

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ  
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електроніки, інформаційних систем  
та програмного забезпечення  
(повна назва кафедри)

**Кваліфікаційна робота**

бакалавра  
(рівень вищої освіти)

на тему Розробка пристрою емпіричного відбору  
потужності від сонячної панелі

Виконав: студент 4 курсу, групи Б.1710-С  
спеціальності 171 «Електроніка»  
(код і назва спеціальності)

освітньої програми Електроніка  
(код і назва освітньої програми)

спеціалізації \_\_\_\_\_  
(код і назва спеціалізації)

Григор'ян Олександр Сергійович  
(ініціали та прізвище)

Керівник д-т.н. проф. Крицька Т.В.  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

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

Запоріжжя  
2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ  
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення  
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)  
Спеціальність 171 «Електроніка»  
(код і назва)  
Освітня програма Електроніка  
(код і назва)  
Спеціалізація \_\_\_\_\_

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри Критська Т.В.

“ 14 ” 02 2023 року

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

Григорук Олександр Сергійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Розробка пристрою оптимального  
вдобрю потужності від сонячної панелі

керівник роботи проф. Критська

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

затвержені наказом ЗНУ від “29” грудня 2022 року № 1893-с

2 Строк подання студентом роботи \_\_\_\_\_

3 Вихідні дані до роботи Потужність 120 Вт, тип акумуляторів  
Li-ion,

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Даної електроніки сонячної енергетики, 2. Розробка  
пристрою, 3. Розрахункова частина, 4. конструкторсько-технологіч  
на частина, 5. Економічне обґрунтування

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Структурна схема, схема електрична принципова  
математичне моделювання, плата друкована, економічні  
розрахунки, оціночна праця

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	д.т.н. проф. Крицька Т.В.	13.02.23	21.02.23
2	д.т.н.-в.о.проф. Крицька Т.В.	28.02.23	7.03.23
3	д.т.н.-в.о.проф. Крицька Т.В.	8.03.23	25.03.23
4	д.т.н. проф. Крицька Т.В.	16.03.23	25.04.23
5	д.т.н. проф. Крицька Т.В.	26.04.23	25.05.23

7 Дата видачі завдання 13.02.23

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз існуючих рішень	27.02.23	
2.	Розробка електричної схеми	7.03.23	
3.	Проведення моделювання	25.03.23	
4.	Розробка друкованої плати	12.04.23	
5.	Проведення розрахунків заземлення	25.04.23	
6.	Проведення економічних розрахунків	12.05.23	
7.	Оформлення пояснювальної записки	17.05.23	
8.	Оформлення графічної частини	25.05.23	

Студент  Гридім О.С.  
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту)  Крицька Т.В.  
 (підпис) (прізвище та ініціали)

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер  Гураш В.К.В.  
 (підпис) (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота містить: 82 стор., 13 рис., 11 табл., 19 джерел літератури.

МРРТ КОНТРОЛЕР, СОНЯЧНА ЕНЕРГІЯ, НАПРУГА, СТРУМ, БАТАРЕЯ, МОДЕЛЮВАННЯ, ПЕРЕТВОРЮВАЧ.

Мета роботи - розробка пристрою оптимального відбору потужності від сонячної панелі.

Задачі роботи - розробка схеми електричної принципової пристрою; розробка; проведення математичного моделювання; розробка друкованої плати пристрою.

Методи рішення задач - синтез схеми електричної принципової пристрою; проведення аналітичних розрахунків; трасування друкованої плати.

У дипломному проекті проаналізовані питання розробки пристрою оптимального відбору потужності від сонячної панелі. Розглянуті структурні схеми та основні конструкційні особливості контролерів для сонячних панелей.

В рамках розробки пристрою були проаналізовані технологічні питання та обрано сучасну елементну базу по критеріям завдання.

## ЗМІСТ

Вступ	6
1 Основи фотоелектричної сонячної енергетики	8
1.1 Принцип роботи	8
1.2 Концентрування світла	18
1.3 Визначення точки максимальної потужності	21
1.4 Електричні характеристики сонячної панелі	23
1.5 Номінальна потужність сонячної панелі	24
2 Розробка пристрою	27
2.1 Автономні фотоелектричні енергосистеми	27
2.2 Сполучені з мережею сонячні фотоелектричні енергосистеми	31
2.3 Резервні енергосистеми	36
2.5 Контролери заряду-розряду	37
3 Розрахункова частина	41
3.1 Контролер зарядного пристрою	41
3.2 Моделювання роботи контролеру	52
4 Конструкторсько-технологічна частина	54
4.1 Програмне забезпечення для систем автоматизованого проектування	54
4.2 Технологія виготовлення плати друкованої	55
4.3 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів	61
4.4 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів	63
4.5 Електробезпека	64
4.6 Пожежна безпека лабораторії	65
4.7 Розрахунок захисного заземлення	66
5 Економічне обґрунтування	71
5.1 Суми витрат по статтям кошторису	71

5.1.1 Зарплата розробників по етапам	71
5.1.2 Зарплата на виготовлення і випробування дослідного зразка	72
5.1.3 Накладні витрати	73
5.1.4 Матеріальні витрати на зразок	73
5.1.5 Собівартість дослідного зразка	74
5.1.6 Розрахунок кошторису витрат	74
5.1.7 Розрахунок заробітної плати	75
5.1.8 Розрахунок планованої собівартості одиниці	75
5.2 Розрахунок терміну окупності розробки	76
Висновки	78
Перелік використаних джерел	79
Додаток А	81
Додаток Б	82

## ВСТУП

Сонячна енергія відноситься до альтернативних (нетрадиційних) відновлюваних джерел енергії. Перетворення сонячної енергії в електрику є найбільш перспективним напрямом відновлюваної енергетики який активно розвивається. Сонячна енергія широко доступна, має практично безмежні ресурси, при її фотоелектричному перетворенні не відбувається забруднення навколишнього середовища. Для прямого перетворення сонячної енергії на електричну використовується явище фотоефекту в сонячних елементах (СЕ) на основі структури з р-п-переходом. Сьогодні максимальна ефективність деяких типів напівпровідникових СЕ становить понад 35 % [1-3].

Поодинокі фотоелементи генерують обмежену потужність. Для отримання необхідних енергетичних характеристик елементи послідовно поєднують між собою в модулі і послідовно-паралельним способом в батареї. Потужність модулів та батарей складається з вихідних потужностей окремих СЕ. Існують різні види сонячних елементів. Найбільш широко поширені кристалічні фотоелектричні перетворювачі, виготовлені з моно- або мультикристалічного кремнію, а також тонкоплівкові СЕ на основі аморфного кремнію, телуриду кадмію, арсеніду галію, фосфіду індію та деяких інших сполук. Слід зазначити, що зараз понад 80 % сонячних фотоелементів, що виробляються у світі, виготовляється на основі кристалічного кремнію [2, 4].

В даний час спостерігається стійка динаміка зростання виробництва тонкоплівкових СЕ. Якщо 2007 р. частка тонкоплівкових технологій становила близько 8 %, то 2010 р. вона перевищила 12 % [1, 4].

Перспективним напрямком є розробка фотоперетворювачів з урахуванням органічних матеріалів. Перевагою органічних фотоперетворювачів є їхня екологічна безпека, технологічність, дешева утилізація, дуже низька вартість виробництва. Основними недоліками є досить невисокий ККД (близько 5-10%) та проблема стабільності властивостей органічних матеріалів.

За інтенсивністю збирання світла СЕ поділяються на одиничні та концентраторні. Зазвичай, концентраторні елементи виготовляються з дорогих світлопоглинаючих матеріалів із найкращими показниками фотовольтаїчного перетворення світла і характеризуються вищим ККД.

Широке впровадження сонячної енергетики у космосі та землі ставить перед проектувальниками проблему оцінки ефективності роботи фотоелектричних систем (ФЕС). Необхідно мати можливість передбачити потужність сонячних батарей (СБ) під дією різноманітних факторів навколишнього середовища, порівняти ефективність використання СБ із різних матеріалів, оцінити поведінку фотоелектричних перетворювачів у різних режимах роботи.

Сонячна енергія доступна для людства як у безпосередньому вигляді – світлове випромінювання, так і у перетвореному – вітер, хвилі, біомаса, розсіяне тепло атмосфери та гідросфери. Відповідно для збирання сонячної енергії також можуть бути використані різні способи [6]:

- перетворення сонячного випромінювання на електрику за допомогою фотоелементів, а також на теплову енергію за допомогою концентраторів;
- Використання енергії вітру на вітряних електростанціях (загальний світовий ресурс, який технічно може бути використаний, оцінюється в 53000 ТВт-год);
- утилізація енергії хвиль хвильовими електростанціями (енергія вітрових хвиль сумарно оцінюється у 2,7 млрд. кВт на рік);
- Отримання біопалива з усіх видів біомаси;
- Використання розсіяного тепла навколишнього середовища за допомогою теплових насосів і т.д.

Практичне використання сонячної енергії набуло відчутного поширення у багатьох країнах завдяки таким її позитивним якостям, як відновлюваність, майже повсюдна поширеність, екологічна чистота.

Таким чином розробка пристрою оптимального відбору потужності від сонячної панелі є актуальним завданням.



## 1 ОСНОВИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

### 1.1 Принцип роботи

Найбільш ефективними, з енергетичної точки зору, пристроями для перетворення сонячної енергії на електричну є напівпровідникові фотоелектричні перетворювачі (ФЕП), оскільки це - прямий одноступеневий перехід енергії. ККД вироблених у промислових масштабах фотоелементів у середньому становить 16%, у найкращих зразків до 25%. У лабораторних умовах вже досягнуто ККД 40,7% [1, 2].

Фотоелектричне перетворення має значні потенційні переваги [7]:

- немає рухомих частин, що значно спрощує і знижує вартість обслуговування, термін служби, мабуть, досягатиме 100 років (проблема над самих перетворювачах, а герметизуючих матеріалах) при незначному зниженні експлуатаційних характеристик;

- ефективно використовується як пряме, так і розсіяне (дифузне) сонячне випромінювання,

- не потрібна висока кваліфікація обслуговуючого персоналу;

- Існує можливість створення установок практично будь-якої потужності.

Принцип роботи ФЕП. Перетворювачі працюють на принципі внутрішнього фотоефекту, при якому фотони, що поглинаються в базовому напівпровідниковому шарі ФЕП передають свою енергію безпосередньо електронам. У результаті електрони стають вільними, що призводить до збільшення кількості вільних носіїв заряду в напівпровідниках. На місці вільним від електронів залишаються позитивно заряджені дірки. Таким чином, поглинання світла в ідеальному напівпровіднику призводить до появи електрон-діркової пари, яка існує в напівпровіднику деякий час, який визначається часом життя, яке, у свою чергу, залежить від структурної досконалості напівпровідникового матеріалу [6].

Процес анігіляції електрон-діркових пар називається рекомбінацією. Значимо, що генерацію електрон-діркової пари викликає випромінювання з енергією, достатньою для руйнування електронне зв'язку з ядром атома. Тому не всі напівпровідники є чутливими до сонячного випромінювання у наземних умовах. За своєю будовою найбільш підходять кремній (Si), арсенід галію (GaAs), телурид кадмію (CdTe), диселенід міді та індія та галію  $\text{CuInSe}_2$  та  $\text{Cu(In,Ga)Se}_2$  та ін.

Перетворення енергії у ФЕП засноване на фотовольтаїчному ефекті, що виникає у неоднорідних напівпровідникових структурах при дії на них сонячного випромінювання. Неоднорідність структури ФЕП можна отримати [6]:

- легуванням одного і того ж напівпровідника різними домішками (створення p-n-переходів);
- Створенням гетеропереходів;
- рахунок зміни хімічного складу напівпровідника, що призводить до появи градієнта ширини забороненої зони (створення варізонних структур).

Можливі різні комбінації перерахованих способів.

Ефективність роботи ФЕП залежить від оптичних та електрофізичних властивостей напівпровідникового матеріалу [6]:

1) від коефіцієнта відбиття світла від поверхні напівпровідника: що більше світла проникає вглиб базового шару, то вище ККД;

2) від квантового виходу напівпровідника, який показує відношення числа поглинених фотонів до числа електронів, що при цьому генерувалися. Цей коефіцієнт завжди менше одиниці, оскільки частина фотонів поглинається на різних структурних недосконалоості напівпровідника, що не призводить до генерації електрон-дірочної пари;

3) від дифузійної довжини носіїв заряду, яка має забезпечити можливість дифузії пар до енергетичного бар'єру, на якому відбувається їх поділ. Співвідношення між дифузійною довжиною носіїв заряду, глибиною залягання p-n-

переходу щодо освітлюваної поверхні і товщиною напівпровідникового шару, що знаходиться за ним, повинно бути спільно оптимізовано;

4) від спектрального положення основної лінії поглинання сонячного випромінювання;

5) від випрямляючих характеристик р-п-переходу, що визначають ефективність поділу носіїв заряду;

6) від ступеня легування областей напівпровідника по обидві сторони р-п-переходу, що спільно з вимогою мінімізації опору інших шарів ФЕП, форми та місця розташування струмознімальних контактів забезпечує низький внутрішній послідовний електроопір джерела струму.

Таким чином, ефективність перетворення залежить від електрофізичних характеристик неоднорідної напівпровідникової структури, а також оптичних властивостей ФЕП, серед яких важливу роль відіграє фотопровідність. Вона обумовлена явищами внутрішнього фотоефекту в напівпровідниках при опроміненні їх сонячним світлом.

Основні незворотні втрати енергії у ФЕП пов'язані з [6, 7]:

- Відображенням сонячного випромінювання від поверхні перетворювача;
- проходженням частини випромінювання через ФЕП без поглинання у ньому;
- розсіюванням на теплових коливаннях ґрат надлишкової енергії фотонів;
- рекомбінацією фото-пар, що утворилися на поверхнях і в обсязі ФЕП;
- Внутрішнім опором перетворювача і т.інш.

Для зменшення всіх видів втрат енергії у ФЕП розробляються та успішно застосовуються різні заходи. До них належать [1, 4, 5, 6]:

- Використання напівпровідників з оптимальною для сонячного випромінювання шириною забороненої зони (близько 1,4 еВ);

- Поліпшення властивостей напівпровідникової структури шляхом її оптимального легування та створення вбудованих електричних полів;
- перехід від гомогенних до гетерогенних та варізонних напівпровідникових структур;
- оптимізація конструктивних параметрів ФЕП та розробка нових конструкцій;
- застосування багатофункціональних оптичних покриттів, що забезпечують просвітлення, терморегулювання та захист ФЕП від космічної радіації;
- розробка ФЕП, прозорих у довгохвильовій ділянці сонячного спектру за краєм основної смуги поглинання;
- Створення каскадних ФЕП;
- Перехід на нанорозмірні структури.

Також суттєвого підвищення ККД ФЕП вдалося досягти за рахунок створення перетворювачів з двосторонньою чутливістю (до +80 % до вже наявного ККД однієї сторони), застосування люмінесцентно перевипромінюючих структур, попереднього розкладання сонячного спектру на дві або більше спектральні області за допомогою багатопшарових плівкових світлоділників з наступним кожної ділянки спектра окремим ФЕП тощо [2].

Зазначимо, що низку перспективних матеріалів важко отримати у необхідних для створення СЕС кількостях через обмеженість природних запасів вихідної сировини чи складність її переробки. Окремі методи покращення енергетичних та експлуатаційних характеристик ФЕП (наприклад, за рахунок створення складних структур) погано сумісні з можливостями організації їхнього масового виробництва за низької вартості тощо. Висока продуктивність може бути досягнута лише при організації повністю автоматизованого виробництва ФЕП, наприклад, на основі стрічкової технології, та створення розвиненої мережі спеціалізованих підприємств відповідного профілю, тобто фактично цілої галузі промисловості, порівнянної за масштабами із сучасною радіоелектронною промисловістю. Виготовлення фотоелементів та збирання сонячних батарей на

автоматизованих лініях забезпечить багаторазове зниження собівартості батареї [2].

Принципи класифікації ФЕП. Перетворювачі можна класифікувати за інтенсивністю збирання світла, за хімічним складом, кристалічним складом поглинаючого матеріалу СЕ, товщиною і кристалічною структурою шарів, кількістю поєднаних на одній підкладці елементів, за типом використовуваних бар'єрів та їх кількістю, за сферою застосування і т.д.

За інтенсивністю збирання світла СЕ поділяються на одиничні та концентраторні. Поодинокі СЕ не мають спеціальних пристроїв для збирання світла і поглинають тільки кількість світлового потоку, яке падає на площу поверхні, що займає ними. Концентраторні СЕ мають спеціальні концентруючі світлові пристрої (лінзи або дзеркала), які дозволяють збільшувати густину світлового потоку на поверхні елементів у кілька разів. Як правило, концентраторні елементи виготовляються з дорогих світлопоглинаючих матеріалів з найкращими показниками фотовольтаїчного перетворення світла. У позначенні таких СЕ обов'язково вказується коефіцієнт збирання світла [3].

Коефіцієнт збирання показує, скільки разів збільшиться щільність потоку падаючого на СЕ випромінювання після його оптичного збирання концентруючими системами.

Залежно від хімічного складу розрізняють органічні та неорганічні фотоелектричні перетворювачі.

Перевагою органічних ФЕП є їхня екологічна безпека, технологічність, дешева утилізація, дуже низька вартість виробництва, гнучкість модулів, мала вага і пов'язана з цим зручність транспортування та монтажу. Основними недоліками є досить невисокий ККД (близько 5-10%) та проблема стабільності властивостей органічних матеріалів.

До неорганічних ФЕП відносяться прилади на основі кремнію, арсеніду галію, напівпровідникових сполук  $A^{III}B^V$ ,  $A^{II}B^{VI}$  (в основному CdTe),  $A^I B^{III} C_2^{IV}$  напівпровідників та інших неорганічних матеріалів. Слід зазначити, що нині

понад 80% вироблених у світі СЕ виготовляється на основі кристалічного кремнію. Тому ФЕП можна класифікувати як кремнієві фотоелементи і фотоелементи на некремнієвій основі.

Залежно від ступеня регулярності та впорядкування кристалічної структури кремнію розрізняють ФЕП на основі монокристалічного, мультикристалічного, полікристалічного або аморфного кремнію. Абсолютна більшість СЕ виготовляють із монокристалічних або мультикристалічних підкладок.

Загалом за кристалічним складом поглинаючого матеріалу СЕ поділяються на монокристалічні, мультикристалічні, полікристалічні, мікрокристалічні, нанокристалічні. Монокристалічні сонячні елементи є сонячними елементами з поглиначем у вигляді цілісного кристала напівпровідникової речовини. Мульти-, полі-, мікро- та нанокристалічні СЕ мають як поглинаючу речовину суміш напівпровідникових кристалітів з різною орієнтацією, структурою та формою, розмір яких і визначає тип сонячного елемента при розмірах кристалітів від 1 до 100 мм речовину називають мультикристалічною, від 1 до 1000 мкм - полікристалічний, менше 1 мкм - мікрокристалічний, менше 1 нм - нанокристалічний [3].

