

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні
Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного
забезпечення

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

рівень вищої освіти перший бакалаврський
(другий магістерський рівень)

на тему Розробка компактного пристрою параметричного тестування со-
нячних елементів

Виконав: студент (ка) IV курсу, групи 6.1539

Дем'яненко Т.М.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Напряму підготовки _____
(шифр)

Спеціальності 153

Мікро- та наносистемна техніка

(назва)

Керівник доцент, доцент, к.т.н.

Верьовкін Л. Л.

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

Рецензент професор кафедри Коваленко В. Л.

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

м. Запоріжжя - 2023 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні

Рівень вищої освіти перший бакалаврський
(перший (бакалаврський) рівень, другий (магістерський) рівень)
Напрямок підготовки 153
(шифр)
Спеціальність Мікро- та наносистемна техніка
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕІСПЗ
Критська Т.В.

“ 15 ” червня 20 23 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Дем'яненко Тимура Михайловича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка компактного пристрою параметричного тестування сонячних елементів

керівник проекту (роботи) Верьовкін Леонід Леонідович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “29” грудня 2023 року №1893-с

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 15 червня 2023 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Використання транзистора у якості динамічного опору, компаратор на операційному підсилювачі LM1458

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Дослідження параметрів сонячних елементів Розробка електричної схеми пристрою для параметричного тестування сонячних елементів. Техніко-економічне обґрунтування. Охорона праці та техногенна безпека.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Імітація роботи компаратора напруги в програмному забезпеченні Electronics Workbench. Схеми електричних принципів пристрою. Розводка струмопровідних доріжок печатної плати. Пристрій для параметричного тестування сонячних елементів.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
<i>I</i>	<i>Верьовкін Л. Л., доцент</i>	
<i>II</i>	<i>Верьовкін Л. Л., доцент</i>	
<i>III</i>	<i>Верьовкін Л. Л., доцент</i>	

7. Дата видачі завдання 30.12.2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
<i>1</i>	<i>Дослідження принципів виміру електричних характеристик сонячних елементів</i>	<i>18.02.2023</i>	
<i>2</i>	<i>Дослідження технологічного процесу виробництва сонячних модулів</i>	<i>10.03.2023</i>	
<i>3</i>	<i>Дослідження характеристик фотоелектричних перетворювачів</i>	<i>18.03.2023</i>	
<i>4</i>	<i>Розробка каскадів схеми електричної пристрою для параметричного тестування фотоелектричних перетворювачів</i>	<i>14.04.2023</i>	
<i>5</i>	<i>Розробка схеми формування динамічного опору навантаження сонячного елемента</i>	<i>27.04.2023</i>	
<i>6</i>	<i>Охорона праці та техногенна безпека</i>	<i>18.05.2023</i>	
<i>7</i>	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	<i>02.06.2023</i>	
<i>8</i>	<i>Рецензування, нормоконтроль, підписання роботи</i>	<i>15.06.2023</i>	
<i>9</i>	<i>Оприлюднений захист магістерської роботи</i>	<i>21.06.2023</i>	

Студент _____

(підпис)

Дем'яненко Т.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____

(підпис)

Верьовкін Л.Л.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено _____

(підпис)

Верьовкін Л.Л.

(прізвище та ініціали)

Реферат

Дипломна робота містить 62 сторінки, 34 рисунка, 1 таблицю, 11 джерел літератури.

Об'єкт дослідження – електричні параметри сонячних елементів.

Мета роботи – розробка конструкції та схеми електричної принципової компактного пристрою для параметричного тестування сонячних елементів.

Задачі роботи – розробити схему електричну, топологію печатної плати та проаналізувати функціонування розробленого пристрою.

Методика досліджень – моделювання пристрою за допомогою програмних забезпечень: Electronics Workbench 5.12, SPlan 5.0, Layout 4.0.

Короткий виклад результатів досліджень – розроблено електронну схему та конструкцію контактної плати з майданчиком, який дозволяють проводити контроль параметрів десяти сонячних елементів.

Результати впровадження – макет електронного приладу пройшов випробування на кафедрі ЕІСПЗ.

Прогнозні пропозиції – рекомендується для впровадження при виготовленні сонячних елементів.

СОНЯЧНИЙ ЕЛЕМЕНТ, МІКРОСХЕМА, ОПЕРАЦІЙНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ, АКУМУЛЯТОР, ТОПОЛОГІЯ, КОНТАКТНИЙ МАЙДАНЧИК

Дипломну роботу виконано на кафедрі електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення, з 30.12.2022 р. по 15.06.2023 р.

Зміст

	Стор.
Вступ	6
1 Дослідження параметрів сонячних елементів	7
1.1 Фотоелектричні властивості p-n переходу	7
1.2 Вимір електричних характеристик сонячних елементів	12
1.3 Технологічний процес виробництва сонячних модулів	14
2 Розробка електричної схеми пристрою для параметричного тестування сонячних елементів	20
2.1 Характеристики фотоелектричних перетворювачів	20
2.1.1 Крива потужності	22
2.2 Розробка каскадів схеми електричної пристрою для параметричного тестування фотоелектричних перетворювачів	24
2.2.1 Дослідження схем компараторів напруги	25
2.2.2 Розробка схеми стабілізатора напруги	28
2.2.3 Розробка схеми формування динамічного опору навантаження сонячного елемента	30
2.2.4 Дослідження схеми диференціального підсилювача	31
2.2.5 Вимір параметрів сонячного елемента за допомогою стрілочних приладів	35
2.3 Дослідження можливості реалізації схеми пристрою для параметричного тестування у вигляді печатної плати	36
2.4 Розробка печатної плати приладу для тестування фотоелектричних перетворювачів	38
2.5 Живлення схеми приладу для тестування фотоелектричних перетворювачів	40
2.6 Функціонування пристрою для параметричного тестування фотоелектричних перетворювачів	43
3 Охорона праці та техногенна безпека	45

3.1 Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів	45
3.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів	48
3.3 Виробнича санітарія	49
3.4 Електробезпека	51
3.5 Пожежна та техногенна безпека	52
3.6 Розрахунок штучного освітлення лабораторного приміщення	54
Висновки та рекомендації	58
Перелік джерел	59
Додаток А	61

Вступ

Основний параметр сонячних елементів (СЕ) і батарей (СБ)– світлова навантажувальна вольт-амперна характеристика – дозволяє: визначити електричну потужність, що генерується ними; оцінити повноту використання потенціалу забороненої зони по напрузі холостого ходу; отримати уявлення про рівень оптичних і фотоелектричних втрат по струму короткого замикання і коефіцієнту заповнення вольт-амперної характеристики; розрахувати ККД перетворення сонячної енергії в електричну по відношенню потужності, що генерується елементами і батареями, до потужності падаючого сонячного випромінювання, яку можна виміряти за допомогою еталонного сонячного елемента.

Якість сонячних елементів і батарей, кількість дефектних елементів в батареї можуть бути оцінені непрямими методами – по виміру прямої і зворотної гілки темної вольт-амперної характеристики, по інтегральному коефіцієнту поглинання сонячного випромінювання поверхнею батареї, що розраховується по результатам спектральних вимірів коефіцієнта віддзеркалення, по інтегральному коефіцієнту власного теплового випромінювання поверхні батареї, різному у дефектних і якісних елементах [1].

Потужність модулів і батарей складається з вихідних потужностей окремих сонячних елементів. Залежно від технології виготовлення фотоелектричних перетворювачів, існують різні види сонячних батарей. Найширше поширені кристалічні фотоелектричні перетворювачі, виготовлені з моно- або мульти-кристалічного кремнію, а також тонкоплівкові сонячні елементи на основі аморфного кремнію, телуриду кадмію, арсеніду галію, фосфіду індію і деяких інших з'єднань.

Актуальними є методи дослідження параметрів окремих сонячних елементів, оскільки в цілому сонячна батарея повинна віддавати максимальну енергію з максимальним ККД.

1 Дослідження параметрів сонячних елементів

Розробка і поліпшення експлуатаційних характеристик систем електропостачання заснованих на сонячній енергетиці висуває на перший план необхідність створення ефективних методів проектування подібних систем, зокрема, передбачення і аналізу роботи сонячних батарей під дією всіляких чинників довколишнього простору в статичному і динамічному режимах навантаження.

Передбачення поведінки і відтворення характеристик СЕ і СБ здійснюється за допомогою моделювання. В порівнянні з експериментом, математичне моделювання надає швидший, гнучкіший і дешевший спосіб відробітку ФЕС. Для відтворення характеристик СЕ і СБ найчастіше використовуються аналітичні моделі, які будуються на базі еквівалентної електричної схеми і основного рівняння СЕ. Роботи по моделюванню характеристик СБ активно ведуться за кордоном, результати досліджень розглядаються на конференціях з фотовольтаїки, що регулярно проводяться.

Відомі аналітичні моделі дозволяють відтворювати зміну вихідних характеристик СЕ і СБ під дією різних температур і рівнів освітленості, але не враховують інших значимих чинників. Не беруться до уваги неідеальність СЕ, конструктивні особливості батарей, необхідність відтворення характеристик СБ з різних матеріалів. В той же час, для використання пропонованих моделей потрібне проведення додаткових експериментів, які дозволяють визначити їх вхідні параметри.

1.1 Фотоелектричні властивості р-п переходу

Розглянемо процеси, які відбуваються в р-п переході і поблизу нього при освітленні монохроматичним випромінюванням [2]. Нехай р-п перехід

розташований поблизу від освітлюваної поверхні напівпровідника, вільної від поверхневих станів (рис. 1.1, 1.2).

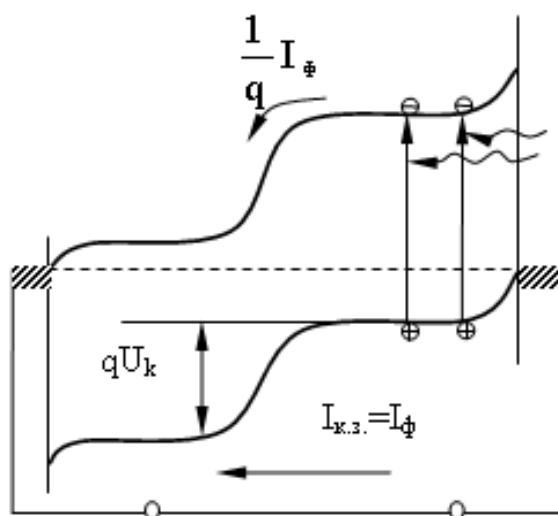


Рисунок 1.1 - Зонна енергетична діаграма р-n-переходу при освітленні в режимі короткого замикання

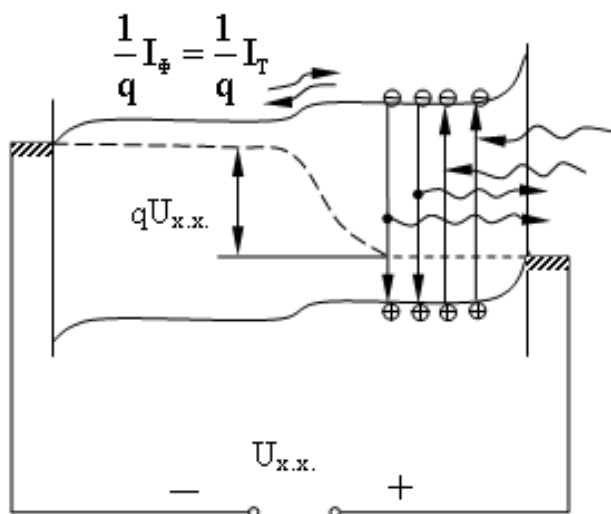


Рисунок 1.2 - Зонна енергетична діаграма р-n-переходу при освітленні в режимі холостого ходу

Виберемо таку енергію квантів випромінювання, аби фотони поглиналися у напівпровіднику:

$$h\nu = E_g,$$

причому електронно-діркові пари виникали б лише в р-області на відстані менш дифузійної довжини електронів від р-п переходу.

При використанні СЕ як джерела електроенергії до його виводів має бути приєднаний опір навантаження R_n . Розглянемо спочатку два крайні випадки: $R_n = 0$ (режим короткого замикання) і $R_n = \infty$ (режим холостого ходу). Зонні діаграми р-п переходу в цих режимах представлені на рисунках 1.1, 1.2. У першому випадку зонна діаграма освітленого р-п переходу не відрізняється від зонної діаграми при термодинамічній рівновазі (тобто без освітлення і без прикладеної напруги зсуву), оскільки зовнішнє закорочення забезпечує нульову різницю потенціалів між n- і р-областями. Проте через р-п перехід і зовнішній напівпровідник тече струм, обумовлений фотогенерацією електронно-діркових пар в р-області. Фотоелектрони, які утворилися в безпосередній близькості від області об'ємного заряду, захоплюються електричним полем р-п переходу і потрапляють в n-область. Останні фотоелектрони дифундують до р-п переходу, прагнучи заповнити їх спад, і зрештою також потрапляють в n-область.

У n-області виникає направлений рух електронів до тильного металевого контакту, перетікання в зовнішнє коло і в контакт до р-області. На кордоні контакту до р-області відбувається рекомбінація електронів, які підійшли сюди, з дірками, що фотогенеруються.

Звернемо увагу на енергетичні діаграми n- і р-областей поблизу контактів. Вони відповідають ідеальним не випрямляючим (тобто омічним) контактам між металом і напівпровідником, коли енергетичний бар'єр для протікання носіїв відсутній. Це досягається сильнішим легуванням n- і р-областей поблизу контактів, з тим, аби $E_c - E_f$ і $E_f - E_v$, дорівнювали нулю, а також підбором металів (різних для контакту до n- і р-області), які мають рівень Фермі на тій же висоті, що і в напівпровіднику.

При розімкненому зовнішньому колі р-п переходу (рис. 1.2) фотоелектрони потрапляючи в n-область, накопичуються в ній заряджають n-область негативно. Надлишкові дірки, які залишаються в р-області, заряджають р-

область позитивно. Різниця потенціалів, яка виникає таким чином, є напругою холостого ходу $U_{x,x}$. Полярність $U_{x,x}$ відповідає прямому зсуву р-п переходу.

Величина $U_{x,x}$ завжди менше контактної різниці потенціалів U_k , що означає, що в діаграмі р-п переходу завжди зберігається «сходи́нка» ΔE_c . Потенційна енергія електронів, які знаходяться на дні зони провідності у п-області менше, ніж в р-області. Це є причиною ефективного витягування фотоелектронів з р-області в п-область. Таким чином, потік фотоелектронів не залежатиме від напруги зсуву р-п переходу (як позитивного, так і негативного аж до напруги, при якій починається лавинне множення носіїв струму).

Потік носіїв, які генеруються світлом, утворює фотострум I_ϕ . Величина I_ϕ дорівнює числу носіїв, які фотогенеруються, пройшли через р-п перехід в одиницю часу:

$$I_\phi = q \frac{P_i}{h\nu}, \quad (1.1)$$

де P_i – потужність поглиненого монохроматичного випромінювання. Тут передбачається, що в напівпровіднику кожен поглинений фотон з енергією

$$h\nu = E_g$$

створює одну електронно-діркову пару. Ця умова звичайна добре виконується для сонячних елементів на основі Si і GaAs.

При нульових внутрішніх омічних втратах в сонячних елементах режим короткого замикання (рис. 1.1) еквівалентний нульовій напрузі зсуву р-п-переходу, тому струм короткого замикання $I_{кз}$ дорівнює фотоструму:

$$I_{кз} = I_\phi \quad (1.2)$$

У режимі холостого ходу (рис. 1.2) фотострум врівноважується «темновим» струмом I_T – прямим струмом через р-п перехід, що виникає при напрузі зсуву величиною $U_{x,x}$. З врахуванням

$$i = i_0 \exp \left[\left(\frac{qU}{AkT} \right) - 1 \right], \quad (1.3)$$

для абсолютних значень темнового струму маємо:

$$I_T = I_0 \exp \left[\left(\frac{qU_{xx}}{AkT} \right) - 1 \right] = I_\Phi, \quad (1.4)$$

звідки (при $I_\Phi \gg I_0$)

$$U_{xx} = \frac{AkT}{q} \ln \left(\frac{I_\Phi}{I_0} + 1 \right) \approx \frac{AkT}{q} \ln \frac{I_\Phi}{I_0}, \quad (1.5)$$

Темновий струм супроводиться рекомбінацією неосновних носіїв струму (в даному випадку електронів в р-області). При актах рекомбінації потенційна енергія електронно-діркових пар виділяється або за допомогою випромінювання фотонів з $h\nu \approx E_g$, або витрачається на нагрівання кристалічної решітки. Обидва ці процеси схематично показані додатковими стрілками на рисунку 1.2. Таким чином, режим холостого ходу сонячних елементів еквівалентний режиму роботи світлодіодів [2], а також випрямляючих діодів в пропускнуому напрямі.

