

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

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

на тему Дослідження впливу зовнішніх факторів
на ефективність фотоперетворення в
умовар землі

Виконав: студент II курсу, групи 8.1712

спеціальності 171 «Електроніка»

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Електроніка

(код і назва освітньої програми)

Калкиш Є.В.

(ініціали та прізвище)

Керівник д.т.н., проф Крижска Т.В.

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

Рецензент з.т.н. дир. НІР "ЕкоТех" Шершов 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 другий (магістерський)

Спеціальність 171 «Електроніка»
(код і назва)

Освітня програма Електроніка
(код і назва)

Спеціалізація _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Критська Т.В.

“09” 10 2023 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Калниша Євгенія Васильовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Дослідження впливу зовнішніх факторів на ефективність фотопереоборачувачів у умовах Землі

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

затверджені наказом ЗНУ від “09” жовтня 2023 року № 1577-с

2 Строк подання студентом роботи 04.12.23

3 Вихідні дані до роботи Напруга 12В, струм 4А

Тип модуляції: перетворювача - ШІМ.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Загальні відомості про вплив зовнішніх факторів.

2. Деградація та фізичні основи матеріалів сонячних панелей

3. Підвищення ефективності перетворення енергії: сонячний

модуль 4. Конструкційно-технологічна частота 5. Техніко-економічні обґрунтування

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

1. Пояснювальне завдання, 2. Витяг РЗР-сфери, 3. Схема електричного проекту +. Схема електричного проекту, 4. Окреслення проекту, 5. Розрахунок матеріалів, 6. Економічні показники

6 Консультанти розділів роботи


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	д.м.н. проф. Крицька Т.В		
2	д.м.н. проф. Крицька Т.В		
3	д.м.н. проф. Крицька Т.В		
4	д.м.н. проф. Крицька Т.В		
5	д.м.н. проф. Крицька Т.В		

7 Дата видачі завдання 14.02.23


КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз зовнішніх факторів	2.03.23	
2	Вивчення властивостей матеріалів	21.03.23	
3	Підвищення ефективності перевезення енергії в умовах зовнішнього впливу	23.06.23	
4	Техніко-економічне обґрунтування	12.11.23	
5	Оформлення РЗ	21.11.23	
6	Оформлення РЧ	01.12.23	

Студент  Калиш Євгеній Васильович
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Нормоконтроль пройдено

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

РЕФЕРАТ

Дипломний проект містить: 66 стор., 14 рис., 12 табл., 22 джерел

ЗОВНІШНІЙ ВПЛИВ, СОНЯЧНА БАТАРЕЯ, ПЕРЕТВОРЮВАЧ
ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ, КОНТРОЛЕР, СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ.

Об'єкт дослідження: сонячні панелі.

Предмет дослідження: процеси деградації.

Мета роботи: дослідження процесі деградації для підвищення ефективності сонячних панелей в умовах зовнішнього впливу.

У даній роботі проведено дослідження негативного впливу процесів деградації сонячних елементів під впливом зовнішніх факторів. Показано переваги використання спеціалізованих контролерів з метою підвищення показників ефективності сонячних панелей.

Проведено математичне моделювання схеми перетворювача для сонячної панелі.

ЗМІСТ

Вступ	6
1 Загальні відомості про вплив зовнішніх факторів на ефективність фотоперетворення	8
1.1 Технологія вирощування гетероструктур із молекулярних пучків для сонячних елементів	12
1.2 Структурні дослідження гетерокомпозицій GaAs/Si з різною орієнтацією	15
2 Деградація та фізичні основи матеріалів для сонячних модулів	21
2.1 Деградація сонячних панелей, спричинена потенціалом (PID)	21
3 Підвищення ефективності перетворення енергії сонячних модулів	29
3.1 Контролер зарядного пристрою	29
3.2 Моделювання роботи контролеру	36
4 Конструкторсько-технологічна частина	39
4.1 Програмне забезпечення для систем автоматизованого проектування	39
4.2 Технологія виготовлення плати друкованої	40
4.3 Заходи з охорони праці	45
4.3.1 Заходи з поліпшення умов праці	49
4.3.2 Виробнича санітарія	50
4.3.3 Пожежна та техногенна безпека	52
4.3.4 Електробезпека	53
4.3.5 Інженерні рішення з охорони праці	54
5 техніко-економічне обґрунтування	58
5.1 Визначення стадій розробки	58

5.2 Розрахунок заробітної плати	60
5.3 Розрахунок кошторису витрат	61
Висновки	63
Список використаних джерел	64
Додаток А	66

ВСТУП

При роботі сонячних батарей у космосі протягом тривалого періоду часу (кілька років) відбувається поступова деградація їх основних параметрів через вплив різних факторів, включаючи вплив космічного простору.

На низьких навколоземних орбітах (600 – 800 км) основними агресивними факторами є атомарний кисень та УФ-випромінювання.

Традиційним методом захисту сонячних батарей від радіації є пасивний захист, що ґрунтується на поглинанні матеріалом захисного покриття енергії випромінювання будь-якого типу.

Крім високої ефективності поглинання, покриття повинні мати високу радіаційно-оптичну стійкість, щоб погіршення їх оптичних властивостей не призвело до оптичної деградації СБ [1].

Основним захистом ФЕП від радіаційного пошкодження є встановлення на них оптичних прозорих покриттів. Одночасно виконують функції терморегулятора. Матеріалом для таких покриттів є, головним чином, плавлений кварц, або скло.

Ефективність прозорого захисту полягає в тому, що нею сильно «зрізаються» або взагалі не пропускаються до напівпровідника частинки малих енергій, яких особливо багато в спектрі радіаційних поясів Землі. До того ж саме частки малих енергій найбільше руйнівні діють на сонячні елементи, зменшуючи їх ККД.

Основна труднощі практичного вирішення цієї проблеми полягає в тому, що, крім захисту від дії, що пошкоджує радіації, оптичні покриття повинні володіти високими просвітлюючими і теплорегулюючими властивостями. Вони повинні зменшувати коефіцієнт відображення в робочій області спектру та оберігати сонячні елементи від перегріву шляхом збільшення інтегрального коефіцієнта власного теплового випромінювання поверхні до значень в межах 0,8 - 0,9. Необхідність просвітлення робочої поверхні викликана високим коефіцієнтом відбиття (35 - 40%) чистої полірованої поверхні сонячних

елементів у сфері спектральної чутливості 0,4 - 1,1 мкм; це означає, що без зменшення втрат на відбиток неможливо знайти отримані сонячні елементи з високим ККД.

Основні типи захисних покриттів, що провітлюють, які в наш час знайшли найбільш широке застосування: Al_2O_3 , ITO, Si_3N_4 , Ta_2O_5 , Ti, ZnS.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВПЛИВ ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ФОТОПЕРЕТВОРЕННЯ

Прогрес в галузі мікроелектроніки, темпи розвитку якої ніколи не знижувався з моменту її появи, зробив використання електронних пристроїв все більш привабливим, навіть для застосування в несприятливих умовах середовища. Електронні схеми використовуються в кількох областях, де потрібний більш-менш високий ступінь радіаційної стійкості: космічні та авіаційні програми, високоенергетичні фізичні експерименти, ядерні та (досі експериментальні) термоядерні електростанції, медична діагностика та терапія, промислова візуалізація та обробка матеріалів. При роботі в цих середовищах напівпровідникові пристрої та інтегральні схеми можуть піддаватися прямому впливу фотонів, електронів, протонів, нейтронів або важких частинок; зміна їх електричних властивостей може спричинити відмову електронної підсистеми. Залежно від типу та характеристик падаючого випромінювання можуть виникати різні ефекти, як незворотні, так і (частково або повністю) оборотні. Знання механізмів, що лежать в основі радіаційної реакції електронних пристроїв, має першорядне значення для:

1. Розробки методик забезпечення твердості, що гарантують, що пристрої, що тестуються, можуть надійно працювати в цільовому середовищі.
2. Розробки радіаційно-стійких схем та методів проектування для підвищення стійкості електронних схем до специфічних впливів радіації у деяких конкретних середовищах.

Сучасні високоефективні сонячні елементи (СЕ) є складними багатошаровими гетеросистемами. Вони складаються з трьох основних р-п переходів виконаних Ge, InGaAs, InGaP з'єднаних послідовно тунельними діодами. Оскільки ці матеріали сумісні за постійними кристалічними ґратами, гетероструктури для СЕ на їх основі вирощуються в єдиному ростовому процесі на германієвому р-п переході-підкладці або на арсеніді галію [2 - 3].

Все більшого застосування в цьому процесі знаходять нанотехнології. Світовий рекорд ефективності трьохперехідних сонячних батарей з ККД аж до 44,5% при інтенсивності сонячного випромінювання в кілька сотень сонців досягнуто в даний час американською фірмою Solar Junction при використанні молекулярної епітаксії [3].

У перспективі вкрай бажано замінити дорогі та важкі підкладки Ge та GaAs на дешеві та легкі кремнієві пластини. Створення високоефективних приладів мікро-, нано- та фотоелектроніки на основі напівпровідникових наногетероструктур, що складаються з сполук $A^{III}B^V$, вирощених на дешевих та міцних Si підкладках, є одним із пріоритетних завдань сучасного напівпровідникового матеріалознавства. Вирішення цієї проблеми вкрай важливе і для розвитку високоефективної фотовольтаїки.

Основною проблемою на цьому шляху є великі неузгодженості постійних ґрат ($\sim 4\%$) та лінійного коефіцієнта термічного розширення (до 50%) кремнію з найбільш придатними та технологічно відпрацьованими матеріалами для каскадних СЕ такими як GaAs, AlGaAs, InGaP, Ge та ін., що мають значення заборонених зон E_g , близькі до комбінації до оптимальних для ефективного перетворення сонячної енергії. Відмінності в зазначених параметрах зумовлюють виникнення дислокацій, що проростають, в епітаксійних плівках сполук $A^{III}B^V$. Прямими експериментами було встановлено (для гетероструктур GaAs/Si і GaP/Si [3]), що щільність дислокацій, що проростають безпосередньо при температурі вирощування, може бути знижена до $10^4 - 10^5 \text{ см}^{-2}$, проте, після охолодження до кімнатної температури вона зростає до $10^6 - 10^7 \text{ см}^{-2}$. Таким чином, для будь-яких $A^{III}B^V$ гетеросистем на підкладці Si найбільш критичним виявляється не ґратова невідповідність (у системі GaP/Si, наприклад, вона становить десятки частки відсотка), а велика різниця в лінійних коефіцієнтах термічного розширення матеріалів, що сполучаються. Звідси випливає, що зниження температури зростання - один з головних шляхів отримання гетерослоев з низькою щільністю пронизливих дислокацій. У цьому відношенні найбільш

підходящою епітаксійною технологією є метод молекулярної епітаксії, що дозволяє вирощувати арсенід галію при температурі 150 - 200° С.

Для використання Si як активний шар необхідний прозорий в області fotocутливості Si буферний шар, що узгоджує постійні решітки підкладки та структури SE. Відпрацювання технології вирощування “прозорого” буферного шару з щільністю дислокацій, що проростають менше 10^6 см^{-2} є ключовим і найбільш проблемним моментом при створенні недефективних каскадних SE. Буферні шари повинні мати гладку поверхню при товщині близько 1 мкм. У проведеній роботі показано можливість вирішення цієї проблеми шляхом вирощування гетероструктур GaAs/GaP/Si із застосуванням на початковій стадії зростання нанотехнології – атомно-шарової епітаксії.

Наразі намітилося два шляхи вирішення завдання створення SE на активній підкладці кремнію:

Перший шлях – розробка методів одержання нових матеріалів з потрібними ширинами заборонених зон E_g та при цьому узгодженими за параметром решітки із Si. У світі ведуться досить інтенсивні дослідження в цьому напрямку, пов'язані, в основному, з використанням азот-вмісних сполук $A^{III}-N-B^V$. Найбільш підходящим для цих цілей вважається четвертий твердий розчин $GaN_y(P_xAs_{1-x})_{1-y}$. Ширина забороненої зони цього матеріалу, залежно від співвідношення компонентів, може змінюватися від 1,5 eV до 2,0 eV, при повному узгодженні параметра решітки з Si-підкладкою. При цьому $GaN_y(P_xAs_{1-x})_{1-y}$ є квазі-прямозонним напівпровідником з придатним для SE спектром поглинання. Однак електрофізичні параметри таких матеріалів, і, насамперед, дифузійна довжина неосновних носіїв заряду, залишаються вкрай низькими до сьогодні. Більше того, на думку провідних фахівців, питання щодо можливості їх поліпшення залишається відкритим. Остання обставина ставить під сумнів перспективність цього напрямку у принципі.

Другий шлях - це створення на кремнії буферного шару Si_xGe_{1-x} з “виходом” на постійну решітку Ge яка дуже близька до постійної решітки відповідних $A^{III}B^V$ твердих розчинів. Цей маршрут у принципі дозволяє

вирощувати на монокристалічних кремнієвих підкладках досить високоякісні верстви. $A^{III}B^V$ з великими значеннями дифузійних довжин неосновних носіїв заряду та, отже, ККД СЕ. Роботи у цьому напрямі ведуться також досить широко.

Зазначимо, що це підхід має важливий недолік. І полягає він у тому, що буферний шар Si_xGe_{1-x} , товщина якого не менше 10 мікрон, непрозорий у спектральній області ефективного фотоперетворення в кремнії. Тому Si, який сам собою може використовуватися як дуже ефективний елемент багатокаскадного СЕ, в даному випадку виступає просто як інертна підкладка, що несе.

У каскадному СЕ дуже бажано використовувати Si як активний шар. Для цього необхідний буферний шар, що узгоджує постійні решітки підкладки та структури СЕ, який повинен бути прозорим у спектральній ділянці fotocутливості Si. Тому нами обрано третій шлях, а саме використання буферних шарів на основі сполук $A^{III}B^V$ (AlAs, GaAs і інш.). Ці сполуки прозорі в області спектральної чутливості кремнію і дозволяють «вийти» на постійну решітку GaAs, що дасть змогу вирощувати на них ізорешіткові з GaAs сполуки, $Al_xGa_{1-x}As$, $In_xGa_{1-x}P_yAs_{1-y}$, $In_x(AlGa)_{1-x}P$, добре відпрацьовані зараз для високоефективних СЕ. При постійних ґратах GaAs ці тверді розчини мають E_g близькі до оптимальних для більш повного охоплення всього діапазону сонячного спектру. Комбінація перелічених вище матеріалів з активним Si дозволить створити одну з найефективніших архітектур 2-х і 3-х каскадних СЕ про реальну розробку яких можна говорити в даний час. Так очікуваний ККД для двокаскадного СЕ AlGaAs/Si або InGaP/Si (з E_g 1,7/1,1 - 1,8/1,1 eV) становить 44%. Для трикаскадного InGaP/GaAs/Si (з E_g 1,81/1,4/1,1 eV) очікуваний ККД зростає до 47%.