Залежно від товщини світлопоглинаючого матеріалу сонячні елементи поділяються на тонкоплівкові та товстоплівкові. Тонкоплівкові СЕ мають товщину в кілька мкм, товстоплівкові - в десятки або сотні мкм.

Зазначимо, що у 2005 р. на тонкоплівкові фотоелементи припадало 6% ринку. У 2006 р. тонкоплівкові фотоелементи займали 7% частку ринку. У 2007 р. частка тонкоплівкових технологій збільшилася до 8%, а в 2009 р. - зросла до 16,8% [6].

ФЕП, що розглядаються, виробляються у вигляді тонких плівок таких матеріалів, як аморфний кремній ( $\alpha$ -Si:H), телурид кадмію, диселенід міді та індія (CIS), арсенід галію, фосфід індія та інших, нанесених на різні підкладки [5].

Основна перевага тонкоплівкових СЕ полягає в тому, що їхня вартість

досить низька через дешеву технологію виготовлення та застосування порівняно дешевих матеріалів. До основних недоліків відносяться низький ККД та поступова деградація характеристик.

Найбільшу ефективність демонструють СЕ на основі плівок напівпровідникових полікристалічних сполук  $\text{CdTe}$ ,  $\text{Cu(In,Ga)Se}_2$ , товщиною близько декількох мкм та плівок гідрогенізованого аморфного кремнію [5, 6].

На кшталт використовуваних бар'єрів розрізняють ФЭП з урахуванням р-п-переходів, гетеропереходів, з урахуванням потенційних бар'єрів метал-напівпровідник. Зазначимо, що у фотоелементах із гетеропереходами на сьогоднішній день досягнуто максимальних ККД.

За способом з'єднання бар'єрів розрізняють однокаскадні і багатокаскадні СЕ.

За сферою застосування розрізняють сонячні елементи для наземного використання та застосування в космосі.

Розвиток ФЕП. В даний час ведуться роботи зі створення фотогальванічних елементів, що використовують квантові точки та пристрої з вбудованими вуглецевими нанотрубками. Їх ККД, на думку вчених, на момент початку широкомасштабного виробництва сягне 45 %. Сюди також відносяться фотоелектрохімічні, нанокристалічні та полімерні сонячні батареї, застосування яких буде здійснене лише на земній поверхні [6]. Мета розробки цих елементів – зниження вартості електроенергії нижче 0,5 дол./Вт. Спосіб реалізації цього завдання – суттєво збільшити ефективність фотоперетворення за збереження (або незначного підвищення) вартості виробництва та витрат на утилізацію та екологічну безпеку [5].

Наступним етап у розвитку сонячної енергетики – це створення та використання композитних фотогальванічних елементів, в яких поєднуються полімери та наночастки, що утворюють один моношар. Надалі ці тонкі шари можуть бути поєднані з утворенням повноцінних, більш ефективних та економічних сонячних батарей [6].

У висновку зазначимо, що поодинокі фотоелементи генерують обмежену потужність, тому для отримання необхідних енергетичних характеристик поодинокі ФЕП послідовно поєднують між собою в модулі і послідовно паралельним способом в батареї. Потужність модулів та батарей складається з вихідних потужностей окремих СЕ. Залежно від технології виготовлення фотоелектричних перетворювачів існують різні види сонячних батарей.

#### Склад сонячного випромінювання

Джерело енергії. Джерелом енергії сонячного випромінювання є термоядерна реакція. Кожну секунду близько 6-10<sup>11</sup> кг водню перетворюється на гелій. При цьому виділяється енергія 4-10<sup>20</sup> Дж. Основна частина цієї енергії випускається у вигляді електромагнітного випромінювання у діапазоні від ультрафіолетового до інфрачервоного (0,2-3 мкм) [5].

При проходженні через атмосферу сонячне світло послаблюється в основному завдяки поглинанню інфрачервоного випромінювання парами води, поглинанню ультрафіолетового випромінювання озоном і розсіянню випромінювання частинками пилу, що знаходяться в повітрі, і аерозолями.

Параметром, що відображає вплив атмосфери на інтенсивність та спектральний склад сонячного випромінювання, що доходить до земної поверхні, є атмосферна маса (АМ).

За нульової повітряної маси АМ<sub>0</sub> інтенсивність випромінювання  $E_c = 1360 \text{ Вт/м}^2$ . Це значення іноді називається сонячною постійною. Спектр АМ<sub>0</sub> визначає роботу сонячних батарей на супутниках та космічних кораблях.

Величина АМ<sub>1</sub> відповідає проходженню сонячного випромінювання через безхмарну атмосферу рівня моря при zenітальному розташуванні Сонця ( $E_c = 925 \text{ Вт/м}^2$ ) [5].

Найбільш характерною у земних умовах є величина АМ<sub>1,5</sub> ( $\theta = 42^\circ$ ). Вона прийнята за стандартну при інтегральній поверхневій густині сонячного випромінювання  $E_c = 844 \text{ Вт/м}^2$ , що необхідно при забезпеченні порівнянності



результатів досліджень різних сонячних елементів. Спектр АМ2 реалізується за кута  $\theta = 60^\circ$  ( $E_c = 691 \text{ Вт/м}^2$ ).

Повітряна маса для будь-якого рівня земної поверхні у будь-який момент дня визначається за формулою

$$AM(P) = \frac{P}{P_0} \cdot \frac{1}{\sin \theta},$$

де  $P$  – атмосферний тиск, Па;  $P_0$  – нормальний атмосферний тиск (1,013-105 Па);  $\theta$  – кут висоти Сонця над горизонтом.

Кількість сонячного випромінювання, що надходить до Землі у певному географічному районі, називають інсоляцією. Інсоляція залежить від широти місцевості та місцевого клімату, рівня забруднення повітря, змінюється із сезонними коливаннями відстані Земля-Сонце, залежить від атмосферної маси. Інсоляцію зазвичай виражають середніми значеннями кількості сонячного випромінювання протягом року, місяць, день та інших.

При розгляді оптичних властивостей Землі також використовується поняття альbedo Землі.

Альbedo поверхні Землі - це відношення потоку випромінювання, відбитого від поверхні Землі в навколишній простір, до потоку, що впав на неї. Середнє альbedo Землі, розраховане за дифузним відбиттям поверхні дорівнює 0,34. Вважається, що спектр відбитого випромінювання подібний до спектру сонячного випромінювання у поверхні Землі при атмосферній масі, що дорівнює 1.

Склад сонячного випромінювання. Сонячне випромінювання має спектральний склад від 0,1 до 30 мкм. Найбільша частина енергії сонячного випромінювання зосереджена в діапазоні 0,2-3 мкм. Найбільш поширені назви частин сонячного спектру такі: ультрафіолетова частина спектра від 0,1 до 0,38 мкм, видима частина спектра від 0,38 до 0,78 мкм, інфрачервона частина від 0,78 мкм і більше.

Інфрачервоне випромінювання підрозділяється на - близьке інфрачервоне та далеке інфрачервоне.

Ультрафіолетове випромінювання, що володіє високою інтенсивністю в космічних умовах, поглинається у верхній частині атмосфери Землі озоном, тому до Землі доходить лише незначна частина випромінювання з довжиною хвилі близько 0,3 мкм.

На рис. 1.1 наведено розподіл числа фотонів, що припадають на одиничний енергетичний інтервал на  $1 \text{ см}^2$  за 1 в умовах AM0 і AM1,5.

На рис. 1.2 наведено чотири криві, що ілюструють спектральний розподіл інтенсивності сонячного випромінювання (потужність на одиницю площі в одиничному інтервалі довжин хвиль). Верхня крива відповідає сонячному діапазону поза земної атмосфери, тобто. при нульовій повітряній масі (AM0). Цей розподіл можна апроксимувати розподілом інтенсивності чорного тіла за нормальної температури 5800К.

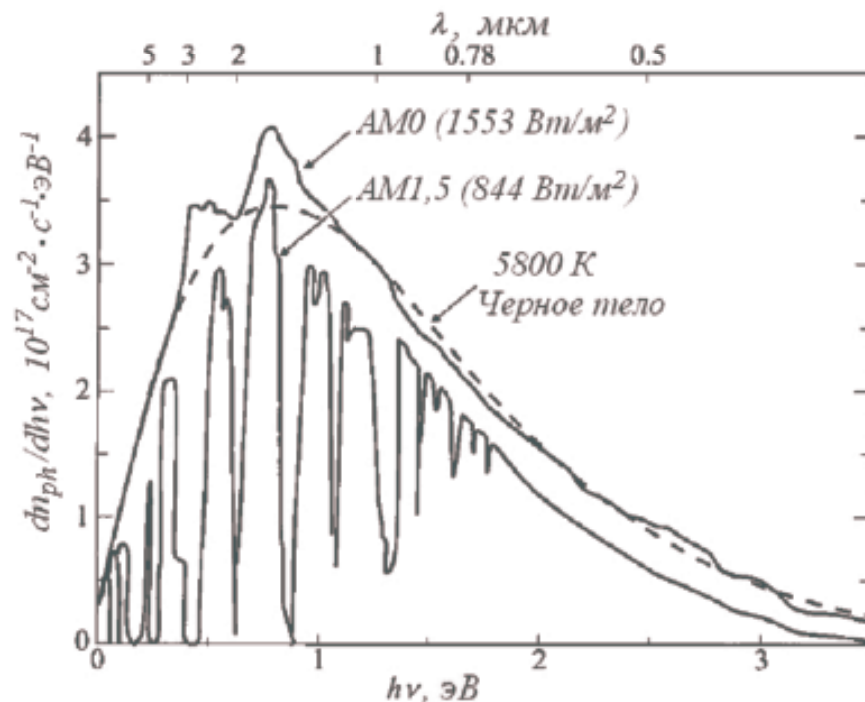


Рисунок 1.1 - Спектральний розподіл потоку фотонів, що надходять від Сонця в умовах AM0 та AM1,5

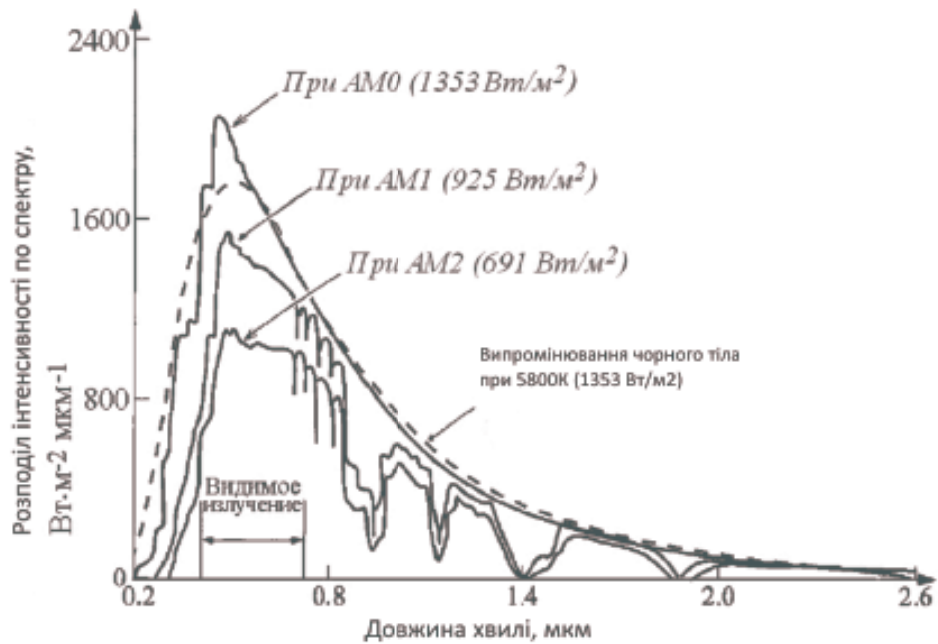


Рисунок 1.2 - Розподіл сонячної енергії за спектром

Значення величини інтенсивності сонячного випромінювання використовують для розрахунку ККД сонячного елемента, при порівнянні параметрів різних сонячних елементів, які працюють за однакових умов.

## 1.2 Концентрування світла

Як зазначалося, понад 80% обсягу ринку сонячних елементів посідає кремнієві СЕ. Вищий ККД мають гетероперехідні сонячні елементи з урахуванням сполук  $A^3B^5$ , особливо - каскадні СЕ. Однак багатоперехідні фотоелементи мають складну структуру та високу вартість, зумовлену складною технологією виготовлення та вартістю матеріалів. Оскільки економічний чинник є визначальним під час виборів певного типу фотоелемента, то великомасштабного використання фотоелементів потрібно знижувати їх вартість і підвищувати ККД.

Для збільшення ККД фотоелементів та зниження їхньої вартості перспективно здійснювати фотоелектричне перетворення концентрованого сонячного випромінювання. При використанні концентраторних фотоелектричних модулів з сильнострумовими гетерофотоелементами генерується фотострум

зростає лінійно зі збільшенням світлового потоку, а вихідна напруга у свою чергу зростає зі збільшенням струму за логарифмічним законом. Таким чином, вихідна потужність зростає надлінійно при концентруванні випромінювання та ефективність фотоелектричного перетворення збільшується.

Концентрування полягає у фокусуванні сонячних променів на приймач сонячного випромінювання за допомогою різних оптичних елементів – дзеркал, лінз тощо. При високих рівнях потужності випромінювання, що концентрується, в основному використовуються дзеркальні відбивачі.

Основним енергетичним показником концентратора сонячного випромінювання є коефіцієнт концентрації, який визначається як відношення середньої щільності сконцентрованого випромінювання до щільності променевого потоку, що падає на поверхню, що відбиває, за умови точної орієнтації на Сонці.

Концентруюча здатність реальних систем визначається, перш за все, геометрією концентратора та кутом падіння сонячного випромінювання на його поверхню. Істотно неї впливає і відбивна здатність дзеркальної поверхні, особливо у разі багаторазових відбитків.

Головною рушійною силою при створенні концентраторних модулів є можливість зниження витрати напівпровідникових матеріалів для вироблення заданої електричної потужності пропорційно до кратності концентрування світлового потоку. У цьому випадку напівпровідникові фотоелементи щодо малої площі перехоплюють сонячне випромінювання, перебуваючи у фокальній площині концентраторів. Вклад вартості фотоелементів у вартість сонячних модулів стає незначним, тоді як ефективність модулів безпосередньо залежить від ефективності використовуваних фотоелементів.

В цілому, оптичне концентрування випромінювання забезпечує наступні переваги [6]:

- 1) знижується вартість сонячних елементів, оскільки при цьому більша частина площі сонячного елемента замінюється поверхнею концентратора;

- 2) зростає ККД елемента;
- 3) з'являється можливість створення гібридних систем, які одночасно виробляють електроенергію та тепло;
- 4) послаблюється залежність ефективності роботи елемента від температури довкілля.

Таким чином, концентрування світла створило передумови для економічно виправданого використання в наземній енергетиці найбільш ефективних, хоч і дорогих, фотоелементів на основі сполук АІІВV.

Ключовою проблемою розробки концентраторних фотоелементів було радикальне зниження внутрішніх омичних втрат [2]. Наприклад, у гетероструктурі AlGaAs/GaAs шар AlGaAs відіграє основну роль у збиранні струму, тому необхідний деякий компроміс між його шаровим опором (товщиною та питомим опором), відстанями між струмознімальними смужками та кількістю світла, що пройшов через нього. Критичний також характер малюнка струмознімальної сітки, а багато інших параметрів: контактний опір, ширина струмознімальних смужок, їх товщини та відстані між ними, опір загального струмознімання - повинні бути належним чином оптимізовані [6].

В Україні є достатньо сприятливі умови для використання сонячної енергії. Річний технічно досяжний енергетичний потенціал сонячної енергії є еквівалентним 6 млн.т у.п., його використання дозволило б замінити близько 5 млрд.м<sup>3</sup> природного газу. Середньорічна кількість сумарної сонячної радіації, що надходить на 1 м<sup>2</sup> поверхні, на території України знаходиться в межах від 1070 кВт·год/м<sup>2</sup> в її північній частині до 1400 кВт·год/м<sup>2</sup> і вище на півдні України. В Запорізькій області вона складає приблизно 1300 кВт·год/м<sup>2</sup>.

Важливим елементом клімату є тривалість сонячного сяйва, тобто час, протягом якого прямі сонячні промені освітлюють земну поверхню. Вона залежить від довжини дня, обумовленою географічною широтою і порою року, а також від хмарності, яка не пропускає пряму радіацію.

### 1.3 Визначення точки максимальної потужності

Сонячна панель може працювати за будь-якої комбінації напруги і струму. Однак насправді вона працює в одній точці зараз. Ця точка вибирається не панеллю, а електричними характеристиками ланцюга, якого дана панель (або сонячна батарея) підключена.

Насправді сонячна панель працює при комбінації струму і напруги, коли виробляється достатня потужність. Найкраще їхнє поєднання називається точкою максимальної потужності (ТММ). Відповідні напруга та струм позначаються  $U_p$  (номінальна напруга) та  $I_p$  (номінальний струм). Саме для цієї точки визначаються номінальна потужність та ККД сонячної панелі.

Максимальний струм і напруга, які можна отримати від СЕ - це струм короткого замикання та напруга холостого ходу. Однак потужність СЕ в обох цих точках дорівнює нулю. Як параметр, що характеризує роботу СЕ у точці максимальної потужності, використовується коефіцієнт заповнення, який зазвичай позначається "FF".

FF визначається, як відношення максимальної потужності СЕ до твору  $U_{xx}$  та  $I_{xz}$ :

$$FF = \frac{I_m U_m}{I_m U_{xx}} \quad (1.1)$$

Таким чином, фактор заповнення показує, яка частина потужності, що виробляється сонячним елементом, використовується у навантаженні. Значення фактора заповнення визначається вибором режиму роботи сонячного елемента, тобто значення  $U_{xx}$  і  $I_{xz}$ .

З урахуванням (1.1) вираз для знаходження ефективності перетворення (ККД) елемента можна записати у вигляді

$$\eta = \frac{I_m U_m}{P_{in}} = \frac{FF \cdot I_p \cdot U_{xx}}{P_{in}},$$

де  $P_{in}$  - зовнішня потужність (потужність падаючого випромінювання).

Графічно FF є мірою квадратичності СЕ і дорівнює максимальній площі прямокутника, який можна вписати в вольт-амперну криву (рис. 1.3):

$$FF = \frac{S_A}{S_B},$$

де  $S$  – площі прямокутників,  $S_A = I_m U_m$ ,  $S_B = I_{кз} U_{кк}$ .

Так як FF є мірою квадратичності вольт-амперної кривої, то СЕ з більш високою напругою матиме більший можливий FF. Це впливає із того, що закруглена частина кривої займає менше місця.