Узагальнене вираження для ВАХ освітленого р-n переходу при підключеному джерелі живлення з варійованою напругою (рис. 1.3).

$$\frac{1}{q} I_T = \frac{1}{q} (I_\Phi - I_H)$$

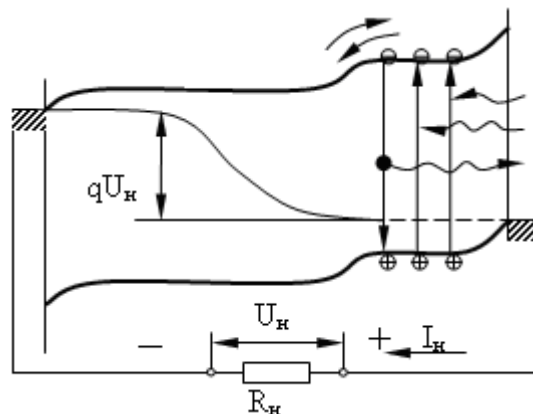


Рисунок 1.3 - Зонна енергетична діаграма р-n переходу при освітленні в режимі включення на опір навантаження

При позитивній напрузі зсуву фотострум I_{ϕ} віднімається з темного струму р-n переходу, а при негативному – підсумовується з ним. Вираження для ВАХ, яке включає (1.2) і (1.4) як окремі випадки, записується у вигляді:

$$I_{\text{н}} = I_0 \left[\exp\left(\frac{qU}{AkT}\right) - 1 \right] - I_{\phi}, \quad (1.6)$$

1.2 Вимір електричних характеристик сонячних елементів

Параметри сонячних елементів вимірюють для визначення їх здібності виробляти необхідну кількість електроенергії при певній щільності потоку вилучення і фіксованій робочій температурі.

Вимірювальна установка складається в основному з джерела світла, навантаження, підключеною до вихідних кінців сонячних елементів, і приладів для виміру електричного струму і напруги.

На рисунку 1.4 показані еквівалентна схема сонячного елементу і схема для вимірів електричних характеристик. P - потік випромінювання; G - генератор постійного струму; $VD1$ - діод, який працює в режимі прямого зсуву, що характеризує діодні властивості р-n переходу; $C1$ - ємність переходу; $R2$ - послідовний опір; $R1$ - шунтуючий опір; $PA1$ - міліамперметр з низьким входним опором; $PV1$ - вольтметр з високим входним опором; $R_{\text{н}}$ - змінний опір навантаження.

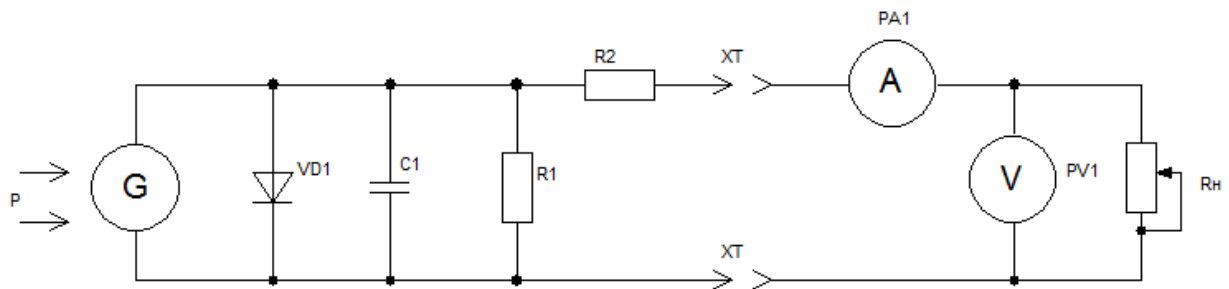


Рисунок 1.4 - Еквівалентна електрична і вимірювальна схеми сонячного елементу

Якщо опір навантаження R_H невеликий, то напруга на елементі теж невелика і струм через R_H можна вважати рівним струму короткого замикання – $I_{кз}$. З збільшенням R_H струм через резистор навантаження зменшується а напруга на елементі зростає до тих пір, поки не настане момент, коли $R_H = \infty$, а струм дорівнюватиме нулю. Цей режим називається режимом холостого ходу, а напруга відповідно - напругою холостого ходу U_{xx} . Знаючи струм і напругу, можна побудувати вольт-амперну характеристику. Цю характеристику можна викреслити безпосередньо під час виміру за допомогою двохкоординатного самописця. Проте для поточних вимірів використовується звичайний комп'ютерний спосіб.

Форма і розмір вольт-амперної характеристики залежать від параметра, який характеризує якість переходу, значень шунтуючого і послідовного опорів і від сумарної енергії випромінювання, перетвореної в електричну енергію незалежно від спектрального розподілу інтенсивності випромінювання. Наприклад, якщо під дією деякого випромінювання з довжиною хвилі від 0,4 до 0,7 мкм в елементі виникає певний струм короткого замикання $I_{кз}$, то йому відповідатиме відповідна вольт-амперна характеристика. Якщо при тій же температурі інше випромінювання в спектральному діапазоні від 0,8 до 1,0 мкм викликає таке ж значення $I_{кз}$, як і в попередньому випадку, то йому відповідатиме та ж вольт-амперна крива. Невелика пульсація потоку випромінювання може, проте, робити вплив на точність запису показань реєструючої апаратури. Наприклад, на ксенонових лампах, які працюють від змінного струму або від не згладженого постійного струму, часто отримують менш прямокутну характеристику, ніж на лампах з живленням від постійного струму.

Оскільки при високих інтенсивностях випромінювання сонячні елементи мають малий внутрішній опір, то щоб уникнути похибок прилади для виміру струму повинні також володіти невеликими внутрішнім опором. Наприклад, для виміру струму короткого замикання внутрішній опір приладу має бути 0,1 Ом і нижче. При малих рівнях світлового потоку внутрішній

опір сонячного елемента стає високим, і це викликає труднощі при виміру напруги. Наприклад, аби правильно виміряти напругу холостого ходу при щільності потоку випромінювання рівному 0,01 сонячної постійної, вхідний опір вольтметра має бути не менше 10 МОм.

1.3 Технологічний процес виробництва сонячних модулів

Сонячні модулі (або як їх ще часто називають - сонячні батареї) є найважливішим компонентом для будівництва сонячних електростанцій. Від технічних параметрів сонячних модулів залежить те, яку кількість електроенергії вдасться отримати з одиниці площі, як довго це триватиме і які доведеться нести витрати. На сьогоднішній день ціни на сонячні батареї у всьому світі поступово знижуються, що не мало сприяє вдосконаленню технологічних процесів і перехід від ручних операцій до автоматичної роботи. Досягнення рівності цін на електроенергію, яка виробляється з відновлюваних джерел, і електроенергію, вироблену з традиційних джерел, - головна мета всієї галузі. При вирішенні цього завдання у споживача зникне основний аргумент на користь традиційних джерел електроенергії - їх умовна дешевизна.

Виробництво сонячних батарей включає в себе ряд технологічних операцій: пайка фотоелектричних перетворювачів у відповідність із заданою схемою електричної комутації, герметизація з'єднаних ФЕП в ламінат, монтаж рами і комутаційної коробки, тестування. Загальна блок-схема типового технологічного процесу виробництва сонячних модулів наведена на рисунку 1.5).

Як і будь-яке виробництво, виготовлення сонячних батарей починається з вхідного контролю та підготовки вихідних матеріалів і комплектуючих. Крім фотоелектричних перетворювачів на виробництві застосовуються скло,

мідні шини, флюси, захисні і клейові плівки, дроти, контактні роз'єми, комутаційні коробки, захисні діоди, алюмінієві профілі та інші матеріали.

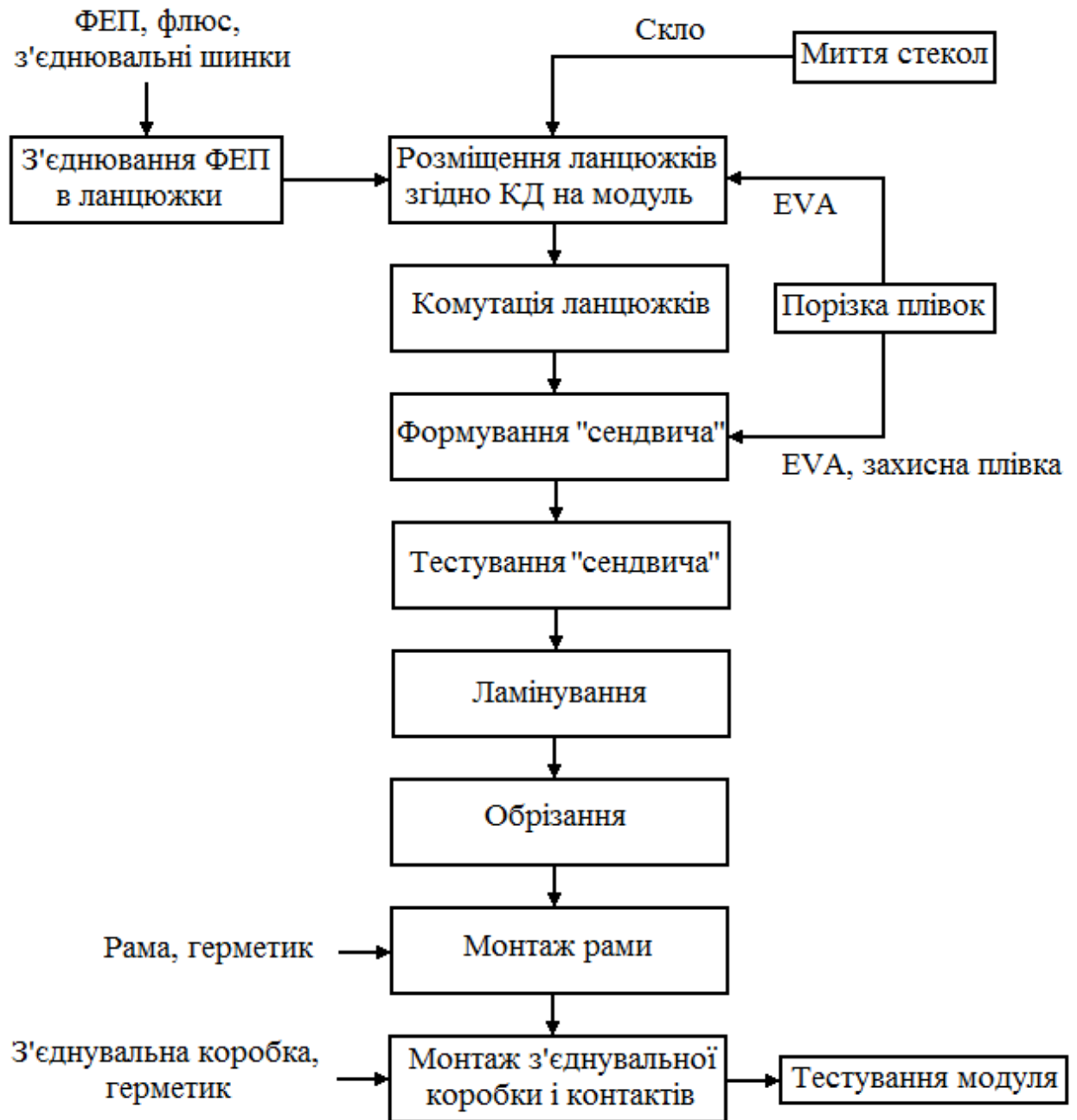


Рисунок 1.5 – Блок-схема типового технологічного процесу виробництва сонячних модулів

Після цього, спеціальним чином відсортовані ФЕП надходять на операцію збірки за допомогою табберів/стрингерів, тобто обладнання, на якому спочатку відбувається припаювання до тильних і лицьових контак-

тів сонячних елементів, попередньо луджених мідних шинок, а потім - послідовне з'єднання цих фотоперетворювачів в кола (strings) необхідної довжини.

Наступна операція здійснює послідовно - паралельне з'єднання раніше підготовлених кіл ФЕП в матрицю (наприклад, розміром 6×10 елементів) і формується «сандвіч», який складається зі скла, попередньо порізаної плівки герметизуючого матеріалу (EVA), фотоелектричних перетворювачів, другого шару герметизуючого матеріалу і тильної захисту модуля (Tedlar). Фактично, на даному етапі формується внутрішня електрична схема сонячного модуля і визначається значення його робочої напруги і робочого струму (рис 1.6).

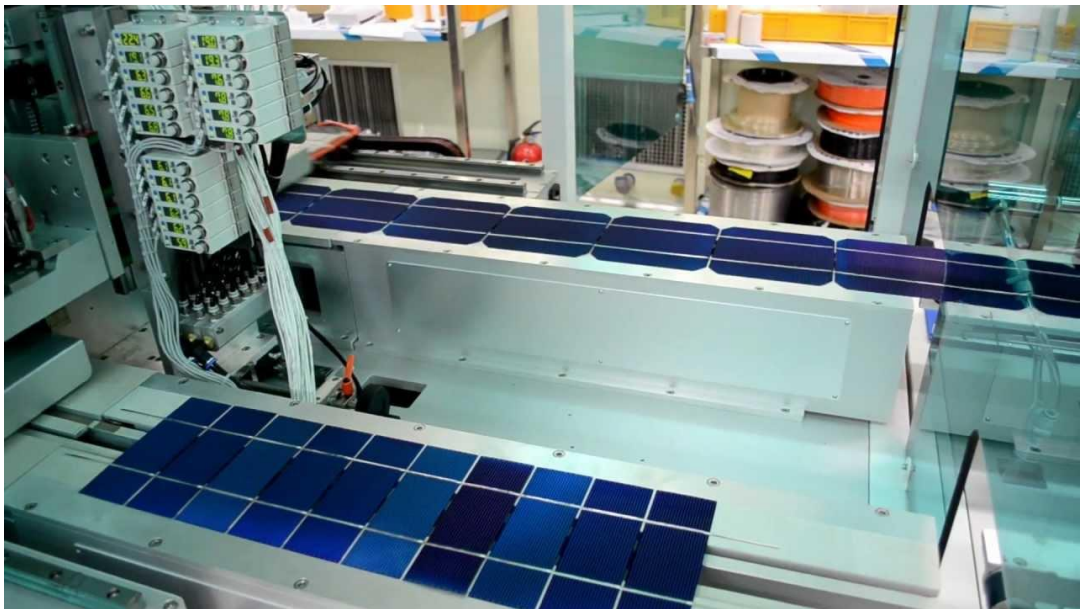


Рисунок 1.6 - Послідовно - паралельне з'єднання раніше підготовлених кіл ФЕП в матрицю

Після з'єднання всіх складових сонячного модуля, отриманий напівфабрикат проходить тестування на відсутність розривів електричного кола (рис.1.7) і надходить на герметизацію при високій температурі і надмірному тиску (рис.1.8).

Ця операція носить назву ламінування, а напівфабрикат, який вийшов в її результаті називається ламінатом.



Рисунок 1.7 - Тестування на відсутність розривів електричного кола



Рисунок 1.8 - Герметизація при високій температурі і надмірному тиску

Підготований на попередніх етапах ламінат, вже здатний генерувати електричну енергію, але все ще не є кінцевим продуктом. Для завершення виробництва необхідно встановити раму по периметру сонячного модуля і змонтувати сполучну комутаційну коробку. Ці операції можуть здійснюватися як вручну, так за допомогою спеціальних роботизованих установок (рис. 1.9).

Тестування готового сонячного модуля включає визначення електричних параметрів і вимір напруги на пробій. В якості тестерів може використовуватися як компактне обладнання, подібне показаному на рисунку 1.10, так і спеціально підготовлені вимірювальні приміщення, в яких встановлюються

надточні імітатори сонячного випромінювання з необхідними характеристиками.



Рисунок 1.9 – Монтаж рами, з'єднувальної коробки і контактів



Рисунок 1.10 - Тестування готового сонячного модуля

Після тестування готові сонячні модулі упорядковано за класами продукції, упаковуються і надходять на склад або відправляються споживачеві.

Як і будь-який технологічний процес, виготовлення сонячних батарей має досить велику кількість технологічних нюансів і «ноу-хау». Дуже важли-

вим є те, наскільки ретельно на виробництві дотримуються вимоги технології, проводиться вхідний і проміжні контролю, які фотоелектричні перетворювачі, а також інші матеріали та обладнання використовуються і наскільки велика ймовірність втручання «людського фактора». Останнім часом намітилася тенденція на укрупнення заводів з виробництва сонячних батарей. Типова напіваавтоматична виробнича лінія має річну потужність близько 30 МВт. А найбільші світові виробники перемістили свої складальні лінії в Азію і нарощують продуктивність до сотень МВт на рік. Їх продукція проходить самий жорсткий контроль якості і сертифікується на відповідність міжнародним стандартам якості. Все це створює дуже несприятливі умови для дрібніших виробників, але в цілому сприяє здешевленню сонячних батарей і зниження вартості «сонячної» електроенергії.

Метою дипломної роботи є розробка компактного пристрою для параметричного тестування сонячних елементів.

Для досягнення поставленої мети слід вирішити завдання:

- виконати схемне моделювання пристрою для одночасного параметричного тестування декількох сонячних елементів;
- виконати топологічне моделювання вимірювальної схеми пристрою;
- провести аналіз характеристик функціонування пристрою за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення.

2 Розробка електричної схеми пристрою для параметричного тестування сонячних елементів

Використовувати сонячні елементи можна так само, як будь-яке інше джерело живлення. Кожен з них призначений для підтримання певної сили струму при заданій напрузі. Проте, на відміну від звичайних джерел живлення вихідні характеристики сонячного елемента залежать від кількості падаючого світла. Наприклад, хмара, що набігла, може понизити вихідну потужність більш ніж на 50 %.