Удосконалення способів підвищення радіаційної стійкості компонентів електроніки значно впливає на розвиток космічної та атомної промисловості, а також медичної техніки, що використовує іонізуюче випромінювання.

1.1 Технологія вирощування гетероструктур із молекулярних пучків для сонячних елементів

Сьогодні ведуться роботи зі створення високопродуктивної та недорогої апаратури для надвисоковакуумної технології молекулярно-променевої епітаксії гетероструктур для сонячних елементів із застосуванням космічних технологій та розробляється технологія отримання високодосконалих гетероструктур GaAs/Si. Основною умовою створення високоефективних сонячних елементів на гетероструктурах $A^{III}B^V/Si$ є отримання високодосконалих епітаксійних шарів матеріалів $A^{III}B^V$ на підкладках кремнію. Тому в даній роботі будуть розглянуті фактори, що впливають на властивості плівок GaAs, вирощених на Si і виготовлених на основі сонячних елементів.

Епітаксіальні структури вирощувалися на модернізованій надвисоковакуумній установці МЛЕ «Штат». Для отримання потоку Ga та Si використовувалися тигельні молекулярні джерела (MI), а для отримання потоків молекул As_2 и P_2 використовувалися вентильні джерела із зоною крекінгу. Контроль за станом поверхні під час зростання здійснювався методом дифракції швидких електронів відображення (ДБЭО). Структури вирощувалися на підкладках Si(001), відхилених на 6° у напрямку [110]. У ході виконання роботи було вирощено плівки GaAs як з орієнтацією (001), так і з орієнтацією (00-1).

Одержання атомарно чистої поверхні підкладки є важливим етапом підготовки до проведення процесу епітаксії. В установках МЛЕ $A^{III}B^V$ очищення поверхні кремнію може проводитися як традиційним методом потоку кремнію, так і з використанням потоку атомів галію. У наведеній роботі використовувався потік кремнію.

Для видалення окисного шару на поверхню підкладки при температурі 750 C (T_S) подавався потік кремнію, відповідний швидкості росту $1,5\text{ нм/хв}$. Контроль над доглядом оксиду здійснювався методом ДБЕО. Спостереження проводилося в азимуті, паралельному напрямку країв терас. Після видалення

окисленого шару підкладки відпалювалася протягом 15 хвилин в умовах надвисокого вакууму при температурі 850°C . Відпал підкладок $\text{Si}(001)$, відхилених на кілька градусів у напрямку $[110]$, веде до формування на поверхні кристала системи терас зі ступенями висотою в два атомні шари, що дозволяє уникнути формування антифазних кордонів при подальшому нарощуванні шару GaAs . Щаблі орієнтовані перпендикулярно напрямку відхилення поверхні підкладки від площини (001) . Верхній шар атомів кремнію димеризований.

При взаємодії віцинальної поверхні кремнію з потоком молекул миш'яку на ній формується впорядкований епітаксійний шар димеризованих атомів миш'яку. Залежно та умовами осадження зв'язок As-As в димерах виявляється розташованої чи паралельно (As_{\parallel}), або перпендикулярно (As_{\perp}) краях терас. Саме орієнтацією шару атомів миш'яку щодо напрямку відхилення підкладки і задається орієнтація плівки GaAs . Залежно від орієнтації осередок поверхневої структури $\text{GaAs}(2\times 4)$ по-різному розташовується щодо країв терас. У плівках $\text{GaAs}(00-1)/\text{Si}$ осередок поверхневої структури (2×4) орієнтована вздовж, а димери миш'яку, відповідно, поперек сходів. У випадку $\text{GaAs}(001)/\text{Si}$ осередок (2×4) виявляється розташованою перпендикулярно, а димери миш'яку паралельно краям терас. Після формування шару атомів миш'яку підкладка охолоджувалась до температури зародження шару GaAs .

Для формування шару атомів миш'яку As_{\perp} - типу очищена підкладка кремнію з надструктурою $\text{Si}(2\times 1)$, охолоджувалась без потоків в умовах надвисокого вакууму до $T_S=150^{\circ}\text{C}$, а потім витримувалася в потоці молекул As_2 протягом 5 хвилин. Після експозиції в потоці миш'яку підкладка нагрівалася до 600°C . Час витримки за цієї температури становило 5 хвилин. Процес формування шару миш'яку контролювався методом ДБЕО. В результаті відпалу обложеного таким чином шару миш'яку отримували стабілізовану миш'яком поверхневу структуру $\text{As}_{\perp}(1\times 2)/\text{Si}$. У разі формування шару димерів миш'яку As_{\parallel} -типу підкладка кремнію з надструктурою $\text{Si}(2\times 1)$ охолоджувалась в умовах надвисокого вакууму до $T_S=480^{\circ}\text{C}$, і витримувалася

у слабкому потоці молекул As_2 протягом 10 хв. І тут миш'як заміщав верхній шар атомів кремнію. Після формування структури $As_{\parallel}(2 \times 1)/Si$ підкладка охолоджувалась до температури зародження шару GaAs.

Відомо, що при зародженні GaAs на Si методом МЛЕ нанесення менше 1 моношару GaAs призводить до утворення острівців щільністю до 10^{11} см^{-2} . Зростання острівців супроводжується появою в плівці дислокацій, що проростають, із щільністю до 10^9 см^{-2} [9]. Щоб уникнути утворення острівців і тим самим знизити щільність дислокацій, що проростають, на початкових стадіях зародження використовують метод атомно-шарової епітаксії (АСЕ) [6]. У цій роботі використали саме цей підхід. Зародження шару GaAs здійснювали методом атомно-шарової епітаксії при $T_s = 260^\circ \text{ C}$. Товщина шару зародження GaAs складала 2.8 нм. Після зародження температура підкладки підвищувалася до 350° C і методом МЛЕ вирощувався низькотемпературний (НТ) буферний шар GaAs товщиною 250 нм. Описані умови зародження та зростання буферного шару GaAs дозволяють на малій товщині отримати гладку (в масштабах чутливості методу ДБЕО) поверхню [8]. Отримані у результаті буферні шари використовувалися як підкладки для вирощування структур для сонячних елементів. Базовий профіль структури представлений у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Дані рентгенівських вимірювань параметрів структури плівки в перерізах, перпендикулярні межі розділу, які розташовані вздовж і впоперек ступенів

№ зразка	Дімери As	Перетин поперек ступенів			Перетин уздовж ступенів		
		ρ , %	ϵ , угл.с.	ψ , угл.с.	ρ , %	ϵ , угл.с.	ψ , угл.с.
A1		104	37	-1733	89	79	111
A2		104	34	-725	97	44	33
A3		99.7	-2	-670	93.6	118	109
B1	⊥	104	23	905	110	-55	-116
B2		104	22	832	110	-48	-108
B3		98.5	-73	820	105.6	-79	-142

Для підвищення структурної досконалості та покращення морфології поверхні епітаксійних шарів GaAs/Si доцільно збільшувати їх товщину. Але цей шлях має обмеження. Плівки GaAs/Si товщиною більше 4 мкм тріскаються з часом через напруження, що виникають у структурі при її охолодженні від температури росту до кімнатної. Причиною цього явища є відмінність КТР Si і GaAs. Так як товщина структури сонячного елемента на основі GaAs становить близько 2 - 3 мкм, то товщина перехідного шару Si до структури сонячного елемента не повинна перевищувати 1 - 1,5 мкм.

Базова товщина перехідних шарів GaAs/Si була прийнята 1,5 мкм. Як шар зародження використовувався шар GaP з орієнтацією (001) і (00-1). При фіксованій товщині шару GaAs/Si щільність дислокацій, що проростають, можна знизити шляхом введення дислокаційних фільтрів і проведення циклічних відпалів на різних етапах росту.

На отриманих структурах формувалися сонячні елементи без покриття, що просвітляє, і проводилося вимірювання їх ВАХ.

1.2 Структурні дослідження гетерокомпозицій GaAs/Si з різною орієнтацією

На рис. 1 представлена картина ДБЕО, яка отримана від плівки GaAs товщиною 3 моношари, вирощеної на поверхні кремнію з шаром атомів миш'яку, отриманим шляхом заміщення.

Площина екрана перпендикулярна краям терас (тобто потік електронів падає вздовж ступенів). Вертикальні тяжі відповідають віцинальній орієнтації (1 1 13), повернутій на $6,2^\circ$ щодо сингулярної площини (001). Як показано на вкладці, розташованій у нижній правій частині малюнка, тяжі мають складну структуру. Одна складова тяжів витягнута вздовж основного вертикального напрямку [1 1 13], а друга складова – вздовж напрямку, близького до [2 2 13] і позначеного Ф.

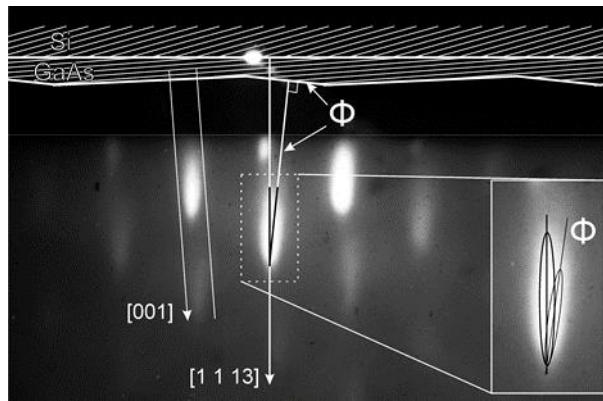


Рисунок 1.1 - Картина ДБЕО від поверхні плівки GaAs товщиною 3 моношари на підкладці Si(001), отриманої відхиленням на $6,2^\circ$ навколо спрямований $\langle 011 \rangle$. Перший шар As вирощений шляхом заміщення моношару кремнію атомами миш'яку. Через Φ позначені майданчик фасетки (2 2 13) і перпендикулярний їй напрямок $[2 2 13]$, уздовж якого витягнуті слабкі тяжі.

На основному рисунку показано, що цей напрямок перпендикулярно похилим граням на поверхні плівки (фасеткам), які також позначені Φ . Кут між віцинальною площиною $(1\ 1\ 13)$ межі розділу та площиною фасеток $(2\ 2\ 13)$ становить близько 6° . Товщина плівки на момент отримання знімка (рис. 1) становить 15 ангстрем, що менше критичної товщини (h_K) для введення ДН. У процесі запровадження ДН тяжі від фасеток поступово зникають.

На зразках із шаром миш'яку, отриманим шляхом осадження (димери As на поверхні плівки перпендикулярні до сходів), фасетки не спостерігалися. Після осадження 20-ти моношарів методом АСЕ у тому та іншому режимах зародження тривало зростання плівки методом молекулярно-променевої епітаксії при 350°C .

Рентгеноструктурний аналіз плівки виконано за методикою [10]. Деформації плівки визначалися незалежно у двох взаємно перпендикулярних перерізах, розташованих уздовж і впоперек ступенів, що залягають у ГР (див. табл.1). У перерізі поперек ступенів по чотирьох кривих дифракційного відображення (КДО) в асиметричних відображеннях типу $\{115\}$ визначалися зсувна деформація та кут повороту кристалічної решітки плівки щодо підкладки, які позначені як ϵ і ψ , відповідно. Ступінь релаксації ρ наведено

для двох температур: кімнатної (ρ_R) та температури зростання (ρ_G). При кімнатній температурі виникає ефект «перерелаксації, що здається», коли ρ_R перевищує 100 %. Цей ефект виникає через різницю коефіцієнтів термічного розширення матеріалів, що сполучаються. Вимірювання проводилися на двокристальному дифрактометрі. Від кожного зразка записувалося по дві КДО у відображеннях (115), (1 -1 5), (-1 -1 5) и (-115).

Дані рентгенівської дифрактометрії свідчать, що спосіб зародження першого моношару As істотно впливає на результат пластичної релаксації плівки GaAs. Димери As, розташовані перпендикулярно і паралельно до ступенів, в табл.1 позначені, відповідно, \perp и \parallel . Зразки, в яких спостерігалися зазначені два варіанти розташування димерів, позначені відповідно A1, A2, A3 і B1, B2, B3. Як видно з таблиці, зразки з різною орієнтацією димерів As на поверхні мають різний знак переважного повороту грати плівки ψ . Встановлення природи цього повороту є основним предметом досліджень. Тому вивчалися паралельні ступеням дислокації невідповідності, введення яких зумовлює знак та величину кута повороту.

Сітка ДН формує малокутовий кордон у тому випадку, якщо має місце переважання дислокаційних сімейств із вектором Бюргерса, який містить ненульову проекцію одного знака на нормаль до межі розділу. У ГР (001) вводяться 8 сімейств 60° -ДН по чотирьох площинах ковзання типу $\{111\}$ (табл. 1.2). У GaAs розрізняють ДН α - и β - типу, причому дислокації α -типу залягають у напрямі $[-110]$, який збігається з напрямком орієнтації димерів миш'яку на поверхні [9]. Дислокації β - типу вводяться в перпендикулярному напрямку $[-1 -1 0]$.

Поворот у плівках, зародження яких починалося з осадження миш'яку (димери As перпендикулярні до сходів), створюють дислокації β -типу, паралельні щаблям та належать сімействам 5-8 (табл. 1.2). Знак повороту негативний ($\psi < 0$), якщо ДН належать сімействам 5 та 6, що зареєстровано експериментально (див. табл. 1.1). Цей поворот передбачимо з міркувань

меншої h_K для цих сімейств у порівнянні з іншими і спостерігався у різних гетероструктурах [7, 8, 10].

Таблиця 1.2 - Сімейства дислокацій невідповідності, що ковзають у GaAs, та відповідні їм напрямки повороту плівки навколо сходів ГР.

