

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут"

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисциплін

**ЕЛЕКТРОНІКА ТА МІКРОСХЕМОТЕХНІКА,
ЕЛЕКТРОНІКА І СИСТЕМОТЕХНІКА**

для студентів вищих навчальних закладів усіх форм навчання, що
навчаються за напрямками "Електромеханіка", "Електротехніка",
"Оптотехніка"

Розділ "Аналогові пристрої"

**Київ
2009**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисциплін

ЕЛЕКТРОНІКА ТА МІКРОСХЕМОТЕХНІКА,
ЕЛЕКТРОНІКА І СИСТЕМОТЕХНІКА

для студентів вищих навчальних закладів усіх форм навчання, що
навчаються за напрямками “Електромеханіка”, “Електротехніка”,
“Опtotехніка”

Розділ “Аналогові пристрої”

Гриф НТУУ "КПІ" наданий рішенням Методичної ради університету
протокол № 8 від 23 квітня 2009 р.

Київ
2009

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Електроніка та мікросхемотехніка” для студентів вищих навчальних закладів усіх форм навчання, що навчаються за напрямками “Електромеханіка”, “Електротехніка”, “Оптотехніка” та іноземних студентів./ Укладачі: А. А. Щерба, В. І. Сенько, К. К. Побєдаш, С. М. Захарченко, В. А. Святненко, К. В. Трубіцин. – К.: ФЕА НТУУ “КПІ”, 2009. – 57 с.

Затверджено на кафедрі теоретичної електротехніки НТУУ “КПІ”
протокол № 7 від 6.03.2009 р.
Рекомендовано Методичною радою НТУУ “КПІ”
протокол № 8 від 23 квітня 2009 р.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисциплін

ЕЛЕКТРОНІКА ТА МІКРОСХЕМОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА І СИСТЕМОТЕХНІКА

для студентів вищих навчальних закладів усіх форм навчання, що навчаються за напрямками “Електромеханіка”, “Електротехніка”, “Оптотехніка”

Розділ “Аналогові пристрої”

Укладачі: Щерба Анатолій Андрійович, д.т.н., проф.,
Сенько Віталій Іванович, д.т.н., проф.,
Побєдаш Костянтин Каленикович, к.т.н., доц.,
Захарченко Сергій Миколайович, к.т.н., доц.,
Святненко Вадим Анатолійович, ст. викл.,
Трубіцин Костянтин Вікторович, ст. викл.

Відповідальний редактор А.А. Щерба, д.т.н., проф.

Рецензент: М.Г. Анпілогов, к.т.н.

За редакцією укладачів

Методичні вказівки містять опис лабораторних робіт з курсу "Електроніка і мікросхемотехніка" /розділ "Аналогові пристрої"/, який викладається студентам відповідного фаху денного і заочного навчання НТУУ «КПІ».

Основною метою цього циклу лабораторних робіт є закріплення теоретичних знань, отриманих студентами при вивченні програмного матеріалу, ознайомлення та придбання навиків користування радіовимірювальною апаратурою, визначення параметрів та характеристик основних класів підсилювачів у дискретному та інтегральному виконанні.

У процесі підготовки до лабораторної роботи кожний студент повинен:

- – ознайомитись зі змістом лабораторної роботи;
- – вивчити відповідні розділи програми і рекомендованої літератури;
- – уважно подивитись контрольні запитання і дати усну відповідь на них;
- – виконати передбачені описом попередні розрахунки та, якщо необхідно, побудувати графіки;
- – підготувати протокол звіту лабораторної роботи.

Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

- – сформульовану мету роботи;
- – принципову електричну схему досліджуваного електронного пристрою;
- – розрахунки, передбачені домашнім завданням;
- – докладні висновки в результаті вимірів, зіставлення експериментальних даних з розрахунками, пояснення точності їх відповідності і можливих розходжень.

Усі креслення звіту треба виконувати відповідно до вимог ЄСКД. Графічні і розрахункові залежності повинні бути виконані на міліметровій сітці; характеристики з частотним аргументом - у напівлогарифмічному масштабі. Сім'ї характеристик деяких функцій при кількох значеннях якого-будь параметра необхідно будувати у спільній системі координат. При цьому графіки повинні бути розділені кольором або характером креслення ліній. Експериментальні та розрахункові точки слід виділяти яким-небудь геометричним знаком.

Оформлений звіт з виконаної роботи студент повинен здати в кінці даного заняття.

Кожне лабораторне заняття починається контролем теоретичної підготовки студентів до роботи. Студенти, які отримали незадовільну оцінку з теоретичних знань, до лабораторної роботи не допускаються.

Перед початком циклу лабораторних робіт усі студенти академічної групи проходять інструктаж з техніки безпеки. У випадку порушення правил техніки безпеки або дисципліни у лабораторії студент від виконання лабораторних робіт відстороняється.

Лабораторна робота № 10

РАДІОВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ

Мета роботи: ознайомлення з універсальним лабораторним стендом та радіовимірювальними приладами: вольтметром ВЗ-38, генератором Л-30, генератором імпульсних сигналів Г5-54, генератором GFG-8216А, генератором імпульсних сигналів TGP-110, осцилографом СІ-55, мультиметром ВР-II та придбання навиків користування ними.

Опис універсального лабораторного стенду

Універсальний лабораторний стенд призначається для проведення роботи фронтальним методом. Тип досліджуваної схеми визначається змінним модулем, який з'єднується з універсальним стендом через роз'єднувач. Універсальний стенд забезпечує сполучення досліджуваного електронного кола з вимірювальними приладами та джерелами живлення. З цією метою використовуються високочастотні роз'єднувачі, шини живлення і вимикач низьковольтного живлення.

Модуль з досліджуваним електронним колом вставляється в роз'єднувач, і через його контакти забезпечуються електричні зв'язки електронного кола з вимірювальними приладами, джерелами сигналів та живлення, з перемикачами комутації режимів.

Модуль конструктивно виконаний у вигляді друкованої плати, розміщеної разом з вилкою з'єднувача в захисному корпусі з органічного скла чи гетинаксу. На лицьовій поверхні модуля розміщена принципова електрична схема досліджуваного електронного кола з показом входів, виходів, контрольних точок та перемикачів на лабораторному стенді, коли перемикачі не натиснуті. При натисканні на кнопки перемикачів вони фіксуються у натисненому стані, при повторному натисканні вони повертаються у початкове положення. Напруга живлення й споживаний струм вимірюються зовнішнім з'єднанням вимірювальних приладів.

Домашнє завдання

1. Вивчити технічні характеристики, органи керування і призначення радіовимірювальних приладів вольтметра ВЗ-38, генераторів Л-30 і GFG-8216А, генераторів імпульсних сигналів Г5-54 і TGP-110, осцилографа СІ-55, мультиметра ВР-II.

2. Скласти блок-схеми вимірювання метрологічних характеристик генераторів Л-30, GFG-8216А, Г5-54, TGP-110, за допомогою осцилографа СІ-55, вольтметра ВЗ-38 та мультиметра ВР-II.

Робоче завдання

1. Виміряти за допомогою осцилографа наступні амплітудно-часові параметри імпульсного сигналу з генератора Г5-54 та TGP-110: амплітуду

імпульсу U_m , тривалість імпульсу t_I , тривалість фронту імпульсу t_Φ , тривалість спаду імпульсу t_C , тривалість затримки t_3 , період проходження T та частоту f імпульсів. Результати вимірів занести до таблиці і порівняти з даними, встановленими на генераторах Г5-54 і TGP-110.

Виміряти за допомогою осцилографа амплітудно-часові параметри сигналів з генераторів Л-30 та GFG-8216A: період проходження T частоту f , амплітуду U_m і діюче значення синусоїдного, імпульсного та пілкоподібного сигналів.

Мілівольтметр ВЗ-38

Мілівольтметр ВЗ-38 застосовується для вимірювання напруги змінного струму від 0,1 мВ до 200 В у діапазоні частот від 20 Гц до 3 МГц (1 МГц).

Покази ВЗ-38 пропорційні середньому значенню, а шкала градуйована у ефективних значеннях синусоїдальної напруги. Прилад має окрему шкалу, градуйовану в децибелах. Рівень "0" децибел дорівнює 0,775 В.

Генератор Г5-54

Малогабаритний генератор імпульсів Г5-54 призначається для генерування імпульсів прямокутної форми.

Генератор виробляє відео імпульси обох полярностей. Тривалість основних імпульсів регулюється плавно та ступінчасто (6 діапазонів) від 0,1 до 1000 мкс (1 мс).

Максимальна амплітуда основних імпульсів U_m на зовнішньому навантаженні 500 Ом з паралельною ємністю 50 пФ не менше 50 В. Забезпечується повне регулювання амплітуди від U_m до $0,3U_m$ та ступінчасте послаблення з коефіцієнтами (К) $\times 1$; $\times 0,3$; $\times 0,1$; $\times 0,03$. Прилад має два додаткових виходи з загальним коефіцієнтом поділу 1:100 (вихід 1:10) та 1:1000 (вихід 1:100). Тривалість затримки імпульсу (t_3) відносно синхроімпульсу регулюється плавно та ступінчасто від 0,1 до 1000 мкс. Значення тривалості затримки не повинна перевищувати 0,5 періоду проходження основних імпульсів (T), а $t_1 < T$.

Частоту повторення імпульсів при внутрішньому запуску можна регулювати плавно та ступінчасто (8 діапазонів) від 0,01 до 100 кГц.

Генератор має можливість запускатися від зовнішнього джерела імпульсами обох полярностей тривалістю від 0,3 до 5 мкс, амплітудою від 1 до 20 В при частоті повторення до 100 кГц та тривалістю фронту не більше 0,3 мкс; синусоїдною напругою амплітудою від 5 до 20 В при частоті від 0,05 до 100 кГц та від кнопки "Однократний імпульс".

Прилад має окремий вихід імпульсу синхронізації для запуску зовнішніх пристроїв та блоків. Імпульси синхронізації виробляються обох полярностей, тривалістю, фіксованою у межах 0,3...1 мкс і регульованою амплітудою від 1 до 15 В, навантаженні 1 кОм з паралельною ємністю 50 пФ.



Сумарна напруга (постійна напруга запускаючих сигналів, які подаються на гніздо "Зовнішній запуск") не повинна перевищувати 20 В. Гніздо виходу синхроімпульсів допускає вмикання до кіл постійної напруги не більше 10 В. Гнізда виходів основних імпульсів не допускають вмикання до кіл, де є постійні напруги.

Порядок роботи.

Внутрішній запуск. Генератор встановлюють в режим внутрішнього запуску, натискуючи кнопку "ВНУТР." перемикача "ЗАПУСК". Необхідна частота проходження імпульсів устанавлюється кнопками та шкальним пристроєм "Частота повторення". Кнопками та шкальним пристроєм "Временной сдвиг" встановлюється необхідна затримка основного імпульсу відносно синхроімпульсу. Якщо затримка не потрібна, обов'язково треба натиснути кнопку "0" перемикача "Временной сдвиг".