Більш того, не всі елементи видають однакову потужність за однакових умов освітленості, навіть якщо елементи ідентичні по розмірах і конструкції. Відхилення в технологічних режимах можуть спричинити помітний розкид вихідних струмів елементів однієї партії. Ці чинники необхідно враховувати при розробці і виготовленні конструкцій з сонячними елементами.

Для забезпечення максимальної віддачі від фотоелектричних перетворювачів, необхідно перевірити всі елементи.

2.1 Характеристики фотоелектричних перетворювачів

При роботі з будь-яким джерелом живлення необхідно уявляти собі, який зв'язок між собою напруги і струму, а також залежність їх від навантаження. В більшості випадків взаємозв'язок визначається законом Ома. Кремнієві сонячні елементи є нелінійними пристроями і їх поведінка не може бути описана простою формулою. Замість неї для пояснення характеристик елемента можна користуватися сімейством вольт-амперних характеристик (рис. 2.1).

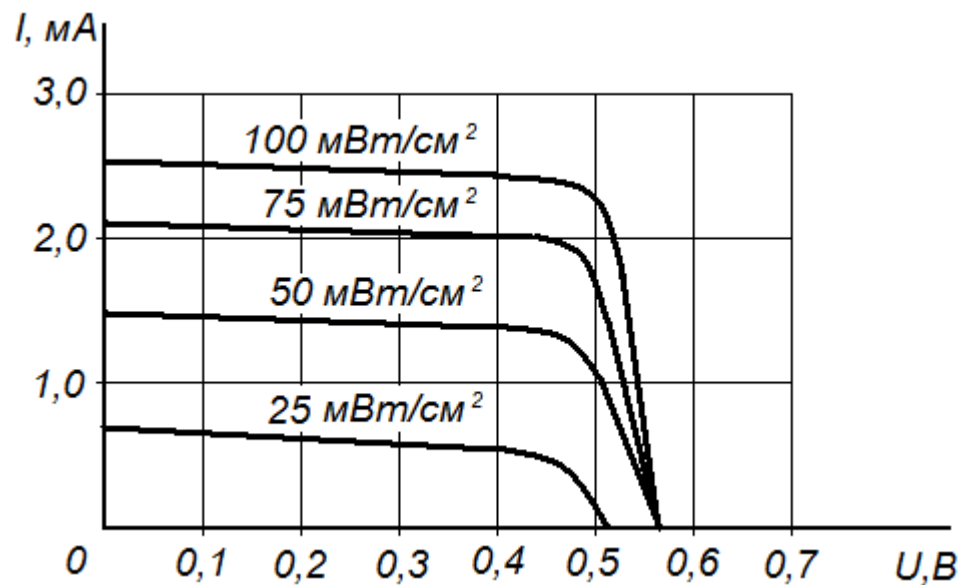


Рисунок 2.1 – Сімейство вольт-амперних характеристик фотоелектричних перетворювачів

100 мВт/см^2 відповідають енергетичній освітленості, яка створюється прямим потоком сонячного випромінювання на поверхні землі на рівні моря опівдні при ясному піднебінні; 75 мВт/см^2 відповідають $3/4$; 50 мВт/см^2 $1/2$; 25 мВт/см^2 $1/4$ цієї освітленості.

Досліджувати вольт-амперні характеристики можна більш детально за допомогою схеми, представленої на рисунку 2.2 [4]. У схемі вимірюються вихідна напруга і струм, який протікає через змінне резистивне навантаження. Інтенсивність світла в процесі виміру залишається постійною.

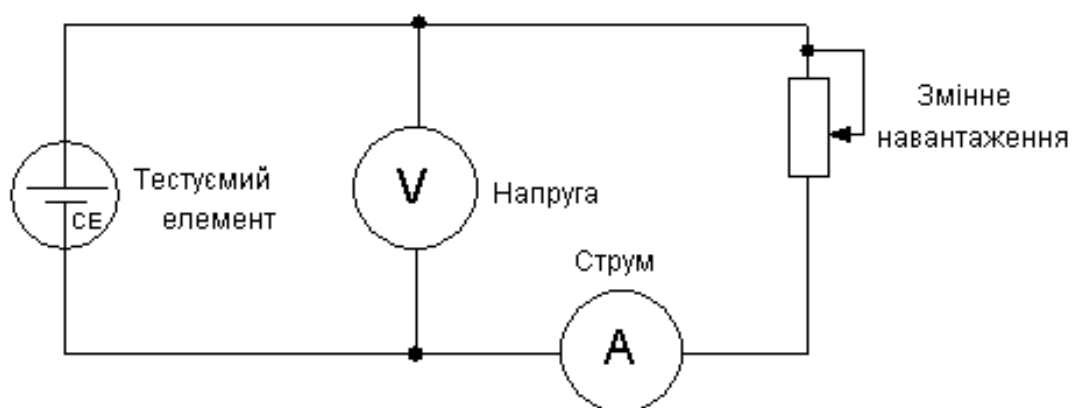


Рисунок 2.2 – Схемне дослідження вольт-амперної характеристики

Спочатку за допомогою потенціометра встановлюється максимальне значення опору. При цьому фактично в колі немає жодного струму і результуючу вихідну напругу можна рахувати рівною напрузі холостого ходу, напрузі яку генерує елемент, коли до нього не підключено ніякого навантаження. Вона складає близько 600 мВ (0,6 В). Величина цієї напруги може злегка змінюватися при переході від одного елемента до іншого в одній партії і від однієї фірми виготівника до іншої. При зменшенні опору резистора елемент більш навантажується. Як і у разі звичайної батареї живлення, це визиває зростання споживаного струму. Одночасно вихідна напруга злегка падає, як це і повинне статися з не стабілізованим джерелом живлення. Потім досягається таке положення, коли із зменшенням опору навантаження вихідний струм більш не збільшується. На практиці цей струм цілком справедливо називають струмом короткого замикання. По суті, сонячний генератор став джерелом постійного струму. Напруга постійно зменшуватиметься пропорційно зростанню навантаження. Як тільки опір навантаження стане рівним нулю, напруга впаде до нуля. Коротке замикання фотоелектричного перетворювача не наводить до виходу його з строю. Сила струму, яку може розвинути елемент, залежить від інтенсивності світла. Для першого виміру довільно вибрався найвищий рівень опроміненості, якому відповідає верхня крива. Кожна наступна крива була отримана на тому ж елементі при поступовому зниженні інтенсивності світла.

2.1.1 Крива потужності

Графік залежності вихідної потужності від напруги представляє собою криву (рис. 2.3). На одному кінці графіка є максимальний струм при нульовій напрузі. Звичайно, жодної потужності в цій точці не виділяється через відсутність напруги. На іншому кінці графіка є максимальна напруга при нульовому струмі, внаслідок чого потужність також не виділяється [4].

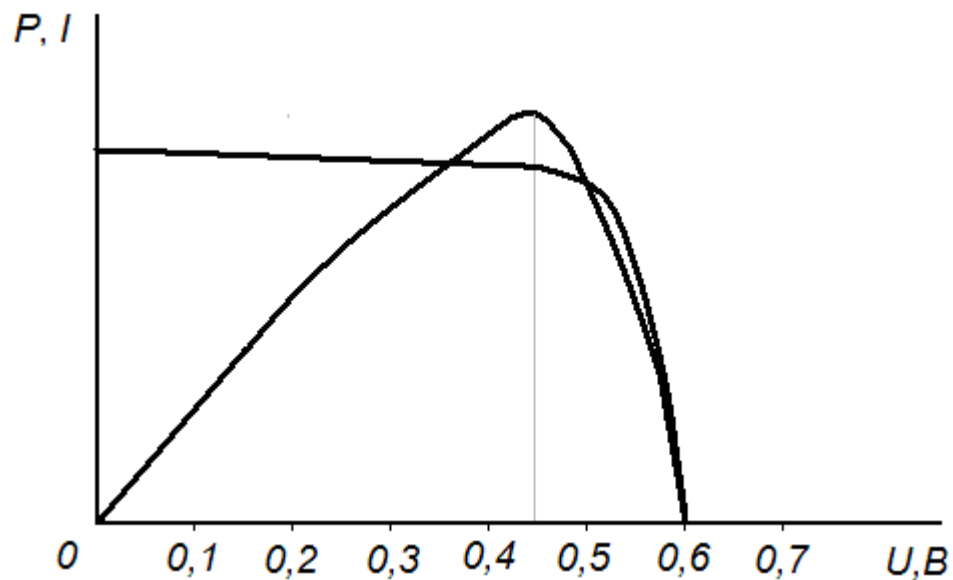


Рисунок 2.3 – Залежність вихідної потужності від напруги

Між цими двома межами при роботі фотоелектричного перетворювача в навантаженні виділяється потужність, причому пікова потужність виділяється лише в одній точці. Саме у ній сукупність всіх чинників забезпечує відбір найбільшої енергії від сонячного елемента. Пікова потужність відповідає напрузі близько 450 мВ (0,45 В), що випадково збіглося з перегином кривої струму, показаної на рисунку 2.1.

Те, що сімейство кривих струму має однакову форму, означає, що максимальна потужність завжди вийде при одній і тій же напрузі незалежно від яскравості сонця. Фактична потужність залежатиме від інтенсивності сонячного випромінювання у даний час, проте пікова потужність спостерігатиметься при одній і тій же напрузі. Для правильної оцінки якості кремнієвого сонячного елемента, необхідно навантажити його так, щоб вихідна напруга дорівнювала 0,45 В, а потім виміряти вихідну потужність. Цей метод ефективний не лише для порівняння елементів між собою в однакових умовах, але і для оцінки якості окремого елемента [4].

2.2 Розробка каскадів схеми електричної пристрою для параметричного тестування фотоелектричних перетворювачів

Для тестування сонячних елементів можна використовувати схему, представлену на рисунку 2.2. Це швидкий і простий спосіб, відповідно до якого після підключення елемента у вказану схему потрібно всього лише виставити відповідну напругу за допомогою потенціометра і зняти показники приладів, вимірюючих напругу і струм. Перемноживши напругу і струм, можна отримати величину потужності. Проте всі елементи злегка розрізняються. Опори, відповідні піковій потужності окремих елементів, будуть також різними. Відповідно до цього необхідно кожного разу змінювати опір навантаження, аби відновити необхідну робочу напругу. Крім того, енергія, яка виробляється сонячним елементом, повністю розсіюється на потенціометрі, обумовлюючи його нагрів і нестабільність. Рішенням цієї проблеми являється заміна потенціометра на транзистор. У конкретному вживанні транзистор можна розглядати як динамічний опір.

Невеликий струм бази транзистора, який задається як показано на рисунку 2.4, викликає значну зміну струму колектора. Струм бази фактично змінює опір транзистора, який у свою чергу використовується як навантаження для сонячного елемента [5].

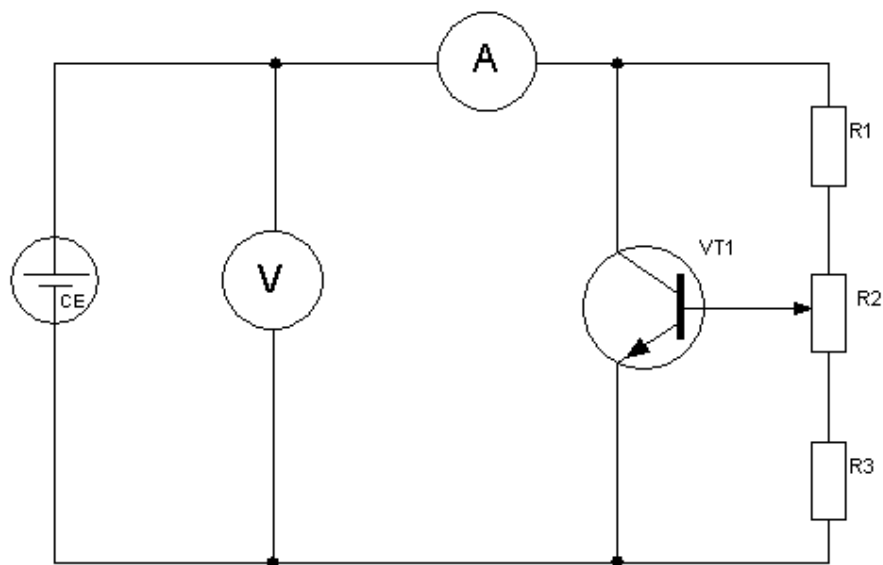


Рисунок 2.4 – Використання транзистора у якості динамічного опору

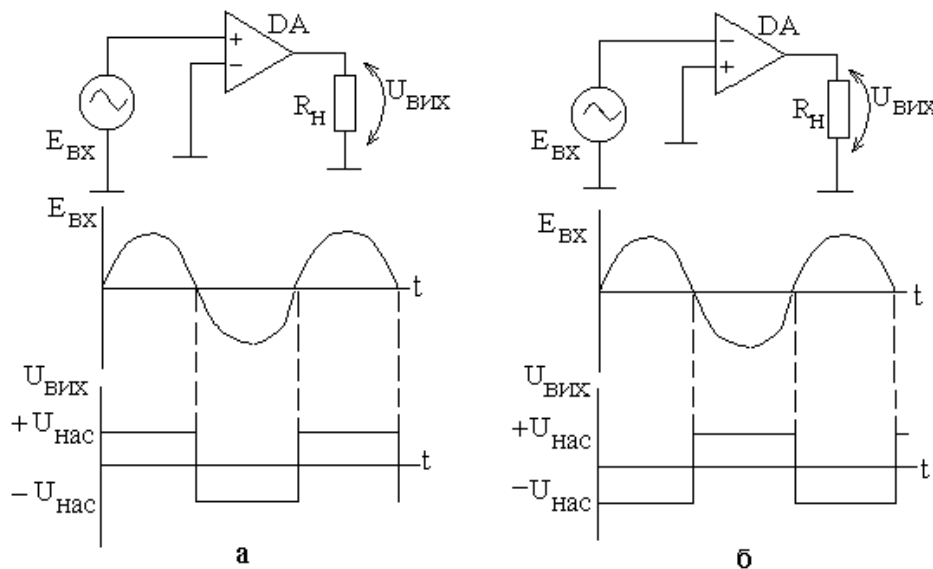
Транзистор володіє тим же недоліком, що і потенціометр, тобто необхідністю підстроювання базового струму при зміні тестуемого елемента. Така операція не скрутна при невеликій кількості елементів, але при перевірці великої кількості елементів віднімає надто багато часу.

Необхідно знайти спосіб автоматичного підстроювання базового струму без необхідності установки його кожного разу уручну. Бажано мати паралельний стабілізатор напруги.

Паралельний стабілізатор напруги є регулятором, охопленим петлею зворотного зв'язку, яка використовує вхідну напругу для управління струмом бази. Незалежно від початкової напруги на вході, паралельний стабілізатор змінює свій шунтуючий опір так, щоб вихідна напруга підтримувалася на необхідному рівні [5].

2.2.1 Дослідження схем компараторів напруги

Схеми простих компараторів (пристроїв, які порівнюють два вхідних сигнали) з використанням ОП і часових діаграм, які пояснюють їх роботу, представлені на рисунку 2.5 [6].



а – подача опорної напруги на інвертуючий вхід;

б – подача опорної напруги на неінвертуючий вхід

Рисунок 2.5 – Прості компаратори і часові діаграми їх роботи

На схемі (рис. 2.5,а) на вхід (-) подана опорна напруга землі (0 В). До входу (+) прикладена напруга, яка порівнюється з опорною. Як впливає з

$$U_{\text{вих}} = K \cdot E_{\text{д}},$$

вихідна напруга $U_{\text{вих}}$ змінює знак при зміні полярності $E_{\text{вх}}$:

$$E_{\text{д}} = E_{\text{вх}} - 0.$$

При позитивній півхвилі вхідної напруги $U_{\text{вих}} = +U_{\text{нас}}$, при негативній $U_{\text{вих}} = -U_{\text{нас}}$. При заземленні (+) входу (рис. 2.5,б) спостерігається протилежна картина:

$$E_{\text{д}} = 0 - E_{\text{вх}}.$$

Обидві схеми (рис. 2.4) дозволяють отримати наступну інформацію про вхідний сигнал: полярність $E_{\text{вх}}$, момент рівності $E_{\text{вх}}$ нулю і напрям зміни $E_{\text{вх}}$ при $E_{\text{вх}} = 0$. Дані компаратори називають також детекторами нульового рівня.

Як опорну напругу можна використовувати спеціальне джерело (рис. 2.6). Вхідна напруга порівнюється з $U_{\text{оп}} > 0$. Для здобуття опорної напруги можуть використовуватися резистивні дільники і параметричні стабілізатори.

