

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет

З. А. Ніконова
О. Ю. Небеснюк
А. О. Ніконова

**ОСНОВНІ НАПРЯМИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У ГАЛУЗІ
АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ
ТЕХНІКИ**

**Методичні рекомендації до практичних занять
для здобувачів ступеня вищої освіти магістра
спеціальності «Мікро- та наносистемна техніка»
освітньо-професійної програми
«Мікроелектронні інформаційні системи»**

Затверджено
вченою радою ЗНУ
Протокол №11 від 30.04.2024

Запоріжжя
2024

621.315
Н153

З. А. Ніконова, О. Ю. Небеснюк, А. О. Ніконова. Основні напрями наукових досліджень у галузі автоматизації та приладобудування електронної техніки : методичні рекомендації до практичних занять для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності «Мікро – та наносистемна техніка» освітньо-професійної програми «Мікроелектронні інформаційні системи». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2024. 99 с.

У методичних рекомендаціях систематизовано методологічні аспекти теорії та практики виконання наукових досліджень у галузі 17 «Електроніка, автоматизація та електроні комунікації».

Послідовність та логічність викладення матеріалу в методичних рекомендаціях розкриваються в повному обсязі з дисципліни «Основні напрями наукових досліджень в галузі автоматизації та приладобудування електронної техніки», передбаченої навчальним планом підготовки здобувачів.

За кожним практичним завданням у методичних рекомендаціях наведено теоретичний матеріал, порядок виконання, схеми та прилади, розрахункові формули, практичні приклади виконання, варіанти завдань, контрольні запитання.

Рекомендовано для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності «Мікро – та наносистемна техніка» за освітньою програмою «Мікроелектронні інформаційні системи».

Рецензенти:

В. Л. Коваленко, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електричної інженерії та кіберфізичних систем ІННІ ім. Ю. М. Потебні ЗНУ

В. В. Замаруєв, кандидат технічних наук, професор кафедри промислової і біомедичної електроніки НТУ «Харківський політехнічний інститут»

Відповідальний за випуск

Т. В. Критська, доктор технічних наук, професор, завідувачка кафедри електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення

УДК 621.15(075.8) Н153
© ІННІ ім. Ю. М. Потебні ЗНУ
З.А. Ніконова
О.Ю. Небеснюк
А.О. Ніконова

ЗМІСТ

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 1	5
ТЕМА: РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	5
НА НАУКОВО – ДОСЛІДНУ РОБОТУ	5
1.1 Зміст завдання.....	5
1.2 Теоретичні відомості.....	5
1.3 Порядок виконання завдання	9
1.4 Вимоги до розробки та оформлення ТЗ	9
1.5 План складання звіту.....	12
1.6 Контрольні запитання	13
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 2.....	14
ТЕМА: ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОНАННЯ НАУКОВОЇ СТУДЕНТСЬКОЇ РОБОТИ	14
2.1 Зміст завдання.....	14
2.2 Теоретичні відомості.....	14
2.3. Приклад обґрунтування теми завдання	14
2.4 Розрахунок за шкалою відносної важливості	15
2.5 План складання звіту.....	21
2.6 Контрольні запитання	21
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 3	22
ТЕМА: ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДУ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ	22
3.1 Теоретичні відомості.....	22
3.2 Режими роботи енергосистеми.....	23
3.3 Внутрішня напруга постійного струму енергосистеми	24
3.4 Вибір сонячних панелей	25
3.5 Вибір контролеру заряду (КЗ)	26
3.6 Вибір інверторів.....	26
3.7 Вибір акумуляторів.....	26
3.8 Початкові данні та зміст завдання.....	27
3.9 Порядок виконання завдання.....	32

3.10 Приклад виконання.....	32
3.11 План складання звіту.....	41
3.12 Контрольні запитання	41
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 4	42
ТЕМА: ПРИЙНЯТТЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ МЕТОДОМ «МОЗКОВОГО ШТУРМУ»	42
4.1 Теоретичні відомості.....	42
4.2 Різновиди методики «Мозковий штурм».....	43
4.3 Порядок проведення мозкового штурму	45
4.4 План складання звіту.....	47
4.5 Контрольні запитання	47
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 5	48
ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НАДІЙНОСТІ МІКРОЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ	48
5.1 Зміст завдання.....	48
5.2 Теоретичні відомості.....	48
5.3 Основні показники надійності	50
5.4 Порядок виконання завдання.....	55
5.5 План складання звіту.....	57
5.6 Контрольні питання.....	58
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 6	59
ТЕМА: ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ОХОЛОДЖУВАЧІВ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПРИЛАДІВ	59
6.1 Зміст завдання.....	59
6.2 Короткі теоретичні відомості	59
6.3 Визначення температури нагрітої зони одиночного блоку.....	69
6.4 Порядок виконання завдання.....	74
6.5 План складання звіту.....	75
6.6 Контрольні питання.....	75
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	77
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА.....	78
ДОДАТОК А.....	79

ВСТУП

Україна, як і кожна сучасна європейська держава, в структуру основних принципів розвитку суспільства включає питання наукових досліджень у різних галузях задля науково-технічного прогресу (НТП).

Розвиток НТП пред'являє зростаючі вимоги до фахівців зі спеціальності 176 «Мікро – та наносистемна техніка», їхнього творчого розвитку, умінню знаходити найбільш раціональні технологічні та конструктивні рішення, доведення існуючих наукових відкриттів до практичної реалізації.

Надані завдання з практичних робіт, які спрямовані на: поглиблення знань з теоретичних основ та набуття практичного досвіду щодо вирішення конкретних науково – дослідних задач при розробці приладів мікро- та наносистемної техніки та мікроелектронних інформаційних систем, які задовольняють потреби суспільства у їх виробництві; вироблення навичок проведення досліджень, впровадження їх результатів у практику діяльності організацій, оволодіння традиційними та сучасними інноваційними методами їх проведення; оволодіння фізичними процесами мікро- та наноелектронних систем, приладів й компонентів з використанням сучасних експериментальних методів та обладнання; використання інформаційних ресурсів, бази даних і знань з урахуванням вітчизняного й закордонного досвіду.

Метою вивчення дисципліни «Основні напрями наукових досліджень в галузі автоматизації та приладобудування електронної техніки» є ознайомлення студентів з основними етапами та формами процесу наукового дослідження, факторами застосування його теоретичних та емпіричних методів, методиками дослідження та принципами розробки мікроелектронних пристроїв, специфікою наукового пізнання та категоріями методологій наукових досліджень.

Завданням вивчення дисципліни «Основні напрями наукових досліджень в галузі автоматизації та приладобудування електронної техніки» є надання знань студентам з основних етапів формування та обґрунтування наукових гіпотез, теорії методу і процесу, методичного забезпечення науково-дослідної діяльності, діалектики як системи принципів, законів і категорій; сформуванню вміння вибору об'єктів, змісту та структури наукового дослідження, розроблення етапів, форм та способів організації процесу наукового дослідження; виробити навички проведення досліджень, впровадження їх результатів у практику діяльності організацій, оволодіння традиційними та сучасними інноваційними методами їх проведення.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент **зможє**:

- визначати напрями, розробляти і реалізовувати проекти модернізації виробництва мікро- та наносистемної техніки з урахуванням технічних, економічних, правових, соціальних та екологічних аспектів;

- застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки, а також критичне осмислення сучасних проблем у сфері мікро- та наноелектроніки, для розв'язування складних задач професійної діяльності;

- досліджувати процеси у мікро- та наноелектронних системах, приладах й компонентах з використанням сучасних експериментальних методів та обладнання, здійснювати статистичну обробку та аналіз результатів експериментів;

- практикувати інформаційний та науковий пошук, використовувати бази даних і знань, критично осмислювати та інтерпретувати результати, робити висновки та формувати напрями дослідження з урахуванням вітчизняного й закордонного досвіду.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 1

ТЕМА: РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ НА НАУКОВО – ДОСЛІДНУ РОБОТУ

Мета завдання: вивчити правила розробки, зміст обов'язкових розділів, послідовності затвердження технічного завдання на науково- дослідну роботу та проєктування засобів мікро – та наносистемної техніки.

1.1 Зміст завдання

Провести аналіз засобу мікроелектронної техніки за індивідуальним завданням згідно варіанту запропонованого для розробки. Провести виконання розробки технічного завдання на проєктування засобу мікроелектронної техніки згідно ГОСТ та переліку документів (Додаток А).

1.2 Теоретичні відомості

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

Порядок проведення проектно-конструкторських робіт укрупнено може бути представлений двома етапами:

- етап зовнішнього проєктування пристрою, що полягає в обґрунтуванні (визначенні) початкових даних виробу;
- етап внутрішнього проєктування, що полягає у виборі і визначенні характеристик складових частин виробу, що забезпечують його вихідні параметри.

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

Етап зовнішнього проєктування конструкції також включає обґрунтування 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 проєктування є важливим етапом аналізу ТЗ, оскільки при цьому встановлюється взаємозалежність показників, характеристик проєктуючого вузла, електронного пристрою зі всією системою, для якої він призначений. Іншим важливим етапом аналізу початкових даних є етап аналізу при внутрішньому проєктуванні.

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. Порядок його складання, узгодження і затвердження 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.інш.).

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

ТЗ 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;
- методи 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» вказується 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.

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 вказується номінальне значення, допуск, розмірність.

У розділі «Вимоги по стійкості до зовнішніх дій» вказуються 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.інш.), 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 зовнішніх дій – по ГОСТ В 20.39304-76.

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

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

- маси, габаритів, форми;
- способів кріплення роз'ємних і нероз'ємних елементів складових частин, необхідності пристроїв, які компенсують, центрують та фіксують;
- способів 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. інш.);
- 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);
- конструкційних матеріалів і покриттів;
- вигляду і складу ЗМП.

Залежно від вигляду і призначення виробу вказуються 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, кріюків, що транспортується. Упорів, роз'ємних елементів і т.ін.). Номенклатура конструктивних вимог встановлюється відповідно до ГОСТ В 20.39102-77, конструктивно-технічні вимоги – відповідно до ГОСТ В 20.39308-76.

У розділі «Вимоги по надійності» вказуються 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 вказується 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.інш. Аналіз схем з позицій конструктора передбачає:

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

1.3 Порядок виконання завдання

1. Згідно з номером у журналі навчальної групи студент повинен обрати варіант виробу, для якого він має написати технічне завдання на проєктування (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. 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 ході виконання пунктів 1-5, провести розробку технічного завдання на проєктування запропонованого виробу, визначити етапи НДР та скласти календарний план.

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

Таблиця 1.1 – Електричні характеристики виробу мікроелектроніки

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

1.4 Вимоги до розробки та оформлення ТЗ

ТЗ на НДР розробляються згідно з ДСТУ 3973-2000.

ТЗ на НДР містить такі розділи:

- мета НДР;

- виконавці НДР;
- вимоги до виконання НДР;
- етапи НДР і термін їх виконання.

Таблиця 1.2— Приклад розробки етапів НДР

Етап НДР	Зміст етапу
Вибір напрямку дослідження	<p>Добір, вивчення та узагальнення науково-технічної і патентної документації.</p> <p>Вибір напрямку дослідження.</p> <p>Обґрунтування прийнятого напрямку дослідження.</p> <p>Розроблення, погодження та затвердження ТЗ на складові частини НДР (за необхідності).</p> <p>Розроблення і погодження методики та програм робіт щодо проведення досліджень.</p> <p>Складання та оформлення проміжного звіту за етапом.</p> <p>Розглядання результатів та приймання етапу, якщо це передбачено ТЗ.</p>
Теоретичні та експериментальні дослідження	<p>Теоретичний пошук, виконання розрахунків і досліджень принципів питань.</p> <p>Розроблення документації, виготовлення і налагодження макетів, моделей або експериментальних зразків майбутніх виробів, програм і алгоритмів (за необхідності).</p> <p>Проведення експериментальних робіт та дослідження.</p> <p>Оброблення і коригування результатів теоретичних і експериментальних досліджень.</p> <p>Складання висновків за результатами досліджень.</p> <p>Складання та оформлення проміжного звіту за етапом.</p> <p>Розглядання та приймання етапу, якщо це передбачено ТЗ.</p>
Узагальнення і оцінювання результатів досліджень, складання звітної документації	<p>Узагальнення результатів теоретичних досліджень і експериментальних робіт.</p> <p>Оцінювання повності і якості вирішення поставлених завдань.</p>

	<p>Узагальнення матеріалів патентного пошуку і підготовки звіту про патентні дослідження (за необхідності).</p> <p>Оформлення патентного захисту можливих об'єктів інтелектуальної власності та розроблення заходів щодо збереження «НОУ-ХАУ».</p> <p>Розроблення проекту ТЗ на наступну НДР у разі необхідності подальших досліджень або ТЗ(МТВ) та ДКР (ДТР).</p>
	<p>Підготовлення комплекту звітної документації.</p> <p>Формулювання висновків за результати досліджень і розроблення рекомендації щодо застосування результатів НДР. Розглядання результатів на науково-технічній раді.</p> <p>Подання роботи до приймання.</p>
Приймання НДР	<p>Заходи щодо підготовки НДР до приймання.</p> <p>Приймання та державний облік НДР.</p>

Залежно від специфіки НДР дозволено уточнювати зміст розділів, об'єднувати окремі розділи та вводити нові, змінювати технічні характеристики та параметри за згодою з замовником, визначати правила підготовки та перелік документів до приймання НДР.

Очікувані результати та порядок реалізації НДР:

- матеріали, які подають під час закінчення НДР та її етапів;
- порядок приймання НДР та її етапів;
- вимоги для розроблення документації;
- вимоги щодо технічного захисту інформації з обмеженим доступом (за необхідності);
- додатки.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН НАУКОВО- ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ

Найменування робіт по договору і основних етапів його виконання	Строки виконання: початок-кінець (місяць, рік)	Розрахункова ціна етапу, грн та у % до договірної ціни
1	2	3
Етап 1		
Етап2		
Етап 3		

1.5 План складання звіту

- тема та мета роботи;
- короткі теоретичні відомості про методи вимірювання;
- принципова схема виробу;
- схема вимірювань;
- принцип дії установки для вимірювання;
- вибір елементів схеми;
- параметри обраних елементів схеми;
- критична оцінка отриманих результатів з урахуванням похибки вимірювань;
- текст ТЗ розробленого мікроелектронного пристрою;
- складання календарного плану та етапи його виконання;
- аналіз і висновки до виконаної роботи .

1.6 Контрольні запитання

1. Які основні вимоги до ТЗ?
2. Які основні етапи НДР?
3. Які чинники впливу на роботу мікроелектронного пристрою?
4. Чим визначається похибка методу?
5. Які переваги розробленого пристрою?
6. Які заходи застосовуються для зменшення похибки вимірювань ?
7. Як визначається абсолютна похибка вимірювання?
8. Як визначається відносна похибка вимірювання?
9. Які недоліки розробленого пристрою?
10. Які етапи розробки входять до календарного плану?
11. Як визначається договірна ціна розробленого пристрою?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 2

ТЕМА: ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОНАННЯ НАУКОВОЇ СТУДЕНТСЬКОЇ РОБОТИ

Мета завдання: дослідити розроблену згідно ТЗ нову конструкцію мікроелектронного пристрою, прогресивну технологію виготовлення напівпровідникових елементів, нову методику дослідження або тестування електронної системи.

2.1 Зміст завдання

Обрати конкретне науково-технічне завдання в рамках поставленої проблеми, яка базується на дослідних та проектно-конструкторських питаннях, опрацювати етапи техніко-економічного обґрунтування.

2.2 Теоретичні відомості

Жодне технічне рішення не може бути прийняте без обґрунтування економічної доцільності його розробки. У ринкових економічних відносинах саме економічній ефективності надається пріоритет.

Техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) складається з наступних етапів:

- перший етап – це формулювання науково-технічної проблеми на основі аналізу протиріч даних інформаційного пошуку;
- другий етап – формулювання теми і виявлення орієнтованої області досліджень або проектно-конструкторських робіт;
- третій етап - встановлення актуальності проблеми і теми роботи, тобто їх цінність на даному етапі для науки і техніки.

Однозначного критерію для встановлення ступеня актуальності поки немає. Наприклад, при оцінці актуальності прикладних наукових розробок більш актуальною виявиться та тема, що забезпечить розширення технічних можливостей пристрою або великий економічний ефект. Для цього необхідно економічно обґрунтувати потребу в новій розробці, погодивши витрати та рівень якості й надійності майбутнього приладу чи автоматизованої електронної системи або мережі.

2.3. Приклад обґрунтування теми завдання

Актуальним на сьогодні є застосування напівпровідникових приладів (наприклад, ультразвукових) в якості медичного устаткування для лікування та діагностики різних захворювань, тому що, вони не шкідливі як для

навколишнього середовища, так і для людини в цілому, також їх можна дуже легко пересувати без будь якої шкоди для апарату. Вони найбільш ефективні у використанні та споживанні енергії на відміну від таких як: акустичні та фотоприлади.

Акустичні прилади дуже громіздкі у виконанні та працюють на малих відстанях. Фотоприлади дуже чутливі до переміщення, швидко виходять з ладу, також працюють на малих відстанях.

Необхідно проаналізувати можливі варіанти ультразвукових приладів та обрати глобальний для розробки та використання.

2.4 Розрахунок за шкалою відносної важливості

Приклад виконання: проаналізовано ієрархію трьох видів приладів (табл. 2.1), враховуючи шкалу відносної важливості (табл.2.2).

Таблиця 2.1 - Можливі варіанти видів приладів

Види приладів		Короткий опис
А	Ультразвуковий	Подача тривожного сигналу при появі на шляху ультразвукових коливань перешкоди
В	Акустичний	Подача тривожного сигналу при появі на шляху акустичних хвиль перешкоди
С	Фото	Прийняття відбиваючого світла від предметів та надання відповідного сигналу

Таблиця 2.2 - Шкала відносної важливості

Інтенсивність відносної важливості	Визначення
1	рівна важливість
3	помірна перевага
5	сильна перевага
7	значна перевага
9	дуже сильна перевага
2,4,6,8	проміжні судження

Вибір зроблено за критеріями, наведеними в таблиці 2.3.

Встановлено відносну вагу кожного критерію на основі матриці попарних порівнянь для обраних критеріїв (таблиця 2.3).

У матриці прийняті наступні позначення:

i – номер критерію;

при порівнянні 6-ох критеріїв (табл. 2.3) $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$;

X_i - локальний пріоритет, тобто відносна вага i -го критерію в глобальному критерії.

Таблиця 2.3 – Попарне порівняння критеріїв

Критерій	1	2	3	4	5	6	$\sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}$	X_i
1.Ефективність	1	5	3	3	5	5	3,225	0,384
2.Споживання	1/5	1	3	1/3	1/3	3	0,860	0,106
3. Площа	1/3	1/3	1	1/3	1/3	3	0,538	0,066
4. Потужність	1/3	3	3	1	1/3	3	1,159	0,142
5.Відстань дії	1/5	3	3	3	1	5	2,018	0,247
6. Вартість	1/5	1/3	1/3	1/3	1/5	1	0,434	0,055
Σ							8,234	1,00

$$X_i = \frac{\sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}}{\sum_{i=1}^6 \sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}}, \quad \sum - \text{сума по стовпці } \sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i};$$

Проведено порівняння: відносна вага кожного критерію самого до себе дорівнює 1. Почато з критерію «ефективність»: відносно критерію «споживання» він має сильну перевагу (за табл. 2.2 оцінка – 5), тоді в 1-й строчці, 2-му стовпчику ставити 5, а в 2-й строчці, 1-му стовпчику ставити 1/5;

- відносно критерію «площа» він має помірну перевагу (за табл. 2.2 оцінка – 3), тоді в 1-й строчці, 3-му стовпчику ставити 3, а в 3-й строчці, 1-му стовпчику ставити 1/3;

- відносно критерію «потужність» він має помірну перевагу (за табл. 2.2 оцінка – 3), тоді в 1-й строчці, 4-му стовпчику ставити 3, а в 4-й строчці, 1-му стовпчику ставити 1/3; і т. д. порівняти цей критерій з іншими.

Так само, порівнюючи кожний критерій з іншими, заповнено таблицю 2.3.

Далі в кожній строчці перемножено усі 6 значень і взято з цього добутку корінь 6-го ступеню – так заповнено стовпчик $\sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}$; знайдено суму по цьому

стовпчику \sum , знайдено $X_i = \frac{\sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}}{\sum_{i=1}^6 \sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}}$ для кожної строки і заповнено стовпчик

X_i .