Кнопками та шкальним пристроєм "Длительность" встановлюється потрібна тривалість основних імпульсів. При цьому мінімальна щільність повинна бути не менше двох. При щільності менше двох не гарантуються параметри основних імпульсів та частота їх проходження.

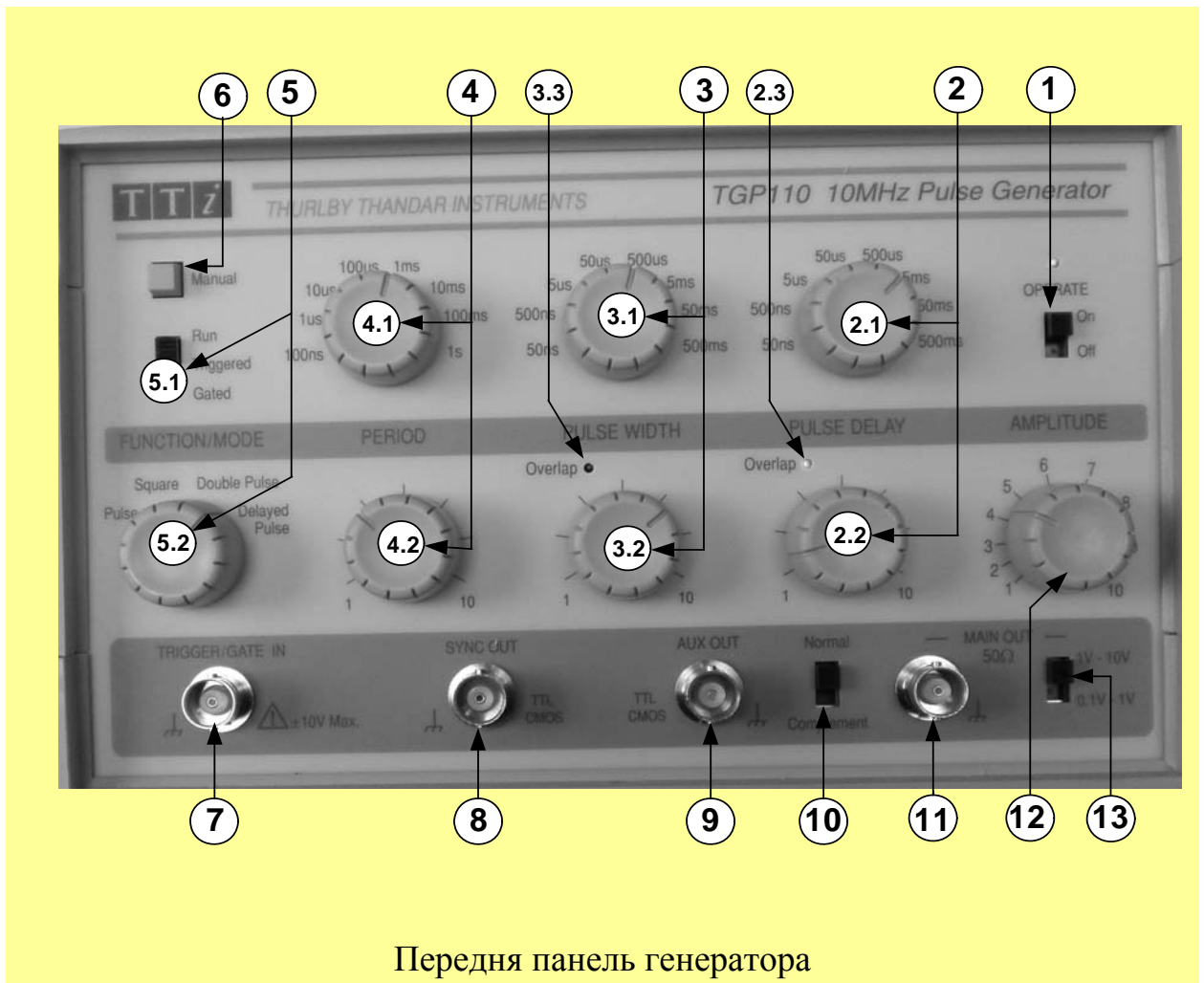
Кнопками «», «» встановлюється потрібна полярність імпульсів.

Кнопками множника амплітуди «x» (x1; x03; x01; x0,03) та ручкою "АМПЛ" плавного регулювання амплітуди основних імпульсів встановлюється за шкалою вольтметра потрібна амплітуда імпульсів. Якщо амплітуда повинна бути встановлена менше 0,5 В, то зовнішнє навантаження підключається до гнізд 1:10 чи 1:100. У цьому разі треба натиснути кнопку дільника амплітуди "x0,03". Синхронізуючі імпульси в такому випадку знімаються з коаксіального гнізда "Синхроімпульс". Полярність імпульсу вибирається перемикачем «», «», а ручкою "АМПЛ" ("СИНХРОИМПУЛЬСЫ") встановлюється потрібна амплітуда синхроімпульсів.

Зовнішній запуск. Натиснути одну з кнопок зовнішнього запуску, відповідно до форми і полярності зовнішнього запускаючого сигналу. На вхідне гніздо "ЗАПУСК" подати запускаючий сигнал амплітудою не більше 20 В і частотою не більше 100 кГц. Далі робота аналогічна роботі при внутрішньому запуску, при цьому також необхідно витримувати умову максимально допустимої щільності.

Разовий запуск. Натиснути кнопку разового запуску. Інші органи керування повинні знаходитися у тому положенні, що і при внутрішньому запуску. При кожному натисканні на кнопку разового запуску прилад виробляє один синхроімпульс та один основний імпульс на відповідних виходах.

Генератор TGP-110



Передня панель генератора

Призначення органів керування і режимів роботи

№ позиції	Органи керування і режимів роботи	Функція
1	OPERATE	Перемикач вмикання і вимикання живлення
2	PULSE DELAY	Регулювання затримки імпульсів
2.1		Ступінчато
2.2		Плавно
2.3	Overlap	Індикатор помилкового встановлення тривалості затримки імпульсу
3	PULSE WIDTH	Регулювання тривалості основних імпульсів
3.1		Ступінчато
3.2		Плавно
3.3	Overlap	Індикатор помилкового встановлення тривалості імпульсу
4	PERIOD	Період повторення вихідних імпульсів синхронізації

4.1		Ступінчато
4.2		Плавно
5	FUNCTION/MODE	Перемикач режимів:
	Run	Режим автозапуску
	Triggered	Режим роботи, коли генератор виробляє імпульс на кожний вхідний імпульс або у відповідь на натискання кнопки ручного запуску
5.1	Gated	Режим роботи, коли генератор виробляє серію (пачку) імпульсів, на час тривалості вхідного імпульсу або тривалості натискання кнопки ручного запуску
	Pulse	Режим регульованої щільності
	Square	Режим меандровий
5.2	Double Pulse	Режим подвійного імпульсу
	Delayed Pulse	Режим затриманого імпульсу
6	MANUAL	Кнопка ручного запуску
7	TRIGGER/GATE IN	Вхід зовнішніх сигналів синхронізації
8	SYNC OUT	Вихід імпульсів синхронізації
9	AUX OUT	Додатковий вихід, узгоджений з рівнями TTL і МОН логіки
10	Перемикач	Перемикач основного (Normal) і інверсного (Complement) режиму вихідних імпульсів
11	MAIN OUT	Вихід основних імпульсів
12	AMPLITUDE	Регулювання амплітуди вихідних імпульсів
13	Перемикач	Перемикач діапазонів амплітуд основних імпульсів: 0,1-1 В; 1-10 В

Осцилограф С1-55

Осцилограф СІ-55 має призначення для одночасного спостереження та дослідження форм двох електричних процесів шляхом візуального спостереження та вимірювання їх числових та амплітудних значень. Осцилограф СІ-55 забезпечує:

а) спостереження форм імпульсів обох полярностей з тривалістю від 0,1 мкс до 0,2 с з розмахом від 10 мВ до 140 В, а при використанні зовнішнього подільника 1:10 від 100 мВ до 300 В та до 1500 В - з виносним подільником;

б) спостереження періодичних сигналів в діапазоні частот від 3 Гц до 10 МГц;

в) вимірювання амплітуд досліджуваних сигналів від 30 мВ до 140 В;

г) вимірювання інтервалів часу від 0,1 мкс до 0,2 с.

Підготовка до роботи


Органи керування і регулювання

Передня панель


Тумблер "Сеть"	для вмикання і вимикання приладу;
Ручка "Яркості I"	для встановлення потрібної яскравості променя електронно-променевої трубки /ЕПТ/ каналу УІ;
Ручка "Фокус I"	для фокусування променя ЕПТ каналу УІ;
Ручка "Астигмат. I"	для усунення астигматизму ЕПТ каналу УІ;
Ручка "Освещ. шкалы"	для регулювання освітлення шкали екрану приладу;
Ручка "Яркості II"	для встановлення потрібної яскравості променя електронно-променевої трубки /ЕПТ/ каналу УІІ;
Ручка "Фокус II"	для фокусування променя ЕПТ каналу УІІ;
Ручка "Астигмат II"	для усунення астигматизму ЕПТ каналу УІІ;
Ручки, позначені «←→»	для переміщення променів ЕПТ з написом "ПЛАВНО", "ГРУБО" по горизонталі;
Корпусна клема \perp	для заземлення корпусу приладу.

Підсилювач УІ /УІІ/



Тумблер « $\overline{\sim}$ », « \sim »	для перемикання на відкритий чи закритий вхід підсилювача УІ /УІІ/;
Коаксіальне гніздо «Вход 1м...40 pF»	для подавання досліджуваних сигналів на підсилювач УІ /УІІ/;
Велика ручка перемикача «ВОЛЬТ/ДЕЛ»	для перемикання вхідного атенюатора каналу УІ /УІІ/;
Мала ручка на осі перемикача "ВОЛЬТ/ДЕЛ." - "УСИЛЕН"	для плавного регулювання чутливості підсилювача УІ /УІІ/;

Ручка, позначена 	для переміщення променя каналу УІ /УІІ/ по вертикалі;
Виведений шліцом потенціометр "КОРР"	для калібровки коефіцієнта відхилення підсилювача УІ /УІІ/;
Виведений шліцом потенціометр "БАЛАНС"	для балансування підсилювача УІ /УІІ/;




Розгортка

Тумблер «x1», «x0,2 »	для множення тривалості розгортки;
Велика ручка перемикача «ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ВРЕМЯ/ДЕЛ»	для перемикання тривалості розгортки
Мала ручка на осі перемикача «ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ВРЕМЯ/ДЕЛ.» "ПЛАВНО"	для плавного регулювання тривалості розгортки;
Гніздо "ВЫХОД" 	для виходу пилкоподібної напруги позитивної полярності.