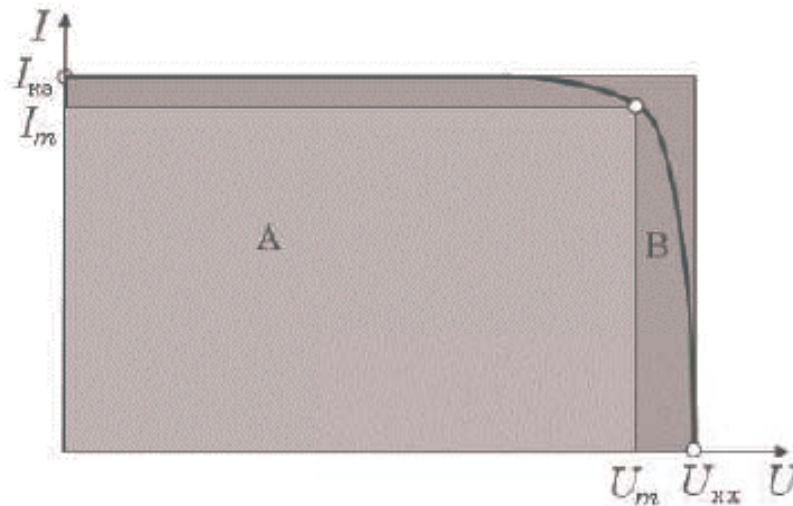


Рисунок 1.3 - Залежність вихідного струму СЕ від напруги та точка максимального відбору потужності

Для визначення максимального значення фактора заповнення часто використовують наступне емпіричне рівняння [10]:

$$FF = \frac{U_{кк} - \ln(U_{кк} + 0,72)}{U_{кк} + 1}.$$

Це рівняння показує, що більше напруга, тим більше теоретичне значення FF. Для СЕ, виконаних за однаковою технологією та з одного матеріалу, значення  $U_{кк}$  зазвичай відрізняються не дуже сильно. FF може відрізнитися значно для СЕ з різних матеріалів. Зазначимо, що на практиці FF завжди нижче від

ідеального значення через наявність у ланцюгу паразитних опорів. Чинник заповнення вимірюється у відсотках і варіюється від 50 до 85% для різних типів СЕ.

Недоліком фотоелектричного перетворювача є висока вартість і низький ККД. В даний час у фотоелементах на основі монокристалічного і полікристалічного кремнію ККД досягає 20-25%, фотоелементів на основі тонких плівок – 20%, надвисокі значення ККД вище 40% мають сонячні батареї, які містять кілька р-п переходів (заснованих на напівпровідниках III-V груп), потенційно дешеві фотоелементи на основі органічних матеріалів мають ККД більше 6%.

Термін служби перетворювачів сонячної енергії:

- монокристалічні модулі – 30 і більше років;
- полікристалічні модулі – 20 і більше років;
- з аморфного кремнію (тонкоплівкові, або гнучкі) від 7 (перше покоління тонкоплівкових технологій) до 20 років (друге покоління тонкоплівкових технологій), тонкоплівкові модулі зазвичай втрачають від 10 до 40% потужності в перші два роки експлуатації.

#### 1.4 Електричні характеристики сонячної панелі

Сонячна панель може працювати за будь-якої комбінації напруги і струму. Однак насправді вона працює в одній точці зараз. Ця точка вибирається не панеллю, а електричними характеристиками ланцюга, якого дана панель (або сонячна батарея) підключена.

Насправді сонячна панель працює при комбінації струму і напруги, коли виробляється достатня потужність. Найкраще їхнє поєднання називається точкою максимальної потужності (ТММ). Відповідні напруга та струм позначаються  $U_p$  (номінальна напруга) та  $I_p$  (номінальний струм). Саме для цієї точки визначаються номінальна потужність та ККД сонячної панелі.



При прямому з'єднанні сонячної панелі до акумуляторної батареї (АБ) вона працює при напрузі, що дорівнює напрузі акумуляторної батареї в даний момент. По мірі заряду АБ її напруга зростає, тому панель може працювати в діапазоні від 10 до 14,5 (для панелі з номінальною напругою 12 В; для панелей з номінальною напругою 24 В значення напруги потрібно помножити на 2). Якщо зробити так, то панелі будуть видавати необхідну для заряду АБ напругу тільки коли вони холодні, в ідеальному стані та при яскравому сонці. Зазвичай таких умов немає в реальності. Тому панелі повинні мати запас напруги для можливості заряджати АБ при зниженій освітленості, під пилом і нагрітими на сонці. Попри логіку, сонячні панелі працюють краще за холодної погоди. За нормальних умов, коли сонячна панель нагрівається до 40-45 °С, її потужність знижується на 15-17% [5].

Отже, для заряду АБ напругою 12 В необхідно довести напругу панелі до 14,5 (або навіть до 15 В при заряді при низьких температурах). Для акумуляторів Li-іон це напруга 4.2В. Напруга сонячної панелі в реальних умовах виявляється нижчою за номінальну. По-перше, при нагріванні сонячної панелі її напруга знижується приблизно на 0,5 В. По-друге, існують втрати напруги у сполучних дротах. Також рідко буває, що рівень освітленості дорівнює 1000 Вт/м<sup>2</sup>. Все це призводить до того, що реальна напруга на панелі знижується, і насправді виявляється дуже близькою до 14,5 В. З іншого боку, при низьких температурах напруга може бути більшою за номінальну.

### 1.5 Номінальна потужність сонячної панелі

Кожна модель сонячної панелі має унікальні робочі характеристики, які можна графічно подати у вигляді діаграми. Графік називається «кривою ВАХ» і відноситься до вихідного співвідношення модуля між струмом (I) та напругою (V) за переважаючих умов сонячного світла та температури.

Теоретично кожна сонячна панель має кілька кривих IV (кілька з яких показані вище для одного конкретного модуля) — по одній для всіх комбінацій

умов, які можуть вплинути на рейтингові параметри STC, зазначені вище: температура, повітряна маса, випромінювання. На наведеному рис. 1.4 видно, що цей модуль втрачає напругу при підвищенні температури елемента; цей ефект є загальним для всіх кристалічних модулів.

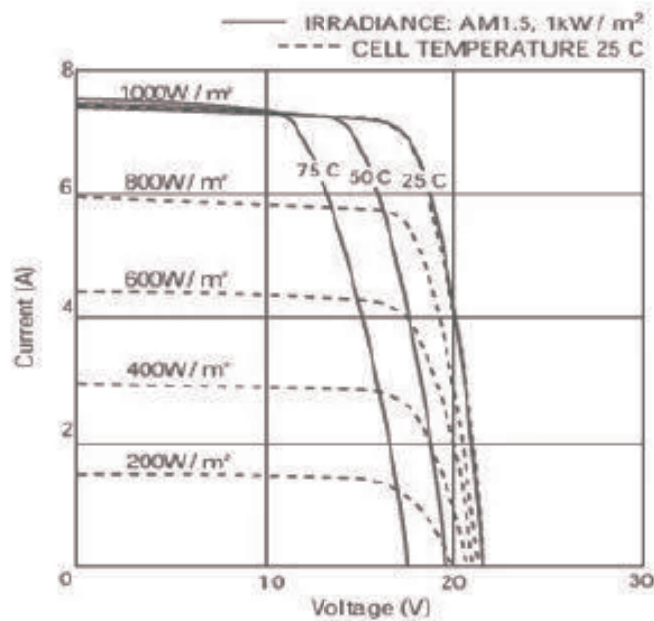


Рисунок 1.4 - Вольт-амперна характеристика сонячної панелі

Через закон Ома (і рівняння потужність = напруга x струм) результатом зниження напруги є зниження вихідної потужності. Ідеальне положення на будь-якій кривій ВАХ – оптимальне місце, де ми можемо отримати максимальну потужність від модуля – це «коліно». Це точка максимальної потужності (MPP), і ви можете бачити, що її положення змінюється залежно від температури та освітлення.

У фотоелектричних системах на основі батарей контролер заряду МРРТ (Maximum Power Point Tracking) постійно контролює масив, щоб знайти МРР, що постійно змінюється, і, таким чином, отримати максимальну потужність від масиву. У системах із прямим підключенням до мережі технологія МРРТ вбудована в інвертор.

Сонячна панель під впливом світла виробляє як електроенергію, а й тепло. У звичайній сонячній панелі в точці максимальної потужності тільки 10-15% сонячної енергії, що падає на неї, перетворюється на електрику, інше перетворюється на тепло [5].

## 2 РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ

Для того, щоб забезпечити надійне та стабільне електропостачання за допомогою сонячних панелей, необхідно встановити додаткові елементи в системі. Крім самої сонячної панелі, до такої системи можуть входити кабелі, що забезпечують підтримку її структури, а також електронний інвертор та контролер заряду з акумуляторною батареєю. Така система називається сонячною фотоелектричною системою, або сонячною станцією.

Існує три основні типи сонячних фотоелектричних систем - автономні, підключені до мережі та резервні. Автономні системи використовуються для окремих будівель та не підключаються до електричної мережі. Вони покладаються на акумулятор для забезпечення електрикою, коли сонце не світить.

З іншого боку, системи, підключені до мережі, підключені до електричної мережі. Вони використовують сонячну енергію для живлення будівлі протягом дня та повертають надмірну енергію назад у мережу. Таким чином, власник будівлі може заробляти кредити за вироблену енергію та використати їх для компенсації своїх рахунків за електроенергію.

Резервні системи, як випливає з назви, використовуються як резерв у разі відключення електроенергії. Вони працюють аналогічно до автономних систем, але часто мають більший масштаб і призначені для живлення цілих будівель або районів.

### 2.1 Автономні фотоелектричні енергосистеми

Хоча основним компонентом та вартістю автономної фотоелектричної системи є сонячна батарея, зазвичай потрібно кілька інших компонентів. До них відносяться (рис. 2.1):

Батареї. Батареї є важливим елементом будь-якої автономної фотоелектричної системи, але можуть бути необов'язковими залежно від кон-

струкції. Акумулятори використовуються для зберігання електроенергії, що виробляється сонячними батареями, для використання вночі або в аварійних ситуаціях вдень. Залежно від конфігурації сонячної батареї батареї можуть бути на 12, 24 або 48 В і в сумі на багато сотень ампер.

Контролер заряду. Контролер заряду регулює та контролює вихідну потужність сонячної батареї, щоб запобігти перезарядженню (або перерозрядженню) батарей шляхом розсіювання надмірної потужності на опір навантаження. Контролери заряду в автономній фотоелектричній системі є обов'язковими, але бажано мати їх з міркувань безпеки [8].

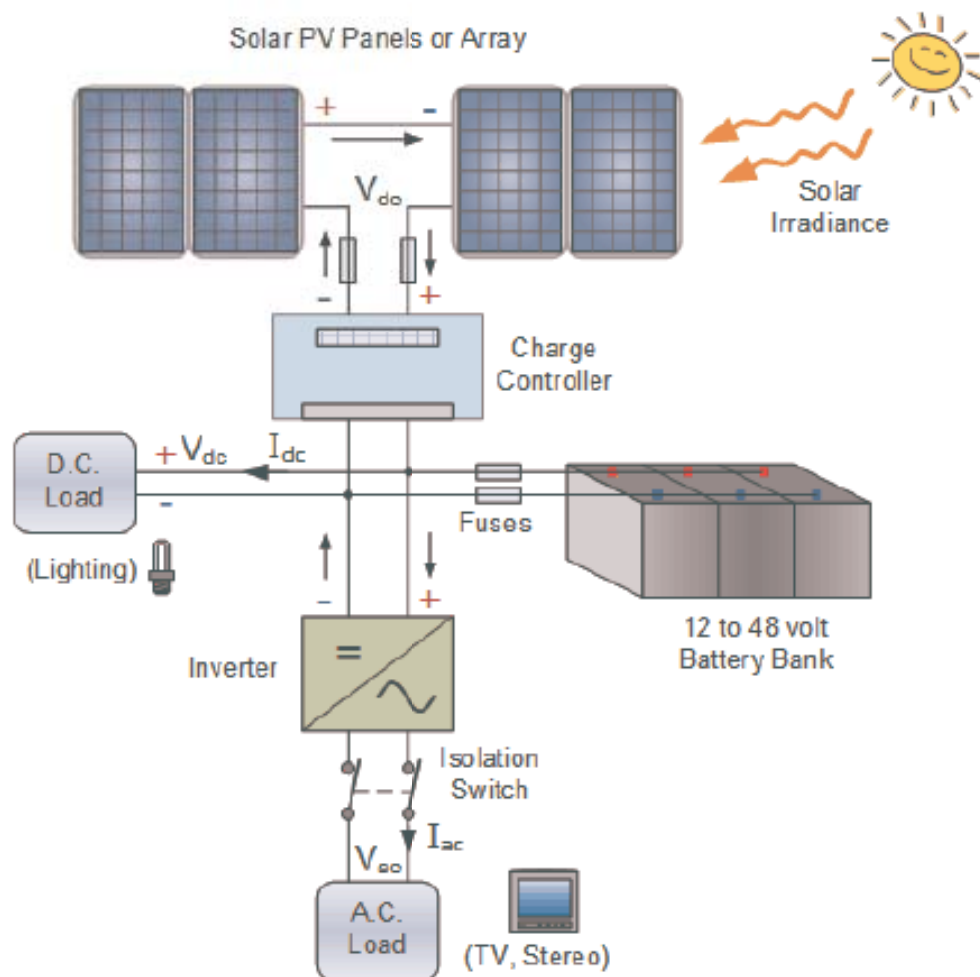


Рисунок 2.1 - Автономна фотоелектрична система

Запобіжники та роз'єднувачі – вони дозволяють захистити фотоелектричні установки від випадкового короткого замикання проводів, дозволяючи від-

ключати живлення від фотоелектричних модулів та системи, коли це не потрібно, заощаджуючи енергію та збільшуючи термін служби батареї. Інвертор – Інвертор може бути ще одним додатковим пристроєм у автономній системі. Інвертори використовуються для перетворення енергії постійного струму (DC) 12, 24 або 48 від сонячної батареї і батарей в електрику змінного струму (AC) і напругу 120 В змінного струму або 240 В змінного струму для використання в домашніх умовах для живлення мережі змінного струму побутової техніки, такої як телевізори, пральні машини, морозильні камери і т.д.

Останнім компонентом, необхідним для сонячної фотоелектричної системи, є електропроводка. Кабелі повинні бути правильно розраховані на відповідність вимогам щодо напруги та потужності.

Акумулятори є важливим елементом і серцем будь-якої автономної сонячної енергетичної системи, будь то система, яка використовує великий масив панелей для живлення будинку, або невелика піко-сонячна система, що використовується для живлення саду, сараю або рибного ставка.

Батареї необхідні через флюктууючий характер вихідної потужності фотоелектричних панелей або масиву. Вони також перетворюють електричну енергію на накопичену хімічну енергію для використання, коли сонячна батарея не виробляє енергію. У сонячні години фотоелектрична система живиться безпосередньо від навантаження, а надлишкова електроенергія зберігається в батареях для подальшого використання. Вночі або в період низької сонячної радіації, наприклад у похмурі, дощові дні, енергія подається в навантаження від акумуляторної батареї.

Таким чином, акумуляторна батарея дозволяє запускати автономну фотоелектричну систему, коли сонячні панелі не виробляють достатньо енергії власними силами, а розмір акумуляторної батареї прив'язаний до споживання електроенергії. Є в основному два типи батарей, що використовуються для зберігання сонячної енергії: батареї глибокого циклу та батареї дрібного циклу.

Свинцево-кислотні батареї глибокого циклу зазвичай використовуються для зберігання сонячної енергії, що виробляється фотоелектричними панелями, а потім розряджаються, коли потрібна енергія. Батареї глибокого циклу не тільки перезаряджаються, але і розраховані на багаторазову розрядку майже до дуже низького рівня заряду.

Акумулятори глибокого розряду, що складаються з твердих свинцевих пластин, нерідко розряджаються до 20% їх загальної ємності до того, як енергія перестане надходити з акумулятора або контролер заряду відключить їх від сонячної системи. Сонячні батареї глибокого циклу використовуються в більшості транспортних засобів з електричним приводом, таких як візки для гольфу та навантажувачі.

Акумулятори глибокого циклу ідеально підходять для зберігання енергії, яку виробляє автономна фотоелектрична система, а потім використовуються для постійного щоденного використання.

Контролер заряду, також відомий як регулятор заряду, підключається між сонячними панелями та батареями. Контролер заряду гарантує, що максимальна потужність сонячних панелей або масиву спрямована на заряджання акумуляторів без їх перезаряджання або пошкодження.

Вони працюють автоматично, при цьому більшість комерційно доступних контролерів заряду мають цифровий дисплей, що показує, скільки енергії було створено в будь-який момент часу, стан заряду батарей і програмовані налаштування для розрядки батарей на фіктивне резистивне навантаження, щоб звести до мінімуму ймовірність сульфатування елементів акумуляторної батареї, що продовжує термін служби батареї.

У деяких автономних системах низької напруги можна використовувати живлення від батареї 12 або 24 В, але це вимагає використання побутових приладів і освітлення, розрахованих на низьковольтний постійний струм. Використання батарей дозволяє.

## 2.2 Сполучені з мережею сонячні фотоелектричні енергосистеми

Фотоелектрична система, підключена до мережі, — це система, в якій фотоелектричні панелі або масив підключені до комунальної мережі через блок інвертора потужності, що дозволяє працювати паралельно з електричною мережею.

У попередньому уроці ми розглянули, як автономна фотоелектрична система використовує фотоелектричні панелі та батареї глибокого циклу для зберігання сонячної енергії, забезпечуючи повну автономну сонячну енергетичну систему. Тим не менш, цей тип сонячної системи працює нормально, якщо протягом дня сонячного випромінювання достатньо для перезарядження батарей для використання у нічний час.

Автономні сонячні системи – це автономні стаціонарні або портативні сонячні фотоелектричні системи, які не підключені до будь-якої місцевої комунальної або мережевої електромережі, оскільки вони зазвичай використовуються у віддалених та сільських районах. Як правило, це означає, що електроприлади знаходяться далеко від найближчої стаціонарної електромережі або якщо вартість продовження лінії електропередачі від місцевої мережі може бути дуже високою.

Проте останніми роками кількість будинків, що працюють на сонячній енергії, підключених до місцевої електромережі, різко зросла. Ці фотоелектричні системи, підключені до мережі, мають сонячні панелі, які забезпечують частину або навіть більшу частину своїх потреб в електроенергії вдень, але при цьому залишаються підключеними до локальної мережі в нічний час.

Сонячні фотоелектричні системи іноді можуть виробляти більше електроенергії, ніж насправді необхідно чи споживається, особливо у довгі спекотні літні місяці. Ця додаткова або надмірна електроенергія або зберігається в батареях, або, як у більшості фотоелектричних систем, підключених до мережі, повертається безпосередньо до електричної мережі.



