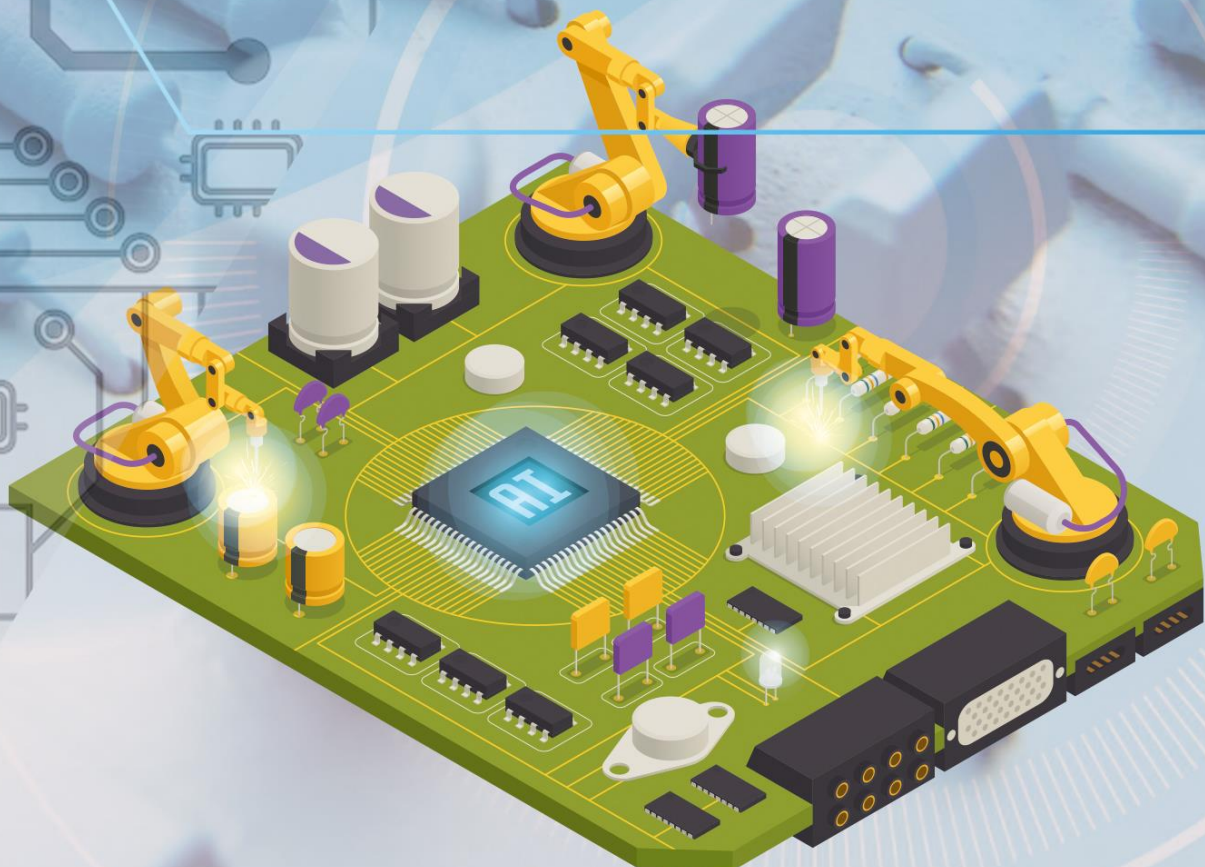


О. М. ФРОЛОВ
О. В. БУРЕНКО
О. П. СУББОТКІНА

ЕЛЕКТРОНІКА ТА МІКРОСХЕМОТЕХНІКА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Херсонський навчально-науковий інститут

О. М. ФРОЛОВ
О. В. БУРЕНКО
О. П. СУББОТКІНА

ЕЛЕКТРОНІКА ТА МІКРОСХЕМОТЕХНІКА

*Методичні вказівки
до виконання курсової роботи*

Рекомендовано Методичною радою ХННІ НУК

Миколаїв • НУК • 2024

УДК 621.3.01
Ф 91

АВТОРИ:

О. М. Фролов, кандидат технічних наук, доцент;
О. В. Буренко, зав. лабораторією автоматики та електроустаткування;
О. П. Субботкіна, провідної спеціаліст

РЕЦЕНЗЕНТИ:

П. Є. Міхаліченко, доктор технічних наук, професор;
В. С. Блінцов, доктор технічних наук, професор

Рекомендовано Методичною радою НУК

Фролов О. М.

Ф 91 Електроніка та мікросхемотехніка: методичні вказівки до виконання курсової роботи / О. М. Фролов, О. В. Буренко, О. П. Субботкіна. – Миколаїв : НУК, 2024. – 48 с.

Методичні вказівки включають варіанти завдань до курсової роботи, приклади виконання завдань, критерії оцінювання курсової роботи.

Призначено для студентів електротехнічних, електромеханічних та інших спеціальностей, які вивчають дисципліну «Електроніка та мікросхемотехніка».

УДК 621.3.01

© Фролов О. М., Буренко О. В., Субботкіна О. П., 2024
© НУК ім. адмірала Макарова, 2024

З М І С Т

ВСТУП.....	4
ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ РОБОТИ.....	7
ВАРІАНТИ ЗАВДАННЯ ДО КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	9
ПРИКЛАДИ ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ ДО КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	11
1 Приклад виконання завдання 1.....	11
1.1 Завдання	11
1.2 Аналіз схем підсилювачів напруги та визначення схеми для розрахунку.....	12
1.3 Вибір робочої точки та побудова навантажувальної характеристики підсилювача.....	17
1.4 Розрахунок та графічна побудова вихідної ВАХ транзистора.....	20
1.5 Розрахунок опору резисторів	22
1.6 Розрахунок та графічна побудова вхідної ВАХ транзистора.....	24
1.7 Розрахунок вхідного дільника	25
1.8 Розрахунок підсилювальних властивостей схеми підсилювача.....	26
1.9 Розрахунок ємності конденсаторів.....	27
2 Приклад розрахунку підсилювача потужності.....	29
2.1 Вибір схеми підсилювача потужності.....	29
2.2 Розрахунок параметрів джерела живлення.....	33
2.3 Розрахунок та вибір вихідних транзисторів.....	33
2.4 Розрахунок параметрів та типів транзисторів та резисторів фазоінверсного каскаду.....	34
3 Приклад розрахунків схем живлення.....	37
3.1 Розрахунок однофазного двополуперіодного випрямляча.....	37
3.2 Розрахунок однофазного мостового випрямляча.....	39
ОЦІНЮВАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	44
Список використаних джерел.....	47
Приклад оформлення титульного листа до курсової роботи	48

ВСТУП

Анотація

Дисципліна “Електроніка та мікросхемотехніка” займає головне місце серед дисциплін, які визначають теоретичний рівень професійної підготовки бакалаврів з електромеханіки. Вивчення дисципліни “Електроніка та мікросхемотехніка” передбачає набуття умінь успішно вирішувати технічні проблеми, пов’язані з дослідженням роботи систем радіоелектроніки та автоматики, передачі та обробки інформаційних сигналів.

Дисципліна “Електроніка та мікросхемотехніка” вивчається на основі знань, що отримують студенти після засвоєння дисциплін “Вища математика”, “Фізика”, “Теоретичні основи електротехніки”.

Дисципліна “Електроніка та мікросхемотехніка” носить міждисциплінарний характер, вона забезпечує підготовку студентів до вивчення навчальних дисциплін “Мікропроцесорні пристрої”, “Елементи автоматизованого електропривода” та “Силові перетворювачі автоматизованих електроприводів”, а також розробку відповідних розділів атестаційної випускної роботи бакалавра.

Ключові слова: діод, транзистор, тиристор, підсилювач, стабілізатор, логічний елемент, перетворювач коду, тригер, цифро-аналоговий перетворювач, аналого-цифровий перетворювач, схеми пам’яті, методи розрахунку.

Annotation

The discipline "Electronics and Microcircuitry" takes the main place among the disciplines that determine the theoretical level of professional training of bachelors in electromechanics. The study of the discipline "Electronics and Microcircuits" involves the acquisition of the ability to successfully solve technical problems associated with the study of radio electronics and automation systems, transmission and processing of information signals.

The discipline "Electronics and Microcircuitry" is studied on the basis of knowledge acquired by students after mastering the disciplines "Higher Mathematics", "Physics", "Theoretical Foundations of Electrical Engineering".

The discipline "Electronics and Microcircuitry" is interdisciplinary in nature, it prepares students to study the disciplines "Microprocessor Devices", "Elements of Automated Electric Drive" and "Power Converters of Automated Electric Drives", as well as the development of relevant sections of the graduation certificate.

Keywords: diode, transistor, thyristor, amplifier, stabilizer, logic element, code converter, trigger, digital-to-analog converter, analog-to-digital converter, memory circuits, calculation methods.

Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета вивчення дисципліни полягає в навчанні студентів теоретичним основам роботи електронних аналогових та цифрових пристроїв, а також практичним навичкам розрахунку та складання електронних схем різноманітного призначення.

Метою вивчення навчальної дисципліни “Електроніка та мікросхемотехніка” є формування у студентів згідно зі Стандартом вищої освіти України, затвердженим Наказом Міністерства освіти і науки України від 20.06.2019 р. №867) таких компетентностей:

Інтегральна компетентність - здатність розв’язувати спеціалізовані задачі та вирішувати практичні проблеми під час професійної діяльності у галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки або в процесі навчання, що передбачає застосування теорій та методів фізики та інженерних наук і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

Загальні компетентності:

K12.Здатність вирішувати практичні задачі із залученням методів математики, фізики та електротехніки.

K17.Здатність розробляти проекти електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного устаткування з дотриманням вимог законодавства, стандартів і технічного завдання.

K20. Усвідомлення необхідності постійно розширювати власні знання про нові технології в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці.

Завдання вивчення дисципліни полягають в тому, щоб сформувати та закріпити знання, навички та вміння в області застосування напівпровідникових приладів та інтегральних мікросхем. Здобуті знання та уміння дозволять фахівцю ефективно вирішувати задачі, пов’язані з автоматизованим керуванням та з методами і пристроями перетворення інформації в електронних системах.

У результаті вивчення дисципліни студент повинен:

знати:

- фізичні принципи роботи електронних аналогових та цифрових елементів і вузлів;
- арифметичні і логічні основи цифрової техніки;

- особливості лінійних та нелінійних аналогових пристроїв, їхні різновиди, принципи дії;
- конкретні схеми лінійних, нелінійних перетворювачів та генераторів гармонічних коливань на біполярних, польових транзисторах та інтегральних операційних підсилювачах;
- елементну базу ЦС: електронні ключі, інтегральні схеми різних технологій виготовлення;
- комбінаційні функціональні вузли: перетворювачі кодів, шифратори та дешифратори, мультіплексори та демультіплексори;
- послідовні функціональні вузли: тригери, регістри, лічильники.

вміти:

- розраховувати статичні і динамічні режими роботи лінійних і нелінійних перетворювачів сигналів;
- складати моделі складових великої схеми і макромодель в цілому;
- проектувати підсилювачі, генератори гармонічних коливань, операційні пристрої нульового, першого, другого і високого порядку, нелінійні перетворювачі сигналів на базі сучасних методів аналізу та розрахунку електронних схем;
- розраховувати аналогові пристрої і синтезувати цифрові схеми;
- реалізовувати комбінаційні логічні схеми у базисах логічних елементів різної технології;
- синтезувати тригерні схеми, лічильники з довільним коефіцієнтом рахування.

мати уяву про сучасні вироби електроніки, перспективи їх застосування в практичній та науковій діяльності за фахом.

.

Передумови для вивчення дисципліни

Передумовами для вивчення даної дисципліни є дисципліни: вища математика, фізика, теоретичні основи електротехніки.

ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ РОБОТИ

Курсова робота виконується у виді розрахунково-пояснювальної записки українською або російською мовою, та повинна містити:

- титульний лист;
- зміст;
- завдання на курсову роботу;
- введення;
- розрахунок та графічну побудову динамічної характеристики;
- розрахунок та графічну побудову вихідної ВАХ транзистора;
- розрахунок та графічну побудову вхідної ВАХ транзистора;
- розрахунок вхідного діляника;
- розрахунок параметрів конденсаторів;
- розрахунок підсилювача властивостей схеми підсилювача;
- висновок;
- список використаних джерел.

Розрахунково-пояснювальна записка повинна бути написана акуратно, без виправлень, на стандартних аркушах папера розміром 210x297 мм. Сторінки нумеруються арабськими цифрами. Поля (без рамки): ліворуч – 30 мм, зверху, праворуч і знизу – 20 мм. Титульний лист повинен бути надрукованим (див. додаток 1), загальна частина може виконуватися як надрукованою, так і рукописною.

