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
перший(бакалаврський)
(рівень вищої освіти)

на тему *«Розробка мікроелектронного пристрою на сонячних панелях для живлення смартфонів»*

Виконав: студент (ка) __*4*___курсу, групи___*6.1531*____
спеціальності ____*153 (176) Мікро- та наносистемна*___
*техніка*_____
(код і назва спеціальності)_
освітньої програми *Мікро- та наносистемна*_____
*техніка*_____
(код і назва освітньої програми)
__ _____ ___*Виноградов Д.Д.*__ _____
(ініціали та прізвище)

Керівник _*доцент кафедри ЕІСПЗ, доцент, к.т.н.*_____*Небеснюк О.Ю.*__ _____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент_*інженер-конструктор Конструкторського бюро Колосова Григор'єва І.К.*_____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2025

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

Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Спеціальність 153 (176) Мікро- та наносистемна техніка
(назва)

Освітня програма Мікро- та наносистемна техніка
(шифр)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри Т. В.Критська
«03» червня 2025 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА ЗДОБУВУЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Виноградову Даніілу Дмитровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи *Розробка мікроелектронного пристрою на сонячних панелях для живлення смартфонів*
керівник кваліфікаційної роботи бакалавра *Небеснюк О.Ю., к.т.н.,доцент*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від «*27» 12. 2025 р. № 2029-с*

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи бакалавра *03.06.2025р.*

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи бакалавра: *джерело живлення на базі полікристалічної сонячної панелі з напругою живлення 5В, ККД >10%*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *1 Альтернативні джерела енергії. Сонячні батареї. 2 Розробка альтернативного джерела живлення для смартфонів. 3 Охорона праці та техногенна безпека*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Л1 Блок- схема пристрою заряду акумуляторної батареї та схема електрична принципова модулю контролю заряду батареї Л2 Схема електрична принципова Л3 Результати моделювання двокаскадного підсилювача напруги

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи бакалавра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
I	*Небеснюк О.Ю.*	*24.02.2025*
II	*Небеснюк О.Ю.*	*09.05.2025*
III	*Небеснюк О.Ю.*	*30.05.2025*

7. Дата видачі завдання *21.10.2024р.*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	строк виконання етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Примітка
1	*Пошук матеріалу за темою кваліфікаційної роботи*	*01.11.24 - 27.01.25*	
2	*Сонячна енергетика. Перспективи використання.*	*28.01. -28.02.*	
3	*Розробка блок- схеми приладу та вибір елементної бази*	*03.03. -28.03.*	
4	*Розробка схеми електричної принципової*	*01.04. -14.04.*	
5	*Моделювання підсилювача, виконання розрахунків*	*16.04. -01.05.*	
6	*Розрахунок теплового режиму*	*02.04. -09.05.*	
7	*Розділ охорони праці та техногенної безпеки*	*13.05. -20.05.*	
8	*Оформлення пояснювальної записки, виконання креслень*	*21.05. -31.05.*	

студент _____ *Виноградов Д.Д.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) _____ *Небеснюк О.Ю.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ *Верьовкін Л. Л.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота містить 86 сторінок, 25 рисунків, 7 таблиць, 20 джерел літератури.

Об’єкт дослідження – сонячні панелі, пристрої на сонячних панелях.

Мета роботи – створення зарядного пристрою для смартфону на основі сонячної батареї.

Задачі: розглянути особливості сонячних елементів виконаних за полікристалічною і монокристалічною технологіями та обрати тип сонячної панелі; провести аналіз схемотехнічних і конструкторських рішень пристроїв на сонячних панелях; розробити структурну та електричну принципову схеми пристрою; провести моделювання розробленого пристрою.

Методика досліджень – математичні розрахунки в MatLab, схемотехнічне моделювання в програмному середовищі Electronics Workbench sPlan.

Короткий виклад результатів досліджень – на базі полікристалічної сонячної панелі розроблено пристрій для заряду смартфону, оснащений модулем контролю заряду, що захищає від короткого замикання.

Прогнозні пропозиції – запропонований пристрій можна використовувати для заряду побутових приладів в умовах відключення світла.

ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГІЯ, СОНЯЧНА ПАНЕЛЬ, БАТАРЕЯ, МОДУЛЬ КОНТРОЛЮ ЗАРЯДУ, МОДЕЛЬ, СХЕМА.

Кваліфікаційна робота виконана на кафедрі електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення в період з 11.09.2024 по 30.05.2025.

ЗМІСТ

ВСТУП.....6
І АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ. СОНЯЧНІ БАТАРЕЇ 7
1.1 Сонячна енергетика..... 7
1.2 Сонячні елементи..... 8
1.3 Характеристики сонячних елементів..... 10
1.4 Сонячна батарея 14
1.5 Шунтуючі діоди 17
1.6 Контролер заряду батареї 18
1.7 Інвертор..... 22
2 РОЗРОБКА АЛЬТЕРНАТИВНОГО ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ СМАРТФОНІВ.....25
2.1 Розробка функціональної схеми 25
2.2 Розрахунок і вибір елементної бази..... 25
2.2.1 Сонячна панель..... 25
2.2.2 Вибір акумуляторної батареї..... 29
2.2.3 Модуль контролю заряду батареї 32
2.2.4 Шунтуючий діод..... 33
2.2.5 Підсилювач напруги..... 42
2.3 Розробка схеми електричної принципової..... 60
2.4 Розрахунок теплових параметрів..... 61
2.5 Розрахунок теплового режиму блоку в герметичному корпусі 64
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....68
3.1 Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів..... 68

3.2 Вимоги до виробничих та допоміжних приміщень 69

3.3 Заходи з поліпшення умов праці, виробнича санітарія 71

3.4 Основи електробезпеки та види ураження електричним струмом..... 74

3.5 Пожежна безпека на виробництві..... 80

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ 84

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ 85

Додаток А..... 87

ВСТУП

В умовах зниження запасів енергоресурсів і погіршення екологічної обстановки в світі, політика промислово розвинених країн в області енергетики сильно змінилася. На зміну традиційним джерелам енергії приходять альтернативні поновлювані, до яких відноситься сонячна енергетика.

Це екологічно чисте джерело енергії, яке знижує залежність від викопних видів палива та скорочує шкідливі викиди в атмосферу.

Останні роки сонячна енергетика відіграє ключову роль у розвитку енергетичних систем у всьому світі, щорічно збільшуючи частину своєї присутності. На сьогоднішній день, коли в світовій економіці всі відзначають істотний спад, а в Україні йде війна, галузь сонячної енергетики, одна з не багатьох, яка звітує про позитивну динаміку зростання. За останні 10 років щорічний середній темп зростання нових інсталяцій сонячних панелей в світі склав 50%. А загальний фонд встановлених батарей на кінець 2021 року в Україні, напередодні війни, наблизився до 6,5 ГВт і мав потужну динаміку для подальшого зростання.

Війна принесла с собою руйнування в першу чергу енергетичної інфраструктури країни. Втрати енергетичних потужностей мали серйозні наслідки для економіки та населення. Перебої в електропостачанні стали звичним явищем, впливаючи на всі сектори економіки – від промислового виробництва до сфери послуг. Перехід на сонячну енергія – це порятунок під час блекаутів, спричинених атаками росії на електростанції, ТЕС та ТЕЦ, обстріл та захоплення атомних станцій, пошкодження ліній енергопередачі [1].

Тому, розробка пристрою для заряду акумуляторної батареї від сонячної панелі є досить актуальним питанням.

І АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ. СОНЯЧНІ БАТАРЕЇ

1.1 Сонячна енергетика

Вступ У XXI столітті питання енергозабезпечення та сталого розвитку набуває дедалі більшого значення. З огляду на зростання глобального попиту на енергію, вичерпність традиційних джерел та негативні екологічні наслідки їх використання, особливу увагу світова спільнота приділяє розвитку альтернативних джерел енергії. Серед них сонячна енергетика посідає провідне місце завдяки своїй екологічності, доступності та інноваційності.

Альтернативні джерела енергії — це джерела, які відновлюються природним шляхом і не спричиняють суттєвого забруднення навколишнього середовища.

До них належать:

- сонячна енергія,
- вітрова енергія,
- гідроенергія малих ГЕС,
- геотермальна енергія,
- біоенергетика. Ці джерела є основою для переходу до "зеленої" енергетики та енергетичної незалежності країн.

Сонячна енергетика — це процес перетворення сонячного випромінювання на електричну або теплову енергію. Основними технологіями є:

- фотоелектричні панелі (сонячні батареї),
- сонячні колектори,
- концентратори сонячного випромінювання. Сонячна енергія є найбільш доступним та поширеним джерелом, яке можна використовувати майже в будь-якій точці планети.

Переваги використання енергії сонця:

- екологічність: відсутність шкідливих викидів,
- відновлюваність: невичерпне джерело,
- низькі експлуатаційні витрати,
- енергетична незалежність. Недоліки:
- залежність від погодних умов і освітлення,
- висока початкова вартість обладнання,
- необхідність значних площ для розміщення станцій.

Україна має значний потенціал для розвитку сонячної енергетики, особливо у південних та центральних регіонах. За останні роки кількість сонячних електростанцій суттєво зросла, завдяки державним програмам стимулювання ("зелений тариф") та інвестиціям. Однак війна, руйнування інфраструктури та нестабільність енергетичного ринку створюють нові виклики. Попри це, сонячна енергетика лишається стратегічним напрямом розвитку, зважаючи на потенціал децентралізованого енергозабезпечення та адаптивність до нових умов [2].

Країни на кшталт Німеччини, Іспанії, Китаю та США активно впроваджують сонячну енергетику. Вони демонструють приклади ефективної інтеграції сонячних технологій у національні енергосистеми, застосування інновацій та підтримки на рівні державної політики. Такий досвід є цінним для України у контексті післявоєнного відновлення та переходу до сталої енергетики [3].

1.2 Сонячні елементи

Сонячні елементи виготовляються з матеріалів, які безпосередньо перетворюють сонячне світло в електричний струм.

Монокристалічний кремній. Найбільш ефективними і поширеними для широкого споживання є монокристалічні кремнієві елементи. Для виготовлення таких елементів кремній очищається, плавиться і кристалізується в злитках, від яких відрізають тонкі шари. Зовні монокристалічні елементи виглядають як однотонна поверхню темно-синього або майже чорного кольору. Крізь кремній проходить сітка з металевих електродів. Ефективність такого елемента становить від 16 до 19% в стандартних умовах тестування (пряме сонячне світло, +25°C).

Термін служби таких панелей у хороших виробників становить зазвичай 40-50 років. Продуктивність за кожні 20-25 років служби поступово знижується приблизно на 20%.

Полікристалічний кремній. Технологія принципово не відрізняється від монокристалічних елементів, але різниця полягає в тому, що для виготовлення використовується менш чистий і дешевший кремній. Зовні це вже не однотонна поверхню, а візерунок з меж безлічі кристалів. Ефективність такого елемента становить від 14 до 15%. Проте ці панелі користуються приблизно такою ж популярністю на ринку, що і монокристалічні, оскільки пропорційно ефективності знижується ціна виробництва.

Стрічковий кремній. Принципово такий же як і попередні типи, відрізняється лише тим, що кремній не розрізається від кристала, а нарощується тонким шаром у вигляді стрічки. Покриття антивідблиску дає райдужну забарвлення таким панелям. Ця технологія не змогла завоювати ринок, займаючи на ньому лише близько 2%.

Аморфний кремній. У цьому типі використовуються не кристали, а найтонші шари кремнію, напилені в вакуумі на пластик, скло або метал. Цей тип є найбільш дешевим в виробництві, але володіє серйозним недоліком. Шари кремнію вигорають на світлі значно швидше, ніж у попередніх типів. Зниження продуктивності на 20% може статися вже через два місяці. Розпізнати таку панель на вигляд можна за більш бляклими сірого або темного кольору незрозумілих відтінків.

Телурій кадмію. Цей тип тонкошарових сонячних елементів володіє потенційно більшою ефективністю і використовує оксид олова. Ефективність становить 8-11%. За собівартістю ці елементи не набагато дешевше моно- і полікристалічних кремнієвих і володіють проблемою використання токсичного кадмію. Зараз цей тип елементів займає менше 5% загального ринку.

Інші елементи. Крім перерахованих вище є ще багато різних сонячних елементів, які не отримали великого поширення. Потенційно перспективними є мідно-галієві, що концентрують, композитні та деякі інші елементи [4].

1.3 Характеристики сонячних елементів

Перетворення енергії в сонячних елементах засноване на фотовольтаічному ефекті в неоднорідних напівпровідникових структурах при впливі на них сонячного випромінювання.

Принцип роботи кремнієвого фотоелемента полягає в наступному. На отриманій пластини кремнію нанесено з одного боку шар бору, а з іншого ─ фосфору (рис.1.2). У місцях контакту кремнієвої пластини з бором надлишок електронів. На іншій стороні по межі кремнієвої пластини з фосфором бракує електронів. Там утворюються «дірки», як їх прийнято називати. Таке стикування кордонів з надмірною кількістю електронів і їх недоліком називають p-n переходом [4].

При попаданні сонячного світла на фотоелементи їх поверхня бомбардується фотонами. Вони вибивають надлишкові електрони на кордоні з фосфором, які починають рух до «дірок» на кордоні з бором. Таким чином, виникає електричний струм, який є впорядкованим рухом електронів. До фотоелементу підводяться металеві доріжки, через які і збирається струм.

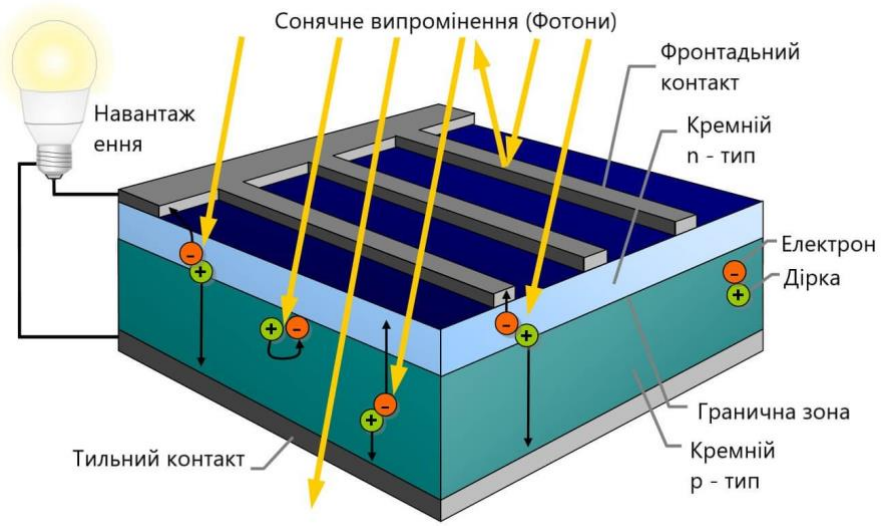


Рисунок 1.1-Будова фотоелектричного перетворювача

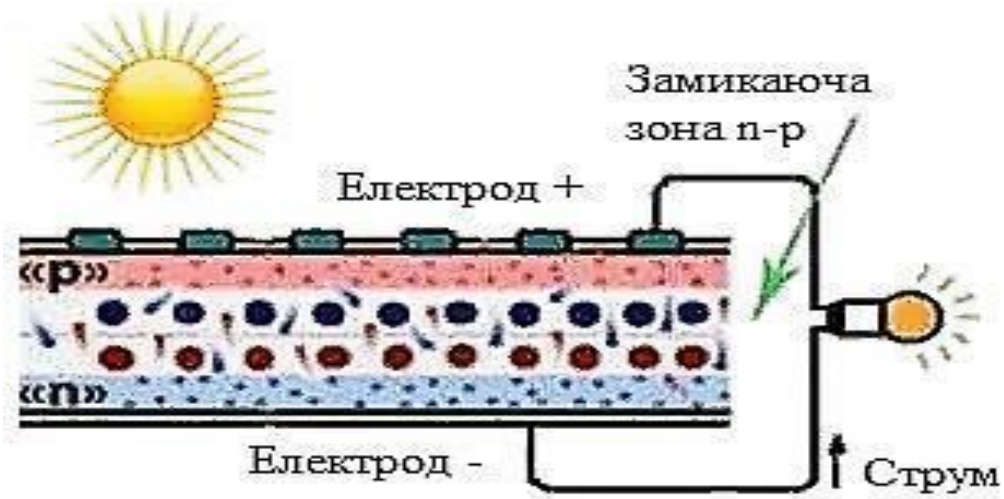


Рисунок 1.2 – Принцип роботи сонячного елемента

У фотоелектричних перетвореннях сонячної енергії використовується кремній з домішками інших елементів. Ефективність сучасних кремнієвих фотоелементів досить висока. Їх ККД досягає 10-20%, а чим вище ККД, тим менше потрібна площа сонячних батарей.

ККД звичайного сонячного елемента коливається в межах 10-16%. Це означає, що елемент розміром 100х100 мм при стандартних умовах може генерувати 1-1,6 Вт.

Стандартними умовами для паспортизації елементів у всьому світі визнаються наступні:

- освітленість – 1000 Вт/м^2;
- температура – 25 °С;
- спектр АМ – 1,5 (сонячний спектр на широті 45 °С).

Використовуючи енергію сонця, можна щорічно економити традиційні джерела опалення:

- до 75% – для гарячого водопостачання протягом року;
- до 95% – для гарячого водопостачання при сезонному використанні;
- до 50% – тільки з метою опалення;
- до 80% – з метою почергового опалення.

Використовувати енергію сонячних елементів можна також як і енергію інших джерел живлення, з тією різницею, що сонячні елементи не бояться короткого замикання. Кожен з них призначений для підтримки певної сили струму при заданій напрузі. Але на відміну від інших джерел струму характеристики сонячного елемента залежать від кількості, що падає на його поверхню світла. Наприклад, набігла хмара може знизити вихідну потужність більш ніж на 50%. Крім того відхилення в технологічних режимах тягнуть розкид вихідних параметрів елементів однієї партії. Отже, бажання забезпечити максимальну віддачу від фотоелектричних перетворювачів призводить до необхідності сортування елементів по вихідному струму [5].

Кремнієві сонячні елементи є нелінійними пристроями, для пояснення характеристик елемента можна користуватися сімейством простих для

розуміння кривих – вольтамперних характеристик (ВАХ) зображених на рисунку 1.2

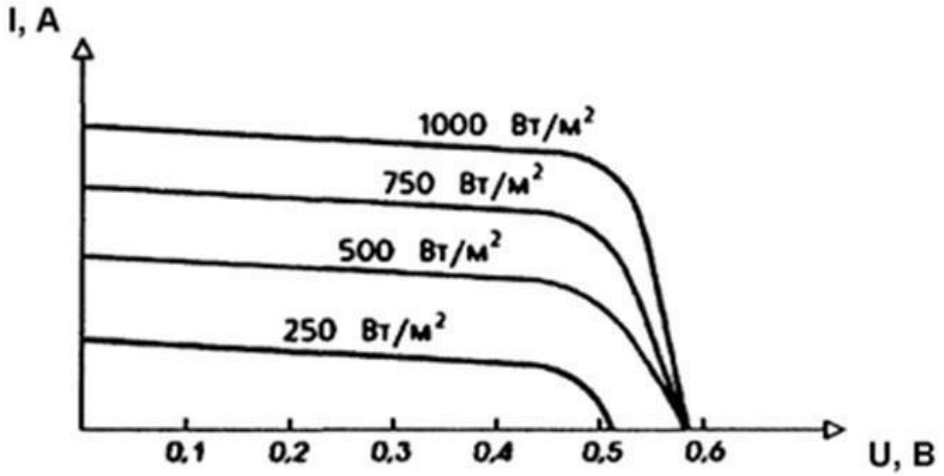


Рисунок 1.2– ВАХ кремнієвих сонячних елементів

Напруга холостого ходу, що генерується одним елементом, злегка змінюється при переході від одного елемента до іншого в одній партії і від однієї фірми виробника до іншого і становить близько 0,6 В. Ця величина не залежить від розмірів елемента. Струм залежить від інтенсивності світла і розміру елемента, під яким мається на увазі площа його поверхні.

Пікова потужність відповідає напрузі близько 0,47 В. Таким чином, щоб правильно оцінити якість сонячного елемента, а також заради порівняння елементів між собою в однакових умовах, необхідно навантажити його так, щоб вихідна напруга дорівнювала 0,47 В. Після того, як сонячні елементи підібрані для роботи, необхідно їх спаяти. Серійні елементи забезпечені токо-знімальними мережами, які призначені для припаювання до них провідників.