Синхронізація







Велика ручка перемикача виду синхронізації "ВНШ., ВНУТР. І» ВНУТР. ІІ, ВХОД Х"	для встановлення внутрішньої чи зовнішньої синхронізації, а також для підключення входу підсилювача "Х" до гнізда "ВХОД" синхронізатора;
Мала ручка на осі перемикача виду синхронізації "УРОВЕНЬ"	для вибору рівня розгортки;
Ручка "СТАБ."	для вибору режиму роботи генератора розгортки /чекаючий чи автоколивальний/;
Гнізда "ВХОД" "1:1"	для подавання зовнішніх синхронізуючих сигналів і подавання сигналу на вхід "Х" без ослаблення;
Гнізда "ВХОД" "1:10"	для подавання зовнішніх синхронізуючих, сигналів і подавання сигналу на вхід "Х" з ослабленням у 10 разів;
Тумблер «  », «  »	для перемикання закритого и відкритого входу синхронізації;
Тумблер "+", "-"	для вибору полярності синхронізації

Калібратор



Ручка 	для встановлення вихідної напруги калібратора;
Тумблер «  », «  » 2kHz	для перемикання виду калібрувальної напруги;
Гніздо "ВЫХОД"	для знімання калібрувальної напруги.

Підготовка до вимірів






Перед вмиканням приладу в мережу попередньо встановлюються органи керування в такі положення:

Ручки "ЯРКОСТЬ I", "ЯРКОСТЬ II", "ФОКУС I", "ФОКУС II", "АСТИГМАТ I", " АСТИГМАТ II", "УРОВЕНЬ",	у середнє
Ручка "СТАБ."	у кінцеве праве
Тумблери підсилювачів УІ, УІІ «  », «  »,	у положення «  »
Тумблер входу синхронізації «  », «  »	у положення «  »
Тумблер "+", "-"	у положення "+"
Ручку синхронізації "ВНЕС.", "ВНУТР.І", "ВНУТР.ІІ", "ВХОД Х"	у положення "ВНУТР. І"
Ручку "ВОЛЬТ/ДЕЛ."	у положення "0.01"
Ручку «ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ВРЕМЯ/ДЕЛ»	у положення "0,1с"
Тумблер «x1», «x0,2 »	у положення «x1».

З'єднати прилад відповідним шнуром з джерелом напруги, а тумблер "СЕТЬ" встановити у верхнє положення. При цьому повинна засвітитися сигнальна лампа. Через 2-3 хвилини після вмикання приладу потрібно відрегулювати яскравість та фокусування ліній розгортки за допомогою ручок "ЯРКОСТЬ", "ФОКУС", "АСТИГМАТ."

Якщо промінь ЕПТ не буде на екрані при максимальній яскравості, то потрібно перемістити промені в межах робочої частини екрану за допомогою ручок «» та «».

Після 15-20 хвилин прогрівання осцилографа треба збалансувати по черзі УІ і УІІ.

Для цього при відсутності сигналів на входах підсилювачів ручками «» лінію розгортки треба перемістити у середнє положення робочої частини екрану ЕПТ і регулюванням "Баланс", виведеного шліцом на передню панель, домогтися незалежності положення ліній розгортки від перемикавання ручок "ВОЛЬТ/ДЕЛ.". Установити ручки "ВОЛЬТ/ДЕЛ." у положення "0,05", а ручки "УСИЛЕНИЕ" за стрілкою годинника до упору. Ручку «» калібратора установити у положення "0,2". Тумблер «», « 2 kHz» калібратора у положення «» 2 kHz. За допомогою кабелю подати по черзі на входи підсилювачів УІ і УІІ калібрувальну напругу з гнізда "ВЫХОД". Якщо зображення амплітуди калібрувальної напруги не дорівнює чотирьом поділкам шкали ЕПТ, то потрібно регулюванням "КОРР", виведеним шліцом на передню панель приладу, установити амплітуду калібрувальної напруги, яка дорівнює чотирьом поділкам шкали.

Після цього прилад готовий до роботи і можна приступати до вибору режиму роботи та проведення необхідних спостережень і вимірів.

Виконання необхідних спостережень і вимірів здійснюється за екраном ЕПТ. Екран ЕПТ має прозору шкалу, яка використовується для вимірів по вертикалі та горизонталі.

Для збільшення чіткості зображення, а також для створення більш сприятливого для очей світіння екрану прилад має фільтр, котрий встановлюється перед шкалою ЕПТ.

Досліджувані сигнали подаються на коаксіальні гнізда "ВХОД I 40 pF" і "ВХОД II 40 pF" підсилювачів УІ і УІІ.

Для проведення необхідних спостережень та вимірів досліджуваних сигналів зображення на екрані осцилографу повинно бути стабільним і мати розмір, зручний для розгляду. Для цього потрібно встановити необхідний режим роботи розгортки, вид синхронізації, ослаблення вхідних дільників, рід роботи підсилювачів вертикального відхилення.

Режим роботи розгортки (чекаючий, автоколивальний) встановлюється ручкою "СТАБ."

Поворотом ручки "СТАБ." вправо до появи розгортки маємо автоколивальний режим розгортки, поворотом ручки вліво на 5-10° від точки зриву розгортки маємо чекаючий режим розгортки.

Щоб мати на екрані осцилографа стабільне зображення процесу, що спостерігається, треба:

- ручки "СТАБ." та "УРОВЕНЬ" повернути вправо до упору;
- повернути ручку "СТАБ." вліво, поки зображення не зникне;
- повернути ручку "УРОВЕНЬ" вліво, поки зображення не з'явиться знову.

Тривалість розгортки вибирається такою, щоб можна було спостерігати форму досліджуваного сигналу. Якщо тривалість досліджуваного сигналу відома, можна заздалегідь встановити перемикач тривалості розгортки "ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ВРЕМЯ/ДЕЛ." і множник розгортки «x1», «x0,2» у необхідне положення. Плавне регулювання тривалості розгортки здійснюється потенціометром, спареним з перемикачем тривалості розгортки і позначеним на передній панелі написом "ПЛАВНО".

Значення тривалості розгортки, позначені на передній панелі приладу, вірні лише в крайньому правому положенні ручки "ПЛАВНО", у якому вона має механічну фіксацію.

Для визначення тривалості спостерігаемого процесу треба:

- підрахувати, скільки цілих та дробових поділок (клітин) шкали ЕПТ по горизонталі займає досліджуване зображення;
- помножити значення тривалості розгортки, на яке показує перемикач "ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ВРЕМЯ/ДЕЛ.", на кількість підрахованих цілих та дробових поділок /клітин/, якщо множник розгортки «x1», «x2» знаходиться у положенні «x1»;

- якщо множник розгортки знаходиться у положенні «x0,2» попередній добуток треба помножити ще на 0,2.

Синхронізувати розгортку у більшості випадків найбільш зручно досліджуванім сигналом. Для цього ручку "СИНХРОНИЗАЦИЯ" треба встановити у положення "ВНУТР. I" або "ВНУТР. II" залежно від того, сигналом якого каналу бажано синхронізувати розгортку.

При зовнішній синхронізації слід з'єднати джерело зовнішнього синхронізуючого сигналу з гніздом "ВХОД 1:1", або "ВХОД 1:10" і ручку "СИНХРОНИЗАЦИЯ" встановити у положення "ВНІШ".

При виборі режиму роботи підсилювачів вертикального відхилення треба знати, що режим підсилення постійного струму (відкритий вхід) використовується для дослідження вхідного сигналу, який має постійну та змінну складову.

Регулювання амплітуди вхідного сигналу здійснюється вхідними дільниками "ВОЛЬТ/ДЕЛ.". Значення коефіцієнтів відхилення підсилювачів, позначені на передній панелі, слухні лише в крайньому правому положенні ручок "УСИЛЕНИЕ", у якому вони мають механічну фіксацію.

Для визначення амплітуди спостерігаемого сигналу треба:

- підрахувати, скільки цілих та дробових поділок (клітин) шкали ЕПТ по вертикалі займає досліджуване зображення;
- помножити значення чутливості, на яке показує перемикач "ВОЛЬТ/ДЕЛ." підсилювача УІ (УІІ), на кількість підрахованих цілих та дробових поділок (клітин).

Генератор Л-30

Генератор Л-30 призначений для генерування сигналів прямокутної, трикутної та синусоїдної форми. Діапазон частот від 20 Гц до 10 МГц перекривається шістьма піддіапазонами 0,02...0,2 кГц; 0,2...2 кГц; 2...20 кГц; 20...200 кГц; 200...2000 кГц; 2000...10000 кГц. В генераторі передбачена внутрішня та зовнішня амплітудна модуляція синусоїдною напругою. Значення вихідної напруги регулюються плавно і ступінчато у межах: 100 мкВ...1 В при навантаженні 50 Ом; 1 ... 10 В при навантаженні 500 Ом (вихід 10 В ступінчастого регулювання не має).

Органи керування

"СЕТЬ"	для вмикання і вимикання приладів
"УРОВЕНЬ"	для плавного регулювання рівня вихідної напруги
"МОДУЛЯЦИЯ"	для встановлення глибини модуляції
"ДЕВИАЦИЯ"	для регулювання діапазону девіації частоти
"ЧАСТОТА"	для встановлення частоти вихідного сигналу
Кнопки "1", "10", "100", "0,5",	для ослаблення вихідного сигналу

об'єднані написом "ДЕЛИТЕЛЬ" Кнопки « \square », « \surd » та « \sim », об'єднані написом "РОД РАБОТ"	для вибору форми вихідного сигналу
Кнопка "ГФЧ"	для зовнішньої або внутрішньої модуляції. При девіації повинна бути відпущена
Кнопки "0,01", "0,1", "1", "10", "100", "МНz", об'єднані написом "МНОЖИТЕЛЬ"	для вибору піддіапазону
Кнопка "ЧМ.АМ"	для вибору режиму амплітудної модуляції і девіації
Гніздо "10 \surd 500"	для знімання сигналу амплітудою до 10 В при навантаженні 500 Ом
Гніздо "1 \surd 500"	для знімання сигналу В зі ступеневим діленням від 1 до 500 мкВ
Гніздо "ВХОД \wedge 5 Vmax"	для підключення сигналу зовнішньої напруги для девіації, модуляції і пилкоподібної частоти з розмахом не більше 5В.

Підготовка до роботи

Установіть органи керування у такі положення:

- "УРОВЕНЬ" - за стрілкою годинника до упору;
- "ДЕВИАЦИЯ" - проти стрілки годинника до упору.

Натисніть кнопки "I" перемикача "ДЕЛИТЕЛЬ", " \sim " перемикача "РОД РАБОТ" і "I" перемикача "МНОЖИТЕЛЬ".