Розділи основної частини розрахунково-пояснювальної записки нумерують арабськими цифрами. Введення і висновок не нумерують. Усі розрахунки варто супроводжувати поясненнями. Розрахунки записують у наступному порядку: 1) формула в загальному виді; 2) формула з підстановкою чисельних значень і отриманий результат обчислень із вказівкою одиниць виміру. Результати обчислень округляються до трьох-чотирьох значущих цифр. Формули також нумерують. Номер формули приводять із правої сторони листа в круглих дужках. Нумерація формул наскрізна в межах розділу. Наприклад, формули, приведені в розділі 3 по черзі повинні мати номери: (3.1), (3.2), (3.3) і т.д. Однотипні розрахунки, що проведені по одній формулі, варто зводити в таблиці. Усі рисунки і таблиці повинні бути пронумеровані і підписані. Найменування і номери таблиць розташовують над ними. Нумерація таблиць і рисунків також наскрізна в межах одного розділу.

Усі схеми повинні бути виконані з дотриманням вимог стандартів на оформлення технічної документації (ЕСКД). Для виконання графіків

використовується міліметровий папір або креслять сітку на звичайному папері.

Посилання на літературу в тексті приводять у квадратних дужках, у яких арабськими цифрами вказують номер даного джерела в списку літератури.

Розрахунки завдань виконуються за послідовністю та за формулами, які наведені в прикладі виконання завдань до курсової роботи. Обов'язкове в курсової роботі повинні бути наведені:

- вихідна ВАХ транзистора з динамічною характеристикою та вказаною робочою точкою;
- принципові схеми підсилювачів напруги;
- принципова схема вихідного підсилювача потужності;
- принципова схема завданого випрямляча.

ВАРІАНТИ ЗАВДАННЯ ДО КУРСОВОЇ РОБОТИ

1. Провести розрахунок параметрів підсилювача напруги та номіналів елементів схеми підсилювача розрахунково – графічним методом. Дані до розрахунку по варіантах приведено в таблиці А.
 2. Провести розрахунок та визначити за довідниками елементи підсилювача потужності за даними варіанту по таблиці Б.
 3. Розрахувати блок живлення для підсилювача потужності.
- №№ варіантів для виконання роботи видає студенту викладач.

Таблиця А

Дані по варіантах до роботи

№ варі- анта	Параметри схеми та транзистора									
	$h_{21E.CP}$, од.	I_{Kmax} , мА	V_{KEOmax} , В	P_{max} , мВт	r_K , Ом	V_{CC} , В	f_H , Гц	f_{β} , кГц	$V_{BE.sat}$, В при $I_{нас}=1\text{мА}$	Тип транзи- стора
1	50	10	20	150	100	12	100	12,5	0,90	КТ301А
2	40	30	10	150	40	9	80	14	0,85	КТ306А
3	25	30	30	225	50	18	63	15	0,85	КТ312Б
4	40	100	20	150	20	15	50	16	0,80	КТ315А
5	80	60	15	225	15	12,5	30	18	0,75	КТ325А
6	100	50	25	250	12	18	20	20	0,75	КТ342А
7	150	100	30	150	10	24	25	18	0,70	КТ3102А
8	80	10	20	150	100	15	100	15	0,90	КТ301Б
9	40	30	10	150	40	10	80	12	0,85	КТ306Б
10	25	30	30	225	50	12	63	15	0,85	КТ312Б
11	50	100	15	150	20	14	50	15	0,80	КТ315Б
12	100	60	15	225	15	15	30	18	0,75	КТ325Б
13	200	50	25	250	12	15	25	20	0,75	КТ342Б
14	200	100	30	150	10	20	25	18	0,70	КТ3102Б
15	20	100	30	150	20	16	40	16	0,80	КТ315Б
16	400	50	20	250	12	12	25	20	0,75	КТ342Б
17	200	100	20	150	10	15	20	25	0,70	КТ3102Б
18	400	100	15	150	10	12	30	18	0,70	КТ3102Г
19	40	10	20	150	100	15	100	12,5	0,90	КТ301А
20	20	30	10	150	40	10	80	14	0,85	КТ306А
21	25	30	30	225	50	15	63	15	0,85	КТ312Б
22	20	100	20	150	20	14	50	16	0,80	КТ315А
23	40	60	15	225	15	10	30	18	0,75	КТ325А
24	100	50	25	250	12	16	20	20	0,75	КТ342А
25	100	100	30	150	10	20	25	18	0,70	КТ3102А
26	40	50	15	150	25	14	50	15	0,80	КТ361Б

Таблиця Б

№ варіанту	Оптимальна вихідна потужність, $P_{\text{вих}}, \text{ Вт}$	Опір навантаження , $R_n, \text{ Ом}$	Випрямляч блоку живлення	
			Схема	Коефіцієнт пульсацій $K_{\text{по}}$
1	10	4,5	Мостова	0,12
2	15	6,0	Двополуперіодна	0,1
3	20	5,5	Мостова	0,15
4	45	4,0	Двополуперіодна	0,11
5	30	4,0	Мостова	0,12
6	50	5,0	Двополуперіодна	0,1
7	60	4,5	Мостова	0,15
8	10	8,0	Двополуперіодна	0,11
9	15	8,0	Мостова	0,125
10	20	6,0	Двополуперіодна	0,1
11	45	5,0	Мостова	0,15
12	30	4,5	Двополуперіодна	0,11
13	50	6,0	Мостова	0,12
14	60	5,5	Двополуперіодна	0,1
15	10	4,0	Мостова	0,15
16	15	4,0	Двополуперіодна	0,11
17	20	5,0	Мостова	0,125
18	45	4,5	Двополуперіодна	0,1
19	30	4,5	Мостова	0,15
20	50	6,0	Двополуперіодна	0,11
21	60	4,0	Мостова	0,12
22	25	4,0	Двополуперіодна	0,1
23	12	8,0	Мостова	0,15
24	18	6,0	Двополуперіодна	0,11
25	32	5,0	Мостова	0,125

ПРИКЛАДИ ВИКОНАННЯ ЗАВДАННЯ ДО КУРСОВОЇ РОБОТИ

1. ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ ЗАВДАННЯ №1

1.1. Завдання

Провести розрахунок параметрів підсилювача напруги (рис.1.3) та номіналів елементів схеми підсилювача розрахунково – графічним методом, якщо задано:

Параметри підсилювача:

- Напруга живлення $V_{CC} = 12,0$ В;
- Нижня частота $f_n = 30$ Гц;
- Верхня частота $f_v = 18$ кГц.

Параметри транзистора:

- Коефіцієнт підсилювання мінімальний $B_{N.MIN} = 20$ од;
- Коефіцієнт підсилювання максимальний $B_{N.MAX} = 90$ од;
- Максимально-допустима напруга колектор-емітер $V_{KEmax} = 20$ В;
- Максимально-допустимий струм колектора $I_{Kmax} = 100$ мА;
- Максимально-допустима потужність розсіювання $P_{MAX} = 150$ мВт;
- Опір колектора транзистора $R_K = 20$ Ом;
- Пряме спадання напруги на р-п переході емітер-база при струмі 1 мА $V_{BE.sat} = 0,8$ В;
- Гранична частота $f_T = 100$ МГц.

1.2. Аналіз схем підсилювачів напруги та визначення схеми для розрахунку

Головною задачею розрахунку є визначення параметрів елементів принципової схеми підсилювача напруги для отримання режимів покою, які визначаються положенням робочої точки на вхідній та вихідній ВАХ транзистора. Підсилювачі напруги на одному транзисторі працюють в режимі класу А, щоб викривлення сигналу були найменші.

У режимі класу А робоча точка розташовується на прямолінійній ділянці вхідний ВАХ, так щоб при негативному напівперіоді вхідної синусоїдальної напруги цей сигнал накладався на ВАХ вище точки перегину. Тому вхідний сигнал напруги перетворюється на сигнал базового струму з незначними викривленнями, як показано на рисунку 1.1. А вихідний сигнал на колекторі повторюватиме форму вхідного струму до бази транзистора.

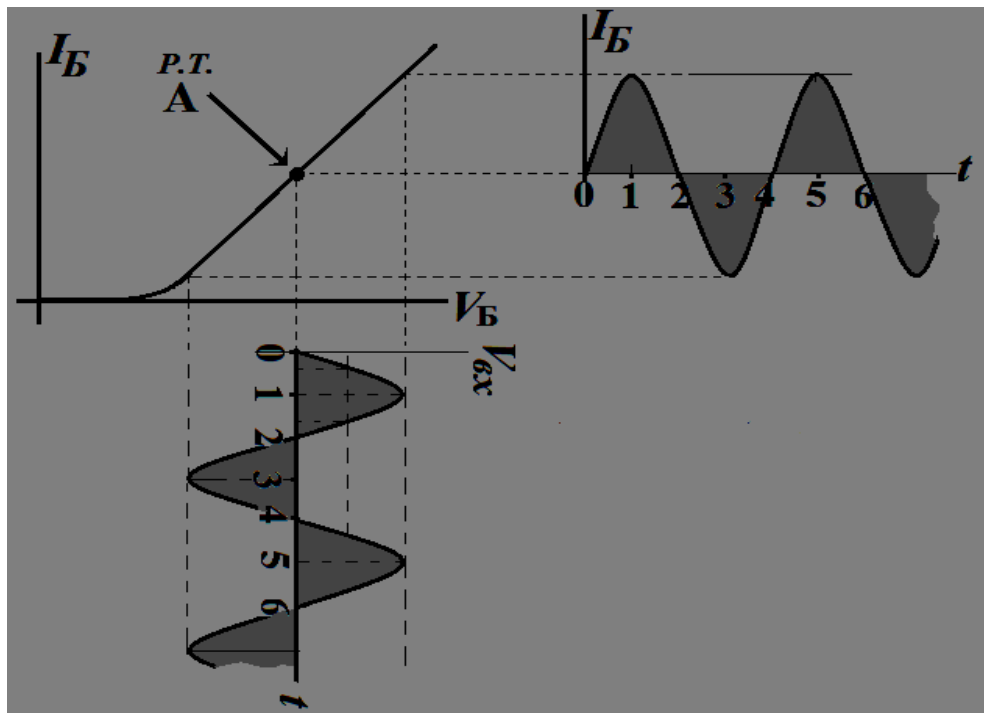


Рис.1.1. Схема роботи підсилювального каскаду для режиму класу А.

Існує кілька видів схем підсилювальних каскадів, які відрізняються режимами отримання робочої точки на вихідній ВАХ біполярного транзистора.

Робочу точку на вихідній ВАХ (р.т.) – точку перетину напруги на колекторі в робочій точки ($V_{K.PT}$) зі струмом колектора в робочій точці ($I_{K.PT}$) –

вибирають на динамічній характеристиці. Зазвичай робоча точка (режим колектора постійного струму) лежить на перетині ліній $V_{K.PT}=V_{cc}/2$ чи $I_{K.PT}=I_{max}/2$ з динамічною характеристикою, як показано рисунку 1.2.