1.4 Сонячна батарея

Сонячна батарея складається з наступних частин: сонячних елементів, акумулятора з пристроєм контролю заряду і інвертора, який перетворює постійний струм в змінний (рис. 1.3)

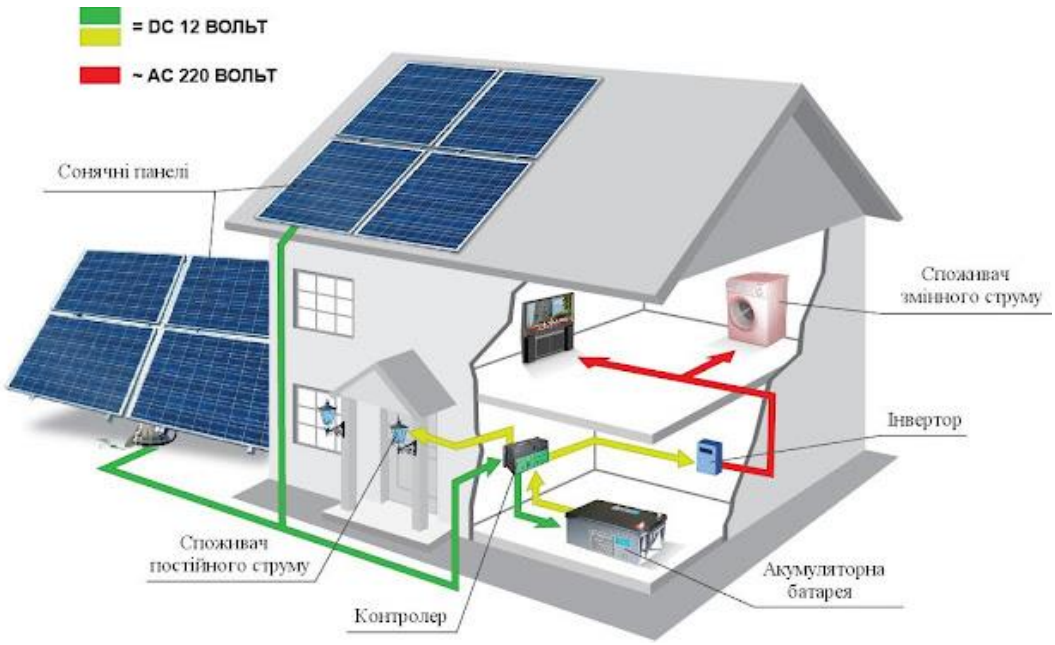


Рисунок 1.3 -Конструкція сонячних батарей [6]

Сонячна батарея складається з окремих сонячних елементів, які з'єднуються послідовно (рис.1.4) і паралельно (рис.1.5) для того, щоб збільшити вихідні параметри (струм, напругу і потужність). При послідовному з'єднанні елементів збільшується вихідна напруга, при паралельному – вихідний струм . В роботі розраховано допустиму температуру корпусу, яка дорівнює 49,9 °С та середню температуру повітря в корпусі – 51,3 °С

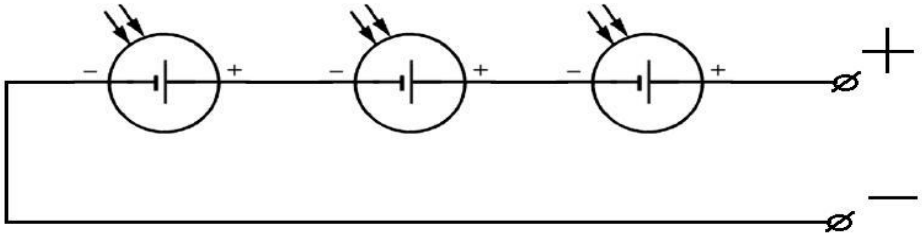


Рисунок 1.4 – Послідовне з’єднання сонячних елементів

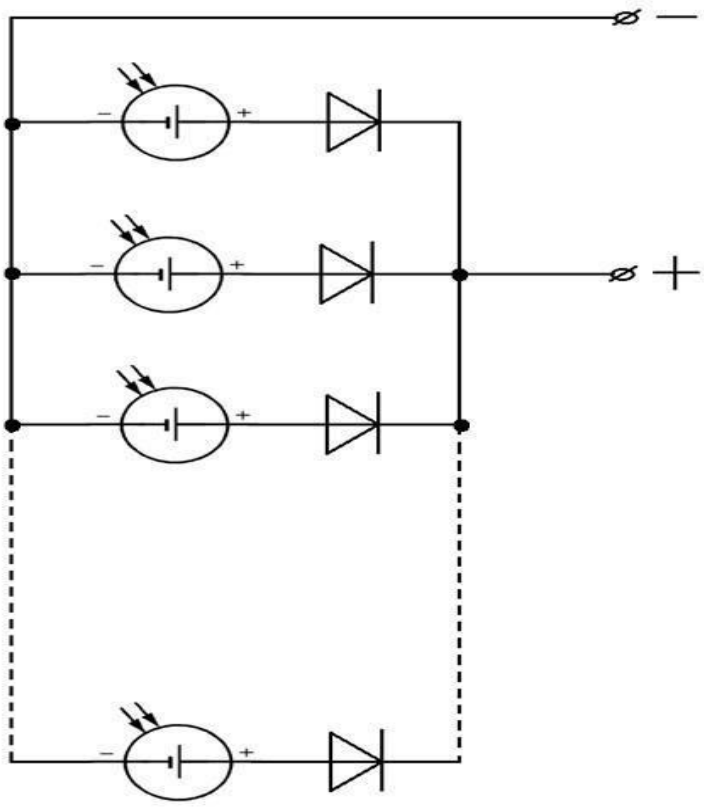


Рисунок 1.5 – Паралельне з’єднання сонячних елементів

Таким чином, сонячна батарея складається з паралельно-послідовно з'єднаних сонячних елементів. Величина максимально можливого струму, що генерується батареєю прямо пропорційна числу паралельно включених, а електрорушійна сила - послідовно включених сонячних елементів. Так, комбінуючи типи з'єднання, збирають батарею з необхідними параметрами.

Найбільш важливим технічним параметром сонячної батареї, яка здійснює основний вплив на економічність всієї установки, є її корисна потужність. Вона визначається напругою і вихідним струмом. Ці параметри залежать від інтенсивності сонячного світла, що потрапляє на батарею.

Електрорушійна сила окремих сонячних елементів не залежить від їх площі та знижується при нагріванні батареї сонцем вище 25°С, приблизно на 0,4% на 1 °С. На рисунку 1.6 наведені сімейство кривих ВАХ для температур 25 °С і 60 °С [7].

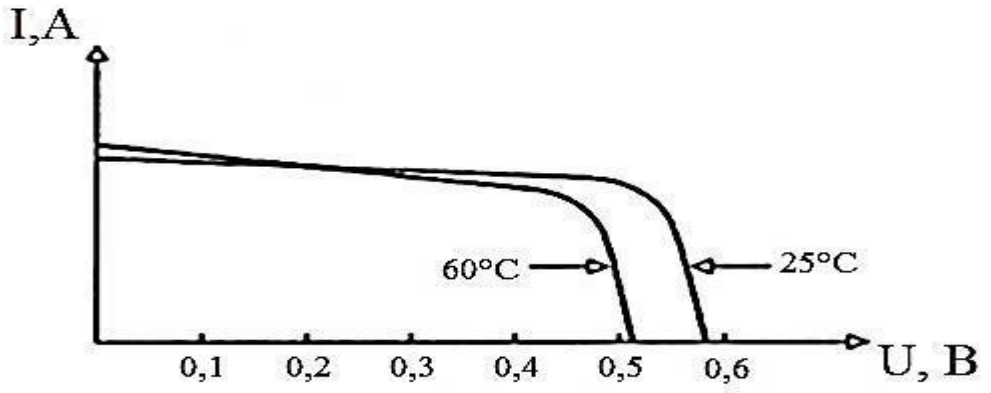


Рисунок 1.6– Сімейство кривих ВАХ для температур 25 °С і 60 °С

Вихідний струм залежить від інтенсивності сонячного випромінювання і розміру сонячних елементів. Чим яскравіше сонячне світло, тим більший струм генерується сонячними елементами. Зарядний струм і потужність, в похмуру погоду різко знижується. Це відбувається за рахунок зменшення струму, що генерується батареєю.

Якщо освітлена сонцем батарея замкнута на якусь навантаження з опором $R_н$, то в ланцюзі з'являється електричний струм I, величина якого визначається якістю фотоелектричного перетворювача, інтенсивністю освітлення і опором

навантаження. Потужність $P_н$, яка виділяється в навантаженні визначається твором за формулою:

$$P_н = I_н U_н,$$

Де $U_н$- напруга на затискачах батареї.

Найбільша потужність виділяється в навантаженні при деякому оптимальному його опорі $R_{опт}$, яке відповідає найбільшому коефіцієнту корисної дії (ККД) перетворення світлової енергії в електричну. Для кожного перетворювача є своє значення $R_{опт}$, яка залежить від якості, розміру робочої поверхні і ступеня освітленості.

1.5Шунтуючі діоди

Сонячні елементи батареї шунтуються діодами (рис. 1.7). Зазвичай їх 4– по одному, на кожну ¼ частина батареї. Діоди оберігають від виходу з ладу частини батареї, які з якоїсь причини виявилися затемненими, тобто якщо в якийсь момент часу світло на них не потрапляє.

Батарея при цьому тимчасово генерує на 25% меншу вихідну потужність, ніж при нормальному освітленні сонцем всій поверхні батареї. При відсутності діодів сонячні елементи будуть перегріватися і виходити з ладу, так як вони на час затемнення перетворюються в споживачів струму (акумулятори розряджаються через сонячні елементи), а при використанні діодів вони шунтуються і струм через них не йде.

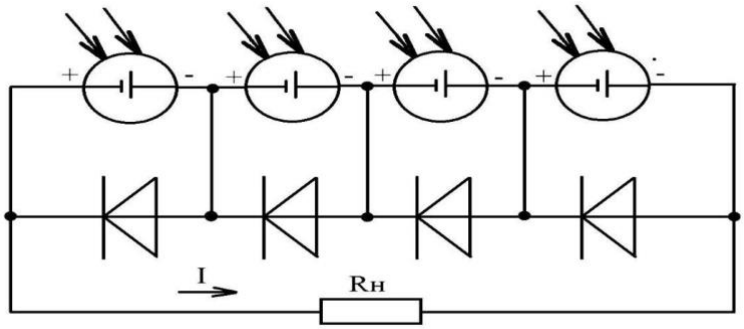


Рисунок 1.7 – Приклад схеми сонячної батареї із шунтованими діодами

Отримана електрична енергія накопичується в акумуляторах, а потім віддається в навантаження. Акумулятори – хімічні джерела струму. Заряд акумулятора відбувається тоді, коли до нього додається потенціал, який більше напруги акумулятора.

Число послідовно і паралельно з'єднаних сонячних елементів повинно бути таким, щоб робоча напруга, що підводиться до акумуляторів з урахуванням падіння напруги в зарядному ланцюзі, трохи перевищувала напругу акумуляторів, а навантажувальний струм батареї забезпечував необхідну величину зарядного струму.

Наприклад, для зарядки свинцевої акумуляторної батареї 12 В необхідно мати сонячну батарею, що складається з 36 елементів [8].

1.6 Контролер заряду батареї

При слабкому сонячному світлі заряд акумуляторної батареї зменшується і батарея віддає електричну енергію електроприймачів, тобто акумуляторні батареї постійно працюють в режимі розряду і підзарядки.

Це процес контролюється спеціальним контролером. При циклічному заряді потрібне постійне напруження або постійний струм заряду.

При гарній освітленості акумуляторна батарея швидко заряджається до 90% своєї номінальної ємності, а потім з меншою швидкістю заряду до повної ємності. Перемикання на меншу швидкість заряду проводиться контролером зарядного пристрою.

Пристроями найбільш адаптованими до умов експлуатації, ємності і напруги акумуляторних батарей є MPPT - контролери. MPPT - контролери представляють собою останнє покоління контролерів заряду з кращої технології перетворення енергії, що генерує фотомодулі. Абревіатура MPPT (Maximum power point tracker) – стеження за точкою максимальної потужності (ТМП). Ці контролери самі вибирають оптимальне співвідношення напруги і струму, які знімаються з фотомодулів. Такі контролери знімають більш високу напругу з сонячних батарей і конвертують її в оптимальне напруга для заряду акумуляторних батарей (АКБ).

Оптимальна напруга фотомодуля майже завжди відрізняється від напруги на АКБ. Для стандартних 12 В акумулятора необхідно витримувати заряд напругою 14,4 В протягом 2-4 годин. Ця стадія називається стадією абсорбції (насичення).

При слабкій освітленості, коли напруга на фотомодулі нижче напруги акумуляторної батареї і як наслідок відсутність заряду, MPPT контролери підвищують цю напругу і заряд все одно відбувається. MPPT контролер весь час стежить за струмом і напругою на фотомодуля, примножує їх значення і визначає пару ток-напруга, при яких потужність сонячної батареї максимальна. Процесор стежить за стадією заряду, в якій знаходиться акумулятор (наповнення, насичення, вирівнювання, підтримка) і на підставі цього регулює струм, що подається в АКБ.

Також процесор може давати індикацію параметрів на табло (при наявності), зберігати дані і т.п.

Застосування MPPT контролерів дозволяє отримувати від сонячних батарей на 15-30% більше електроенергії в порівнянні з іншими контролерами.

Якщо розглянути стандартну вольтамперних характеристику фотоелектричного модуля, можна відзначити, що електроенергія, яка генерується може бути збільшена, якщо контролер заряду відстежить точку максимальної потужності фотомодуля (рис. 1.8).

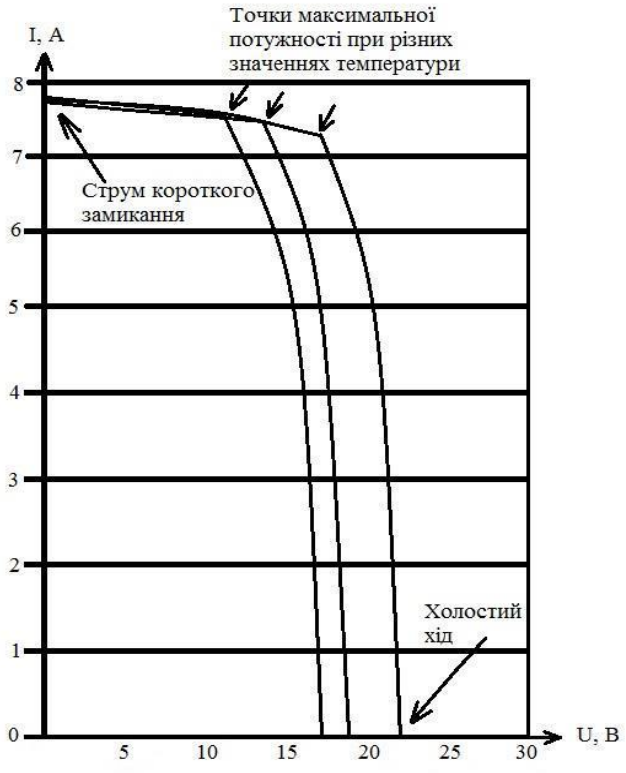


Рисунок 1.8 - Зміна напруги в точці максимальної потужності при різних температурах модуля

Точка максимальної потужності може обчислюватися різними способами. Як правило, контролер послідовно знижує напругу від точки холостого ходу до напруги на акумуляторі. Точка максимальної потужності буде знаходитися десь в проміжку між цими значеннями. Положення точки максимальної потужності залежить від ряду факторів– від освітленості, температури модуля, різнорідності використовуваних модулів і т.д. Контролер час від часу намагається злегка "відійти" від знайденої точки в обидві сторони, і якщо потужність при цьому збільшується, то він переходить на роботу в цій

точці. Теоретично, при пошуку ТМП втрачається трохи енергії, але ця втрата дуже незначна в порівнянні в тій додаткової енергії, яку забезпечує MPPT контролер.

За допомогою постійного перетворення напруги контролер підтримує різну напругу на вході і виході. Кількість додатково отриманої енергії, яку дають MPPT контролери, складно однозначно оцінити чисельно. Основними факторами, що впливають на додаткове вироблення, є температура і рівень зарядженості акумуляторної батареї. Найбільша добавка буде помітна при низьких температурах модуля і вирядженних АКБ.

Напруга може змінюватися в точці максимальної потужності при різних температурах модуля, чим більше нагріте сонячний модуль, тим нижче його напруга, і, відповідно, виробляється енергія фотомодуля.

Тому, як правило, при використанні MPPT контролерів сонячні модулі збирають на більш високу напругу. Основна маса контролерів відстежує точку максимальної потужності в досить широких межах. Таке рішення дозволяє збільшувати вироблення енергії сонячною батареєю при низькій освітленості.

Однак не слід робити занадто велику різницю між вхідною і вихідною напругою, так як це призводить до зниження ККД контролера.

Основні переваги контролерів MPPT:

- відсутність втрат при заряді АКБ;
- оптимальна робота при затіненні частини площі сонячних панелей;
- підвищена віддача при слабкому освітленні і при похмурій погоді;
- можливість використовувати більш високу вхідну напругу від фото-модулів;
- дозволяє зменшити перетин кабелів;
- дозволяє збільшити дистанцію від панелей до контролера.

Принципова відмінність контролера заряду MPPT від всіх інших полягає в тому, що він знаходить і відстежує точку максимальної потужності сонячної батареї і використовує всю доступну потужність шляхом широтно-імпульсного

перетворення при всіх режимах заряду, а не тільки при останньому режимі для підтримки граничної напруги зарядки.

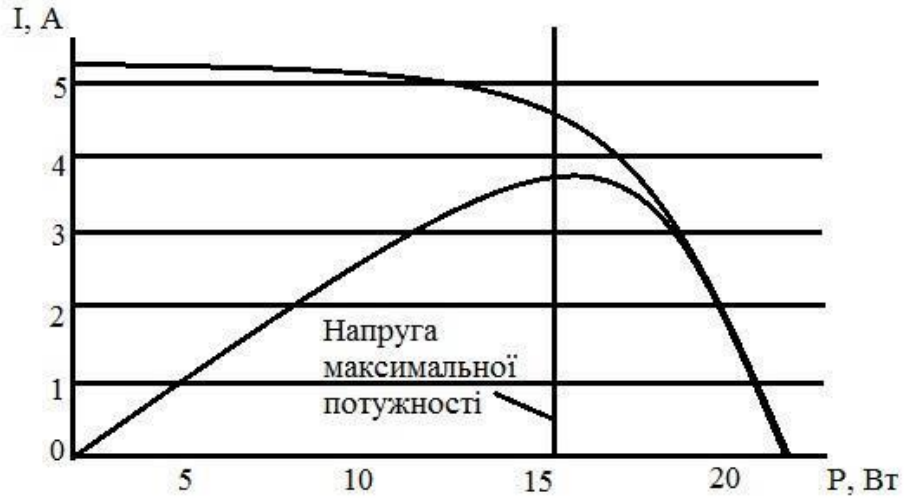


Рисунок 1.9 - Реальний графік потужності і струму сонячної батареї 80Вт в залежності від напруги [9]

Таким чином, використання MPPT контролера дозволяє збільшити кількість використовуваної сонячної енергії від однієї і тієї ж батареї на 10-30% в залежності від глибини розряду акумулятора.

1.7Інвертор

Для того щоб перетворити постійну напруга від акумуляторної батареї в змінну напругу, якій можна використовувати для живлення більшості електроприймачів спільно з сонячною батареєю можна використовувати спеціальні пристрої – інвертори.

Деякі моделі інверторів володіють розширеними функціями:

- автоматичне введення резерву,

- запуск генератора,
- вбудований контролер заряду або інтерфейс для спільної роботи з контролером заряду.

Сонячні інвертори можна розподілити на три типи [10]:

- автономні інвертори, що застосовуються у відокремлених системах, де інвертор використовує енергію постійного струму від акумуляторів, заряджених сонячними панелями. Багато автономних інверторів також мають вбудовані зарядні пристрої для додаткового заряджання батареї від джерела змінного струму. Зазвичай вони жодним чином не взаємодіють з мережею Укробленерго, і як такі, вони не повинні мати захист від зникнення мережі;
- мережеві інвертори, які синхронізуються із зовнішньою мережею по фазі та синусоїді струму, який постачається в мережу. З міркувань безпеки мережеві інвертори обов'язково вимикаються у разі втрати електропостачання. Вони не забезпечують резервне живлення під час вимкнення лінії Укробленерго.
- гібридні інвертори керують фотоелектричною системою, акумуляторною батареєю та зовнішньою мережею, об'єднуючи всі ці складові крізь себе. Ці сучасні універсальні системи, здебільшого, дуже універсальні і можуть застосовуватися для мережевих, автономних або резервних програм, але їх основним завданням, є використання енергії на власні потреби з можливим застосуванням акумуляторів.

Основний параметр при виборі інвертора – це номінальна потужність навантаження і пускові струми навантаження. Потужність інвертора визначається на основі сумарної потужності (кВт або кВА) і сумарних пускових струмів електричних споживачів будинку, що підключаються до сонячної електростанції. Тобто потужність інвертора повинна бути не менше загальної потужності електричних споживачів будинку, що підключаються до цього інвертора. А часто і більшою, якщо присутнє обладнання з високими пусковими струмами.

Без використання інвертора від сонячної батареї можна живити електроприймачі, що працюють на постійній напрузі, у тому числі різну портативну техніку, енергозберігаючі джерела світла, наприклад, ті ж світлодіодні лампи [11].