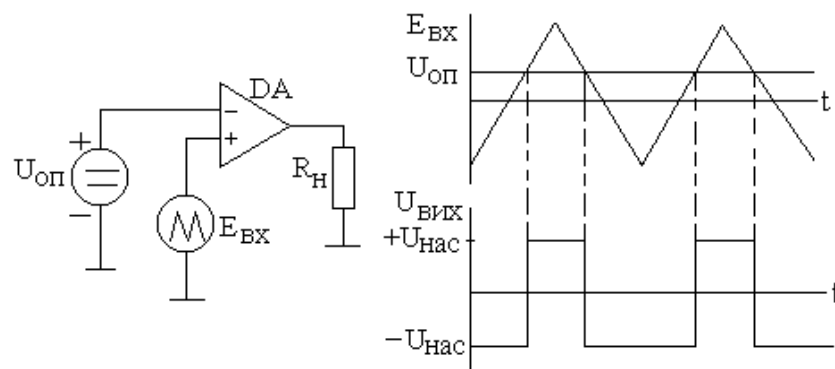
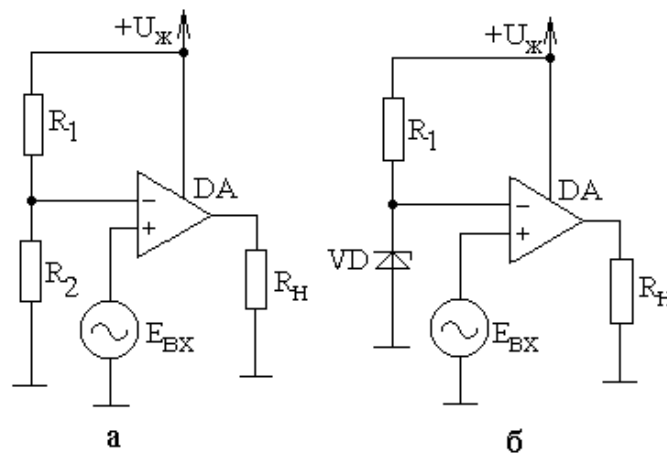


Рисунок 2.6 - Детектор ненульового рівня і часова діаграма його роботи

Для схеми (рис. 2.7,а):

$$U_{\text{оп}} = \frac{+U_{\text{п}} \cdot R_2}{(R_1 + R_2)}.$$

Змінюючи опір одного з резисторів можна регулювати $U_{\text{оп}}$. Використання стабілітрона VD в схемі, (рис. 2.7,б), дозволяє набути стабільнішого значення $U_{\text{оп}}$ в разі зміни напруги джерела живлення [6].



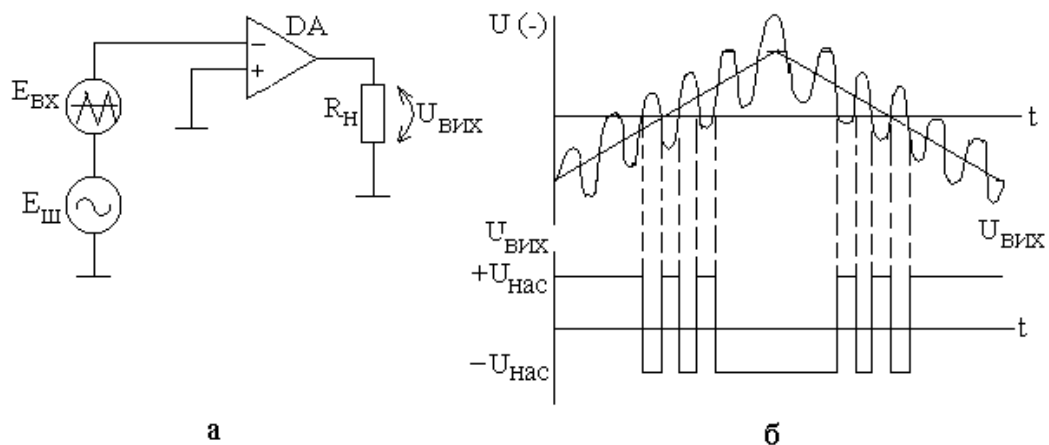
а – схема з дільником напруги;

б – схема із стабілітроном

Рисунок 2.7 - Здобуття опорної напруги від джерела живлення

Як навантаження компаратора можуть використовуватися різні індикатори (стрілочні, світлодіодні і ін.) або електронні схеми. При цьому виникає завдання: узгодження компаратора з конкретним навантаженням [6].

Компаратори (рис. 2.5, 2.6, 2.7) дуже чутливі до зміни вхідного сигналу поблизу опорного рівня. При цьому виникають помилкові спрацьовування, (рис. 2.8). Ситуація погіршується, якщо $E_{вх}$ міняється дуже повільно і в сполучних дротах наводяться паразитні ЕРС [9].



а – підключення джерела вхідного сигналу і генератора шуму до ОП;
б – часова діаграма, що пояснює виникнення помилкових спрацьовувань

Рисунок 2.8 - Поява помилкових спрацьовувань компаратора із-за наведення паразитною ЕРС ($E_{ш}$) в сполучних дротах

2.2.2 Розробка схеми стабілізатора напруги

В результаті аналізу виберемо схему стабілізатора напруги представлену на рисунку 2.9, на операційному підсилювачі в програмному забезпеченні.

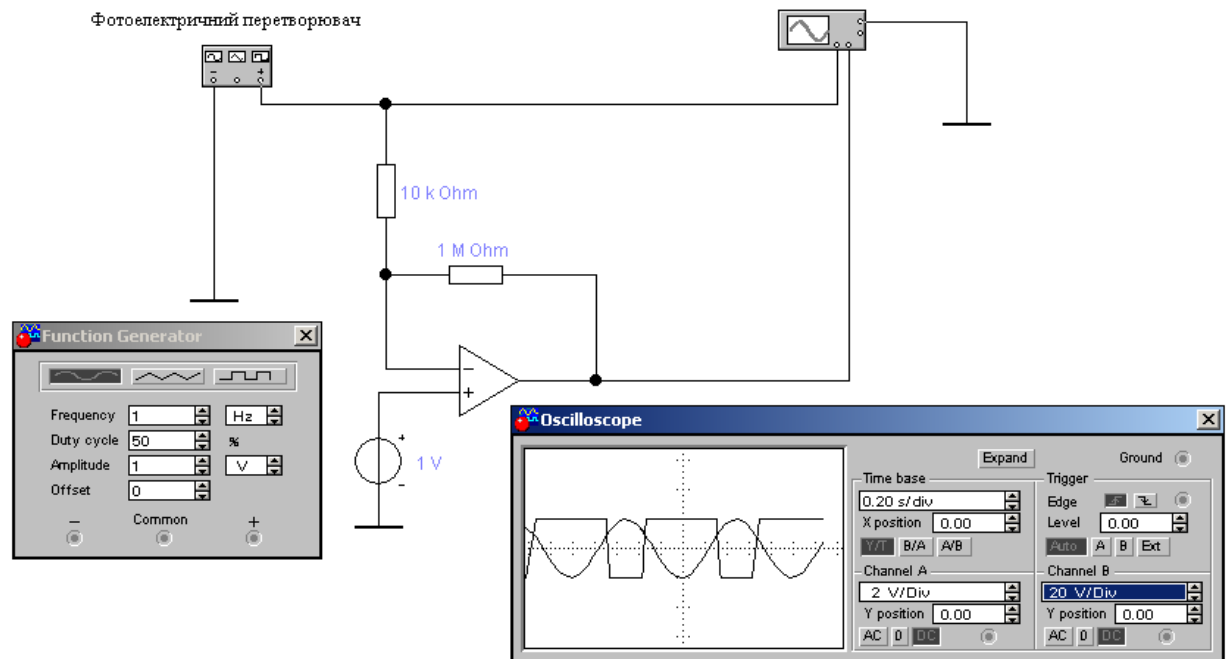


Рисунок 2.9 – Імітація роботи компаратора напруги в програмному забезпеченні Electronics Workbench

Компаратор порівнює вхідну напругу, яка поступає від фотоелектричного перетворювача, з опорною напругою. Вихідний сигнал формується згідно теорії функціонування компараторів з негативним зворотнім зв'язком при подачі вхідного сигналу на інвертуючий вхід. Опорний сигнал формується джерелом напругою 1В.

Зазвичай як джерело опорної напруги використовується схема на стабілітроні. Проте в нашому випадку було б потрібно стабілітрон з гранично низькою напругою стабілізації, бажано нижче за 1В. Стабілітрони на таку напругу або вельми чутливі до зміни температури, або дорого коштують.

З іншого боку, прямо зміщений кремнієвий діод може служити хорошим низьковольтним джерелом опорної напруги (рис. 2.10).

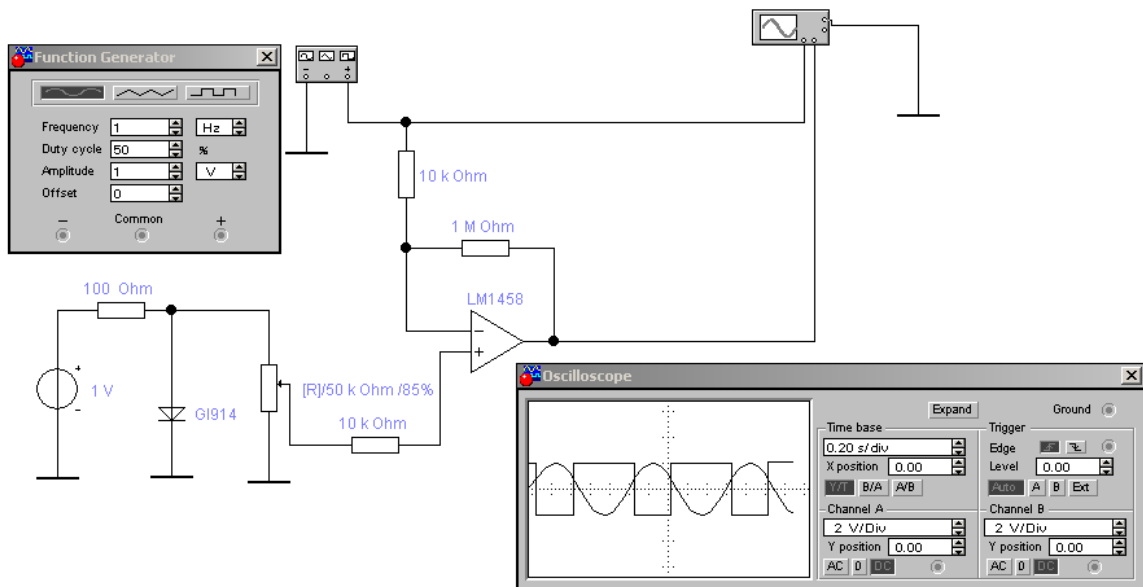


Рисунок 2.10 – Аналіз роботи джерела опорної напруги

Аналізуєма схема компаратора с джерелом опорної напруги на прямо зміщеному діоді володіє задовільною характеристикою і може бути використана в схемі пристрою для параметричного тестування фотоелектричних перетворювачів. Схема електрична компаратора (рис. 2.11) зібрана на операційному підсилювачі LM1458 (рис. 2.12). Діод VD1, прямий зсув на якому заданий резистором R2, визначає діапазон напруги регулятора, обмежуючи напругу на регульовальному резисторі «калібрування». Опорна напруга з движка цього потенціометра подається на неінвертуючий вхід підсилювача .

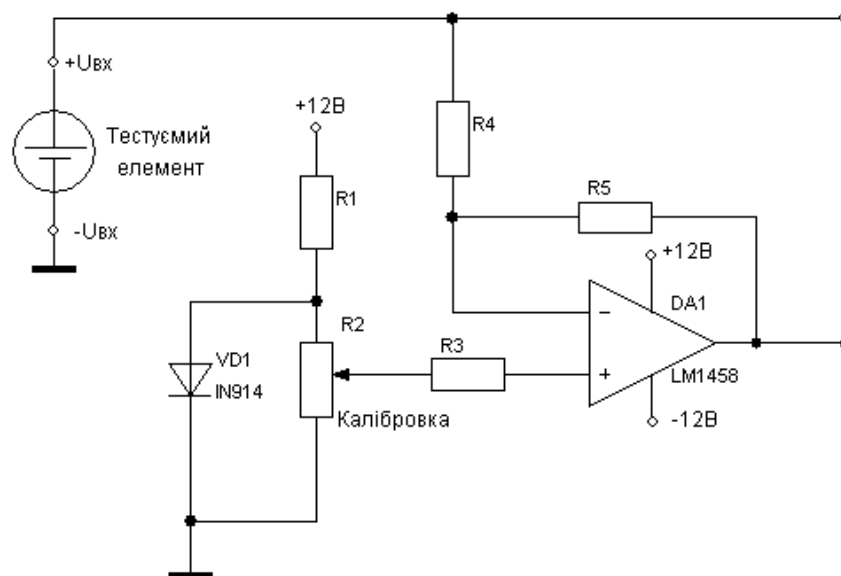
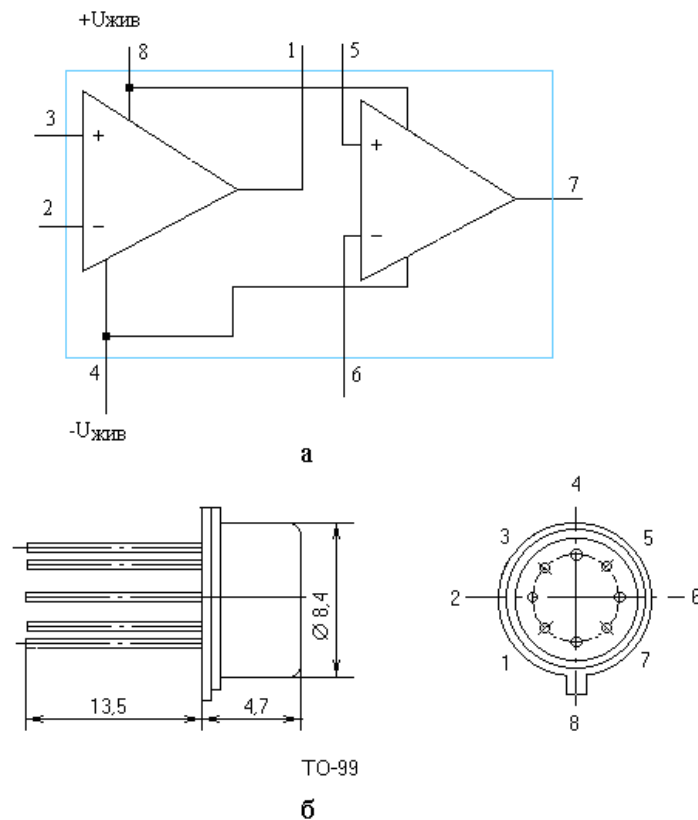


Рисунок 2.11 - Схема електрична компаратора на операційному підсилювачі LM1458



а – схема підключення;

б – габаритні розміри

Рисунок 2.12 – Операційний підсилювач LM1458

На інвертуючий вхід підсилювача через резистор R4 подається напруга фотоелектричного перетворювача. Резистором R5 задається величина коефіцієнта посилення операційного підсилювача (в даному випадку вона складає 100).

2.2.3 Розробка схеми формування динамічного опору навантаження сонячного елемента

Для отримання динамічного опору навантаження сонячного елемента використовуємо транзистор (рис. 2.13) [7].

Для регулювання базового струму транзистора використовується операційний підсилювач DA1.1. Резистор опором R1 служить для обмеження струму бази.

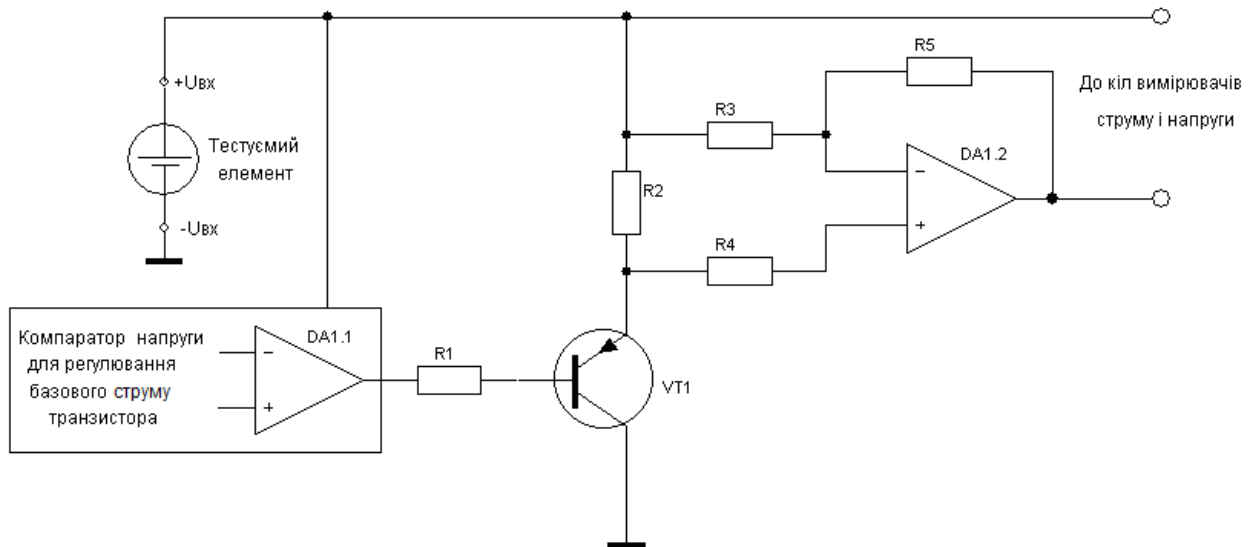


Рисунок 2.13 – Схема формування динамічного опору навантаження сонячного елемента

Завдяки своїй особливості операційний підсилювач намагається зрівняти напругу на своїх інвертуючому і неінвертуючому входах, управляючи струмом, який протікає через шунтуючий регулюючий транзистор VT1. Транзистор знижує вхідну напругу до такої величини, що вона стає рівною напрузі на відведенні резистора R2 (рис. 2.11). Ця напруга може регулюватися в діапазоні $0 \dots 0,7$ В.