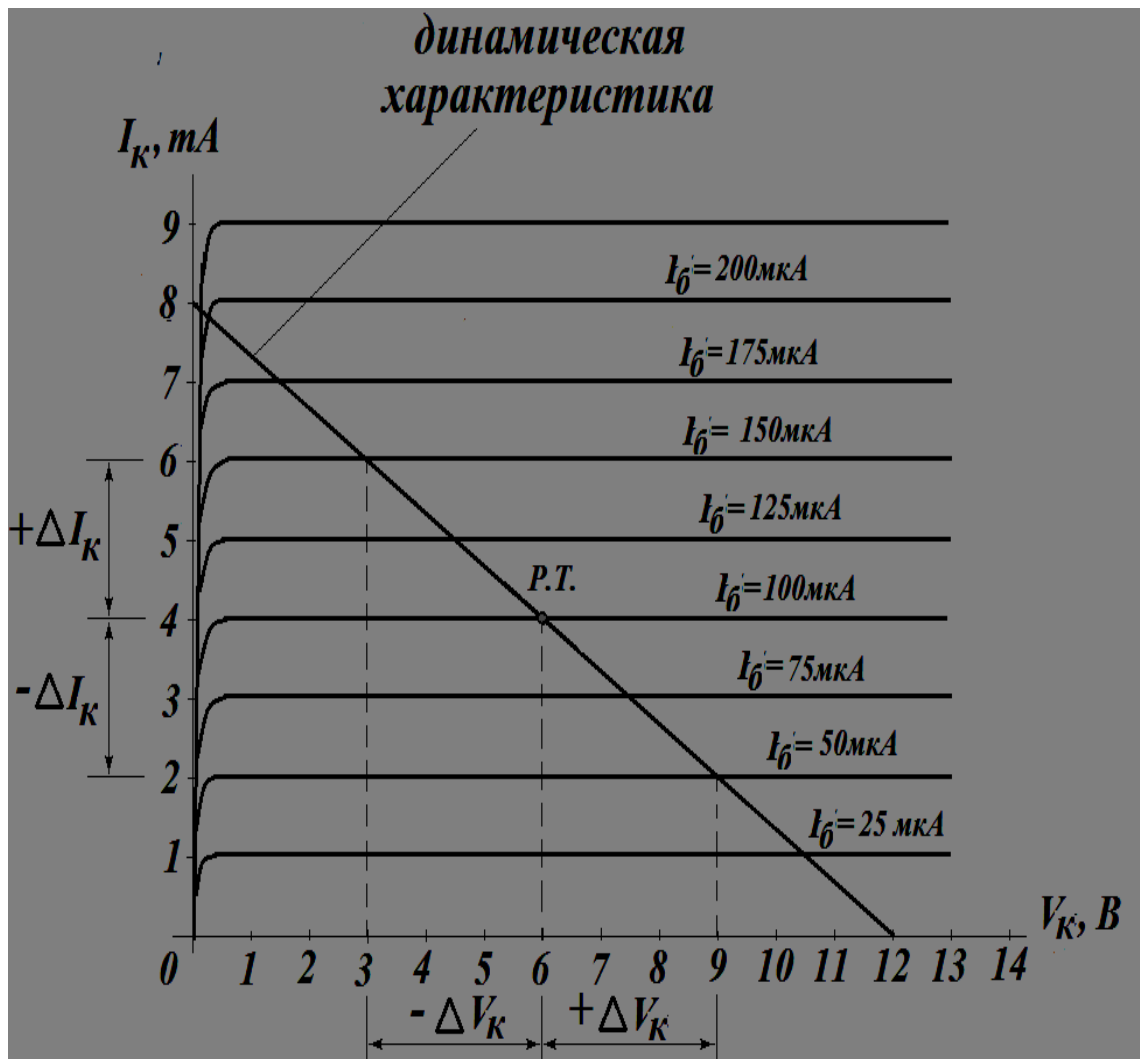


Рис.1.2. Динамічна характеристика підсилювального каскаду та його робоча точка

Для того, щоб забезпечити струм робочої точки колектора $I_{K.PT}$, необхідно, щоб струм бази в робочій точці $I_{B.PT}$ на вхідний ВАХ дорівнював:

$$I_{B.PT} = \frac{I_{K.PT}}{h_{21Э}} ;$$

де $h_{21Э}$ —коефіцієнт посилення транзистора по струму в схемі з ОЕ.

Режим із подачею фіксованого струму до бази. Схема підсилювального каскаду з таким режимом має вигляд, показаний рисунку 1.3.

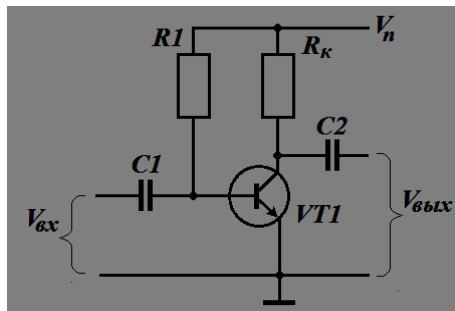


Рис.1.3. Схема підсилювального каскаду з подачею фіксованого струму в базу.

Схема дуже проста і недорога, тому що в ній використовується лише два резистори.

Недолік схеми у цьому, що з заміни транзистора з іншим коефіцієнтом посилення, зміниться струм $I_{K.PT}$, тобто. режим каскаду постійного струму істотно зміниться. Крім того, при підвищенні температури також зміниться режим постійного струму, так як змінюються значення опорів і змінюються коефіцієнти посилення струму транзисторів.

Отже, дана схема може бути рекомендована для підсилювача сигналу напруги з такою стабілізацією робочої точки, що відповідає сучасним вимогам до стабілізації.

Режим із подачею фіксованого напруження на базу. Схема підсилювального каскаду з таким режимом має вигляд, показаний на рисунку 1.4.

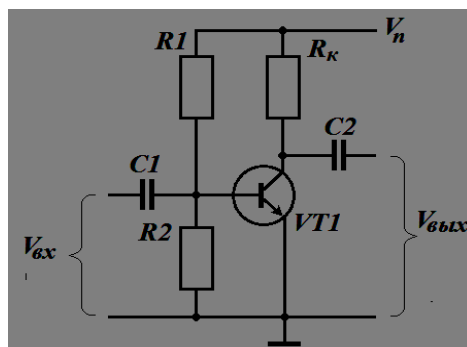


Рис.1.4. Схема підсилювального каскаду з подачею фіксованої напруги на базу

Схема стійкіша до зміни коефіцієнта посилення, але менш економічна через перебіг струму в ділянці R1-R2. Крім того, резистор R2 шунтує вхідний

сигнал. Додатково схема не має стабілізації робочої точки при зміні температури.

Колекторна стабілізація робочої точки. Схема підсилювального каскаду з таким режимом має вигляд, показаний рисунку 1.5.

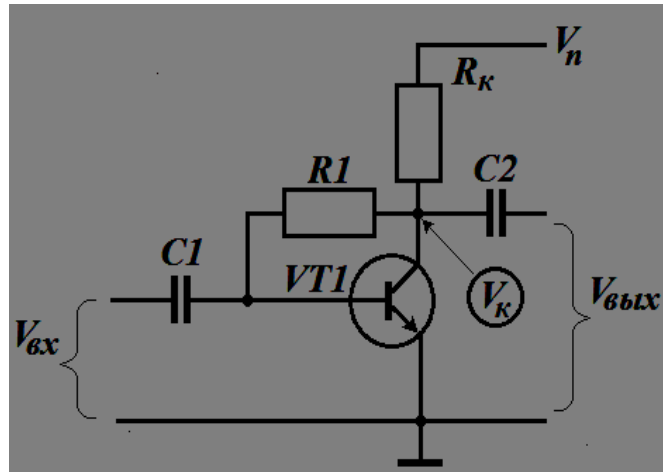


Рис.1.4. Схема підсилювального каскаду з колекторною стабілізацією робочої точки

Ця схема проста і недорога. Однак у порівнянні зі схемою на рисунку 1.3 схема має кращу стабілізацію робочої точки.

Якщо з будь-якої причини збільшується струм колектора в робочій точці, то вихідною характеристикою робоча точка Р.Т. (див рис.1.2) зсувається вгору по навантажувальній характеристиці, і, відповідно, напруга в робочій точці зменшується, тобто напруга зменшується на колекторі. Відповідно зменшується падіння напруги на резисторі R1.

Через це зменшується струм робочої точки на вхідній характеристиці (струм через R1) – тобто струм бази. Зменшення струму бази призводить до зменшення струму колектора і робоча точка на вихідній ВАХ транзистора зсувається вниз за характеристикою навантаження.

Якщо з будь-якої причини зменшується струм колектора в робочій точці, то напруга в робочій точці збільшується і також збільшується струм в базу транзистора. Це призводить до збільшення струму колектора.

В результаті відбувається стабілізація робочої точки.

Ця схема завдяки гарній стабілізації робочої точки досить часто застосовується в промислових виробках електронної техніки.

Емітерна стабілізація робочої точки. Схема підсилювального каскаду з емітерною стабілізацією робочої точки має вигляд, показаний на рисунку 1.5.

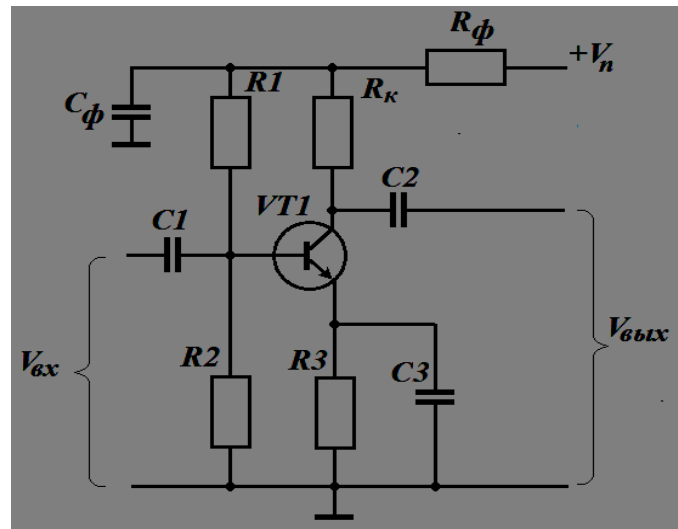


Рис.1.5. Схема підсилювального каскаду з емітерною стабілізацією робочої точки

Якщо з будь-якої причини збільшується струм колектора в робочій точці, цей струм також збільшується і через резистор в емітерному ланцюгу. Через це напруга на резисторі R_3 збільшується. Так як напруга на базі транзистора постійно, то згідно з формулою (10.10) напруга між висновками бази та емітера зменшується. Це зменшує струм робочої точки на базі, і, відповідно, зменшує струм колектора в робочій точці. В результаті відбувається стабілізація робочої точки.

Крім того, наявність резистора R_ϕ призводить до додаткової стабілізації робочої точки, так як у цьому випадку проявляється такий же ефект, як і при колекторній стабілізації робочої точки.

Висновок. Враховуючи, що у схемі з емітерною стабілізацією робочої точки виходить подвійна стабілізація, цю схему вибирають як найкращу за параметрами і, відповідно, ця схема обрана для подальшого розрахунку.

1.3. Вибір робочої точки та побудова навантажувальної характеристики підсилювача

Для розробки схеми підсилювача напруги (попереднього підсилювача) варто визначити необхідні електричні параметри транзистора.

Попередні підсилювачі напруги будуються звичайно на універсальних транзисторах малої потужності, а в деяких випадках на транзисторах середньої потужності. Вибір типу транзистора залежить від потужності вихідного сигналу. Малопотужні транзистори (КТ301, КТ312, КТ315, КТ342, КТ3102, КТ3130, КТ361, КТ3107, КТ3129 та ін.) як правило мають припустиму потужність розсіювання, (100-150) мВт, транзистори середньої потужності (КТ501, КТ502, КТ503, КТ601, КТ602, КТ603 і ін.) – (400-1000) мВт. Для забезпечення надійної роботи підсилювача звичайно вибирають режим роботи (50-70)% від максимальної припустимої потужності. З огляду на те, що більшість сучасних кремнієвих транзисторів мають напругу пробою V_{KEO} більше 20 В, напругу джерела живлення (V_{CC}) вибирають із ряду напруг: 9В; 10В; 12В; 15В; 18В. Для транзисторів з $V_{KEO.MAX}$ більше 30В напругу джерела живлення може бути обране з ряду 20В; 24В; 27В; 30В.

Для виключення перекручування вхідного сигналу на виході попередні підсилювачі звичайно працюють у режимі А.

Після визначення напруги джерела живлення схеми проводиться вибір робочої точки на ВАХ транзистора. По осі напруг робочу точку, - напругу на колекторі транзистора, - попередньо оцінюють як половину напруги джерела живлення, тобто:

$$V_{K.PT}=V_{CC}/2; \quad (1.1)$$

Після цього вибирають тип транзистора, по довіднику визначають його припустиму потужність розсіювання ($P_{K.MAX}$) і визначають струм колектора в робочій точці:

$$I_{K.PT}=P_{K.MAX}/(2 \cdot V_{K.PT}); \quad (1.2)$$

За значеннями V_{CC} і параметрам робочої точки будується навантажувальна (динамічна) характеристика. Для цього по осі напруг відкладають точку зі значенням V_{CC} , по обчислених координатах відзначають робочу точку та через них проводять пряму лінію до перетинання з віссю струмів. По точці перетинання визначають максимальний струм через транзистор I_{MAX} . Якщо цей струм не перевищує значень (60 -75)% від максимально припустимого струму колектора $I_{K.MAX}$ по довіднику, то транзистор обраний вірно. У протилежному випадку необхідно взяти транзистор з більшою припустимою потужністю розсіювання або зменшити напругу в робочій точці.

Для побудови динамічної характеристики також на вихідній ВАХ треба побудувати графік визначеної робочої потужності транзистора, для чого використовують формулу потужності:

$$P_K = I_K \cdot V_K; \quad (1.3)$$

Звідси:

$$I_K = P_K / V_K; \quad (1.4)$$

Для надійної роботи підсилювача потужність P_K приймають з запасом (50-70)% від $P_{K.MAX}$.

Прийняв значення напруги на колекторі V_K через (1-3) В у діапазоні від 0 до напруги живлення V_{CC} визначають значення струму колектора I_K .

Для підсилювача напруги попередньо обраний транзистор КТ315А и напруга джерела живлення $V_{CC}=12В$. По довіднику визначаємо електричні параметри та характеристики цього транзистора:

$$V_{KEO.MAX}=20В;$$

$$I_{K.MAX} = 100mA;$$

$$P_{K.MAX}=150 мВт;$$

$$h_{21E}=(B_N)=20-90;$$

$$V_{KE.sat}=0,6 В \text{ при струмі колектора } I_{K.sat}=I_{K.нас}=50 мА (R_K=12 Ом);$$

$$V_{BE.sat}=0,8 В \text{ при струмі бази } I_{B.sat}=I_{B.нас}=1mA;$$

$$f_T=250 МГц$$

По формулі (1.1):

$$V_{K.PT}=12/2=6В;$$

По формулі (1.2):

$$I_{K.PT}=P_{K.MAX}/(2 \cdot V_{K.PT}) = 150/(2 \cdot 6)=12,5 мА$$

Вибираємо струм колектора в робочій точці рівним 12 мА. Та будуємо динамічну (навантажувальну) характеристику. У результаті виходить графік, показаний на рисунку 1.6.

