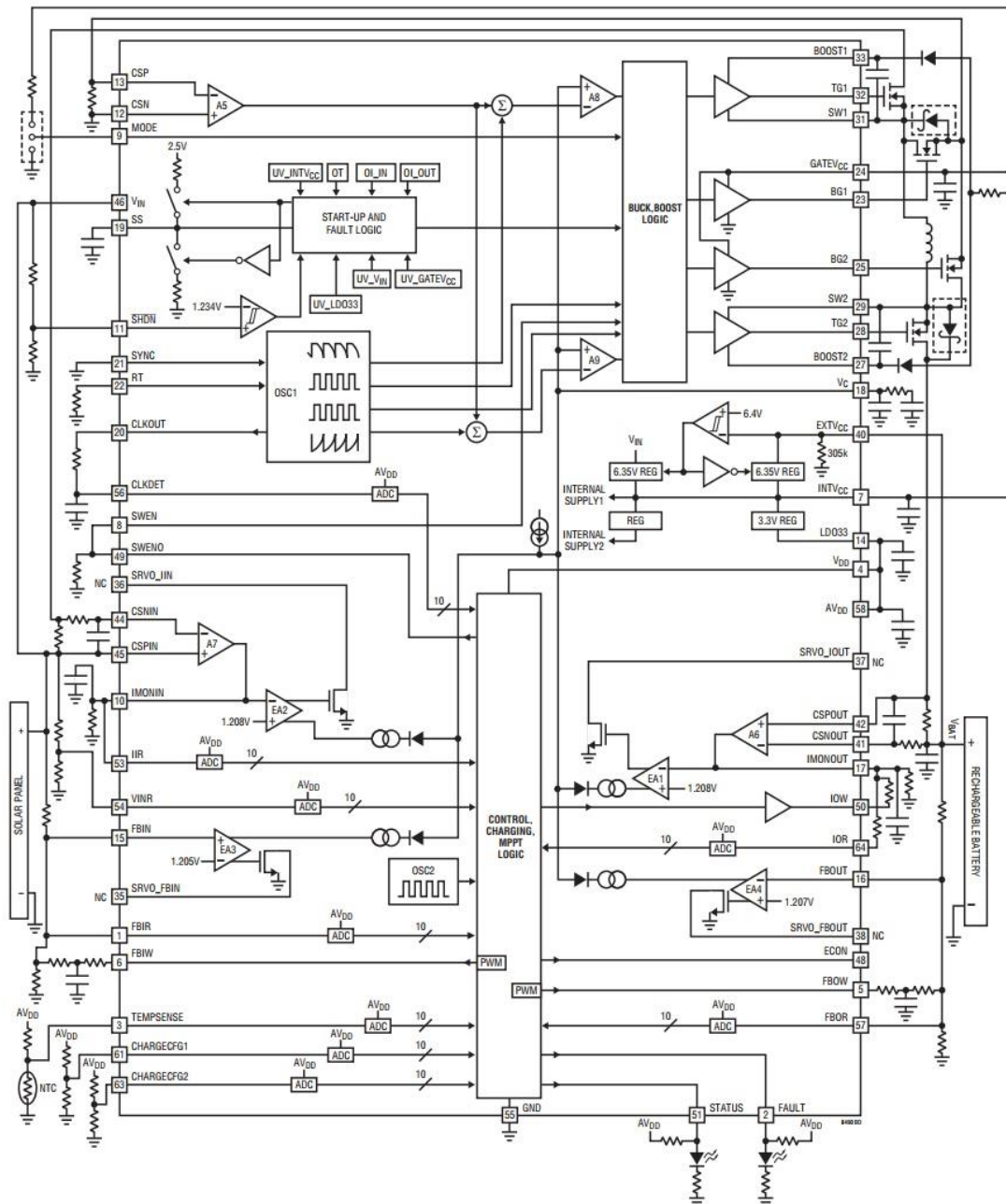


Рисунок 2.4 – Структурна-схема мікросхеми LT8490

2.2 Розрахунок пристрою для керування потужністю фотоелектричної системи

Вихідні дані для розрахунку наступні:

- Вхідну напругу від сонячного модуля взято з розрахунком гарних кліматичних умов для роботи, $U_{вх} = 36В$ при цьому максимальна вхідна напруга більша за максимальну напругу сонячного модуля і складає $U_{вхmax} = 53В$; $I_{вхmax} = 9,5 А$;
- Для прикладу роботи системи будемо заряджати поширений у використанні свинцево-кислотний акумулятор або кілька з'єднані паралельно. Для них нормальна напруга становить $12В$, а напруга зарядки $14,2В$, тому $U_{вих} = 14,2В$;
- Бажаний максимальний струм зарядки акумулятора $I_{вихmax} = 10 А$;
- При струмі безперервного заряду $I_{вихбп} = 2,5 А$ ($I_{зар}/4$).
- Допустимий діапазон температури батареї ввід $-20^{\circ}С$ до $50^{\circ}С$,
- Заряд буде виконуватись без обмежень за часом;
- Коли заряд акумулятора досягне $97,2\%$ заряд припиниться (3-тій етап роботи)

Для зручності розрахунку до розрахункових компонентів буде прив'язуватись назва виводів мікросхеми з якою вони працюють. Далі на кресленнях та в моделюванні роботи вони будуть змінені на номери.

При установці резистора у дільнику R_{FBOUT2} на $20 кОм$ і бажаному обмеженні напруги на другому ступені роботи у $14,2В$, верхній вихідний резистор зворотного зв'язку R_{FBOUT1} розраховується по наступному рівнянню[12]:

$$R_{FBOUT1} = R_{FBOUT2} \cdot \left(U_{з} \cdot a \cdot \left(p \frac{1,241}{1,211} - 0,128 \right) - 1 \right); \quad (2.1)$$

$$R_{FBOUT1} = 20 \cdot 10^3 \cdot \left(14,2 \cdot \left(\frac{1,241}{1,211} - 0,128 \right) - 1 \right) = 234,684 к О\Omega$$

Обрано $R_{FBOUT1} = 237 кОм$, який є найближчим резистором стандартного значення.

Перелік елементів з повною назвою та номіналом вказано у Додатку А,
Б.

Елементи R_{FBOW1} , R_{FBOW2} і C_{FBOW} розраховуються за наступними формулами[12]:

$$R_{FBOW2} = \frac{R_{FBOUT1} \cdot R_{FBOUT2} \cdot 0,833}{\left(R_{FBOUT2} \cdot V_3 \cdot a \cdot \frac{1,241}{1,211} \right) - R_{FBOUT2} - R_{FBOUT1}}; \quad (2.2)$$

$$R_{FBOW1} = (0,2 \cdot R_{FBOW2}); \quad (2.3)$$

$$C_{FBOW} = \frac{1}{500 \cdot R_{FBOW1}}; \quad (2.4)$$

$$R_{FBOW2} = \frac{234,6 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 0,833}{\left(20 \cdot 10^3 \cdot 14,2 \cdot \frac{1,241}{1,211} \right) - 20 \cdot 10^3 - 234,6 \cdot 10^3} = 107,56 \cdot 10^3 \text{ Ом} = 107,56 \text{ кОм}$$

$$R_{FBOW1} = (0,2 \cdot 107,56 \cdot 10^3) = 21,52 \cdot 10^3 \text{ Ом} = 21,52 \text{ кОм}$$

$$C_{FBOW} = \frac{1}{500 \cdot 21,52 \cdot 10^3} = 9,29 \cdot 10^{-8} \text{ Ф} = 93 \text{ нФ}$$

Обрано $R_{FBOW2} = 107 \text{ кОм}$, $R_{FBOW1} = 21,5 \text{ кОм}$, $C_{FBOW} = 100 \text{ нФ}$, які є найближчими стандартного значення.

Використовуючи розраховані вище резистори стандартного номіналу, рівняння перевірки визначаються $U_{з2}$, $N1$ і $N2$, при цьому значення $N1$ і $N2$ повинні бути максимально приближені до 1,22 та 0,805 відповідно[12]:

$$U_{з2} = a_2 \cdot \left(\frac{R_{FBOUT1}}{R_{FBOW1} + R_{FBOW2}} \right) \cdot (-K89); \quad (2.5)$$

$$X = 1,211 \cdot \left(1 + \left(\frac{R_{FBOW1} + R_{FBOW2}}{R_{FBOUT2}} \right) + \left(\frac{R_{FBOW1} + R_{FBOW2}}{R_{FBOUT1}} \right) \right); \quad (2.6)$$

$$N1 = \frac{X - 1,89}{X - 3,3}; \quad (2.7)$$

$$N2 = 1 - \frac{1,89}{X};$$

$$X = 1,211 \cdot \left(1 + \left(\frac{21,5 \cdot 10^3 + 107 \cdot 10^3}{20 \cdot 10^3} \right) + \left(\frac{21,5 \cdot 10^3 + 107 \cdot 10^3}{237 \cdot 10^3} \right) \right) = 9,64;$$

$$U_3 = a_2 \cdot \left(\frac{237 \cdot 10^3}{21,5 \cdot 10^3 + 107 \cdot 10^3} \right) \cdot (9,64 - 1,89) = 14,29 \quad ;$$

$$N1 = \frac{9,64 - 1,89}{9,64 - 3,3} = 1,22;$$

$$N2 = 1 - \frac{1,89}{9,64} = 0,804.$$

Отже результати перевірки задовільняють умовам роботи.

Визначивши вихідний ланцюг зворотного зв'язку, використавши наступні формули визначено значення вхідного резистора для ланцюга зворотного зв'язк[12]:

$$R_{FBIN1} = 100 \cdot 10^3 \cdot \frac{\left(1 + \left(\frac{4,47}{V_{\beta \max} - 6} \right) \right)}{\left(1 + \left(\frac{5,593}{V_{\beta \max} - 6} \right) \right)}; \quad (2.8)$$

$$R_{FBIN1} = 100 \cdot 10^3 \cdot \frac{\left(1 + \left(\frac{4,47}{53 - 6} \right) \right)}{\left(1 + \left(\frac{5,593}{53 - 6} \right) \right)} = 97,87 \cdot 10^3 \text{ Ом} = 97,87 \text{ кОм}$$

Обрано $R_{FBIN1} = 97,6 \text{ кОм}$, який є найближчим резистором стандартного значення.

$$R_{FBIN2} = 2,75 \cdot \left(\frac{R_{FBIN1}}{V_{\beta \max} - 6} \right); \quad (2.9)$$

$$R_{FBIN2} = 2,75 \cdot \left(\frac{97,87}{53 - 6} \right) = 5,73 \cdot 10^3 \text{ Ом} = 5,73 \text{ кОм}$$

Обрано $R_{FBIN2} = 5,76 \text{ кОм}$, який є найближчим резистором стандартного значення.

$$R_{FBIN2} = \frac{1}{\left(\frac{1}{100 \cdot 10^3 - R_{FBIN1}} \right) - \left(\frac{1}{R_{FBIN2}} \right)}; \quad (2.10)$$

$$R_{FBIN2} = \frac{1}{\left(\frac{1}{100 \cdot 10^3 - 97,87} \right) - \left(\frac{1}{5,73} \right)} = 3,4 \cdot 10^3 \text{ Ом} = 3,4 \text{ кОм}$$

Обрано $R_{FBIN2} = 3,4 \text{ кОм}$, який є найближчим резистором стандартного значення.

$$R_{FBIW1} = 0,2 \cdot R_{FBIW2}; \quad (2.11)$$

$$R_{FBIW1} = 0,2 \cdot R_{FBIW2} = 1,12 \cdot 10^3 \text{ Ом} = 1,12 \text{ кОм}$$

Обрано $R_{FBIW1} = 1,1 \text{ кОм}$, який є найближчим резистором стандартного значення.

$$C_{FBIW} = \frac{1}{1000 \cdot R_{FBIW1}}; \quad (2.12)$$

$$C_{FBIW} = \frac{1}{1000 \cdot R_{FBIW1}} = \frac{1}{1000 \cdot 1,12} = 87,4 \cdot 10^{-8} \text{ Ф} = 874 \text{ нФ}$$

Обрано $C_{FBIW} = 1 \text{ мкФ}$.