Далі аналогічно складено 6 матриць попарних порівнянь альтернатив стосовно кожного критерію (таблиці 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9). Оскільки тепер порівнюються 3 методики по одному критерію, то $i = 1, 2, 3$:

$$X_i = \frac{\sqrt[3]{\prod_{i=1}^3 \omega_i}}{\sum_{i=1}^3 \sqrt[3]{\prod_{i=1}^3 \omega_i}}; \quad \sum - \text{сума по стовпці } \sqrt[3]{\prod_{i=1}^3 \omega_i}.$$

Таблиця 2.4 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «Ефективність»

Вид приладів	A	B	C	$\sqrt[3]{\prod_{i=1}^3 \omega_i}$	X _i
A	1	1/5	5	0,84	0,22
B	5	1	3	2,47	0,65
C	1/5	1/3	1	0,48	0,13
Σ				3,79	1,00

Таблиця 2.5 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «Споживання»

Вид приладів	A	B	C	$\sqrt[3]{\prod_{i=1}^3 \omega_i}$	X _i
A	1	7	9	3,98	0,77
B	1/7	1	5	0,89	0,17
C	1/9	1/5	1	0,27	0,06
Σ				5,14	1,00

Таблиця 2.6 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «Площа»

Вид приладів	A	B	C	$\sqrt[3]{\prod_{i=1}^3 \omega_i}$	X _i
A	1	5	3	2,47	0,65
B	1/5	1	3	0,84	0,22
C	1/3	1/3	1	0,48	0,13
Σ				3,79	1,00

Таблиця 2.7 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «Потужність»

Вид приладів	A	B	C	$\sqrt[3]{\prod_{i=1}^3 \omega_i}$	X _i
A	1	3	1/5	0,84	0,20
B	1/3	1	1/5	0,39	0,10
C	5	5	1	2,92	0,70
Σ				4,15	1,00

Таблиця 2.8 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «Відстань дії»

Вид приладів	A	B	C	$\sqrt[3]{\prod_{i=1}^3 \omega_i}$	X _i
A	1	3	3	2,08	0,57
B	1/3	1	5	1,19	0,33
C	1/3	1/5	1	0,39	0,10
Σ				3,66	1,00

Таблиця 2.9 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «вартість»

Вид приладів	A	B	C	$\sqrt[3]{\prod_{i=1}^3 \omega_i}$	X _i
A	1	5	3	2,47	0,60
B	1/5	1	1/7	0,31	0,08
C	1/3	7	1	1,33	0,32
Σ				4,11	1,00

Глобальний пріоритет для кожної альтернативи обчислено як суму добутків кожного локального пріоритету на його ваговий коефіцієнт.

В таблиці 2.10 строчка «вага» - це стовпчик X_i таблиці 2.3, строчка «Ультразвуковий прилад» - це значення X_i таблиць 2.4 – 2.9 для методики А, строчка «Акустичний прилад» - для методики В, строчка «Фотоприлад» - для методики С.

Глобальний пріоритет для кожної методики розраховано:

$$\text{для технології А: } 0,383 \times 0,22 + 0,106 \times 0,77 + 0,066 \times 0,65 + 0,142 \times 0,20 + 0,247 \times 0,57 + 0,055 \times 0,60 = 0,40$$

$$\text{для технології В: } 0,383 \times 0,65 + 0,106 \times 0,17 + 0,066 \times 0,22 + 0,142 \times 0,10 + 0,247 \times 0,33 + 0,055 \times 0,08 = 0,37$$

і т.ін.

Таблиця 2.10 - Глобальний пріоритет для кожної альтернативи

Пріоритети	№1	№2	№3	№4	№5	№6	Глобальний
Вага	0,383	0,106	0,066	0,142	0,247	0,055	
А	0,22	0,77	0,65	0,20	0,57	0,60	0,40
В	0,65	0,17	0,22	0,10	0,33	0,08	0,3,7
С	0,13	0,06	0,13	0,70	0,10	0,32	0,22

З порівняння глобальних пріоритетів різних методів (табл. 2.10) видно, що найбільшим є пріоритет у ультразвукового варіанту.

Висновки:

За допомогою методу аналізу проведено порівняння трьох типів приладів за наступними критеріями: 1) ефективність; 2) споживання; 3) площа приладу в цілому; 4) потужність; 5) відстань дії; 6) вартість.

Найбільший локальний пріоритет у критерію «ефективність» (табл. 2.3). За даними таблиці 2.9 локальний пріоритет за критерієм «споживання», «площа», «відстань дії» є найвищим для ультразвукового приладу і найбільший глобальний пріоритет має ультразвуковий прилад. Тому перевага віддається ультразвуковому приладу, саме цей метод й взято за основу при розробці та використанні приладу.

Надана методика розрахунку глобального варіанту напівпровідникових приладів може використовуватися при розробці приладів і пристроїв мікро – та наносистемної техніки, дослідженні та виготовленні мікроелектронних інформаційних систем.

2.5 План складання звіту

- тема та мета роботи;
- розрахунок за шкалою відносної важливості;
- попарне порівняння критеріїв;
- порівняння альтернатив стосовно критерію «Ефективність»;
- порівняння альтернатив стосовно критерію «Споживання»;
- порівняння альтернатив стосовно критерію «Площа»;
- порівняння альтернатив стосовно критерію «Потужність»;
- порівняння альтернатив стосовно критерію «Відстань дії»;
- порівняння альтернатив стосовно критерію «вартість»;
- глобальний пріоритет для кожної альтернативи;
- висновки за роботою.

2.6 Контрольні запитання

1. Суть методу попарного порівняння критеріїв?
2. Основні етапи техніко-економічного обґрунтування.
3. Яка методика розрахунку параметрів глобального пріоритету?
4. Що називається локальним пріоритетом?
5. За якими параметрами обирається глобальний пріоритет?
6. Як розрахувати абсолютну похибку вимірювання?
7. Як розрахувати відносну похибку вимірювання?
8. Скільки етапів складання ТЕО?
9. Які новітні технології виготовлення запропонованого пристрою?
10. Які недоліки запропонованого пристрою?
11. Які методи підвищення ефективності його роботи?
12. Що таке надійність пристрою?
13. Які показники надійності?
14. Які методи розрахунку показників надійності?
15. Які методи підвищення надійності роботи пристрою?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 3

ТЕМА: ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДУ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ

Мета завдання: дослідити та розрахувати параметри і характеристики технічних засобів фотоелектричної системи, обрати оптимальні варіанти.

3.1 Теоретичні відомості

Насьогодні 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 конкурентоздатним 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.

Внаслідок зміни інтенсивності сонячної радіації біля поверхні Землі протягом року 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.3.1).

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.

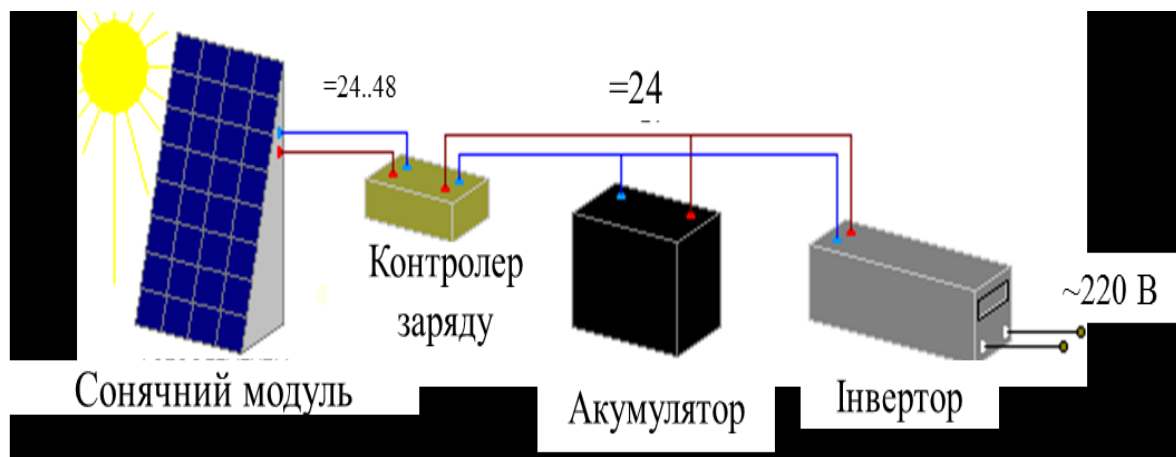


Рисунок 3.1 - Схематичний вигляд фотоелектричної системи автономного електрозабезпечення

3.2 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 середньо потужних приладів (< 4 кВт), в той самий час як енергозатратні прилади (електроплити, електродуховки, конвектори та електродігрівачі великих площ) повинні житися 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.

3.3 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).

Низьковольтна напруга постійного струму подається на вхід інвертората 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 3.1.

Складові системи:

- **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).

Таблиця 3.1- 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

3.4 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, багатоконпонентних сполук CdTe, CuInSe₂ (CIS), Cu(In,Ga)Se₂ (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 одного 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 кремній

забезпечує номінальну напругу довше, ніж полікристалічний, а це дозволяє отримувати деяку енергію 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).

3.5 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.

3.6 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 короточасне перевищення номінального навантаження.

3.7 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 по - блоково, 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 вогнебезпека.

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: конструкція інвертора та струм заряду (не повинен перевищувати 10 - 24% номінальної 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 сульфатації пластин адже в іншому випадку є ймовірність їх виходу з ладу, мати низький рівень саморозряду, 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.

3.8 Початкові дані та зміст завдання

Початкові дані для розрахункової частини для різних варіантів наведені у таблиці 3.4.

Для виконання завдання 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 3.2.

Таблиця 3.2- 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 3.3.

4. Побудувати помісячну залежності енергоспоживання об'єкту та енергопотужності вибраного блоку сонячних панелей. Проаналізувати можливість розташування сонячних панелей на відведеній території.
5. Визначити величину напруги постійного струму енергосистеми.
6. Виконати вибір контролера заряду, блоку акумуляторів та інверторів. Визначити сумарну вартість енергосистеми.

Таблиця 3.3- Щомісячна кількість електроенергії, що виробляє одна панель та визначена кількість панелей, необхідна кількість панелей для забезпечення об'єкта електроенергією

Номер варіанта	Тип енерго системи	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 ²)												
		Щомісячна кількість електроенергії, яку виробляє одна панель (кВт·год/м ²)												
		Необхідна кількість панелей												
		Щомісячна кількість електроенергії, яку виробляє необхідна кількість панелей (кВт·год/м ²)												

Номер варіанта	Географічне положення енергосистеми (населений пункт)	Площа розміщення (м ²)	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	3 сезонною зміню 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	3 сезонною зміню кута	260	244	230	210	190	170	130	140	160	170	190	220	повний
6	Білопідлля	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	3 сезонною зміню 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	3 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	3 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	3 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	3 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

3.9 Порядок виконання завдання

Для розрахунку необхідних фізичних величин використати співвідношення наведені у літературі посібника та довідниковому мінімумі методичних рекомендацій. 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 інтернет - ресурсі.

Врахувати, що використання трекерного типу встановлення фотоелектричних панелей збільшує кількість виробленої ними 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 15° ніж географічна широта розташування об'єкту енергозабезпечення. Енергосистема з сезонною зміною кута передбачає, що в зимовий період панелі встановлюються під кутом 90° 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.

3.10 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^2 . Передбачається використання енергосистеми з сезонною зміною кута нахилу фотоелектричних панелей.

Дані щомісячного енергоспоживання об'єктом наведені у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4- 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

1. Визначення рівня сонячної інсоляції

Рівень сонячної інсоляції у м. Чернігів (кВт·год на день) представлено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 -Щоденний рівень сонячної інсоляції у м. Чернігів

Щоденний рівень сонячної інсоляції (кВт·год/м ²)											
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 3.6.

Таблиця 3.6 - 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 була обрана сонячна батарея, основні характеристики якої наведені в таблиці 3.7.

Вибір даної батареї обумовлений наступними міркуваннями. Панель поставляється українською компанією “Kvazar”, що дає можливість поставити 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 3.7 - 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°C, освітленні 1000 Вт/м², АМ – 1,5.

4. Визначення щомісячної сонячної інсоляції на території розміщення об'єкта

Відповідні дані були взяті з довідникової літератури та наведені у таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 - Щомісячний рівень сонячної інсоляції, $P_{міс}$. (кВт·год/м²) в м. Чернігів

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

5. Визначення ефективності сонячних панелей

Ефективність сонячної батареї в умовах АМ 1,5 розраховується за наступною формулою (дані для розрахунку наведені в табл.3.8):

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

- де $P_{вих}$ – вихідна потужність;
- $P_{вх}$ – 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 напряму падіння сонячних променів в теплий період року. Він залежить від широти місцевості та повинен бути більшим на 15° за географічну широту розташування об'єкту енергозабезпечення.

У випадку для м. Чернігів кут нахилу сонячних панелей складає ~66°. В зимній період панелі повинні бути встановлені під кутом 90° 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;

η – 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 3.9 - Зведені дані кількості необхідної електроенергії, щомісячного рівня сонячної інсоляції та кількості енергії виробленої однією панеллю, їх необхідна кількість

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
15	З сезонною зміною кута	91	84	74	63	60	56	60	67	74	77	84	88
		Щомісячний рівень сонячної інсоляції, $P_{\text{міс}}$. (кВт·год/м ²)											
		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 ₂ необхідна кількість панелей (кВт·год/м)											
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. 3.2). 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 м². 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 ремонту. Необхідна площа для встановлення однієї панелі складає 1,517 м².

Таким чином для розташування 7 панелей (~11 м²) виділеної площі більш ніж достатньо.

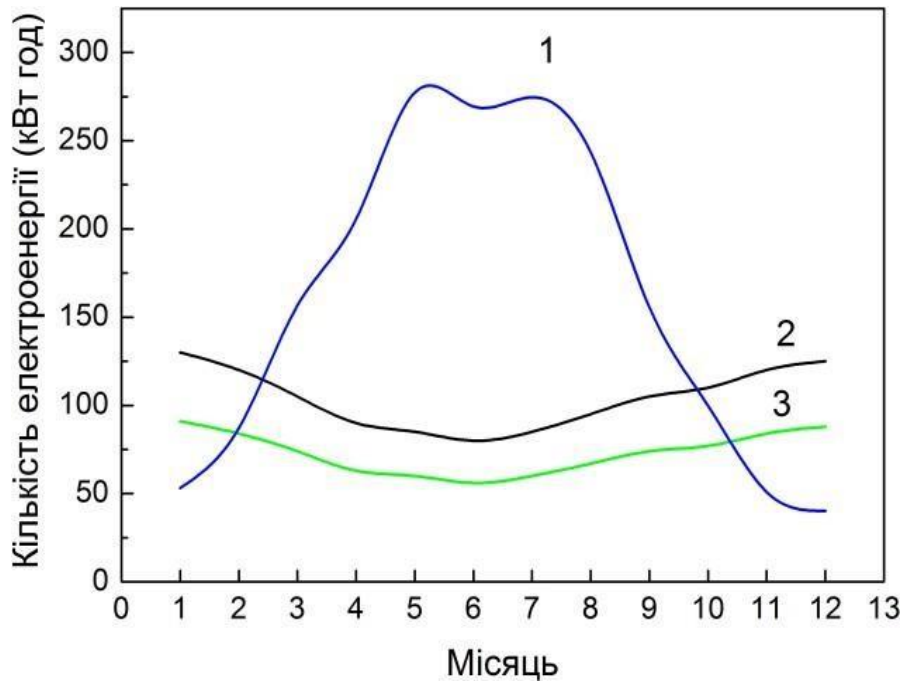


Рисунок 3.2 - Графік вироблення електроенергії блоком сонячних батарей, що складається з 7 панелей (1), щомісячне енергоспоживання об'єкту (2), щомісячне енергоспоживання об'єкту при комфортному режимі автономного забезпечення (3).

6. 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 струмблоку 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.

7. Вибір контролера 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 40А.

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 слід 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.

Найбільш точно встановленим вимогам відповідає інвертор (інвертор гібридний InfiniSolar 10 kW (10000Вт, 48В)) із наступними робочими

характеристиками:

Номинальна потужність навантаження: 10 кВт.

Напруга зовнішнього джерела: 48 В.

Максимальний струм заряду: 200 А.

Форма вихідної напруги: чиста синусоїда.

Сумарна вартість енергосистеми

Необхідно розрахувати 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://alteco.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, η – 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.

При цьому $AM\ 1,5$ – атмосферна маса (стандартний сонячний спектр на поверхні Землі).

3.11 План складання звіту

- тема та мета роботи;
- короткі теоретичні відомості про методи інсоляції;
- принципова схема виробу;
- схема вимірювань;
- принцип дії установки для вимірювання;
- вибір елементів схеми;
- параметри обраних елементів схеми;
- критична оцінка отриманих результатів з урахуванням похибки вимірювань;
- аналіз і висновки до виконаної роботи .

3.12 Контрольні запитання

1. Які технічні засоби входять до фотоелектричних систем?
2. Які методи дослідження їх параметрів та характеристик?
3. За якими чинниками обираються елементи системи?
4. Як визначається рівень сонячної інсоляції?
5. Які напівпровідникові модулі є основою сучасних перетворювачів сонячної енергії?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 4

ТЕМА: ПРИЙНЯТТЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ МЕТОДОМ «МОЗКОВОГО ШТУРМУ»

Мета завдання: обрати оптимальний варіант групового вирішення поставленої задачі.

4.1 Теоретичні відомості

«Мозковий штурм» – метод для розвитку критичного мислення, направлений на активізацію розумової діяльності та творчої активності науковців.

Цій методиці понад 70 років, її розроблено ще в 1953 році американським винахідником і підприємцем Алексом Осборном. Метод мозкового штурму (або брейншторм) – класичний спосіб групового рішення задач. Сенс полягає в тому, що в обмежений час треба запропонувати як можна більше варіантів, не орієнтуючись на їх якість і можливість реалізувати. Так можна включити асоціативне мислення: за ідеєю потягнеться ідея, і буде гарантовано отримано список з декількох життєздатних рішень, не витрачаючи час даремно.

Осборн у своїй методиці категорично виключає оцінку або осуд будь-яких ідей на початковому етапі їх зародження. Два принципи, на яких заснована техніка мозкового штурму – це заборона винесення вироку будь-яким думкам на початку обговорення і принцип трансформації кількості в якість.

Що дає техніка брейнштормінгу? Було проведено ряд досліджень, в процесі яких була поставлена мета виявити ефективність індивідуальної генерації ідей і колективної. Виявилось, що при правильному застосуванні брейнштормінгу кількість креативних рішень значно перевищує те, яке можуть видати окремі індивіди. Існує стереотип, що техніка мозкового штурму застосовується виключно людьми творчих професій в сфері реклами і маркетингу.

Але насправді брейнштормінг можна використовувати всюди, де потрібно докласти максимум зусиль для вирішення того чи іншого завдання. Застосування методу Осборна дає можливість відібрати найкращі ідеї на початку обговорення, а потім уточнити деталі вже в кінці. Використовується метод в менеджменті, науково-технічній сфері і навіть при вирішенні особистих проблем, якщо необхідно знайти швидкий і ефективний вихід з будь-якої ситуації.

Головний сенс методики – групова дискусія для пошуку варіантів вирішення певної проблеми. Під час обговорення кожен має можливість висловити будь-яку свою ідею. Абсолютно усі пропозиції спочатку записуються, а вже потім аналізуються. На меті – створення нових рішень поза форматом шаблонного мислення.

Мозковий штурм зазвичай проходить у три етапи, час кожного з них повинен бути чітко регламентований. Завдання модератора – слідкувати за ходом дискусії та дотриманням часу тривалості кожного з етапів.

Створення банку ідей.

Орієнтовний час проведення 7-10 хвилин. На цьому етапі після озвучення модератором проблемного питання учасники мають зібрати якнайбільше можливих ідей щодо вирішення поставленого завдання. Важливо, щоб всі учасники мали змогу висловитись, не боятися озвучувати будь-які припущення, навіть ті, які на перший погляд здаються нереалістичними. Усі пропозиції фіксуються. Жодне коментування чи критика пропозицій на цьому етапі не допускається.

Аналіз ідей.