Максимальна потужність транзистора КТ315 – 150 мВт, приймав її з запасом 50% для надійної роботи, отримаємо $P_K=0,5 \cdot P_{K.MAX}=0,5 \cdot 150 = 75 мВт$.

Використав формулу (1.4) та параметри транзистора отримуємо:

$$\text{для } V_{K1}=3В: I_{K1}=75/3=25 мА;$$

для $V_{K2}=5\text{В}; I_{K2}=75/5=15\text{ мА}$

для $V_{K3}=6\text{В}; I_{K3}=75/6=12,5\text{ мА};$

для $V_{K4}=7,5\text{В}; I_{K4}=75/7,5=10\text{ мА}$

дані розрахунку заносимо в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2

№ точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Значення V_K , В	3	5	6	7,5	10	12,5	-	-	-	-
Значення I_K , мА	25	15	12,5	10	7,5	6	-	-	-	-

По отриманим даним будують на графіку лінію припустимої потужності.

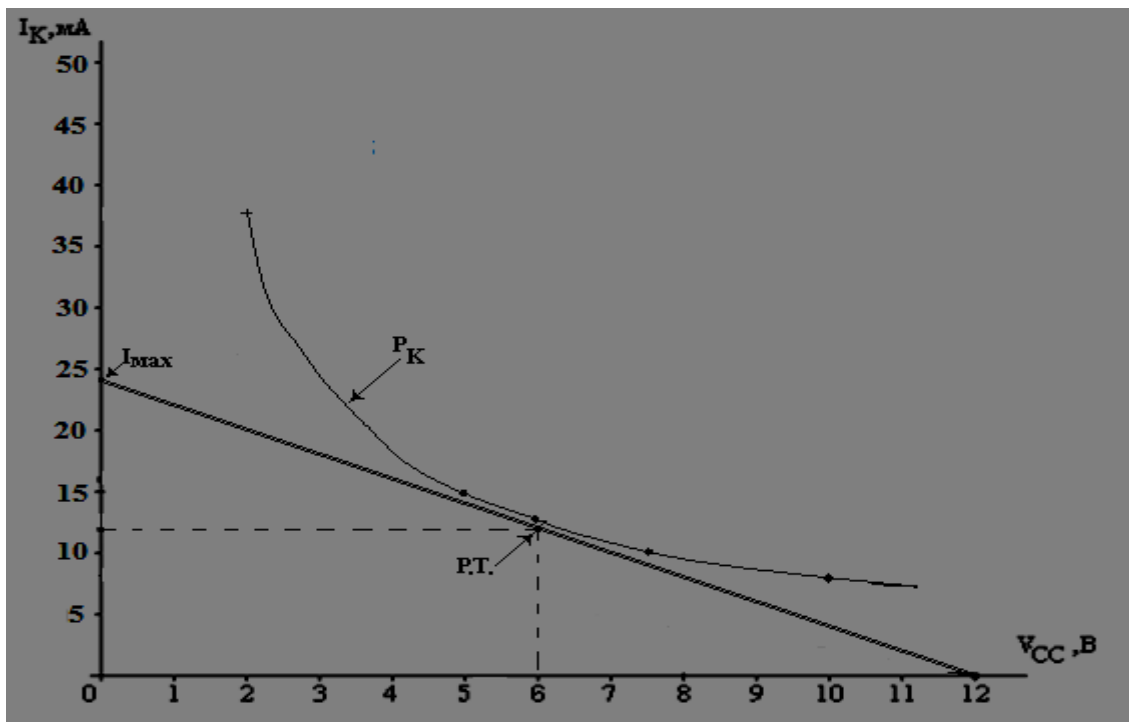


Рис.1.6. Динамічна (навантажувальна) характеристика підсилювача напруги

Із графіка видно, що максимальний струм колектора дорівнює 24 мА та він не перевищує максимально припустимого значення струму колектора по довіднику. Виходить, тип транзистора та напруга в робочій точці обрані правильно і не вимагають коректування.

1.4. Розрахунок та графічна побудова вихідної ВАХ транзистора

Для підсилювання сигналу з малим коефіцієнтом перекручування треба будувати підсилювач з режимом роботи типу А.

Ступені колекторного струму ΔI_K для побудови вихідної ВАХ визначають за формулою:

$$\Delta I_K = I_{MAX} / (6 - 12) = (0,5; 1; 1,5; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 10; \dots) \text{ мА} \quad (1.5)$$

Для побудови вихідної ВАХ та визначення робочої точки на вхідній ВАХ транзистора визначають середній коефіцієнт підсилення по струму колектора за формулою:

$$h_{21E.CP} = (h_{21E.MAX} + h_{21E.MIN}) / 2 \pm 25\%; \quad (1.6)$$

Значення коефіцієнтів підсилення $h_{21E.MAX}$ и $h_{21E.MIN}$ визначають за довідником, та приймають в значеннях, які потім добре використовувати, наприклад, типові значення 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 та т.д.

А значення ступенів базового струму ΔI_B визначають як:

$$\Delta I_B = \Delta I_K / h_{21E.CP}; \quad (1.7)$$

Потім на побудованому графіку з динамічною характеристикою будують і вихідну ВАХ транзистора з загальним емітером. Для цього спочатку будують лінію насичення транзистора, використавши значення опору колектора транзистора r_K .

Визначають координату напруги за вираженням:

$$V_{KE.sat} = V_{KE.нас} = r_K \cdot I_{K.нас} = r_K \cdot I_{MAX}; \quad (1.8)$$

де $I_{K.нас}$ - струм колектора зі значенням близьким до значення I_{MAX} .

На графіку ВАХ будуємо точку з координатами $V_{KE.нас}$ і $I_{нас}$ та проводимо пряму лінію від цієї точки в начало координат (точку 0 і 0).

Потім будують на графіку (6-12) горизонтальних ліній по числу, яке використано в формулі (1.5) від графіку максимально – допустимої потужності до лінії насичення зі струмами, які визначено з формули (1.5) від 0 до I_{MAX} .

Приклад 2.

Ступені колекторного струму ΔI_K для побудови вихідної ВАХ визначають за формулою (1.5). Тому, прийняв кількість ступенів рівною 12 отримаємо:

$$\Delta I_K = 24/12 = 2 \text{ мА}$$

Для побудови вихідної ВАХ та визначення робочої точки на вхідній ВАХ транзистора визначають середній коефіцієнт підсилення по струму колектора за формулою (1.6):

$$h_{21E.CP} = (90 + 20)/2 \pm 25\% = 55 \pm 10$$

Значення коефіцієнтів підсилення $h_{21E.MAX}$ и $h_{21E.MIN}$ визначають за довідником, та приймають в значеннях, які потім добре використовувати, наприклад, типові значення 15, 20, 25, 30, 40, 50, 80, 100, 125, 150, та т.д.

Для подальших розрахунків приймаємо $h_{21E.CP} = 50$ од.

Значення ступенів базового струму ΔI_B визначають за формулою (1.7):

$$\Delta I_B = 2 \text{ мА} / 50 = 0,04 \text{ мА} = 40 \text{ мкА}$$

По розрахованим даним на графіку з динамічною характеристикою будують і вихідну ВАХ транзистора з загальним емітером. Для побудови спочатку лінії насичення транзистора, визначають координату напруги за формулою (1.8):

$$V_{KE.sat} = V_{KE.нас} = 12 \cdot 25 \cdot 10^{-3} = 0,3 \text{ В}$$

На графіку ВАХ будуємо точку з координатами $V_{KE.нас}$ і $I_{нас}$ та проводимо пряму лінію від цієї точки в начало координат (точку 0 і 0).

Тому що при розрахунку було використано число 12, при визначенні ступенів струму колектора, на графіку вихідної ВАХ будують 12 ліній колекторного струму через кожні 2 мА від 0 до 24 мА. Графік динамічної характеристики підсилювача с вихідної ВАХ транзистора приведено на рис. 1.7.

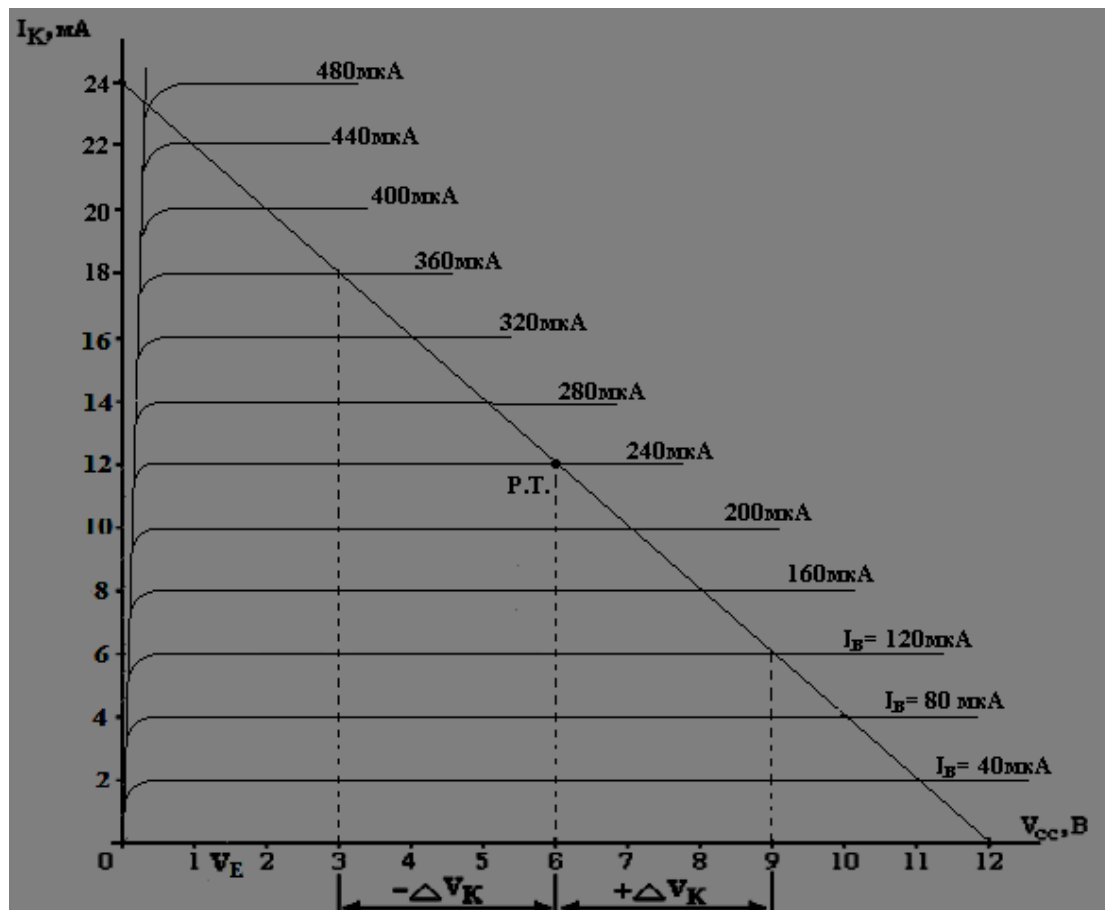


Рис.1.7. Вихідна ВАХ транзистора та динамічна характеристика

З графіку вихідної ВАХ визначають, що в робочій точці струм колектора дорівнює $I_{K.PT}=12$ мА, а напруга на колекторі $V_{K.PT}=6$ В.

Також приймаємо, що амплітуда вихідного сигналу повинна складати величину:

$$\Delta V_K \approx V_{K.PT}/2 = 6/2 = 3\text{В}$$

1.5. Розрахунок опор резисторів в колі колектора та емітера та області гарантованої роботи підсилювача

Для оцінювання діапазону достовірної роботи підсилювального каскаду треба визначити опори резисторів в колах колектора (навантаження) та емітера, для цього використовують формулу:

$$R_K + R_3 = V_{CC} / I_{MAX}; \quad (1.9)$$

Де значення опору резистора в колі емітера визначають в діапазоні:

$$R_3 = (0,1-0,5)R_K; \quad (1.10)$$

Падіння напруги на резисторі R_3 при роботі транзистора в робочій точці буде визначатися за законом Ома по вираженню:

$$V_E = R_3 \cdot I_{K.PT}; \quad (1.11)$$

Максимальний розмах вихідної напруги на колекторі не повинен бути більш за значення:

$$\Delta V_{\text{вих.мах}} \leq V_{K.PT} - V_E; \quad (1.12)$$

Приклад 3

Прийняв $R_3 = 0,3 \cdot R_K$, з формули (1.9) отримаємо:

$$1,3 R_K = V_{CC} / I_{MAX}; \quad (1.13)$$

Звідси:

$$R_K = V_{CC} / 1,3 \cdot I_{MAX};$$

І буде дорівнювати $R_K = 12 / 1,3 \cdot 24 \cdot 10^{-3} = 384 \text{ Ом}$

А опір резистора в колі емітера буде складати:

$$R_3 = 0,3 \cdot 384 = 115 \text{ Ом}$$

Реальні опори резисторів повинні вибиратися з ряду, який є пропорційний наступним значенням ($\times 1$; $\times 10$; $\times 100$; $\times 1\text{кОм}$; $\times 10\text{кОм}$; $\times 100\text{кОм}$; $\times 1\text{Мом}$; $\times 10\text{Мом}$):

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.