Номер сімейства	Напрямок та тип ДН	Вектор Бюргерса	Площина ковзання	Знак повороту		
				димери \perp	димери \parallel	
1	[-1 1 0] α -тип	$a/2[1\ 0\ -1]$	(1 1 1)		-	
2		$a/2[0\ 1\ -1]$				
3		$a/2[0\ 1\ 1]$	(-1-1 1)			+
4		$a/2[1\ 0\ 1]$				
5	[-1-1 0] β -тип	$a/2[0\ -1\ -1]$	(1-1 1)	-		
6		$a/2[1\ 0\ -1]$				
7		$a/2[1\ 0\ 1]$	(-1 1 1)		+	
8		$a/2[0\ -1\ 1]$				

Для зразків, у яких зародження плівки починалося із заміщення (димери As позначені \parallel) поворот решіток навколо осі, паралельної сходам, формують ДН α -типу (сімейства 1-4 у табл. 2), які мають вищу рухливість [12]. Ці плівки демонструють збільшення відхилення від сингулярної орієнтації у процесі введення ДН: як видно з табл. 1, для перерізу, розташованого поперек ступенів, величина $\psi > 0$. Таким чином, підвищену щільність мають ДН сімейств 3 та 4 (табл. 2). Експериментально зареєстрований поворот не пояснюється енергетичною вигідністю введення ДН, що мають найменшу критичну товщину, оскільки сімействам 1 та 2 відповідає менше значення h_K , ніж сімействам 3 та 4 [11, 12]. Цей напрямок повороту можна описати пластичною релаксацією внаслідок утворення Ломерівських дислокацій невідповідності вздовж напрямку шаблів. Вони мають мінімальну критичну товщину, але їх освіта в гетеросистемах, що розглядаються, можлива в результаті реакції між двома. 60° -ДН зі зниженим та підвищеним значенням h_K .

Поворот ґрат плівки, зародження якої починалося із заміщення атомами As верхнього моношару Si, очевидно, пояснюється морфологією поверхні зростаючої плівки. Вище було показано, що за такого способу зародження на

картинах ДБЕ видно тяжі, що свідчать про наявність фасеток. Фасетки утворені ешелонами сходів, які у пружно напруженому шарі є концентраторами напруг. В результаті конфігурація поля напруги в локальних місцях гетеросистеми сприяє генерації сімейств 3 і 4. Таким чином, фасетки можуть бути причиною введення «енергетично невігідних» дислокаційних сімейств, які створюють розворот плівки в нетипову сторону.

Для підвищення структурної досконалості та покращення морфології поверхні епітаксійних шарів GaAs/Si доцільно збільшувати їх товщину. Але цей шлях має обмеження. Плівки GaAs/Si товщиною більше 4 мкм тріскаються з часом через напруження, що виникають у структурі при її охолодженні від температури росту до кімнатної. Причиною цього явища є відмінність КТР Si і GaAs. Так як товщина структури сонячного елемента на основі GaAs становить близько 2-3 мкм, то товщина перехідного шару Si до структури сонячного елемента не повинна перевищувати 1-1,5 мкм. При фіксованій товщині шару GaAs/Si щільність дислокацій, що проростають, можна знизити шляхом введення дислокаційних фільтрів і проведення циклічних відпалів на різних етапах росту.

Базова товщина перехідних шарів GaAs/Si була прийнята 1,5 мкм. Як шар зародження використовувався шар GaP з орієнтацією (001) і (00-1). На перехідному шарі GaAs/Si вирощувалась структура сонячного елемента. Базовий профіль структури представлений у табл. 1.3.

Таблиця 1.3 - Структура базового сонячного елемента

Матеріал шару	Товщина	Рівень легування, см ⁻³	Призначення шару
GaAs:Si n ⁺⁺	300 нм	1 · 10 ¹⁹	Підконтактний шар
InGaP:Si n ⁺	5 нм	8 · 10 ¹⁸	Стоп-шар
InAlP:Si n ⁺	30 нм	8 · 10 ¹⁸	Бар'єр
GaAs:Si n ⁺	100 нм	2 · 10 ¹⁸	Еміттер
GaAs:Be p	3500 нм	1,7 · 10 ¹⁷	База
GaAs:Be p ⁺⁺	600 нм	5 · 10 ¹⁸	BSF бар'єр
GaAs:Si p ⁺	250 нм	2 · 10 ¹⁸	Буфер
GaAs(001) p ⁺			Підкладка

Надалі на отриманих структурах формувалися сонячні елементи та проводився вимір їх ВАХ.

В результаті було досліджено пластичну релаксацію плівок GaAs, вирощених на відхилених підкладках Si(001) з використанням двох способів зародження першого моношару As (осадження та заміщення). Що стосується заміщення процес зародження супроводжувався появою фасеток лежить на поверхні зростання. Виявлено залежність результату перебігу процесу пластичної релаксації від способу зародження. Різниця полягає у характері повороту кристалічної решітки плівки. В обох способах зародження грат плівки повертається навколо напрямку шаблів $\langle 110 \rangle$ на віцинальній підкладці Si(001). У разі зародження осадженням у цьому напрямку залягають ДН β -типу. Внаслідок повороту орієнтація поверхні плівки наближається до сингулярної.

У разі зародження заміщенням паралельно осі повороту залягають ДН α -типу; в результаті повороту відхилення орієнтації плівки від сингулярної (001) збільшується. Ймовірною причиною такої поведінки автори вважають переважне введення дислокаційних сімейств 3 і 4 через наявність ешелонів шаблів (фасеток $\sim (2\ 2\ 13)$), які виступають як концентратори напруги, які полегшують введення саме цих сімейств ДН.

Результати даних досліджень показали, що методом молекулярно-променевої епітаксії можна вирощувати плівки GaAs на підкладках Si із щільністю дислокацій, що проростають менше 10^6 см^{-2} , що відповідає найкращим світовим досягненням. Проведено порівняння характеристик GaAs сонячних елементів, сформованих на підкладках Si та GaAs. Отримані значення ККД сонячних елементів отриманих на таких структурах 13,25% і 25% з урахуванням просвітлення навіть без оптимізації їхньої архітектури показують перспективи технології подальшого поліпшення властивостей структур GaAs/Si. Збільшення ККД буде досягнуто шляхом створення дво- та трьохперехідних сонячних елементів.

2 ДЕГРАДАЦІЯ ТА ФІЗИЧНІ ОСНОВИ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ СОНЯЧНИХ МОДУЛІВ

2.1 Деградація сонячних панелей, спричинена потенціалом (PID)

PID (Potential induced degradation) призводить до зниження ефективності сонячної батареї з часом. Деякі види PID оборотні, деякі ні, і є проблемою для сонячних панелей. Розглянемо описані причини PID, методи її визначення та запобігання.

Причини деградації та виходу з ладу сонячних модулів наведено на графіку нижче. Як бачимо, PID виникає приблизно в середині терміну служби, і може призводити до зниження потужності сонячної панелі на 2,5-30%.

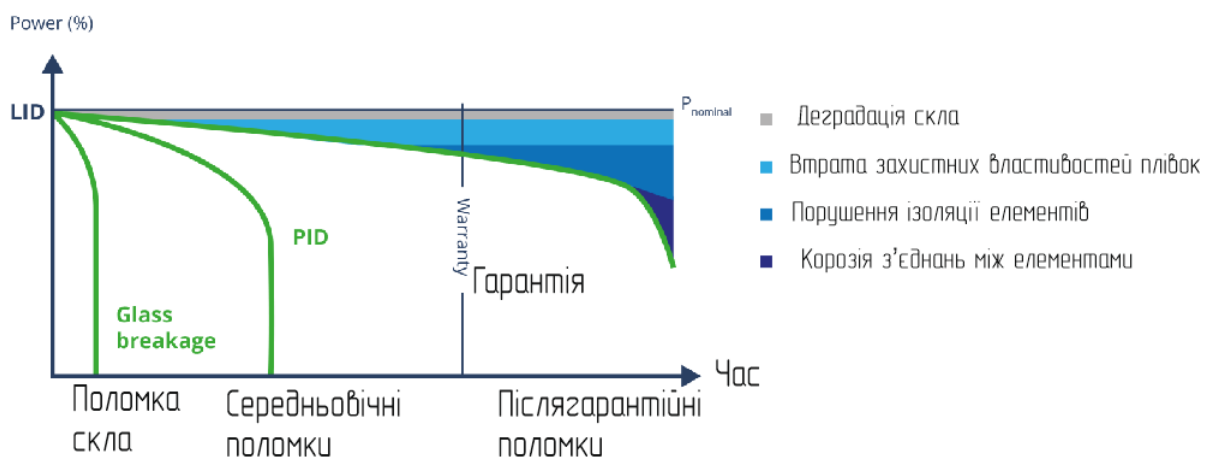


Рисунок 2.1 – Вплив PID на строк служби

Найбільш відомою причиною PID була поляризація, помічена у перших високоефективних панелях, вироблених американською компанією SunPower. За певних умов панелі втрачали до 30% їх номінальної потужності за дуже короткий час. Як було з'ясовано, причиною був потенціал панелей щодо землі, і деградацію можна було запобігти заземленню позитивного електрода сонячної батареї. Таке заземлення дозволило навіть відновити сонячні панелі, які вже схильні до PID ефекту [13].

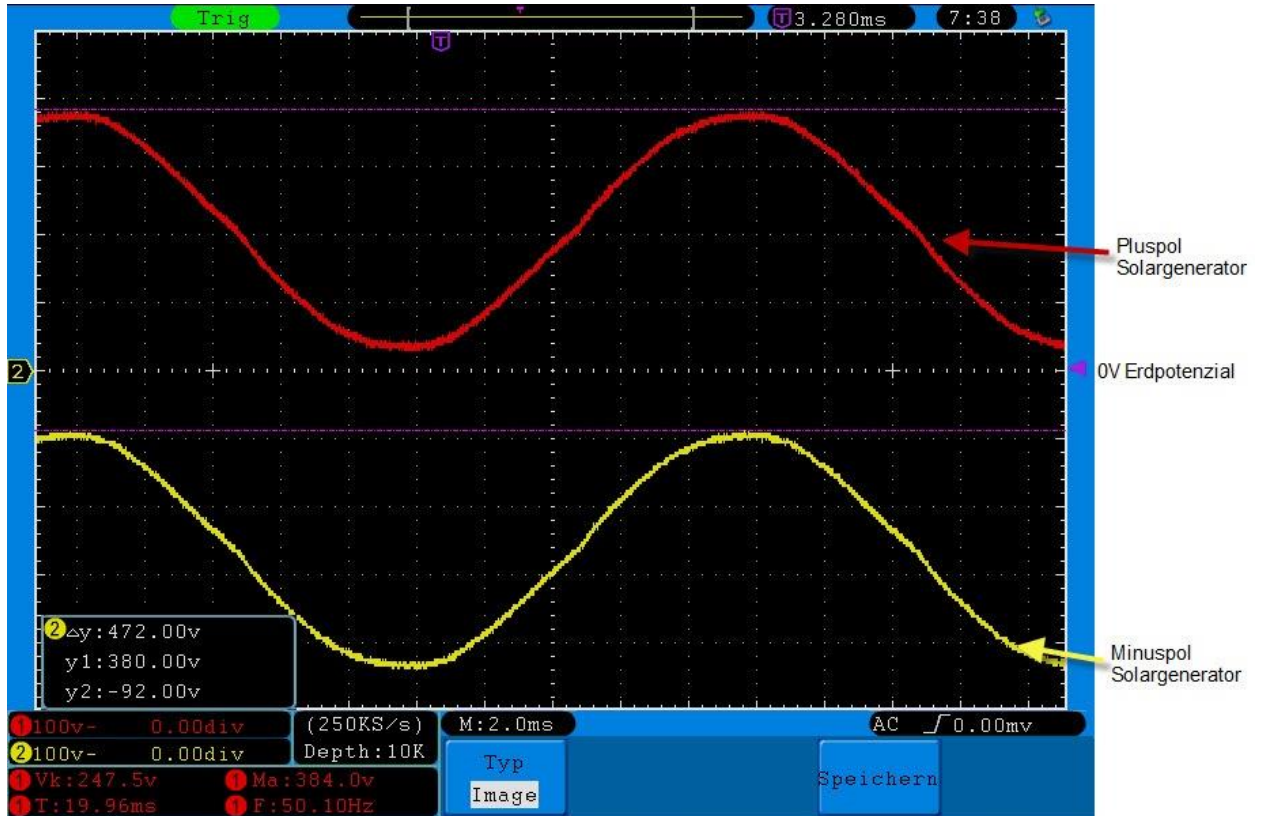


Рисунок 2.2 - Викликана потенціалом деградація на PV панелях

У сонячних модулях, з'єднаних у послідовний ланцюжок, потенціал збільшується з кожною панеллю в ланцюжку. У цьому струм через них протікає однаковий. Напруга - це різниця потенціалів, тому за напругою ми не можемо визначити абсолютний потенціал на сонячній панелі. Навіть якщо ми знаємо, що сонячна батарея має напругу 600 В між позитивним та негативним електродами, ми не знаємо, який потенціал мають позитивний та негативний електроди. Це може бути +300 і - 300В, 600 і 0, 900 і 300В. У загальному випадку потенціал землі приймається як референсний з потенціалом 0В.

Для сонячної батареї, абсолютний потенціал (стосовно землі) на позитивному електроді, на негативному електроді або десь між ними в ланцюжку панелей залежить від топології інвертора. Більш того, абсолютний потенціал панелі не завжди залишається однаковим і може постійно змінюватись під час роботи сонячної батареї, що також залежить від типу інвертора та внутрішніх з'єднань. Загальне правило — ми можемо встановити потенціал сонячної батареї щодо будь-якої точки, якщо використовуємо трансформаторний інвертор. У низьковольтних системах нейтраль місцевої мережі зазвичай заземлена, тому N провідник має потенціал землі. У випадку безтрансформаторного інвертора різні фази мережі поперемінно з'єднуються

до позитивного і негативного електроду сонячної батареї (спрощено). Тому потенціал на позитивному та негативному електроді постійно змінюється. Якщо заземлити позитивний або негативний електрод сонячної батареї в системі з безтрансформаторним інвертором, вихід інвертора може бути закорочений при певних станах інвертора.



Spannungsverlauf der Eingangsgleichspannung an einem Wechselrichter vom Typ SMA SB 5000TL-21 plus (rot) und Minus (gelb) jeweils gegen Erde gemessen.