Займає основний час, не менше 20 хвилин. На цьому етапі кожна ідея аналізується, оцінюється і критикується з позиції раціональності застосування для заданих умов. Обираються найбільш влучні варіанти із запропонованих.

Обговорення результатів.

На цьому етапі із найбільш вдалих варіантів обирається найбільш цікавий та практичний. Цей етап може тривати 10 хвилин наприкінці терміну або може бути перенесений на наступний термін для всебічного обговорення. Використання методу мозкового штурму має ряд переваг.

Він сприяє розвитку: творчого і аналітичного мислення; комунікативних навичок; вміння висловлювати свої думки, формулюючи їх чітко і ясно, слухати своїх учасників, не перебиваючи їх і намагаючись максимально вникнути в сенс їх ідей; фантазії та уяви; навичкам позитивної, адекватної критики.

До недоліків методу можна віднести неможливість застосування для складних дискусійних питань. Процесом досить важко керувати і практично нездійсненно направити його до потрібного рішення. До того ж він не має критеріїв оцінки висловлювань і іноді виникають труднощі при виборі найбільш цікавої пропозиції.

4.2 Різновиди методики «Мозковий штурм»

Крім класичного формату, принцип якого описано вище, можна виділити декілька різновидів. На наш погляд, для проведення дискусії зі студентами найбільш прийнятні такі варіанти.

Зворотній.

Студентам пропонується певний зразок виконаної роботи, а завдання студентів у режимі мозкового штурму не лише виявити та проаналізувати усі його недоліки, а й запропонувати гідну альтернативу, яка їх не міститиме.

Комбінований.

Студенти об'єднуються у 2-4 команди, кожна з яких спочатку незалежно одна від одної генерує пропозиції, а потім аналізує банк ідей одна одної. А на останньому етапі усі студенти групи разом обговорюють найкращі пропозиції команд.

Анонімний.

Деякі студенти через сором'язливість бояться публічно висловлювати власну думку, генеруючи креативні ідеї. Тому можна запропонувати учасникам записувати ідеї на окремих аркушах чи скористатися зручним онлайн-сервісом (наприклад, віртуальною дошкою [Google Jamboard](#)). Наступні етапи відбуваються як і у класичному форматі.

Тіньовий.

Група об'єднується у 3 команди. Перша генерує ідеї публічно. Друга – мовчки слухає учасників першої команди, не приймає участі у їхній дискусії, але записує свої ідеї, які приходять на думку під час дискусії учасників першої команди. Третя – аналізує пропозиції обох команд та обирає найприйнятніший варіант або пропонує свої ідеї на основі пропозицій інших команд.

Візуальний.

Такий формат найбільш підходить, коли необхідно створити замальовку певної ідеї (терміну, фрази, певної закономірності та інше). Група об'єднується у декілька команд (по 3-5 студентів), учасники кожної з яких мають не лише обговорити зміст завдання, а й створити спільний ескіз. Після цього відбувається презентація кожної команди свого проекту та у ході спільного обговорення обирається найбільш оригінальний та влучний варіант.

Застосування такої технології дозволяє напрацювати навичку вільної генерації ідей, вчитись висловлювати та аргументувати власні позиції, а також оцінювання ідеї інших відповідно до умов і раціональності. Такий прийом демонструє, що для вирішення одного і того ж завдання можна використовувати різні варіанти, а найкращі ідеї часто приходять несподівано і доопрацьовуються спільними зусиллями.

Найчастіше ефективність проведення мозкового штурму залежить від професіоналізму модератора, який регламентує весь процес обговорення ідей і заохочує всіх висловлювати свою думку. Основні його функції: мотивація перед обговоренням. На даному етапі модератор повинен показати мету і відзначити,

який внесок буде в її досягнення учасниками брейнштурмінгу. Запалити вогонь ініціативи – головне завдання.

Регламентация процесу висловлювання думок. Для того, щоб не влаштувати безперервний галас, модератор повинен по черзі давати слово кожному генератору рішень для того, щоб всі могли висловитися. Крім того, він підбадьорює учасників на те, щоб ті висловлювали самі божевільні ідеї вголос. Жорстке, але тактовне припинення критики з боку колег. Робити це просто необхідно, оскільки неможливо уникнути цієї проблеми на ранніх етапах мозкового штурму.

Позитивне і рівне ставлення до всіх учасників. Модератор не повинен явно або неявно виділяти «любимчиків», які висувають дійсно непогані ідеї для того, щоб не піднімати їх над іншими. Стимулювання потоку креативу також є однією з найважливіших функцій модератора. Запас ідей може вичерпатися, тому він повинен підготувати заздалегідь питання, які будуть живити мозкову активність учасників брейнштурмінгу. Це можуть бути питання в дусі «Як нам поглянути на проблему з іншого боку?», «Як краще об'єднати кілька ідей в одну?» і т.ін.

Обмеження часу на висловлювання також вельми необхідна функція. Якщо один з генераторів занадто довго викладає свої думки, потрібно його впевнено і коректно перервати для того, щоб і інші учасники мали шанс поділитися своїми роздумами.

4.3 Порядок проведення мозкового штурму

1. Формування «ударної» групи.

Це підготовчий етап, під час якого набираються студенти групи в команди по 5 осіб для проведення брейнштурмінгу, розподіляються ролі і вибирається ведучий – модератор, роль якого виконує викладач. За яким принципом обираються учасники брейнштурмінгу? Все залежить від завдання, яке буде вирішуватися. Найкращий варіант – підійти до завдання з усією відповідальністю і відібрати саме тих студентів, які мають безпосереднє відношення до тематики питання.

Приклади завдання:

- розробити ідею реклами спеціальності «Мікро- та наносистемна техніка»;
- розробити ідею реклами кафедри електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення;
- розробити ідею реклами Інженерного навчально- наукового інституту ім. Ю. М. Потебні;
- розробити ідею реклами Запорізького національного університету;
- розробити ідею створення макету - презентації спеціальності 176;
- розробити ідею реклами освітньої програми «Мікроелектроніка»

- інформаційні системи»;
- розробити ідею обрання технології виготовлення діодів за варіантами;
- визначити варіант обрання технології виготовлення мікросхем.

2. Постановка цілей.

Постановка цілей і завдань, заради яких проводиться даний захід. Потрібно максимально дохідливо і детально роз'яснити кожному учаснику суть проблеми, щоб звести до мінімуму нерозуміння. Дати як найбільше вихідних даних. Це послужить поштовхом до початку обговорення.

3. Розминка перед стартом.

Точно так же, як м'язи вимагають розігріву перед виснажливим тренуванням, мізкам потрібна розминка перед активною творчою діяльністю, тому треба «розігріти» мозок. Кілька хвилин модератор пропонує студентам відповісти на запитання щодо тематики заняття. Це дозволить налаштуватися на правильний лад і задати темп основної частини мозкового штурму.

4. Генерація ідей.

Це найважливіший етап, від якого залежить кінцевий результат. Він складається з активної, безперервної генерації ідей. Причому будь-яких ідей, навіть фантастичних, нереальних, абсурдних. Вкрай важливо, щоб процес не провисав.

5. Оцінка, класифікація, відсіювання.

Після активного брейнштурмінгу настає етап оцінки і ранжирування ідей. Критерії класифікації та оцінювання приймають самі учасники або ведучий. Після того, як всі пропозиції переглянуті, найслабші відсіваються. У підсумку повинні залишитися кращі варіанти. Скільки їх буде, залежить виключно від продуктивності заходів.

6. Обговорення та відбір робочих варіантів.

Це заключний етап, під час якого результати мозкового штурму виносяться на загальне обговорення.

Тут мова йде про можливості та перспективи реалізації тієї чи іншої ідеї. Тобто, на цьому моменті група перемикається з хвилі польоту фантазії на хвилю раціонального мислення: візуалізуються ідеї, пропонуються схеми, рисунки, плакати, дошки, флеш-панелі та інші ілюстрації. Учасникам потрібно час для перетравлення інформації. Проводиться фінальне обговорення.

Цей прийом мозкового штурму допоможе отримати кращий результат.

Проведення мозкового штурму можна вважати успішним, якщо вдалося сформулювати п'ять-шість досить реалістичних пропозицій, які згодом можуть послужити основою для практичного вирішення проблеми.

4.4 План складання звіту

- тема та мета роботи;
- короткі теоретичні відомості описання методу;
- етапи мозкового штурму;
- обрання варіанту завдання;
- визначення моделі ;
- план розробки ідеї створення обраної моделі;
- опрацювання та обробка результатів;
- представлення результатів з визначенням пріоритетного варіанту;
- висновки за роботою.

4.5 Контрольні запитання

1. Скільки етапів проведення мозкового штурму?
2. У чому полягає етап генерування ідей?
3. Які модифікації методу мозкового штурму?
4. У чому полягає методика брейнрайтингу?
5. Скільки повинно бути учасників у групі?
6. Хто запропонував метод «мозкового штурму»?
7. Які функції модератора?
8. Які особливості обрання методики?
9. Які особливості методу Осборна?
10. Які правила формування «ударної» групи?
11. Як проводиться відбір робочих варіантів?
12. Який термін етапу генерації ідей?
13. За якими критеріями відбувається відсіювання варіантів ідей?
14. За якими критеріями відбувається вибір остаточного варіанту ідей?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 5

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НАДІЙНОСТІ МІКРОЕЛЕКТРОННИХ ПРИБОРІВ

Мета завдання: вивчити методи визначення та розрахунку параметрів надійності мікроелектронних пристроїв.

5.1 Зміст завдання

Виконати розрахунок основних параметрів надійності пристрою за індивідуальним завданням.

5.2 Теоретичні відомості

Надійність - це властивість, що забезпечує можливість виконання пристроєм заданих функцій із заданими характеристиками в певних умовах експлуатації і протягом необхідного інтервалу часу.

Будь-який мікроелектронний виріб з погляду надійності характеризується наступними параметрами і характеристиками:

- 1. Безвідмовність** - властивість пристрою зберігати працездатність протягом необхідного інтервалу часу.
- 2. Відмова** - порушення працездатності пристрою. Виникає стан непрацездатності, при якому пристрій не задовольняє хоч би однієї з пред'явлених до нього технічних вимог. У свою чергу відмови діляться на: раптові і поступові. Відмови раптові виникають в результаті стрибкоподібної зміни параметрів пристрою (обрив, коротке замикання, пробій, механічні руйнування). Відмови поступові виникають в результаті старіння, характеризуються поступовим погіршенням заданих параметрів. Пристрої, подальше використання яких неможливе після першої відмови, називаються такими, що не ремонтуються (невідновними) або пристрої одноразової дії (транзистор, балістична ракета).
- 3. Відновлюваність** - властивість відновлювати працездатність пристрою після усунення відмови.
- 4. Ремонтпридатність** - можливість попередження, виявлення і усунення відмов шляхом проведення ремонтів і технічного обслуговування.
- 5. Збереження** - здатність безперервно зберігати справний і працездатний стан в час та після зберігання і транспортування.
- 6. Довговічність** - збереження працездатності до граничного стану.

Для дослідження надійності системи необхідно всі її елементи розділити на *основні* і *допоміжні*.

Основні беруть до уваги при побудові логічної структури системи, призначеної для дослідження її надійності. Допоміжні елементи не пов'язані безпосередньо з виконанням заданих функцій системи.

Два основні способи з'єднання елементів визначають вплив відмов елементів на працездатність системи.

З'єднання елементів називається *послідовним*, якщо відмова хоч би одного елементу системи приводить до відмови всієї системи. Таке з'єднання є мінімально необхідним для забезпечення працездатності.

Схематично така система має вигляд рис 5.1.

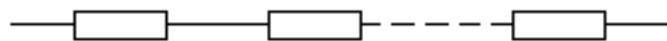


Рисунок 5.1 – Послідовне з'єднання елементів

Якщо позначити A -стан працездатності системи, а A_k -стан працездатності якогось елементу системи, то

$$A = \bigcap_{k=1}^n A_k$$

де \cap - символ перетину подій (логічне І).

З'єднання елементів називається паралельним, якщо відмова системи відбувається тоді, коли відмовлять всі елементи системи.

Схематично така система має вигляд рис. 5.2.

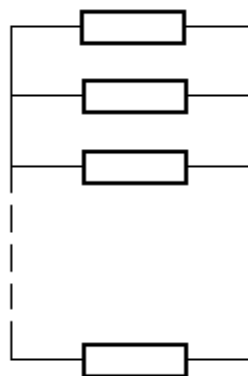


Рисунок 5.2.-Паралельне з'єднання елементів

В цьому випадку

$$A = \bigcup_{k=1}^n A_k$$

де \cup - символ об'єднання подій (логічне АБО).

Якщо є електрична схема пристрою то для дослідження надійності необхідно перетворити її в логічну схему розрахунку надійності, в якій вид з'єднання елементів визначається залежністю відмови системи від відмови елементу.

5.3 Основні показники надійності

Вибір показників надійності для конкретного пристрою залежить від його призначення і характеру функціонування.

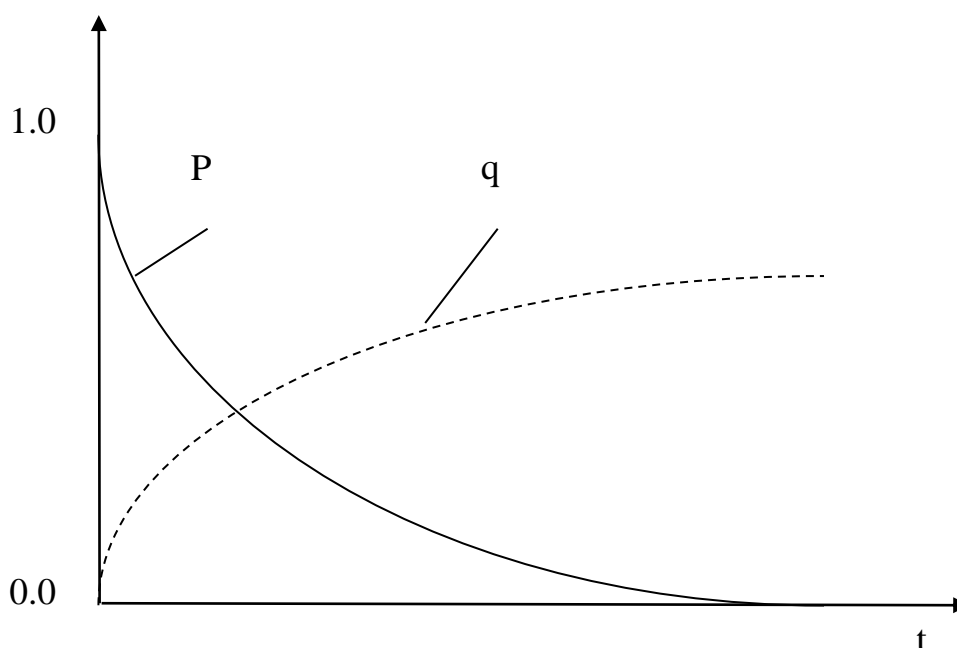


Рисунок 5.3 - Залежність вірогідності безвідмовної роботи і вірогідності відмови від терміну експлуатації виробу

Оскільки відмова є випадковою подією, то інтервал часу від моменту включення пристрою до першої відмови визначає випадкову величину. Основною кількісною характеристикою безвідмовності прийнято вважати **вірогідність безвідмовної роботи** на заданому тимчасовому інтервалі, тобто вірогідність того, що напрацювання до першої відмови перевищує задану величину t .

Приймаючи момент першого включення за початок відліку, визначається вірогідність безвідмовної роботи за формулою:

$$P(t) = P\{\xi > t\}, \quad t \geq 0,$$

де ξ – випадкова величина.

Функція $P(t)$ монотонно убиває від 1 до 0 (рис. 5.3).

Цей показник визначається відношенням числа елементів виробу, що безвідмовно пропрацювали до моменту часу t , до загального числа елементів виробу працездатних в початковий момент.

Інтенсивність відмов $\lambda(t)$ - це число відмов $n(t)$ елементів виробу в одиницю часу, віднесене до середнього числа елементів Nt виробу, працездатних до моменту часу Δt :

$$\lambda(t) = n(t) / (Nt \cdot \Delta t),$$

де Δt - заданий відрізок часу.

Показники інтенсивності відмов тих виробів, що комплектуються, беруться на підставі довідкових даних. Для прикладу в табл. 5.1 приведена інтенсивність відмов $\lambda(t)$ деяких елементів.

Таблиця 5.1 - Показники інтенсивності відмов деяких елементів

№	Назва елемента	Інтенсивність відмов, $\lambda \cdot 10^{-5}$ 1/год
1	Резистори	0,0001...1,5
2	Конденсатори	0,001...16,4
3	Трансформатори	0,002...6,4
4	Котушки індуктивності	0,002...4,4
5	Реле	0,05...101
6	Діоди	0,012...50
7	Тріоди	0,01...90
8	Комутаційні пристрої	0,0003...2,8
9	Роз'єднувачі	0,001...9,1
10	З'єднання паянням	0,01...1
11	Дроти, кабелі	0,01...1

12	Електродвигуни	100...600
----	----------------	-----------

Надійність приладу, як системи, характеризується потоком відмов Λ , чисельно рівним сумі інтенсивності відмов окремих елементів:

$$\Lambda = \lambda \sum i.$$

За заданою формулою розраховується потік відмов і окремих пристроїв виробу, які складаються, у свою чергу, з різних вузлів і елементів, що характеризуються своєю інтенсивністю відмов. Формула справедлива для розрахунку потоку відмов системи з n елементів у разі, коли відмова будь-якого з них приводить до відмови всієї системи в цілому. Таке з'єднання елементів називається логічно послідовним або основним. Окрім, того, існує логічно паралельне з'єднання елементів, коли вихід їх ладу одного з них не приводить до відмови системи в цілому. Зв'язок вірогідності безвідмовної роботи $P(t)$ і потоку відмов Λ визначається:

$$P(t) = \exp(-\Lambda t),$$

очевидно, що $0 < P(t) < 1$ і $P(0) = 1$, а $P(\infty) = 0$

Середнє напрацювання повністю T_0 – це математичне очікування напрацювання виробу до першої відмови:

$$T_0 = 1/\Lambda = 1/(\lambda \sum i),$$

або, звідси:

$$\Lambda = 1/T_0.$$

Час безвідмовної роботи рівний зворотній величині інтенсивності відмов.

Приведені формули дозволяють виконати розрахунок надійності виробу, якщо відомі початкові дані – його склад (елементи), режим і умови його роботи, інтенсивності відмов його компонентів (елементів).

Проте при практичних розрахунках надійності є труднощі через відсутність достовірних даних про інтенсивність відмов для номенклатури елементів, вузлів і пристроїв виробу.

Вихід з цього положення дає застосування коефіцієнтного методу. Суть коефіцієнтного методу полягає в тому, що при розрахунку надійності виробу використовуються не абсолютні значення інтенсивності відмов λ_i , а коефіцієнт надійності k_i , що зв'язує значення λ_i з інтенсивністю відмов λ_b якого-небудь базового елемента:

$$k_i = \lambda_i / \lambda_b.$$

Коефіцієнт надійності **ki** практично не залежить від умов експлуатації і для даного елемента є константою, а відмінність умов експлуатації **ku** враховується відповідними змінами **λb**. Як базовий елемент в теорії і практиці обрано резистор. Показники надійності тих елементів, що комплектують вироби, беруться на підставі довідкових даних. Для прикладу в табл. 5.2 приведені коефіцієнти надійності **ki** деяких елементів.

Таблиця 5.2 – Коефіцієнти надійності **ki** деяких елементів

№	Найменування елемента	Коефіцієнт надійності
1	Резистори	1,0
2	Конденсатори	0,25...0,83
3	Трансформатори	1,3...3,0
4	Котушки індуктивності	1...2
5	Реле	1...10
6	Діоди	1,3...30,0
7	Тріоди	1,3...75,0
8	Електродвигуни	10...40

У табл. 5.3 приведені коефіцієнти умов експлуатації **ku** роботи для деяких типів апаратури.

Таблиця 5.3 – Коефіцієнти умов експлуатації

№	Умови експлуатації	Коефіцієнт умов
1	Лабораторні умови	1
2	Апаратура стаціонарна:	
	- у приміщеннях	2...8
	- поза приміщеннями	10...15
3	Рухома апаратура:	
	- корабельна	40...60
	- автомобільна	50...70

	- на потягу	60...80
--	-------------	---------

Вплив на надійність елементів чинників, що дестабілізують роботу, це - електричні навантаження, температура навколишнього середовища визначається введенням в розрахунок поправочних коефіцієнтів **a1**. У табл. 5.4 приведені коефіцієнти умов роботи **a** для деяких типів елементів.

