

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

Кафедра мікроелектронних та електронних інформаційних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

на тему Аналіз роботи середньомощної фотодіодної
структури

Виконав: студент II курсу, групи 8-1710

спеціальності 171 «Електроніка»

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Електроніка

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації _____

(код і назва спеціалізації)

Байко М. С.

(ініціали та прізвище)

Керівник проф., д-р. т. н. Кривішва М. В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент д-р. т. н. К. В. К. Ф., Економ "Мурин" С. І.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

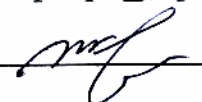
Запоріжжя
2021

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

Кафедра мікроелектронних та електронних інформаційних систем
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 171 «Електроніка»
(код і назва)
Освітня програма Електроніка
(код і назва)
Спеціалізація _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Критська Т.В.

“ _____ ” _____ 2021 року


ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Тарас Максим (Григорів)
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Напрямок ефективності фотодіодних
перетворювачів

керівник роботи доц. др. т.н. Критська Т.В.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від “30” 06 2021 року № 974-С

2 Строк подання студентом роботи 1

3 Вихідні дані до роботи Напрямок студент - 48 В, к-ль модулів - 4,
мікроімпліментовані вентильовані - 60 мм, пот = 1 кВт, інверсія -
кількість = 2 шт

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз методів фотодіодних перетворювачів та складних каскадів. 2. Аналіз внутрішньої структурної схеми сонячної батареї. 3. Інженерний розрахунок роботи фотодіодних вентильованих за даними АІА і Фірма 4. Основа Діагні. 5. Розрахунок ефективності вентильованих

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

1. Складська карта
2. Складська балансія, схема електричного оподрукування
3. Варті - алгебра парабол, еліпсів та гіпербол
4. Результати моделювання РДЗ Фітосаєми
5. Сфери впливу Фітосаєми в різних напрямках екосистеми
6. Складська балансія
7. Технічне завдання
8. Результат екологічного моделювання

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1.	Ураф, док. т. н., Кришська Н. В.		
2.	Ураф, док. т. н., Кришська Н. В.		
3.	Ураф, док. т. н., Кришська Н. В.		
4.	Ураф, док. т. н., Кришська Н. В.		
5.	Ураф, док. т. н., Кришська Н. В.		
6.	Ураф, док. т. н., Кришська Н. В.		

7 Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Розділ 1	1.06.21	
	Розділ 2	15.06.21	
	Розділ 3	20.06.21	
	Розділ 4	30.06.21	
	Розділ 5	20.11.21	
	Розділ 6	30.11.21	

Студент Басало М. С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) Кришська Н. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер Турчиш К. О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ РИНКУ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ТА СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ	7
1.1 Виробники фотоелементів та зібраних панелей на ринку України.....	7
1.1.1 Українські бірки.....	8
1.1.2 Виробники повного циклу	10
1.2 Принцип роботи та основні технічні характеристики фотоелектричних компонентів та сонячних панелей.....	12
1.2.1 Поняття та принцип роботи.....	12
1.2.2 Втрати в сонячному елементі. Застосування. Матеріали	15
1.3 Параметри кремнієвих елементів.....	21
1.3.1 Кремнієві сонячні елементи.....	22
1.4 Послідовне та паралельне з'єднання фотоелементів	35
2. ОПИС ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СОНЯЧНОЇ БАТАРЕЇ .	38
2.1 Опис електричної структурної схеми сонячної батареї.....	38
3. ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК РОБОТИ ФОТОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЗА ЗАКОНАМИ ОМА І КІРХГОФА	41
4. ОХОРОНА ПРАЦІ	44
4.3 Вимоги з охорони праці для працівників, що виконують монтаж, випробування і вимірювання в електроустановках	46
5. РОЗРАХУНОК СОБІВАРТОСТІ ВИРОБУ	57
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	65

ВСТУП

Сонячна енергетика викликає великий інтерес як серед прихильників "зеленої" енергії, так і серед тих, хто цікавляться сучасними технологіями. Так чи інакше, кожен чув про це джерело альтернативної енергії і, напевно, міркував про її переваги та можливості.

Так, для генерації електроенергії сонячної енергії необхідно інвестувати достатню суму грошей на обладнання (це фотомодулі, інвертор, акумулятори, дроти, послуги монтажу тощо). Але ціни на обладнання з кожним роком знижуються, а завдяки державній програмі "зелений" тариф окупність сонячної станції складає від 3 до 6 років. Також кліматичне розташування України — одне з найкращих у Європі, що також впливає на термін окупності.

Так як сонячна енергія — це невичерпний ресурс, то можна бути впевненими, що актуальність сонячної енергетики буде тільки зростати. Окрім того, установка сонячних станцій це не тільки пасивний прибуток за "зеленим" тарифом, а ще і економія на власному споживанні. Якщо підключити до станції акумулятори, то ви забезпечите свій дім безперебійним джерелом живлення 24/7.

Бум на виробництво сонячних панелей почався не так давно, тому поки не було великих проблем з їх утилізацією. Сонячні технології не стоять на місці і вчені активно шукають безпечний спосіб утилізації фотомодулів. Вже зараз багато виробників беруть старі панелі на вторинну переробку. Це не тільки забезпечує їх безпеку для навколишнього середовища, але і економічно вигідно для власників сонячних станцій.

Як і у всього нового та незвичайного, у сонячної енергетики є свої прихильники і супротивники. Кожна сторона має право на свою думку, тож дискусії на цю тему завжди цікаві.

1 АНАЛІЗ РИНКУ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ТА СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

1.1 Виробники фотоелементів та зібраних панелей на ринку України

У зв'язку з індивідуальним завданням був проведений аналіз ринку існуючих фотоелементів та сонячних панелей, відповідним темі дипломного проекту.

Згідно з аналізом міжнародного агентства з відновлювальної енергетики IRENA, 11 мільйонів працівників працюють у сфері відновлюваної енергетики станом на 2018 рік. Сфера сонячної та вітрової електроенергії найдинамічніше розвиваються серед усіх галузей відновлюваної енергії. Сфера “сонця” залишає за собою перше місце у світовій галузі ВДЕ, випередивши виробництво рідкого біопалива, гідро- та вітрову енергію. В Азійській частині світу створено понад три мільйони робочих місць у сфері виробництва енергії із сонця.

За 2019 рік кількість сонячних станцій (далі СЕС) в Україні збільшилася на 350 %, зі 157 до 553 об'єктів, але не всі вони українського виробника.

В Україні існують виробники, які можуть забезпечити повний цикл виробництва сонячних панелей – від вирощування кремнію до комплектування сонячних панелей, але є ті, що залучають до виробництва іноземних постачальників. Умовно виокремлюють три формати виробництва сонячних модулів:

1. “Виробники” без виробничих потужностей в Україні – це компанії, які замовляють готові панелі за кордоном (переважно у Китаї), а в Україні лише кріплять бірку з українським брендом.
2. Виробники із частковим циклом виробництва – це компанії, які купують певні елементи в іноземних виробників (переважно у Китаї), а в Україні проводять збірку, налагоджують дистриб’юцію і забезпечують гарантійну підтримку.
3. Виробники із повним циклом виробництва сонячних панелей – це компанії, які займаються всіма етапами виробництва панелей: вирощування кремнію, порізка кремнію, складання самих панелей, дистриб’юція та гарантія.

1.1.1 Українські бірки

До першої категорії можна віднести, наприклад, сонячні панелі під брендом Altek (та частково – Kvaazar, деталі нижче). Ці панелі замовляються на китайських заводах і продаються в Україні під власним брендом.

Завод по виробництву панелей Kness (м. Вінниця) обладнано однією із найсучасніших складальних ліній в Україні – від китайського виробника Boostsolar. Лінія практично повністю автоматизована. Потужність першої черги – 200 МВт сонячних панелей у рік. Після запуску другої черги, річна потужність заводу сягне 400 МВт.

Більшість комплектуючих для сонячних панелей завозяться з-за кордону: це і фотоелементи, і скло і плівка EVA. В Україні поки що закупають лише алюмінієві рамки.

Складальна лінія дозволяє збирати панелі потужністю від 270 до 370 Вт.

Компанія “Енхол” (м. Енергодар) більше 25 років займається холодильним устаткуванням та вентиляцією. А у 2018 році була запущена нова складальна лінія по збірці сонячних панелей. Виробник продає панелі під брендом “ENHOL Energodar”.

Для виробництва сонячних панелей, компанія закуповує китайські фотоелементи та плівку. В Україні компанія закуповує скло та рамку. В грошовому еквіваленті, відсоток українського обладнання складає менше 50%. Максимальна річна потужність складальної лінії – 10 МВт.

Під брендом “ENHOL Energodar” зараз випускається дві модифікації батарей – полікристалічні сонячні панелі на 260 Вт та на 275 Вт. На обидві моделі виробник дає 25-річну гарантію, що ефективність не впаде більш ніж на 80%.

Компанія “Інфо-зв’язок” розпочала серійне виробництво сонячних панелей у 2016 році. Виробництво розміщується в Одесі на території заводу “Промзв’язок”.

Виробник продає панелі під брендом “InfoSvyaz”. Для виробництва панелей, компанія закуповує фотоелементи в Китаї, а в Україні відбувається повноцінна збірка сонячних панелей. Для виробництва сонячних панелей закуповують профіль, скло та діелектрики українського виробництва. Виробник запевняє, що сонячні панелі на 60% складаються із елементів, які вироблені в Україні. Компанія не лише виробляє сонячні панелі, але і самостійно займається розробкою та виробництвом обладнання для складальних ліній.

Станом на сьогодні, потужності складальної лінії становлять бл. 160 кВт на місяць. Після запуску другої черги складальної лінії, щомісячна потужність повинна зрости до 550 кВт.

Асортимент продукції поки що обмежується полікристалічними панелями потужністю 275 Вт, на які дають 25-річну гарантію, що ефективність не знизиться нижче 80%.

1.1.2 Виробники повного циклу

Перший вище вказаний завод, це “Квазар” у свій час був найпотужнішим українським підприємством по виробництву сонячних панелей – під брендом Kvaazar. На Квазарі є обладнання для порізки кремнію, обладнання для збірки готових фотомодулів, а також все необхідне устаткування для контролю якості виробництва. Потужності виробництва складають близько 30 МВт / рік.

Проте через скасування обов’язкової “місцевої складової”, у 2015 році завод припинив функціонування. Через деякий час було проведено реструктуризацію.

Після реструктуризації, продажем панелей займається дочірнє підприємство Квазар-7. Станом на сьогодні, компанія займається як поставкою сонячних панелей китайського виробництва під власним брендом, так і складанням панелей в Україні із імпортних елементів.

В той же час у компанії обіцяють, що при наявності замовлення на велику партію, можуть запуснути все існуюче обладнання (в т.ч порізку кремнію) і забезпечити відсоток українських матеріалів і комплектуючих на рівні 50% – чого достатньо для отримання надбавки до Зеленого тарифу за “місцеву складову”.

Компанія «Пролог Семікор» створена в 1997 році як виробник полірованих кремнієвих пластин для мікроелектроніки. У 2014 році компанія запустила власну лінію по складанню сонячних панелей та освоїла власне виробництво полікремнію.

Потужність виробництва сьогодні складає 12 МВт / рік. Компанія має два заводи – у Львові та Києві. Проте львівський завод орієнтований більше на мікроелектроніку.

Під брендом Prolog Semiconductor випускаються монокристалічні панелі потужністю від 10 до 300 Вт. Виробник дає гарантію, що через 25 років панелі Prolog Semiconductor збережуть не менше 80% потужності. Виробник запевняє, що частка імпортованих матеріалів і комплектуючих в готових сонячних фотомодулях не перевищує 45%.

Як висновок за словами представників вінницького заводу з виробництва сонячних панелей, існує дефіцит спеціалістів з новітніх світових технологій в Україні. Зокрема бракує вузькоспеціалізованих спеціалістів з відновлюваної електроенергетики. Але це не суттєво “гальмує” розвиток галузі. Є кваліфіковані спеціалісти, які можуть розширити свій профіль.

1.2 Принцип роботи та основні технічні характеристики фотоелектричних компонентів та сонячних панелей

1.2.1 Поняття та принцип роботи

Спершу декілька понять з бази знань про сонячну енергетику

Фотовольтаїка — це наука, яка досліджує перетворення світла в електрику, відповідно, перетворення енергії фотона в електричний струм. Іншими словами, це означає метод генерації електроенергії шляхом перетворення енергії сонячного випромінення на постійний електричний струм з використанням напівпровідникових матеріалів, які проявляють фотоелектричний ефект.

Фотоелектричний перетворювач (далі ФЕП) — електричний пристрій, який діє як перетворювач, і служить для перетворення частини світлової енергії (як правило, видимих і інфрачервоних електромагнітних хвиль) у електричну за допомогою фотоелектричного ефекту.

На рисунку 1.2.1 зображений сонячний елемент



Рисунок 1.2.1 – Сонячний елемент

Принцип роботи

За принципом дії розрізняють фотоелементи із **зовнішнім та внутрішнім фотоефектом**. За конструктивним виконанням розрізняють фотоелементи **електровакуумні та напівпровідникові**. Використовують у реле, в автоматичній контрольній та вимірювальній апаратурі, фотометрії.