Тому вибрані значення опорів резисторів будуть такими:

$R_K = 390 \text{ Ом};$

$R_3 = 120 \text{ Ом}.$

Падіння напруги на резисторі R3 при роботі транзистора в робочій точці буде визначатися по вираженню (1.11):

$$V_E = 120 \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 1,44 \approx 1,5 \text{ В}$$

Тоді максимальний розмах вихідної напруги на колекторі згідно з формулою (1.12):

$$\Delta V_{\text{вих.мах}} \leq 6 - 1,44 \approx 4,5 \text{ В}$$

Враховув, що в процесі роботи в температурному діапазоні змінюються параметри транзистора та резисторів, визначають діапазон достовірної (гарантованої) роботи транзистора по колекторному струму. Таким діапазоном є діапазон від другої до шостої ліній вихідної ВАХ, тобто по струму колектора від 6 мА до 18 мА, що дає по струму бази діапазон від 120 мкА до 360 мкА, а по напрузі на колекторі від 3В до 9В. Тобто:

$$\Delta I_{\text{вих.}} = \pm 6 \text{ мА};$$

$$\Delta V_{\text{вих.}} = \pm 3 \text{ В};$$

$$\Delta I_{\text{ВХ}} = \pm 120 \text{ мкА}.$$

1.6. Розрахунок та графічна побудова вхідної ВАХ транзистора

З вихідної ВАХ визначають діапазон струмів бази, в якому підсилювач буде працювати в режимі класу А, тобто від $-\Delta I_{\text{ВХ}}$ до $+\Delta I_{\text{ВХ}}$. Потім будують вхідну ВАХ р-п переходу емітер-база. емітер-база. Для цього використовують формулу (для температури 25°C):

$$I_{\text{БЕ}} = I_0 \cdot \exp(eV_{\text{БЕ}}/kT) = I_0 \cdot \exp(V_{\text{БЕ}}/0,026); \quad (1.14)$$

де - I_0 – струм насичення р-п переходу;

- e – заряд електрона;

- $V_{\text{БЕ}}$ – напруга на р-п переході емітер-база;

- k - постійна Больцмана;

- T – температура, К.

Для визначення значення I_0 використовують дані довідників для вказаного типу транзистора:

$$I_0 = I_{\text{В.нас}} / \exp(V_{\text{БЕ.сат}}/0,026); \quad (1.15)$$

Напруга на базі V_B визначається напругою на р-п переході емітер-база V_{BE} , падінням напруги на емітерному резисторі R_3 при струмі робочої точки та залежністю вхідної ВАХ від напруги на колекторі. Тому напруга V_B буде визначатися за вираженням:

$$V_B = V_{BE} + I_{BE} \cdot R_3 + V_E; \quad (1.16)$$

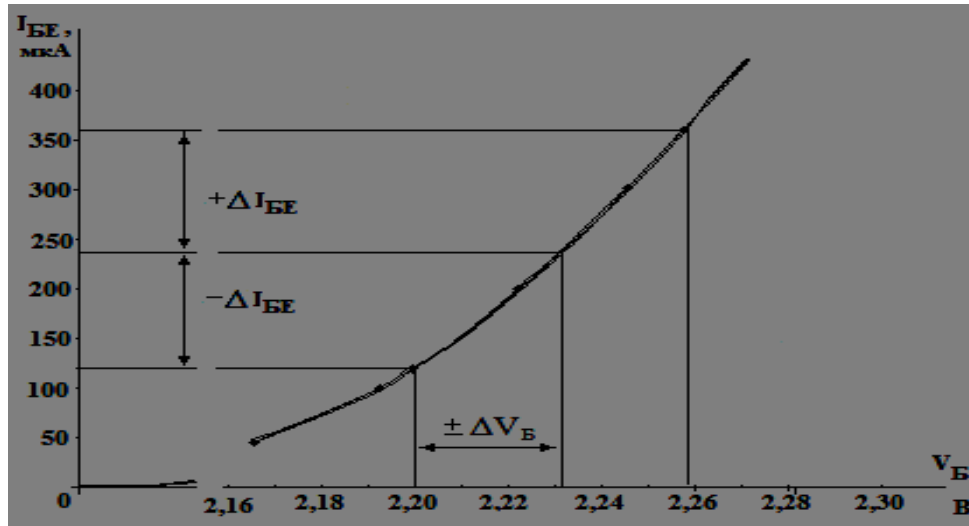


Рис.1.8. Вхідна ВАХ транзисторного підсилювального каскаду

З таблиці або графіку визначаємо, що для створення режиму робочій точці при струмі бази 240 мкА на базі повинна бути напруга 2,232 В. Врахувавши, що напруга V_{BE} , в кремнієвих транзисторах підвищується на 0,1-0,2 В при підвищенні напруги на колекторі від 5В до 20В, приймаємо, що по постійному режиму напруга на базі повинна дорівнювати $V_{B(PT)} = 2,4$ В.

З графіку визначаємо, що амплітуда вхідної напруги сигналу буде дорівнювати:

$$\Delta V_B = 2,232 - 2,20 = 0,032 \text{ В} = 32 \text{ мВ}$$

1.7. Розрахунок вхідного дільника

По отриманому параметру $V_{B(PT)}$ визначають опори резисторів базового дільника R_1 та R_2 . Для цього приймають струм в дільнику в діапазоні від $2 \cdot I_{B,PT}$ до $3 \cdot I_{B,PT}$. Тобто:

$$I_D = (2-3) \cdot I_{B,PT}; \quad (1.17)$$

Опір резистора R1 визначають за формулою:

$$R1 = (V_{CC} - V_{B(PT)}) / I_D; \quad (1.18)$$

Опір резистора R2 визначають за формулою:

$$R2 = V_{B(PT)} / (I_D - I_{B,PT}); \quad (1.19)$$

Приклад 4

Опори резисторів базового дільника R1 та R2 визначають по отриманому параметру $V_{B(PT)}$ Струм в базовому дільнику визначають за формулою (1.17):

$$I_D = (2-3) \cdot I_{B,PT} = 2 \cdot 240 = 480 \text{ мкА};$$

Опір резистора R1 визначають за формулою (1.18):

$$R1 = (V_{CC} - V_{B(PT)}) / I_D = (12 - 2,4) / 480 \cdot 10^{-6} = 20000 \text{ Ом} = 20 \text{ кОм}$$

Прийняте значення резистора R1 буде дорівнювати: 20 кОм.

Опір резистора R2 визначають за формулою (1.19):

$$R2 = V_{B(PT)} / (I_D - I_{B,PT}) = 2,4 / (480 - 240) \cdot 10^{-6} = 10000 \text{ Ом} = 10 \text{ кОм}.$$

Прийняте значення резистора R2 буде дорівнювати: 10 кОм.

1.8. Розрахунок підсилювальних властивостей схеми підсилювача

Підсилювальні властивості каскаду визначаються коефіцієнтом підсилювання струму (K_i), коефіцієнтом підсилювання напруги – (K_v) та коефіцієнтом підсилювання потужності – (K_p).

Коефіцієнт підсилювання струму для показаної схеми визначається за формулою (1.6):

$$K_i = B_N = h_{21E,CP}; \quad (1.20)$$

та буде дорівнювати $K_i = 50$ од.

Коефіцієнт підсилювання напруги визначається за даними, що визначені по вихідної та вхідної ВАХ (на рис.1.7 та рис.1.8) з використанням формули:

$$K_V = \Delta V_K / \Delta V_B; \quad (1.21)$$

та буде дорівнювати: $K_V = \Delta V_K / \Delta V_B = 3 \text{ В} / 32 \text{ мВ} \approx 93$ од

Коефіцієнт підсилювання потужності для показаної схеми визначається за формулою:

$$K_P = K_i \cdot K_V; \quad (1.22)$$

та буде дорівнювати $K_P = K_i \cdot K_V = 50 \cdot 93 = 4650$

1.9. Розрахунок ємності конденсаторів

В підсилювачах напруги використовуються декілька видів конденсаторів. На вході та на виході підсилювача встановлюється розділювальні конденсатори. Вони пропускають змінну напругу сигналу, однак не пропускають постійну напругу режимів, що діють в схемі без сигналу. Опір конденсаторів залежить від частоти сигналу, - чим більша частота, тим менш опір конденсатору. Тому при більшій частоті більший сигнал приходить на базу транзистора, а також більший сигнал виходить з підсилювача на наступний каскад апаратури. Значить, чим більша ємність розділювальних конденсаторів, тим менш втрат сигналу в схемі підсилювача.

Прийняв припустиме зниження підсилення за рахунок розділювальних (прохідних) конденсаторів на низькій частоті 10%, використовують формулу розрахунку:

$$C_P \geq 0,37 \cdot 10^6 / [f_n \cdot (R_K + R_{ВХ})]; \quad (\text{мкФ}) \quad (1.23)$$

Прийняв припустиме зниження підсилення на низькій частоті за рахунок конденсатора в колі емітера 30% величину ємності конденсатору в колі емітера транзистора визначають за вираженням:

$$C_E \geq 0,73 \cdot 10^6 / (f_n \cdot R_E); \quad (\text{мкФ}) \quad (1.24)$$

Приклад розрахунку

Прийняв, що вхідної опір наступного каскаду буде дорівнювати величині $R_{ВХ} = 5 \text{ кОм}$, розрахуємо ємність розділювальних конденсаторів за формулою (1.23):

$$C_P \geq 0,37 \cdot 10^6 / [30 \cdot (390 + 5 \cdot 10^3)] = 2,28 \quad (\text{мкФ})$$

Приймаємо значення ємності конденсаторів $C_p=5,0$ мкФ х 10В

Ємність конденсатору C_E визначаємо за формулою (1.24) при $R_E=R_3=120$ Ом:

$$C_E \geq 0,73 \cdot 10^6 / (30 \cdot 120) = 202 \text{ (мкФ)}$$

Приймаємо значення ємності конденсаторів $C_E=240,0$ мкФ х 6В

Визначені параметри підсилювача змінної напруги та параметри елементів схеми і режими.

Параметри елементів:

$R_1= 20$ кОм;

$R_2= 10$ кОм;

$R_K=390$ Ом;

$R_3= 120$ Ом;

$C_p=5,0$ мкФ х 10В;

$C_E= 240$ мкФ х 6В.

Параметри підсилювача:

$K_p=4650$;

$K_V = 93$;

$K_i = 50$;

$\Delta V_{B.BX} = \pm 32$ мВ;

$\Delta V_{K.BIX} = \pm 3$ В;

$\Delta I_{B.BX} = \pm 120$ мкА;

$\Delta I_{K.BIX} = \pm 6$ мА;

Режим роботи по постійному струму (при відсутності вхідного сигналу):

$V_{CC}= 12$ В;

$V_K= 6$ В;

$V_B= 2,4$ В;

$V_E=1,5$ В.

2. ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ПІДСИЛЮВАЧА ПОТУЖНОСТІ

Завдання до розрахунку завдання 2

Провести розрахунок параметрів елементів та вибрати елементи за довідником для підсилювача потужності низької частоти, схема якого приведена на рисунку 2.1, з наступними параметрами:

Вихідна потужність підсилювача – $P_{\text{вих}}=40\text{Вт}$;

Опір навантаження – $R_{\text{н}}=4,5\text{Ом}$.

Визначити :

- параметри резисторів R_7, R_8 ;
- параметри та визначити типи транзисторів $VT_1, VT_2, VT_3, VT_4, VT_5$;
- параметри джерела живлення;
- вибрати схему випрямляча та визначити параметри трансформатора та тип діодів для випрямляча.

2.1. Вибір схеми підсилювача потужності

Спочатку розвитку напівпровідникової електроніки вихідні підсилювачі потужності виконувалися з використанням вихідних трансформаторів. Найбільша проблема була в виготовленні спеціального вихідного трансформатора, де первинна та вторинна обмотки необхідно було виконувати з більшим числом чергування секцій для зменшення перекручування вихідного сигналу.

По мірі розвитку електроніки появились схеми без трансформаторних підсилювачів. Найбільше використання отримали два види схем безтрансформаторних підсилювачів потужності.

