

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНИЙ ІНСТИТУТ  
КАФЕДРА МІКРОЕЛЕКТРОННИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ ТА ПРАКТИЧНИХ РОБІТ З  
ДИСЦИПЛІНИ «ОСНОВИ КОНСТРУЮВАННЯ ОПТО –ТА  
МІКРОЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ»

Для студентів освітнього рівня «Магістр» за спеціальністю 153 «Мікро та  
наносистемна техніка»

ЗАПОРІЖЖЯ

2020

## ЗМІСТ

Лабораторна робота № 1 .....	3
Лабораторна робота №2 .....	10
Лабораторна робота № 3 .....	13
Лабораторна робота № 4 .....	24
Лабораторна робота № 5 .....	35
Лабораторна робота № 6 .....	53
Практична робота .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	75
Приклад <i>Розрахункова частина «Розрахунок фотоелектричної системи автономного електропостачання будинку»</i> .....	76

## Лабораторна робота № 1

### РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ НА ПРОЕКТУВАННЯ ЗАСОБІВ ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ

**1.1 Мета роботи:** вивчити правила розробки, зміст обов'язкових розділів, послідовності затвердження технічного завдання на проектування засобів електронної техніки, а також отримати необхідні знання для виконання наступних робіт.

**1.2 Зміст роботи:** провести аналіз засобу електронної техніки запропонованого для розробки. Провести виконання розробки технічного завдання на проектування засобу електронної техніки згідно ГОСТ, та переліку документів.

#### 1.3 Теоретичні відомості

В процесі конструювання електронної техніки розв'язується завдання відшукування оптимальної або якнайкращої системи яка задовольняє початковим даним і має якнайкращі значення її характеристик.

Порядок проведення проектно-конструкторських робіт укрупнено може бути представлений двома етапами:- етап зовнішнього проектування пристрою що полягає в обґрунтуванні (визначенні) початкових даних виробу;  
- етап внутрішнього проектування, що полягає у виборі і відробітку характеристик складових частин виробу, що забезпечують його вихідні параметри.

Зовнішні (вихідні) параметри виробу (пристрої) при його достатньо високому ранзі називають тактичними, а внутрішні - технічними. Їх сукупність називають технічними вимогами (ТТ), а при розробці завдання на конструювання - технічним завданням (ТЗ).

Етап зовнішнього проектування конструкції полягає в обґрунтуванні початкових даних для її розробки.

Недостатньо ретельно обґрунтовані початкові дані і тим більше призначені довільно приводять або до невиправданих надлишків в параметрах

виробу, в т.ч. і його вартості, або до того, що виріб не буде в змозі виконувати покладені на нього функції.

Таким чином, обґрунтування початкових даних або зовнішнє проектування є важливим етапом аналізу ТЗ, оскільки при цьому встановлюється взаємозалежність показників, характеристик проектуючого вузла, електронного пристрою зі всією системою, для якої він призначений. Іншим важливим етапом аналізу початкових даних є етап аналізу при внутрішньому проектування.

Початкові дані для внутрішнього проектування видаються у вигляді технічного завдання (ТЗ) на проектування і функціональної електричної схеми. У ТЗ указується сукупність зовнішніх параметрів, які визначаються на етапі зовнішнього проектування, далі - обґрунтування і вибір внутрішніх параметрів, при яких задовольняються вимоги до зовнішніх параметрів.

ТЗ встановлює призначення, область застосування, основні технічні характеристики, умови експлуатації, вимоги до конструкції, техніко-економічні вимоги і організаційно-виробничі чинники, вимоги до комплексу конструкторської документації.

Технічне завдання є основним документом для проведення всіх НДР і ДКР. Порядок його складання, узгодження і твердження на всі види виробів визначається ГОСТ І5.101-73, ГОСТ І5.101-80, галузевими стандартами, стандартами підприємства і іншими регламентуючими документами, що діють на підприємстві (наприклад, інструкцією по складанню ТЗ і т.п.).

ТЗ є основним технічним документом, що встановлює початковий комплекс вимог до змісту, об'єму, термінів виконання робіт.

ТЗ на ДКР по створенню виробу загальної техніки повинне містити наступні розділи:

- призначення;
- склад (комплектність);
- вимоги по стійкості до зовнішніх дій;

- конструктивні вимоги по технологічності, надійності, ефективності, якості;
- методам контролю показників надійності, якості;
- економічності;
- зручності технічного обслуговування, ремонту;
- безпеки;
- ергономіці і технічній естетиці;
- стандартизації і уніфікації;
- забезпеченню габаритів і маси виробу;
- збірці, монтажу;
- розробці текстових і експлуатаційних документів
- метрологічному забезпеченню;
- упаковці, маркуванні, зберіганню, транспортуванню;
- застосуванню комплектуючих виробів і матеріалів;
- спеціальним вимогам;
- видам випробувань, порядку їх проведення і приймання зразків;
- об'єму КД (відомість КД);
- матеріалам, що розробляються і пред'являються по закінченню роботи;
- терміну виконання роботи; додаткам.

У розділі "Призначення" указують основне функціональне призначення виробу, його функціональні або конструктивні зв'язки, місце установки.

Розділ "Склад (комплектність)" заповнюється в тих випадках, коли виріб складається з декількох складальних одиниць, зокрема комплектів змінних частин і ЗПП.

Вимоги за призначенням - це вимоги до виробу, що забезпечують виконання покладених на нього завдань (функцій): показники, що характеризують точність роботи, чутливість, вхідні і вихідні параметри (амплітуда, частота, форма імпульсу) і ін. Для кожного параметра указують номінальне значення, допуск, розмірність.

У розділі "Вимоги по стійкості до зовнішніх дій" указують умови експлуатації (робочі і граничні), під часу яких і після якого терміну виріб не повинен руйнуватися і нормально функціонувати, а відхилення величин, що визначають технічні показники виробу, не повинні перевищувати заданих.

Залежно від вигляду і призначення виробу встановлюються вимоги до нього в частині кліматичних дій (діапазон коливань температури, вологості, атмосферного тиску; сонячна радіація, іній, дощ, роса, морський туман, агресивні середовища, занедбаність від пилу, води, бризок і т.д.), механічних дій (вібраційних, ударних, транспортних, вітрових), стійкості до впливу зовнішніх фізичних полів (гравітаційного, магнітного, електричного, електромагнітного випромінювання, електромагнітного імпульсу ядерного вибуху) і ін.

Номенклатуру і характеристики зовнішніх дій встановлюють по ГОСТ 21.964-76, умови експлуатації - по ГОСТ В 20.29304-76, вимоги по стійкості до зовнішній діям - по ГОСТ В 20.39304-76.

Конструктивні вимоги - це конкретні конструктивно-компонувальні рішення і структурні властивості виробу, що забезпечують цільове призначення і раціональність його конструкції при виготовленні і експлуатації відповідно до прийнятих критеріїв призначення, технологічності, експлуатаційної безпеки і т.д.

Загальні конструктивні вимоги повинні бути конкретними і містити вимоги до компоновки (характер виконання, способи установки, настановні розміри і т.д.);

- масі, габаритам, формі;
- способам кріплення роз'ємних і нероз'ємних елементів складових частин, необхідність пристроїв які компенсують, центрують та фіксують;
- способам приєднання, приєднувальним розмірам і засобам приєднання (типи приєднувальних елементів, що забезпечують внутрішні і зовнішні зв'язки виробу, посадочні розміри, номенклатуру різьбових з'єднань і т.і.);

- міцності, жорсткості (необхідність застосування ребер жорсткості, рам, опор; величина перетинів і профіль несучих елементів, а також можливість використання технологічних прийомів зміцнення для заданих видів конструкційних матеріалів);

- конструкційним матеріалам і покриттям;

- вигляду і складу ЗМП;

Залежно від вигляду і призначення виробу указують і спеціальні вимоги до конструктивних рішень по взаємо-змінюваності і уніфікації, забезпеченню експлуатаційної технологічності (єдність збірки і монтажу при технічному обслуговуванні і ремонті); конструктивним рішенням по забезпеченню перешкодозахисної, електромагнітної сумісності (способи і види захисту виробу і його складових частин від внутрішніх взаємних перешкод і від зовнішніх природних і промислових перешкод); конструктивним рішенням по забезпеченню транспортабельності (способи перекладу виробу в робоче положення, наявність спеціальних кронштейнів, крюків, що транспортується. упорів, роз'ємних елементів і т.д.). Номенклатуру конструктивних вимог встановлюють відповідно до ГОСТ В 20.39102-77, конструктивно-технічні вимоги - відповідно до ГОСТ В 20.39308-76.

У розділі "Вимоги по надійності" указують вимоги і кількісні показники надійності виробу і складових його частин, що характеризують його здатність зберігати значення експлуатаційних показників на певному рівні в заданому інтервалі часу (напрацювання) за встановлених умов застосування. Номенклатура основних показників надійності встановлюється відповідно до ГОСТ 27.002-83, вимоги - по ГОСТ В 20.39303-76.

Вимоги до рівня уніфікації і стандартизації виробів задаються в ТЗ у вигляді системи кількісних і якісних показників відповідно до ГОСТ 23945.2-80.

У ТЗ указується термін виконання роботи, за який несе відповідальність конструкторський підрозділ, що веде конструктор.

Часто додатками до ТЗ на конструювання є схеми електричні, схеми з'єднань, ескізи і т.п. Аналіз схем з позицій конструктора передбачає:

- ухвалення рішення про елементну базу;
- розділення електричної принципової схеми на функціонально або конструктивно закінчені частини;
- вибір конструктивного виконання складових частин виробу і їх ескізна компоновка;
- виявлення тепловиділяючих, теплочутливих компонентів;
- паразитних електромагнітних зв'язків;
- орієнтовну оцінку габаритних розмірів;
- складання необхідних документів по комплектуючим виробам і ін.

За наслідками аналізу одержаного ТЗ конструктор складає спочатку орієнтовний перелік КД, а потім і уточнений. При цьому враховується тип виробу, етапи роботи, всі вимоги ТЗ.

#### **1.4 Порядок виконання роботи**

1. Згідно з номером за журналом навчальної групи студент повинен вибрати виріб для якого він має написати технічне завдання на проектування (додаток А).

2. Проаналізувавши інформацію яка має місце на схемі електричної принципової та під схемному тексті скласти перелік електричних параметрів якими характеризується виріб.

3. За результатами аналізу який проведений у попередньому пункті з'ясувати які кола виробу є вхідними, а які кола є вихідними, а також яким чином до них будуть під'єднуватися зовнішні ланцюги.

4. Також за результатами аналізу умов експлуатації з'ясувати які зовнішні механічні чинники будуть впливати на роботу виробу.

5. Також за результатами аналізу умов експлуатації з'ясувати які зовнішні кліматичні чинники будуть впливати на роботу виробу.



6. За результатами отриманими в результаті виконання пунктів 1-5 провести розробку технічного завдання на проектування запропонованого виробу.

Окремі (кліматичні, механічні, електричні і т.д.) вимоги до виробу що підлягає проектуванню можуть бути зведені в таблиці. Таблиця 1.1 є прикладом електричних параметрів виробу що проектується.

Таблиця 1.1 – Електричні характеристики виробу що проектується.

№	Найменування параметра	Значення
	Напруга вхідного сигналу не більше, мВ	25
	Вихідна потужність не менше, Вт	10
	Опір навантаження не менше, Ом	4

#### 1.4 У звіті відображається:

- тема та ціль роботи;
- принципова схема виробу;
- текст ТЗ розробленого згідно з ГОСТ 15.101-73, ГОСТ І5.101-80;
- висновки за роботою.

#### 1.5 Контрольні запитання

1. Наведіть визначення понять "розробка", "проектування" і "конструювання". Виділіть основні завдання, що виникають при конструюванні.

2. Приведіть структуру технічних вимог до електронного пристрою. Охарактеризуйте кожну групу вимог.

3. Перерахуйте чинники, що впливають на функціонування електронного пристрою.

4. Охарактеризуйте традиційні методи конструювання.

## Лабораторна робота №2

### РОЗРОБКА ТА ВИКОНАННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРИЛАДУ

**1.1 Мета роботи:** вивчити правила розробки та виконання схеми електричної структурної приладів електронної техніки.

**1.2 Зміст роботи:** провести необхідний аналіз приладу електронної техніки та побудувати його схему електричну структурну.

#### 1.3 Теоретичні відомості

В процесі розробки виробів електронної техніки на окремих його етапах випускаються різні (текстові і графічні) документи. Конструкторські документи (КД) - графічні і текстові документи, окремо або в сукупності визначають склад і пристрій виробу і містять необхідні дані для його виготовлення, контролю, приймання, експлуатації, ремонту, утилізації. Державні стандарти встановлюють види і комплектність конструкторських документів на вироби всіх галузей промисловості.

До графічних конструкторських документів відносяться документи, в яких за допомогою встановлених стандартом символів і правил пояснюються пристрій, принцип дії, склад і зв'язки між окремими частинами виробу. До них відносять:

- креслення деталі - зображення деталі і дані, необхідні для її виготовлення і контролю;
- складальне креслення (СК) - зображення складальних одиниць і інші деталі, необхідні для збірки і контролю;
- креслення загального вигляду (У) - зображення конструкції виробу, що дає уявлення про взаємодію його основних частин і принцип роботи;
- габаритне креслення (ГК) - контурне (спрощене) зображення виробу з габаритними, настановними і приєднувальними розмірами;
- монтажне креслення - контурне (спрощене) зображення виробу, що містить дані для його установки (монтажу);

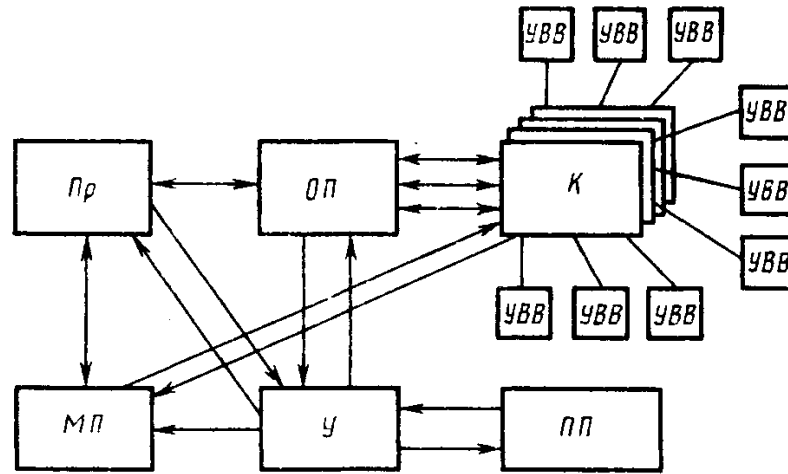
- електромонтажне креслення (ЕК) - дані для електричного монтажу виробу;
- настановне креслення (НК) - дані для установки виробу;
- схема - складові частини виробу у вигляді умовних зображень або позначень і зв'язку між ними;
- специфікація - склад складальної одиниці, комплексу або комплекту.

Схема - графічна конструкторська документація, на якій у вигляді умовних зображень або позначень показані складові частини виробу і зв'язку між ними. Схеми застосовують при вивченні принципу дії механізму, приладу, апарату при їх виготовленні, наладці і ремонті, для розуміння зв'язку між складовими частинами виробу без уточнення особливостей їх конструкції. Схеми є початковим базисом для подальшого конструювання окремих частин і всього виробу в цілому.

Структурні схеми (Е1) визначають основний склад виробу і його функціональні частини, їх призначення і взаємозв'язки. Структурні схеми використовують як для побудови схем інших типів, так і для загального ознайомлення з виробом. На схемі електричною структурною (Е1) показують всі функціональні частини електронного пристрою і основні взаємозв'язки між ними.

Функціональні частини можна зображати умовно графічно або у вигляді прямокутників. У останньому випадку усередині прямокутника приводять найменування даної функціональної частини. Лінії взаємозв'язків рекомендується позначати стрілками, що показують напрями ходу процесу, руху інформації і т.п. При великому числі функціональних частин рекомендується замість позначень, найменувань і типів вводити порядкові номери, проставляючи їх зліва направо і зверху вниз. В цьому випадку розшифровку номерів проводять в таблиці, що поміщається над основним написом.

Побудова структурної схеми пояснюється прикладом схеми електричної структурної (рис. 2.1).



Pr – процесор; Оп - оперативна пам'ять; МП - місцева пам'ять; ПП - постійна пам'ять; У – блок управління; К - канали, УВВ - пристрій введення - виведення.

Рисунок 2.1 - Приклад структурної схеми

#### 1.4 Порядок виконання роботи

1. За допомогою допоміжних літературних та інших джерел провести аналіз схеми електричної принципової свого варіанту з метою виявлення з яких основних вузлів та блоків складається запропонований для опрацювання пристрій, а також напрямки проходження сигналів у ньому.

2. За результатами аналізу який проведений у попередньому пункті побудувати схему електричну структурну пристрою.

3. Виконати побудовану схему електричну структурну пристрою на форматі А3 з оформленням згідно ГОСТ 2.701–84. Для виконання схеми електричної структурної пристрою рекомендується використовувати програму «Splan6» або «Pcad» версія не нижче 2000.

#### 1.5 У звіту відображається:

- тема та мета робота ;
- перелік вузлів та блоків з яких складається пристрій запропонований для опрацювання;

- побудована схема електрична структурна пристрою;
- висновки по роботі.

### **1.6 Контрольні запитання**

1. Які види схем виконуються при розробці електронних пристроїв?
2. На основі якого документу розробляється схема електрична структурна електронного пристрою?
3. До яких документів відноситься схема електрична структурна електронного пристрою?
4. З якою метою до комплекту документів вводиться схема електрична структурна електронного пристрою?
5. Які частини електронного пристрою розміщуються на схемі електричній структурній електронного пристрою?
6. Яким чином виконуються зв'язки між модулями та блоками на схемі електричній структурній електронного пристрою?
7. Які надписи наносяться на схемі електричній структурній електронного пристрою?

### **Лабораторна робота № 3**

#### **РОЗРОБКА ТА ВИКОНАННЯ СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ ЕЛЕКТРОННОГО ПРИЛАДУ**

**1.1 Ціль роботи:** вивчити правила виконання схеми електричної принципової та переліку елементів електронного приладу.

**1.2 Зміст роботи:** виконати розробку схеми електричної принципової та переліку елементів електронного приладу.

#### **1.3 Короткі теоретичні відомості:**

Схема - графічна конструкторська документація, на якій у вигляді умовних зображень або позначень показані складові частини виробу і зв'язку між ними.

Принципові схеми (ЕЗ) визначають повний склад елементів, зв'язків між ними, дають детальне уявлення про принцип роботи виробу. На основі

принципових схем розробляють такі конструкторські документи, як схеми з'єднань (монтажні), креслення конструктивних елементів, вузлів, пристроїв. На схемі електричною принциповою (ЕЗ) указують всі елементи, необхідні для побудови електронного пристрою або її окремого вузла, лінії зв'язку між елементами і елементи, якими закінчуються вхідні і вихідні ланцюги. Елементи в схемі зображають у вигляді умовних графічних позначень (УГП). Відстань між двома сусідніми лініями умовних графічних позначень повинна бути не менше 0,8 мм. Зовнішній вигляд та розміри УГП окремих компонентів наведені в додатку 2.

Елемент схеми - складова частина схеми, яка не може бути розділена на частини, що мають самостійне значення (мікросхема, резистор, трансформатор і ін.). Лінія зв'язку - відрізок лінії на схемі, що вказує на наявність зв'язку між елементами схеми.

Умовні графічні позначення на принциповій схемі (ЕЗ) розташовують так, щоб зображення ліній зв'язку між ними були виконані лініями мінімальної довжини і з мінімальним числом перетинів. Лінії зв'язків повинні бути показані повністю, проте при необхідності їх допускається обривати, закінчуючи місця обриву стрілками з позначенням місця включення. Для спрощення креслення схеми можна декілька електрично не зв'язаних ліній зв'язку зводити в загальну потовщену лінію (шину), проте при підході до контактів елементів кожна лінія повинна бути зображена окремо, а лінії зв'язку при цьому необхідно пронумерувати однаковими числами на обох кінцях.

Кожен елемент, що входить в схему, повинен мати буквено-цифрове позиційне позначення, складене з буквеного індексу і порядкового номера. Порядкові номери елементам привласнюють, починаючи з одиниці зверху вниз в напрямі зліва направо, в межах групи елементів, яким на схемі даний однаковий буквений індекс.

Якщо елемент складається з декількох частин, то допускається до його позиційного позначення додавати цифри, що привласнюються кожній частині

елементу (наприклад, DD1.1, DD1.2, DD1.3 означають першу, другу і третю частини елемента DD1).

УГП цифрових елементів будується на основі прямокутника і може містити основне і два додаткові поля (рис. 3.4.3 – елемент Р). Розмір прямокутного поля по ширині залежить від наявності додаткових полів і кількості, поміщених в них знаків (міток, позначення функцій елемента), по висоті - від числа висновків, інтервалів між ними і числа рядків інформації в основному і додаткових полях. Ширина основного поля повинна бути не менше 10 мм, додаткового - не менше 5 мм, відстань між висновками - 5 мм.

Виведення елементів з погляду напрямку розповсюдження сигналів діляться на вхідні, вихідні, і висновки, що не несуть інформації (висновки для під'єднання живлячої напруги і загального дроту «земля»). Вхідні виведення елемента зображаються зліва, вихідні виведення елемента зображаються справа, решта висновків - з будь-якої сторони УГП. При необхідності дозволяється повертати УГП на  $90^\circ$  за годинниковою стрілкою, розташовуючи входи зверху, а виходи вниз.