Мета кваліфікаційної роботи -створення зарядного пристрою для смартфону на основі сонячної батареї.

Задачі:

- розглянути особливості сонячних елементів виконаних за полікристалічною і монокристалічною технологіями та обрати тип сонячної панелі;
- провести аналіз схемотехнічних і конструкторських рішень пристроїв на сонячних панелях;
- розробити структурну та електричну принципову схеми пристрою;
- провести моделювання розробленого пристрою.

2 РОЗРОБКА АЛЬТЕРНАТИВНОГО ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ СМАРТФОНІВ

2.1 Розробка функціональної схеми

Аналіз конструктивних та технологічних рішень пристроїв на сонячних батареях дозволив розробити функціональну схему пристрою, що складається з наступних блоків: сонячна панель; модуль контролю заряду; акумулятор; підсилювач; перемикач.

Розроблена функціональна схема пристрою на основі сонячної батареї для заряду смартфону наведена на рис.2.1.

2.2 Розрахунок і вибір елементної бази

2.2.1 Сонячна панель

Основним елементом всієї системи є сонячна панель (СП). Так як пристрій, який розробляється, розрахований на заряд акумуляторної батареї переносних електронних пристроїв, тому сонячна панель повинна бути портативною, компактною, зручною при транспортуванні і використанні.

:

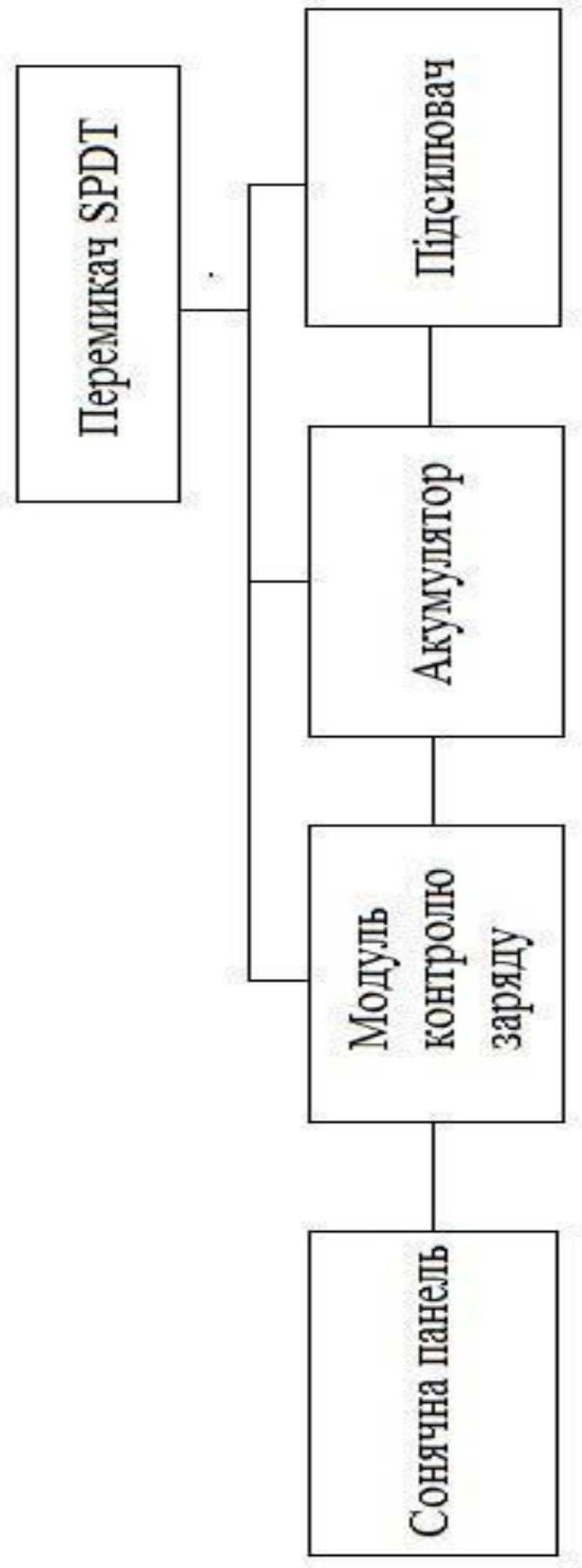


Рисунок 2.1- Функціональна схема пристрою

Сонячні панелі виконуються по полікристалічній і монокристалічній технології. Перевагою полікристалічних СП є можливість ефективно працювати на розсіяному сонячному світлі, але ККД їх нижче, ніж у монокристалічних СП. Монокристалічні СП забезпечують високий ККД - до 20%, але їх енерговіддача істотно залежить від умов освітленості.

З численного вибору СП, перевагу віддано портативної сонячної панелі SPM-3W 9V +5V. Вона призначена для забезпечення автономного живлення портативної техніки.

Технічні характеристики сонячної панелі SPM-3W 9V +5V позначені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики сонячної панелі SPM-3W 9V+5V [12].

Тип	Полікристалічний
Якість елементів модуля	Grade A
Матеріал модуля	Чистий кремній
Максимальна потужність	3 Вт
Вихідна потужність	3 Вт
Номінальна сила струму	0,34 А
Сила вихідного струму	0,34 А
Струм короткого замикання	0,41 А
Напруга живлення	5 В
Вихідна напруга	5 В
Напруга холостого ходу	10,98 В

Сонячні панелі найбільш ефективно працюють, коли вони спрямовані на сонце і їх поверхня перпендикулярна сонячним променям. Для кожної широти є свій оптимальний кут нахилу панелей.

Зазвичай для весни та осені оптимальний кут нахилу приймається рівним значенню широти місцевості. Для зими до цього значення додається 10-15 градусів, а влітку від цього значення віднімається 10-15 градусів. Для Запоріжжя оптимальний кут нахилу для весни та осені це – 47,5°. Для зими – 57,5-62,5°. Для літа 32,5-37,5°.

Для розрахунку ККД сонячної батареї треба порівняти потужність випромінювання, що падає на батарею від джерела світла і потужність, що видається при цьому сонячною батареєю. Для цього визначимо площу сонячної батареї за формулою:

$$S = a \cdot b \quad ,$$

де S, м^2 – площа сонячної панелі, a, b – геометричні розміри сонячної панелі.

$$S = 0{,}22 \cdot 0{,}135 = 0{,}0297 \text{ м}$$

Потужність падаючого випромінювання на сонячну батарею визначимо за формулою:

$$W_i = S \cdot E_t \, ,$$

де W_i, Вт - потужність падаючого випромінювання на сонячну батарею, S, м^2 - площа сонячної батареї.

$$W_i = 0{,}0297 \cdot 170 = 5{,}049 \text{ Вт}$$

$$\eta = \frac{0{,}59019}{5{,}049} = 0{,}116 \cdot 100\% = 11{,}6\ \%$$

Таким чином, ККД сонячної панелі складає 11,6% [13].

2.2.2 Вибір акумуляторної батареї

Слабким місцем зарядних пристроїв на сонячних батареях є акумулятори. Більшість зарядних пристроїв на сонячних батареях збираються на базі стандартних нікель-метал-гідридних акумуляторів – дешевих, доступних і безпечних в експлуатації. Але на жаль у NiMH акумуляторів занадто низькі напруга і ємність, щоб їх можна було серйозно розглядати в якості зарядних пристроїв для сучасних гаджетів, енергоспоживання яких з кожним роком тільки зростає.

Рішенням даної проблеми є заміна нікель-метал-гідридних акумуляторів на літієві.

Літій – найлегший з металів. Він має чудовий електрохімічний потенціал і забезпечує найкращу енергетичну щільність на одиницю маси. В літієвих акумуляторних батареях застосовувалися негативні пластини з металевого літію. Такі батареї володіли більш високою напругою на кожному елементі і високою місткістю в порівнянні з батареями інших типів.

Через притаманну металевого літію нестабільності, особливо в процесі заряду, дослідження зрушили в область створення акумуляторної батареї без його застосування, але з використанням його іонів. Хоча літій-іонні батареї забезпечують незначно меншу енергетичну щільність, ніж літієві батареї, проте вони безпечні при дотриманні правильних режимів заряду і розряду.

Енергетична щільність літій-іонних батарей в два рази: перевищує енергетичну щільність стандартних нікель-кадмієвих батарей. Удосконалення, що досягається підбором активних матеріалів електродів, в перспективі дозволить збільшити це співвідношення до трьох разів.

Крім високої ємності, літій-іонні батареї володіють хорошими навантажувальними характеристиками, схожими на навантажувальні характеристики нікель-кадмієвих батарей. Вони невимогливі до обслуговування настільки, що така простота в обслуговуванні недосяжна для батарей інших типів. У них відсутній «ефект пам'яті», для них не потрібно проведення

контрольно-тренувальних циклів, що продовжують термін служби. І, нарешті, саморозряд літій-іонних батарей, який удвічі менше, ніж у нікель-кадмієвих та нікель-метал-гідрідних батарей, робить їх незамінними при використанні в багатьох додатках.

Висока напруга на елементі батареї дозволяє виготовляти акумуляторні джерела живлення, що складаються всього лише з одного елемента. Такі джерела використовуються в багатьох моделях сучасних мобільних телефонів, а простота конструкції спрощує виробництво батарей. При виробництві потужних батарей, що складаються з декількох елементів, велика перевага дає дуже низький внутрішній опір літій-іонних елементів.

Що стосується екологічної безпеки, літій-іонні батареї значно безпечніше акумуляторних батареї на основі свинцю або кадмію. А серед літій-іонних батареї найбільш безпечні батареї, в яких використовується марганець.

Незважаючи на всі переваги, такі батареї мають і певні недоліки. Вони крихкі і вимагають застосування спеціальних схем захисту для забезпечення безпечної роботи. Схема захисту, вбудована в корпус батареї, обмежує пікова напруга на кожному елементі в процесі заряду і попереджає падіння напруги нижче допустимого значення при розряді.

Крім того, ця схема обмежує зарядний і розрядний струми, забезпечує моніторинг температури батареї, щоб уникнути перегріву. Це запобігає утворенню металевого літію при перезаряді, небезпеці вентиляції з викидом полум’я або вибуху.

Більшості типів літій-іонних батарей властиво старіння. Це, швидше за все, пов'язано з тим, що в речовинах, що входять до складу батарей, з часом відбуваються незворотні хімічні процеси, що призводять батареї в непридатний стан.

Зберігання батарей в прохолодному місці уповільнює процеси старіння, рекомендується зберігати батареї при температурі 15 °C. При цьому батареї повинні бути заряджаючи. При роботі з літій-іонними батареями слід дотримуватися запобіжних заходів: не можна замикати їх вивлди накоротко,

допускати перезаряд, розбирати, прикладати напругу зворотної полярності, нагрівати. Слід використовувати тільки літій-іонні батареї, які мають схему захисту. Електроліт таких батарей легко запалюється [14].

Кількість типів корпусів літій-іонних акумуляторних батарей обмежена кількома типорозмірами, з яких найбільш популярний 18650 (18 - діаметр в міліметрах, 650 - довжина, мм • 0,1). Елементи цього типорозміру мають ємність від 1800 до 2000 мА. Ємність більших елементів типорозміру 26650 діаметром 26 мм досягає вже 3200 мА.

Кількість елементів батареї розраховують за формулою:

$$N = \frac{U_H}{U_{\text{ел}}},$$

де U_H – напруга навантаження; $U_{ЕЛ}$ – напруга зарядженого елемента батареї, яке становить 3,6 В – для літій-іонних акумуляторів.

Виходячи з цього кількість елементів батареї:

$$N = \frac{10B}{3{,}6B} = 2{,}7777 \approx 3$$

Перевагу надано акумулятору 18650 – 2000 mAh Li-ion 3,7V. Встановивши 3 таких акумулятори в корпус, можна отримати зовнішній акумулятор для смартфона на 6000 мА. Цього вистачить щоб зарядити смартфон повністю 2-3 рази.

Розрахуємо час повного заряду за формулою, при I = 1A:

$$T = \frac{6000\ mA}{1A} = 6 \text{ годин}$$

Отже, акумулятор заряджається за 6 годин при умові доброго зовнішнього освітлення.

2.2.3 Модуль контролю заряду батареї

Модуль контролю заряду призначений для захисту від короткого замикання, перезаряду і перерозряду літієвої батареї. Як правило в модулі захисту також вбудовано і захист від перегріву. Вдень, коли акумулятор заряджається від сонячної батареї, контролер стежить за напругою на клемах акумулятора, і, як тільки воно досягає верхнього граничного значення, процес зарядки припиняється, струм перенаправляється до навантаження. Вночі сонячна панель не працює і живлення системи здійснюється тільки від зарядженого за день акумулятора. Як тільки напруга на його клемах досягає гранично низького значення, контролер відключає роботу схеми. Крім зазначених функцій, контролер також захищає елементи схеми від короткого замикання і від грози [15].

Обрано модуль TP4056 1000мА microUSB. Невеликих розмірів плата містить контролер заряду Li-Ion акумуляторів TP4056. Мікросхема має індикацію процесу заряду і сама відключає акумулятор при досягненні напруги на ньому 4,2В. Модуль дозволяє зарядити будь-який з літій-іонних і літій-полімерних (Li-Ion, Li-Po) акумуляторів на 3,7В.

Схема електрична принципова модулю контроля заряду TP4056 наведено на рис. 2.2 , а характеристики контролера в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Характеристики контролера заряду TP4056

Вхідна напруга	4,5-5,5В
Напруга повного заряду	4,2В
Струм заряду	1А
Вхідний роз’єм	micro USB
Робоча температура	-10..+85
Розмір модуля	5х19х25мм

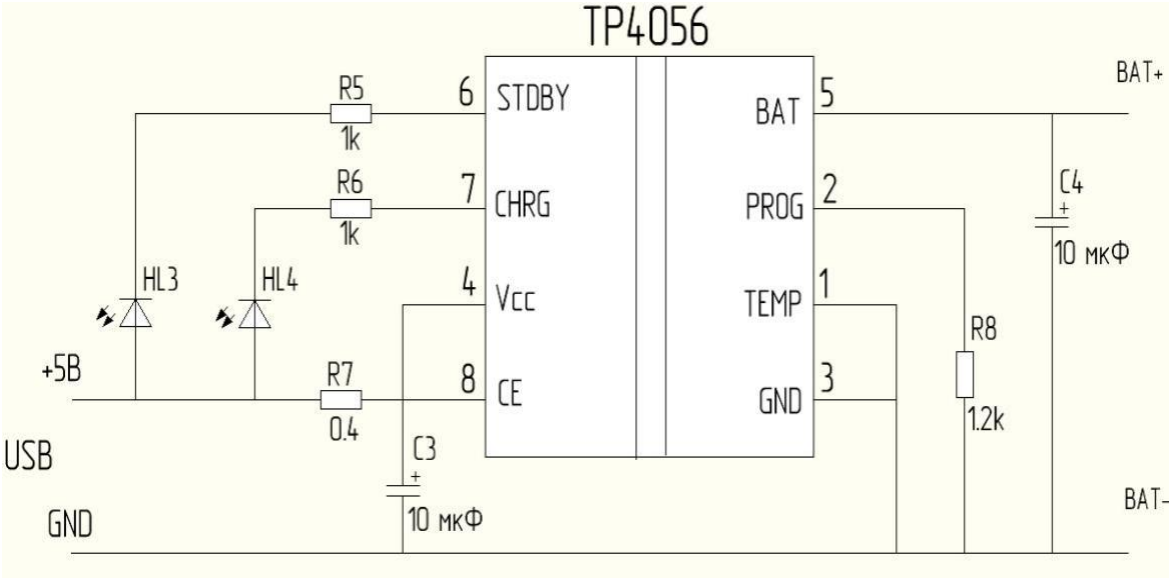


Рисунок 2.2- Схема електрична принципова модулю контроля заряду TP4056

2.2.4 Шунтуючий діод

Сонячні елементи батареї шунтуються діодами. Діоди оберігають від виходу з ладу частини батареї, які з якоїсь причини виявилися затемненими, тобто якщо в якийсь момент часу світло на них не потрапляє. Батарея при цьому тимчасово генерує на 25% меншу вихідну потужність, ніж при нормальному освітленні сонцем всій поверхні батареї.

При відсутності діодів ці сонячні елементи будуть перегріватися і виходити з ладу, так як вони на час затемнення перетворюються в споживачів струму (акумулятори розряджаються через сонячні елементи), а при використанні діодів, вони шунтуються і струм через них не йде. Діоди повинні бути низькоомними, щоб зменшити на них падіння напруги. Для цих цілей в останнім часом використовують діоди Шотткі.

Початкові дані для розрахунку діода представлені в таблиці 2.3, а графічні пояснення до них - на рисунку 2.3.

Вхідними даними для розрахунку є:

A — ширина і довжина кристала (кристал квадратний), см;

h — товщина пластини, см; ώб — товщина бази, см;

$N_б$ — концентрація домішкових атомів в базі діода, $см^{-3}$;

$N_е$ — концентрація домішкових атомів в емітері діода, $см^{-3}$;

$\tau_б$ — час життя нерівноважних носіїв заряду, с;

R_t — тепловий опір корпусу діода, К/Вт

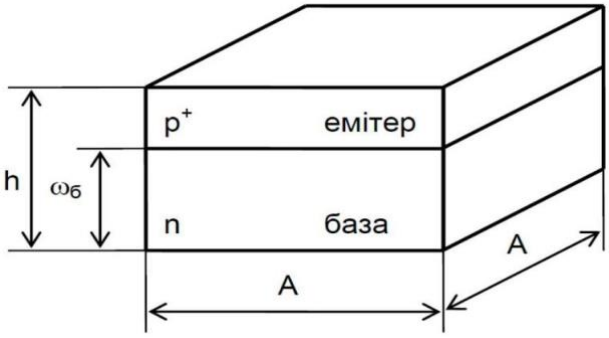


Рисунок 2.3 — Структура випрямляючого діода

Таблиця 2.3 – Початкові дані

A, см	h, см	ώб,см	$N_б$,$см^{-3}$	$N_е$,см-3	$\tau_б$,с	Rт,К/Вт
1	$300\cdot10^{-4}$	$240\cdot10^{-4}$	$4\cdot10^{15}$	$2\cdot10^{19}$	$10\cdot10^{-6}$	1,5

Окрім початкових даних в розрахунках використовуються наступні константи:

$q = 1{,}6\cdot10^{-19}$ — заряд електрона, Кл;

$\varepsilon_0 = 8{,}85\cdot10^{-14}$ — електрична постійна, Ф/см

$\varepsilon = 12$ — діелектрична проникність кремнію;

$k = 1{,}38\cdot10^{-23}$ — постійна Больцмана, Дж/К;

$n_i = 1{,}4\cdot10^{10}$ — власна концентрація носіїв заряду в кремнії, $см^{-3}$; $T_K = 300$ — температура корпусу діода, К;

$T_{max} = 413$ — максимальна температура кристала, К.

1) По графічних залежностях рухливості носіїв заряду від концентрації домішки при відомій концентрації домішки в базі діода $N_б$ визначаємо рухливість основних (електронів) і неосновних (дірок) носіїв заряду в базі:

- рухливість електронів по залежності $\mu_n = f(N)$ — μ_n=1290*см*^{2} *В*$^{-1}$ *с*$^{-1}$;
- рухливість дірок по залежності $\mu_p = f(N)$ — μ_p=460*см*^{2} *В*$^{-1}$ *с*$^{-1}$.

2) Питомий опір бази діода:

$$\rho_б = \frac{1}{q \cdot \mu_n \cdot N_б};$$

$$\rho_б = \frac{1}{1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 1290 \cdot 4 \cdot 10^{15}} = 1.21 \text{ Ом} \cdot \text{см}.$$

3) Площа p-n-переходу:

$$S_{p-n} = \text{А}^2 = 1^2 = 1\text{см}^2.$$

4) Опір бази діода:

$$R_{б0} = \rho_б \cdot \frac{\acute{\omega}_б}{S_{pn}};$$

$$R_{б0} = 1.21 \cdot \frac{240 \cdot 10^{-4}}{1} = 0.03 \text{ Ом}.$$

5) Тепловий потенціал:

$$\varphi_T = \frac{k \cdot T_k}{q};$$

$$\varphi_T = \frac{1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{1.6 \cdot 10^{-19}} = 0.026 \text{ В}.$$

6) Коефіцієнт дифузії дірок в базу діода залежить від рухливості дірок в базі і теплового потенціалу:

$$D_{\text{рб}} = \varphi_T \cdot \mu_{\text{р}};$$

$$D_{\text{рб}} = 0.026 \cdot 460 = 11.9 \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}.$$

7) Тепловий струм переходу:

$$I_{д0} = \frac{q \cdot n_i^2 \cdot S_{p-n} \cdot D_{рб}}{\omega_б \cdot N_б};$$

$$I_{д0} = \frac{1.6 \cdot 10^{-19} \cdot (1.4 \cdot 10^{10})^2 \cdot 1 \cdot 11.9}{240 \cdot 10^{-4} \cdot 4 \cdot 10^{15}} = 3.89 \cdot 10^{-12}\text{А}.$$

8) Робочу зворотну напругу діода можна визначити як 70% від напруги лавинного пробою цього діода, при цьому напруги тунельного пробою і проколу можна не розраховувати, оскільки вони істотно вищі.