Один вид побудований на двох транзисторах з **однаковими параметрами**, але з **різним** типом провідності, тобто на комплементарних парах ($n-p-n$ і $p-n-p$). Наприклад, КТ814 і КТ815, КТ816 і КТ817, КТ818 і КТ819, КТ315 і КТ361, КТ3102 і КТ3107, ГТ402 і ГТ404 і т.д. Схему вихідного каскаду безтрансформаторного підсилювача потужності на комплементарній парі наведено на рисунку 2.1.

Якщо на вхід схеми приходить позитивна півхвиля вхідної напруги, то транзистор VT_1 відкривається, а VT_2 – закривається. Напрямок зміни їх струмів викликають у магнітопроводі динамічної головки (Гр) магнітні потоки одного напрямку, які підсумуються, що збільшує потужність вихідного сигналу.

Вихідні потужні транзистори в такій схемі включені з ЗК, що добре узгоджується з навантаженням та дає високу якість відтворення звуку.

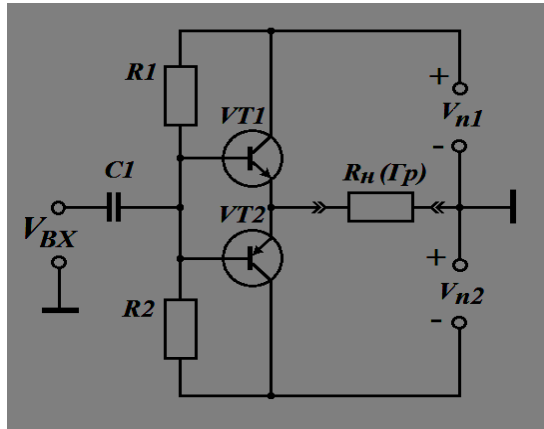


Рис.2.1. Схема вихідного каскаду безтрансформаторного підсилювача потужності на комплементарній парі транзисторів

Недоліки схеми:

- необхідність у двох джерелах живлення V_{n1} і V_{n2} ;
- при виході з ладу одного із транзисторів, через нього та через навантаження може протікати дуже великий струм, що приводить до виходу з ладу дорогої динамічної головки.

Другий вид схем побудований на двох транзисторах з однаковими параметрами та однаковим типом провідності, і має тільки одне джерело живлення. У даній схемі для керування транзисторами необхідні протифазні сигнали на базах, які одержують від фазоінверсного каскаду. Типова схема вихідного каскаду має вигляд, показаний на рисунку 2.2.

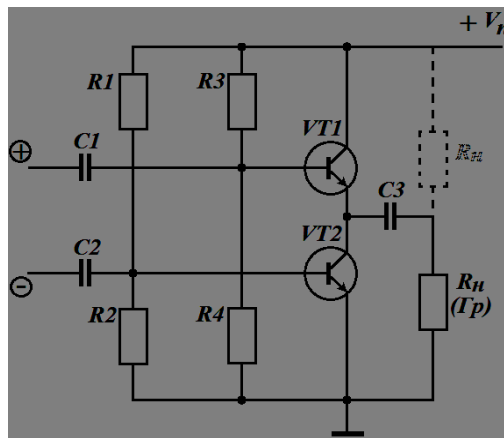


Рис.2.2. Схема вихідного каскаду безтрансформаторного підсилювача потужності на однотипних транзисторах

Навантаження підключається через розділовий конденсатор $C3$. а це захищає динамічну головку (Гр) у випадку короткого замикання транзисторів.

Через протифазні сигнали на базах коли один транзистор відкривається, то іншої закривається.

За схемою видно, що верхній транзистор включений з ЗК (навантаження в ланцюзі емітера), а нижній транзистор включений з ЗЕ (навантаження в ланцюзі колектора). Це приводить до збільшення рівня нелінійних викривлень. Однак використання зворотних зв'язків дозволяє значно зменшити нелінійні викривлення.

Навантаження P_n у схемі можна підключати як до (-), так і до (+) виводу джерела живлення. Для підвищення надійності роботи та спрощення схеми живлення в даній роботі обрана схема підсилювача потужності з вихідними транзисторами однакового типу. Приклад схеми реального підсилювача потужності на (10-25) Вт показано на рисунку 2.3.

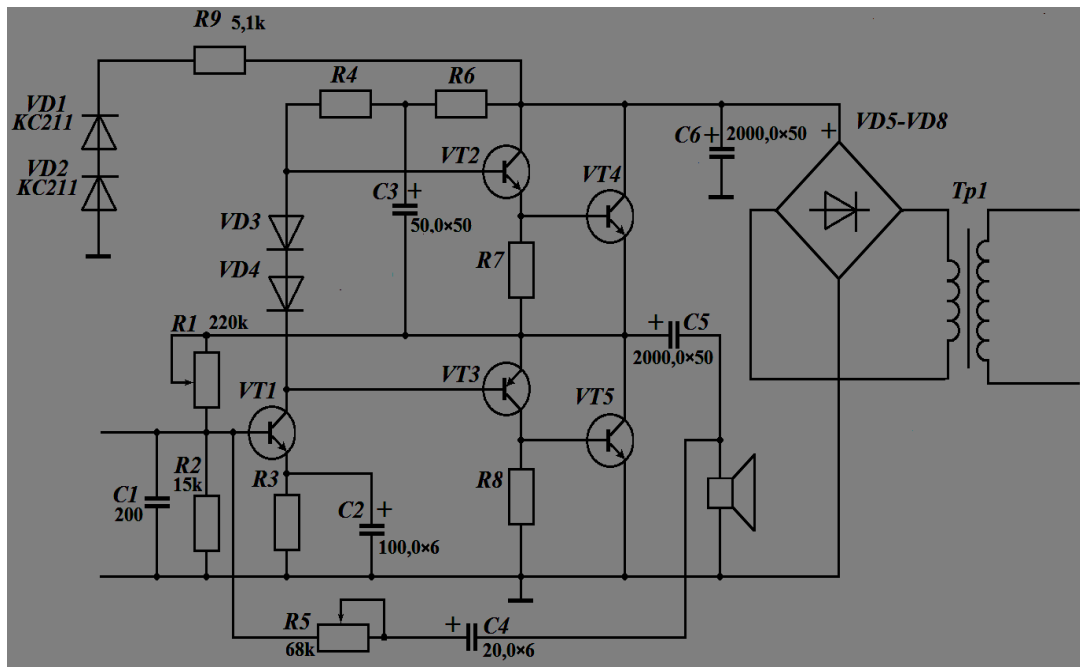


Рис. 2.3. Схема підсилювача потужності низької частоти
(підсилювача потужності)

У даній схемі за час першого півперіоду вхідний сигнал підсилюється одним транзистором, а за час другого півперіоду – іншим, а перший транзистор закривається. Для роботи такого підсилювача використовують режими роботи В и АВ. Сам режим установлюється добром базового дільника на резисторах R_7 і R_8 . У режимі В робочу точку вибирають на самому початку перегину вхідної характеристики та при симетричній

включенні транзисторів можуть з'явитися викривлення типу «сходинка», як показано на рисунку 2.4.

У режимі АВ робоча точка виводиться на початок лінійної ділянки вхідний ВАХ (рис.2.5). Базові струми збільшуються, але нелінійні викривлення помітно зменшуються.

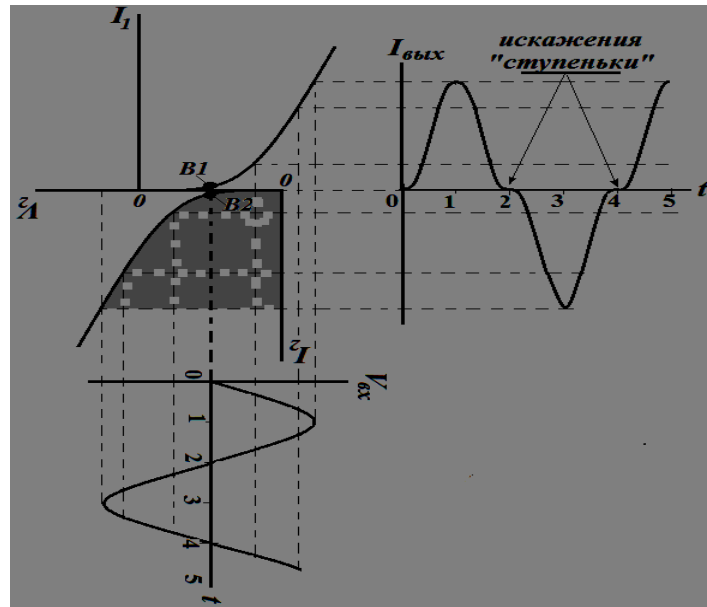


Рис.2.4. Вихідний сигнал двотактного підсилювача потужності при роботі в режимі В

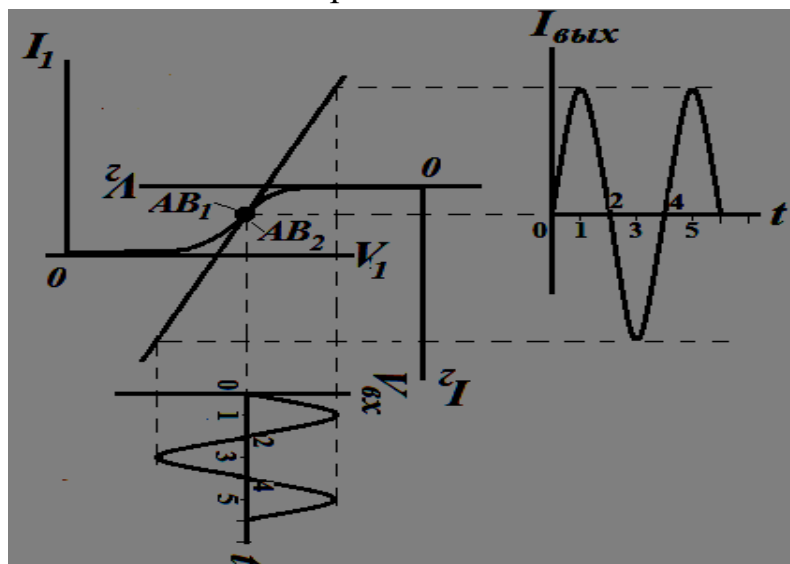


Рис.2.5. Вихідний сигнал двотактного підсилювача потужності при роботі в режимі АВ

2.2. Розрахунок параметрів джерела живлення підсилювача

Потужність електричних кіл визначається за вираженням:

$$P=I \cdot V=I^2 \cdot R= V^2/R; \quad (2.1)$$

Звідси:

$$V = \sqrt{P \cdot R} \quad ; \quad (2.2)$$

Тому вихідна напруга на навантаженні (динамічних головках):

$$V_{\text{вих}} = \sqrt{P_{\text{вих}} \cdot R_{\text{н}}} = \sqrt{40 \cdot 4,5} = \sqrt{180} = 13,4 \text{ В}$$

Напруга живлення визначається за виразом:

$$V_{\text{cc}} = (3,5 \pm 0,5) \cdot V_{\text{вих}} \quad ; \quad (2.3)$$

$$V_{\text{cc}} \approx 3,5 \cdot 13,4 = 44,2 \text{ В} \quad ;$$

Приймаємо для подальших розрахунків $V_{\text{cc}}=45 \text{ В}$.

Максимальний струм колекторів вихідних транзисторів буде визначатися за формулою:

$$I_{\text{вих}} = \frac{P_{\text{вих}}}{1,1 \cdot V_{\text{вих}}} \quad ; \quad (2.4)$$

$$I_{\text{вих}} = \frac{40}{1,1 \cdot 13,4} = 2,71 \text{ А} \quad ;$$

Приймаємо для подальших розрахунків з коефіцієнтом запасу $K_3=1,1$ для роботи вхідних та фазоінверсних каскадів $I_{\text{вих}} \geq 2,71 \cdot 1,1 \geq 2,9 \text{ А}$

Приймаємо, що для даного підсилювача потужності джерело живлення повинне мати параметри: $V_{\text{cc}}=45 \text{ В}$; $I_{\text{cc}}=I_{\text{вих}}=3 \text{ А}$.

Максимально-припустима потужність підсилювача:

$$P_{\text{max}} = 2 \cdot I_{\text{вих}} \cdot V_{\text{cc}}/3 = 2 \cdot 2,9 \cdot 45/3 = 87 \text{ Вт} \quad (2.5)$$

2.3. Розрахунок та вибір вихідних транзисторів

Максимальна потужність кожного з вихідних транзисторів VT4, VT5, повинна бути на менше потужності на навантаженні, тому що може бути випадки, коли тільки один транзистор відкритий та видає повну потужність.

Тобто:

$$P_{к.мах} \geq 40 \text{ Вт}$$

А максимальний струм колектора цих транзисторів повинний бути не менше вихідного струму, тобто: $I_{к.мах} \geq I_{вих} \geq 3\text{А}$.

Для зменшення перекучування сигналу цей струм треба прийняти в (2,5-3) рази більше, тобто: $I_{к.мах} = (7,5-10)\text{А}$.