Рисунок 2.3 - Потенціал на позитивному та негативному електроді

Як результат, безтрансформаторний інвертор зазвичай призводить до того, що на частині СБ є позитивний потенціал, а на частині негативний потенціал. Виходить, що крім напруги між електродами СБ є ще й напруга між окремими сонячними елементами та землею. Якщо монтажна конструкція СБ заземлена відповідно до вимог установки, то ця напруга виникає між сонячними елементами панелі та рамою панелі або затискачами, якими прикріплена панель. Осцилограма вище показує зміну напруги для негативного та позитивного електродів СБ під час роботи інвертора SMA SB 5000TL-21. Зауважте, що напруга постійного струму цього типу інвертора

змінюється щодо землі із частотою 50 герц. Напряга постійного струму на графіці – це різниця між червоною та жовтою лініями. Зауважте також деяку асиметрію. Можна сприйняти, що у ланцюжку сонячних елементів, підключених до інвертора, більшість має негативний потенціал щодо землі, і менша частина — позитивний [13].

Рами та різні елементи РБ розділені ізоляторами, тобто. матеріалом, який не проводить електричний струм. Ключовим елементом є властивості матеріалів, тобто. як ізолятори поведуться, якщо постійно перебувають під напругою постійного струму. Наприклад, у конденсаторах є невеликий струм витоку між двома електродами конденсатора, включаючи струми, які змінюють процес поляризації діелектрика між електродами. Допустимо, у вас є конденсатор, який ви заряджали протягом тривалого часу. Якщо замкнете його коротко, тобто. розрядить його, і потім розімкнете ланцюг, ви зможете виміряти залишкову напругу незабаром після цього, тому що молекули ізолятора були орієнтовані певним чином в електричному полі зарядженого конденсатора. Ця залишкова напруга залежить від матеріалу ізолятора і повинна бути по можливості мінімальною. В ізоляторах високовольтних кабелів такий ефект також має місце, і поділяється на різні типи залишкових струмів - струм абсорбції діелектрика, струм витоку, і, в деяких випадках, зарядний ємнісний струм.

Залежно від застосованих ізоляційних матеріалів невеликі струми витоку також мають місце у фотоелектричних панелях. Вони протікають від рами панелі до сонячних елементів і назад. Ці струми залежить від потенціалу елементів щодо землі, отже, від топології інвертора. У деяких випадках ці маленькі струми можуть створити електричне поле, яке послаблює поле всередині сонячних елементів, або вони можуть бути причиною виникнення іонів в кристалічній решітці кремнію, що може призводити до локальних коротких замикань між позитивним і негативним електродами сонячного елемента. Це призводить до зменшення напруги, що генерується сонячним елементом і, отже, зменшення ефективності його роботи.

SunPower, виробник сонячних панелей, згаданий раніше, швидко визначив, як уникнути цієї проблеми: сонячна батарея має бути гальванічно ізольована від мережі та її позитивний електрод має бути заземлений. Технічне правило, сформульоване для сонячних панелей SunPower першого покоління, вимагало застосування трансформаторного інвертора та заземлення позитивного електрода СБ. Цим забезпечувався постійний негативний потенціал щодо землі на всіх сонячних елементах ланцюжка, тому електрони завжди могли рухатися від сонячного елемента до рами, але ніколи у зворотному напрямку.

Згодом люди почали помічати, що ця проблема присутня не тільки в елементах SunPower із заднім контактом, але також і у звичайних сонячних елементах із традиційним переднім контактом. Однак у випадках інша властивість сонячного елемента грає роль. Сонячні елементи SunPower зроблені з пластини, яка попередньо легована в n-тип, і яку потім додають р-шар. Найбільш популярні зараз сонячні елементи навпаки, у своїй основі мають напівпровідник р-типу, легований бором, у якому формується шар n-типу. Іншими словами, внутрішнє електричне поле спрямоване у зворотному напрямку, порівняно з елементами SunPower. Тому ефект PID може бути попереджений аналогічним рішенням, але зворотним по полярності.

У сонячних модулях з елементами р-типу заземлений має бути негативний електрод, щоб всі елементи мали позитивний потенціал щодо землі. У цьому випадку також елементи можуть бути майже повністю відновлені після деградації, викликані потенціалом. Якщо потрібно прискорити процес лікування, то замість заземлення відповідного електрода, можна закоротити позитивний і негативний електроди сонячної батареї для зрівнювання їх потенціалів, а потім прикласти потенціал в 1000В щодо землі. Панелі n-типу вимагають -1000В, панелі р-типу вимагають +1000В. Після деякого часу ефект PID зникне.

Сьогодні більшість виробників сонячних панелей знають, як запобігати PID. Вони застосовують відповідні матеріали при виробництві панелей, які не

схильні до деградації від потенціалу. Але донедавна дуже багато модулів вимагали застосування інверторів з трансформаторами і заземлення одного з полюсів постійного струму. Сучасні модулі можуть працювати без проблем із безтрансформаторними інверторами. У специфікаціях таких модулів має бути зазначено PID free, тобто. без ефекту PID.

Ланцюжок з панелей з ефектом деградації має набагато меншу напругу холостого ходу, ніж ланцюжок з PID-free панелей. Тобто. Насамперед треба виміряти напругу холостого ходу і порівняти його з напругою, яка повинна бути без PID. Зазвичай деградація стосується лише однієї частини ланцюжка — ближче до позитивного полюса для панелей з елементами n-типу, і ближче до негативного полюса для панелей з елементами p-типу. Таким чином, якщо ви можете виміряти напругу холостого ходу для кожної панелі в ланцюжку і зменшується від одного полюса ланцюжка до іншого, то можливо у вас проявляється PID ефект. Однак часто доступ до панелей у ланцюжку утруднений, тому єдиним методом визначення PID є електролюмінесценція - як показано на фотографіях рис. 2.4 – 2.5 [13].

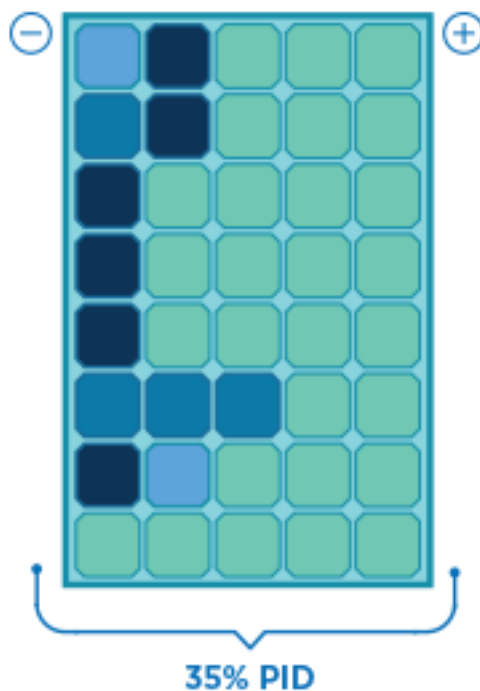


Рисунок 2.4 - Тип PID-ефекту (вертикальний)

PID в окремому модулі найчастіше відбувається в сонячних елементах, які найближче до заземленої алюмінієвої рами. Деграція менша виражена в елементах, які розташовані ближче до середини модуля. У батареї сонячних модулів PID більш виражений у частині, що ближче до негативного полюса сонячної батареї.

Визначення PID лише на рівні елемента зазвичай проводиться у лабораторних умовах. Сонячний модуль досліджується за допомогою електролюмінісцентного тесту (EL test). Він полягає в пропусканні струму через панель та вимірі інфрачервоного випромінювання. Рисунок вище показує стан до та після PID ефекту. У цьому тесті панель, схильна до PID буде мати вигляд шахівниці. В основному розташовані ближче до краю (ближче до металевої рамки) елементи менше випромінюватимуть.

За наявності PID на рівні ланцюжка спостерігається явна різниця між панелями на початку та наприкінці ланцюжка. EL картина також виразно показує зміну від початку до кінця ланцюжка. Типова випадкова «шахівниця» буде видно ближче до негативного полюса ланцюжка (якщо елементи р-типу).

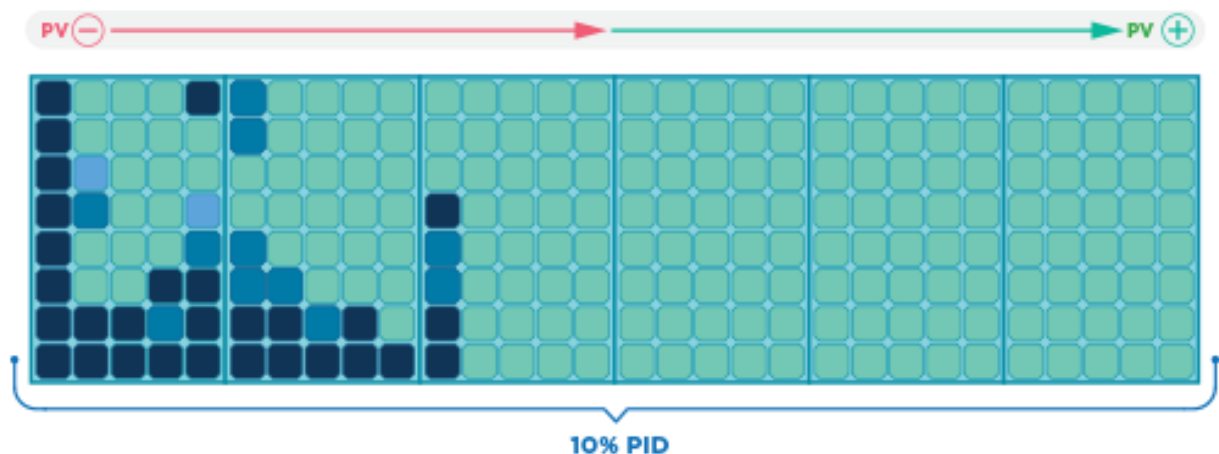


Рисунок 2.5 - Тип PID-ефекту (горизонтальний)

За наявності PID на рівні елемента цей ефект також проявляється на рівні панелі. Це виразно видно на вольт-амперній характеристиці (ВАХ) сонячного модуля – ТММ зсувається вниз. Як наслідок, ККД перетворення енергії світла на електрику падає.

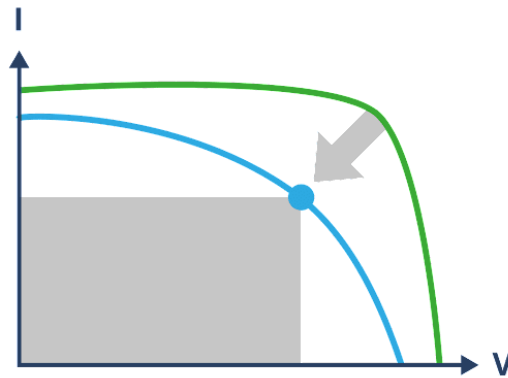


Рисунок 2.6 - ВАХ сонячного модуля

Необоротна деградація PID має місце в тонкоплівкових панелях - це вид електрохімічної корозії, відомої як корозія TCO (transparent conductive oxide), якій піддається тонкий шар на передній частині панелі навколо кріплень панелі до монтажної конструкції. Особливо вона помітна на негативному кінці ланцюжка панелей. Згодом сонячний елемент втрачає здатність видаляти носії заряду і деградує дедалі більше.



Рисунок 2.7 - Тонкоплівковий сонячний модуль з незворотним ефектом PID. TCO корозія

Важливо: вологий клімат і високі температури збільшують ризик PID ефекту. Аналізуючи результати треба розробити пристрій компенсації негативного впливу різних ефектів.

3 ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ СОНЯЧНИХ МОДУЛІВ

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 CN3767.

CN3767 - це контролер імпульсного зарядного пристрою з ШІМ для свинцево-кислотного акумулятора 12 В у невеликому корпусі з використанням кількох зовнішніх компонентів.

CN3767 спеціально розроблений для заряджання свинцево-кислотних акумуляторів 12 В з режимами плавного заряду, заряду сталого струму, перезарядки та режиму плавного заряду. У режимах перезарядки та плавного заряду напруга регуляції встановлюється внутрішньо. Струм постійного заряду програмований за допомогою одного резистора вимірювання. CN3767 може живитися від сонячної панелі з функцією MPPT.

Глибоко розряджені акумулятори автоматично заряджаються плавно при 17.5% від програмованого сталого зарядного струму, поки напруга акумуляторної клітини не перевищить 75% від напруги регуляції у режимі перезарядки. Перезарядка припиняється, якщо струм заряджання впаде до 38% від сталого зарядного струму, після чого CN3767 перейде в режим плавного заряду. Новий цикл заряджання автоматично розпочнеться, якщо напруга батареї опуститься нижче 83.95% від напруги перезарядки у режимі плавного заряду. CN3767 автоматично переходить в режим сну, коли вхідна напруга менше напруги акумулятора.

Інші функції включають блокування напруги під нижче встановленого рівня та індикацію стану тощо.

CN3767 доступний у компактному 10-контактному корпусі SSOP.