Використовуючи розраховані вище резистори стандартного номіналу, рівняннями перевірки визначаються $U_{вх\min}$, $U_{вх\max}$ [12]:

$$U_{вх\max} = 1,205 \cdot \left(\frac{R_{FBIN1}}{R_{FBIW1} + R_{FBIW2}} + \left(\frac{R_{FBIN1}}{R_{FBIN2}} \right) + 1 \right); \quad (2.13)$$

$$U_{вх\max} = 1,205 \cdot \left(\frac{97,6 \cdot 10^3}{1,1 \cdot 10^3 + 5,76 \cdot 10^3} + \left(\frac{97,6 \cdot 10^3}{3,4 \cdot 10^3} \right) + 1 \right) = 52,93 \text{ В};$$

$$U_{вх\min} = U_{вх\max} - 3,3 \cdot \left(\frac{R_{FBIN1}}{R_{FBIW1} + R_{FBIW2}} \right); \quad (2.14)$$

$$U_{вх\min} = 52,93 - 3,3 \cdot \left(\frac{97,6 \cdot 10^3}{1,1 \cdot 10^3 + 5,76 \cdot 10^3} \right) = 5,98 \text{ В}.$$

Діапазон вхідних напруг задовільняє умови.

Максимальна межа струму заряду 10А і межа струму безперервного заряду 2,5А встановлюються шляхом вибору R_{SENSE2} (підключається між виводами CSPOUT та CSNOUT), R_{IMON_OUT} і R_{LOW} з використанням наступних формул [12]:

$$R_{SENSE2} = \frac{0,0497}{I_{вх\max}}; \quad (2.15)$$

$$R_{SENSE2} = \frac{0,0497}{10} = 0,00497 \text{ Ом} \approx 5 \text{ мОм}$$

$$R_{IMON_OUT} = \frac{1208}{I_{вх\max} \cdot \delta_{SENSE2}}; \quad (2.16)$$

$$R_{IMON_OUT} = \frac{1208}{2,5 \cdot 5 \cdot 10^{-3}} = 97,2 \cdot 10^3 \text{ Ом} = 97,2 \text{ кОм}$$

Обрано $R_{\text{IMON_OUT}} = 97,6 \text{ кОм}$, який є найближчим резистором стандартного значення.

Межа вхідного струму встановлюється правильним вибором R_{SENSE1} (підключається між виводами CSPIN та CSNIN). У цьому прикладі панель може видавати до 9,4 А. Вибрано запас 10% від цього значення[12]:

$$R_{\text{SENSE1}} = \frac{0,0505}{I_{\text{e max}}}; \quad (2.17)$$

$$R_{\text{SENSE1}} = \frac{0,0505}{1,3 \cdot 9,4} = 0,0041 \text{ Ом} \approx 4 \text{ мОм}$$

Обрано $R_{\text{SENSE1}}, R_{\text{SENSE2}} = 5 \text{ мОм}$, який є найближчим резистором стандартного значення.

Щоб включити межу заряду з температурною компенсацією та згладити регулювання напруги на етапі 3 у рівні 97,2% від етапу 2, використано $U_{\text{E3}}/U_{\text{E2}}=0,972$ у наступній формулі[12]:

$$\text{CHARGECFG1\%} = \left(2,67 \cdot \left(\frac{U_{\text{E3}}}{U_{\text{E2}}} - 0,85 \right) + 0,55 \right) \cdot 100\%; \quad (2.18)$$

$$\text{CHARGECFG1\%} = (2,67 \cdot (0,972 - 0,85) + 0,55) \cdot 100\% = 87,6\%.$$

Стандартні значення резистору при цьому 90,9 кОм (від CHARGECFG1 до землі) та 13,3 кОм (від AVDD до CHARGECFG1) використано для установки CHARGECFG1[12].

Щоб встановити відсутність тимчасових обмежень з допустимим діапазоном температур батареї від -20°C до 50°C , необхідно, щоб CHARGECFG2 був під'єднаний до AVDD[12].

Розрахунок резистора R_{RT} для автономного частотного генератора за формулою[12]:

$$R_{\text{RT}} = \left(\frac{43,75 \cdot 10^9}{f^2} - 1 \right); \quad (2.19)$$

де f – частота генерації. Для кращого заповнення її було обрано 350кГц, при 400кГц максимально можливої на даній мікросхемі.

$$R_{\text{RT}} = \left(\frac{43,75 \cdot 10^9}{350 \cdot 10^3} - 1 \right) = 124 \cdot 10^3 \text{ Ом} = 124 \text{ кОм}$$

Розрахунок максимального циклічного навантаження в області підвищення[12]:

$$DC_{(VT3)} = \left(1 - \frac{U_{\text{в min}}}{U_{\text{в max}}}\right) \cdot 100\%; \quad (2.20)$$

$$DC_{(VT3)} = \left(1 - \frac{5,98}{14,29}\right) \cdot 100\% = 58,1\%.$$

Далі з графіка залежності максимальної напруги відчуття струму індуктора (дроселя) від робочого циклу визначено U_{PRSENSE} [12].

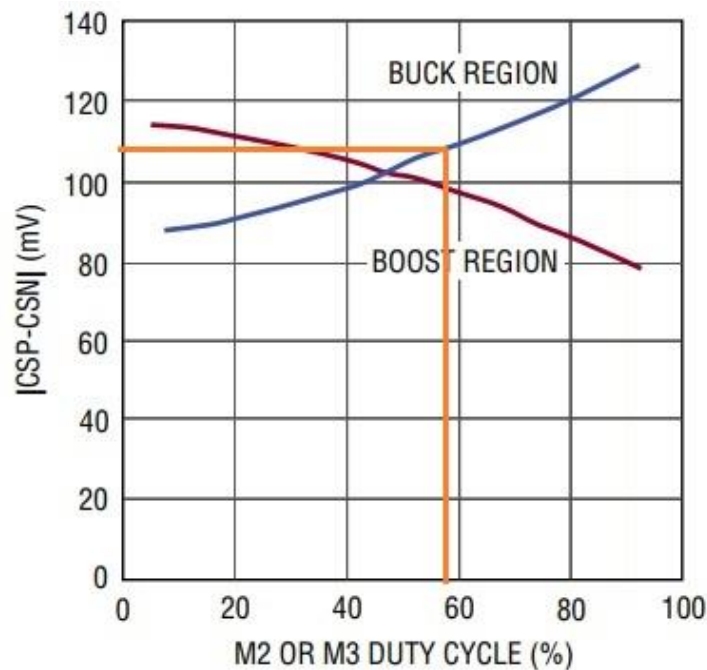


Рисунок 2.5 – графік залежності напруги відчуття струму індуктора при мінімальному робочому циклі

$$U_{\text{PRSENSE}} \approx 108 \text{ мВ.}$$

Далі розраховано максимальну та мінімальну пульсації струму індуктора в областях підвищення та зниження відповідно[12]:

$$\Delta I_{L_{\text{max}}} = \frac{U_{\text{в max}} \cdot I_{\text{max}}}{U_{\text{в min}} \cdot \left(\frac{100\%}{40\%} - 0,5\right)}; \quad (2.21)$$

$$\Delta I_{L_{\text{max}}} = \frac{14,29 \cdot 10}{5,98 \cdot \left(\frac{100\%}{40\%} - 0,5\right)} = 11,9 \text{ A};$$

$$\Delta I_{L3\max} = \frac{I_{\text{в max}}}{\left(\frac{100\%}{10\%} - 0,5\right)}; \quad (2.22)$$

$$\Delta I_{L3\max} = \frac{10}{\left(\frac{100\%}{10\%} - 0,5\right)} = 1,05 \text{ A.}$$

Вибір індуктора (дроселю)

З відомими R_{SENSE} можливо визначити мінімальне значення індуктивності, яке забезпечить адекватний струм навантаження в області підвищення з використанням наступних формул[12]:

$$L_{n\min1} = \frac{U_{\text{в min}} \cdot \frac{DC_{(VT3)}}{100\%}}{2 \cdot f_z \cdot \left(\frac{U_{R_{\text{SENSE}}}}{R_{\text{SENSE1}}} - \frac{I_{\text{в max}} \cdot U_{\text{в max}}}{U_{\text{в min}}} \right)}; \quad (2.23)$$

$$L_{n\min1} = \frac{5,98 \cdot \frac{58,1\%}{100\%}}{2 \cdot 350 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{108 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-3}} - \frac{10 \cdot 14,29}{5,98} \right)} = 1,59 \cdot 10^{-6} \text{ H} = 1,59 \text{ }\mu\text{H};$$

Щоб уникнути субгармонічних коливань струму індуктивності, вибираємо мінімальну індуктивність відповідно до[12]:

$$L_{n\min2} = \frac{\left(U_{\text{в max}} - \left(\frac{U_{\text{в min}} \cdot U_{\text{в max}}}{U_{\text{в max}} - U_{\text{в min}}} \right) \right) \cdot R_{\text{SENSE1}}}{0,08 \cdot f_z}; \quad (2.24)$$

$$L_{n\min2} = \frac{\left(14,29 - \left(\frac{5,28 \cdot 14,29}{14,29 - 5,28} \right) \right) \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{0,08 \cdot 350 \cdot 10^3} = 8,45 \cdot 10^{-7} \text{ H} = 0,845 \text{ }\mu\text{H};$$

$$L_{3\min1} = \frac{U_{\text{в max}} \cdot \left(1 - \frac{U_{\text{в max}}}{U_{\text{в max}} - U_{\text{в min}}} \right) \cdot R_{\text{SENSE1}}}{0,08 \cdot f_z}; \quad (2.25)$$

$$L_{3\min1} = \frac{52,93 \cdot \left(1 - \frac{14,29}{52,93 - 14,2} \right) \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{0,08 \cdot 350 \cdot 10^3} = 4,7 \cdot 10^{-6} \text{ H} = 4,7 \text{ }\mu\text{H}.$$

Індуктивність повинна бути вищою за всі мінімальні значення, розраховані вище. Обрано індуктор (дросель) зі значенням 10 мкГн для поліпшення запасу.

В його якості буде використано дросель SER2915H-153KL з такими параметрами:

- Номінальна індуктивність, мкГн – 10;
- Допуск номінальної промисловості, % – 20;
- Робоча температура, С – від -50° до 125° ;
- Спосіб монтажу – PCB Mount;
- Довжина корпусу, мм – 27,9;
- Ширина корпусу, мм – 19,8;
- Висота корпусу, мм – 17,78;
- Максимальний постійний струм, мА – 28000.

Вибір МНД транзисторів

LT8490 вимагає чотирьох зовнішніх N-канальних MOSFET-транзисторів (МДН-транзисторів), двох для перемикачів верхнього рівня (перемикачі M1 і M4, показані на рис. 2.3) і двох для нижніх перемикачів (перемикачі M2 і M3, показані на рис. 2.3). Важливими параметрами для МДН-транзисторів є напруга пробію, порогова напруга, напруга затвору для відкриття U_{GS} , опір, $R_{DS(ON)}$, ємність зворотної передачі, C_{RSS} (ємність від затвора до стоку) і максимальний струм, $I_{DS(MAX)}$. Напруга відкриття затвора встановлюється джерелом живлення 6,35В GATEVCC. Дуже важливо враховувати розсіювання потужності при виборі МДН-транзисторів. Найефективніша схема використовувати транзистори, які розсіюють найменшу кількість енергії. Розсіювання потужності має бути обмеженим, щоб уникнути перегріву.

Саме при аналізі цих параметрів було обрано транзистори IRLR2908, вони обрані через достатнє розсіювання потужності та з рахунком максимальних можливих параметрів мікросхеми. Транзистори мають наступні характеристики:

Тип транзистора: MOSFET

- Полярність: N;
- Максимальна потужність розсіяної потужності (Pd) – 120 Вт;

- Попередньо допустима напруга стоку-витоку (U_{ds}) – 80 В;
- Попередньо допустима напруга затвор-сток (U_{gs}) – 16 В;
- Порогова напруга включення $U_{gs(th)}$ – 2,5 В;
- Максимально допустимий постійний струм витоку (I_d) – 39 А;
- Максимальна температура каналу (T_j) – 175°C;
- Загальний заряд затвору (Q_g) – 22 нС;
- Опір стоку-витоку відкритого транзистора (R_{ds}) – 0,028 Ом;
- Тип корпусу: DPAK.

Аналіз параметрів транзисторів вказує на підвищення надійності роботи всієї схеми.

Було додано резистори від 1 Ом до 10 Ом між виводами затворів МДН-транзисторів та відповідними виводами драйвера затвора на LT8490 (тобто TG1, BG1, TG2, BG2). Через паразитну індуктивність та ємність, шум може виникнути на SW1 або SW2, коли МДН-транзистори низької ємності вмикаються-вимикаються занадто швидко. Шум може викликати найбільше занепокоєння при роботі МДН-транзистора або мікросхеми LT8490 поблизу граничних значень напруги.