Транзистори VT4, VT5 мають на колекторах напругу $V_k = V_{cc}/2$. Однак в випадку, коли один транзистор повністю відкритий, на іншому може падати уся напруга живлення. З запасом на коливання напруги в мережі до 33%, допустима напруга на колекторах транзисторів повинна бути не менше:

$$V_{к.мах} = 1,33 \cdot V_{cc} = 1,33 \cdot 45 \geq 59,8 \text{ В} \approx 60\text{В} \quad (2.6)$$

З довідника визначаємо транзистори та параметри, що задовольняють розрахунковим даним. Порівнянна таблиця представлена таблицею 2.1.

Таблиця 2.1

Параметри	Вимоги	Типи транзисторів		
		КТ805	КТ802	КТ819
Максимальна потужність, Вт	≥ 40	30	60	60
Максимальний струм колектора, А	$\geq 7,5$	7,5	10	10
Максимальна напруга на колекторі, В (напруга між колектором та емітером)	≥ 60	120	200	60
Коефіцієнт підсилення струму, од.	≥ 30	50	25	40

Обираємо транзистори типу КТ819

2.4. Розрахунок параметрів та типів транзисторів VT2, VT3 та параметрів резисторів R7, R8

Вихідні струми транзисторів VT2, VT3 повинні дорівнювати струмам баз транзисторів VT4, VT5 та визначаються за типовою формулою:

$$I_{K(VT2)} = I_{B(VT4)} = \frac{I_{вих}}{h_{21E}} ; \quad (2.7)$$

Та при типовому значні коефіцієнту підсилення, рівному 30 од.:

$$I_{K(VT2)} = I_{B(VT4)} = \frac{2,71}{30} = 0,090A = 90mA$$

Для зменшення перекручування сигналу цей струм треба прийняти в (3-5) рази більше, тобто: $I_{K(VT2).max} \geq 90 \cdot (3-5) \geq (270-450) mA$.

Транзистори VT2, VT3 мають на колекторах напругу $V_K = V_{cc}/2$. З запасом на колювання напруги в мережі до 33%, допустима напруга на колекторах транзисторів повинна бути не менше:

$$V_{K.max} = 1,33 \cdot V_{cc} = 1,33 \cdot 45/2 \geq 29,9 V \approx 30V$$

З довідників по транзисторам визначаємо транзистори та параметри, що задовольняють розрахунковим даним. Порівнянна таблиця представлена таблицею 2.2.

Таблиця 2.2.а

Параметри n-p-n транзисторів (VT2) середньої потужності

Параметри		Типи транзисторів		
	Вимоги	ГТ404	КТ807	КТ815
Максимальна потужність, Вт	-	0,4	1,5	3,0
Максимальний струм колектора, мА	≥ 450	0,4	1,5	2,5
Максимальна напруга на колекторі, В (напруга між колектором та емітером)	≥ 30	30	100	60
Коефіцієнт підсилення струму, од.	≥ 30	20	40	40

Таблиця 2.2.б

Параметри p-n-p транзисторів (VT3) середньої потужності

Параметри		Типи транзисторів		
	Вимоги	ГТ402	КТ321	КТ814
Максимальна потужність, Вт	-	0,4	0,1	3,0
Максимальний струм колектора, мА	≥ 450	0,4	0,3	2,5
Максимальна напруга на колекторі, В (напруга між колектором та емітером)	≥ 30	30	50	60
Коефіцієнт підсилення струму, од.	≥ 30	20	40	40

Обираємо транзистори: VT2 – типа КТ815 , VT3 – типа КТ814.

Як правило транзистор VT1 повинен бути такий же, як і транзистор VT2. Тобто визначаємо VT1 типу КТ815.

Опір резисторів R7 та R8 повинний бути в діапазоні:

$$R7, R8 = \frac{V_{cc}}{I_{K(VT2)}} \pm 30\% ; \quad (2.8)$$

Звідси:

$$R7, R8 = \frac{45}{0,135} \pm 30\% = (330 \pm 100)\text{Ом}$$

Тому резистори вибирають в діапазоні опорів від 240 Ом до 470 Ом, згідно вимірювання параметрів режиму транзисторів.

3. ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ СХЕМ ЖИВЛЕННЯ

Джерелом живлення підсилювачів є однофазні випрямлячі мостові або двополуперіодні з нульовим виводом. Випрямлячі перетворюють змінну напругу в імпульси одного напрямку.

Завдання до розрахунку

Провести розрахунок параметрів елементів випрямляча за даними таблиці Б завдання до курсової роботи та за розрахунковими даними по п.2.1, тобто:

- Вихідна напруга $V_{cc}=V_0=45B$;
- Вихідний струм $I_{cc}=I_{eux}=I_0=2,9A$.

Визначити:

- параметри та потужність трансформатора;
- тип діодів для випрямляча.

3.1. Розрахунок однофазного двополуперіодного випрямляча

Схема та часова діаграма роботи такого однофазного двополуперіодного випрямляча вказані на рисунку 3.1. Цей випрямляч дозволяє пропускати струм в навантаження при обох напівперіодах змінної напруги.

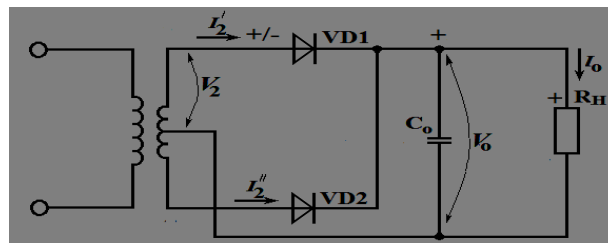


Рис.3.1а. Принципова схема двополуперіодного випрямляча

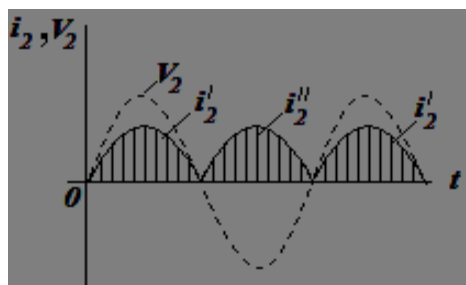


Рис.3.1б. Графік струму при двополуперіодному випрямленні

Діюча напруга вторинної обмотці трансформатора визначається за виразом:

$$\begin{aligned} V_2 &= 1,11 \cdot V_0; \\ V_2 &= 1,11 \cdot 45 = 50\text{В} \end{aligned} \quad (3.1)$$

Діючі значення струму вторинної обмотці трансформатора визначається за виразом:

$$\begin{aligned} I_2 &= 0,785 \cdot I_0; \\ I_2 &= 0,785 \cdot 2,9 = 2,27\text{А} \end{aligned} \quad (3.2)$$

Амплітудне значення струму в вторинної обмотці:

$$\begin{aligned} I_{2\text{max}} &= 1,57 \cdot I_0; \\ I_{2\text{max}} &= 1,57 \cdot 2,9 = 4,55\text{А} \end{aligned} \quad (3.3)$$

Коефіцієнт трансформації при напрузі в мережі 220В:

$$\begin{aligned} K_{\text{тр}} &= 220/V_2; \\ K_{\text{тр}} &= 220/50 = 4,4; \end{aligned} \quad (3.4)$$

Діючі значення струму в первинної обмотці буде дорівнювати:

$$\begin{aligned} I_1 &= 1,11 \cdot I_0/K_{\text{тр}}; \\ I_1 &= 1,11 \cdot 2,9/4,4 = 0,73\text{А}; \end{aligned} \quad (3.5)$$

Потужність первинної обмотки:

$$\begin{aligned} P_1 &= V_1 \cdot I_1 = K_{\text{тр}} \cdot V_2 \cdot I_1; \\ P_1 &= 4,4 \cdot 50 \cdot 0,73 = 160\text{ Вт} \end{aligned} \quad (3.6)$$

Потужність вторинної обмотки:

$$\begin{aligned} P_2 &= V_2 \cdot I_2; \\ P_2 &= 50 \cdot 2,9 = 145\text{ Вт}; \end{aligned} \quad (3.7)$$

Потужність трансформатора повинна бути не менш:

$$P_{\text{тр}} = 0,5 \cdot (P_1 + P_2); \quad (3.8)$$

$$P_{\text{тр}} = 0,5 \cdot (160 + 145) = 152,5 \text{ Вт}$$

Зворотна напруга випрямляючих діодів повинна бути не менш:

$$V_{\text{звор.}} \geq 3,14 \cdot V_0; \quad (3.9)$$

$$V_{\text{звор.}} \geq 3,14 \cdot 45 = 141,3 \text{ В} = 150 \text{ В}$$

Прямий струм випрямляючих діодів повинен бути не менш:

$$I_{\text{д}} \geq 0,5 \cdot I_0; \quad (3.10)$$

$$I_{\text{д}} \geq 0,5 \cdot 2,9 = 1,5 \text{ А}$$

За даними розрахунку визначаємо:

Трансформатор:

- Потужність 150 Вт;
- Первинна обмотка: $I_1 = 0,73 \text{ А}$; $V_1 = 220 \text{ В}$;
- Вторинна обмотка: $I_2 = 2,27 \text{ А}$; $V_2 = 50 \text{ В} = (2 \cdot 25) \text{ В}$

Типи випрямних діодів з параметрами $V_{\text{звор.}} \geq 150 \text{ В}$ та $I_2 \geq 2,27 \text{ А}$.

Розрахунковим значенням задовольняють випрямні діоди середньої потужності:

Д243Б або Д215 ($V_{\text{звор.}} = 200 \text{ В}$; $I_{\text{д}} = 5 \text{ А}$);

КД202Д ($V_{\text{звор.}} = 200 \text{ В}$; $I_{\text{д}} = 5 \text{ А}$);

3.2. Розрахунок однофазного мостового випрямляча

Схема та часова діаграма роботи такого однофазного мостового випрямляча вказана на рисунку 3.2. Часова діаграма роботи така ж, як на рисунку 3.1б.

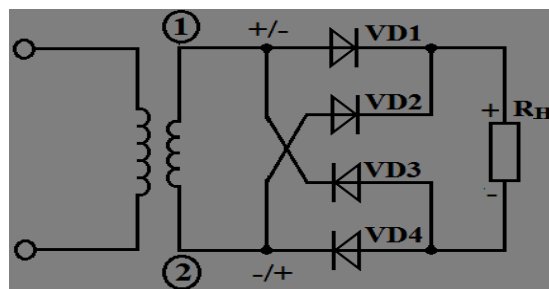


Рис.3.2. Схема однофазного мостового випрямляча

Основні дані різних видів однофазних випрямлячів приведено в таблиці 3.1

Таблиця 3.1

Схема випрямляча	A	$V_{обр.}$	$I_{ср.}$	I_m	V_{2x}	I_2
Двополуперіодна	$1,6 \cdot r/R_H$	$\approx 3V_0$	$I_0/2$	$\approx 3,5I_0$	$B \cdot V_0$	$D \cdot I_0/2$
Мостова однофазна	$1,6 \cdot r/R_H$	$\approx 1,5V_0$	$I_0/2$	$\approx 3,5I_0$	$B \cdot V_0$	$D \cdot I_0/\sqrt{2}$

Згідно завданню:

- Вихідна напруга $V_{cc}=V_0=45B$;
- Вихідний струм $I_{cc}=I_{вих}=I_0=2,9A$.

А) Вибір випрямних діодів. Зворотна напруга визначається за виразом:

$$\begin{aligned} V_{ЗВОР.} &\geq 1,5 \cdot V_0; \\ V_{ЗВОР.} &\geq 1,5 \cdot 45 \geq 67,5B \geq 70B; \end{aligned} \quad (3.1)$$

Середнє значення випрямленого струму:

$$\begin{aligned} I_{2CP} &= I_0/2; \\ I_{2CP} &= 2,9/2 = 1,45A = 1,5A; \end{aligned} \quad (3.2)$$

Амплітудне значення випрямленого струму:

$$\begin{aligned} I_2 &= 3,5 \cdot I_0; \\ I_2 &= 3,5 \cdot 2,9 = 10,1A \end{aligned} \quad (3.3)$$

За даними розрахунків визначаємо тип діодів по довідникам та визначаємо пряме падіння напруги цього діода - , яке використовуємо для подальших розрахунків.

Попереднє визначення діодів - діоди Д242А або Д214А ($V_{ЗВОР.} = 100B$; $I_D = 5A$), для яких $V_{ПР} = 1B$.