Іншими словами, будинки та будівлі, в яких використовується фотоелектрична система, підключена до мережі, можуть частково або повністю задовольняти свої енергетичні потреби за рахунок сонячної енергії та, як і раніше, використовувати енергію від звичайної електричної мережі в нічний час або в похмурі та дощові дні, що дає найкраще з обох світів. Потім у фотоелектричних системах, підключених до мережі, електрика тече туди й назад у мережу та назад залежно від умов сонячного світла та фактичного попиту на електроенергію на той час.

У фотоелектричній системі, підключеній до мережі, також відомої як "мережева" або "мережева" сонячна система, фотоелектричні сонячні панелі або масив електрично підключені або "прив'язані" до місцевої електромережі, яка подає електроенергію назад у сітку.

Основною перевагою фотоелектричної системи, підключеної до мережі, є її простота щодо низькі витрати на експлуатацію та технічне обслуговування, а також зниження рахунків за електроенергію. Недоліком, однак, є те, що необхідно встановити достатньо сонячних панелей для вироблення необхідної кількості надлишкової потужності.

Оскільки системи, пов'язані з мережею, повертають свою сонячну енергію назад у мережу, дорогі резервні батареї не потрібні, і їх можна використовувати у більшості проектів, підключених до мережі. Крім того, оскільки цей тип фотоелектричної системи постійно підключений до мережі, розрахунки споживання сонячної енергії та розмірів сонячних панелей не потрібні, що дає широкий спектр варіантів, що дозволяють встановити на даху систему потужністю всього 1,0 кВт, щоб допомогти скоротити споживання електроенергії, рахунків, або набагато більший масив для підлоги, який досить великий, щоб практично повністю виключити ваші рахунки за електроенергію.

З'єднання сонячних панелей разом для створення більших масивів для безпосереднього підключення до місцевої електромережі дає вам змогу брати

участь в одній із найвигідніших частин виробництва власної електроенергії: чисте вимірювання або чистий рахунок.

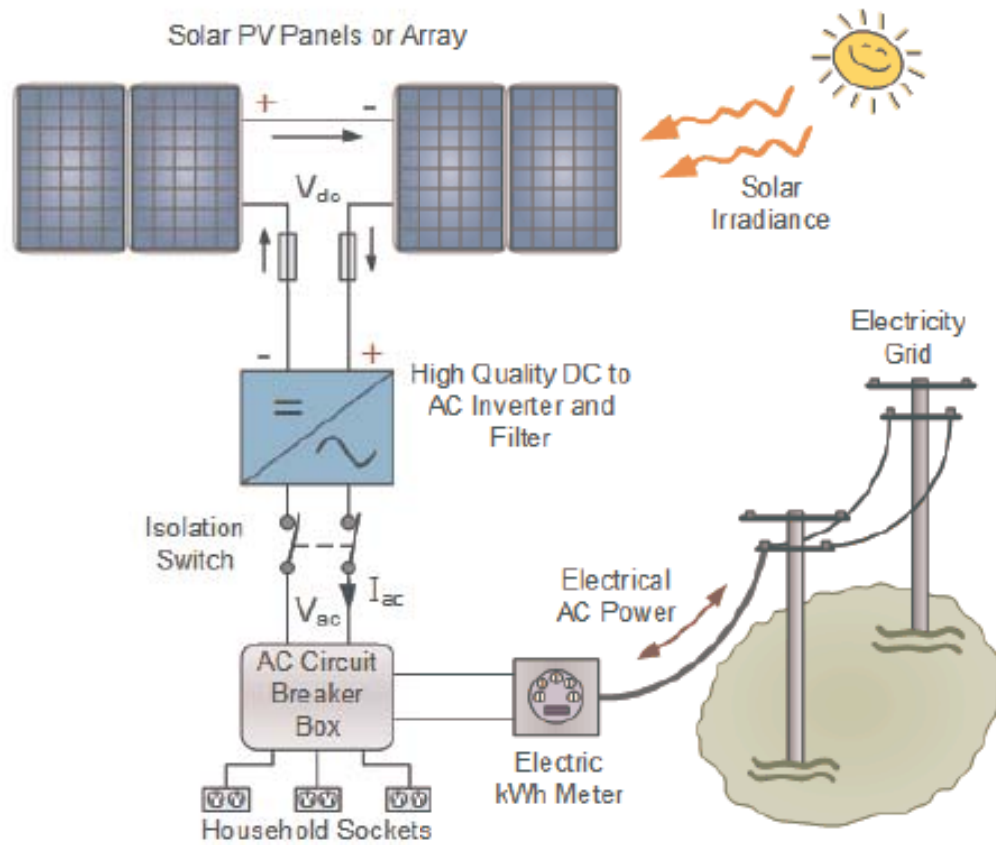


Рисунок 2.2 - Сполучена з мережею сонячна фотоелектрична система:

1 – сонячні панелі; 2 – інвертор; 3 – мережа; 4 – навантаження

Якщо протягом сонячного дня ваша сонячна фотоелектрична система виробляє більше електроенергії, ніж ви використовуєте або споживаєте, цей надлишок сонячної енергії повертається в комунальну мережу з ефектом обергання вашого електролічильника назад. Коли це станеться, місцева енергетична компанія, як правило, надасть вам кредити за кількість електроенергії, виробленої вашою фотоелектричною системою, підключеною до мережі [9].

Якщо протягом розрахункового періоду ви використовуєте або споживаєте більше електроенергії, ніж ви генеруєте, вам виставляється «чиста кількість» спожитої електроенергії, як зазвичай. Проте, якщо ви генеруєте більше сонячної енергії, ніж споживаєте, вам нараховується «чиста кількість» виробленої

електроенергії, що може бути або зменшенням вашого щомісячного рахунку за електроенергію, або позитивним погашенням безпосередньо вам або власнику рахунку.

Під час встановлення фотоелектричної системи, якщо ваша місцева електроенергетична компанія пропонує чистий облік, вам може знадобитися встановити новий другий лічильник електроенергії замість використання одного лічильника електроенергії, який обертається в обох напрямках. Цей новий лічильник дозволяє вимірювати чисте споживання енергії, як на вході, так і на виході з системи, і використовуватиметься для зменшення вашого рахунку за електроенергію. Однак кожна електроенергетична компанія має власну політику щодо викупу енергії, виробленої вашою власною маленькою сонячною електростанцією.

Хоча чистий облік є ідеальним способом перепродати вашу надлишкову електроенергію, вироблену сонячною енергією, деякі компанії викупувають енергію за нижчою оптовою ціною, ніж електроенергія, яку ви споживаєте від тієї ж енергетичної компанії. Це означає, що вам може знадобитися генерувати більше сонячної енергії, ніж ви зазвичай споживаєте, щоб отримати безбитковість.

Фотоелектричні системи, підключені до електромережі, завжди мають підключення до громадської електромережі через відповідний інвертор, оскільки фотоелектрична панель або масив (кілька фотоелектричних панелей) подають лише електроенергію постійного струму. Окрім сонячних панелей, додатковими компонентами фотоелектричної системи, підключеної до мережі, є:

Інвертор – є найважливішою частиною будь-якої системи, підключеної до мережі. Інвертор витягує якомога більше електроенергії постійного струму з фотоелектричної панелі та перетворює її в чисту мережеву електроенергію змінного струму правильної напруги та частоти для подачі в мережу або для живлення побутових навантажень.

Важливо вибрати інвертор найкращої якості з урахуванням дозволеного бюджету, оскільки основними міркуваннями при виборі інвертора, підключеного до мережі, є: Потужність – максимальна потужність високої та низької напруги, яку може витримувати інвертор, та ефективність – Наскільки ефективно інвертор перетворює сонячну енергію в змінний струм потужність.

Лічильник електроенергії – лічильник електроенергії, також званий лічильником кіловат-годин (кВт-год), використовується для реєстрації потоку електроенергії в мережу та з неї. Можна використовувати подвійні лічильники кВт-год, один для відображення спожитої електроенергії, а інший для реєстрації сонячної електроенергії, що надходить в мережу.

Єдиний двонаправлений лічильник кВт-год також можна використовувати для відображення чистої кількості електроенергії, взятої з мережі. Підключена до електромережі фотоелектрична система сповільнить або зупинить алюмінієвий диск у електролічильнику та може спричинити його обертання назад. Це зазвичай називають чистим вимірюванням.

Панель вимикача змінного струму та запобіжники – Панель вимикача або коробка запобіжників є звичайним типом коробки запобіжників, що забезпечується домашнім джерелом електроенергії та установкою, за винятком додаткових вимикачів для з'єднань інвертора та/або фільтра. Запобіжні вимикачі та кабелі – Фотоелектрична батарея завжди вироблятиме вихідну напругу під сонячним світлом, тому має бути можливість від'єднати її від інвертора для обслуговування або тестування. Роз'єднувальні вимикачі, розраховані на максимальну напругу постійного струму та струм масиву, і захисні вимикачі інвертора повинні бути окремо забезпечені легким доступом для відключення системи.

Інші засоби безпеки, яких вимагає електрична компанія, можуть включати заземлення та запобіжники. Електричні кабелі, які використовуються для з'єднання різних компонентів, також повинні мати відповідні номінальні характеристики та розмір.

Електромережа – нарешті, сама електрична мережа також повинна бути підключена, тому що без комунальної мережі це не підключена до мережі фотоелектрична система.

Система, підключена до мережі без акумуляторів, є найпростішою та найдешевшою установкою сонячної енергії, і оскільки не потрібно заряджати та обслуговувати батареї, вони також є більш ефективними. Важливо відзначити, що підключена до мережі сонячна енергосистема не є незалежним джерелом енергії на відміну від автономної системи. У разі припинення живлення від електромережі світло може зникнути, навіть якщо світить сонце. Один із способів подолати це — створити певну форму короткострокового накопичення енергії, вбудовану в конструкцію.

### 2.3 Резервні енергосистеми

Резервні сонячні системи використовують там, де є з'єднання з мережею централізованого електропостачання, але вона ненадійна. Резервні системи можуть використовуватись для електропостачання в періоди, коли немає напруги в мережі. Малі резервні сонячні системи електропостачання можуть використовуватися для освітлення, постачання енергією комп'ютера та зв'язку (телефон, радіо, факс тощо). Більші системи можуть постачати енергією та холодильник під час відключення мережі. Чим більша потужність, необхідна живлення відповідального навантаження, і що довше періоди відключення мережі, то більша потужність фотоелектричної системи необхідна. Якщо мережа є, система зазвичай працює як з'єднана з нею.

Система складається з сонячних панелей, контролера, акумуляторної батареї (АБ), кабелів, інвертора, навантаження та підтримуючої структури (рис. 2.3) [9].

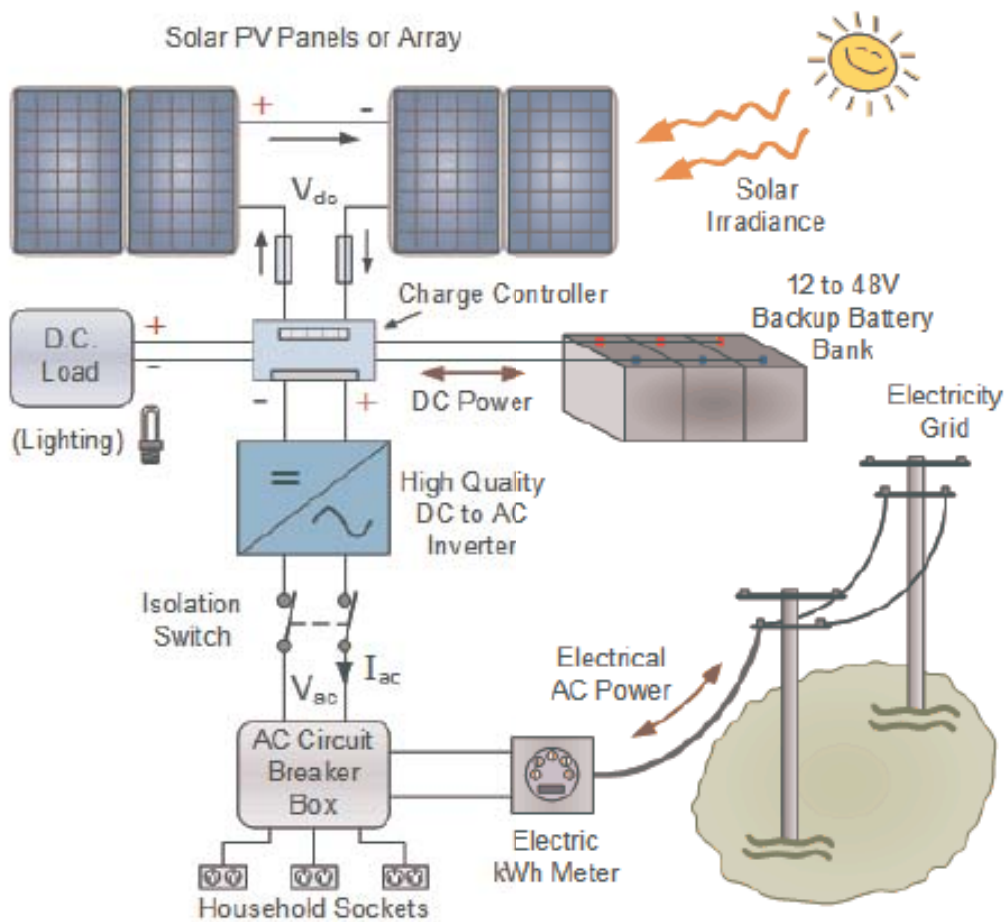


Рисунок 2.3 - Резервна система

## 2.5 Контролери заряду-розряду

Якщо необхідно збільшити вироблення енергії сонячними батареями без додавання сонячних панелей, потрібно замінити сонячний контролер на «Maximum Power Point Tracker» (MPPT) зі стеженням за точкою максимальної потужності (ТММ) сонячної батареї.

Типовий MPPT-контролер постійно відслідковує струм і напруга на сонячній батареї, перемножує їх значення та визначає пару струм-напруга, при яких потужність сонячної батареї буде максимальною. Вбудований процесор також стежить, на якій стадії заряду знаходиться акумуляторна батарея (наповнення, насичення, вирівнювання, підтримка) і на підставі цього визначає, який струм

повинен подаватися в неї. Одночасно процесор може давати команди на індикацію параметрів на табло (за наявності), зберігання даних тощо.

Крапка максимальної потужності може обчислюватися різними способами. Методи пошуку точки максимальної потужності (ТММ) також різні [10].

1) Зазвичай використовується метод "Perturb and Observe". Тобто проводиться періодичне повне сканування всієї вольт-амперної характеристики сонячної батареї (зазвичай раз на дві години), знаходиться ТММ, і до наступного повного сканування контролер шукає та обчислює коливання потужності сонячної батареї та зсуває робочу точку на нову напругу, якщо при ній потужність більша. Майже у всіх контролерах застосовується саме цей метод. Недоліком його вважається стала необхідність проводити вимірювання, під час яких генерація енергії від панелей переривається. Різні виробники підбирають параметри пошуку – глибину та частоту ітерацій, періодичність повного сканування, щоб найбільш оптимально відстежувати точку максимальної потужності сонячної батареї та отримувати оптимальну кількість енергії від Сонця.

2) Другий метод – «Scan and Hold». Після первинного сканування напруга встановлюється лише на рівні знайденої точки і до наступного повного сканування. Такий метод хороший там, де немає хмар та затінення панелей. Переваги – висока швидкість роботи, практично немає переривання генерації на виміри.

3) Третій метод - "Percentage of open circuit voltage". Заміряється напруга холостого ходу ( $U_{xx}$ ), і робоча точка вибирається на рівні ( $U_{xx} \cdot k$ ), де  $k$  може бути від 0 до 1 (за замовчуванням до дорівнює 0,8). Крапка тримається до наступного сканування. Такий метод хороший там, де немає хмар та затінення панелей. Переваги – висока швидкість роботи, практично немає переривання генерації на виміри.

4) Четвертий метод – жорсткий вибір робочої точки. Призначається будь-яку напругу, яку контролер підтримуватиме. Ніяких вимірів і обчислень він не робить, тобто працює постійно. Недолік - обрана напруга може бути далекою

від реальної ТММ. Однак, якщо точно відомо, при якій напрузі батарея виробляє максимальну потужність, і сонячна батарея працює завжди при ясному небі, то можна використовувати і цей метод. При запуску системи потрібно задати напругу, яку контролер підтримуватиме; воно обчислюється за параметрами конкретної сонячної батареї.

Положення ТММ залежить від освітленості панелей, температури, різноманітності панелей і т.д. Контролер періодично намагається трохи "відійти" від знайденої на попередній стадії точки в обидві сторони, і якщо потужність при цьому збільшується, він переходить на роботу в цій точці. Теоретично, при пошуку ТММ втрачається трохи енергії, але ця втрата дуже незначна, у порівнянні з додатковою енергією, яку забезпечує МРРТ-контролер. Кількість додатково отриманої енергії важко визначити однозначно. Основними факторами, що впливають на додаткове вироблення, є температура і рівень зарядженості акумуляторної батареї. Найбільша добавка до вироблення буде за низьких температур панелі та розряджених батарей (рис. 2.4).

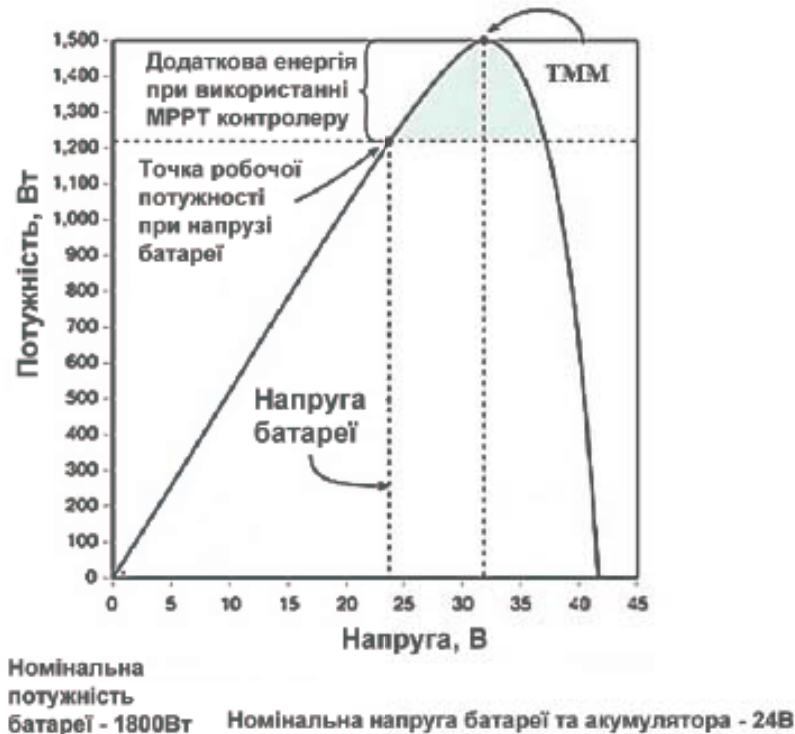


Рисунок 2.4 - Кількість додатково отриманої енергії під час використання МРРТ-контролера



Чим гарячіша сонячна панель, тим менша напруга, а значить, і вироблення енергії сонячною батареєю. У якісь моменти точка максимальної потужності може бути нижчою за напругу на АБ, і в цьому випадку немає жодного виграшу в порівнянні зі звичайним контролером. Це відбувається і при частковому затіненні сонячної батареї.