Діоди Шоттки, D1 і D2, показані на рисунку 2.3, проводять напругу у мертвий час між роботою силових перемикачів МДН. Вони призначені для запобігання включенню та накопиченню заряду діодів корпусу синхронних вимикачів M2 та M4. Наприклад, D2 значно зменшує струм зворотного відновлення між вимикачем M4 і перемикачем M3, що покращує ефективність перетворювача, зменшує розсіювання потужності перемикача M3 і зменшує шум в резисторі індуктивного струму (R_{SENSE}) при включенні M3. Для того, щоб діод був ефективним, індуктивність між ним та синхронним перемикачем повинна бути якомога меншою, вимагаючи розміщення цих компонентів поруч.

У їх якості використано швидкодіючі діоди MBR1100, з наступними параметрами:

- Зворотня максимальна напруга – 100 В;

- Прямий струм – 1 А;
- Конструкція діода – одиночний діод;
- Максимальне падіння напруги – 0,78 В;
- корпус – SMB;
- Вид упаковки – бобіна, стрічка;
- Імпульсний струм – 50 А.

Для розрахунку дільника, який керує відключенням мікросхеми використано формулу[12]:

$$R_{SHDN1} = \frac{R_{SHDN2} \cdot (U_{в \text{ min}} - 1,184)}{1,184}; \quad (2.26)$$

У якості R_{SHDN2} взято значення 20кОм.

$$R_{SHDN1} = \frac{20 \cdot 10^3 \cdot (5,98 - 1,184)}{1,184} = 81013 \text{ Ом} = 81 \text{ к } \Omega$$

До виводу V_{INR} підключено дільник з резисторів 196 кОм та 8,06 кОм, як зазначається в рекомендаціях специфікації при відсутності додаткового живлення постійною напругою[12].

До виводів STATUS та FAULT підключено світлодіоди через резистори номіналами 1,3 кОм та 3,2 кОм відповідно, як рекомендовано специфікацією, так як сама мікросхема вже обмежує струм до декількох мА[12].

Вхідна ємність (C_{IN})

Переривчастий вхідний струм є найвищим в понижувальній області через включення і вимикання перемикача M1. За допомогою було визначено приблизне значення конденсатору[12]:

$$C_{IN} = \frac{I_{в \text{ и } x}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot (k \cdot \Gamma) \cdot (\sqrt{U_{max}^2 - U^2})}; \quad (2.27)$$

$$C_{IN} = \frac{10}{2 \cdot 3,14 \cdot 350 \cdot (\sqrt{52,9^2 - 14,29^2})} = 9,09 \cdot 10^{-5} \text{ Ф} = 90,9 \text{ мкФ}$$

Для поліпшення надійності та значення ESR було вирішено взяти 3 конденсатори по 47 мкФ кожний, а також 4 з обох сторін R_{SENSE1} по 10μF.

Вихідна ємність (C_{OUT})

Вихідна ємність необхідна для зменшення пульсацій вихідної напруги, викликаних неоднорідностями і пульсаціями вихідного струму і струмів навантаження. При виборі відповідного конденсатора для заданого вихідного пульсуючого напруги необхідно враховувати вплив ESR і об'єм ємності. Так як на виході пульсацію мають значення схожі з максимальними значення вхідних параметрів, то на вихід встановлюється також конденсатор з близьким значенням, а саме один ємністю 150 мкФ і по два ємністю 10 мкФ з обох сторін R_{SENSE2} .

Інші елементи схеми взято за рекомендаціями у специфікації та можуть бути змінені після проведення моделювання[12].

2.3 Моделювання у програмному середовищі LTspice

Так як ця схема має контролер пошуку MPPT не було, її складна структура не дозволяє промоделювати її у програмному середовищі Proteus, або іншій.

Тому для отримання результатів роботи вирішено промоделювати повністю аналогічну мікросхему, за винятком того, що в ній відсутній контролер пошуку MPPT. Ця мікросхема має назву LT8705.

У редакторі LTspice побудовано прототип розрахованої схеми (рис. 2.6).

За допомогою інструментів програми, задано параметри вхідної напруги та далі промодельована робота схеми, результати якої у вигляді графіку зі значеннями вхідної, вихідної напруги та значенням струму зображено на рисунку 2.7,

Після проведення моделювання при вхідній напрузі зі значенням 36 В, вхідну напругу у було змінено на значення 24 В для перевірки регулювання вихідної напруги та струму мікросхеми.

Робота схеми дала аналогічні результати вихідних значень, як і при напрузі 36 В, що вказує на правильну роботу мікросхеми та прототипу в цілому.

Отримані дані у вигляді графіку зображено на рис. 2.8.

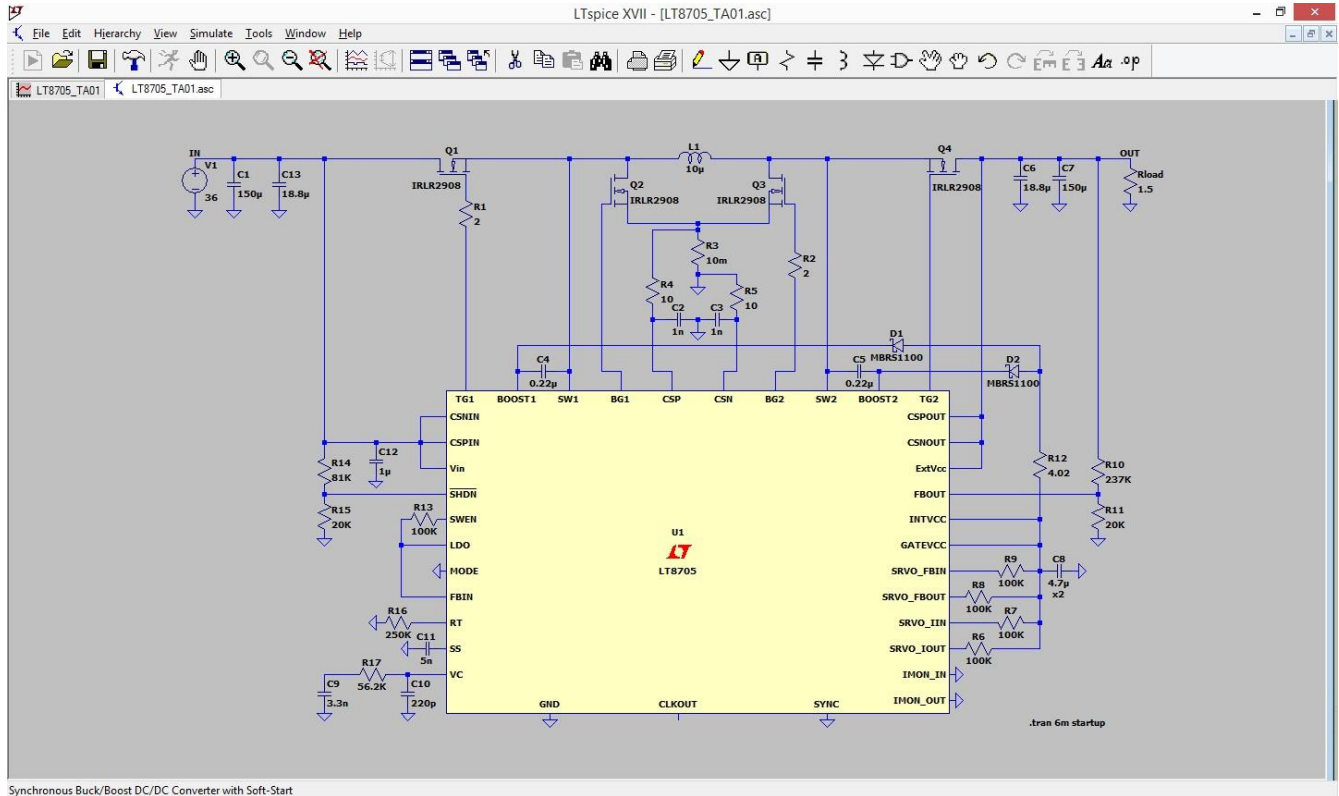


Рисунок 2.6 – Схема перетворювача напруги побудована у програмному середовищі LTspice

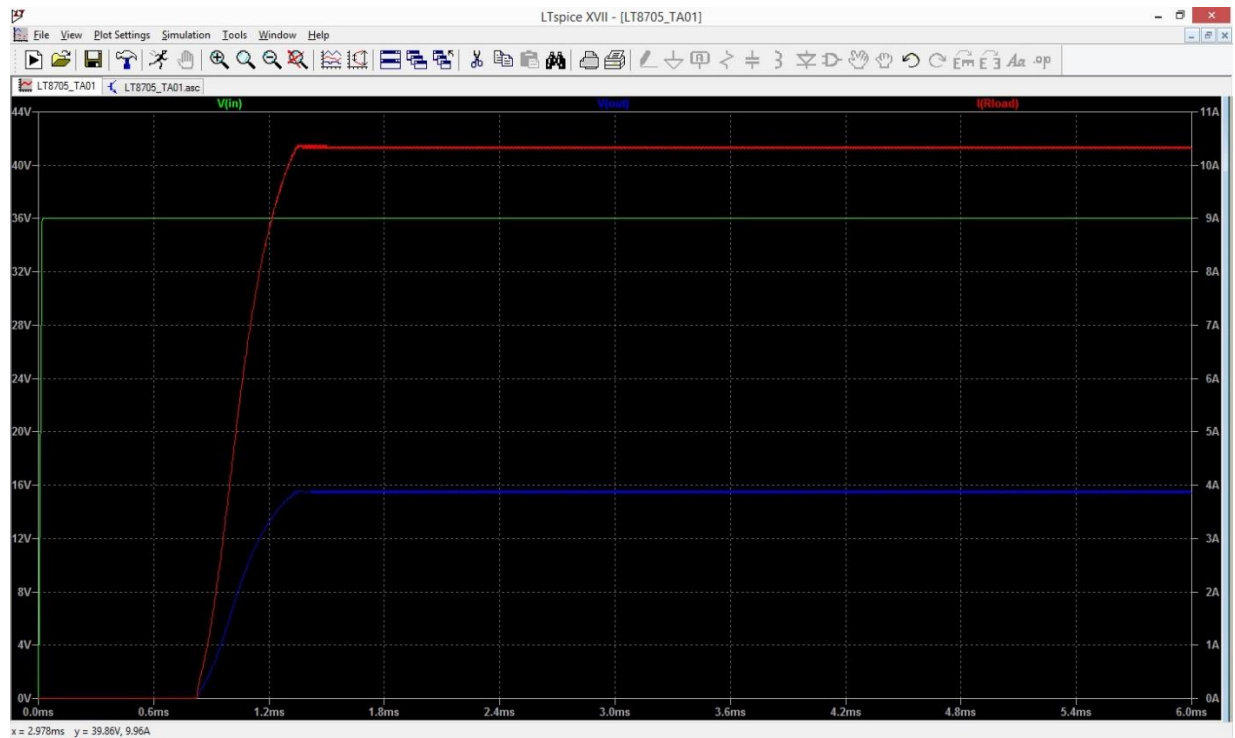


Рисунок 2.7 – графік вхідної напруги (V_{in}), вихідної напруги (V_{out}) та струму навантаження $I(R_{load})$ отриманий при моделюванні у програмному середовищі LTspice