Б) Розрахунок параметрів мостового випрямляча

$$\begin{aligned} \text{Опір навантаження:} \quad R_H &= V_0/I_0; \\ R_H &= 45/2,9 = 15,5Om \end{aligned} \quad (3.4)$$

Опір обмоток трансформатору:

$$r_{TP}=(0,05 - 0,08) \cdot V_0; \quad (3.5)$$

$$r_{TP}=0,05 \cdot 45=2,25 \text{ Ом}$$

Опір діодів в прямому напрямку:

$$r_{ПР}=V_{ПР}/(3 \cdot I_{2CP}); \quad (3.6)$$

$$r_{ПР}=1/(3 \cdot 1,5)=0,22 \text{ Ом}$$

Активний опір фази трансформатора:

$$r= r_{TP}+2 \cdot r_{ПР} \quad (3.7)$$

$$r= 2,25+2 \cdot 0,22=2,69 \text{ Ом}$$

Основної розрахунковий коефіцієнт A визначають по таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Схема випрямляча	A	$V_{обр.}$	$I_{ср.}$	I_m	V_{2x}	I_2
Однополуперіодна	$3,2 \cdot r/R_H$	$\approx 3V_0$	I_0	$\approx 7I_0$	$B \cdot V_0$	$D \cdot I_0$
Двополуперіодна	$1,6 \cdot r/R_H$	$\approx 3V_0$	$I_0/2$	$\approx 3,5I_0$	$B \cdot V_0$	$D \cdot I_0/2$
Мостова однофазна	$1,6 \cdot r/R_H$	$\approx 1,5V_0$	$I_0/2$	$\approx 3,5I_0$	$B \cdot V_0$	$D \cdot I_0/ \sqrt{2}$

$$A=1,6 \cdot r/R_H; \quad (3.8)$$

$$A=1,6 \cdot 2,69/4,5=0,95$$

Розрахункові коефіцієнти B, D, F, H визначають по графікам на рисунку 3.3.

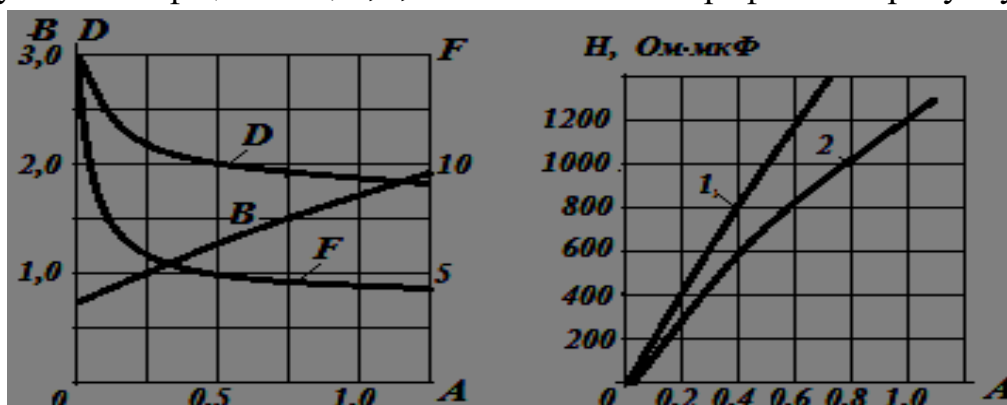


Рис.3.3. Графіки для визначення коефіцієнтів B, D, F, H .

1 – для однополуперіодної схеми; 2 – для всіх інших схем випрямлячів.

При $A=0,95$ отримаємо: $B=1,6; D=1,9; F=0,9; H=1150$.

Ємність конденсатора C_0 на виході випрямляча:

$$\begin{aligned} C_0 &= H / (r \cdot K_{\text{по}}) (\text{мкФ}); \\ C_0 &= 1150 / (2,69 \cdot 0,11) = 4275 \text{ мкФ} \end{aligned} \quad (3.9)$$

Приймаємо: ємність фільтра - 4700 мкФ, 63В

Уточнена зворотна напруга діодів:

$$\begin{aligned} V_{\text{ОБР.}} &= 1,4 \cdot B \cdot V_0; \\ V_{\text{ОБР.}} &= 1,4 \cdot 1,6 \cdot 45 = 101 \text{ В} \end{aligned} \quad (3.10)$$

Уточнене середнє значення випрямленого струму:

$$I_{\text{CP}} = \frac{D \cdot I_0}{\sqrt{2}}; \quad (3.11)$$

$$I_{\text{CP}} = \frac{1,9 \cdot 2,9}{\sqrt{2}} = 3,88 \text{ А};$$

Уточнене амплітудне значення випрямленого струму:

$$\begin{aligned} I_m &= 0,5 \cdot F \cdot I_0; \\ I_m &= 0,5 \cdot 0,9 \cdot 2,9 = 1,3 \text{ А} \end{aligned} \quad (3.12)$$

Коефіцієнт трансформації при напрузі в мережі 220В:

$$\begin{aligned} K_{\text{тр}} &= 220 / V_2; \\ K_{\text{тр}} &= 220 / 50 = 4,4; \end{aligned} \quad (3.13)$$

Діюче значення струму в первинній обмотці буде дорівнювати:

$$\begin{aligned} I_1 &= 1,11 \cdot I_0 / K_{\text{тр}}; \\ I_1 &= 1,11 \cdot 2,9 / 4,4 = 0,73 \text{ А}; \end{aligned} \quad (3.14)$$

Потужність первинної обмотки:

$$P_1 = V_1 \cdot I_1 = K_{TP} \cdot V_2 \cdot I_1; \quad (3.15)$$

$$P_1 = 4,4 \cdot 50 \cdot 0,73 = 160 \text{ Вт}$$

Потужність вторинної обмотки:

$$P_2 = V_2 \cdot I_2; \quad (3.16)$$

$$P_2 = 50 \cdot 2,9 = 145 \text{ Вт};$$

Потужність трансформатора повинна бути не менш:

$$P_{TP} = 0,5 \cdot (P_1 + P_2); \quad (3.17)$$

$$P_{TP} = 0,5 \cdot (160 + 145) = 152,5 \text{ Вт}$$

Зворотна напруга випрямляючих діодів повинна бути не менш:

$$V_{звор.} \geq 3,14 \cdot V_0; \quad (3.18)$$

$$V_{звор.} \geq 3,14 \cdot 45 = 141,3 \text{ В} = 150 \text{ В}$$

За даними розрахунку визначаємо:

Трансформатор:

- Потужність 150 Вт;
- Первинна обмотка: $I_1 = 0,73 \text{ А}$; $V_1 = 220 \text{ В}$;
- Вторинна обмотка: $I_2 = 2,27 \text{ А}$; $V_2 = 50 \text{ В} = (2 \cdot 25) \text{ В}$

Типи випрямних діодів з параметрами $V_{звор.} \geq 150 \text{ В}$ та $I_D \geq 2,5 \text{ А}$;

Розрахунковим значенням задовольняють випрямні діоди середньої потужності:

Д242Б або Д214Б ($V_{звор.} = 100 \text{ В}$; $I_D = 5 \text{ А}$);

Д244Б або Д224Б ($V_{звор.} = 50 \text{ В}$; $I_D = 5 \text{ А}$);

КД202А ($V_{звор.} = 35 \text{ В}$; $I_D = 5 \text{ А}$);

КД202Б ($V_{звор.} = 35 \text{ В}$; $I_D = 3,5 \text{ А}$).

ОЦІНЮВАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Розподіл балів за виконання курсової роботи

Пояснювальна записка	Ілюстративна частина	Захист роботи	Сума
до 40 балів	до 20 балів	до 40 балів	до 100 балів

Критерії оцінювання курсової роботи

Параметри оцінювання	Кількість балів	Критерії оцінювання за бальною шкалою
1	2	3
Пояснювальна записка	40	Зміст роботи відповідає обраній темі; наявність посилань на використану літературу та відповідність оформлення роботи стандарту; грамотне використання методів (процедура, обробка, інтерпретація результатів); відповідність висновків мети та завданням дослідження. Робота виконувалась систематично та вчасно подана на перевірку науковому керівнику у відповідності із планом виконання курсової роботи.
	35	Зміст роботи відповідає обраній темі; наявність посилань на використану літературу та відповідність оформлення роботи стандарту; грамотне використання методів (процедура, обробка, інтерпретація результатів); відповідність висновків мети та завданням дослідження. Робота виконувалась не систематично та подана на перевірку науковому керівнику з порушенням плану виконання курсової роботи.
	30	Зміст роботи відповідає обраній темі; але має поверхневий аналіз, матеріал викладено непослідовно та необґрунтовано. Робота виконувалась не систематично та подана на перевірку науковому керівнику з порушенням плану виконання курсової роботи.

1	2	3
Пояснювальна частина записки	20	Робота оформлена за вимогами, які пред'являються до курсових робіт, але має недостатньо критичний аналіз, матеріал викладено непослідовно та необґрунтовано. Основні тези роботи розкриті, але недостатньо обґрунтовані, нечітко сформульовано висновки, пропозиції і рекомендації.
	15	Студент відтворює значну частину теоретичного матеріалу, виявляє знання і розуміння основних положень і лише за допомогою викладача може виправляти помилки, серед яких є значна кількість суттєвих.
	5	Робота не відповідає вимогам, які пред'являються до курсових робіт. У роботі немає висновків або вони носять декларативний характер.
Ілюстративна частина	20	Презентація гарно організована, доповідь супроводжується ілюстративними матеріалами, матеріали ілюстрації підготовлені відповідно до вимог що висуваються.
	15	Презентація гарно організована, доповідь супроводжується ілюстративними матеріалами, на які не дано посилання у доповіді або ілюстративні матеріали оформлені з незначними зауваженнями.
	10	Ілюстративні матеріали низької якості, в організації презентації спостерігається невпевненість.
	5	Ілюстративні матеріали низької якості, в доповіді немає посилань на ілюстративні матеріали.
Захист роботи	40	Доповідь логічно побудована, студент чітко та стисло викладає основні результати дослідження, показує глибокі знання з питань теми, оперує даними дослідження, вносить пропозиції по темі дослідження, під час доповіді вміло використовує презентацію, впевнено і докладно відповідає на поставлені запитання.

1	2	3
Захист роботи	35	Студент спроможний чітко та стисло викласти основні результати дослідження, дає правильні відповіді на всі запитання, але не завжди упевнений в аргументації, чи не завжди коректно її формулює.
	30	Студент спроможний чітко та стисло викласти основні результати дослідження, належно обґрунтовує положення роботи, але допускає неточності у відповідях на запитання.
	25	Студент спроможний чітко та стисло викласти основні результати дослідження але допускає суттєві неточності у відповідях на запитання, не завжди належно обґрунтовує положення роботи.
	20	Студент невпорядковано викладає основні результати дослідження, намагається дати відповідь на поставлені запитання і робить спроби аргументувати положення роботи.
	15	Студент невпорядковано викладає основні результати дослідження робить спроби аргументувати положення роботи, надає неповні, поверхові, необґрунтовані відповіді на поставлені питання.
	10	Студент демонструє задовільні знання з теми дослідження, але не може впевнено й чітко відповісти на додаткові запитання членів комісії, та належно обґрунтувати положення роботи.
	5	Студент невпорядковано викладає основні результати дослідження, не спроможний дати відповідь на запитання, відстоювати свою позицію.

Рекомендована література

Базова література

1. Колонтаєвський Ю.П., Сосков А.Г. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: Теорія і практикум: Навч.посібник/за ред. А.Г. Соскова.2-е вид. -К.: Каравела, 2004. -432с.
2. Сенько В.І., Панасенко М.В., Сенько Є.В. Електроніка і мікросхемотехніка. Том 3./За ред Сенька В.І. - К.: Каравела, 2018. - 400с.
3. Квітка С.О., Яковлев В.Ф., Нікітіна О.В. Електроніка і мікросхемотехніка: Навчальний посібник/ За ред. проф. В.Ф. Яковлева. - К.: Аграрна освіта, 2010. -329с.
4. Довідкові дані по транзисторам.
http://www.semiconductors.philips.com/acrobat_download/datasheets/BC546_547_4.pdf
5. В.Ю. Лавріненко «Довідник по напівпровідниковим приладам». – Київ: «Техніка», 1984.- 464 с.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Херсонський навчально-науковий інститут

Кафедра автоматики та електроустаткування

КУРСОВА РОБОТА

з дисципліни «Електроніка та мікросхемотехніка»

на тему

«Проектування підсилювача напруги»

Варіант № _____

Здобувача вищої освіти

_____ курсу _____ групи
спеціальності « _____ »

Освітня програма « _____ »

_____ (прізвище, ініціали здобувача)

Керівник: _____
(науковий ступень, посада)

_____ (прізвище, ініціали керівника)

Національна шкала _____

Кількість балів: _____ Оцінка: ECTS _____

Члени комісії _____ / _____ /
_____ / _____ /
_____ / _____ /
(підпис) (прізвище ініціали)

м. Херсон – 20__ рік

Навчальне видання

**ФРОЛОВ О. М.
БУРЕНКО О. В.
СУББОТКІНА О. П.**

ЕЛЕКТРОНІКА ТА МІКРОСХЕМОТЕХНІКА

*Методичні вказівки
до виконання курсової роботи*

Формат 60×84¹/₁₆. Ум. друк. арк. 2,8. Тираж 100 пр. Зам. № 1422.

ВИДАВЕЦЬ

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025
E-mail: publishing@nuos.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2506 від 25.05.2006 р.