У випадку, якщо кілька фотоелектричних комірок певним чином електрично з'єднаних між собою, загорнутих в пластик, скло, а для жорсткого зв'язку і захисту з'єднанні з використанням алюмінієвої рами — називаються сонячною панеллю.

«Сонячні батареї» — умовна назва пристроїв, які перетворюють променеву енергію сонця в електричну енергію.

Фотоелектрична комірка працює в значній мірі як фотодіод, але має дуже велику площу кристала в порівнянні з фотодіодом. Фотоелектричним ефектом є створення електричного потенціалу з матеріалу, який піддається впливу світла. Фотодіоди мають прозорий електрод, через який на електронно-дірковий р-п перехід поступає світло.

Отже, принцип роботи сучасних фотоелементів базується на напівпровідниковому р-п переході. При поглинанні фотона в області, яка прилягає до р-п переходу, створюється пара носіїв заряду: електрон і дірка. Одна із цих часток є неосновним зарядом і з великою ймовірністю проникає крізь перехід. В результаті створенні завдяки поглинанню енергії фотона заряди розділяються в просторі й не можуть рекомбінувати. Як наслідок порушується рівновага густини зарядів. При під'єднанні елемента до зовнішнього навантаження у колі протікає струм.

Говорять про напругу холостого ходу і струм короткого замикання. Напруга холостого ходу (V_{vo}) — максимальна напруга (зовнішнє навантаження нескінченно мале), яку може генерувати елемент. А струм короткого замикання (I_{sc}), це максимальний струм (коли зовнішнє

навантаження нескінченно велике), який може генерувати елемент. У робочому режимі напруга і струм є меншими, і при певних значеннях (V_{max} і I_{max}) елемент має максимальну потужність (P_{max}).

На рисунку 1.2.2 представлений принцип роботи перетворення енергії

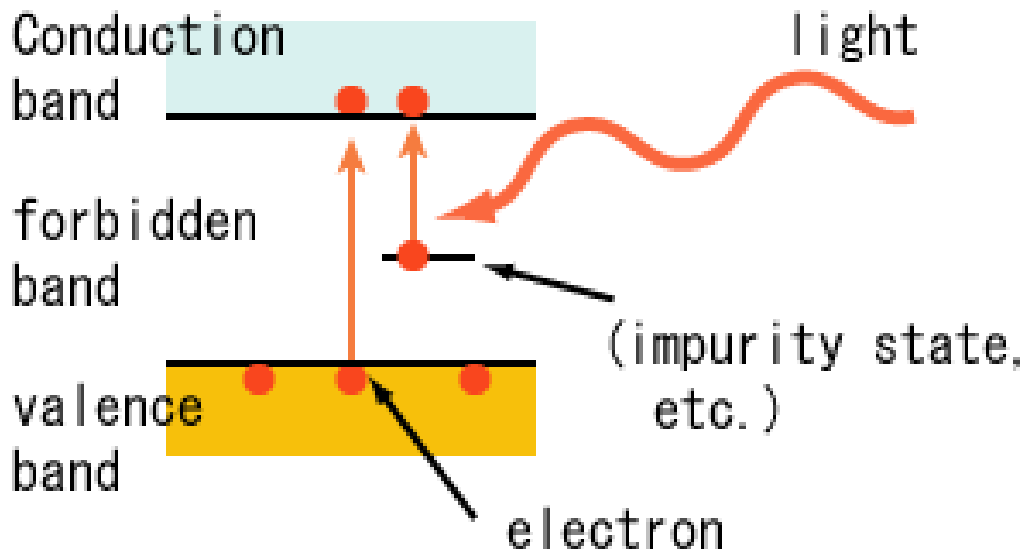


Рисунок 1.2.2 – Принцип роботи перетворення енергії

Conduction band – зона провідності

Forbidden band – заборонена зона

Valence band – валентна зона

Light – світло

Impurity state, etc. – домішковий стан, тощо

Electron – електрон

1.2.2 Втрати в сонячному елементі. Застосування. Матеріали

Основні необоротні втрати енергії у фотоелементах пов'язані з:

- відбиванням сонячного випромінювання від поверхні перетворювача;
- проходженням частини випромінювання через фотоелемент без поглинання в ньому;
- розсіюванням на теплових коливаннях кристалічної ґратки надлишкової енергії фотонів;
- рекомбінацією фотопар, що утворилися на поверхнях і в об'ємі фотоелемента;
- внутрішнім опором перетворювача,
- деякими іншими фізичними процесами.

У серпні 2009 р. вчені університету Нового Південного Уельсу досягли рекордної ефективності сонячних батарей — 43 % (тобто 43 % сонячної енергії перетворюється на електричну). Однак, новий рекорд було встановлено в лабораторних умовах. Так, світло перед попаданням на батареї було сфокусовано спеціальними лінзами. Крім того, вартість усього обладнання далека від значень, котрі дозволили б виробляти її в промислових масштабах. Рекорд для однієї сонячної батареї в реальних умовах становить приблизно 25 %.

Застосування

Сонячні панелі використовують в автономних системах, які, зазвичай, тривалий період часу не вимагають обслуговування оператором (автоматичні прилади радіонавігації, космічні апарати і ін.), — служать для електропостачання у віддалених районах Землі або на орбітальних станціях, супутниках — де неможливо використовувати електромережу. Мініатюрні сонячні панелі вбудовують в калькулятори від яких заряджаються вбудовані

акумулятори, а також для живлення радіотелефонів, зарядних пристроїв, насосів.

Матеріали

Матеріали для ефективних сонячних панелей повинні бути узгоджені з характеристиками спектру освітлення.

Низька концентрація сонячної енергії передбачає покриття фотовольтаїчними елементами значних площ, а отже виготовлення достатньої кількості кремнію для таких елементів. Для продукування сонячних фотоперетворювачів використовують й інші напівпровідники, проте в масовому виробництві відносно дешевий кремній з його практично невичерпними запасами сировини не має і в найближчій перспективі не матиме конкурентів.

Фотоелементи виготовляють з різноманітних напівпровідникових матеріалів. Нині використовуються для фотоелектричних сонячних елементів такі матеріали: монокристалічний кремній, полікристалічний кремній, аморфний кремній, телурид кадмію, арсенід галію, сульфат кадмію і ін. Процес виготовлення фотоелемента близький до процесів виготовлення інших напівпровідників.

Монокристалічні фотоелементи найбільш складні і дорогі оскільки для їх виготовлення потрібен кристалічний кремній, однак мають найбільшу ефективність (14 %-20 % перетворення світла у електричну енергію).

Полікристалічні, чи мультикристалічні фотоелементи дешевші ніж монокристалічні, однак менш ефективні.

Тонкоплівкові фотоелементи використовують тонкі плівки що виготовляються з розплавленого кремнію, сульфату кадмію. Такі фотоелементи найменш ефективні.

Розроблено декілька нових технологій, забезпечуючих підвищення ККД сонячного елемента, створені в університеті New South Wales **елементи PERL** та сонячні елементи з тильними контактами, які виробляє компанія SunPower (розробка Стенфорського університету). В виробництві елемента PERL (аббревіатура від слів «пасивований емітер з локальним легуванням задньої поверхні») використовуються технології мікроелектроніки, що дозволяє досягти близько 25% ККД при стандартному спектрі AM1.5. Пасивація емітеру означає нанесення на лицьову поверхню шару оксиду високої якості, який суттєво знижує рекомбінацію носіїв біля поверхні. Задня поверхня ФЕП легується тільки поблизу металевого контакту, що зменшує рекомбінацію при збереженні опору контакту. Контакти виготовляють за складними схемами, використовуючи для цього різноманітне поєднання металів, наприклад Ti-Pd-Ag, що дозволяє зробити дуже низький опір контактів. Використовуючи антивідбиваючі покриття, зменшуючі відбиття від поверхні с 30 до 10%.

У космічних апаратах використовуються також багатоперехідні сонячні елементи або **гетерофотоелементи**. Такий елемент складається з декількох р-п переходів (AlGaAs-GaAs), кожен з яких вловлює світло певного спектру. Такі сонячні елементи досягають найвищої ефективності — 35 %. Велика складність виготовлення таких пристроїв робить їх малопоширеними. Також, у космічних апаратах використовуються двосторонні сонячні панелі, які дозволяють генерувати більше енергії, при тій самій площі.

Для підвищення ефективності перетворення світла також використовують концентрувальну оптику.

У наш час ведуться дослідження по створенню гнучких плівкових сонячних елементів, а також напівпровідникових фарб, використанню органічних напівпровідників.

Важливим моментом роботи сонячних елементів є їхній **температурний режим**. При нагріванні елемента на один градус понад $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ він втрачає в напрузі $0,002\text{ В}$, тобто $0,4\text{ \%/градус}$. Це становить проблему для фотоелементів з концентрувальною оптикою. Тому вони потребують додаткового охолодження.

Сонячна панель

Австралійцями Х. Холstrupом та Л. Перкіном було сконструйовано велосипед на сонячних батареях на якому конструктори проїхали 2500 миль із Перти до Сіднея. До 1987 року це була найдовша подорож, здійснена будь-коли з використанням сонячної енергії. На трасі цей транспорт рухався із швидкістю 20 км/год .

Напруга холостого ходу, яка генерується одним елементом, дещо змінюється від однієї фірми-виробника до іншої (та навіть від одного елемента до іншого в одній партії) і становить близько $0,6\text{ В}$. Ця величина не залежить від розмірів елемента та його освітленості. Щоб підвищити вихідну напругу сонячні елементи з'єднують послідовно. Такі з'єднання називають сонячною панеллю. Недоліком такого з'єднання є менша надійність, оскільки у разі виходу з ладу одного елемента (або просто потрапляння його в тінь) зменшується струм у цілій батареї в цілому. Втім, сонячні елементи не «бояться» короткого замикання.

Вартість сонячних батарей швидко зменшується. Завдяки цьому попит на сонячні батареї зростає на 30 \% за рік, щорічний обсяг їхнього продажу перевищує (за потужністю) 50 МВт .

Ефективність установки залежить не лише від матеріалів, але й від способу експлуатації. Положення сонця на небосхилі визначаються двома координатами - схилом та азимутом. Схил - це кут між лінією, яка сполучає спостерігача та сонце, та горизонтальною поверхнею θ . Азимут - кут між напрямком на сонці й напрямком на південь. Для ефективного використання

елементів необхідно зорієнтувати їх поверхні перпендикулярно сонячним променям.

Освітленість поверхні представляє собою щільність світлового потоку, тобто відношення світлового Φ , який падає на елемент поверхні, яка містить дану точку, до площини цього елемента A :

$E = \Phi/A$. Схема положення сонця на небосхилі і кути зображені на рисунку 1.2.2.1

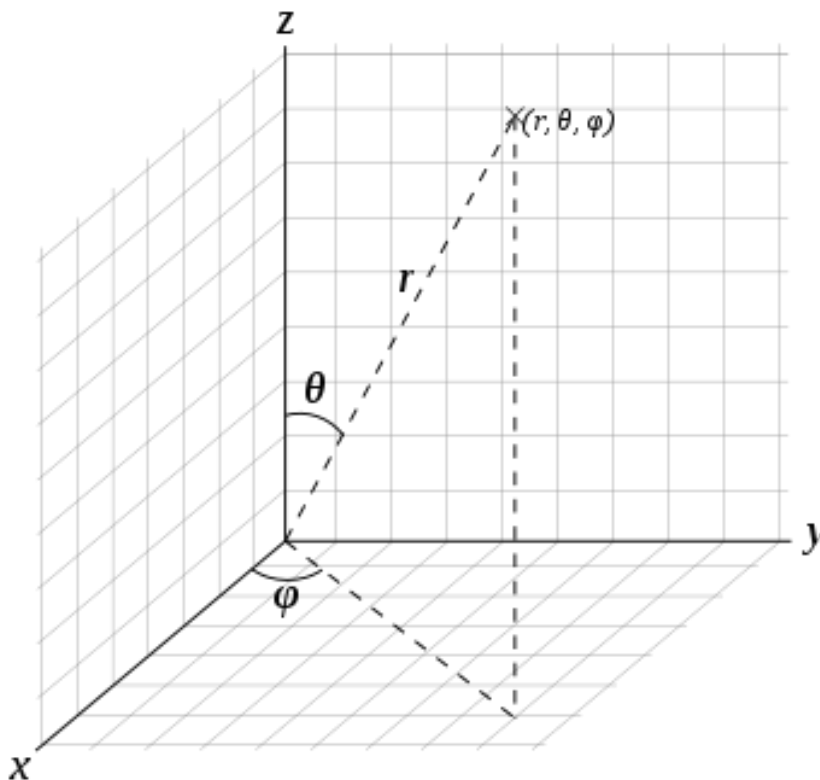


Рисунок 1.2.2.1 – Положення сонця на небосхилі і кути падіння променів

У космічній сфері для автоматичної орієнтації поверхонь елементів відносно джерел випромінювання можуть застосовуватися відповідні системи автоматичного управління. Важливим елементом такої системи є фасеточний сонячний давач - двокоординатний пристрій безкамерного типу

(тобто сукупність певним чином взаємно орієнтованих фотоелектричних перетворювачів) У системах супроводження в якості елемента, який здійснює повороти лінії візування, використовується гіроскоп, який має три ступеня вільності. Однак у нерухомості він не діє. У системі самонаведення є елементи, параметри яких за час роботи системи змінюються у широких межах. До таких елементів відносяться об'єкт управління, поведінка якого у загальному випадку описується нелінійною системою диференціальних рівнянь із змінними коефіцієнтами.