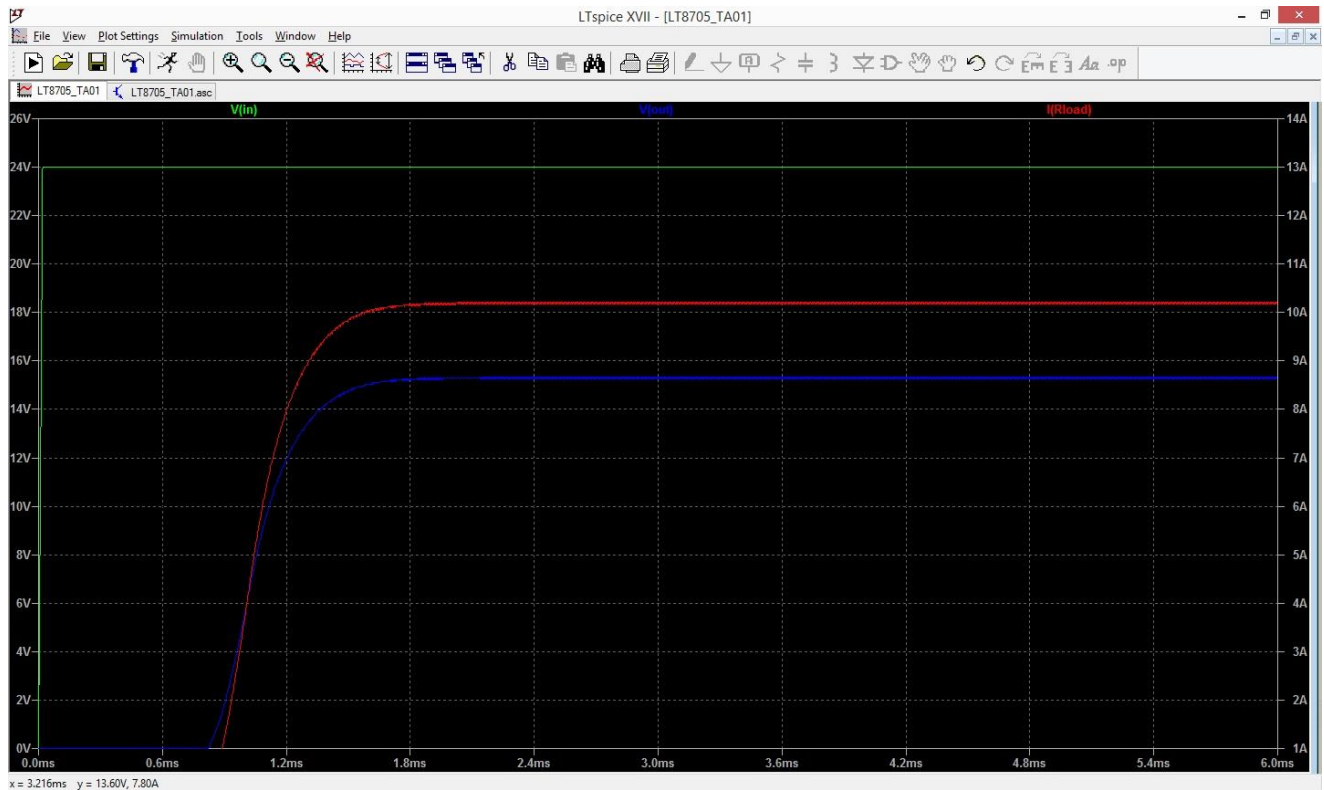


Рисунок 2.8 – графік вхідної напруги (V_{in}), вихідної напруги (V_{out}) та струму навантаження $I(R_{load})$ отриманий при моделюванні у програмному середовищі LTspice

Аналіз даних під час моделювання вказують на вірність результатів розрахунку та на працездатність складеної схеми.

2.4 Пристрій світлодіодної індикації стану напруги на батареї

Для реалізації світлодіодної індикації заряду та стану акумуляторних батареї, а також для додаткового контролю роботи перетворювача було виконано схему на мікросхемі LM3914, яка буде сигналізувати про стан напруги батареї.

На основі інтегральної мікросхеми LM3914 виробника National Semiconductors можливо сконструювати різні світлодіодні індикатори, що мають лінійну шкалу. Основою LM3914 є 10 компараторів[13].

Вхідний сигнал через операційний підсилювач подається на інверсні входи компараторів LM3914, а прямі входи їх підключені до резисторного дільника напруги. Десять виходів є виходами компараторів, до яких підключаються світлодіоди.

Вибір роботи індикації виконується або за режимом «стовпчик», це коли зі зміною рівня вхідного сигналу змінюється кількість світлодіодів, що світяться, або режим «крапка», тобто зі зміною рівня сигналу, змінюючись лінійно світиться тільки один світлодіод.

Призначення виводів LM3914:

- 1, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 – виходи для підключення світлодіодів;
- 2 – мінус живлення (земля);
- 3 – плюс джерела живлення від 3В до 18В;
- 4 – на даний вивід подається напруга, величина якої визначає нижній рівень індикації. Допустимий рівень від $U_{н. \min} = 0$ до $U_{н. \max} = (U_{жив} - 1,5В)$;
- 5 – на даний вивід подається вхідний сигнал;
- 6 – на даний вивід подається напруга, величина якої визначає верхній рівень індикації. Допустимий рівень від $U_{в. \min} = 0$ до $U_{в. \max} = (U_{жив} - 1,5В)$;
- 7, 8 – вивід для регулювання струму, що протікає через світлодіоди;
- 9 – вивід відповідає за режим роботи індикації («крапка» або «стовпчик»)

Структурна схема мікросхеми LM3914 зображена на рис.2.10.

До тих пір, поки на виводі 5 ($U_{вх}$) сигнал нижче в порівнянні з напругою на виводі 4 ($U_{н}$), світлодіоди не горять. Коли вхідний сигнал зрівняється з $U_{н}$, тоді загориться світлодіод, який підключений до виводу 1. При подальшому збільшенні сигналу на величину $(U_{в} - U_{н})/10$, в режимі «стовпчик» вмикається наступний світлодіод по лінійці. В режимі «крапка» вимикається перший світлодіод і одночасно загорається наступний за лінійкою.

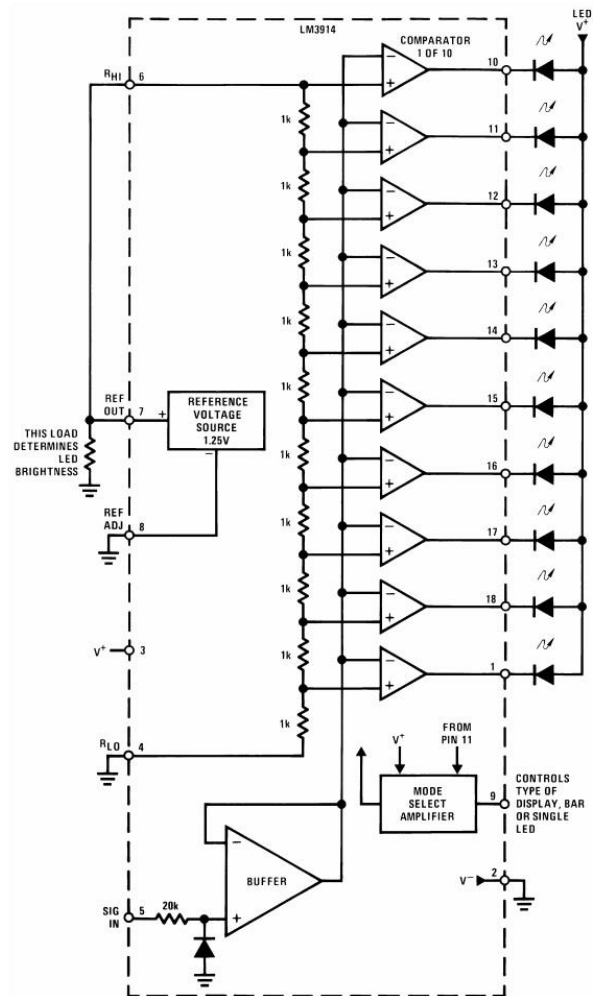


Рисунок 2.10 – структурна схема LM3914

Електрична схема світлодіодної індикації на мікросхемі LM3914 зображена на рисунку 2.11.

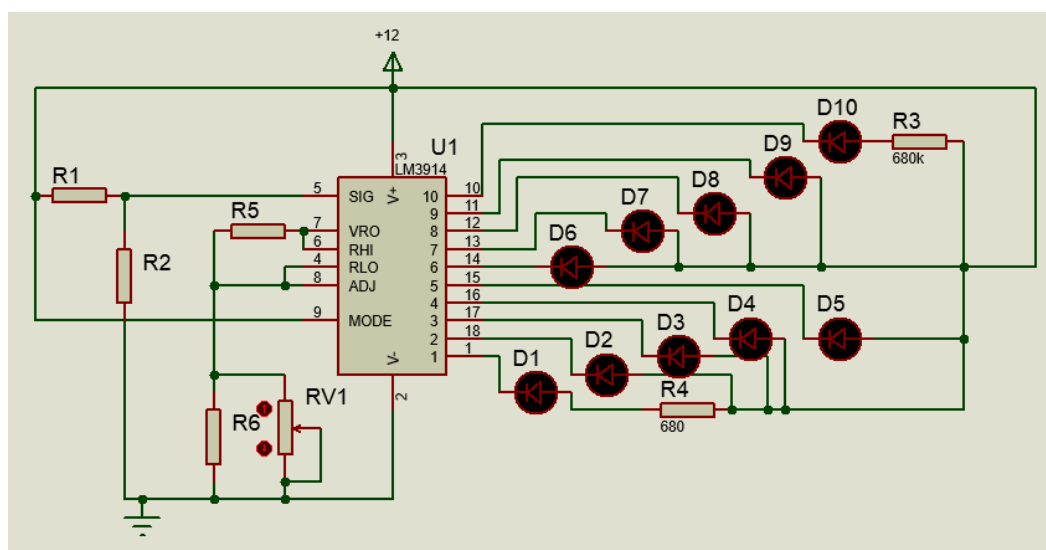


Рисунок 2.11 – схема індикації стану батарей на мікросхемі LM3914

Принцип роботи схеми індикації ясний з рис. 3. Резистори R1, R2, R3 утворюють дільник напруги, який дозволяє знизити вхідну напругу 12 В (від батареї без підключення заряду, що відповідає діоду приблизно у середній частині лінійки) до 2,5 В, необхідних для роботи мікросхеми[14].

За формулою дільника напруги на резисторах визначено резистори:

$$U_{\partial} = U_{вх} \cdot \frac{R1}{R1+R2} = 2,504 \quad ; \quad (2.28)$$

$$U_{\partial} = 12 \cdot \frac{2400}{2400+9100} = 2,504 \quad В$$

Резистори складають 9.4 кОм та 2.4 кОм.

Резистор R5 встановлює верхню границю при якій вмикається верхній світлодіод. Також за допомогою цього резистора виводу можливо регулювати струм, який буде проходити через світлодіод. В його якості обрано резистор 1 кОм.

Струм через світлодіод розраховується по формулі:

$$I_c \approx \frac{12,5}{R5}; \quad (2.29)$$

$$I_c \approx \frac{12,5}{R5} = \frac{12,5}{1000} = 0,0125 \quad \approx 12,5 \quad ..$$

Нижче підключаються ще 2 резистора R6 та RV1, RV1 при цьому є змінним 50 кОм, він потрібен для калібрування схеми і встановлення нижньої границі.

У програмному середовищі Proteus побудовано даний прототип схеми (рис. 2.12). При змінній вхідній напруги змінюється кількість світлодіодів, що загоряється.

За допомогою моделювання визначено опір резистора RV1, при якому діапазон напруги включення найнижчого світлодіода до найвищого прийняв значення від 10,5 В до 15,5 В. Значення резистора для коректного відображення інформації повинно бути 40 кОм.

У реальних умовах для встановлення цього діапазону проводиться калібрування за допомогою цього змінного резистора.

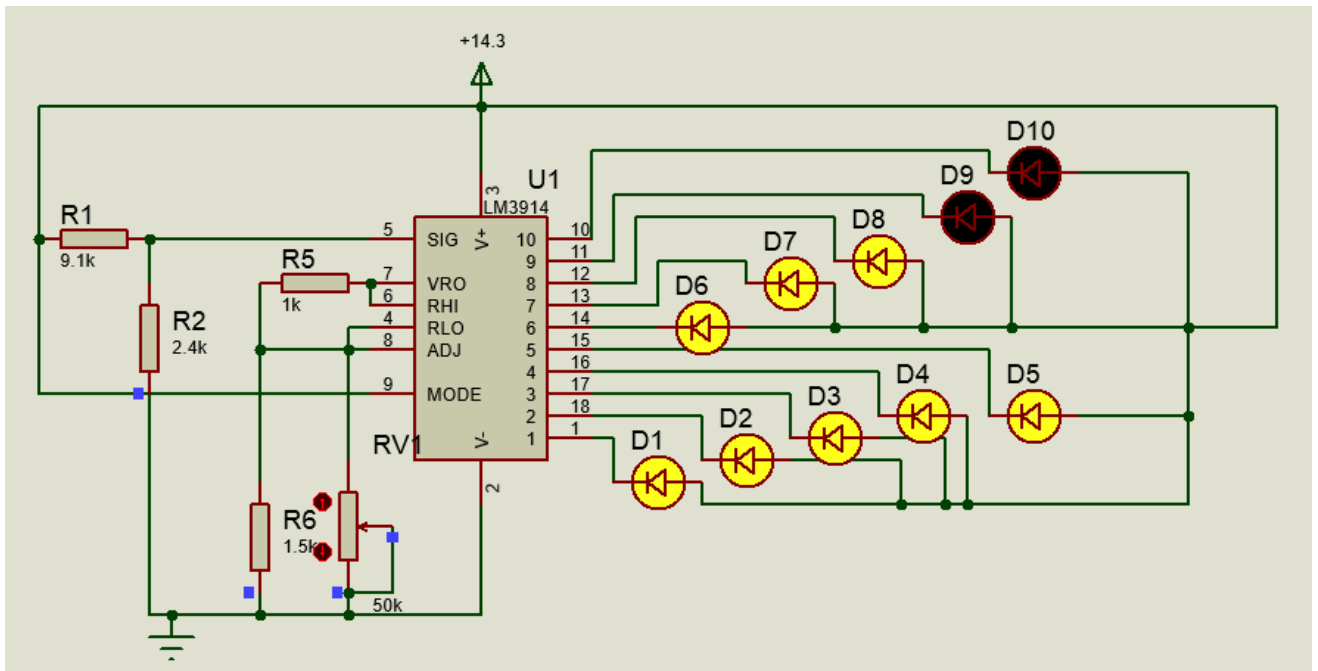


Рисунок 2.12 – схема індикації напруги на мікросхемі LM3914 побудована у програмному середовищі Proteus

Стан батареї відображається двояко за допомогою кодування кольорів світлодіодів. Наприклад, при вхідній напрузі 13В, діод має зелений колір. Вважається, що батарея з напругою 12-14 В працює, отже, діод має зелений колір.