Поточна ціна MPPT-контролерів дозволяє ефективно їх застосовувати при потужності панелей від 100 Вт або нестандартному напрузі панелі.

### 3 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

Аналізуючи ринок сонячних панелей оптимальним вибором є панель Bluetti PV120, с технічними параметрами:

- Потужність: 120 Вт
- Напруга розімкнутого ланцюга ( $V_{oc}$ ): 24,4В
- Напруга в точці максимальної потужності – 19,04 В
- Показник ефективності на рівні 23,4%
- Струм короткого замикання: близько 6 А
- Розміри: 1652×533 мм
- Вага: 5,7 кг
- Параметри вимірянні за стандартних умов (освітленості 1000 Вт/м<sup>2</sup> та температурі 25 °С).

#### 3.1 Контролер зарядного пристрою

Для проектування локальної сонячної енергосистеми постійного струму на основі параметрів сонячної панелі було проведено аналіз існуючих рішень та обрано інтегрований контролер зарядного пристрою CN3791.

Мікросхема CN3791 є контролером зарядного пристрою для літій-іонних акумуляторів з постійним струмом і постійною напругою, який може живитися від фотогальванічного елемента з функцією відстеження точки максимальної потужності. У пристрої використовується схема, яка знижує напругу шляхом використання ШПМ. Струм заряду встановлюється зовнішнім чутливим резистором ( $R_{cs}$ ) між контактами CSP та BAT. Остаточна напруга регулювання батареї в режимі постійної напруги встановлена на рівні 4,2 В з точністю 1%.

Постійний зарядний струм дорівнює програмований з одним струмовимірювальним резистором. Глибоко розряджені акумулятори автоматично цівка заряджена на 17,5% повного струму поки напруга на комірці не перевищить 66,5% постійного напруга. Цикл заряду завершується, як тільки струм заряду падає до 16% від повного струму, і новий цикл заряджання автоматично перезапускається, якщо напруга батареї падає нижче 95,5% від норми напруга. CN3791 автоматично перейде в режим сну режим, коли вхідна напруга нижче, ніж батарея напруга. Інші функції включають блокування при зниженій напрузі, захист від перенапруги батареї; індикація стану. CN3791 доступний у компактному 10-контактному корпусі.

Функції мікросхеми CN3791:

- Відстеження максимальної потужності фотоелектричних елементів
- Широка вхідна напруга: від 4,5 до 28 В
- Повний контролер заряду для однокомпонентної літій-іонної батареї
- Струм заряду до 4А
- Висока частота перемикання ШІМ: 300 кГц
- Постійна напруга: 4,2 В±1%
- Струм зарядки програмується за допомогою резистора визначення

струму

- Автоматичне кондиціонування глибоко розряджених батарей
- Автоматичне поповнення
- Індикація стану зарядки
- Плавний старт
- Захист акумулятора від перенапруги
- Робоча температура навколишнього середовища -40 °С до +85 °С.

Призначення виводів показано на рис. 3.1, а типова схема підключення на рис. 3.2.

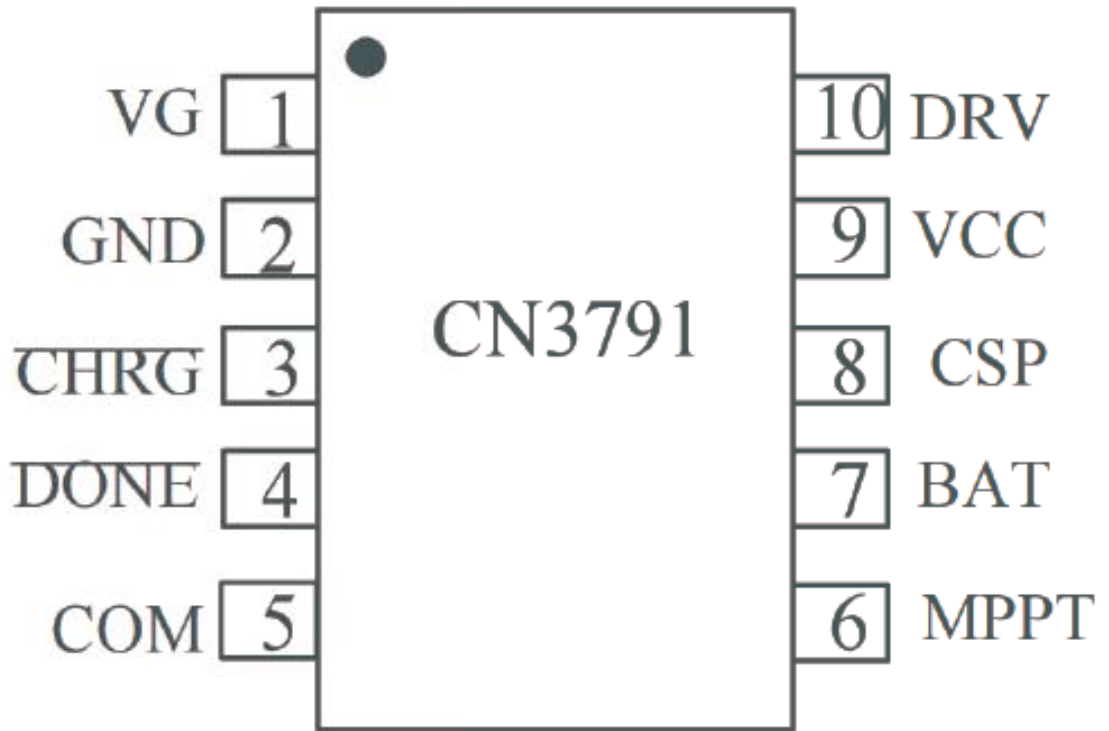


Рисунок 3.1 — Призначення виводів мікросхеми

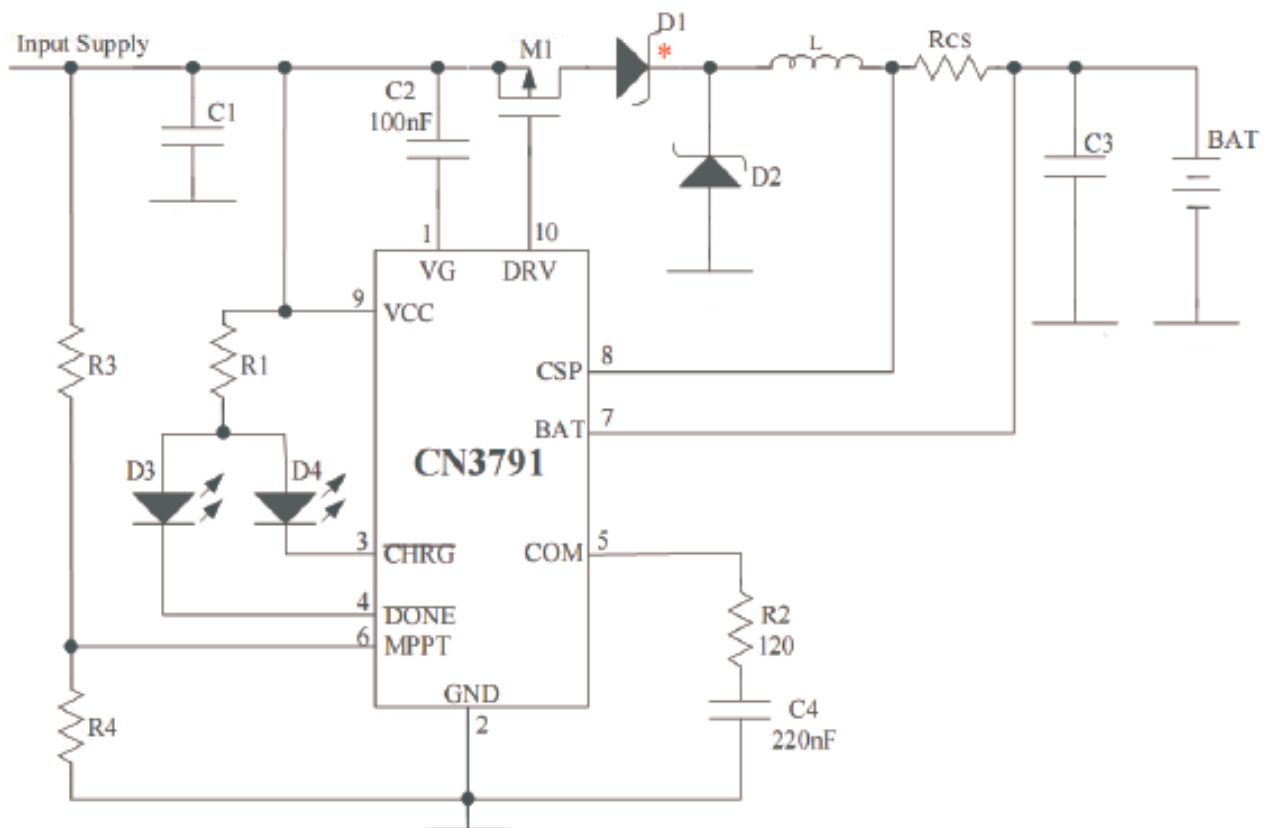


Рисунок 3.2 — Схема підключення від виробника

В таблиці 3.1 наведено дані про призначення виводів мікросхеми.

Таблиця 3.1 — Призначення виводів мікросхеми.

Вивод	Назва	Опис
1	VG	Внутрішній регулятор напруги VG внутрішньо подає живлення на драйвер затвора, підключіть конденсатор 100нФ між контактами VG та VCC.
2	GND	Загальний вивод.
3	CHRG	Вихід із відкритим стоком. Коли акумулятор заряджається, цей вивід замикається внутрішнім перемикачем. Інакше цей вивод перебуває у стані високого імпедансу.
4	DONE	Вихід із відкритим стоком. Коли заряджання припиняється, внутрішній перемикач перетворює цей контакт на низький рівень. Інакше цей вивод перебуває у стані високого імпедансу.
5	COM	Вхід компенсації контуру. Підключіть конденсатор 220 нФ послідовно з резистором 120 Ом від контакту до GND.
6	MPPT	Відстежує максимальну потужність фотогальванічного елемента. Підключіть цей контакт до дільника зовнішнього резистора, щоб відстежувати точку максимальної потужності. У стані відстеження точки максимальної потужності напруга на виведенні MPPT регулюється до 1,205 В (25°C) з температурним коефіцієнтом -0,4%/C.
7	BAT	Негативний вхід для вимірювання струму заряду. Виводи BAT та CSP вимірюють падіння напруги на чутливому резисторі Rcs для забезпечення необхідних струмових сигналів.
8	CSP	Позитивний вхід для виміру зарядного струму. Виводи CSP та BAT вимірюють падіння напруги на чутливому резисторі Rcs для забезпечення необхідних струмових сигналів.
9	VCC	Вхід зовнішнього джерела постійного струму. VCC також є джерелом живлення або внутрішнім ланцюгом. Зашунтуйте цей вивод конденсатором.
10	DRV	Управління затвором зовнішнього Р-канального MOSFET.

Абсолютні максимальні значення при використанні мікросхеми:

- Напруга від VCC, VG DRV, CHRG, DONE до GND від -0,3 до 30 В
- Напруга від CSP, BAT до GND від -0,3 до 28 В
- Температура зберігання - 65 °C - 150 °C
- Робоча температура навколишнього середовища - 40 °C --- 85 °C
- Температура свинцю (пайка, 10 секунд) 260 °C.

Цикл заряду починається, коли напруга на виводі VCC піднімається вище за  $V_{UVLO}$  і напруга батареї на  $V_{SLPR}$ , а напруга на виведенні MPPT перевищує 1,23 В. На початку циклу зарядки, якщо напруга акумуляторної батареї становить менше 66,5% від регульованої напруги ( $V_{REG}$ ), зарядний пристрій переходить у режим безперервного заряду. Струм безперервного заряду внутрішньо встановлений на 17,5% (типово) від повного струму. Коли напруга батареї перевищує 66,5% регульованої напруги, зарядний пристрій переходить у повномасштабний режим заряду постійним струмом. У режимі постійного струму струм заряду встановлюється зовнішнім чутливим резистором  $R_{CS}$  і внутрішньою опорною напругою 120 мВ, струм заряду дорівнює  $120 \text{ мВ}/R_{CS}$ . Коли напруга батареї наближається до регульованої напруги, зарядний пристрій переходить у режим постійної напруги, і струм заряду починає зменшуватися. Коли струм заряду падає до 16% від повного струму, цикл зарядки завершується, висновок DRV підтягується до VCC, а внутрішній компаратор відключає внутрішній N-канальний польовий МОП-транзистор зі зниженням напруги CHRГ. інший внутрішній N-канальний МОП-транзистор зі зниженням напруги на виводі DONE включається, щоб вказати стан завершення.

Щоб перезапустити цикл заряджання, просто зніміть та знову подайте вхідну напругу. Також новий цикл заряду почнеться, якщо напруга акумулятора впаде нижче за порогову напругу перезарядки 95,5% від регульованої напруги.

Мікросхема CN3791 використовує метод постійної напруги для відстеження точки максимальної потужності фотоелектричного елемента. Напруга MPPT регулюється до 1,205 В для відстеження точки максимальної потужності сонячної панелі.

За відсутності вхідної напруги зарядний пристрій автоматично переходить у режим сну, всі внутрішні ланцюги відключаються.

Компаратор перенапруги захищає від стрибків напруги перехідного процесу ( $>7\%$  напруги регулювання). У цьому випадку Р-канальні МОП-транзи-

стори відключаються доти, доки не буде усунено стан перенапруги. Ця функція корисна для скидання навантаження або раптового відключення батареї.

Профіль заряджання показаний на рис. 3.3.

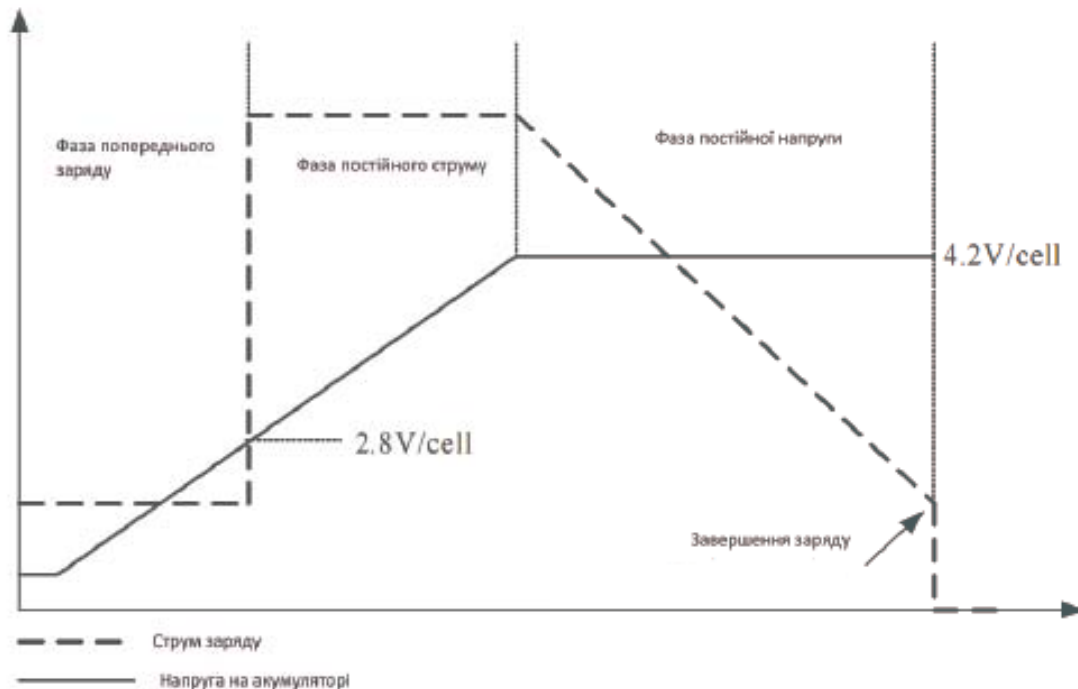


Рисунок 3.3 - Профіль зарядки

Основні розрахункові формули для різних режимів роботи.

CN3791 використовує метод постійної напруги для відстеження максимальної точки потужності фотоелектричного елемента. Згідно з вольт-амперною кривою фотоелектричного елемента, за заданої температури напруга фотоелектричного елемента в точці максимальної потужності є майже постійною, незалежно від різного освітлення. Таким чином, максимальну точку потужності можна відстежити, якщо вихідна напруга фотоелектричного елемента регулюється до постійної напруги.

Напруга контакту MPPT CN3791 регулюється до  $1,205\text{ В}$ , щоб відстежувати максимальну точку потужності, що працює з резисторним дільником поза мікросхемою (R3 і R4 на рис. 3.2).

Максимальна напруга в точці живлення визначається наступним рівнянням:

$$V_{\text{MPP}}=1,205 (1+R3/R4)$$

У режимі постійної напруги струм заряду зменшується поступово. Коли струм заряду зменшується до 16% від повного струму, зарядка припиняється, зовнішній Р-канальний MOSFET вимикається, струм заряду більше не подається до батареї.

Після завершення циклу заряджання, коли акумулятор і джерело живлення (настінний адаптер) все ще присутні, новий цикл заряджання розпочнеться, якщо напруга акумулятора впаде нижче 95,5% від нормативної напруги через саморозряд або зовнішнє навантаження. Це дозволить постійно підтримувати ємність акумулятора на рівні понад 80% без повторного запуску циклу заряджання вручну.

CN3791 має 2 виходи зі станом відкритого стоку: CHRG і DONE. Коли зарядний пристрій перебуває в стані заряджання, виход CHRG має низький рівень, інакше CHRG стає високим опором. Якщо зарядний пристрій перебуває в стані припинення заряду, вивод DONE має низький рівень, інакше DONE стає високим імпедансом.

Коли батарея відсутня, зарядний пристрій швидко заряджає вихідний конденсатор до напруги регулювання, потім напруга на виводі BAT повільно спадає до порогу перезаряду через низький струм витoku на виводі BAT, що призводить до пульсації на виводі BAT, в цей час контакт CHRG видає імпульс, який вказує на відсутність батареї.

У таблиці 3.2 наведено два статуси індикаторів і відповідний статус заряджання. Передбачається, що червоний світлодіод підключений до контакту CHRG, а зелений світлодіод підключений до контакту DONE.