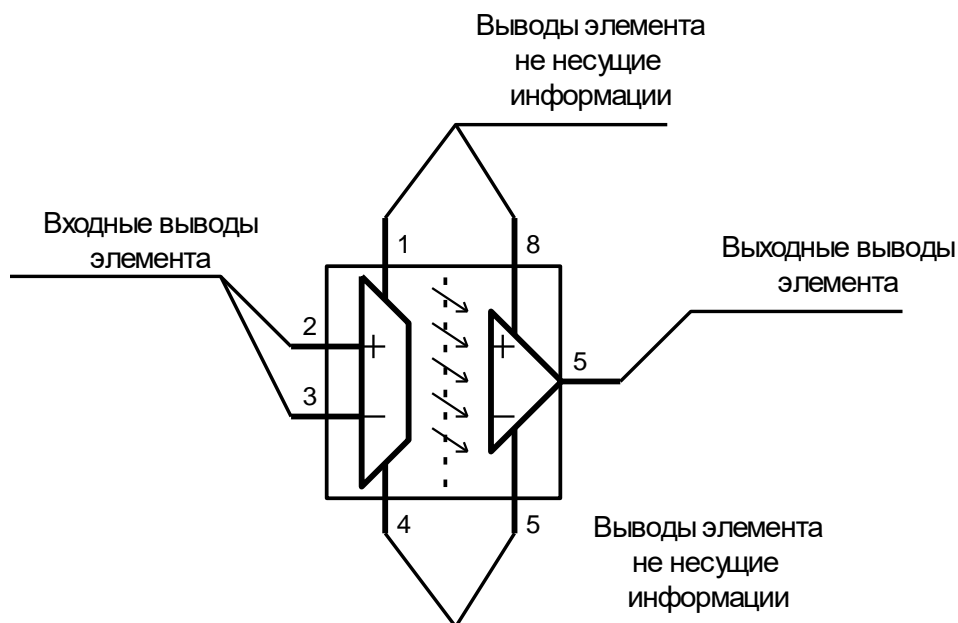


Рисунок 3.1 – УГО элемента

Функціональне призначення елемента указують у верхній частині основного поля УГП. Його складають з прописних букв латинського алфавіту, арабських цифр і знаків, записуваних без пропуску. Позначення основних функцій приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Функціональне призначення елемента

Найменування функції	Позначення	Найменування функції	Позначення
I	&	Регістр	RG
АБО	1	із зрушенням управо	RG →
Складання по модулю 2	M2	із зрушенням вліво	RG ←
Еквівалентність	=	з реверсним зрушенням	RG ↔
Що виключає АБО	-1	Одновібратор	S
Логічний поріг	≥п	Пороговий елемент	TH
Мажоритарність	≥M	Формувач сигналу	F
Дешифратор	DC	Обчислювач	CP
Шифратор	CD	Процесор	P
Порівняння	--	Пам'ять	M
Півсуматор	HC	Управління	CO
Суматор	SM	Перенесення	CR
Монтажне I	&, ◇	Переривання	INR
Монтажне АБО	1, ◇	Передача	TF
Кодовий перетворювач	X/Y	Прийом	RC
Трігер	T	Введення-виведення	IO
Трігер двоступінчатий	TT	Мультиплексор	MUX
Лічильник:	CT	Демультимплексор	DMX
двійковий	CT2	Селектор	SL
десятковий	CT10	Дискримінатор	DIC
Лінія затримки	DL	Ключ	SW
Генератор	G	Нелогічний елемент	*



Підсилювач	▷	Підсилювач потужності	▷▷
------------	---	-----------------------	----

Для нумерації розрядів в групах висновків до позначення мітки додають номери розрядів.

Кожному елементу схеми електричною принциповою привласнюється позиційне (обов'язкове) позначення згідно ГОСТ 2.710-81. Кожен елемент і (або) пристрій, що має самостійну принципову схему і що розглядається як елемент, що входять у виріб і зображені на схемі, повинні мати позначення (позиційне позначення) ГОСТ 2.721.


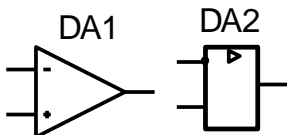



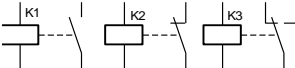
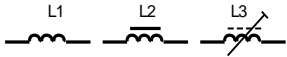
Позиційне позначення елементу схеми в загальному випадку складається з вигляду, номера і функції елементу, записуваних підряд. Вигляд і номер елементу є обов'язковою частиною його буквено-цифрового позначення і привласнюються всім елементам і пристроям. Вказівка функції елементу не служить для ідентифікації елементу і не є обов'язковим. Порядкові номери елементам (пристроєм) слід привласнювати, починаючи з одиниці, в межах групи елементів (пристроїв), яким на схемі привласнено однакове буквене позиційне позначення. Наприклад, R1, R2, R3 і т. д., C1, C2, C3 і т.д. Порядкові номери повинні бути, привласнені відповідно до послідовності розташування елементів або пристроїв на схемі зверху вниз в напрямі зліва направо.

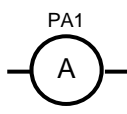
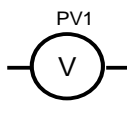
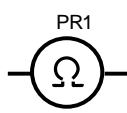
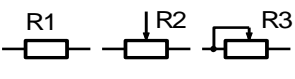

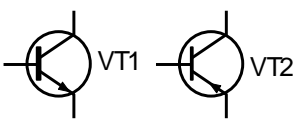


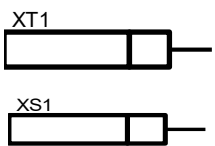

Позиційні позначення проставляють на схемі поряд з умовними графічними позначеннями елементів і (або) пристроїв, з правого боку або над ними.

Буквені коди видів елементів приведені в додатку 1. Частина об'єкту (елементи) розбиті по видах на групи, яким привласнені позначення однією буквою. Для уточнення виду елементів допускається застосовувати двохбуквені і багато буквені коди. Елемент даного вигляду може бути позначений однією буквою - загальним кодом виду елементу або двома буквами - кодом даного елементу. При застосуванні двохбуквених і багато

буквених кодів перша буква повинна відповідати групі видів, до якої належить елемент. Приклади двохбуквених кодів приведені в табл. 3.2 та додатку 2.

Таблиця 3.2 - Буквені коди деяких груп елементів схем і їх УГП.

Група видів елементів	Перша буква коду	Друга буква коду	Код	Приклад УГП елемента
Модулі (пристрої)	A		A	
Конденсатори: постійні, змінні, електролітичні	C		C	C1 C2 C3 
Схеми інтегральні, мікросборки аналогові цифрові	D	A	DA	
		D	DD	
Елементи різні	E		E	
Запобіжники: плавкі	F	U	FU	
Генератори, джерела живлення, батареї	G	B	GB	
Пристрої індикаційні і сигнальні	H		H	
Реле: з нормально розімкненими, з нормально замкнутими, з перекидними контактами	K		K	
Котушки індуктивності: без сердечника, дросель, з	L		L	

подстроєчним сердечником.				
Прилади вимірювальні	P		P	
амперметр		A	PA	
вольтметр		V	PV	
омметр		R	PR	
Резистори: постійні, змінні подстроєчні	R		R	
Пристрої комутаційні	S		S	
Трансформатори	T		T	
Прилади напівпровідникові:	V			
діод		D	VD	
транзистор (рпр, прп)		T	VT	
тиристор		S	VS	
варикап.				
З'єднувачі контактні	X			
елемент роз'єднувача (вилка)		T	XT	
елемент роз'єднувача (розетка)		S	XS	
вилка двополюсна (мережева)		T	XT	

Всі дані про елементи які використані в схемі електричній принциповій зводяться в перелік елементів.

Перелік елементів поміщають на першому листі схеми або виконують у вигляді самостійного документа. Перелік елементів оформляють у вигляді таблиці (рис. 3.2), заповнюваної зверху вниз.

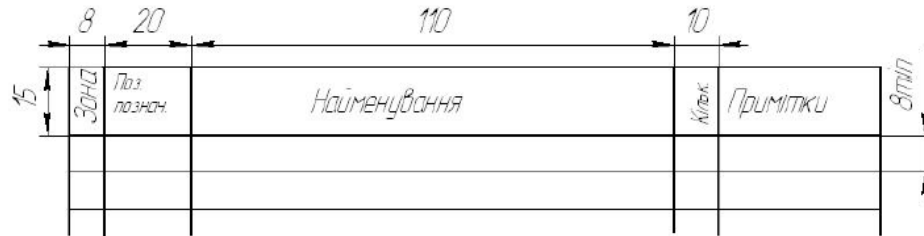


Рисунок 3.2 – Перелік елементів

У графах таблиці указують наступні дані:

у графі "Поз. позначення" □ позиційні позначення елементів, пристроїв і функціональних груп;

у графі "Найменування" □ для елемента (пристрою) □ найменування відповідно до документа, на підставі якого цей елемент (пристрій) застосований, і позначення цього документа (основний конструкторський документ, державний стандарт, галузевий стандарт, технічні умови); □ для функціональної групи найменування;

у графі "Примітка" - рекомендується указувати технічні дані елементу (пристрої), що не містяться в його найменуванні.

При виконанні переліку елементів на першому листі схеми його розташовують, як правило, над основним написом. Відстань між переліком елементів і основним написом повинне бути не менше 12 мм. Продовження переліку елементів поміщають зліва від основного напису, повторюючи заголовок таблиці.

При випуску переліку елементів у вигляді самостійного документа його код повинен складатися з букви "П" і коду схеми, до якої випускають перелік, наприклад, код переліку елементів до електричної принципової схеми - ПЕЗ.

При цьому в основному написі (графі 1) указують найменування виробу, а також найменування документа "Перелік елементів".

Перелік елементів записують в специфікацію після схеми, до якої він випущений.

Перелік елементів у вигляді самостійного документа виконують на форматі А4. Основний напис і додаткові графи до неї виконують по ГОСТ 2.104-68 (форма 2 і 2а).

При розбитті поля схеми на зони перелік елементів доповнюють графою "Зона", указуючи в ній позначення зони, в якій розташований даний елемент (пристрій).

Елементи в перелік записують групами в алфавітному порядку буквених позиційних позначень. В межах кожної групи, що має однакові буквених позиційні позначення, елементи розташовують за збільшенням порядкових номерів.

При виконанні на схемі цифрових позначень в перелік їх записують у порядку зростання.

В окремих випадках відомості про елементи, що поміщаються на схемі, можуть бути неповними, якщо їх об'єм встановлений в державних або галузевих стандартах. На етапах технічної пропозиції, ескізного і технічного проектування зведення про елементи, що поміщаються на схемі, можуть бути неповними.

Для полегшення внесення змін допускається залишати декілька незаповнених рядків між окремими групами елементів, а при великій кількості елементів усередині груп □ і між елементами.

Елементи одного типа з однаковими параметрами, що мають на схемі послідовні порядкові номери, допускається записувати в перелік в один рядок. В цьому випадку в графу "Поз. позначення" вписують тільки позиційні позначення з найменшим і найбільшим порядковими номерами, наприклад: R3, R4, C8 ... C12, а в графу "Кільк." □ загальна кількість таких елементів.

При записі елементів однакового найменування, що відрізняються технічними характеристиками і іншими даними і що мають однакове буквене позиційне позначення, допускається в графі "Найменування" записувати:

найменування цих елементів у вигляді загального найменування;

у загальному найменуванні □ найменування, тип і позначення документа (державний стандарт, технічні умови або основний конструкторський документ), на підставі якого ці елементи застосовані (рис. 3.3).

Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
L1	Катушка индуктивности АБВГ. ХХХХХХ. ХХХ	1	
	<i>Резисторы</i>		
R1	МЛТ-0,5-300 кОм ± 5% ГОСТ...	1	
R2	ІСП-1-1-560 Ом ± 20%-А-ВС-3-12,5 ГОСТ...	1	
R3	ПЭВ-10-3 кОм ± 5% ГОСТ...	1	
	<i>Резисторы МЛТ ГОСТ...</i>		
	<i>Резисторы СП ГОСТ...</i>		
R4	МЛТ-0,5-150 кОм ± 10%	1	
R5	ІСП-1-1-560 Ом ± 20%-А-ВС-3-12,5	1	
R6	МЛТ-0,5-150 кОм ± 10%	1	
R7, R8	МЛТ-0,25-100 кОм ± 10%	2	
R9	ІСП-1-1-560 Ом ± 20%-А-ВС-3-12,5	1	
Ф1	Фильтр АБВГ. ХХХХХХ. ХХХ	1	
	<i>Гидроклапаны предохранительные</i>		
	<i>ГОСТ...</i>		
КП1	Клапан 10-100-1К-11	1	
КП2 ... КП4	Клапан 10-320-1К-11	3	

Рисунок 3.3 – Приклад заповнення переліку елементів

При привласненні позиційних позначень елементам в межах груп пристроїв або при входженні у виріб однакових функціональних груп в перелік елементів, елементи, що відносяться до пристроїв і функціональних груп, записують окремо.

Запис елементів, що входять в кожен пристрій (функціональну групу), починають з найменування пристрою або функціональної групи, який записують в графі "Найменування" і підкреслюють. При автоматизованому

проектуванні найменування пристрою (функціональної групи) допускається не підкреслювати.

Нижче за найменування пристрою (функціональної групи) повинна бути залишена один вільний рядок, вище - не менше одного вільного рядка.

#### **1.4 Порядок виконання роботи**

1. Проаналізувати схему електричну принципову з точки зору її читаємості. Якщо з точки зору виконавця роботи (студента) схема електрична принципова має недоліки, допустимо переробити схему електричну принципову згідно з ГОСТ 2.702-75 (2000) не змінюючи таблиці з'єднань елементів схеми.

2. За допомогою програми «SPLAN6» або «PCAD» виконати схему електричну принципову згідно з ГОСТ 2.702-75 (2000).

3. Також виконати перелік елементів які входять до складу схеми згідно з вимогами ГОСТ 2.702-75 (2000) окремим документом.

#### **1.5 У звіті відобразити:**

- тему й ціль роботи;
- схему електричну принципову;
- перелік елементів до цієї схеми;
- висновки по роботі.

#### **1.6 Контрольні питання**

1. Дайте визначення схеми електричної принципової.
2. Яким чином на схемі електричною принциповою зображаються елементи?
3. Яким чином позначається місце з'єднання трьох і більш компонентів (вузла)?
4. Яким чином нумеруються елементи на схемі електричної принципової? Що означають букви і цифри в позначенні елементу?
5. Для яких цілей спільно з схемою електричною принциповою виконується перелік елементів? До якого виду документів він відноситься і яка інформація в ньому зберігається?.

6. Поясніть правила заповнення переліку елементів?
7. Чи може перелік елементів знаходитися на одному листі з схемою електричної принципової?
8. Чи допускається виконання схеми електричної принципової на декількох окремих листах (форматах)?
9. Яким чином на схемі електричною принциповою позначається ланцюг, окремі ділянки якого розташовані на різних листах (форматах)?
10. Яким чином на схемі електричною принциповою позначаються окремі елементи мікросхем що фізично знаходяться в одному корпусі (наприклад логічні елементи).

#### **Лабораторна робота № 4**

### **ВИВЧЕННЯ ПРИНЦИПІВ КОНСТРУЮВАННЯ ТА МЕТОДІВ З'ЄДНАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ**

**1.1 Мета роботи:** вивчити методи установки та з'єднання елементів при виготовленні електронних приладів.

**1.2 Зміст роботи:** провести необхідні вимірювання взаємних ємностей для різних типів ліній передачі сигналів. Також провести розрахунки погонних ємностей для кожного типу лінії передачі сигналів.

#### **1.3 Короткі теоретичні дані**

Понизити витрати на розробку, підготовку виробництва і освоєння РЭА, забезпечити сумісність і спадкоємність апаратурних рішень з одночасним поліпшенням якості, збільшенням надійності і терміну служби апаратури в експлуатації дозволяє модульний принцип конструювання виробів.

**Модульний принцип конструювання** припускає проектування електронних виробів на основі максимальної конструктивної і функціональної взаємозаміни складових частин конструкції - модулів. Модуль - складова частина апаратури, що виконує в конструкції підлеглі функції, і має закінчене функціональне і конструктивне оформлення, а також забезпечений



елементами комутації і механічного з'єднання з подібними модулями і з модулями нижчого рівня у виробі.

У основі модульного принципу лежить розукрупнення (розбиття) електронної схеми виробу на функціонально закінчені вузли (частини), що виконують певні функції. Ці вузли розбиваються на простіші модулі, і так далі, поки електронна схема виробу не буде представлена у вигляді набору модулів різної складності, а нижчим модулем не виявиться корпус мікросхеми (МС) з елементами (резистори, конденсатори і т.д.) які забезпечують її функціонування.

Модулі нижчого рівня встановлюються і взаємодіють між собою в модулях наступного рівня ієрархії на якій-небудь конструктивній основі. Вони реалізуються у вигляді типових конструктивних одиниць, які встановлюються і взаємодіють в модулі вищого рівня, і т.д. Залежно від складності проєктованого виробу може бути використано різне число рівнів модульності (рівнів конструктивної ієрархії).

**Рівні конструктивної ієрархії.** У конструкції радіоелектронної апаратури можна виділити чотири основні рівні (рис. 4.1).

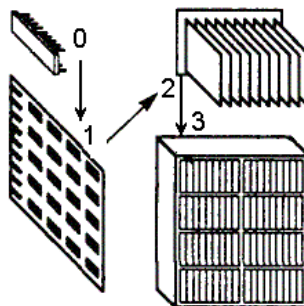


Рисунок 4.1 - Рівні конструктивної ієрархії

**Рівень 0.** Конструктивно неподільний елемент - інтегральна мікросхема з елементами її обслуговування.

**Рівень I.** На рівні I неподільні елементи об'єднуються в схемні поєднання, що мають складнішу функціональну ознаку, утворюючи осередки, модулі, типові елементи заміни (ТЕЗ). Ці конструктивні одиниці не мають

лицьової панелі і містять одиниці і десятки мікросхем. До першого структурного рівня відносять друкарську платню і великі гібридні інтегральні схеми (ВГІС), одержані шляхом електричного і механічного об'єднання безкорпусних мікросхем і кристалів напівпровідникових приладів на загальній платі.

**Рівень II.** Цей рівень включає конструктивні одиниці - блоки, призначені для механічного і електричного об'єднання елементів рівня I. Основними конструктивними елементами блоку є панель з з'єднувачами модулів першого рівня. Комутація між модулями виконується з'єднувачами, розташованими по периферії панелі блоку. Модулі першого рівня розміщуються в один або декілька рядів. Окрім сполучної конструктивні одиниці рівня II можуть містити лицьову панель, утворюючи простий функціональний прилад.

**Рівень III.** Рівень III може бути реалізований у вигляді стійки або крупного приладу, внутрішній об'єм яких заповнюється конструктивними одиницями рівня II - блоками.

Для невеликих виробів немає необхідності використання конструктивних одиниць рівня II і прилади вмонтовують безпосередньо з осередків. При цьому розміри осередків і число змонтованих на них мікросхем, як правило, більше, ніж у великих системах. Це пов'язано з тим, що розбиття функціональної схеми порівняно невеликих приладів на дрібні вузли, що повторюються, приводить до появи великого числа дротяних і роз'ємних з'єднань.

При розбитті структурних і функціональних схем необхідно задовольнити багатьом деколи суперечливим вимогам:

- функціональної закінченості, коли підсхема, що виділяється, повинна володіти необхідною повнотою і виконувати певні функції;
- мінімізації зовнішніх зв'язків підсхем, або, якщо електричні з'єднувачі модулів задані, щоб число зовнішніх зв'язків не перевищило число контактів з'єднувача;

- максимального заповнення модулями конструктивного простору, що відводиться, компоненти не повинні істотно відрізнятись між собою за габаритними розмірами і масою;

- модулі підсхем повинні розсіювати приблизно однакові потужності щоб уникнути місцевих перегрівів;

- модулі підсхем не повинні бути надмірно чутливими до електричних, магнітних і електромагнітних перешкод і не повинні створювати надмірних перешкод.

Функціональна закінченість підсхем скорочує число електричних з'єднань між модулями, дозволяє вносити конструктивні зміни на пізніших стадіях проектування, спрощує і здешевлює контроль модулів.

При конструюванні модулів першого рівня виконуються наступні роботи:

- Вивчення функціональних схем з метою виявлення однакових за призначенням підсхем і уніфікації їх структури в межах виробу, що приводить до зменшення різноманіття підсхем і номенклатури різних типів ТЕЗ.

- Вибір серії мікросхем, корпусів мікросхем, дискретних елементів.
- Вибір єдиного максимально допустимого числа виведень з'єднувача для всіх типів модулів. За основу приймають число зовнішніх зв'язків вузла, що найбільш повторюється, з урахуванням ланцюгів живлення і нульового потенціалу і до 10 % запасу контактів на можливу модифікацію.

- Визначення довжини і ширини плати. Ширина плати, як правило, кратна або дорівнює довжині з'єднувача з урахуванням полів установки і закріплення плати в модулі другого рівня. Вимоги по швидкодії і кількості встановлюваних на плату компонентів впливають на її довжину.

- Власне конструювання плати.

- Вибір способів захисту модуля від перегріву і зовнішніх дій.

Для реалізації схеми електричній принциповій необхідно виконати дві функції: провести установку елементів схеми на несучу поверхню (плату) і провести їх електричне з'єднання. Під електричними з'єднаннями розуміють

лінії передачі (ЛП) і електричні контакти, що служать для передачі сигналів і електричної енергії між МС, елементами і модулями, які створюють виріб. Електричні з'єднання бувають внутрі- і міжмодульними, внутрі- і міжблочними і т.д., що обумовлює їх конструктивне виконання.

По виконуваних функціях розрізняють сигнальні ЛП, об'єднуючі входи і виходи елементів і модулів і призначені для передачі сигналів, і ЛП електроживлення, що здійснюють підведення електричної енергії до елементів. Всі ЛП мають прямий і зворотний дріт. Зворотний дріт називають землею, лінією нульового потенціалу, загальним дротом. Виділяють неекрановані і екрановані ЛП. Екрани забезпечують захист ліній від дії електричних, магнітних і електромагнітних полів. Залежно від конструктивних особливостей зворотного дроту ЛП підрозділяють на симетричні, такі, що складаються з двох однакових ізольованих дротів, несиметричні з одним загальним дротом для багатьох ЛП, і коаксіальні, із зворотним дротом по обплетенню коаксіального кабелю.

У загальному випадку, лінії передачі повинні володіти:

- мінімальним активним і індуктивним опорами;
- однорідним по довжині лінії хвилевим опором;
- мінімальним полем навколо лінії при протіканні по ній струму;
- здатністю передачі сигналів в широкому діапазоні частот, струму і напруги;
- мінімальною товщиною ізоляції з діелектричною проникністю, близькою до 1;
- здібністю до об'єднання у вузли;
- здібністю до автоматизації при проведенні монтажних робіт.