Транзистор не може мати нульового опору, який потрібний, аби понизити напругу до нуля. На транзисторі збережеться невелика залишкова напруга величиною близько 150 мВ. Це обмежує діапазон регулювання в межах $0,15 \dots 0,7$ В.

2.2.4 Дослідження схеми диференціального підсилювача

Стандартна схема диференціального підсилювача (ДП) на ОП представлена на рисунку 2.14 [6].

Підсилюваний сигнал подається на диференціальний вхід ОП.

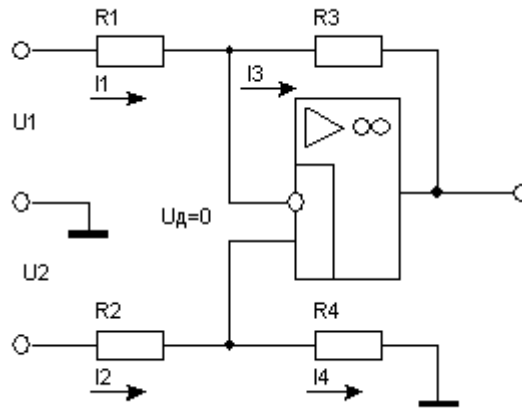


Рисунок 2.14 – Схема диференціального підсилювача

Передбачимо, що на вхід ДП подається лише корисний сигнал, який може бути представлений у вигляді різниці двох джерел напруги $U_1 - U_2 = E_0$, включених за схемою із загальною точкою. Як відомо з теорії роботи ОП, для них справедливо правило віртуального нуля, тобто потенціали інвертуючого і не інвертуючого входів можна вважати однаковими ($U_d = 0$). Виходячи з схеми включення, обидва входа знаходяться під напругою U_0 .

Застосувавши метод суперпозиції, розглянемо дві конфігурації схеми. У схемі на рисунку 2.15 $U_2 = 0$ і схема перетворюється на стандартний інвертуючий підсилювач [7].

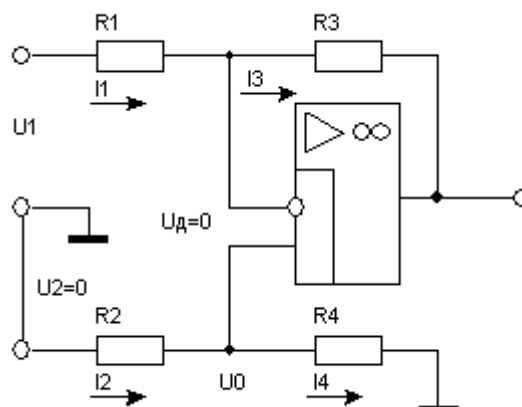


Рисунок 2.15 – Інвертуючий підсилювач перетворений з диференціального підсилювача

Оскільки вхідними струмами ОП можна нехтувати, через резистори R2 і R4 струми не протікають, а значить напруга $U_0 = 0$. В цьому випадку напруга на виході:

$$U_{\text{вих}} = -\frac{R3}{R1}$$

У схемі на рисунку 2.16 $U1 = 0$ і конфігурація схеми відповідає неінвертуючому підсилювачу, вхідною напругою якого є U_0 , яка подається на вхід з дільника R2, R4 [7].

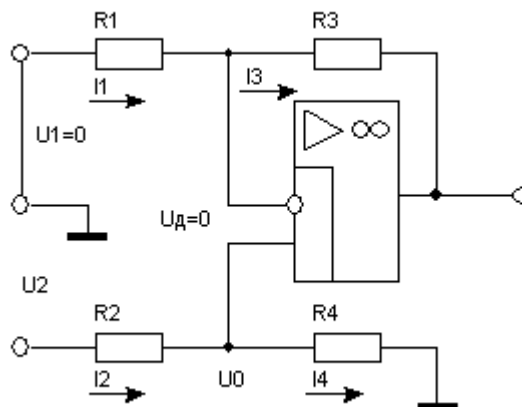


Рисунок 2.16 – Неінвертуючий підсилювач перетворений з диференціального підсилювача

Напруга на виході:

$$U_{\text{вих}} = U_0 \left(1 + \frac{R3}{R1}\right),$$

де

$$U_0 = U2 \frac{R4}{R2 + R4}.$$

Якщо подати напругу на обидва входи одночасно, то відповідно до теорії роботи ОП, напруга на інвертуючому вході завжди підтримуватиметься на рівні U_0 .

Прийнявши вхідний опір ОП рівним нескінченності, можна записати:

$$I1 = I3; \quad I2 = I4.$$

В той же час справедливо співвідношення:

$$I_1 = \frac{U_1 - U_0}{R_1} = I_3 = \frac{U_0 - U_{\text{вих}}}{R_3},$$

тобто:

$$R_3 \cdot U_1 - R_3 \cdot U_0 = R_1 \cdot U_0 - R_1 \cdot U_{\text{вих}}.$$

Перетворимо дане вираження і отримаємо:

$$R_1 \cdot U_{\text{вих}} = R_1 \cdot U_0 + R_3 \cdot U_0 - R_3 \cdot U_1 = U_0 \cdot (R_1 + R_3) - R_3 \cdot U_1$$

$$U_{\text{вих}} = U_0 \cdot \frac{R_1 + R_3}{R_1} - U_1 \cdot \frac{R_3}{R_1} = U_0 \cdot \left(1 + \frac{R_3}{R_1}\right) - U_1 \cdot \frac{R_3}{R_1}$$

Як випливає з отриманого вираження, вихідна напруга є алгебраїчною сумою напруг, отриманих на виходах неінвертуючого і інвертуючого підсилювачів при заземленні відповідних входів ДП. Якщо в отримане вираження підставити значення для U_0 , то отримаємо:

$$U_{\text{вих}} = U_2 \cdot \frac{R_4}{R_2 + R_4} \cdot \frac{R_1 + R_3}{R_1} - U_1 \cdot \frac{R_3}{R_1}.$$

Якщо в даній схемі виконати рівність $R_1 = R_2$, $R_3 = R_4$, то отримаємо:

$$U_{\text{вих}} = U_2 \cdot \frac{R_3}{R_1} - U_1 \cdot \frac{R_3}{R_1} = (U_2 - U_1) \frac{R_3}{R_1}.$$

Можна вважати це співвідношення основним, яке зв'язує вихідну і вхідну напругу диференціального підсилювача, тобто:

$$U_{\text{вих}} = K \cdot E_0,$$

де $E_0 = (U_2 - U_1)$ – вхідна диференціальна напруга ДП; $K = R_1 / R_2$ – коефіцієнт посилення ДП.

На вхід ДП подається диференціальна напруга, тобто це може бути сигнал від ізольованого джерела, не пов'язаного з «землею». На виході ДП виходить уніполярний сигнал, що знімається відносно «землі». Причому полярність вихідної напруги визначається більшим з U_1 і U_2 , тобто, фактично, полярністю вхідної напруги.

Вибір опорів в схемі ДП виробляється виходячи з тих же міркувань, що і для інвертуючого і неінвертуючого підсилювачів. З урахуванням того, що

інвертуючий і неінвертуючий входи ОП потенційно об'єднані, вхідний опір ДП може вважатися рівним $R_{\text{вх}} = R1 + R2$.

2.2.5 Вимір параметрів фотоелектричних перетворювачів за допомогою стрілочних приладів

Загальна схема тестера для перевірки фотоелектричних перетворювачів за допомогою електровимірвальних багатofункціональних приладів представлена на рисунку 2.17.

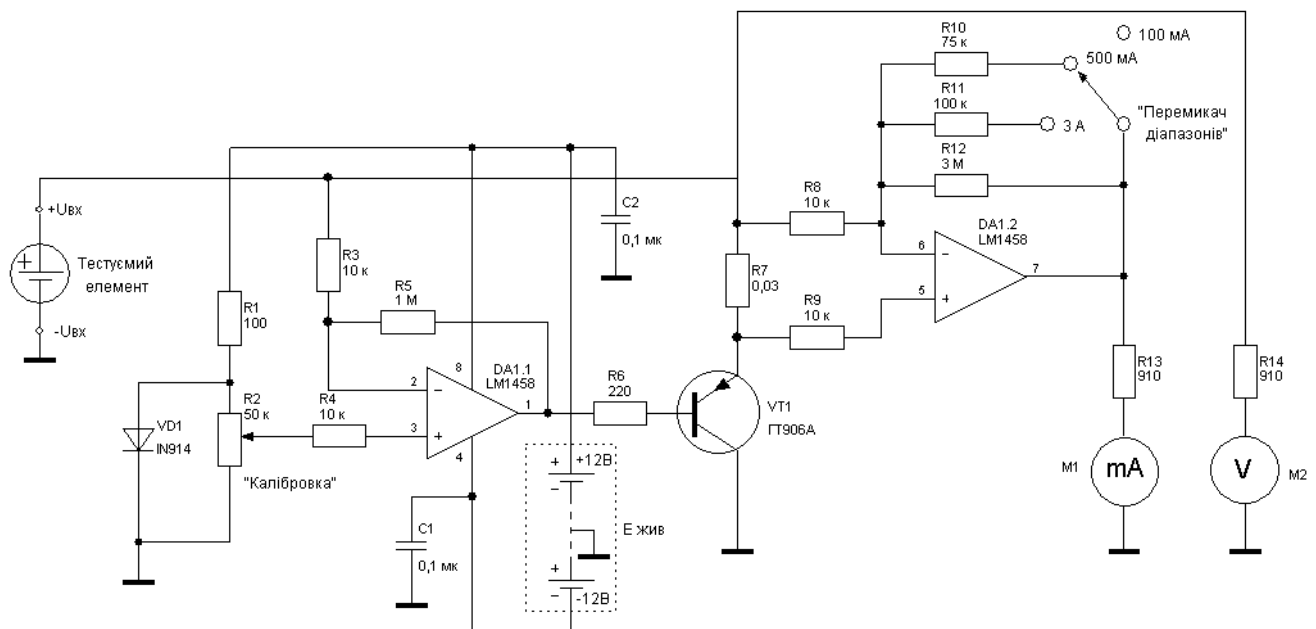


Рисунок 2.17 – Схема електрична принципова пристрою для параметричного тестування фотоелектричних перетворювачів

Вимір напруги на фотоелектричному перетворювачі здійснюється вольтметром M2, а струму, який протікає через шунтуючий транзистор, амперметром M1. Потужність (у ватах) визначається перемноженням свідчень обох приладів [8].

Вольтметр підключається безпосередньо до елемента. Він представляє собою щитовий прилад, розрахований на струм 1 мА, з послідовним обме-

жуючим резистором R14, який дозволяє відобразити 1 В при відхиленні на повну шкалу.

З іншого боку, для виміру струму разом з амперметром M1 використовується операційний підсилювач. Схема побудована так, що струм емітера транзистора VT1 повинен протікати через резистор R7. Цей струм відповідає струму, який генерується сонячним елементом.

При протіканні струму на резисторі R7 створюється невелике падіння напруги. Воно посилюється диференціальним підсилювачем, напруга на інвертуючий і неінвертуючий входи якого подається через резистори R8 і R9 відповідно.

Величина коефіцієнта посилення контролюється резисторами R10 – R12. Резистор R12 постійно підключений між виходом і інвертуючим входом. Його опір складає 3 МОм, а відповідне значення коефіцієнта посилення – 300. Коли через резистор R7 протікає струм, рівний 100 мА, вихідна напруга підсилювача складає 1 В.

Вихідна напруга диференціального підсилювача вимірюється вольтметром, ідентичним вольтметру M2. Цей прилад відградуваний в одиницях струму. У нашому випадку напрузі 1 В відповідає струм 100 мА.

При підключенні паралельно резистору R12 резистора R10 коефіцієнт посилення зменшується до 60. В цьому випадку напрузі 1 В на виході підсилювача відповідає струм 500 мА, що протікає через R7. Таким чином, розширений діапазон вимірюваних струмів, що охоплює значення 100 – 500 мА. Аналогічно при паралельному підключенні резистора R11 до резистора R12 можна вимірювати струми в діапазоні 0 – 3 А.

2.3 Дослідження можливості реалізації схеми пристрою для параметричного тестування у вигляді печатної плати

При конструюванні функціональних мікромодулів на печатних платах використовують наступні методи. Моносхемний застосовують для несклад-

ної РЕА. В цьому випадку вся електрична схема розташовується на одній печатній платі (ПП). Моносхемний метод має обмежене застосування, оскільки дуже складні ПП незручні при налаштуванні і ремонті РЕА.

Схемно-вузловий метод застосовують при виробництві масовою і серійною РЕА. При цьому методі частина електричної схеми, що має чіткі вхідні і вихідні кола (каскади УВЧ, УПЧ, блоки розгортки і т. п.), розташовується на окремій платі. Ремонтпридатність таких виробів більша. Недолік — складність системи сполучних дротів, що зв'язують окремі плати [8].

Функціонально-вузловий метод застосовують в РЕА з використанням мікроелектронних елементів. При цьому ПП містить провідники комутації функціональних модулів в єдину схему. На одній платі можна зібрати дуже складну схему. Недолік цього методу — різке збільшення складності ПП. У ряді випадків всі провідники не можуть бути розташовані на одній і навіть обох сторонах плати. При цьому використовують багатошарові печатні плати БПП, об'єднуючі в єдину конструкцію декілька шарів печатних провідників, розділених шарами діелектрика [8].

Відповідно до стандарту розрізняють три методи виконання печатних плат: ручний, напівавтоматизований і автоматизований. Переважними є напівавтоматизований і автоматизований методи. При ручному методі розміщення навісних елементів (компоновка) і розробка провідного рисунка (трасування) здійснюється уручну. При напівавтоматизованому методі конструювання можливі два варіанти:

- 1) розміщення навісних елементів на печатній платі за допомогою ЕОМ, а розробка провідного рисунка ПП ручним методом;
- 2) розміщення навісних елементів на ПП ручним методом, а розробка провідного рисунка за допомогою ЕОМ.

При автоматизованому методі конструювання розміщення навісних елементів і розробка провідного рисунка ПП виконуються за допомогою ЕОМ. При цьому можливі наступні операції: кодування вихідних даних; контроль закодованої інформації і виправлення помилок; розміщення навісних

елементів на платі; трасування печатних провідників з видачею списку нерозведених з'єднань і ескізу провідного рисунка плати; ручне трасування з'єднань печатних провідників; контроль спроектованого провідного рисунка плати відповідно до принципової електричної схеми; виведення інформації для управління автоматичними пристроями, призначеними для розробки конструкторської документації і управління технологічними і тестовими автоматами; розробка конструкторської документації з використанням засобів механізації і автоматизації. Окремі етапи автоматизованого методу конструювання можна уточнювати з врахуванням особливостей використовуваних систем автоматизованого проектування.

Методи виготовлення одно- і двосторонніх печатних плат, гнучких печатних плат і гнучких печатних кабелів класифікують за принципом здобуття провідного рисунка, по методу здобуття провідного рисунка і способу формування зображення рисунка ПП. Для багатошарових печатних плат (БПП) заготівки отримують методами, аналогічними для одно- і двосторонніх печатних плат, але в них додатково слід забезпечити міжшарові з'єднання, які в основному і характеризують надійність функціонування.

2.4 Розробка печатної плати приладу для тестування фотоелектричних перетворювачів

Електронна частина схеми виконана із застосуванням печатного монтажу. Розводка струмопровідних доріжок печатної плати і монтажу елементної бази приведена на рисунках 2.18 і 2.19.

Печатна плата виконана з одностороннього фольгованого текстоліту розміром 56 × 36 мм і змодельована в програмному застосуванні Layout 40.

Деталі схеми розміщені і розпаяні відповідно до полярності включення напівпровідників.