Таблиця 3.2 — Стан індикаторів

Вивод CHRГ	Вивод DONE	Опис стану
Низький (червоний світлодіод горить)	Високий імпеданс (зелений світлодіод не горить)	Процес заряду
Високий імпеданс (червоний світлодіод не горить)	Низький (зелений світлодіод горить)	Припинення зарядки
Імпульс (червоний світлодіод блимає)	Імпульс (зелений світлодіод горить або блимає)	Батарея відсутня
Високий імпеданс (червоний світлодіод не горить)	Високий імпеданс (зелений світлодіод не горить)	Можливі 2 причини: • напруга на виводі VCC нижче рівня UVLO або • напруга на виводі VCC нижче VBAT

Повний струм заряду, а саме струм заряду в режимі постійного струму визначається за такою формулою

$$I_{CH} = 120\text{mV} / R_{CS}$$

де  $I_{CH}$  - повний струм заряду.

$R_{CS}$  – це резистор між виводом CSP та виводом BAT.

$$I_{CH} = 120\text{mV} / R_{CS} = 0.12 / 0.035 = 3.42\text{A}.$$

У режимі постійної напруги цикл заряду буде завершено, коли струм заряду знизиться до 9,5% повного струму.

Драйвер затвора CN3791 може забезпечувати високі перехідні струми для керування зовнішнім транзистором. Час наростання та спаду зазвичай становить 40 нс при навантаженні 2000 пФ, що типово для Р-канального польового МОП-транзистора з  $R_{ds(on)}$  у діапазоні 30 мОм.

Мікросхема має додатковий фіксатор напруги для обмеження керуючого сигналу до максимум 8В нижче VCC. Наприклад, якщо VCC дорівнює 20В, ви-

хідний сигнал на виводі DRV буде підтягуватися до мінімуму 12В. Це дозволяє використовувати низьковольтні Р-канальні MOSFET-транзистори з покращеним  $R_{ds(on)}$  як перемикаючий транзистор, що підвищує ефективність.

Щоб переконатися, що струмова петля і петля напруги стабільні, послідовно з'єднані керамічний конденсатор 220 нФ і резистор 120 Ом від контакту COM до GND.

Мікросхема CN3791 не надає функцію виявлення батареї. Коли батарея відсутня, зарядний пристрій швидко заряджає вихідний конденсатор до регульованої напруги, потім напруга на виводі BAT повільно знижується до порогового значення з-за низького витоку струму на виводі BAT, що призводить до появи коливання напруги на виводі BAT, в той же час пін CHRГ видає пульсації для позначення відсутності батареї. Загалом, не рекомендується підключати батарею, коли зарядний пристрій працює, інакше зарядний пристрій може перебувати в невизначеному стані або надавати значний початковий струм у батарею на короткий час.

Оскільки передбачається, що вхідний конденсатор (C1 на рис. 3.2) поглинає весь вхідний струм пульсацій перемикачів, він повинен мати відповідний номінальний пульсаційний струм.

Вибір вихідного конденсатора (C3 на рис. 3.2) в першу чергу визначається ESR, необхідним для мінімізації пульсацій напруги та стрибків навантаження. В результаті ємності C1 та C3 обираємо рівними 1000мкФ на 25В із серії з низьким ESR.

Під час роботи Р-канального МОП-транзистора струм дроселя збільшується, а під час вимкнення Р-канального МОП-транзистора пульсації струму дроселя збільшуються при меншій індуктивності та вищій вхідній напрузі. Вищі пульсації струму котушки індуктивності призводять до вищих пульсацій зарядного струму і більших втрат у сердечнику. Таким чином, струм пульсацій котушки індуктивності має бути обмежений у розумних межах.

Струм пульсації котушки індуктивності визначається за такою формулою:

$$\Delta I_L = (1/f L) V_{BAT} (1 - (V_{BAT}/V_{CC}))$$

де,

$f$  – частота перемикання 300 кГц

$L$  – значення індуктора

$V_{BAT}$  – напруга батареї.

$V_{CC}$  – вхідна напруга.

В результаті розрахунків  $\Delta I_L = 1.33A$  для індуктивності 6,8 мкГн.

Розумною відправною точкою для налаштування струму пульсації дроселя є  $\Delta I_L = 0,3 I_{CH}$ ,  $I_{CH}$  - зарядний струм = 3.42 А. Пам'ятайте, що максимальне значення  $\Delta I_L$  виникає при максимальній вхідній напрузі та найменшому значенні індуктивності. Таким чином, нижчий зарядний струм зазвичай потребує більшого значення індуктивності.

У той же час значення індуктора відповіє вимогам наступного рівняння:

$$L < 5 (V_{CC} - V_{BAT}) \text{ (мкГн)}$$

Таким чином, індуктивність обирається для струму 3.42 А рівною 6,8 мкГн, марка CLF12555, фірма TDK.

MOSFET для мікросхеми CN3791 повинен бути вибраний з урахуванням ефективності або розсіювання потужності зарядного кола, а також максимальної температури MOSFET. Максимальна вхідна напруга для керування встановлена внутрішньо і зазвичай складає 6.3 В. Отже, необхідно використовувати MOSFET зі значенням порогової напруги, сумісним з логічним рівнем. Також слід звернути увагу на специфікацію для MOSFET. Критерії вибору потужного MOSFET включають опір  $R_{ds(on)}$ , загальний заряд входу  $Q_g$ , обернену ємність передачі  $C_{RSS}$ , вхідну напругу та максимальний струм. Розсіювання потужності MOSFET при максимальному вихідному струмі можна оцінити за допомогою наступного рівняння:

$$P_d = (V_{BAT} / V_{CC}) R_{ds(on)} I_{CH}^2 (1 + 0.005 \, dT)$$

де:

$P_d$  - це розсіювана потужність потужного MOSFET

$V_{BAT}$  - максимальна напруга батареї

$V_{CC}$  - мінімальна вхідна напруга

$R_{ds(on)}$  - опір увімкнення потужного MOSFET при кімнатній температурі

$I_{CH}$  - струм заряду

$dT$  - різниця температур між фактичною температурою навколишнього середовища та кімнатною температурою (25 °C).

Поміж втратами  $I^2 R_{ds(on)}$ , у потужному MOSFET все ще є втрати переходу, які найбільші при найвищій вхідній напрузі. Загалом, для  $V_{IN} < 20V$  втрати  $I^2 R_{ds(on)}$  можуть бути переважаючими, тому для кращої ефективності слід вибрати MOSFET з меншим значенням  $R_{ds(on)}$ ; для  $V_{IN} > 20V$ , втрати переходу можуть бути переважаючими, тому MOSFET з меншим значенням  $C_{RSS}$  може забезпечити кращу ефективність.  $C_{RSS}$  зазвичай вказується в характеристиках MOSFET; якщо немає, то  $C_{RSS}$  можна обчислити за допомогою формули  $C_{RSS} = Q_{GD} / \Delta V_{DS}$ . Для даної розробки обираємо MOSFET Fairchild FDS4435.

Діоди D1 і D2 на рис. 3.2 - це діоди Шотки, струм діодів повинен бути не менше зарядного струму, напруга діода повинна перевищувати максимально очікувану вхідну напругу. Потужний діод, який значно перевищує ці значення, може призвести до більших втрат потужності через його більшу ємність переходу.

Діод D1 на рис. 3.2 використовується як блокуючий діод для запобігання зворотному витоку струму батареї до  $V_{CC}$ , коли відсутнє вхідне живлення. Навіть без D1, CN3791 споживає лише приблизно 30 мкА струму від батареї ( $V_{BAT} = 4,2 V$ ), тому діод D1 може бути вилучений, якщо 30 мкА струму від батареї не є важливим фактором.

Діоди Шотки обрані марки SB1045L з параметрами: напруга 45В, середній струм 10А.

### 3.2 Моделювання роботи контролеру

Аналіз електронних пристрою як у стаціонарному, так і в перехідному режимах проводився за допомогою безкоштовно доступної програми Micro-Cap 12. Це програмне забезпечення дозволяє моделювати електронні схеми та може проводити різні типи аналізів.

Для моделювання будемо використовувати модель силової частини, яка показана на рис. 3.4. Результати моделювання показані на рис. 3.5.

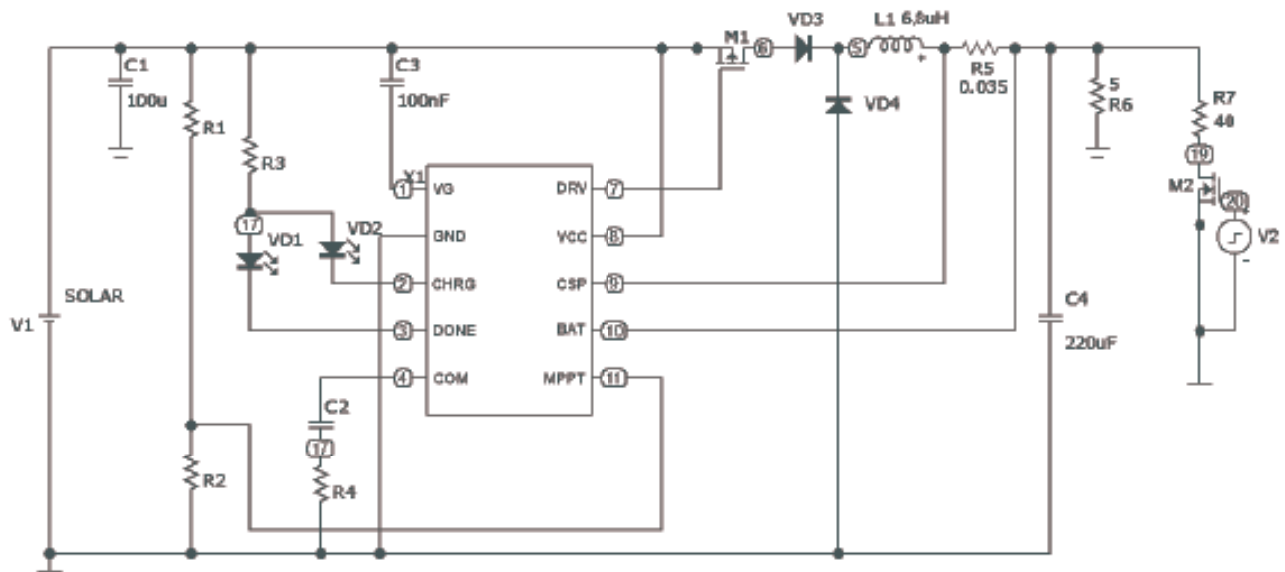


Рисунок 3.4 — Схема для моделювання

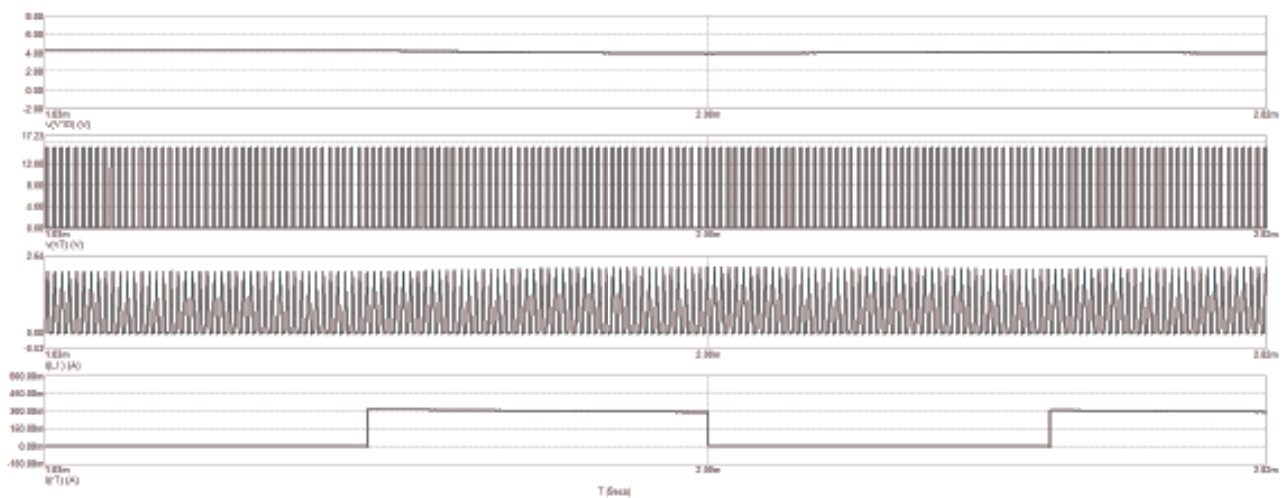


Рисунок 3.5 — Результати моделювання

На нижньому графіку рис. 3.5 показано роботу змінного навантаження, яке реалізовано у вигляді керуючого джерела і транзистора, який у потрібні моменти підключає додаткове навантаження.

Результати моделювання показали правильність розрахунків номіналів елементів схеми. Вихідна напруга після старту моделювання становить 4.2В при піковому струмі 2,5А.

## 4 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Програмне забезпечення для систем автоматизованого проектування

На сьогоднішній день існує велика кількість компаній, які пропонують програмне забезпечення для автоматизованого проектування електронних пристроїв (САПР). Однією з таких програм є DipTrace, яка відрізняється доступною ціною та широкими можливостями. DipTrace надає безкоштовну ліцензію для проектування двошарових плат. За допомогою DipTrace можна створювати принципові схеми та друковані плати. Програма включає чотири основні компоненти: Schematic (розробка принципових схем), PCB Layout (розводка плат, як вручну, так і автоматично), ComEdit (редактор корпусів) та SchemEdit (редактор компонентів).

Основні функції DipTrace включають:

- Редактор плат: з використанням потужного автотрасувальника, зручного ручного трасування та системи позиціонування компонентів.
- Редактор схем: з можливістю створення схем з ієрархією та необмеженою кількістю аркушів. Можливість експорту до редактора плат, списку мереж (netlist) або симулятора.
- Редактори компонентів і корпусів: для створення власних бібліотек.
- Стандартні бібліотеки: включають понад 100 000 компонентів.
- 3D-попередній перегляд: дозволяє переглядати тривимірну модель плати. В програму входить понад 2,5 тисячі 3D-моделей корпусів.
- Імпорт/експорт: можливість імпортувати схеми, плати та бібліотеки з програм, таких як P-CAD, PADS та інших популярних програм. Експорт у формати P-CAD, Gerber та інші дозволяє підготувати плати для будь-якого виробництва.

Український інтерфейс, довідка, підручник і приклади: допоможуть швидко освоїти та ефективно користуватися програмою.

Програма DipTrace є потужним інструментом для проектування плат у сфері електроніки та САПР, і забезпечує широкі можливості для створення проектів на різних рівнях складності. [11].

#### 4.2 Технологія виготовлення плати друкованої

Друкована плата є плоскою ізоляційною основою, на якій розташовані металеві струмопровідні смужки (провідники) згідно з електричною схемою. Використання друкованих плат дозволяє спростити монтаж апаратури і уникнути помилок, оскільки розташування провідників і отворів для монтажу однакове на всіх платах з однієї схеми. Використання друкованих плат також сприяє зменшенню розмірів апаратури, поліпшенню відведення тепла, зниженню металоємності та має інші конструктивно-технологічні переваги порівняно з об'ємним монтажем.

Виготовлення друкованих плат відбувається на спеціально обладнаній виробничій ділянці. Для створення друкованих плат використовуються наступні технології і матеріали:

- Фотошаблони: спеціальні плівки, на яких нанесені маски для експонування світлу.
- Чутливі шари: розчини або плівки, які реагують на світло та фіксують зображення шаблону на поверхні плати.
- Хімічні розчини: використовуються для етапів фоторезисту, етчингу (видалення непотрібних металевих шарів) та інших процесів.
- Матеріали для підкладки: наприклад, епоксидна смола або фіберглас, які утворюють основну структуру друкованої плати.
- Металеві шари: зазвичай мідь, яка наноситься на ізольовану підкладку і формує струмопровідні шляхи.

Ці технології та матеріали дозволяють створювати якісні та функціональні друковані плати для електронних пристроїв.



Залежно від кількості шарів з електропровідним рисунком, друковані плати поділяють на:

- односторонні (ОДП; є тільки один шар фольги);
- двосторонні (ДДП; два шари фольги);
- багатошарові (БДП; фольга не тільки на двох сторонах плати але і у внутрішніх парах діелектрика), які застосовуються у випадках, коли розводка сполук на двосторонній платі стає занадто складною.

Залежно від умов експлуатації вибирається марка матеріалу ДП. Зазвичай ДП розробляються простій прямокутної форми, конфігурацію, що відрізняється від прямокутної, застосовують в технічно-обґрунтованих випадках.

Процес виготовлення друкованої плати можна умовно розділити на п'ять основних етапів:

- попередня підготовка заготовки (очищення поверхні, знежирення);
- нанесення тим чи іншим способом захисного покриття;
- видалення зайвої міді з поверхні плати (травлення);
- очищення заготовки від захисного покриття;
- сверловка отворів, покриття плати флюсом, лудіння.

1. Попередня підготовка заготовки є початковим етапом і полягає в підготовці поверхні майбутньої друкованої плати до нанесення на неї захисного покриття. У цілому за тривалий проміжок часу технологія очищення поверхні не зазнала скільки-небудь значних змін. Весь процес зводиться до видалення окислів і забруднень з поверхні плати з використанням різних абразивних засобів і подальшого знежирення шкіри.

2. Нанесення захисного покриття є найважливішим етапом у процесі виготовлення друкованих плат, і саме їм на 90% визначається якість виготовленої плати. Найбільш популярними є три способи нанесення захисного покриття.

Застосування фоторезистів. Фоторезистом називається чутлива до світла речовина, яка під впливом освітлення змінює свої властивості. Сутність застосування фоторезиста полягає в наступному: на плату з нанесеним на неї

шаром фоторезисту накладається фотошаблон і виробляється її засвітка, після чого засвічені (або незасвічені) ділянки фоторезисту змиваються спеціальним розчинником, в якості якого зазвичай виступає їдкий натр (NaOH). Всі фоторезисти діляться на дві категорії: позитивні та негативні. Для позитивних фоторезистів доріжці на платі відповідає чорна ділянка на фотошаблоні, а для негативних, відповідно, прозора. Найбільшого поширення набули позитивні фоторезисти як найбільш зручні в застосуванні.

Після нанесення шару фоторезисту необхідно провести процес висушування плівки. Рекомендується виконувати це при температурі 70-80 градусів, причому першочергово рекомендується почати підсушування при невеликій температурі, поступово підвищуючи її до необхідного значення. Зазвичай час сушіння при такій температурі складає приблизно 20-30 хвилин. У випадку потреби можна також сушити плату при кімнатній температурі протягом 24 годин. Плати з нанесеним фоторезистом слід зберігати в темному та прохолодному місці.