Електричний сигнал передається по провіднику, яким може бути металевий дріт (дріт), плівкові і друкарські провідники. У поперечному перетині дроту бувають круглими або прямокутними, плівкові і друкарські провідники - прямокутними. Дроти захищаються ізолюючими діелектричними оболонками, а при необхідності - екранами. По хвилеводах і

волоконно-оптичним ЛП передається електромагнітна енергія радіочастотного (хвилевід) і світлового (світловод) діапазонів.

Лінії електроживлення є об'ємними дротами, плівкові і друкарські провідники, або провідні пластини. Конструктивне виконання сигнальних ЛП різноманітніше і багато в чому визначається частотним діапазоном передаваних сигналів.

Конструкція електричних з'єднань в значній мірі визначає ефективність і якість конструкції всього РЭС. Спотворення, загасання і затримка безперервного або дискретного сигналу при розповсюдженні в електричній лінії зв'язку, а також перехресні перешкоди можуть порушити нормальне функціонування РЭС: викликати збій цифрового або змінити параметри аналогового пристрою (коефіцієнт посилення, смугу пропускання, стійкість до збудження, фазове зрушення і т. д.). Технологічний процес виконання електричних з'єднань окремих елементів схеми електричній принциповій називається монтажем.

В даний час практично використовуються два види монтажу (об'ємний і друкарський). При об'ємному виді монтажу елементи з'єднуються один з одним монтажними ізольованими дротами мінімальної довжини (по найкоротшому шляху) шляхом паяння. При об'ємному виді монтажу також застосовують монтаж за допомогою джгутів. В цьому випадку дроти укладають не по найкоротшому шляху і зв'язують їх в єдиний джгут. Електричні з'єднання за допомогою джгутів дозволяють достатньо легко вносити зміни в схему блоку і полегшують його ремонт, але утрудняють повторюваність параметрів електричних зв'язків (хвилевого опору, паразитних ємності і індуктивності).

#### Монтажні дроти.

Матеріалом струмопровідних жив дротів є мідь і її сплави. Із зменшенням габаритів апаратури, зменшенням довжин і діаметрів монтажних дротів, а також посилюванням вимог механічних дій, все більше застосування

стали знаходити мідні сплави, що володіють вищою міцністю на розрив і гнучкістю при невеликому погіршенні провідності.

Монтажні дроти бувають одно- і багатожильними. Висока гнучкість, довговічність і надійність дроту в умовах дій ударів і вібрацій забезпечується звиванням декількох одиночних дротів в багатожильний. Промисловість випускає багатожильний провід на 3, 7, 12, 17, 19, 27 і 37 круглих жив. Багатожильний провід з сумарною площею поперечного перетину струмопровідних жив, рівної площі поперечного перетину одиночного дроту, має дещо більший діаметр і вартість, які зростають із збільшенням числа жив. Підвищення механічної міцності багатожильних проводів досягається введенням в конструкцію дроту центральної сталеві жилки для покращення міцності.

Захист від електричного замикання дроту на корпус виробу або на сусідній дріт здійснюють нанесенням на струмопровідну жилу ізоляційного покриття. Матеріал і конструкція ізоляції повинні забезпечувати високі значення електричних параметрів (діелектричну міцність, опір ізоляції, діелектричну постійну) в процесі і після додатку зовнішніх дій, а також після тривалого зберігання. В даний час існує велика різноманітність різних типів ізоляційних покриттів.

Дріт вибирають виходячи з необхідних умов експлуатації, навантаження по струму, допустимого падіння напруги, витоку струму, діелектричної міцності. Одножильні дроти рекомендується використовувати в стаціонарній апаратурі, не схильній до дій ударів і вібрацій. Збільшення числа жив дроти підвищує його стійкість до багатократних перегинів в умовах дій вібрацій. Багатожильні проводи застосовують в бортовій апаратурі.

Можна рекомендувати наступний розмірний ряд перетинів струмопровідних жив монтажних дротів: 0,03; 0,05; 0,08; 0,12; 0,20; 0,35; 0,50; 0,75; 1,0; 1,5; 2,5 мм<sup>2</sup>. Вибір діаметру дроту залежить від сили струму і допустимого перегріву дроту. Щільність струму для різних діаметрів дротів

при тривалих допустимих навантаженнях, що приводять до перегріву дроту на 20°C щодо навколишнього середовища, приведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Допустимі струми навантаження мідних дротів

Електричний параметр	Діаметр дротів, мм									
	0,25	0,35	0,5	0,7	0,9	1,1	1,4	1,6	1,8	2,5
Щільність струму, А/мм <sup>2</sup>	14	13	12	10	10	10	9	9	8	8
Струм, А	0,7	1,3	2,5	4	7	10	14	17	20	30

З даних цієї таблиці виходить, що для дротів малих діаметрів мають місце велика щільність струмів за рахунок активнішого теплообміну з навколишнім середовищем.

Нижче в таблиці 4.2 приведені марки широко використовуваних монтажних дротів.

Таблиця 4.2 - Марки монтажних дротів

Дріт монтажний	Марка	Темп., °С	Область застосування
З волокнистою і поліхлорвінілової ізоляцією	МШВ, МГШВ, МГШВЭ	-60÷+70	Фіксований монтаж внутрі- і між приладами для польових умов
З поліхлорвінілової ізоляцією	МГВ, МГВЭ, МГВЛ, ПМВ, ПМОВ, ПМВГ	-60/+70	Фіксований монтаж апаратури з малим навантаженням по струму
З лавсановою ізоляцією, теплостійкий	МГТЛ, МГТЛЭ	-60/+150	Фіксований і гнучкий внутрішній приладовий монтаж
Малих перетинів	МГТФ, МГСТФ,	-60/+70	Монтаж апаратури з малими струмами

	МГТФЭ		
З поліетиленовою ізоляцією підвищеної теплостійкості	ПМП, ПМПЭ, ПМПЛ	-60/+220	Монтаж внутрі- і між приладами

Джгути можуть складатися з монтажних дротів різних перетинів і типів: виті пари, одножильні і багатожильні проводи, екрановані дроти і коаксіальні кабелі. Довгі провідники укладають із зовнішньої сторони джгута, а екрановані провідники і провідники малих перетинів - усередині джгута. Основні параметри кабельних ліній зв'язку приведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Параметри кабельних виробів

Тип або конструкція виробу	Хвильовий опір, Ом	Погонна ємність, пФ/м	Погонна індуктивність, мкГн/м	Опір сигнального провідника постійному	Коефіцієнт перехресної	Час затримки, нс/м
Скрученна пара провідників типа МНВ сечением 0,05 мм <sup>2</sup>	103	62	0,66	0,35	0,15	6
Скрученна тройка провідників типа МНВ сечением 0,05 мм <sup>2</sup>	90	67	0,54	0,35	0,07	6
Одиночний провід типа МНВ сечением 0,05 мм <sup>2</sup>	150...200	30	1,0	0,35	-----	3,3
ИКМ 0,3/2,4	100±10	46	0,45	0,3	-----	4,5
ИКМ 0,12/1,1	100±10	45	0,46	4,6		4,5
ПВП мс 75-50x0,2	75±7,5	67	0,38	0,55	0,17	5



ПВП	мс	100-54x0,18	100±10	52	0,49	0,69	0,15	5
-----	----	-------------	--------	----	------	------	------	---

#### 1.4 Порядок виконання роботи:

1. Підготувати вимірника RLC типу E7-11 до роботи згідно керівництва по експлуатації.

2. З'єднати вимірник RLC типу E7-11 до клем «до вимірника RLC» стенду для дослідження ліній зв'язку об'ємного монтажу.

3. Встановити перемикач вибору типу лінії зв'язку в положення «Одиночний дріт», а перемикач «Навантаження» в положення «ОТКЛ».

4. Провести вимірювання величини паразитної ємності між сусідніми дротами в джгуті. Результати вимірювань занести в таблицю 4.4.

5. Встановити перемикач вибору типу лінії зв'язку в положення «Вита пара», і повторити вимірювання згідно п4.

6. Встановити перемикач вибору типу лінії зв'язку в положення «Екранований дріт», і повторити вимірювання згідно п4.

7. Встановити перемикач вибору типу лінії зв'язку в положення «Коаксіальний кабель», і повторити вимірювання згідно п4.

8. З'єднати дроти вимірника RLC типу E7-11 до клеми «\*» «до вимірника RLC» і корпусу стенду для дослідження паразитної ємності «лінія – ЗП».

9. Встановити перемикач вибору типу лінії зв'язку в положення «Одиночний дріт».

10. Провести вимірювання величини паразитної ємності між досліджуваною лінією передачі і загальним дротом. Результати вимірювань занести в таблицю 4.5.

11. Встановити перемикач вибору типу лінії зв'язку в положення «Вита пара», і повторити вимірювання згідно п10.

12. Встановити перемикач вибору типу лінії зв'язку в положення «Екранований дріт», і повторити вимірювання згідно п10.

13. Встановити перемикач вибору типу лінії зв'язку в положення «Коаксіальний кабель», і повторити вимірювання згідно п10.

Таблиця 4.5 - Результати вимірювань

Тип лінії передачі	Зміряна ємність між лініями зв'язку Сл-л, пФ	Зміряна ємність між лінією зв'язку і ЗП Сл-оп, пФ	Довжина лінії, м	Погонна ємність лінії Сл-л, пФ/м	Погонна ємність лінії Сл-л, пФ/м
Одиночний дріт					
Вита пара					
Екранований дріт					
Коаксіальний кабель					

### 1.5 У звіті відобразити:

- тему й ціль роботи;
- результати вимірювань;
- висновки по роботі.

### 1.6 Контрольні питання

1. Дайте визначення монтажу.
2. За допомогою чого з'єднуються окремі елементи в модулях 1 рівня?
3. Яким чином класифікуються монтажні дроти?
4. До якого рівня конструкції відносяться мікросхеми?
5. Які види монтажу застосовуються у виробництві електронній техніці в даний час?
6. Перерахуйте достоїнства і недоліки об'ємного монтажу.
7. Перерахуйте, які види ліній передачі сигналів використовуються при об'ємному монтажі?

8.Що загального між екранованим дротом і коаксіальним кабелем, і які відмінності вони мають?

### **Лабораторна робота № 5**

## **ВИВЧЕННЯ МЕТОДІВ УСТАНОВКИ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ ТА РОЗРОБКА ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ**

**1.1 Мета роботи:** вивчити методи установки та з'єднання елементів при виготовленні електронних приладів.

**1.2 Зміст роботи:** провести необхідні розрахунки та виконати розробку компоновки елементів на друкованій платі. Також провести трасування з'єднувальних доріжок між елементами та виконати креслення окремих слоїв друкованої плати, а також її складальне креслення.

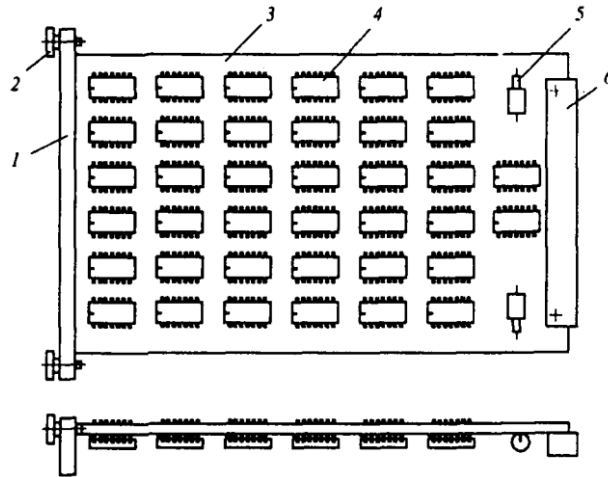
### **1.3 Короткі теоретичні дані**

У низькочастотній апаратурі вузькі плоскі сигнальні провідники друкарської плати (ДП) розташовують на діелектричній підставі спільно з провідниками електроживлення і нульового потенціалу, які для зменшення падіння напруги на них виконуються широкими, наскільки це можливо. Односторонні і двосторонні ДП не забезпечують для всіх провідників однорідного і стабільного хвильового опору, оскільки сигнальні провідники розташовуються на різних відстанях від провідника нульового потенціалу. Між провідниками має місце значний індуктивної зв'язок та ємності.

У високочастотній апаратурі зменшення паразитного зв'язку між провідниками досягається введенням в конструкцію платні екрану, заземлення якого забезпечує також і однакові значення хвильових опорів сигнальних провідників. Екран є загальним для всіх провідників платні і виконується у вигляді одного або декількох провідних шарів багат шарової Пп. Функцію екрану в багат шаровій платні часто виконує суцільний шар електроживлення.

Широкого поширення набула плоска компоновка модуля, коли компоненти схеми встановлюють в площині плати з однієї або двох сторін. Для плоскої компоновки характерна мала висота установки компонентів в

порівнянні з довжиною і шириною платню. Простота виконання монтажних робіт, легкість доступу до компонентів і монтажу, поліпшений тепловий режим є основними перевагами плоскої компоновки. Якщо для зовнішньої комутації модуля вводиться з'єднувач, то подібну конструкцію називають типовий елемент заміни (ТЕЗ) (рис.5.1).



1-лицьова панель, 2-випадний гвинт, 3-друкарська платня, 4-мікросхема, 5-конденсатор, 6-електричний з'єднувач (роз'єм).

Рисунок 5.1 - Типовий елемент заміни (ТЕЗ)

Друкарська плата (ДП) - це елементи конструкції, які складаються з плоских провідників у вигляді ділянок металізованого покриття, розміщених на діелектричній підставі які забезпечують з'єднання елементів електричного ланцюга. Вони набули широкого поширення у виробництві модулів, осередків і блоків завдяки наступним перевагам в порівнянні з традиційним об'ємним монтажем провідниками і кабелями:

- підвищення щільності розміщення компонентів і щільності монтажних з'єднань, можливість істотного зменшення габаритів і ваги виробів;
- отримання друкарських провідників, екрануючих поверхонь в єдиному технологічному циклі;
- гарантована стабільність і повторюваність електричних характеристик (провідність, паразитних ємності і індуктивності);

- підвищення швидкодії і перешкодозахищеності схем;
- підвищена стійкість і кліматичним і механічним діям;
- уніфікація і стандартизація конструктивних і технологічних рішень;
- збільшення надійності вузлів, блоків і пристрою в цілому;
- поліпшення технологічності за рахунок комплексної автоматизації монтажних-складальних, регулювальних і контрольних - випробувальних робіт;
- зниження трудомісткості, матеріаломісткості і собівартості.

До недоліків слід віднести складність внесення змін в конструкцію і обмежену ремонтпридатність.

Елементами друкарської плати є діелектрична підстава, металеве покриття у вигляді малюнка друкарських провідників і контактних майданчиків, монтажні і фіксуєчі отвори.

При розробці конструкції друкарської плати розв'язуються наступні взаємозв'язані між собою завдання:

- 1) схемотехніки - трасування друкарських провідників, мінімізація шарів і т.д.;
- 2) радіотехнічні - розрахунок паразитних наведень, параметрів ліній зв'язку і ін.;
- 3) теплотехнічні - температурний режим роботи ДП, радіатори;
- 4) конструктивні - розміщення елементів на ДП, контакти і пр.;
- 5) технологічні - вибір методу виготовлення, захист і ін.

Загальні вимоги до друкарської плати:

Діелектрична підстава друкарської плати повинна бути однорідною за кольором, монолітним по структурі і не мати внутрішніх міхурів і раковин, сторонніх включень, сколов, тріщин і розшарувань.

Провідний малюнок друкарської плати повинен бути чітким, з рівними краями, без здуття, відшаровувань, розривів, слідів інструменту і залишків технологічних матеріалів.

Види друкарських плат.

Залежно від числа нанесених друкарських провідних шарів друкарська платня розділяється на одно- двох- і багатошарові. Перші два типи називають також одно- і двосторонніми.

Одностороння друкарська плата (ОДП) виконується на шаруватій пресованій або рельєфній литій підставі без металізації або з металізацією монтажних отворів. Плата на шаруватому діелектрику проста по конструкції і економічна у виготовленні. При неможливості стовідсоткової розводки друкарських провідників застосовуються навісні перемички. Така плата застосовує для монтажу побутової радіоапаратури, блоків живлення, пристроїв техніки зв'язку, і допоміжній апаратурі. Низькі витрати, високу технологічність і стійкість до нагріву мають рельєфні лити друкарські плати, на одній стороні якої розташовані елементи друкарського монтажу, а на іншій - об'ємні елементи (корпуси з'єднувачів, периферійна арматура для кріплення деталей і елементів схеми, радіатори і ін.). У цій платі за один технологічний цикл виходить вся конструкція з монтажними отворами і спеціальними поглибленнями для розташування елементів схеми, що монтуються на поверхню.

Двостороння друкарська плата (ДДП) має провідний малюнок на обох сторонах діелектричної або металевій підставі і забезпечує високу щільність установки компонентів і трасування. Переходи провідників з шару в шар здійснюються через металізовані перехідні отвори. Плата допускає як монтаж компонентів на поверхні, зокрема з двох сторін, так і монтаж компонентів з осьовими і штирьовими виводами в металізовані отвори. ДДП є найпоширенішим різновидом друкарської платні у виробництві модулів електронної техніки, використовуються у вимірювальній техніці, системах управління і автоматичного регулювання. Розташування елементів друкарського монтажу на металевій підставі дозволяє вирішити проблему відводу тепла в апаратурі з великими струмами.

Багатошарова друкарська плата (БДП) складається з шарів ізоляційного матеріалу, що чергуються, з провідними малюнками на двох або більш шарах,

між якими виконані необхідні з'єднання, сполучених клейовими прокладками в монолітну структуру шляхом пресування. Електричний зв'язок між провідними шарами виконується спеціальними об'ємними деталями, друкарськими елементами або хіміко-гальванічною металізацією. В порівнянні з ОДП і ДДП вони характеризуються підвищеною надійністю і щільністю монтажу, стійкістю до механічних і кліматичних дій, зменшенням розмірів і числа контактів. Проте велика трудомісткість виготовлення, висока точність малюнка і поєднання окремих шарів, необхідність ретельного контролю на всіх операціях, низька ремонтпридатність, складність технологічного устаткування і висока вартість дозволяють застосовувати БДП тільки для ретельно відпрацьованих конструкцій радіоелектронної апаратури.

#### Основні правила конструювання друкарської плати

1. Максимальний розмір сторони ДП не повинен перевищувати 500 мм. Це обмеження визначається вимогами міцності і щільності монтажу.
2. Співвідношення розмірів сторін ДП для спрощення компоновки блоків і уніфікації розмірів ДП рекомендуються наступні: 1:1, 2:1, 3:1, 4:1, 3:2, 5:2 і т.д.
3. Вибір матеріалу ДП, способу її виготовлення, класу щільності монтажу повинні здійснюватися на стадії ескізного проектування, оскільки ці характеристики визначають багато електричних параметрів пристрою..
4. При розбитті схеми на шари слід прагнути до мінімізації числа шарів. Це диктується економічними міркуваннями.
5. По краях платні слід передбачати технологічну зону шириною  $1,5 \div 2,0$  мм. Розміщення настановних і інших отворів, а також друкарських провідників в цій зоні не допускається.
6. Всі отвори повинні розташовуватися у вузлах координатної сітки. В крайньому випадку, хоча б перше виведення мікросхеми повинне розташовуватися у вузлі координатної сітки.

7. На друкарській платні повинен бути передбачений орієнтуєчий паз (або зрізаючий лівий кут) або технологічні базові отвори, необхідні для правильної орієнтації плати.

8. Друкарські провідники слід виконувати максимально короткими.

9. Прокладка поряд провідників вхідних і вихідних ланцюгів небажано щоб уникнути паразитних наведень.

10. Провідники найбільш високочастотних ланцюгів прокладаються в першу чергу і мають завдяки цьому найбільш можливо коротку довжину.

11. Провідники заземлення слід виготовляти максимально широкими.

#### Конструктивні особливості друкарської платні

Ширину друкарських провідників розраховують і вибирають залежно від допустимого навантаження струмом, властивостей струмопровідного матеріалу, температури навколишнього середовища при експлуатації. Допустима щільність струму для ОДП, ДДП і зовнішніх шарів МДП - 20А/мм<sup>2</sup>; для внутрішніх шарів МДП - 15 А/мм<sup>2</sup>.

Відстань між елементами провідного малюнка, розташованими на зовнішніх або в сусідніх шарах ДП, залежить від допустимого робочої напруги, властивостей діелектрика, умов експлуатації (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 - Значення робочої напруги ДП

Відстань між елементами малюнка, мм	Значення робочої напруги, В	
	Фольгований гетинакс (ГФ)	Фольгований склотекстоліт (СФ)
От 0,1 до 0,2	—	25
Більш 0,2 до 0,3	—	50
Більш 0,3 до 0,4	75	100
Більш 0,4 до 0,5	150	200
Більш 0,5 до 0,75	250	350
Більш 0,75 до 1,5	350	500
Більш 1,5 до 2,5	500	650



Координатна сітка креслення ДП необхідна для координації елементів друкарського малюнка. У вузлах перетинів сітки розташовуються монтажні і перехідні отвори. Основним кроком координатної сітки прийнятий розмір 0,5 мм в обох напрямках. Якщо цей крок не задовольняє вимогам конкретної конструкції, можна застосовувати крок, рівний 0,05 мм. При використанні мікросхем і елементів з кроком висновків 0,625 мм допускається застосування кроку координатної сітки 0,625 мм. При використанні мікросхем зарубіжного виробництва з відстанями між висновками по дюймовій системі допускається використання кроку координатної сітки, кратного 2,54 мм.

Діаметри монтажних і перехідних отворів (металізованих і не металізованих) повинні вибиратися з ряду 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 2,0; 2,1; 2,2; 2,3; 2,4; 2,5; 2,6; 2,7; 2,8; 3,0. Монтажні отвори призначені для установки мікросхем і елементів схеми, а перехідні отвори для електричного зв'язку між шарами або сторонами ДП. Отвори під виведення елементів схеми вибираються залежно від діаметру виведення елемента на  $0,2 \div 0,4$  мм більше діаметру виведення. У конструкції рекомендується обмежити кількість типорозмірів отворів до значень  $3 \times$  або  $4 \times$ .

