Міністерство освіти і науки України  
Класичний фаховий коледж Сумського державного університету

***МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ***

**ДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ З ДИСЦИПЛІНИ**

**«СХЕМОТЕХНІКА»**

**для здобувачів рівня фахової передвищої освіти зі спеціальності** 171. Електроніка за освітньо-професійною програмою «Виробництво електронних та електричних засобів автоматизації»

Конотоп – 2024

Бойко Л.К. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи за освітньо-кваліфікаційним рівнем «фаховий молодший бакалавр» зі спеціальності  
171. Електроніка за освітньою програмою «Виробництво електронних та електричних  
засобів автоматизації» денної форми навчання / [укл. Л.К.Бойко] – Конотоп:  
Класичний фаховий коледж Сумського державного університету, 2024. – 60 с.

Затверджено рішенням циклової комісії «Виробництво електронних та електричних засобів автоматизації», протокол №1 від 30.08.2024р.

**ЗМІСТ**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **1** | **МЕТА, ЗАВДАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ** | 4 |
| **2** | **СТРУКТУРА, ОБСЯГ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ** | 5 |
| **3** | **МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ** | 5 |
| **4** | **ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ** | 9 |
| **5** | **ОФОРМЛЕННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ** | 10 |
|  | 5.1 Загальні вимоги | 10 |
|  | 5.2 Нумерація | 12 |
|  | 5.3 Рисунки | 13 |
|  | 5.4 Таблиці | 14 |
|  | 5.5 Переліки | 15 |
|  | 5.6 Формули | 15 |
|  | 5.7 Посилання | 16 |
|  | 5.8 Оформлення списку використаної літератури | 18 |
|  | 5.9 Додатки | 21 |
| **6** | **МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ** | 22 |
| **7** | **РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА** | 43 |
|  | **ДОДАТОК А** *Приклад оформлення титульного аркуша* | 45 |
|  | **ДОДАТОК Б** *Приклад оформлення схеми електричної принципової* | 46 |
|  | **ДОДАТОК В** *Приклад оформлення переліку елементів* | 47 |
|  | **ДОДАТОК Г** *Бланк рецензії на розрахунково-графічну роботу* | 48 |
|  | **ДОДАТОК Д** *Вихідні дані для розрахунково-графічної роботи* | 49 |

**1 МЕТА, ЗАВДАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ**

Створення нових виробів електронної техніки – виробнича основа розвитку сучасного суспільства. Майже будь-які технологічні процеси, наукові дослідження, контроль якості та організаційно-економічні заходи виконуються за допомогою електронних пристроїв та комп’ютерної техніки. В процесі розвитку науки та техніки формуються нові задачі, які не можуть бути вирішені з використанням вже існуючих приладів, пристроїв та систем. Це обумовлює необхідність проектування та створення більш досконалих та сучасних виробів.

Процес проектування включає в себе визначення принципу роботи електронного ланцюга, пристрою або системи, обґрунтування та вибір виду сигналів, методів їх формування та обробки; конструювання; розробку технології виробництва, методів контролю та випробувань; закінчується виготовленням повної конструкторсько-технологічної документації.

Проектування дозволяє поглиблено вивчити один або декілька розділів курсу на прикладі розробки конкретного пристрою і закріпити знання, отримані під час теоретичної підготовки, виконання лабораторних робіт і розрахункових завдань.

При виконанні розрахунково-графічної роботи у студента з’являється необхідність приймати обґрунтовані рішення, зіставляючи цілий ряд відомостей і факторів, одержуваних з періодичної літератури, довідників і нормативних документів. Проектування характеризується тим, що рішення не може бути однозначним, тому завдання виконання розрахунково-графічної роботи – вибрати оптимальний варіант схеми й конструкції, відшукати найбільш просте та економічне рішення.

Розрахунково-графічна робота з дисципліни «Схемотехніка» для студентів спеціальності 171 Електроніка є важливим етапом підготовки студента в галузі схемотехніки та системотехніки мікроелектронних інформаційних систем. Метою розрахунково-графічної роботи є набуття студентом навичок аналізу та використання сучасних схемотехнічних рішень, самостійного наукового пошуку вирішень нестандартних завдань та забезпечення якісно нового рівня підготовки фахівців на основі взаємного проникнення та збагачення фундаментальних та прикладних наукових досліджень.

**2 СТРУКТУРА, ОБСЯГ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ**

Розрахунково-графічна робота складається із таких елементів:

1) титульного аркуша (перша сторінка, не нумерується) – див. додаток А;

2) рецензії (не нумерується) – див. додаток Б;

3) змісту;

4) вступу (1 сторінка);

5) основної частини роботи;

6) розрахункової частини;

7) висновків (1 сторінка);

8) списку використаних джерел, він повинен містити не менше 10 літературних джерел, на які у тексті роботи/розділу повинні бути посилання.

9) додатків.

Обсяг розрахунково-графічної роботи становить 25-30 сторінок загального обсягу. До загального обсягу роботи входять додатки, список використаних джерел, таблиці та рисунки, які повністю займають площу сторінки.

**3 МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ**

Основні етапи проектування електронного виробу такі:

* системотехнічний - розробка виробу до рівня функціональних схем;
* схемотехнічний - розробка виробу до рівня принципових схем;
* конструкторський - розробка конструкторської документації.

Дотримання зазначених етапів проектування сприяє упорядкуванню процесу розробки, створює необхідні умови для контролю й корекції документації на різних стадіях проекту.

Системотехнічний етап проектування складається з аналізу декількох конкуруючих варіантів побудови пристрою, який розробляється, перевірки їхнього функціонування, обґрунтованого визначення вимог до вхідних вузлів і вибору оптимального рішення з кількох запропонованих за деяким критерієм. Якщо є лише один можливий варіант, один спосіб дії, одна структура системи, сама задача проектування зникає. Для того, щоб вона могла бути поставлена, необхідно, по-перше, мати або кілька можливих варіантів, або методи їх одержання та, по-друге, необхідно мати критерії переваги одного варіанта над іншим, тобто мати можливість порівнювати їх між собою. При виборі перевага віддається оптимальному варіанту. Таким чином, у постановці завдання проектування неявно виникає необхідність оптимізації.

Схемотехнічний етап проектування, або проектування на рівні принципових схем, починається з аналізу технічного завдання (ТЗ), розбиття на окремі вузли розроблювального виробу й завершується розробкою ТЗ на створення конструкторської та технологічної документації. Основне завдання етапу - розробка варіантів принципових схем вузлів виробу, які забезпечують задані вимоги до їхніх електричних характеристик. У процесі схемотехнічного проектування широко використаються розрахунки за допомогою систем автоматизованого проектування (САПР), у результаті чого визначається найкращий з альтернативних варіантів. При цьому використовують бази даних, системи експертних оцінок, різні оптимізаційні процедури. Проте, досвід і кваліфікація інженера-проектувальника є визначальними в більшості випадків у схемотехнічному проектуванні.

Конструкторський етап проектування полягає в розробці топології друкованих плат, з’єднань, конструкції блоків, стійок, корпуса в цілому та передньої панелі керування. При розведенні друкованих плат використовують конструкторські САПР. При конструюванні необхідно враховувати обмеження, які виникають з тепловими режимами, паразитними та розподіленими параметрами конструктивних елементів схем.

Проектування не є послідовним переходом від одного етапу до іншого, більше низькому за рівнем. Фактично, після пророблення систем певного рівня складності доводиться повертатися назад, на більш високий рівень, і робити корекцію розрахунків. Таким чином, при проектуванні використовується метод послідовних наближень, коли рішення уточнюється на кожному наступному етапі. Саме такий процес і забезпечує перехід від "незнання" до "знання", у результаті якого створюється нова, відмінна від існуючої система.

Мета і завдання, поставлені перед розробником, дозволяють визначити вид сигналів, які використовуються для передачі і перетворення інформації, розробити технічне завдання, а також виробити деяку ознаку - показник якості, що характеризує даний варіант, і правило, за яким системі із заданим значенням показника якості віддається перевага. Обраний критерій якості повинен чисельно характеризувати ступінь наближення до мети, сформульованої при постановці завдання, для досягнення якої створюється система.

Наступний крок - аналіз і дослідження параметрів існуючих систем. Якщо одна із уже існуючих систем може вирішити знову сформульовані завдання, проектування не проводиться; якщо не може – приступають до першого етапу проектування - системотехнічного, а потім до схемотехнічного. Для побудови створюваної системи доцільно широко використати серійні уніфіковані блоки, вузли та інтегральні схеми. Тому при схемотехнічному проектуванні аналізуються параметри таких елементів електронної апаратури та їх відповідність вимогам до окремих компонентів, сформульованим на етапі системотехнічного проектування. Якщо в результаті виконання операції "Перевірка відповідності" отриманий негативний результат, приступають до розробки спеціалізованих блоків або вузлів. Паралельно розробляють конструкцію і технологію системи, яка проектується. Після створення системи її випробовують, визначають параметри і зіставляють із заданими.

Обраний критерій якості враховується на всіх етапах. Це дозволяє вирішувати завдання оптимізації, які зводяться до пошуків екстремуму показника якості. В результаті процес проектування розглядається як замкнута ітераційна процедура, у якій інженерові відведена головна роль у прийнятті рішень. Розробку електронної схеми можна представити послідовним виконанням ряду етапів. Укрупнена схема процесу розробки електронного вузла традиційним методом складається із чотирьох основних етапів.

Теоретичне пророблення схемного рішення. На цьому етапі аналізують ТЗ і виділяють у ньому найбільш істотні вимоги. Використовуючи досвід розробки подібних схем, а також патентну, періодичну та іншу інформацію, обмірковують початковий варіант схеми, по можливості запозичаючи відомі рішення. При цьому частина схеми розробляється заново, а частина може бути отримана модифікацією відомих рішень (заміна одних елементів іншими, зміна їх параметрів, числа каскадів, транспонування по частоті, підгонка під необхідні вхідні і вихідні опори та т.і.) Розглядається кілька варіантів схеми з метою вибору оптимального.

Моделювання на ПК. На підставі розрахованих значень компонентів схеми, обраної елементної бази і конструктивних особливостей виготовлення здійснюється математичне моделювання роботи пристрою. При цьому визначаються карти робочих режимів і перевіряється, чи перебувають точки напруги і потужності в припустимих межах для кожного компонента або мікросхеми. Для цього, звичайно, використовуються програми САПР для схемотехнічного проектування. За допомогою цих програм обчислюються амплітудні та фазочастотні характеристики, часові діаграми, проводиться статистичний аналіз параметрів і допусків і т.і. Важливим питанням при цьому є правильний вибір моделей компонентів і врахування різних факторів, що впливають на роботу пристрою.

Виготовлення макета. Початковий варіант схеми, отриманий теоретичним шляхом, має потребу в практичній перевірці, що проводять на макеті виробу. Виготовлення макета - один з найбільш трудомістких і тривалих етапів процесу проектування схеми. Для його створення необхідні електрорадіоелементи конструкцій, матеріали. Дуже часто для виготовлення макета доводиться розробляти ескізний варіант конструкції вузла, який проектується.

Випробування макета і доводка схеми. Після створення макета починається ітеративний процес доводки схеми. Залежно від того, наскільки вдало прийняте технічне рішення, цей процес може полягати тільки в корегуванні величин деяких елементів схеми, а може торкнутися і структури схеми або взагалі показати неспроможність обраного рішення.

Доведення схеми складається із двох основних етапів:

* забезпечення заданих характеристик схеми;
* досягнення необхідної стабільності цих характеристик з урахуванням впливу технологічних відхилень і зовнішніх впливів.

При попередньому налагодженні макета за допомогою комплексу вимірювального устаткування визначають характеристики схеми і порівнюють їх із заданими; при додаткових експериментах і аналізі результатів роблять припущення про причину розбіжності реальної і необхідної характеристик схеми. Для усунення причини змінюють параметри або структуру початкового варіанта схеми. Цей процес триває до одержання необхідної характеристики або до появи у розробника твердого переконання, що вимоги ТЗ не можуть бути реалізовані.

Якість технічного рішення перевіряється при випробуваннях схеми, проведених для визначення стабільності характеристик схеми в умовах впливу температури, радіації, вологості, тиску та інших факторів з врахуванням технологічних відхилень величин елементів і відхилень напруг живлення. При цьому використовують складний комплекс вимірювально-випробувального устаткування. Проведення випробувань схеми пов'язане з більшими труднощами: складністю імітації необхідних впливів; великою трудомісткістю робіт; значною тривалістю циклу випробувань.

Перше пояснюється розмаїтістю умов, у яких повинна працювати сучасна радіоелектронна апаратура (РЕА), друге – великою кількістю випробувань для перевірки всіх граничних режимів роботи приладу. Існують методики, що дозволяють значно зменшити число дослідів (планування експериментів, виділення групи, що впливає, та т.і.), однак вирішення цих завдань традиційними методами залишаються досить трудомісткими.

На кожному циклі уточнюються параметри проектованої системи, критерій якості, вносяться зміни на етапах системотехнічного і конструкторського проектування, поки не будуть досягнуті необхідні параметри (із припустимою розбіжністю) знову створеної і випробуваної системи.

**4 ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ**

Проектування дозволяє поглиблено вивчити один або декілька розділів курсу на прикладі розробки конкретного пристрою і закріпити знання, отримані під час теоретичної підготовки, виконанні лабораторних робіт і розрахункових завдань.

При виконанні розрахунково-графічної роботи (РГР) у студента з'являється необхідність приймати обґрунтовані рішення, зіставляючи цілий ряд відомостей і факторів, одержуваних з періодичної літератури, довідників і нормативних документів. Проектування характеризується тим, що рішення не може бути однозначним, тому завдання виконання курсового проекту вибрати оптимальний варіант схеми і конструкції, відшукати найбільш просте та економічне рішення.

При виконанні проекту вирішуються такі задачі:

– прищепити студенту теоретичні навички, необхідні на всіх етапах проектування, що дозволяють розробити варіанти нового пристрою, провести їх порівняльний аналіз, виробити критерії та обґрунтовано вибрати оптимальний варіант;

– виробити вміння самостійно користуватися відповідною технічною літературою, довідниками, періодичними виданнями, що необхідно для використання у пристрої, який розробляється, описаних в літературі електронних вузлів, інтегральних схем, конструкторських рішень;

– використати ПК для аналізу, розрахунку та оптимізації розроблювальних електронних вузлів;

– вивчити вимоги ЄСКД і виконати конструкторську документацію (пояснювальну записку та креслення) відповідно до державних стандартів;

– виробити вміння чітко та коротко із застосуванням технічної термінології викладати суть розв’язуваної проблеми, обґрунтовувати прийняті рішення та відповідати на питання.