Функції мікросхеми CN3767:

- Відстеження точки максимальної потужності фотоелектричного

елемента (MPPT)

- Широкий вхідний діапазон напруги: від 6.6 В до 30 В
- Повний контролер зарядного пристрою для свинцево-кислотного акумулятора 12 В

- Струм зарядки до 4 А
- Висока частота ШІМ перемикача: 300 кГц
- Фіксована напруга перезарядки
- Програмований струм зарядки за допомогою резистора вимірювання
- Автоматичне відновлення глибоко розряджених батарей
- Автоматичне знову заряджання
- Індикація стану зарядного пристрою
- Плавний старт
- Захист від перенапруги батареї
- Робоча температура оточуючого середовища: -40 °С до +85 °С

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

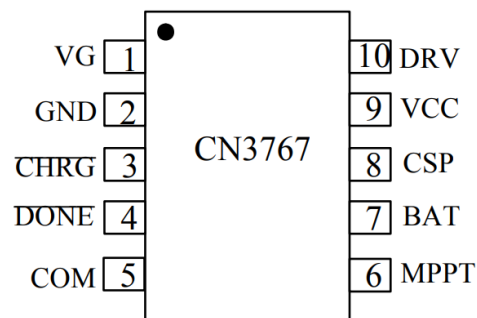


Рисунок 3.1 — Призначення виводів мікросхеми

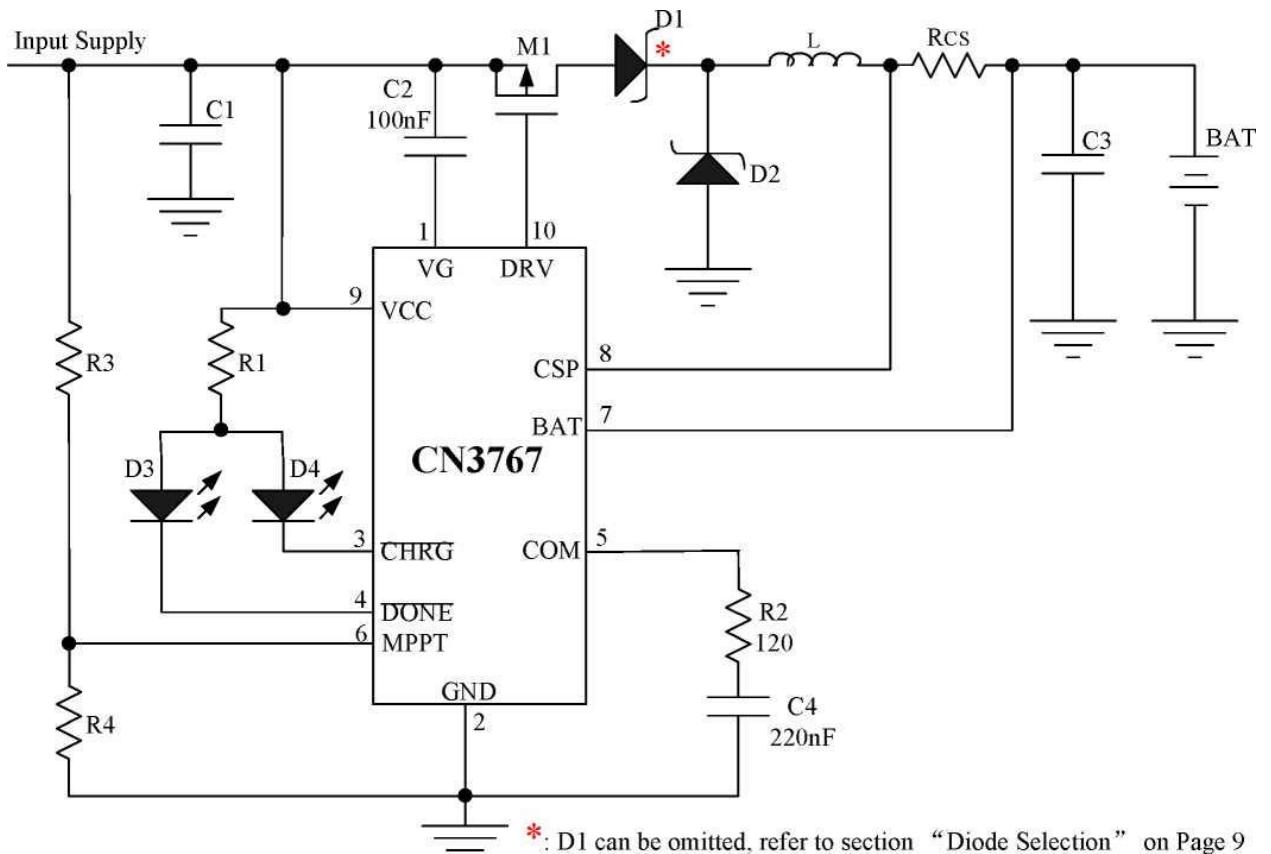


Рисунок 3.2 — Схема підключення

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	Силова земля.
3	CHRG	Вихід із відкритим стоком. Коли акумулятор заряджається, цей вивід замикається внутрішнім перемикачем. Інакше цей вивід перебуває у стані високого імпедансу.
4	DONE	Вихід із відкритим стоком. Коли заряджання припиняється, внутрішній перемикач перетворює цей контакт на низький рівень. Інакше цей вивід перебуває у стані високого імпедансу.
5	COM	Вхід компенсації контуру 1. Підключіть конденсатор ємністю 220 пФ від цього контакту та резистор 120 Ом 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 1,04 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 R_{CS} для забезпечення необхідних струмових сигналів.
8	CSP	Позитивний вхід для виміру зарядного струму. Виводи CSP та BAT вимірюють падіння напруги на чутливому резисторі R_{CS} 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 P-канального MOSFET.

Абсолютні максимальні значення при використанні мікросхеми:

- Напруга від VCC, VG DRV, CHRГ, DONE до GND від -0,3 до 33 В
- Напруга від CSP, BAT до GND від -0,3 до 28 В
- Напруга від COM3 до GND 6,5 В
- Напруга від інших контактів до GND від -0,3 до VCOM3+0,3 В
- Температура зберігання - 65 °C - 150 °C
- Робоча температура навколишнього середовища - 40 °C --- 85 °C
- Температура свинцю (пайка, 10 секунд) 300 °C.

Цикл заряду мікросхеми CN3767 починається, коли виконуються такі 3 умови:

- (1) Напруга на виводі VCC перевищує рівень UVLO.
- (2) Напруга виведення VCC більша, ніж напруга батареї на поріг відключення сплячого режиму VSLPR.
- (3) Напруга на виводі VCC не менша за максимальну напругу точки живлення, встановленого зовнішніми резисторами. На початку циклу заряду, якщо напруга батареї менше $66,7\% \cdot V_{REG}$, зарядний пристрій переходить у режим безперервного заряду. Струм безперервного заряду внутрішньо встановлений на 15% (типово) від повного струму. Коли напруга батареї перевищує $66,7\% \cdot V_{REG}$, зарядний пристрій переходить у повномасштабний режим заряджання постійним струмом. У режимі постійного струму струм

заряду встановлюється зовнішнім резистивним сенсором R_{CS} та внутрішньою опорною напругою 200 мВ, тому струм заряду дорівнює $200 \text{ мВ}/R_{CS}$.

Коли напруга батареї наближається до регульованої напруги, зарядний пристрій переходить у режим постійної напруги і струм заряду починає зменшуватися. У режимі постійної напруги цикл заряду буде завершено, коли струм заряду знизиться до 9,5% повного струму. У стані закінчення заряду вивід DRV підтягується до VCC, а внутрішній компаратор відключає внутрішній N-канальний МОП-транзистор зі зниженням напруги на виводі CHRГ, інший внутрішній N-канальний МОП-транзистор зі зниженням напруги на виводі DONE включається. для індикації стану завершення.

Щоб перезапустити цикл заряджання, просто зніміть і знову подайте вхідну напругу. Крім того, новий цикл заряджання почнеться автоматично, якщо напруга батареї впаде нижче за порогову напругу перезарядки $95,8\% \cdot V_{REG}$. За відсутності вхідної напруги зарядний пристрій переходить у режим сну.

Профіль заряджання показаний на рис. 3.3.

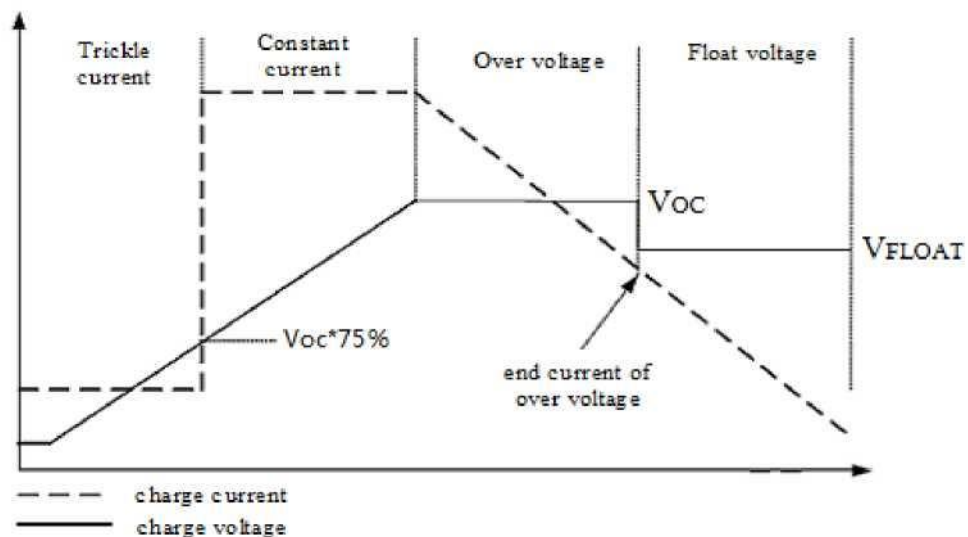


Рисунок 3.3 - Профіль зарядки

Термістор NTC з номінальним опором 10 кОм може бути підключений від виводу TEMP до землі для визначення температури батареї. Цикл

заряджання припиняється, якщо температура батареї виходить за межі допустимого діапазону.

Компаратор перенапруги захищає від стрибків напруги при перехідних процесах ($> 8\%$ регульованої напруги). У цьому випадку Р-канальні МОП-транзистори відключаються доти, доки не буде усунено стан перенапруги. Ця функція корисна для скидання навантаження або раптового виймання батареї.

Основні розрахункові формули для різних режимів роботи.

а) Блокування зниженої напруги (UVLO).

Схема блокування зниженої напруги контролює вхідну напругу та утримує зарядний пристрій вимкненим, якщо VCC падає нижче 5,2 В (типове).

б) Напруга регулювання в режимі перенапруги та режимі плаваючого заряду.

Регулююча напруга VOC на контакті BAT у режимі перезарядки встановлюється на 14,8 В (типове) з точністю $\pm 1,5\%$.

У режимі плаваючої зарядки регулююча напруга VFLOAT на контакті BAT становить 91,57% від напруги в режимі надмірної зарядки, що становить 13,55 В (типове).

в) Режим крапельної зарядки

На початку циклу заряджання, якщо напруга батареї нижче $75\% \times V_{OC}$, зарядний пристрій переходить у режим крапельного заряджання зі струмом заряджання, встановленим приблизно на 17,5% від постійного струму.

г) Налаштування струму заряду

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

$$I_{CH} = 0.12V/R_{CS}$$

де:

I_{CH} — постійний струм заряду

R_{CS} — це резистор між контактами CSP і BAT

д) Струм закінчення перезарядки

Коли напруга акумулятора наближається до напруги перезаряду, зарядний пристрій переходить у режим перезаряду. У режимі перезарядки струм заряду починає зменшуватися, і коли струм заряду падає до 38% від постійного струму заряду, зарядний пристрій переходить у режим заряду з плаваючим зарядом.

е) Відстеження точки максимальної потужності

CN3767 використовує метод постійної напруги для відстеження максимальної точки потужності фотоелектричного елемента. Згідно з вольтамперною 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 CN3767 регулюється до 1,205 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 фотоелектричного елемента визначається наступним рівнянням:

$$V_{MPPT}=1,205 \times (1+R3/R4)$$

ж) Режим плаваючої зарядки

Після припинення заряду від перенапруги зарядний пристрій переходить у режим заряду з плаваючим зарядом. У режимі плаваючого заряду напруга акумулятора регулюється до $91,57\% \times V_{OC}$, а саме 13,55 В (типове). Режим плаваючого заряду може компенсувати втрату заряду акумулятора через саморозряд або зовнішнє навантаження.

з) Автоматична зарядка батареї

У плаваючому режимі, якщо присутні і батарея, і джерело живлення (настінний адаптер), новий цикл заряджання розпочнеться, якщо напруга батареї впаде нижче $83,95\% \times V_{OC}$ через саморозряд або зовнішнє навантаження.

Новий цикл заряджання також можна розпочати вручну, відключивши вхідне джерело живлення та повторно включивши його.

i) Індикація стану

CN3767 має 2 виходи стану відкритого стоку: CHRG і DONE. CHRG знижується, коли зарядний пристрій перебуває в режимі крапельної зарядки, режимі постійного струму та режимі перезарядки, DONE знаходиться в стані високого імпедансу.

У плаваючому режимі CHRG стає високим імпедансом. DONE витягується низько. Коли батареї немає, зарядний пристрій заряджає вихідний конденсатор до напруги плаваючого заряду.

Відкритий зливний штифт, який не використовується, слід прив'язати до землі.

Передбачається, що червоний світлодіод підключений до контакту CHRG, а зелений світлодіод підключений до контакту DONE.

Індуктивність обирається для струму 5А рівною 10 мкГн.

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

3.2 Моделювання роботи контролера

Моделювання проводилось в програмі Micro-Cap 12, яка вільно розповсюджується. Програма дозволяє проводити аналіз електронних пристроїв в режимах постійного струму та перехідних процесів.

MicroCAP-12 - це універсальний пакет програм схмотехнічного аналізу, призначений для вирішення широкого кола завдань. Характерною особливістю цього пакету, втім, як і всіх програм сімейства, є зручне і дружнє графічне інтерфейс, що робить його особливо привабливим для непрофесійної студентської аудиторії. Незважаючи на досить скромні вимоги до програмно-апаратних засобів ПК, його можливості досить великі. З його допомогою можна аналізувати не лише аналогові, а й цифрові пристрої. Можливе також і

змішане моделювання аналого-цифрових електронних пристроїв, що реалізується повною мірою досвідченим користувачем пакету, здатним у нестандартній ситуації створювати власні макромоделі, що полегшують імітаційне моделювання без втрати суттєвої інформації щодо поведінки системи.

Від молодших представників свого сімейства MicroCAP-12 фірми Spectrum Software відрізняється більш досконалими моделями електронних компонентів різних рівнів складності, а також наявністю моделі магнітного сердечника. Це наближає його за можливостями схемотехнічного моделювання до інтегрованих пакетів DESIGNLAB, ORCAD та інших професійних засобів аналізу та проектування електронних пристроїв, що потребують великих комп'ютерних ресурсів і досить складних у використанні.

Пакети програм схемотехнічного моделювання та проектування сімейства Micro-Cap належать до найпопулярніших систем автоматизованого проектування (САПР) електронних пристроїв. Останні версії Micro-Cap (далі MC-12), володіючи великими сервісними можливостями, дозволяють виконувати графічне введення та редагування проектованої схеми, проводити аналіз характеристик аналогових, цифрових та змішаних аналого-цифрових пристроїв. За допомогою MC-12 можна здійснити аналіз електричних схем по постійному струму, розрахувати перехідні процеси та частотні характеристики схем, що проектуються, провести оптимізацію параметрів схеми. Програми MC-12 мають засоби синтезу пасивних та активних аналогових фільтрів, засоби моделювання функціональних схем аналогових та цифрових пристроїв, мають можливості побудови 3-мірних графіків результатів моделювання та багато іншого.