Напругу лавинного пробою визначаємо по емпіричній формулі через питомий опір бази діода, знайдений раніше:

$$U_{лав} = 86 \cdot \rho_б^{0,64};$$

$$U_{лав} = 86 \cdot 1.21^{0,64} = 97.2\text{В}.$$

Тоді:

$$U_{звmax} = 0,7 \cdot U_{лав};$$

$$U_{звmax} = 0.7 \cdot 97.2 = 68.05\text{В}.$$

9) Контактна різниця потенціалів:

$$\varphi_k = \varphi_T \cdot \ln\left(\frac{N_е \cdot N_б}{n_i^2}\right);$$

$$\varphi_k = 0,026 * \ln\left(\frac{4 \cdot 10^{15} \cdot 2 \cdot 10^{19}}{(1.4 \cdot 10^{10})^2}\right) = 0.87\ B.$$

10) Товщина збідненого прошарку:

$$l = \sqrt{\frac{2 \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot (\varphi_k + |U_{звmax}|) \cdot (N_е + N_б)}{q \cdot N_е \cdot N_б}};$$

$$l = \sqrt{\frac{2 \cdot 12 \cdot 8,85 \cdot 10^{-14} \cdot (0.87 + 68.05) \cdot (2 \cdot 10^{19} + 4 \cdot 10^{15})}{1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 2 \cdot 10^{19} \cdot 4 \cdot 10^{15}}} = 5 \cdot 10^{-4}\text{см}.$$

11) Коефіцієнт лавинного множення носіїв заряду при максимальній зворотній напрузі на діоді (величина n для кремнію приймається рівною 5):

$$M = (1 - (\frac{U_{звmax}}{U_{лав}})^n)^{-1};$$

$$M = (1 - (\frac{68.05}{97.2})^5)^{-1} = 1.202.$$

Знаючи діапазон зміни зворотної напруги на діоді від 0 до $U_{звmax}$, можна побудувати графік залежності коефіцієнта лавинного множення від зворотної напруги за формулою:

$$M(U_{зв}) = (1 - (\frac{U_{зв}}{U_{лав}})^5)^{-1}.$$

Результати розрахунку наведено в таблиці 2.4, а характеристика на рисунку 2.4

Таблиця 2.4 – Залежність коефіцієнта лавинного множення від зворотної напруги

$U_{зв}$,В	0	6,805	13,61	20,415	27,22	34,025	40,83	47,635	54,44	61,245	68,05
M	1	1,000	1,000	1,000	1,002	1,005	1,013	1,029	1,058	1,110	1,202

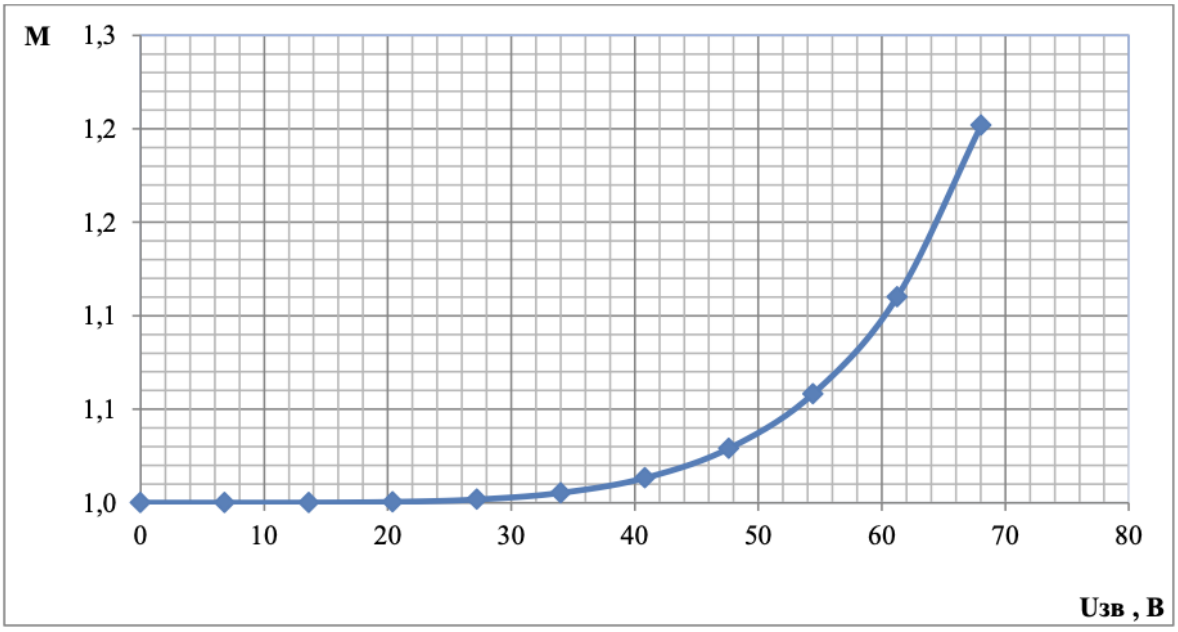


Рисунок 2.4 — Залежність коефіцієнта лавинного множення носіїв заряду від зворотної напруги

12) Генераційний струм переходу:

$$I_{\text{г}} = \frac{q \cdot S_{pn} \cdot l \cdot n_i}{2 \cdot \tau_{\text{б}}};$$

$$I_{\text{г}} = \frac{1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 1 \cdot 5 \cdot 10^{-4} \cdot 1.4 \cdot 10^{10}}{2 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} = 5.36 \cdot 10^{-8} A.$$

13) Зворотній струм діода при максимальній зворотній напрузі на діоді:

$$I_{\text{зв}} = M \cdot (I_{\text{д0}} + I_{\text{г}});$$

$$I_{\text{зв}} = 1.202 \cdot (3.89 \cdot 10^{-12} + 5.36 \cdot 10^{-8}) = 6.44 \cdot 10^{-8}\ A.$$

14) Дифузійна довжина нерівноважних носіїв заряду (дірок) в базі:

$$L_{\text{б}} = \sqrt{D_{\text{рб}} \cdot \tau_{\text{б}}};$$

$$L_{\text{б}} = \sqrt{11{,}9 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} = 0.0109 \text{ см}.$$

15) Відносна товщина бази:

$$\varpi_{\text{б}} = \frac{\omega_{\text{б}}}{L_{\text{б}}};$$

$$\varpi_{\text{б}} = \frac{240 \cdot 10^{-4}}{0.0109} = 2.20.$$

16) Співвідношення рухливостей електронів і дірок:

$$b = \frac{\mu_n}{\mu_p};$$

$$b = \frac{1290}{460} = 2.8.$$

17) Струм:

$$I_n = \frac{\varphi_t \cdot S_{pn}}{\rho_{\text{б}} \cdot b \cdot L_b \cdot \tanh(\varpi_{\text{б}})};$$

$$I_n = \frac{0.026 \cdot 1}{1{,}21 \cdot 2.8 \cdot 0.0109 \cdot \tanh(2.20)} = 0.71\ A.$$

18) Визначаємо максимальне значення прямого струму через діод $I_{прmax}$і максимальне пряме падіння напруги на діоді $U_{прmax}$. Ці величини знаходимо з умови рівності електричної потужності, визначуваної їх добутком, і теплової потужності, яка передається від кристала до корпусу діода.

Теплова потужність, яка може бути відведена від кристала, дорівнює:

$$P_{\text{тепл}} = \frac{T_{max} - T_k}{R_t};$$

$$P_{\text{тепл}} = \frac{413 - 300}{1.5} = 75.3 \text{ Вт}.$$

Таким чином, умова правильного розрахунку величин:

$$I_{\text{пр}max} \cdot U_{\text{пр}max} = P_{\text{тепл}}.$$

У даному прикладі розрахунку остання ітерація дає значення $I_{прmax}$=92.8 А.

Розрахунковий коефіцієнт:

$$k = \frac{I_{\text{пр}}}{I_n \cdot \sinh(\varpi)_{\text{б}}};$$

$$k = \frac{92.8}{0.71 \cdot \sinh(2.20)} = 577.9.$$

Опір бази:

$$R_{\text{б}} = \frac{R_{\text{б0}}}{\varpi_{\text{б}} \cdot \sqrt{1+k^2}} \cdot ln\left(\frac{e^{\varpi_{\text{б}}} \cdot \left(1+k+\sqrt{1+k^2}\right) + \left(1-k-\sqrt{1+k^2}\right)}{e^{\varpi_{\text{б}}} \cdot \left(1+k-\sqrt{1+k^2}\right) + \left(1-k+\sqrt{1+k^2}\right)}\right) = 0.0001 \text{ Ом}.$$

Пряме падіння напруги на діоді:

$$U_{\text{пр}}(I_{\text{пр}}) = \varphi_{\text{T}} \cdot ln\left(\frac{I_{\text{пр}}}{I_{\text{до}}} + 1\right) + R_{\text{б}}(I_{\text{пр}}) \cdot I_{\text{пр}};$$

$$U_{\text{пр}}(I_{\text{пр}}) = 0.026 \cdot ln\left(\frac{92.8}{3.89 \cdot 10^{-12}} + 1\right) + 0.0001 \cdot 92.8 = 0.81 \text{ В}.$$

Максимальне пряме падіння напруги на діоді:

$$U_{\text{пр}} = \varphi_T \cdot ln\left(\frac{I_{\text{пр}max}}{I_{\text{д0}}} + 1\right) + R_{\text{б}} \cdot I_{\text{пр}max} = 0.81 \text{ В}.$$

Перевірка умови рівності потужностей:

$$P_{\text{ел}} = I_{\text{пр}max} \cdot U_{\text{пр}max};$$

$$P_{\text{ел}} = 92.8 \cdot 0.81 = 75.3\text{Вт} \approx P_{\text{тепл}}.$$

Отже, робимо висновок про правильність розрахунків.

19) Щільність струму на p-n переході:

$$J_{pn} = \frac{I_{max}}{S_{pn}};$$

$$J_{pn} = \frac{92.8}{1} = 92.8 \frac{\text{А}}{\text{см}^2}.$$

20) Розраховуємо вольт-амперну характеристику діода.

$$U_{\text{пр}}(I_{\text{пр}}) = \varphi_t \cdot ln\left(\frac{I_{\text{пр}}}{I_{\text{д0}}} + 1\right) + R_{\text{б}}(I_{\text{пр}}) \cdot I_{\text{пр}}.$$

Результати розрахунків та характеристика наведені в таблиці 2.5,2.6, рисунок 2.5,2.6.

Таблиця 2.5 – Результати розрахунків прямої гілки ВАХ діода

Iпр,А	0	0,46	1,39	3,71	9,28	18,6	27,8	37,1	46,4	55,7	65,0	74,2	83,5	92,8
Uпр,В	0	0,66	0,69	0,72	0,75	0,77	0,78	0,79	0,79	0,80	0,80	0,81	0,81	0,81

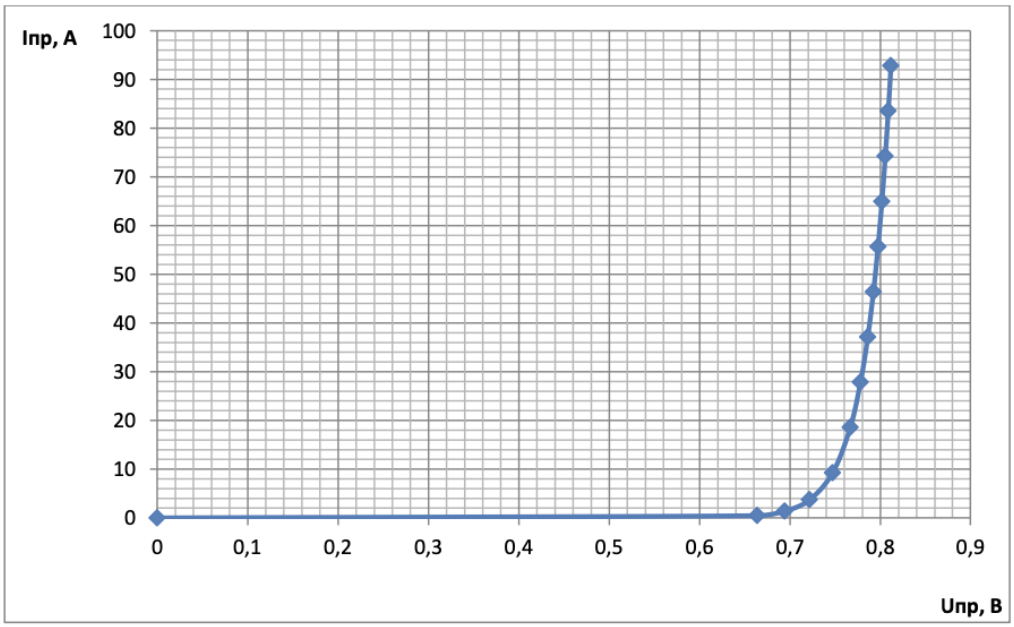


Рисунок 2.5 – Пряма гілка вольт-амперної характеристики діода

21) Розраховуємо зворотну гілку вольт-амперної характеристики діода. При цьому враховуємо, що генераційний струм і коефіцієнт лавинного множення, що використовується для розрахунку зворотного струму, не є постійними величинами, а залежить від зворотної напруги:

$$I_{зв}(U_{зв}) = \mathrm{M}(U_{зв}) \cdot \left(I_{д0} + I_{г}(U_{зв})\right);$$

$$I_{г}(U_{зв}) = \beta \cdot \sqrt{\varphi_k + U_{зв}};$$

$$M(U_{зв}) = (1 - (\frac{U_{зв}}{U_{лав}})^5)^{-1}.$$

Визначаємо розрахунковий коефіцієнт:

$$\beta = \frac{n_i \cdot S_{pn}}{\tau_б} \cdot \sqrt{\frac{q \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot (N_е + N_б)}{2 \cdot N_е \cdot N_б}};$$

$$\beta = \frac{1.4 \cdot 10^{10} \cdot 1}{10 \cdot 10^{-6}} \cdot \sqrt{\frac{1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 12 \cdot 8.85 \cdot 10^{-14} \cdot (2 \cdot 10^{19} + 4 \cdot 10^{15})}{2 \cdot 2 \cdot 10^{19} \cdot 4 \cdot 10^{15}}} =$$

$$= 6.45 \cdot 10^{-9}\ \mathrm{A} \cdot \mathrm{B}^{-\frac{1}{2}}.$$

Таблиця 2.6 – Залежність зворотного струму від зворотної наруги

Uзв,В	0	6,805	13,61	20,415	27,22	34,025	40,83	47,635	54,44	61,245	68,05
M	1	1,000002	1,00005	1,0004	1,002	1,005	1,013	1,029	1,058	1,110	1,202
Iг,A	6,02E-09	1,79E-08	2,46E-08	2,98E-08	3,42E-08	3,81E-08	4,17E-08	4,49E-08	4,80E-08	5,09E-08	5,36E-08
Iзв,A	6,02E-09	1,79E-08	2,46E-08	2,98E-08	3,4263E-08	3,83E-08	4,22E-08	4,63E-08	5,08E-08	5,65E-08	6,44E-08

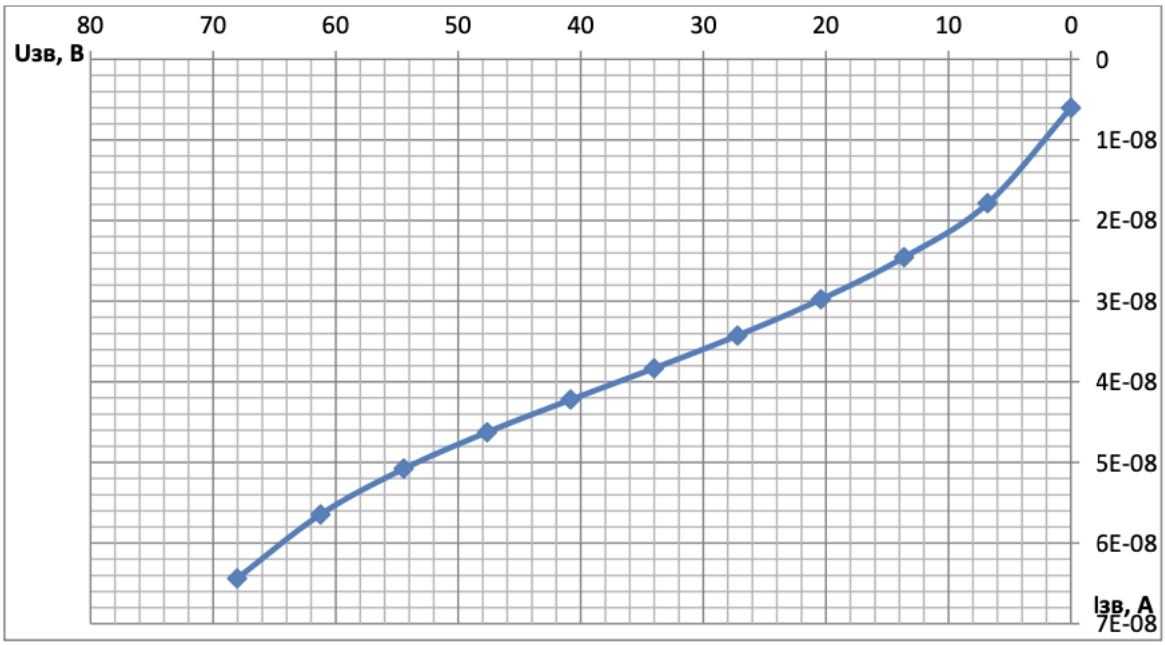


Рисунок 2.6 – Зворотна гілка ВАХ діода

Для розробки приладу обрано діод 1N4007.

2.2.5 Підсилювач напруги

Початкові дані для розрахунку підсилювача наведені в таблиці 2.7

Таблиця 2.8 – Початкові дані для розрахунку підсилювача

Найменування параметра	Величина
Коефіцієнт підсилення $К_U$, не менш	34
Вихідна напруга	7В
Опір навантаження підсилювача	1.7 кОм
Ємність навантаження підсилювача	25 пФ
Нижня гранична частота	20 Гц
Верхня гранична частота	$2 \cdot 10^4$ Гц
Вхідний опір підсилювача	2.9 кОм
Робочий діапазон температури	0 – +35 °С

Визначаємо необхідну(мінімальну) кількість каскадів підсилювача низької частоти. Для цього коефіцієнт посилення заданий у вихідних даних переводимо в децибели (57раз = 35.12dB) і визначаємо кількість каскадів підсилювача:

$$К, dB = 20\lg K_U = 20\lg 34 = 30.6\ dB,$$

$$n = \frac{K, dB}{20} = \frac{30.6 dB}{20 dB} = 1.53.$$

Приймається кількість каскадів рівне двом.

Розподіляємо величину частотних спотворень між каскадами (МК) вважаючи що величина спотворень розподіляється між каскадами рівномірно.

$$М_К = \frac{М_\Sigma}{n} = \frac{3 dB}{2} = 1.5\ dB;$$

де $М_\Sigma$ - величина частотних спотворень всього підсилювача яка становить 3dB.

Розрахунок параметрів кінцевого каскаду

Схема для дослідження кінцевого каскаду приведена на рисунку 2.7.

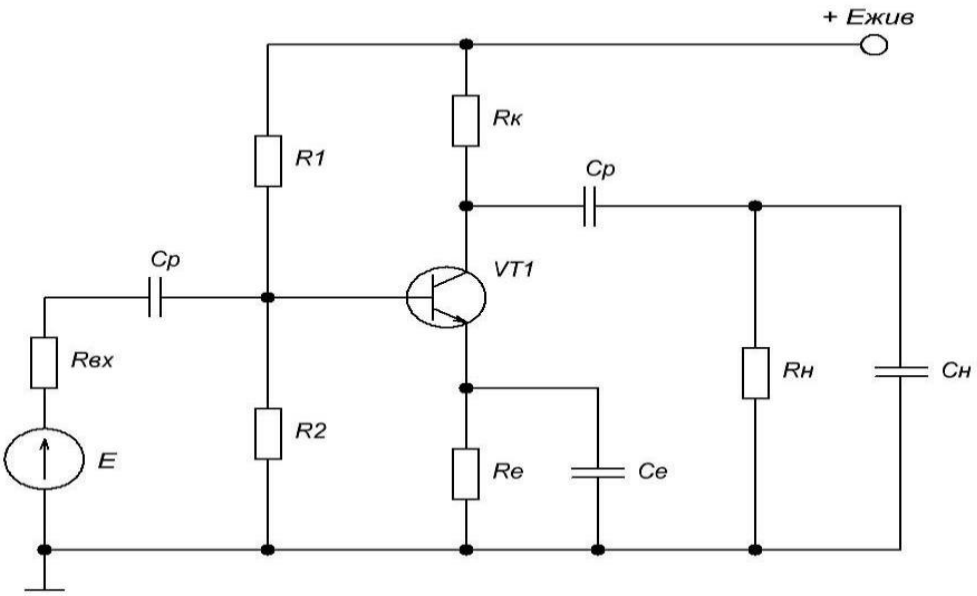


Рисунок 2.7 – Схема електрична принципова кінцевого каскаду

Задаючи величину напруги транзистора $U_{КЕНАС}$=1В і розраховуємо необхідну величину напруги джерела живлення для підсилювального пристрою.

$$E_К \approx 1.5 \cdot 2\sqrt{2} \cdot U_{вих} \approx 1.5 \cdot 2\sqrt{2} \cdot 7В \approx 29.7\ В.$$

Напруга джерела живлення має відповідати рекомендованому ряду:

$$E_К = (5; 6; 6.3; 9; 10; 12; 12.6; 15; 20; 24; 27; 30; 36)В.$$

Вибираємо величину напруги джерела живлення яка дорівнює 30 вольт. Задаємось опором у ланцюзі колектору:

$$R_K = (2 \dots 3)R_H = 2 * 1.7кОм = 3{,}74\ кОм\ .$$

Опір резистора в ланцюзі колектору кінцевого каскаду приймається рівним 3900 Ом. В якості резистора $R_К$ застосовуємо резистор С2-23-0.25Вт-3900Ом±10%.