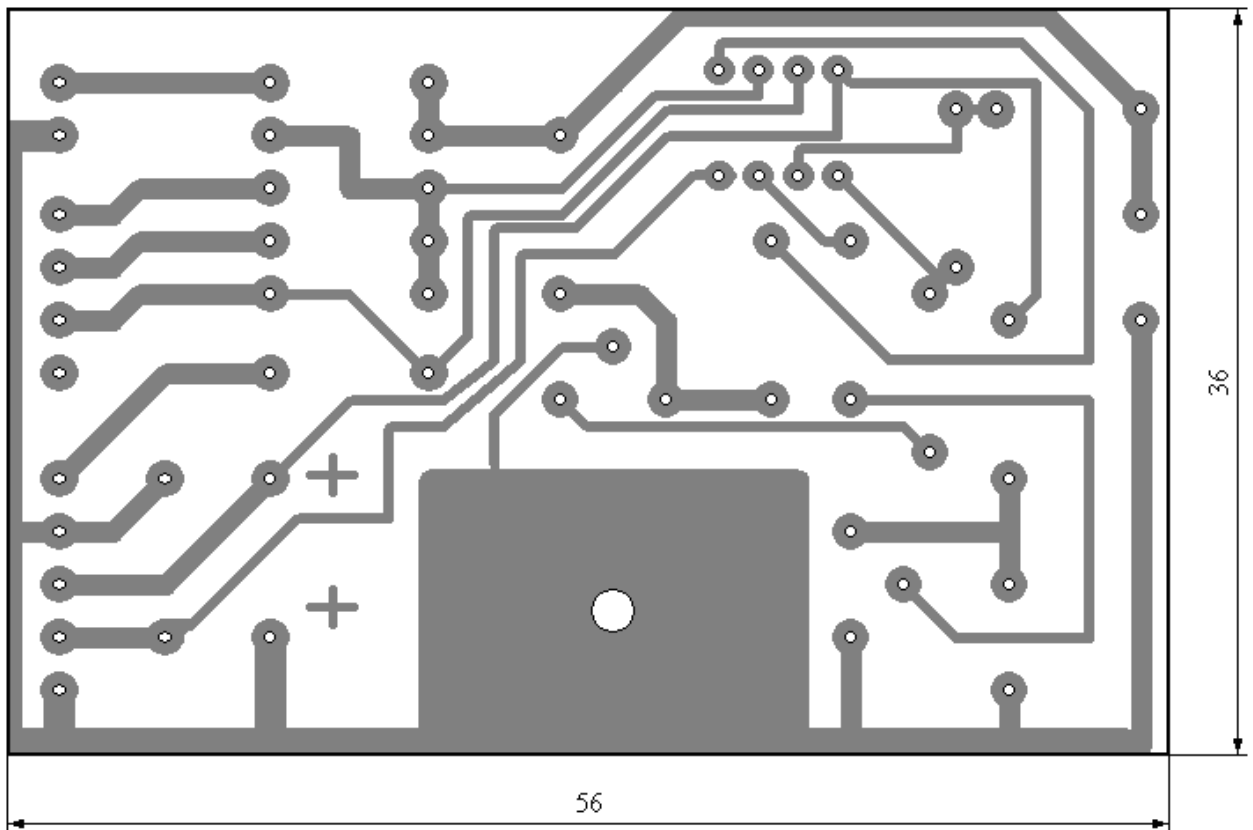


Рисунок 2.18 - Розводка струмопровідних доріжок печатної плати

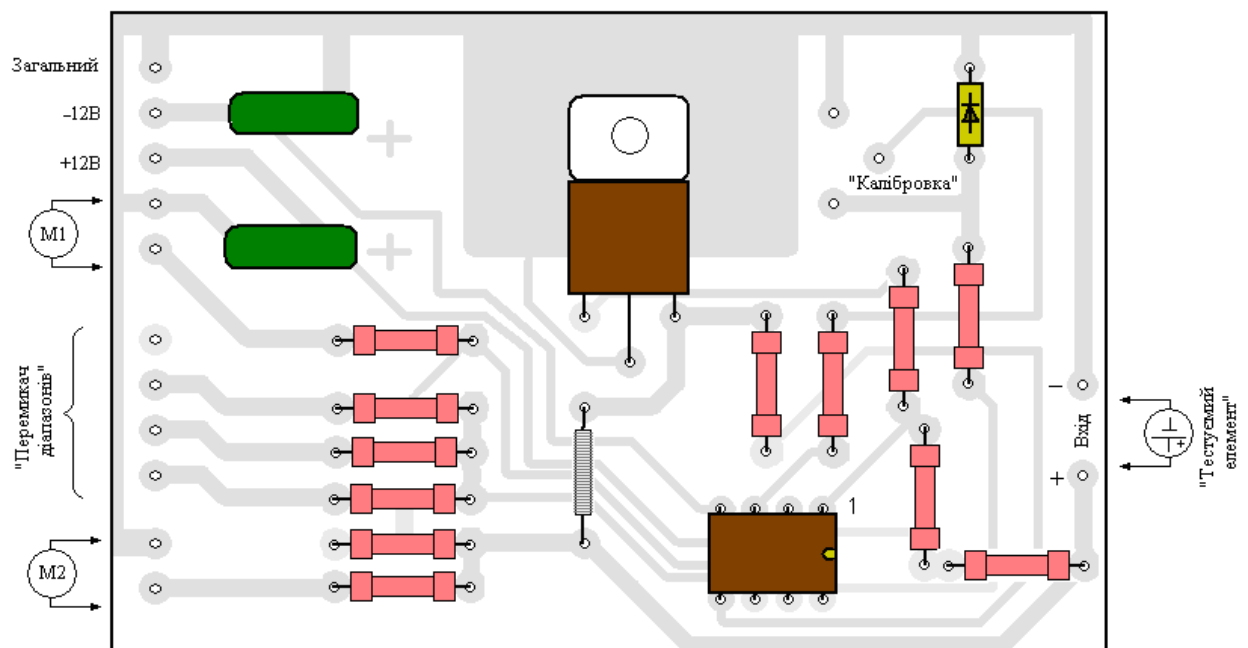


Рисунок 2.19 - Монтаж елементної бази на печатній платі

Шунтуючий транзистор VT1 розташований на фольгованій стороні плати. Транзистор пригвинчений до великого мідного майданчика, що вико-

нує роль тепловідводу. При цьому ізолювати корпус транзистора не потрібно.

Ідеально підібрані резистори R8 і R9 повинні утворити погоджену пару. Проте точні резистори дорого коштують і їх важко придбати. Тому, невелика група резисторів номіналом 10 кОм була проміряна за допомогою цифрового мультиметра. Після чого обрані два відповідних один одному резистора R8 і R9.

Резистор R7 виготовлений з відрізання дроту завдовжки 10 см і діаметром 0,26 мм, яка зазвичай використовується для обмоток. Дріт намотаний на каркас, аби отримана котушка точно розмістилася на платі.

Від точності підбору величини резистора R7 залежить точність виміру струму. З метою підвищення точності відрізок дроту вибирався ледве довше 10 см і коротшав. При цьому контролювалася величина струму по амперметру M1.

Два вимірювальні прилади, регулювальник «калібрування» і перемикач діапазонів, розміщуються разом з печатною платою в будь-якому відповідному корпусі. Сполучаючи ці компоненти, необхідно контролювати полярність.

Для подачі живлення приладу необхідні два 12-вольтних джерела з виводами позитивної і негативної полярності і загальним заземленим дротом. Тип джерел живлення і величина напруги не критичні. Живлення тестера можна здійснити за допомогою двох 9-вольтових батарей.

2.5 Живлення схеми приладу для тестування фотоелектричних перетворювачів

Схема одного з можливих джерел живлення показана на рисунку 2.20.

Джерело складається з випрямляча і двох однакових електронних регуляторів напруги із захистом від перевантаження і короткого замикання в навантаженні [6].

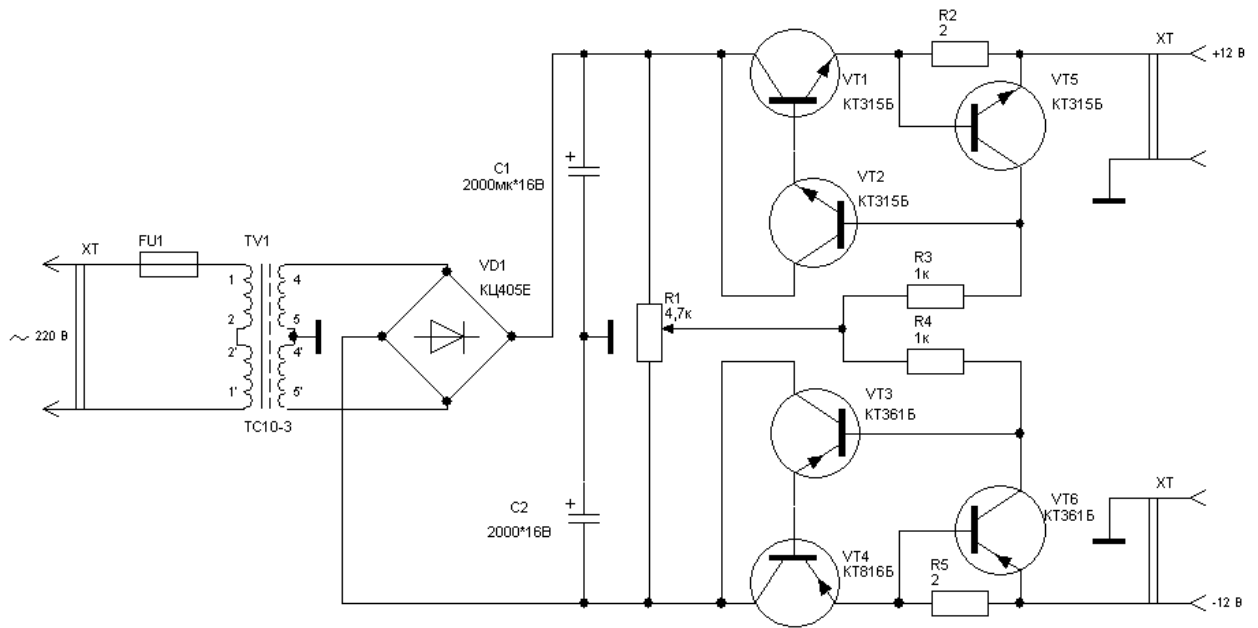


Рисунок 2.20 – Джерело живлення приладу для тестування фотоелектричних перетворювачів

Випрямляч зібраний на діодному мосту VD1 за двонапівперіодною схемою з середньою точкою. Діодний блок підключений до вторинної обмотки трансформатора живлення TV1, що складається з двох послідовно сполучених однакових обмоток, які створюють загальну обмотку з середнім виводом, - це і є середня точка випрямляча. Випрямлена напруга фільтрується конденсаторами C1, C2, сполученими послідовно і підключеними до середньої точки. У результаті на виході випрямляча виходить різнополярна постійна напруга, що становить 12 В відносно середньої точки. Інакше кажучи, на плюсовому виведенні конденсатора C1 буде напруга плюс 12 В відносно загального дроту, а на мінусовому виведенні конденсатора C2 мінус 12 В. До цих джерел підключено електронні регулятори, керовані напругою, що знімається з движка змінного резистора R1. Кожен регулятор складений з двох транзисторів (VT1, VT2 і VT3, VT4), які створюють складений емітерний повторювач. У середньому положенні движка резистора напруга на нім буде близька до нуля відносно загального дроту. Тому транзистори регуляторів закриті, напруги на гніздах роз'єму XT1 немає. Коли движок змінного резистора переміщають вниз за схемою, транзистори VT1, VT2 залишаються за-

критими, а VT3, VT4 відкриваються. На виході джерела живлення (роз'єм XT2) з'являється мінусова напруга. Причому, чим ближче до нижнього виведення змінного резистора знаходиться движок, тим більше вихідна напруга. Якщо переміщати движок змінного резистора від середнього положення до верхнього, за схемою, виводу, станеться зворотна картина відкриватися будуть транзистори VT1, VT2 і на виході джерела XT1 з'явиться плюсова напруга. Вузли захисту від перевантаження або короткого замикання виконані на транзисторах VT5 і VT6. Поки струм протікає, наприклад, через резистор R2, струм знаходиться в певних межах (у нашому випадку - до 350 мА), транзистор VT5 закритий. Як тільки струм навантаження перевищить задане значення, падіння напруги на резисторі R2 зростає і транзистор VT5 відкривається. Емітерний перехід складеного транзистора (ділянка між базою транзистора VT2 і емітером транзистора VT1) буде зашунтований, і транзистор майже закриється. Вихідний струм джерела різко обмежиться. Як тільки перевантаження або коротке замикання зникне, нормальна робота пристрою відновиться. Параметри блока живлення задовольняють встановленим вимогам, але схема потребує удосконалення для отримання стабільної напруги на виводах, тому була розгляну ще одна схема представлена на рисунку 2.21.

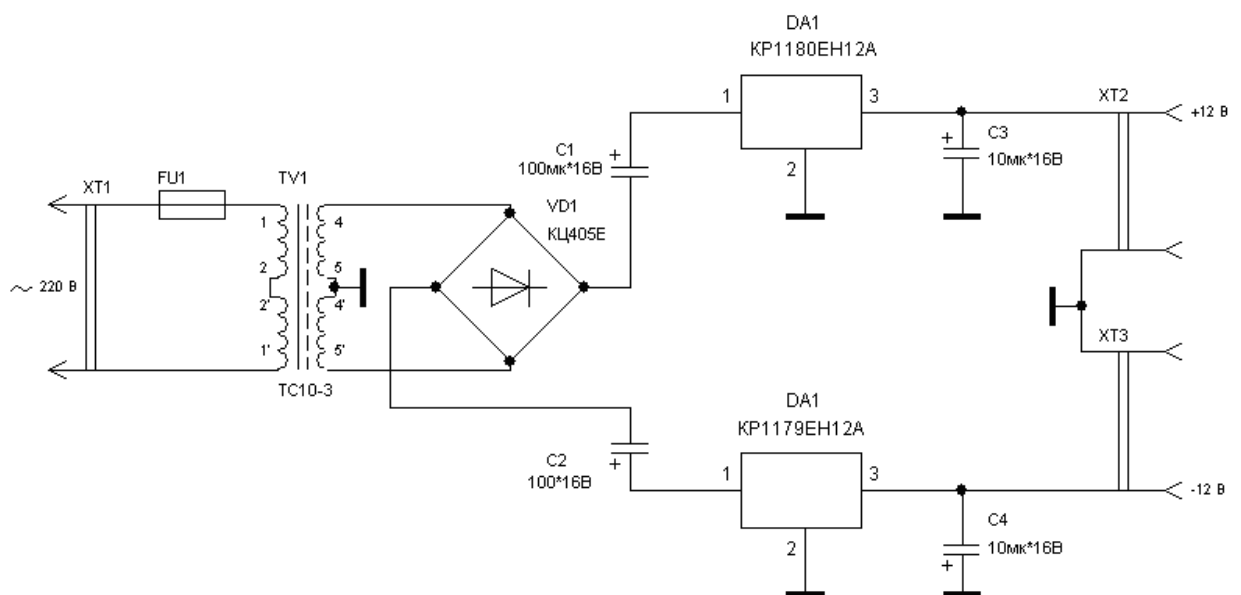


Рисунок 2.21 – Блок живлення на стабілітронах KP1180EH12A, та KP1179EH12A

Схема заснована на використанні стабілітронів напруги КР1180ЕН12А, та КР1179ЕН12А. Стабілізатор позитивної напруги КР1180ЕН12А, має аналог 7812, а КР1179ЕН12А – 7912.

Схема стабілізації і отримання заданої напруги більш досконала, ніж попередня.

2.6 Функціонування пристрою для параметричного тестування фотоелектричних перетворювачів

Плоска алюмінієва пластина служить хорошим електродом, який забезпечує з'єднання з тильним контактом сонячного елемента (рис. 2.22).

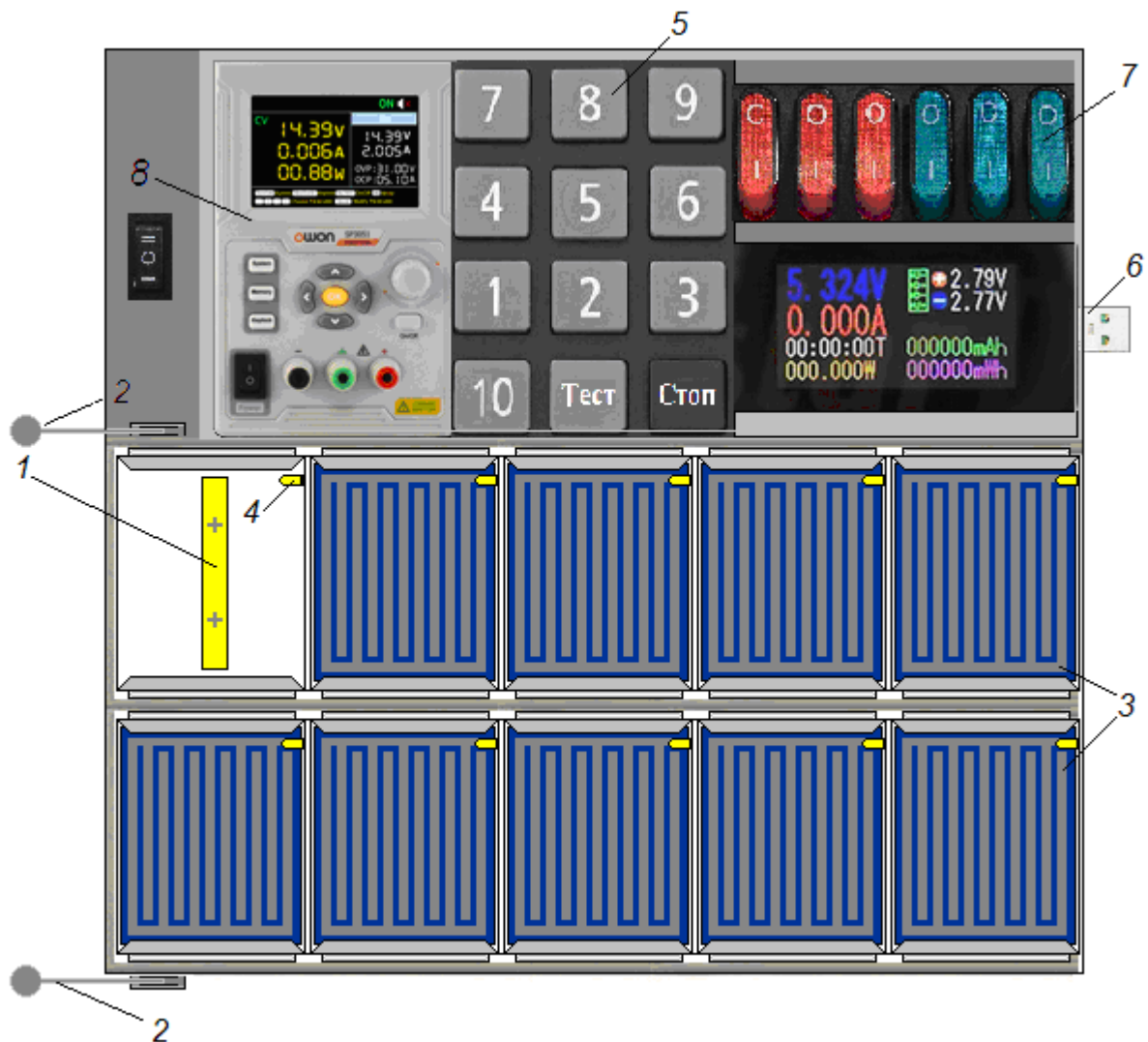


Рисунок 2.22 – Пристрій для параметричного тестування десяти сонячних елементів

1 – алюмінієва пластина з контактами, яка служить загальним позитивним електродом; 2 – важіль затиску; 3 – сонячні елементи; 4 – негативний вимірювальний електрод, що являється контактом до лицьової сторони сонячного елемента; 5 – перемикачі комутатора підключення сонячних елементів; 6 – USB – роз’єм; 7 – клавіші підключення зовнішніх пристроїв; 8 – блок живлення.