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

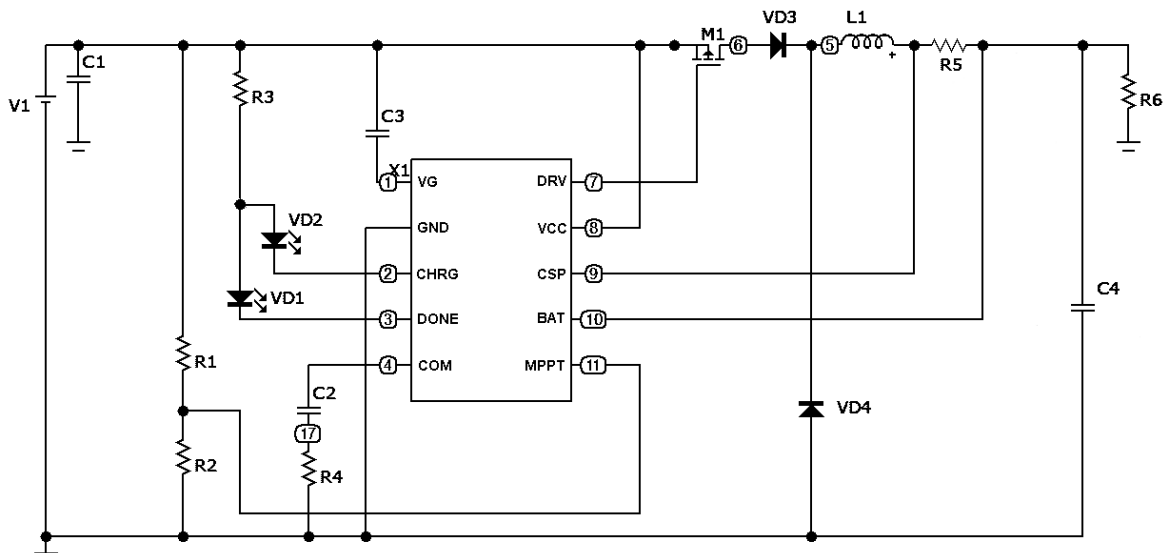


Рисунок 3.4 — Схема для моделювання

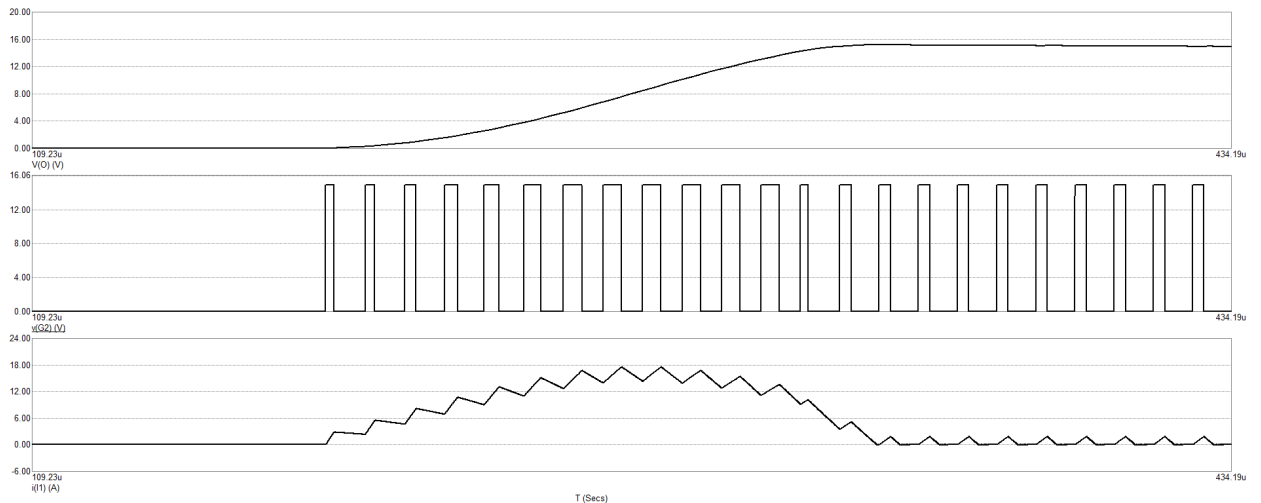


Рисунок 3.5 — Результати моделювання

Результати моделювання показали правильність розрахунків номіналів елементів схеми. Вихідна напруга після старту моделювання становить 14.2В при струмі 5А.

4 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Програмне забезпечення для систем автоматизованого проектування

На сьогодні існує багато компаній, що надають програмне забезпечення для потреб систем автоматизованого проектування електричних схем та друкованих плат (САПР), і вони відрізняються як за ціною, так і за функціональністю. Наприклад, програма DipTrace пропонує безкоштовну ліцензію для проектування двошарових плат. Завдяки своїм можливостям, DipTrace використовується для розробки принципів схем і друкованих плат. Вона включає в себе чотири основні програми:

- Schematic - розробка принципів схем;
- PCB Layout - розводка плат, ручна і автоматичне трасування;
- ComEdit - редактор корпусів;
- SchemEdit - редактор компонентів;

Основні функції включають:

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

Редактор схем: Можливість проектування схем з підтримкою ієрархії і необмеженої кількості аркушів. Забезпечує експорт в редактор плат, список мереж (netlist) або симулятор.

Редактори компонентів і корпусів: Дозволяють користувачеві створювати свої власні бібліотеки компонентів та корпусів.

Стандартні бібліотеки: Містять більше 100,000 компонентів, що дозволяє легко вибирати і використовувати необхідні елементи.

3D попередній перегляд: Дозволяє переглядати тривимірну модель плати. Постачається з більш ніж 2,500 3D-моделями корпусів.

Імпорт / Експорт: Система може імпортувати схеми, плати і бібліотеки з інших популярних програм, таких як P-CAD, PADS і інші. Також можливий експорт в різні формати, такі як P-CAD, Gerber і інші, для підготовки плат для

будь-якого виробництва.- Український інтерфейс, довідка, підручник і форматки - дозволять швидко вивчити й ефективно користуватися програмою [14].

4.2 Технологія виготовлення плати друкованої

Друкована плата представляє собою плоску ізоляційну підставу, на одній або обох її сторонах розташовані струмопровідні смужки металу (провідники) згідно з електричною схемою.

Використання друкованих плат спрощує налаштування апаратури та усуває можливість помилок при монтажі, оскільки розташування провідників та монтажних отворів однакове на всіх платах даної схеми. Використання друкованих плат також дозволяє зменшити габаритні розміри апаратури, покращити умови відведення тепла, знизити металоємність апаратури та забезпечити інші конструктивно-технологічні переваги порівняно з об'ємним монтажем.

Виробництво друкарських плат відбувається на виробничій ділянці, де встановлено відповідне обладнання. Для виготовлення друкарських плат використовують:- шаруваті матеріали: фольговані і нефольговані листові діелектрики (папір, склотканина і інш.);

- нешаруваті матеріали (листові матеріали на основі фотопласта, сополімера, ариллокса і інш.).

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 шарах діелектрика), які застосовуються у випадках, коли розводка сполук на двосторонній платі стає занадто складною.

В залежності від умов експлуатації вибирається марка матеріалу для друкованих плат (ДП). Зазвичай, ДП розробляються у простій прямокутній формі; конфігурацію, відмінну від прямокутної, використовують у технічно-обґрунтованих випадках.

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

Попередня підготовка заготовки: Цей етап є початковим і передбачає підготовку поверхні майбутньої друкованої плати до нанесення захисного покриття. Ця процедура включає очищення поверхні та знежирення.

Нанесення захисного покриття: Найважливіший етап у процесі виготовлення друкованих плат. Якість плати на 90% залежить від цього етапу. Застосовуються три основні способи нанесення захисного покриття. Використання фоторезистів є одним з популярних методів, де чутливий до світла фоторезист наноситься на плату, піддається засвічуванню, а потім вимивається.

Видалення зайвої міді (травлення): Після нанесення захисного покриття проводиться травлення, в результаті чого зайві ділянки міді видаляються, залишаючи лише необхідні доріжки.

Очищення від захисного покриття: Після травлення проводиться очищення заготовки від захисного покриття, що залишилося після фоторезисту чи іншого захисного матеріалу.

Сверловка отворів, покриття плати флюсом, лудіння: Завершальні операції включають сверління отворів, покриття плати флюсом і лудіння для подальшого монтажу компонентів.

Цей процес забезпечує виготовлення якісних друкованих плат з урахуванням різноманітних вимог та умов експлуатації.

Після нанесення шару фоторезисту необхідно висушити отриману плівку. Робити це рекомендується при температурі 70-80 градусів, причому спочатку потрібно підсушити поверхню при невеликій температурі і лише потім поступово довести температуру до потрібного значення. Час сушіння

при вказаній температурі становить порядку 20-30 хвилин. В крайньому випадку допускається сушіння плати при кімнатній температурі протягом 24 годин. Плати з нанесеним фоторезистом повинні зберігатися в темному 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 плату 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 (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 (HCl) і перекису водню (H_2O_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 дотримуватися 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 [15].

Товщина плати, як правило, відповідає товщині фольгованого діелектрика і вибирається залежно від вимог, що пред'являються до конструкції виробу, методу виготовлення плати, ваги і габаритів встановлюваних елементів і не перевищує 3 мм. Перехідним елементом від отвору, в який вставляється вивід встановлюваного елемента, до друкованого провідника є контактна площадка.

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

4.3 Заходи з охорони праці

Дипломна робота буде виконуватися розробником у лабораторії що розташована у виробничому корпусі заводу з виробництва контролерів сонячних панелей. Робочим місцем є робочі столи, обладнані комп'ютерами (2шт) і принтером; шафи для документів, стільці, стіл для переговорів. У лабораторії є наступні небезпечні та шкідливі фактори:

- підвищений рівень напруги в електричному ланцюзі, замикання якої може пройти через тіло дослідника;
- електромагнітне випромінювання;
- наявність шуму;
- наявність пилу, озону;
- напруження зору;
- емоційні перевантаження;
- навантаження на опорно-рухову систему.

Вплив електромагнітного випромінювання на розробника. Вплив яскравих джерел світла, до яких належить дисплей, може викликати стомлення очей,

запалення райдужної оболонки та спазм повік. Однак ці симптоми швидко минають і вплив видимого електромагнітного випромінювання не призводить до патологічних змін в органах зору у дослідника. Поверхнева щільність потоку енергії цього випромінювання перебуває у межах 0,1-1,5 Вт/м², що не перевищує норму в 10 Вт/м² [16].

Під час використання монітора на його екрані накопичується електростатичний заряд, що формує електростатичне поле. Цей наведений потенціал є ключовим фактором, який може викликати неприємні відчуття у дослідника. Негативний вплив електростатичного поля екрана проявляється в його здатності притягувати до робочого місця частки пилу, бруду та інших дрібних часток, які перебувають у повітрі навколо. Поверхневий електростатичний потенціал становить 3 кВ/м при гранично допустимій нормі в 20 кВ/м [16, 17].

Основними джерелами шуму на робочому місці в лабораторії є комп'ютерне обладнання, зокрема, системні блоки та принтери. Негативний вплив проявляється у зниженні розумової працездатності, швидкому втомленні, ослабленні уваги і виникненні головного болю. Реальний рівень шуму на робочому місці не перевищує 67 дБ при нормі в 60 дБ [16].

Основні джерела пилу та озону в лабораторії – монітори і лазерні принтери. Надзвичайна небезпека озону для здоров'я людини пов'язана з тим, що він належить до хімічних сполук, які викликають у живих організмах зміни, що схожі з тими, які виникають після дії іонізуючого випромінювання. Таким чином, озон має не лише подразнювальну, а й канцерогенну дію. За великих концентрацій озону в повітрі робочої зони у дослідника можуть виникати головні болі та загальна слабкість [18].

Найбільш небезпечними вузлами комп'ютера є дисплей та блок живлення. При роботі оператора можлива поразка електричним струмом, який протікає в електричній мережі 220 В, 50 Гц. Основні причини поразки електричним струмом – дотик до неізольованих струмоведучих частин устаткування, що опинилися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції.

Також небезпечним фактором є можливе ураження працівника електричним струмом при виникненні пожежі.

Пройдення електричного струму через організм людини призводить до термічних, електролітичних і механічних впливів. Ці фізико-хімічні процеси є характерними як для живої, так і для неживої матерії. Одночасно електричний струм виконує біологічну функцію, яка є специфічним процесом, властивим лише живій тканині:

Термічний вплив струму призводить до опіків окремих ділянок тіла, нагрівання до високої температури кровоносних судин, нервів, серця, мозку та інших органів, які перебувають на шляху струму, викликаючи серйозні функціональні порушення.

Електролітичний вплив струму виявляється в розкладанні органічних рідин, включаючи кров, і супроводжується значними порушеннями їх фізико-хімічного складу.

Механічний (динамічний) вплив струму проявляється у розриві, розшаруванні та інших пошкодженнях різних тканин організму, включаючи м'язову тканину, стінки кровоносних судин, судин легеневої тканини і т. д.

Біологічний вплив струму проявляється в подразненні і порушенні живих тканин організму, а також в порушенні внутрішніх біоелектричних процесів, які протікають при нормальному функціонуванні організму. Електричний струм подразнює живі тканини, викликаючи в них відповідну реакцію - збудження, яке є одним з основних фізіологічних процесів і характеризується тим, що живі утворення переходять зі стану відносного фізіологічного спокою в стан специфічної для них діяльності.