Таблиця 5.4 – Коефіцієнти умов роботи **a1**

№	Найменування елемента і його параметри	Коефіцієнт навантаження
1	Резистори:	
	- по напрузі	0,7...0,8
	- по потужності	0,3...0,7
2	Конденсатори	
	- по напрузі	0,7...0,8
	- по реактивній потужності	0,8...0,9
3	Діоди	
	- по прямому струму	0,7...0,8
	- по зворотній напрузі	0,7...0,85
	- по температурі переходу	0,7...0,8
4	Транзистори	
	- по струму колектора	0,7...0,8
	- по напрузі емітер - колектор	0,7...0,8
	- по потужності розсіювання	0,7...0,8

Результуючий коефіцієнт надійності елементів виробу з урахуванням поправочних коефіцієнтів:

$$k_i' = a_1 * a_2 * a_3 * a_4 * k_i * k_u,$$

де **k_u** - номінальне значення коефіцієнта умов експлуатації;

k_i - номінальне значення коефіцієнту надійності;

a1 – коефіцієнт, що враховує вплив електричного навантаження по U, I або P;

a2 – коефіцієнт, що враховує вплив температури середовища;

- a3** - коефіцієнт зниження навантаження від номінальної U, I або P ;
a4 - коефіцієнт використання даного елемента до роботи виробу в цілому.

Облік впливу інших чинників - запиленості, вологості і т.інш. виконується корекцією інтенсивності відмов базового елемента за допомогою поправочних коефіцієнтів.

5.4 Порядок виконання завдання

1. Проаналізувавши перелік елементів, який був створений в процесі виконання практичного завдання 1, згрупувати окремі види елементів за критичними параметрами.

2. Угрупування слід проводити для резисторів за величиною потужності розсіювання, конденсатори - по робочій напрузі, транзистори - по потужності розсіювання на колекторі, діоди за величиною робочого струму.

3. Результати угрупування занести в таблицю 5.5.

Таблиця 5.5 - Результати розрахунку інтенсивності відмов приладу

№ п/п (і)	Найменування компонента	Кількість компонентів (n)	Інтенсивність відмов компонента (λ) 10^{-5} 1/ч	Коефіцієнт завантаження (a_1)	Сумарна інтенсивність відмов компонентів	Кількість виведень (пайок) одного компонента
1	Резистори $P=0,125$ Вт	1	0,06		0,06	3
2	Резистори $P=0,25$ Вт	1	0,06		0,06	8
3	Резистори $P=0,5$ Вт	1	0,06		0,06	13
4	Резистори $P=1$ Вт	2	0,05		0,1	14
5	Резистори $P=2$ Вт	1	0,05		0,05	14
6	Резистори змінні	3	0,2		0,6	3
7	Конденсатори керамічні	1	0,06		0,06	4
8	Конденсатори електролітичні	21	0,005		0,105	2
9	Конденсатори паперові	7	0,005		0,035	2
10	Транзистори	2	0,015		0,03	3
11	Діоди	15	0,01		0,15	2
12	Роз'єднувачі	3	0,05		0,15	9

продовж. таблиці 5.5

13	Тумблери	1	0,01		0,01	3
14	Плата друкарська	1	0,1		0,1	
15	З'єднання паяні	209	0,001		0,209	
	Інтенсивність відмов приладу					$1,884 \cdot 10^{-5}$ 1/год
	Коефіцієнт умов експлуатації					
	Інтенсивність відмов приладу з обліком коефіцієнту умов експлуатації					

4. Розрахувати коефіцієнти завантаження для окремих видів елементів:

$$a_l = A_{раб} / A_{пред},$$

де *A_{раб}* – величина робочого параметра;

A_{пред} – гранично - допустима величина робочого параметра відповідного елемента.

Оскільки коефіцієнти завантаження елемента розраховуються в процесі проектування принципової схеми, при виконанні практичного завдання доведеться скористатися наближеним розрахунком коефіцієнта завантаження.

Для резисторів визначальним параметром для розрахунку надійності є потужність, що розсіюється на останньому. Якщо в процесі виконання практичного завдання немає можливості провести розрахунок потужності, що виділяється, то слід прийняти коефіцієнти завантаження для резисторів потужністю 0,125Вт - 0,1, потужністю 0,25Вт - 0,2, потужністю 0,5Вт - 0,3, потужністю 1Вт - 0,4, потужністю 2Вт - 0,5.

Для розрахунку коефіцієнтів завантаження конденсаторів, визначальним параметром для розрахунку надійності яких є робоча напруга, слід прийняти його величину рівним напрузі живлення.

Для розрахунку коефіцієнта завантаження транзисторів визначальними параметрами для розрахунку надійності є робоча напруга на колекторі (*U_{ке}*), величина струму в ланцюзі колектора, потужність, що виділяється на колекторі. Таким чином, для транзисторів розраховуються три величини коефіцієнта завантаження, а для розрахунку надійності вибирають максимальне значення з трьох одержаних.

Якщо в процесі виконання практичного завдання немає можливості провести розрахунок окремих коефіцієнтів завантаження, то слід прийняти коефіцієнт завантаження для транзисторів рівним 0,5.

Аналогічні розрахунки проводяться при розрахунку коефіцієнтів завантаження для діодів.

5. Результати розрахунків коефіцієнтів завантаження занести в таблицю 5.5.

6. На підставі розробленого в практичному завданні №1 технічного завдання і таблиці 5.3 визначити коефіцієнт умов експлуатації виробу в цілому і занести в таблицю 5.5.

7. Розрахувати інтенсивність відмов виробу з урахуванням коефіцієнтів завантаження (a_1) і коефіцієнта виробу, що враховує умови експлуатації (a_2):

$$\Lambda = a_2 \sum_1^i a_1 \cdot \lambda_i \cdot n.$$

8. Розрахувати час напрацювання на відмову T_o

$$T_o = 1/\Lambda.$$

9. Систематизувати результати розрахунків.

5.5 План складання звіту

- тема й мета завдання;
- короткі теоретичні відомості;
- основні види відмов;
- інтенсивності відмов;
- опис порядку виконання;
- визначення коефіцієнта умов експлуатації;
- результати розрахунків параметрів надійності;
- визначення результуючого коефіцієнта надійності;
- розрахування часу напрацювання на відмову;
- вибір елементів схеми;
- робочі параметри обраних елементів схеми;
- критична оцінка результатів з урахуванням похибки вимірювань;
- вплив на надійність основних чинників;
- схематичне зображення обраних елементів схеми;
- особливості надійності основних елементів схеми;
- особливості надійності допоміжних елементів схеми;
- розраховані параметри елементів представити у вигляді таблиці;
- провести аналіз отриманих результатів;
- представити висновки по роботі;
- захистити звіт по роботі.

5.6 Контрольні питання

1. Наведіть поняття відмови приладу ?
2. Яким чином класифікують відмови?
3. Чому на початковій стадії експлуатації приладів інтенсивність відмов приладу більш висока?
4. Які математичні показники характеризують надійність приладу?
5. Які схеми з'єднання елементів приладу використовують для обчислення параметрів надійності приладу?
6. При якій схемі з'єднання елементів надійність приладу більш висока?
7. Пояснити фізичну сутність такого параметра надійності як термін роботи до відмови.
8. Як залежить термін роботи до відмови від кількості елементів приладу?
9. Як залежить термін роботи до відмови від кліматичних умов експлуатації приладу?
10. Як залежить термін роботи до відмови від механічних чинників експлуатації приладу?
11. Що визначає коефіцієнт навантаження для окремого елемента?
12. За якими електричними параметрами визначають коефіцієнт навантаження для резисторів?
13. За якими електричними параметрами визначають коефіцієнт навантаження для конденсаторів?
14. За якими електричними параметрами визначають коефіцієнт навантаження для напівпровідникових пристроїв.
15. Перерахувати шляхи для збільшення надійності електронних приладів.
16. Що таке коефіцієнт завантаження?
17. Які особливості розрахунку коефіцієнта завантаження діодів?
18. Які особливості розрахунку коефіцієнта завантаження транзисторів?
19. Які параметри надійності пасивних елементів?
20. Які параметри надійності активних елементів?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 6

ТЕМА: ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ОХОЛОДЖУВАЧІВ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПРИЛАДІВ

Мета завдання: вивчити методи відведення теплової енергії та визначення режимів роботи охолоджувачів (радіаторів) напівпровідникових пристроїв.

6.1 Зміст завдання

Виконати аналіз теплових параметрів нагрітої зони та провести розрахунок основних параметрів охолоджувачів (радіаторів) при природному повітряному охолодженні.

6.2 Короткі теоретичні відомості

Значна частина споживаної енергії від джерел електроживлення перетворюється на теплову і розсіюється 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 2 тіла з різним ступенем нагріву.

Цей процес визначається законом Фур'є, згідно якого у тепловий потік:

$$P_T = \frac{\lambda \cdot S}{l_T} (T_1 - T_2),$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу;

l_T – довжина шляху теплового потоку;

S_T – площа теплообміну;

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

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:

$$P_T = \alpha_{\text{л}} \cdot (T - T_c) \cdot S_{\text{л}},$$

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;
 ε – ступінь чорноти випромінюючої поверхні.

Підставляючи останній вираз в попередній, можна описати закон випромінювання у вигляді:

$$P_{\text{т}} = C_0 \cdot \varepsilon \cdot \left[\frac{T^4}{100} - \left(\frac{T_c}{100} \right)^4 \right] \cdot S_{\text{л}}.$$

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 β – коефіцієнт об'ємного розширення середовища, 1/К;

λ – коефіцієнт теплопровідності середовища, Вт/(м·К);

ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості середовища, м²/с;

a – коефіцієнт теплопровідності, м²/с;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

Φ – 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 наступні параметри:

- теплопровідність - $R_T = l/\lambda \cdot S_T$; $q = \lambda \cdot S_T/l$;
- випромінювання - $R_T = 1/\alpha_L \cdot S_L$; $q = \alpha_L \cdot S_L$;
- 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

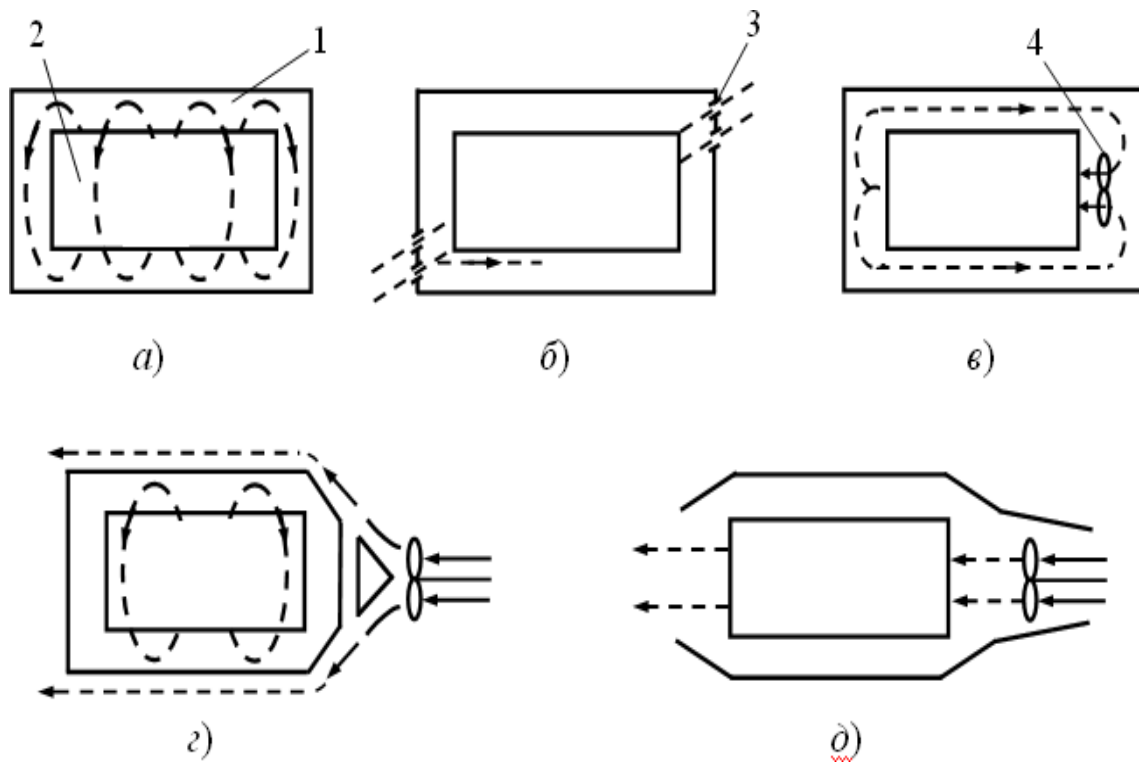
В процесі перенесення теплової енергії в апаратурі беруть участь всі три механізми теплопередачі.

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.

Природне повітряне охолодження будується на двох схемах з герметичним (а) і перфорованим (б) корпусом (рис. 6.1).



- 1 - корпус пристрою;
- 2 - плата з елементами;
- 3 - перфораційні отвори;
- 4 - вентилятор.

Рисунок 6.1 - Схеми повітряного охолодження блоків

Таке охолодження є найбільш простим і надійним способом охолодження, не вимагає витрат додаткової енергії, проте забезпечує охолодження при невеликих питомих потужностях розсіяння 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:

- добре 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.ін.)

Для інтенсифікації теплообміну при природному охолодженні застосовуються спеціальні екрани, що направляють потоки повітря до 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 кожусі. У другому і третьому випадку можливе застосування загальних і локальних схем примусової вентиляції, які виконуються по припливній, витяжній або припливно-витяжній схемах. За допомогою загальних систем примусової вентиляції охолоджується електронний пристрій в цілому або блок. Локальні системи призначені для охолодження окремих елементів з великим виділенням тепла (потужних електронних ламп, напівпровідникових приладів, трансформаторів і т.ін.)

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.ін.);
- здійснювати автоматичне відключення живлення електронного пристрою при виході з ладу системи вентиляції.

Як рідкі теплоносії в системах з природним або примусовим рідинним охолодженням використовуються 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, а ніж 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 ² ·К)	Тепловий опір, м ² ·К/Вт
Природна повітряна, випромінюванням	2...10	(500...60)·10 ⁻³
Примусова повітряна	10...150	(100...10)·10 ⁻³
Природна рідинна	200...600	(5...2)·10 ⁻³
Примусова рідинна	300...3000	(1...0,3)·10 ⁻³
Випарна	500...120000	(0,1...0,02)·10 ⁻³

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 за величиною теплового потоку, що приходить на одиницю площі теплообміну:

$$p = Pk_p/S_{\Pi},$$

де P – сумарна потужність розсіювань електронного пристрою;

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

$S_{\Pi} = 2[l_1l_2+(l_1+l_2) l_3 k_3]$ – поверхня теплообміну, що визначається геометричними розмірами корпусу електронного пристрою, а саме завдовжки l_1 , шириною 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 найменшого теплостійкого елемента; T_c – температура навколишнього середовища.

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

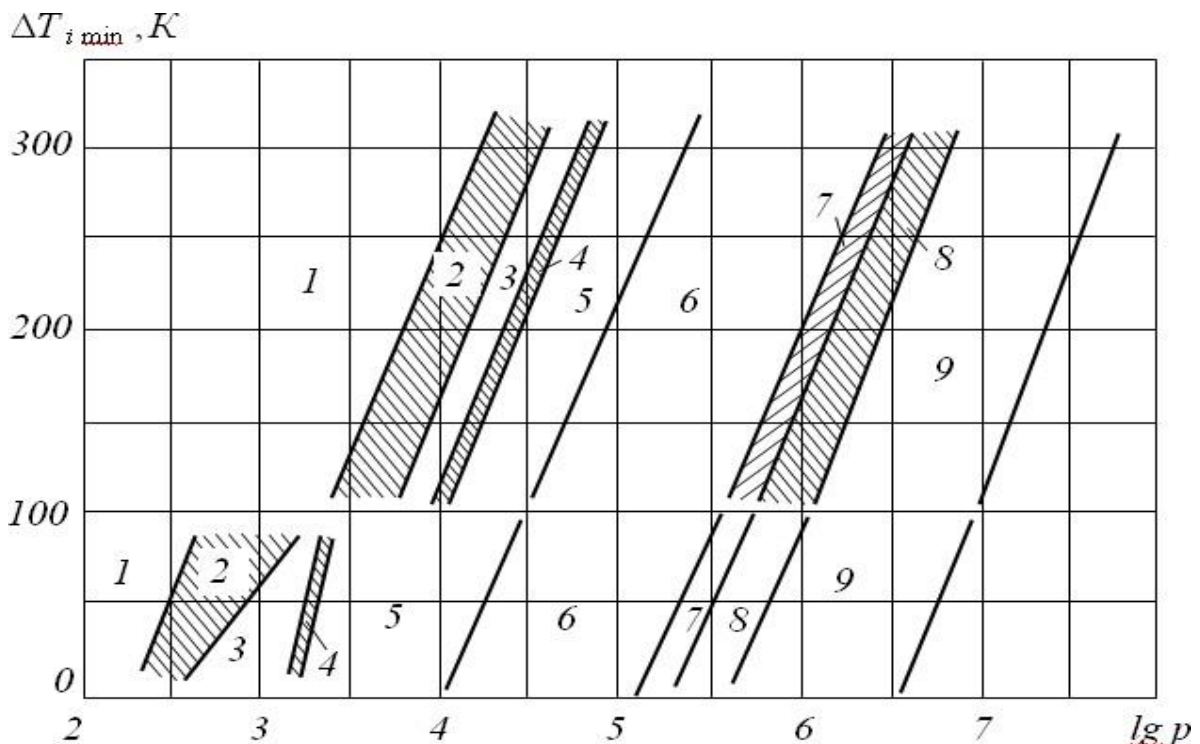


Рисунок 6.2 - Щодо доцільності застосування різних способів охолодження

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') та розташуванням шасі. Для зон 1 і 1', можливо застосування герметичних блоків, стійок або конструкцій захищених від пилу. Для зон 2 і 2' можливо використання перфорованих корпусів, для зон 3 і 3' потрібне примусове охолодження.

На рис. 6.3. діаграма для оцінки теплового режиму електронного пристрою при повітряному охолодженні.

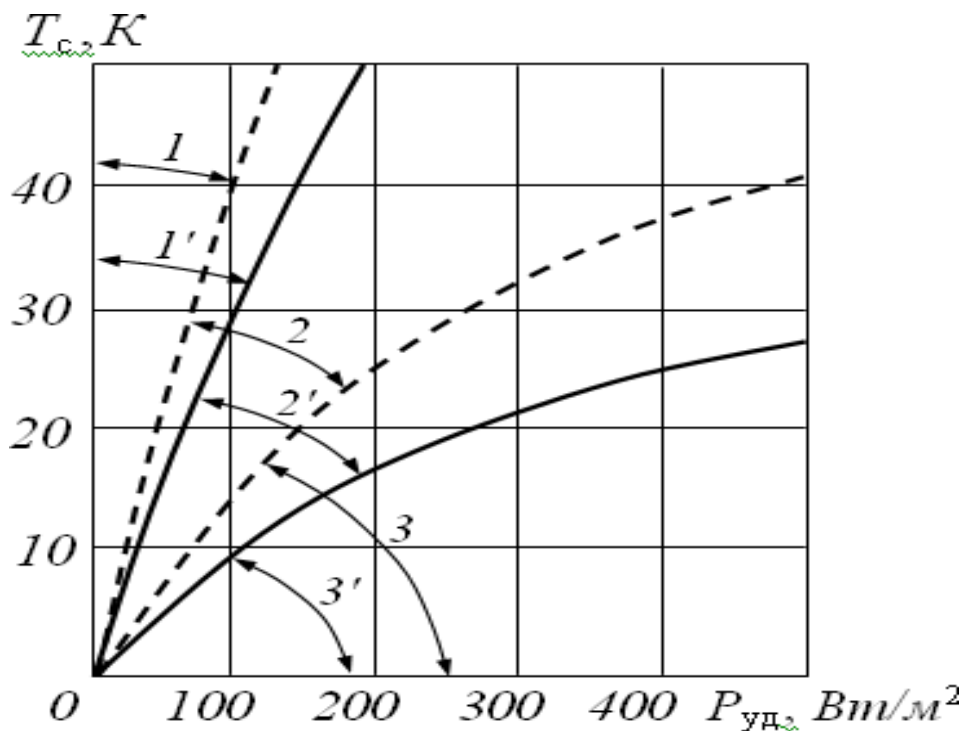


Рисунок 6.3 - Діаграма для оцінки теплового режиму електронного пристрою при повітряному охолодженні

Охолоджуючі пристрої (радіатори)

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

Найбільшого поширення 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 $10 \div 15$ Вт, другі при рівнях тепловиділення до 100 Вт.