Порядок роботи

Робота з приладом складається з таких операцій:

- а) вибір форми сигналу здійснюється натисканням на перемикачі "РОД РАБОТ" відповідної кнопки;
- б) установлення частоти здійснюється за індикатором за допомогою перемикача "МНОЖИТЕЛЬ" і ручки "ЧАСТОТА";
- в) установлення величини вихідного сигналу здійснюється за допомогою перемикача "ДЕЛИТЕЛЬ", а ручка "УРОВЕНЬ" повинна знаходитись у крайньому правому положенні;
- г) вибір типу модуляції здійснюється кнопкою "ЧМ, АМ" перемикача "РОД РАБОТ": при амплітудній модуляції кнопка натиснута, а при частотній відпущена. Глибина амплітудної модуляції установлюється ручкою "МОДУЛЯЦИЯ" по екрану осцилографа, а частотної модуляції - ручкою "ДЕВИАЦИЯ" по індикатору.



Генератор GFG-8216A

Призначення органів керування і режимів роботи

Позиції	Орган керування та контролю	Функція
1	Power	Кнопка вмикання і вимикання генератора
2	FREGUENCY	Потенціометр регулювання частоти вихідного сигналу, у витягнутому стані працює автогенератор коливаючої частоти
3	Індикатор розмірності частоти	Показує одиниці виміру частоти
4	TTL/CMOS OUTPUT	Коаксіальний вихід сигналів для логічних елементів
5	DUTY	Корегування періоду вихідного сигналу (витягнути та обернути потенціометр)
6	GATE	Змінює інтервал часу індикації (0,01; 0,1; 1; 10 секунд)
7	CMOS	Перемикач рівнів ТТЛ(кнопка нажата) та МОН (кнопка віджата)
8	OFFSET	Завдання сталої складової вихідного сигналу (витягнути і повертати)
9	AMPL	Регулювання амплітуди вихідного сигналу, у витягнутому стані зменшує

		вихідного сигналу на -20 dB
10	Перемикачі форми вихідного сигналу	Обирають форму вихідного сигналу
11	OUTPUT	Коаксіальний вихід основного сигналу
12	ATT -20dB	Ступеневе зменшення вихідного сигналу на -20dB
13	Перемикачі дискретного регулювання частоти	Дискретне регулювання вихідної частоти згідно таблиці 1
14	Індикатор часу	Показує інтервал часу індикації
15	Індикатор частоти вихідних імпульсів	Показує зовнішню і внутрішню частоту
16	Індикатор Gate	Показує інтервал часу індикації зовнішнього лічильника
17	Індикатор Over	Індикатор, який спалахує в разі перевищення частоти зовнішнього сигналу за обрану

Таблиця 1

Написнута кнопка	1	10	100	1к	10к	100к	1М
Діапазон частот	0,3 Гц – 3 Гц	3 Гц – 30 Гц	30 Гц – 300 Гц	300 Гц – 3 кГц	3 кГц – 30 кГц	30 кГц – 300 кГц	300 кГц – 3 МГц

Мультиметр ВР-II

Комбінований цифровий прилад ВР-II призначений для вимірювання напруги і сили постійного та змінного струму, опору постійного струму, а також частоти змінного струму.

Діапазон вимірювання: постійних напруг 0,001...1000 В (межі вимірювань 2, 20, 200, 1000* В [* - на перемикачі натиснута кнопка 2000]); змінних напруг 0,001...300 В частоти 45 Гц...1 кГц (межі вимірювань 2, 200, 300* В [* - на перемикачі натиснута кнопка 2000]); опорів постійного струму 0,001...2000 кОм (межі вимірювань 2, 20, 200, 20000 кОм); частоти змінного струму 0,01...10000 кГц (межі вимірювань 2, 20, 200, 1000* кГц [* - на перемикачі натиснута кнопка 2000]); сили постійного та змінного струму 0,001...1000 мА (сила струму вимірюється шляхом вимірювання падіння напруги, спричиненої вимірюваним струмом на високоточному резисторі. Вибір потрібної межі вимірювань здійснюється перемиканням його входів).

Порядок роботи

Натисніть кнопку перемикача "РОД РАБОТ" відповідно до роду вимірюваної величини, а також перемикача меж вимірювань відповідно до потрібної межі.

Підключіть з'єднальний шнур до гнізда приладу та до досліджуваної схеми.

УВАГА! Забороняється натискати перемикач "РОД РАБОТ" та "ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕРЕНИЙ" без відключення приладу від досліджуваної схеми.

Провести відлік показань за індикаторним пристроєм.

Лабораторна робота № 11

ПІДСИЛЮВАЛЬНІ КАСКАДИ НА БІПОЛЯРНИХ ТРАНЗИСТОРАХ (ПБТ)

Мета роботи: дослідити параметри та характеристики підсилювальних каскадів на біполярних транзисторах, ввімкнених за схемами спільний емітер (СЕ), спільна база (СБ) і спільний колектор (СК).

Опис досліджуваної схеми

До складу лабораторної установки входять: універсальний лабораторний стенд, змінний лабораторний модуль № 11, генератор Л-30 (GFG-8216A), вольтметр ВЗ-38 (ВЗ-13), осцилограф СІ-55, магазин опорів РЗЗ, мультиметр ВР-ІІ.

На рис. 11.1 наведено принципову електричну схему лабораторного модуля, в якому зібрані три окремих підсилювальних каскади. Вибір досліджуваного каскаду здійснюється кнопковим перемикачем, котрий знаходиться на панелі лабораторного стенду. Вхідний сигнал від Л-30 надходить на входи каскадів через перемикач $S1$ ($S2; S3$) і нормально замкнений $S5$ або підключений до гнізд $XS1$ і $XS2$ магазин опорів РЗЗ при розімкненому $S1$. Вхідний сигнал контролюється вольтметром $PV1$ або першим каналом підсилення осцилографа СІ-55. Вихідний сигнал через перемикач $S16$ ($S26, S36$) надходить на вихідний вольтметр $PV2$, другий канал підсилювання осцилографа СІ-55 та гнізда $XS4$ і " \perp " ($XS20$), до яких можна також підключити зовнішнє навантаження. Усі каскади живляться від джерела постійної напруги U , котре вмикається натисканням кнопки « $S11$ » (ВКЛ).

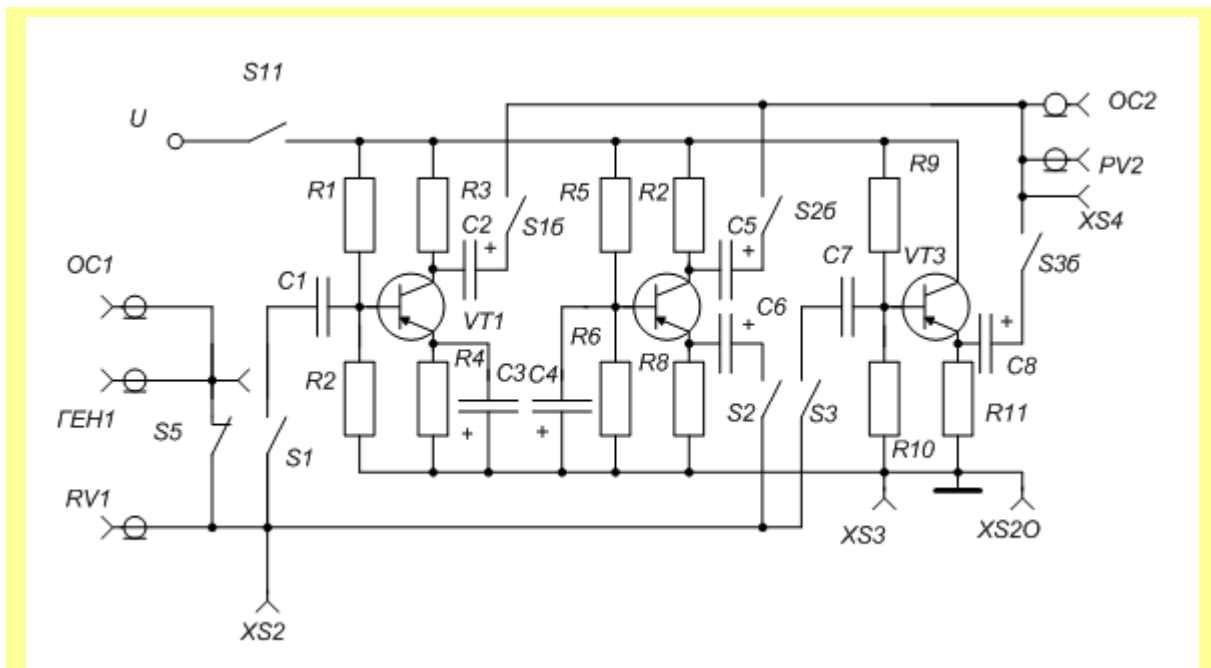


Рис. 11.1

Домашнє завдання

1. Вивчити схеми ввімкнення біполярних транзисторів у каскадах СЕ, СБ, СК, параметри та характеристики каскадів на низьких, середніх і високих частотах [1, с. 262-289; 2, с. 58, 71-73; 3, с. 28-39; 97-120; 124-128; 5, с. 317-352, 381-391, 395-397].

2. Привести вирази для коефіцієнтів підсилення напруги, струму потужності, вхідного та вихідного опорів каскадів СЕ, СБ, СК; підрахувати їх значення для показаних на рис. 11.1 схем на середній частоті ($f_T = 1$ кГц, $R_T = 0$).

Параметр	Каскад		
	СЕ	СБ	СК
$R_{ВИХ} (R_T=0)$			
$R_{ВХ} (R_H=R_{ВИХ})$			
$K_U (R_H=R_{ВИХ})$			
$K_I (R_H=R_{ВИХ})$			

Робоче завдання

1. Для кожного з досліджуваних підсилювальних каскадів СЕ, СБ, СК виміряти вхідний опір $R_{ВХ}$ на середній частоті: $f_T=1000$ Гц, $R_T=50$ Ом, $U_{ВХ}=10$ мВ для схем СЕ і СБ, $U_{ВХ}=100$ мВ для схеми СК, $R_{ВИХ}=R_H$.