Когерентні квантові генератори світла дозволяють використовувати світловий інтервал частот для потреб зв'язку. Ємність оптичного каналу перевищує ємність радіочастотних каналів. Наприклад, на частоті 10^{14} Гц можна передавати декілька тисяч телевізійних програм. Мала довжина світлової хвилі дозволяє створювати квантові джерела світла, спрямованість променя яких менше однієї мінути, що у сотні й тисячі разів перевищує спрямованість радіоантен й прожекторів. Для прикладу, це дозволяє здійснювати зв'язок при потужності передавача 10 кВт й куті спрямованості 1 мінуту на відстані декілька світлових років.

1.3 Параметри кремнієвих елементів

Сьогоднішні фотоелектричні перетворювачі можуть бути класифіковані на основі кількості для їх виготовлення матеріалів, які діляться на кристалічні і тонкоплівкові, полікристалічні або аморфні.

До твердотілих кристалічних матеріалів в першу чергу відносяться монокристалічний і мультикристалічний кремній, вирощений методом витягування через фільтру - профільовані стрічки кремнію, дендритні кремнієві стрічки, арсенід галію. До тонкоплівкових матеріалів відносяться напівпровідники, вирощені на електрично активних або пасивних підкладках, а саме аморфний кремній, телурид кадмію, діселеніда міді та індію.

Найбільшого поширення набули твердотільні кремнієві ФЕП, так як спектральна характеристика поглинання кремнію добре узгоджується зі спектральною характеристикою сонячного випромінювання. За допомогою кремнію можна перетворювати в електроенергію близько 91% енергії падаючого світлового потоку, тобто частина сонячного спектра з довжиною хвилі 1,1 мкм і коротше.

ФЕП на основі кристалічного кремнію мають досить високу вартість, пов'язану, в першу чергу, з дорогою операцією різання кремнієвих злитків на пластини. Кремнієвий ФЕП має теоретичну граничну ефективність близько 30% при стандартних умовах (освітленість 1 кВт/м², температура +25 °С, повітряна маса АМ1.5).

Аморфний кремній виступає більш дешевою альтернативою кристалічному кремнію. Оптичне поглинання аморфного кремнію в 20 разів вище, ніж кристалічного. Тому для істотного поглинання видимого світла досить плівки a-Si: H товщиною 0,5 ... 1,0 мкм замість дорогих кремнієвих 240 мікронних підкладок. Крім того, для отримання аморфного кремнію у вигляді тонких плівок великої площі не потрібно операція різання, необхідна для ФЕП

на основі монокристалічного кремнію. Все це скорочує витрату кремнію в 20 разів. Максимальний ККД ФЕП на основі a-Si: H трохи нижче ККД кристалічних кремнієвих ФЕП і теоретично може досягати 16%.

1.3.1 Кремнієві сонячні елементи

Фотоелектричні перетворювачі або сонячні елементи (solar cells) — це напівпровідникові вироби, які перетворюють сонячне випромінювання в електричний струм. Існують різні технології виготовлення сонячних елементів, конструкція яких відрізняється як фізичними принципами перетворення сонячного випромінювання в електричний струм, так і менш істотними деталями. Найбільш ефективними, з енергетичної точки зору, пристроями для перетворення сонячної енергії в електричну є напівпровідникові фотоелектричні перетворювачі, оскільки це прямий, одноступінчатий перехід енергії. Сьогодні на ринку комерційних систем наземного застосування, найбільш помітні кристалічні кремнієві (близько 80-85% світового ринку) і тонкоплівкові сонячні елементи (близько 10% ринку).

Хімічна обробка

Найважливішою та найдорожчою частиною будь-якого сонячного елементу є кремнієва пластина. Вона може бути як монокристалічною, так і мультикристалічною. Із назви зрозуміло, що монокремнієва пластина являє собою один кристал, з якого, наприклад, шляхом дротяного різання отримують кремнієві пластини необхідної товщини і розміру. Зазвичай монокремній вирощують у вигляді круглих злитків, з яких потім вирізають так звані псевдоквадратичні пластини. Ця форма забезпечує максимальне використання кремнію з круглого злитка і, в той же час, найбільш щільне заповнення поверхні майбутнього сонячного модуля (сонячної батареї). Мультикремнієві пластини являють собою правильні квадрати заданого розміру і товщини.

Оскільки будь-яка пластина має поверхню, пошкоджену на нанорівні при нарізанні злитків, то цей порушений шар необхідно прибрати. Якщо просто зняти кілька мікрон за допомогою хімічного травлення, то поверхня пластини виявиться гладкою, і буде відбивати істотну частину падаючого на неї випромінювання. Оскільки для отримання більш ефективних сонячних елементів важливо перетворити в струм якомога більше сонячного світла, то поверхню намагаються зробити нерівній на мікрорівні. Для монокремнієвих пластин така операція називається текстуруванням.

Текстурована поверхня являє собою безліч, на перший погляд, хаотично розташованих мікропірамід. Світло, потрапляючи на поверхню піраміди, відбивається під тим же кутом і в більшості випадків потрапляє на поверхню сусідньої пірамідки. При цьому, за рахунок створення текстурованої поверхні вдається знизити коефіцієнт відбиття кремнію з 35% до 11%.

Для вирішення обох розглянутих завдань (видалення порушеного шару і формування текстури на поверхні пластин) застосовується хімічна обробка пластин. Склад розчинів, температури і тривалості обробок залежать від типу оброблюваних пластин, стану їх поверхні перед обробкою, подальших технологічних операцій і багатьох інших факторів. Зазвичай, для монокремнієвих пластин застосовують травлення в лужних розчинах і одну або кілька кислотних обробок. При цьому головне — не перестаратися, так як в гонитві за рівномірної текстурою поверхні можна істотно знизити товщину пластин. А це призведе в результаті до підвищеного бою на наступних операціях і, як наслідок, до зниження відсотка виходу придатних виробів.

Наприкінці, після проведення всіх необхідних хімічних операцій, пластини промиваються у воді і сушаться. Це прості, але теж дуже важливі операції. Так, наприклад, від якості сушки залежать параметри дифузійного шару, створюваного на наступній операції.

Дифузійний p-n перехід

Ключовим елементом конструкції кристалічних кремнієвих ФЕП є p-n перехід. Справа в тому, що напівпровідник залежно від типу своєї провідності може бути або n-типу (електронна провідність), або p-типу (діркова провідність). При цьому, якщо в пластині одного типу створити шар іншого типу, то місце контакту цих областей і буде p-n переходом.

Одним із головних властивостей p-n переходу є його здатність бути енергетичним бар'єром для носіїв струму, тобто пропускати їх тільки в одному напрямку. Саме на цьому ефекті і базується генерація електричного струму в сонячних елементах. Випромінювання, що потрапляє на поверхню елемента, генерує в обсязі напівпровідника носії заряду з різним знаком — електрони (n) і дірки (p). Завдяки своїм властивостям p-n перехід «розділяє» їх, пропускаючи кожен тип тільки на «свою» половину, і хаотично рухаються в обсязі елемента носії заряду виявляються по різні сторони бар'єру, після чого можуть бути передані в зовнішній ланцюг для створення напруги на навантаженні, підключеної до сонячного елемента.

Звичайно, такий опис дещо спрощено, але навіть він показує, що без p-n переходу фактично неможливо перетворити сонячне випромінювання в електричний струм, без його наявності виникнення упорядкованого руху заряджених частинок (електричного струму) неможливо (нагадаю, що мова йде про класичні наземні сонячні елементи; насправді існують і більш екзотичні фотоперетворювачі, конструкція яких не передбачає наявності p-n переходу).

Розглянемо докладніше процес формування p-n переходу. Спочатку вихідні пластини піддаються на декількох етапах хімічній обробці, завдяки чому їх поверхня набуває необхідну нам структуру і ступінь чистоти. Зазвичай у виробництві сонячних елементів використовуються вихідні пластини з провідністю n-типу. Для цього кремній ще на етапі вирощування злитків

легують відповідними домішками, наприклад, бором. Тому для створення в ньому n-шару необхідно в одну з поверхонь елементу впровадити іншу домішку, яка зкомпенсує дію бору та наситить напівпровідник носіями заряду n-типу. Це можна зробити, ввівши в кремній фосфор або іншу домішку з відповідної частини таблиці Менделєєва.

Одним з найбільш традиційних і економічно обгрунтованим способом насичення кремнію фосфором є дифузія, тобто процес при якому фосфор під дією високих температур проникає в напівпровідник. Традиційно дифузію фосфору проводять в трубчастих або конвеєрних печах при температурах близько 800 °С:

- У першому випадку, кремнієві пластини поміщають на стрічку, а речовина, що містить фосфор, наноситься на поверхню шляхом розпилення. Після цього пластини конвеєром переміщуються в наступну зону, де відбувається їх обробка при дуже високій температурі.
- За використання трубної печі, кварцові пластини попередньо поміщають в кварцові касети. Підготовлені касети встановлюють в трубу печі, заповнену парами речовини з високим відсотковим вмістом фосфору. Керуючи напрямком потоків газів всередині реактора, температуру, а також тривалість перебування в ньому кварцових пластин, створюють р-n перехід, який має необхідні для подальшої експлуатації властивості.

У результаті проведення дифузії фосфору на поверхні і торцях кремнієвої пластини товщиною близько 200 мкм формується шар n-типу, що проникає на глибину всього близько 0,5 мкм. Тобто р-n перехід залягає у самої поверхні сонячного елементу. Це зроблено для того, щоб носії заряду різних знаків, згенеровані під дією випромінювання, якнайскоріше потрапили в зону впливу р-n переходу, інакше вони просто знову зустрінуться один з одним і таким чином скомпенсують, так і не зробивши жодного внеску в генерацію електричного струму.

Плазмохімічне травлення

Конструкція сонячного елемента передбачає наявність р-n переходу поблизу від однієї з його поверхонь, яка називається лицьовою або робочою стороною. Інша ж поверхня називається тильною. Зазвичай на лицьовій поверхні розташовується струмознімальна решітка, а на тильній — суцільний контакт. Так як n-шар, сформований за допомогою дифузії, сильно насичений домішками, то він добре проводить електричний струм. Під час дифузії цей шар утворюється не тільки на лицьовій стороні пластини, але і на її торцях і навіть по периметру тильної поверхні. При цьому має місце електричне замикання між лицьовим і тильним струмознімальними контактами.

Зазвичай таку проблему вирішують шляхом фізичного його видалення з торців пластин. Зробити це можна механічно, лазером, хімічним або плазмохімічним травленням. Не вдаючись поки в аналіз переваг і недоліків кожного із зазначених методів скажу, що одним з найбільш раціональних з них все-таки є плазмохімічне травлення (скорочено — ПХТ). Операція ПХТ являє собою обробку в плазмі стопки щільно притиснутих один до одного кремнієвих пластин. Процес видалення кремнію залежить від багатьох параметрів, серед яких — тривалість обробки, склад плазми, напрямок потоків іонів в реакторі, місце розташування і щільність прилягання пластин, розмір стопки та інші.

На якість проведення процесу видалення кремнію впливає кілька чинників:

- склад плазми;
- тривалість обробки;
- який напрямок мають потоки іонів в реакторі;
- щільність прилягання пластин;

- як розташовані пластини;
- розмір стопки (кількість пластин).

При відхиленні від оптимальних режимів можливо два протилежних результату:

- n — шар на торцях пластин не віддаляється, що проводить до замикання сонячного елемента по торцях після формування контактів;
- n — шар віддаляється не тільки на торцях пластини, але і по периметру лицьової і тильної поверхонь, тобто замикання виникає в місці контакту областей з різним типом провідності на його лицьовій стороні.

У першому випадку проблему можна вирішити, контролюючи тип провідності на торцях оброблених пластин і відправляючи їх при необхідності на повторне ПХТ. Другий випадок дещо складніше — зіпсована за електричними параметрами і зовнішньому вигляду лицьова поверхня вимагає повного стравлювання n -шару і тільки після цього може бути знову відправлена на початкові технологічні операції. При цьому повторне текстурування призводить до зменшення її товщини, тобто зростає бій пластин на подальших операціях. Додаткові обробки і знижений вихід придатних виробів призводять до збільшення витрат і істотно погіршують економіку.

Антивідбиваюче покриття

За допомогою текстури віддзеркалення від поверхні пластини знижується в середньому з 35% до 11%. Це означає, що десята частина випромінювання, що падає на поверхню сонячного елемента, все ще буде відображатися назад і не зможе брати участь в процесі генерації електричного струму. З метою ще більшого зменшення цих втрат, що класифікуються як оптичні, на такій технологічній операції на робочу поверхню сонячних елементів наноситься так зване антивідбиваюче покриття (далі АВП). Спираючись на закони оптики, інженери підбирають товщину і коефіцієнт

заломлення покриття так, що вдається зменшити відображення до 1-2%. А це вже дуже хороший показник.