Праця у лабораторії під час досліджень вимагає тривалої, багатогодинної напруженої роботи в стійкому положенні за персональним комп'ютером (ПК). Це призводить до обмеженої рухової активності, що супроводжується локальними динамічними навантаженнями, переважно на кисті рук. Такий характер роботи може викликати загальну втомленість, біль та оніміння в шиї, спині, руках і ногах. На основі аналізу та оцінки шкідливих та небезпечних

факторів у лабораторії на робочому місці розробника складена карта умов праці, що приведена у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Карта умов праці на робочому місці розробника у лабораторії

№ п/п	Фактори виробничого середовища та трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі та небезпечні умови, характер праці			Час дії фактора, %
				I ст.	II ст.	III ст.	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ : I клас небезпеки <u>Озон</u> II клас небезпеки <u>окисли азоту</u> III-IV клас небезпеки	0,1 0,5	0,2 0,7	2 1,4			
2	Пил переважно фіброгенної дії, мг/м ³	-	-	-	-	-	-
3	Вібрація (загальна і локальна), дБ	107	110		3		
4	Шум, дБА	60	67	7			80%
5	Інфразвук, дБ	-	-	-	-	-	-
6	Ультразвук, дБ	-	-	-	-	-	-
7	Неіонізуючі випромінювання: - радіочастотний діапазон, В/м - діапазон промислової частоти, кВ/м - оптичний діапазон, Вт/м ²	25 -	40 -	15 -			80%
8	Мікроклімат в приміщенні: - температура повітря, °С - швидкість руху повітря, м/с - відносна вологість повітря, % - інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	23 – 25 не більше 0,2 не більше 75	27 0,1 60				100% 100% 100%

9	Атмосферний тиск	760	748				90%
10	Важкість і напруженість праці	категорія важкості праці - легка, I а категорія напруженості праці - помірно напружена					

Як видно з таблиці, у лабораторії фактичні умови виробничого процесу розробника більші за нормативних значень.

4.3.1 Заходи з поліпшення умов праці

Для поліпшення умов праці у відділі збору плати управління слід провести такі заходи:

- всі особи, які поступають на роботу повинні пройти інструктаж з охорони праці щодо роботи з електроустановками, поведження з ПК та дотримання розпорядку дня;
- використання витяжної вентиляції разом з природною (шляхом провітрювання через відкриті вікна). Використання штучної вентиляції забезпечить видалення із приміщення нагрітого і забрудненого повітря;
- окрім природного освітлення робоче місце повинне бути обладнане джерелом штучного освітлення. Освітлення на робочому місці повинне бути достатньо яскравим, щоб працівник міг без напруги зору виконувати свою роботу.

Для профілактики несприятливого впливу електромагнітних випромінювань на розробника необхідно не використовувати одночасно на одному робочому місці великої кількості електронних пристроїв.

Для запобігання появі великої напруженості електростатичного поля на робочих місцях використовується заземлення металевих та електропровідних частин і елементів обладнання; щоденне вологе прибирання лабораторії; використання для протирання екрана дисплея спеціальних серветок.

Основним заходом щодо запобігання несприятливому впливу озону є витяжна вентиляція, а також розміщення принтерів подалі від робочих місць. А також вимикати на робочих місцях електронні пристрої, які не використовуються.

Робоче місце з екраном розташоване на відстані не менше 1.5 метра від стіни з віконними отворами, а інші робочі місця розташовані на відстані 1 метра одне від одного, при цьому між ними забезпечено простір не менше 1.5 метра. Для розташування монітора на робочому місці відведено простір для розробника розміром не менше 850 мм, враховуючи виступаючі частини обладнання. Монітори розташовані на робочому столі так, щоб поверхня екрана знаходилася на відстані не менше 400 міліметрів від очей розробника. Елементи робочого місця розміщені так, щоб відстань від очей користувача до екрану, клавіатури і тримача документів була однаковою.

Клавіатура розташована на поверхні столу на відстані 100-150 мм від краю для уникнення неправильного положення рук при друку. Конструкція клавіатури передбачає наявність опорного пристрою, що дозволяє змінювати кут нахилу поверхні клавіатури.

Робочий стілець є підйомно-поворотним з регульованою висотою та підлокітниками. Крісло забезпечує фізіологічно правильну робочу позу, не порушуючи циркуляцію крові та не викликаючи інших негативних впливів.

4.3.2 Виробнича санітарія

Умови праці розробників мікропроцесорної системи керування відносяться до категорії робіт по ступені тяжкості 1а – легка, роботи виконуються сидячи та супроводжуються незначною фізичною напругою. Категорія напруженості праці – помірно напружена [16, 18].

Площа для одного робочого місця з комп'ютером повинна становити не менше 6 м², при об'ємі - не менше 20м³. Для вісьмох людей, що постійно знаходяться в кімнаті площею 18,2*6,7=121,94м², висотою=3,1м:

- Площа на одну людину складає $121,94/8=15,24 \text{ м}^2$;
- Об'єм на одну людину складає $121,94*3,1=378,014/8=47,25 \text{ м}^3$.
- Отже ці вимоги виконуються.

У лабораторії мають забезпечуватись оптимальні значення параметрів мікроклімату: температури, відносної вологості й швидкості руху повітря. Значення цих параметрів відповідно до стандартів [19] приведені у таблиці 4.2. Таблиця 4.2 – Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони

Період року	Категорія робіт	Температура, °С				Відносна вологість, %		Швидкість вітру, м/с		
		Оптимальна	Допустима				Оптимальна	Допустима	Оптимальна	Допустима
			Верхня межа		Нижня межа					
			На робочих місцях							
постійна	непостійна	постійна	непостійна							
Холодний	Легка Іа	22 - 24	25	26	21	18	40-60	75	0,1	0,1-0,2
Теплий	Легка Іа	23 - 25	28	30	22	20	40-60	75	0,2	0,1-0,3

Для освітлення лабораторії рекомендується поєднання природного і штучного освітлення. Природне освітлення здійснюється за допомогою світла, яке проникає через світлові отвори в бічних стінах. Відповідно до вимог [16], при виконанні робіт середньої точності в робочій зоні 4-го розряду для зорової роботи світловий потік повинен бути не менше 750 лм при комбінованому освітленні.

4.3.3 Пожежна та техногенна безпека

Будинок, в якому знаходиться лабораторія, по вибуховій і пожежній небезпеці відноситься до приміщення категорії Д, оскільки в лабораторії є

горючі (книги, документи, меблі, електропроводка) і речі, які при взаємодії з вогнем можуть горіти без вибуху [19].

За конструктивними характеристиками будівля відноситься до будівель з несучими та огороджувальними конструкціями з бетону і залізобетону, де для перекриттів використовується плиткові матеріалами захищених штукатуркою. Отже, ступінь вогнестійкості будівлі відноситься до третьої (III) групи [19].
Можливі причини виникнення пожежі в лабораторії:

- 1) Несправність електричної проводки;
- 2) Несправності електропроводки, розеток і вимикачів, які можуть призвести до короткого замикання або пробую ізоляції;
- 3) Несправність захисного заземлення;
- 4) Необережне поводження з вогнем та недотримання заходів пожежної безпеки;
- 5) Паління в недозволених місцях;
- 6) Використання пошкоджених (несправних) електроприладів.

Отже вірогідні пожежі, які можуть бути в лабораторії відносяться до класу "Е" пов'язаний з горінням електрообладнання.

Для запобігання утворенню горючого середовища передбачено використання спеціальних меблів стійких до підвищених температур для робочого місця, покриття підлоги з негорючих матеріалів. Необхідними заходами для запобігання пожеж є своєчасний ремонт електроприладів, використання тільки справних електроприладів, паління в спеціально створених місцях, в кінці робочого дня відключати з електромережі електрообладнання, проходити протипожежний інструктаж, на якому працівники ознайомлюються з правилами протипожежної безпеки, призначення осіб відповідальних за пожежну безпеку.

Для ліквідації невеликих загорянь пропонується застосування первинних засобів пожежогасіння — вогнегасників. Для гасіння пожеж в лабораторії розробника площею 121,94 м² передбачається вуглекислотний вогнегасник ОУ-5 — 2 шт. (клас пожежі Е — горіння

електроустановок під напругою) [19].

У приміщенні застосований пожежний оповісник ІІ 104, який спрацьовує при перевищенні температури в приміщенні $+60^{\circ}\text{C}$. А також димовий оповісник ІІ 212, який спрацьовує при скупченні диму в приміщенні.

З метою попередження прямого удару і другорядних проявів блискавок, будівля обладнана системою блискавкозахисту. Категорія пристрою блискавкозахисту має бути 3 категорії для виробничих споруд з приміщеннями по пожежній безпеці класу ІІ-ІІа [17].

Громовідвід складається з трьох основних частин: приймача блискавки, який безпосередньо приймає удар блискавки; струмовідводу (спуску), що сполучає приймача блискавки з заземлювачем, і заземлення, через яке струм блискавки переходить безпосередньо в землю.

Вертикальна конструкція — частина будівлі, яка призначена для закріплення приймача блискавки і струмовідводу — називається опорою. Опора встановлена на даху будівлі. У разі виникнення пожежі:

- негайно повідомити в пожежну охорону за телефоном 101,
- сповістити людей, що знаходяться в сусідніх приміщеннях про виникнення пожежі,
- приступити до гасіння пожежі за допомогою первинних засобів пожежогашіння,
- у разі загрози життю покинути небезпечну зону.

4.3.4 Електробезпека

Приміщення лабораторії, згідно з [17], віднесено до категорії без підвищеної небезпеки ураження струмом. Також лабораторія класифікується як пожежонебезпечна зона класу ІІ-ІІа. Температура навколишнього середовища знаходиться в межах $+20 \pm 5^{\circ}\text{C}$, а відносна вологість повітря - $60 \pm 20\%$. В лабораторії встановлені непровідні підлоги, відсутній струмопровідний пил, відсутні високі температура і збільшена вологість, а також електрично-активне середовище. Опір захисних заземлювачів в

електричних установках напругою 380/220 В не повинен перевищувати 4 Ом.

Основними заходами для запобігання ураження електричним струмом в лабораторії є захист від дотику до частин електрообладнання, що перебувають під напругою, використання захисного заземлення і відключення. Для уникнення потрапляння працівника під напругу мережі використовується подвійна ізоляція проводів. Також в лабораторії встановлені захисні автоматичні вимикачі, які окремо живлять освітлення і розетки.

Організаційні заходи для запобігання ураження електричним струмом включають призначення відповідальних осіб за електробезпеку та проведення відповідних інструктажів.

4.3.5 Інженерні рішення з охорони праці

Розрахунок захисного заземлення

Захисне заземлення – це навмисне з'єднання з землею частин обладнання, які не знаходяться під напругою в нормальних умовах експлуатації, але які можуть знаходитись під напругою в результаті порушення ізоляції електроустановки.

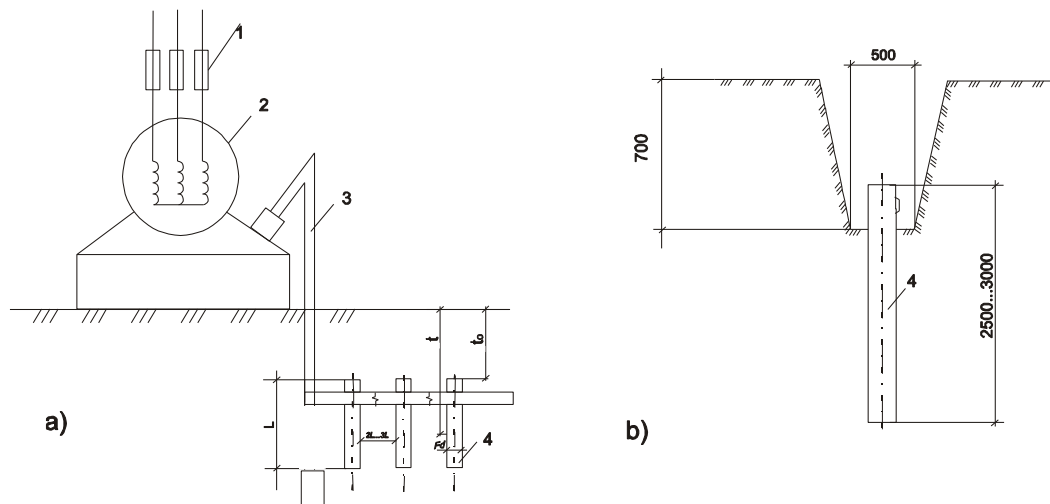


Рисунок 4.1 Пристрій заземлення

а) – схема заземлюючого пристрою; б) – розміщення одиночного заземлювача;

1-плавкі вставки; 2 – електродвигун; 3- з'єднувальна штаба; 4- трубчатий заземлювач

В даному розділі дипломної роботи необхідно розрахувати заземлюючий пристрій для заземлення електродвигуна який живиться від мережі сонячної електростанції при слідуючих вихідних даних:

- ґрунт – суглинок з питомим електричним опором $\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$;
- в якості заземлювачів прийнято сталеві труби діаметром $d = 0.08 \text{ м}$ і довжиною $l = 2.5 \text{ м}$, розміщені вертикально і з'єднані зварюванням сталевую штабою $40\cdot 4 \text{ мм}$;
- потужність електродвигуна $U=1,5 \text{ кВт}$, $n = 3000 \text{ хв}^{-1}$;
- потужність трансформатора $170 \text{ кВ}\cdot\text{А}$, допустимий по нормах опір заземлюючого пристрою $[r_3] \leq 4 \text{ Ом}$.

Розрахунок:

Визначаємо опір одиночного вертикального заземлювача R_B , по формулі:

$$R_B = \frac{\rho_{розр}}{2\pi \cdot l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \frac{4t+l}{4t-l} \right),$$

де t – відстань від середини заземлювача до поверхні ґрунту, м;

l, d – довжина і діаметр стержневого заземлювача, м.

Розрахунковий питомий опір ґрунту

$$\rho_{розр} = \rho \cdot \psi,$$

де ψ – коефіцієнт сезонності, який враховує можливість підвищення опору ґрунту на протязі року.

Приймаємо $\psi = 1.7$, для першої кліматичної зони, тоді

$$\rho_{розр} = \rho \cdot \psi = 100 \cdot 1.7 = 170 \text{ Ом}$$

$$R_B = \frac{170}{2\pi \cdot 2.5} \left(\ln \frac{2 \cdot 2.5}{0.08} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2.05 + 2.5}{4 \cdot 2.05 - 2.5} \right) = 48 \text{ Ом}$$

Визначаємо опір сталеві штаби, яка з'єднує стержневі заземлювачі

$$R_n = \left(\frac{\rho_{розр}}{2\pi \cdot l} \right) \cdot \ln \left(\frac{l^2}{dt} \right),$$

де l – довжина полоси, м;

$d=0.5b$ (b – ширина полоси, рівна 0.08 м).