Розміри ПП, якщо вони спеціально не обумовлені в ТЗ, визначаються з урахуванням кількості встановлюваних елементів, їх настановних площ, кроку установки, зон установки роз'єднувачу і ін. Співвідношення лінійних розмірів сторін ПП повинне складати не більше 3:1.

#### Класи точності ДП.

ГОСТ 23751-86 передбачається п'ять класів точності (щільність малюнка) друкарської платні (див. табл. 5.2). Вибір класу точності визначається досягнутим на виробництві рівнем технологічного оснащення. У КД повинна міститися вказівка на необхідний клас точності друкарської плати.

Таблиця 5.2 - Класи точності друкарської платні

Найменування параметра	Усл. позн.	Розміри елементів малюнка для класів, мм				
		1	2	3	4	5
Відстань між провідниками, контактними майданчиками, металізованими отворами	$t$	0.75	0.45	0.25	0.15	0.1
Відстань від краю просвердленого отвору до краю контактного майданчика даного отвору	$S$	0.75	0.45	0.25	0.15	0.1
Відношення мінімального діаметру металізованого отвору до товщини плати	$f$	0.4	0.4	0.33	0.25	0.2

Плата першого і другого класів точності проста у виготовленні, дешева, не вимагають для свого виготовлення устаткування з високими технічними показниками, але не відрізняються високими показниками щільності компоновки і трасування.

Для виготовлення платні четвертого і п'ятого класів потрібен спеціалізоване високоточне устаткування, спеціальні матеріали, безусадочна плівка для виготовлення фотошаблонів, ідеальна чистота у виробничих приміщеннях, аж до створення "чистих" ділянок (гермозон) з кондиціонуванням повітря і підтримкою стабільного температурно-вологісного режиму. Технологічні режими фотохімічних і гальвано-хімічних процесів повинні підтримуватися з високою точністю.

Масовий випуск плат третього класу освоєний основною масою вітчизняних підприємств, оскільки для їх виготовлення потрібний рядове, хоч і спеціалізоване устаткування, вимоги до матеріалів і технології не дуже високі.

Маркування ДП

Маркування друкарської платні підрозділяється на обов'язкову і додаткову. До обов'язкового маркування відноситься позначення друкарської плати по ГОСТ 2.201-80 ("децимальний номер") або який-небудь умовний шифр, дати виготовлення і номери версії фотошаблону, а також технологічні маркери, що вводяться у фотошаблон виробником плати. Додаткове маркування містить позначення заводського номера плати або партії плати, позначення контурів місць установки і позиційні позначення компонентів, і іншу інформацію, що служить для зручності монтажу, регулювання і експлуатації модуля.

Частина маркування може бути виконана одночасно з провідниками, але для цього на платі повинне бути вільне місце. При виконанні проекту засобами САПР маркувальні знаки, що виконуються в шарах провідників, одержують статус ланцюгів, що не мають підключених компонентів, і САПР видає повідомлення про помилки. Проте, таке маркування застосовується для позначення номера креслення ДП або її шифру, з тим, щоб в масовому виробництві можна було ідентифікувати плату, що поступає з операцій хімічної обробки, коли на них ще немає іншого маркування. Висота символів маркування повинна бути не менше 2,5 мм.

Дефіцит вільного місця на друкарській платні не заважає виконувати маркування способами офсетного друку (сіткографії, шовкографії і т.п.). Маркування лише не повинна потрапляти на місця паяння.

#### Особливості оформлення креслення друкарської плати

Після розробки друкарської плати оформляється її креслення. Друкарська платна є деталлю, а значить, на кресленні ДП повинні бути позначені всі розміри, допуски на всі розміри, шорсткість.

У найменуванні креслення в основному написі відзначають "Плата друкарська", рекомендований масштаб 2:1.

Велику частину розмірів виявляється можливим проставити на кресленні координатним методом, тонкими лініями типу "Виносних", якими зображається і координатна сітка. Координатна сітка прив'язується до лівого

нижнього кута або лівого нижнього крайнього отвору і нумерується. Крок координатної сітки указується в технічних вимогах в кресленнях.

Отвори близьких значень діаметрів зображаються колом одного діаметру. Отвори одного діаметру на кресленні умовно виділяються.

Контактні майданчики і провідники на кресленні ПП можуть зображатися двома різними методами:

1) Контактні майданчики і провідники зображаються контурним контуром з штрихуванням (рис. 5.2)

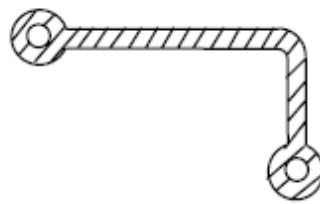


Рисунок 5.2 – Зображення контактних майданчиків і провідників контурним контуром з штрихуванням

2) Контактні майданчики і провідники зображаються спрощено потовщеною лінією товщиною в дві “Контурні”. У такому разі на кресленні повинні бути вказані розміри контактних майданчиків, провідників і зазорів в технічних вимогах.

Розміри елементів друкарського монтажу рекомендується помістити в таблицю (табл. 5.3).

Таблиця 5.3. - Приклад таблиці розмірів отворів

Усл. поз.	Діаметр отвору	Мінім. Ø конт. майданчику	Наявність металізації	Кількість отворів
	1		єсть	
	1.2		єсть	
	3		нет	

Мінімальний діаметр контактної площадки (рис. 5.2) розраховується з урахуванням вибраного класу плати і умовами виробництва

$$D_{\min} = d_0 + \Delta d_{BO} + 2b_{\min} + \Delta t_{BO} + \sqrt{T_d^2 + T_D^2 + \Delta t_{HO}^2}$$

де  $d_0$  – діаметр отвору;  $\Delta d_{BO}$  – допуск на діаметр отвору (верхнє відхилення);  $b_{\min}$  – відстань від краю отвору до краю контактної площадки;  $\Delta t_{BO(HO)}$  – допуск на ширину друкарського провідника;  $T_D$  – позиційний допуск, погрішність в розміщенні контактних площадок;  $T_d$  – позиційний допуск, погрішність в розміщенні центрів отворів.

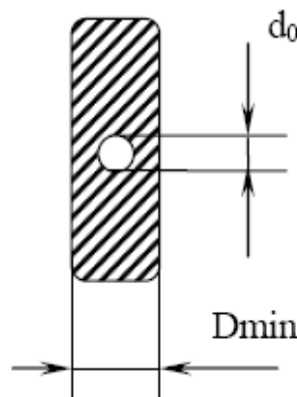


Рисунок 5.3 - Розміри контактної площадки

Для платні 3-го класу точності маємо наступні значення параметрів,  $\Delta d_0$  залежить від  $d_0$ : якщо  $d_0 \leq 1$  мм,  $\Delta d_0 = \pm 0,05$  мм; якщо  $d_0 > 1$  мм,  $\Delta d_0 = \pm 0,1$  мм;  $b_{\min} = 0,1$  мм у 3-му класі ДП.

Похибка ширини провідника  $\Delta t = \pm 0,1$  мм. Якщо платня мала  $\ell < 180$  мм,  $T_d = 0,08$  мм;  $180 < \ell < 360$  мм,  $T_d = 0,1$  мм;  $\ell > 360$  мм,  $T_d = 0,15$  мм.  $T_D = 2 T_d$ .

Для платні грубих класів точності (1кл.) похибки параметрів збільшуються в 2 і навіть в 3 рази. Інформацію про розміри можна вказати в технічних вимогах або у вигляді таблиці (табл. 5.4).

Таблиця 5.4 - Приклад таблиці розмірів елементів друкарського монтажу

Елементи друкарського монтажу	Розміри	
	у вузькому місці	у широкому місці

1) Ширина друкарських провідників		
2) Відстань між провідниками і контактними майданчиками		

**Ширина друкарських провідників** розраховується від величини щільності струму.

У друкарському провіднику щільність струму  $j_{дон} = 20 \text{ А/мм}^2$ . У навісному монтажі з ізоляцією щільність струму складає  $10 \text{ А/мм}^2$ .

Залежно від струму через провідник ширина провідника розраховується по формулі:

$$j = I / (t \cdot \delta), \quad t = I / (\delta \cdot j_{дон}),$$

де  $t$  – ширина провідника;  $\delta$  – товщина провідника.

Якщо  $\delta = 50 \text{ мкм}$ , то на кожен ампер струму необхідно  $1 \text{ мм}$  ширини провідника. Якщо струми схеми незначні, то ширину провідника вибирають виходячи з можливостей виробництва:

- у вузькому місці по мінімальному значенню у вибраному класі;
- у вільному - попереднього грубого класу.

Відстань між провідниками і контактними майданчиками вибираються з величини напруги між ними (табл. 5.1).

Якщо напруги малі, то зазор вибирають виходячи з можливостей вибраного класу точності. При розміщенні трас друкарського монтажу необхідно виконувати наступні вимоги: довжина друкарських провідників повинна бути мінімальною, а значить, елементи, що сполучаються, з висновками, що сполучаються, повинні розміщуватися поряд.

Якщо провідники у вузькому місці при трасуванні можуть перетинатися, чого не допустимо за схемою, то вузьке місце можна розвести наступними методами:

1) Друкарський провідник у вузькому місці уривається, пропонуються монтажні отвори, провідник виконується з іншого боку навісним дротом (перемичка). Кількість провідників перемичок повинна бути мінімально.

2) Пропонується раціональна компоновка елементів, коли траса у вузькому місці проходить між виведеннями елементів.

3) Друкарський провідник може розміщуватися не тільки по лініях координатної сітки, але і між лініями і під кутом кратним  $45^\circ$ .

4) Допускаються довільні конфігурації друкарського монтажу.

Основні вимоги установки елементів на друкарську плату.

Навісні елементи на друкарській платі розміщують відповідно до ОСТУ 4.010.030-81 (див. додаток 3). Навісні елементи з планарними виводами допускається розташовувати з двох сторін друкарської платні. Корпуси елементів розміщуються паралельно сторонам друкарської платні. Відстань між корпусом елементу і краєм друкарської платні повинне бути не менше 1 мм, а між виведенням елементу і краєм друкарської платні не менше 2 мм. Розташування елементів повинне забезпечувати найбільш просте трасування, технологічні вимоги до осередку для автоматичної збірки, паяння і контролю, високу надійність, малі габаритні розміри, швидкодію, відведення тепла, ремонтпридатність і ін. Відстань між неізолюваними корпусами, між корпусами і виведеннями сусідніх елементів повинне бути не менше 1 мм, допускається зменшення відстані між ізолюваними корпусами до 0,5 мм. Мінімальний крок установки мікросхем приводиться в ОСТІ 4.010.009.

Для автоматичної установки навісних елементів повинні бути передбачені "вільні" зони, займані виконавчим механізмом настановної головки автоматизованого устаткування. Розміри "вільних" зон, перелік елементів, що підлягають автоматизованій установці на друкарську плату, а також вимоги до конструкції ДП приведені в ОСТ4.091.124-79.

ОСТ4.010.030-81 визначає можливі варіанти розташування елементів і формування їх висновків.

## **Особливості оформлення складальних креслень виробів на друкарській платі**

На складальному кресленні модуля на друкарській платі допускаються спрощені зображення навісних елементів, які повинні відповідати ОСТУ 4.010.030. Друкарські провідники на складальному кресленні дозволяється не показувати, а монтажні отвори зображати одним колом або перетином ліній координатної сітки. На кресленні позначаються поверхні роз'єднувачів, монтажних пелюсток і інших деталей, що оберігаються від попадань на них лаку. На елементах повинні бути вказані позиційні позначення відповідно до електричної принципової схеми. Маркування на елементі показується умовно без нанесення її на корпус елемента, що повинно обмовлятися в технічних вимогах складального креслення.

У технічних вимогах креслення необхідно указувати варіанти установки елементів.

а) для випадку установки елементів по одному варіанту - "Установку елементів проводити по ОСТ4.010.030-81. Крок координатної сітки ... Варіант установки ...";

б) для випадку установки елементів по різних варіантах "Установку елементів проводити по ОСТ4.010.030-81. Крок координатної сітки ... Елементи (R1, C1 і т.д.) встановлювати по варіанту ..., елементи (R2, C2 і т.д.) встановлювати по варіанту ...

Установка елементів, що не увійшли до стандарту, і елементів з настановними розмірами відмінними від приведених в стандарті, повинна бути показана на полі креслення. У технічних вимогах необхідно вказати марку припою, покриття для вологозахисту. Приклад виконання складального креслення дивись в додатку 4.

### **1.4 Порядок виконання роботи**

1. Проаналізувавши схему електричну принципову і перелік елементів виконану в лабораторній роботі №3 використовуючи різні довідкові дані визначити для кожного елемента наступні габаритні розміри: довжину 1,



ширину (діаметр)  $D$ , діаметр ніжки виведення  $d$  (для штирьових компонентів), розміри контактів під паяння  $a$  і  $b$  (для планарних компонентів). Перераховані дані занести в таблицю 5.5.

Таблиця 5.5 - Результати визначення габаритних параметрів елементів схеми електричної принципової

№п/п	Найменування елемента	Довжина елемента $l$ , мм	Ширина (діаметр) елемента $D$ , мм	Діаметр ніжки виводу елемента $d$ , мм	Розміри контактів під паяння $a$ і $b$ , мм	Площа займана компонентом з урахуванням виводів $S$ , мм <sup>2</sup>

2. Для кожного типу номіналу елемента того, що має штирьові виводи визначити параметри формовки його виводів і визначити площу яку елемент займатиме на друкарській платі. Результати розрахунку занести в таблицю 5.6.

Таблиця 5.6 – Результати розрахунку необхідної площі друкарської платні

№п/п	Найменування елемента	Кількість, шт	Площа займана компонентом з урахуванням виводів $S$ , мм <sup>2</sup>	Загальна площа для одного типу номіналу елементів, мм <sup>2</sup>
Загальна площа елементів $\sum S$ , мм <sup>2</sup> =				

Розрахункова площа друкарської плати  $S_{дп} =$

3. Визначити загальну площу елементів розташованих на друкарській платні і розрахувати необхідну площу заготовки для установки вищезгаданих елементів і прокладки сполучних провідників. Результати розрахунків занести в таблицю 6.6.

4. На підставі проведення розрахунків вибрати габаритні розміри проєктованої друкарської платні відповідно до рекомендаціями даних методичних вказівок.

5. Для штирьових і планарних виводів окремих компонентів провести розрахунок діаметрів отворів для установки цих компонентів і діаметрів контактних майданчиків.

Результати розрахунків занести в таблицю 5.7.

Таблиця 5.7 - Результати розрахунку діаметрів отворів і їх контактних майданчиків.

№п/п	Найменування елемента	Діаметр виводу елемента	Діаметр отвору для установки компоненту	Діаметр контактного майданчика (або розмір для планарного компоненту)

--	--	--	--	--

6. Визначити величину зазорів між провідними елементами малюнка друкарської плати з урахуванням робочої напруги (табл.. 5.1).

7. Розрахувати величину ширини доріжок друкарської плати з урахуванням робочих струмів. Результати розрахунків занести в таблицю 5.8

Таблиця 5.8 - Технологічні параметри проекрованої платні

№п/п	Ширина доріжки провідників живлення не менше, мм	Ширина доріжки провідників інформаційних не менше, мм	Зазор між провідниками і контактними майданчиками не менше, мм	Зазор між провідниками (контактними майданчиками) і контуром плати не менше, мм

8. Для виконання компоновки і трасування друкарської платні запустити програму SL або PCAD.

9. У контурному шарі викреслити габарити проекрованої друкарської платні.

10. Використовуючи бібліотечні елементи призвести їх витягання з бібліотеки у необхідній кількості і розташувати їх навколо контуру друкарської плати. Провести маркування витягнутих елементів відповідно до про схему електричної принципової.

11. Встановити в потрібних координатах друкарської плати монтажні отвори (для кріплення друкарської платні усередині корпусу).

12. Розташувати елементи схеми усередині контуру друкарської платні дотримуючи умови установки згідно ГОСТ і отримання сполучних доріжок мінімальної довжини.

13. Прокласти на платі доріжки провідників живлення. Дані провідники розташовуються (як правило) уздовж довгих сторін друкарської платні біля її краю, або аналогічно по центру друкарської плати поряд один з одним.

14. Провести трасування сполучних доріжок в шарі паяння. У разі неможливості прокладки сполучних доріжок тільки в шарі паяння не обходжений з'ясувати яку кількість сполучних доріжок неможливо прокласти. Якщо кількість не прокладених доріжок менше десяти те слід спробувати виконати ці доріжки за допомогою установки перемичок і таким чином забезпечити розробку односторонній друкарської платні яка буде кметь низьку вартість.

15. У випадку якщо кількість не прокладених доріжок значно більше десяти то є необхідність проектувати двосторонню друкарську плату. Сполучні провідники розташовувати рівномірно на шарі паяння і шарі компонентів.

16. Після закінчення прокладки сполучних провідників (доріжок) провести корекцію маркування елементів з метою забезпечення можливості нормального пошуку установлень елементів. Маркування повинна виконуватися в окремому шарі, не потрапляти під встановлені елементи, і знаходитися по можливості поряд з елементом.

17. Після закінчення розробки друкарської плати провести оформлення документації (складальне креслення із специфікацією, креслення топологи слоїв друкарської платні з технологічними вимогами).

### **1.5 У звіті відобразити:**

- тему и мету роботи;
- результати розрахунків технічних параметрів друкарської платні;
- результати розрахунків технологічних параметрів друкарської платні;
- креслення слоїв друкарської плати;
- висновки по роботі .

## 1.6 Контрольні запитання

1. Які види монтажу електронних компонентів використовують при виготовленні електронної техніки?
2. Які види ліній передачі використовують при виготовленні електронної техніки?
3. Перелічіть переваги друкованого монтажу?
4. З яких матеріалів виконують друковані плати?
5. Яким чином вибирають співвідношення розмірів друкованої плати?
6. Яка залежність ширини друкованих провідників (доріжок) від сили струму протікаючого по останніх?
7. Яка залежність величини зазору між друкованими провідниками плати від робочої напруги схеми електричної принципової?
8. Від яких параметрів залежить клас друкованої плати?
9. Яким чином визначають розміри отворів на друкованій платі?

## Лабораторна робота № 6

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ОХОЛОДЖУВАЧІВ (РАДІАТОРІВ) НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПРИЛАДІВ ПРИ ПРИРОДНОМУ ПОВІТРЯНОМУ ОХОЛОДЖУВАННІ

**1.1 Ціль роботи:** вивчити методи відведення теплової енергії та визначення режимів роботи охолоджувачів (радіаторів) напівпровідникових пристроїв при природному повітряному охолодженні.

**1.2 Зміст роботи:** виконати вимірювання теплових параметрів нагрітої зони та провести розрахунок основних параметрів охолоджувачів (радіаторів) при природному повітряному охолодженні.

### 1.3 Короткі теоретичні відомості

Значна частина енергії споживаною від джерел електроживлення перетворюється на теплову і розсівається в навколишнє середовище.

Перенесення від нагрітих елементів до холодних здійснюється теплопровідністю, тепловим випромінюванням і тепловою конвекцією.

Процес передачі теплоти теплопровідністю пояснюється обміном кінетичною енергією на атомно-молекулярному рівні. Такий обмін енергією відбувається, якщо температура в різних точках тіла різна і коли контактують два тіла з різним ступенем нагріву.

Цей процес визначається законом Фур'є, згідно якому тепловий потік

$$P_{\text{т}} = \frac{\lambda \cdot S}{l_{\text{т}}} (T_1 - T_2)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу;

$l_{\text{т}}$  – довжина шляху теплового потоку;

$S_{\text{т}}$  – площа теплообміну;

$T_1, T_2$  – відповідно абсолютні температури нагрітої і холодної областей тіла.

**Теплове випромінювання** є передачею теплової енергії у вигляді електромагнітних коливань від випромінюючого тіла до поглинаючого тіла - середовищу з нижчою температурою. Потужність теплового потоку теплопередачі випромінюванням визначається законом Стефана-Больцмана і, в загальному вигляді, виражається співвідношенням

$$P_{\text{т}} = \alpha_{\text{л}} \cdot (T - T_{\text{с}}) \cdot S_{\text{л}} ,$$

де  $\alpha_{\text{л}}$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу;

$S_{\text{л}}$  – площа випромінюючої поверхні;

$T_1, T_2$  – температура випромінюючих поверхонь, що нагріваються та (середовища).

Коефіцієнт теплопередачі випромінюванням в простому випадку визначається виразом

$$\alpha_{\text{л}} = c_0 \cdot \varepsilon \cdot \left[ \left( \frac{T}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_c}{100} \right)^4 \right] \cdot \frac{1}{(T - T_c)},$$

де  $c_0 = 5,673 \text{Вт/м} \cdot \text{к}^4$  - коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла;

$\varepsilon$  – ступінь чорноти випромінюючої поверхні.

Підставляючи останній вираз в попередній можна описати закон випромінювання у вигляді

$$P_{\text{т}} = c_0 \cdot \varepsilon \cdot \left[ \left( \frac{T}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_c}{100} \right)^4 \right] \cdot S_{\text{л}}$$

Теплопередача конвекцією має місце в середовищі газу або рідини, дотичної з нагрітими або охолодженими поверхнями твердого тіла, і визначається законом Ньютона - Рімана

$$P_{\text{к}} = \alpha_{\text{к}} \cdot (T - T_2) \cdot S_{\text{к}},$$

де  $\alpha_{\text{к}}$  – коефіцієнт теплопередачі конвекцією;

$S_{\text{л}}$  – площа теплопровідної поверхні;

$T$  – температура поверхні тіла;

$T_c$  – температура навколишнього середовища.

Розрізняють конвекцію вільну (природну) і примусову. Вільна конвекція (природне повітряне охолодження) має місце при нагріві частинок середовища, що знаходяться в безпосередньому контакті з нагрітим тілом, їх природним переміщенням вгору через зміну щільності середовища і заміні їх холоднішими, внаслідок чого відбувається безперервне перемішування середовища. Примусова конвекція (примусове повітряне охолодження) відбувається за рахунок примусового руху середовища.