Наступним дією після нанесення фоторезисту є експонування. При цьому на плату накладається фотошаблон (бажано стороною друку до плати: це сприяє збільшенню чіткості при експонуванні), який притискається тонким склом або шматком плексигласу. При досить невеликих розмірах плат для притиску можна використовувати кришку від коробки компакт-диска або відміту від емульсії фотопластинку. Оскільки область максимуму спектральної чутливості більшості сучасних фоторезистів припадає на ультрафіолетовий діапазон, для засвічення бажано використовувати лампу з великою часткою УФ-випромінювання в спектрі (ДРШ, ДРТ та інш.). У крайньому випадку, можна використовувати потужну ксенонову лампу. Час експонування залежить від багатьох причин (тип і потужність лампи, відстань від лампи до плати, товщина шару фоторезиста, матеріал притискного покриття тощо) і підбирається експериментально. Проте в цілому час експонування становить зазвичай не більше 10 хвилин навіть при експонуванні під прямими сонячними променями.

Прояв більшості фоторезистів здійснюється розчином їдкого натру (NaOH) - 7 грамів на літр води. Краще всього використовувати свіжоприготований розчин, що має температуру 20-25 градусів. Час прояву залежить від товщини плівки фоторезисту і знаходиться в межах від 30 секунд до 2 хвилин. Після прояви плати можна піддавати травленню в звичайних розчинах, оскільки фоторезист стійкий до впливу кислот. При використанні якісних фотошаблонів застосування фоторезисту дозволяє отримати доріжки шириною аж до 0,15-0,2 мм.

3. При видалення зайвої міді з поверхні плати відомо багато складів для хімічного травлювання. Всі вони відрізняються швидкістю протікання реакції, складом речовин, що виділяються в результаті реакції, а також доступністю необхідних для приготування розчину хімічних реактивів.

Найбільш популярні розчини для травлення:

- Хлорне залізо ( $\text{FeCl}_3$ ) - мабуть, найвідоміший і найпопулярніший реактив. Сухе хлорне залізо розчиняється у воді до тих пір, поки не буде отриманий насичений розчин золотисто-жовтого кольору (для цього потрібно близько двох столових ложок на склянку води). До недоліків даного розчину слід віднести освіту в процесі реакції відходів, які осідають на платі і перешкоджають нормальному протіканню процесу травлення, а також порівняно низьку швидкість реакції.

- Персульфат амонію - світла кристалічна речовина, розчиняється у воді виходячи зі співвідношення 35 г речовини на 65 г води. До недоліків цього розчину відноситься необхідність підтримання необхідного температурного режиму і перемішування.

- Розчин соляної кислоти ( $\text{HCl}$ ) і перекису водню ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Для приготування цього розчину необхідно до 770 мл води додати 200 мл 35% соляної кислоти і 30 мл 30% перекису водню. Готовий розчин повинен зберігатися в темній пляшці, не закритим герметично, тому що при розкладанні перекису водню виділяється газ. Увага: при використанні даного розчину необхідно дотримувати-

ся всіх запобіжних заходів при роботі з їдкими хімічними речовинами. Всі роботи необхідно проводити тільки на свіжому повітрі або під витяжкою. При попаданні розчину на шкіру її необхідно негайно промити великою кількістю води. Недоліком даного розчину є необхідність суворого дотримання при роботі з ним усіх заходів обережності.

#### 4. Очищення заготовки, сверловка, нанесення флюсу, лудіння.

Після завершення травлення і промивання плати необхідно очистити її поверхню від захисного покриття. Зробити це можна яким-небудь органічним розчинником, наприклад, ацетоном.

Далі необхідно просвердлити всі отвори. Найзручніше для свердління плат використовувати електродвигуни типу ДПМ-35Н і їм подібні з насадженим на їх вал невеликим цанговим патроном. Після свердловки потрібно обробити отвори: видалити всі щербини і задирки. Зробити це можна наждачним папером.

Наступним етапом є покриття плати флюсом з подальшим лудінням. Можна використовувати спеціальні флюси промислового виготовлення (найкраще змивані водою або взагалі не потребують змивання) або просто покрити плату слабким розчином каніфолі в спирті. Лудіння можна проводити двома способами: зануренням в розплав припою або за допомогою паяльника і металевого обплетення, просоченої припоєм. У першому випадку необхідно виготовити залізну ванночку і заповнити її невеликою кількістю сплаву Розі або Вуда. Розплав повинен бути повністю покритий зверху шаром гліцерину щоб уникнути окислення припою. Для нагрівання ванночки можна використовувати перевернутий праску або електроплитку. Плата занурюється в розплав, а потім виймається з одночасним видаленням надлишків припою ракелем з твердої гуми.

На цьому процес виготовлення друкованої плати вважається закінченим і можна приступати до монтажу елементів на ній.

Вихідним параметром при конструюванні друкованих плат є крок координатної сітки. За допомогою координатної сітки регламентуються основні геометричні розміри друкованих плат. Як правило, центри всіх видів отворів на друкованих платах розташовуються у вузлах координатної сітки. Її основний крок 2.5 мм, додатковий - 0.635 мм. При компонованні друкованої плати прагнуть досягти максимального заповнення її поверхні навісними елементами і розмістити їх так, щоб забезпечити найкоротші зв'язки між ними, що виконуються друкованими провідниками. Розміри визначаються відомчими нормативами і ДСТУ. За даними цих документів максимальний розмір друкованої плати не повинен перевищувати 240x360 мм. Перевага при розробці віддається малогабаритним платам, так як великогабаритні друковані плати мають малу механічну міцність і складні у виготовленні.

Товщина плати, зазвичай, відповідає товщині фольгованого діелектрика і вибирається залежно від вимог, що ставляться до конструкції виробу, методу виготовлення плати, ваги і розмірів встановлюваних елементів, і зазвичай не перевищує 3 мм. Контактна площадка є посередником між отвором, в який вставляється вивід елемента, і друкованим провідником.

Для важких елементів (наприклад, трансформаторів) або елементів, які піддаються механічним впливам (тумблери, потенціометри, налаштовувальні конденсатори), передбачено спеціальні утримувачі. Ці утримувачі забезпечують механічне закріплення відповідних елементів на платі і запобігають обриву або поломці виводів під впливом механічних навантажень.

У разі необхідності, додаткове кріплення корпусів елементів до плати може бути здійснене шляхом застосування прив'язок, клею, хомутів, скоб або інших утримувачів. Рекомендується починати установку елементів на друковані плати з менших за розмірами. Кожен елемент розміщується таким чином, щоб його виводи виходили через відповідні монтажні отвори. [12].

### 4.3 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

При розробці, проектуванні та виробництві пристрою для оптимального відбору потужності від сонячної панелі необхідно враховувати наступні потенційно небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- Обмежена освітленість робочої зони, що може вплинути на видимість та точність роботи.

- Ризик ураження електричним струмом при роботі з електричними компонентами.

- Підвищений рівень шуму, який виникає від установки штучної вентиляції, паяльної станції та комп'ютера, що може створити незручності та вплинути на здоров'я.

- Наявність шкідливих речовин у повітрі робочої зони, що утворюються під час пайки, таких як параами етилового спирту, які можуть бути небезпечними при вдиханні.

- Наявність пилу та мікрочасток стеклотекстоліту, що виникають під час механічної обробки друкованої плати, що може вплинути на якість повітря та потребує використання захисних засобів.

- Підвищена температура при роботі з паяльниками та паяльними станціями, що може призвести до опіків або незручностей при довготривалому контакті з нагрівальними елементами.

- Вплив шкідливих факторів від моніторів ПК, таких як випромінювання, яке може вплинути на зорову систему та загальний стан здоров'я.

Відповідно до складального креслення в якості припою використовується олов'яно-свинцевий припій, а як флюс використовується безкислотний флюс. Для видалення залишків флюсу застосовується етиловий спирт.

Свинець є надзвичайно небезпечною речовиною (клас 1), відповідно до [13]. ГДК у повітрі робочої зони  $0,01\text{мг/м}^3$ . Олово є речовиною помірковано не-

безпечним (клас 3). ГДК у повітрі робочої зони 10 мг/м<sup>3</sup>. Спирт етиловий є мало-небезпечною речовиною (клас 4). ГДК у повітрі робочої зони 10 мг/ м<sup>3</sup>.

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

Шум може тимчасово стимулювати або постійно пригнічувати психічні процеси в організмі людини. Він не лише погіршує самопочуття та знижує продуктивність праці на 1-15%, але часто спричиняє професійні захворювання. Інтенсивний щоденний шум повільно й незворотно впливає на незахищений орган слуху та призводить до розвитку нейросенсорної втрати слуху.

Робота за комп'ютером супроводжується підвищеним напруженням зору, інтенсивністю та монотонністю праці, збільшенням статичних навантажень, нервово-психічним напруженням та впливом різних видів випромінювань. Це може спричиняти професійні захворювання, такі як передчасна втома, погіршення зору, м'язові і головні болі, психічні та нервові розлади, захворювання серцево-судинної системи, онкологічні захворювання та інші.

#### 4.4 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Працівники, які займаються роботою в лабораторії, повинні проходити навчання з правил безпеки. Кожен новозаручений працівник також має пройти інструктаж з протипожежної безпеки.

Для зменшення рівня шуму використовуються методи звукоізоляції та звукопоглинання. Звукоізоляційні кожухи, екрани, стіни та перегородки виготовляються з щільних твердих матеріалів, які мають властивість запобігати поширенню звукових хвиль (наприклад, метал, пластмаса, бетон, цегла). Звукопоглинаючими матеріалами є поліуретан, мінеральна вата, супертонке скловолокно, пористий бетон, перфоровані гіпсові плити (наприклад, акмігран) та інші, які мають коефіцієнт звукопоглинання  $\alpha > 0,2$ . Зазвичай використовують комбінацію звукопоглинаючих та звукоізолюючих матеріалів.

Природне освітлення повинно доповнюватися штучним. Штучне освітлення у приміщеннях з ЕОМ здійснюється у вигляді комбінованої системи з використанням люмінесцентних джерел світла у світильниках загального освітлення, які розташовують над робочими поверхнями у рівномірно-прямокутному порядку. Пульсація люмінесцентних ламп не повинна перевищувати 10 %. Вікна бажано розміщувати з одного боку робочих приміщень.

Для нормалізації повітря у виробничому приміщенні разом з природною вентиляцією застосовується механічна вентиляція. В даному випадку – припли-



вно-втяжна вентиляція, призначена для видалення з приміщення нагрітого і забрудненого повітря. Необхідно надати можливість індивідуального регулювання роздачі повітря в приміщеннях шляхом встановлення кондиціонерів.

Медичні профілактичні заходи:

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

#### 4.5 Електробезпека

Живлення електроприладів усередині лабораторії здійснюється від трьохфазної мережі з заземленою нейтраллю напругою 220 В і частотою 50Гц із використанням автоматів токового захисту. У приміщенні застосована схема заземлення [14].

В аналізованому приміщенні використовуються наступні типи електроустаткування:

- паяльники;
- персональний комп'ютер;
- елементи місцевого освітлення;
- система вентиляції.

В приміщенні лабораторії сухо, без підвищеної температури і відповідно з [15] вона відноситься до класу приміщень без підвищеної небезпеки поразки персоналу електричним струмом, оскільки відносна вологість повітря не перевищує 75%, температура не більш 35 °С, відсутні хімічно агресивні середовища.

У розглянутому приміщенні електропроводка схована, проведена в прорізах під штукатуркою на висоті 2 м. Силові провідники, які з'єднують між собою ПК із системним блоком і принтером мають подвійну ізоляцію. Штепсельні розетки встановлені на висоті одного метра від підлоги. Вимикачі на стінах розташовані на висоті 1,75 метра від підлоги з боку ручки для відкривання дверей.

Корпус дисплея, клавіатури, принтера і калькулятора виготовлений зі спеціального матеріалу удароміцного пластику, що робить поразку електричним струмом людини, при дотику до них практично неможливим. Тобто, спеціальних заходів для електробезпечності застосовувати не потрібно.

Для зменшення небезпеки ураження струмом пропонується встановлення захисне заземлення металевих не струмопровідних частин електричного обладнання. Захисна функція полягає в тому, що сила струму, що буде проходити по тілу людини буде безпечної величини тому, що опір заземлення дуже малий порівняно з опором людини.

Отже, для виконання захисної ролі заземлюючі пристрої повинні мати дуже малий опір. Відповідно до ПУЕ допустимий опір заземлюючих пристроїв має бути не більший за 4 Ом. Заземлення і занулення не завжди гарантує безпеку людей від ураження струмом. Для захисту використовують захисне відключення, яке забезпечує автоматичне відключення електроустановки при виникненні в ній небезпеки ураження людини струмом. Цей вид захисту спрацьовує за  $0,1 - 0,05\text{с}$ , а занулення  $0,2\text{с}$  і більше.

Необхідно проводити своєчасну перевірку ізоляції електричного обладнання, пошкодження якої при певних умовах може призвести до ураження людини електричним струмом.

В даному приміщенні не допускається розміщення відкритих струмопровідних частин.

#### 4.6 Пожежна безпека лабораторії

Згідно з [16] будинок, де знаходиться лабораторія відноситься до категорії Д за вибухопожежної та пожежною небезпекою.

Ймовірні причини пожеж в лабораторії:

1. коротке замикання проводки;
2. користування побутовими електро радіо приладами;

### 3. недотримання умов протипожежної безпеки.

У зв'язку з цим необхідно передбачити наступні заходи щодо пожежної безпеки:

- улаштуванням протипожежних перепон у будівлях, системах вентиляції, опалювальних та кабельних комунікаціях;
  - спорудженням протидимного захисту;
  - ретельна ізоляція всіх струмоведучих провідників до робочих місць;
- періодичний огляд і перевірка ізоляції;

суворе дотримання норм протипожежної безпеки на робочому місці.

Приміщення обладнане двома пожежними датчиками типу ДТЛ, (площа, що захищається,  $2 \times 15 = 30 \text{ м}^2$ ). Така кількість датчиків відповідає нормам розміщення згідно ДБН, тому що площа, що захищається датчиком ДТЛ складає  $15 \text{ м}^2$ , два датчика захищають площу приміщення  $30 \text{ м}^2$ , а площа приміщення лабораторії складає  $20 \text{ м}^2$ .

Рекомендується улаштування в відділі збірки порошкового вогнегасника ОП-3(з), який призначений для гасіння загорання твердих, рідких речовин, а також для гасіння електрообладнання, яке знаходиться під напругою до 1000 В.

У приміщенні також мається план евакуації на випадок виникнення пожежі. Час евакуації відповідає вимозі, а максимальне видалення робочих місць від евакуаційних виходів відповідає [16].

#### 4.7 Розрахунок захисного заземлення

Розрахунок заземлення проводиться для того щоб визначити опір споруджуваного контуру заземлення при експлуатації, його розміри і форму. Як відомо, контур заземлення складається з вертикальних заземлювачів, горизонтальних заземлювачів і заземлюючого провідника. Вертикальні заземлювачі забиваються в ґрунт на певну глибину [17].

Горизонтальні заземлювачі з'єднують між собою вертикальні заземлювачі. Заземлювальний провідник з'єднує контур заземлення безпосередньо з електрощитом.

Розміри і кількість цих заземлювачів, відстань між ними, питомий опір ґрунту - всі ці параметри безпосередньо залежать на опір заземлення.

Заземлення служить для зниження напруги дотику до безпечної величини. Завдяки заземленню небезпечний потенціал йде в землю тим самим, захищаючи людину від ураження електричним струмом.

Величина струму стікання в землю залежить від опору заземлюючого контуру. Чим опір буде менше, тим величина небезпечного потенціалу на корпусі пошкодженої електроустановки буде менше.

Заземлювальні пристрої повинні задовольняти покладених на них певним вимогам, а саме величини опір розтікання струмів і розподілу небезпечного потенціалу.

Тому основний розрахунок захисного заземлення зводиться до визначення опору розтікання струму заземлювача. Це опір залежить від розмірів і кількості заземлюючих провідників, відстані між ними, глибини їх закладення і провідності ґрунту [17].

Залежно від що дозволяє площі і зручності монтажу заземлення стрижні можна розміщувати в ряд, або у вигляді який не будь фігури (трикутник, квадрат і т.інш.).

Основною метою розрахунку заземлення є визначити число заземлюючих стрижнів і довжину смуги, яка їх з'єднує.

Вихідні дані для розрахунку пристрою заземлення:

- опір заземлювального пристрою розтіканню струму - не більше 4 Ом;
- вид ґрунту - торф;
- кліматична зона - 1;
- розташування вертикальних заземлюючих електродів – по контуру.

Опір розтікання струму одного вертикального заземлювача (стержня):

$$R_0 = \frac{\rho_{\text{ekv}}}{2\pi L} \left( \ln\left(\frac{2L}{d}\right) + 0.5 \ln\left(\frac{4T+L}{4T-L}\right) \right)$$

де -  $\rho_{\text{ekv}}$  - еквівалентний питомий опір ґрунту, Ом·м;

L - довжина стержня, L=6 м;

d - його діаметр, d=0.01 м;

T - відстань від поверхні землі до середини стрижня, м.

У разі установки заземлювального пристрою в неоднорідний ґрунт (двошаровий), еквівалентний питомий опір ґрунту знаходиться за формулою:

$$\rho_{\text{ekv}} = \frac{\psi \cdot \rho_1 \cdot \rho_2 \cdot L}{(\rho_1(L-H+t_g) + \rho_2(H-t_g))}$$

де  $\Psi$  - сезонний кліматичний коефіцієнт =2 (табл. 4.1);

$\rho_1, \rho_2$  - питомий опору верхнього і нижнього шару ґрунту відповідно,  $\rho_1 = \rho_2 = 25$  Ом·м;

H - товщина верхнього шару ґрунту, H =1м;

$t_g$  - заглиблення вертикального заземлювача (глибина траншеї)  $t_g = 0.7$  м.

Так як питомий опір ґрунту залежить від його вологості, для стабільності опору заземлювача і зменшення на нього впливу кліматичних умов, заземлювач розміщують на глибині не менше 0.7 м.

Заглиблення горизонтального заземлювача можна знайти за формулою:

$$T = \left(\frac{L}{2}\right) + t_g$$

Монтаж і установку заземлення необхідно проводити таким чином, щоб заземлюючий стрижень пронизував верхній шар ґрунту повністю і частково нижній.