**5 ОФОРМЛЕННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ**

**5.1 Загальні вимоги**

– РГР оформлюється українською мовою;

– шрифт – Times New Roman, 14 кегль;

– абзац – міжрядковий інтервал: абзацний відступ –1 см (не допускати створення абзацного відступу за допомогою клавіші Tab і знаків пропуску); міжрядковий інтервал – 1,5;

– щільність тексту повинна бути однакова у всій роботі;

– через один інтервал від заголовку структурної частини друкують заголовки підрозділів маленькими літерами (крім першої великої) з абзацу. Крапка в кінці заголовка не ставиться – виділені напівжирним.

Текст пояснювальної записки друкують на одному боці білого паперу формату А4. Весь текст ПЗ необхідно вирівнювати по ширині сторінки. Відступи в тексті перед та після абзаців не робити.

Поля у ПЗ до РГР повинні мати такі розміри: верхнє, ліве та нижнє – 20 мм, праве – 10 мм; відстань від тексту до рамки повинна становити 5 мм. У всьому тексті, включаючи заголовки, використовують 14-й кегль, шрифт гарнітури Times New Roman та полуторний інтервал. Як виняток, у таблицях, написах на рисунках та під рисунками, у додатках та в текстах комп’ютерних програм можна використовувати 12-й кегль та одинарний інтервал.

Під час виконання ПЗ необхідно дотримуватись рівномірної щільності, контрастності й чіткості зображення впродовж усього тексту. У ПЗ мають бути чіткі, нерозпливчасті лінії, літери, цифри та інші знаки. Всі лінії, літери, цифри і знаки повинні бути однаково чорними впродовж усього тексту. Окремі слова, формули, знаки, які вписують у надрукований текст, мають бути чорного кольору; щільність вписаного тексту мас максимально наближуватись до щільності основного зображення.

Помилки, описки та графічні неточності допускається виправляти підчищенням або зафарбовуванням білою фарбою і нанесенням на тому ж місці або між рядками виправленого зображення машинописним способом або від руки. Виправлене повинно бути чорного кольору.

Прізвища, назви установ, організацій, фірм та інші власні назви у тексті наводять мовою оригіналу. Допускається транслітерувати власні назви і наводити назви організацій у перекладі на мову ПЗ, додаючи (при першій згадці) оригінальну назву.

Додаткові вимоги до оформлення РГР:

– кожний розділ слід розпочинати з нової сторінки (робимо розрив сторінки: одночасне натискання клавіш Ctrl+Shift+дефіс));

– не допускається розміщувати назву розділу, підрозділу, а також пункту та підпункту в нижній частині сторінки, якщо після неї розміщено тільки один рядок тексту.

Кожний розділ роботи треба починати з нової сторінки;

– вимоги до тексту в таблицях: шрифт Times New Roman, 12 кегль, інтервал між рядками – 1,0, відступи не допускаються);

– таблицю бажано розміщати на одній сторінці. При перенесенні частини таблиці на іншу сторінку у верхньому правому куті вказується напр.: «Продовження табл. 2.1». Крім того, верхній рядок таблиці має містити заголовки стовпців;

– посилання на використання джерела подаються у квадратних дужках [], зазначається порядковий номер і сторінка цитованого джерела, напр. [2, с.31];

– скорочення на зразок т. ін., XXI ст., ініціали при прізвищах (напр.: В.О. Новак), назви населених пунктів на зразок м. Київ друкувати через нерозривний пробіл (одночасне натискання клавіш Ctrl+Shift+пробіл);

– скорочення на зразок 90-ті, 1-го – з нерозривним дефісом (одночасне натискання клавіш Ctrl+Shift+дефіс);

– використовувати лише такі лапки: «»;

– треба розрізняти тире (–), дефіс (-);

– використовуємо лише такі маркери: –; далі текст маленькими літерами;

– скорочення слів не допускається, крім загальноприйнятих, при першому вживанні вони супроводжуються розшифровуванням. Наприклад, електронна схемотехніка (далі – ЕСТ);

– додатки оформлюють як продовження роботи/розділу на наступних після списку використаної літератури сторінках і розміщують їх у порядку появи посилань у тексті;

– кожний додаток починається з нової сторінки. Додаток повинен мати заголовок.

Додатки слід позначати послідовно великими літерами української абетки, починаючи з літери А, за винятком літер Ґ, Є, З, І, Ї, Й, О, Ч, Ь).

**5.2 Нумерація**

– нумерація сторінок – суцільна на усіх аркушах крім титульного листа, який входить до суцільної нумерації сторінок звіту, але на ньому номер сторінки не проставляється;

– сторінки нумерують у верхньому правому куті

– ілюстративний матеріал і таблиці повинні мати нумерацію і назву;

– такі структурні частини роботи, як зміст, вступ, висновки, список використаної літератури не мають порядкового номера. Звертаємо увагу на те, що всі аркуші, на яких розміщені згадані структурні частини роботи, нумерують звичайно. Не нумерують лише їх заголовки, тобто не можна друкувати: «1 ВСТУП» або «РОЗДІЛ 6 ВИСНОВКИ». Номер розділу ставлять після слова «РОЗДІЛ», після номера крапку не ставлять, потім друкують заголовок розділу;

– підрозділи нумерують у межах кожного розділу. Номер підрозділу складається з номера розділу і порядкового номера підрозділу, між якими ставлять крапку. В кінці номера підрозділу крапку не ставлять, наприклад: «2.3» (третій підрозділ другого розділу). Потім у тому самому рядку наводять заголовок підрозділу;

– пункти нумерують у межах кожного підрозділу. Номер пункту складається з порядкових номерів розділу, підрозділу, пункту, між якими ставлять крапку. В кінці номера крапку не ставлять, наприклад: «1.3.2» (другий пункт третього підрозділу першого розділу).

Потім у тому самому рядку наводять заголовок пункту. Пункт може не мати заголовка.

– підпункти нумерують у межах кожного пункту за такими самими правилами, як пункти.

**5.3 Рисунки**

– усі графічні матеріали (ескізи, діаграми, графіки, схеми, фотографії, рисунки, креслення тощо) повинні мати однаковий підпис «Рисунок»;

– рисунки необхідно подавати в роботі безпосередньо після тексту, де вони згадані вперше, або на наступній сторінці. Рисунки, розміщені на окремих сторінках роботи, включають до загальної нумерації сторінок. Рисунок, розміри якого більше формату А4, враховують як одну сторінку і розміщують у відповідних місцях після згадування у тексті або в додатках;

– якщо рисунки створені не автором роботи, необхідно при поданні їх у роботі дотримуватися вимог законодавства про авторські права і робити відповідні посилання;

– рисунки нумерують в межах кожного розділу. Номер рисунка складається з номера розділу та порядкового номера рисунка в цьому розділі, які відокремлюють крапкою, наприклад, «Рисунок 3.2» – другий рисунок третього розділу;

– рисунки кожного додатка нумерують окремо. Номер рисунка додатка складається з позначки додатка та порядкового номера рисунка в додатку, відокремлених крапкою;

**Приклад:**

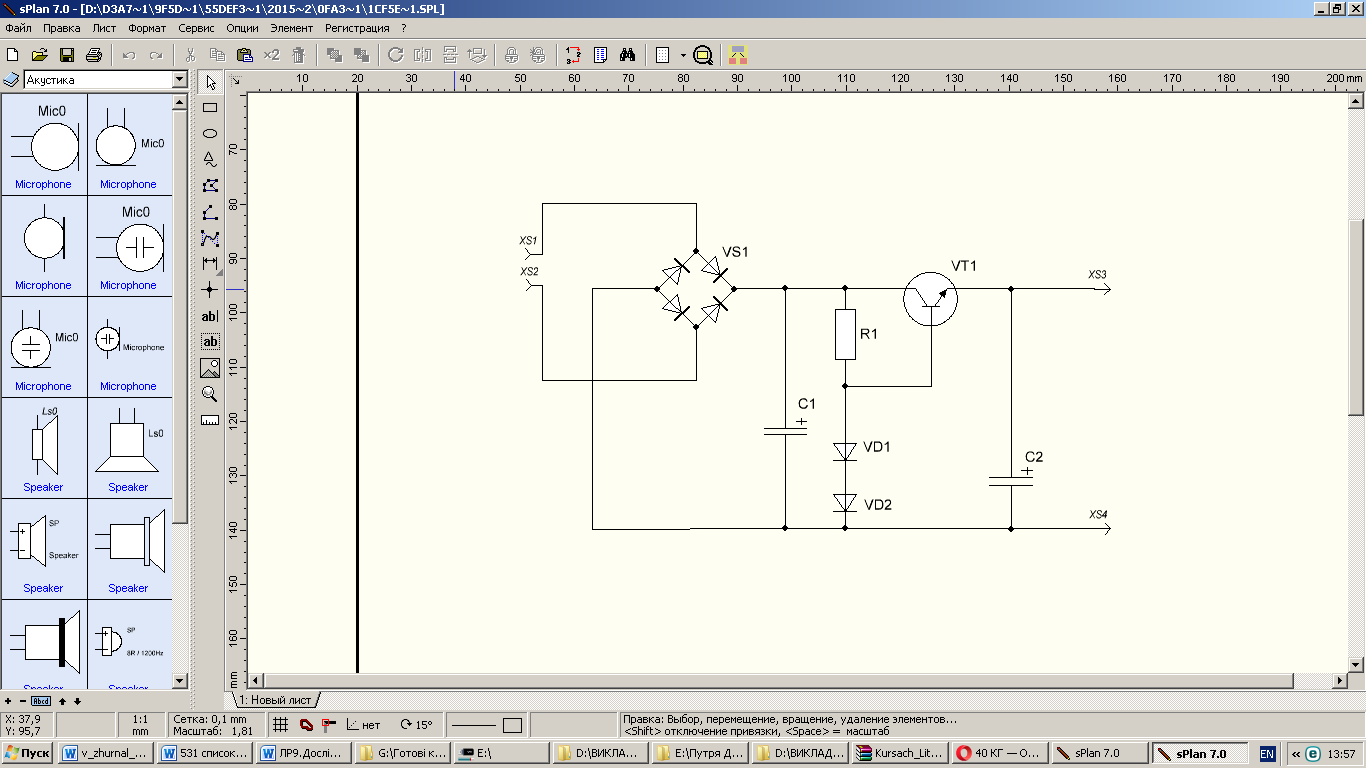


Рисунок 1.1 – Схема електрична принципова параметричного стабілізатора напруги

– назва рисунка має відображати його зміст, бути конкретною та стислою. Якщо з тексту звіту зрозуміло зміст рисунка, його назву можна не наводити. За потреби пояснювальні дані до рисунка подають безпосередньо після графічного матеріалу перед назвою рисунка;

– назву рисунка друкують з великої літери та розміщують під ним посередині рядка.

**5.4 Таблиці**

– цифровий матеріал треба оформлювати у вигляді таблиць. Таблицю слід розміщувати безпосередньо після тексту, у якому вона згадується вперше, або на наступній сторінці. На всі таблиці мають бути посилання в тексті роботи;

– таблиці нумерують послідовно (за винятком таблиць, поданих у додатках) арабськими цифрами, в межах розділу. У цьому разі номер таблиці складається з номера розділу та порядкового номера таблиці, відокремлених крапкою, наприклад, «Таблиця 2.1»

– перша таблиця другого розділу;

– назва таблиці має відображати її зміст, бути конкретною та стислою. Якщо з тексту звіту можна зрозуміти зміст таблиці, її назву можна не наводити. Назву таблиці друкують з великої літери і розміщують над таблицею з абзацного відступу;

**Приклад:**

Таблиця 2.1 – Результати дослідження випрямлячів

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Однопівпері-одний випрямляч | Двопівпері-одний випрямляч | Мостовий випрямляч |
| Uвх, В (до випрямляча) |  |  |  |
| U2, В |  |  |  |
| Ucер |  |  |  |
| Кп |  |  |  |

– якщо рядки або графи таблиці виходять за формат сторінки, таблицю ділять на частини, розміщуючи одну частину під одною або поруч, або переносячи частину таблиці на наступну сторінку, при цьому в першому випадку в кожній частині таблиці повторюють її головку, в другому – боковик. Слово «Таблиця» подають лише один раз над першою частиною таблиці. Над іншими частинами таблиці з абзацного відступу друкують «Продовження таблиці \_\_\_ » без повторення назви.

– заголовки колонок таблиці починають з великої літери, а підзаголовки – з малої літери, якщо вони становлять одне речення із заголовком. Підзаголовки, які мають самостійне значення, подають з великої літери. У кінці заголовків і підзаголовків таблиць крапки не ставлять. Переважна форма іменників у заголовках – однина.

**5.5 Переліки**

– переліки (за потреби) подають у розділах, підрозділах, пунктах і/або підпунктах.

Перед переліком ставлять двокрапку (крім пояснювальних переліків на рисунках;

– якщо подають переліки одного рівня підпорядкованості, на які у звіті немає посилань, то перед кожним із переліків ставлять знак «тире». Якщо у звіті є посилання на переліки, підпорядкованість позначають малими літерами української абетки, далі – арабськими цифрами, далі – через знаки «тире».

– після цифри або літери певної позиції переліку ставлять круглу дужку;

Приклад оформлення переліку з різними рівнями підпорядкованості

а) \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ ;

1) \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ ;

2) \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ ;

- \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ ;

- \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ ;

в) \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ – текст кожної позиції переліку треба починати з малої літери з абзацного відступу відносно попереднього рівня підпорядкованості.

**5.6 Формули**

– формули в роботі (якщо їх більше однієї) нумерують у межах розділу;

– номер формули складається з номера розділу і порядкового номера формули в розділі, між якими ставлять крапку. Номери формул пишуть біля правого поля аркуша на рівні відповідної формули в круглих дужках, наприклад: (3.1) (перша формула третього розділу);

– нумерувати слід лише ті формули, на які є посилання в подальшому тексті. Інші – нумерувати не рекомендується;

– формули та рівняння розміщують безпосередньо після тексту, в якому вони згадуються, посередині сторінки.