Задаємо падіння напруги на Re:

$$U_{Re} = 0.25E_K = 0.25 \cdot 30В = 7.5\ В.$$

Визначаємо еквівалентний опір навантаження:

$$R_{\text{екв}} = \frac{R_H R_K}{R_H + R_K} = \frac{1700 \cdot 3900}{1700 + 3900} = 1184 \text{ Ом.}$$

Визначаємо необхідну значення струму спокою колектору в робочій точці (плюс 10%-й запас з урахуванням можливого його термічної нестабільності):

$$I_{\text{К0}} \geq \frac{1.1\, U_{\text{вих}}}{R_{\text{екв}}} = \frac{1.1 \cdot 7}{1184} = 0.006 \text{ А.}$$

Напруга колектор-емітер в робочій точці визначається за формулою:

$$U_{\text{КЕ}} \geq U_{\text{вих}} + U_H \geq 7\text{В} + 1\text{В} = 8 \text{ В;}$$

де $U_{\text{Н}}$ – напруга насичення транзистора.

Розраховуємо величину потужності ,що розсіюється на колекторі транзистора в точці спокою6

$$\text{P}_{\text{К}} = U_{\text{КЕ}} \cdot I_{\text{К0}} = 8 \cdot 0.006 = 0.048 \text{ Вт.}$$

Постійна потужність, що розсіюється на колекторі, не повинна перевищувати граничного значення, взятого з довідкових даних на транзистор.

Розраховуємо розмах імпульсу струму в навантаженні:

$$I_{H\,max} = \frac{2.82 \cdot U_{\text{вих}}}{R_H} = \frac{2.82 \cdot 7}{1700} = 0.0116 \text{ А.}$$

Знаючи напругу живлення підсилювача і максимальний струм, що протікає через навантаження, виберемо транзистори для вихідного каскаду за наступними умовами:

$$I_{K\,\max\,\text{доп}} \geq 1.5 \cdot I_{H\,max} \geq 1.5 \cdot 0.0116 \geq \quad 0.0174\ \text{А},$$

$$U_{KE_{max}} \geq 2 \cdot E_K \geq 2 \cdot 30 \geq 60\ \text{В},$$

$$P_{K_{max}} \geq 2 \cdot P_K \geq 2 \cdot 0.048 \geq 0.096\ \text{Вт},$$

$$f_\text{г} \geq f_\text{в} \geq 20\text{кГц}.$$

Для побудови кінцевого каскаду проектованого підсилювача низької частоти найбільш підходить за параметрами транзистор КТ315И має такі параметри:

$U_{кемах}$ – максимально допустима напруга колектор-емітер – 50В

$I_{кмах}$ – максимально допустимий постійний струм колектору – 50мА

$P_{кмах}$ – постійна потужність колектору, мВт не більше –100

h_{21e} – статичний коефіцієнт передачі струму в схемі із загальним емітером, ≥30

$I_{кбо}$ – зворотний струм колектору – 0.001мА

$\tau_{ос}$ – постійна часу ланцюга колектору– 950пС

$C_К$ – постійна часу ланцюга колектору – 10пФ

$T_{кмах}$ – максимальна температура переходу – 120°С

Визначаємо параметри вибраних транзисторів на основі довідкових даних таким чином:

опір бази транзистора:

$$R_б = \frac{\tau_{ос}}{C_К} = \frac{950\text{пС}}{10\text{пФ}} = 95\ \text{Ом},$$

де $\tau_{ос}$ – постійна часу ланцюга внутрішнього зворотного зв’язку в транзисторі на високих частотах (950пС);46

опір емітера транзистора:

$$R_e = \frac{25.6}{Ie} = \frac{25.6}{20\text{мА}} = 1.28\ \text{Ом},$$

коефіцієнт передачі по струму транзистора в схемі із ЗБ:

$$\alpha = \frac{H_{21e}}{(1 + H_{21e})} = \frac{30}{(1 + 30)} = 0.968,$$

де H_{21E} - низькочастотне значення коефіцієнта передачі по струму транзистора з ЗЕ.

За параметрами еквівалентної схеми біполярного транзистора визначимо його низькочастотне значення крутизни S0:

$$S_0 = \frac{H_{21e}}{(1 + H_{21e}) \cdot (r_б + r_e + \Delta r)} = \frac{30}{(1 + 30) \cdot (95 + 1.28 + 1)} = 9.948 \text{ мА/В},$$

Знаходимо величину вхідної провідності транзистора:

$$Y_{11e} = \frac{1 - \alpha}{r_б + r_e + \Delta r} = \frac{1 - 0.968}{95 + 1.28 + 1} = 3.29 \cdot 10^{-4} \text{См}.$$

Проводимо побудову прямої, навантаження підсилювального каскаду.

Для чого визначаємо дві характерні її точки. При закритому транзисторі характерна точка прямої, навантаження, має параметри $I_K = 0$ і $U_K = E_Ж = 30$В. При відкритому транзисторі характерна точка прямої, навантаження, має параметри $U_K = U_{Hi}$:

$$I_К = \frac{E_П}{R_{К1}} = \frac{30В}{3900 \text{ Ом}} = 8 \text{ мА}.$$

Вольт-амперні характеристики транзистора приведені на рис. 2.8 згідно яких параметри робочої точки наступні:

Напруга колектору $U_{К0} = 15$В,

- струм колектору $I_{К0} = 4$мА,
- струм бази $I_{Б0} = 0.1$мА,
- напруга база-емітер$U_{БЕ0} = 0.48$В.

Розраховуємо потужність. яка розсіюється на колекторі транзистора в робочій точці:

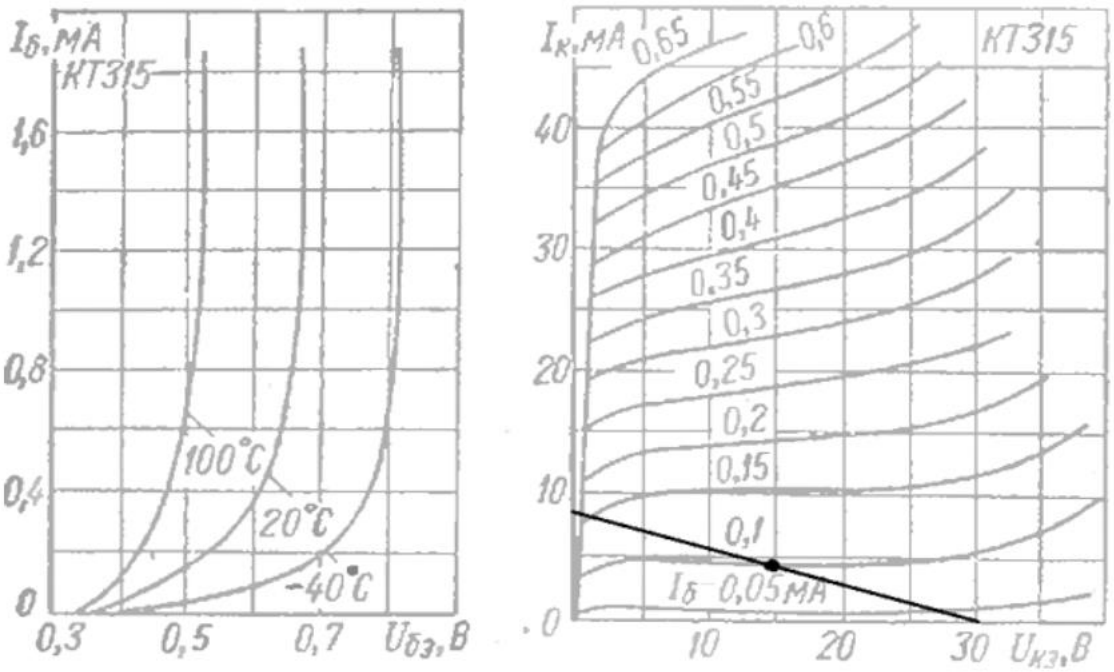


Рисунок 2.8 – Вольт-амперні характеристики транзистора з прямими навантаженням [15].

$$P_{K1} = U_{K0} \cdot I_{K0} = 15\text{В} \cdot 4\text{мА} = 60\ \text{мВт}.$$

Потужність, яка розсіюється на колекторі транзистора не перевищує максимально-допустиму для цього транзистора.

Розраховуємо потужність, яка розсіюється на резисторі в колекторному ланцюзі (R_K) в робочій точці:

$$P_{RK1} = I_{K0}^2 \cdot R_{K1} = 4^2\text{мА} \cdot 3900\ \text{Ом} = 62\text{мВт}.$$

Визначаємо величину резистора (R_{E1}) в ланцюзі емітера транзистораVT2:

$$R_{E1} = \frac{0.2E_{\text{Ж}}}{I_{K0}} = \frac{0.2 \cdot 30\text{В}}{4\text{мА}} = 1500\ \text{Ом}.$$

Розраховуємо потужність розсіювань резистора R_E:

$$P_{RE1} = I_{K0}^2 \cdot R_{\text{E1}} = 4^2\text{мА} \cdot 1500\ \text{Ом} = 24\ \text{мВт}.$$

В якості резистора R_{E1} застосовуємо резистор С2-23-0.125Вт- 1500Ом±5%.

Визначаємо величину опору резистора в ланцюзі емітера з урахуванням, що каскад буде працювати в заданому інтервалі температур і параметри робочої точки (зокрема I_{K0}) не будуть змінюватися більш, ніж 10%.

$$R_E \geq \frac{\gamma \Delta T}{0.1 I_{K0}} \geq \frac{2.5\text{мВ} \cdot 50°\text{C}}{0.1 \cdot 4\text{мА}} \geq 312.5\ \text{Ом},$$

де γ = 2.5мВ/°С, ΔТ – інтервал робочих температур (50°С).

З даного розрахунку можна зробити висновок, що номінал резистора в ланцюзі емітера обраний правильно і каскад буде нормально функціонувати в заданому інтервалі температур.

Розрахуємо величину резистора ($R_{б4}$) дільника в ланцюзі для зсуву робочої точки транзистора VT26

$$Rб4 = \frac{I_{K0} \cdot R_E + U_{БЕ}}{3 I_Б} = \frac{4\text{мА} \cdot 1500\text{Ом} + 0.48\text{В}}{3 \cdot 0.1\text{мА}} = 21.6\ \text{кОм}.$$

Розрахуємо потужність розсіювань резистора R_2:

$$P_{R2} = 3{I_Б}^2 \cdot Rб4 = (3 \cdot 0.1\text{мА})^2 \cdot 21.6\text{кОм} = 2\text{мВт}.$$

В якості резистора $R_{б4}$ застосовуємо резистор С2-23-0.125Вт- 22кОм±5%.

Розраховуємо величину резистора ($R_{б3}$) дільника в ланцюзі для зсуву робочої точка транзистора VT2:

$$Rб3 = \frac{E_П - (I_{K0} \cdot R_E + U_{БЕ})}{3 I_Б} = \frac{30 - (4\text{мА} \cdot 1500\text{Ом} + 0.48\text{В})}{3 \cdot 0.1\text{мА}} = 78.4\text{кОм}.$$

Розрахуємо потужність розсіювань резистора R_1:

$$P_{R1} = 3{I_Б}^2 \cdot Rб3 = (3 \cdot 0.1\text{мА})^2 \cdot 78.4 = 7\text{мВт}.$$

В якості резистор $R_{б3}$ застосовуємо резистор С2-23-0.125Вт- 82кОм±5%.

Розподілимо величину частотних спотворень, що приходяться на кінцевий каскад на окремі його елементи (розділові і блокувальні конденсатори)

припускаючи, що дані спотворення розподіляються порівну між вказаними ланцюгами.

$$M_{\text{пр}} = M_{\text{нб}} = \frac{M_{\text{ні}}^2}{2} = \frac{1.5dB}{2} = 75dB = 1.09 \text{ раз.}$$

Визначимо необхідну значення постійної часу для розділових і блокувальних ланцюгів підсилювача з наступних співвідношень:

$$\tau_{\text{н}} = \frac{1}{2\pi f_{\text{н}}\sqrt{M_{\text{пр}}^2 - 1}} = \frac{1}{2\pi \cdot 20\sqrt{1.09^2 - 1}} = 0.018 \text{ с,}$$

де $M_{\text{пр}}$ – частка частотних спотворень в області НЧ, розподілених на розділовій й блокувальні ланцюга.

Визначимо величину ємності конденсатора блокіровки (ЗЕ) в ланцюзі емітера транзистора VT2

$$C_{\text{БЕ}} \geq \tau_{\text{н}} \cdot S_0 \geq 0.018\text{с} \cdot 9.948\text{мА/В} \geq 179\text{мкФ.}$$

В якості конденсатора $C_{БЕ}$ застосовуємо конденсатор К50-33-6.3В-180мкФ.

Визначимо величину ємності розділового конденсатора ($C_{РН}$) в ланцюзі навтаження:

$$C_{\text{РН}} \geq \frac{\tau_{\text{н}}}{R_K + R_H} \geq \frac{0.018\text{с}}{3900 \text{ Ом} + 1700 \text{ Ом}} \geq 3{,}21\text{мкФ.}$$

В якості конденсатора СРН застосовуємо конденсатор К50-33-25В-3.3мкФ.

Розрахуємо вхідний опір каскаду по змінному струму:

$$R_{\text{ВХ}} = \frac{R_2}{(1 + Y_{11\text{E}} \cdot R_2)} = \frac{22\text{кОм}}{1 + 3.29 \cdot 10^{-4}\text{См} \cdot 22\text{кОм}} = 2.67\text{кОм.}$$

Розрахуємо величину коефіцієнта підсилення каскаду виконаного на транзисторі VT2:

$$K_U = S_0 \cdot R_{\text{екв}} = 9.948\text{мА/В} \cdot 1{,}184\text{кОм} = 12 \text{ раз,}$$

$$K_U = 20\lg(12) = 21{,}583\ dB.$$

Розрахуємо величину вхідної напруги підсилювального каскаду:

$$U_{\text{ВХ}} = \frac{U_{\text{ВИХ}}}{K_U} = \frac{7\text{В}}{21{,}583} = 0.324\text{В}.$$

Для підтвердження правильності виконаних розрахунків проводимо моделювання і визначення основних параметрів розрахованого каскаду в середовищі ElectronicWorkbench.

Принципова схема моделі каскаду приведена на рисунку 2.8. Амплітудно-частотна характеристика модельованого каскаду приведена на рисунку 2.11. Згідно приведеного рисунка коефіцієнт підсилення каскаду складає 25dB, нижня межа пропускання дорівнює 30 Гц, а верхня межа смуги пропускання складає 2,3 МГц.

Схема для дослідження каскаду попереднього підсилення приведена на рисунку 2.10.

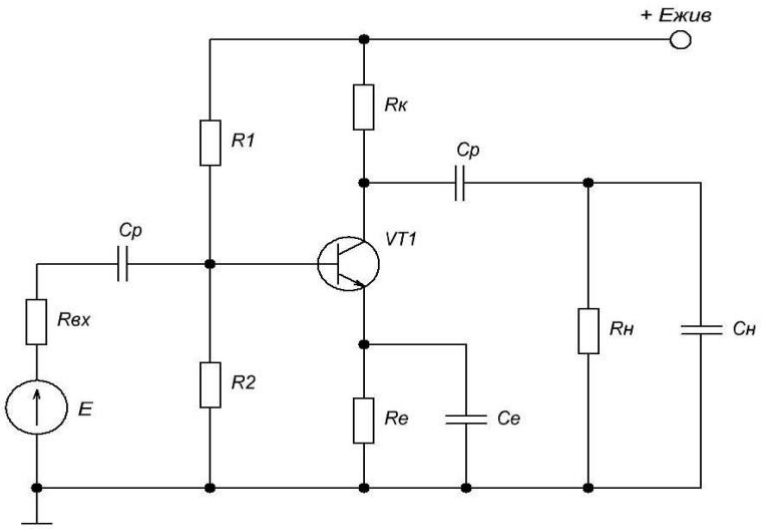


Рисунок 2.10 – Схема електрична принципова моделі каскаду

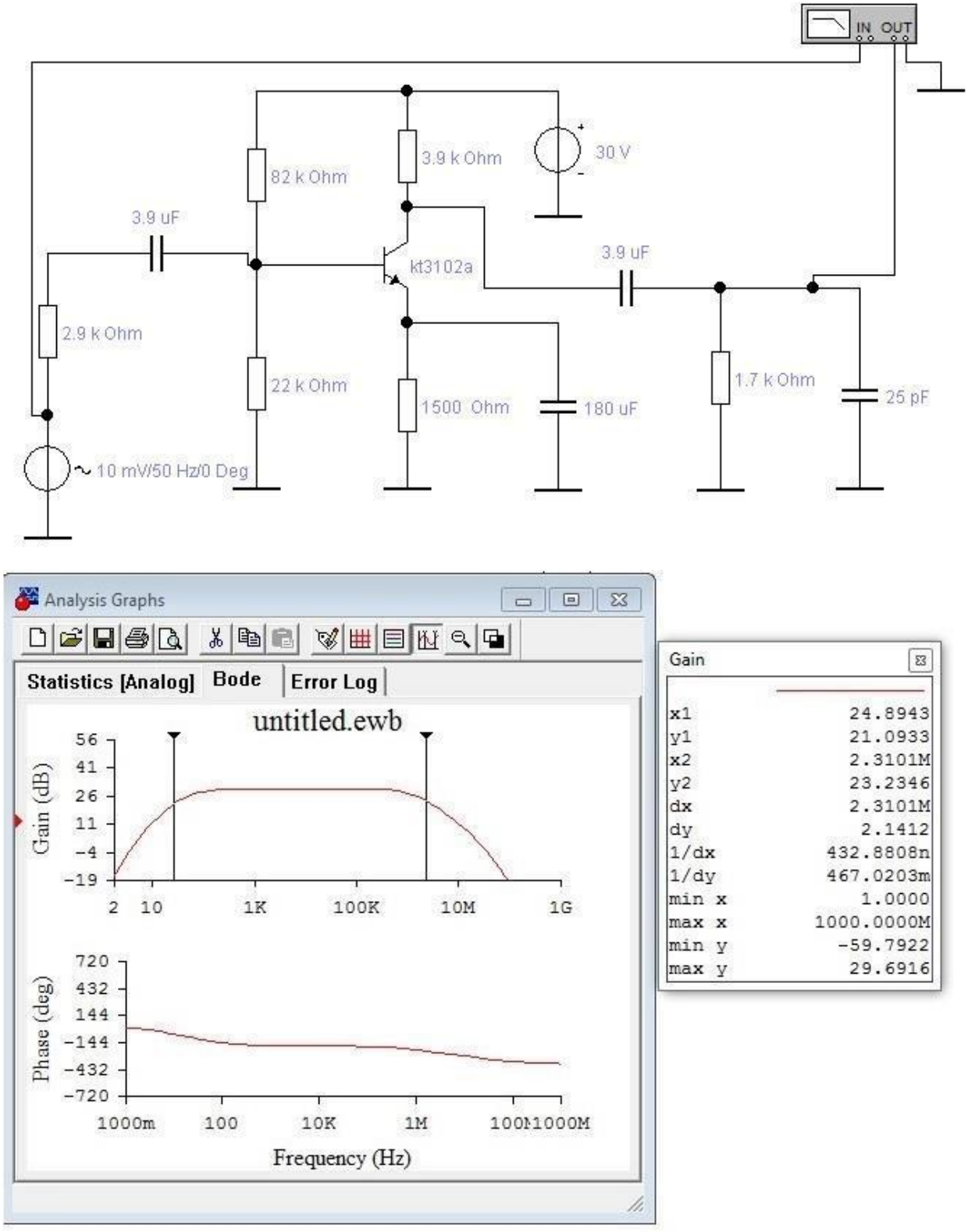


Рисунок 2.11 – Схема електрична принципова моделі каскаду

Визначено необхідну величину напруги джерела живлення для підсилювального каскаду:

$$E_К \approx 1.5 \cdot 2\sqrt{2} \cdot U_{вих} \approx 1.5 \cdot 2\sqrt{2} \cdot 0.324В \approx 1.374\ В.$$

Вибираємо величину напруги джерела живлення рівної 5В.