Однак якщо напруга батареї знижується до 11,5 В, а потім до 11 В, то заряд виснажується. Ці діоди мають жовтий колір, відображається наявність проблеми, з якою можна зіткнутися в подальшому.

Останній діод має червоний колір і горить при значенні 10,5В вхідної напруги. Якщо напруга акумуляторної батареї впало до цього рівня, то в ній мало (або взагалі немає) збереженої енергії або заряд не виконується. Простого погляду достатньо, щоб дізнатися не тільки значення напруги батареї, але і її зарядовий стан (по зміні кольору). У таблиці 2.1 наводиться список світлодіодів із зазначенням їх кольору і інформації, що вони відображають.

Таблиця 2.1 – Інформація, яку відображають світлодіоди

Світло-діод	Напруга, В	Колір світіння	Коментар	
			При підключеному контролері заряду	При відключеному контролері заряду
D1	10,5 - 10,7	Червоний	Заряд не відбувається, можлива несправність у контролері заряду або проблеми з СМ	Батарея розряджена; не допускається розряд за межі цього значення
D2	11 - 11,3	Жовтий	Заряд не відбувається, можлива несправність у контролері заряду або проблеми з СМ	В батареї залишилося менше 10% заряду
D3	11,4 - 11,9	Жовтий	Заряд не відбувається, можлива несправність у контролері заряду або проблеми з СМ;	В батареї залишилося менше 40% заряду
D4	12 - 12,5	Зелений	Заряд не відбувається, можлива несправність у контролері заряду або проблеми з СМ;	Заряд батареї складає 50-90%
D5	12,6 - 13,1	Зелений	Заряд не відбувається, можлива несправність у контролері заряду або проблеми з СМ; Батарея може бути заряджена недостатньо, заряд складає 50-90%	Батарея може бути заряджена недостатньо
D6	13,2 -13,7	Зелений	Заряд не відбувається, можлива несправність у контролері заряду або проблеми з СМ	Батарея повністю заряджена
D7	13,8 - 14,3	Зелений	Заряд відбувається в нормальному режимі	Батарея заряджена достатньо

Продовження таблиці 2.1

D8	14,4 - 14,9	Жовтий	Напруга заряду завищена, можливий перезаряд	Батарея заряджена достатньо
D9	15 - 15,5	Червоний	Зарядний напруга занадто велика, можуть виникнути проблеми	Зарядний напруга занадто велика
D10	більше 15,5	Червоний	Зарядний напруга занадто велика, можуть виникнути проблеми	Зарядний напруга занадто велика

Для економії електричної енергії вирішено відключити 9 вивід мікросхеми, та перевести роботу у режим «крапка».

В результаті отримано найпростіший метод контролю роботи пристрою. Під час роботи пристрою, світлодіодна індикація буде горіти зеленим кольором і відповідати світлодіоду D7 у лінійці світлодіодів, при цьому у схемі мікроконтролеру LT8490 також буде горіти зелений світлодіод, що свідчить про нормальну роботу пристрою. Якщо на індикації заряду загоряється інший світлодіод, що значно відрізняється від світлодіодів, які вказують на нормальний режим роботи, за допомогою світлодіоду на мікроконтролері можна визначити, де з'явилась помилка. Якщо горить червоний світлодіод на контролері, то помилка у роботі пристрою, якщо надалі горить зелений, то можна зробити висновок, що проблема у роботі сонячного модуля.

Для визначення напруги на акумуляторній батареї було передбачено кнопковий перемикач без фіксації, при короткочасному натисненні на який є можливість відключити батарею від контролеру заряду та за допомогою світлодіодів визначити значення напруги на клеммах акумулятору.

Об'єднавши схеми у єдину систему, було зроблено креслення принципової схеми отриманого пристрою (рис.2.13). У редакторі Sprint Layout було спроектовано та накреслено двосторонню друкарську плату отриманого пристрою керування потужності фотоелектричної системи (рис. 2.14).

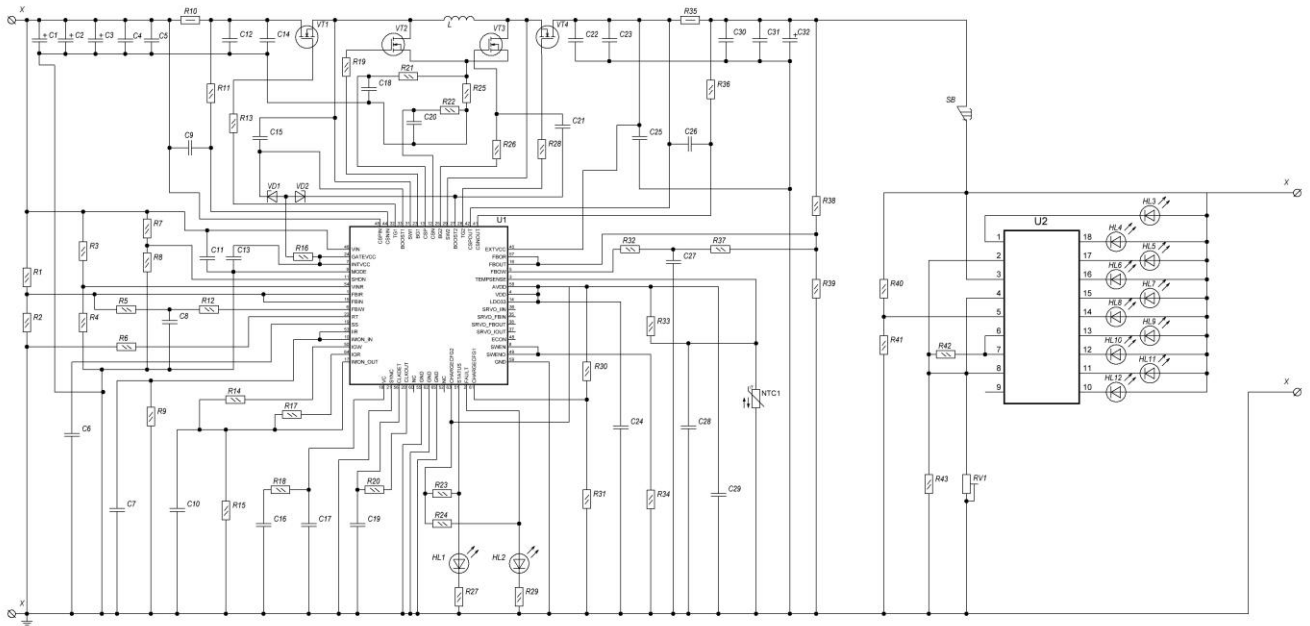


Рисунок 2.13 – Принципова схема пристрою для керування потужністю фотоелектричної системи

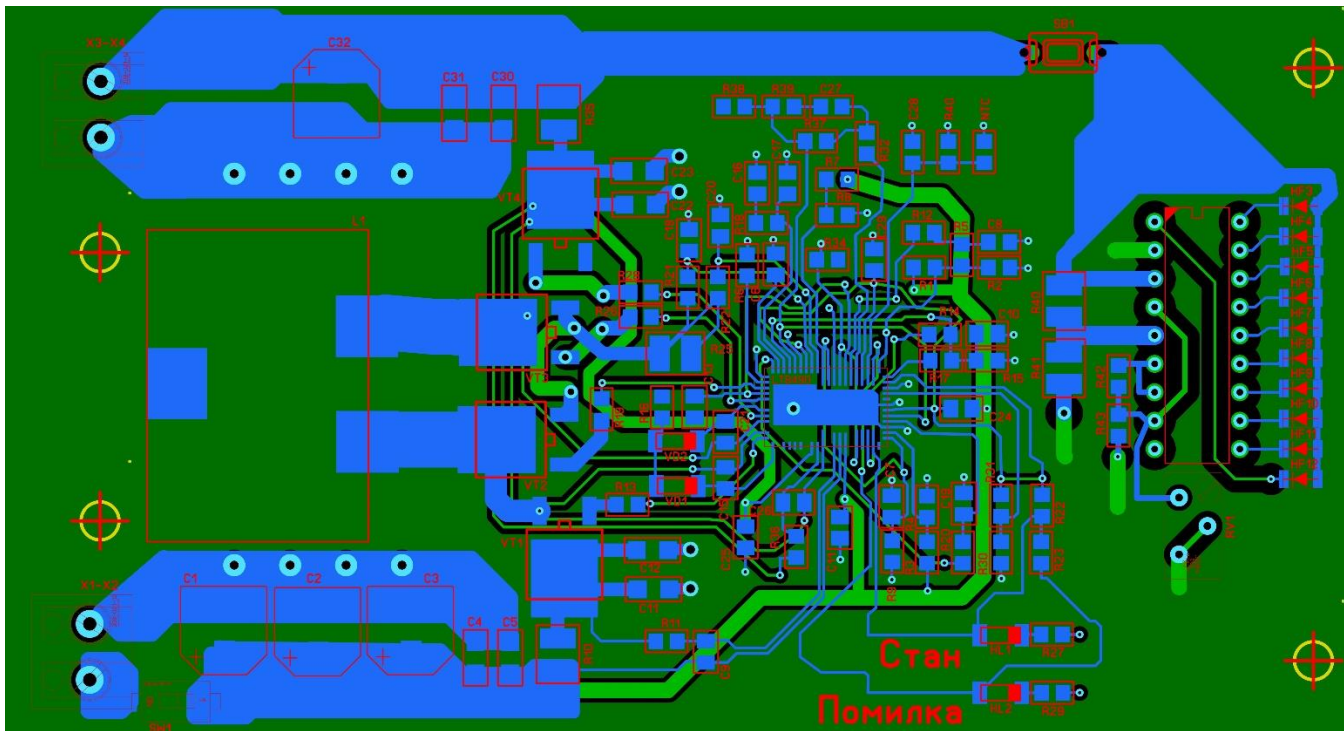


Рисунок 2.14 – друкарська плата пристрою для керування потужністю фотоелектричної системи

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ДОСЛІДНИЦЬКОЇ РОБОТИ

3.1 Обґрунтування актуальності проблеми при роботі з пристроями контролю потужності

Д

3.2 Формулювання науково-технічної проблеми ефективності роботи з сонячною енергією

% " (

ž

Однозначного критерію для встановлення ступеня актуальності поки немає. Наприклад, при оцінці актуальності прикладних наукових розробок більш актуальною виявиться та тема, що забезпечить розширення технічних можливостей пристрою або великий економічний ефект.

ž

3.3 Розрахунок вартості застосованої елементної бази

ž

ž :

$$S_M = \sum_{i=1}^n G_i \cdot C_{Mi} \quad (0.1)$$

де G_i - i - го виду (один./цикл); C_{Mi} - i - го виду (грн) [15].