– вище і нижче кожної формули або рівняння повинно бути залишено не менше одного вільного рядка. Пояснення значень символів і числових коефіцієнтів, що входять до формули чи рівняння, слід наводити безпосередньо під формулою у тій послідовності, в якій вони наведені у формулі чи рівнянні;

– у кожному додатку номер формули чи рівняння складається з великої літери, що позначає додаток, і порядкового номера формули або рівняння в цьому додатку, відокремлених крапкою, наприклад (А.3);

– пояснення значення кожного символу та числового коефіцієнта слід давати з нового рядка. Перший рядок пояснення починають без абзацного відступу словом «де» без двокрапки.

**Приклад:**

Граничну частоту транзистора f МГц, визначаємо за формулою:

f ≥ , (1.2)

де Q – скважність імпульсу;

t - тривалість імпульсу, с.

**5.7 Посилання**

– при написанні роботи потрібно посилатися на джерела, матеріали або окремі результати з яких наводяться в роботі, або на ідеях і висновках яких розроблюються проблеми, завдання, питання, вивченню яких присвячена робота. Такі посилання дають змогу відшукати документи, перевірити достовірність відомостей про цитування документа, забезпечують необхідну інформацію про нього, допомагають з'ясувати його зміст, мову тексту, обсяг;

– у разі посилання на структурні елементи самої роботи зазначають відповідно номери розділів, підрозділів, пунктів, підпунктів, позицій переліків, рисунків, формул, рівнянь, таблиць, додатків;

– посилаючись, треба використовувати такі вирази: «у розділі 4», «див. 2.1», «відповідно до 2.3.4.1», «(рисунок 1.3)», «відповідно до таблиці 3.2», «згідно з формулою (3.1)», «у рівняннях (1.23) - (1.25)», «(додаток Г)» тощо;

– дозволено в посиланні використовувати загальноприйняті та стандартизовані скорочення, наприклад, «згідно з рис. 10», «див. табл. 3.3» тощо;

– посилаючись на позицію переліку, треба зазначити номер структурного елемента звіту та номер позиції переліку з круглою дужкою, відокремлені комою. Якщо переліки мають кілька рівнів – їх зазначають, наприклад: «відповідно до 2.3.4.1, б), 2)»;

– посилання на джерело інформації, наведене в переліку джерел посилання, рекомендовано подавати так: номер у квадратних дужках, за яким це джерело зазначено в переліку джерел посилання, наприклад, «у роботі [2]», «[2, с. 12]», «[2; 4]»;

– коли використовують відомості, матеріали з монографій, оглядових статей, інших джерел з великою кількістю сторінок, тоді в посиланні необхідно точно вказати номери сторінок, ілюстрацій, таблиць, формул з джерела, на яке є посилання в роботі.

**Приклад:**

Цитата в тексті: «...галузь виробництва електронних та електричних засобів автоматизації буде і надалі розвиватися досить динамічно, тому знання основ технічної електроніки необхідні інженерові будь-якої спеціальності» [3, с. 102].

Відповідний опис у переліку посилань (списку використаної літератури):

3. Бойко В.І. Основи технічної електроніки. У двох книгах. Книга 2. Схемотехніка: Підручник. К.: Вища школа, 2007. 510 с.

Для підтвердження власних аргументів посиланням на авторитетне джерело або для критичного аналізу того чи іншого друкованого твору слід наводити цитати. Науковий етикет потребує точного відтворення цитованого тексту, оскільки найменше скорочення наведеного витягу може спотворити зміст, закладений автором.

Загальні вимоги до цитування такі:

а) текст цитати починається і закінчується лапками та наводиться в тій граматичній формі, в якій він поданий у джерелі, зі збереженням особливостей авторського написання;

б) цитування повинно бути повним, без довільного скорочення авторського тексту та без перекручень думок автора. Пропуск слів, речень, абзаців при цитуванні допускається без перекручення авторського тексту і позначається трьома крапками. Вони ставляться у будь-якому місці цитати (на початку, всередині, наприкінці);

в) кожна цитата обов'язково супроводжується посиланням на джерело;

г) при непрямому цитуванні (переказі, викладі думок інших авторів своїми словами), що дає значну економію тексту, слід бути гранично точним у викладенні думок автора, коректним щодо оцінювання його результатів і давати відповідні посилання на джерело.

**5.8 Оформлення списку використаної літератури**

– список використаних джерел – елемент бібліографічного апарату, який містить бібліографічні описи використаних джерел і розміщується після висновків;

– джерела можна розміщувати в один із таких способів: у порядку появи посилань у тексті (найбільш зручний для користування і рекомендований при написанні роботи), в алфавітному порядку прізвищ перших авторів або заголовків, у хронологічному порядку;

– відомості про джерела, включені до списку, необхідно давати відповідно до вимог ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання» (див. таблицю 5.1)

**Правила оформлення списку використаних джерел**

Джерела розміщують один за одним у порядку появи посилань у тексті роботи, де вказують у квадратних дужках номер джерела.

Таблиця 5.1 – Приклади оформлення бібліографічного опису списку використаної літератури, що наводять у розрахунково-графічній роботі

| Характеристика джерела | | Приклад оформлення |
| --- | --- | --- |
| 1 | | 2 |
| *Книга*  *Якщо один автор:* | | 1. Дичківська О. О. Інноваційний менеджмент : конспект лекцій. Київ : ДІА, 2018. 82 с.  2. Бондаренко В. Г. Історія України. Львів, 2017. 153 с.  3. Лазор О. Я. Державне управління у сфері реалізації екологічної політики в Україні: організаційно-правові засади : монографія. Львів : Ліга-Прес, 2003. 542 с. |
| *Якщо два автори:* | | 1. Мартиненко З. Е., Макар І. В. Управління підприємством: теоретикометодичні засади : монографія. Харків : Щедра садиба плюс, 2017. 296 с.  2. Палеха В. І., Карпова П. В. Менеджмент організацій : навч. посіб. Запоріжжя : ЗНУ, 2015. 120 с. |
| *Якщо три автори:* | | 1. Тарнавська Г. Я., Марценюк Н. С., Герасимова Т. М. Фінанси : навч. посіб. Львів : Магнолія 2006, 2017. 412 с.  2. Пустовенко В. В., Максименко І. Л., Яким А.С. Безпека життєдіяльності : монографія. Харків : ХНПУ, 2017. 348 с. |
| *Якщо чотири автори:* | | 1. Інновації : навч. посіб. / Гуревич Д. Т., Чекан О. С., Грибан О. М., Макарова В. В. Запоріжжя : ЗНУ, 2016. 389 с.  2. Вища математика : конспект лекцій / Ткачук Т.С. та ін. Київ, 2015. 82 с. |
| *Стаття у книзі*  Прізвище та ініціали першого автора Назва статті/ [П.І.Б. трьох авторів та інш.]/ Назва книги, рік.- Том, номер.- Сторінки. | | Бібик В.В. Тензорезистивні властивості багатошарових плівок Ni/V, Ni/Ti та Cr/Fe/ [Бібик В.В., Гричановська Т.М., Однодворець Л.В. та інш.]/ Харьковская нанотехнологическая Ассамблея-2007: Том ІІ. Тонкие пленки, 2007.- С. 108-119. |
| *Журнальна стаття*  Прізвище та ініціали першого автора Назва статті/ [П.І.Б. трьох авторів та інш.]// Назва журналу, рік.- Том, номер.- Сторінки. | | Odnodvorets L. Electrophysical properties of Ni/V and Cr/Fe multilayer [текст]/ [Odnodvorets L., Protsenko S., Synashenko O. et oll.]// Cryst. Res. Technol.- 2008.- V.44.- P.74-81. |
| *Тези доповідей, матеріали конференцій* | | Зінчук Т. О. Економічні наслідки впливу продовольчих органічних відходів на природні ресурси світу. Органічне виробництво і продовольча безпека : зб. матеріалів доп. учасн. ІІ Міжнар. наук.-практ. конф. Житомир : Полісся, 2014. С. 103–108. Скидан О. В., Судак Г. В. Розвиток сільськогосподарського підприємництва на кооперативних засадах. Кооперативні читання: 2013 рік : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., 4-6 квіт. 2013 р. Житомир : ЖНАЕУ, 2013. С. 87-91. |
| *Статті з продовжуючих та періодичних видань* | | Якобчук В. П. Стратегічні пріоритети інноваційного розвитку підприємництва в аграрній сфері. Вісник Київського національногоуніверситету ім. Т. Шевченка. Сер. Економіка. 2013. Вип. 148. С. 31-34. Масловська Л. Ц., Савчук В. А. Оцінка результативності і ефективності виробництва органічної агропродовольчої продукції. Агросвіт. 2016. № 6. С. 23-28. |
| **Електронні ресурси** | | |
| *Книги* | | Ілляшенко С. М., Шипуліна Ю. С. Товарна інноваційна політика : підручник. Суми : Університетська книга, 2007. 281 с. URL: ftp://lib.sumdu.edu.ua/Books/1539.pdf (дата звернення: 10.11. 2017). |
| *Законодавчі документи* | | Про стандартизацію : Закон України від 11 лют. 2014 р. № 1315. URL: http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/1315- 18 (дата звернення: 02.11.2017). Концепція Державної цільової програми розвитку аграрного сектору економіки на період до 2020 року : проект / М-во аграр. політики та продовольства України. URL: http://minagro.gov.ua/apk?nid=16822 (дата звернення: 13.10.2017). |
| *Періодичні видання* | Клітна М. Р., Брижань І. А. Стан і розвиток органічного виробництва та ринку органічної продукції в Україні. Ефективна економіка. 2013. № 10. URL: http://www.m.nayka.com.ua/?op= 1&j=efektyvnaekonomika&s =ua&z=2525 (дата звернення: 12.10.2017). Neave H. Deming's 14 Points for Management: Framework for Success. Journal of the Royal Statistical Society. Series D (The Statistician). 2012. Vol. 36, № 5. P. 561-570. URL: http://www2. fiu.edu/~revellk/pad3003/Neave.pdf (Last accessed: 02.11.2017). Colletta L. Political Satire and Postmodern Irony in the Age of Stephen Colbert and Jon Stewart. Journal of Popular Culture. 2009. Vol. 42, № 5. P. 856-874. DOI: 10.1111/j.1540-5931.2009.00711.x | |
| *Сторінки з веб сайтів* | Що таке органічні продукти і чим вони кращі за звичайні? Екологія життя : веб-сайт. URL: http://www.eco-live.com.ua (дата звернення: 12.10.2017). | |
| **Інші документи** | | |
| *Законодавчі і нормативні документи (інструкції, накази)* | Про внесення змін до Закону України «Про бухгалтерський облік та фінансову звітність в Україні» щодо удосконалення деяких положень : Закон України від 5 жовт. 2017 р. № 2164. Урядовий кур’єр. 2017. 9 листоп. Інструкція про порядок нарахування і сплати єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування : затв. наказом М-ва фінансів України від 20 квіт. 2015 р. № 449. Все про бухгалтерський облік. 2015. № 51. С. 21-42. | |
| *Стандарти* | ДСТУ ISO 9001: 2001. Системи управління якістю. [Чинний від 2001-06-27]. Київ, 2001. 24 с. (Інформація та документація). СОУ–05.01-37-385:2006. Вода рибогосподарських підприємств. Загальні вимоги та норми. Київ : Міністерство аграрної політики України, 2006. 15 с. (Стандарт Мінагрополітики України) | |
| *Патенти* | Комбайн рослинозбиральний універсальний : пат. 77937 Україна : МПК A01D 41/02, A01D 41/04, A01D 45/02. № а 2011 09738 ; заявл. 05.08.2011 ; опубл. 11.03.2013, Бюл. № 5. | |
| *Авторські свідоцтва* | А. с. 1417832 СССР, МКИ A 01 F 15/00. Стенка рулонного пресс подборщика / В. Б. Ковалев, В. Б. Мелегов. № 4185516 ; заявл. 22.01.87 ; опубл. 23.08.88, Бюл. № 31. | |
| *Дисертації, автореферати дисертацій* | Романчук Л. Д. Оцінка джерел надходження радіонуклідів до організму мешканців сільських територій Полісся України : дис. … д-ра с.-г. наук : 03.00.16 / Житомир. нац. агроекол. ун-т. Житомир, 2011. 392 с. Романчук Л. Д. Оцінка джерел надходження радіонуклідів до організму мешканців сільських територій Полісся України : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра с.-г. наук : 03.00.16. Житомир, 2011. 40 с. | |

**5.9 Додатки**

* додатки оформляють як продовження роботи на наступних її сторінках, розміщуючи їх у порядку появи посилань у тексті;
* кожний додаток повинен починатися з нової сторінки;  
  посередині листа друкується слово «Додаток» і велика літера, що позначає додаток;
* додатки слід позначати послідовно великими літерами української абетки, за винятком літер Ґ, Є, З, І, Ї, Й, О, Ч, Ь, наприклад: додаток А, додаток Б. Один додаток позначається як додаток А.

**6 МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ**

**ВСТУП**

У вступі коротко викладають: оцінку сучасного стану проблеми, існуючі проблеми знань у даній предметній області, актуальність даної роботи, мету роботи та область застосування. Вступ розміщують на окремій сторінці. Обсяг вступу 1 аркуш.

**Розділ 1 Огляд існуючих пристроїв**

* 1. **Призначення пристрою**

Основний теоретичний розділ проекту, у якому проявляються знання студентів по відповідних розділах курсу, уміння користуватися технічною літературою, елементи творчості та уміння, вибравши критерії, провадити порівняльний аналіз, відшукати найбільш просте й економічне рішення. Вихідні дані для написання цього розділу:

* література, що рекомендована керівником в завданні на курсовий проект; джерела, зазначені у відповідному розділі бібліографічного відділу бібліотеки; журнальні статті, опубліковані за останні 3-4 роки;
* описи винаходів або патентів по темі проекту.

Роблячи аналітичний огляд літератури, необхідно класифікувати різні рішення завдання, визначити переваги і недоліки, дати оцінку кращого відомого варіанта.

Огляд літератури повинен вміщувати в себе аналіз технічних та наукових джерел за темою роботи, в якому необхідно показати актуальність поставленної задачі, визначити місце пристрою, що розробляється, в області його застосування, провести порівняльний аналіз відомих технічних рішень.