Для випадку природної конвекції коефіцієнт теплопередачі може бути представлений у вигляді функції ряду параметрів

$$\alpha_k = f(T, T_c, \beta, \lambda, c_p, \nu, a, g, \Phi),$$

де  $\beta$  – коефіцієнт об'ємного розширення середовища, 1/К;

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності середовища, Вт/(м·К);

$\nu$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості середовища, м<sup>2</sup>/с;

$a$  – коефіцієнт теплопровідності, м<sup>2</sup>/с;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$\Phi$  – комплексний коефіцієнт, залежний від геометричних розмірів охолоджуваного тіла і стану його поверхні.

Примусова конвекція охолоджуючих газів або рідин може протікати при ламінарному, перехідному або турбулентному режимах. Останній режим є найбільш інтенсивним по теплообміну і тому найбільш переважним при конструюванні.

Рівняння теплообміну можуть бути представлені в узагальненому вигляді

$$P_{1,2} = \frac{1}{F} (T_1 - T_2),$$

де  $F$  – тепловий коефіцієнт;

$T_1, T_2$  – температура двох ізотермічних поверхонь, між якими відбувається обмін тепловою енергією, або температура тіла і навколишнього середовища.

Якщо між цими поверхнями відсутні стоки тепло і додаткові джерела теплової енергії, то тепловий коефіцієнт має сенс теплового опору  $R_T$ , зворотна величина - теплової провідності  $q$ . Для розглянутих вище процесів перенесення тепла маємо:

теплопровідність -  $R_T = l/\lambda \cdot S_T$ ;  $q = \lambda \cdot S_T/l$ ;

випромінювання -  $R_T = 1/\alpha_{\text{л}} \cdot S_{\text{л}}$ ;  $q = \alpha_{\text{л}} \cdot S_{\text{л}}$ ;



конвекція -  $R_T = 1/\alpha_K \cdot S_K$ ;  $q = \alpha_K \cdot S_K$ .

Існує аналогія між протіканням струму в провіднику і перенесенням тепла, аналогами при цьому є:

різниця потенціалів - різниця температур (температурний натиск);

електричний струм - тепловий потік;

електричний опір - тепловий опір.

Це дозволяє аналізувати процеси теплообміну, користуючись добре розробленими методами аналізу розгалужених електричних ланцюгів.

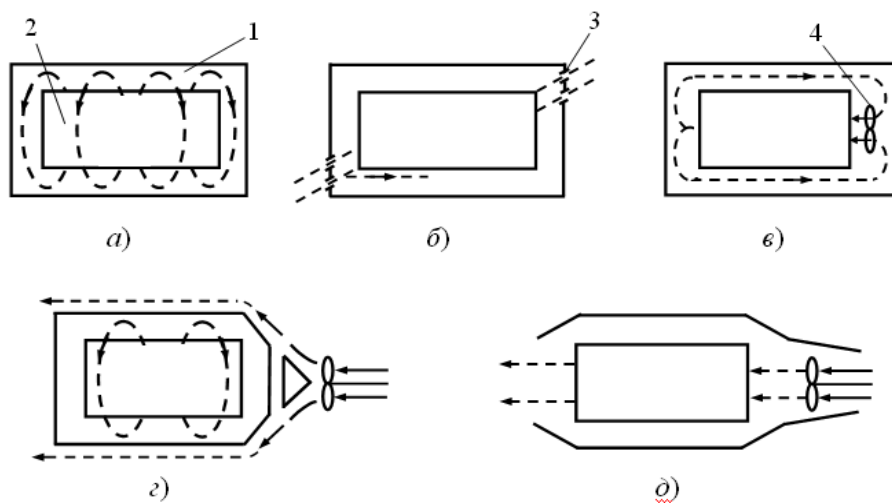
### Способи охолодження електронних пристроїв

В процесі перенесення теплової енергії в апаратурі беруть участь всі три механізми теплопередачі

Залежно від конкретних режимів роботи і умов експлуатації відносний внесок кожного з видів теплопередачі в загальному балансі може істотно розрізнятися.

Використовувані в електронних пристроях з тривалим режимом роботи системи охолодження можна класифікувати:

- по вигляду теплоносія - повітряні (газові), рідинні, випарні;
- по характеру руху теплоносія - з природним або примусовим рухом охолоджуючого середовища.



1- корпусу пристрою; 2 - платня з елементами; 3 - перфораційні отвори; 4 - вентилятор

Рисунок 6.1. – Схеми повітряного охолодження блоків

**Природне повітряне охолодження** будується після двох схем з герметичним (а) і перфорованим (б) корпусом (рис. 6.1). Таке охолодження є найбільш простим і надійним способом охолодження, не вимагає витрат додаткової енергії, проте забезпечує охолодження при невеликих питомих потужностях розсіювання в електронних пристроях, що працюють в полегшеному тепловому режимі.

Раціональне використання перфорації на корпусі дозволяє збільшити кількість тепла, що відводиться, на 30%, і зменшити перегрів на 20%. При цьому оптимальне співвідношення між сумарною площею перфораційних отворів і зовнішньою поверхнею корпусу лежить в межах 20÷30%, оптимальний діаметр отворів 6...12 мм.

Вимоги, що пред'являються при компоновці електронних пристроїв з природним повітряним охолодженням:

- хороше обтікання охолоджуючим повітрям всіх елементів конструкції, особливо з великим виділенням тепла;
- елементи з великим виділенням тепла повинні розташовуватися у верхній частині блоку ближче до його стінок;
- теплочутливі елементи повинні захищатися від обтікання нагрітим повітрям;
- при дії променистої енергії теплочутливі елементи повинні захищатися екранами;
- всі елементи з великим виділенням тепла повинні мати хороші теплові контакти з несучими вузлами (шасі, плата, кожухи і т.п.)

Для інтенсифікації теплообміну при природному охолодженні застосовують спеціальні екрани, що направляють потоки повітря, окремих поверхонь, додаткові радіатори.

**Примусове повітряне охолодження** має три різновиди: внутрішнє перемішування (в), зовнішній обдув (г) і продування (д) (рис. 6.1). В перших двох випадках електронний пристрій розміщується в герметичному корпусі. У

другому і третьому випадку можливо застосування загальних і локальних схем примусової вентиляції, які виконуються по припливній, витяжній або припливно-витяжній схемах. За допомогою загальних систем примусової вентиляції охолоджують електронний пристрій в цілому або блок. Локальні системи призначені для охолодження окремих елементів з великим виділенням тепла (могутніх електронних ламп, напівпровідникових приладів, трансформаторів і т.п.)

Примусова вентиляція може відводити до 80% тепла, що виділяється в блоці (шафі, стійці). Конструкція, в якій використовується примусове охолодження, повинна задовольняти наступним вимогам:

- володіти малим аеродинамічним опором для охолоджуючого повітря;
- забезпечувати хороший доступ холодного повітря до елементів з великим виділенням тепла;
- мати захист внутрішнього об'єму від пилу;
- включати елементи конструкції для вирівнювання полів швидкостей потоку охолоджуючого повітря (перфоровані ґрати, екрани, патрубки і т.п.);
- здійснювати автоматичне відключення живлення електронного пристрою при виході з ладу системи вентиляції.

Як *рідкі теплоносії в системах з природним або примусовим рідинним охолодженням* використовується вода, суміші води і спирту (антифризи), кремнійорганічні і фторорганічні рідини. Перенесення тепла від нагрітої поверхні до рідини відбувається за рахунок конвекції і теплопровідності. Підвищення інтенсивності теплообміну забезпечується за рахунок вищих коефіцієнтів тепловіддачі між елементами пристрою і рідиною, чим між елементами і газом.

**Випарне охолодження** також може бути природним або примусовим. У системах застосовується рідина з низькою температурою кипіння.

Температура рідини в робочому режимі рівна температурі насичення, а перенесення тепла відбувається за рахунок теплоти паротворення.

Ефективність систем охолодження можна характеризувати такими параметрами, як питомий тепловий опір і коефіцієнт тепловіддачі (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 - Ефективність різних систем охолодження

Тип системи охолодження	Коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Тепловий опір, м <sup>2</sup> ·К/Вт
Природна повітряна, випромінюванням	2...10	(500...60)·10 <sup>-3</sup>
Примусова повітряна	10...150	(100...10)·10 <sup>-3</sup>
Природна рідинна	200...600	(5...2)·10 <sup>-3</sup>
Примусова рідинна	300...3000	(1...0,3)·10 <sup>-3</sup>
Випарна	500...120000	(0,1...0,02)·10 <sup>-3</sup>

### Попередній вибір системи охолодження

Попередній вибір системи охолодження проводиться на ранній стадії конструювання. Для цього використовуються графіки, що характеризують області доцільного застосування різних способів охолодження.

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

$$p = Pk_p / S_{\text{п}},$$

де  $P$  – сумарна потужність розсіювань електронного пристрою;

$k_p$  – коефіцієнт, що враховує тиск повітря (при атмосферному тиску  $k_p=1$ );

$S_{\text{п}} = 2[l_1l_2+(l_1+ l_2) l_3 k_3]$  – поверхня теплообміну, визначувана геометричними розмірами корпусу електронного пристрою, а саме

завдовжки  $l_1$ , вширшки  $l_2$  підстави пристрою і його висотою  $l_3$ , а також коефіцієнтом заповнення об'єму  $k_3$ .

Другим вхідним параметром є величина мінімально допустимого перегріву елементів пристрою  $\Delta T_{i \min} = T_{i \min} - T_c$ , де  $T_{i \min}$  – допустима температура корпусу найменше теплостійкого елементу;  $T_c$  – температура навколишнього середовища.

На рисунку 6.2 приведені області доцільного застосування різних способів охолодження в системі координат  $\Delta T_c, \lg p$ .

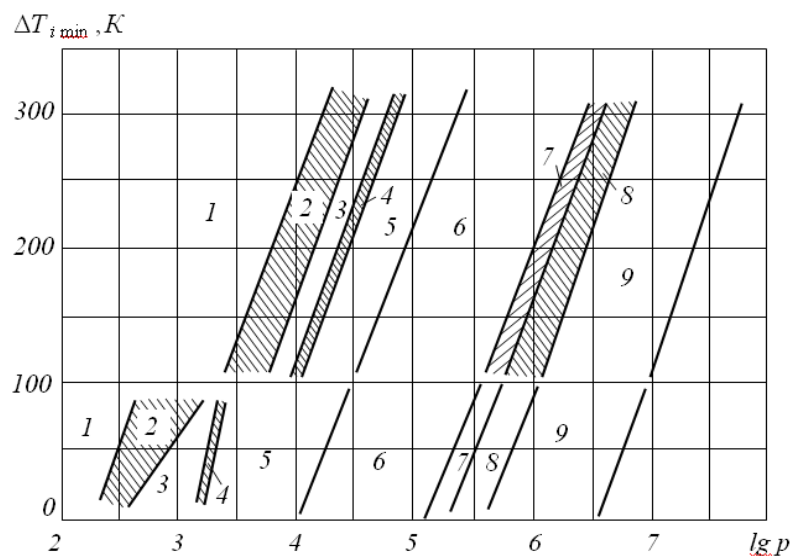


Рисунок 6.2 – До доцільності застосування різних способів охолодження

На рисунку 6.2 виділені наступні області застосування видів охолодження:

- 1 – природне повітряне;
- 2 – природне і примусове повітряне;
- 3 – примусове повітряне;
- 4 – примусове повітряне і рідинне;
- 5 – примусове рідинне;
- 6 - примусове рідинне і природне випарне;
- 7 - примусове рідинне, примусове і природне випарне;
- 8 - природне і примусове випарне;
- 9 - примусове випарне.

Для зон 1-3 спосіб охолодження може бути уточнений по графіках рис. 6.3 з урахуванням передбачуваної конструкції блоків - з вертикальним (зони 1, 2, 3) і горизонтальним (зони 1', 2', 3') розташуванням шасі. Для зон 1 і 1', можливо застосування герметичних блоків або стійок, або конструкцій захищених від пилу, для зон 2 і 2' можливо використання перфорованих корпусів, для зон 3 і 3' потрібне примусове охолодження.

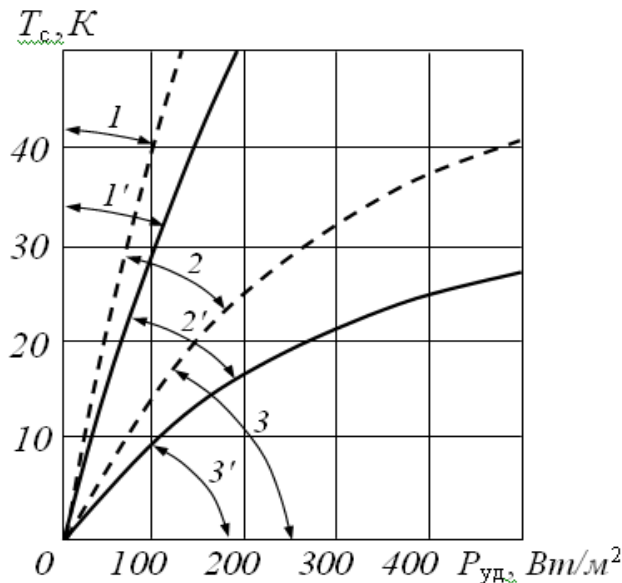


Рисунок 6.3 - Діаграма для оцінки теплового режиму електронного пристрою при повітряному охолодженні

### Охолоджуючі пристрої (радіатори)

В даний час випускається безліч видів охолоджуючих пристроїв. Існують охолоджувачі, у яких охолоджувачем є повітря або вода. Знаходять також застосування і що термоелектричні охолоджують пристрої.

Найбільшого поширення в даний час набули охолоджуючі пристрої, у яких теплоносієм є повітря. По вигляду теплообміну вони діляться на пристрої з природною конвекцією і примусовою вентиляцією. Перші застосовують в системах з тепловиділенням до 10÷15 Вт, другі при рівнях тепловиділення до 100 Вт. У охолоджувачах з примусовою вентиляцією тепла потужність, що відводиться, пропорційна площі радіатора, різниці температур його і охолоджуючого повітря і швидкості повітряного потоку. Найбільш поширені

ребристі радіатори (рис. 6.4а), рідше використовуються складніші штирьові радіатори (рис. 6.4б) і радіатори турбінного типу.

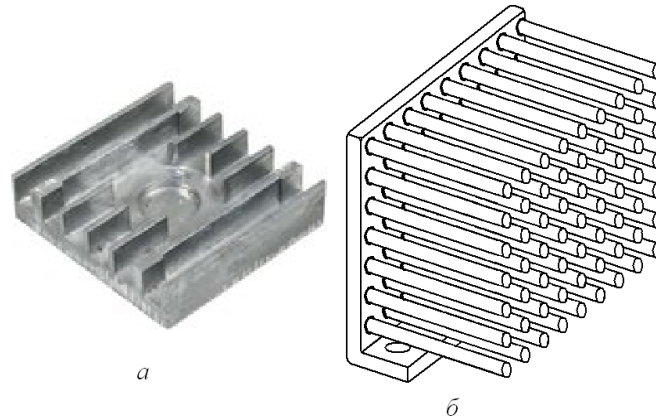


Рисунок 6.4 – Види радіаторів

Велике значення має тепловий опір на ділянці корпус приладу - радіатор. Застосування теплопровідної пасти дозволяє понизити тепловий опір приблизно в 2 рази (от 1...0,15 0C/Вт до 0,5...0,07 0C/Вт).

У таблиці 6.2 і на рисунку 6.5 приведені результати розрахунку умов охолодження для наступних початкових умов:

- ребристий радіатор з площею поверхні, що обдувається 1560 см<sup>2</sup>;
- поверхня - шорстка, чорнена;
- кріплення - стандартне;
- потужність розсіювань – 80 Вт;
- температура повітря - +400C,
- швидкість продування - біля 1 м/с.

Таблиця 6.2 - Результати розрахунку умов охолодження

Температура радіатора, 0C	$\Delta T_{p-kr}, ^0C$	$T_{kr}, ^0C$	$P_{расч}, Вт$	
			Al	Cu
24	8...9	30...33	33	48
32	8...11	40...43	43	65
42	11...17	53...59	57	85

52	14...21	66...73	71	105
----	---------	---------	----	-----

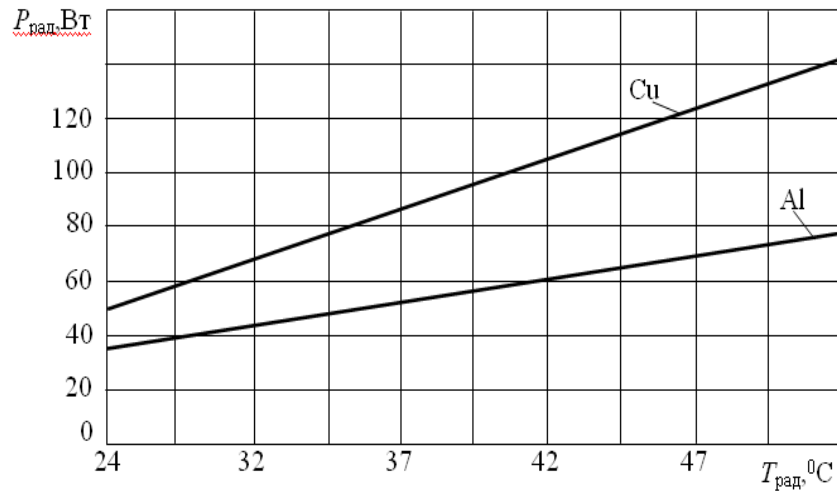


Рисунок 6.5 - Графік залежності теплової потужності для радіатора з постійною площею з різних матеріалів

Як видно з малюнка, радіатор з алюмінієвого сплаву забезпечує відведення приблизно 77 Вт при температурі радіатора  $+52^{\circ}\text{C}$ , тоді як радіатор з міді відводить приблизно ту ж потужність при температурі радіатора біля  $+34^{\circ}\text{C}$ . Це дозволяє рекомендувати застосування мідних радіаторів для охолодження потужних напівпровідникових приладів.

#### ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ НАГРІТОЇ ЗОНИ ОДИНОЧНОГО БЛОКУ

Приведена нижче методика розрахунку справедлива для одиночних блоків, що мають геометричні розміри в межах 600 мм по трьох вимірюваннях. Передбачається, що блок має форму прямокутного паралелепіпеда або циліндра, вісь якого може бути розташована горизонтально або вертикально.

**Початкові дані для розрахунку:**  $P$  - сумарна потужність тепловиділення в блоці (споживана потужність блоку або визначувана з аналізу схеми електричної принципової), Вт;  $L_1, L_2, L_3, (D, H)$  – геометричні розміри блоку прямокутної форми (або циліндрової), м;  $l_1, l_2, l_3$  – розміри нагрітої зони, м;  $t_c$  - температура навколишнього середовища,  $^{\circ}\text{C}$ .



### Послідовність розрахунку:

1. Визначення розмірів;  $l_1, l_2, l_3$  нагрітої зони. Для касет або осередків, об'єднаних в єдиний блок, розміри нагрітої зони визначаються максимальними розмірами цього блоку. Якщо як несучий елемент використовується шасі з розташованими на ньому великогабаритними елементами, то розміри нагрітої зони будуть наступними: два вимірювання співпадають з розмірами шасі  $l_1 \approx L_1, l_2 \approx L_2$ , а третє  $l_3$  визначається сумою висот шасі  $h$  і заввишки середніх розмірів елементів, розташованих з однієї і іншої сторін шасі  $h_1$  і  $h_2$  (см. рис. 6.6).

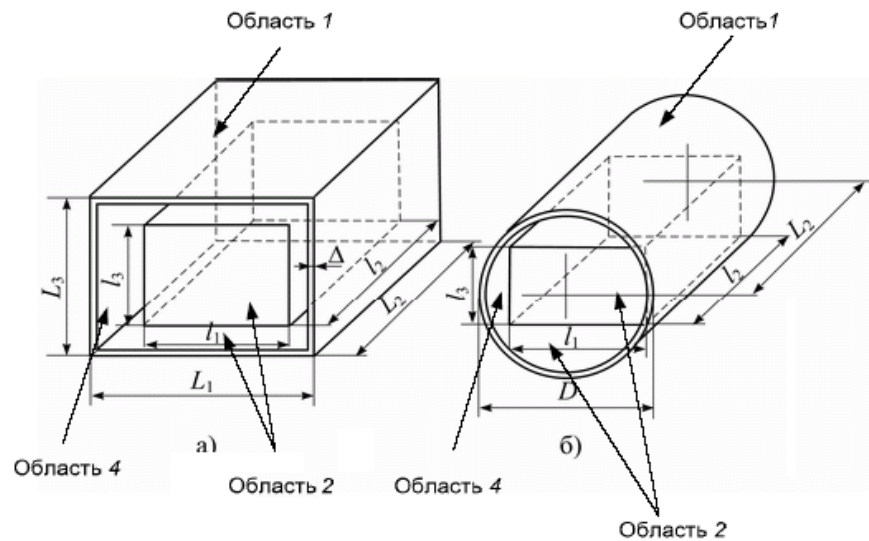


Рисунок 6.6 – Типи блоків

2. Розрахунок площ бічної  $S_6$ , верхньої  $S_в$  і нижньої  $S_н$  стінок блоку

$$S_6 = 2L_3(L_1 + L_2), S_в = S_н = L_1L_2.$$

3. Визначення площ нагрітої зони, обернених у області 1, 2 і 4, тут область 1 - розташована над нагрітою зоною, область 2 - під нагрітою зоною, а область 4 - між бічною поверхнею нагрітої зони і кожухом.

$$S_{з1} = S_{з2} = l_1l_2, S_{з4} = 2l_3(l_1 + l_2).$$

4. Приведений ступінь чорноти  $\varepsilon_{п}$  нагрітої зони в областях 1 і 2 розраховується по формулах

$$\varepsilon_{\text{п}} = \left[ \frac{1}{\varepsilon_3} + \left( \frac{1}{\varepsilon_{\text{к}}} - 1 \right) \frac{S_3}{S_{\text{к}}} \right]^{-1};$$

$$S_{\text{к}} = S_{\text{б}} + S_{\text{в}} + S_{\text{н}},$$

де  $\varepsilon_3$ ,  $\varepsilon_{\text{к}}$  – ступені чорноти зони і кожуха вибираються з табл. 6.3.