3.1

Таблиця 3.1 – Розрахунок витрат на комплектуючі вироби

Найменування комплектуючих виробів	Одиниця вимірювання	Кількість од/цикл	Ціна за од. грн.	Всього витрат, грн.
Мікросхема LT8490	шт.	1	495,00	495,00
Мікросхеми LM3914	шт.	1	6,00	6,00
Резистор змінний	шт.	1	7,00	7,00
Резистор пост.	шт.	49	0,14	6,86
Конденсатор пост.	шт.	30	0,35	10,50
Конденсатор електролітичний	шт.	4	0,72	2,88
Транзистори	шт.	4	8,20	32,80
Діоди	шт.	2	9,10	18,20

Продовження таблиці 3.1

Світлодіоди	шт.	12	0,20	2,40
Запобіжник	шт.	1	2,30	2,30
Кнопка без фіксації	шт.	1	10,00	10,00
Плата друкарська	м ²	3	0,90	2,70
Клемна колодка	шт.	2	1,87	3,74
Роз'єднувач з фіксацією	шт.	1	15,00	15,00
Індуктивність	шт.	8	91,00	91,00
Терморезистор	шт.	1	0,90	0,90
Всього				707,28

3.4 Розрахунок параметрів надійності розробленого приладу

" & " $\lambda(t)$

№		, $\cdot 10^{-5}$, 1/год
1	fl	0.0100
2		0,0150
3		0,0100
4		0,3000
5		0,2000
6		0,0200
7		0,2000
8		0,0500
9		0,0050
10		0,0050
11		0,0010
12		0,1000
13		0,0200
14		0,0500
15		0,0300
16		0,0300
17		0,0300
18		0,1000
19		0,0200
20	t	0,0400
21		0,1000
22		5,0000
23		0,8000

24		0,0600
25		0,0500
26	Плати	0,1000
27		0,0200
28		2,0000
29	fi %	0,0001
30		0,2000
31		0,3000
32		0,6000
33		0,0400
34		0,0050
35		0,0150
36	fi	0,0010
37	fi	0,0500
40	fi	0,2000
41		0,0100
42		0,0150
43	Трансформатори	1,0000
44	Світлодіоди	0,034
45	Перемикач (кнопковий)	0,02
46	Тумблер	0,014

ž

Λž

:

$$A = \lambda \Sigma$$

(0.2)

3.3.

Таблиця 3.3 -

Найменування компонента	Кількість компонентів	Інтенсивність відмов компонента 10^{-5} 1/год	Сумарна інтенсивність відмов компонентів	Кількість виведень (пайок) одного компонента
Мікросхема LT8490	1	0,06	0,06	59
Мікросхеми LM3914	1	0,06	0,06	18
Резистор змінний	1	0,2	0,2	2
Резистор постійний	49	0,005	0,245	2
	1	0,0400	0,040	2
Конденсатор пост.	30	0,005	0,15	2
Конденсатор електrolітичний	4	0,03	0,12	2
Транзистори	4	0,015	0,06	3
Діоди	2	0,01	0,02	2
Світлодіод	12	0,034	0,408	2
Запобіжник	1	0,02	0,02	2
Індуктивність	1	0,1317	0,1317	2
Плата друкарська	1	0,1	0,1	
З'єднання паяні	290	0,001	0,290	

Продовження таблиці 3.3

Перемикач (тумблер)	1	0,014	0,014	2
Перемикач (кнопковий)	1	0,002	0,117	2
Інтенсивність відмов приладу		2,0357·10 ⁻⁵ 1/год		

T_o:

$$T_o = 1/\Lambda = 1/2,0357 \cdot 10^{-5} \text{ 1/год} = 49123,15 \text{ год} \quad (0.3)$$

λ_i,

λ_b

ki

kiž

fi

λ_i

kuž

λ_b.

[200 "

ku

№		
1		1
2		
	-	2...8
	-	10...15
3		
	-	40...60
	-	50...70
	-	60...80
	-	70...90

ki'

$$ki' = \Lambda \cdot k = 2,0357 \cdot 10^{-5} \text{ 1/год} \cdot 10 = 20,357 \cdot 10^{-5} \text{ 1/год} \quad (0.4)$$

де ku -

0

$$T_o = 1 / \Lambda = 1 / 20,357 \cdot 10^{-5} \text{ 1/ч} = 4912,31 \text{ год} \quad (0.5)$$

Для покращення показника безвідмовної роботи найефективніше буде встановлювати пристрій у приміщенні, або захищеному від стихійних умов місці, що дасть приріст безвідмовної роботи до 10000 год.

3.5 Економічна ефективність науково - дослідницької роботи

Ā

Ä ž

"

ž

ž

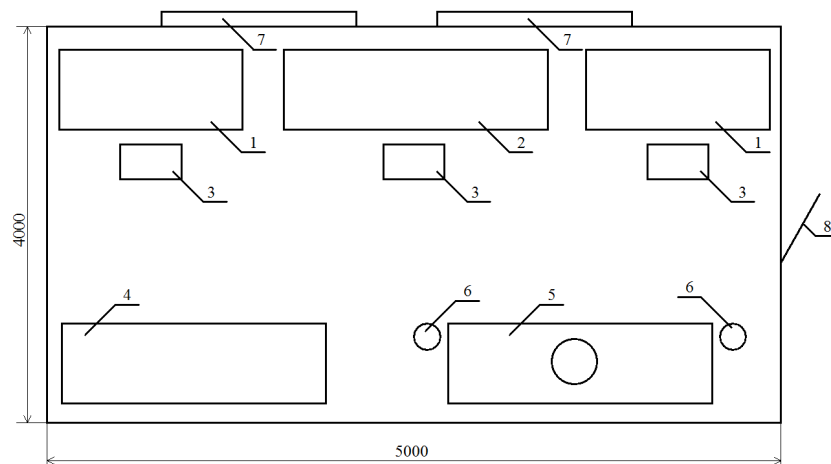
—
—
—
—
—

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

Вивчення і розв'язання проблем, пов'язаних із забезпеченням здорових і безпечних умов, в яких протікає праця людини – одна з найважливіших задач в розробці нових технологій і систем виробництва. Вивчення і виявлення можливих причин виробничих нещасних випадків, професійних захворювань, аварій, вибухів, пожеж, і розробка заходів і вимог, направлених на усунення цих причин дозволяють створити безпечні і сприятливі умови для праці людини. Комфортні і безпечні умови праці – один з основних чинників що впливають на продуктивність праці[21].

4.1 Шкідливі і небезпечні чинники при виготовленні макету приладу

Робота співробітників у приміщенні лабораторії (рис 4.1) при виготовленні макету приладу пов'язана з додатковою шкідливою дією цілої групи чинників, що істотно знижує продуктивність їх праці.



1 - Стіл комп'ютерний, 2 – Стіл радіо-монтажний, 3 – Стілець, 4 – Шафа металева, 5 – Шафа витяжна, 6 – Вогнегасник ОУ-5, 7 – Вікно, 8 – Двері.

Рисунок 0.1 – План лабораторії

До таких чинників можна віднести:

- вплив електромагнітних випромінювань;
- можливість впливу електричного струму;
- дія хімічних реактивів;
- недостатня освітленість;
- підвищений рівень шуму;
- не комфортні метеорологічні умови; та інші.

Кожен працівник повинен прагнути підвищувати санітарну культуру і сприяти оздоровленню умов праці [21]. Для цього потрібно мати уявлення про професійні небезпеки, їх дії на організм людини, а також про основні заходи щодо попередження їх шкідливої дії на організм.

Аналіз умов при виготовленні макету (дослідного зразка) розробленого приладу показує, що найбільш небезпечними, з погляду охорони праці і техніки безпеки, є такі операції як: паяння, виготовлення друкарських схем, збірка макету.

Для виготовлення друкарської плати застосовуються два різновиди технологічних процесів отримання рисунка плати з використанням в якості основи друкарської плати фольгованого склотекстоліту. Друкарська плата може бути одnobічною, двобічною і багат шаровою. При виготовленні одnobічної друкарської плати для отримання провідного рисунка застосовують метод шовкографії нітрофарбою з подальшим травленням міді на незахищених фарбою ділянках плати. При виготовленні одnobічної друкарської плати для отримання провідного рисунку застосовують метод з використанням сухого плівкового фоторезиста СПФ-2ВЩ з подальшим травленням міді на незахищених фоторезистом ділянках плати. Для створення міжшарових з'єднань за допомогою контактних і перехідних отворів використовують хімічне осадження міді. Крім шкідливих чинників, характерних для процесів травлення і хімічного осадження металів, на працюючих надають дію розчинники, використовувані для видалення фарб, оптичне випромінювання використовуване для засвічення фоторезисту.

При нанесенні рисунка струмопровідними фарбами з подальшим гальванічним нарощуванням металу велику шкідливість для організму працюючих представляють різні зв'язуючі речовини, розчинники, відновники, наповнювачі, що входять до складу струмопровідних фарб.

Найшкідливішу дію з цих речовин надають хлорорганічні розчинники (дихлоретан, хлороформ і ін.), ароматичні з'єднання (бензол, толуол, ксилол і ін.), фенолоальдегідні і інші смоли, формальдегід і інші речовини [22].

При побудові технологічного процесу нанесення схем струмопровідними фарбами слід виключити можливість безпосереднього контакту з ними працюючих; велику роль при цьому виконує механізація і автоматизація технологічного процесу. На робочому місці повинна бути встановлена вентиляція, а працюючий персонал зобов'язаний дотримувати заходи виробничої та особистої гігієни.

При паянні друкарських схем методом занурення в розплавлений припій ПОС-61 пари свинцю можуть забруднювати повітря. Крім того, можливі і опіки працюючих краплями розплавленого припою (при ручному способі занурення плати). Тому ванни з розплавленим припоєм повинні мати кришки і пристрої для відсмоктування повітря з ванн, а процес занурення плати при паянні повинен бути механізований.

При паянні способом хвилі випаровування припою йде ще інтенсивніше, оскільки припій перемішується.

При виготовленні макету планується використання припою ПОС-61 (ГОСТ 21930-76) і каніфоль світла (ГОСТ 797-64). При паянні і лудінні олов'яно-свинцевими припоями утворюються пари свинцю. Свинець надає несприятливу дію на організм, шкідливо відображається на стані нервової і серцево-судинної системи, викликає ряд хворобливих явищ шлунково-кишкового тракту, що приводить до професійного отруєння. Тому при систематичній роботі з припоями, що містять свинець, необхідна припливно-втяжна вентиляція, а на робочому місці повинне бути встановлений

відсмоктувач. Паяння і лудіння рекомендується виробляти в спеціальних витяжних шафах.

Склад припою марки ПОС-61 і допустимих домішок, а також ГДК цих матеріалів вказані в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Склад і ГДК компонентів припою ПОС-61

Компонент	зміст	ГДК
Олово	60...62 %	0,05 мг/м ³
Вісмут	0,1 %	0,5 мг/м ³
Миш'як	0,05 %	0,3 мг/м ³
Залізо	до 0,02 %	0,004 мг/м ³
Нікель	до 0,02 %	0,001мг/м ³
Сіра	до 0,02 %	6 мг/м ³
Цинк	до 0,002%	0,25 мг/м ³
Алюміній	до 0,002%	2 мг/м ³
Мідь	до 0,05 %	0,002 мг/м ³
Свинець	решта	0,0003 мг/м ³

В даному приміщенні в повітрі робочої зони концентрація шкідливих речовин не перевищує нормативних значень.

4.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів

При роботі з олов'яно-свинцевими припоями потрібно строго виконувати передбачені правила виробничої і особистої гігієни:

- категорично забороняється приймати їжу і палити в приміщеннях, де виконується паяння.
- перед обідньою перервою і після роботи необхідно обмивати руки 1% розчином соди і ретельно мити їх теплою водою.

- після закінчення роботи слід приймати душ.
- очищення місць паяння від залишків флюсу проводити спирто-бензиною сумішшю. Співвідношення етилового спирту (ГОСТ 5962-67) і бензину в суміші 1:1.
- спецодяг слід регулярно стирати і зберігати на виробництві.
- медичний огляд осіб тих, що працюють з припоями повинен проводитися не рідше за один раз на рік.

Враховуючи шкідливість роботи, робоче місце, на якому виробляється паяльна операція, повинне бути обладнане місцевою механічною витяжною вентиляцією. Оскільки кількість робочих місць, на яких виробляється паяння при розробці, макетуванні і наладці приладу як правило не перевищує двох. Рекомендується такі робочі місця обладнати спеціальними настільними димопоглиначами типа СТ-628. Даний димопоглинач розрахован для обслуговування одного робочого місця, де виробляються паяльні роботи по збірці і наладці друкарської плати і приладів. Він забезпечений спеціальними фільтрами для поглинання парів олов'янно-свинцевих припоїв, парів спирто-каніфольних флюсів і інших продуктів виникаючих при виконанні паяння. Зовнішній вигляд димопоглинача типа СТ-628 представлений на рисунку 4.2, а використання димопоглинача сумісно з паяльною станцією на рис. 4.3.