У охолоджувачах з примусовою вентиляцією теплова потужність, що відводиться, пропорційна площі радіатора, різниці температур його і охолоджуючого повітря і швидкості повітряного потоку. Найбільш поширені ребристі радіатори (рис. 6.4 а), рідше використовуються складніші штирові радіатори (рис. 6.4 б) і радіатори турбінного типу.

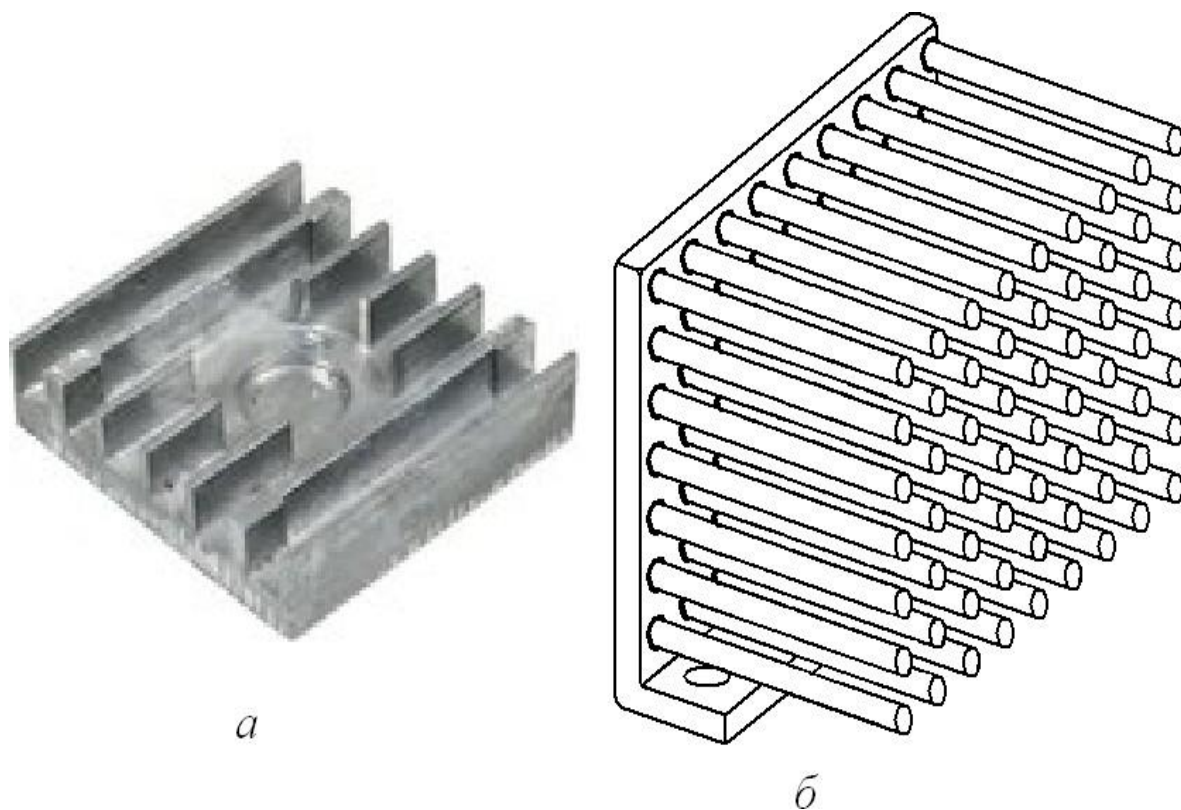


Рисунок 6.4 - Види радіаторів

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 см²;
- поверхня - шорстка, чорнена;
- кріплення - стандартне;
- потужність розсіювань – 80 Вт;
- температура повітря - +400 0C,
- швидкість продування - біля 1 м/с.

Таблиця 6.2 - Результати розрахунку умов охолодження

Температура радіатора, 0C	$\Delta T_{p-kr}, 0C$	$T_{kr}, 0C$	$P_{розр}, Вт$	
			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

Як видно з рисунка, 6.5 радіатор з алюмінієвого сплаву забезпечує відведення приблизно 77 Вт при температурі радіатора +520C, тоді як радіатор з міді відводить приблизно ту ж потужність при температурі радіатора біля +340C. Це дозволяє рекомендувати застосування мідних радіаторів для охолодження потужних напівпровідникових приладів.

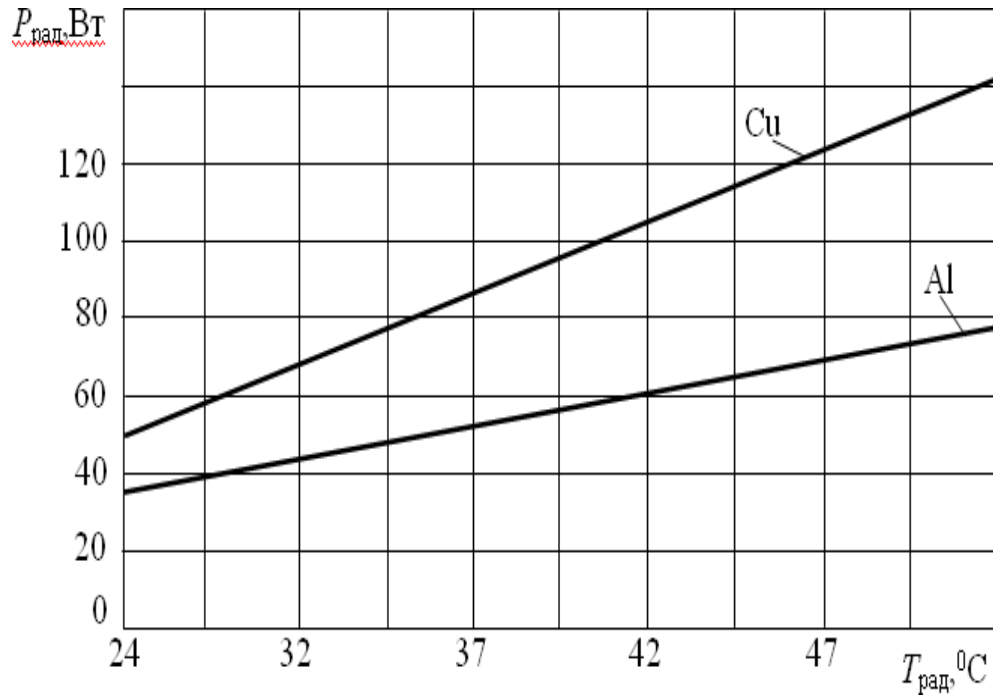


Рисунок 6.5 - Графік залежності теплової потужності для радіатора з постійною площею з різних матеріалів

6.3 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 визначується 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:

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 (рис. 6.6).

Розрахунок площ бічної S_6 , верхньої S_v і нижньої S_n стінок блоку

$$S_6 = 2L_3(L_1 + L_2), S_v = S_n = L_1L_2.$$

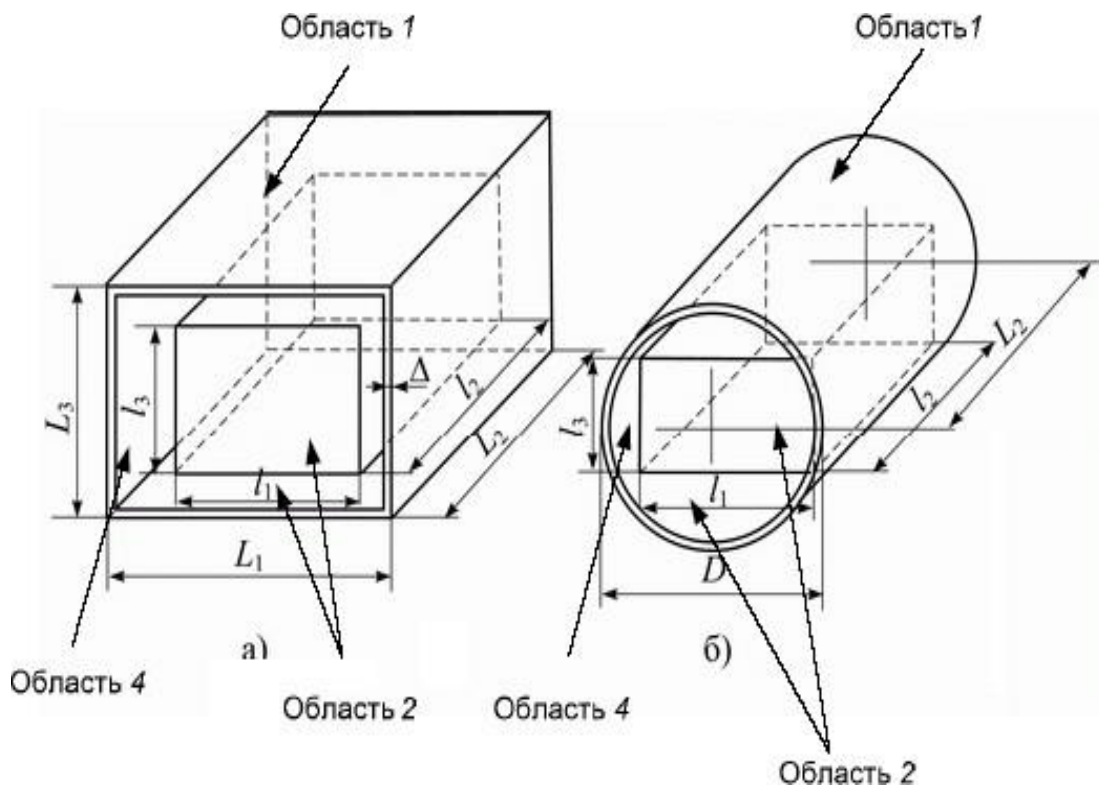


Рисунок 6.6 - Типи блоків

Визначення площ нагрітої зони в областях 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.

$$S_{z1} = S_{z2} = l_1 l_2, \quad S_{z4} = 2l_3 (l_1 + l_2).$$

Приведений ступінь чорноти ε_n нагрітої зони в областях 1 і 2 розраховується за формулами:

$$\varepsilon_n = \left[\frac{1}{\varepsilon_3} + \left(\frac{1}{\varepsilon_k} - 1 \right) \frac{S_3}{S_k} \right]^{-1};$$

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

де $\varepsilon_3, \varepsilon_k$ – ступені чорноти зони і кожуха вибираються з табл. 6.3.

Таблиця 6.3 - Ступінь чорноти різних поверхонь

Матеріал	ε
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:

$$\varepsilon_{n4} = \varepsilon_3 \varepsilon_k,$$

оскільки розміри нагрітої зони, оберненої в область 4, можуть значно відрізнятись від розмірів шасі.

Для блоків із заповненням у вигляді касет або осередків рекомендується ступінь чорноти бічної поверхні нагрітої зони визначати за виразом для ε_n .

Орієнтовне значення теплової провідності ділянки від нагрітої зони до кожуха розраховується за формулою:

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

де Δ_4 – товщина корпусу блоку (якщо блок має тонкостінний кожух, то товщину Δ_4 можна не враховувати).

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:

$$t_k = t_c + _t_k.$$

Визначальна (середня) температура $t_m = (t_k + t_c)/2$.

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

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

Таблиця 6.4 - Значення A_1 для повітря

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

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;

φ_{12} – коефіцієнт взаємного опромінювання (для одиночного блоку $\varphi_{12} = 1$).

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.

Теплова провідність кожуха в навколишнє середовище визначається:

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

Температура нагрітої зони t^I у першому c наближенні визначається:

$$t_3^I = t_c + (t_k - t_c) \left(1 + \frac{\sigma_{\text{к}}}{\sigma_3}\right).$$

Розрахункова потужність P^I нагрітої зони в припущенні, що кожух має:

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

перегрів t_K (заданий в п. 6)

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.ін.

6.4 Порядок виконання завдання

1. Для досліджень взяти вихідну напругу 12 В для ребристого радіатора і 14 В для штирового. Занести в таблицю.
2. Взяти величину сили струму споживання рівної 0,4А для ребристого радіатора та 0,6А для штирового і занести дані в таблицю для обох видів радіаторів.
3. Розрахувати потужність для обох видів радіаторів.
4. Взяти для досліджень температуру повітря навколишнього середовища 20⁰С. Результати вимірювання занести в таблицю 6.5.
5. Встановити температуру радіатора «Ребристий» рівною 27⁰С.
6. Встановити температуру радіатора «Штировий» рівною 29⁰С.
7. Взяти температуру корпусу досліджуваного транзистора при використанні радіатора «Ребристий» рівною 42⁰С . Занести результат вимірювання в таблицю 6.5.
8. Взяти температуру корпусу досліджуваного транзистора при використанні радіатора «Штировий» рівною 46⁰С і занести результат вимірювання в таблицю 6.5.
9. Розрахувати величину теплового опору нагріте тіло - середовище і занести результат вимірювання в таблицю 6.5.
10. Розрахувати коефіцієнт тепловіддачі радіаторів і занести результат вимірювання в таблицю 6.5.

Таблиця 6.5 - Результати вимірювань

Тип радіатора	Напруги живлення, В	Сила струму, А	Потужність, Вт	Температура навколишнього середовища	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 ² ·К)
Рибристий										
Штировий										

6.5 План складання звіту

- тема й мета завдання;
- короткі теоретичні відомості;
- обрання виду охолодження транзистора;
- порядок виконання практичної роботи;
- визначення методики для розрахунку параметрів охолоджуваної системи;
- розрахунок потужності;
- розрахунок теплового опору;
- розрахунок коефіцієнта тепловіддачі;
- результати досліджень двох видів охолоджувачів занести до таблиці;
- висновки .

6.6 Контрольні питання

1. Сформулювати поняття нагрітої зони.
2. Які основні види розрахунків існують для визначення температури блоку, дати 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.
7. Які види теплопередачі беруть участь при природному повітряному охолодженні?
8. Яким чином впливає матеріал, з якого виконаний радіатор, на його ефективність?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Стогній О. О. Автоматизація інформаційного забезпечення наукових досліджень: підручник. Київ : Наукова думка, 2016. 170 с.
2. Андреев В. Д. Основи наукових досліджень : посібник. Харків, 2019. 167 с.
3. Білуха М. Т. Методологія наукових досліджень : підручник. Київ : АБУ, 2017. 480 с.
4. Білуха М.Т. Основи наукових досліджень : підручник. Київ : Вища школа, 1997. 350 с.
5. Британ В. Т. Організація вузівської науки. Київ : Наукова думка, 2018.150 с.
6. Вачевський М. Основи наукової інформації : посібник. Дрогобич, 2015.193 с.
7. Гуревичов М. Державне регулювання науки. Київ, 2020.110 с.
8. Добросельський К. М. Питання організації наукових досліджень. Харків, 2008. 118 с.
9. Даниленко О. А. Збір і обробка матеріалів дослідження. Львів : ЛКА, 2007.112 с.
- 10.Кузнецов І. Н. Методичні рекомендації з підготовки та оформлення наукових робіт. Львів, 2019. 146 с.
- 11.Малюга Н. М. Наукові дослідження в бухгалтерському обліку : навч. посіб. Житомир : Рута, 2013. 476 с.
- 12.Широколава К. І. Основи наукових досліджень : посібник. Київ: Вища школа, 2007. 321 с.
- 13.Романчиков В. І. Основи наукових досліджень : навч. посіб. Київ : ІЗМН, 1997. 231 с.
- 14.Собко В. П. Основи наукових досліджень. Київ : Техніка, 2012.93 с.

Інформаційні ресурси:

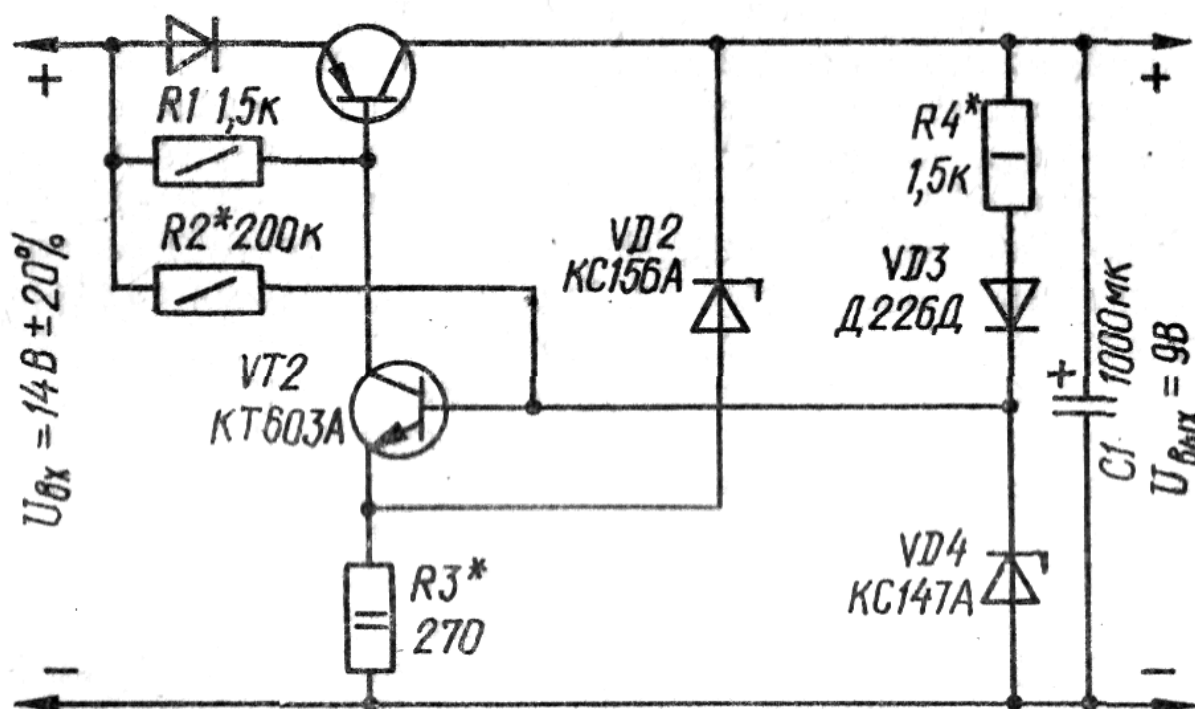
1. Наукова бібліотека Запорізького національного університету.
URL: <http://library.znu.edu.ua/>.
2. Система електронного забезпечення навчання ЗНУ.
URL: <https://moodle.znu.edu.ua/>.
3. Національна бібліотека України ім. В. І. Вернадського.
URL: <http://www.nbuv.gov.ua/>.
4. AnyLogic: імітаційне моделювання для бізнесу
URL: <https://www.anylogic.com/>.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

- 1.Шейко В. М., Кушнарєнко Н. М. Організація та методика науково-дослідницької діяльності : підручник. Київ : Знання-Прес, 2019. 295 с.
- 2.Матвійків М. Д. Елементна база електронних апаратів : підручник. Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2017.428 с.
- 3.Достанко А. П. Технологія та автоматизація виробництва радіоелектронної апаратури. Київ : Вища школа, 2009.624 с.
- 4.Клюй М. І. Оптимізація конструкції та технології виробництва кремнієвих фотоперетворювачів та сонячних модулів на їх основі. *Прикладна радіоелектроніка*. 2011.Т. 10, N 1. 95 с.
- 5.V. V. Odinokov, G. Ya. Pavlov. New processing equipment for innovative technologies micro, nano - and radio electronics. *Technology and de-signing in the electronic equipment*, 2011. V. 3. P. 41.
- 6.Жеребцов І. П. Основи електроніки. Київ. Техніка, 2004. 328 с.
- 7.Тарабрин Б. В. Довідник по інтегральним мікросхемам. Київ : Вища школа, 2011. 816 с.
- 8.Lin Jyi-Tsong. A novel planar-type body connected FinFET device fabricated by self-align isolation-last process. *Solid-State and Integrated Circuit Technology*. P. 2010. 1235-1237.

ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ

Варіант 1

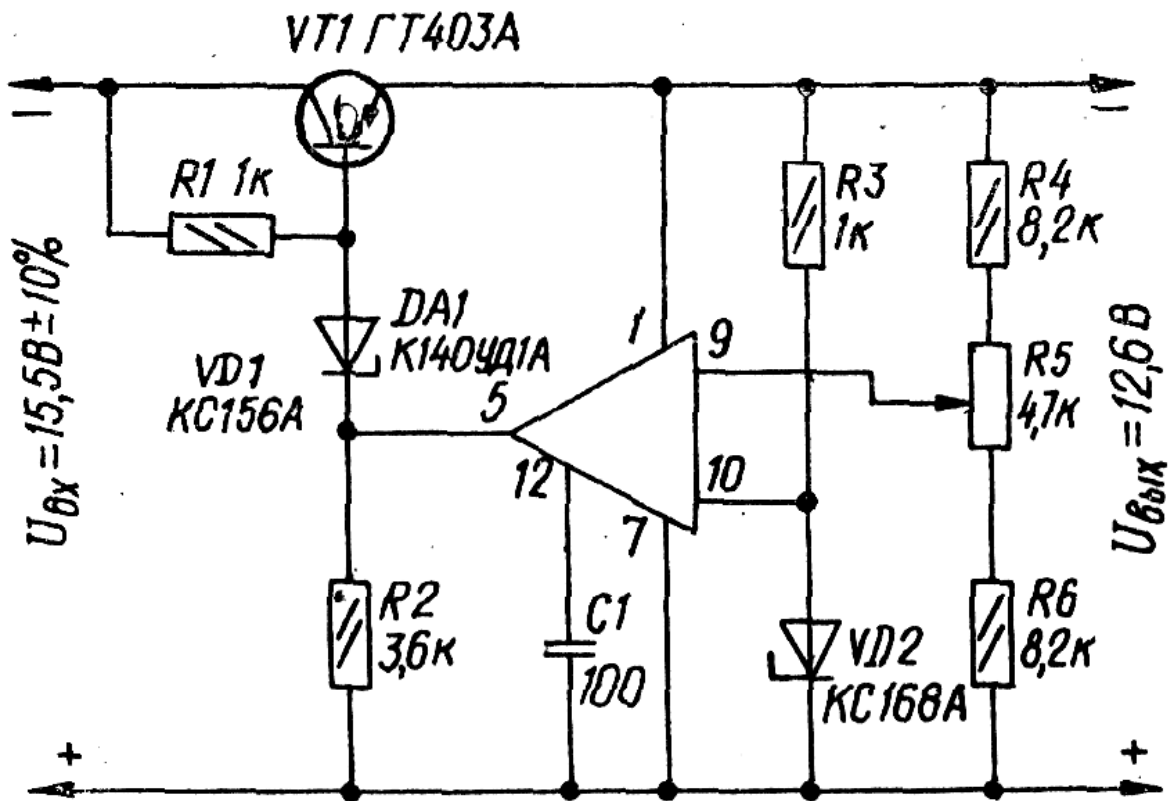


Стабілізатор напруги

Коефіцієнт стабілізації не менше 200, вихідний опір менше 0,2 Ом, коефіцієнт ослаблення пульсацій близько 600, максимальний струм навантаження 300 мА (визначається опором резистора $R3$). Стабілізатор містить вбудований пристрій захисту від короткого замикання вихідного ланцюга. Транзистор $VT1$ повинен бути встановлений на радіаторі, що має ефективну площу теплового розсіяння не менше 100 см².

Умови базування: залізничний транспорт.

Варіант 2

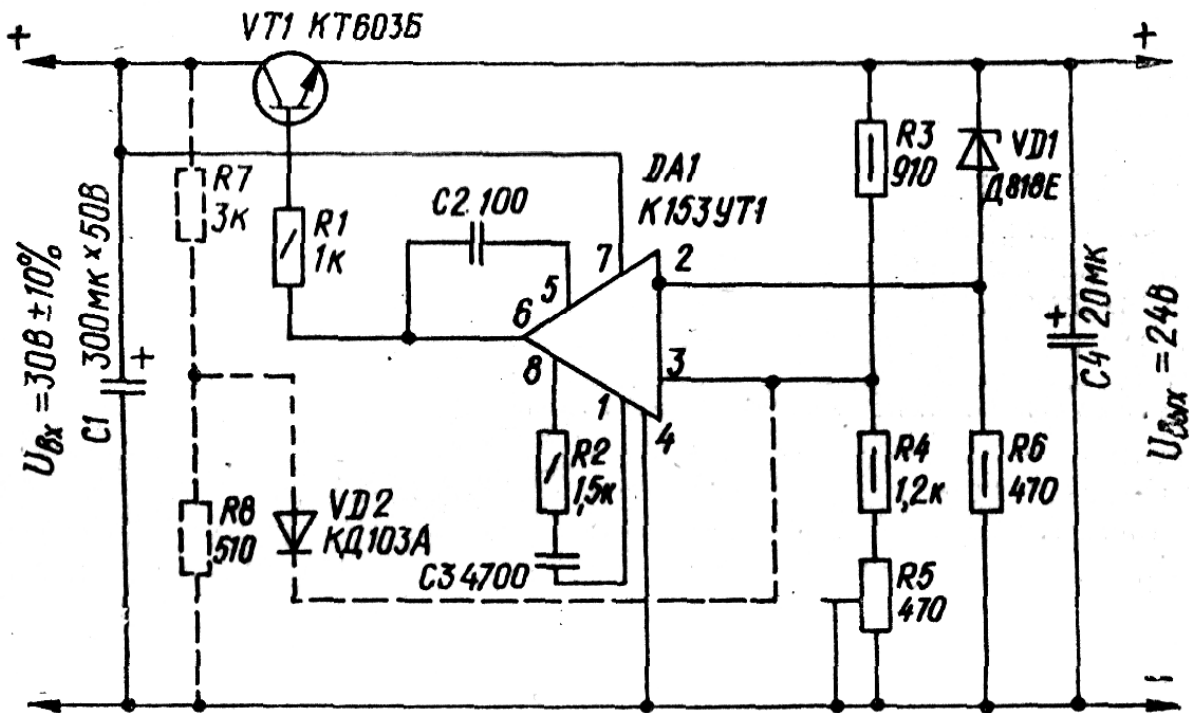


Стабілізатор напруги

Коефіцієнт стабілізації не менше 1000, максимальний струм навантаження 40 мА, вихідний опір 8 мОм.

Умови базування: лабораторні.

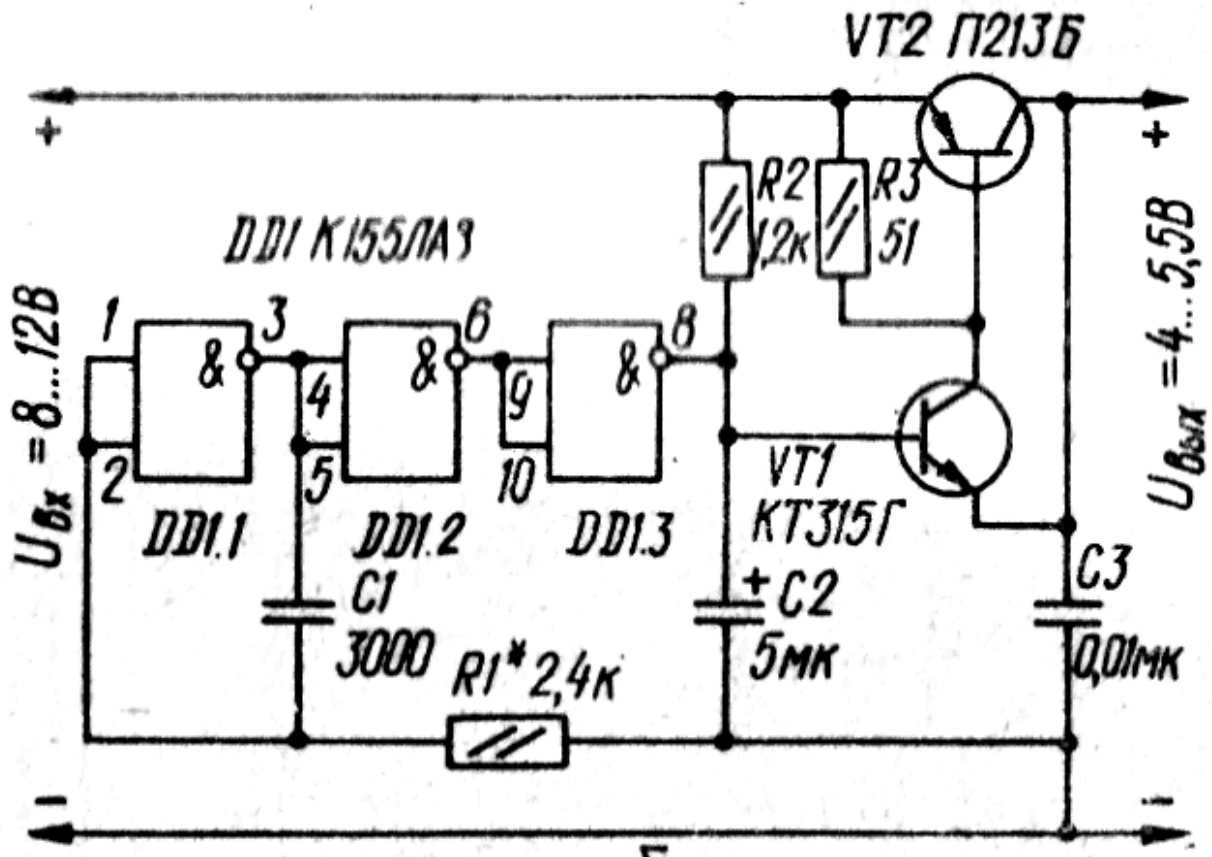
Варіант 3



Стабілізатор напруги на операційному підсилювачі

Коефіцієнт стабілізації не менше 8000, максимальний струм навантаження 100 мА, вихідний опір 8 мОм.

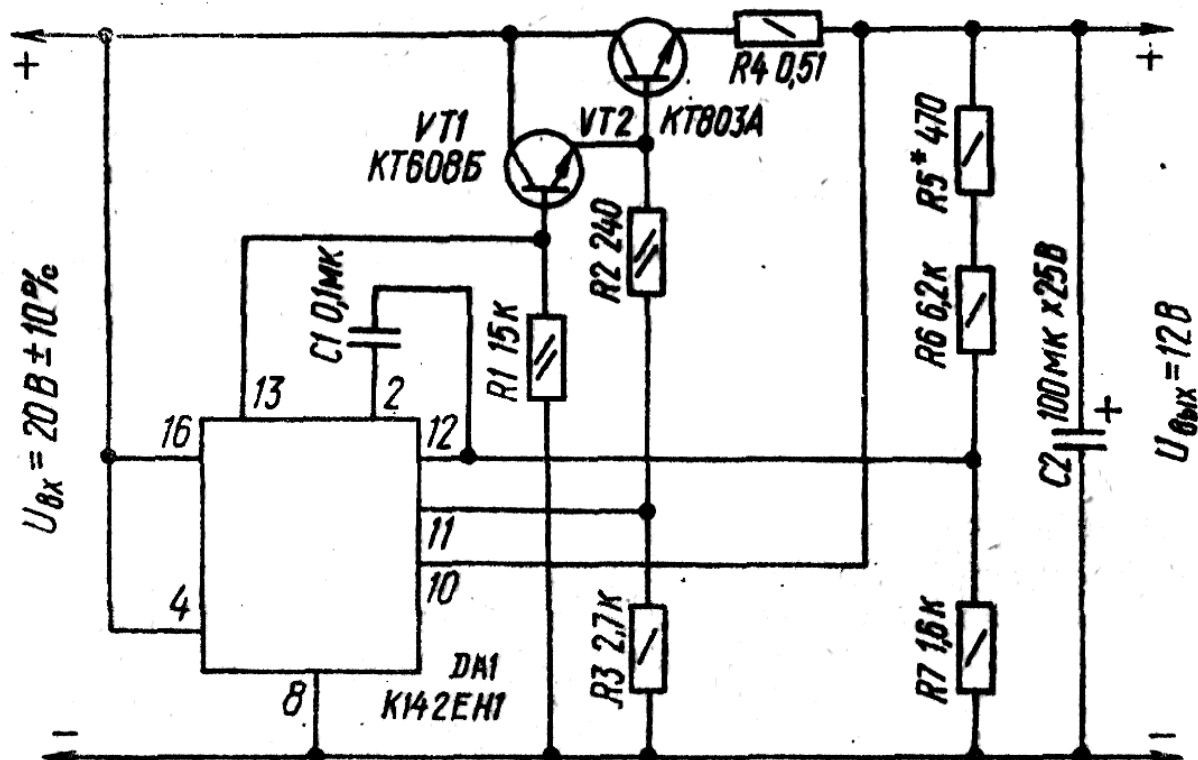
Умови базування: цех підприємства.



Перетворювач постійної напруги з імпульсним управлінням

Умови базування: морський транспорт.

Варіант 5

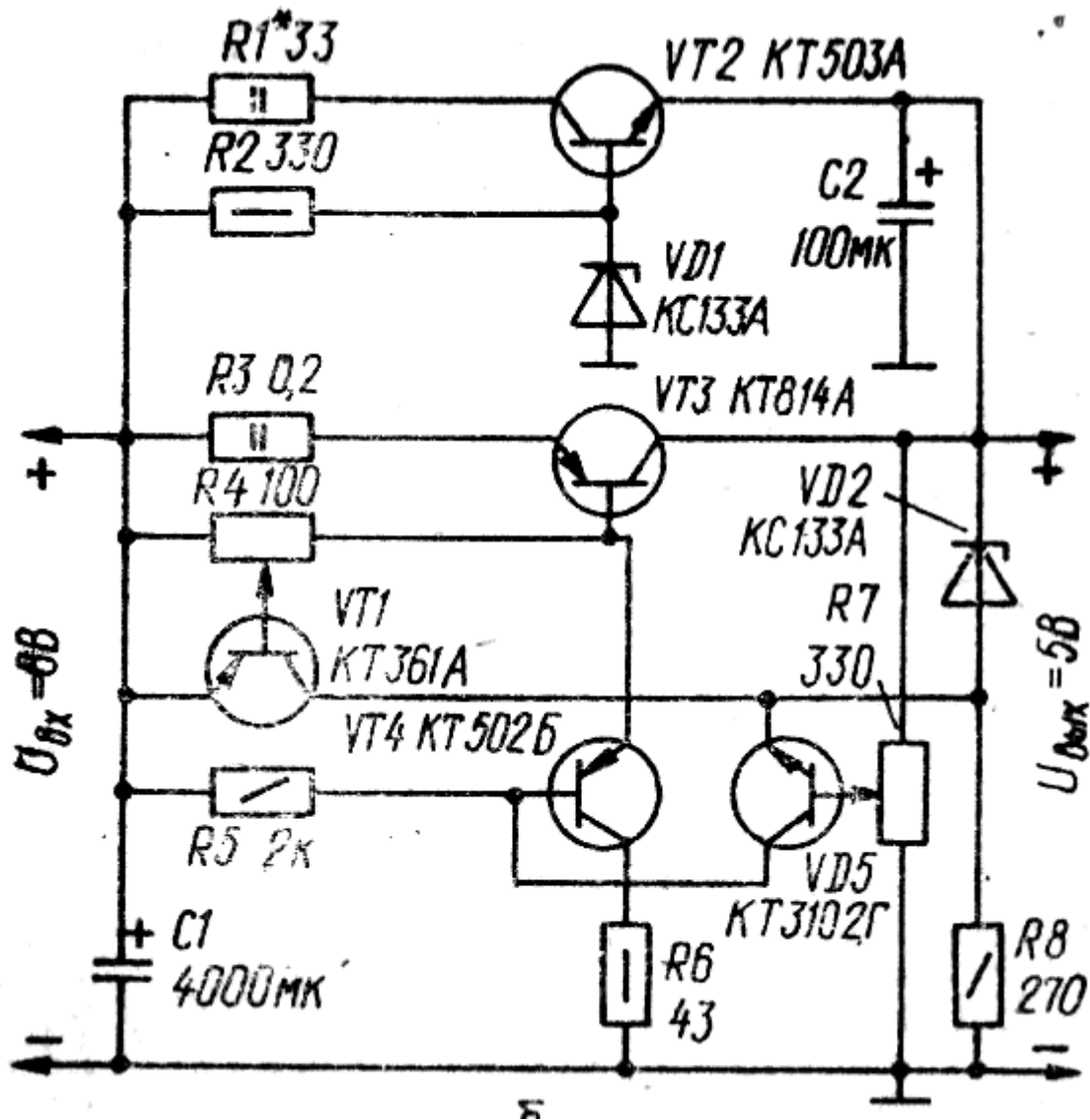


Стабілізатор напруги компенсаційний

Коефіцієнт стабілізації не менше 100, максимальний струм навантаження 100 мА, вихідний опір 0,1 Ом. При номінальному струмі навантаження коефіцієнт стабілізації 100. При відключенні навантаження вихідна напруга зростає на 0,1 %. Пристрій захисту спрацьовує при струмі навантаження 1,15 А. При цьому вихідна напруга стрибком зменшується до 3 В. При струмі навантаження 1,1 А стабілізатор автоматично повертається в нормальний режим роботи.

Умови базування: авіаційний транспорт.

Варіант 6

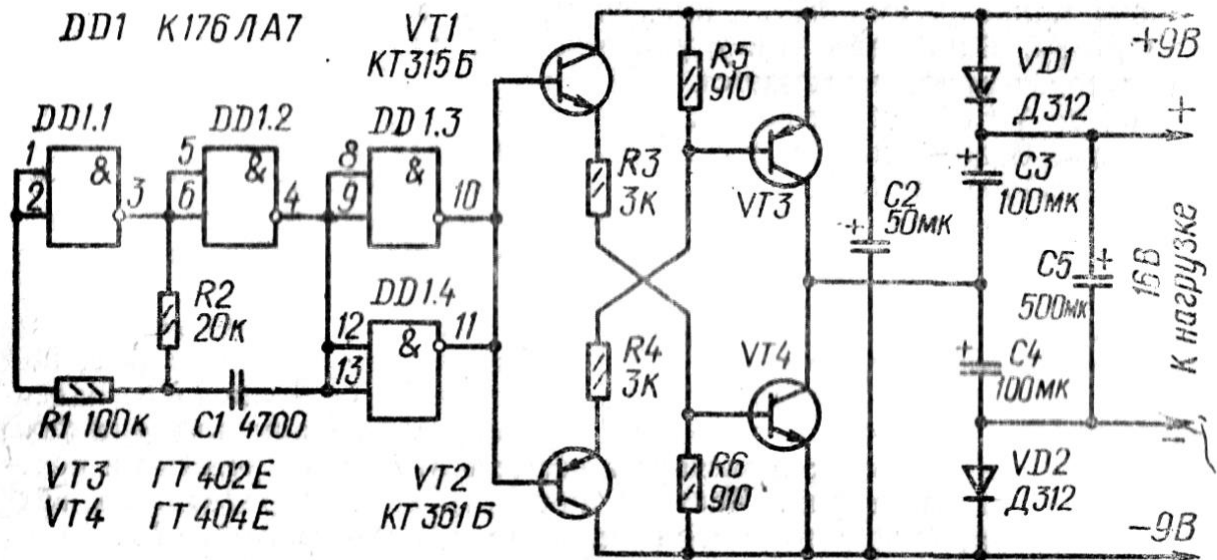


Стабілізатор із захистом від перевантажень струмом

Коефіцієнт стабілізації не менше 200, вихідний опір не більше 0,2 Ом, максимальний струм навантаження 1А.

Умови базування: автомобільний транспорт.