Таблиця 6.3 - Ступінь чорноти різних поверхонь

Матеріал	$\varepsilon$
Алюміній полірований	0,05
Алюміній окислений	0,25
Алюміній грубо - полірований	0,18
Алюмінієва фольга	0,09
Азбестовий картон	0,96
Бронза полірована	0,16
Папір	0,92
Вольфрам	0,05
Графіт	0,75
Дюралюміній (Д16)	0,39
Залізо поліроване	0,26
Мідь полірована	0,02
Мідь окислена	0,65

Приведений ступінь чорноти нагрітої зони у області 4 дорівнює

$$\varepsilon_{\text{п4}} = \varepsilon_3 \varepsilon_{\text{к}},$$

оскільки розміри нагрітої зони, оберненої в область 4, можуть значно відрізнятися від розмірів шасі. Для блоків із заповненням у вигляді касет або осередків рекомендується ступінь чорноти бічної поверхні нагрітої зони визначати по виразу для  $\varepsilon_{\text{п}}$ .

5. Орієнтовне значення теплової провідності ділянки від нагрітої зони до кожуха розраховується по формулі

$$\sigma_3^I = 23(L_1 - 2\Delta_4)(L_2 - 2\Delta_4),$$

де  $\Delta_4$  – товщина корпусу блоку (якщо блок має тонкостінний кожух, то товщину  $\Delta_4$  можна не враховувати).

6. Необхідно задати температуру перегріву кожуха  $t_k$ . Для блоків, що мають потужність тепловиділення 100...200 Вт при розмірах 300...400 мм, температура перегріву кожуха  $t_k = 10...15$  °С. В цьому випадку температура кожуха дорівнює  $t_k = t_c + \Delta t_k$ . Визначальна (середня) температура  $t_m = (t_k + t_c)/2$ .

7. Для більшості одиночних блоків що мають невелику потужність тепловиділення, конвективний теплообмін підкоряється закону ступеня .1/4, виходячи з цього припущення визначається коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_k$  для всіх зовнішніх поверхонь кожуха. Для повітря значення  $\alpha_k$  дорівнює

$$\alpha_k = A_1 \left( \frac{t_i - t_c}{L} \right)^{1/4}.$$

де  $t_i$  – температура  $i$ -ї грані кожуха;  $L$  - що визначає розмір, м (для вертикально орієнтованої поверхні це висота, для горизонтально орієнтованої поверхні - менша сторона), коефіцієнт  $A_1$  знаходиться з табл. 6.4 в залежності від температури  $t_m$  °С.

Таблиця 6.4 - Значення  $A_1$  для повітря

$t_m$ °С	10	20	30	40	60	80	100
$A_1$	1,4	1,38	1,36	1,34	1,31	1,29	1,27

Для більшості блоків кожух виконаний з матеріалу з хорошою теплопровідністю, тому його можна вважати ізотермічною поверхнею і, отже, температура кожуха в будь-якій крапці приймати однаковою.

8. Розрахунок коефіцієнта випромінювання виконується таким чином:

$$\alpha_{\pi} = \varepsilon_{\pi} \varphi_{12} f(t_1, t_2),$$

$$f(t_1, t_2) = 5,67 \frac{\left(\frac{t_1 + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{t_2 + 273}{100}\right)^4}{t_1 - t_2},$$

де  $t_1$  – температура кожуха;  $t_2$  – температура середовища;  $\varphi_{12}$  – коефіцієнт взаємного опромінювання (для одиночного блоку  $\varphi_{12} = 1$ ).

9. Далі розраховуються повні коефіцієнти тепловіддачі з поверхні кожуха:

$$\alpha_{\text{в}} = \alpha_{\text{кв}} + \alpha_{\text{л}}; \alpha_{\text{н}} = \alpha_{\text{кн}} + \alpha_{\text{л}}; \alpha_{\text{б}} = \alpha_{\text{кб}} + \alpha_{\text{лл}},$$

де  $\alpha_{\text{кв}}$ ,  $\alpha_{\text{кн}}$ ,  $\alpha_{\text{кб}}$  – коефіцієнти тепловіддачі верхньої, нижньої і бічної поверхонь.

10. Теплова провідність кожуха в навколишнє середовище

$$\sigma_{\text{к}} = \alpha_{\text{в}} S_{\text{в}} + \alpha_{\text{н}} S_{\text{н}} + \alpha_{\text{б}} S_{\text{б}}.$$

11. Температура нагрітої зони  $t_c^I$  у першому наближенні

$$t_c^I = t_c + (t_{\text{к}} - t_c) \left(1 + \frac{\sigma_{\text{к}}}{\sigma_3}\right).$$

12. Розрахункова потужність  $P^I$  нагрітої зони в припущенні, що кожух має перегрів  $t_{\text{к}}$  (заданий в п. 6)

$$P^I = \sigma_{\text{к}} (t_{\text{к}} - t_c).$$

У випадку якщо температура нагрітої зони (радіатора напівпровідникового приладу) не перевищує заданих величин, розрахунок вважається задовільним. При незадовільному розрахунку вживають додаткові заходи для посилення охолодження нагрітої зони шляхом застосування перфорованого корпусу, збільшення площі охолоджуючої поверхні радіатора і т.д.

#### 1.4 Порядок виконання роботи:

1. Підготувати блок живлення Б5-44 до роботи згідно керівництву по експлуатації. Включити джерело. Встановити вихідну напругу 12 вольт. Вимкнути джерело.

2. Підключити стенд в склад, якого входить два напівпровідникові прилади (транзистора) до блоку живлення Б5-44 дотримуючи полярність (червоний дріт до позитивного полюса, чорний - до негативного полюса).

3. Підготувати цифровий мультиметр для вимірювання температури. Підключити вимірювальну термопару і зміряти температуру повітря навколишнього середовища. Результати вимірювання занести в таблицю 8.5.

4. Встановити на стенді перемикач режиму охолодження в положення «ПВО», перемикач досліджуваного радіатора з транзистором в положення «Ребристий».

5. Включити джерело живлення Б5-44. Перевести вимірника джерела в положення для вимірювання, споживаного струму навантаженням. Змінюючи положення регулятора струму на стенді встановити величину сили струму споживання рівної 0,4А і підтримуючи надалі його величину.

6. Під'єднати до мультиметру термопару, що вимірює температуру ребристого радіатора чорним штекером до загального дроту, а червоним до потенційного. Через 20минут провести відлік температури радіатора і занести результат вимірювання в таблицю 6.5.

7. Під'єднати до мультиметру термопару, що вимірює температуру корпусу транзистора. Провести відлік температури корпусу транзистора і занести результат вимірювання в таблицю 6.5. Вимкнути джерело живлення Б5-44.

Таблиця 6.5 - Результати вимірювань

Тип радіатора	Напруги живлення, В	Сила струму, А	Потужність, Вт	Температура навколишнього середовища, °С	Температура радіатора, °С	Температура корпусу	Тепловий опір, °С/Вт	Габарити нагрітої зони $l_1, l_2, l_3$ , мм	Габарити корпусу $L_1, L_2, L_3$ , мм	Коефіцієнт тепловіддачі Вт/(м <sup>2</sup> ·К)
Рибристий										
Штировий										

8. Розрахувати величину теплового опору нагріте тіло - середовище і занести результат вимірювання в таблицю 8.5.

9. Розрахувати коефіцієнт тепловіддачі радіатора і занести результат вимірювання в таблицю 8.5.

10. Перевести перемикач досліджуваного радіатора з транзистором в положення «Штировий». Повторно виконати пункти 5-9 справжнього розділу лабораторної роботи. Результати вимірювань занести в таблицю 8.5.

### 1.5 У звіті відобразити:

- тему й ціль роботи;
- результати вимірювань та розрахунки;
- висновки по роботі.

### 1.6 Контрольні питання

1. Сформулюйте поняття нагрітої зони.
2. Які основні види розрахунків існують, для визначення температури блоку дайте їх коротку характеристику?
3. Як визначаються розміри і вид радіатора для напівпровідникового приладу?

4. Які початкові дані використовуються при тепловому розрахунку блоків?
5. Які види охолодження застосовують для блоків електронної техніки?
6. Які види теплопередачі беруть участь при природному повітряному охолодженні?
7. Яким чином впливає матеріал з якого виконаний радіатор на його ефективність?

## ПРАКТИЧНІ ЗАВДАННЯ

Навчальна дисципліна «Конструювання та технологія фотоелектричних перетворювачів» відноситься до обов'язкових дисциплін освітньої програми «Мікро -та наносистемна техніка» магістрів усіх форм навчання.

Метою вивчення дисципліни є формування у студентів знань в області поновлюваної енергетики, геліоенергетики та методів перетворення сонячної енергії у інші види, перш за все теплову та електричну.

У результаті вивчення дисципліни студенти повинні:

- розширити свій науково-технічний кругозір в області енергозбереження та використання поновлювальних джерел енергії;
- придбати знання, необхідні інженеру, що займається експлуатацією пристроїв геліоенергетики.

Після засвоєння матеріалу навчальної дисципліни студент повинен:

**знати:**

- фізичні принципи роботи приладів та пристроїв геліоенергетики;
- параметри і характеристики різних перетворювачів сонячної енергії, необхідні для забезпечення їх штатних режимів роботи;
- можливі застосування та особливості експлуатації;
- типові схемотехнічні рішення з використання сонячної енергії та побудови відповідних систем.

**володіти:**

- інформацією про області застосування і перспективи розвитку приладів поновлювальної енергетики та геліоенергетики;
- методами експериментальних досліджень параметрів і характеристик сонячних елементів та інших приладів геліоенергетики.

**вміти:**

- забезпечувати штатні режими роботи електроустановок з фотовольтаїчного перетворення сонячної енергії;
- аналізувати ефективність роботи сонячних батарей;



- експериментально знімати основні характеристики і визначати параметри напівпровідникових приладів;
- розраховувати фотоелектричні енергосистеми різного типу, що працюють у різних режимах енергозабезпечення;
- створювати на основі типових рішень та універсальних схем нові продукти.

Дисципліна базується на раніше отриманих студентами знаннях за нормативними дисциплінами професійної підготовки, зокрема з курсів «Фізика», «Фізичні основи електроніки», «Твердотільна електроніка», «Теорія електричних кіл».

Дисципліна «Конструювання та технологія фотоелектричних перетворювачів вивчається магістрами освітньої програми «Мікро- та наносистемна техніка" усіх форм навчання на 5 курсі (другий семестр). Робоча програма передбачає викладання лекційного курсу, а також виконання студентами лабораторних робіт у рамках лабораторного практикуму. Крім того, студентам пропонується виконати практичні завдання, які містить теоретичні питання за темами курсу.

Робоча програма дисципліни передбачає вивчення студентами тенденції споживання енергії людством, класифікації традиційних та альтернативних джерел енергії, їх енергетичного потенціалу, основних видів поновлювальних джерел енергії та методів їх використання. Особлива увага приділена фотоелектричному перетворенню сонячної енергії як найбільш перспективному та гнучкому у використанні. Студенти ознайомлюються з фізичними явищами у фотоперетворювачах, тенденціями розвитку геліоенергетики. Велика увага приділяється методиці розрахунку сонячних установок для автономного електроживлення будинків.

На лекціях викладаються основні питання тем робочої програми, спираючись на які студент за допомогою методичних вказівок, рекомендованої літератури та лекційного курсу самостійно вивчає всі питання розділу.

У процесі вивчення розділів дисципліни рекомендується скласти стислий конспект лекцій, звертаючи увагу на основні питання курсу. Виведення не основних формул можна опустити, але обов'язково потрібно знати початкові умови отримання та фізичну сутність цих формул. Після вивчення кожної теми студент повинен вміти відповісти на всі питання самоконтролю. Якщо у процесі вивчення деяких тем, при відповідях на запитання самоконтролю чи при виконанні контрольних робіт виникають ускладнення, рекомендується в усній чи письмовій формі звернутись за поясненнями та консультацією до провідного викладача, що викладає відповідний курс.

Вивчення розділів робочої програми слід здійснювати за допомогою рекомендованої літератури, посилання на яку наведені у методичних вказівках до кожного розділу з наведенням сторінок. Проте можна використовувати й інші літературні джерела, якщо глибина і обсяг матеріалу у них відповідає вимогам навчальної програми.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

*Основна навчальна література*

1. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К. Солнечная энергетика: Учебное пособие для вузов / Под ред. В.И. Виссарионова. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2008. - 317 с.
2. Афанасьев В.П., Теруков Е.И., Шерченков А.А. Тонкопленочные солнечные элементы на основе кремния / В.П. Афанасьев - 2-е изд. Санкт-Петербург: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. - 168 с. 7
3. Фаренбрук А. Солнечные элементы. Теория и эксперимент / А. Фаренбрук, Р. Бьюб. – Москва: Энергоатомиздат, 1987. – 280 с.
4. Зи С. Физика полупроводниковых приборов, Т.2 / С. Зи - Москва: Мир, 1984. - 456 с.
5. Scheer R., Werner Schock H. Chalcogenide Photovoltaics Physics, Technologies, and Thin Film Devices / R. Scheer WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2009. – 368 с.
6. Poortmans J. Thin film solar cells: Fabrication, characterization and application / J. Poortmans, V. Arkhipov. – Leuven, Belgium: John Wiley & Sons, Ltd. IMEC, 2006. – 471 p.

*Додаткова рекомендована література*

1. Берченко Н.Н. Справочные таблицы / Н.Н. Берченко, В.Е. Кревс, В.Г. Середин. – Москва: Воениздат, 1982. – 208 с.
2. Викулин И.М. Физика полупроводниковых приборов / И.М. Викулин, В.И. Стафеев. – Москва: Радио и связь, 1990. – 296 с.
3. <http://energorus.com/kak-rasschitat-moshhnost-solnechnyx-batarej-dlya-doma/>
4. <http://teplowood.ru/solnechnye-batarei-dlya-chastnogo-doma-i-kvartiry.html>
5. <http://www.solnpanels.com/kak-rasschitat-solnechnye-batarei/>

## *«Розрахунок фотоелектричної системи автономного електропостачання будинку»*

### **Теоретичні відомості**

Сьогодні існує зростаючий попит на використання альтернативних джерел енергії в народному господарстві, промисловості та на побутовому рівні. Сонячна енергетика є однією з найперспективніших альтернатив традиційним способам вироблення електроенергії, таким як спалення нафти, природного газу, мазуту, вугілля, використання атомної та гідроенергії. Перетворення сонячної енергії в електричну можливе шляхом використання фотоперетворювачів, принцип роботи яких базується на фотоелектричному ефекті та полягає в створенні електричного потенціалу в неоднорідному матеріалі при поглинанні фотону. Найбільш розповсюдженими на ринку продаж є сонячні елементи на основі полі- та монокристалічного кремнію з максимальною ефективністю близькою до 26 % у випадку фотоелектричної комірки, та 12-18 % для фотоелектричних модулів. При цьому вартість виробленої таким чином енергії не перевищує 1 долар за Вт, що є конкурентноздатним щодо електроенергії, яка виробляється традиційним способом. Це дає поштовх до створення енергосистем на основі фотоперетворювачів для енергозабезпечення об'єктів народного господарства, промислового сектору, приватних приміщень, тощо. Такі системи повинні бути спроектовані у відповідності до потреб споживача. Основною метою РГР є вибір та розрахунок основних складових енергосистеми на основі фотоелектричних сонячних перетворювачів для використання у побуті. РГР передбачає, що студент проводить вибір та розрахунок енергетичної системи для енергоживлення об'єкту із заданими географічними координатами, відомою площею території розміщення сонячних панелей, значеннями річного енергоспоживання об'єкта та його режимом енергозабезпечення згідно з номером варіанта завдання (див. таблицю 4).

Внаслідок зміни інтенсивності сонячної радіації біля поверхні Землі протягом року (див. конспект лекцій) для створення ефективної енергосистеми необхідно організувати накопичення та зберігання перетвореної енергії для використання в періоди її дефіциту або повної відсутності. Крім того, важливим є вибір режиму використання енергосистеми, тому вона повинна бути збалансованою за рахунок правильно розрахованих та підібраних складових, таких як: первинний перетворювач (фотоелектрична панель), контролер заряду, акумулятор та інвертор (рис.1). Важливими параметрами такої енергосистеми є внутрішня низьковольтна напруга, пікова миттєва потужність (максимальне навантаження на електричну мережу у випадку одночасного підключення найбільш потужних електроприладів) та очікуване добове енергоспоживання споживачів.

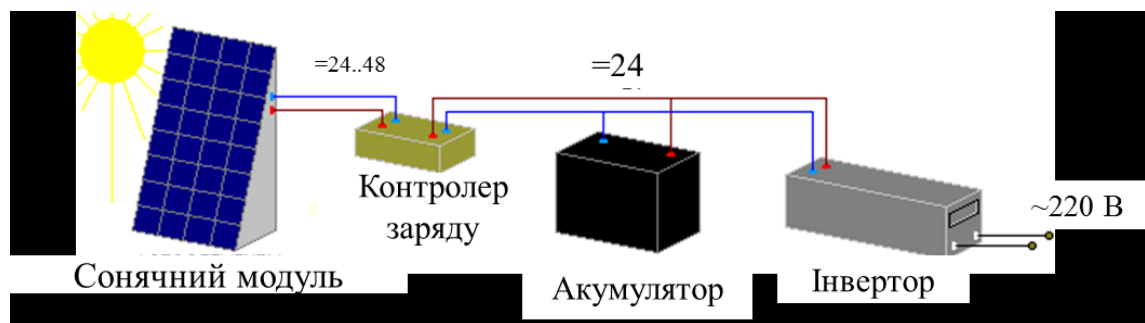


Рис. 1. Схематичний вигляд фотоелектричної системи автономного електрозабезпечення.

### Режими роботи енергосистеми

В залежності від рівня енергозабезпечення приміщення розрізняють наступні режими використання енергосистеми: повний, комфортний, помірний, базовий та аварійний. Кожен з режимів має різні вимоги до миттєвої потужності та енергозапасу системи, що впливає перш за все на вартість її встановлення.

Повне енергозабезпечення дозволяє провести заміну електроенергії, що постачається мережами, на постачання за рахунок сонячних батарей. Воно досягається шляхом відповідного вибору потужності фотоелектричної енергосистеми, яка здатна покрити максимальні енергозатрати господарства і

виключити необхідність живлення від зовнішньої електромережі. Щоб повністю відключитися від електромережі, але жодним чином не змінювати спосіб життя родини, необхідна система, здатна за місяць виробляти не менше 600 кВт·год електроенергії при потужності в тривалому режимі не менше 5 кВт, а споживання енергії за добу може досягати 50 кВт·год при середньому значенні від 10 до 20 кВт·год на добу.

У разі використання режиму комфортного енергозабезпечення енергосистема повинна забезпечувати живлення мало та середньопотужних приладів (< 4 кВт), в той самий час як енергозатратні прилади (електроплити, електродуховки, конвектори та електропідігрівачі великих площ) повинні живитися за рахунок зовнішньої електромережі.

Помірне енергозабезпечення характеризується комфортним режимом енергозабезпечення, але з більш раціональним підходом до використання високопотужного обладнання. Так, енергозатратні роботи повинні проводитися в періоди максимального надходження сонячної енергії до фотоелектричної системи, а їх живлення здійснюватися за гібридною схемою з одночасним використанням зовнішньої електромережі та попередньо накопиченої енергії в акумуляторах енергосистеми.

Базовий та аварійний режими характеризуються постійним живленням від зовнішньої електромережі з частковим застосуванням фотоелектричної енергосистеми для роботи малопотужних приладів або в аварійних ситуаціях, коли зовнішня електромережа відключена.

### **Внутрішня напруга постійного струму енергосистеми**

Важливим параметром енергосистеми є внутрішня напруга постійного струму, що використовується для заряджання акумуляторів. Її вибір залежить від необхідної потужності системи та визначає робочі характеристики фотоелектричних панелей, приладів контролю та накопичення заряду (контролерів заряду та акумуляторів), низьковольтних інверторів.

При виборі напруги енергосистеми необхідно врахувати, що напруга на її виході повинна відповідати побутовому стандарту: ~220 В (50 Гц) змінного

струму. Низьковольтна напруга постійного струму подається на вхід інвертора та дорівнює номінальній напрузі блоку акумуляторів і фотоелектричних панелей. Стандартні акумулятори, як правило, розраховані на напругу 12 В, а фотоелектричні панелі виробляють 12-24 В. Більшість інверторів розраховані на вхідний постійний струм (100-200 А) та напругу 12, 24, 48, 96 В, вибір яких залежить від необхідної потужності фотоелектричної системи.

Для вибору внутрішньої напруги енергосистеми слід користуватися рекомендаціями представленими в таблиці 1.

Таблиця 1. Характеристики енергосистем різної напруги постійного струму

Напруга постійного струму	Типова номінальна потужність інвертора	Особливості низьковольтної частини системи
12 В	до 1,5 кВт	небезпека ураження струмом відсутня
24 В	від 1,5 кВт до 3 кВт	небезпека ураження струмом практично відсутня
48 В	від 2,5 кВт до 5 кВт	невелика небезпека ураження струмом
96 В	від 5 кВт	небезпека сильного ураження струмом

- **аккумулятор**. Основною функцією акумуляторів є накопичення та зберігання енергії виробленої фотоелектричною системою, її подача у випадку необхідності до споживачів;

- **інвертор**, який служить для перетворення низьковольтного постійного струму до рівня прийнятого побутового або промислового стандарту електроспоживання (~220 В).

### Вибір сонячних панелей

Вибір сонячних панелей проводиться шляхом аналізу їх фізико-технічних параметрів, які зазначає виробник. Існують різні типи фотоелектричних панелей в залежності від матеріалу поглинача. На сьогоднішній день найбільш поширеними на ринку продаж є сонячні панелі на основі моно- та полікристалічного кремнію, багатокомпонентних сполук

CdTe, CuInSe<sub>2</sub> (CIS), Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> (CIGS). Ефективність таких панелей знаходиться в межах 10-26 %.

В даний час на ринку найбільш часто пропонуються фотоелементи з монокристалічного (с-Si) та полікристалічного (poly-Si) кремнію. Батареї на основі монокристалічного кремнію зазвичай мають ККД в діапазоні 20-26 %, а полікристалічного – 12-21 %, проте вони дещо дешевші. Однак у готових панелей ціна вату енергії (в перерахунку на вироблену потужність) виходить майже однаковою, тому батареї з монокристалічного кремнію виявляються навіть вигіднішими. За такими параметрами, як ступінь і швидкість деградації, різниці між ними практично немає. У зв'язку з цим вибір на користь монокристалічного кремнію поки що очевидний. Крім того, часто при зниженні освітленості монокристалічний кремнію забезпечує номінальну напругу довше, ніж полікристалічний, а це дозволяє отримувати деяку енергію навіть у дуже похмуру погоду і навіть у сутінках.