Рисунок 0.2 – Зовнішній вигляд димопоглинача типа СТ-628

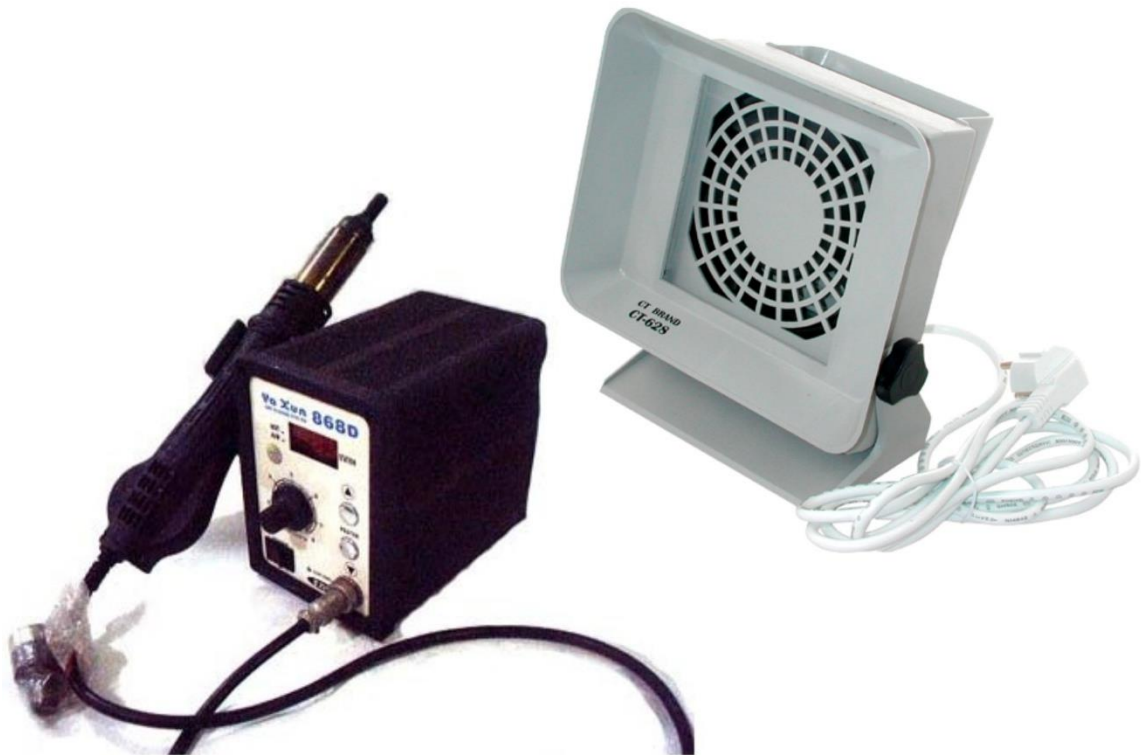


Рисунок 0.3 – Димопоглинач сумісно з паяльною станцією

Лудіння кінців дротів також супроводжується забрудненням повітря парами свинцю і флюсів. Тому лудіння кінців дротів дозволяється проводити тільки у витяжній шафі при працюючій місцевій вентиляції.

Ізоляцію монтажних дротів у ряді випадків закладають різними клеями, приготованими на бакелітовій (фенолформальдегідній) основі [22]. Постійне забруднення поверхні шкіри клеями може викликати появу шкірних захворювань. Для попередження цих захворювань рекомендується користуватися спеціальними захисними пастами та гумовими рукавичками.

Таким чином, на ділянці збірки і монтажу на працюючий персонал можуть впливати: пари свинцю і флюсів (при паянні), пари і найдрібніший пил металів, що сполучаються, газоподібні речовини, а також дим і пари, що утворюються при приготуванні ізоляції дротів.

Звідси витікає, що складальні і монтажні місця повинні бути обладнані ефективною, раціонально влаштованою припливно-витяжною механічною вентиляцією [22].

4.3 Виробнича санітарія

Особливу увагу необхідно звертати на освітленість складально-монтажних робочих місць, оскільки роботи, виконувані на цих місцях, зв'язані із значною напругою зору і уваги працюючих. Повинне бути передбачене як загальне, так і місцеве освітлення робочих місць [21]. Загальне освітлення може бути природним або штучним. Загальне освітлення у світлу частину доби здійснюється за рахунок зовнішнього природного освітлення. Для забезпечення рівномірного світлового потоку на вікнах приміщення необхідно встановити жалюзі з білого напівпрозорого матеріалу. Також для отримання рівномірного освітлення приміщення його стіни повинні бути пофарбовані в спокійні світлі тони (наприклад пастельні). Для забезпечення необхідного освітлення робочої зони де здійснюється збірка макету, та на робочих місцях які обладнані комп'ютерною технікою встановлені світильники локального освітлення з енергозберігаючими газорозрядними лампами. Таким чином на робочих місцях забезпечується освітленість на рівні не менш 400лк.

Оскільки виготовлення макету не зв'язано з великими енерговитратами (маса макету не перевищує одного кілограма) то роботи можна віднести, відповідно до класифікації категорії робіт за енерговитратами організму ГОСТ 12.1.005-88 робота в лабораторії відноситься до легкої - 1а (енерговитрати до 120 ккал / год), так як робота виконується сидячи або стоячи, і не вимагає систематичного фізичної напруги або підняття і перенесення ваги.

Мікроклімат робочого приміщення згідно з ДСН 3.3.6.042-99 визначають наступні параметри: температура повітря в приміщенні; відносна вологість повітря, швидкість руху повітря; інтенсивність радіації.

Ці параметри слід приймати на теплий, холодний і перехідний періоди року. Отже, оптимальна температура, відносна вологість і швидкість руху повітря в лабораторії при холодному (теплом) періоді року мають такі значення: оптимальна температура - 22-24 (23-25) ° С;; оптимальна відносна вологість 40-60 (40-60)%; оптимальна швидкість руху повітря не більше 0,1

(0,1) м/с. Фактичні значення параметрів мікроклімату у даному приміщенні в холодний період року складає 18-19°C. Оскільки вищеназвані роботи виконуються в основному в холодний і перехідний періоди року тому в приміщенні встановлені радіатори централізованого опалення які забезпечують підтримку оптимальних параметрів мікроклімату [21].

4.4 Електробезпека

Приміщення в якому виконуються роботи по складанню та випробуванню макету розробляє мого приладу відноситься до категорії приміщень з підвищеною небезпекою ураження струмом, тому що в приміщенні для живлення лабораторного устаткування використовується промислова мережа живлення з напругою 380В, підлога приміщення виконана з бетону та вкрита лінолеумом, а також є можливість одночасного торкання предметів які знаходяться під дією електричного струму та які з'єднані з заземлюючим дротом [23].

При виконанні складальних, монтажних і регулювальних операцій повинні строго дотримуватися правил електробезпеки:

- всі доступні для дотику токоведущі частини електроустаткування повинні бути захищені;
- рубильники і автоматичні вимикачі повинні бути миттєвої дії;
- щитки і рубильники повинні бути встановлені в глухих металевих кожухах, що закриваються на замок, і мати написи про робочу напругу;
- ручки, рукоятки, маховики повинні бути зроблені з ізолюючих матеріалів; металеві деталі з ізолюючими покриттями повинні бути ізольовані від струмопровідних частин і заземлені;
- все електроустаткування, а також устаткування і механізми, які можуть виявитися під напругою повинні бути заземлені;

- металеві частини переносних електричних печей, і електрифікований інструмент при використанні в ньому напрузі понад 36В повинні бути заземлені, електропроводка, арматура освітлювальної мережі повинні бути надійно ізольовані і захищені від впливу високої температури, механічних пошкоджень і хімічних дій;
- роботи по ремонту устаткування і механізмів повинні вироблятися тільки після повного відключення від мережі електроживлення; на місці робіт обов'язково вивішуються попереджувальні плакати;
- контактні дроти, що підлягають ремонту, повинні бути заздалегідь відключені і заземлені;
- ручний інструмент, вживаний для електромонтажних робіт (викрутки, плоскогубці, кусачки і ін.), повинен бути забезпечений ізольованими рукоятками;
- робочі, працюючі ручним переносним електроінструментом і приладами, повинні бути забезпечені справними, випробуваними засобами захисту (гумовими рукавичками, калошами і гумовими килимками);
- у місцях роботи поблизу відкритих струмопровідних частин повинні бути встановлені захисні огорожі (ізоляційні щити і ґрати).

4.5 Пожежна безпека

Категорія приміщення по пожежній вибухонебезпечності згідно СНиП 2.01.02 - 85 має I ступінь вогнестійкості, а по пожежовибухонебезпеці відноситься до категорії В, тобто в приміщенні зберігаються тверді горючі речовини. Клас приміщення лабораторії з пожежної небезпеки відповідно до ПУЕ-85-П-110 (використовуються горючі матеріали, магнітні носії інформації) [24].

У лабораторії можливі наступні причини виникнення пожежі: несправність електропроводки, порушення протипожежних правил і правил експлуатації приладів.

Тому, відповідно до ГОСТ 12.4.009-83 в приміщенні слід встановити первинні засоби пожежогасіння. Виходячи із загальної площі приміщення і категорії приміщення з вибухопожежної та пожежної небезпеки, потрібно поставити два вогнегасника з вуглекислою типу ОУ-5 [25]. Вогнегасники повинні розміщуватися на висоті не більше 1,5 м від рівня підлоги до нижнього торця вогнегасника. Їх розміщують таким чином, щоб інструктивні написи на корпусі були видні.

Також пропонується застосування сигналізації про виникнення пожежі шляхом установки датчиків КН-1, налаштованих на температуру спрацювання 70 °С.

Оскільки один датчик типу КН-1 здатен контролювати площу 3 кв.м. розрахуємо кількість датчиків (K_d) необхідних для приміщення лабораторії

$$K_d = \frac{S}{3} = \frac{20}{3} \approx 7 \text{ шт.} \quad (0.1)$$

Для більш надійного контролю приміщення лабораторії приймаємо кількість датчиків типу КН-1 яка дорівнює 8.

Різні рідини використовувані при монтажно-складальних роботах (спирт, розчинники, скипидар і ін.), повинні зберігатися в закритому небиткому посуді. Посуд повинен мати написи про її вміст [25].

Організаційно-технічними заходами [26] щодо забезпечення пожежної безпеки є: організація навчання персоналу правилам пожежної безпеки; розробка заходів щодо дій робітників на випадок виникнення пожежі. Важливою мірою щодо забезпечення пожежної безпеки є організація пожежної охорони приміщення, яка передбачає профілактичний і оперативне обслуговування.

Розроблений заздалегідь план евакуації знаходиться біля вхідних дверей. В лабораторії працює 4 людини, тому в разі виникнення пожежі при евакуації робочого персоналу при евакуації використовується вхідні двері [26].

4.6 Висновки

У розділі "Охорона праці та техногенна безпека" були розглянуті питання умов праці, техніка безпеки, виробничої санітарії, пожежної профілактики та викладені пропозиції, що до поліпшення умов праці при виготовленні та випробуванні макету приладу.

Оскільки в розробленому приладі не використовуються високі напруги, прилад не має в своєму складі генераторів надвисокої частоти, ультразвукових випромінювачів, джерел радіаційного випромінювання міри захисту від вищевказаних впливів не потрібні.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ:

За результатами роботи можна зробити наступні висновки:

- 1) Проведено аналіз існуючих схем, отримано недоліки сучасних систем;
- 2) Розроблено структурну схему пристрою;
- 3) Обрано схему пристрою для керування потужністю фотоелектричних систем з метою отримання ефективного результату;
- 4) Розраховано параметри пристрою для керування потужністю фотоелектричних систем;
- 5) Побудовано модель пристрою для керування потужністю фотоелектричних систем LTspice, отримано необхідні результати;
- 6) Порівняно дані, отримані при дослідженні моделі у редакторі LTspice з розрахованими значеннями.
- 7) Розроблено просту схему діагностики та індикації приладу за допомогою кольорового кодування світлодіодами;
- 8) Перевірено роботу схеми індикації у редакторі Proteus;
- 9) Визначено показники надійності пристрою та його собівартість;
- 10) Розроблені заходи з охорони праці та техногенної безпеки при розробці пристрою.