Сьогодні існує безліч різних типів антивідбивючих покриттів, які наносяться декількома різними методами (APCVD, LPCVD, PECVD тощо). На практиці як АВП для кремнієвих сонячних елементів найчастіше використовуються плівки оксиду титану або нітриду кремнію, причому останнім все частіше віддається перевага. Нітрид кремнію зазвичай наноситься методом PECVD, тобто шляхом прискореного плазмою хімічного напилювання з газової фази, у спеціальних трубчастих печах.

Процес PECVD припускає, що хімічний реактив, потрапляючи в зону реактора, розпадається під впливом плазми і температури на окремі елементи, які потім осідають на поверхню пластини і вступають в хімічну реакцію. У результаті на лицьовій поверхні пластини «вироснує» найтонша плівка нітриду кремнію, яка володіє необхідними властивостями. Її товщина складає близько 70 нм, що набагато менше розмірів мікропірамід текстури і дозволяє добитися ефекту антивідображення незалежно від структури рельєфу поверхні.

Цей метод забезпечує дуже хорошу рівномірність покриття. Оцінити товщину АВП можна досить легко навіть на око. Оптика така, що чим нерівномірніше товщина, тим сильніше змінюється забарвлення поверхні пластини. Цей же ефект можна спостерігати дивлячись на розлитий в калюжі бензин — плівка переливається всіма кольорами веселки, даючи зрозуміти як змінюється її товщина. Інші відомі методи нанесення АВП часто вимагають попереднього нанесення розчину на поверхню пластини, яке неможливо виконати рівномірно (речовина буде накопичуватися в «ущелинах» між мікропірамідами і не буде затримуватися на їх вершинах). Це також позначається в підсумку на зовнішньому вигляді сонячного елемента і погіршує його параметри.

Після нанесення АВП пластина кремнію поглинає більшу частину сонячного випромінювання, що падає на її поверхню. Причому товщина покриття оптимізована таким чином, щоб найбільш ефективно працювати в найбільш ефективному діапазоні спектра - це синя частина спектра. Саме через це всі сонячні елементи мають гарний і глибокий темно — синій колір.

Після нанесення АВП сонячний елемент практично готовий. Під дією випромінювання всередині приладу вже відбувається генерація носіїв заряду, які потім розділяються р-n переходом і практично готові до подальшого використання. Але їх потрібно передати в ланцюг навантаження, а для цього необхідно сформувати контакти на поверхні сонячного елемента.

Контактна металізація сонячного фотоперетворювача

Сонячний елемент з нанесенням антивідбивального покриття вже фактично готовий до роботи. Під впливом сонячного світла в ньому вже відбувається генерація вільних носіїв зарядів, які, після фільтрації р-n переходу, здатні видати електричний струм. Але для цього необхідно їх передати в зовнішній ланцюг – на навантаження, а для цього потрібно сформувати контакти на поверхні сонячного елемента.

Фронтальна контактна металізація кремнієвих ФЕП

Лицьова поверхня служить в першу чергу для максимального поглинання випромінювання, що падає на неї, чим і визначаються технічні вимоги до контактної металізації. Саме з цієї причини контакт, розташований на робочій стороні сонячного елемента, виконується у вигляді ґрат, зазвичай складається з 2-3 широких контактних майданчиків і декількох десятків тонких струмозбираючих ліній, розташованих перпендикулярно до широких.

При виборі дизайну лицьового контакту інженерам доводиться вирішувати два протилежні завдання. По-перше, для зниження оптичних втрат, викликаних затінюванням робочої поверхні металом, вони намагаються виконати лінії решітки якомога більш тонкими і розташувати їх якомога далі

один від одного. По-друге, тому що поверхня елемента має певний електричний опір (визначається режимами формування р-n переходу за допомогою дифузії), то при дуже великій відстані між елементами контактної решітки частина носіїв заряду просто не встигає досягати контакту і рекомбінує всередині напівпровідникового матеріалу. Тому для зниження електричних втрат при заданому поверхневому опорі пластини відстань між лініями контактної решітки не може перевищувати певного значення. Теж саме стосується і ширини ліній — чим тонше лінія, тим краще для оптики, але тим менший струм зможе провести такий контакт. Плюс сам спосіб формування металізації має свої обмеження по мінімальній ширині ліній. Так, наприклад, контакт шириною 125 мкм зробити досить просто і недорого, а контакт шириною 80 мкм — це вже доля лабораторій і ентузіастів.

Зазвичай для зниження вартості сонячного елемента контактна металізація наноситься методом трафаретного друку або як її ще називають — шовкографії. Суть цього методу полягає в тому, що за допомогою так званого ракеля (якщо дуже просто, то гумового бруска) через дрібну сітку трафарету продавлюється паста, до складу якої входять металеві кульки, флюс і різні зв'язуючі добавки. На сітці попередньо сформований малюнок, що задає місця, в яких паста повинна бути нанесена на пластину, а в яких — ні. Після цього паста підсушується, і пластина надходить в піч вжигання, де при температурі понад 800 градусів метал впікається в поверхню сонячного елемента.

Оскільки паста містить досить тверді компоненти, то для збільшення стійкості при виробництві сонячних елементів застосовуються трафарети, виконані на металевих сітках. Ширина тонких ліній контактної металізації висуває вимоги до параметрів сита, в якому зазвичай буває від 165 до 325 отворів на кожен дюйм. Це дозволяє отримувати в результаті контакти шириною 125 мкм, розташовані в необхідному місці з точністю позиціонування не гірше 10 мкм.

Для формування лицьової металізації сонячних елементів сьогодні використовуються складні за складом пасти з вмістом срібла. Тип пасти і її властивості є дуже важливими для отримання хороших параметрів готового виробу. За нашими оцінками за кілька років тільки завдяки технічним поліпшенням паст, виробникам вдалося підняти ККД сонячних елементів на 1-1,5%. А з урахуванням того, що ККД звичайного кремнієвого наземного елемента в даний час лежить в межах 15-17%, то така добавка є більш ніж суттєвою.

Крім розглянутих вище проблем, що виникають при формуванні лицьової контактної металізації, не можливо не торкнутися ще одного важливого моменту. Як ми говорили вище, р-n перехід залягає на глибині всього близько 0,5 мкм. При вжиганні срібної пасти метал повинен якомога сильніше увійти в n-шар кремнію, але при цьому не досягти р-шару. Інакше буде мати місце електричний контакт між двома типами напівпровідника і сонячний елемент виявиться короткозамкнутим. Така вимога дуже ускладнює завдання вжигання пасти, яка повинна проникнути в пластину з ювелірною точністю. Для цього температурну обробку проводять у спеціальних високошвидкісних печах, що забезпечують піковий вплив на пластину протягом часу близько 10-15 секунд.

Звичайно, багато виробників консервативно користуються повільними конвеєрними печами, в яких пластини знаходяться в зоні вжигання близько 3 хвилин, і теж отримують прийнятні параметри виробів. Але перехід на використання високошвидкісних печей дозволяє збільшити ККД сонячного елемента що найменш на 0,5%. А це вже значний вигреш за сумарною потужністю продукції, що випускається на рік.

Дефекти конструкції кремнієвих ФЕП

До вихідних дефектів структури фотоелектричних перетворювачів відносяться агломерати точкових дефектів, дислокації і їх скупчення, планарні

дефекти типу двійників, дефекти упаковки, межі зерен, а також преципітати і мікродефекти, які розташовані всередині зерен, макродефектів матеріалу і т.п. Відхилення в ході проведення технологічних операцій, забруднення поверхні і об'єму напівпровідникового матеріалу, рідких і газоподібних технологічних середовищ, термічні і механічні процеси також призводять до появи і розвитку дефектів, пов'язаних з недосконалістю конструкції ФЕП.

При дослідженнях зразків були виявлені наступні види конструктивних дефектів кремнієвих ФЕП: дефекти структури і забруднення поверхні кремнієвих пластин, дефекти структури антивідбиваючого покриття (АВП), нерівномірність глибини залягання тильного ізотипного переходу, механічні відколи по периметру пластин, дефекти контактної металізації.

Залишки порушеного шару кремнію призводять до збільшення швидкості поверхневої рекомбінації і зменшення спектрального відгуку ФЕП. Нерівномірність висоти пірамід текстури може бути причиною нерівномірності товщини АВП і, відповідно, збільшення інтегрального коефіцієнта оптичного відбиття від поверхні ФЕП. Наявність на поверхні пластин частинок металу та інших забруднень призводить до шунтування емітерного переходу.

Тріщини і пори в АВП виникають під час високотемпературних обробок пластин внаслідок різниці коефіцієнтів термічного розширення матеріалу покриття і кремнію. Ці дефекти призводять до зменшення оптичного коефіцієнта пропускання АВП і збільшення оптичних втрат.

Нерівномірність глибини залягання тильного ізотипного переходу має місце при неоптимальних або нестабільних режимах нанесення і вжигання алюмінію на тильній поверхні ФЕП. Зменшення глибини тильного ізотипного переходу призводить до зростання швидкості рекомбінації на тильній поверхні пластини і зниження напруги холостого ходу приладу.

Механічні відколи з'являються при контактах пластин з технологічним оснащенням, пінцетами і т.п., а також внаслідок неакуратних маніпуляцій з пластинами. Механічні відколи є причиною утворення в пластинах мікротріщин, які призводять до істотної деградації електричних параметрів ФЕП.

До дефектів контактної металізації відносяться:

- розриви і нерівномірність ширини срібної контактної шини, не надруковані ділянки і відхилення геометрії малюнка металізації внаслідок дефектів трафарету при нанесенні контактів методом трафаретного друку;
- нерівномірність товщини металізації;
- відсутність адгезії лицьової або тильної контактної металізації внаслідок відхилення від оптимальних режимів вжигання і забруднень на поверхні пластин;
- відшаровування і відпадання алюмінієвої металізації через різницю коефіцієнтів термічного розширення кремнію і алюмінію.

Дефекти контактної металізації призводять до виникнення механічних напруг пластин, зменшення щільності струму короткого замикання і неможливості з'єднання ФЕП в модулі для отримання заданих значень струму і напруги в робочій точці.

Зниження втрат енергії в ФЕП наземного застосування

Для зниження оптичних втрат, пов'язаних з неповним використанням падаючого на поверхню фотоелектричного перетворювача випромінювання, в даний час найбільш широко застосовуються такі методи:

- структурування поверхні, що приводить до зниження інтегрального коефіцієнта відображення ФЕП;

- нанесення на поверхню ФЕП одно- або двошарового антивідбиваючого покриття;
- зменшення площі контактів на лицьовій поверхні для зниження втрат на затінення;
- нанесення на тильну поверхню ФЕП металевого шару, що збільшує ефективність поглинання довгохвильового випромінювання за рахунок його багаторазового проходження через обсяг напівпровідника;
- зменшення глибини емітерного переходу і зниження концентрації легуючих домішок поблизу лицьової поверхні для підвищення чутливості ФЕП в короткохвильовій частині спектра.

Електричні втрати енергії зазвичай зменшуються за допомогою таких методів:

- вибір оптимального кроку і товщини контактних шин на лицьовій поверхні для зниження послідовного опору ФЕП;
- використання гетеруючих обробок, що збільшують час життя неосновних носіїв заряду;
- пасивація лицьової поверхні для зниження швидкості поверхневої рекомбінації;
- пасивація тильної поверхні і створення ізотипного переходу;
- мінімізація площі контактів і додаткове легування приконтактних областей для зменшення рекомбінаційних втрат на кордоні розділу метал-напівпровідник.

1.4 Послідовне та паралельне з'єднання фотоелементів

Якщо послідовно з'єднано більше двох клітин один з одним, то вихідний струм комірки залишається таким же, і їх вхідна напруга подвоюється. На рисунку 1.4.1 нижче показана вихідна характеристика фотоелементів при послідовному підключенні.

У паралельній комбінації осередків напруга залишається таким же, і величина струму стає подвійною. Характеристична крива паралельної комбінації клітин представлена нижче на рисунку 1.4.2

У послідовно-паралельній комбінації осередків величина як напруги, так і струму зростає. Таким чином, сонячні панелі виготовляються з використанням послідовно-паралельної комбінації осередків.

На рисунку 1.4.3 показаний графік кривої послідовно-паралельної комбінації

Сонячний модуль побудований шляхом з'єднання окремих сонячних елементів. А комбінація сонячних модулів відома як сонячна панель.