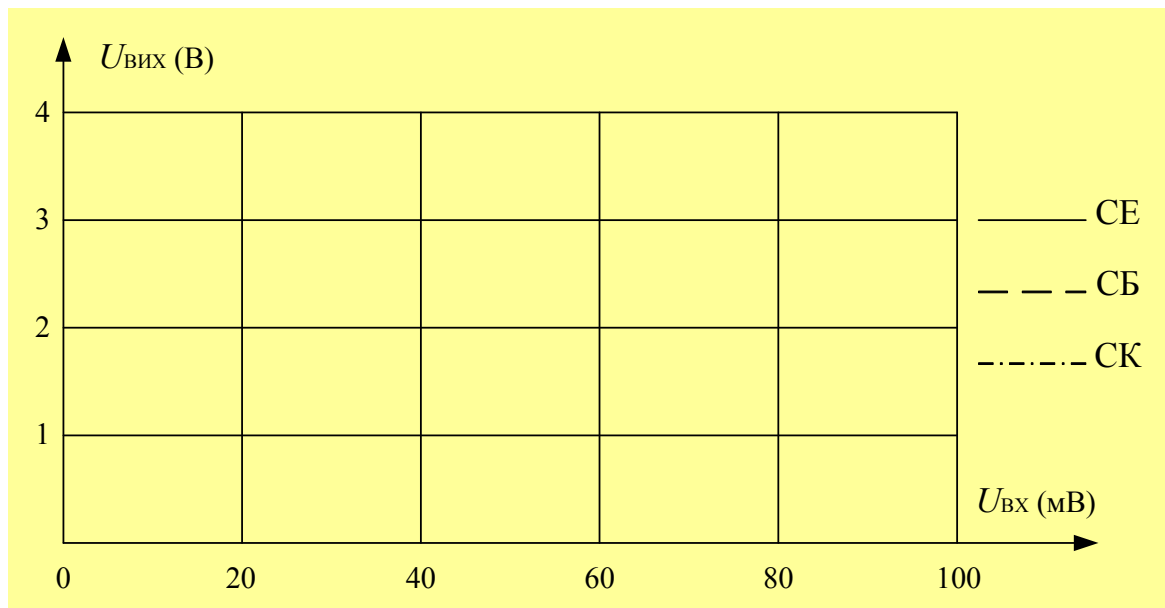
2. Виміряти вихідний опір $R_{ВИХ}$ каскадів СЕ, СБ, СК: $f_T=1000$ Гц, $R_T=50$ Ом, $U_{ВИХ ХХ}=100$ мВ.

Параметр	Каскад		
	СЕ	СБ	СК
$R_{ВХ}$			
$R_{ВИХ}$			

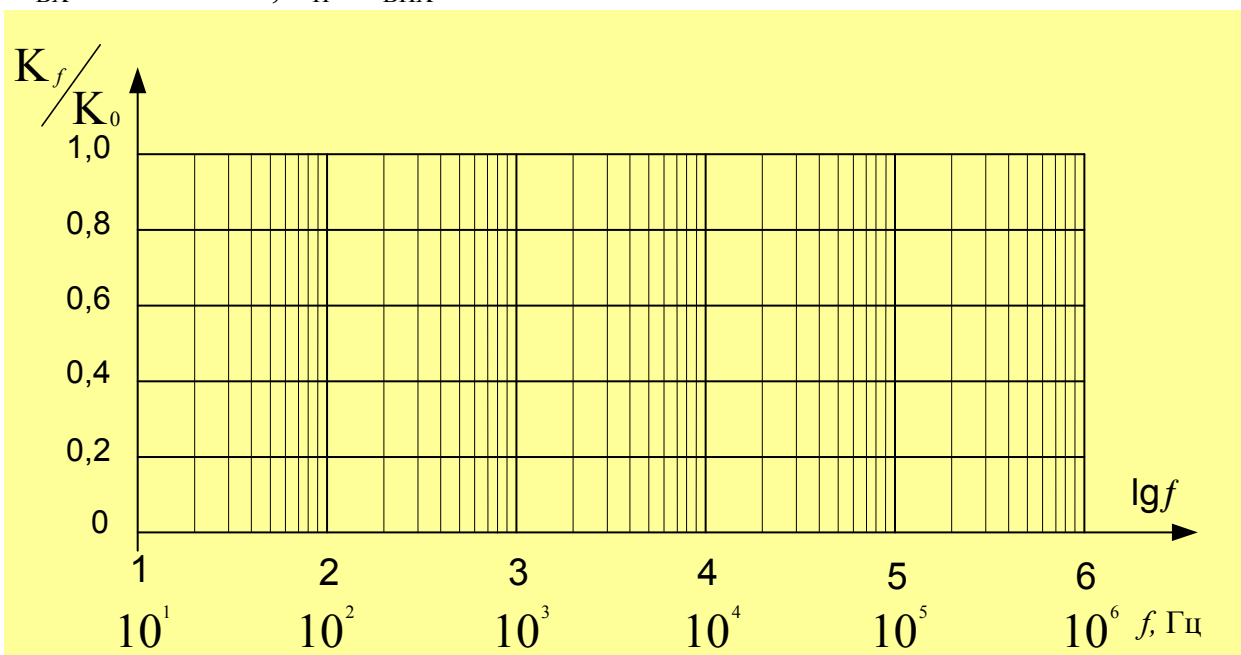
3. Визначити коефіцієнти підсилення каскадів СЕ, СБ, СК за напругою K_U , струмом K_I , потужністю K_P на середній частоті: $f_T=1000$ Гц, $R_T=50$ Ом, $R_H=R_{ВИХ}$.

Параметр	Каскад		
	СЕ	СБ	СК
K_U			
K_I			
K_P			

4. Зняти і побудувати для каскадів СЕ, СБ, СК амплітудну характеристику $U_{ВИХ}=F(U_{ВХ})$; $f_T=1000$ Гц, $R_T=50$ Ом, $R_H=R_{ВИХ}$.



5. Зняти і побудувати у напівлогарифмічному масштабі амплітудно-частотні характеристики /АЧХ/ каскадів СЕ, СБ, СК. Визначити для кожного каскаду граничні частоти і смугу пропускання: $R_{\Gamma}=50 \text{ Ом}$, $U_{\text{ВХ}}=10 \text{ мВ}$ - ЗЕ і ЗБ, $U_{\text{ВХ}}=100 \text{ мВ}$ - ЗК, $R_{\text{Н}}=R_{\text{ВІХ}}$.



6. Порівняти результати розрахунків та вимірів, зробити висновки за кожним пунктом робочого завдання.

Методичні вказівки

На рис. 11.1 показано три підсилювальних каскади. Перший каскад зібрано за схемою спільного емітера (СЕ). Основним елементом підсилювального каскаду є транзистор $VT1$ який забезпечує підсилення електричного сигналу. Резистори $R1, R2$ - вхідний дільник напруги, який забезпечує режим роботи базового кола на постійному струмі, іншими словами, вибір положення робочої точки на сім'ях статичних вхідних та вихідних вольт-

амперних характеристик (ВАХ). Опір $R3$ є колекторним навантаженням транзистора на постійному струмі. Резистор $R4$ забезпечує від'ємний зворотний зв'язок (ВЗЗ) на постійному струмі і виконує функцію термостабілізації робочої точки транзистора. Конденсатор $C3$ шунтує резистор $R4$ на змінному струмі і вилучає від'ємний зворотний зв'язок на змінному струмі (для підсилюваного сигналу). Роздільний конденсатор $C1$ розділяє джерело вхідного сигналу і вхід підсилювача на постійному струмі. Оскільки конденсатор пропускає тільки змінний струм, на вхід підсилювача буде передаватись тільки змінна складова вхідного сигналу. Окрім того, постійна напруга з дільника $R1, R2$ не буде впливати на режим роботи джерела вхідного сигналу. Призначення конденсатора $C2$ аналогічне. Цей роздільний конденсатор розділяє вихід підсилювача і навантаження на постійному струмі. Внаслідок цього до навантаження буде передана тільки змінна складова підсилюваного сигналу.

Принцип роботи транзисторного підсилювача пояснимо за допомогою рисунку 11.2. При невеликому змінюванні вхідного сигналу, прикладеного між базою і емітером, струм бази зміниться на якесь значення ΔI_B . При цьому струм колектора зміниться на значно більше значення $\Delta I_K = \beta \cdot \Delta I_B$. Навантаженням транзистора на змінному струмі є резистор $R3$ (або $R3$ та R_H , які на змінному струмі ввімкнуті паралельно), на якому виділяється напруга $U_{R3} = \Delta I_K \cdot R3$.

Режим роботи підсилення і клас підсилення визначаються положенням робочої точки «0» на вхідній та вихідній динамічних характеристиках транзистора.

Для одержання максимальної вихідної потужності на навантаженні динамічна навантажувальна характеристика вибирається таким чином, щоб вона знаходилась поблизу смуги гранично-допустимого режиму P_{Kmax} , але не перетинала її. У режимі підсилення класу A робоча точка «0» вибирається приблизно на середині динамічної навантажувальної характеристики. З рисунку 11.2 видно, що підсилювальний каскад, зібраний за схемою спільного емітера, змінює фазу вихідної напруги U_{KE} по відношенню до вхідної U_{BE} на 180 градусів. Побудовані графіки дозволяють також визначити основні параметри підсилювального каскаду:

$$K_U = \frac{\Delta U_{ВИХ}}{\Delta U_{ВХ}} = \frac{U_{KEmax} - U_{KE0}}{U_{BEmax} - U_{BE0}}; \quad R_{ВИХ} \approx R_K;$$

$$R_{ВХ} = \frac{\Delta U_{ВХ}}{\Delta I_{ВХ}} = \frac{U_{BEmax} - U_{BE0}}{I_{BEmax} - I_{BE0}}; \quad K_I = \frac{\Delta I_{ВИХ}}{\Delta I_{ВХ}} = \frac{I_{Kmax} - I_{K0}}{I_{Bmax} - I_{B0}}.$$

Амплітудна характеристика підсилювача - це залежність амплітуди вихідного сигналу від амплітуди вхідного (рис. 11.3) $U_{ВИХ} = f(U_{ВХ})$.