**1.2 Область застосування**

|  |
| --- |
| Зробити огляд літератури із заданої теми, що повинен вміщувати в себе аналіз технічних та наукових джерел за темою роботи, в якому необхідно показати актуальність поставленної задачі, визначити місце пристрою, що розробляється, в області його застосування, провести порівняльний аналіз відомих технічних рішень.  **Розділ 2 Характеристика пристрою**  Пояснити, коли виникає потреба в певному електронному приладі, і в чому полягає принцип дії.  Назвіть основні параметри і вкажіть характеристики приладу.  Цей розділ містить оцінку вибору прикладеного варіанта пристрою і його конструкцій з технічної сторони. При виконанні розрахунково-графічної роботи неможливо оцінити спроектований пристрій по всіх перерахованих показниках через відсутність необхідних даних. Тому варто обмежитися доступними для розрахунку показниками.  На підставі аналітичного огляду і власного підходу до поставленого завдання вибирається алгоритм функціонування проектованого пристрою. Вибору алгоритму може передувати вибір методу рішення завдання (наприклад, метод виміру певного параметра).  **Розділ 3 Методика розрахунку параметрів схеми** |

Тут виконуються всі основні схемотехнічні розрахунки. Як правило, необхідно розрахувати всі елементи (резистори, конденсатори, котушки індуктивності, лінії затримки, трансформатори), обґрунтувати вибір транзисторів, діодів, мікросхем.

Електричний розрахунок каскадів варто починати з вихідного каскаду, оскільки вид навантаження, як правило, заданий, а за результатами розрахунку можуть бути обчислені вхідні параметри, що визначають навантаження попереднього каскаду.

Розрахунок кожного каскаду являє собою окремий закінчений параграф, що повинен ґрунтуватися на заданих технічних умовах і результатах ескізного розрахунку функціональної схеми.

Для розрахунку використовуються методики, викладені в рекомендованій літературі. У тих випадках, коли такі методики відсутні, варто зробити аналіз схеми, одержати необхідні співвідношення для вторинних параметрів, а потім перетворити їх та одержати вирази для розрахунку компонентів.

Розрахунок кожного підсилювального каскаду повинен містити:

* принципову та еквівалентну схеми кожного каскаду, що розраховується;
* вихідні дані для розрахунку із значеннями величин і параметрів, які необхідно розрахувати;
* завдання розрахунку із зазначенням величин і параметрів, які необхідно розрахувати;
* розрахунок каскаду по постійному струму, що повинен містити вибір та обґрунтування положення робочої точки підсилювального елемента;
* розрахунок каскаду по змінному струму, супроводжуваний короткими текстовими поясненнями;
* висновок, у якому коротко підводиться підсумок розрахунку та виділяються ті його результати, які необхідні для подальших розрахунків.

У випадку застосування декількох ідентичних каскадів докладний розрахунок приводиться тільки для одного каскаду. Для інших каскадів даються результати розрахунку.

Ha підставі отриманих при розрахунках значень опорів і ємностей обирають резистори та конденсатори з номінальними значеннями по тому чи іншому стандартизованому ряду. Вибір ряду визначається допустимою похибкою значення параметра компонента.

Транзистори та мікросхеми вибирають по довідниках. При цьому варто виходити з їхньої необхідної швидкодії (часу затримки, верхньої граничної частоти, максимальної швидкості зростання напруги), потужності, конструктивних характеристик. Мікросхеми треба вибирати однієї серії або групи. Як правило, загальною вимогою є наявність цифрової індикації в пристрої. Тому необхідно обрати відповідний індикаторний дисплей або сигнальний елемент і зробити розрахунок ланцюгів їхнього керування.

1.1. МЕТА розрахунку

Метою даної розрахунково-графічної роботи є набуття навиків розрахунку підсилювачів змінного струму, на разі – підсилювача низької частоти (ПНЧ), на етапі ескізного проектування.

1.2. Теоретичні відомості, необхідні для виконання розрахунку

Для виконання розрахунку необхідно знати основні параметри та характеристики підсилювачів змінного струму, принцип їхньої побудови і дії, методи розрахунку.

1.3. Вихідні дані

Вихідними даними для розрахунку є:

1. *Рвих*, Вт – потужність на виході підсилювача;
2. *Rн*, Ом – опір навантаження;
3. *Uвх*, мВ – напруга джерела вхідного сигналу;
4. *Rдж*, Ом – внутрішній опір джерела сигналу;
5. (*fн – fв*), Гц – нижня та верхня межі частот, що підсилюються.

Варіанти вихідних даних наведені у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Вихідні дані для ескізного розрахунку ПНЧ

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер за списком | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| десятки | одиниці |
| *Рвих*, Вт |  | 0,5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 0,5 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| *Rн*, Ом |  | 15 | 8 | 4 | 4 | 4 | 15 | 8 | 4 | 4 | 4 |
|  | *Uвх*, мВ | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|  | *Rдж*, Ом | 100 | 220 | 330 | 470 | 510 | 630 | 750 | 1000 | 1200 | 2000 |
|  | (*fн* *– fв*), Гц | 50 – 20000 | | | | | | | | | |

Приклад вибору варіанта для номера 32:

з колонки 3 маємо – *Рвих* = 3 Вт, *Rн* = 4 Ом;

з колонки 2 – Uвх = 30 мВ, Rдж = 330 Ом, (fн - fв) = (50–20000) Гц.

1.4. Теоретичні пояснення

ПНЧ призначені для підсилення безперервних періодичних сигналів, частотний спектр яких знаходиться у межах від десятків герц до десятків кілогерц. Сучасні ПНЧ будуються переважно на біполярних та польових транзисторах у дискретному або інтегральному виконанні.

Функція ПНЧ полягає у отриманні на заданому опорі навантажувального пристрою сигналу потрібної потужності від джерела малої потужності, у якості якого може бути мікрофон, звукознімач, фотоелемент, індукційний датчик та ін. Навантаженням може бути гучномовець, вимірювальний прилад (вольтметр, осцилограф), наступний підсилюючий каскад та ін.

При побудові сучасних ПНЧ використовується велика кількість схем та схемотехнічних прийомів. Серед них можна виділити найбільш типові.

Схема одного з найрозповсюдженіших каскадів попереднього підсилення – каскад підсилення з СЕ. Такий каскад, порівняно з каскадами з СК та СБ, має найбільший коефіцієнт підсилення за потужністю.

Вихідні каскади ПНЧ будуються за одно- або двотактною схемами, з трансформаторним зв`язком або безтрансформаторні.

У трансформаторних каскадах навантаження підмикається через трансформатор, що забезпечує узгодження вихідного опору каскаду з опором навантаження. Також трансформатор забезпечує узгодження передкінцевого каскаду, що зазвивичай працює у режимі класу А, з вихідним каскадом, який працює у режимі класу В або АВ.

Останнім часом, в основному (особливо у інтегральному виконанні), застосовують безтрансформаторні підсилювачі.

Завданнями попереднього розрахунку ПНЧ є наступне.

1. Розробка технічного завдання (ТЗ), тобто визначення основних показників, які повинен мати ПНЧ, що проектується.

У ТЗ наводиться напруга джерела вхідного сигналу *Uвх*; діапазон частот сигналу, що підсилюється (*fн – fв*); напруга *Uвих* та потужність *Рвих* на виході підсилювача; коефіцієнти частотних викривлень на нижній частоті діапазону *Мн* та нелінійних викривлень *Кн*; система живлення.

Ці основні вихідні дані можуть бути доповнені спеціальними вимогами, зумовленими призначенням та умовами роботи ПНЧ.

Розробка структурної схеми ПНЧ з наведенням технічних вимог до окремих її вузлів: орієнтовно вибирають типи транзисторів окремих каскадів, розподіляють по каскадах загальний коефіцієнт підсилення, частотні та нелінійні викривлення, визначають параметри, що регулюються – підсилення, тембр та ін.

1.5. Приклад попереднього (ескізного) розрахунку ПНЧ

1.5.1. Вихідні дані:

1. необхідна потужність на виході ПНЧ *Рвих* = 2,5 Вт;
2. опір навантаження *Rн* = 5 Ом;
3. напруга джерела вхідного сигналу *Uвх* = 60 мВ;
4. внутрішній опір джерела сигналу *Rдж* = 250 Ом;
5. діапазон частот *fн* = 50 Гц, *fв* = 20000 Гц.

Вважаємо, що ПНЧ працює у стаціонарних умовах. Температура оточуючого середовища: *Тmin* = +15 оС ; *Тmax* = +25 оС.

1.5.2. Необхідно визначити:

1. коефіцієнт підсилення ПНЧ за потужністю *КР*;
2. тип схеми вихідного (кінцевого) каскаду;
3. типи транзисторів каскадів підсилення;
4. кількість каскадів підсилення (структурну схему ПНЧ);

орієнтовну електричну принципову схему ПНЧ.

1.5.3. Порядок розрахунку

1.5.3.1. Знаходимо потужність вхідного сигналу.

Зауважимо, що найбільша потужність віддається у навантаження, якщо його опір дорівнює внутрішньому опору джерела. Тоді

|  |  |
| --- | --- |
| ; | *(1.1)* |

де *Rвх* – вхідний опір першого каскаду ПНЧ (*Rвх* = *Rдж*).

|  |
| --- |
| Маємо  Вт. |

1.5.3.2. Знаходимо необхідний коефіцієнт підсилення за потужністю.

У загальному випадку рівність *Rвх* = *Rдж* не виконується, а опір навантаження ПНЧ не дорівнює опору кінцевого каскаду. Тому на вході та виході ПНЧ можуть бути застосовані узгоджуючі трансформатори, на яких буде губитися частина потужності корисного сигналу. Крім того в ПНЧ зазвичай застосовують регулятори рівня вихідного сигналу (для звукових ПНЧ – регулятори гучності), що також викликає деяке зниження потужності вихідного сигналу.

Виходячи з цього, коефіцієнт підсилення за потужністю розраховують за такою формулою:

|  |  |
| --- | --- |
| ; | *(1.2)* |

де *ηТвх* – к.к.д. вхідного трансформатора, задається у межах (0,7...0,8);

*ηТвих*– к.к.д. вихідного трансформатора, задається у межах (0,75...0,85);

*Крег* – коефіцієнт передачі регулятора рівня сигналу, задається у межах (0,3...0,5).

|  |
| --- |
| . |

Виразимо коефіцієнт підсилення за потужністю у децибелах:

|  |  |
| --- | --- |
| ; | *(1.3)* |
| дБ . | |

1.5.3.3. Попередньо вибираємо схему, тип підсилюючих приладів та орієнтовне значення коефіцієнта підсилення за потужністю вихідного каскаду. При цьому зважаємо на такі рекомендації:

1) при розрахунковій потужності вихідного каскаду до 50 мВт доцільно використовувати однотактну схему з малопотужним транзистором у режимі класу А;

2) за потужності, що перевищує 50 мВт, треба застосовувати двотактну схему, режим якої (клас АВ або В), потужність транзисторів (мала, середня чи велика) визначають, виходячи з конкретного значення *Рвих*.

Тип транзистора вихідного каскаду вибираємо за значенням максимально допустимої потужності, що розсіюється на його колекторі. Для цього знаходимо потужність, яку транзистор повинен віддавати у навантаження:

|  |  |
| --- | --- |
| , | *(1.4)* |

де *ηТвих* – коефіцієнт завантаження транзистора (приймається рівним 0,8), а потім знаходимо потужність, що споживається колекторним ланцюгом від джерела живлення:

1) для однотактного каскаду у режимі класу А:

|  |  |
| --- | --- |
| , | *(1.5)* |

де *ηвих.каск* – к.к.д. вихідного каскаду (для однотактного каскаду приймається приблизно 0,4 , а для двотактних від 0,6 до 0,7).

2) для двотактного каскаду в режимі класу АВ або В:

|  |  |
| --- | --- |
| , | *(1.6)* |

У нашому випадку *Рвих* = 2,5 Вт > 50 мВт, отже у якості вихідного каскаду можна вибрати двотактну трансформаторну схему підсилення, для якої

|  |
| --- |
| Вт; |
| ≈ 0,67 Вт. |

За знайденим значенням *РК* вибираємо тип транзистора вихідного каскаду з табл. 1.2. При цьому необхідно виконувати умови:

|  |  |
| --- | --- |
| *РК макс*> *РК* , *fh21E* >> *fв* , | *(1.7)* |

де *РКмакс* – максимально допустима потужність, що розсіюється на колекторі вибраного транзистора;

*fh21E* – гранична частота коефіцієнта передачі струму для вибраного типу транзистора у схемі з СЕ.

Таблиця 1.2 – Основні параметри деяких транзисторів

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип транзистора | Структура | РК макс,  мВт | h21E  (β) | fh21E ,  МГц | Граничний режим | | Клас за потужністю |
| UК макс,  В | IК макс,  мА |
| КТ 361 Г  КТ 3107 Е  КТ 315 Г | p-n-p  p-n-p  n-p-n | 150  300  150 | 50-350  120-220  50-350 | 250  200  250 | 35  20  35 | 50  100  100 | Малої  потужності |
| КТ 502 В  КТ 503 В | p-n-p  n-p-n | 500  500 | 40-120  40-120 | 5  5 | 60  60 | 300  300 | Середньої потужності |
| КТ 814 А  КТ 816 А  КТ 815 А  КТ 817 А | p-n-p  p-n-p  n-p-n  n-p-n | 1000  (10000)  1000  (25000)  1000  (10000)  1000  (25000) | >40  >20  >40  >20 | 3  3  3  3 | 40  40  40  40 | 1500  3000  1500  3000 | Великої  потужності |

\*) У дужках наведено потужність із додатковим тепловідводом

Вибираємо транзистор типу КТ815А з параметрами:

*РКмакс* = 10 Вт > 0,67 Вт; *fh21E* = 3 МГц >> 20 кГц .

У нашому випадку транзистор можна використовувати без додаткового охолодження (тепловідводу).

1.5.3.4. Вибираємо схему каскадів попереднього підсилення.

Виходячи з того, що для попереднього підсилення, як правило, використовують підсилювачі з СЕ.

У якості активного елемента застосуємо малопотужний транзистор КТ315 *n-p-n* типу, бо для вихідного каскаду також було обрано транзистор *n-p-n* типу.

1.5.3.5. Знаходимо орієнтовну кількість каскадів *m* та складаємо структурну схему ПНЧ.