Визначаємо розрахунковий питомий опір ґрунту $\rho_{\text{розр}}$ при використанні з'єднувальної штаби у вигляді горизонтального електрода довжиною 50 м. При довжині полоси 50 м, $\psi' = 5.9$, тоді

$$\rho'_{\text{розр}} = \rho\psi = 100 * 5.9 = 590 \text{ Ом*м}$$

$$R_{II} = \frac{590}{2\pi 50} \ln \frac{50^2}{0.04 \cdot 0.8} = 21 \text{ Ом}$$

Визначаємо орієнтовне число n одиночних стержневих заземлювачів по формулі

$$n = \frac{R_B}{[r3] \cdot \eta_B} = \frac{48}{4 \cdot 1} = 12 \text{ шт}$$

де $[r3]$ - допустимий по нормах опір заземлюючого пристрою,

η_B – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів (прийmemo його рівним 1).

Приймаємо розміщення вертикальних заземлювачів по контуру з відстанню між суміжними заземлювачами рівною 2l. По таблиці [20] знайдемо дійсні значення коефіцієнтів використання η_B та η_G , виходячи з прийнятої схеми розміщення вертикальних заземлювачів, $\eta_B = 0.66$, $\eta_G = 0.39$.

Визначаємо необхідне число вертикальних заземлювачів

$$n = \frac{R_B}{[r3] \eta_B} = \frac{48}{4 \cdot 0.66} = 18 \text{ шт}$$

Визначаємо загальний розрахунковий опір заземлюючого пристрою R з врахуванням з'єднувальної штаби

$$R = \frac{R_B \cdot R_T}{R_T \eta_T + R_T \eta_T n} = \frac{48 \cdot 21}{48 \cdot 0.39 + 21 \cdot 0.66 \cdot 18} = 3.76 \text{ Ом}$$

Правильно розрахований заземлюючий пристрій повинен відповідати умові $R \leq [r_3]$. Розрахунок виконано вірно, так як $3.7 < 4$.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

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

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

Для визначення вартості конструкторської підготовки виробництва складається кошторис витрат з моменту отримання завдання до виготовлення і заводських випробувань дослідного зразка включно і коректування документації за наслідками цих подій [21].

5.1 Визначення стадій розробки

Стадії роботи, які необхідні для розробки системи контролю заряду від сонячних модулів, а також вміст робіт на кожній стадії зведені в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Стадії розробки систем захисту сонячних модулів

№ з/п	Стадії розробки	Вміст робіт	Тривалість етапу, днів	Примітка
А	Постановка завдання	Узгодження технічного завдання із замовником	1	1 інженер
Б	Вивчення об'єкту	Аналіз існуючих рішень	2	1 інженер
В	Розробка проекту	Проектування систем захисту	15	1 інженер
Г	Проведення дослідження та розробки	Розробка технічної документації	3	1 інженер

Д	Узгодження із замовником	Демонстрація проекту. Виправлення помилок.	1	1 інженер
Е	Передача замовнику	Передача результатів замовнику, підписання акту здачі робіт	2	1 інженер

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

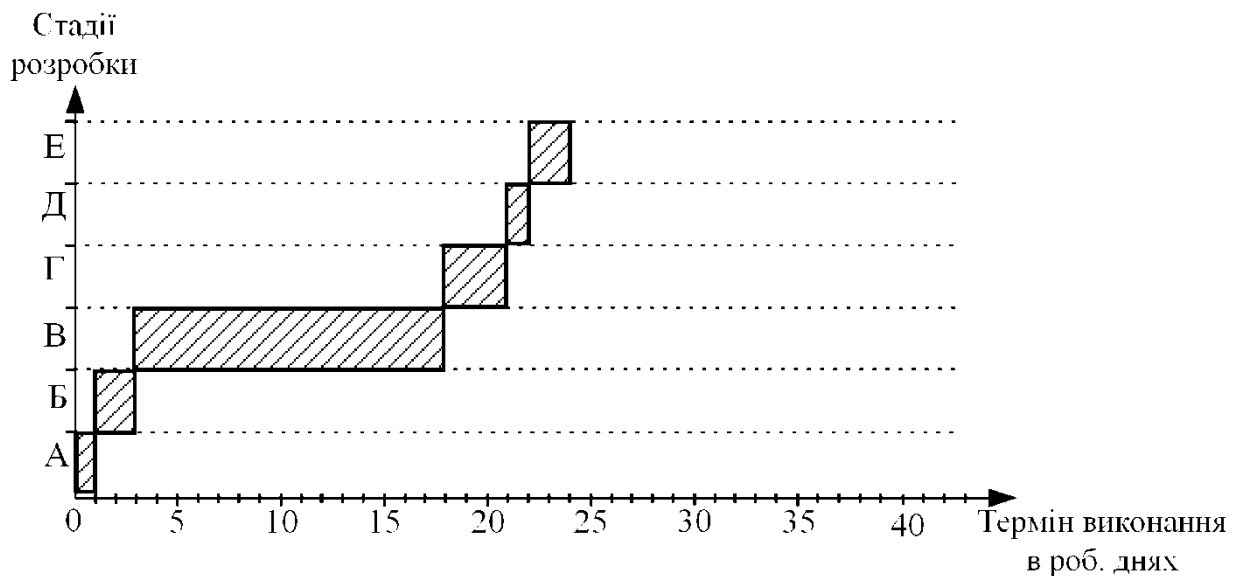


Рисунок 5.1 – Лінійний графік розробки системи контролю заряду від сонячних модулів

Відповідно до рис. 5.1 на види роботи А-Е, потрібно 24 восьмигодинних робочих днів.

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

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

Для виконання робіт по етапу В необхідно 1 людину – 1 інженер електронної техніки.

Для виконання робіт по етапу Г необхідно 1 людину – 1 інженер електронної техніки.

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

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

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

Таблиця 5.2– Співробітники проекту

Найменування	Кількість співробітників людей	Кількість робочих днів участі в розробці, роб. дні	К-ть часу, витраченого на участь в проекті, ч
Інженер технічного забезпечення проекту	1	8	64
Інженер електронної техніки	1	20	160

5.2 Розрахунок заробітної плати

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

Таблиця 5.3 – Тарифні ставки співробітників

Найменування співробітника	Тариф Тсер, грн./год.
інженер технічного забезпечення проекту	55
інженер електронної техніки	63

Заробітна плата кожного співробітника визначається по формулі [21]

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

де ЗП – заробітна плата, грн.;

$T_{сер}$ – ставка кожного співробітника, грн./год;

$N_{роб}$ – кількість працівників, людей;

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

Результати розрахунків представлені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Заробітна плата

Найменування	Заробітна плата, грн.
інженер технічного забезпечення проекту	3520
інженер електронної техніки	10080
РАЗОМ	13600

5.3 Розрахунок кошторису витрат

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

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

Таблиця 5.5 – Вартість устаткування і програмного забезпечення

Найменування	Ед.вим.	К-ть	Ціна, грн.	Вартість, грн.
Комп'ютер	шт	1	16000,00	16000,00
Програмне забезпечення	шт	1	2400	2400
РАЗОМ				18400

Амортизація основних засобів (комп'ютер) [22]:

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

$$S_{аморт} = 0,15 \times 16000 \times (24 \times 8 / 2100) = 219,4 \text{ грн.}$$

Електроенергія, що витрачається при роботі інженера електронної техніки:

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

де N – кількість комп'ютерів, осцилографів, мультиметрів

$$S_e = 2,40 \times 0,5 \times 1 \times 192 = 230,4 \text{ грн.}$$

Кошторис витрат на розробку системи контролю заряду від сонячних модулів представлений в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Кошторис витрат

№ з/п	Найменування	Разом:
1	Вартість програмного забезпечення	2400
2	Основні засоби	16000
3	Амортизаційні відрахування	219,4
4	Витрати на електроенергію (машинний час)	230,4
5	Заробітна плата	18400
6	Відрахування 37%	6808
	Всього	44057,8

Економічні розрахунки підтвердили доцільність розробки системи контролю заряду від сонячних модулів для використання її в умовах серійного виробництва.

ВИСНОВКИ

В процесі проведено дослідження виявлено, що щснвним захистом ФЕП від радіаційного пошкодження є встановлення на них оптичних прозорих покриттів, які одночасно виконують функції терморегулятора. Матеріалом для таких покриттів є, головним чином, плавлений кварц, або скло.

Також встановлено, що сучасні високоефективні сонячні елементи (СЕ) є складними багатошаровими гетеросистемами. Вони складаються з трьох основних р-n переходів виконаних Ge, InGaAs, InGaP з'єднаних послідовно тунельними діодами. Світовий рекорд ефективності трьохперехідних сонячних батарей з ККД аж до 44,5%.

Проведено дослідження процесів деградації сонячних панелей, які спричиняються потенціалом (PID). Розглянуто причини PID, методи її визначення та запобігання. Виявлено, що PID виникає приблизно в середині терміну служби, і може призводити до зниження потужності сонячної панелі до 30%.

Розроблено пристрій який забезпечує компенсацію процесів деградації сонячних елементів шляхом пошуку точки максимальної ефективності на протязі строку служби.

Проведено економічні розрахунки та розглянуті заходи з охорони праці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Летін, В.А. Захисні покриття сонячних батарей космічних апаратів із великим ресурсом / В.А. Летін, Л.С. Гаценко, Т.А. Агеева. // Автономна енергетика: технічний прогрес та економіка, № 24-25. - 2008-2009. - С. 3-13.
2. Zh.I. Alferov, V.M. Andreev, and V.D. Rumyantsev. III-V Heterostructures in Photovoltaics in Springer Series in Antonio L. Luque Viacheslav M. Andreev // Concentrator Photovoltaic optical sciences Editor-in-Chief: W. T. Rhodes, Atlanta, Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2007).
3. Bill Scanlon, NREL Award-Winning PV Cell Pushes Efficiency Higher Jan 02, 2013
4. Putyato M.A., Preobrazhenskii V.V., Semyagin B.R., Feklin D.F., Pakhanov N.A., Emelianov E.A., Chikichev S. I. // Semiconductor Science and Technology. 2009. 24, P. 055014.
5. R.D. Bringans, D.K. Biegelsen, L.-E. Swartz // Phys. Rev. B 1991 V. 44 P. 3054.
6. Путятю М.А., Семягин Б.Р., Емельянов Е.А., Феклин Д.Ф., Василенко А.П., Преображенский В. В. // Физика. 2010. 9/2. С. 293.
7. Asai K., Kamei K., Katahama H. // Appl. Phys. Lett. 1997. 71. P. 701.
8. Taylor P. J., Jesser W. A., Benson J. D., Martinka M., Dinan J. H., Bradshaw J., Lara-Taysing M., Leavitt R. P., Simonis G., Chang W., Clark W. W. III, Bertness K. A. // J. Appl. Phys. 2001. 89. P. 4365.
9. Yasufumi Takagi, Yuzo Furukawa, Akihiro Wakahara and Hirofumi Kan1 // J. Appl. Phys., 2010. V.107, P. 063506-1.
10. R. S. Goldman, K. L. Kavanagh, H. H. Wieder, S. N. Ehrlich, and R. M. Feenstra // J. Appl. Phys. 1998. V.83, P. 5137.
- 11 R.D. Bringans, D.K. Biegelsen, L.-E. Swartz // Phys. Rev. B 1991. V. 44. P. 3054.
12. I. Yonenaga and K. Sumino // J. Cryst. Growth, 1993, V.126. P. 19.

13. PID effect solar panel. [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://www.solarhome.com/basics/solar/pv/potential-induced-degradation-pv-array.htm>
14. САПР DipTrace [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://diptrace.com/ua/>
15. Друковані плати [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.pselectro.ru/article/7/78>
16. 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.
17. Правила влаштування електроустановок. - Х.: Изд-во "Форт", 2009. 704 с.
18. НАПБ Б.03.002-2007 Норми визначення категорій приміщень, будівель та зовнішніх установок щодо вибухопожежної та пожежної небезпеки.
19. СНиП 2.01.02-85. Протипожежні норми.
20. Теорія з розрахунку захисного заземлення. <http://www.mastercity.ru/vforum/attachment.php?s=d0aeaac68c0fd511e7430d2a5b22a6dd&attachmentid=13256&d=1166795840>
21. Економіка і організація виробництва: навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за технічними та інженерними спеціальностями / Петренко К. В., Скоробогатова Н. Є. - К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 177 с.
22. Попова В.Д. Методичні вказівки до виконання економічної й організаційної частини дипломної роботи – Запоріжжя, 2005,-36с.

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				<u>Документация</u>		
A1			EICПЗ M.22204.00.00.00.00.D1	Дослідження перетворення сигналів у системі механо- і терморелеції Постановка завдання		
A1			EICПЗ M.22204.00.00.00.00.D2	Дослідження перетворення сигналів у системі механо- і терморелеції Вплив PID-ефекту		
A1			EICПЗ M.22204.00.00.00.00.D3	Дослідження перетворення сигналів у системі механо- і терморелеції Вплив PID-ефекту		
A1			EICПЗ M.22204.00.00.00.00.E3	Дослідження перетворення сигналів у системі механо- і терморелеції Схема електрична принципова		
A1			EICПЗ M.22204.00.00.00.00.D4	Дослідження перетворення сигналів у системі механо- і терморелеції Схема для моделювання		
A1			EICПЗ M.22204.00.00.00.00.D5	Дослідження перетворення сигналів у системі механо- і терморелеції Результати моделювання		
A1			EICПЗ M.22204.00.00.00.00.D6	Дослідження перетворення сигналів у системі механо- і терморелеції Економічні показники		
A1			EICПЗ M.22204.00.00.00.00.D7	Дослідження перетворення сигналів у системі механо- і терморелеції Охорона праці		

EICПЗ M.22204.00.00.00.00			
Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Калниш	<i>К. М.</i>	15.12.20
Проб.	Критська	<i>К. М.</i>	05.12
Н.контр.	Туршев	<i>Т. Ш.</i>	05.12.20
Утв.	Критська	<i>К. М.</i>	
Инд. № посл.	Дослідження впливу зовнішніх факторів на ефективність фотоперетворення в умовах Землі		
Лист	Лист	Листов	
		1	
ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ 8.1712			