На рисунку 1.4.1 зображено графік вихідної характеристики фотоелементів при послідовному підключенні

Current in ohms – значення в Омах

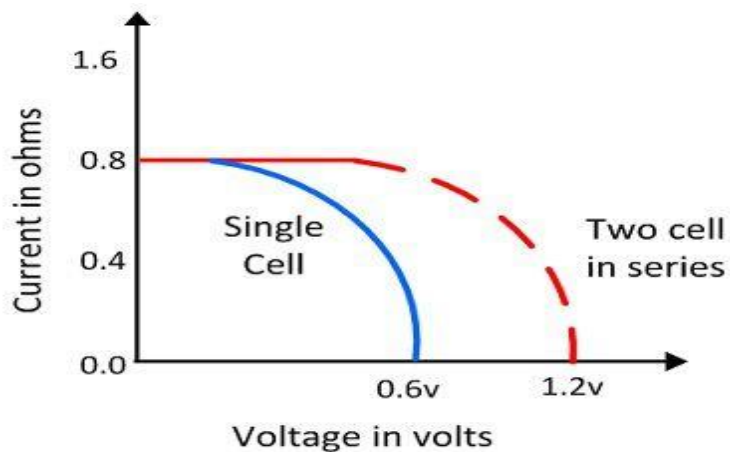
Single cell – одна клітина

Voltage in volts – напруга в вольтах

Two cell in series – 2 клітинки послідовно

Current same – струм поточний

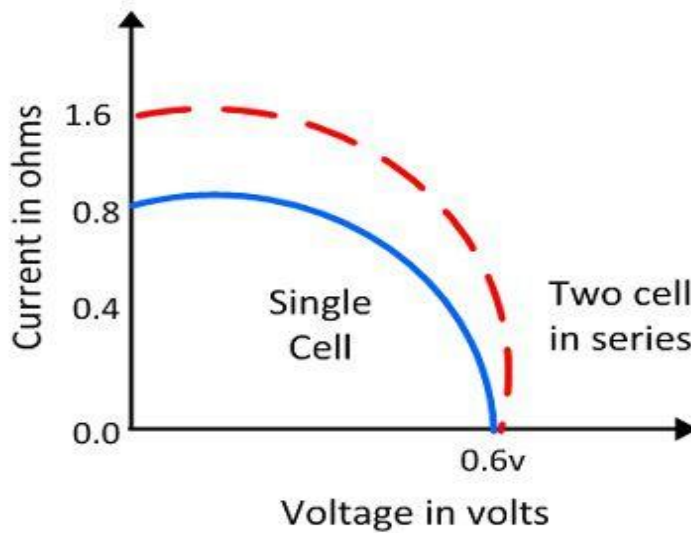
Voltage double – напруга вдвічі



Current Same Voltage Double

Circuit Globe

Рисунок 1.4.1 – графік вихідної характеристики фотоелементів при послідовному підключенні

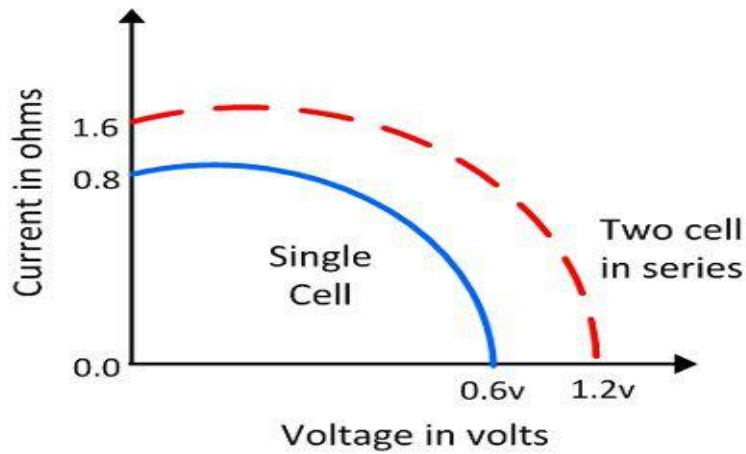


Voltage Same Current Double

Circuit Globe

Рисунок 1.4.2 – Характеристична крива паралельної комбінації клітин

Both the current and voltage increases – зростання струму і напруги



Both the current and voltage increases

Circuit Globe

Рисунок 1.4.3 – графік кривої послідовно-паралельної комбінації

Single unit of PV cell – один блок фотоелементів

Solar module – сонячний модуль

Solar panel – сонячна панель

На рисунку 1.4.4 показано як формується сонячна панель у зборі

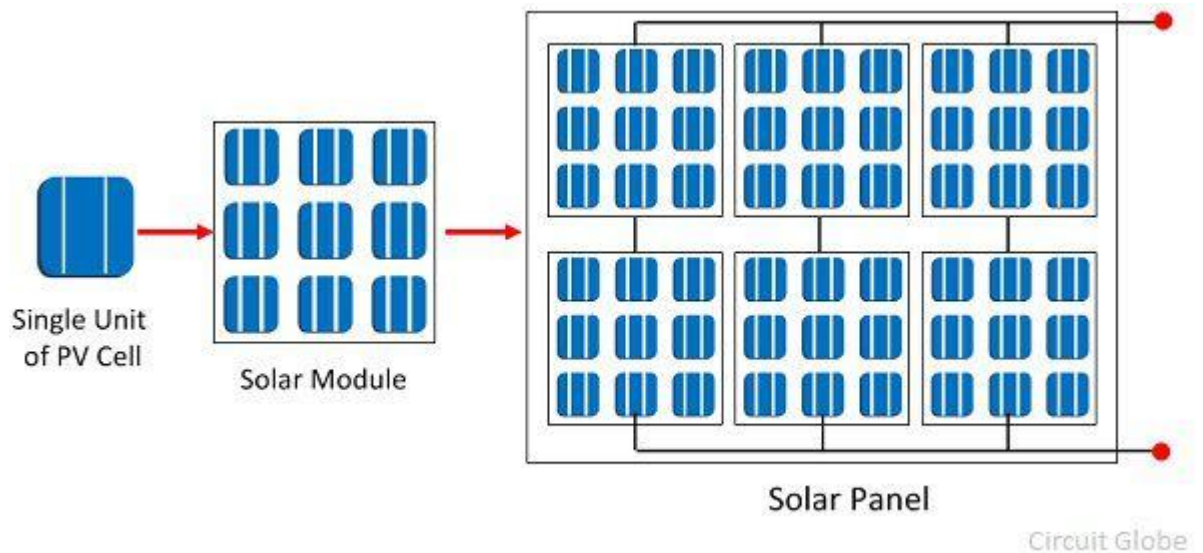


Рисунок 1.4.4 – Формування сонячної панелі у зборі

2. ОПИС ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СОНЯЧНОЇ БАТАРЕЇ

Фотоелектричний перетворювач призначений для перетворення енергії сонячного випромінювання в електричну електроенергію

2.1 Опис електричної структурної схеми сонячної батареї

Схема електрична структурна сонячної батареї зображена на рис. 2.1.1.

Вимірювач складається з таких блоків та вузлів:

- сонячна панель – СП ;
- датчики струму – ДС1...ДС3;
- датчики напруги – ДН1...ДН3;
- імпульсний перетворювач постійної напруги 3-го роду типу Серіс – ІППН;
- система управління – СУ;
- автономний інвертор – АІ;
- опір навантаження – R.

Також на схемі позначене джерело акумулювання у вигляді акумуляторної батареї

Схема відповідності з ЕС.М2.399-20.00.00.00.Е1.

Датчик струму та напруги ДС 1 та ДН1 знімають сигнал на виході сонячної батареї і направляють сигнал до системи управління СУ, яка контролює роботу сонячної батареї при різних режимах роботи та погодних умовах. Потім сигнал з виходу сонячної батареї потрапляє на вхід ІППН 3 – го роду типу Серіс, який слугує для оптимального заряду акумуляторної батареї. З його виходу також знімаються дані напруги та струму ДН2 та ДС2, які поступають на вхід системи управління. Сигнал з виходу акумуляторної батареї поступає на вхід автономний інвертор напруги АІ, який слугує для перетворення постійної енергії акумуляторної батареї в змінну напругу

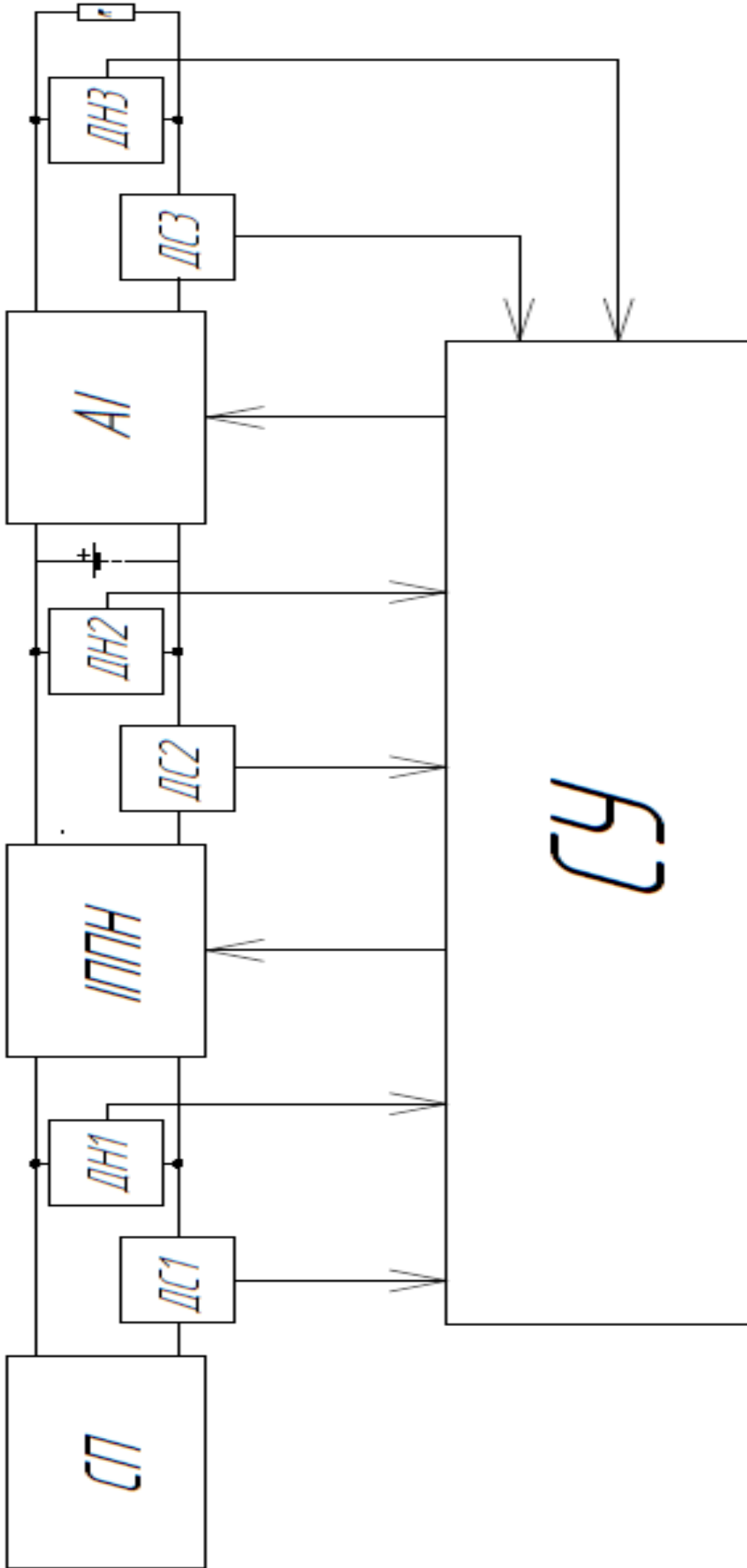


Рисунок 2.1 1.– Електрична структурна схема сонячної батареї

мережі 220 В промислової частоти. На кінці виходу автономного інвертору є датчик напруги ДНЗ, сигнал якого потрапляє на вхід системи управління. Датчик струму ДСЗ контролює роботу енергетичного тракту локальної сонячної енергосистеми та поступає на вхід системи управління.

3. ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК РОБОТИ ФОТОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЗА ЗАКОНАМИ ОМА І КІРХГОФА

Вихідні дані для розрахунку:

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунків фотоперетворювачів

Параметр	Одиниця вимірювання	Позначення	Значення
Номінальна потужність	кВт	$P_{\text{ном}}$	1
Напруга сонячної панелі	В	$U_{\text{пан}}$	48
Кількість модулів панелі	шт	-	4
Кількість фотоперетворювачів	шт	-	60

Вид з'єднання елементів – послідовно-паралельне

За Законом Ома розраховуємо силу струму всієї сонячної панелі:

$$I = P/U = 1000/48 = 20.83 \text{ А} \quad (3.1)$$

Приймаємо силу струму – 20 А

Наступним кроком розраховуємо внутрішній опір елементів за Законом Ома:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{48}{20.83} = 2.304 \text{ Ом} \quad (3.2)$$

Приймаємо внутрішній опір – 2 Ома

Розраховуємо напругу одного модуля з'єданого послідовно

$$U_{\text{мод}} = \frac{U}{4} = \frac{48}{4} = 12 \text{ В} \quad (3.3)$$

Кількість елементів в одному модулі

$$\frac{60}{4} = 15 \text{ шт} \quad (3.4)$$

Розраховуємо опір на одному фотоелементі модулю

$$\frac{R_{\text{мод}}}{15} = 0.5 \times 15 = \frac{1}{7} \text{ Ом} \quad (3.5)$$

Розраховуємо струм елементів модулю

$$I_{\text{ел}} \frac{I}{15} = \frac{20}{15} \approx 1.3 \text{ А} \quad (3.6)$$

Розраховуємо падіння напруги на модулі

$$U_{\text{пад}} = I_{\text{ел}} \times R = 1.3 \times 2 = 2,6 \text{ В} \quad (3.7)$$

Розраховуємо напругу на модулі з урахування падіння напруги

$$U_{\text{мод}} - U_{\text{пад}} = 12 - 2.6 = 9.4 \text{ В} \quad (3.8)$$

Після інженерних розрахунків нашої панелі була промодельована схема

На рис. 3.1 графічне зображення послідовно-паралельне з'єднання модулів та сонячних елементів. А на рис. 3.2 наведений графік моделювання – Вольт – амперна характеристика сонячної панелі у режимі холостого ходу та моменту включення. Швидкість включення 0.5 сек

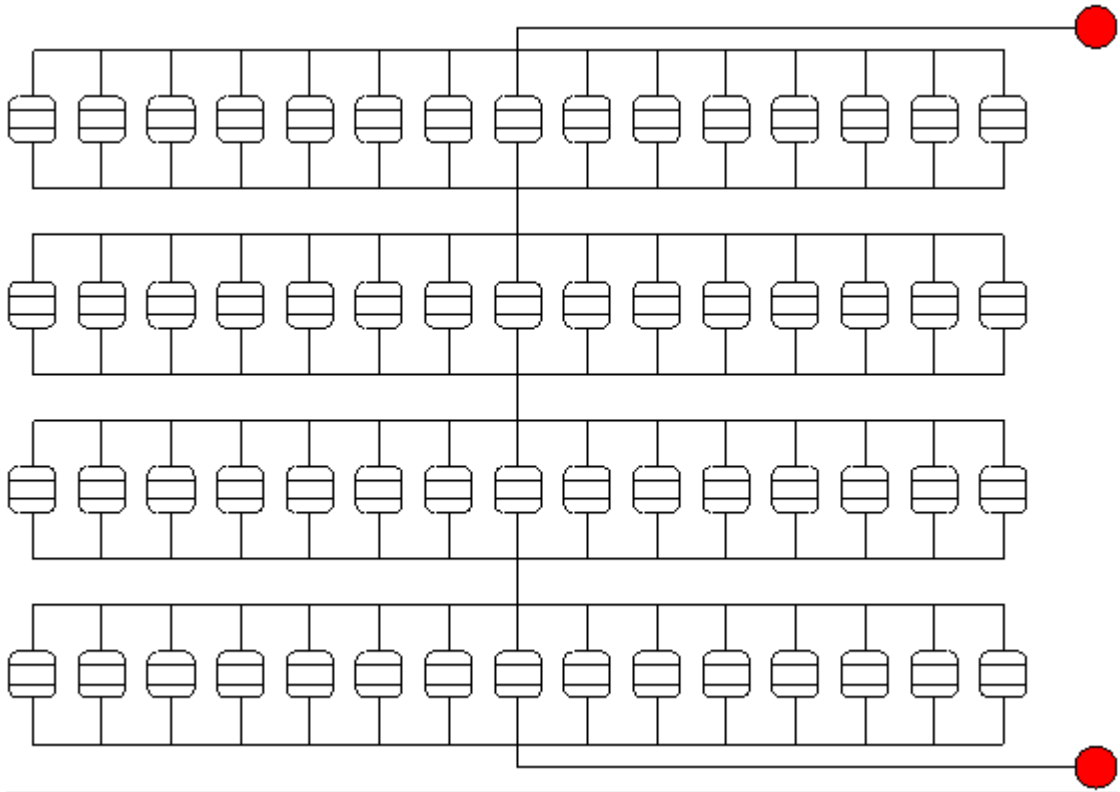


Рисунок 3.1 – Послідовно-паралельне з'єднання модулів та сонячних елементів відповідно

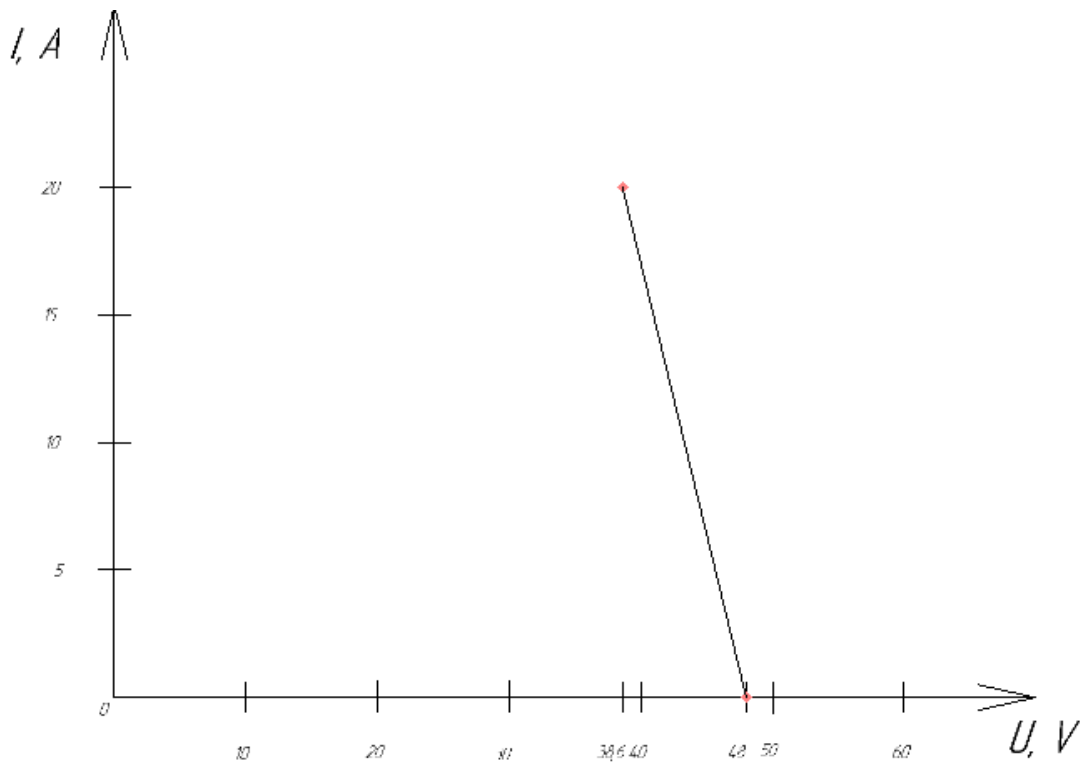


Рисунок 3.2 – графік Вольт – амперної характеристики моменту включення та холостого ходу

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Галузь застосування

Правила безпечної експлуатації електроустановок (далі - Правила) поширюються на працівників, які виконують роботи в електроустановках Міністерства енергетики України (далі - Міненерго України).

Дотримання вимог цих Правил є обов'язковим у разі виконання робіт з монтажу, налагодження, ремонту, реконструкції та експлуатації електроустановок електричних станцій, електричних і теплових мереж, електричної частини пристроїв ТАВ, ЗДТК, районних котелень, енергоремонтних та інших підприємств.

Вимоги цих Правил слід враховувати під час проектування та обслуговування електроустановок.

Під час виконання робіт в електроустановках поряд з цими Правилами слід керуватись також державними і галузевими нормативними актами з охорони праці, стандартами безпеки праці, нормами та інструкціями заводів-виробників обладнання.

Засоби захисту повинні відповідати вимогам державних стандартів, а також НАОП 1.1.10-1.07-82 "Правила применения и испытания средств защиты, используемых в электроустановках".

Ці Правила можуть бути змінені та доповнені тільки органом, що їх затвердив. Керівництво підприємства, залежно від місцевих умов, може вживати додаткових заходів, що підвищують безпеку робіт. Такі заходи не повинні суперечити цим Правилам.

Із набуттям чинності цими Правилами вважати такими, що не застосовуються на території України "Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок" (видання 2-е, перероблене і доповнене), затверджені Міненерго СРСР 10.09.85 та Президією ЦК галузевої профспілки 21.08.85 (НАОП 1.1.10-1.01-85).

4.2 Загальні вимоги до працівників

1. Посадові особи і працівники, які виконують роботи в електроустановках Міністерства енергетики України, проходять навчання та перевірку знань цих Правил.

2. Медичний огляд працівників слід здійснювати відповідно до вимог ДНАОП 0.03-4.02-94 "Положення про медичний огляд працівників певних категорій".

3. Працівники, які обслуговують електроустановки, повинні вивчити ці Правила відповідно до вимог своєї посади або роботи, яку вони виконують, пройти навчання безпечним прийомам праці на робочому місці під керівництвом досвідченого працівника, перевірку знань та присвоєння групи з електробезпеки (далі - групи) відповідно до додатка 1 до цих Правил працівнику, який пройшов перевірку знань цих Правил, видається посвідчення встановленої форми, яке він повинен мати при собі під час виконання робіт. Кожний працівник повинен знати, розуміти і дотримуватись вимог цих Правил. Забороняється допуск до роботи працівників, які не пройшли навчання та перевірку знань з питань охорони праці.

4. Працівники, які виконують роботи, зазначені у ДНАОП 0.00-8.02-93 "Перелік робіт з підвищеною небезпекою", повинні мати відповідний запис у посвідченні про перевірку знань.

5. Забороняється допуск працівників, молодших 18 років, до робіт, зазначених у ДНАОП 0.03-8.07-94 "Перелік важких робіт і робіт із шкідливими і небезпечними умовами праці, на яких забороняється застосування праці неповнолітніх".

6. Забороняється допуск до роботи працівників з ознаками алкогольного або наркотичного сп'яніння. Кожний працівник, якщо він не може вжити заходів щодо усунення порушень цих Правил, зобов'язаний негайно повідомити безпосереднього керівника про всі помічені порушення, а також про небезпечні для людей несправності електроустановок та машин,

механізмів, пристроїв, інструменту та засобів захисту, що застосовуються під час виконання робіт. Забороняється виконувати розпорядження та завдання, що суперечать вимогам цих Правил.

7. Керівники, спеціалісти, які безпосередньо організують роботу, зобов'язані забезпечити виконання її відповідно до вимог цих Правил.

8. Працівники, винні у порушенні цих Правил, несуть дисциплінарну, адміністративну, матеріальну або кримінальну відповідальність згідно з чинним законодавством.

4.3 Вимоги з охорони праці для працівників, що виконують монтаж, випробування і вимірювання в електроустановках

1. До проведення випробувань слід допускати лише тих працівників, які пройшли спеціальну підготовку та перевірку знань. Керівник робіт, крім того, повинен пройти стажування протягом місяця під контролем досвідченого працівника.

Працівники, допущені до проведення випробувань, повинні мати запис у посвідченні про перевірку знань.

2. Випробування електрообладнання, в тому числі і за межами електроустановки (в недіючих електроустановках, на складах, території підприємства, в полі тощо), що проводяться з використанням пересувної випробної установки, слід виконувати за окремим нарядом на випробування. Наряд на випробування видає працівник, який прийняв рішення про необхідність їх проведення та має право видавати наряд. (Абзац перший пункту 2 розділу 4.2 із змінами, внесеними згідно з Наказом Держнаглядохоронпраці № 26 від 25.02.2000)

Допуск до випробувань в електроустановках здійснює оперативний або оперативно-виробничий працівник, який має такі права. У недіючих електроустановках, на складах, території підприємств, у полі тощо допуск до

випробувань здійснює керівник робіт за нарядом. (Абзац другий пункту 2 розділу 4.2 в редакції Наказу Держнаглядохоронпраці № 26 від 25.02.2000)

(Абзац третій пункту 2 розділу 4.2 вилучено на підставі Наказу Держнаглядохоронпраці № 26 від 25.02.2000) Проведення випробувань під час монтажу або ремонту обумовлюється у рядку "Доручається" наряду.

В електроустановках до 1000 В випробування допускається виконувати за розпорядженням.

3. Випробування проводить бригада, в якій керівник робіт повинен мати групу IV, член бригади - групу III, а працівник, виставлений для охорони, - групу II.

4. До складу бригади, яка проводить випробування, можуть входити виробничі працівники, які залучаються до виконання підготовчих робіт та нагляду за обладнанням.

(Абзац другий пункту 2 розділу 4.2 вилучено на підставі Наказу Держнаглядохоронпраці № 26 від 25.02.2000) До складу бригади, яка виконує ремонт або монтаж обладнання, для проведення випробувань можна залучати працівників налагоджувальних організацій або електролабораторії. В цьому разі керівництво випробуваннями здійснює керівник робіт або, за його вказівкою, працівник з групою IV зі складу працівників лабораторії чи налагоджувальної організації.

5. Допуск за нарядами, виданими на проведення випробувань та підготовчих робіт до них, слід здійснювати тільки після того, як інші бригади, які працюють на обладнанні, що підлягає випробуванню, виведені з робочих місць та їхні наряди здані допускатчу. В електроустановках без місцевих оперативних працівників керівнику робіт дозволяється після виведення бригади залишити наряд у себе, оформивши перерву в роботі.