За певних умов можна вважати, що кожний каскад підсилювача за схемою з СЕ забезпечує підсилення потужності приблизно на 20дБ. Тоді

|  |  |
| --- | --- |
| . | *(1.8)* |

Одержане значення *m* округляємо до найближчого більшого цілого, тобто *m*=4. Структурна схема ПНЧ наведена на рис. 1.1, де цифрами 1-3 позначено каскади попереднього підсилення, а цифрою 4 – вихідний (кінцевий) каскад.

1.5.3.6. На основі структурної схеми, з урахуванням вище вказаних міркувань, складаємо орієнтовну принципову схему ПНЧ, що наведена на рисунку 1.2.

У цій схемі каскади попереднього підсилення виконано на транзисторах *VT1-VT3*, а кінцевий – на транзисторах *VT4*,*VT5*. Резистор *R*9 є регулятором рівня вихідного сигналу. Конденсатор *С*10 – фільтр напруги живлення ПНЧ, а *RС-*фільтр *R*14*C*7 забезпечує додаткову фільтрацію напруги живлення каскадів попереднього підсилення (забезпечує виконання умов електромагнітної сумісності). Значення опору резистора *R*14, зазвичай, складає декілька десятків омів.



Рисунок 1.1 - ПНЧ. Схема структурна

|  |  |
| --- | --- |
| 1.5.3.7. Якщо для вихідного каскаду обрати безтрансформаторну схему, то з формули (1.2) треба вилучити величини *hТвх*і *hТвих*. Тоді матимемо:   |  | | --- | | ; |   . Отже *т* = 4. |

Оскільки безтрансформаторні кінцеві каскади найчастіше будуються на основі каскадів з СК, що не мають підсилення за напругою, то можна вважати значення їхнього підсилення за потужністю рівним 10 дБ. У такому разі підсилення чотирикаскадної схеми складе;

|  |
| --- |
| *>* 62 дБ , |

що відповідає завданню.

Орієнтовну електричну принципову схему безтрансформаторного ПНЧ наведено на рис. 1.3. Тут для забезпечення живлення кінцевого каскаду від однополярного джерела, його підмикання до передкінцевого каскаду і до навантаження здійснюється через конденсатори *С*8, *С*10 (ємність *С*10за великої потужності навантаження складає тисячі мікрофарад).

Транзистор *VT5* повинен мати такі ж параметри, як і *VT4* але бути протилежного типу провідності: вибираємо транзистор КТ814А *р-n-р* типу, комплементарний до КТ815А.

Кінцевий каскад працює в режимі класу АВ, що визначається подачею у режимі спокою на базу транзистора *VT4* напруги зміщення (*+UR16/*2), а на базу транзистора *VT5* напруги зміщення (-*UR16/*2). Опір резистора *R*16набагато менший за опір резисторів *R*15 і *R*17 (падіння напруги на ньому становить близько 1,5 В), тому напруга зміщення ±*UR16/*2 визначається струмом дільника *І ≈ ЕК/(R*15*+R*17*)* та її можна вважати рівною *ІR*16*/*2. Невелике значення напруги зміщення визначає незначний (десятки міліампер) наскрізний струм транзисторів *VT4* і *VT5* у режимі спокою. Струм у навантаженні при цьому відсутній. Оскільки опір *R*2 незначний, можна вважати, що за змінним струмом бази транзисторів *VT4* і *VT5* з’єднані.

Для забезпечення кращої температурної стабільності кінцевого каскаду замість резистора *R*16 застосовують 2-3 діоди, до того ж розміщують їх (приклеюють) на тому ж тепловідводі, що й транзистори *VT4* і *VT5*.

1.5.3.8. Отримані у результаті попереднього розрахунку дані є основою для остаточного розрахунку ПНЧ.

2.1 ОСТАТОЧНИЙ РОЗРАХУНОК КАСКАДУ ПОПЕРЕДНЬОГО ПІДСИЛЕННЯ ТРАНЗИСТОРНОГО ПНЧ

Для остаточного розрахунку каскаду попереднього підсилення транзисторного ПНЧ, що працює у класі А та виконаний за схемою з СЕ, вихідними даними є:

1. *Uвих.m*, В – амплітудне значення напруги на виході (на навантаженні) каскаду;
2. *Rн*, Ом – опір навантаження (вхідний опір наступного каскаду);
3. *ЕК*, В – напруга джерела живлення;
4. *fн*, Гц – нижня межа діапазону частот сигналу, що підсилюється;
5. *Мн* – допустиме значення коефіцієнта частотних викривлень у області нижніх частот.

Варіанти вихідних даних наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для остаточного розрахунку каскаду попереднього підсилення

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер по журналу | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| десятки | одиниці |
|  | *Uвих.m* , В | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 | 4,5 | 5 | 5,75 | 6,5 | 7,25 | 8 |
|  | *Rн*, Ом | 130 | 180 | 240 | 330 | 430 | 510 | 620 | 820 | 1000 | 1300 |
|  | *ЕК*, В | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 23 | 26 | 29 | 32 |
| *fн*, Гц |  | 50 | 75 | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 225 | 250 | 275 |
| *Мн* |  | 2,2 | 2,1 | 2 | 1,9 | 1,8 | 1,7 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 |

Приклад вибору варіанта для номера по журналу 32:

з колонки 3 маємо – *fн* = 125 Гц, *Мн* = 1,9;

з колонки 2 – *Uвих.m* = 3,5 В, *Rн* = 240 Ом, *ЕК* = 14 В.

2.1.1 Остаточний розрахунок є основною частиною роботи при проектуванні ПНЧ. При його виконанні розраховують параметри елементів кожного каскаду, ланцюгів міжкаскадних зв’язків, режими роботи транзисторів. Розрахунок зазвичай виконують у послідовності, зворотній послідовності проходження сигналу в ПНЧ: спочатку розраховують елементи кінцевого каскаду, потім – передкінцевого, а далі – каскадів попереднього підсилення. Така послідовність зумовлена орієнтацією розрахунку на забезпечення на навантаженні ПНЧ заданої вихідної потужності за допустимих значень нелінійних та частотних викривлень сигналу.

Елементи схеми вибирають з урахуванням вимог стандартів до конкретних типів компонентів. Так, резистори вибирають за номінальним значенням опору, найближчим до розрахункового, та за значенням потужності, що розсіюється в резисторі у робочому режимі. Конденсатори вибирають за номінальним значенням ємності, найближчим до розрахункового, та за значенням робочої напруги.

Номінальні значення опорів резисторів та ємностей конденсаторів (між іншим, як і номінальні значення параметрів будь-яких стандартних елементів) відповідають стандартним рядам, що, як правило, є десятковими рядами геометричної прогресії з знаменником , де *N* – кількість значень ряду. Номінальне значення параметру, що відповідає конкретній позиції ряду (від 1 до *N*) обчислюється як . Деякі ряди номінальних значень наведено у табл. 2.2. Так, для ряду Е24 маємо: *N* = 24; ; *а*0=1.

Таблиця 2.2 – Ряди номінальних значень

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Індекс ряду | Позиції ряду | Допустиме відхилення від номінального значення, % |
| Е 6 | 1,0; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8 | ± 20 |
| Е 12 | 1,0; 1,2; 1,5; 1,8; 2,2; 2,7; 3,3; 3,9; 4,7; 5,6; 6,8; 8,2 | ± 10 |
| Е 24 | 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4; 2,7; 3,0; 3,3; 3,6; 3,9; 4,3; 4,7; 5,1; 5,6; 6,2; 6,8; 7,5; 8,2; 9,1 | ± 5 |

Числу в індексі знаменника ряду відповідає кількість позицій ряду: так ряд Е24 має 24 номінальних значення у проміжку від 1 до 10 (більша кількість при допустимому відхиленні ± 5 % не потрібна).

Будь-яке номінальне значення ряду може бути помножене на множник 10m. Множники та їхні позначення наведені у табл. 2.3 (може бути, наприклад, 6,8 Ом; 680 Ом; 6,8 кОм; 68 кОм; 6,8 мкФ; 0,68 нФ; 6800 пФ і т.п.).

Номінальні значення деяких елементів, особливо давньої розробки, можуть відповідати іншим рядам.

Таблиця 2.3 – Множники для утворення десяткових часткових та кратних одиниць

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Множник 10m | Приставка | Параметр елемента | | | |
| Опір | | Ємність | |
| Назва | Позначення | Назва | Позначення |
| 109 | гіга | гігаом | ГОм |  |  |
| 106 | мега | мегаом | МОм |  |  |
| 103 | кіло | кілоом | КОм |  |  |
| 1 |  | ом | Ом | фарада | Ф |
| 10-3 | мілі | міліом | мОм |  |  |
| 10-6 | мікро |  |  | мікрофарада | мкФ |
| 10-9 | нано |  |  | нанофарада | нФ |
| 10-12 | піко |  |  | пікофарада | пФ |

Деякі найбільш розповсюджені типи резисторів, що виробляються для електронних пристроїв, наведено у табл. 2.4, а конденсаторів - у табл. 2.5.

Таблиця 2.4 – Постійні резистори

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Тип резистора | Діапазон опорів | Номінальна потужність, Вт |
| МЛТ | 1 Ом – 3,01 МОм  1 Ом – 5,1 МОм  1 Ом –10 МОм | 0,125  0,25; 0,5  1; 2 |
| С2 - 33 | 1 Ом – 3 МОм  1 Ом – 5,1 МОм  0,1 Ом – 5,1 МОм  1 Ом – 10 МОм  1 Ом – 22 МОм | 0,125  0,25  0,5  1  2 |

Таблиця 2.5 – Конденсатори постійної ємності

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номін. напру-га, В | *Номінальна ємність, мкФ* | | | | |
| *К 50-7* | *К 50-35* | *К 50-18* | *К10-17* | *К73-17* |
| 6,3 |  | 20; 30; 50; 100; 200; 500 | 220000 |  |  |
| 10 |  | 10; 20; 30; 50; 100; 200; 500; 1000; 2000; 5000 | 100000 |  |  |
| 16 |  | 5; 10; 20; 30; 50; 100; 200; 300; 1000; 2000; 5000 | 22000  68000  100000 |  |  |
| 25 |  | 2; 5; 10; 20; 30; 50; 100; 200; 500; 1000; 2000; 5000 | 15000  33000  100000 |  |  |
| 50 |  | 2; 5; 10; 20; 30; 50;100; 200; 500; 1000; 2000 | 4700  10000  15000  22000 | 0,001; 0,01; 0,022; 0,056 |  |
| 63 |  |  |  |  | 0,22; 0,33; 0,47; 0,68; 1; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7 |
| 100 |  | 0,5; 1; 2,5; 10; 20; 30; 50 | 2200  4700  10000 |  |  |
| 160 | 2; 50; 100; 200; 500 | 1,2; 5; 10; 20 |  |  | 1,5; 2,2 |
| 250 | 10; 20; 50; 100; 200 |  | 1000  4700 |  | 0,047; 0,068; 0,1; 0,15; 0,22; 0,33; 0,47; 0,68; 1 |
| 300 | 5; 10; 20; 50; 100; 200 |  |  |  |  |
| 350 | 10; 20; 50; 100 |  |  |  |  |
| 450 | 10; 20; 50; 100 |  |  |  |  |

Примітки до табл. 2.5:

1. якщо розрахункове значення ємності більше за максимальне номінальне конденсаторів даного типу, то необхідне значення ємності забезпечують за рахунок паралельного вмикання потрібної кількості конденсаторів;
2. якщо розрахункове значення робочої напруги більше за номінальне значення напруги конденсатора, то використовують послідовне вмикання конденсаторів.

3 Приклад остаточного розрахунку

каскаду попереднього підсилення з СЕ

**3.1. Вихідні дані**

У результаті попереднього розрахунку (розділ 1) було складено схему ПНЧ, у яку входять кілька однотипних каскадів попереднього підсилення з СЕ.

Виконаємо розрахунок каскаду за такими вихідними даними (загалом отримуються у результаті попереднього розрахунку):

1. амплітудне значення напруги на виході каскаду *Uвих.m*= 7,5 В;
2. опір навантаження *Rн*= 1200 Ом;
3. напруга джерела живлення *ЕК* = 30 В;
4. нижня межа частот *fн* = 75 Гц;
5. допустиме значення коефіцієнта викривлень у зоні нижчих частот *Мн* = 2,15.

Як і для попереднього розрахунку, вважаємо, що ПНЧ працює у стаціонарних умовах.

**3.2. Необхідно визначити:**

1. тип транзистора (уточнити правильність попереднього вибору);
2. режими роботи транзистора;
3. опори резисторів дільника *R*1, *R*2;
4. опір резистора колекторного навантаження *R*3;
5. опір резистора у ланцюгу емітера *R*4;
6. ємність розділяючих конденсаторів *С*1, *С*2;
7. ємність конденсатора в ланцюгу емітера *С*3;
8. гарантовані значення коефіцієнтів підсилення каскаду за струмом *КІ*, напругою *КU*, та потужністю *КР*.

При побудові схеми каскаду будемо використовувати елементи з допустимим відхиленням від номінального значення ± 5 % (виходячи з цього, у результатах розрахунку можна залишати не більше трьох значущих цифр).

**3.3. Порядок розрахунку**

3.3.1. Перевіримо правильність попереднього вибору транзистора:

1. допустима напруга між колектором та емітером повинна перевищувати напругу джерела живлення

|  |  |
| --- | --- |
| *UК max > EК* ; | *(3.1)* |

1. значення допустимого струму колектора повинне перевищувати максимальне значення струму у колекторному колі транзистора

|  |  |
| --- | --- |
| *IК max > I*0*К + IКm* , | *(3.2)* |

*де* I*0*К *– струм спокою у колі колектора;*

*IКm* – амплітуда змінної складової струму у колі колектора;

|  |  |
| --- | --- |
| *ІКт = Uвих.т / Rн≈* , | *(3.3)* |

де – *Rн≈*- еквівалентний опір навантаження каскаду за змінним струмом. При цьому *R*3 є навантаженням за постійним струмом.

Виходячи з того, що даний каскад є підсилювачем потужності, для забезпечення максимальної передачі потужності задаємо:

|  |  |
| --- | --- |
| *R3=Rн* , | *(3.4)* |

тобто *R*3 *=* 1200 Ом

(до речі, за умови підсилення напруги задають *R*3 *<< Rн*, а при підсиленні струму *R*3*>> Rн* – див. пп. 3.1 в [1]), тоді:

|  |
| --- |
| *Rн≈* Ом; |
| мА. |
| Для забезпечення економічності каскаду за мінімальних нелінійних викривлень обирають  мА*.* |

На підставі (3.1) та (3.2) необхідно вибрати транзистор, який би забезпечував:

|  |
| --- |
| *>* 30В;  *ІКmax >*  мА. |

За результатами попереднього розрахунку було обрано у якості підсилюючого елемента транзистор типу КТ315. За даними табл. 1.2 знаходимо, що заданим вимогам відповідає транзистор КТ315Г, у якого *UК max =* 35 В, *IК max* = 100 мА, *h21E =* 50 ... 350*, РКтах =* 150 мВт.

3.3.2. Знаходимо напругу між колектором та емітером транзистора у режимі спокою

|  |  |
| --- | --- |
| , | *(3.5)* |

де *Uост* – напруга між колектором та емітером, нижче якої при роботі каскаду виникають значні нелінійні викривлення з-за того, що у робочу зону попадають ділянки характеристик транзистора з значною кривизною.

Для малопотужних транзисторів, як правило, задають *Uост =* 1 В. Тоді

|  |
| --- |
| В. |

3.3.3. Знаходимо потужність, що виділяється на колекторі транзистора

|  |  |
| --- | --- |
| . | *(3.6)* |

При цьому необхідно забезпечувати виконання умови:

|  |  |
| --- | --- |
| *РК < РКmax* , | *(3.7)* |
| *РК  =* 13,8**.**8,5 = 117 < 150 мВт. | |

Таким чином, вибраний тип транзистора відповідає вимогам за потужністю.

3.3.4. Знаходимо опір навантаження у колі колектора. Виходячи із (3.4), маємо

*R*3 *=* 1200 Ом.

Потужність, що розсіюється в резисторі:

|  |  |
| --- | --- |
| . | *(3.8)* |
| Отже  Вт. | | |

За табл. 2.2 – 2.4 вибираємо резистор типу С2-33 потужністю 0,25 Вт з

опором 1200 Ом.

3.3.5. Знаходимо опір резистора *R*4 у ланцюгу термостабілізації

|  |  |
| --- | --- |
| . | *(3.9)* |

При цьому необхідно виконувати співвідношення:

|  |  |
| --- | --- |
| , | *(3.10)* |

що забезпечує незначне зниження динамічного діапазону каскаду і падіння напруги на *R*4, яке перевищує значення контактного потенціалу *p-n* переходу транзистора (для забезпечення умов температурної стабілізації режиму спокою каскаду). Отже:

|  |
| --- |
| Ом; |
| . |

Останнє відповідає умові (3.10).

Потужність, що розсіюється в *R*4:

|  |
| --- |
| Вт. |

За табл. 2.2 – 2.4 вибираємо резистор типу С2-33 потужністю 0,25 Вт з опором 360 Ом.

3.3.6. Знаходимо ємність конденсатора *С*3, що шунтує *R*4 за умови, що його опір на частоті *fн* повинен бути у 10 разів меншим за опір резистора *R*4:

|  |  |
| --- | --- |
| *С*3 *≥* , | *(3.11)* |

де множник 106 дозволяє отримувати значення ємності у мікрофарадах.

|  |
| --- |
| *С*3 *≥* мкФ. |

Робоча напруга на *С*3:

|  |
| --- |
| В. |

За табл. 2.2, 2.3, та 2.5 вибираємо конденсатор типу К50-35 ємністю 100 мкФ на напругу 6,3 В.

3.3.7. Знаходимо струм спокою бази транзистора

*І*0*Б = І*0*К /h21Е min , (3.12)*

*І*0*Б =* 13,8/50 = 0,276 мА.

3.3.8. Оскільки у відкритому стані транзистора напруга між його базою та емітером становить близько 0,6 В, то напруга спокою бази:

|  |  |
| --- | --- |
| *U*0*Б =* 0,6 В | *(3.13)* |

і можна знайти орієнтовне значення вхідного опору транзистора

|  |  |
| --- | --- |
| *Rвх = U*0*Б /І*0*Б*, | *(3.14)* |
| Ом. | |

3.3.9. Знаходимо значення опорів резисторів дільника *R*1, *R*2. Дільник підімкнено до напруги.

|  |  |
| --- | --- |
| В. | *(3.15)* |

Значення струму в дільнику вибирається у межах

|  |  |
| --- | --- |
| , | *(3.16)* |
| що забезпечує незалежність задання режиму спокою транзистора при зміні його параметрів під впливом температури, при заміні на інший і т.п. | |
| мА. | |

Падіння напруги на резисторі *R*4складає:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *UR*4*= (I*0*К +I*0*Б)R*4*,*  *UR*4*=* (13,8 + 0,276)**.** 360=5,07 В. | *(3.17)* | | |
| Тоді ; | *(3.18)* | |
| . | *(3.19)* | |
| Отже Ом;  Ом. | |

За табл. 2.2 – 2.4 вибираємо *R*1=15 кОм; *R*2=4,3 кОм.

Знаходимо потужність, що виділяється в резисторах *R*1 і *R*2:

|  |  |
| --- | --- |
| ; | *(3.20)* |
| ; | *(3.21)* |
| *РR1*= [(0,276+ 1,38)**.** 10-3]2 **.**15**.** 103 = 0,041 Вт;  *РR2*= (1,38**.** 10-3)2 **.** 4,3**.**103 = 0,008 Вт. | |

Із табл. 2.2 – 2.4 вибираємо резистори типу С2-33 потужністю 0,125 Вт.

3.3.10. Знаходимо ємність конденсатора *С*2 за умови забезпечення допустимого значення коефіцієнта частотних викривлень *Мн*:

|  |  |
| --- | --- |
| *С*2*≥* , | *(3.22)* |

значення якої отримується в мікрофарадах.

Робочу напругу *С*2 приймаємо рівною

|  |  |
| --- | --- |
| . | *(3.23)* |

Тоді

|  |
| --- |
| *С*2 *≥*  мкФ,  *В*. |

За табл. 2.2, 2.3, та 2.5 вибираємо конденсатор типу К73-17 ємністю 0,68 мкФ на напругу 250 В.

3.3.11. Знаходимо амплітудні значення струму й напруги на вході каскаду

|  |  |
| --- | --- |
| , | *(3.24)* |

де *h*21*Emin* – мінімальне значення коефіцієнта передачі струму в схемі з СЕ для обраного транзистора.

|  |  |
| --- | --- |
| мА. | |
| . | *(3.25)* |
| В. | |

Необхідна потужність вхідного сигналу

|  |  |
| --- | --- |
| , | *(3.26)* |
| Вт. | |

3.3.12. Знаходимо розрахункові коефіцієнти підсилення каскаду за струмом, напругою та потужністю:

|  |  |
| --- | --- |
| , | *(3.27)* |
| , | *(3.28)* |
| , | *(3.29)* |
| [*КР*]*дБ* дБ. | |

Раніше було прийнято значення коефіцієнта підсилення за потужністю 20 дБ, отже каскад розраховано вірно.

Більше того, навіть за мінімального значення коефіцієнта підсилення транзистора h21E min = 50, маємо запас за підсиленням. Діапазон можливих значень коефіцієнта підсилення у транзисторів досить широкий: для КТ315Г він складає h21E = 50 ... 350. Отже основний параметр може перевищувати своє мінімальне значення у сім разів!

На перший погляд це може здатися суттєвим недоліком, бо результати розрахунків, що ми отримали, виявилися, м’яко кажучи, досить приблизними.

3.3.13. Електричну принципову схему розрахованого каскаду підсилення з СЕ наведено в Додатку А.



Рисунок 3.1 – Каскад підсилення з СЕ

Вихідні дані для курсового проектування наведено в додатку Д.

**ВИСНОВКИ**

Висновки завершують роботу. Їх мета підведення підсумків проведених розрахунків. Висновки формулюють у вигляді окремих лаконічних і, головне, конкретних положень, які підсумовують результати проведених розрахунків. У пункти висновків можуть бути включені узагальнені цифрові дані.

**7 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА**

1. Матвієнко М.П. Основи електротехніки. Підручник. Київ, «Ліра -К», 2024- 228с.
2. Матвієнко М.П. Промислова електроніка. Підручник. Київ, «Ліра -К»,2021- 424с.
3. Бойко В.І. Основи технічної електроніки. У двох книгах. Книга 2. Схемотехніка: Підручник. / Бойко В.І., Гуржій А.М., Жуйков В.Я. К.: Вища школа, 2007. 510 с.
4. Бойко В.І. Схемотехніка електронних систем. У трьох книгах. Книга 1. Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої: Підручник. / Бойко В.І., Гуржій А.М., Жуйков В.Я. – К.: Вища школа, 2004. 366 с.
5. Бойко В.І., Гуржій А.М., Жуйков В.Я. та ін. Схемотехніка електронних систем. У трьох книгах. Книга 2. Цифрова схемотехніка: Підручник. К.: Вища школа, 2004. 408 с.
6. Бойко В.І., Гуржій А.М., Жуйков В.Я. та ін.. Схемотехніка електронних систем. У трьох книгах. Книга 3. Мікропроцесори та мікроконтролери: Підручник. К.: Вища школа, 2004. 455 с.
7. Колонтаєвський Ю.П., Сосков А.Г. Промислова електроніка та мікросхемотехніка. Теорія і практикум: Навчальний посібник. – К.: Каравела, 2003. 362 с.
8. Бойко В. І., Гуржій А. М., Жуйков В. Я. та ін.. Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої. К.: Вища школа, 2004. 510 с.
9. Колонтаєвський Ю. П., Сосков А. Г. Електроніка і мікросхемотехніка. К.: Каравела, 2009. 416 с.
10. Савицька М. П., Ботнар Л. Б. Аналогові електронні пристрої: Навчальний посібник. Модуль 2. Одеса: ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2009. 144 с.
11. Щупляк Н.М. Основи електроніки і мікроелектроніки: Навчальний посібник. – м.Дрогобич, 2012. – 217 с.
12. Квітка С.О., Яковлєв В.Ф. Електроніка та мікросхемотехніка. Суми: 2012. 350с.

**ДОДАТОК А***Приклад оформлення титульного аркуша*

**Міністерство освіти і науки України**

**Класичний фаховий коледж**

**Сумського державного університету**

**РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА**

з предмету «Схемотехніка»

студента 3 курсу 531 групи

спеціальності 171 «Електроніка»

освітньо-професійної програми

**«Виробництво електронних та**

**електричних засобів автоматизації»**

**Іваненка Петра Олексійовича**

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(дата) (підпис)

Керівник: викладач

**Бойко Лідія Костянтинівна**

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(дата) (підпис)

Оцінка \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

м. Конотоп 2025 р.

**ДОДАТОК Б, В***Приклад оформлення схеми електричної принципової та переліку елементів*

Змн.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дата

Арк.

47

РГР 171 – 25.01

Розроб.

П.І.Б.

Перевір.

Бойко Л.К.

Реценз.

Н. Контр.

Затверд.

Підсилювач напруги низької частоти.

Схема електрична принципова

Літ.

Аркушів

1

КФК СумДУ – 531



Поз.  
познач.

Змн.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дата

Арк.

1

РГР 171 – 25.01

Розроб.

ПІБ

Перевір.

Бойко Л.К.

Реценз.

Н. Контр.

Затверд.

Підсилювач напруги низької частоти.

Перелік елементів

Літ.

Аркушів

1

КФК СумДУ 531

Найменування

Примітка

Кіл.

Конденсатори

К50-35-25B-1000мкФ ОЖО 464.214 ТУ

C1,C2

2

Резистори

С2-23-0,5-300 Ом±5% ОЖО 467.104ТУ

R1

1

VT1

1

Транзистор КТ315 Ф610.336.358ТУ

Гніздо

Гніздо Г4.0 с ГОСТ 24733-81

XS1-XS4

4

**ДОДАТОК Г***Бланк рецензії на РГР*

Міністерство освіти і науки України

Класичний фаховий коледж Сумського державного університету

**РЕЦЕНЗІЯ**

**на розрахунково-графічну роботу**

з предмету «схемотехніка»

1. *студента 531 групи* Іванченка Дениса Сергійовича

**Розрахунок підсилювача напруги низької частоти**

Відповідність РГР завданню і встановленим вимогам:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Відповідність  завданню | *відповідає* |  |
| *не відповідає* |  |
| дотримання вимог оформлення | *текст РГР оформлено у відповідності до встановлених вимог* |  |
| *текст РГР оформлено з незначними порушеннями встановлених вимог* |  |
| *текст РГР оформлено з суттєвими порушеннями встановлених вимог* |  |

Ступінь розкриття теоретичних аспектів проблеми:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *понятійний апарат* | *сформовано* |  |
| *не сформовано* |  |
| *теоретичні аспекти проблеми розкриті* | *повністю* |  |
| *частково* |  |
| *не розкриті* |  |

Глибина і комплексність аналізу результатів:

|  |  |
| --- | --- |
| *висновки наявні та супроводжені коректними узагальненнями* |  |
| *висновки наявні, але узагальнення відсутні або некоректні* |  |
| *висновки відсутні* |  |

Допущені помилки в розрахунках:

|  |  |
| --- | --- |
| *помилки в розрахунках відсутні* |  |
| *допущені недоліки, що не виказують суттєвого впливу на остаточний результат* |  |
| *допущені математичні помилки, що мають суттєвий вплив на остаточний результат* |  |

Допущені помилки в оформленні додатків:

|  |  |
| --- | --- |
| *Креслення й iншi конструкторськi документи виконані без помилок* |  |
| *Креслення й iншi конструкторськi документи виконані з незначними недоліками та зауваженнями* |  |
| *Креслення й iншi конструкторськi документи виконані з грубими порушеннями вимог* |  |

Висновок:

|  |  |
| --- | --- |
| *до захисту* |  |
| *на доопрацювання* |  |

*« » 20 р.*

*Викладач Л.К.Бойко*

**ДОДАТОК Д***Вихідні дані для РГР*

***Варіант 01***

***«Попередній (ескізний) розрахунок підсилювача низької частоти»***

Потужність на виході підсилювача, **Pвих, = 3 Вт**

Опір навантаження **RН = 4 Ом**

Напруга джерела вхідного сигналу **UВХ = 10 мВ**

Внутрішній опір джерела сигналу **Rдж = 100 Ом**

Нижня та верхня межі частот, що підсилюються **(fН – fВ) = (50-20000) Гц**

***«Остаточний розрахунок каскаду попереднього підсилення ПНЧ, виконаного за схемою з СЕ»***

Амплітудне значення напруги на виході (на навантаженні) **Uвих.m = 2,5 В**

Опір навантаження (вхідний опір наступного каскаду) **RН = 10 Ом**

Напруга джерела живлення **EК = 10 В**

Нижня межа діапазону частот сигналу, що підсилюється **fН = 125 Гц**

Допустиме значення коефіцієнта частотних викривлень у області верхніх частот **Мн = 1,9 Гц**

***Варіант 02***

***«Попередній (ескізний) розрахунок підсилювача низької частоти»***

Потужність на виході підсилювача, **Pвих, = 3 Вт**

Опір навантаження **RН = 4 Ом**

Напруга джерела вхідного сигналу **UВХ = 20 мВ**

Внутрішній опір джерела сигналу **Rдж = 220 Ом**

Нижня та верхня межі частот, що підсилюються **(fН – fВ) = (50-20000) Гц**

***«Остаточний розрахунок каскаду попереднього підсилення ПНЧ, виконаного за схемою з СЕ»***

Амплітудне значення напруги на виході (на навантаженні) **Uвих.m = 3 В**

Опір навантаження (вхідний опір наступного каскаду) **RН = 180 Ом**

Напруга джерела живлення **EК = 12 В**

Нижня межа діапазону частот сигналу, що підсилюється **fН = 50 Гц**

Допустиме значення коефіцієнта частотних викривлень у області верхніх частот **Мн = 2,2 Гц**

***Варіант 03***

***«Попередній (ескізний) розрахунок підсилювача низької частоти»***

Потужність на виході підсилювача, **Pвих, = 3 Вт**

Опір навантаження **RН = 4 Ом**

Напруга джерела вхідного сигналу **UВХ = 40 мВ**

Внутрішній опір джерела сигналу **Rдж = 470 Ом**

Нижня та верхня межі частот, що підсилюються **(fН – fВ) = (50-20000) Гц**

***«Остаточний розрахунок каскаду попереднього підсилення ПНЧ, виконаного за схемою з СЕ»***

Амплітудне значення напруги на виході (на навантаженні) **Uвих.m = 4 В**

Опір навантаження (вхідний опір наступного каскаду) **RН = 330 Ом**

Напруга джерела живлення **EК = 16 В**

Нижня межа діапазону частот сигналу, що підсилюється **fН = 125 Гц**

Допустиме значення коефіцієнта частотних викривлень у області верхніх частот **Мн = 1,9 Гц**

***Варіант 04***

***«Попередній (ескізний) розрахунок підсилювача низької частоти»***

Потужність на виході підсилювача, **Pвих, = 3 Вт**

Опір навантаження **RН = 4 Ом**

Напруга джерела вхідного сигналу **UВХ = 50 мВ**

Внутрішній опір джерела сигналу **Rдж = 510 Ом**

Нижня та верхня межі частот, що підсилюються **(fН – fВ) = (50-20000) Гц**

***«Остаточний розрахунок каскаду попереднього підсилення ПНЧ, виконаного за схемою з СЕ»***

Амплітудне значення напруги на виході (на навантаженні) **Uвих.m = 4,5 В**

Опір навантаження (вхідний опір наступного каскаду) **RН = 430 Ом**

Напруга джерела живлення **EК = 18 В**

Нижня межа діапазону частот сигналу, що підсилюється **fН = 125 Гц**

Допустиме значення коефіцієнта частотних викривлень у області верхніх частот **Мн = 1,9 Гц**

***Варіант 05***

***«Попередній (ескізний) розрахунок підсилювача низької частоти»***

Потужність на виході підсилювача, **Pвих, = 3 Вт**

Опір навантаження **RН = 4 Ом**

Напруга джерела вхідного сигналу **UВХ = 60 мВ**

Внутрішній опір джерела сигналу **Rдж = 630 Ом**

Нижня та верхня межі частот, що підсилюються **(fН – fВ) = (50-20000) Гц**

***«Остаточний розрахунок каскаду попереднього підсилення ПНЧ, виконаного за схемою з СЕ»***

Амплітудне значення напруги на виході (на навантаженні) **Uвих.m = 5 В**

Опір навантаження (вхідний опір наступного каскаду) **RН = 510 Ом**

Напруга джерела живлення **EК = 20 В**

Нижня межа діапазону частот сигналу, що підсилюється **fН = 125 Гц**

Допустиме значення коефіцієнта частотних викривлень у області верхніх частот **Мн = 1,9 Гц**

***Варіант 06***

***«Попередній (ескізний) розрахунок підсилювача низької частоти»***

Потужність на виході підсилювача, **Pвих, = 3 Вт**

Опір навантаження **RН = 4 Ом**

Напруга джерела вхідного сигналу **UВХ = 70 мВ**

Внутрішній опір джерела сигналу **Rдж = 750 Ом**

Нижня та верхня межі частот, що підсилюються **(fН – fВ) = (50-20000) Гц**

***«Остаточний розрахунок каскаду попереднього підсилення ПНЧ, виконаного за схемою з СЕ»***

Амплітудне значення напруги на виході (на навантаженні) **Uвих.m = 5,75 В**

Опір навантаження (вхідний опір наступного каскаду) **RН = 620 Ом**

Напруга джерела живлення **EК = 23 В**

Нижня межа діапазону частот сигналу, що підсилюється **fН = 125 Гц**

Допустиме значення коефіцієнта частотних викривлень у області верхніх частот **Мн = 1,9 Гц**

***Варіант 07***

***«Попередній (ескізний) розрахунок підсилювача низької частоти»***

Потужність на виході підсилювача, **Pвих, = 3 Вт**

Опір навантаження **RН = 4 Ом**

Напруга джерела вхідного сигналу **UВХ = 80 мВ**

Внутрішній опір джерела сигналу **Rдж = 1000 Ом**

Нижня та верхня межі частот, що підсилюються **(fН – fВ) = (50-20000) Гц**

***«Остаточний розрахунок каскаду попереднього підсилення ПНЧ, виконаного за схемою з СЕ»***

Амплітудне значення напруги на виході (на навантаженні) **Uвих.m = 6,5 В**

Опір навантаження (вхідний опір наступного каскаду) **RН = 820 Ом**

Напруга джерела живлення **EК = 26 В**

Нижня межа діапазону частот сигналу, що підсилюється **fН = 125 Гц**

Допустиме значення коефіцієнта частотних викривлень у області верхніх частот **Мн = 1,9 Гц**

***Варіант 08***

***«Попередній (ескізний) розрахунок підсилювача низької частоти»***

Потужність на виході підсилювача, **Pвих, = 3 Вт**

Опір навантаження **RН = 4 Ом**

Напруга джерела вхідного сигналу **UВХ = 90 мВ**

Внутрішній опір джерела сигналу **Rдж = 1200 Ом**

Нижня та верхня межі частот, що підсилюються **(fН – fВ) = (50-20000) Гц**

***«Остаточний розрахунок каскаду попереднього підсилення ПНЧ, виконаного за схемою з СЕ»***

Амплітудне значення напруги на виході (на навантаженні) **Uвих.m = 7,25 В**

Опір навантаження (вхідний опір наступного каскаду) **RН = 1000 Ом**

Напруга джерела живлення **EК = 29 В**

Нижня межа діапазону частот сигналу, що підсилюється **fН = 125 Гц**

Допустиме значення коефіцієнта частотних викривлень у області верхніх частот **Мн = 1,9 Гц**

***Варіант 09***

***«Попередній (ескізний) розрахунок підсилювача низької частоти»***

Потужність на виході підсилювача, **Pвих, = 3 Вт**

Опір навантаження **RН = 4 Ом**

Напруга джерела вхідного сигналу **UВХ = 100 мВ**

Внутрішній опір джерела сигналу **Rдж = 2000 Ом**

Нижня та верхня межі частот, що підсилюються **(fН – fВ) = (50-20000) Гц**

***«Остаточний розрахунок каскаду попереднього підсилення ПНЧ, виконаного за схемою з СЕ»***

Амплітудне значення напруги на виході (на навантаженні) **Uвих.m = 8 В**

Опір навантаження (вхідний опір наступного каскаду) **RН = 1300 Ом**

Напруга джерела живлення **EК = 32 В**

Нижня межа діапазону частот сигналу, що підсилюється **fН = 125 Гц**

Допустиме значення коефіцієнта частотних викривлень у області верхніх частот **Мн = 1,9 Гц**

***Варіант 10***

***«Попередній (ескізний) розрахунок підсилювача низької частоти»***

Потужність на виході підсилювача, **Pвих, = 4 Вт**

Опір навантаження **RН = 4 Ом**

Напруга джерела вхідного сигналу **UВХ = 10 мВ**

Внутрішній опір джерела сигналу **Rдж = 100 Ом**

Нижня та верхня межі частот, що підсилюються **(fН – fВ) = (50-20000) Гц**

***«Остаточний розрахунок каскаду попереднього підсилення ПНЧ, виконаного за схемою з СЕ»***

Амплітудне значення напруги на виході (на навантаженні) **Uвих.m = 2,5 В**

Опір навантаження (вхідний опір наступного каскаду) **RН = 130 Ом**

Напруга джерела живлення **EК = 10 В**

Нижня межа діапазону частот сигналу, що підсилюється **fН = 150 Гц**

Допустиме значення коефіцієнта частотних викривлень у області верхніх частот **Мн = 1,8 Гц**

***Варіант 11***

***«Попередній (ескізний) розрахунок підсилювача низької частоти»***

Потужність на виході підсилювача, **Pвих, = 4 Вт**

Опір навантаження **RН = 4 Ом**

Напруга джерела вхідного сигналу **UВХ = 20 мВ**

Внутрішній опір джерела сигналу **Rдж = 220 Ом**

Нижня та верхня межі частот, що підсилюються **(fН – fВ) = (50-20000) Гц**

***«Остаточний розрахунок каскаду попереднього підсилення ПНЧ, виконаного за схемою з СЕ»***

Амплітудне значення напруги на виході (на навантаженні) **Uвих.m = 3 В**

Опір навантаження (вхідний опір наступного каскаду) **RН = 180 Ом**

Напруга джерела живлення **EК = 12 В**

Нижня межа діапазону частот сигналу, що підсилюється **fН = 150 Гц**

Допустиме значення коефіцієнта частотних викривлень у області верхніх частот **Мн = 1,8 Гц**

***Варіант 12***

***«Попередній (ескізний) розрахунок підсилювача низької частоти»***

Потужність на виході підсилювача, **Pвих, = 4 Вт**

Опір навантаження **RН = 84Ом**

Напруга джерела вхідного сигналу **UВХ = 30 мВ**

Внутрішній опір джерела сигналу **Rдж = 330 Ом**

Нижня та верхня межі частот, що підсилюються **(fН – fВ) = (50-20000) Гц**

***«Остаточний розрахунок каскаду попереднього підсилення ПНЧ, виконаного за схемою з СЕ»***

Амплітудне значення напруги на виході (на навантаженні) **Uвих.m = 3,5 В**

Опір навантаження (вхідний опір наступного каскаду) **RН = 240 Ом**

Напруга джерела живлення **EК = 14 В**

Нижня межа діапазону частот сигналу, що підсилюється **fН = 150 Гц**

Допустиме значення коефіцієнта частотних викривлень у області верхніх частот **Мн = 1,8 Гц**

***Варіант 13***

***«Попередній (ескізний) розрахунок підсилювача низької частоти»***

Потужність на виході підсилювача, **Pвих, = 4 Вт**

Опір навантаження **RН = 4 Ом**

Напруга джерела вхідного сигналу **UВХ = 40 мВ**

Внутрішній опір джерела сигналу **Rдж = 470 Ом**

Нижня та верхня межі частот, що підсилюються **(fН – fВ) = (50-20000) Гц**

***«Остаточний розрахунок каскаду попереднього підсилення ПНЧ, виконаного за схемою з СЕ»***

Амплітудне значення напруги на виході (на навантаженні) **Uвих.m = 4 В**

Опір навантаження (вхідний опір наступного каскаду) **RН = 330 Ом**

Напруга джерела живлення **EК = 16 В**

Нижня межа діапазону частот сигналу, що підсилюється **fН = 150 Гц**

Допустиме значення коефіцієнта частотних викривлень у області верхніх частот **Мн = 1,8 Гц**

***Варіант 14***

***«Попередній (ескізний) розрахунок підсилювача низької частоти»***

Потужність на виході підсилювача, **Pвих, = 4 Вт**

Опір навантаження **RН = 4 Ом**

Напруга джерела вхідного сигналу **UВХ = 50 мВ**

Внутрішній опір джерела сигналу **Rдж = 510 Ом**

Нижня та верхня межі частот, що підсилюються **(fН – fВ) = (50-20000) Гц**

***«Остаточний розрахунок каскаду попереднього підсилення ПНЧ, виконаного за схемою з СЕ»***

Амплітудне значення напруги на виході (на навантаженні) **Uвих.m = 4,5 В**

Опір навантаження (вхідний опір наступного каскаду) **RН = 430 Ом**

Напруга джерела живлення **EК = 18 В**

Нижня межа діапазону частот сигналу, що підсилюється **fН = 150 Гц**

Допустиме значення коефіцієнта частотних викривлень у області верхніх частот **Мн = 1,8 Гц**

***Варіант 15***

***«Попередній (ескізний) розрахунок підсилювача низької частоти»***

Потужність на виході підсилювача, **Pвих, = 4 Вт**

Опір навантаження **RН = 4 Ом**

Напруга джерела вхідного сигналу **UВХ = 60 мВ**

Внутрішній опір джерела сигналу **Rдж = 630 Ом**

Нижня та верхня межі частот, що підсилюються **(fН – fВ) = (50-20000) Гц**

***«Остаточний розрахунок каскаду попереднього підсилення ПНЧ, виконаного за схемою з СЕ»***

Амплітудне значення напруги на виході (на навантаженні) **Uвих.m = 5 В**

Опір навантаження (вхідний опір наступного каскаду) **RН = 510 Ом**

Напруга джерела живлення **EК = 20 В**

Нижня межа діапазону частот сигналу, що підсилюється **fН = 150 Гц**

Допустиме значення коефіцієнта частотних викривлень у області верхніх частот **Мн = 1,8 Гц**

***Варіант 16***

***«Попередній (ескізний) розрахунок підсилювача низької частоти»***

Потужність на виході підсилювача, **Pвих, = 4 Вт**

Опір навантаження **RН = 4 Ом**

Напруга джерела вхідного сигналу **UВХ = 70 мВ**

Внутрішній опір джерела сигналу **Rдж = 750 Ом**

Нижня та верхня межі частот, що підсилюються **(fН – fВ) = (50-20000) Гц**

***«Остаточний розрахунок каскаду попереднього підсилення ПНЧ, виконаного за схемою з СЕ»***

Амплітудне значення напруги на виході (на навантаженні) **Uвих.m = 5,75 В**

Опір навантаження (вхідний опір наступного каскаду) **RН = 620 Ом**

Напруга джерела живлення **EК = 23 В**

Нижня межа діапазону частот сигналу, що підсилюється **fН = 150 Гц**

Допустиме значення коефіцієнта частотних викривлень у області верхніх частот **Мн = 1,8 Гц**

***Варіант 17***

***«Попередній (ескізний) розрахунок підсилювача низької частоти»***

Потужність на виході підсилювача, **Pвих, = 4 Вт**

Опір навантаження **RН = 4 Ом**

Напруга джерела вхідного сигналу **UВХ = 80 мВ**

Внутрішній опір джерела сигналу **Rдж = 1000 Ом**

Нижня та верхня межі частот, що підсилюються **(fН – fВ) = (50-20000) Гц**

***«Остаточний розрахунок каскаду попереднього підсилення ПНЧ, виконаного за схемою з СЕ»***

Амплітудне значення напруги на виході (на навантаженні) **Uвих.m = 6,5 В**

Опір навантаження (вхідний опір наступного каскаду) **RН = 820 Ом**

Напруга джерела живлення **EК = 26 В**

Нижня межа діапазону частот сигналу, що підсилюється **fН = 150 Гц**

Допустиме значення коефіцієнта частотних викривлень у області верхніх частот **Мн = 1,8 Гц**

***Варіант 18***

***«Попередній (ескізний) розрахунок підсилювача низької частоти»***

Потужність на виході підсилювача, **Pвих, = 4 Вт**

Опір навантаження **RН = 4 Ом**

Напруга джерела вхідного сигналу **UВХ = 90 мВ**

Внутрішній опір джерела сигналу **Rдж = 1200 Ом**

Нижня та верхня межі частот, що підсилюються **(fН – fВ) = (50-20000) Гц**

***«Остаточний розрахунок каскаду попереднього підсилення ПНЧ, виконаного за схемою з СЕ»***

Амплітудне значення напруги на виході (на навантаженні) **Uвих.m = 7,25 В**

Опір навантаження (вхідний опір наступного каскаду) **RН = 1000 Ом**

Напруга джерела живлення **EК = 29 В**

Нижня межа діапазону частот сигналу, що підсилюється **fН = 150 Гц**

Допустиме значення коефіцієнта частотних викривлень у області верхніх частот **Мн = 1,8 Гц**

***Варіант 19***

***«Попередній (ескізний) розрахунок підсилювача низької частоти»***

Потужність на виході підсилювача, **Pвих, = 4 Вт**

Опір навантаження **RН = 4 Ом**

Напруга джерела вхідного сигналу **UВХ = 100 мВ**

Внутрішній опір джерела сигналу **Rдж = 2000 Ом**

Нижня та верхня межі частот, що підсилюються **(fН – fВ) = (50-20000) Гц**

***«Остаточний розрахунок каскаду попереднього підсилення ПНЧ, виконаного за схемою з СЕ»***

Амплітудне значення напруги на виході (на навантаженні) **Uвих.m = 8 В**

Опір навантаження (вхідний опір наступного каскаду) **RН = 1300 Ом**

Напруга джерела живлення **EК = 32 В**

Нижня межа діапазону частот сигналу, що підсилюється **fН = 150 Гц**

Допустиме значення коефіцієнта частотних викривлень у області верхніх частот **Мн = 1,8 Гц**

***Варіант 20***

***«Попередній (ескізний) розрахунок підсилювача низької частоти»***

Потужність на виході підсилювача, **Pвих, = 0,5 Вт**

Опір навантаження **RН = 15 Ом**

Напруга джерела вхідного сигналу **UВХ = 10 мВ**

Внутрішній опір джерела сигналу **Rдж = 100 Ом**

Нижня та верхня межі частот, що підсилюються **(fН – fВ) = (50-20000) Гц**

***«Остаточний розрахунок каскаду попереднього підсилення ПНЧ, виконаного за схемою з СЕ»***

Амплітудне значення напруги на виході (на навантаженні) **Uвих.m = 2,5 В**

Опір навантаження (вхідний опір наступного каскаду) **RН = 130 Ом**

Напруга джерела живлення **EК = 10 В**

Нижня межа діапазону частот сигналу, що підсилюється **fН = 175 Гц**

Допустиме значення коефіцієнта частотних викривлень у області верхніх частот **Мн = 1,7 Гц**

***Варіант 21***

***«Попередній (ескізний) розрахунок підсилювача низької частоти»***

Потужність на виході підсилювача, **Pвих, = 0,5 Вт**

Опір навантаження **RН = 15 Ом**

Напруга джерела вхідного сигналу **UВХ = 20 мВ**

Внутрішній опір джерела сигналу **Rдж = 220 Ом**

Нижня та верхня межі частот, що підсилюються **(fН – fВ) = (50-20000) Гц**

***«Остаточний розрахунок каскаду попереднього підсилення ПНЧ, виконаного за схемою з СЕ»***

Амплітудне значення напруги на виході (на навантаженні) **Uвих.m = 3 В**

Опір навантаження (вхідний опір наступного каскаду) **RН = 180 Ом**

Напруга джерела живлення **EК = 12 В**

Нижня межа діапазону частот сигналу, що підсилюється **fН = 175 Гц**

Допустиме значення коефіцієнта частотних викривлень у області верхніх частот **Мн = 1,7 Гц**

***Варіант 22***

***«Попередній (ескізний) розрахунок підсилювача низької частоти»***

Потужність на виході підсилювача, **Pвих, = 0,5 Вт**

Опір навантаження **RН = 15 Ом**

Напруга джерела вхідного сигналу **UВХ = 30 мВ**

Внутрішній опір джерела сигналу **Rдж = 330 Ом**

Нижня та верхня межі частот, що підсилюються **(fН – fВ) = (50-20000) Гц**

***«Остаточний розрахунок каскаду попереднього підсилення ПНЧ, виконаного за схемою з СЕ»***

Амплітудне значення напруги на виході (на навантаженні) **Uвих.m = 3,5 В**

Опір навантаження (вхідний опір наступного каскаду) **RН = 240 Ом**

Напруга джерела живлення **EК = 14 В**

Нижня межа діапазону частот сигналу, що підсилюється **fН = 175 Гц**

Допустиме значення коефіцієнта частотних викривлень у області верхніх частот **Мн = 1,7 Гц**

***Варіант 23***

***«Попередній (ескізний) розрахунок підсилювача низької частоти»***

Потужність на виході підсилювача, **Pвих, = 0,5 Вт**

Опір навантаження **RН = 15 Ом**

Напруга джерела вхідного сигналу **UВХ = 40 мВ**

Внутрішній опір джерела сигналу **Rдж = 470 Ом**

Нижня та верхня межі частот, що підсилюються **(fН – fВ) = (50-20000) Гц**

***«Остаточний розрахунок каскаду попереднього підсилення ПНЧ, виконаного за схемою з СЕ»***

Амплітудне значення напруги на виході (на навантаженні) **Uвих.m = 4 В**

Опір навантаження (вхідний опір наступного каскаду) **RН = 330 Ом**

Напруга джерела живлення **EК = 16 В**

Нижня межа діапазону частот сигналу, що підсилюється **fН = 175 Гц**

Допустиме значення коефіцієнта частотних викривлень у області верхніх частот **Мн = 1,7 Гц**

***Варіант 24***

***«Попередній (ескізний) розрахунок підсилювача низької частоти»***

Потужність на виході підсилювача, **Pвих, = 0,5 Вт**

Опір навантаження **RН = 15 Ом**

Напруга джерела вхідного сигналу **UВХ = 50 мВ**

Внутрішній опір джерела сигналу **Rдж = 510 Ом**

Нижня та верхня межі частот, що підсилюються **(fН – fВ) = (50-20000) Гц**

***«Остаточний розрахунок каскаду попереднього підсилення ПНЧ, виконаного за схемою з СЕ»***

Амплітудне значення напруги на виході (на навантаженні) **Uвих.m = 4,5 В**

Опір навантаження (вхідний опір наступного каскаду) **RН = 430 Ом**

Напруга джерела живлення **EК = 18 В**

Нижня межа діапазону частот сигналу, що підсилюється **fН = 175 Гц**

Допустиме значення коефіцієнта частотних викривлень у області верхніх частот **Мн = 1,7 Гц**

***Варіант 25***

***«Попередній (ескізний) розрахунок підсилювача низької частоти»***

Потужність на виході підсилювача, **Pвих, = 0,5 Вт**

Опір навантаження **RН = 15 Ом**

Напруга джерела вхідного сигналу **UВХ = 60 мВ**

Внутрішній опір джерела сигналу **Rдж = 630 Ом**

Нижня та верхня межі частот, що підсилюються **(fН – fВ) = (50-20000) Гц**

***«Остаточний розрахунок каскаду попереднього підсилення ПНЧ, виконаного за схемою з СЕ»***

Амплітудне значення напруги на виході (на навантаженні) **Uвих.m = 5 В**

Опір навантаження (вхідний опір наступного каскаду) **RН = 510 Ом**

Напруга джерела живлення **EК = 20 В**

Нижня межа діапазону частот сигналу, що підсилюється **fН = 175 Гц**

Допустиме значення коефіцієнта частотних викривлень у області верхніх частот **Мн = 1,7 Гц**

***Варіант 26***

***«Попередній (ескізний) розрахунок підсилювача низької частоти»***

Потужність на виході підсилювача, **Pвих, = 0,5 Вт**

Опір навантаження **RН = 15 Ом**

Напруга джерела вхідного сигналу **UВХ = 70 мВ**

Внутрішній опір джерела сигналу **Rдж = 750 Ом**

Нижня та верхня межі частот, що підсилюються **(fН – fВ) = (50-20000) Гц**

***«Остаточний розрахунок каскаду попереднього підсилення ПНЧ, виконаного за схемою з СЕ»***

Амплітудне значення напруги на виході (на навантаженні) **Uвих.m = 5,75 В**

Опір навантаження (вхідний опір наступного каскаду) **RН = 620 Ом**

Напруга джерела живлення **EК = 23 В**

Нижня межа діапазону частот сигналу, що підсилюється **fН = 175 Гц**

Допустиме значення коефіцієнта частотних викривлень у області верхніх частот **Мн = 1,7 Гц**

**Теоретичні питання до РГР**

|  |  |
| --- | --- |
| №варіанту | Теоретичне питання |
|  | Основні класифікації підсилювачів: за призначенням, частотним діапазоном, принципом дії, режимом роботи вихідного каскаду. |
|  | Основні параметри та характеристики підсилювачів: коефіцієнт підсилення (за напругою, струмом, потужністю), смуга пропускання, вхідний та вихідний опори, коефіцієнт нелінійних спотворень, динамічний діапазон. |
|  | Однокаскадні підсилювачі на біполярних транзисторах: схеми з загальним емітером, загальною базою, загальним колектором, їхні характеристики та області застосування. |
|  | Однокаскадні підсилювачі на польових транзисторах: схеми з загальним витоком, загальним затвором, загальним стоком, їхні характеристики та області застосування. |
|  | Багатокаскадні підсилювачі: послідовне та паралельне з'єднання каскадів, методи узгодження каскадів. |
|  | Підсилювачі з негативним зворотним зв'язком (НЗЗ): типи НЗЗ (за напругою/струмом на вході/виході), вплив НЗЗ на параметри підсилювача (коефіцієнт підсилення, смугу пропускання, спотворення, вхідний та вихідний опори). |
|  | Підсилювачі потужності: класи А, B, AB, C, D, їхні особливості, коефіцієнт корисної дії, спотворення. |
|  | Диференціальні підсилювачі: принцип дії, коефіцієнт підсилення диференціального та синфазного сигналів, коефіцієнт придушення синфазного сигналу. |
|  | Операційні підсилювачі (ОП): ідеальні та реальні параметри ОП, основні схеми включення ОП (інвертуючий, неінвертуючий, повторювач напруги). |
|  | Лінійні застосування операційних підсилювачів: підсилювачі постійного та змінного струму, суматори, віднімачі, інтегратори, диференціатори. |
|  | Нелінійні застосування операційних підсилювачів: компаратори, генератори імпульсів, фільтри. |
|  | Підсилювачі низької частоти (ПНЧ): особливості схемотехніки, вимоги до параметрів, типові схеми. |
|  | Підсилювачі високої частоти (ПВЧ): особливості схемотехніки, вплив паразитних ємностей та індуктивностей, методи узгодження на високих частотах. |
|  | Імпульсні підсилювачі: особливості формування імпульсних сигналів, ключові режими роботи транзисторів. |
|  | Параметричні підсилювачі: принцип дії, області застосування. |
|  | Малошумливі підсилювачі: джерела шумів у підсилювачах, методи зниження рівня шумів. |
|  | Підсилювачі з регульованим коефіцієнтом підсилення (АРКП). |
|  | Захист підсилювачів від перевантажень за струмом та напругою. |
|  | Стабілізація робочої точки транзисторних підсилювачів: методи та схемотехнічні рішення. |
|  | Частотна корекція підсилювачів з негативним зворотним зв'язком для забезпечення стійкості. |
|  | Сучасні тенденції розвитку підсилювальної техніки: інтегральні підсилювачі, цифрові підсилювачі. |
|  | Порівняльний аналіз різних типів підсилювачів для конкретних застосувань (наприклад, підсилювач звукової частоти для аудіосистеми). |
|  | Енергоефективність підсилювачів: класи роботи та методи підвищення ККД. |
|  | Моделювання та аналіз підсилювальних схем за допомогою програмних засобів (наприклад, Multisim, LTSpice). |
|  | Історія розвитку підсилювальної техніки: ключові етапи та винаходи. |
|  | Потужні трансформаторні підсилювачі |