Таблиця 4.1 - Значення сезонного кліматичного коефіцієнта опору ґрунту

Тип заземлюючих електродів	кліматична зона			
	I	II	III	IV
Стрижневий (вертикальний)	1.8 ÷ 2	1.5 ÷ 1.8	1.4 ÷ 1.6	1.2 ÷ 1.4
Смуговий (горизонтальний)	4.5 ÷ 7	3.5 ÷ 4.5	2 ÷ 2.5	1.5
Кліматичні ознаки зон				
Середня багаторічна нижча температура (січень)	от -20 до +15	от -14 до +10	от -10 до 0	от 0 до +5
Середня багаторічна вища температура (липень)	от +16 до +18	от +18 до +22	от +22 до +24	от +24 до +26

$$T = \left(\frac{6}{2}\right) + 0.7 = 3.7$$

$$\rho_{ekv} = \frac{2 \cdot 25 \cdot 25 \cdot 6}{(25(6 - 1 + 0.7) + 25(1 - 0.7))} = 50$$

$$R_0 = \frac{50}{6,28 \cdot 6} \left( \ln\left(\frac{2 \cdot 6}{0.01}\right) + 0.5 \ln\left(\frac{4 \cdot 3.7 + 6}{4 \cdot 3.7 - 6}\right) \right) = 10 \text{ Ом}$$

Кількість стрижнів заземлення без урахування опору горизонтального заземлення знаходиться за формулою:

$$n_0 = \frac{R_0 \cdot \psi}{Rn}$$

$$n_0 = \frac{10 \cdot 2}{4} = 5 \text{ (приймаємо } = 5)$$

Опір розтікання струму для горизонтального заземлювача:

$$R_g = 0.366 \left( \frac{\rho_{ekv} \cdot \psi}{L_g \cdot \eta_g} \right) \cdot \lg\left(\frac{2 \cdot L_g^2}{b \cdot t_g}\right)$$

де  $L_g, b$  - довжина і ширина заземлювача,  $L_g=1\text{м}$ ,  $b=0.2\text{м}$ ;

$\Psi$  - коефіцієнт сезонності горизонтального заземлювача,  $\Psi=2$ ;

$\eta_g$  - коефіцієнт попиту горизонтальних заземлювачів,  $\eta_g=0.4$ .

Довжину самого горизонтального заземлювача знайдемо виходячи з кількості заземлювачів:

$$L_g=a \text{ (для контуру).}$$

де  $a$  - відстань між заземлювальними стрижнями.

$$R_g=0.366\left(\frac{10 \cdot 2}{1 \cdot 0.4}\right) \cdot \lg\left(\frac{2 \cdot 1^2}{0.2 \cdot 0.7}\right)=243.3$$

Визначимо опір вертикального заземлювача з урахуванням опору розтікання струму горизонтальних заземлювачів:

$$R_v=\frac{R_g \cdot R_n}{R_g - R_n}$$

$$R_v=\frac{243.3 \cdot 4}{243.3 - 4}=4.067$$

Загальна кількість вертикальних заземлювачів визначається за формулою:

$$n=\frac{R_0}{R_v \cdot \eta_v}$$

де  $\eta_v$  - коефіцієнт попиту вертикальних заземлювачів,  $\eta_v=0.62$ .

$$n=\frac{10}{4.016 \cdot 0.27}=3.97$$

Приймаємо кількість вертикальних заземлювачів для забезпечення заданого опору рівним 4 шт.

## 5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Одним з основних показників, за допомогою якого оцінюється економічна ефективність нової техніки, є величина капітальних вкладень [18].

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

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

### 5.1 Суми витрат по статтям кошторису

5.1.1 Зарплата розробників по етапам розраховується, виходячи з кількості технічної документації (схем, креслень, текстової документації), що розробляється, з використанням нормативів базового підприємства на розробку різних видів документації. Зарплата виконавців по кожному етапу є сумою добутоків тривалості етапів в днях на денну ставку виконавця (по всім виконавцям).

Тривалість етапу визначається як добуток кількості листів розробленої документації на відповідну норму часу в нормо-годинах на розробку, поділене на число прийнятих розробників і середню тривалість робочого дня (8,0 годин) [19].

Денна ставка виконавця визначається відношенням місячного окладу до середнього числа робочих днів в місяці (22 дні).

В таблиці 5.1 приведений розрахунок заробітної плати розробників технічної документації пристрою оптимального відбору потужності від сонячної панелі.



Таблиця 5.1 – Розрахунок зарплати розробників технічної документації

№	Найменування етапу розробки	Одиниця	К-ть креслень	Норматив часу на одиницю нормо-годин	Трудомісткість етапу люд-годин	Число виконавців	Тривалість етапу, днів	Денна ставка виконавців	Зарплата за етап, грн.
1	Схема електрична принципова	Схема ф.А1	1	1,5	1,5	1	0,188	318,2	59,7
2	Схема електрична структурна	Схема ф.А1	1	0,4	0,4	1	0,05	295,5	14,8
3	Складальне креслення	ф.А1	1	15	15	1	1,875	295,5	544,0
4	Креслення друкованої плати	ф.А1	1	2	2	1	0,025	331,8	83,0
5	Специфікація	ф.А4	2	0,5	1	1	0,125	318,2	39,8
6	Розрахунки	ф.А4	4	1,3	5,2	1	0,65	295,5	192,3
7	Пояснювальна записка	ф.А4	70	0,2	14	1	1,750	295,5	517,0
Разом									1460,2

5.1.2 Зарплата на виготовлення і випробування дослідного зразка по всім етапам визначається таким чином: дослідний зразок виготовляється і випробується в лабораторії; тривалість цих робіт узяті з досвіду базового підприємства, а потім розраховані аналогічно розрахунку заробітної плати на розробку технічної документації див. табл. 5.1.

При визначенні зарплати на виготовлення дослідного зразка трудомісткість по видам робіт збільшена на 100% проти трудомісткості серійного виробу і підвищені розряди роботи на один з урахуванням ручних робіт в дослідному виробництві.

Таблиця 5.2 – Зарплата на виготовлення дослідного зразка

№	Вид робіт	Середній розряд робіт	Трудомісткість нормо-годин	Тарифна ставка, грн/год	Зарплата, грн.
1	Складальні	5	6	36,9	221,4
2	Монтажні	6	3	40,5	121,5
3	Регулювальні	5	2	45,7	91,4
Всього:					434,3

Зарплата виконавців на коректування документації визначається з трудомісткості розробки відповідних документів: коректування складає 15% цій трудомісткості.

5.1.3 Накладні витрати беруться у розмірі 40...120% сумарної зарплати розробників з урахуванням виготовлення і випробування дослідного зразка і коректування документації за наслідками випробувань.

5.1.4 Матеріальні витрати на зразок складаються з вартості матеріалів (табл. 5.3) і комплектуючих виробів (табл. 5.4) на проєктовану апаратуру. При цьому, виходячи з обліку втрат, вартість матеріалів та комплектуючих збільшена на 30%.

Таблиця 5.3 – Вартість матеріалів

№	Найменування	Одиниця виміру	К-ть на виріб	Ціна за одиницю	Сума, грн
1	Стеклотекстоліт FR4	м <sup>2</sup>	0,018	2005,45	36,1
2	ПОС-61	кг	0,1	327,50	32,75
3	Лак	л	0,02	490,30	9,8
4	Флюс	л	0,08	145,00	11,6
Разом:					90,25

Таблиця 5.4 – Витрати на куповані комплектуючі вироби

№	Найменування	Кількість	Ціна одиниці	Сума, грн
1	Мікросхема CN3791	1	25	25
2	Конденсатор керамічний	2	10	20
3	Транзистор FDS4435	1	16	16
4	Роз'єм 10А	2	35	70
5	Резистор	4	0,50	2
6	Конденсатор електролітичний	2	15	30
7	Світлодіод	2	2	4
8	Резистор MCLRP12JTWSR035	1	1,3	1,3
9	Індуктивність	1	30	30
10	Діод SB1045L	2	12	24
Разом:				222,3

5.1.5 Собівартість дослідного зразка визначається за формою табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Калькуляція собівартості дослідного зразка

№	Стаття витрат	Витрати на проєктований виріб, грн.
1	Матеріали	90,25
2	Куповані комплектуючі вироби	222,3
3	Транспортні витрати (5% (п.1+п.2))	15,6
4	Заробітна платня виробничих робочих	434,3
5	Додаткова заробітна плата (10%п.4)	43,43
6	Нарахування на зарплату (37%(п.4+п.5))	176,7
7	ФЗП	
8	Накладні витрати (120% п.4)	521,16
Всього собівартість:		1503,74

5.1.6 В таблиці 5.6 приведено розрахунок кошторису витрат на конструкторську підготовку виробництва.

Таблиця 5.6 – Кошторис витрат на конструкторську підготовку виробництва

№	Стаття витрат	Сума, грн.
1	Зарплата розробників по всім етапам розробки	1460,2
2	Зарплата на коректування технічної документації за наслідками випробувань дослідного зразка (15% п.1)	219,03
3	Разом:	1679,23
4	Нарахування на зарплату (37% п.3)	621,31
5	Накладні витрати (120% п.3)	2015,08
6	Собівартість дослідного зразка	1503,74
7	Інші витрати	100
Всього вартість розробки:		5919,36

5.1.7 В таблиці 5.7 приведено розрахунок заробітної плати робочих в разі серійного виготовлення виробу.

Таблиця 5.7 – Зарплата робочих за виготовлення серійного виробу

№	Вид робіт	Середній розряд робіт	Трудоємність нормо - год	Тарифна ставка, грн/год	Зарплата, грн
1	Складальні	4	2	36,9	73,8
2	Монтажні	5	1	40,5	40,5
3	Регульовальні	5	0,5	45,7	22,85
Всього:					137,15

5.1.8 Розрахунок планованої собівартості одиниці продукції проводиться на основі калькуляційних статей, враховуючи що комплектуючі та матеріали знижені на 30% по відношенню до таблиць 5.3 та 5.4, зведених в таблицю 5.8:

Таблиця 5.8 – Калькуляція собівартості і ціни одиниці виробу

№	Стаття витрат	Витрати на виріб, грн.
1	Матеріали	90,25
2	Куповані комплектуючі вироби	222,3
3	Транспортні витрати (5% п.1+п.2)	15,62
4	Основна заробітна плата виробничих робочих	137,15
5	Додаткова заробітна плата (10% п.4)	13,715
6	Нарахування на зарплату (37%(п.4+п.5))	55,82
7	Загальновиробничі витрати (100% п.4)	137,15
8	Разом собівартість	1503,74
9	Прибуток (30% п.8)	451,12
Ціна виробника		2626,86

## 5.2 Розрахунок терміну окупності розробки

Річний економічний ефект  $\mathcal{E}_Г$  від впровадження нових виробів розраховується по формулі [19]:

$$\mathcal{E}_Г = (\Pi - E_H \cdot K_y) \cdot A_Г, \quad (5.1)$$

де  $\Pi$  – прибуток на одиницю продукції (з табл. 5.8,  $\Pi = 451,12$  грн. );

$E_H$  – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень ( $E_H = 0,15$ );

$K_y$  – питомі капіталовкладення на одиницю річного об'єму продукції;

$A_Г$  – річний об'єм випуску продукції при серійному виробництві.

Визначаємо питомі капіталовкладення на одиницю річного об'єму продукції:

$$K_y = \frac{K}{A_Г}, \quad (5.2)$$

де  $K$  – капіталовкладення в розробку виробу (з табл. 5.6,  $K = 5919,36$  грн.).

Враховуючи, що річний об'єм випуску продукції при серійному виробництві складає 100 шт/рік:

$$K_v = \frac{5919,36}{100} = 59,19.$$

Тоді передбачуваний річний економічний ефект:

$$\mathcal{E}_r = (451,12 - 0,15 \cdot 59,19) \cdot 100 = 44225 \text{ грн.}$$

Ефективність  $E$  розробки визначається згідно:

$$E = \frac{\mathcal{E}_r}{K}, \quad (5.3)$$

$$E = \frac{44225}{5919,36} = 7,47.$$

Термін окупності продукції  $T$  рівний зворотній величині ефективності:

$$T = \frac{1}{E}, \quad (5.4)$$

$$T = \frac{1}{7,47} = 0,14 \text{ року}$$

В таблиці 5.9 приводяться загальні економічні показники розробленого пристрою.

Таблиця 5.9 – Економічні показники

№	Показники	Один. виміру	По проектуваному виробу
1	Витрати на КПП	грн.	5919,36
2	Собівартість розробки	грн.	1503,74
3	Ціна підприємства	грн.	2626,86
4	Річний обсяг випуску	шт.	100
5	Річний економічний ефект	грн.	44225
6	Ефективність розробки		7,47
7	Термін окупності додаткових капітальних вкладень	років	0,14

Економічні розрахунки підтвердили доцільність розробки пристрою оптимального відбору потужності від сонячної панелі для серійного виробництва.

## ВИСНОВКИ

У дипломному проекті проаналізовані питання розробки пристрою оптимального відбору потужності від сонячної панелі. На основі розглянутих структурних схем та конструкційних особливостей сонячних панелей та контролерів розроблено пристрій на сучасній елементній базі.

В рамках розробки пристрою були проаналізовані технологічні питання та детально розглянуто технологічний процес.

Проведено розрахунки основних схемотехнічних рішень та обрано відповідні активні та пасивні елементи.

В розрахунковій частині також було проведено математичне моделювання розробленої електричної схеми. Результати моделювання підтвердили розрахунки та прийняті схемотехнічні рішення.

Економічні розрахунки підтвердили доцільність розробки пристрою оптимального відбору потужності від сонячної панелі для серійного виробництва. Строк окупності склав 0,14 року.

В розділі охорони праці проведено розрахунок захисного заземлення.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1 Карта сонячного світла по Україні [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/ukraine>.

2 Ukraine Solar Photovoltaic (PV) Power Market Outlook 2021÷2030 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://renewablemarketwatch.com/country-reports/cis/ukraine/ukraine-solar-photovoltaic-pv-power-market-outlook-2021-2030-single-user-detail>

3 Пирогов В.В., Косатенко Д.О., Шалова Є.О. Перспективи розвитку сонячної енергетики в світі та в Україні. «Young Scientist» • № 12 (52) • December, 2017, 534-543

4 Remap 2030 renewable energy prospects for Ukraine [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/Apr/IRENA\\_REmap\\_Ukraine\\_paper\\_2015.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/Apr/IRENA_REmap_Ukraine_paper_2015.pdf)

5 Energy and Climate Change [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2015SpecialReportonEnergyandClimateChangeExecutiveSummaryRussianversion.pdf>.

6 Види сонячних батарей. [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <http://www.solnpanels.com/vidy-solnechnyh-batarej>.

7 Solar Power. [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://cleantechnica.com/solar-power/>

8 Stand-Alone Photovoltaic Systems [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/stand-alone-photovoltaic-systems>

9 Grid Connected PV System [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-power/grid-connected-pv-system.html>



- 10 What is Maximum Power Point Tracking (MPPT) [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://www.solar-electric.com/learning-center/mppt-solar-charge-controllers.html/>
11. САПР DipTrace [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://diptrace.com/ua/>
12. Друковані плати [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.pselectro.ru/article/7/78>
13. Основи охорони праці: Л. Е. Винокурова, М. В. Васильчук, М. В. Гаман / Підручн. Для проф. - техн.. навч. Закладів. - 2-ге вид., допов., перероб. - К.: Вікторія, 2001. - 192 с.
14. Правила устройства электроустановок. - Х.: Изд-во "Форт", 2009. 704 с.
15. НАПБ Б.03.002-2007 Нормы определения категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
16. СНиП 2.01.02-85. Противопожарные нормы.
17. Теория по расчету защитного заземления. [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <http://www.mastercity.ru/vforum/attachment.php?s=d0aeaac68c0fd511e7430d2a5b22a6dd&attachmentid=13256&d=1166795840>
18. Стуколов П.М. Организация, планирование и управление предприятиями электронной техники. –М.:Высш.шк., -1986.
19. Стуколов П.М. Экономика электронной промышленности.-М.:Высш.шк., - 1983

КОМПАС-3D v20 Україна версія © 2021 ООО "АКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены

Формат		Зона		Поз.		Обозначение		Наименование		Кол.		Примечание	
<b>Документация</b>													
A1						EICПЗ Д2.35720.00.00.00.00.E1		Разработка пристрою оптимального					
								выбору мощности від сонячної панелі					
								Схема електрична структурна					
A1						EICПЗ Д2.35720.00.00.00.00.E3		Разработка пристрою оптимального					
								выбору мощности від сонячної панелі					
								Схема електрична принципова					
A1						EICПЗ Д2.35720.00.00.00.00.01		Разработка пристрою оптимального					
								выбору мощности від сонячної панелі					
								Плата друкована					
A4						EICПЗ Д2.35720.00.00.00.00.ПЭЗ		Разработка пристрою оптимального					
								выбору мощности від сонячної панелі					
								Перелік елементів					
A1						EICПЗ Д2.35720.00.00.00.00.Д1		Разработка пристрою оптимального					
								выбору мощности від сонячної панелі					
								Результати моделювання					
A1						EICПЗ Д2.35720.00.00.00.00.00.Д2		Разработка пристрою оптимального					
								выбору мощности від сонячної панелі					
								Економічні показники					
A1						EICПЗ Д2.35720.00.00.00.00.00.Д3		Разработка пристрою оптимального					
								выбору мощности від сонячної панелі					
								Охрана праці					

<b>EICПЗ Д2.35720.00.00.00.00</b>										
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Разработка пристрою оптимальног выбору мощности від сонячної панелі			Лит.	Лист	Листов
Разраб.	Гридин		<i>Гридин</i>							1
Пров.	Критська		<i>Критська</i>	17.06.21				ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ 6.1710-с		
Нконтр.	Турлишев		<i>Турлишев</i>	17.06.21						
Чтв.	Критська		<i>Критська</i>	17.06.21						

КОМПАС-3D v20 Чейбас Версія © 2021 ООО "АСОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены

Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
<i>Конденсаторы</i>			
C1	KF-1000 мкФ ±10% 25В	1	Сархон
C2	K73-5-100 нФ ±5% 25В	1	
C3	K73-5-220 нФ ±5% 25В	1	
C4	KF - 1000 мкФ ±10% 25В	1	Сархон
C5	CL21F105ZB 0805, 1 мкФ, 50В, Y5V	1	Samsung
DD1	Мікросхема CN3791	1	CONSONANCE
L1	Індуктивність CLF12555 2.2 мкГн 6А	1	TDK
<i>Резисторы</i>			
R1	1206 10 кОм±5%	1	
R2	1206 1 кОм±5%	1	
R3	1206 510 Ом±10%	1	
R4	1206 120 Ом±10%	1	
R5	1210 0.035 Ом±1%	1	
VD1.VD2	Світлодіод FYL-3004GD	2	FORYARD
VD3.VD4	Діод SB1045L	2	Vishay
VT1	Транзистор FDS 4435	1	Fairchild
X1	Роз'єм XT60 10А	1	Amass

ЕІСПЗ Д2.35720.00.00.00.00.ПЗЗ								
Изм	Лист	№ док.им.	Подп.	Дата	Разработка пристрою оптимального відбору потужності від сонячної панелі Перелік елементів	Лист	Лист	Листов
Разроб.	Грідін		<i>[Signature]</i>					1
Проб.	Критська		<i>[Signature]</i>	17.06.21		ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ		
Інконтр.	Турлішев		<i>[Signature]</i>	17.06.21		6.1710-с		
Утв.	Критська		<i>[Signature]</i>		Формат А4			

Не для коммерческого использования

Копировал