6. Випробну установку, обладнання, що випробовується, та з'єднувальні проводи між ними слід обгородити щитами, канатами тощо з

плакатами "Випробування. Небезпечно для життя!", повернутими назвні. Огородження встановлюють працівники, які проводять випробування.

7. У разі необхідності слід виставити охорону зі складу членів бригади з групою II для запобігання наближенню сторонніх осіб до випробної установки, з'єднувальних проводів та до обладнання, що випробовується. Члени бригади, які виставлені для охорони, повинні знаходитись зовні огороження та вважати, що випробне обладнання перебуває під напругою. Залишити пост ці працівники можуть тільки з дозволу керівника робіт.

8. У разі проведення випробувань кабельної лінії, коли протилежний її кінець розташований в замкненій камері, у відсіку КРУ або в приміщенні, на дверях чи огороженні слід вивішувати плакат "Випробування. Небезпечно для життя!".

Якщо двері і огороження не замкнені або випробуванню підлягає кабель з розробленими на трасі жилами, то крім плакатів, що вивішуються біля дверей, огорожень та розроблених жил кабелю, слід виставити охорону з включених до складу бригади працівників з групою II або чергових працівників.

9. Якщо випробна установка та обладнання, що випробовується, розміщені у різних приміщеннях або на різних ділянках РУ, дозволяється перебування членів бригади з групою III, які проводять спостереження за станом ізоляції, окремо від керівника робіт. Ці члени бригади повинні розташовуватись поза межами огороження та отримати перед початком випробувань від керівника робіт відповідний інструктаж.

10. Масові випробування ізоляційних матеріалів та виробів (засобів захисту, різноманітних ізоляційних деталей тощо), які проводяться поза електроустановками понад 1000 В із застосуванням стаціонарних випробних установок, у яких струмовідні частини закриті суцільними та сітчастими огороженнями, а двері мають блокування, може виконувати одноособово один працівник з групою III відповідно до місцевої інструкції.

11. Під час складання випробної схеми перш за все необхідно виконати захисне і робоче заземлення випробної установки і, якщо потрібно, захисне робоче заземлення корпусу обладнання, що випробовується.

Забороняється проводити випробування пересувною установкою із заземлюванням її корпусу тільки за допомогою робочої схеми.

Корпус пересувної випробної установки необхідно заземлити окремим заземлювальним провідником з гнучкого мідного проводу з перерізом не менше ніж 10 кв.мм. Перед випробуванням слід перевірити надійність заземлення корпусу.

Перед приєднанням випробної установки до мережі напругою 380/220 В вивід високої напруги необхідно заземлити. Переріз мідного проводу, що використовується у випробних схемах для заземлювання, не повинен бути менше ніж 4 кв.мм.

12. Приєднання випробної установки до мережі напругою 380/220 В слід здійснювати через комутаційний апарат з видимим розривом кола або через штепсельну вилку, що розміщені на місці керування установкою. Комутаційний апарат або слід обладнати утримуючим пристроєм, або між рухомими та нерухомими контактами апарата слід встановити ізолювальну накладку.

Провід або кабель, який використовують для живлення випробної установки від мережі напругою 380/220 В, необхідно захистити запобіжниками або автоматичним вимикачем, які встановлені у цій мережі.

Підключати до мережі пересувну випробну установку повинні представники організації, що експлуатує цю мережу.

13. З'єднувальний провід між обладнанням, що випробовується, і випробною установкою спочатку необхідно приєднати до її заземленого виводу високої напруги. Цей провід слід закріплювати так, щоб запобігти його наближенню (підхльостуванню) до струмовідних частин, що перебувають під напругою, на відстань, меншу за зазначену в третій графі таблиці 5.1 цих Правил.

Приєднувати та від'єднувати з'єднувальний провід до фази (полюса) обладнання, що випробовується, до жили кабелю дозволяється за вказівкою керівника випробувань тільки після їх заземлення, яке слід виконати або увімкненням заземлювальних ножів, або встановленням переносних заземлень, у тому числі спеціальних лабораторних з ізолювальними рукоятками.

14. У випробних установках робоче місце оператора необхідно відділити від частини установки напругою понад 1000 В. Двері в частину установки напругою понад 1000 В необхідно обладнати блокуванням, яка забезпечує знімання напруги з випробної схеми у разі відчинення дверей та унеможливує подавання напруги при відчинених дверях. На робочому місці оператора необхідно виконати окремі світлові сигналізації про подання напруги до і понад 1000 В. Пересувні випробні установки, крім того, необхідно оснастити зовнішньою світловою сигналізацією, яка автоматично вмикається у разі наявності напруги на виводі випробної установки.

15. Для отримання випрямленого струму підвищеної напруги слід, як правило, застосовувати напівпровідникові перетворювачі.

Кенотронні випробні установки слід експлуатувати згідно з "Типовой инструкцией по технике безопасности для персонала, обслуживающего кенотронные установки", що передбачає заходи щодо захисту працівників, які обслуговують кенотронні установки, від шкідливої дії рентгенівського випромінювання.

16. Перед кожним подаванням випробної напруги керівник робіт повинен:

1 перевірити правильність складання схеми і надійність робочих та захисних заземлень;

2 перевірити, чи всі члени бригади і працівники, виставлені для охорони, перебувають на вказаних ним місцях, чи виведені всі сторонні особи і чи можна подавати випробну напругу на обладнання;

З попередити бригаду про те, що подається напруга словами "Подаю напругу" і, впевнившись в тому, що попередження почули всі члени бригади, зняти заземлення з високовольтного виводу випробної установки та подати напругу 380/220 В.

З моменту знімання заземлення з високовольтного виводу випробну установку, а також обладнання, яке випробовується, та з'єднувальні проводи слід вважати такими, що перебувають під напругою, і проводити будь-які Perez'єднання у випробній схемі та на обладнанні забороняється.

17. Забороняється з моменту подавання напруги на вивід випробної установки входити до неї і виходити з неї, а також торкатися випробної установки і обладнання, що випробовується. (Пункт 17.1.17 розділу 17 із змінами, внесеними згідно з Наказом Держнаглядхоронпраці № 26 від 25.02.2000)

18. Випробовувати або пропалювати кабелі слід з боку пунктів, що мають заземлювальні пристрої. Проводити ці роботи без заземлювальних пристроїв допускається у виняткових випадках з дозволу керівництва підприємства.

19. Після закінчення випробувань керівник робіт повинен знизити напругу випробної установки до нуля, вимкнути її з мережі 380/220 В, заземлити високовольтний вивід установки та повідомити про це бригаду словами "Напругу знято. Заземлення встановлено". Тільки після цього слід Perez'єднувати проводи або, у разі повного закінчення випробувань, від'єднувати їх від випробної установки та знімати огороження.

20. Встановлювати та знімати заземлення заземлювальною штангою на високовольтний вивід випробної установки, під'єднувати і від'єднувати проводи, що йдуть від випробної установки до обладнання, яке випробовується, необхідно у діелектричних рукавичках.

У разі проведення випробувань та Perez'єднань незаземлені частини випробного обладнання слід розглядати як такі, що перебувають під напругою.

21. Після проведення випробувань обладнання із значною ємністю (кабелі, генератори) з нього необхідно зняти залишковий заряд.

Правила безпечної експлуатації електроустановок (далі - Правила) поширюються на працівників, які виконують роботи в електроустановках Міністерства енергетики України (далі - Міненерго України).

Дотримання вимог цих Правил є обов'язковим у разі виконання робіт з монтажу, налагодження, ремонту, реконструкції та експлуатації електроустановок електричних станцій, електричних і теплових мереж, електричної частини пристроїв ТАВ, ЗДТК, районних котелень, енергоремонтних та інших підприємств.

Вимоги цих Правил слід враховувати під час проектування та обслуговування електроустановок.

Під час виконання робіт в електроустановках поряд з цими Правилами слід керуватись також державними і галузевими нормативними актами з охорони праці, стандартами безпеки праці, нормами та інструкціями заводів-виробників обладнання.

Засоби захисту повинні відповідати вимогам державних стандартів, а також НАОП 1.1.10-1.07-82 "Правила применения и испытания средств защиты, используемых в электроустановках".

Ці Правила можуть бути змінені та доповнені тільки органом, що їх затвердив. Керівництво підприємства, залежно від місцевих умов, може вживати додаткових заходів, що підвищують безпеку робіт. Такі заходи не повинні суперечити цим Правилам.

Із набуттям чинності цими Правилами вважати такими, що не застосовуються на території України "Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок" (видання 2-е, перероблене і доповнене), затверджені Міненерго СРСР 10.09.85 та Президією ЦК галузевої профспілки 21.08.85 (НАОП 1.1.10-1.01-85).

4.4 Розрахунок пристрою заземлення

Розрахунок захисного заземлення виконують для визначення основних параметрів заземлювального пристрою - кількості, розмірів і порядку розміщення одиночних заземлювачів і заземлюючих провідників, при яких напруга дотику і крокова напруга під час замикання фази на заземлений корпус електроустановки не перевищують допустимих значень. Зазвичай розрахунок роблять по допустимому опору заземлювача розтіканню струму. Для спрощення розрахунку допускають, що заземлювач розміщений в одношаровому ґрунті. Вихідні дані для розрахунку пристрою заземлення вказані у таблиці 4.1.1

Таблиця 4.1.1 - Вихідні дані для розрахунку пристрою заземлення

Параметр	Значення
Допустимий опір заземлювального пристрою розтіканню струму, R_{pc} , Ом	4
Вид ґрунту	Суглинок
Кліматична зона, K_z	1
Розташування вертикальних заземлюючих електродів	В контур

Принцип розрахунку захисного заземлення в електроустановках напругою до 1000 В з ізолюваною нейтраллю зводиться до визначення числа заземлювачів через знаходження необхідного опору заземлювального пристрою (що складається з одиничних заземлювачів, з'єднаних металеву смугою та розташованих в ряд або по контуру).

Послідовність розрахунку заземлення в одношаровому ґрунті наступна:

1) Визначити значення питомого опору ґрунта в місті встановлення приладу заземлення.

$$\rho_{\text{глини}} = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (4.1)$$

2) Отримати розрахунковий питомий опір ґрунта.

$$\rho_{\text{роз}} = \rho \cdot \Psi_{\text{в}} = 100 \cdot 1.9 = 190 \text{ Ом} \cdot \text{м}, \quad (4.2)$$

де $\Psi_{\text{в}}$ – кліматичний коефіцієнт для вертикальних електродів

3) Визначити опір одинарного заземлювача. Так як верхні шари ґрунту мають великі сезонні коливання в залежності від вологості і температури, заземлювачі слід забивати нижче поверхні землі. Тоді опір одинарного заземлювача можна визначити за формулою

$$R_{\text{оз}} = \frac{\rho_{\text{роз}}}{2 \cdot \pi \cdot l} \left(\ln \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right) = 61.07 \text{ Ом} \quad (4.3)$$

де t – глибина закладення заземлення (відстань від середини заземлювача до поверхні ґрунту), м; l , d - довжина і діаметр заземлювача, м.

4) Визначити орієнтовну кількість одиночних заземлювачів в пристрої

$$n^1 = \frac{R_{\text{оз}}}{R_{\text{рс}} \cdot \eta_{\text{в}}} = \frac{61.07}{4 \cdot 1} = 15.27 \quad (4.4)$$

де $\eta_{\text{в}}^1$ – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів. Для орієнтовного розрахунку приймаємо $\eta_{\text{в}}^1$ рівним 1.

Значення $\eta_{\text{в}}^1$ залежить від форми, розмірів і розміщення електродів, що становлять груповий заземлювач, а також від їх числа n , відстані a між окремими заземлювачами і від відношення відстані між окремими заземлювачами до їх довжини.

5) Визначити дійсне значення коефіцієнта використання $\eta^1_{\text{в}}$ для вертикальних заземлювачів, виходячи з прийнятої схеми розміщення вертикальних заземлювачів

$$\eta^1_{\text{в}}=0.38$$

6) Визначити необхідну кількість вертикальних заземлювачів. Кількість заземлювачів округляємо в більшу сторону.

$$n = \frac{R_{\text{оз}}}{R_{\text{рс}} \cdot \eta_{\text{в}}} = \frac{61.07}{4 \cdot 0.38} = 40.18 \approx 41 \quad (4.5)$$

7) Визначити довжину лінії, що з'єднує одиничні заземлювачі

$$L = 1.05 \cdot a \cdot n = 1.05 \cdot 3 \cdot 41 = 129.15 \text{ м} \quad (4.6)$$

8) Визначити розрахунковий питомий опір ґрунту для розрахунку опору горизонтального заземлювача

$$\rho^1_{\text{роз}} = \rho \cdot \Psi_{\text{г}} = 100 \cdot 5.75 = 575 \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (4.7)$$

де $\Psi_{\text{г}}$ – кліматичний коефіцієнт для горизонтальних електродів

9) Визначити опір сталевій полосі, яка з'єднує вертикальні заземлювачі

$$R_{\text{п}} = \frac{\rho^1_{\text{роз}}}{2\pi \cdot L} \ln \frac{L^2}{b_{\text{п}} \cdot t_{\text{п}}} = \frac{575}{2 \cdot 3.14 \cdot 123.38} \cdot \ln \frac{129.15^2}{0.04 \cdot 0.7} = 9.42 \text{ Ом} \quad (4.8)$$

де $b_{\text{п}}$, $t_{\text{п}}$ – ширина полоси та глибина залягання полоси, м

10) Визначити загальний опір заземлювального пристрою з урахуванням смуги з'єднання

$$R_{\text{заг}} = \frac{R_{\text{оз}} \cdot R_{\text{п}}}{R_{\text{оз}} \cdot \eta_{\Gamma} \cdot \eta_{\text{в}} \cdot n} = 3.61 \text{ Ом} \quad (4.9)$$

11) Правильно розрахований прилад заземлення повинен відповідати умові

$$R \leq R_{\text{рс}},$$

де $R=3.61 \text{ Ом}$, а $R_{\text{рс}}=4 \text{ Ом}$

Умова виконується – розрахунок виконаний вірно. А конструкція заземлюючого пристрою наведена на рис. 4.1

Результати розрахунку заземлювального пристрою відображені на листі 7 (шифр ЕС М2.399-20.00.00.00.00 Д6).