При виборі сонячних батарей слід приділяти особливу увагу електричним характеристикам панелей (номінальній та максимальній силі струму та напрузі), габаритним розмірам, робочій температурі, та терміну експлуатації (20-30 років).

### **Вибір контролеру заряду (КЗ)**

При виборі КЗ слід керуватися наступними характеристиками: напругою, максимальними струмами на вході контролеру та струмами навантаження. Слід зазначити, що КЗ вибирається після визначення внутрішньої напруги енергосистеми та її потужності. У випадку, коли сила струму сонячних батарей значно перевищує значення характерні для типових КЗ, слід створювати блоки панелей, і для кожного блоку застосовувати окремий контролер. Бажаним є вибір КЗ із функцією MPPT (Maximum Power Point Tracking), яка дозволяє контролювати об'єм енергії, що надходить від сонячних модулів до акумуляторів.

### **Вибір інверторів**



Інвертор повинен забезпечувати необхідну вихідну потужність енергосистеми. Також слід звернути увагу на форму перетвореного вихідного струму. В залежності від складності моделі інвертора, вихідний струм може приймати форму трикутника, прямокутника, модифікованої синусоїди, що є показником якості виробленої електричної енергії. Важливо, щоб ефективність інвертора знаходилась в межах 90 %, що зменшує внутрішні втрати енергії в системі. Крім того, інвертор повинен функціонувати в режимі зарядки акумуляторів (у випадку сильного розрядження), мати функцію контролю вхідної та вихідної напруги, бути обладнаним системою захисту від перенавантаження та короткого замикання в мережі, допускати короткочасне перевищення номінального навантаження.

### **Вибір акумуляторів**

На даний час найбільш розповсюдженими є акумулятори із номінальною напругою 12 В та терміном експлуатації 10-11 років. Декілька акумуляторів підключених послідовно або паралельно в одне електричне коло утворюють блок, який характеризується такими параметрами як: робоча ємність, струм заряду та розряду, напруга. Важливо відмітити, що напругу акумуляторного блоку можна збільшувати за рахунок послідовного підключення окремих його одиниць, а силу струму та ємність застосовуючи їх паралельне підключення.

З точки зору техніки безпеки, всі акумулятори в одному блоці повинні бути одного типу та мати однакову номінальну ємність. При послідовному підключенні акумуляторів ця вимога є обов'язковою. Заміну окремих складових слід виконувати поблоково, так знижується рівень небезпеки вибуху або спалаху вогню.

Найбільш поширеними у використанні є свинцево-кислотний та літій-іонний типи акумуляторів. Останні характеризуються більшою питомою ємністю, що зменшує їх габарити та масу, вони більш ефективно використовують номінальну ємність, та вдвоє ефективніші при роботі у буферному режимі ніж свинцево-кислотні акумулятори. Недоліками літій-іонних акумуляторів є їх дороговизна та підвищена вогненебезпека. Крім того,

вони вимагають використання специфічних контролерів заряду. В результаті, для мобільних енергосистем більш раціональним вибором є літій-іонні акумулятори, а для стаціонарних – свинцево-кислотні.

При виборі акумуляторів потрібно визначити їх необхідну загальну ємність, робочий та буферний енергозапас; струми заряду-розряду.

Робочий енергозапас блоку акумуляторів повинен дорівнювати середньодобовому споживанню електроенергії. Як правило акумулятор розрахований на 250 циклів зарядки-розрядки, що зменшує термін його експлуатації при частих повних циклах використання. При виборі кількості та типу акумуляторів враховуються два основні параметри: конструкцію інвертора та струм заряду (не повинен перевищувати 10 % від 24номінальної ємності для кислотного типу та 25-30 % для лужного).

Якщо інвертор має зарядний пристрій від зовнішньої мережі, то він повинен регулювати струм в залежності від рівня заряду акумуляторів. Крім того, акумулятори повинні витримувати процеси сульфітації пластин адже в іншому випадку є ймовірність їх виходу з ладу. Акумулятори повинні мати низький рівень саморозряду, про який виробник зазначає в паспорті. При розрахунках слід орієнтуватися на 20 % глибину розряду акумуляторів. Акумулятор повинен бути герметизованим та розташовуватися в добре провітрюваному приміщенні з кімнатною температурою.

### **Початкові данні та зміст завдання**

Початкові данні для розрахункової частини для різних варіантів наведені у таблиці 4. Для її виконання потрібно:

1. Сформулювати початкову умову завдання згідно варіанту.
2. Визначити необхідну щомісячну кількість електроенергії (кВт·год), яку повинна генерувати енергосистема в залежності від даних енергоспоживання та режиму автономного забезпечення. Дані представити у формі таблиці 2.

Таблиця 2. Необхідна щомісячна кількість електроенергії, яку повинна генерувати енергосистема.

Номер варіанта	Режим автономного забезпечення	Щомісячне споживання електроенергії (кВт·год)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

3. Вибрати тип сонячних батарей для енергосистеми та обґрунтувати цей вибір. Визначити щомісячну сонячну інсоляцію на території де розміщений об'єкт, ефективність сонячних панелей, їх кут нахилу, щомісячну кількість енергії яку виробляє одна панель та їх кількість для забезпечення необхідного рівня енергопостачання відповідно до умов завдання. Дані представити у формі таблиці 3.

Таблиця 3. Щомісячна кількість електроенергії, що виробляє одна панель та визначена кількість панелей, необхідна кількість панелей для забезпечення об'єкта електроенергією.

Номер варіанта	Тип енергосистеми	Кількість необхідної електроенергії у встановленому режимі автономного забезпечення (кВт·год)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Щомісячний рівень сонячної інсоляції, $P_{міс}$ . (кВт·год/м <sup>2</sup> )											
		Щомісячна кількість електроенергії, яку виробляє одна панель (кВт·год/м <sup>2</sup> )											
		Необхідна кількість панелей											
		Щомісячна кількість електроенергії, яку виробляє необхідна кількість панелей (кВт·год/м <sup>2</sup> )											

Побудувати помісячну залежності енергоспоживання об'єкту та енергопотужності вибраного блоку сонячних панелей. Проаналізувати можливість розташування сонячних панелей на відведеній території.

4. Визначити величину напруги постійного струму енергосистеми.

5. Виконати вибір контролеру заряду, блоку акумуляторів та інверторів.

Визначити сумарну вартість енергосистеми.

Номер варіанта	Географічне положення енергосистеми (населений пункт)	Площа розміщення (м <sup>2</sup> )	Тип енергосистеми	Щомісячне енергоспоживання об'єкту (кВт·год)												Режим автономного забезпечення
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	Суми	100	Трекерний	210	192	184	156	136	128	112	116	125	135	180	210	комфортний
2	Лебедин	120	Зі сталою орієнтацією	256	230	224	200	180	160	120	132	150	168	180	240	повний
3	Охтирка	80	З сезонною зміною кута	270	250	230	210	190	170	130	140	160	170	190	220	помірний
4	Шостка	140	Зі сталою орієнтацією	270	250	230	210	190	170	130	140	160	170	190	220	комфортний
5	Глухів	90	З сезонною зміною кута	260	244	230	210	190	170	130	140	160	170	190	220	повний
6	Білопілля	100	Трекерний	200	195	170	160	135	125	120	135	145	150	170	230	повний
7	Харків	140	Зі сталою орієнтацією	200	195	160	155	135	125	110	145	150	160	190	230	комфортний
8	Полтава	120	З сезонною зміною кута	250	230	220	200	180	160	120	130	150	160	180	240	помірний

9	Київ	130	Зі сталою орієнтацією	270	250	230	210	190	170	130	140	160	170	190	220	комфортний
---	------	-----	-----------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------------

10	Херсон	90	Трекерний	190	180	170	145	135	110	100	130	150	170	180	200	помірний
11	Одеса	100	З сезонною зміною кута	170	160	150	145	120	90	80	100	120	130	140	160	комфортний
12	Хмельницький	130	Зі сталою орієнтацією	170	150	170	150	140	120	110	110	110	120	130	150	повний
13	Миколаїв	80	З сезонною зміною кута	180	170	150	130	110	90	80	95	105	120	130	145	помірний
14	Львів	70	Трекерний	200	180	170	160	120	110	90	100	110	135	140	180	комфортний
15	Чернівці	150	Зі сталою орієнтацією	180	160	140	110	100	90	100	120	135	150	165	170	повний
16	Тернопіль	120	З сезонною зміною кута	220	210	195	170	150	130	110	115	135	150	165	200	комфортний
17	Луцьк	60	Трекерний	200	190	180	170	150	130	110	90	80	110	130	170	помірний
18	Конотоп	140	З сезонною зміною кута	140	130	105	100	90	80	65	80	100	120	130	135	помірний

19	Тростянець	120	Зі сталою орієнтацією	180	170	150	130	110	90	80	95	105	120	130	145	комфортний
20	Чернігів	100	Трекерний	200	195	180	175	150	140	120	90	85	120	150	170	повний

### **Методичні вказівки до завдання**

Для розрахунку необхідних фізичних величин використати співвідношення наведені у конспекті лекцій та довідниковому мінімумі методички. Перед розрахунками привести коротку умову завдання та перевести величини у систему СІ. Всі розрахунки проводити тільки у системі СІ.

- Значення сонячної інсоляції населених пунктів України наведені в лекційному курсі.

- Врахувати, що використання трекерного типу встановлення фотоелектричних панелей збільшує кількість виробленої їми енергії на 50 %, енергосистеми з сезонною зміною кута – на 30 %, порівняно з системою зі сталою орієнтацією сонячних перетворювачів. Передбачається, що трекерний тип розміщення дозволяє встановлювати оптимальний кут нахилу панелей та їх орієнтацію на сонце в автоматичному режимі; у випадку енергосистеми зі сталою орієнтацією, кут нахилу до горизонту встановлюється одноразово та повинен бути більшим на 15о ніж географічна широта розташування об'єкту енергозабезпечення. Енергосистема з сезонною зміною кута передбачає, що в зимній період панелі встановлюються під кутом 90о до горизонту, що дозволяє додатково поглинати світло відбите від сніжного покриву та уникнути його формування на активній поверхні батарей. Слід відзначити, що для збільшення кількості сонячного випромінювання, що падає на батареї, їх потрібно розміщувати у південно-східному напрямі на безтіньових поверхнях.

- Врахувати, що повний режим автономного забезпечення повинен забезпечувати 100 %, комфортний – 70 %, помірний – 50 % щомісячних енергозатрат приміщення.

### **Приклад виконання**

Розрахувати фотоелектричну систему, що забезпечує комфортний режим енергозабезпечення об'єкту розташованого в м. Чернігів. Площа на якій можна розмістити сонячні батареї (звичайно дах будинка) складає 80 м<sup>2</sup>. Передбачається використання енергосистеми з сезонною зміною кута нахилу

фотоелектричних панелей. Дані щомісячного енергоспоживання об'єктом наведені у таблиці 5.

Таблиця 5. Щомісячне енергоспоживання об'єкту.

Щомісячне енергоспоживання об'єкту (кВт·год)											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
130	120	105	90	85	80	85	95	105	110	120	125

де  $P_{\text{вих}}$  – вихідна потужність;  $P_{\text{вх}}$  – потужність освітлення при АМ 1,5;  $S$  – площа сонячної панелі.

### 1. Визначення рівня сонячної інсоляції

Рівень сонячної інсоляції у м. Чернігів (кВт·год на день) представлено в таблиці 6.

Таблиця 6. Щоденний рівень сонячної інсоляції у м. Чернігів.

Щоденний рівень сонячної інсоляції (кВт·год/м <sup>2</sup> )											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,99	1,80	2,92	3,96	5,17	5,19	5,12	4,54	3,00	1,86	0,98	0,75

### 2. Визначення необхідної щомісячної кількості електроенергії (кВт·год), яку повинна генерувати енергосистема

Оскільки енергосистема працює в комфортному режимі автономного забезпечення, то вона повинна забезпечувати 70 % щомісячних енергозатрат об'єкта. Відповідні дані наведені у таблиці 7.

Таблиця 7. Щомісячне споживання електроенергії об'єктом у комфортному режимі автономного забезпечення.

Номер варіанта	Режим автономного забезпечення	Щомісячне споживання електроенергії (кВт·год)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
15	комфортний	91	84	74	63	60	56	60	67	74	77	84	88

### 3. Розрахунок блоку сонячних панелей.



Для установки нами була вибрана сонячна батарея основні характеристики якої наведені в таблиці 8. Вибір даної батареї обумовлений наступними міркуваннями. Панель поставляється українською компанією “Kvazar”, що дає можливість поставляти перевироблену енергію у зовнішню електромережу за «Зеленим тарифом», крім того монокристалічний тип сонячної батареї має вищі значення ефективності перетворення сонячної енергії в порівнянні з полікристалічними аналогами.

Таблиця 8. Основні параметри сонячної батареї

Параметр	Значення
тип	монокристалічний
вихідна потужність (Вт)	190
номінальна напруга (В)	24
номінальна сила струму (А)	5,15
максимальна напруга (В)	45
максимальна сила струму (А)	5,55
розміри (мм)	1585x805x34
вага (кг)	16,2
робоча температура (°С)	- 45 °С + 85
термін експлуатації (80 % потужності після 20 років експлуатації)	20

Примітка: параметри представлені при експлуатаційній температурі 25 °С, освітленні 1000 Вт/м<sup>2</sup>, АМ – 1,5.

### **3.1 Визначення щомісячної сонячної інсоляції на території розміщення об’єкта.**

Відповідні дані були взяті з довідникової літератури (див., наприклад, конспект лекцій). та наведені у таблиці 9

Таблиця 9. Щомісячний рівень сонячної інсоляції,  $P_{міс}$ . (кВт·год/м<sup>2</sup>) в м. Чернівці

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
30,69	50,40	90,52	118,80	160,27	155,70	158,72	140,74	90,00	57,66	29,4	23,25

### **3.2. Визначення ефективності сонячних панелей**

Ефективність сонячної батареї в умовах АМ 1,5 розраховується за наступною формулою (дані для розрахунку наведені в табл. 8):

де  $P_{\text{вих}}$  – вихідна потужність;  $P_{\text{вх}}$  – потужність освітлення при АМ 1,5;  $S$  – площа сонячної панелі.

Оскільки передбачається використання системи з сезонною зміною кута нахилу фотоелектричних панелей, то кількість виробленої енергії буде на 30 % більшою за значення вироблені при умові освітлення АМ 1,5 системою зі сталим кутом орієнтації. Це досягається шляхом установки панелей під оптимальним кутом до напрямку падіння сонячних променів в теплий період року. Він залежить від широти місцевості та повинен бути більшим на 15о за географічну широту розташування об'єкту енергозабезпечення. В нашому випадку для м. Чернігів кут нахилу сонячних панелей складає ~66о. В зимній період панелі повинні бути встановлені під кутом 90о до горизонту. Щомісячна кількість енергії, яку виробляє одна сонячна панель, може бути розрахована за формулою:

$$P_1 = k \cdot \eta \cdot S \cdot P_{\text{міс}} ,$$

де  $k$  – відсоток збільшення виробленої енергії в залежності від типу енергосистеми;  $\eta$  – ефективність перетворення сонячної енергії;  $P_{\text{міс}}$  – щомісячний рівень сонячної інсоляції.

Розрахунки місячної кількості енергії, яку виробляє одна панель, та їх необхідної кількості для забезпечення енергетичних потреб об'єкту при комфортному режимі автономного забезпечення та сезонною зміною кута нахилу сонячних батарей представлено в таблиці 10.

Згідно таблиці, необхідно використати 16 панелей, щоб повністю покрити потреби в електроенергії в комфортному режимі вибраного об'єкту енергоспоживання. Але, слід зазначити, що зменшення кількості панелей до 7 дасть можливість забезпечувати енергією об'єкт протягом 9 місяців при заданих умовах, що вдвічі знизить повну вартість енергосистеми.

Таблиця 10. Зведені дані кількості необхідної електроенергії, щомісячного рівня сонячної інсоляції та кількості енергії виробленої однією панеллю, їх необхідна кількість.

Номер варіанта	Тип енергосистем	Кількість необхідної електроенергії у встановленому режимі автономного забезпечення (кВт·год)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
15	3 сезонною зміною кута	91	84	74	63	60	56	60	67	74	77	84	88
		Щомісячний рівень сонячної інсоляції, $P_{міс}$ . (кВт·год/м <sup>2</sup> )											
		30,69	50,40	90,52	118,8	160,27	155,7	158,72	140,74	90,00	57,66	29,4	23,25
		Щомісячна кількість електроенергії, яку виробляє одна панель (кВт·год)											
		7,59	12,46	22,37	29,36	39,61	38,48	39,23	34,79	22,24	14,25	7,27	5,75
		Необхідна кількість панелей											
		12	7	4	3	2	2	2	2	4	6	12	16
		Щомісячна кількість електроенергії, яку виробляє необхідна кількість панелей (кВт·год/м <sup>2</sup> )											
		53,13	87,22	156,59	205,52	277,27	269,36	274,61	243,53	155,68	99,75	50,89	40,25

Крім того, протягом 7 місяців, енергосистема буде виробляти кількість енергії, яка перевищує необхідний рівень в 3-4 рази (рис. 2). В цьому випадку надлишкова електроенергія може бути продана державним установам з використанням «Зеленого тарифу», що знизить період окупності системи. Таким чином вибір меншої кількості панелей є більш раціональним з точки зору собівартості системи.

Для розміщення панелей виділено площу в 80 м<sup>2</sup>. При розрахунку площі необхідної для розташування однієї панелі слід закласти додаткові інтервали (30 см) до висоти панелей для створення простору між ними, що дозволить проводити їх очистку та при необхідності ремонт. Необхідна площа для встановлення однієї панелі складає 1,517 м<sup>2</sup>.

Таким чином для розташування 7 панелей (~11 м<sup>2</sup>) виділеної площі більш ніж достатньо.

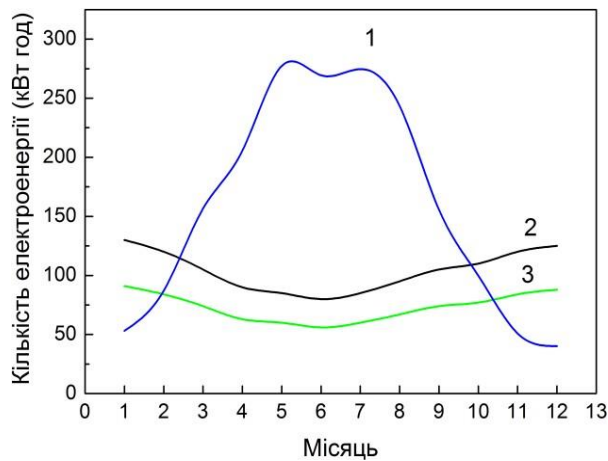


Рис. 2. Графік вироблення електроенергії блоком сонячних батарей, що складається з 7 панелей (1), щомісячне енергоспоживання об'єкту (2), щомісячне енергоспоживання об'єкту при комфортному режимі автономного забезпечення (3).

### Вибір величини напруги постійного струму енергосистеми

Для вибору величини напруги постійного струму потрібно встановити максимальну силу струму, що виробляють сонячні батареї, та максимальне значення потужності системи.

Слід відзначити, що струм в одному блоці енергосистеми, не повинен перевищувати (100-200) А, що обумовлено робочими особливостями сучасних інверторів. У блоці сонячні панелі були підключені паралельно. Сонячна панель, параметри якої представлені в таблиці 8, має силу струму в межах (5,15-5,55) А, яка у випадку використання блоку з 7 панелей збільшується до (36,05-38,85) А, що не перевищує максимального струму типових інверторів. Це дає можливість скомпонувати всі сонячні батареї в один електричний блок. Крім того, аналізуючи рис. 2 та табл. 10, можна зробити висновок, що максимальне значення енергії виробленої системою становить близько 277,27 кВт·год в травні середньодобове значення 8,94 кВт·год.

Користуючись рекомендаціями таблиці 1, та враховуючи, що струм блоку сонячних батарей, який розглядається не перевищує струму на який розрахований типовий інвертор, можна зробити висновок, що величина напруги постійного струму енергосистеми 12 В буде оптимальним вибором.

## **Вибір контролеру заряду, блоку акумуляторів та інверторів. Визначення сумарної вартості енергосистеми**

### ***Контролер заряду***

Базуючись на попередньому аналізі, КЗ повинен мати наступні характеристики: робоча напруга – 12 В, робочий струм на вході – не менше 40 А.

Для енергосистеми можна використати модель КЗ (EPsolar VS6048N (60A 12/24/36/48V)), яка має наступні робочі характеристики:

Напруга – 12/24/36/48 В.

Максимальний струм на вході – 60 А.

Максимальний струм навантаження – 60 А.

### ***Блок акумуляторів***

При виборі акумуляторів будемо орієнтуватися на свинцево-кислотні акумулятори, оскільки вони мають найкраще співвідношення ціна-ємність та є безпечними у випадку стаціонарного розміщення.

Далі необхідно визначити максимальне середньодобове значення вироблення електроенергії, яке спостерігається в травні і складає 8,94 кВт·год. Найбільш поширеними є акумулятори з напругою 12 В та номінальною ємністю 200 А·год (2,4 кВт·год). Як було зазначено, глибина розряду акумулятора повинна складати не більше 20 % від його номінальної ємності, в даному випадку становити – 0,48 кВт·год. Робоча ємність складає 0,96 кВт·год.

В цьому випадку для ефективного зберігання згенерованої енергосистемою, що розраховується, електроенергії необхідно використати 10 акумуляторів (GPL 12-200 (12В-200А)).