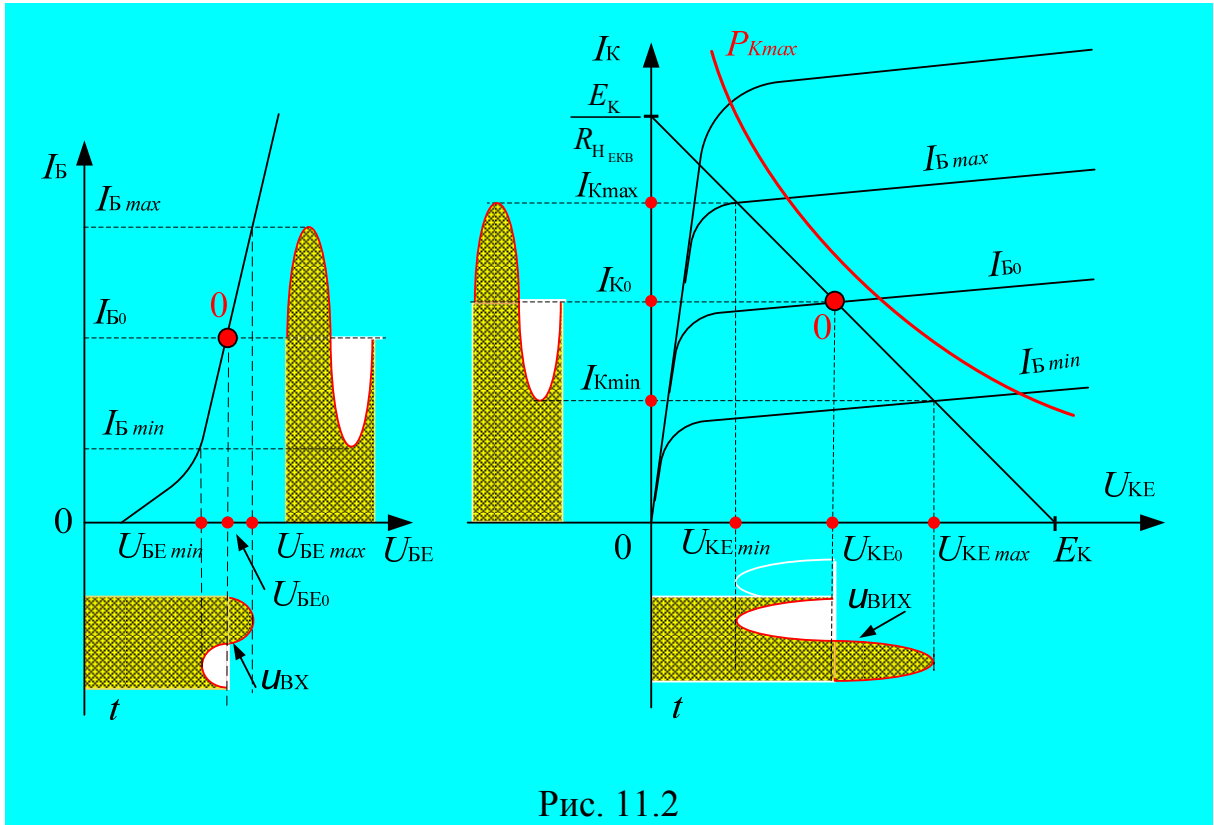


Рис. 11.2

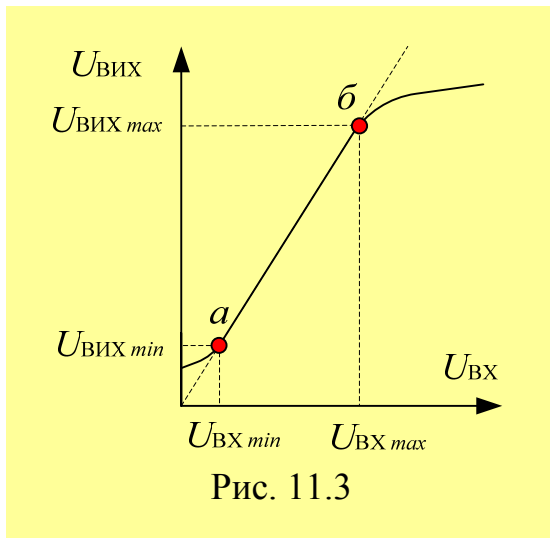


Рис. 11.3

Для ідеального підсилювача амплітудна характеристика представляє пряму лінію, яка проходить через початок координат. Амплітудна характеристика реального підсилювача збігається з характеристикою ідеального тільки на відрізку [а, б]. При входніх сигналах $U_{ВХ} > U_{ВХmax}$ вихідна напруга підсилювача не зростає. Це зв'язано з тим, що у режимі великих входніх сигналів робоча точка транзистора заходить у режим насичення (мають прояв нелінійні властивості транзистора). При цьому вихідний сигнал спотворюється. Це явище має назву нелінійних спотворень. При малих входніх сигналах $U_{ВХ} < U_{ВХmin}$ вихідна напруга підсилювача залишається постійною і дорівнює $U_{ВIXmin}$. Напруга $U_{ВIXmin}$ має назву напруги власних шумів підсилювача. Власні шуми підсилювача обумовлені різними перешкодами і наводками, а також непостійністю електричних процесів у часі. За допомогою підсилювача неможливо підсилувати сигнали з амплітудою $U_{ВХ} < U_{ВХmin}$, оскільки підсилюваний сигнал не можна визначити у власних шумах підсилювача. Відношення $U_{ВХmax}/U_{ВХmin} = D$ називається динамічним діапазоном підсилювача.

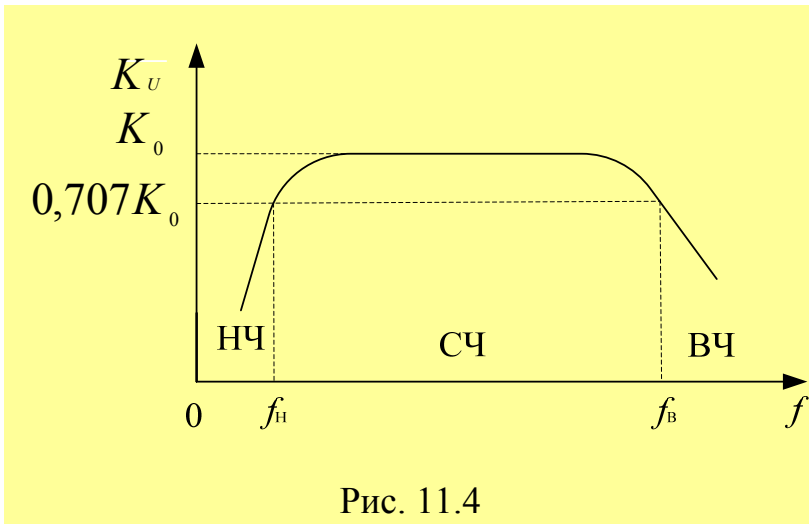


Рис. 11.4

Розглянута схема має амплітудно-частотну характеристику (АЧХ), яка показана на рис. 11,4. Зниження коефіцієнта підсилення на низьких частотах (НЧ) обумовлено наявністю у схемі роздільних конденсаторів $C1, C2$. При зниженні частоти f опір конденсаторів $X_C = 1/\omega C$ збільшується.

Це спричиняє зменшення підсилюваної напруги на навантаженні. В області середніх частот (СЧ) опір конденсаторів $C1, C2, C3$ стає зневажливо малим і його можна не враховувати. В області високих частот (ВЧ) починають виявлятися частотні властивості транзистора і його коефіцієнт підсилення зменшується. Розглянута схема має широке розповсюдження як складова частина різних транзисторних пристроїв.

Третій каскад (див. рис. 11.1) зібрано за схемою спільного колектора (СК). Інша назва цієї схеми - емітерний повторювач. Призначення основних елементів даної схеми таке, як і у попередньої. Різниця лише в тому, що резистор $R11$ задає робочу точку вихідного кола транзистора і є його навантаженням. Оскільки в транзисторі напруга U_{BE} дуже мала, можна вважати, що $U_{ВИХ} \approx U_{ВХ}$. Отже емітерний повторювач не підсилює напруги ($K_U \leq 1$). Однак схема забезпечує підсилення струму $\Delta I_K = (\beta + 1)\Delta I_B$. Таким чином, схема підсилює струм і потужність.

У схемі емітерного повторювача відсутній шунтуючий конденсатор у емітерному колі. Отже, вся вихідна напруга виділяється на резисторі $R11$. По відношенню до переходу база-емітер транзистора ця напруга ввімкнута послідовно і зустрічно з вхідною напругою. Таким чином, у схемі діє стовідсотковий послідовний від'ємний зворотний зв'язок по вихідній напрузі. У зв'язку з цим емітерний повторювач має великий вхідний і малий вихідний опір. Ці властивості емітерного повторювача визначають області його вживання в якості підсилювача струму як елемент узгодження високоомного джерела вхідного сигналу з низькоомним навантаженням. Оскільки в емітерному повторювачі діє глибокий від'ємний зворотний зв'язок, він впливає на параметри і характеристики підсилювача. Зокрема, поширюється смуга пропускання, зменшуються частотні та нелінійні спотворення.

1. Для вимірів вхідного опору $R_{ВХ}$ використовується магазин каліброваних опорів $P33$, який вмикається між джерелом гармонічного сигналу Л-30 та досліджуванним каскадом (рис. 11.5).

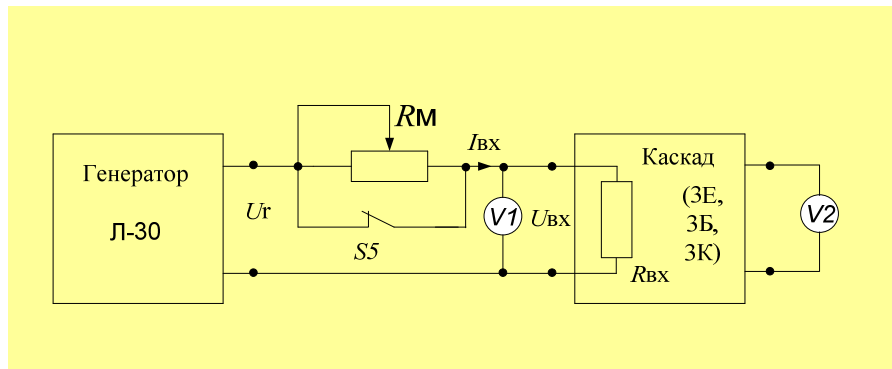


Рис. 11.5

На опорі магазину R_M виділяється частина вхідного сигналу U_G , яка визначається відношенням R_M і R_{BX} . Вольтметр $V1$ при замкненому $S5$ показує U_G , а при розімкненому $S5$ - значення U_{BX} . Вимірювання R_{BX} зводиться до установлення деякого значення U_G за вольтметром $V1$ і знаходження значення R_M такого, щоб $U_{BX} = 0,5U_G$. У цьому випадку сигнал генератора U_G ділиться нарівно між R_M та R_{BX} , через те $R_M = R_{BX}$ і значення R_{BX} визначається за шкалами магазину опорів.

2. При вимірюванні вихідного опору $R_{ВИХ}$ магазин опорів використовується як каліброване навантаження $R_H = R_M$, яке підключається до гнізда $XS4$ та $XS20$ (\perp) лабораторного стенду (Рис. 11.6). При постійній напрузі $U_{BX} = U_G$, яка вимірюється вольтметром $V1$, величина вихідної напруги на навантаженні R_H , вимірюваної вольтметром $V2$ визначається співвідношенням величин $R_{ВИХ}$ і R_H . При $R_H = \infty$ маємо $U_{ВИХ.н.х.} = U_H$. Для визначення $R_{ВИХ}$ необхідно встановити величиною U_G зручне значення вихідної напруги неробочого ходу $U_{ВИХ.н.х.}$ при відключеному навантаженні. Після цього треба встановити максимальний опір і ввімкнути його до гнізд $XS4$ і $XS20$ (\perp). Після того, як за зменшенням R_M , напруга U_H зменшується до величини $U_H = 0,5 \cdot U_{ВИХ.н.х.}$, шукану величину $R_{ВИХ}$ каскаду можна визначити за шкалою Р33.