Варіант 7

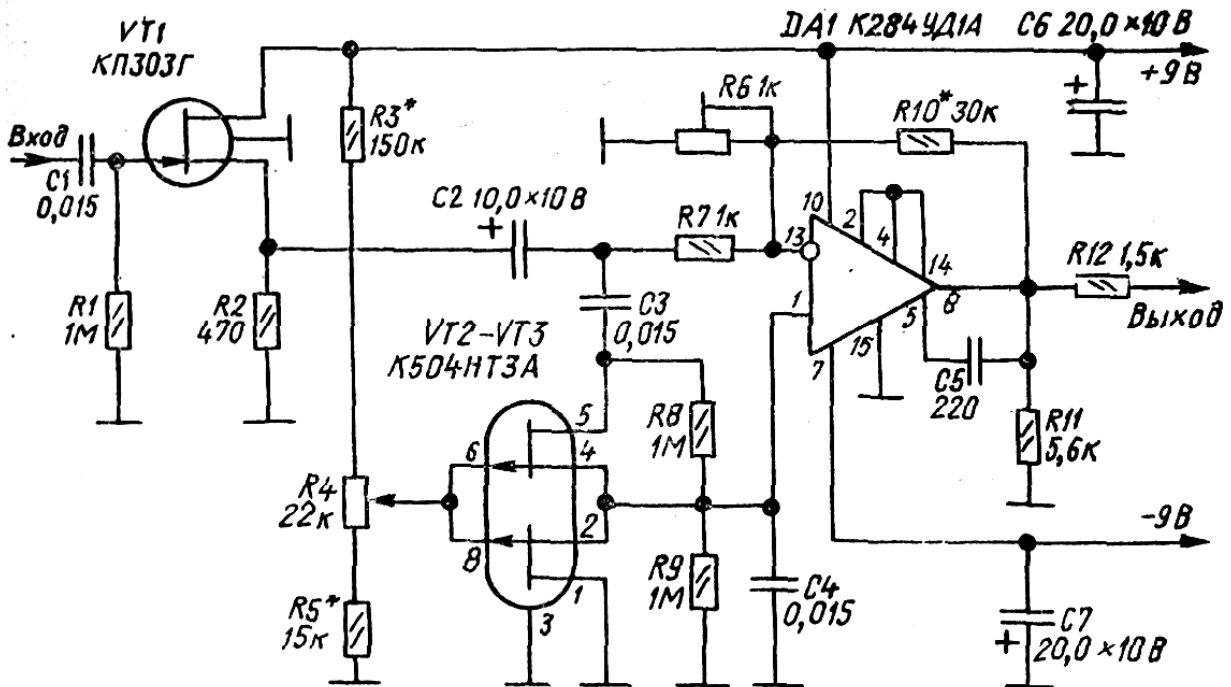


Безтрансформаторний перетворювач напруги

Безтрансформаторний перетворювач напруги складається з генератора прямокутних імпульсів, зібраного на логічних елементах І (ІМС DD1), і підсилювача потужності на транзисторах. Частота генерації - близько 10 кГц. Амплітуда прямокутних імпульсів на виході генератора близька до напруги джерела живлення (9 В). На холостому ході перетворювач споживає струм близько 5 мА, а вихідна напруга близько до 18 В. При струмі навантаження 120 мА вихідна напруга зменшується до 16 В; при цьому напруга пульсацій близько 20 мВ. ККД перетворювача напруги близько 85% , вихідний опір - біля 100 Ом.

Умови базування: переносна апаратура.

Варіант 8

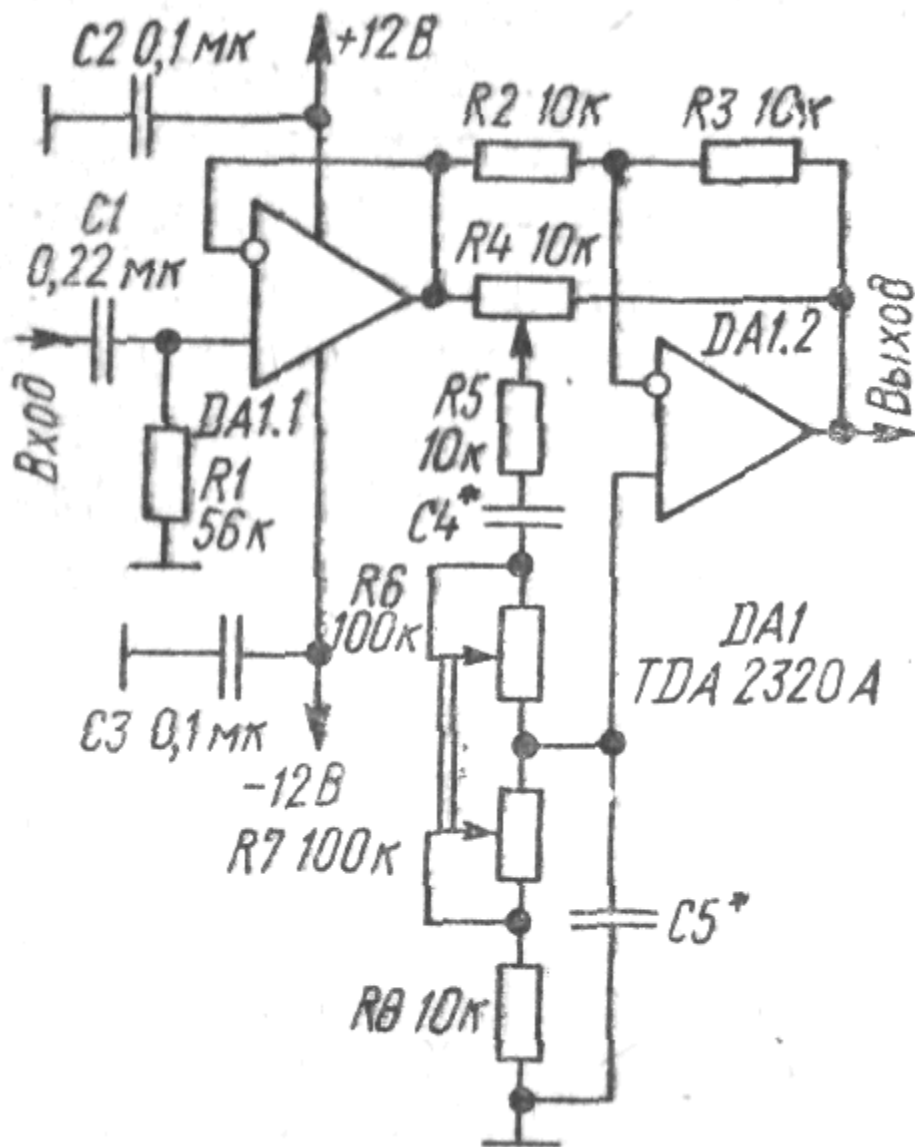


Активний режекторний фільтр з електронною перебудовою

Основні технічні характеристики: діапазон перебудови фільтру 20...20 000 Гц; придушення сигналу на частоті режекції 5...35 дБ; коефіцієнт підсилення 30 дБ; коефіцієнт гармонік поза смугою режекції при входній напрузі 50 мВ 0,1...0,3 %; опір навантаження не менше 6...7 кОм; струм, споживаний від джерела живлення позитивної полярності, 5...6 мА, негативної — 2...3 мА.

Умови базування: переносна апаратура.

Варіант 9

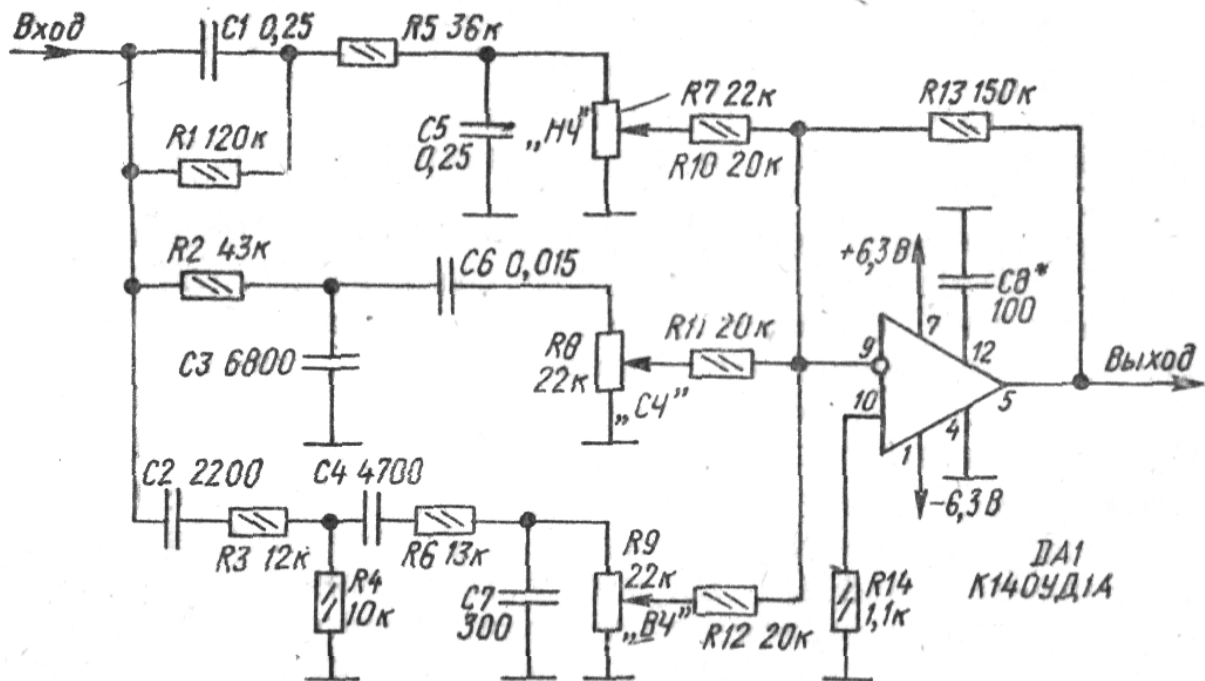


Трисмуговий регулятор тембру

Смути частот: 0,05-0,6кГц, 0, 5-6кГц, 2,2-20 кГц. Рівень регулювання підйому і спаду АЧХ - ± 14 дБ. Вхідний опір пристрою не менше 50кОм. Струм, споживаний від джерела живлення не більше 10мА.

Умови базування: лабораторні умови.

Варіант 10

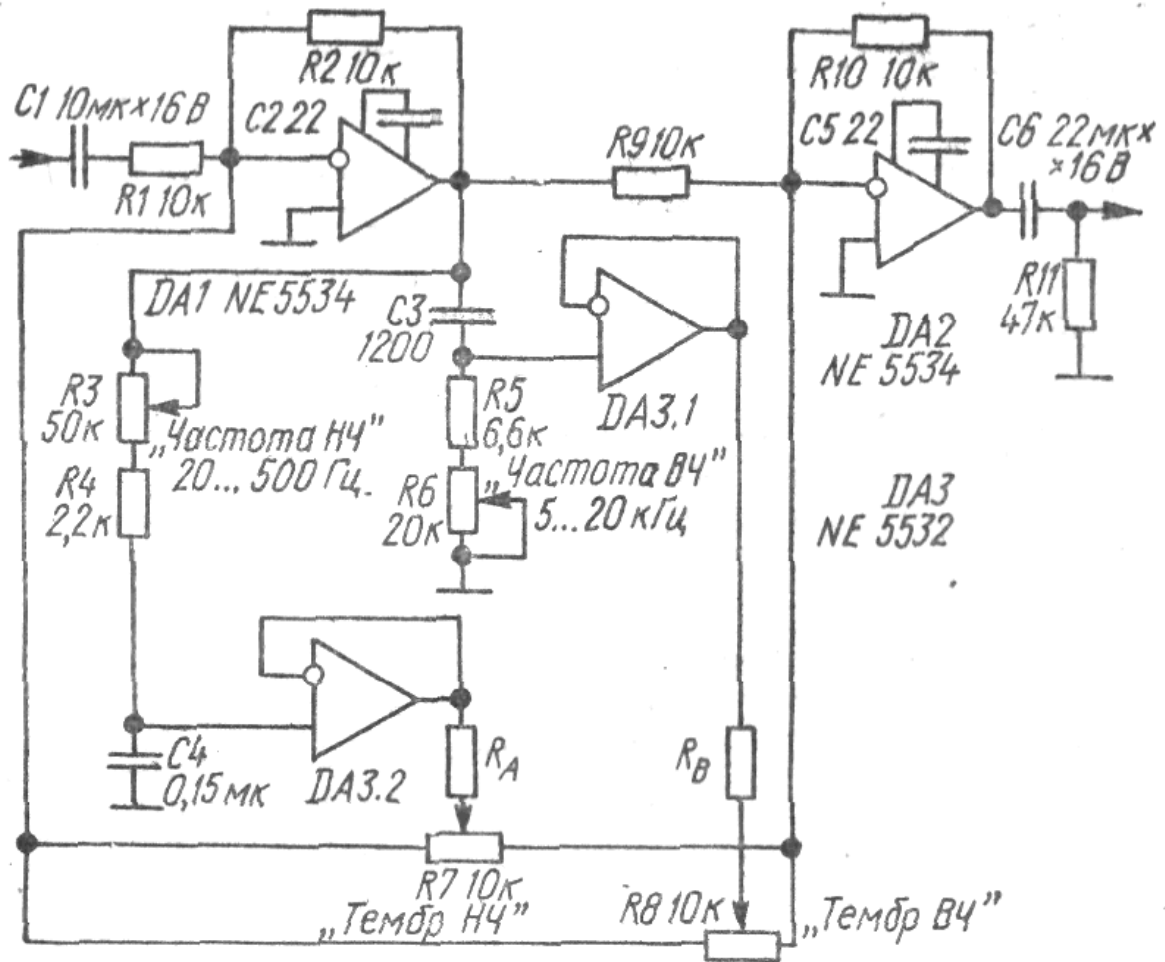


Трисмуговий регулятор тембру

Коефіцієнт передачі рівний одиниці в смузі частот 80...20 000 Гц при нерівномірності АЧХ $\pm 0,5$ дБ; максимальна амплітуда вихідної напруги 3,3 В; відношення сигнал/шум 76 дБ при вхідній напрузі 1 В і лінійної АЧХ; коефіцієнт гармонік 0,1 %. Фільтр $R1C1R5C5R7$ виділяє НЧ складові сигналу, фільтр $R2C3C6R8 - C4, C2R3R4C4R6C7R9 - ВЧ$ складові сигналу. Частоти розділу фільтрів приблизно 150 і 5000 Гц. Для нормальної роботи пристрою вихідний опір попереднього каскаду повинен бути не більше 1 кОм.

Умови базування: побутові умови.

Варіант 11

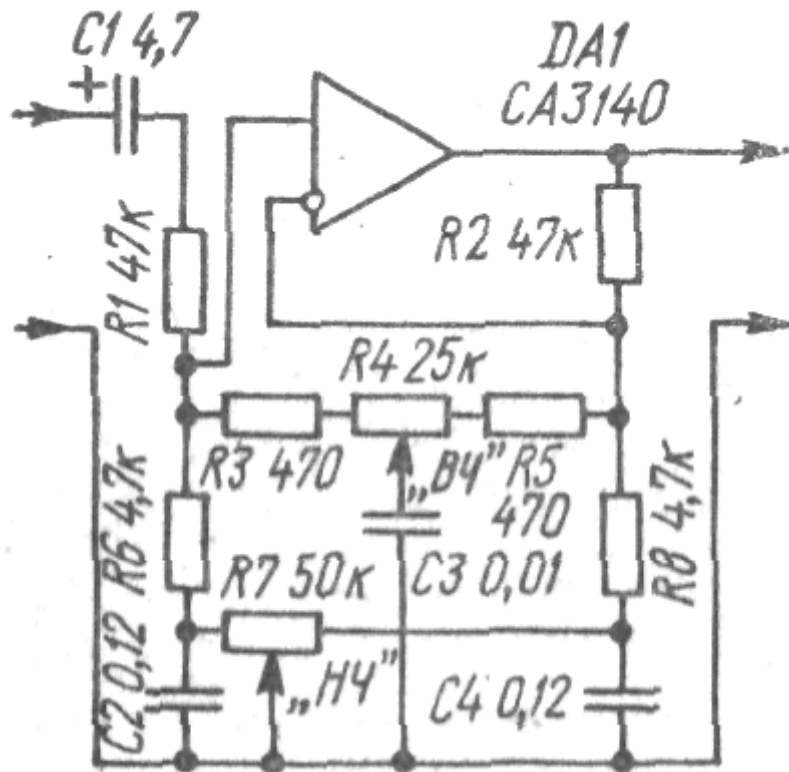


Вдосконалений регулятор тембру

Регулювання частоти зрізу із сторони НЧ в межах від 20 до 500 Гц, регулювання частоти зрізу із сторони ВЧ - в межах від 5...20 кГц. Глибина регулювання тембру складає ± 10 дБ.

Умови базування: побутові умови.

Варіант 12

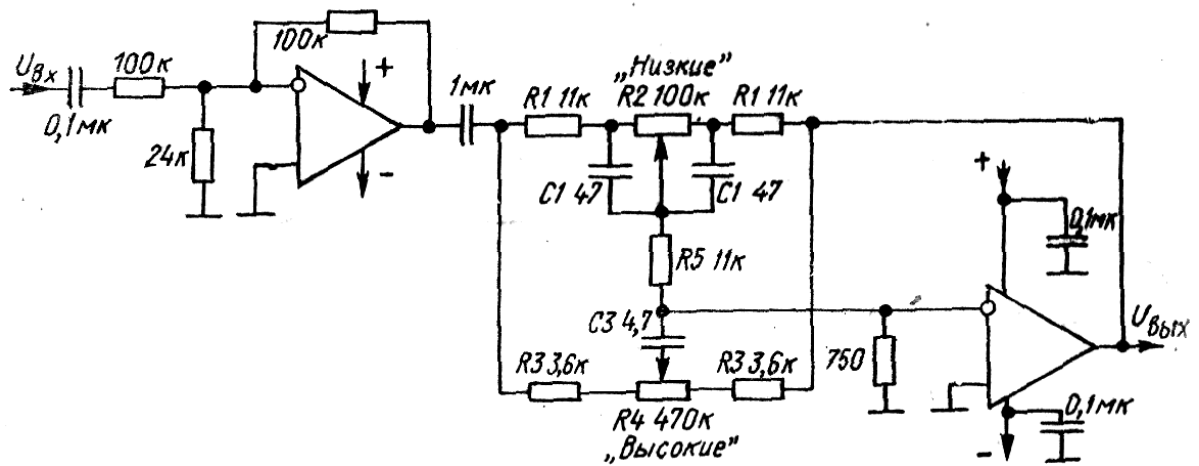


Темброблок на операційному підсилювачі

Темброблок має вхідний опір 47 кОм, вихідний - декілька Ом, вихідна напруга - не менше 8 В на навантаженні 2,2 кОм, напруга власних шумів на виході не перевищує 0,4 мВ, динамічний діапазон 86 дБ.

Умови базування: автомобільний транспорт.

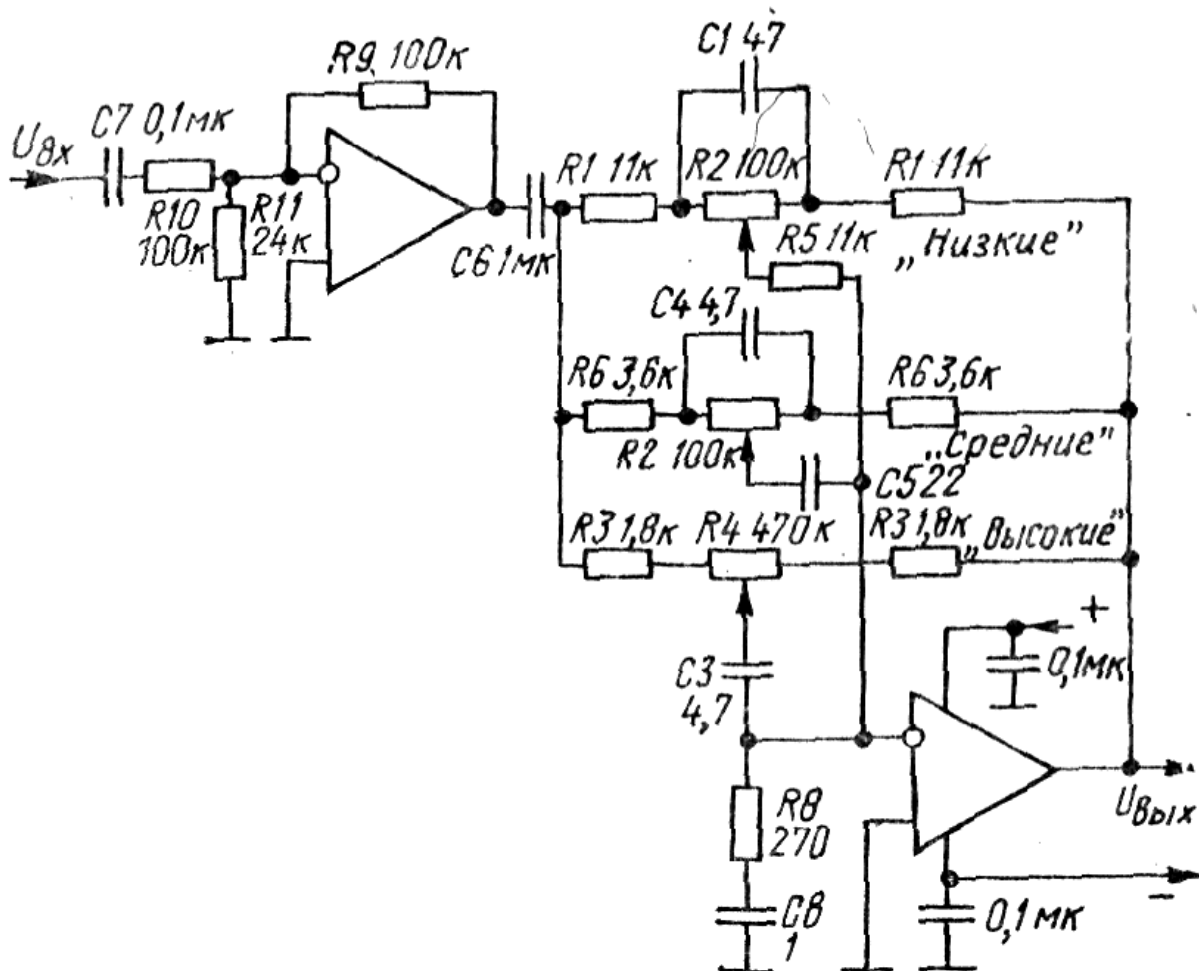
Вариант 13



Підсилювач напруги

Умови базування: автомобільний транспорт.