### ***Блок інверторів***

Для вибору інвертора потрібно визначити місяць у якому фотоелектрична система виробляє максимальну середньодобову кількість

енергії. Для випадку, що розглядається, таким місяцем є травень, а середньодобова кількість виробленої енергії складає - 8,94 кВт·год. Важливо відмітити, що якісний інвертор повинен мати синусоїдальну форму вихідного сигналу з похибкою форми не більшою 3 % та щоб він не змінював амплітуду напруги при підключенні навантаження більшого 10 % від номінальних значень. Інвертор також повинен: виконувати подвійне перетворення (постійного струму в змінний і навпаки), мати аналогову частину вторинного перетворення з якісним трансформатором, володіти значним запасом по перевантаженню, набором захисних функцій від короткого замикання, неправильного підключення або несправності акумуляторів, від перевантаження.

Найбільше точно встановленим вимогам відповідає інвертор (Інвертор гібридний InfiniSolar 10 kW (10000Вт, 48В)) із наступними робочими характеристиками:

Номінальна потужність навантаження: 10 кВт.

Напруга зовнішнього джерела: 48 В.

Максимальний струм заряду: 200 А.

Форма вихідної напруги: чиста синусоїда.

### ***Сумарна вартість енергосистеми***

Розрахуємо загальну вартість розробленої фотоелектричної системи. Враховуючи, що сонячні батареї коштують 48,000 грн., контролер заряду 11,000 грн, акумуляторний блок 103,000 грн., а інвертор 115,000 грн., отримаємо 277,000 грн.

Для розрахунку були використані наступні складові енергосистеми:

#### **Сонячна панель –**

<https://ecoist.com.ua/solnechnaja-batareja-monokristallicheskaja-kvazar-190w-24v.htm>

#### **Контролер заряду –**

<http://altec.in.ua/products/solnechnuebatarei/kontrollery-zaryada/kontroller-zaryada-epsolar-vs6048n-60a-12-24-36-48v-detail>

**Акумулятор** –

<http://alteco.in.ua/products/akkumulyatory/akkumulyatory-tipaagm/ventura-gpl-12-200-detail>

**Інвертор** – <http://alteco.in.ua/products/solnechnuebatarei/inventory/gibridnye-inventory/inverter-infinisolar-10kw-detail>

### Довідниковий мінімум

Визначення ефективності сонячної батареї в умовах АМ 1,5 проводиться за формулою:

$$\eta = \frac{P_{\text{вих}}}{P_{\text{вх}} \cdot S}$$

де,  $\eta$  – ефективність сонячної панелі;  $P_{\text{вих}}$  – вихідна потужність;  $P_{\text{вх}}$  – потужність освітлення;  $S$  – площа сонячної панелі.

Щомісячна кількість енергії, яку виробляє одна сонячна панель, розраховується за формулою:

$$P_1 = k \eta S P_{\text{міс}}$$

де,  $P_1$  – щомісячна кількість енергії, яку виробляє одна сонячна панель;  $k$  – відсоток збільшення виробленої енергії в залежності від типу енергосистеми;  $P_{\text{міс}}$  – щомісячний рівень сонячної інсоляції.

АМ 1,5 – атмосферна маса (стандартний сонячний спектр на поверхні Землі).

# **Практичне завдання 2**



## Вольтамперні і світлові характеристики фотодіода

### Мета роботи

- I. Розрахунок і побудова вольтамперних характеристик фотодіода при його різній освітленості.
- II. Розрахунок і побудова світлових характеристик освітленого р - n-переходу.

### Початкові уявлення і розрахункові співвідношення

Фотодіод є напівпровідниковий діод, сконструйований таким чином, що в активній області структури ефективно сприймається оптичне випромінювання і під дією світла різної інтенсивності відбувається зміна вольтамперних характеристик діода. Фотодіод може застосовуватися в двох режимах - фотодіодному і в режимі генерації фото-ЕРС (рис. 2.1). Ці режими реалізуються на різних ділянках вольтамперної характеристики освітленого світлом р - n-переходу.

У фотодіодному режимі на перехід подається зворотна напруга і при відсутності освітлення в ланцюзі протікає так званий темновий струм  $I_0$  викликаний термогенерацією носіїв заряду в напівпровіднику. При висвітленні переходу відбувається генерація електронно-діркових пар, зі збільшенням інтенсивності світлового потоку зростає концентрація нерівноважних носіїв заряду поблизу переходу, що призводить до зниження потенційного бар'єру на переході і виникнення дифузійного струму основних носіїв. Виникає при цьому різниця потенціалів, на величину якої знижується потенційний бар'єр в переході, називається фотоелектрорушійною силою. У зовнішнього ланцюга,

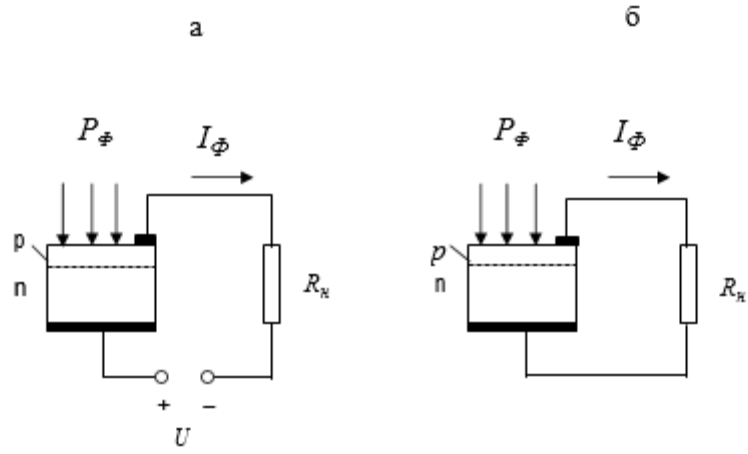


Рис. 2.1. Фотодіодний режим  $p$ - $n$ - переходу (а) в режимі генерації фото-ЕРС (б)

в області напівпровідника, що утворюють  $p$  -  $n$ - перехід, протікає так званий фотострум  $I_{\Phi}$ , пропорційний потужності світлового потоку і збігається за напрямком з струмом протилежно зміщеним переходом. В результаті до зворотного струму переходу додається струм  $I_{\Phi}$ . Ця частина характеристик називається характеристиками фотодіодного включення підсвіченого  $p$ -  $n$ - переходу.

При прямому зміщенні переходу в області значень струмів і напруг, відповідних першому квадранту вольтамперної характеристики, що виникає під дією світла фотострум віднімається з дифузійного струму переходу і ця частина вольтамперних характеристик відповідає меншим значенням струму в порівнянні з неосвітленим переходом. Вольт-амперні характеристики освітленого переходу в четвертому квадранті є характеристиками напівпровідникового фотоелемента, що є джерелом електричної енергії.

Вольтамперну характеристику освітленого переходу можна представити у вигляді:

$$I(U) = I_0 \left( \exp \frac{qU}{kT} - 1 \right) - I_{\Phi} = I_0 \left( \exp \frac{U}{\phi_T} - 1 \right) - I_{\Phi}, \quad (3.1)$$

$$I_{\Phi} = q \frac{P_{\Phi}}{h\nu} \eta \delta, \quad (3.2)$$

тут  $P_{\Phi}$  - потужність падаючого оптичного випромінювання,  $h\nu$  - енергія фотонів на заданій довжині хвилі оптичного випромінювання,  $\eta$ - квантова ефективність, що характеризує відношення числа, які генеруються в одиницю часу електронно-діркових пар до загальної кількості падаючих фотонів  $P_{\Phi} / h\nu$ ,  $\delta$  - коефіцієнт збирання носіїв заряду, що визначає число пар носіїв зарядів, що не рекомбінують в товщі і на поверхні напівпровідника і досягають замикаючого шару ( $\delta \leq 1$ ). При розрахунках квантової ефективності необхідно враховувати поглинання оптичного випромінювання

в напівпровідниковій структурі, яке загальному випадку можна оцінити за допомогою співвідношення:

$$\beta = (1 - R) [1 - \exp(-\alpha_0 W_1)], \quad (3.3)$$

в цьому співвідношенні  $R$  - коефіцієнт відбиття світлового потоку від поверхні активної структури фотодіода,  $\alpha_0$  - коефіцієнт поглинання випромінювання світла в напівпровіднику, що характеризує зменшення інтенсивності світлового потоку на одиниці довжини і має розмірність  $\text{см}^{-1}$ ,  $W_1$  - товщина області поглинання світла в структурі фотодіода.

Падаюче на діодну структуру світло, затухаючи в напівпровіднику за експоненціальним законом в залежності від значення коефіцієнта поглинання  $\alpha_0$ , викликає появу порушених світловим потоком носіїв заряду. При зменшенні коефіцієнта відбиття від поверхні кристала і збільшенні товщини області поглинання світла підвищується квантова ефективність фотодіода. При цьому слід враховувати, що час дифузії носіїв заряду до переходу і час дрейфу їх в поле переходом визначають інерційні властивості фотодіода. Як показує аналіз, найкраще співвідношення між квантовою ефективністю і швидкодією фотодіода досягається за умови  $W_1 \approx 1/\alpha_0$ .

Використання формули (3.3) для визначення квантової ефективності фотодіода вимагає знання оптичних характеристик використаного напівпровідника, що залежать від конкретної структури фотодіода і технології виготовлення. У зв'язку з цим при проведенні розрахунків можна обмежитися результатами теоретичних досліджень і випробувань типових фотодіодних структур, які в розрахунковій роботі розглядаються в якості вихідних даних. Ці дані представлені на рис.2.2 у вигляді залежності квантової ефективності від довжини хвилі.

Розрахунок вольтамперних характеристик фотодіода пов'язаний з визначенням складової зворотного струму переходу  $I_0$ . Це струм неосвітленого фотодіода при зворотному зміщенні переходу, який залежить

від площі переходу, ступеня легування матеріалу ( $p_{n0}$  і  $n_{p0}$ ) і параметрів напівпровідника ( $D_p$ ,  $D_n$ ,  $L_p$  і  $L_n$ ). При ширині  $p$ - і  $n$ - областей переходу  $W_n \gg W_p$  величину струму  $I_0$ , можна визначити із співвідношення:

$$I_0 = qS \left( \frac{D_p p_{n0}}{L_p} + \frac{D_n n_{p0}}{L_n} \right), \quad (3.4)$$

в якому  $p_{n0}$  і  $n_{p0}$  - концентрації неосновних носіїв в  $p$ - і  $n$ - областях в рівноважному стані переходу,

$$p_{n0} = \frac{n_i^2}{N_D}, \quad n_{p0} = \frac{n_i^2}{N_A}, \quad (3.5)$$

$n_i$  - концентрація носіїв у власному напівпровіднику,  $N_D$  і  $N_A$  - концентрації донорної і акцепторної домішок,  $L_n$  і  $L_p$  - дифузійні довжини електронів і дірок,  $D_n$  і  $D_p$  - коефіцієнти дифузії електронів і дірок.

Величину температурного потенціалу у формулі (3.1)  $\varphi_T = kT/q$  ( $q = 1,6 \times 10^{-19}$  Кл - заряд електрона) можна визначати за наближеною формулою  $\varphi_T \approx T/11600$  В, в якій температура  $T$  виражена в одиницях К. При розрахунках приймається значення  $T = 300$  К, при цьому  $\varphi_T \approx 0,026$  В.

Вольтамперні характеристики фотодіода за своїм виглядом аналогічні вихідним характеристикам транзистора в схемі із загальною базою. Світловий потік виконує роль емітера, інжектуються носії заряду в напівпровідникову структуру, які дифундують потім до переходу, що виконує роль колектора транзистора. При модуляції світлового потоку на навантажувальних резисторах в ланцюзі фотодіода створюється падіння напруги, пропорційне модулюючому сигналу. Ця властивість фотодіода дозволяє використовувати його в якості приймачів світлового опромінювання в кінцевих пристроях ліній оптичного зв'язку і вимірювати енергетичні параметри світлових потоків.

Значення струмів і напруг, відповідних частині вольтамперної характеристики фотодіода, розташованої в четвертому квадранті, відповідає нагоді, коли освітлений  $p - n$ - перехід є джерелом електричної енергії. У режимі холостого ходу, коли  $I(U)=0$ , визначають значення ЕРС

$$U_{xx} = \varphi_T \ln \left( \frac{I_\Phi}{I_0} + 1 \right) \quad (3.6)$$

напівпровідникового фотоелемента, напруга на зажимах якого при  $I_\Phi \gg I_0$  росте зі збільшенням потужності світлового потоку згідно логарифмічного закону.

Зв'язок фотосьому освітленого світлом напівпровідникового діода з потужністю світлового потоку зазвичай висловлюють через монохроматичну (Спектральну) чутливість приладу  $s_\Phi(\lambda) = I_\Phi P_\Phi(\lambda)$  на заданній довжині хвилі  $\lambda$ :

$$s_\Phi(\lambda) = \delta \eta \frac{q}{hc} \lambda. \quad (3.7)$$

Межа чутливості в області великих довжин хвиль визначається шириною забороненої зони напівпровідникового матеріалу  $\Delta E_g$ . Порогова довжина хвилі (червона межа фотоефекту), виражена в мікрометрах,

$$\lambda_{zp} = 1,24 / \Delta E_g, \quad (3.8)$$

обчислюється з простого співвідношення 3.8, в цьому наближеному чисельному співвідношенні ширина забороненої зони виражена в еВ. У роботі необхідно обчислити порогові довжини хвиль для напівпровідникових матеріалів (кремнію, германію та арсеніду галію), виходячи з даних по ширині забороненої зони для обраних у варіанті завдання напівпровідників. В області коротких хвиль максимальну чутливість для розглянутих фотодіодів можна наближено визначити за співвідношенням:

$$s_{\Phi \text{ макс}} \approx 0,8 \lambda_{\text{зр}} \approx \Delta E_g^{-1}, \quad (3.9)$$

(тут  $s_{\Phi \text{ макс}}$ ,  $A/Vm$ ;  $\lambda_{\text{зр}}$ ,  $\mu\text{км}$ ;  $\Delta E_g$ ,  $eV$ ). У цій області довжин хвиль зменшення чутливості фотодіода, яке пояснюється зменшенням довжини поглинання світла поблизу поверхні і зростанням втрат за рахунок поверхневої рекомбінації порушених світловим потоком носіїв заряду.

При проведенні розрахунків слід скористатися наближеними співвідношеннями для оцінки енергії квантів і потужності світлового випромінювання  $hV = \frac{1,986}{\lambda} 10^{-19} \text{ Дж}$ ,  $hV = \frac{1,24}{\lambda} \text{ эВ}$  (тут довжина хвилі  $\lambda$  виражена мікрометрах). При визначенні інтенсивності світлового потоку необхідно враховувати співвідношення між використовуваними одиницями вимірювань потужності:  $1 \text{ лм} = 10^{-7} \text{ Вт}$ .

### Порядок проведення розрахунків

I. Для кожного з варіантів роботи задаються параметри діодної структури, необхідні для проведення розрахунків (Таблицю 2.1):

- напівпровідниковий матеріал-германій, кремній і арсенід галія;
- дифузійні довжини електронів і дірок  $L_n$  и  $L_p$  в  $\text{см}$ ;
- концентрації донорів і акцепторів  $N_D$  и  $N_A$   $\text{см}^{-3}$ ;
- площа переходу  $S_{\text{пер}}$  в  $\text{см}^2$ ;
- довжини хвиль світлового випромінювання  $\lambda$  в  $\mu\text{км}$ ,
- значення інтенсивності світлового потоку в  $\text{лм}$ .

II. За формулою (3.1) проводиться розрахунок вольтамперної характеристики діода при відсутності освітленості ( $P_{\Phi} = 0$ ) для заданих в табл.

2.1 напівпровідникових матеріалів.

III. За формулою (3.2) визначаються величини фотоструму при значеннях інтенсивності світлового потоку, зазначених у варіанті розрахунку. Квантова ефективність фотоефекту на заданих довжинах хвиль враховується відповідно даними, представленими на рис. 2.2. При розрахунках

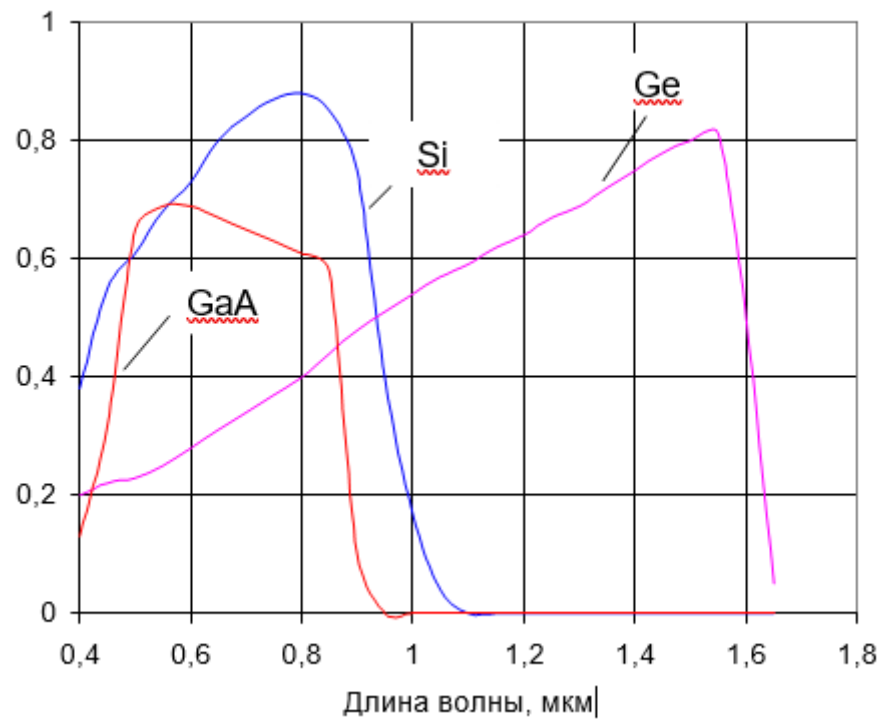
використовується значення коефіцієнта збирання носіїв  $\eta \approx 1$ , що обґрунтовується оптимальною конструкцією фотодіода, при якій найбільш ефективно поглинання в базі монохроматичного світлового випромінювання.

IV. Відповідно до формули (3.1) проводиться розрахунок і побудова вольтамперних характеристик фотодіода при його різній освітленості для значень світлового потоку, зазначених в табл. 2.1.

V. За формулою (3.6) проводиться розрахунок і побудова залежності напруги холостого ходу від освітленості р-п - переходу для значення температури  $T = 300$  К, при якій величина температурного потенціалу  $\varphi_T$  наближено дорівнює 0,025 В. Розрахунок проводиться для зазначених в табл. 2.1 матеріалів діодної структури і довжин хвиль оптичного випромінювання.

VI. Для цих напівпровідникових матеріалів за формулами (3.8) і (3.9) розраховуються граничні довжини хвиль оптичного випромінювання і максимальні значення чутливості фотодіодів, результати розрахунків має бути поданий у вигляді таблиці.





Мал. 2.2. Характеристики спектральної чутливості фотоприймачів для різних матеріалів діодних структур

Таблиця 2.1. Вихідні дані для проведення розрахунків

№ варіанту	$L_p, L_n,$		$N_A,$ $\times 10^{16}$ $\text{см}^{-3}$	$N_D,$ $\times 10^{14}$ $\text{см}^{-3}$	$S_{nep},$ $\times 10^{-4}$ $\text{см}^2$	$\lambda,$ мкм	$\Phi,$ $\times 10^{-3}$ лм
	Si, Ge $\times 10^{-2}$ см	GaAs $\times 10^{-4}$ см					
1	0,4	1,0	1,0	2,0	1,0	0,4	0; 1; 2
2	0,45	1,5	2,5	3,0	2,0	0,45	0; 3; 4
3	0,5	2,0	3,0	4,0	3,0	0,5	0; 4; 8
4	0,55	2,5	3,5	5,0	4,0	0,55	0; 3; 6
5	0,6	3,0	4,0	6,0	5,0	0,6	0; 5; 10
6	0,65	3,5	4,5	7,0	6,0	0,65	0; 6; 9
7	0,7	4,0	5,0	8,0	7,0	0,7	0; 6; 12
8	0,75	4,5	6,5	9,0	8,0	0,75	0; 7; 14
9	0,8	5,0	7,0	10,0	9,0	0,8	0; 7; 12
10	0,85	5,5	7,5	20,0	10,0	0,85	0; 8; 16
11	0,9	6,0	8,0	30,0	20,0	0,9	0; 9; 18
12	0,95	6,5	8,5	40,0	40,0	0,4	0; 10; 20
13	1,0	7,0	9,0	50,0	50,0	0,45	0; 12; 24
14	1,02	7,5	9,5	60,0	60,0	0,5	0; 13; 26
15	1,05	8,0	10,0	70,0	80,0	0,55	0; 14; 28
16	0,65	3,5	4,5	15	8,5	0,6	0; 15; 30
17	0,7	4,0	5,0	8	9,0	0,65	0; 16; 32
18	0,75	4,5	5,5	9	9,5	0,7	0; 17; 34
19	0,8	5,0	6,0	10	10,0	0,75	0; 18; 36
20	0,85	5,5	6,5	15	10,5	0,8	0; 20; 40
21	0,9	6,0	7,0	20	11,0	0,85	0; 10; 20
22	0,95	6,5	7,5	30	11,5	0,9	0; 12; 24
23	1,0	7,0	8,0	40	12,0	0,59	0; 13; 26
24	0,55	2,5	3,5	15	12,5	0,64	0; 14; 28
25	0,6	3,0	4,0	10	13,0	0,4	0; 15; 30

### Контрольні питання

1. Пояснити механізм формування струму через освітлений р-п -перехід і дати визначення ефекту генерації фото-ЕРС.
2. За яких припущеннях отримано співвідношення (2.1), яке описує вольтамперну характеристику фотодіода.
3. Від яких параметрів напівпровідників і світлового потоку залежить чутливість фотоприймача на основі р-п -переходу.
4. В якій частині вольтамперної характеристики реалізується режим перетворення енергії оптичного випромінювання в електричну енергію.
5. Пояснити, за яких умов фотоелемент видає максимальну вихідну потужність.

### Рекомендована література

1. Аваев Н.А., Шишкин Г.Г. Электронные приборы. Учебник для вузов. – Под ред. Г.Г. Шишкина. – М.: Издательство МАИ. 1996. 544 с.
2. Морозова И.Г. Физика электронных приборов: Учебник для вузов. – М.: Атомиздат. 1980. 392 с.
3. Носов Ю.Р. Оптоэлектроника. – М.: Радио и связь. 1989. 360 с.