Задаємся опором у ланцюзі колектору:

$$R_K = 0.5R_H = 0.5 \cdot 2.67кОм = 1.33кОм.$$

Опір резистора в ланцюзі колектору каскаду попереднього підсилення приймається рівним 1,5кОм. В якості резистора RК застосовуємо резистор С2-23-0.125Вт-1.5кОм±10%.

Задаємся падінням напруги на $R_е$:

$$U_{Re} = 0.25E_K = 0.25 \cdot 5В = 1.25\ В.$$

Визначаємо еквівалентний опір навантаження:

$$R_{екв} = \frac{R_{вх}R_K}{R_{вх} + R_K} = \frac{2.67кОм \cdot 1.5кОм}{2.67кОм + 1.5кОм} = 0.96кОм.$$

Визначаємо необхідну значення струму спокою колектору в робочій точці:

$$I_{К0} \geq \frac{1.1\ U_{вих}}{R_{екв}} = \frac{1.1 \cdot 0.324В}{0.96кОм} = 0.37мА.$$

Напруга колектор-емітер в робочій точці визначається за формулою:

$$U_{К0} \geq U_{вих} + U_H \geq 0.324В + 1В = 1.324В;$$

де $U_Н$ – напруга насичення транзистора. Приймається значення напруги $U_{К0}$ яке дорівнює 1.5В.

Розраховуємо величину потужності що розсіюється на колекторі транзистора в точці спокою:

$$P_К = U_{К0} \cdot I_{К0} = 1.5В \cdot 0.37мА = 0.555\ мВт.$$

Постійна потужність, що розсіюється на колекторі, не повинна перевищувати граничного значення, взятого з довідкових даних на транзистор.

Розраховуємо розмах імпульсу струму в навантаженні:

$$I_{H\,max} = \frac{2.82 \cdot U_{\text{вих}}}{R_{\text{вх}}} = \frac{2.82 \cdot 0.324\text{В}}{2.67\text{кОм}} = 0.34\text{мА}.$$

Для побудови каскаду попереднього підсилення проектованого підсилювача низької частоти також найбільш підходить за параметрами транзистор, параметри якого були визначені у розрахунку кінцевого каскаду. Проводимо побудову прямої, навантаження підсилювального каскаду.

Для чого визначаємо дві характерні її точки. При закритому транзисторі характерна точка прямої, навантаження, має $I_К = 0$ і $U_К = E_п = 5$В. При відкритому транзисторі характерна точка прямої, навантаження, має параметри $U_К = U_{Нi:}$

$$I_{\text{К}} = \frac{\text{E}_{\text{П}}}{R_{\text{К}}} = \frac{5\text{В}}{1.5\text{кОм}} = 3.3\text{мА}.$$

Вольт-амперні характеристики транзистора приведені на рис.2.12 згідно яких параметри робочої точки наступні :

Напруга колектору $U_{К0} = 2.5$В,

- струм колектору $I_{К0} = 2$мА,
- струм бази $I_{Б0} = 0.05$мА,
- напруга база-емітер$U_{БЕ0} = 0.38$В.

Розраховуємо потужність, яка розсіюється на колекторі транзистора в робочій точці:

$$P_K = U_{K0} \cdot I_{K0} = 2.5\text{В} \cdot 2\text{мА} = 5\text{мВт}.$$

-

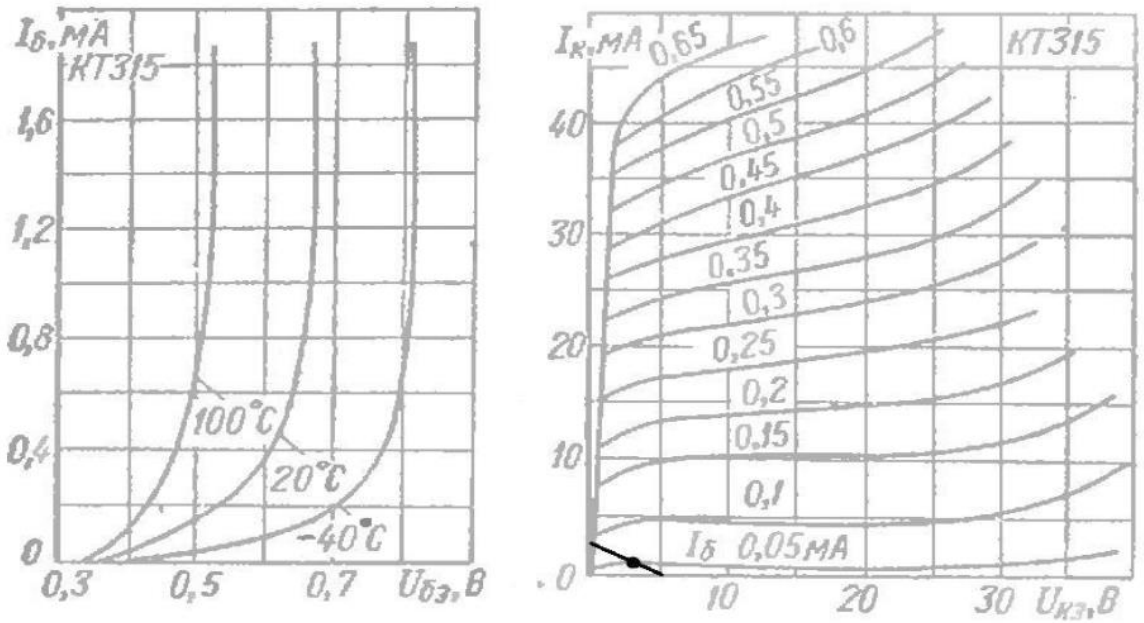


Рисунок 2.12 – Вольт-амперні характеристики транзисторів з прямими навантаження

Потужність яка розсіюється на колекторі транзистора не перевищує максимально-допустиму для цього транзистора.55

Розраховуємо потужність яка розсіюється на резисторі в колекторному ланцюзі (R_K) в робочій точці:

$$P_{RK} = I_{K0}^2 \cdot R_K = 2^2\text{мА} \cdot 1.5\text{кОм} = 6\text{мВт}.$$

Визначаємо величину резистора (RE) в ланцюзі емітера транзистора VT2:

$$R_E = \frac{0.2E_\text{П}}{I_{K0}} = \frac{0.2 \cdot 5\text{В}}{2\text{мА}} = 500\ \text{Ом}.$$

Розраховуємо потужність розсіювань резистора RE:

$$P_{RE} = I_{K0}^2 \cdot R_E = 2^2\text{мА} \cdot 500\ \text{Ом} = 2\ \text{мВт}.$$

Визначаємо величину опору резистора в ланцюзі емітера з урахуванням, що каскад буде працювати в заданому інтервалі температур і параметри робочої точки (зокрема IK0) не будуть змінюватися більш ніж 10%.

$$R_E \geq \frac{\gamma \Delta T}{0.1 I_{K0}} \geq \frac{2.5 \cdot 50}{0.1 \cdot 2\text{мА}} \geq 625\ \text{Ом},$$

де γ = 2.5мВ/°С, ΔТ – інтервал робочих температур (50°С).

З даного розрахунку можна зробити висновок, що номінал резистора в ланцюзі емітера обраний неправильно і для нормальної роботи каскаду його необхідно збільшити.

В якості резистора R_E застосовуємо резистор С2-23-0.125Вт-680Ом±10%.

Розрахуємо величину резистора ($R_{б2}$) дільника в ланцюзі для зсуву робочої точки транзистора VT2:

$$Rб2 = \frac{I_{K0} \cdot R_E + U_{БЕ}}{10 I_Б} = \frac{2\text{мА} \cdot 680\ \text{Ом} + 0.38\text{В}}{10 \cdot 0.05\text{мА}} = 27{,}2\ \text{кОм}.$$

В якості резистора $R_{б2}$ застосовуємо резистор С2-23-0.125Вт-27кОм±10%.

Розраховуємо величину резистора ($R_{б1}$) дільника в ланцюзі для зсуву робочої точка транзистора VT2:

$$Rб1 = \frac{E_П - (I_{K0} \cdot R_E + U_{БЕ})}{10 I_Б} = \frac{5\text{В} - (2\text{мА} \cdot 680\ \text{Ом} + 0.38\text{В})}{10 \cdot 0.05\text{мА}} = 27\ \text{кОм}.$$

В якості резистора Rб1 застосовуємо резистор С2-23-0.125Вт-27кОм±10%.

Розподілимо величину частотних спотворень що приходяться на каскад попереднього підсилення на окремі його елементи (розділові і блокувальні конденсатори) припускаючи що дані спотворення розподіляються порівну між вказаними ланцюгами.

$$M_{пр} = M_{нб} = \frac{M_{ні}^2}{2} = \frac{1.5dB}{2} = 0.75dB = 1.09\ \text{раз}.$$

Визначимо необхідну значення постійної часу для розділових і блокувальних ланцюгів підсилювача з наступних співвідношень:

$$\tau_н = \frac{1}{2\pi f_н \sqrt{M_{пр}^2 - 1}} = \frac{1}{2\pi \cdot 20\sqrt{1.09^2 - 1}} = 0.018\ \text{с},$$

де $M_{пр}$ – частка частотних спотворень в області НЧ, розподілених на розділовій й блокувальні ланцюга.

Визначимо величину ємності конденсатора блокіровки (CE) в ланцюзі емітера транзистора VT2:

$$C_{\text{E}} \geq \tau_{\text{н}} \cdot S_0 \geq 0.018 \cdot 9.484 \geq 179\text{мкФ}.$$

В якості конденсатора CE застосовуємо конденсатор К50-33-6.3В-180мкФ.

Визначимо величину ємності розділового конденсатора (C_{P1}):

$$C_{\text{P1}} \geq \frac{\tau_{\text{н}}}{R_K + R_H} \geq \frac{0.015}{1.5\text{кОм} + 2.67\text{кОм}} \geq 3.6\text{мкФ}.$$

В якості конденсатора CP1 застосовуємо конденсатор К50-33-25В-3.9мкФ.

Розрахуємо вхідний опір каскаду по змінному струму:

$$R_{\text{ВХ}} = \frac{R_2}{(1 + Y_{11\text{E}} \cdot R_2)} = \frac{22\text{кОм}}{1 + 3.29 \cdot 10^{-4} \cdot 22\text{кОм}} = 2.67\text{кОм}.$$

Розрахуємо величину коефіцієнта підсилення каскаду виконаного на транзисторі VT2:

$$K_U = S_0 \cdot R_{\text{екв}} = 9.948 \cdot 0.96\text{кОм} = \ 9.5 \text{ раз},$$
$$K_U = 20 \lg(9.5) = 20dB.$$

Розраховуємо величину вхідної напруги підсилювального каскаду:

$$U_{\text{ВХ}} = \frac{U_{\text{ВИХ}}}{K_U} = \frac{0.324}{9.5} = 34{,}1\text{В}.$$

Розрахуємо величину опору резистора $R_Ф$ та ємність конденсатора $C_Ф$ що утворюють ланку фільтру через яку живиться каскад попереднього підсилення.

$$R_{\Phi} = \frac{E_{K2} - E_{K1}}{I_{K0} + I_{д} + I_{б0}} = \frac{30В - 5В}{2мА} = 12.5кОм$$

$$C_{\Phi} = \frac{(10 \dots 20)}{2\pi f_{н} R_{\Phi}} = \frac{20}{2 \cdot 3.14 \cdot 20Гц \cdot 15кОм} = 10.6\ мкФ$$

В якості резистора RФ використаємо резистор С2-23-0.25Вт-15кОм±10% та в якості конденсатора СФ використаємо конденсатор К50-33-25В-10мкФ.

Для підтвердження правильності виконаних розрахунків проводимо моделювання і визначення основних параметрів розрахованого каскаду в середовищі ElectronicWorkbench.

Амплітудно-частотна характеристика модельованого пристрою приведена на рисунку 2.14. Згідно приведеного рисунка коефіцієнт підсилення каскаду складає 45 dB, нижня межа пропускання рівна 16 Гц, а верхня межа смуги пропускання складає 12 МГц [16].

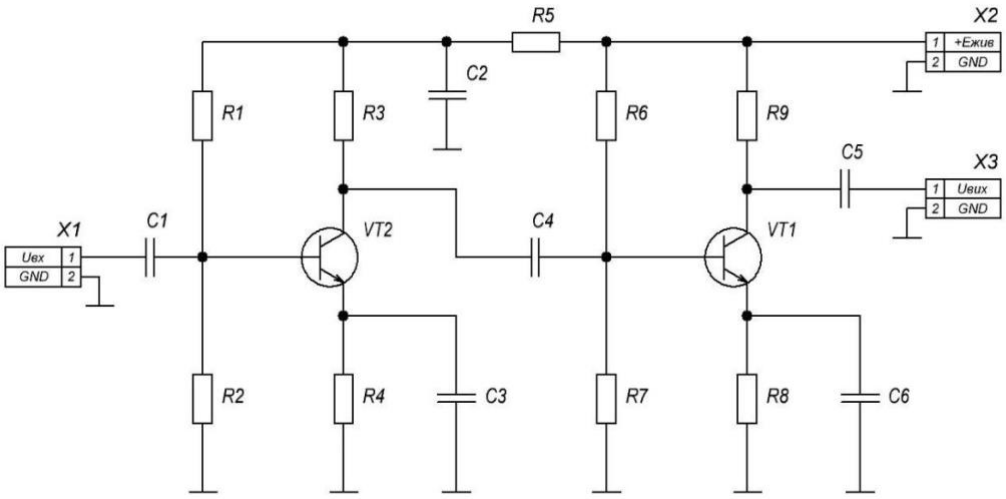


Рисунок 2.13 – Схема електрична принципова двокаскадного підсилювача низької частоти

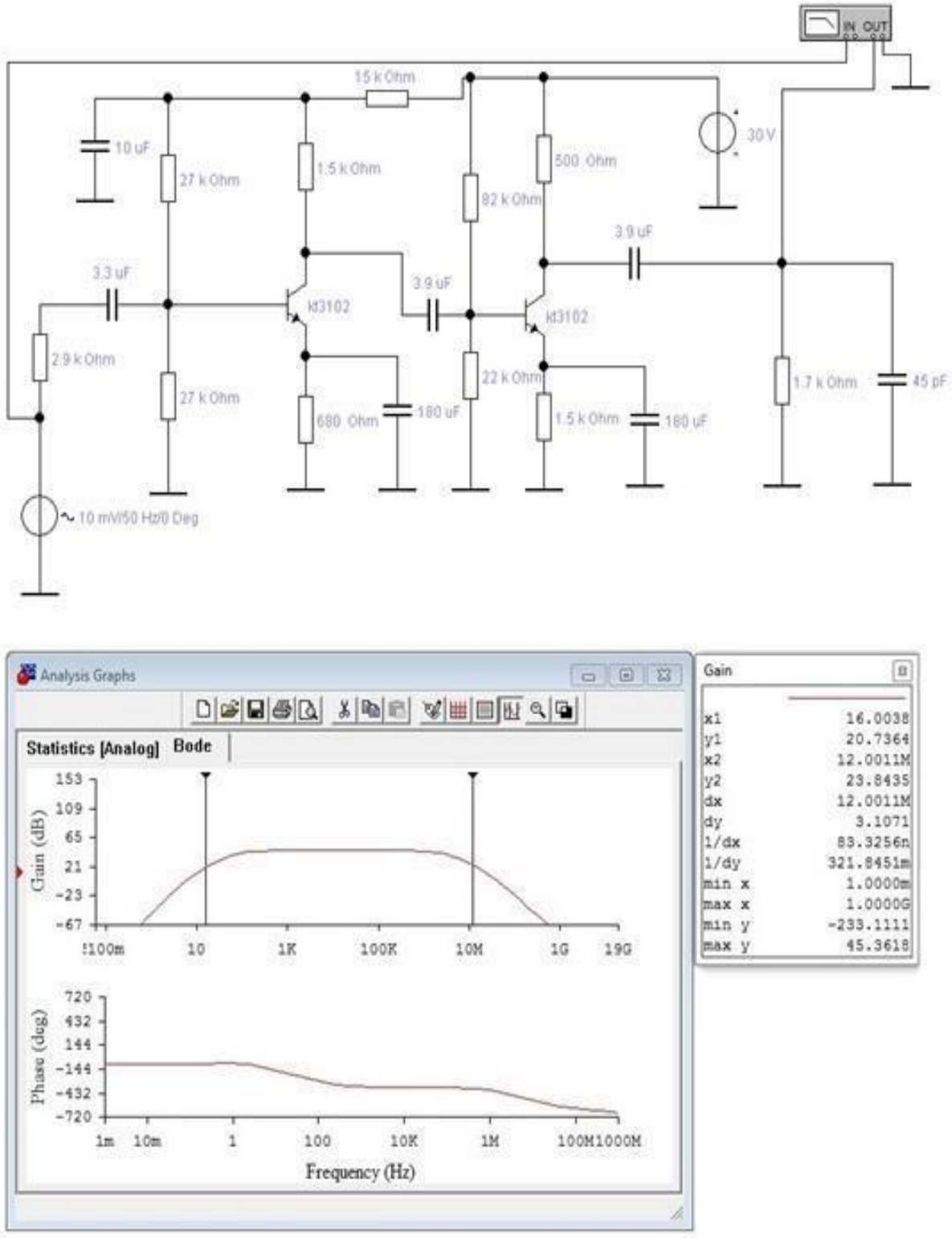


Рисунок 2.14 – Схема електрична принципова моделі каскаду

2.2.6 Важільний перемикач

Перемикачем є механічний пристрій, що замикає/який розмикає контактні групи при впливі на керуючий елемент (кнопка, тумблер) сили певної величини. Для побудови пристрою обрано SPDT-перемикач. Перевагу надано перемикачу SPDT 6A 125 V 3pin.



Рисунок 2.15 -Зовнішній вигляд перемикача

Технічні параметри:
Робоча напруга -220-250 V
Номінальний струм- 6 А
Кількість робочих положень-3
Робоча температура- -25°С -+85°С
Алгоритм роботи- ON-OFF-ON

Усі обрані та розраховані елементи об’єднаємо в схему електричну принципову.

2.3 Розробка схеми електричної принципової

Діод 1N4001 необхідно під’єднати до сонячної панелі, щоб захистити її й вхідний ланцюг від зворотної полярності і протіканню струму від батареї до батареї при паралельному включені. Далі під’єднаємо елементи до модулю

контролю заряду для захисту від короткого замикання, перезаряду і перерозряду літієвої батареї. Модуль контролю заряду оснащений USB-портом для під'єднання зовнішніх гаджетів. Стандартне значення USB напруги становить 5 В, а літій-іонні акумулятори, що використовуються а пристрої, мають напругу лише 3,7 В. Використовуємо підсилювач потужності, щоб збільшити напругу до рівня, необхідного для заряду пристроїв.

Схема електрична принципова мікроелектронного пристрою заряду акумуляторної батареї від сонячної панелі представлена на рис. 2.16.

2.4 Розрахунок теплових параметрів

В процесі роботи електронного пристрою температура нагріву його елементів не повинна перевищувати допустимих технічними умовами значень. При конструюванні необхідні температурні умови досягаються застосуванням відповідних умов охолодження і раціональною компоновкою при конструюванні.

Попередній вибір системи охолодження проводиться за допомогою графіків, що характеризують область доцільного застосування різних способів охолодження.

Оцінка проводиться на підставі даних по величині теплового потоку, що приходить на одиницю площі теплообміну за формулою:

$$p = \frac{P \cdot K_P}{S_n},$$

де Р - сумарна потужність, що розсіюється пристроєм;

K_p - коефіцієнт, що враховує тиск повітря (Кр = 1);

S_n- поверхня теплообміну, обумовлена геометричними розмірами корпусу електронного пристрою.