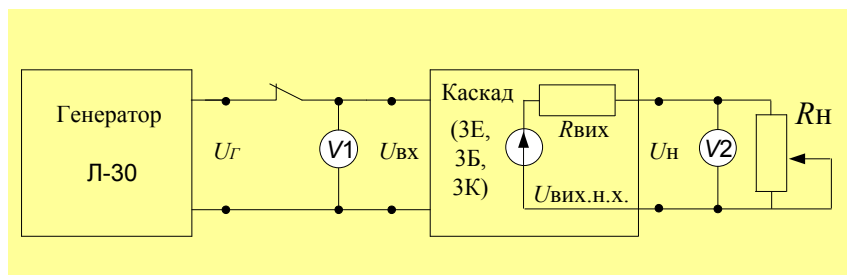


Рис. 11.6

Всі наступні виміри проводяться при оптимальному навантаженні каскадів $R_H = R_{ВИХ}$, відповідному максимальному підсиленню сигналу за потужністю.

3. Коефіцієнт підсилення каскадів за напругою K_U визначається безпосередньо за показанням вхідного і вихідного вольтметрів. Коефіцієнт підсилення за струмом визначається перерахуванням:

$$K_I = \frac{I_H}{R_{BX}} = \frac{U_H}{R_H} \cdot \frac{U_{BX}}{R_{BX}} = K \frac{R_{BX}}{R_H}.$$

Аналогічно

$$K_P = K_U K_I = K_U^2 \frac{R_{BX}}{R_H} = K_I^2 \frac{R_H}{R_{BX}}.$$

4. При зніманні амплітудної характеристики каскадів потрібно при $U_\Gamma = 0$ визначити $U_{\text{вих}min}$, яке є шумовою складовою вихідного сигналу. Величина $U_{\text{вих}max}$ визначається за вольтметром $V2$ при появі істотних нелінійних спотворень, які спостерігаються за допомогою осцилографа.

Потрібно пам'ятати, що вольтметри $V1$ і $V2$ показують діюче значення синусоїдальних напруг, отже, максимальний розмах напруг, що визначає динамічний діапазон вхідного і вихідного сигналів, у $\sqrt{2}$ разів більше.

5. При зніманні та побудові нормованих АЧХ $K(f)/K_0$ треба підтримувати $U_\Gamma = U_{\text{BX}} = const$.

Тоді

$$\frac{K(f)}{K_0} = \frac{U_{\text{вих}}(f)/U_{\text{BX}}(f)}{U_{\text{вих}}(f_0)/U_{\text{BX}}(f_0)} = \frac{U_{\text{вих}}(f)}{U_{\text{вих}}(f_0)} \Big|_{U_{\text{BX}}(f) = U_{\text{BX}}(f_0)}$$

де f_0 - частота діапазону, для якого $K(f) = const$ верхня $f_{\text{В.ГР}}$ та нижня $f_{\text{Н.ГР}}$ граничні частоти визначаються за зменшенням підсилення, за потужністю удвічі. При $Z_{\text{BX}} = const$ і $Z_{\text{H}} = const$ у всьому частотному діапазоні це означає зменшення K_U і K_Γ на граничних частотах в $\sqrt{2}$ разів. Тому визначення АЧХ належить починати із знаходження частот $f_{\text{В.ГР}} > f_0$ і $f_{\text{Н.ГР}} < f_0$, на яких $Kj(f)/Kj(f_0) = 0.707$. Інші ординати АЧХ треба визначити для частот $f_{\text{Н.ГР}} < f_0 < f_{\text{В.ГР}}$, у відповідності з їх рівномірним розподілом, на графіку з логарифмічним масштабом частоти.

УВАГА! Усі виміри, які проводяться за допомогою вольтметрів $V1$ і $V2$, можна робити двопробним осцилографом СІ-55, використовуючи його перший канал вертикального відхилення як вольтметр $V1$, а другий канал - як вольтметр $V2$

Контрольні запитання

1. Визначіть за принциповою схемою каскаду спосіб ввімкнення транзистора.
2. Порівняйте каскади СЕ, СБ, СК за коефіцієнтами підсилення.
3. У якому каскаді реалізовано підсилення за струмом і потужністю?
4. Який каскад забезпечує підсилення за потужністю та чому?
5. У якому каскаді реалізовано підсилення за напругою та потужністю?
6. Порівняйте підсилювальні каскади СЕ, СБ, СК за величинами $R_{ВХ}$ і $R_{ВІХ}$. Чим вони відрізняються?
7. Порівняйте частотні властивості каскадів СЕ, СБ, СК і поясніть причини відмінностей.
8. Поясніть призначення кожного компоненту схем каскадів.
9. Як залежить $R_{ВХ}$, $R_{ВІХ}$, K_U , K_I , K_P каскадів СЕ, СБ, СК від значень електричних параметрів компонентів?
10. Коли, треба використовувати підсилювальні каскади СЕ, СБ, СК?
11. Назвіть основні способи задання режиму роботи біполярного транзистора у підсилювальних каскадах СЕ, СБ, СК?
12. Як побудувати навантажувальну лінію на постійному та змінному струмі?
13. Поясніть вплив температури на режим роботи підсилювальних каскадів.
14. Які вам відомі способи температурної стабілізації режиму роботи каскадів? Поясніть особливості їх застосування.

Лабораторна робота № 12

НАПІВПРОВІДНИКОВІ ОДИНИЧНІ КАСКАДИ ПІДСИЛЕННЯ

Мета роботи: дослідити параметри і характеристики підсилювальних каскадів на біполярних (зі спільним емітером, спільним колектором, спільною базою, спільним емітером на складеному транзисторі, каскадного) і польових (з керуючим $p-n$ переходом, зі спільним стоком, зі спільним витоком) транзисторах.

Опис досліджуваної схеми

Лабораторна установка вміщує стенд зі змінними модулями, задаючий генератор, міліамперметри, вимірювальний вольтметр. На змінних модулях нанесені зображення схем досліджуваних підсилювачів і відповідні написи. На передній панелі з відповідними написами на фальш-панелі розміщені:

- тумблер - "СЕТЬ" - для включення стенду;
- лампочка - "ВКЛ." - для контролю включення;
- перемикач - "ЧАСТОТА, кГц" - для перемикання діапазонів частот генератора від 0,02 до 20 кГц;
- ручка - "ЧАСТОТА, кГц" - для плавної зміни частоти генератора в межах кожного діапазону;
- ручка - "ВХОД" - для зміни величини опору генератора вхідного сигналу;
- перемикач "S1"- з положеннями "C1" та "C2" - для подачі вхідного сигналу на вхід досліджуваної схеми крізь відповідну ємність;
- гнізда - "1" і "2" - для підключення на вхід сигналу від зовнішнього генератора;
- гнізда - "3" і "4" - для спостереження осцилограм вхідного струму;
- прилад - " I_B " - для зміни постійного струму бази;
- прилад - " I_E " і кнопка " $I_E \frac{x5}{x1}$ " – для зміни струму в колі емітера і меж приладу; в натиснутому стані "X1" межа вимірювання відповідає значенням, вказаним на шкалі приладу;
- прилад - " I_B " і кнопка " $I_B \frac{x5}{x1}$ " для вимірювання струму витоку і перемикання приладу, аналогічного попередньому пункту;
- ручки - " $R_{д1}$ ", " $R_{д2}$ ", " $R_{э}$ ", " $R_{к} - R_{си}$ " для регулювання відповідних параметрів в досліджуваних схемах підсилювачів;
- перемикач - "S2" - для підключення навантаження крізь один з роздільних конденсаторів "C3" або "C4";
- перемикач - "S3" - для зміни схеми базового діляника у підсилювачах, які вивчаються;

- гнізда "5", "6", "7", "8", "9", "10", "11", "12" - для вимірів напруг та перегляду осцилограм струмів і напруг у характерних точках схем підсилювачів;
- перемикач - " $E_K - E_C$ " для перемикання джерел живлення та вимірювального вольтметра.

Принципова електрична схема стенду містить:

- підсилювач зі спільним емітером (СЕ) (рис. 12.1);
- підсилювач зі спільним колектором (СК) (рис. 12.2);
- підсилювач з загальною базою (СБ) (рис. 12.3);
- підсилювач зі спільним емітером на складеному транзисторі (рис.12.4);
- підсилювач каскадний (рис. 12.5);
- підсилювач зі спільним витоком(СВ) (рис. 12.6);
- підсилювач зі спільним стоком (СС) (рис. 12.7).