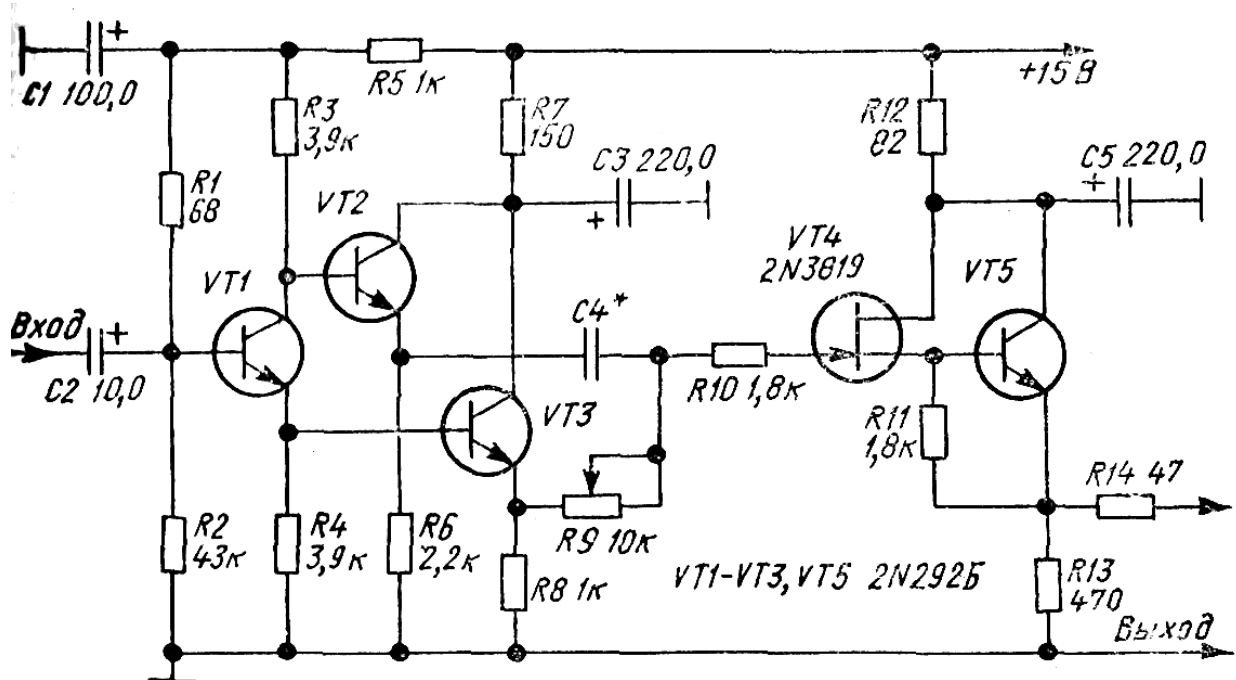
Варіант 14



Підсилювач напруги

Умови базування: побутові умови.

Варіант 15

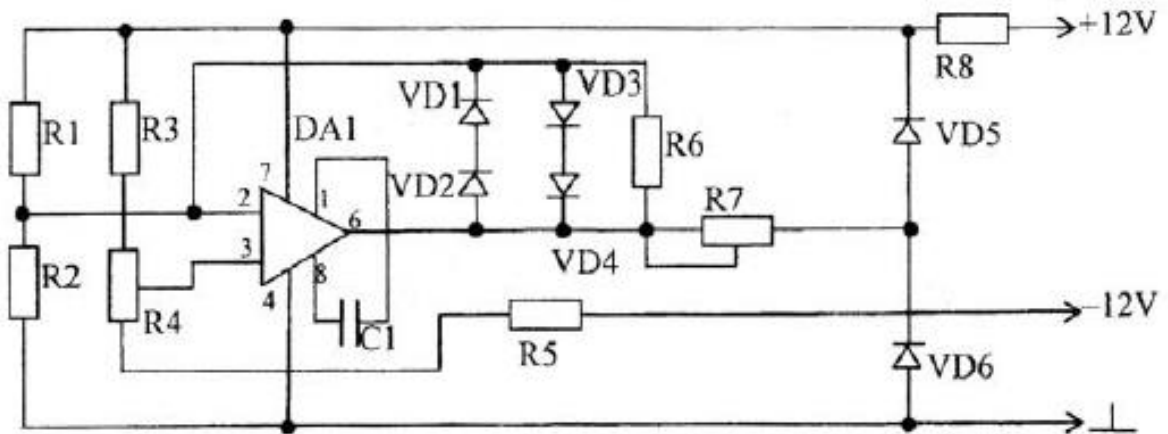


Широкосмуговий фазообертач низькочастотної напруги з плавним регулюванням фазового зрушення

За допомогою фазообертача можна змінити зрушення фази НЧ напруги від 0 до 180° на частотах від долей герца до 100 кГц при коефіцієнті гармонік не більше 0,1 і вхідній напрузі 1 В.

Умови базування: цехи підприємств.

Варіант 16

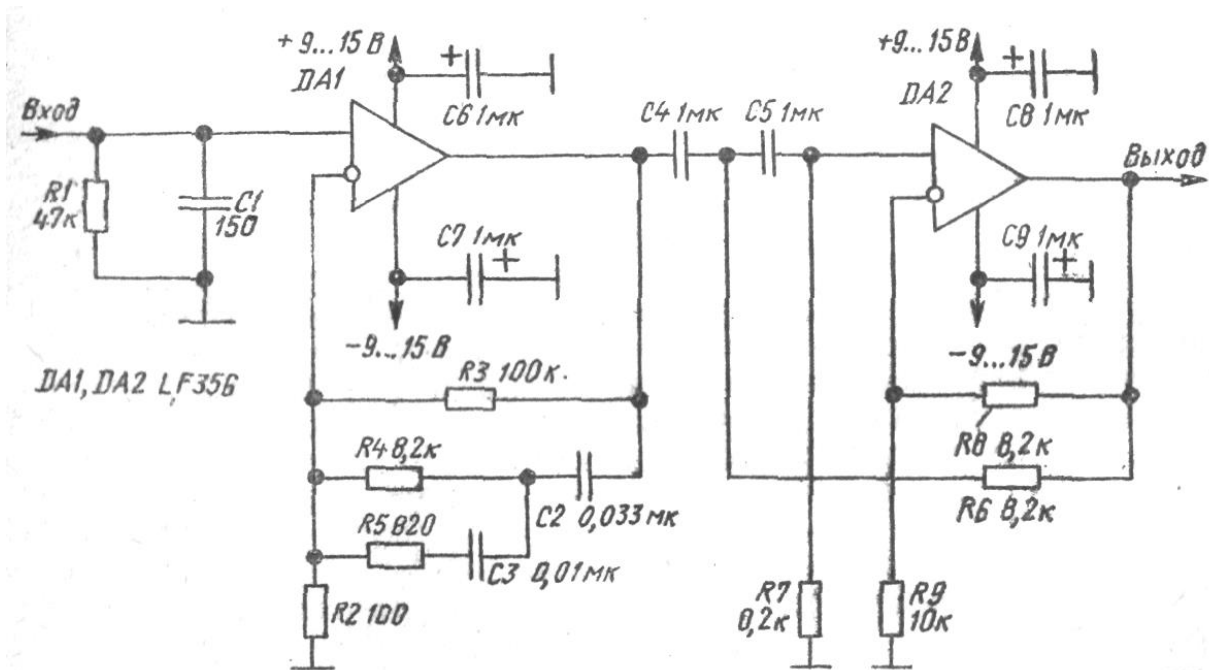


Принципова електрична схема індикатора струму

DA1-K153УД2; VD1-VD4-Д223Б; VD5, VD6-КС133А;
R1 – R3, R5 – 0,125 Вт-5,1 кОм; R4 – СП0-0,5-2,2 кОм; R6-0,125 Вт-100 Ом;
R7 – СП0-0,5-51 кОм; R8 – 0,5 Вт-390 МОм.

Умови базування: переносна апаратура.

Варіант 17

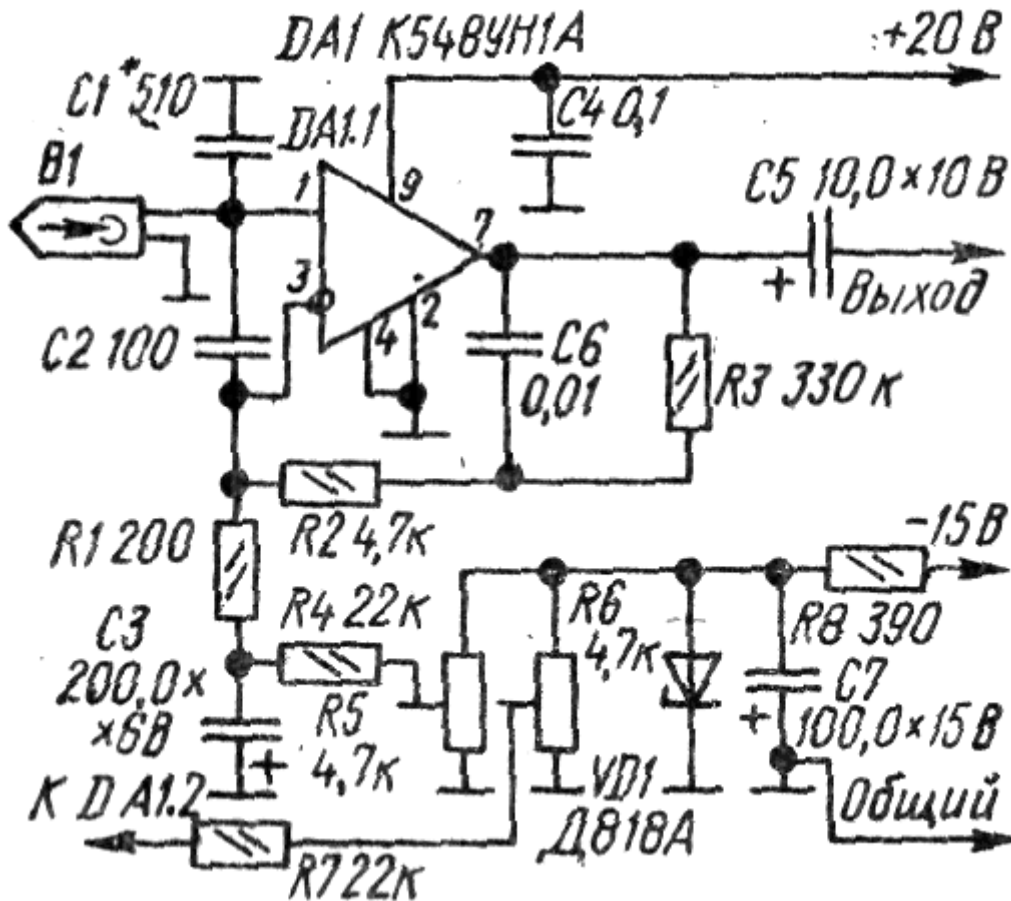


Корректор-підсилювач

Перший каскад виконаний на ОП DA1 з ПТ на вході, що забезпечують малий рівень власних шумів при роботі від джерел сигналу із значною індуктивною складовою повного вихідного опору. Другий каскад на ОП DA2 є ФВЧ Чебишева другого порядку з частотою зрізу приблизно 20 Гц, спад АЧХ фільтру на частоті 2 Гц, відповідній максимуму спектру цих перешкод досягає 45 дБ. Коефіцієнт передачі передпідсилювача на частоті 1 кГц рівний 39 дБ, вхідний опір стандартний 47 кОм.

Умови базування: лабораторні.

Варіант 18

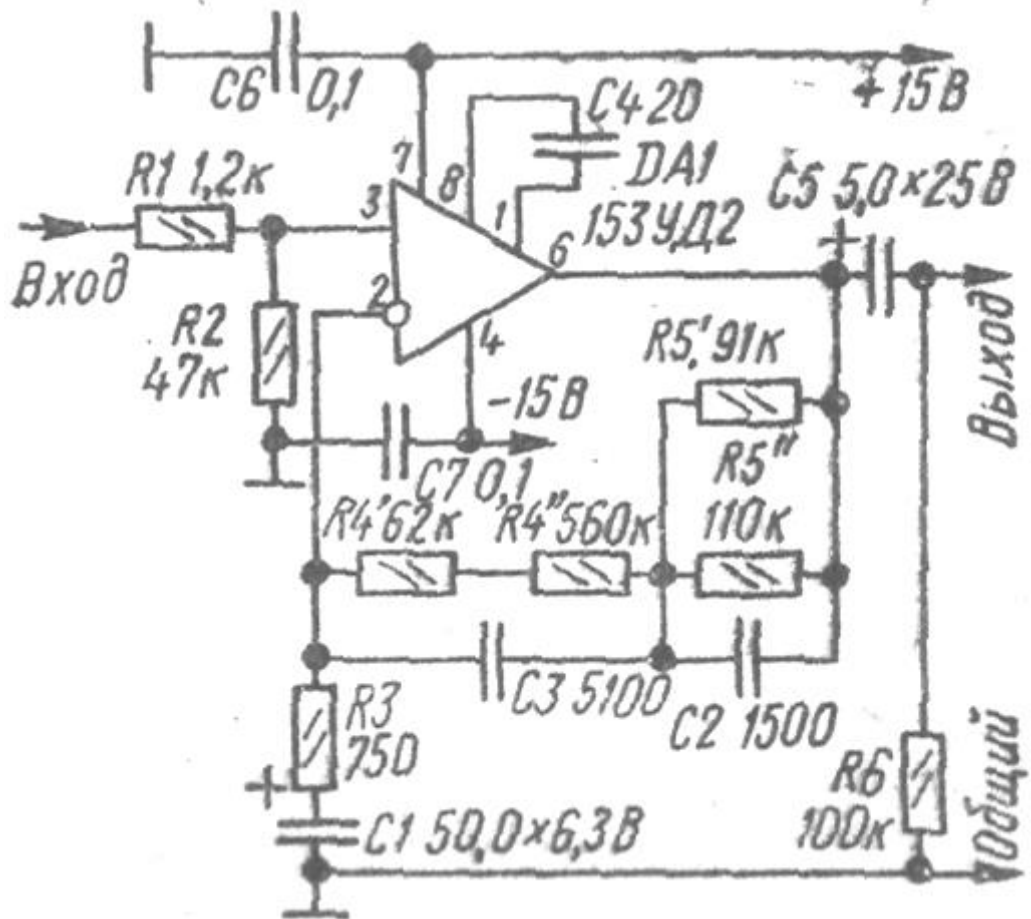


Підсилювач призначений для котушкового магнітофона

Швидкість стрічки 19,05 см/с, діапазон відтворюваних частот 30...20 000 Гц, відносний рівень перешкод 60 дБ, вихідна напруга 20...25 мВ.

Умови базування: переносна апаратура.

Варіант 19

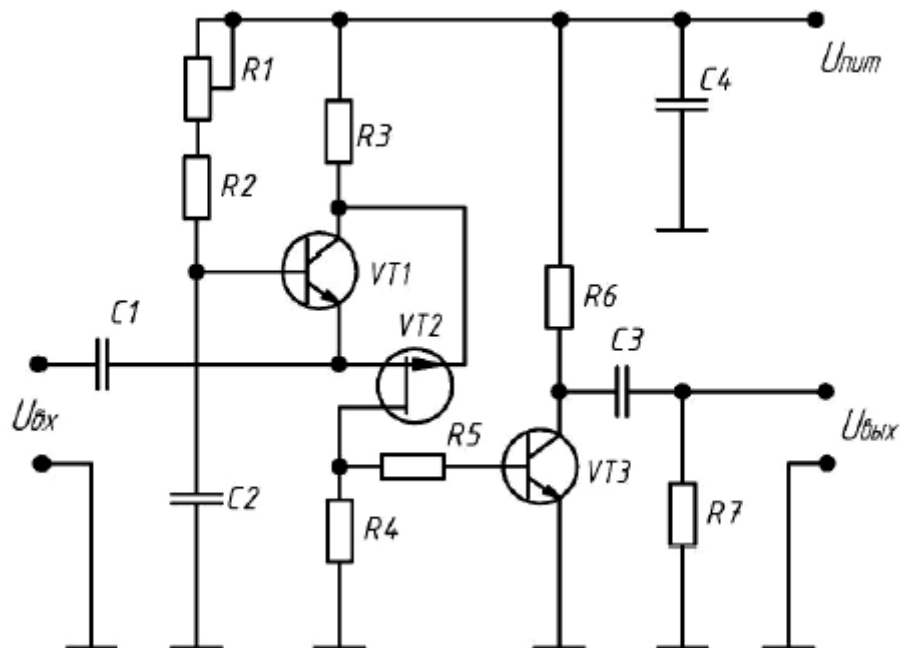


Передпідсилювач-коректор для магнітного звукознімача

Основні технічні характеристики: коефіцієнт підсилення 38 дБ на частоті 1000 Гц; відношення сигнал/шум 61 дБ при входньому сигналі 2,5 мВ і модулі повного опору головки $R_g = 2,2$ кОм; коефіцієнт гармонік 0,06 % при вихідній напрузі 1В в діапазоні частот 20...20 000 Гц; вхідний опір 47 кОм; вихідний - 0,5 кОм.

Умови базування: переносна апаратура.

Варіант 20



Принципова електрична схема формувача затриманих імпульсів

C1 - К10-17а-Н90-1 нФ; C2 - К10-17а-Н90-2,2 нФ; C3 - К10-62а-М750-10 нФ;
C4-К10-17а-М47-0,1пФ;К1-СПЗ-19а-0,5-10кОм;К2-С2-33Н-0,125-100кОм;
R3 - С2-33Н-0Л25 - 30 кОм; R4 - С2-33Н-0.125-4.7 кОм;
R5 - С2-33Н-0.125-3.3 кОм; R6 - С2-33Н-0,125-2 кОм;
R7 - С2-33Н-0.125-10 кОм; VT1, VT3 - КТ315; VT2 – КП103

Умови базування: залізничний транспорт.

Навчально-методичне видання
(українською мовою)

Зоя Андріївна Ніконова,
Оксана Юріївна Небеснюк, Аліна Олександрівна Ніконова

**ОСНОВНІ НАПРЯМИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У ГАЛУЗІ
АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ
ТЕХНІКИ**

**Методичні рекомендації до практичних занять
для здобувачів ступеня вищої освіти магістра
спеціальності «Мікро- та наносистемна техніка»
освітньо-професійної програми
«Мікроелектронні інформаційні системи»**

Рецензенти: *В. Л. Коваленко, В. В. Замаруєв*

Відповідальний за випуск *Т. В. Критська*

Коректор *З. А. Ніконова*