Для автоматизації тестування спеціальними клавішами підключаються зовнішні пристрої.

Необхідно, в підключеному контактному пристрої до тестера, освітити сонячні елементи і зняти свідчення. Тильний контакт елемента є позитивним електродом і під’єднується до позитивного входу тестера. Сітка для зняття струму на лицьовій поверхні елемента є негативним електродом і приєднується до заземленого виведення тестера.

Необхідно забезпечити надійний контакт з електродами елемента. Оскільки ми маємо справу з досить малою напругою, навіть невеликий опір контактів може привести до значної різниці в свідченнях. Для забезпечення надійного з’єднання необхідно щоб контакти досить добре прижималися до елемента. Проте слід уникати надлишкового тиску, оскільки елементи вельми тонкі, крихкі і легко ламаються.

Регулятором «калібрування» встановлюють робочу напругу, при якій виробляється вимір потужності. Воно звичайно встановлюється один раз на рівні 450 мВ. Проте при необхідності величину робочої напруги можна змінити.

За допомогою розробленого тестеру можливо відібрати сонячні елементи близькі по параметрам, що забезпечить більш високий ККД сонячної батареї.

Зручний контактний пристрій дозволяє проводити одночасний контроль декількох сонячних елементів, що скорочує час на діагностику.

3 Охорона праці та техногенна безпека

3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Приміщення, в якому знаходиться робоче місце інженера має наступні характеристики: має такі характеристики: довжина приміщення 6,5 м; ширина приміщення 3,7 м; висота приміщення 3,5 м; число вікон 2; число робочих місць 3; освітлення природне (через бічні вікна) і загальне штучне. Загальна площа дорівнює 24,1 м². Тобто на кожне робоче місце припадає по 8 м², що відповідає нормам (не менше 6 м²).

На рисунку 3.1 наведено план розташування робочих місць спеціалістів. На робочому місці інженер підлягає впливу наступних несприятливих факторів [10]:

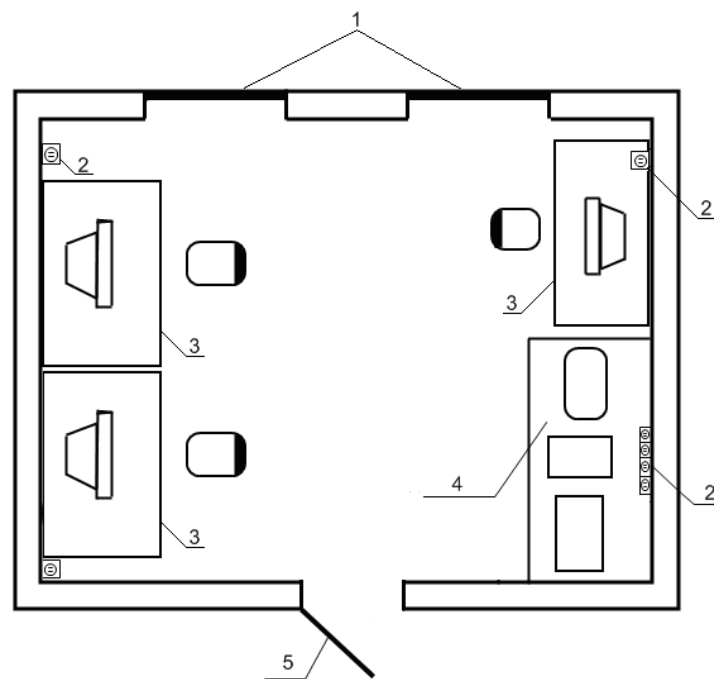
- недостатнє освітлення;
- шум від працюючих машин (комп'ютерів, робочих стендів) На даному робочому місці шум непостійний. Джерелом шуму є робочі стенди. Шум діє на робітника протягом 5 годин;
- електромагнітне випромінювання. На робочому місці допустимі рівні електромагнітних випромінювань за електричної та магнітної складових в діапазоні 5...2000 Гц;
- виділення надлишків теплоти. Тепловий поріг починається з $J = 10 \text{ мВт/см}^2$;
- підвищена запиленість.

Розвитку стомлюваності на робочому місці сприяють такі чинники [11]:

- неправильна ергономічна організація робочого місця, нераціональні зони розміщення обладнання по висоті від підлоги, по фронту від осі симетрії. Робоча поза сидячи викликає мінімальне стомлення, тому велике значен-

ня надається характеристикам робочого крісла. Велике значення також надається правильній робочій позі користувача. Істотне значення для продуктивної і якісної роботи на комп'ютері мають розміри знаків, контраст і співвідношення яскравості символів і фону екрану. Під час користування комп'ютером медики радять встановлювати монітор на відстані 50...60 см від очей.

- характер протікання праці. Трудовий процес організований таким чином, що інженер змушений з перших хвилин робочого дня вирішувати найбільш складні і трудомісткі задачі, у той час як у перші хвилини роботи функціональна рухливість нервових клітин мозку низька. Тому дотримання правильного режиму праці і відпочинку при роботі грає дуже важливу роль.



- 1 – вікна;
- 2 – розетка;
- 3 – робоче місце;
- 4 – місце для стендів;
- 5 – двері

Рисунок 3.1 – План розташування робочих місць

Важливе значення має чергування праці та відпочинку, зміна одних форм роботи іншими.

Джерела небезпечних та шкідливих чинників на інженера електронщика [10]

- рівень шуму в приміщенні протягом робочого дня непостійний (табл. 3.1). При цьому протягом однієї години діє шум з рівнем звуку 83 дБА, протягом наступних двох годинників $\frac{3}{4}$ з рівнем звуку 86 дБА, останню годину $\frac{3}{4}$ 81 дБА при тому що норматив повинен бути не більше 70 дБА. Основними джерелами шуму є: комп'ютери, робочі стенди. Отже, робоче місце по показнику рівня шуму відноситься до класу умов праці 3.2 – шкідливий.

- основним джерелом електромагнітного випромінювання приміщення є персональні комп'ютери з системними блоками і моніторами.

Таблиця 3.1 Оцінка чинників виробничого і трудового процесу робочого місця інженера

№	Чинники виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі і небезпечні умови			Тривалість дії чинників за зміну %
				I ступінь	II ступінь	III ступінь	
1	Пил, переважно фіброгенної дії. мг/м ³	4	3.9				50
2	Шум, дБА	70	83		13		75
3	Мікроклімат в приміщенні: - температура повітря С°	22-24	18-24				100
	- швидкість руху повітря, м/с	0,1-0,2	0,15-0,2				100
	- відносна вологість повітря %	40-60	45-60				100

3.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів

До засобів захисту відносяться: вентиляція, штучне освітлення, звукоізоляція. Існують нормативи, що визначають комфортні умови і гранично допустимі норми запиленості, температури повітря, шуму, освітленості. У системі заходів, що забезпечують сприятливі умови праці, велике місце відводиться естетичним чинникам: оформлення виробничого інтер'єру, обладнання, застосування музики та інші, які мають певний вплив на організм людини. Важливу роль відіграє забарвлення приміщень, яка повинна бути світлою. З метою запобігання або зменшення впливу на працюючих шкідливих і небезпечних виробничих чинників застосовують засоби колективного та індивідуального захисту.

Засоби колективного захисту призначені для [11].

1) нормалізації повітряного середовища виробничих приміщень і робочих місць (вентиляція, кондиціонування, опалення, автоматичний контроль і сигналізація);

2) нормалізації освітлення виробничих приміщень і робочих місць (джерела світла, освітлювальні прилади, світлозахисне обладнання, світлофільтри). При недоліку природного освітлення необхідно буде користуватися штучним. Як джерела світла при штучному освітленні рекомендується застосовувати переважно люмінесцентні лампи типу ЛБ;

захисту від іонізуючих, інфрачервоних, ультрафіолетових, електромагнітних, лазерних, магнітних та електричних полів (огородження, герметизація, знаки безпеки, автоматичний контроль і сигналізація, дистанційне керування тощо);

3) захисту від шуму, вібрації (огородження, звукоізоляція, віброізоляція). Для зменшення рівня шуму, який перевищує норму в лабораторному приміщенні можна застосовувати оздоблювальні матеріали з шумопоглинаючим ефектом;

- 4) захисту від ураження електричним струмом (різні види огороження, захисне заземлення, автоматичне відключення, дистанційне керування).
- 5) забезпечення недоступності струмоведучих частин досягається ізолюванням струмовідних кабелів і проводів;
- 6) захисту від дії механічних факторів (огороження, автоматичний контроль і сигналізація, знаки безпеки);
- 7) захисту від хімічних факторів (огороження, герметизація, вентиляція та очищення повітря, дистанційне керування, знаки безпеки);
- 8) захисту від високих і низьких температур навколишнього середовища (огороження, автоматичний контроль і сигналізація, термоізоляція, дистанційне керування).

3.3 Виробнича санітарія

Оскільки у приміщенні присутнє лабораторне устаткування, комп'ютери, шафи та робоча документація, то спостерігається деяка запиленість. За нормою запиленість в приміщенні не повинна перевищувати 4 мг/м^3 , а в даному приміщенні вона складає $3,9 \text{ мг/м}^3$.

Для запобігання дещо підвищеної запиленості рекомендується встановлювати витяжні пристрої, а також проводити вологе прибирання лабораторного приміщення, а перед початком і після кожної академічної години навчальних занять, до і після кожного заняття провітрювати приміщення, що забезпечить поліпшення якісного складу повітря.

Раціональне колірне оформлення приміщення направлено на поліпшення санітарно-гігієнічних умов праці, підвищення її продуктивності та безпеки. Забарвлення приміщень впливає на нервову систему людини, його настрої і в кінцевому рахунку на продуктивність праці. Основні виробничі приміщення доцільно офарблювати відповідно до кольору технічних засобів. Освітлення приміщення і устаткування має бути м'яким, без блиску.

Зниження шуму, створюваного на робочих місцях лабораторного приміщення внутрішніми джерелами, а також шуму проникаючого зовні, є дуже важливим завданням. Зниження шуму в джерелі випромінювання можна забезпечити застосуванням пружних прокладок між підставою приладу і опорною поверхнею. Як прокладки використовуються гума, повсть, пробка, різної конструкції амортизатори. Під настільні шумливі апарати можна підкладати м'які килимки з синтетичних матеріалів, а під ніжки столів, на яких вони встановлені, - прокладки з м'якої гуми, повсті, завтовшки 6...8 мм. Кріплення прокладок можливе шляхом приклеювання їх до опорних частин [10].

Таким чином, для зниження шуму, створюваного на робочих місцях внутрішніми джерелами, а також шуму, що проникає з зовні необхідно: послабити шум самих джерел (застосування екранів, звукоізолюючих кожухів);

- знизити ефект сумарної дії відбитих звукових хвиль (звукопоглинаючі поверхні конструкцій);
- застосовувати раціональне розташування обладнання;
- використовувати архітектурно-планувальні і технологічні рішення ізоляцій джерел шуму.

Температура в приміщеннях є одним з провідних чинників, що визначають метеорологічні умови виробничого середовища. Високі температури надають негативну дію на здоров'я людини. Робота в умовах високої температури супроводжується інтенсивним потовиділенням, що приводить до обезводнення організму, втрати мінеральних солей і водорозчинних вітамінів, викликає серйозні і стійкі зміни в діяльності серцево-судинної системи, збільшує частоту дихання [10].

При низькій температурі висока відносна вологість збільшує тепловтрати організму в результаті інтенсивного поглинання водяними парами енергії випромінювання людини. Це веде до переохолодження організму – гіпотермії. Низька вологість викликає пересихання слизистих оболонок дихальних шляхів.

В приміщенні нормована температура повітря повинна складати в теплий період 22...24°C (в холодний період 21...23°C), відносна вологість 40...60 %, швидкість руху повітря 0,1...0,2 м/с.

Фактичні параметри: температура в теплий період – 18...24 °С, відносна вологість 45...60%, швидкість руху повітря 0,15...0,2 м/с.

У приміщеннях, обладнаних ПЕВМ, повинна проводитися щоденне, вологе прибирання і систематичне провітрювання після кожної години роботи на ПЕВМ. Рівні позитивних і негативних аероіонів в повітрі приміщень, де розташовані ПЕВМ, повинні відповідати санітарно-епідеміологічним нормативам, що діють.

Недостатнє освітлення робочого місця утрудняє тривалу роботу, викликає підвищене стомлення і сприяє розвитку короткозорості. Дуже низькі рівні освітленості викликають апатію, сонливість, а в деяких випадках сприяють розвитку відчуття тривоги. Таким чином буде доцільно зробити розрахунок фактичної освітленості приміщення [11].

3.4 Електробезпека

Електричні установки, до яких відноситься практично все обладнання ЕОМ, представляють для людини велику потенційну небезпеку, тому що в процесі експлуатації або проведенні профілактичних робіт людина може торкнутися частин, що знаходяться під напругою. Специфічна небезпека електроустановок: струмоведучі провідники, корпуси стійок ЕОМ і іншого устаткування, що опинилося під напругою в результаті пошкодження (пробою) ізоляції, не подають будь-яких сигналів, які попереджають людину про небезпеку. Реакція людини на електричний струм виникає лише при протіканні останнього через тіло людини. Виключно важливе значення для запобігання електротравматизма має правильна організація обслуговування діючих електроустановок, проведення ремонтних, монтажних і профілактичних робіт.

При цьому під правильною організацією розуміється строге виконання ряду організаційних і технічних заходів і засобів, встановлених діючими "Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів і правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів" (ПТЕ і ПТБ споживачів) і "Правила будови електроустановок" (ПБЕ). Залежно від категорії приміщення необхідно вжити певних заходів, що забезпечують достатню електробезпеку при експлуатації і ремонті електроустаткування. Так, в приміщеннях з підвищеною небезпекою електроінструменти, переносні світильники повинні бути виконані з подвійною ізоляцією або напруга живлення їх не повинна перевищувати 42 В. В особливо небезпечних приміщеннях напруга живлення переносних світильників не повинна перевищувати 12 В [11]. Приміщення, в якому знаходиться робоче місце інженера електронщика, класифікується як приміщення з підвищеною небезпекою.

Щоб захистити людину від ураження електричним струмом, захисне заземлення має задовольняти ряду вимог, викладених у ПБЕ. Ці вимоги залежать від напруги електроустановок та потужності джерела живлення. В електроустановках змінного струму напругою до 1000 В у мережі з ізольованою нейтраллю або ізольованим виводом джерела однофазного струму опір заземлювального пристрою не повинен перевищувати 4 Ом.

Важливо відзначити, що якщо занулений корпус одночасно заземлений, то це тільки покращує умови безпеки, тому що забезпечує додаткове заземлення нульового захисного дроту.

3.5 Пожежна та техногенна безпека

Пожежі в лабораторному приміщенні становлять особливу небезпеку, тому що пов'язані з великими матеріальними втратами. Характерна особливість лабораторних кімнат - невеликі площі приміщень. Як відомо, пожежа може виникнути при взаємодії горючих речовин, окислення і джерел запалю-

вання. У даному приміщеннях присутні всі три основні чинника, необхідні для виникнення пожежі.

Горючими компонентами в кімнаті є: будівельні матеріали для акустичної і естетичної обробки приміщень, перегородки, двері, підлоги, ізоляція кабелів і ін.

Джерелами запалювання в лабораторному приміщенні можуть бути електронні схеми від ЕОМ, прилади, застосовувані для технічного обслуговування, пристрої електроживлення, кондиціонування повітря, де в результаті різних порушень утворюються перегріті елементи, електричні іскри і дуги, здатні викликати загоряння горючих матеріалів.

В сучасних ЕОМ дуже висока щільність розміщення елементів електронних схем. У безпосередній близькості один від одного розташовуються сполучні дроти, кабелі. При протіканні по них електричного струму виділяється значна кількість теплоти. При цьому можливо оплавлення ізоляції. Для відводу надлишкової теплоти від ЕОМ служать системи вентиляції та кондиціонування повітря. При постійній дії ці системи представляють собою додаткову пожежну небезпеку.

Для більшості приміщень лабораторних кімнат встановлена категорія пожежної небезпеки В.

Однією з найбільш важливих завдань пожежного захисту є захист будівельних приміщень від руйнувань та забезпечення їх достатньої міцності в умовах впливу високих температур при пожежі. Враховуючи високу вартість електронного обладнання, а також категорію його пожежної небезпеки, будівлі для лабораторного приміщення і частини будівлі іншого призначення, в яких передбачено розміщення ЕОМ, повинні бути 1 та 2 ступеня вогнестійкості.

Для гасіння пожеж на початкових стадіях широко застосовуються вогнегасники. В лабораторних приміщеннях застосовуються головним чином вуглекислотні вогнегасники ОУ-5 (ВВК3,5), перевагою яких є висока ефективність гасіння пожежі, схоронність електронного устаткування, діелектри-

чні властивості вуглекислого газу, що дозволяє використовувати ці вогнегасники навіть у тому випадку, коли не вдається знеструмити електроустановку відразу. Вогнегасник ОУ5 (ВВК3,5) переносний з місткістю балона 5 літрів (3,5 кілограма), призначений для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою не більш 10 кВ. В даному приміщенні знаходиться один такий вогнегасник.

З приміщень, на випадок пожежі, має бути передбачена й забезпечена евакуація людей через так звані евакуаційні виходи [10] важливішою вимогою успішної евакуації людей і цінностей є улаштування внутрішніх переходів, пожежних сходів і аварійного освітлення. Виходи вважають евакуаційними, якщо вони ведуть із приміщень:

1) першого поверху назовні безпосередньо або через коридор, вестибюль, сходову клітку;

2) будь-якого поверху, крім першого, в коридор, що веде на сходову клітку, в тому числі через хол. При цьому сходові клітки повинні мати вихід назовні безпосередньо або через вестибюль, відокремлений від прилеглих коридорів перегородками з дверима;

3) у сусіднє приміщення на цьому ж поверсі, яке забезпечене виходами, зазначеними в пунктах 1 і 2.

Фактично, лабораторне приміщення має необхідні умови для евакуації людей і цінностей. В будівлі передбачені й забезпечені евакуаційні виходи з приміщення. Коридор веде на сходову клітку, яка має вихід безпосередньо назовні.

4.6 Розрахунок штучного освітлення лабораторного приміщення

Для освітленості приміщення з розмірами $A = 6,5$ м, $B = 3,7$ м та висотою $H = 3,5$ м використовуються 2 світильники ОДР з двома люмінесцентними лампами типа ЛБ - 40. Коефіцієнти віддзеркалення світлового потоку від стелі, стін і підлоги відповідно рівні $P_{\text{стелі}} = 70\%$, $P_{\text{стін}} = 50\%$, $P_{\text{підлоги}} = 10\%$.

Затінювання робочих місць немає. Висота звісу світильника $h_s = 0$, висота робочої поверхні над рівнем підлоги $h_p = 0.8$ м.

Нормативна величина освітленості для відеоплейних терміналів складає $E_n = 400$ лк [11].

При перевірці відповідності освітленості в приміщенні нормативному рівню, коли відома кількість світильників, ламп, їх тип і потужність. фактичну освітленість в приміщенні визначаємо по формулі:

$$E_{\phi} = \frac{N \cdot F \cdot n \cdot \eta}{S \cdot z \cdot k_{\text{зап}}} \text{ (лк)}, \quad (3.1)$$

де $N = 2$ – число світильників, шт.;

$F = 3120$ лм – світловий потік лампи;

$n = 2$ – число ламп в світильнику;

S - площа освітлюваного приміщення;

$z = 1,1$ – коефіцієнт нерівномірності освітлення для люмінесцентних ламп (відношення $E_{\text{сер}} / E_{\text{мін}}$);

$k_{\text{зап}} = 1,5$ – коефіцієнт запас, що враховує зниження освітленості із-за забруднення і старіння лампи ;

η – коефіцієнт використання освітлювальної установки.

Для визначення η необхідно знати тип світильника, індекс приміщення і коефіцієнт віддзеркалення світлового потоку від стелі, стін і підлоги [16]. Оскільки тип світильника і коефіцієнти віддзеркалення світлового потоку відомі, то для знаходження η необхідно визначити значення індексу приміщення i .

$$i = \frac{A \cdot B}{h_n \cdot (A + B)} \quad (3.2)$$

де A і B - відповідно довжина і ширина приміщення в м;

h_n - висота від робочої поверхні до світильника, визначається висотою приміщення (H , м) і висотою умовної робочої поверхні ($h_p = 0.8$ м) по формулі:

$$h_n = H - h_s - h_p = 3.5 - 0 - 0.8 = 2.7 \text{ (м)} \quad (3.3)$$

Підставляємо набуте значення у формулу (4.2) і знаходимо індекс при-
міщення:

$$i = \frac{6.5 \cdot 3.7}{2.7 \cdot (6.5 + 3.7)} = \frac{24.05}{27.54} = 0.87$$

Підставляємо всі знайдені величини в формулу (4.1):

$$E_\phi = \frac{2 \cdot 3120 \cdot 2 \cdot 0.89}{6.5 \cdot 3.7 \cdot 1.1 \cdot 1.5} = \frac{11107.2}{39.6825} = 279.9, \text{ (лк)}$$

Оскільки отримана величина $E_\phi < E_n$ для досягнення нормативної осві-
тленості необхідно або збільшити кількість світильників, або збільшити по-
тужність ламп. Порахуємо міру збільшення W :

$$W = \frac{E_n}{E_\phi} = \frac{400}{279.9} = 1.42 \text{ разів}$$

Тепер можна обчислити необхідну кількість світильників:

$$N_1 = N \cdot W = 2 \cdot 1.43 = 2.84 \text{ шт.}$$

Збільшимо кількість світильників до 3 штук. Тоді

$$E_\phi = \frac{5 \cdot 3120 \cdot 2 \cdot 0.89}{6.5 \cdot 3.7 \cdot 1.1 \cdot 1.5} = \frac{27768}{39.6825} = 699.7, \text{ (лк)}$$

Таким чином, при збільшенні кількості світильників на три штуки фак-
тична освітленість E_ϕ практично відповідає нормативному значенню освіт-
леності $E_n = 400$ лк [10].

Такий же ефект може бути отриманий при заміні лампи з великим світ-
ловим потоком. Порахуємо необхідний світловий потік лампи:

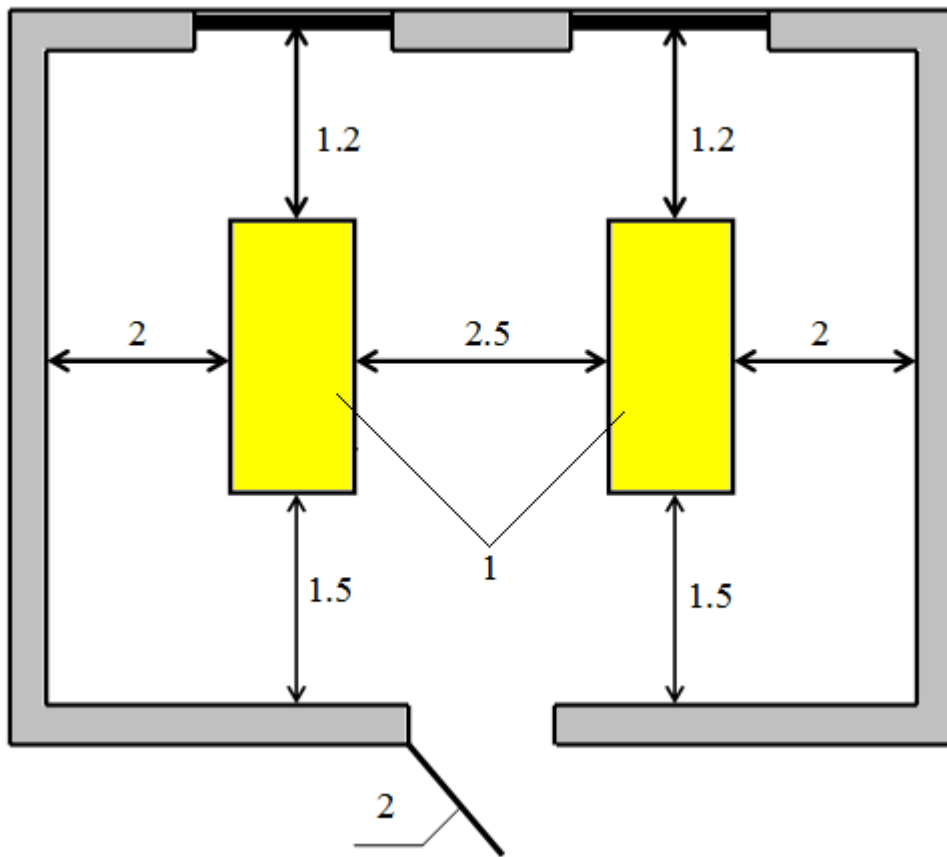
$$F_1 = F \cdot W = 3120 \cdot 1.42 = 4430.4, \text{ (лм)}$$

Так, якщо всі лампи типа ЛБ-40 в приміщенні замінити на лампи типа
ЛТБ-65 з $F=3980$ лм E_ϕ буде рівне:

$$E_\phi = \frac{2 \cdot 3980 \cdot 2 \cdot 0.89}{6.5 \cdot 3.7 \cdot 1.1 \cdot 1.5} = \frac{14168.8}{39.6825} = 357, \text{ (лк)}$$

Таким чином, в цьому випадку фактична освітленість також практично відповідатиме нормативному значенню.

На рисунку 3.2 представлена схема розташування двох світильників, в кожному з яких знаходиться по дві лампи типу ЛТБ-65.



1 – світильник;

2 – двері

Рисунок 3.2 – План розташування світильників в лабораторному приміщенні

Висновки та рекомендації

1. Проаналізовані зонні енергетичні діаграми р-n-переходу при освітленні в різних режимах підключення. Визначене узагальнене вираження для ВАХ освітленого р-n-переходу, при підключенні до нього джерела живлення з варійованою напругою. Розрахунки показали що корисна енергія збільшується при збільшенні рівня освітленості.

2. Визначено що, не всі елементи видають однакову потужність за однакових умов освітленості, навіть якщо елементи ідентичні по розмірах і конструкції. Відхилення в технологічних режимах можуть спричинити помітний розкид вихідних струмів елементів однієї партії. Ці чинники необхідно враховувати при розробці і виготовленні конструкцій з фотоелектричними перетворювачами.

3. Розроблена схема пристрою для параметричного тестування фотоелектричних перетворювачів, в якій після підключення елементів потрібно виставити відповідну напругу за допомогою потенціометра і зняти показники приладів, вимірюючих напругу і струм. Перемноживши напругу і струм, можна отримати величину потужності.

4. Розроблена конструкція контактного майданчика, яка дозволяє одночасно проводити контроль декількох сонячних елементів і може бути конструктивно прийнята за основу при розробці автоматизованого виміру параметрів у якості касети.

Рекомендовано застосувати розроблений прилад при виготовленні сонячних батарей для промислового та загального використання.

Перелік посилань

1. Рябенський В.М., Жуйков В.Я., Гулий В.Д.. Цифрова схемотехніка: Навчальний посібник. Львів : "Новий Світ-2000", 2019. 736 с. ISBN 978-966-418-067-9.
2. Верьовкін Л.Л., Світанько М.В., Кісельов Є.М., Хрипко С.Л. Цифрова схемотехніка : підручник. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 214 с. ISBN 978-617-685-023-6
3. Готра З.Ю., Стахіра, І.І. Гельжинський П.Й Перспективи використання органічних нанорозмірних світловипромінюючих структур для систем освітлення. Шістнадцята щорічна відкрита науково-технічна конференція Інституту телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки з проблем електроніки та інфокомунікаційних технологій. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. С. 29-34.
4. Черняков Е.І., Мачехін Ю.П., Кухтін М.П., Кухтін С.М. Оптоелектроніка. Частина 2. Прилади та пристрої : навч. посіб. Харків : ХНУРЕ, 2016. 292 с. URL: <http://openarchive.nure.ua/handle/document/8917>
5. Корчак Ю., Фургала Ю., Рихлюк С. Оптоелектронна інформатика. Том 1. Основні принципи та прилади: навчальний посібник. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2016. 312 с.
6. Кожем'яко В. П., Павлов С. В., Тарновський М. Г. Оптоелектронна схемотехніка. Навчальний посібник. Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. 189 с.
7. Кравченко О.П. Фізичні основи функціональної мікроелектроніки: Навч. посібник. Київ : Либідь, 1993. 216 .
8. Дем'яненко Т.М. Параметричне тестування сонячних елементів. XVI університетська науково-практична конференція студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «МОЛОДА НАУКА-2023». Запоріжжя : ЗНУ. 2022. С. 138.

9. Кожемякін Г.Б. Рижков В.Г., Белоконь К.В. Охорона праці та техногенна безпека: методичні вказівки до виконання розділу магістерських робіт для студентів ЗДІА всіх спеціальностей денної та заочної форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 48 с.

10. Ткачук К.Н. Охрана труда и окружающей среды в радиоэлектронной промышленности. К. : Вища шк., 1988. 240 с.

11. Горобец А.И. Степаненко А.И. Охрана труда в радиоэлектронной промышленности. К. : Техника, 1987. 135 с.

**«ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**



Науково-дослідна частина
Наукове товариство студентів, аспірантів і докторантів
Рада молодих вчених



ЗБІРНИК
наукових праць студентів,
аспірантів, докторантів і молодих вчених

«МОЛОДА НАУКА-2023»

Том V

*«Секції Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потєбні
Запорізького національного університету»*

Запоріжжя
2023

ПАРАМЕТРИЧНЕ ТЕСТУВАННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Для забезпечення максимальної віддачі від фотоелектричних перетворювачів, необхідно проводити параметричний контроль для усіх елементів сонячної батареї. Не всі елементи видають однакову потужність за однакових умов освітленості, навіть якщо елементи ідентичні по розмірах і конструкції. Відхилення в технологічних режимах можуть спричинити помітний розкид вихідних струмів елементів однієї партії.

Загальна схема тестера для перевірки фотоелектричних перетворювачів, для отримання динамічного опору навантаження сонячного елемента, побудована на транзисторі (рис. 1). Регулювання базового струму транзистора виконується операційним підсилювачем. Завдяки своїй особливості операційний підсилювач зрівнює напругу на своїх входах, управляючи струмом, який протікає через транзистор. Транзистор знижує вхідну напругу до такої величини, що вона стає рівною напрузі на резисторі в колекторному колі. Ця напруга може регулюватися в діапазоні $0 \dots 0,7$ В. Транзистор не може мати нульового опору, який потрібний, аби понизити напругу до нуля. На транзисторі збережеться невелика залишкова напруга величиною близько 150 мВ. Це обмежує діапазон регулювання в межах $0,15 \dots 0,7$ В.

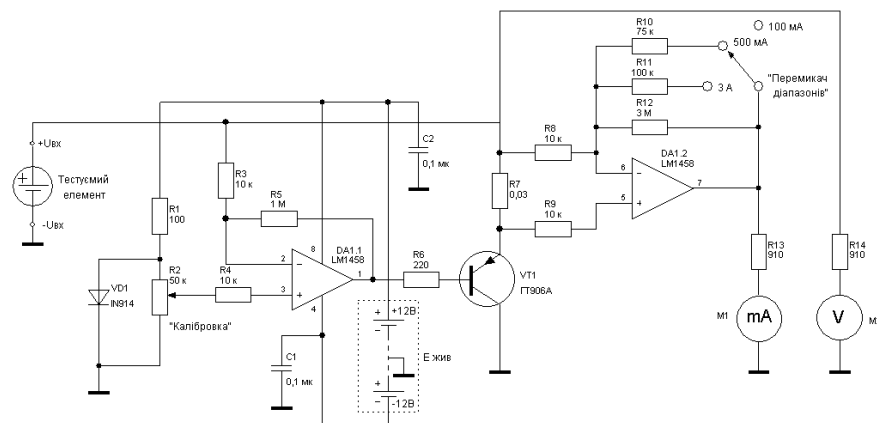


Рисунок 1 – Схема параметричного тестування сонячних елементів

Вимір напруги на фотоелектричному перетворювачі здійснюється вольтметром M_2 , а струму, який протікає через шунтуючий транзистор, амперметром M_1 . Потужність (у ватах) визначається перемноженням свідчень обох приладів [1].

Література

1. Кожем'яко В.П., Павлов С.В., Тарновський М.Г. Оптоелектронна схемотехніка. УНІВЕРСУМ, Вінниця, 2008. 189 с.