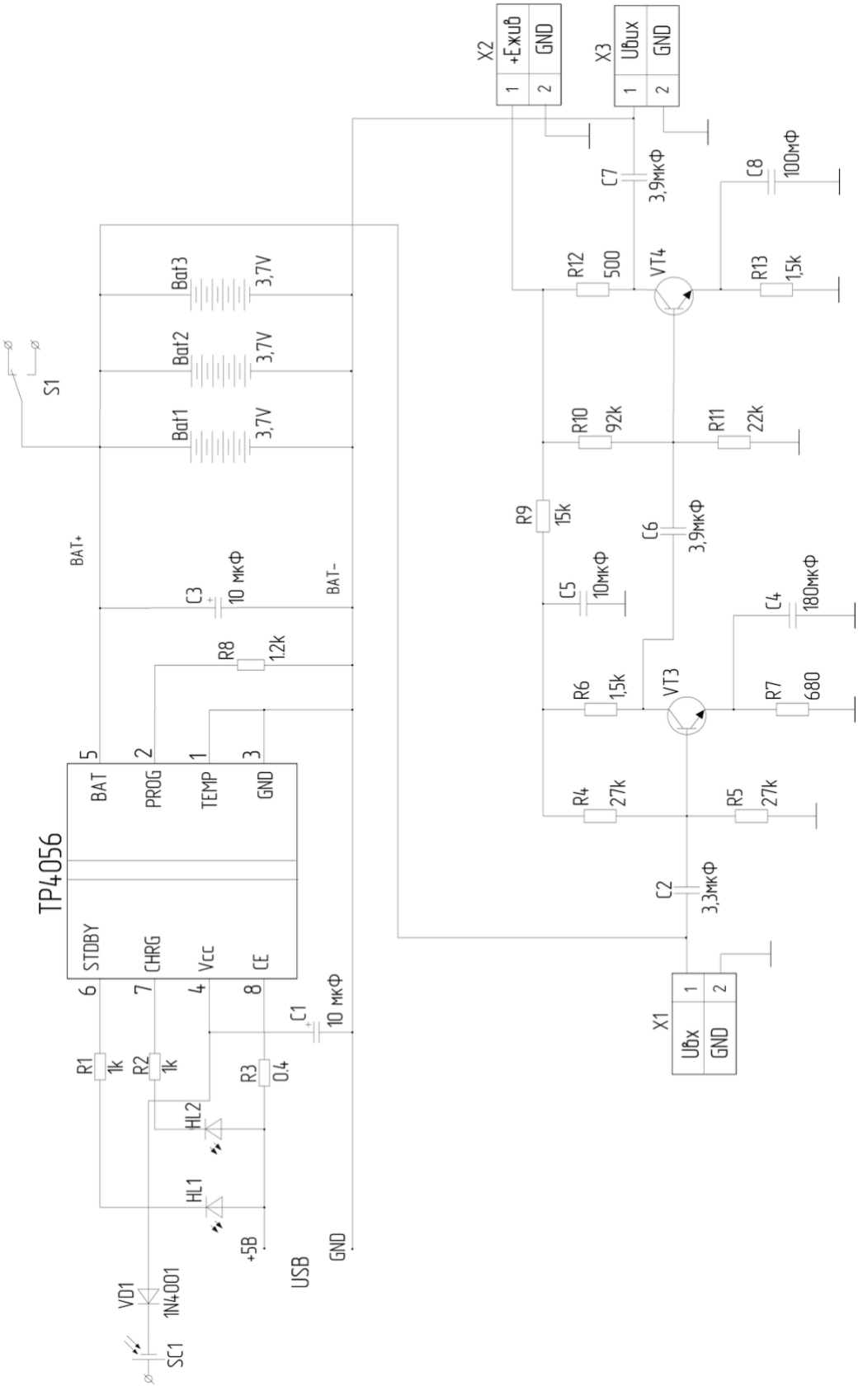


Рисунок 2.16 -Схема електрична принципова

Сумарну потужність, що розсіюється електронним пристроєм складається з тепловиділення всіх елементів. Вона розраховується за формулою:

$$P = \sum_{i=1}^{n} P_i \text{, Вт}$$

де P_i - потужність кожного елементу окремо з урахуванням коефіцієнта навантаження;

n - кількість тепловиділяючих елементів.

$$P = 0{,}5\ (0{,}23 + 0{,}04 + 0{,}39 + 0{,}185 + 0{,}45 + 0{,}1 + 0{,}11 + 0{,}3 + 1{,}3 + 3 + 1{,}3) = 3{,}7 \text{ Вт}$$

Корпус проектованого пристрою прямокутної форми приймемо, з урахуванням габаритів електронного функціонального вузла, буде мати такі розміри: 220 х 135 х 18 мм (0,22 х 0,135 х 0,018 м).

Коефіцієнт заповнення обсягу К3 = 0,6.

Поверхня теплообміну розраховується за формулою:

$$S_n = 2(l_1 \cdot l_2 + (l_1 + l_2) \cdot l_3 \cdot K_3), \text{м}^2,$$

де l_1, l_2, l_3 – геометричні розміри корпусу пристрою.

$$S_n = 2 \cdot (0{,}22 \cdot 0{,}135 + (0{,}22 + 0{,}135) \cdot 0{,}018) = 0{,}073 \text{ м}^2$$

Таким чином, величина теплового потоку на одиницю площі дорівнює:

$$P = \frac{3,7}{0,073} = 50,9\ {}^{\text{Вт}}/_{\text{м}^2},$$

$$\lg(p) = \lg(50,9) = 1,7.$$

Другим параметром оцінки є величина мінімально допустимого перегріву елементів пристрою. Ця величина визначається за формулою:

$$T_{\text{пер}} = \text{T}_{\text{тіп}} - \text{T}_{\text{с}}, °\text{C},$$

де T_{min} - допустима температура корпусу найменш термостійкого елемента, T_c - температура навколишнього середовища, T_c = 45 °С.

$$\text{T} = 85 - 45 = 40°\text{C}$$

Тож доцільно застосовувати природне охолодження та герметичний корпус.

2.5Розрахунок теплового режиму блоку в герметичному корпусі

Електронний пристрій -це складальна система з великою кількістю джерел тепла складної форми.

Найбільшого поширення набула модель електронного пристрою в герметичному або перфорованому корпусі, нагрітої зоною у вигляді тіла з ізотермічної поверхнею простої форми (паралелепіпед). Залежно від конструкції електронного пристрою в ньому можуть бути виділені не одна, а кілька нагрітих зон (наприклад, кожна з друкованих плат в блоці касетної конструкції може розглядатися як окрема нагріта зона).

Визначальними параметрами для розрахунку є питомі потужності розсіювання блоку пристрою в цілому $P_к$ і нагрітої зони P_3. Вони, відповідно дорівнюють:

$$P_k = \frac{P_0}{S_k}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2},$$

$$P_з = \frac{P_0}{S_з}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2},$$

де P_0 - розсіюється пристроєм потужність;

S_k - площа поверхні корпусу пристрою;

S_3 - умовна поверхню нагрітої зони.

У свою чергу площа поверхні корпусу пристрою і умовна поверхню нагрітої зони визначаються за формулою :

$$S_k = 2 * [l_1 * l_2 + (l_1 + l_2) * l_3],$$

$$S_3 = 2 * [l_1 * l_2 + (l_1 + l_2) * l_3 * k_3],$$

де l1, l2, l3 відповідно довжина, ширина нижньої частини пристрою і його висота. Нагріта зона запропонованого пристрою прямокутної форми з розмірами 220 х 135 х 18мм (0,22 х 0,135 х 0,018 м).

У загальному випадку перегрів корпусу герметичного електронного пристрою, що працює в нормальних кліматичних умовах в навколишньому середовищі, визначається залежністю:

$$и_k = 0.1472P_k - 0.2962 * 10^{-3}P_k^2 + 0.3127 * 10^{-6}P_k^3,$$

де $P_к$ питома потужність, Вт/м^2.

Перегрів нагрітої зони визначається аналогічної залежністю:

$$и_з = 0.1472P_з - 0.2962 * 10^{-3}P_з^2 + 0.3127 * 10^{-6}P_{з.}^3$$

Площа поверхні корпусу пристрою визначається за формулою:

$$S_k = 2 * [0.220 * 0.135 + (0.220 + 0.135) + 0.018] = 0.084\ \text{м}^2.$$

Питома потужність розсіювання блоку пристрою визначається за формулою:

$$P_k = \frac{3,7}{0.084}\frac{Вт}{м^2},$$

$$P_з = \frac{3,7}{0.073} = \frac{Вт}{м^2}.$$

Перегрів корпусу електронного пристрою, що працює в нормальних кліматичних умовах, по відношенню до навколишнього середовища визначається залежністю:

$$и_k = 0.1472 * 44.2 - 0.2962 * 10^{-3} * 44.2^2 + 0.3127 * 10^{-6} * 44.2^3 = 5.9^oC.$$

Перегрів повітря в пристрої визначається за формулою:

$$и_в = 0.5(и_k + и_з),$$

$$и_в = 0.5(6.7 + 5.9) = 6.3^oC.$$

Середня температура повітря в пристрої дорівнює за формулою:

$$T_в = и + T_c,$$

$$T_в = 6.3 + 45 = 51.3°C.$$

Температура корпусу пристрою дорівнює за формулою:

$$T_k = и_k + T_c,$$

$$T_k = 5.9 + 45 = 49.9°C.$$

де T_c - температура навколишнього середовища.

Температурний режим окремих теплонавантажених елементів залежить від питомої потужності, що розсіюється в нагрітій зоні:

$$P_{ел} = \frac{P_{ел}}{S_{ел}}, \frac{Вт}{м^2},$$

$$S_k = 2 * [l_1 * l_2 + (l_1 + l_2) * l_3].$$

Отже, аналіз існуючих пристроїв показав, що використання сонячної енергії дозволить зробити пристрій екологічно чистим та з незначними габаритними розмірами.

Пристрій оснащений полікристалічною сонячної панеллю, з напругою живлення 5 В та ККД 11,6%.

Роз’єм USB дозволяє під’єднати різні гаджети.

Енергія накопичується на трьох літій-іонних акумуляторах, за допомогою яких можна зарядити, наприклад, смартфон 2-3 рази.

Пристрій оснащений модулем контролю заряду, яким захищає від короткого замикання, перезаряду та перерозряду літій-іонний акакумулятор. В роботі розраховано допустиму температуру корпусу, яка дорівнює 49,9 °С та середню температуру повітря в корпусі – 51,3 °С

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

3.1 Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Розроблено пристрій заряду акумуляторної батареї з живленням від сонячної панелі. Пристрій має свої конструктивні і схемотехнічні особливості, які необхідно врахувати при монтажі та налагодженні, тому що в протилежному випадку він або його окрема частина на стадії складання і монтажу може вийти з ладу. Особливу увагу треба приділити шкідливим факторам при роботі, обслуговуванні і утилізації акумуляторних батарей, а також загальної небезпеки ураження електричним струмом.

Наявність потенційно небезпечних місць при роботі характеризується наступними факторами:

– термічні (вибухи при заряджені батарей, опіки кислотою, електролітом, розплавленим свинцем або мастикою);

– ураження електричним струмом;

– наявність в повітрі робочої зони шкідливих речовин (парів кислот, лугів, аерозолю свинцю і т.п.);

– неправильна ергономічна організація робочого місця, нераціональні зони розміщення обладнання по висоті від підлоги, по фронту від осі симетрії;

– недостатня освітленість робочої зони;

– шум від працюючих машин (комп’ютерів, робочих стендів). Шум діє на робітника протягом 70% робочого часу [17];

– рівень шуму в приміщенні протягом робочого дня непостійний;

– основним джерелом електромагнітного випромінювання приміщення є персональні комп'ютери з системними блоками і моніторами;

– іонізація повітря приміщення. Рівні позитивних і негативних аероіонів в повітрі приміщень повинні відповідати санітарно-епідеміологічним нормативам, що діють;

Джерела небезпечних та шкідливих чинників для інженера –електронщика:

Таблиця 3.1 – Максимально допустимий рівень шуму на робочому місці у виробничому приміщенні

Постійний вплив шуму на робочому місці у виробничому приміщенні	Максимально допустимий рівень шуму без використання ЗІЗ органів слуху, дБ, при частоті, Гц							Еквівалентні або загальні рівні шуму, дБА.
	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
до 8-ми годин	87	82	78	75	73	71	69	80
до 4-х годин	93	88	81	79	77	75	73	86

З таблиці 3.1 можна зазначити, що рівень шуму за 8-ми годинний робочий день досягає 80 дБА та за 4-х годинним – 86 дБА, при тому що норматив повинен бути не більше 70 дБА. Значить, робоче місце по показнику рівня шуму відноситься до класу праці – шкідливий [18].

Так як 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/м³.

3.2 Вимоги до виробничих та допоміжних приміщень

Вибір конструктивної схеми промислової будівлі в основному залежить від технологічного процесу, ступеня його пожежної безпеки, від умов

природного освітлення, аерації і проектованого кранового обладнання. При визначенні обсягу виробничого приміщення слід виходити з умови, що на кожного працюючого обсяг виробничого приміщення повинен становити не менше 13 $м^3$, а площа приміщення - не менше 4 $м^2$.

Мінімальна висота виробничих приміщень регламентована 3,2 м. При цьому висота приміщень від підлоги до низу виступаючих конструктивних елементів покриття або перекриття повинна бути не менше 2,6 м. Необхідна міцність зовнішньої стіни повинна бути забезпечена при її мінімальній об'ємній вазі і максимально можливому використанні теплоізоляційних якостей і міцності будівельних матеріалів. При цьому конструкція стіни повинна надавати стійкий опір атмосферним впливом.

Найважливішою якісною характеристикою стін є ступінь займистості і вогнестійкості.

В опалюваних приміщеннях конструкції стін і покриттів повинні мати теплоізоляцію, що виключає можливість утворення конденсату як в товщі самої конструкції, так і на внутрішніх поверхнях.

У виробничих приміщеннях матеріали, що застосовуються для влаштування підлог, повинні забезпечувати гладку і неслизьку поверхню, зручну для очищення; крім того, вони повинні задовольняти гігієнічним та експлуатаційним вимогам даного приміщення.

Матеріал підлог в опалювальних виробничих приміщеннях з підвищеними експлуатаційними вимогами і з довготривалим перебуванням людей на робочих місцях повинен мати коефіцієнт теплозасвоєння не більше 5,0 ккал/ $м^2$ час.град. Призначенням вікон є, крім освітлення, вентиляція та інсоляція приміщень. Форма, розташування і розміри вікон істотно впливають на інтенсивність і рівномірність освітлення. Для високих і глибоких приміщень є доцільним застосування вертикально розташованих світлових вікон. Горизонтально розташовані вікна рекомендується застосовувати в широких приміщеннях. Для провітрювання всі виробничі приміщення, крім приміщень з кондиціонуванням повітря, повинні мати, незалежно від наявності вентиляційних пристроїв, стулки

палітурок або інші пристрої. Ці пристрої, що відкриваються повинні бути обладнані легко керованими пристроями для їх відкривання і установки в потрібному положенні.

Щоб убезпечити виробництво робіт, пов'язаних з очищенням та ремонтом скління, стіни одноповерхових будівель, у яких верх засклених поверхонь знаходиться на висоті понад 10 метрів від рівня підлоги, а також ліхтарі з трьома і більше ярусами палітурок, повинні бути обладнані спеціальними пристроями.

Допоміжні приміщення різного призначення слід розміщувати в одній будівлі з виробничими приміщеннями або прибудовах до них у місцях з найменшим впливом шкідливих факторів, а якщо таке розміщення неможливе, то їх можна розміщувати і в окремих будівлях.

Висота поверхів окремих будівель, прибудов чи вбудов має бути не меншою 3,3 м, висота від підлоги до низу перекрить – 2,2 м, а у місцях нерегулярного переходу людей – 1,8 м. Висота допоміжних приміщень, що розміщені у виробничих будівлях, має бути не меншою 2,4 м.

Площа допоміжних приміщень має бути не меншою ніж 4 м^2 на одне робоче місце у кімнаті управлінь і 6 м^2– у конструкторських бюро; 0,9 м^2 на одне місце в залі нарад; 0,27 м^2 на одного співробітника у вестибюлях та гардеробних.

Раціональне колірне оформлення приміщення направлено на поліпшення санітарно-гігієнічних умов праці, підвищення її продуктивності та безпеки. Забарвлення приміщень впливає на нервову систему людини, його настрій 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 [19].

3.3 Заходи з поліпшення умов праці, виробнича санітарія

Для запобігання дещо підвищеної запиленості рекомендується встановлювати витяжні пристрої, а також проводити вологе прибирання приміщення лабораторного приміщення.

Температура, відносна вологість та швидкість руху повітря в приміщеннях є одними з провідних чинників [15].

Таблиця 3.2 – Допустимі величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень

Період року	Категорія робіт	Температура, °С				Відносна вологість (%) на робочіх місцях - постійних та непостійних	Швидкість руху (м/с) на робочіх місцях - постійних та непостійних
		Верхня межа		Нижня межа			
		На постійних робочіх місцях	На непостійних робочіх місцях	На постійних робочіх місцях	На непостійних робочіх місцях		
Холодний період року	Легка Іа	25	26	21	18	75	не більше 0,1
	Легка Іб	24	25	20	17	75	не більше 0,2
Теплий період року	Легка Іа	28	30	22	20	55 - при 28 °С	0,2-0,1
	Легка Іб	28	30	21	19	60 - при 27 °С	0,3-0,1

Для проведення більшості видів робіт найбільш раціональним є природне денне світло, так як він володіє на відміну від штучного біологічною активністю, тобто здатний активізувати біохімічні процеси в організмі людини, тонізувати його, пригнічувати патогенні організми.

Недостатнє освітлення робочого місця ускладнює тривалу роботу, викликає підвищене стомлення і сприяє розвитку короткозорості. Дуже низькі рівні освітленості викликають апатію, сонливість, а в деяких випадках сприяють розвитку відчуття тривоги. У зв’язку з цим при недостатньому природному освітленні в умовах виробництва санітарно-гігієнічні нормативи вимагають у системі штучного освітлення застосовувати джерела штучного світла з підвищеною складовою ультрафіолетового випромінювання – еритемні джерела світла.

Спроможність зорового сприйняття визначається енергетичними, просторовими, часовими та інформаційними характеристиками сигналів, що надходять до людини. Видимість об’єкту залежить від властивості ока, а також освітлення (або власного світла об’єкту).

Під час здійснення будь-якої трудової діяльності втомлюваність очей, в основному, залежить від напруженості процесів, що супроводжують зорове сприйняття.

Для створення сприятливих умов зорової роботи освітлення робочих приміщень повинне задовольняти таким умовам:

– у полі зору предмета не повинно створювати сліпучого блиску;

– рівень освітленості робочих поверхонь має відповідати гігієнічним нормам;

– не створювати небезпечних та шкідливих факторів (шум, теплові випромінювання, небезпеку ураження струмом, пожежо- та вибухонебезпечність);

– мають бути забезпечені рівномірність та часова стабільність рівня освітленості у приміщенні, відсутність різких контрастів між освітленістю робочої поверхні та навколишнього простору, відсутність на робочій поверхні різких тіней (особливо рухомих);

– штучне світло, що використовується на підприємствах, за своїм спектральним складом має наближатися до природного;

– бути надійним, простим в експлуатації та економічним.

У приміщенні, де знаходиться робоче місце використовується поєднання природного і штучного освітлення. В якості природного – бічне освітлення через вікна. Штучне освітлення використовується при недостатньому природному освітленні. В даному приміщенні використовується загальне штучне освітлення. Розрахунок його здійснюється за методом світлового потоку [20].

3.4 Основи електробезпеки та види ураження електричним струмом

Сучасне виробництво нерозривно пов'язане з використанням електроенергії. В умовах експлуатації потужних енергосистем, електричних машин та апаратів, розвитку обчислювальної техніки і приладобудування, роботизації та комп'ютеризації виробництва важливого значення набуває проблема в електробезпеці — захисті електротехнічного персоналу та інших осіб, які обслуговують електроустаткування від ураження електричним струмом.

Аналіз загальної кількості виробничих нещасних випадків свідчить, що кількість електротравм становить 1,0-1,5%, а в енергетиці навіть 3-5%. Але серед нещасних випадків зі смертельним наслідком електротравми становлять 20-40% на виробництві, а в енергетиці до 60%, займаючи одне з перших місць. При цьому 60-85% смертельних уражень електричним струмом відбувається в електроустановках напругою до 1000 В (127-380 В).

Електротравматизм порівняно з іншими видами травматизму має деякі відмінні особливості.

Перша особливість полягає у тому, що організм людини не має органів, за допомогою яких можна дистанційно визначити наявність напруги, як, наприклад, теплову, світлову енергію, деталі, які рухаються. Тому захисна реакція організму виявляється тільки після потрапляння під напругу.

Друга особливість електротравматизму полягає в тому, що струм, який проходить крізь людину, діє не тільки в місцях контактів та на шляху протікання крізь організм, а й викликає рефлекторну взаємодію, спричиняючи порушення нормальної діяльності окремих органів (серцево-судинної системи, системи дихання).

Третьою особливістю є можливість отримання електротравми, не маючи безпосереднього контакту зі струмопровідними частинами - переміщення по землі поблизу пошкодженої установки (у випадку замикання на землю), ураження через електричну дугу.

Четверта особливість електротравматизму — це те, що у більшості випадків для розслідування, обліку та аналізу доступні тільки електротравми з тяжкими та смертельними наслідками.

Безпека людини на виробництві залежить від багатьох факторів і, зокрема, від рівня електробезпеки. Грамотне вирішення проблеми електробезпеки має забезпечувати людині використання електричної енергії в будь-яких умовах без ризику для життя.

Електробезпека - це система організаційних та технічних заходів і засобів, які забезпечують захист людей від шкідливого та небезпечного електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля та статичної електрики (ГОСТ 12.1.009-76).

Електричний струм, який проходить крізь живий організм, чинить термічну, електролітичну та біологічну дію. Термічна та електролітична дія властива будь-яким провідникам, а біологічна - тільки живій тканині.

Термічна (теплова) дія струму виявляється в опіках окремих ділянок тіла, нагріванні до високої температури кровоносних судин, нервів, серця, мозку та інших органів, які перебувають на шляху протікання струму, що викликає серйозні функціональні розлади цих органів й організму в цілому.