Рекомендації до використання:

- 1) Використання отриманих результатів для розробки нових та ефективніших методів контролю;
- 2) Застосування отриманої моделі пристрою як універсального для керування фотоелектричними системами до 500 Вт. Також є можливість збільшити потужність схеми об'єднавши декілька аналогічних схем паралельно;

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

ДОДАТОК А

Познач.	Найменування				Кільк.	Примітки		
	Конденсатори							
C1..C3	UUX2A470MNL1GS, CAP. ALUM. ELEC., 47uF, 100V, 20%, SMD				3			
C4, C5	CL32B106KMVNNWE, CERAMIC CAP., 10uF, 10%, 63V, SMD 1210				2			
C6	CL21B105KBFNNNG, CERAMIC CAP., 1uF, 10%, 50V, SMD 0805				1			
C7	08055C822KAT2A, CERAMIC CAP., 8.2nF, 10%, 50V, SMD 0805				1			
C8	CL21B105KBFNNNG, CERAMIC CAP., 1uF, 10%, 50V, SMD 0805				1			
C9	CL21B474KBFNNNG, CERAMIC CAP., 470nF, 10%, 50V, SMD 0805				1			
C10	08055F472KAT2A, CERAMIC CAP., 4.7nF, 10%, 50V, SMD 0805				1			
C11	08055C225KAT2A, CERAMIC CAP., 2.2uF, 10%, 50V, SMD 0805				1			
C12..C14	CL32B106KMVNNWE, CERAMIC CAP., 10uF, 10%, 63V, SMD 1210				3			
C15	CL21B224KBFNNNG, CERAMIC CAP., 220nF, 10%, 50V, SMD 0805				1			
C16	CL21B103KBANNNC, CERAMIC CAP., 10nF, 10%, 50V, SMD 0805				1			
C17	CL21B471KBANNNC, CERAMIC CAP., 470pF, 10%, 50V, SMD 0805				1			
C18	GRM2165C1H332JA01D, CERAMIC CAP., 3.3nF, 10%, 50V, SMD 0805				1			
C19	CL21B683KBCNNNC, CERAMIC CAP., 68nF, 10%, 50V, SMD 0805				1			
C20	GRM2165C1H332JA01D, CERAMIC CAP., 3.3nF, 10%, 50V, SMD 0805				1			
C21	CL21B224KBFNNNG, CERAMIC CAP., 220nF, 10%, 50V, SMD 0805				1			
C22, C23	CL32B106KMVNNWE, CERAMIC CAP., 10uF, 10%, 63V, SMD 1210				2			
C24	CC0805KRX7R9BB104, CERAMIC CAP., 100nF, 10%, 50V, SMD 0805				1			
C25	CL21B105KBFNNNG, CERAMIC CAP., 1uF, 10%, 50V, SMD 0805				1			
C26	CL21B474KBFNNNG, CERAMIC CAP., 470nF, 10%, 50V, SMD 0805				1			
C27	CC0805KRX7R9BB104, CERAMIC CAP., 100nF, 10%, 50V, SMD 0805				1			
C28	CL21B105KBFNNNG, CERAMIC CAP., 1uF, 10%, 50V, SMD 0805				1			
C29	CC0805KRX7R9BB104, CERAMIC CAP., 100nF, 10%, 50V, SMD 0805				1			
C30, C31	CL32B106KMVNNWE, CERAMIC CAP., 10uF, 10%, 63V, SMD 1210				2			
C32	EEV-FK2A151V, CAP. ALUM. ELEC., 150uF, 100V, 20%, SMD				1			
					ІННІ 153 ДР			
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	ПРИСТРІЙ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ПОТУЖНІСТЮ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ перелік елементів	<i>Стадія</i>	<i>Маса</i>	<i>Масштаб</i>
<i>Розроб.</i>		Линник Д. О.				У		
<i>Керівник</i>		Коломоєць Г. Г.						
<i>Консульт.</i>		Коломоєць Г. Г.				Аркуш 9	Аркушів 12	
<i>Н. контр.</i>		Верьовкін Л. Л.						
<i>Затвердив</i>		Критська Т. В.						8.1539

ДОДАТОК Б

Познач.	Найменування				Кільк.	Примітки		
	Котушки індуктивності							
L1	SER2915H-153KL, 10µH, 28A				1			
	Резистори							
R1	RC0805FR-0797K6L, RC Series, 0805, 0,125 W, 97,6 kOhms, 1%				1			
R2	RC0805FR-079K76L, RC Series, 0805, 0,125 W, 97,6 kOhms, 1%				1			
R3	RC0805FR-07196KL, RC Series, 0805, 0,125 W, 196 kOhms, 1%				1			
R4	RC0805FR-078K06L, RC Series, 0805, 0,125 W, 8,06 kOhms, 1%				1			
R5	RC0805FR-07220KL, RC Series, 0805, 0,125 W, 3,4 kOhms, 1%				1			
R6	RC0805FR-07124KL, RC Series, 0805, 0,125 W, 124 kOhms, 1%				1			
R7	RC0805FR-076K81L, RC Series, 0805, 0,125 W, 81 kOhms, 1%				1			
R8	RC0805FR-078K45L, RC Series, 0805, 0,125 W, 20 kOhms, 1%				1			
R9	RC0805FR-071K2L, RC Series, 0805, 0,125 W, 97,2 kOhms, 1%				1			
R10	ERJMS4HF5-M0U, RC Series, 2512, 2 W, 5 mOhms, 1%				1			
R11	RC0805FR-0710RL, RC Series, 0805, 0,125 W, 10 Ohms, 1%				1			
R12	RC0805FR-071K2L, RC Series, 0805, 0,125 W, 1,2 kOhms, 1%				1			
R13	RC0805FR-072RL, RC Series, 0805, 0,125 W, 2 Ohms, 1%				1			
R14	RC0805FR-0732K4L, RC Series, 0805, 0,125 W, 1,2 kOhms, 1%				1			
R15	RC0805FR-0797K6L, RC Series, 0805, 0,125 W, 97,6 kOhms, 1%				1			
R16	RC0805FR-074R02L, RC Series, 0805, 0,125 W, 4,02 Ohms, 1%				1			
R17	RC0805FR-073K24L, RC Series, 0805, 0,125 W, 3,24 kOhms, 1%				1			
R18	RC0805FR-078K45L, RC Series, 0805, 0,125 W, 8,45 kOhms, 1%				1			
R19	RC0805FR-072RL, RC Series, 0805, 0,125 W, 2 Ohms, 1%				1			
R20	RC0805FR-0753K6L, RC Series, 0805, 0,125 W, 53,6 kOhms, 1%				1			
R21, R22	RC0805FR-0710RL, RC Series, 0805, 0,125 W, 10 Ohms, 1%				2			
R23	RC0805FR-071K3L, RC Series, 0805, 0,125 W, 1,3 kOhms, 1%				1			
R24	RC0805FR-073K32L, RC Series, 0805, 0,125 W, 3,32 kOhms, 1%				1			
R25	ERJMS4HF5-M0U, RC Series, 2512, 2 W, 5 mOhms, 1%				1			
					ІННІ 153 ДР			
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	ПРИСТРІЙ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ПОТУЖНІСТЮ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ перелік елементів	<i>Стадія</i>	<i>Маса</i>	<i>Масштаб</i>
<i>Розроб.</i>		Линник Д. О.				У		
<i>Керівник</i>		Коломоєць Г. Г.						
<i>Консульт.</i>		Коломоєць Г. Г.				<i>Аркуш</i> 10	<i>Аркушів</i> 12	
<i>Н. контр.</i>		Верьовкін Л. Л.						
<i>Затвердив</i>		Критська Т. В.						8.1539

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Малинин Г.В., Серебрянников А.В. Слежение за точкой максимальной мощности солнечной батареи [Текст] / Г.В. Малинин, А.В. Серебрянников. — Вестник Чувашского университета № 3. – 2016. с. 76–93
2. Германович В., Дурилин А. Альтернативные источники энергии и энергосбережение. Практические конструкции по использованию энергии ветра, солнца, воды, земли, биомассы. [Текст] / Германович В., Дурилин А. — СПб.: Наука и Техника, 2014. — 320 с.
3. Шиняков Ю.А. Анализ энергетической эффективности автономных фотоэлектрических энергетических установок [Текст] / Ю.А. Шиняков, Ю.А. Шурыгин, В.В. Аржанов, А.В. Осипов, О.А. Теуцаков, К.В. Аржанов, Ю.А. Шиняков [под ред. Ю.А. Шиняков]. — Томск: Доклады ТУСУРа, 2011. — с. 282-287.
4. Отто А. И. Автономные энергетические установки с экстремальным регулированием мощности фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии [текст] / А.И. Отто. — Томск: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, 2018 – с.12-13
5. Все о релейной защите [Электронный ресурс] : Режим работы аккумуляторных батарей –2009. — Режим доступа: http://rza.org.ua/elteh/read/211--Rezhim-raboti-akkumulyatornih-batarey_211.html. Дата доступа: 01.12.2020. – Назва з екрану
6. Багоцкий В.С., Скундин А.М. Химические источники тока / В.С. Багоцкий, А.М., Скундин. – М.: Энергоатомиздат, 1981. - 360 с.
7. Powerinfo [Электронный ресурс] : Никель-кадмиевые (Ni-Cd) аккумуляторы – 2018. — Режим доступа: <http://www.powerinfo.ru/accumulator-nicd.php>. Дата доступа: 01.12.2020. — Назва з екрану

8. Энциклопедия по машиностроению XXL [Электронный ресурс] : Аккумуляторы никельжелезные – 2016. — Режим доступа: <http://mash-xxl.info/info/267021>. Дата доступа: 01.12.2020. – Назва з екрану
9. VARTA [Электронный ресурс]: Гелевая технология – 2016. — Режим доступа: <https://www.varta-automotive.ru/ru-ru/technology/gel-battery-technology>. Дата доступа: 01.12.2020. – Назва з екрану.
10. Николайчук О. Повышающе – понижающий импульсный стабилизатор напряжения [текст] / О. Николайчук. — Спб: Журнал Схемотехника №10, 2001. – с. 9-10
11. «MAGUS - Альтернативная энергетика для Вашего дома» [Электронный ресурс] : Солнечная батарея Leapton LP72-375M PERC 5BB, 375 Вт (монокристалл). — Режим доступа: <https://magus.com.ua/p963126707-solnechnaya-batareya-leapton.html>. Дата доступа: 01.12.2020. – Назва з екрану.
12. Analog Devices [Электронный ресурс] : Техническое описание - LT8490: High Voltage, High Current Buck-Boost Battery Charge Controller with Maximum Power Point Tracking (MPPT) Data Sheet). – Режим доступа: <https://www.analog.com/ru/products/lt8490>. Дата доступа: 01.12.2020. – Назва з екрану.
13. Бирюков С. Два вольтметра на К1003ПП1 [Текст] / С. Бирюков. — Радио, № 8, 2001 – с. 32, 33
14. Байерс Т. 20 конструкций с солнечными элементами [Текст] / Т. Байерс. Пер. с англ.— М.: Мир, 1988.— 197 с.
15. Гусев В. П. Производство радиоаппаратуры [Текст]: учебник / В. П. Гусев – 3 изд. перераб. и доп.— М.: Высшая Школа, 1990.— 360 с.
16. ГОСТ 18322-78 - "Системы технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения" [Текст]. — Введ. 1980-01-01. — У.: Стандарты на термины и определения, 1979. — 12 с.
17. ГОСТ 16503-70. "Промышленные изделия. Номенклатура и характеристика основных показателей надежности" [Текст]. — Введ. 1996-01-01. — У. : Стандарты на термины и определения, 1996. — 96 с.

18. Шишмаров В.Ю. Надежность технических систем [Текст] / В.Ю. Шишмаров. — М.: Издательство Академия, 2010. -240 с.
19. Калявин В.Ю. Основы теории надежности и диагностики [Текст] / В.Ю.Калявин, Учебник. — СПб.: Эльмор.2009.-142 с.
20. Широков А.М. Надежность радиоэлектронных устройств [Текст] / А.М. Широков. — М, Высшая школа, 1972 г.
21. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Текст]. — Введ. 1999-01-12. — У. : Міністерство охорони здоров'я України, 1999. — 42 с.
22. Законодавство України про охорону праці [Текст]. — Введ. 1992-10-14. — У. : 1992. — 26 с.
23. В.Г. Рижков. Електробезпека. Методичні вказівки до дипломного та курсового проектування, контрольних робіт і практичних зайняти для студентів ЗДІА спеціальності «Металургія чорних металів» спеціалізації «Охорона праці та екологія металургійного виробництва» денної та заочної форм навчання [Текст] / В.Г. Рижков. — Запоріжжя: Видавництво ЗДІА, 2004. - 49с.
24. СНиП 2.01.02.85. Противопожарные нормы [Текст]. — Введ. 1985-01-02. — М. : Государственный комитет по делам строительства, 1985. — 28 с.
25. ГОСТ 12.4.009-83. ССБТ. Пожежна техніка для захисту об'єктів. Основні види. Розміщення і обслуговування [Текст]. — Введ. 1985-01-01. — У. : Державне видавництво стандартів, 1985. — 16 с
26. ДСТУ 2272:2006 Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять.