

**Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія (ДДМА)**

ЕЛЕКТРОНІКА ТА МІКРОПРОЦЕСОРНА ТЕХНІКА

**Методичні вказівки
до виконання курсової роботи
для здобувачів освіти першого (бакалаврського) рівня
спеціальності 174
«Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»**

Затверджено на засіданні
кафедри «Автоматизація
виробничих процесів»,
протокол №8 від 20.05.24р.

Краматорськ - Тернопіль
ДДМА
2024

Електроніка та мікропроцесорна техніка : методичні вказівки до виконання курсової роботи для здобувачів освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» / уклад.: С. П. Сус. – Краматорськ - Тернопіль: ДДМА, 2024. – 50 с.

Містять приклади розрахунку різних підсилювальних каскадів та джерел живлення з наступним їх моделюванням. Приведені основні вимоги до оформлення пояснювальної записки.

Укладач: С. П. Сус, доц.

Відп. за випуск А. В. Люта, доц.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Загальні положення.....	5
2 Методика розрахунку підсилювачів потужності.....	6
2.1 Розрахунок вихідних каскадів підсилювачів потужності.....	6
2.2 Моделювання вихідних каскадів підсилювачів потужності.....	8
3 Методика розрахунку проміжних каскадів.....	9
3.1 Розрахунок каскаду на транзисторі зі спільним емітером.....	9
3.2 Розрахунок каскаду на транзисторі зі спільним колектором.....	12
3.3 Розрахунок емітерного повторювача з високим вхідним опором.....	15
3.4 Розрахунок каскаду зі спільним витоком.....	19
3.5 Розрахунок каскаду зі спільним стоком.....	22
3.6 Розрахунок підсилювальних каскадів на операційних підсилювачах...	25
4 Дослідження роботи всього підсилювача.....	30
5 Проектування блока живлення.....	32
5.1 Вибір стабілізатора.....	32
5.2 Розрахунок однофазних випрямлячів з фільтром.....	32
6 Порядок виконання та захисту курсової роботи.....	36
6.1 Виконання курсової роботи.....	36
6.2 Критерії оцінювання курсової роботи.....	36
6.3 Порядок оскарження результатів оцінювання курсової роботи.....	38
Використана література.....	39
Додаток А – Правила оформлення текстових документів	40
Додаток Б – Приклад титульного аркушу.....	48
Додаток В – Приклад технічного завдання.....	49

ВСТУП

Не дивлячись на те, що існують машинні методи схемо-технічного проектування сучасної електронної апаратури, часто виникає необхідність розрахунку типових електронних вузлів і пристроїв з наступним уточненням отриманих результатів за допомогою моделюючих програм або експериментальним шляхом – макетуванням, де достовірність результатів переважно є вищою, ніж отриманих при моделюванні.

При проектуванні електронних пристроїв необхідні характеристики можуть бути отримані при використанні різних схем та при різних параметрах елементів в ідентичних схемах. Тому при виборі певного варіанта побудови електронного пристрою доводиться якісно оцінювати ряд показників і, на основі суб'єктивної оцінки, правильність якої залежить від досвіду проектувальника, приймається попереднє рішення про доцільність використання тієї чи іншої структури і принципової схеми.

Можливий варіант, при якому детальний розрахунок покаже, що при використанні даної схеми не вийде отримати необхідні параметри або характеристики. В цьому випадку доведеться змінити намічену спочатку схему.

При проектуванні найбільш часто доводиться одночасно оцінювати такі показники, як ступінь складності пристрою, його вартість, уніфікацію компонентів схеми, складність настройки, надійність, тощо. Якість оцінки сукупності цих та інших показників багато в чому залежить від досвіду розробника. Для отримання позитивних результатів він повинен добре уявляти варіанти і технічні прийоми вирішення поставленого технічного завдання.

Виконання курсової роботи починається з ознайомлення із технічною літературою з даного питання. В результаті з'явиться чітке уявлення про підходи, які використовуються при створенні електронних пристроїв даного цільового призначення, і технічні прийоми, що забезпечують отримання необхідних параметрів і характеристик.

Слід пам'ятати, що основною тенденцією в проектуванні сучасних електронних пристроїв є максимальне використання типових електронних функціональних вузлів – інтегральних мікросхем. І тільки у випадках, коли задані в технічних умовах параметри і характеристики неможливо забезпечити за допомогою інтегральних мікросхем, слід доповнити їх схемами, виконаними на дискретних елементах.

Вивчивши літературні джерела з даного питання і отримавши загальне уявлення про номенклатуру та параметри дискретних елементів та інтегральних мікросхем, що випускаються промисловістю, можна перейти до вибору структурної схеми проектованого пристрою.

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Задача курсової роботи – набуття навичок проектування електронних пристроїв на основі теоретичних знань, отриманих при вивченні дисципліни «Електроніка та мікропроцесорна техніка», при цьому студент закріплює теоретичні знання, поглиблює та узагальнює їх шляхом вирішення конкретної інженерної задачі. Робота має складатися із пояснювальної записки і графічної документації.

Пояснювальна записка – це технічний документ, який містить систематизовані відомості про пристрій, принцип його дії, а також обґрунтування використаних техніко-економічних і технічних рішень.

На підставі порівняльної оцінки відомих схемних рішень необхідно вибрати електричні схеми окремих вузлів з урахуванням їх узгодження і забезпечення необхідних технічних характеристик. Виконуючи порівнювальний аналіз відомих схем, слід обґрунтувати технічну та економічну доцільність застосування того чи іншого рішення.

Розрахунки супроводжуються текстовими поясненнями, принциповими, еквівалентними схемами, графіками, вольт-амперними характеристиками приладів, таблицями, номограмами та ін. Якщо схема має кілька однотипних вузлів (каскадів), докладний розрахунок робиться тільки для одного з них. Для інших наводяться кінцеві результати розрахунку.

На підставі розрахункових даних із довідників, вибирають стандартні елементи: напівпровідникові прилади, резистори, конденсатори, мікросхеми та ін. з урахуванням гранично допустимих значень, рекомендованих в ТУ.

З метою уніфікації і підвищення технологічності пристрою допускається використовувати стандартні вузли – трансформатори, дроселі, тощо, застосування яких не повинно погіршувати енергетичні, якісні та економічні показники. Коли трансформатор не можна вибрати з числа стандартних, слід виконати його електричний розрахунок.

Пояснювальна записка, в відповідності до стандарту ДСТУ 3008-95 «ДОКУМЕНТАЦІЯ. ЗВІТИ В СФЕРІ НАУКИ І ТЕХНІКИ», складається з таких структурних елементів (розділів): титульний аркуш; технічне завдання; реферат; зміст; вступ; суть роботи (експлуатаційні дані та характеристики, опис і обґрунтування обраної схеми, розрахунки, схеми, моделі, тощо); висновки; перелік посилань; при необхідності – додаток.

Правила оформлення пояснювальної записки (ДСТУ 3008-95) приведені в додатку А, а приклад титульного аркушу і технічного завдання – відповідно в додатках Б і В. Завдання, підписане керівником, є конструкторським документом, без якого пояснювальна записка до перевірки не приймається.

Загальний обсяг записки становить 20...30 сторінок.

В цих методичних вказівках дана методика розрахунку підсилювальних каскадів та джерела живлення.

Основна увага в методичних вказівках зосереджена на виборі елементної бази, теоретичних розрахунках та моделюванні схем підсилювачів з джерелами живлення.

2 МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПІДСИЛЮВАЧІВ ПОТУЖНОСТІ

Практично всі підсилювачі складаються із декількох каскадів. Розрахунок підсилювачів, як і більшість електронних пристроїв, виконують в зворотному порядку, починаючи з вихідного каскаду, який виконує роль підсилювача потужності. Відповідно до цього і приведений порядок розрахунків.

2.1 Розрахунок вихідних каскадів підсилювачів потужності

Вихідні каскади підсилювачів потужності можуть працювати в режимах підсилення класів A , B , AB . Для одержання мінімальних нелінійних спотворень застосовують режим підсилення класу A , при цьому коефіцієнт корисної дії (ККД) навіть з вихідним трансформатором завжди менший 0,5. Підвищити ККД дозволяє клас підсилення B , однак зростають нелінійні спотворення типу «сходинка». Клас підсилення AB суттєво зменшує спотворення типу «сходинка», але при цьому зменшується і ККД.

Найпоширеніші схеми транзисторних двотактних вихідних каскадів підсилювачів потужності наведено на рис. 2.1.

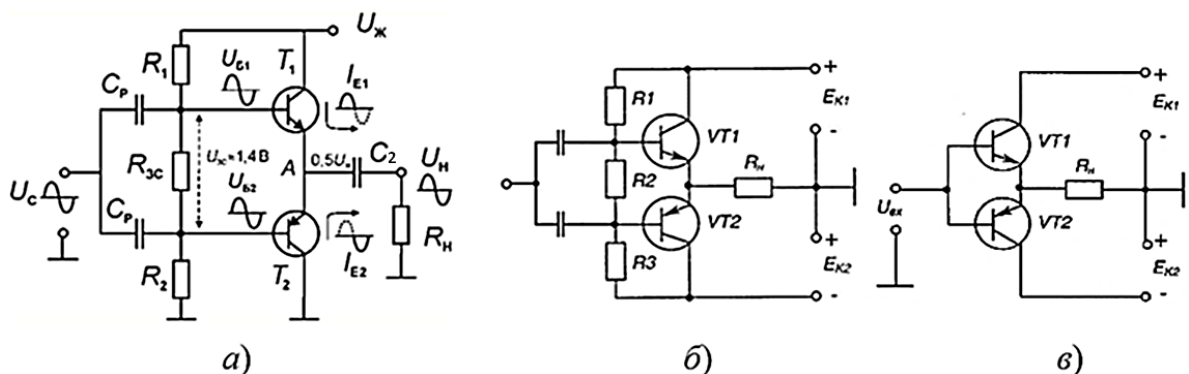


Рисунок 2.1 – Схеми двотактних вихідних каскадів

На рис. 2.1, a представлена схема підсилювача потужності, який працює в класі AB і живиться від однополярного джерела. На рис. 2.1, $б$ представлена та ж сама схема при живленні від двополярного джерела. Якщо замкнути резистори, які з'єднують бази обох транзисторів, то підсилювач потужності перейде в клас підсилення B (рис. 2.1, $в$).

Клас підсилення AB можна легко забезпечити з'єднанням баз обох транзисторів через діоди (рис. 2.2).

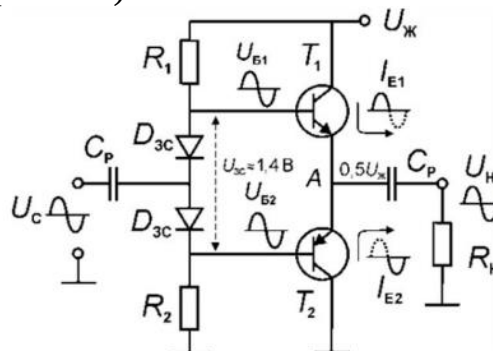


Рисунок 2.2 – Використання діодів для переходу в клас AB

В розглянутих схемах всі транзистори ввімкнені зі спільним колектором, тому не підсилюють за напругою ($K_U \approx 1$). Розрахунок приведених на рис. 2.1 і рис. 2.2 двотактних вихідних каскадів та їм подібних можна виконати за наступною методикою:

1. За вихідними даними ($P_n = I_n \cdot U_n = I_n^2 \cdot R_n = \frac{U_n^2}{R_n} = \frac{U_{н.м}^2 \cdot I_{н.м}^2}{2}$), визначено з запасом (20...25)% величину напруги живлення однополярного джерела (див. рис. 2.1, а):

$$U_{ж} \geq 1,2 \cdot (2 + 2U_{н.м}) \text{ В.}$$

Якщо використовується двополярне джерело (див. рис. 2.1, б), то напруга живлення кожного плеча буде в 2 рази меншою ($E_{K1} = E_{K2} = U_{ж}/2$).

2. Вибираємо комплементарні транзистори за формулами:

$$U_{KE,ДОП} \geq 1,1U_{ж}; \quad I_{KE,ДОП} \geq 1,1I_{н.м}; \quad P_{KE,ДОП} \geq 1,1\frac{P_n}{2}; \quad f_{\beta} = (3 \dots 5) f_{\phi}.$$

3. Для вибраних транзисторів (бажано вибирати кремнієві транзистори) із довідника беремо мінімальне значення коефіцієнта β_{min} .

4. За вхідною характеристикою визначаємо струм бази $I_{0Б}$ для класу підсилення АВ (початок лінійної ділянки) та $U_{0Б}$. При відсутності вхідної характеристики, її можна отримати експериментально.

5. Струм ділянки I_{ϕ} для класу АВ, який протікає через R_1 , R_{3C} і R_2 , рекомендують брати $I_{\phi} = I_{Бм} = \frac{I_{н.м}}{\beta_{min}}$.

6. Розраховуємо опори резисторів R_1 , R_{3C} і R_2 .

$$R_1 = R_2 = \frac{U_{ж} - 2U_{0Б}}{2I_{\phi}}; \quad R_{3C} = \frac{2U_{0Б}}{I_{\phi}}.$$

7. Вибираємо величини розрахованих опорів всіх резисторів із стандартного ряду E24, розраховуємо потужність розсіювання для кожного резистора і вибираємо типи резисторів для встановлення в схему.

Якщо замість R_{3C} використати діоди (див. рис. 2.2), то їх вибирають з умови $I_{пр. VD} > I_{\phi}$.

8. Визначаємо вхідний опір вихідного каскаду для змінного струму.

$$R_{BX} = R_1 \parallel R_2 \parallel r_{ex} = \frac{U_{ex.m}}{I_{ex.m}} \approx 1,1 \frac{\beta_{min} \cdot U_{н.м}}{I_{н.м}}.$$

9. Значення ємності конденсаторів визначаємо з умови забезпечення необхідного рівня частотних спотворень на нижніх частотах.

$$C_p \geq \frac{1}{2\pi f_H R_{BX}}; \quad C_2 \geq \frac{1}{2\pi f_H R_H}.$$

2.2 Моделювання вихідних каскадів підсилювачів потужності

Після розрахунку і вибору всіх елементів схеми виконується її моделювання з метою перевірки на відповідність заданих параметрів. Приклад моделі розрахованої схеми приведений на рис. 2.3. Типи транзисторів, опори резисторів і ємності конденсаторів повинні відповідати розрахованим.

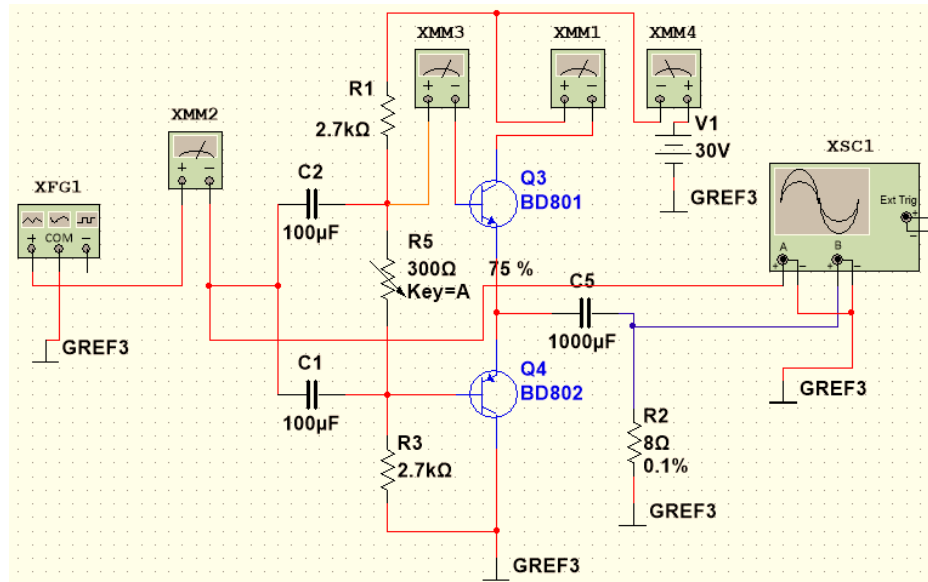


Рисунок 2.3 – Модель вихідного каскаду

Порядок виконання досліджень.

1. Перевірити роботу схеми, подаючи на вхід підсилювача синусоїдну напругу частотою 1 кГц. Змінюючи амплітуду $U_{вх.т}$, отримати на виході підсилювача неспотворену синусоїдну напругу $U_{вих} = U_{н.т}$ і визначити коефіцієнт підсилення вихідного каскаду за напругою K_u ($U_{н.т}$ задано вихідними даними). Привести осцилограми $U_{вх.т}$ і $U_{н.т}$. При необхідності, відкоригувати величини опорів резисторів. Привести пояснення і зробити висновки.

2. Зняти необхідні експериментальні дані для побудови графіків амплітудної та амплітудно-частотної характеристик, помістити їх в таблицю та визначити K_u , f_n , f_v , порівнявши їх з вихідними даними. Зробити висновки. При необхідності, відкоригувати параметри каскаду і привести пояснення.

3. Виміряти величину вхідного струму при максимальній вихідній потужності і розрахувати коефіцієнти підсилення вихідного каскаду ПП за струмом K_i і потужністю K_p .

4. Експериментально визначити вхідний опір каскаду $R_{вх}$ і порівняти його з розрахованим. Привести пояснення і зробити висновки.

5. Із проведених експериментів визначити і привести величини $U_{вх.т}$, $I_{вх.т}$, K_u , K_i , K_p , $R_{вх.т}$, $R_{вх}$ і $U_{ж}$. Обов'язково визначити ККД

$\left(\eta = \frac{P_H}{P_0} = \frac{P_H}{U_{ж} \cdot I_0} \right)$. Струм I_0 , це середнє значення струму, який споживається від джерела живлення. Він вимірюється амперметром ХММ4 (див. рис. 2.3).

3 МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПРОМІЖНИХ КАСКАДІВ

Проміжні каскади використовуються для забезпечення необхідного коефіцієнта підсилення.

Для забезпечення заданого в вихідних даних коефіцієнта підсилення за напругою всього підсилювача потрібно буде один чи декілька (не більше двох) проміжних каскадів на операційних підсилювачах або на транзисторах. Вид схеми залежить від вихідних даних для розробки проміжних каскадів.

Багато, по можливості, брати схему на операційному підсилювачі, яка є достатньо простою. Але не кожен операційний підсилювач зможе забезпечити параметри, які необхідні для роботи вихідного каскаду, наприклад $U_{ex.m}$, $I_{ex.m}$, тощо.

Найбільш універсальним є підсилювач на транзисторах, але він потребує більш детального розрахунку.

Після вибору виду проміжного каскаду необхідно привести його схему і виконати її розрахунок, вибравши типи всіх елементів.

3.1 Розрахунок каскаду на транзисторі зі спільним емітером

На рис. 3.1 показана схема проміжного каскаду на транзисторі зі спільним емітером. В якості R_H буде $R_{вх}$ вихідного каскаду.

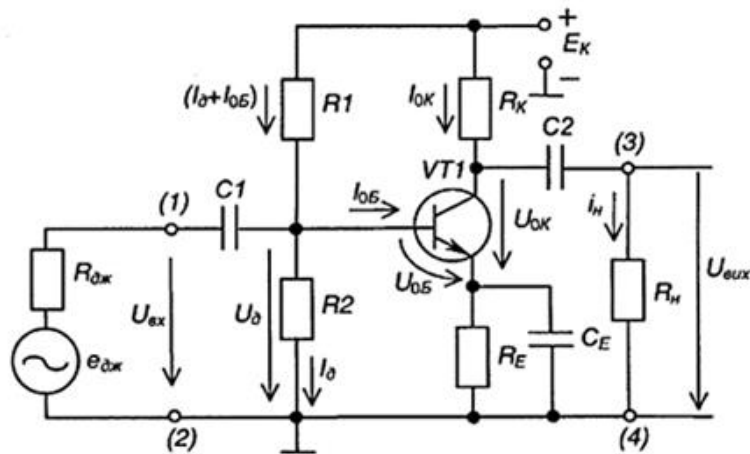


Рисунок 3.1 – Схема каскаду на транзисторі зі спільним емітером

Навантаження каскаду за змінним струмом буде: $R_{H\approx} = \frac{R_H R_K}{R_H + R_K}$.

Вихідним опором каскаду являється резистор R_K , так як опір колектору r_k прямує в нескінченність ($R_{вих} = R_K$).

Вхідний опір каскаду визначається паралельним ввімкненням опорів резисторів $R1$, $R2$ і вхідного динамічного опору $r_{вх}$ транзистора $VT1$:

$$R_{BX} = R_1 \parallel R_2 \parallel r_{вх},$$

$$\text{де } r_{\text{ex}} = r_o + (1 + \beta)r_e; \quad \beta = \frac{I_K}{I_B} = h_{21E}.$$

Коефіцієнт підсилення за напругою:

$$K_U = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{\beta R_{H\approx}}{r_{\text{ex}}} \gg 1.$$

Коефіцієнт підсилення за струмом:

$$K_I = \frac{I_H}{I_{\text{вх}}} \approx \beta \frac{R_K}{R_K + R_H} \gg 1.$$

Коефіцієнт підсилення за потужністю:

$$K = K_U K_I \gg 1.$$

Так як при розрахунку електронних схем необхідно вибирати опори резисторів і ємності конденсаторів із стандартних рядів, а транзистори навіть із однієї партії мають різні значення своїх параметрів, особливо коефіцієнта передачі струму β , то, не залежно від точності розрахунків, аналогові схеми потребують наладки. Тому на практиці часто застосовують так звані інженерні методи розрахунку, які значно скорочують час розрахунків і не потребують точних відомостей про параметри і характеристики напівпровідникових приладів.

Розглянемо інженерний метод розрахунку підсилювального каскаду зі спільним емітером.

Вихідними даними для розробки схеми підсилювального каскаду є величина опору навантаження R_H , амплітудне значення напруги на навантаженні $U_{\text{вих.т}}$, нижня f_n і верхня f_v частоти робочого діапазону і амплітудне значення вхідної напруги $U_{\text{вх.т}}$, яке залежить від внутрішнього опору джерела вхідного сигналу.

Порядок розрахунку:

1. В залежності від призначення підсилювача визначаємо величину вихідного опору $R_{\text{вих}} = R_K$. Якщо в нас буде підсилювач напруги, то можна вибрати $R_K \leq R_H/5$ і привести його опір в відповідність ряду Е24.

2. Визначаємо напругу живлення. Вона повинна бути такою, як і для вихідного каскаду.

$$E_K = U_{\text{ж}}.$$

3. Находимо опір резистора R_E з умови $R_E = (0,1 \dots 0,2) R_K$.

4. Визначаємо напругу спокою колектора U_{0K} . Враховуючи спад напруги на резисторі R_E , $U_{0K} = 0,9 E_K/2 = 0,45 E_K$.

5. Визначаємо струм спокою колектора $I_{0K} = \frac{E_K}{2R_K}$.

6. Знаходимо параметри для вибору транзистора (із довідників):

$$U_{KE,ДОП} \geq E_K; \quad I_{KE,ДОП} \geq 2I_{0K}; \quad P_{KE,ДОП} \geq U_{0K} \cdot I_{0K}; \quad f_\beta = (3 \dots 5) f_v.$$

7. Для вибраного транзистора (бажано вибирати кремнієвий транзистор) із довідника беремо мінімальне значення коефіцієнта β_{min} , або, що теж саме, $h_{21e,min}$.

8. Визначаємо $I_{0B} = \frac{I_{0K}}{\beta_{min}}$, а U_{0B} можна визначити по вхідній характеристиці транзистора, а при її відсутності приймають $U_{0B} = (0,6 \dots 0,7)$ В.

9. Розраховуємо струм дільника. Рекомендують брати $I_\partial = (5 \dots 10)I_{0B}$.

10. Розраховуємо опори $R1$ і $R2$ (див. рис. 3.1):

$$R_2 = \frac{U_{0B} + I_{0K}R_E}{I_\partial}; \quad R_1 = \frac{E_K - (U_{0B} + I_{0K}R_E)}{I_\partial + I_{0B}}.$$

11. Вибираємо величини розрахованих опорів всіх резисторів із стандартного ряду E24, розраховуємо потужність розсіювання для кожного резистора і вибираємо типи резисторів для встановлення в схему.

$$P_{R_K} = I_{0K}^2 R_K; \quad P_{R_E} = I_{0E}^2 R_K \approx I_{0K}^2 R_E; \quad P_{R1} = (I_\partial + I_{0B})^2 R_1; \quad P_{R2} = I_\partial^2 R_1.$$

12. Визначаємо вхідний опір каскаду для змінного струму, якщо відсутній конденсатор C_E . Тоді коефіцієнт підсилення за напругою можна приблизно визначити відношенням: $K_U = \frac{R_K}{R_E}$.

$$R_{BX} = R_1 \| R_2 \| r_{\alpha} = R_1 \| R_2 \| [r_\partial + (1 + \beta)(r_e + R_E)].$$

Якщо величина K_U недостатня, то додавають C_E і тоді вхідний опір каскаду для змінного струму зменшується і буде:

$$R_{BX} = R_1 \| R_2 \| r_{\alpha} = R_1 \| R_2 \| [r_\partial + (1 + \beta)r_e].$$

13. Значення ємності конденсаторів визначаємо з умови забезпечення необхідного рівня частотних спотворень на нижніх частотах.

Для вибору конденсаторів, крім ємності треба знати максимальну на них напругу, яка легко визначається із схеми.

Складаємо модель схеми (рис. 3.2). Тип транзистора, опори резисторів і ємності конденсаторів повинні відповідати розрахованим.

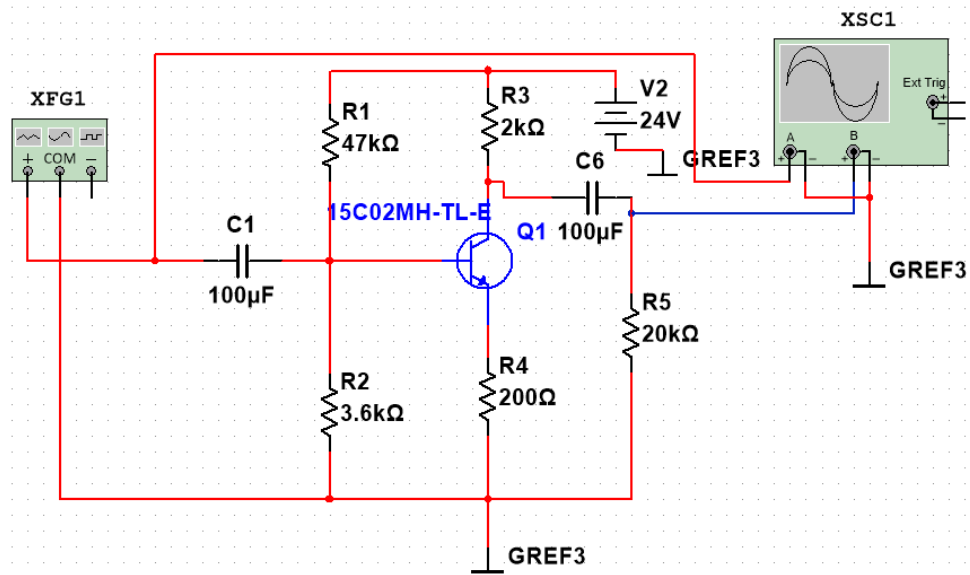


Рисунок 3.2 – Модель схеми на транзисторі зі спільним емітером

Перевіряємо роботу схеми, для цього від генератора на вхід підсилювача подаємо синусоїдну наругу частотою 1 кГц, амплітуда якої вказана в завданні на проектування, при цьому на навантаженні повинна бути синусоїдна напруга амплітудою не менше необхідної для подачі на вихідний каскад. Корегування коефіцієнта підсилення здійснюється зміною глибини негативного зворотного зв'язку за змінним струмом. Можливо знадобиться узгоджуючий каскад чи підсилювач струму.

Зняти необхідні експериментальні дані для побудови графіків амплітудної та амплітудно-частотної характеристик, помістити їх в таблицю та визначити K_u , f_n , f_v , порівнявши їх з вихідними даними. Зробити висновки. При необхідності, відкоригувати параметри каскаду і привести пояснення.

3.2 Розрахунок каскаду на транзисторі зі спільним колектором

Схема каскаду зі спільним колектором наведена на рис. 3.3. В якості R_H буде $R_{вх}$ вихідного каскаду потужності.

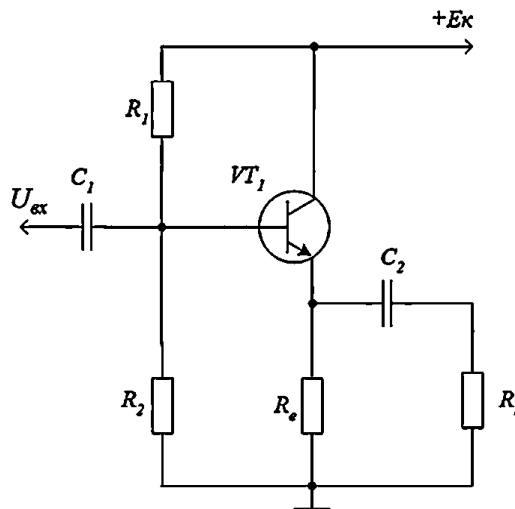


Рисунок 3.3 – Схема каскаду на транзисторі зі спільним колектором

Каскади зі спільним колектором використовуються в якості підсилювачів струму (потужності) або як узгоджувальні каскади.

Порядок розрахунку:

1. Визначаємо амплітудне значення струму в навантаженні

$$I_{н.т} = \frac{U_{вих.т}}{R_{н}}$$

2. Приймаємо значення струму колектора в режимі спокою з умови

$$I_{0к} \cong (1,2 \div 1,5) \cdot I_{н.т}$$

3. Знаходимо мінімальне значення напруги між колектором і емітером транзистора в режимі спокою

$$U_{ке.мін} = U_{вих.т} + U_{кн},$$

де $U_{кн}$ – напруга насичення транзистора. Переважно напруга насичення для малопотужного транзистора складає $U_{кн} \cong (0,4 \div 0,8)B$.

4. Визначаємо напругу живлення каскаду, яка повинна бути такою, як і для вихідного каскаду.

$$E_{к} \geq 2 \cdot U_{ке.мін}.$$

5. Вибираємо тип транзистора, виходячи із вимог:

$$U_{ке.дон} \geq E_{к}; \quad I_{к.дон} \geq 2 \cdot I_{0к}; \quad P_{к.дон} \geq 0,5 \cdot I_{0к} \cdot E_{к};$$

$$f_{\beta} \geq f_{с} / \sqrt{M_{с}^2 - 1} \approx (3 \div 5) \cdot f_{с}.$$

Записуємо електричні параметри вибраного транзистора: $\beta_{мін}; f_{\beta}; r_{к}; r'_{б}; \tau_{кб}; I_{к0}(T_0); C_{к}$.

6. Розраховуємо значення опору резистора в колі емітера

$$R_e = \frac{E_{к}}{2 \cdot I_{0к}}.$$

7. Визначаємо струм бази транзистора в режимі спокою

$$I_{б0} = \frac{I_{0к}}{\beta_{мін}}.$$

8. Задаємося струмом базового дільника напруги $I_{II} = (3 \div 5) \cdot I_{б0}$ і розраховуємо значення опорів R_1 і R_2

$$R_2 = \frac{I_{0к} \cdot R_e + U_{бе.макс}}{I_{II}}, \quad R_1 = \frac{E_{к} - (I_{0к} \cdot R_e + U_{бе.макс})}{(I_{II} + I_{б0} - I_{к0.мін})}.$$

9. Визначаємо еквівалентний опір базового дільника напруги

$$R_{\bar{o}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}.$$

10. Еквівалентний опір навантаження каскаду для змінного струму

$$R_{en} = \frac{R_e \cdot R_n}{R_e + R_n}.$$

11. Визначаємо вхідний опір каскаду для змінного струму в схемі зі спільним колектором

$$R_{вх.к} = r_{\bar{o}} + (r'_e + R_{en}) \cdot (1 + \beta).$$

12. Визначаємо еквівалентний вхідний опір каскаду з врахуванням впливу базового дільника напруги

$$R_{вх.екв} = R_{вх.к} \parallel R_{\bar{o}} = \frac{R_{вх.к} \cdot R_{\bar{o}}}{R_{вх.к} + R_{\bar{o}}}.$$

13. Визначаємо коефіцієнт підсилення каскаду за напругою

$$K_u = \frac{(1 + \beta) \cdot R_{en}}{R_c + R_{вх.к}}.$$

14. Визначаємо коефіцієнт підсилення каскаду за струмом

$$K_I \cong \frac{(1 + \beta) \cdot R_c}{R_c + R_{вх.екв}} \cdot \frac{R_e}{R_e + R_n}.$$

15. Визначаємо вихідний опір каскаду для змінного струму.

$$R_{вих.к} = r'_e + \frac{r_{\bar{o}} + R_{zn}}{1 + \beta},$$

де $R_{zn} = R_c \cdot R_{\bar{o}} / (R_c + R_{\bar{o}})$ – еквівалентний опір зовнішнього кола на вході підсилювального каскаду.

16. Значення ємності розділювальних конденсаторів визначаємо з умови забезпечення необхідного рівня частотних спотворень на нижній частоті.

$$C_1 \geq \frac{1}{2\pi \cdot f_n \cdot (R_c + R_{вх.екв}) \cdot \sqrt{M_{н1}^2 - 1}},$$

де $M_{н1}$ – коефіцієнт частотних спотворень на нижній частоті у відносних одиницях, які вносяться ємністю конденсатора C_1 .

$$C_2 \geq \frac{1}{2\pi \cdot f_n \cdot (R_{\text{вих.к}} + R_n) \cdot \sqrt{M_{n2}^2 - 1}},$$

де M_{n1} – коефіцієнт частотних спотворень на нижній частоті за рахунок ємності конденсатора C_2 .

17. Складаємо модель схеми аналогічно рисунку 3.2. Тип транзистора, опори резисторів і ємності конденсаторів повинні відповідати розрахованим.

18. Зняти необхідні експериментальні дані для побудови графіків амплітудної та амплітудно-частотної характеристик, помістити їх в таблицю та визначити K_i , K_u , f_n , f_v , порівнявши їх з вихідними даними. Зробити висновки. При необхідності, відкоригувати параметри каскаду і привести пояснення.

19. Визначити експериментальним шляхом вхідний та вихідний опори.

Примітка: Амплітудно-частотна характеристика $K_u = f(\omega)$ знімається шляхом вимірювання вихідної напруги $U_{\text{вих}}$ при зміні частоти, при цьому вхідна напруга $U_{\text{вх}}$ не повинна змінюватись.

3.3 Розрахунок емітерного повторювача з високим вхідним опором

Схема емітерного повторювача з підвищеним вхідним опором представлена на рисунку 3.4.

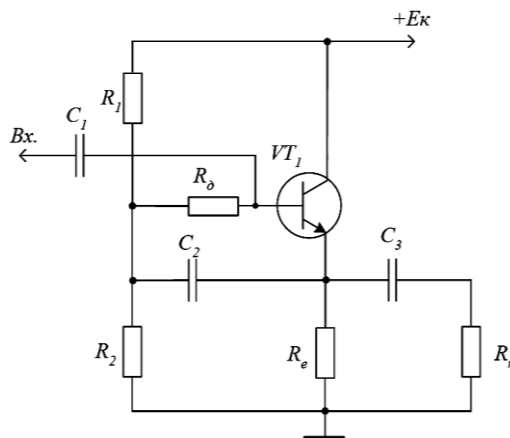


Рисунок 3.4 – Схема каскаду з високим вхідним опором

Схема емітерного повторювача не завжди задовольняє існуючі вимоги, оскільки базовий ділник напруги (R_1 і R_2) зменшує вхідний опір каскаду і не дозволяє отримати його значення вищим від декількох десятків кілоом. Наведена на рис. 3.4. схема дає можливість отримати вхідний опір до декількох сотень кілоом.

Для розрахунку схеми повинні бути задані: R_z – опір джерела вхідного сигналу; $U_{\text{вих.т}}$ – амплітудне значення вихідної напруги; R_n – опір навантаження; f_n – значення нижньої робочої частоти; f_v – значення верхньої робочої частоти; $M_{n[\text{дб}]}$ і $M_{v[\text{дб}]}$ – коефіцієнт частотних спотворень на нижній і верхній частотах у децибелах; $T_{\text{ос.мін.}}$, $T_{\text{ос.макс}}$ – мінімальна і максимальна температура оточуючого середовища.

Зміщення на базу транзистора подається від дільника напруги (R_1 і R_2), через додатковий резистор R_0 , а точка з'єднання цього резистора з дільником напруги через конденсатор C_2 приєднана до емітера транзистора. Введення зворотного зв'язку через конденсатор C_2 дозволяє підвищити вхідний опір каскаду за рахунок зменшення впливу базового дільника на вхідний опір, при цьому не погіршуючи суттєво температурну стабільність робочої точки каскаду.

Порядок розрахунку:

1. Визначаємо амплітудне значення струму в навантаженні

$$I_{н.м} = \frac{U_{вих.м}}{R_{н}}.$$

2. Приймаємо значенням струму колектора транзистора в режимі спокою з умови

$$I_{0к} \cong (1,2 \div 1,5) \cdot I_{н.м}.$$

3. Знаходимо мінімальне значення напруги між колектором і емітером транзистора в режимі спокою

$$U_{ке.мін} = U_{вих.м} + U_{кн},$$

де $U_{кн}$ – напруга насичення транзистора, яка залежить від значення колекторного струму і матеріалу з якого виготовлений транзистор. Переважно напруга насичення для малопотужного транзистора складає $U_{кн} \cong (0,4 \div 0,8)V$.

4. Визначаємо напругу живлення каскаду, яка повинна бути такою, як і для вихідного каскаду.

$$E_{к} \geq 2 \cdot U_{ке.мін}.$$

5. При виборі типу транзистора керуємося такими вимогами:

$$U_{ке.доп} \geq E_{к}; I_{к.доп} \geq 2 \cdot I_{0к}; P_{к.доп} \geq 0,5 \cdot I_{0к} \cdot E_{к}; f_{\beta} \geq f_{\epsilon} / \sqrt{M_{\epsilon}^2 - 1} \approx (3 \div 5) \cdot f_{\epsilon}.$$

6. Вибираємо тип транзистора, який має такі основні електричні параметри: $\beta_{мін}; f_{\beta}; r_{к}; r'_{б}; \tau_{кб}; I_{к0}(T_0); C_{к}$.

7. Розраховуємо значення опору емітерного резистора

$$R_e = \frac{E_{к}}{2 \cdot I_{0к}}.$$

8. Визначаємо струм бази транзистора в режимі спокою

$$I_{б0} = \frac{I_{0к}}{\beta_{мін}}.$$

9. Задаємося струмом базового дільника напруги $I_{II} = (3 \div 5) \cdot I_{\beta 0}$ і розраховуємо значення опорів резисторів R_1 і R_2

$$R_2 = \frac{I_{0k} \cdot R_e + U_{\beta e. \max}}{I_{II}}, \quad R_1 = \frac{E_k - (I_{0k} \cdot R_e + U_{\beta e. \max})}{(I_{II} + I_{\beta 0} - I_{k0. \min})}.$$

де $U_{\beta e. \max}$, $I_{k0. \min}$ – значення відповідних параметрів транзистора при мінімальній температурі оточуючого середовища.

10. Визначаємо еквівалентний опір базового дільника напруги

$$R_{\beta} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}.$$

11. Розраховуємо значення приросту зворотного струму колектора ΔI_{k0} за рахунок зміни температури в заданому діапазоні $\Delta T_{oc} = T_{\max} - T_{\min}$.

Для кремнієвих транзисторів

$$\Delta I_{k0} \cong I_{k0(T_0)} \cdot 2,5^{\frac{T_{\max} - T_0}{10}},$$

де $I_{k0(T_0)}$ – значення некерованого струму колектора транзистора при відомій температурі T_0 (переважно ця температура складає 20 °C або 25°C).

Для германієвих транзисторів

$$\Delta I_{k0} \cong I_{k0(T_0)} \cdot 2^{\frac{T_{\max} - T_0}{10}},$$

12. Розраховуємо значення додаткового резистора в колі бази

$$R_{\partial} = \frac{\Delta U_e}{\Delta I_{k0}},$$

де ΔU_e – допустима зміна постійної напруги на емітері транзистора за рахунок зміни температури в діапазоні ΔT_{oc} . Приймаємо значення цієї напруги в межах $\Delta U_e = (1 - 2)$ В.

13. Еквівалентний опір навантаження каскаду для змінного струму

$$R_{en} = \frac{R_e \cdot R_n}{R_e + R_n}.$$

14. Визначаємо вхідний опір каскаду для змінного струму

$$R_{вх.к} = r_{\beta} + (r'_e + R_{en}) \cdot (1 + \beta).$$

15. Визначаємо коефіцієнт підсилення каскаду за напругою

$$K_u = \frac{(1 + \beta) \cdot R_{en}}{R_{вх.к}}.$$

16. Еквівалентний опір базового кола каскаду

$$R_{б.екв} = (R_{б} + R'_{б}) \parallel r_{к} = \frac{(R_{б} + R'_{б}) \cdot r_{к}}{R_{б} + R'_{б} + r_{к}},$$

де $r_{к}$ – опір колекторного переходу транзистора;

$R'_{б}$ – еквівалентний опір додаткового резистора для змінного струму, який визначається виразом $R'_{б} = \frac{R_{б}}{1 - K_u}$.

17. Визначаємо еквівалентний вхідний опір каскаду з врахуванням впливу слідуючого від'ємного зворотного зв'язку

$$R_{вх.екв} = R_{вх.к} \parallel R_{б.екв} = \frac{R_{вх.к} \cdot R_{б.екв}}{R_{вх.к} + R_{б.екв}}.$$

18. Визначаємо вихідний опір каскаду для змінного струму.

$$R_{вих.к} = r'_e + \frac{r_{б} + R_{зн}}{1 + \beta},$$

де $R_{зн} = R_2 \cdot R_{б} / (R_2 + R_{б})$ – еквівалентний опір зовнішнього кола на вході каскаду.

19. Значення ємностей роздільних конденсаторів визначаємо з умови забезпечення необхідного рівня частотних спотворень на низьких частотах. Розподіляємо частотні спотворення на нижній частоті між усіма конденсаторами схеми $M_{н[\delta\delta]} = M_{н1[\delta\delta1]} + M_{н2[\delta\delta]} + M_{н3[\delta\delta]}$, переводимо частотні спотворення на нижній частоті у відносні одиниці ($M_{н} = 10^{0,05 \cdot M_{н[\delta\delta]}}$) і розраховуємо значення ємностей конденсаторів

$$C_1 \geq \frac{1}{2\pi \cdot f_{н} \cdot (R_2 + R_{вх.екв}) \cdot \sqrt{M_{н1}^2 - 1}},$$

де $M_{н1}$ – коефіцієнт частотних спотворень на нижній частоті за рахунок конденсатора C_1 .

$$C_2 \geq \frac{1}{2\pi \cdot f_{н} \cdot (R_{вих.к} + R_{б}) \cdot \sqrt{M_{н2}^2 - 1}},$$

де $M_{н2}$ – коефіцієнт частотних спотворень на нижній частоті за рахунок конденсатора C_2 .

$$C_3 \geq \frac{1}{2\pi \cdot f_n \cdot (R_{вих.к} + R_n) \cdot \sqrt{M_{нз}^2 - 1}},$$

де $M_{нз}$ – коефіцієнт частотних спотворень на нижній частоті, які вносяться ємністю конденсатора C_3 .

В залежності від значення ємностей конденсаторів C_1 , C_2 , C_3 і напруги, яка прикладається до розрахованих конденсаторів, вибираємо їх типи.

20. Складаємо модель схеми аналогічно рисунку 3.2. Тип транзистора, опори резисторів і ємності конденсаторів повинні відповідати розрахованим.

21. Зняти необхідні експериментальні дані для побудови графіків амплітудної та амплітудно-частотної характеристик, помістити їх в таблицю та визначити K_i , K_u , f_n , f_v , порівнявши їх з вихідними даними. Зробити висновки. При необхідності, відкоригувати параметри каскаду і привести пояснення.

22. Визначити експериментальним шляхом вхідний та вихідний опори.

3.4 Розрахунок каскаду зі спільним витоком

Схема підсилювального каскаду зі спільним витоком представлена на рисунку 3.5.

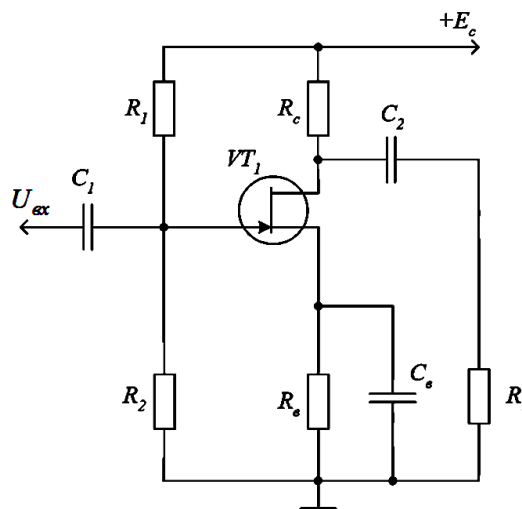


Рисунок 3.5 – Схема підсилювального каскаду зі спільним витоком

Для розрахунку схеми задано: R_c – опір джерела вхідного сигналу; $U_{вих.т}$ – амплітудне значення вихідної напруги; R_n – опір навантаження; f_n – значення нижньої робочої частоти; $M_{н[об]}$ – коефіцієнт частотних спотворень на нижній частоті.

Порядок розрахунку:

1. Визначаємо амплітудне значення струму в навантаженні

$$I_{н.т} = \frac{U_{вих.т}}{R_n}.$$

2. Приймаємо значенням струму стоку транзистора в режимі спокою з умови

$$I_{c0} \geq (1,2 \div 1,5) \cdot I_{н.т.}$$

3. Знаходимо мінімальне значення напруги між витоком і стоком транзистора

$$U_{св.мін} = U_{вих.т} + U_{сн},$$

де $U_{сн}$ – напруга насичення транзистора, яка залежить від значення струму стоку і типу транзистор. Переважно напруга насичення для малопотужного польового транзистора складає $U_{сн} \cong (0,5 \div 1)B$.

4. Визначаємо напругу живлення каскаду (вона повинна бути такою, як і для вихідного каскаду підсилення потужності).

$$E_c \geq \frac{2 \cdot U_{св.мін}}{0,8}.$$

5. При виборі типу транзистора керуємося такими вимогами:

$$U_{св.дон} \geq E_c; \quad I_{с.макс} \geq 2 \cdot I_{c0}; \quad P_{с.дон} \geq 0,5 \cdot I_{c0} \cdot E_c.$$

Вибираємо тип польового транзистора, який має такі електричні параметри: S ; $r_{св}$; $U_{від}$; $I_{с.макс}$; $I_{з.вит}$; $C_{зв}$, $C_{зс}$.

6. Розраховуємо значення опору резистора в колі витоку

$$R_{\theta} = \frac{0,2 \cdot E_c}{I_{c0}}.$$

7. Визначаємо початкове зміщення між затвором і витоком транзистора

$$U_{зв.0} = U_{від} \cdot \left(1 - \sqrt{I_{c0} / I_{с.макс}}\right),$$

де $U_{від}$ – напруга відсічки польового транзистора;

$I_{с.макс}$ – максимальне значення струму стоку при $U_{зв} = 0$.

8. Визначаємо напругу зміщення на затворі в режимі спокою

$$U_{зз} = I_{c0} \cdot R_{\theta} - U_{зв.0}.$$

9. Вибираємо струм діляника в колі затвору з умови $I_{\Pi} \gg I_{з.вит}$ і розраховуємо значення опорів резисторів діляника

$$R_2 = \frac{U_{зз}}{I_{\Pi}}; \quad R_1 = \frac{E_c - U_{зз}}{I_{\Pi}}.$$

10. Визначаємо еквівалентний опір вхідного діляника напруги

$$R_{II} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}.$$

11. Розраховуємо опір резистора в колі стоку

$$R_c = \frac{0,4 \cdot E_c}{I_{c0}}.$$

12. Розраховуємо коефіцієнт підсилення каскаду за напругою

$$K_u \cong S \cdot R_{cH},$$

де $R_{cH} = R_c \cdot R_H / (R_c + R_H)$, – еквівалентний опір навантаження каскаду.

13. Визначаємо значення вхідної ємності каскаду

$$C_{ex} = C_{зв} + C_{зс} \cdot (1 + K_u).$$

де $C_{зв}$ – вхідна ємність польового транзистора;

$C_{зс}$ – прохідна ємність польового транзистора.

Вхідний опір каскаду має чисто ємнісний характер, а ємнісна складова вхідного опору буде дорівнювати

$$Z_{C_{ex}} = \frac{1}{2\pi \cdot f_{\epsilon} \cdot C_{ex}}.$$

Мінімальне значення повного вхідного опору каскаду

$$Z_{ex} = \frac{Z_{C_{ex}} \cdot R_{II}}{Z_{C_{ex}} + R_{II}}.$$

14. Розподіляємо частотні спотворення на нижній частоті між усіма конденсаторами схеми $M_{H[\partial\delta]} = M_{H1[\partial\delta]} + M_{H2[\partial\delta]} + M_{H3[\partial\delta]}$, переводимо частотні спотворення на нижній частоті у відносні одиниці ($M_H = 10^{0,05 \cdot M_{H[\partial\delta]}}$) і розраховуємо значення ємностей конденсаторів.

$$C_1 \geq \frac{1}{2\pi \cdot f_H \cdot (R_c + R_{II}) \cdot \sqrt{M_{H1}^2 - 1}},$$

де M_{H1} – коефіцієнт частотних спотворень на нижній частоті за рахунок конденсатора C_1 .

$$C_2 \geq \frac{1}{2\pi \cdot f_H \cdot (R_c + R_H) \cdot \sqrt{M_{H2}^2 - 1}},$$

де M_{H2} – коефіцієнт частотних спотворень на нижній частоті за рахунок ємності конденсатора C_2 .

$$C_{\epsilon} \geq \frac{1}{2\pi \cdot f_n \cdot R_{вих.с} \cdot \sqrt{M_{нз}^2 - 1}},$$

де $M_{нз}$ – коефіцієнт частотних спотворень на нижній частоті за рахунок ємності конденсатора C_{ϵ} ,

$R_{вих.с}$ – вихідний опір каскаду для схеми з спільним стоком

$$R_{вих.с} = \left(\frac{1}{S} \parallel R_{\epsilon} \right) = \frac{\frac{1}{S} \cdot R_{\epsilon}}{\frac{1}{S} + R_{\epsilon}} \approx \frac{1}{S}.$$

15. Складаємо модель схеми аналогічно рисунку 3.2, де замість біполярного транзистора ставимо польовий. Тип транзистора, опори резисторів і ємності конденсаторів повинні відповідати розрахованим.

16. Знімаємо необхідні експериментальні дані для побудови графіків амплітудної та амплітудно-частотної характеристик, помістити їх в таблицю та визначити Ki , Ku , f_n , f_v , порівнявши їх з вихідними даними. Зробити висновки. При необхідності, відкоригувати параметри каскаду і привести пояснення.

17. Визначаєм експериментальним шляхом вхідний та вихідний опори.

3.5 Розрахунок каскаду зі спільним стоком

Схема підсилювального каскаду в схемі зі спільним стоком (рис. 3.6) забезпечує значно більший вхідний опір ніж схема зі спільним витоком. Основна її перевага – це велике значення вхідного опору і мала вхідна ємність.

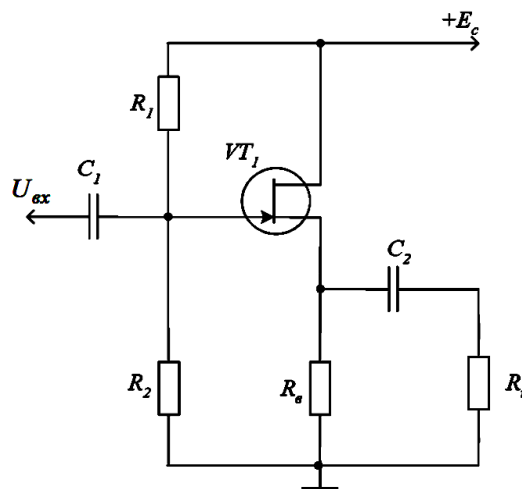


Рисунок 3.6 – Схема підсилювального каскаду зі спільним стоком

Для розрахунку схеми задано: R_c – опір джерела вхідного сигналу; $U_{вих.т}$ – амплітудне значення вихідної напруги; R_n – опір навантаження; f_n – значення нижньої робочої частоти; $M_{н[дб]}$ – коефіцієнт частотних спотворень на нижній частоті в децибелах.

Порядок розрахунку:

1. Визначаємо амплітудне значення струму в навантаженні

$$I_{н.т} = \frac{U_{вих.т}}{R_{н.т}}.$$

2. Приймаємо значенням струму стоку транзистора в режимі спокою з умови $I_{c0} \geq (1,2 \div 1,5) \cdot I_{н.т}$.

3. Знаходимо мінімальне значення напруги між витоком і стоком транзистора в режимі спокою

$$U_{св.мін} = U_{вих.т} + U_{сн},$$

де $U_{сн}$ – напруга насичення транзистора, яка залежить від значення струму стоку і типу транзистора. Переважно напруга насичення для малопотужного польового транзистора складає $U_{сн} \cong (0,5 \div 1)V$.

4. Визначаємо напругу живлення каскаду (вона повинна бути такою, як і для вихідного каскаду підсилення потужності).

$$E_c \geq \frac{2 \cdot U_{св.мін}}{0,8}.$$

5. При виборі типу транзистора керуємося такими вимогами:

$$U_{св.доп} \geq E_c; \quad I_{с.макс} \geq 2 \cdot I_{c0}; \quad P_{с.доп} \geq 0,5 \cdot I_{c0} \cdot E_c.$$

6. Вибираємо тип польового транзистора, який має такі електричні параметри: S ; $r_{св}$; $U_{від}$; $I_{с.макс}$; $I_{з.вит}$; $C_{зв}$, $C_{зс}$.

7. Розраховуємо значення опору резистора в колі витоку

$$R_{\theta} = \frac{E_c}{2 \cdot I_{c0}}.$$

8. Визначаємо початкове зміщення між затвором і витоком транзистора

$$U_{зв.0} = U_{від} \cdot \left(1 - \sqrt{I_{c0} / I_{с.макс}}\right).$$

9. Визначаємо напругу на затворі в режимі спокою

$$U_{зз} = I_{c0} \cdot R_{\theta} - U_{зв.0}.$$

10. Вибираємо струм дільника напруги в колі затвору з умови $I_{П} \gg I_{з.вит}$ і розраховуємо значення опорів резисторів дільника

$$R_2 = \frac{U_{зз}}{I_{П}}; \quad R_1 = \frac{E_c - U_{зз}}{I_{П}}.$$

11. Визначаємо еквівалентний опір вхідного дільника напруги

$$R_{II} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}.$$

12. Розраховуємо коефіцієнт підсилення каскаду за напругою

$$K_U = \frac{U_{вих}}{U_{\epsilon}} = \frac{S \cdot R_{\epsilon H}}{1 + (S + 1/r_{\epsilon\epsilon}) \cdot R_{\epsilon H}} \approx \frac{S \cdot R_{\epsilon H}}{1 + S \cdot R_{\epsilon H}}.$$

де $R_{\epsilon H} = R_{\epsilon} \cdot R_H / (R_{\epsilon} + R_H)$, – еквівалентний опір навантаження каскаду.

13. Визначаємо значення вхідної ємності каскаду

$$C_{\epsilon x} = C_{3\epsilon} + (1 - K_U) \cdot C_{3\epsilon}.$$

14. Вхідний опір каскаду має чисто ємнісний характер, а ємнісна складова вхідного опору на робочій частоті f_p буде дорівнювати

$$Z_{C_{\epsilon x}} = \frac{1}{2\pi \cdot f_p \cdot C_{\epsilon x}}.$$

15. Мінімальне значення повного вхідного опору каскаду

$$Z_{\epsilon x} = \frac{Z_{C_{\epsilon x}} \cdot R_{II}}{Z_{C_{\epsilon x}} + R_{II}}.$$

16. Значення вихідного опору залежить від значення R_{ϵ} і від крутизни польового транзистора S

$$R_{\epsilon ux} = \frac{R_{\epsilon}}{1 + R_{\epsilon}(S + 1/r_{\epsilon\epsilon})} \approx R_{\epsilon} \parallel (1/S) \approx \frac{1}{S}.$$

17. Розподіляємо частотні спотворення на нижній частоті між усіма конденсаторами схеми $M_{H[\partial\epsilon]} = M_{H1[\partial\epsilon1]} + M_{H2[\partial\epsilon]}$, переводимо частотні спотворення на нижній частоті у відносні одиниці ($M_H = 10^{0,05 \cdot M_{H[\partial\epsilon]}}$) і розраховуємо значення ємностей конденсаторів

$$C_1 \geq \frac{1}{2\pi \cdot f_H \cdot (R_{\epsilon} + R_{II}) \cdot \sqrt{M_{H1}^2 - 1}},$$

де M_{H1} – коефіцієнт частотних спотворень на нижній частоті за рахунок конденсатора C_1 .

$$C_2 \geq \frac{1}{2\pi \cdot f_H \cdot (R_{\epsilon ux} + R_H) \cdot \sqrt{M_{H2}^2 - 1}},$$

де M_{H2} – коефіцієнт частотних спотворень на нижній частоті за рахунок конденсатора C_2 .

18. Складаємо модель схеми аналогічно рисунку 3.2, де замість біполярного транзистора ставимо польовий. Тип транзистора, опори резисторів і ємності конденсаторів повинні відповідати розрахованим.

19. Знімаємо необхідні експериментальні дані для побудови графіків амплітудної та амплітудно-частотної характеристик, помістити їх в таблицю та визначити K_i , K_u , f_n , f_v , порівнявши їх з вихідними даними. Зробити висновки. При необхідності, відкоригувати параметри каскаду і привести пояснення.

20. Визначаємо експериментальним шляхом вхідний та вихідний опори.

3.6 Розрахунок підсилювальних каскадів на операційних підсилювачах

Існує два базові варіанти включення операційних підсилювачів – інвертуючий та неінвертуючий.

Інвертуючий підсилювач (рис. 3.7) змінює знак вихідного сигналу відносно вхідного.

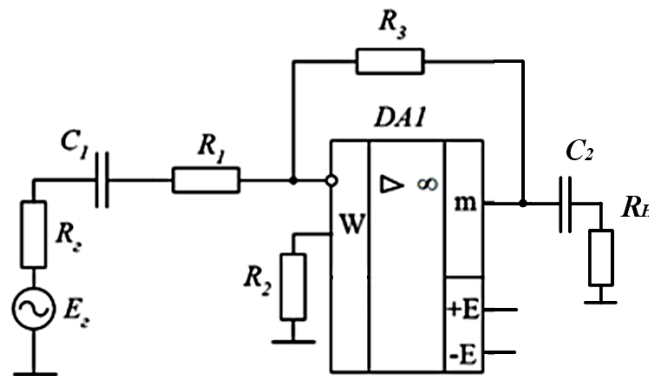


Рисунок 3.7 – Схема інвертуючого підсилювача

Вхідним опором підсилювача являється резистор R_1 . Резистор R_2 служить для вирівнювання вхідних струмів. При двохполярному живленні конденсатор C_2 не потрібен.

Неінвертуючий підсилювач, схему якого зображено на рис. 3.8, не змінює знак вихідного сигналу відносно вхідного.

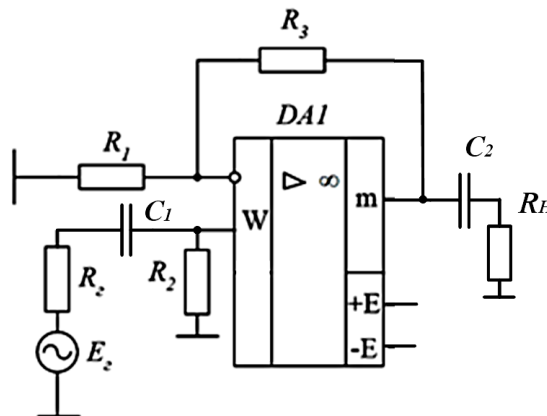


Рисунок 3.8 – Схема неінвертуючого підсилювача

Вхідним опором підсилювача являється резистор R_2 . При двохполярному живленні конденсатор C_2 не потрібен.

Можливе живлення ОП від одного джерела напруги. Вхідна й вихідна напруга в такому випадку може змінюватися тільки в один бік щодо нульового потенціалу (рис. 3.9).

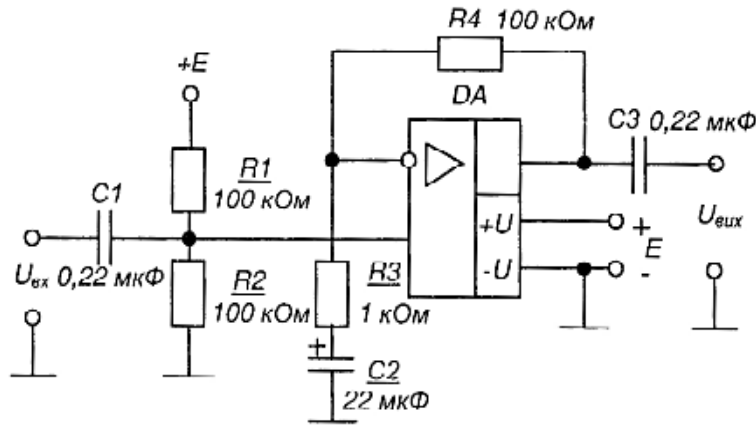


Рисунок 3.9 – Схема неінвертуючого підсилювача з однополярним джерелом живлення

У цій схемі R_1 і R_2 – дільник, що задає зміщення точки спокою (штучна нульова точка) і визначає вхідний опір підсилювача (R_1 і R_2 ввімкнені паралельно за змінним струмом), а C_1 , C_3 – роздільні конденсатори.

Дільник сигналу зворотного зв'язку R_3 і R_4 забезпечує коефіцієнт підсилення (у даному випадку $K_U = 101$).

Конденсатор C_2 забезпечує роботу схеми за постійним струмом як повторювача напруги, щоб виключити підсилення сигналу зміщення нуля.

Для розрахунку схеми підсилювача задано:

$U_{вих.т}$ – амплітудне значення вихідної напруги;

R_n – опір навантаження;

$E_{с.т}$ – амплітуда електрорушійної сили джерела вхідного сигналу;

R_c – опір джерела вхідного сигналу;

f_n і f_v – нижня і верхня частоти робочого діапазону;

$M_{н(дб)}$ – коефіцієнт частотних спотворень на нижній частоті;

$T_{ос.мін}$; $T_{ос.макс}$ – мінімальна і максимальна температури оточуючого середовища.

Порядок розрахунку:

1. Розрахунок починається з вибору типу інтегрального операційного підсилювача виходячи з таких умов:

$$|U_{вих}^-| \geq U_{вих.т} \leq U_{вих}^+,$$

де $U_{вих}^+$, $U_{вих}^-$ – максимальна додатна і від'ємна напруги на виході операційного підсилювача.

2. Визначаємо максимальну швидкість наростання вихідної напруги, яку повинен забезпечити операційний підсилювач.

$$V_{max} = 2\pi \cdot f_e \cdot U_{вих.м} = 2\pi \cdot f_e \cdot U_{вих.м} \cdot 10^{-6} (В / мкс).$$

3. Вибираємо тип операційного підсилювача, який має такі електричні параметри: $U^{\pm}$; $V_{макс}$; K_{u0} ; $\Delta U_{зм} / \Delta T$ (мкВ/°C); $R_{вх.д}$; $R_{вих.оп}$; $I_{вх}$; $R_{н.мін}$; E_K ; $\Delta I_{вх}$.

4. Визначаємо необхідне значення коефіцієнта підсилення каскаду за напругою

$$K_u = \frac{U_{вих.м}}{E_{з.м}}.$$

5. Задаємося допустимим дрейфом вихідної напруги $E_{др} \approx (20 \dots 100)$ мВ і визначаємо опір резистора зворотного зв'язку

$$R_3 \leq \frac{E_{др} - K_u \cdot (\Delta U_{зм} / \Delta T) \cdot \Delta T_{ос}}{(\Delta I_{вх} / \Delta T) \cdot \Delta T_{ос}}.$$

де $(\Delta I_{вх} / \Delta T)$ – температурний дрейф вхідного струму операційного підсилювача. Приймаємо $(\Delta I_{вх} / \Delta T) \approx I_{вх} / 100$;

$\Delta T_{ос}$ – максимальна різниця температур оточуючого середовища

$$\Delta T_{ос} = T_{ос.макс} - T_{ос.мін}.$$

6. Знаходимо значення резистора R_1 з умови забезпечення необхідного коефіцієнта підсилення за напругою:

- для інвертуючого ввімкнення операційного підсилювача

$$R_1 = \frac{R_3}{K_u}.$$

- для неінвертуючого ввімкнення операційного підсилювача

$$R_1 = \frac{R_3}{K_u - 1}.$$

7. Розраховуємо значення вхідного опору каскаду:

- для інвертуючого ввімкнення операційного підсилювача

$$R_{вх.33} = \frac{\left(R_1 + \frac{R_3}{1 + K_{u0}} \right) \cdot R_{вх.д}}{R_1 + R_{вх.д} + \frac{R_3}{1 + K_{u0}}}.$$

- для неінвертуючого ввімкнення операційного підсилювача

$$R_{\text{вх.зз}} = R_{\text{вх.д}} \cdot (1 + \beta_{\text{зз}} \cdot K_{\text{uo}}) = R_{\text{вх.д}} \cdot \left(1 + \frac{R_1 \cdot K_{\text{uo}}}{R_1 + R_3} \right).$$

8. Визначаємо амплітудне значення струму в навантаженні, яке повинен забезпечити підсилювальний каскад.

$$I_{\text{н.т}} = \frac{U_{\text{вих.т}}}{R_{\text{н}}}.$$

Максимальний струм, який може забезпечити безпосередньо сам операційний підсилювач, не може перевищувати величину

$$I_{\text{оп.макс}} \leq \frac{|U^{\pm}|}{R_{\text{н.мін}}}.$$

9. Розраховуємо опір резистора R_2 :

- для інвертуючого підсилювача коли C_1 відсутній

$$R_2 = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3}.$$

При наявності C_1 опір $R_2 = R_3$.

- для неінвертуючого підсилювача резистор R_2 вибираємо з умови забезпечення необхідного значення вхідного опору підсилювального каскаду на операційному підсилювачі і усунення впливу опору джерела вхідного сигналу

$$R_2 \geq (10 \div 20) \cdot R_{\text{с}}.$$

10. Розподіляємо частотні спотворення на нижній частоті між конденсаторами схеми $M_{\text{н}[\partial\delta]} = M_{\text{н1}[\partial\delta1]} + M_{\text{н2}[\partial\delta]}$, переводимо частотні спотворення на нижній частоті у відносні одиниці ($M_{\text{н}} = 10^{0,05 \cdot M_{\text{н}[\partial\delta]}}$) і розраховуємо значення ємності конденсаторів C_1 і C_2 .

- для інвертуючого підсилювача $C_1 = \frac{1}{2\pi \cdot f_{\text{н}} \cdot (R_{\text{с}} + R_{\text{вх.зз}}) \cdot \sqrt{M_{\text{н1}}^2 - 1}},$

- для неінвертуючого підсилювача $C_1 \geq \frac{1}{2\pi \cdot f_{\text{н}} \cdot (R_{\text{с}} + R_2) \cdot \sqrt{M_{\text{н1}}^2 - 1}}.$

- для обох підсилювачів $C_2 \geq \frac{1}{2\pi \cdot f_{\text{н}} \cdot R_{\text{н}} \cdot \sqrt{M_{\text{н2}}^2 - 1}}.$

Якщо C_1 відсутній, то частотні спотворення визначаються тільки конденсатором C_2 .

11. Визначаємо статичну похибку коефіцієнта підсилення каскаду за напругою

$$\delta_{cm} = \frac{100}{1 + \beta_{33} \cdot K_{U_0}} = \frac{100}{1 + \frac{R_1}{R_3} \cdot K_{U_0}} (\%).$$

12. Складаємо модель схеми розрахованого підсилювача. Тип операційного підсилювача, опори резисторів і ємності конденсаторів повинні відповідати розрахованим. На рисунку 3.10, як приклад, представлена модель неінвертуючого підсилювача з однополярним живленням.

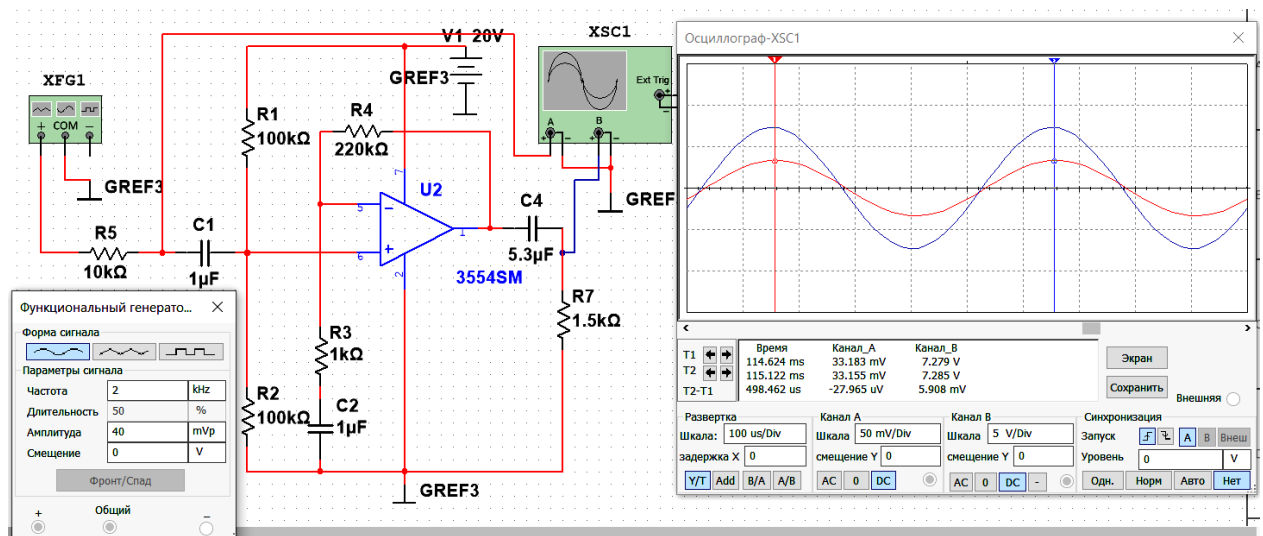


Рисунок 3.10 – Модель неінвертуючого підсилювача

13. Перевірити роботу схеми, для цього від генератора на вхід підсилювача подаємо синусоїдну напругу частотою 1 кГц, амплітуда якої вказана в завданні на проектування, при цьому на навантаженні повинна бути синусоїдна напруга амплітудою не менше необхідної для подачі на вихідний каскад. Корегування коефіцієнта підсилення здійснюється зміною глибини негативного зворотного зв'язку за змінним струмом. Можливо знадобиться узгоджувач каскад чи підсилювач струму. Привести осцилограми вхідної і вихідної напруги.

14. Зняти необхідні експериментальні дані для побудови графіків амплітудної та амплітудно-частотної характеристик, помістити їх в таблицю та експериментально визначити K_u , f_n , f_v , порівнявши їх з вихідними даними. Зробити висновки. При необхідності, відкоригувати параметри каскаду і привести пояснення.

15. Перевірити роботу схеми при живленні від двополярного джерела.

Аналогічні розрахунки, моделювання і дослідження виконують для інших схем проміжного каскаду.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ВСЬОГО ПІДСИЛЮВАЧА

Необхідно в моделі об'єднати каскади попереднього підсилення з вихідним каскадом і встановити напругу на виході генератора відповідною заданій номінальній потужності P_n . Перевірити всі параметри підсилювача.

Як приклад, на рис. 4.1 представлена модель підсилювача з каскадом попереднього підсилення на операційному підсилювачі (ОП) і осцилограми вхідної і вихідної напруги.

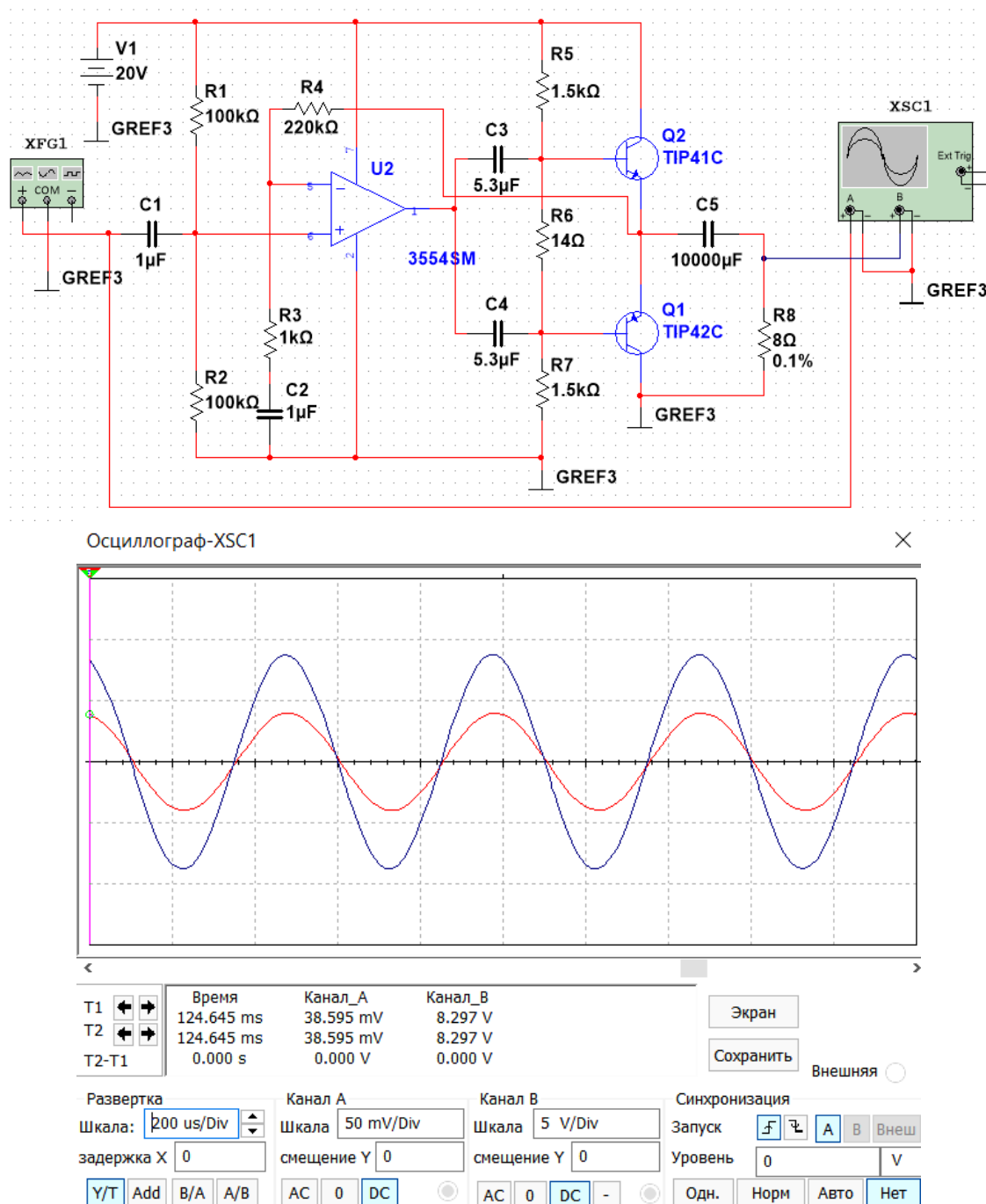


Рисунок 4.1 – Модель з проміжним підсилювачем на ОП

За осцилограмами визначити спільний K_u . Зняти АЧХ і по ній визначити f_n та f_v . Необхідно виміряти струм споживання всією схемою I_{cn} .

В цій схемі використовується одно полярне живлення.

Як приклад, на рис. 4.2 представлена модель підсилювача з каскадом попереднього підсилення на транзисторі зі спільним емітером та каскадом узгодження опорів на основі емітерного повторювача, який одночасно являється підсилювачем струму.

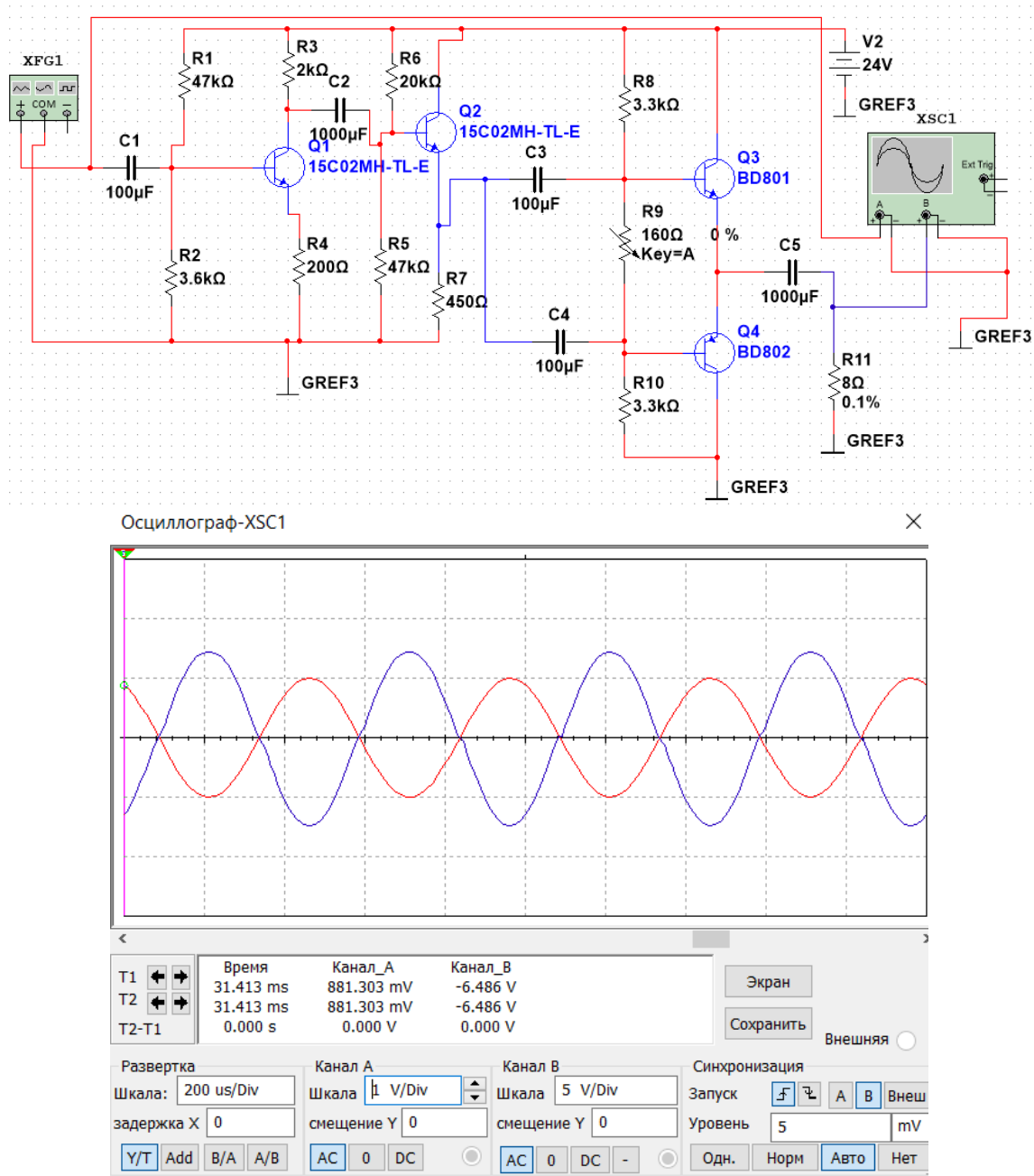


Рисунок 4.2 – Модель з проміжним підсилювачем на транзисторах

Як і в попередньому прикладі, за осцилограмами визначити спільний K_u . Зняти АЧХ і по ній визначити f_n та f_v . Необхідно виміряти струм споживання всією схемою I_{cn} .

В цій схемі теж використовується одно полярне живлення.

При використанні двополярного живлення дослідження проводяться аналогічно.

5 ПРОЕКТУВАННЯ БЛОКА ЖИВЛЕННЯ

Після вибору схеми і розрахунку необхідних параметрів підсилювача потрібно для нього спроектувати блок живлення від однофазної мережі напругою 220 В, частотою 50 Гц. Блок живлення складається із трансформатора, випрямляча, фільтра і стабілізатора.

5.1 Вибір стабілізатора

Спочатку проектується стабілізатор, вихідними даними для якого є вихідна напруга і струм навантаження (струм споживання), які визначаються в п. 4 при дослідженні роботи всього підсилювача. Навантаженням стабілізатора буде підсилювач.

Достатньо взяти схему простого стабілізатора (рис. 5.1).

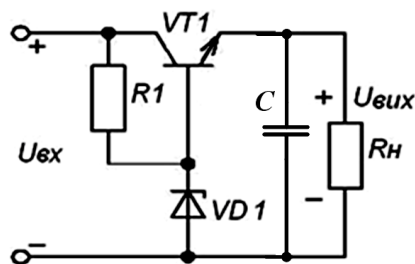


Рисунок 5.1 – Схема стабілізатора

Можна взяти готовий стабілізатор на мікросхемі, якщо він забезпечить необхідні напругу і струм на виході.

Методика розрахунку стабілізатора і елементна база вибирається самостійно з довідників.

5.2 Розрахунок однофазних випрямлячів з фільтром

Однофазні випрямлячі – це перетворювачі однофазної змінної напруги на знакопостійну пульсуючу напругу.

Найбільш широке застосування одержали двопівперіодні схеми – однофазна з нульовим виводом (рис. 5.2, а) і однофазна мостова (рис. 5.2, б).

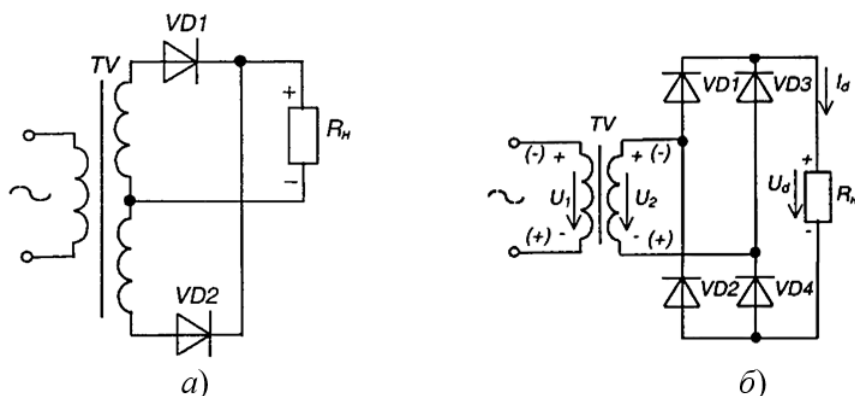


Рисунок 5.2 – Схеми випрямлячів

Навантаженням випрямляча являється ємнісний фільтр і стабілізатор.

Ємнісний фільтр - це конденсатор, що вмикається паралельно R_H . Розрахунок ємнісного фільтра зводиться до знаходження величини C_ϕ .

$$C_\phi = \frac{t_{розр.}}{R_{H,min.} \ln \frac{U_{H,max}}{U_{H,min}}}, \text{ де } t_{розр.} = \frac{1}{2f_{пульсацій}} \left(1 + \frac{\arcsin \frac{U_{H,min}}{U_{H,max}}}{90} \right).$$

$U_{H,max}$ та $U_{H,min}$ знаходяться при розрахунку стабілізатора.

$R_{H,min.} = \frac{U_{ж}}{I_{сп}}$ – відношення напруги живлення підсилювача до споживаючого ним струму.

На практиці можна прийняти $t_{розр.} = 1/f_{пульсацій} = 1/mf_{мережі}$, а $U_{H,max} = U_{H,m}$. Отримаємо величину C_ϕ з невеликим запасом.

Вихідними даними для розрахунку схеми випрямляча є постійна складова випрямленої напруги U_{H0} та середнє значення випрямленого струму I_{H0} .

$$I_{H0} = U_{H0}/R_H;$$

Необхідно розрахувати параметри для вибору діодів і трансформатора. Розглянемо основні співвідношення:

1. Постійна складова випрямленої напруги U_{H0} на навантаженні R_H для двопівперіодних схем буде:

$$U_{H0} = \frac{2U_{H,m}}{\pi} = 0,637 \cdot U_{H,m} = I_{H0} \cdot R_H.$$

2. Зворотна напруга на одному діоді:

- для схеми з нульовим виводом

$$U_{ЗВ,VD} = 2 \cdot U_{2m} = 2(U_{H,m} + U_{ПР,VD}) = 2 \cdot \left(\frac{\pi}{2} \cdot U_{H0} + U_{ПР,VD} \right) = 2 \cdot \left(\frac{\pi}{2} \cdot U_{H0} + (1...2)V \right).$$

- для мостової схеми

$$U_{ЗВ,VD} = U_{2m} = U_{H,m} + U_{ПР,VD} = \frac{\pi}{2} \cdot U_{H0} + U_{ПР,VD} = \frac{\pi}{2} \cdot U_{H0} + (1...2)V.$$

3. Діюче значення напруги на вході випрямляча (на вторинній обмотці трансформатора) $U_2 = \frac{U_{2m}}{\sqrt{2}}$.

4. Прямий струм через діод для двопівперіодних схем $I_{ПР,VD} = I_{H0}/2$.

5. Діоди вибираємо із 20% запасом за допустимими параметрами:

$$I_{ПР, доп} \geq 1,2 \cdot I_{ПР,VD}; \quad U_{ЗВ, доп} \geq 1,2 \cdot U_{ЗВ,VD}.$$

6. Коефіцієнт пульсації напруги для двопівперіодних схем $k_\Pi = 0,67$.

7. Кратність пульсацій для двопівперіодних схем $m = 2$.

8. Розрахунок параметрів для вибору трансформатора в схемі з нульовим виводом (див. рис. 5.2, а) виконується в послідовності.

8.1. Діюче значення напруги вторинної обмотки

$$U_2 = \frac{U_{2m}}{\sqrt{2}} = \frac{\frac{\pi}{2} \cdot U_{H0} + U_{PP.VD}}{\sqrt{2}} = 1,11 \cdot U_{H0} + 2 \cdot (1...2) \text{ В.}$$

8.2. Діюче значення струму вторинної обмотки:

$$I_2 = \frac{\pi}{4} I_{H0} = 0,785 I_{H0}.$$

8.3. Потужність всієї вторинної обмотки трансформатора:

$$S_2 = 2 \cdot U_2 \cdot I_2 = 2 \times (1,11 U_{H0} + 2 U_{PP.VD}) \times 0,785 I_{H0} \approx 1,74 P_H.$$

8.4. Потужність первинної обмотки трансформатора:

$$S_1 = U_{\text{мережі}} \cdot I_1 \approx 1,23 P_H.$$

8.5. Габаритна потужність трансформатора

$$S_T = \frac{1,23 + 1,74}{2} P_H = 1,48 P_H.$$

9. Розрахунок параметрів для вибору трансформатора в мостовій схемі (див. рис. 5.2, б) виконується аналогічно.

9.1. Діюче значення напруги вторинної обмотки

$$U_2 = \frac{U_{2m}}{\sqrt{2}} = \frac{\frac{\pi}{2} \cdot U_{H0} + U_{PP.VD}}{\sqrt{2}} = 1,11 \cdot U_{H0} + \frac{U_{PP.VD}}{\sqrt{2}}.$$

9.2 Діюче значення струму вторинної обмотки:

$$I_2 = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} I_{H0} = 1,11 I_{H0}.$$

9.3. Потужність вторинної обмотки трансформатора:

$$S_2 = U_2 \cdot I_2 \approx 1,23 P_H.$$

9.4. Потужність первинної обмотки трансформатора:

$$S_1 = U_{\text{мережі}} \cdot I_1 \approx 1,23 P_H.$$

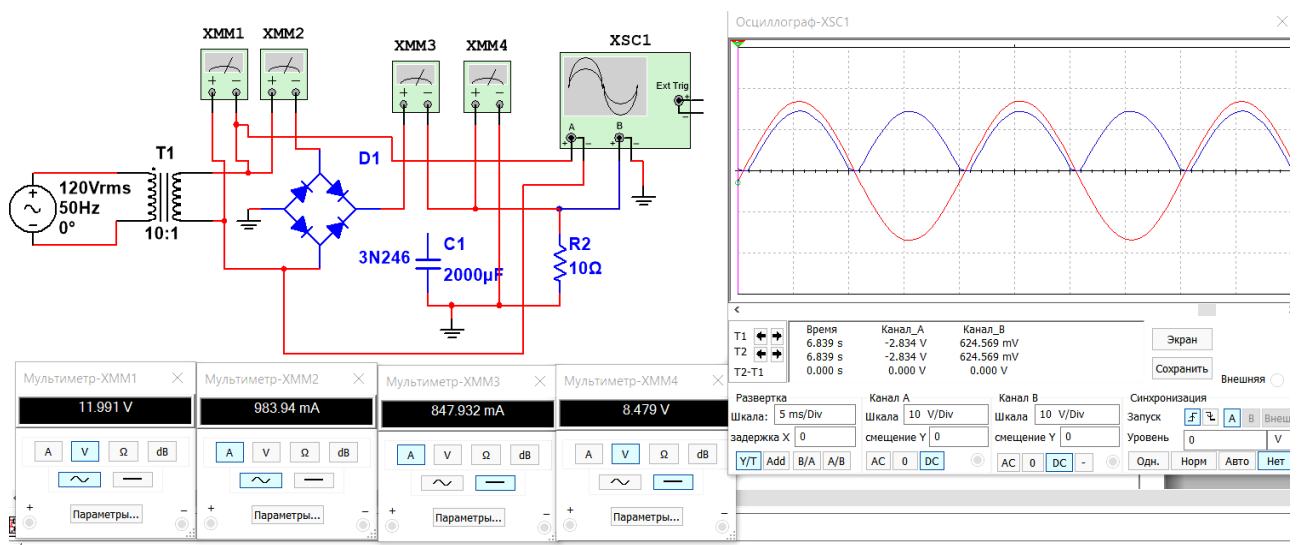
9.5. Габаритна потужність трансформатора

$$S_T = \frac{1,23 + 1,23}{2} P_H = 1,23 P_H.$$

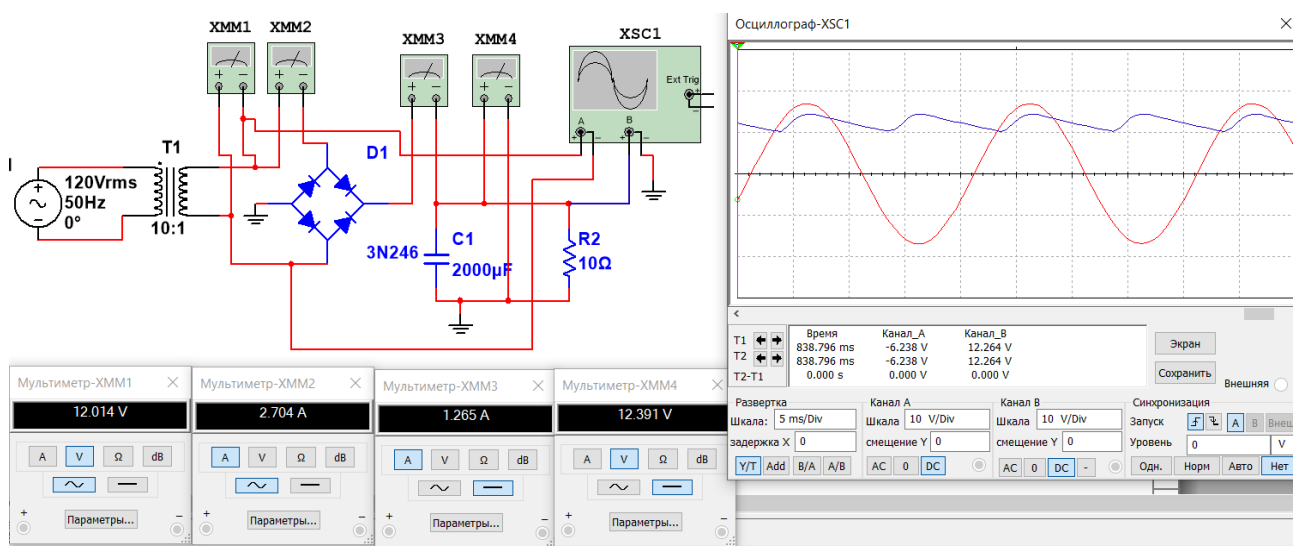
10. Виміряти і занести в таблицю отримані результати
11. Вибрати діоди і трансформатор.
12. В моделюючій програмі скласти схему розрахованого випрямляча і перевірити її роботу. Привести спільну осцилограму напруги U_2 і U_{H0} .

13. Приєднати паралельно навантаженню конденсатор фільтра, розраховавши за вище приведеною формулою його ємність для забезпечення мінімальної напруги пульсацій $U_{H.min}$. Привести спільну осцилограму напруги U_2 і U_{H0} . Виміряти і занести в таблицю отримані результати і порівняти їх з розрахованими.

Як приклад, на рис. 5.3, а представлена модель мостової схеми випрямляча без фільтра і осцилограма напруги U_2 і U_{H0} , а на рис. 5.3, б – модель тієї ж мостової схеми випрямляча з фільтром і осцилограма напруги U_2 і U_{H0} .



а



б

Рисунок 5.3 – Моделі схем випрямлячів

6 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ТА ЗАХИСТУ КУРСОВОЇ РОБОТИ

6.1 Виконання курсової роботи

Після затвердження плану роботи здобувач вищої освіти починає її виконання. Вимоги до структури й оформлення окремих розділів наведені в цих методичних рекомендаціях. У процесі написання окремих розділів здобувач вищої освіти подає їх керівнику на перевірку, виправляє та вносить доповнення у разі потреби, звітує керівнику про готовність роботи. Обговорення проблемних питань з викладачем – керівником здійснюється під час індивідуально-консультативних зустрічей або на консультаціях відповідно до затвердженого розкладу.

Контроль виконання, подання на перевірку і представлення закінченої курсової роботи здійснюється керівником роботи.

Керівник курсової роботи надає здобувачу освіти свої зауваження, коментарі, рекомендації, на підставі яких він виправляє роботу.

Завершену, остаточно оформлену, підписану здобувачем і керівником роботу, здобувач надає її для проведення перевірки на наявність плагіату.

Основні норми і процедури дотримання академічної доброчесності викладено у «[Положення про запобігання та виявлення академічного плагіату у ДДМА \(тимчасове\)](#)» та «[Порядок перевірки на плагіат](#)». З Положеннями відповідно можливо ознайомиться за посиланням (<http://surl.li/stzpv>) та (<http://surl.li/tpgzh>).

До здобувачів освіти, у випадку порушення правил академічної доброчесності, в тому числі встановлення факту плагіату, може бути застосовано такі види заходів впливу:

- академічні (попередження, не зарахування роботи, повторне проходження оцінювання, повторне проходження відповідного освітнього компонента освітньої програми;
- дисциплінарні (догана, попередження, відрахування з ДДМА та ін.

6.2 Критерії оцінювання курсової роботи

Курсова робота є самостійним теоретико-прикладним дослідженням здобувача вищої освіти.

При виставленні підсумкової оцінки враховуються попередні оцінки, виставлені керівником. Підсумкова оцінка може не збігатися з попередніми оцінками роботи.

При оцінюванні курсової роботи комісія враховує такі чинники:

1. Достатній теоретичний рівень розробки проблеми.
2. Актуальність проведеного дослідження.
3. Зв'язок теоретичних положень, розглянутих у роботі, із практикою.
4. Наявність елементів самостійної творчості.
5. Використання оригінальних джерел аналітичного й статистичного характеру.

6. Збалансована комбінація кількісних і якісних методів аналізу.
7. Повнота розв'язку поставлених у роботі завдань.
8. Грамотність і логічність у представленні матеріалу.
9. Якість оформлення роботи.

Комісія оцінює всі етапи захисту:

- презентацію результатів роботи;
- розуміння питань, що задаються членами комісії, і якість відповідей на запитання;
- уміння вести професійну дискусію;
- кваліфікацію та загальний рівень розуміння дослідженої проблеми, продемонстровані здобувачем у процесі захисту;
- загальний рівень культури спілкування з аудиторією.

Критерії оцінювання курсової роботи та її захисту наведені у табл. 6.1. Роботи, за якими визначено, що вони виконані без дотримання вимог академічної доброчесності, не оцінюються і до захисту не допускаються.

Таблиця 6.1 – Критерії оцінювання курсової роботи

Критерії оцінки курсової роботи	Максимум балів
Оформлення курсової роботи відповідає вимогам. Основні недоліки: перевищення обсягу; шрифт та інтервал не відповідають встановленим вимогам; відсутня нумерація заголовків.	5
Реферат і вступ відповідають вимогам. Основні недоліки: реферат не містить необхідних елементів, у вступі відсутнє обґрунтування актуальності теми та її значущості; не визначені мета та завдання, об'єкт, предмет.	5
Основна частина відповідає вимогам. Основні недоліки (з урахуванням специфіки теми і завдань роботи): відсутні глибина, всебічність і повнота викладення теоретичного матеріалу; не показані дискусійні питання, відсутній огляд літератури тощо, відсутній табличний та ілюстративний матеріал або його аналіз; використана застаріла елементна база; наведені дані не пов'язані зі змістом тексту роботи; наявність помилок у розрахунках.	55
Висновки відповідають вимогам. Основні недоліки: висновки не мають зв'язку з результатами дослідження та його завданнями; не підведені підсумки за всіма висвітленими питаннями та розділами; поверховий аналіз і недостатньо обґрунтовані висновки.	10
Список використаних джерел відповідає вимогам. Основні недоліки: недостатній рівень інформаційного забезпечення; неправильно оформлений; застаріла періодична література тощо.	5
Всього за результатами рецензування	80
Демонстрація розуміння теоретичних основ теми дослідження, ступеню володіння практичними аспектами теми дослідження, спроможності аргументувати власну точку зору щодо проблем і шляхів їх вирішення за даною роботою, в тому числі, в ході надання відповідей на запитання членів комісії.	20
Всього за результатами захисту	20
Всього за результатами рецензування і захисту	100

6.3 Порядок оскарження результатів оцінювання курсової роботи

У разі незгоди з оцінкою здобувач вищої освіти має право подати апеляцію відповідно п.5. «ПОЛОЖЕННЯ про екзаменаційні комісії Донбаської державної машинобудівної академії з атестації здобувачів вищої освіти» (<http://surl.li/tppze>).

У випадку незгоди з висновком щодо виявлення факту плагіату (копіювання) у роботі відповідно п.8 «Положення Про запобігання та виявлення академічного плагіату у навчальній та науково-дослідній роботі учасників освітнього процесу у ДДМА» (<http://surl.li/stzpy>), автор має право у триденний термін з моменту виявлення подати письмову апеляційну заяву на ім'я завідувача кафедрою.

Процедура розгляду апеляції проводиться відповідно «Положення про апеляційну комісію Донбаської державної машинобудівної академії» (<http://surl.li/tpqdk>)

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Будіщев М.С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка: Підручник – Львів: Афіша, 2001.
2. Воробйова О.М. Електроніка та мікросхемотехніка: підручник / О.М. Воробйова, І.П. Панфілов, М.П. Савицька, Ю.В. Флейта. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2015. – С. 298.
3. Колонтаєвський Ю.П., Сосков А.Г. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум: Навч. посіб. /За ред.. А.Г.Соскова. 2-е вид. –К.: Каравела, 2004. – 432 с.
4. Матвієнко М. П. Промислова електроніка. Підручник. — К. : Видавництво Ліра-К, 2019. — 633 с.
5. Схемотехніка електронних систем: У 3 кн. Кн. 1. Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої: Підручник /В.І.Бойко, А.М.Гуржій, В.Я.Жуйков та ін. – 2-ге вид., допов. і переробл. – К.: Вища шк., 2004. – 366 с.: іл.
6. Електроніка та мікропроцесорна техніка : конспект лекцій для здобувачів освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальності 174 / укл.: С. П. Сус. – Краматорськ - Тернопіль : ДДМА, 2023. – 354 с.
7. Подчашинський Ю.О., Чепюк Л.О., Воронова Т.С., Шавурська Л.Й. Електроніка та мікропроцесорна техніка. Курсове проектування : навч. посібник. – Ж. : ПП "Євро-Волинь", 2021. – 180 с.
8. Методичні вказівки до виконання контрольної роботи з навчальної дисципліни „Електроніка та мікросхемотехніка”, Ч.2 для студентів базового напрямку 6.0914 «Комп’ютеризовані системи, автоматика і управління» та базового напрямку 050201 «Системна інженерія» / Укл. О.С. Вітер, Р.В. Проць. – Львів: Видавництво Національного університету „Львівська політехніка”, 2008. 79с.

1 ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ ТЕКСТОВИХ ДОКУМЕНТІВ

1.1 Пояснювальна записка (ПЗ)

Пояснювальна записка служить для обґрунтування технічних рішень.

При оформленні ПЗ варто керуватися стандартом ДСТУ 3008-95 “ДОКУМЕНТАЦІЯ. ЗВІТИ В СФЕРІ НАУКИ І ТЕХНІКИ”.

Стандарт ДСТУ 3008-95 поширюється на звіти про роботи (дослідження, розробки), що виконуються у сфері науки та техніки, і встановлює загальні вимоги до викладу та оформлення звітів. Стандарт може бути застосований до дисертацій, дипломних та курсових робіт, тощо.

ПЗ умовно ділять на вступну частину, основну частину та додатки.

Вступна частина містить такі структурні елементи:

- титульний аркуш;
- технічне завдання;
- реферат;
- зміст;

Основна частина містить такі структурні елементи:

- вступ;
- суть роботи;
- висновки;
- перелік посилань.

1.1.1 Реферат

Реферат призначений для ознайомлення з роботою. Він повинен бути коротким і інформативним. Реферат повинен бути розміщений безпосередньо за технічним завданням, починаючи з нової сторінки.

Реферат повинен містити:

- відомості про обсяг ПЗ, кількість ілюстрацій, таблиць, додатків, кількість джерел з переліку посилань (приводяться всі відомості, включаючи дані додатків);

- текст реферату;
- перелік ключових слів.

Текст реферату повинен містити інформацію у такій послідовності:

- об'єкт дослідження або розробки;
- мета роботи;
- методи дослідження (аналіз джерел інформації, теоретичні дослідження, моделювання, апаратура);
- результати досліджень або розробок, їх новизна;
- область застосування.

Реферат необхідно виконувати обсягом не більшим за 500 слів, щоб він уміщався на одній сторінці формату А4.

Ключові слова розміщують після тексту реферату.

Перелік ключових слів включає від 5 до 15 слів (словосполучень), надрукованих прописними буквами в називному відмінку в рядок через коми.

1.1.2 Вступ

Вступ повинен містити:

- оцінку сучасного стану проблеми та відзначення практично вирішених завдань, прогалин знань, що існують у даній предметній області;
- мета роботи і сфера її застосування.

1.1.3 Суть роботи

Приводяться розділи з розрахунками, схемами і поясненнями суті роботи.

1.1.4 Висновки

Приводиться аналіз отриманих результатів.

Висновки починаються з нової сторінки.

1.1.5 Перелік посилань

Перелік джерел, на які посилаються в основній частині ПЗ, повинен бути наведений після висновків, починаючи з нової сторінки.

Бібліографічні описи в переліку посилань наводять у тому порядку, у якому вони вперше згадуються в тексті. Порядкові номери описів у переліку є посиланнями в тексті (номерні посилання).

Бібліографічні описи посилань у переліку наводять відповідно до ДСТУ ГОСТ 7.1.2006.

1.2 Основні вимоги до викладу тексту та оформлення ПЗ

ПЗ оформлюють на аркушах формату А4 (210x297 мм).

Текст ПЗ варто друкувати, дотримуючись таких розмірів полів: верхнє, ліве і нижнє – не менше 20 мм, праве – не менше 10 мм.

Абзацний відступ повинен бути однаковим по всьому тексту ПЗ і дорівнювати п'яти знакам.

Основним шрифтом є шрифт Times New Roman 14.

ПЗ виконують через півтора інтервалу. При виконанні ПЗ необхідно дотримуватись рівномірної щільності, контрастності й чіткості зображення.

1.2.1 Заголовки

Заголовки структурних елементів ПЗ і заголовки розділів потрібно розташовувати в середині рядка і друкувати прописними буквами без крапки наприкінці і не підкреслюючи.

Заголовки підрозділів, пунктів і підпунктів ПЗ варто починати з абзацного відступу і друкувати малими літерами, крім першої прописної, не підкреслюючи, без крапки наприкінці. Якщо заголовок складається з двох або більше речень, їх розділяють крапкою.

Переноси слів у заголовку не допускаються.

Відстань між заголовком і наступним або попереднім текстом повинна бути не меншою ніж три інтервали.

Відстань між рядками заголовка, а також між двома заголовками приймають такою ж, як і у тексті.

Не допускається розташовувати найменування розділу, підрозділу, а також пункту і підпункту в нижній частині сторінки, якщо після нього розташований тільки один рядок тексту.

Оформлення тексту, ілюстрацій і таблиць при машинному способі їхнього виконання повинне відповідати вимогам стандарту з урахуванням можливостей комп'ютерної техніки.

1.2.2 Нумерація сторінок

Сторінки ПЗ варто нумерувати арабськими цифрами, дотримуючись наскрізної нумерації по всьому тексту. Номер сторінки проставляють у правому верхньому куті сторінки без крапки наприкінці.

Титульний аркуш включають до загальної нумерації сторінок. Номер сторінки на титульному аркуші не проставляють.

Ілюстрації і таблиці, розташовані на окремих сторінках, включають до загальної нумерації сторінок.

Розділи підрозділи, пункти, підпункти ПЗ варто нумерувати арабськими цифрами.

Структурні елементи "РЕФЕРАТ", "ЗМІСТ", "ВСТУП", "ВИСНОВКИ", "ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ" не нумерують.

Розділи повинні мати порядкову нумерацію в межах викладу суті ПЗ і позначатися арабськими цифрами без крапки.

Підрозділи повинні мати порядкову нумерацію в межах кожного розділу. Номер підрозділу складається з номера розділу і порядкового номера підрозділу, розділених крапкою. Після номера підрозділу крапку не ставлять.

Пункти повинні мати порядкову нумерацію в межах кожного розділу або підрозділу. Номер пункту складається з номера розділу і порядкового номера пункту або з номера розділу, порядкового номера підрозділу та порядкового номера пункту, розділених крапкою. Після номера пункту крапку не ставлять.

Якщо текст підрозділяють тільки на пункти, їх варто нумерувати, за винятком додатків, порядковими номерами.

Номер підпункту складається з номера розділу, порядкового номера підрозділу, порядкового номера пункту і порядкового номера підпункту, розділених крапкою. Після номера підпункту крапку не ставлять.

1.2.3 Особливості оформлення ілюстрацій

Ілюстрації (креслення, рисунки, графіки, схеми, фотознімки) варто розташовувати безпосередньо після тексту, в якому вони згадуються вперше, або на наступній сторінці. На всі ілюстрації повинні бути дані посилання.

Ілюстрації можуть мати назву, яку поміщають під ілюстрацією. При необхідності назву доповнюють поясненнями.

Ілюстрація позначається словом "Рисунок ____", що разом з назвою ілюстрації (наприклад: Рисунок 1.1 – Схема розміщення) розміщають після пояснюючих даних.

Ілюстрації варто нумерувати арабськими цифрами порядковою нумерацією в межах розділу, за винятком ілюстрацій, що приводять у додатках.

Номер ілюстрації складається з номера розділу і порядкового номера ілюстрації, розділених крапкою, наприклад: "Рисунок 1.2" – другий рисунок першого розділу.

Приклад:

Застосування приводу показано на рисунку 1.3.

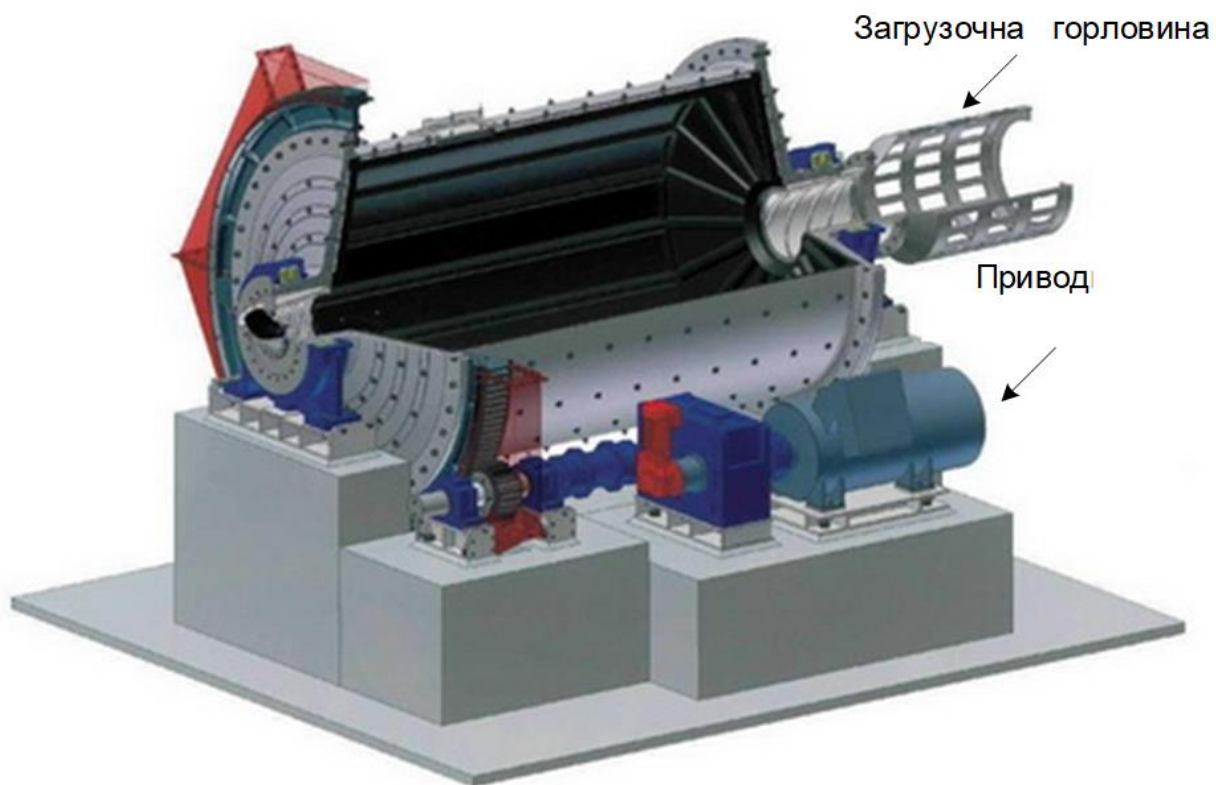


Рисунок 1.3 – Застосування приводу

Розміщення приводу (див. рис. 1.3) дозволяє виконати основні розрахунки по.....

1.2.4 Особливості оформлення таблиць

Таблиці застосовують для оформлення цифрового матеріалу.

Горизонтальні і вертикальні лінії, які розмежовують рядки таблиці, а також лінії, що обмежують таблицю ліворуч, праворуч і знизу, можна не проводити, якщо їхня відсутність не ускладнює користування таблицею.

Таблицю варто розташовувати безпосередньо після тексту, у якому вона згадується вперше, або на наступній сторінці. На всі таблиці повинні бути посилання в тексті ПЗ.

Таблиці варто нумерувати арабськими цифрами порядковою нумерацією в межах розділу, за винятком таблиць, що приводять у додатках. Номер таблиці складається з номера розділу і порядкового номера таблиці, розділених крапкою, наприклад: таблиця 2.1 – перша таблиця другого розділу.

Таблиця може мати назву, що друкується малими літерами (крім першої прописної). Назва розміщується над таблицею, вона повинна бути короткою і відбивати зміст таблиці.

Якщо рядки або графи таблиці виходять за формат сторінки, таблицю ділять на частини, поміщаючи або одну частину під іншою, або поруч, або переносячи частину таблиці на наступну сторінку. При цьому в кожній частині таблиці повторюють її головку і боковину.

При розподілі таблиці на частини допускається її головку або боковик замінити відповідно номерами граф або рядків. При цьому нумерують арабськими цифрами графи і (або) рядки першої частини таблиці.

Слово "Таблиця ____" указують один раз ліворуч над першою частиною таблиці. Над іншими частинами пишуть: "Продовження таблиці ____" із вказівкою номера таблиці.

Заголовки і підзаголовки граф указують в однині. Наприкінці заголовків і підзаголовків таблиць крапки не ставлять.

Приклад:

Результати розрахунків характеристики показані в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати розрахунків характеристики

α , град.	0	10	20	30	40	50	60	70
$E_d(\alpha)$, В	340,2	335,0	319,7	294,6	260,6	218,7	170,1	116,4

По даним (табл. 2.1) на рисунку 2.2 п.....

1.2.5 Особливості оформлення формул та рівнянь

Формули і рівняння розташовують безпосередньо після тексту, у якому вони згадуються, посередині сторінки.

Вище і нижче кожної формули або рівняння слід залишати не менше одного вільного рядка.

Формули і рівняння у ПЗ (за винятком формул і рівнянь, наведених у додатку) варто нумерувати порядковою нумерацією в межах розділу.

Номер формули або рівняння вказують на рядку на рівні формули або рівняння в дужках у крайньому правому положенні рядка.

Номер формули або рівняння складається з номера розділу і порядкового номера формули або рівняння, розділених крапкою.

Пояснення значень символів і числових коефіцієнтів, що входять у формулу або рівняння, варто приводити безпосередньо під формулою в тій послідовності, у якій вони дані у формулі або рівнянні.

Пояснення значення кожного символу варто давати з нового рядка. Перший рядок пояснення починають із абзацу словом "де" без двокрапки.

Переносити формули або рівняння на наступний рядок допускається тільки на знаках виконуваних операцій, причому знак операції на початку наступного рядка повторюють.

Математичні вирази повинні бути наведені в математичному стилі.

Приклад:

$$W_0 = C \cdot (q + 2q_{\text{л}}) \cdot L \cdot \psi, \quad (1.1)$$

де C – коефіцієнт;

q – вага.....на довжині 1 м, Н;

$q_{\text{л}}$ – вага заготовки, Н;

L – довжина заготовки, 1,5 м;

ψ – загальний коефіцієнт.

Додаток Б – Приклад титульного аркушу

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА АКАДЕМІЯ

Кафедра „Автоматизація виробничих процесів”

КУРСОВА РОБОТА
з дисципліни
«Електроніка та мікропроцесорна техніка»

Тема: „ ”.

Розробив ст. групи АВП22-1

(Прізвище І.П.)

Керівник

(Прізвище І.П.)

КРАМАТОРСЬК 2024

Додаток В – Приклад технічного завдання

Д Д М А
к а ф е д р а А В П

З А В Д А Н Н Я
на курсову роботу з дисципліни
«Електроніка та мікропроцесорна техніка»
студенту групи АВП-22-1
П.І.П.

Спроекувати підсилювач потужності з блоком живлення

В И Х І Д Н І Д А Н І

- опір навантаження – $R_n = 5 \text{ Ом}$;
- максимальна вихідна потужність – $P_n = 10 \text{ Вт}$;
- максимальна вхідна напруга – $U_{вх.т} = 10 \text{ мВ}$;
- робочий частотний діапазон – $f_n = 20 \text{ Гц}$, $f_v = 10 \text{ кГц}$;
- вхідний опір підсилювача – $R_{вх} \geq 10 \text{ кОм}$;
- напруга мережі живлення $U_m = 220 \text{ В}$, частотою 50 Гц ;
- схема випрямляча для блоку живлення – однофазна з нульовим виводом.

Питання для проробки

1. Аналіз схемотехніки підсилювачів потужності (ПП).
2. Розробка структурної схеми ПП.
3. Розрахунок вихідного каскаду ПП.
4. Дослідження вихідного каскаду ПП шляхом моделювання.
5. Розрахунок проміжних каскадів (при наявності) і їх моделювання.
6. Скласти в моделюючій програмі принципову схему всього підсилювача, експериментально визначити його параметри і порівняти їх із заданими.
7. Вибрати схему і розрахувати блок живлення.
8. Під'єднати блок живлення до підсилювача і перевірити шляхом моделювання роботу спроектованої схеми.

Завдання видане: 09 квітня 2024 р.

Термін виконання: 01 червня 2024 р.

Завдання видав

 (Сус С. П.)

Завдання прийнято до виконання _____ ()

Навчальне видання

ЕЛЕКТРОНІКА ТА МІКРОПРОЦЕСОРНА ТЕХНІКА

Методичні вказівки
до виконання курсової роботи
для здобувачів освіти першого (бакалаврського) рівня
спеціальності 174

Укладач

Степан Павлович Сус

За авторською редакцією