Електролітична (хімічна) дія струму виражається в розкладі (електролізі) органічних рідин, в тому числі й крові, що супроводжується значними порушеннями їх фізико-хімічного складу.

Біологічна дія струму виявляється в подразненні та збудженні живих тканин організму, а також у порушенні внутрішніх біоелектричних процесів, які протікають у нормально діючому організмі й тісно пов'язані з його життєвими органами.

Подразнювальна біологічна дія на тканини організму може бутипрямою, коли струм проходить безпосередньо по цих тканинах, і рефлекторною, тобто дія відбувається через центральну нервову систему, а шлях струму пролягає за межами цих тканин.

Механічна (динамічна) дія струму виявляється в розшаруванні, розриві та інших подібних пошкодженнях різних тканин організму, в тому числі м'язової тканини, стінок кровоносних судин легеневої тканини тощо внаслідок електродинамічного ефекту, а також миттєвого вибухоподібного утворення пари від перенагрітої струмом рідини тканини і крові.

Різноманітність дій електричного струму на організм людини може призвести до різних електротравм, які умовно можна звести до двох видів місцевих електротравм, коли виникає місцеве пошкодження організму, і загальних електротравм, так званих електричних ударів, коли уражається (або створюється загроза ураження) весь організм через порушення нормальної діяльності життєво - важливих органів і систем.

Приблизний розподіл нещасних випадків від електричного струму в промисловості за зазначеними видами травм такий: 20% — місцеві електротравми; 25% - електричні удари; 55% - змішані травми, тобто одночасно місцеві електротравми й удари.

Травми обох видів часто супроводжують одна одну. Але вони різні і мають розглядатися окремо. Характерні місцеві електротравми – це електричні опіки, електричні знаки, металізація шкіри, механічніпошкодження та електроофтальмія.

Електричний опік - найбільш поширена електротравма. Залежно від умов виникнення розрізняють два основних види опіків: струмовий (або контактний), який виникає в електроустановках з відносно невеликою напругою - не вище 2 кВ, при проходженні струму безпосередньо крізь тіло людини внаслідок контакту зі струмопровідною частиною. При більш високій напрузі, як правило, утворюється електрична дуга або іскра, яка й спричиняє виникнення опіку другого виду — дугового. Розрізняють чотири ступеня опіків: I - почервоніння шкіри; II - утворення пухирів; III - відмирання усієї товщі шкіри; IV— обвуглювання тканини.

Звичайно тяжкість пошкодження організму при опіках визначається не ступенем опіку, а площею поверхні тіла, ураженою опіками.

Електричні знаки, які називаються ще позначками струму, це плями сірого або блідо-жовтого кольору у вигляді подряпин, невеликих ран, бородавок, мозолей на поверхні шкіри в місцях контакту зі струмопровідними частинами. Найчастіше знаки мають круглу або овальну форму і діаметр 1-5 мм із заглибленням у центрі. Електричні знаки, як правило, є безболісними і з часом зникають.

Електрометалізація шкіри — проникнення у верхні шари шкіри дрібних частинок металу, що розплавилися під дією електричної дуги.

Уражена частина шкіри має жорстку поверхню, колір якої визначається кольором сполуки металу, який потрапив у шкіру. Електрометалізація шкіри не становить небезпеки і з часом зникає, як і електричні знаки.

Електроофтальмія - запалення зовнішньої оболонки ока, роговиці та кон'юнктиви (слизової оболонки, яка покриває очне яблуко), що виникає у разі дії потужного потоку ультрафіолетових променів, які енергійно поглинаються клітинами організму і викликають у них фізичні зміни. Таке можливе при появі електричної дуги - джерела інтенсивного випромінювання не тільки видимого світла, а й ультрафіолетових та інфрачервоних променів.

Звичайно хвороба триває кілька днів. У разі ураження рогової оболонки лікування є складнішим і довготривалішим.

Електричний удар - електротравма, зумовлена рефлекторною дією електричного струму (який діє через нервову систему), внаслідок чого починаються спазми м'язів або інших тканин, порушується серцево-судинна діяльність. Залежно від виду ураження електричні удари поділяються на чотири групи (ступеня):

I - спазматичне скорочення м'язів без утрати свідомості;

II - спазматичне скорочення м'язів зі втратою свідомості, але з працюючим серцем та системою дихання;

III - втрата свідомості з порушенням серцевої діяльності або дихання (або того й іншого разом);

IV - клінічна смерть. Відсутність дихання та кровообігу.

Клінічна смерть - короткочасний перехідний стан від життя до смерті, який наступає з моменту припинення діяльності серця та легенів. У людини, яка перебуває у стадії клінічної смерті, відсутні усі ознаки життя: вона не дихає, серце не працює, больові подразнення не викликають ніякої реакції, зіниці ока дуже розширені й не реагують на світло. Тривалість клінічної смерті визначається з моменту припинення серцевої діяльності та дихання до початку загибелі клітин кори головного мозку, у більшості випадків вона триває 4-6 хвилин. При загибелі здорової людини від випадкової причини, наприклад, від електричного струму, тривалість клінічної смерті може становити 7—8 хвилин, а в разі смерті людини через тяжку хворобу серця, легень тощо лише кілька секунд. Проте якщо в цей період надати постраждалому допомогу, тобто штучним диханням забезпечити збагачення його крові киснем, а непрямим масажем серця налагодити в організмі штучний кровообіг і тим самим забезпечити клітини організму киснем, то розвиток смерті можна буде припинити, а життя повернути.

Біологічна, або істинна, смерть - необоротне явище, яке характеризується зупинкою біологічних процесів у клітинах та тканинах і розкладом білкових структур. Вона починається після закінчення періоду клінічної смерті.

Для зниження величини виникаючих зарядів статичної електрики в приміщенні покриття технологічних підлог слід виконувати з одношарового полівінілхлоридного антистатичного лінолеуму. Іншим методом захисту є нейтралізація заряду статичного електрики іонізованим газом. У промисловості широко застосовуються радіоактивні нітралізатори. До загальних заходів захисту від статичної електрики в лабораторному приміщенні можна віднести загальні і місцеве зволоження повітря. Щоб захистити людину від ураження електричним струмом, захисне заземлення має задовольняти ряду вимог, викладених у «Правилах безпеки електроустановок для споживачів» (ПЕУС), НПАОП 40.1-1.21- 98. Електробезпека. Захисне заземлення. Занулення».

Розрахуємо опір захисного заземлення.

Заземлююче обладнання використовує природні заземлювачі (частини металевих конструкцій, що перебувають у землі), обмірюваний опір розтіканню яких Re=25 Ом.

Необхідний опір захисного заземлюючого обладнання для цього випадку (відповідно ДО ДЕРЖСТАНДАРТУ121.038-81) повинне бути не більш 4 Ом. Отже, додатково до природнього заземлювача монтується штучний з вертикальних сталевих стрижнів довжиною L=2.5 м, діаметром 15 мм, верхні кінці яких з'єднуються сталевою смугою перетином 20х4 мм^2, покладеної в ґрунт (суглинок) з питомим опором ρ=120 Ом*м і на глибині t=0,5 м.

Контурний заземлювач розміщується по периметру будинку підприємства, довжина якого Lг=70 м.

При відстані між заземлювачами а=5м необхідна кількість вертикальних електродів складе:

$$n = \frac{L_r}{a} = \frac{70}{5} = 14 \text{ штук}$$

Необхідний опір штучного заземлюючого обладнання:

$$R_{U.\text{тр}} = \frac{R_e R_з}{R_e - R_з} = \frac{25 \cdot 4}{25 - 4} = 4{,}76 \text{ Ом}$$

Опір розтіканню вертикальних (Rв) і горизонтальних (Rг) електродів визначається за формулами:

$$R_B = \frac{\rho}{2\pi L} \cdot \ln\frac{2L}{d} + \frac{1}{2}\ln\frac{4t + L}{4t - 1} = \frac{120}{2 \cdot 2{,}5 \cdot 3{,}1415} \cdot ln\frac{2 \cdot 2{,}5}{0{,}015}$$
$$+ 0{,}5\ ln\frac{4 \cdot 1{,}75 + 2{,}5}{4 \cdot 1{,}75 - 2{,}5} = 42 \text{ Ом},$$

$$R_г = \frac{\rho}{2\pi L_Г} \cdot \ln 2\frac{{L_T}^2}{bto} = \frac{120}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 70} \cdot \ln 2 \cdot \frac{70 \cdot 70}{0{,}004 \cdot 0{,}5} = 4{,}2 \text{ Ом},$$

де ρ – розрахунковий питомий опір ґрунту, Ом·м:

Lг – довжина горизонтального заземювача;

b – ширина смуги, м;

to – глибина закладення смуги горизонтального заземлювача, м;

t – глибина закладення вертикального заземлювача;

d – діаметр вертикального заземлювача, м.

Коефіцієнти використання електродів $\eta_з = 0.66$ і $\eta_с = 0.36$

Опір розтіканню групового штучного заземлювача визначається по формулі:

$$R_U = \frac{R_г R_в}{R_г \cdot \eta_c + R_г \cdot \eta_з \cdot n} = \frac{42 \cdot 4{,}2}{0{,}36 \cdot 42 + 4.2 \cdot 0{,}66 \cdot 14} = 3{,}27 \text{ Ом}$$

Цей опір менше заданого (4.76 Ом), що значно підвищує безпеку. Загальний опір заземлюючого обладнання:

$$R_{з.д} = \frac{R_е R_и}{R_е + R_и} = \frac{25 \cdot 3{,}27}{25 + 3{,}27} = 2{,}9 \text{ Ом},$$

що менше необхідного за ДСТ 121.030-81.

3.5 Пожежна безпека на виробництві

Поняття пожежна безпека означає стан об'єкта, при якому виключається можливість пожежі. У разі виникнення пожежі в першу чергу необхідно запобігти його вплив на людей і забезпечити захист матеріальних цінностей, що знаходяться в зоні горіння або поблизу від неї. Пожежонебезпечними факторами є відкритий вогонь, іскри, підвищена температура повітря і предметів, отруйні продукти горіння, дим, знижена концентрація кисню, обвалення і пошкодження будівель, споруд, установок, а також вибух.

Які існують заходи забезпечення пожежної безпеки? Це застосування негорючих і важкогорючих речовин і матеріалів замість пожежонебезпечних;

обмеження застосування горючих речовин; запобігання поширенню пожежі за межі вогнища; використання засобів пожежогасіння і т. д.

До числа організаційних заходів щодо забезпечення пожежної безпеки відносяться навчання робітників і службовців правилам пожежної безпеки, розробка і впровадження норм і правил пожежної безпеки, інструкцій про порядок роботи з пожежонебезпечними речовинами і матеріалами, організація пожежної охорони об'єкта.

Забезпечення пожежної безпеки на виробництві покладається на їх керівників. Начальники цехів, дільниць, завідувачі складами, майстернями та інші посадові особи зобов'язані дотримуватися на ввірених їм ділянках роботи відповідний протипожежний режим, забезпечити справне утримання та постійну готовність до дії наявних засобів пожежогасіння, зв'язку та сигналізації.

Інструкція про заходи пожежної безпеки повинна висіти на видному місці. Кожен, хто працює на підприємстві зобов'язаний чітко знати і суворо виконувати правила пожежної безпеки, не допускати дій, що можуть призвести до пожежі.

Всі виробничі, службові, складські, допоміжні будівлі і приміщення, а також територію підприємства необхідно утримувати в чистоті і порядку. Двері евакуаційних виходів повинні вільно відкриватися в напрямку виходу з будівлі.

Технологічне обладнання за нормальних режимів роботи не повинно викликати загорянь і вибухів. Повинні бути також передбачені захисні заходи, що обмежують масштаб та наслідки пожежі.

Все що надходять на роботу проходять інструктаж з пожежної безпеки, а в цеху знайомляться з пожежним інвентарем і його місцезнаходженням.

Необхідно пам'ятати про те, що будь-яку пожежу легше попередити, ніж загасити. Захаращувати і закривати пожежні проїзди і проходи до пожежного інвентарю, обладнання та пожежних кранів забороняється. Курити в цехах і на території виробництва категорично забороняється, так як поблизу можуть знаходитися легко займисті матеріали. Палити дозволяється тільки в спеціально відведених місцях, позначених написом «Місце для куріння». Забороняється кидати на підлогу в цехах папір, картон, ганчірки. Їх слід прибирати в спеціальні

металеві ящики для відходів і до кінця робочої зміни видаляти з цеху. Не можна обгортати електролампи папером або матерією, вішати на вимикачі і електропроводи одяг, забивати цвяхи між проводами; замінювати перегорілі запобіжники шматками дроту.

При роботі з вогненебезпечними матеріалами необхідно дотримуватися протипожежної вимоги і мати на робочому місці для гасіння пожежі пісок, воду, вогнегасники тощо. Засоби вогнетущіння застосовувати відповідно до інструкцій в залежності від характеру палаючої речовини.

Кожен працівник при пожежі або загорянні зобов'язаний негайно повідомити про це в пожежну охорону і приступити до гасіння вогнища пожежі наявними в цеху, на складі або робочому місці засобами пожежогасіння (вогнегасником, піском тощо) і викликати до місця пожежі начальника цеху, зміни, ділянки або іншу посадову особу.

При виникненні пожежі треба організувати порятунок людей, використовуючи для цього наявні кошти: при необхідності викликати газорятувальну, медичну та інші служби; припинити всі роботи, не пов'язані з заходами щодо ліквідації пожежі: забезпечити захист людей, які беруть часть в гасінні пожежі, від можливих обвалів конструкцій, уражень електричним струмом, отруєнь, опіків.

Після прибуття підрозділів пожежної охорони представник адміністрації виробництва, який керував гасінням пожежі, зобов'язаний повідомити начальнику підрозділу пожежної охорони необхідні відомості про вогнище пожежі; заходи, вжиті за його ліквідації, а також про наявність в приміщеннях людей, зайнятих ліквідацією пожежі [17].

Отже, при розробці мікроелектронного пристрою заряду акумуляторної батареї від сонячної панелі необхідно відзначити, що робоче місце у виробничому приміщені по показнику рівня шуму відноситься до класу праці шкідливий, тому що рівень шуму досягає 80 дБА, при нормі не більше 70 дБА. Температура на робочому місці повинна бути 21-25°С у холодний період року, 21-28°С у теплий період року. Відносна вологість 75% у холодний період, 55% у

теплий період року. Швидкість руху повітря не більше 0,1 м/с у холодний період, 0,2-0,1 м/с у теплий період року. Для створення сприятливих умов зорової роботи освітлення робочих приміщень повинне задовольняти таким умовам: у полі зору предмета не повинно створювати сліпучого блиску, рівень освітленості робочих поверхонь має відповідати гігієнічним нормам, не створювати небезпечних та шкідливих факторів, штучне світло за своїм спектральним складом має наближатися до природного, бути надійним, простим та економічним у експлуатації. За нормою запиленість в приміщені не повинна перевищувати 4 мг/м^3.

Необхідний опір захисного заземлюючого обладнання повинне бути не більш 4 Ом. При відстані між заземлювачами 5м необхідна кількість вертикальних електродів складе 14 штук.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

- Використання сонячної енергії відкриває можливості для створення екологічно чистих джерел живлення для гаджетів, автомобілів та побутової техніки.
- Розроблено пристрій на базі полікристалічної сонячної панелі з напругою живлення 5 В та ККД 11,6%. Енергія накопичується на трьох літій-іонних акумуляторах, а модуль контролю заряду захищає розробку від короткого замикання. Під’єднання смартфону або інших пристроїв здійснюється за допомогою роз’єму USB.
- Запропоновану розробку можна використовуватися для живлення портативних пристроїв як в побутових так і в польових умовах.

Результати роботи були представлені на ІІ міжнародній науково-практичній конференції інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні ЗНУ «ІНЖЕНЕРНІ ІННОВАЦІЇ ТА РОЗБУДОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ»

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Коваленко О. В. Альтернативна енергетика: навч. посіб. Київ: Лібра, 2021.
2. Національна енергетична стратегія України до 2035 року. Київ: Мінпаливенерго, 2017.
3. IRENA. Renewable Energy Statistics 2023. International Renewable Energy Agency.
4. SolarPower Europe. EU Market Outlook for Solar Power 2022–2026.
5. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України URL: https://saee.gov.ua (дата звернення: листопад 2024 року)
6. Досвід впровадження сонячної енергетики в країнах ЄС: аналітичний огляд. Київ: Razumkov Centre, 2022.
7. Біленко, В.І. Енергетика на основі сонячних елементів: навч. посіб. / В.І. Біленко. Київ: Видавництво Ліра-К, 2020. 212 с.
8. Кузнецова, Т.Л. Сонячні батареї: конструкції, принцип дії, перспективи використання / Т.Л. Кузнецова, І.В. Селянко. Харків: ХНУРЕ, 2019. 176 с.
9. Семененко, І.В. Зарядні пристрої на основі альтернативної енергетики. *Вісник технічних наук*. 2021. № 3. С. 45–50.
10. Чорний, О.О. Використання сонячних панелей для заряджання мобільних пристроїв. *Електротехніка і електромеханіка*. 2022. № 2. С. 35–41.
11. Шевченко, М.Г. Основи фотовольтаїки. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. 240 с.
12. Panwar, N.L. Role of solar energy in sustainable development / N.L. Panwar, S.C. Kaushik, S. Kothari // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011. Vol. 15, Issue 3. P. 1513–1524.
13. Solar Charge Controller Design Manual. URL:https://www.solar-electric.com/charge-controller-design-guide.html (дата звернення: березень 2025).
14. Tiwari, G.N. Solar Energy: Fundamentals, Design, Modelling and Applications. New Delhi: Narosa Publishing House, 2017. 392 p.

15. Сонячна енергетика в Україні: поточний стан та перспективи // Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. 2023. URL: https://saee.gov.ua/uk/pages/solar (дата звернення: березень 2025).
16. Нікітін, Р.С. Моделювання зарядного пристрою на базі сонячних панелей / Р.С. Нікітін, А.М. Кравець // *Технічні науки та інновації.* 2020. № 4. С. 22–29.
17. Космодром – електронні компоненти. URL: https://www.kosmodrom.ua/ (дата звернення: травень 2025).
18. Про затвердження правил пожежної безпеки в Україні. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15/ed20230407#Text (дата звернення: травень 2025).
19. ДБН В 1.1-7:2016 Пожежна безпека. Загальні вимоги [Чинний від 01.06.2017] Вид. офіц. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017, 38 с.
20. Основи охорони праці: навч. посіб. / Р.М. Івах та ін. 4-те вид. Київ: Кондор, 2010. 464 с.

Додаток А

Познач.	Найменування	Кіл.	Прим.
	Діод		
VD1	1N4007	1	
	Конденсатори		
C1, C3, C5	К50-33-25В-10мкФ	3	
C2	К50-33-25В-3.3мкФ	1	
C4	К50-33-6.3В-180мкФ	1	
C6-C7	К50-33-25В-3.9мкФ	2	
C8	К50-33-6.3В-100мкФ	1	
	Резистори		
R1-R2	С2-23-0.25Вт-1кОм±5%	2	
R3	С2-23-0.26Вт-400 Ом±10%	1	
R4-R5	С2-23-0.125Вт-27кОм±5%	2	
R6	С2-23-0.25Вт-1.5кОм±10%	1	
R7	С2-23-0.125Вт-680 Ом±5%	1	
R8	С2-23-0.5Вт-1,2кОм±5%	1	
R9	С2-23-0.125Вт-15кОм±5%	1	
R10	С2-23-0.125Вт-92кОм±5%	1	
R11	С2-23-0.125Вт-22кОм±5%	1	
R12	С2-23-0.25Вт-500 Ом±10%	1	
R13	С2-23-0.125Вт-1.5 кОм±5%	1	
VT1, VT2	Транзистор КТ3102	2	
X1	Роз'єднувач DBF-5 (розетка)	1	
X2	Роз'єднувач DBF-5 (вилка)	1	
X3	Роз'єднувач DBF-5 (розетка)	1	

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Схема електрична принципова мікроелектронного пристрою заряду акумуляторної батареї від сонячної панелі	Літ	Маса	Масштаб
Розроб.					перелік елементів	У		
Керівник		Небеснак О.Ю.				Аркуш 1	Аркушів 2	
Консульт.		Небеснак О.Ю.						
Н. контр.		Верьовкін Л.Л.						
Затвердив								

Познач.	Найменування	Кіль.	Прим.
	Акумулятори		
Bat1–Bat3	18650–2000 mAh Li–ion 3,7V.	3	
	Контролер заряду		
	TP4056	1	
	Перемикач		
S1	SPDT 6A 125 V 3pin	1	
	Сонячна панель		
SC1	SPM–3W 9V +5V	1	

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Схема електрична принципова мікроелектронного пристрою заряду акумуляторної батареї від сонячної панелі	Літ	Маса	Масштаб
Розроб.						У		
Керівник		Небеснюк О.Ю.			перелік елементів	Аркуш 2	Аркушів 2	
Консульт.		Небеснюк О.Ю.						
Н. контр.		Верьовкін Л.Л.						
Затвердив								