Полоса 129.15 м

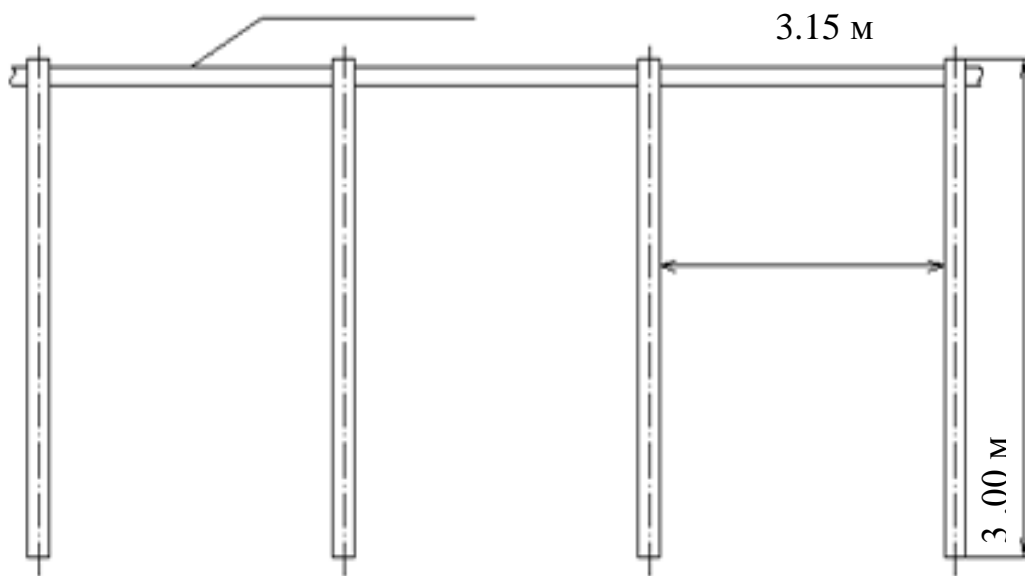


Рисунок 4.1 – Конструкція заземлюючого пристрою

5. РОЗРАХУНОК СОБІВАРТОСТІ ВИРОБУ

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

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

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

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 добуток 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)

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 електронного вимірювача температурного опору

Зарплата на виготовлення і випробування дослідного зразка по всім етапам визначається таким чином: дослідний зразок виготовляється і випробовується 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

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	Плакат сонячний парк	ф.А1	1	2	2	1	1	134.5	134.5
2	Схема електрична структурна	ф.А1	1	16	16	1	2	118.7	237.4
3	Специфікація	ф.А4	1	0.6	0.60	1	0.05	87.3	4.37
4	Розрахунки	ф.А4	3	7.30	61	1	3	103	309
5	Записка пояснення	ф.А4		1.60	85.00	1	21	118.8	2494.8
6	Програмне забезпечення	ф.А4	2	9.50	28.50	1	2	126.6	253.2
	Разом:								3433.27

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. Зарплата да виготовлення дослідного зразка вказана у таблиці 5.2

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

Таблиця 5.2. Зарплата на виготовлення дослідного зразка

№	Вид робіт	Середній розряд робіт	Трудомісткість	Тарифна ставка, грн/год	Зарплата, грн
1	Монтажні	6	36	21.6	777.6
2	Регулювальні	6	11	15.67	172.37
Разом:					949.97

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

Собівартість дослідного зразка визначається за формою табл. 5.3.

Таблиця 5.3. Калькуляція собівартості дослідного зразка

№	Стаття витрат	Витрати на проєктований виріб, грн.
1	Матеріали та куповані комплектуючі вироби	2785.6
2	Транспортні витрати (5% п.1)	63.2
3	Заробітна платня виробничих робочих	949.97
4	Додаткова заробітна плата (10% п.3)	94.99
5	Нарахування на зарплату (37% п. 3+п.4)	386.63
6	Накладні витрати (120% п.4)	106.39
Всього собівартість:		4386.78

Розрахунок кошторису витрат на конструкторську підготовку виробництва приведено в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Кошторис витрат на конструкторську підготовку виробництва

№	Стаття витрат	Сума, грн.
1	Зарплата розробників по всім етапам розробки	949.97
2	Зарплата на коректування технічної документації за наслідками випробувань дослідного зразка (15% п.1)	142.5
3	Разом:	1092.47
4	Нарахування на зарплату (37% п.3)	404.21
5	Накладні витрати (120% п.3)	1223.57
6	Собівартість дослідного зразка	1263.92
7	Інші витрати	106.39
Всього вартість розробки:		5165,03

Розрахунок заробітної плати робочих в разі серійного виготовлення виробу приведено в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5. Зарплата робочих за виготовлення серійного виробу

№	Вид робіт	Середній розряд робіт	Трудомісткість нормо - год	Тарифна ставка, грн/год	Зарплата, грн
1	Монтажні	5	24	15,78	378.72
2	Регулювальні	5	8	14,50	116.0
3	Разом:				494.72

Розрахунок планованої собівартості одиниці продукції проводиться на основі калькуляційних статей, враховуючи що комплектуючі та матеріали знижені на 30% по відношенню до таблиць 5.3, зведених в таблицю 5.6:

Таблиця 5.6. Калькуляція собівартості і ціни одиниці виробу

№	Стаття витрат	Витрати на виріб, грн
1	Куповані комплектуючі вироби	2785,6
2	Транспортні витрати (5% п.1)	63.2
3	Основна заробітна плата виробничих робочих (табл. 5.5)	494.72
4	Додаткова заробітна плата (10% п.3)	49.47
5	Нарахування на зарплату (37%(п.3+п.4))	212.45
6	Загальновиробничі витрати (1000% п.4)	494.7
7	Разом собівартість	4100.14
8	Прибуток (30% п.7)	876.33
Ціна виробника:		4976.47

Розрахунок терміну окупності розробки

Річний економічний ефект від впровадження нових виробів розраховується по формулі

$$\mathcal{E}_r = (П - E_n \cdot K_y) \cdot A_r, \quad (5.1)$$

де $П$ – прибуток на одиницю продукції (з табл. 5.6 $П = 876.33$);

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

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

A_r – річний об'єм випуску продукції при серійному виробництві.

Визначаємо питомі капіталовкладення на одиницю річного об'єму продукції:

$$K_y = \frac{K}{A_r}, \quad (5.2)$$

де K - капіталовкладення в розробку виробу (з табл. 5.4 $K=5165.03$).

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

$$K_y = \frac{5165.03}{60} = 86.08$$

Тоді передбачуваний річний економічний ефект:

$$\mathcal{E}_r = (876.33 - 0.15 \cdot 86.08) \cdot 60 = 51811,08$$

Ефективність розробки визначається згідно:

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

$$E = \frac{51811,08}{5165.03} = 10.03$$

Термін окупності продукції рівний зворотній величині ефективності:

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

$$T = \frac{1}{10.03} = 1 \text{ рік}$$

В таблиці 5.7 приводяться загальні економічні показники розробленої системи передачі інформації по оптичним каналам

Таблиця 5.7. Економічні показники

№	Показники	Один. виміру	По проектуваному виробу
1	Витрати на КПП	грн.	2785,6
2	Собівартість розробки	грн.	5165,03
3	Ціна підприємства	грн.	3826.47
4	Річний обсяг випуску	шт.	60
5	Річний економічний ефект	грн.	51811,08
6	Ефективність розробки		10.03
7	Термін окупності додаткових капітальних вкладень	років	1

Економічні розрахунки підтвердили доцільність розробки сонячних панелей

ВИСНОВОК

В дипломному проєкті було проведено розробку та розрахунок сонячної батареї. Проаналізувавши ринок функціональних аналогів, виявлено, що нашому приладу немає аналогів, які б підійшли для наших науково – дослідних робіт. Але є фотоелементи та батареї, які виконують схожі функції в побуті та у космічній сфері, їх цінова політика коливається від 42 до 1635 грн в залежності від якості та довговічності.

На основі даного аналізу була запропонована схема електрична структурна. Виконано розрахунок вольт-амперної характеристики у момент включення. Було виконано математичне моделювання поведінки фотоперетворювачів у момент включення та в моменті холостого ходу.

Окрім того було виконано розрахунок вартості фотоелементів. Виконано розрахунок захисного заземлення.

Після виконаної роботи, можемо зробити висновки, що для розробки ефективності фотопертворювачів та їх дослідження за такими даними: 1 кВт, 48 В для 60 штук, нам знадобилися:

- Датчик температури та напруги;
- Система керування;
- Сонячна батарея та батарея постійного струму

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1) Все про сонячну енергетику – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://generacia.org.ua>
- 2) Виробники сонячних панелей в Україні – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://joule.ua/blog/soniachni-paneli-ukrainskoho-vyrobnytstva-khto-vyrobliiae-ta-de-kyuyty/>
- 3) Виробники панелей світу та України – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://energytransition.in.ua/rodovid-ukrains-kykh-soniachnykh-paneley-zvidky-obladnannia/>
- 4) А.В. Федотов, Н.Г. Скабкин. Основы теории надёжности и технической диагностики. Конспект лекций. – Омск: Издательство ОмГТУ, 2010.
- 5) Принцип роботи за загальні поняття про фотовольтаїку та сонячні панелі – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Загальний_опис
- 6) Кремнеїві ФЕП – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://avenston.com/articles/fundamentals-of-the-technology-of-production-of-silicon-solar-cells/>
- 7) Паралельне та послідовне з'єднання фотокомпонентів – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://illustrationprize.com/uk/233-photovoltaic-or-solar-cell.html>
- 8) Ціни на фотоелектричні компоненти та сонячні панелі в Україні – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://joule.ua/blog/tsiny-na-soniachni-batarei-v-ukraini/>
- 9) Вимоги з електробезпеки при виробництві та експлуатації фотоелектричного обладнання – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://opcb.kpi.ua/wp-content/uploads/2014/09/Лекція_7.pdf

10) Вимоги з охорони праці для працівників, що виконують монтаж, випробування в електроустановках – [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<http://oppb.com.ua/docs/vimogi-pozhezhnoyi-bezpeki-do-elektrostanovok>

11) Вимоги з охорони праці для організації безпечних умов праці – [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

https://dnaop.com/html/33503doc-III_1.4.17-429-2005/

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	к/л	Примітка
				<u>Документація</u>		
A1			ЕС Д2.150714.00.00.00.00.Д1	Підвищення ефективності фотоелектричних перетворювачів сонячний парк		
A1			ЕС М2.399-20.00.00.00.00.Е1	Підвищення ефективності фотоелектричних перетворювачів схема електрична структурна		
A1			ЕС М2.399-20.00.00.00.00.Д2	Підвищення ефективності фотоелектричних перетворювачів результати моделювання		
A1			ЕС М2.399-20.00.00.00.00.Д3	Підвищення ефективності фотоелектричних перетворювачів вольт-амперна характеристика елементів		
A1			ЕС М2.399-20.00.00.00.00.Д4	Підвищення ефективності фотоелектричних перетворювачів Ефективність фотоперетворення модулів на основі різноманітних матеріалів		
A1			ЕС М2.399-20.00.00.00.00.Д5	Підвищення ефективності фотоелектричних перетворювачів Сонячна електростанція		
A1			ЕС М2.399-20.00.00.00.00.Д6	Підвищення ефективності фотоелектричних перетворювачів захисне заземлення		
A1			ЕС М2.399-20.00.00.00.00.Д7	Підвищення ефективності фотоелектричних перетворювачів розрахунок економічних показників		

ЕС М2.399-20.00.00.00.00

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.		Байко	<i>Байко</i>	20.12.21
Перевір.		Критська	<i>Критська</i>	20.12.21
Н.контр.		Туришев	<i>Туришев</i>	20.12.21
Затверд.		Критська	<i>Критська</i>	20.12.21

Підвищення ефективності
фотоелектричних перетворювачів

Літ.	Арк.	Арк.шів
		1

ІННІ ім. Ю. М. Помебні ЗНУ
8.1710

Додаток А
 Таблиця 1
 Історія змін
 № докум. Історія змін
 № докум. Історія змін