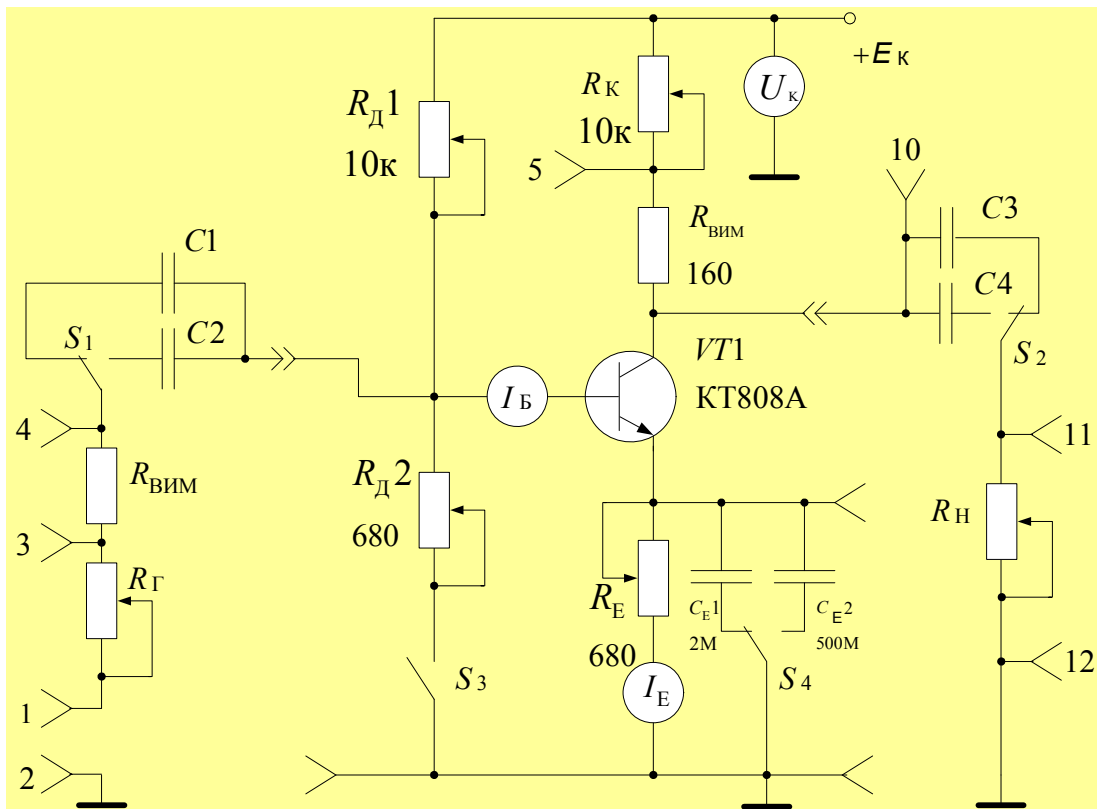
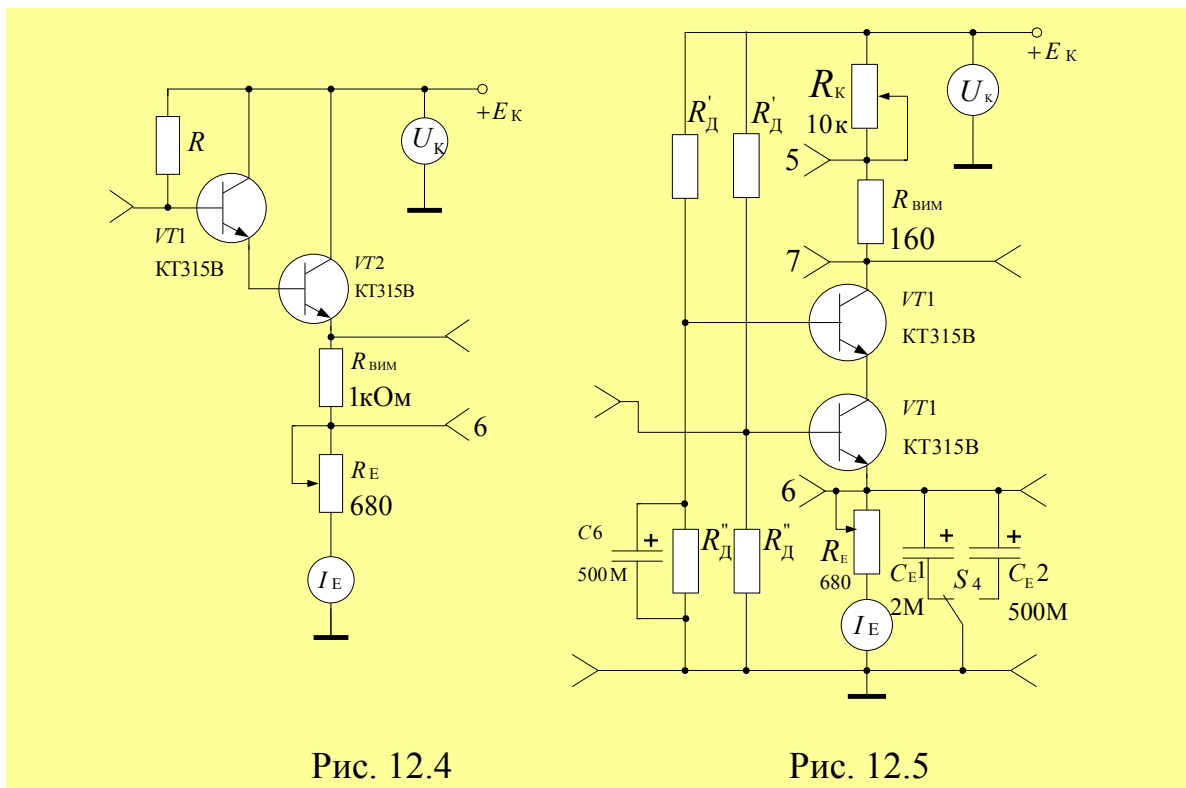
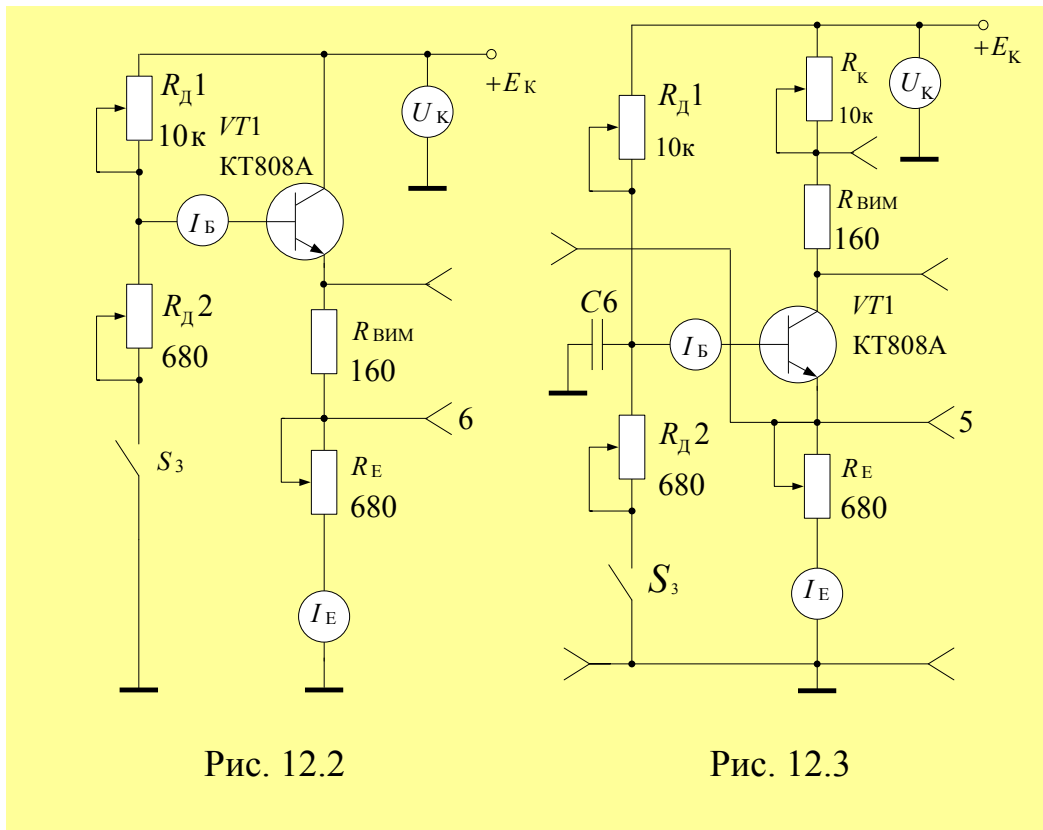


Рис. 12.1



Домашнє завдання

1. Вивчити схеми підключення біполярних і польових транзисторів у каскадах зі СЕ, СБ, СК, СС, СВ, параметри і характеристики каскадів на

середніх, низьких та високих частотах [1, с. 286-291; 3, с. 28-45, 97-120; 5, с. 317-352, 381-391, 395-397, 383-416, 452-459].

2. Для каскадів СЕ, СБ, СК, СС, СВ записати вирази для коефіцієнтів підсилення за напругою.

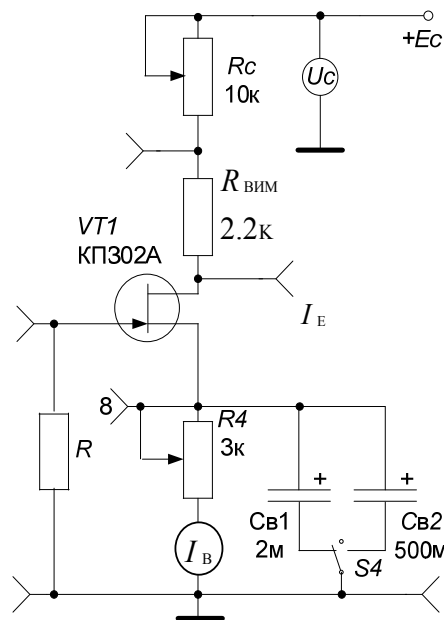


Рис. 12.6

видимих нелінійних спотворень.

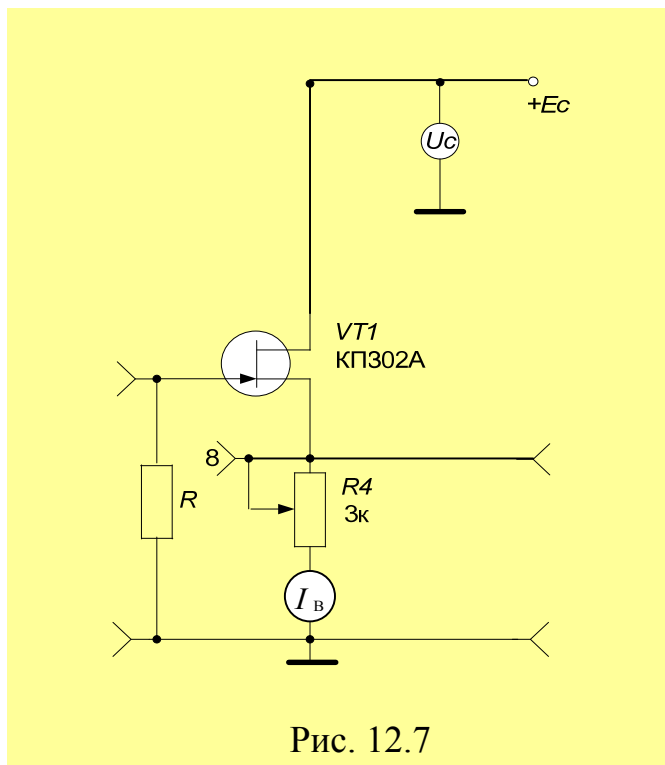


Рис. 12.7

значення U_{BX} підтримувати його постійним. частотну характеристику

Робоче завдання

1. Зняти і побудувати амплітудні характеристики досліджуваних підсилювачів, якщо опір генератора 1 кОм та 10 кОм, і наявності стабілізації режиму спокою. За амплітудними характеристиками розрахувати динамічний діапазон підсилювача за формулою

$$D = U_{BXmax} / U_{BXmin}$$

2. Переглянути осцилограми вхідної напруги (замалювати їх), коли сигнал відповідає наявності

3. Знайти вхідний опір каскаду, коефіцієнти підсилення за напругою і струмом.

4. Знайти відношення коефіцієнтів підсилення за напругою, отриманих при $R_T = 1$ кОм та $R_T = 10$ кОм.

5. Виміряти постійну напругу між електродами транзисторів в досліджуваних підсилювачах при наявності і відсутності стабілізації режиму спокою та порівняти їх.

6. Зняти частотні характеристики досліджуваних підсилювачів $K_U = \Psi(f)$, змінюючи частоту задаючого генератора в межах 0,02...20 кГц. При зміні частоти перевіряти

побудувати в напівлогарифмічному масштабі, відкладаючи по осі частот $lg(f)$: $K_U = \Psi(lgf)$.

7. Визначити вплив опору навантаження на характеристики підсилювачів.

8. Визначити вплив зміни напруги колекторного живлення на характеристики підсилювачів.

Методичні вказівки

Основні параметри і характеристики підсилювачів.

1. Коефіцієнт підсилення - це відношення вихідного параметру до вхідного. $K_U = U_{\text{вих}}/U_{\text{вх}}$ - коефіцієнт підсилення за напругою; $K_I = I_{\text{вих}}/I_{\text{вх}}$ - коефіцієнт підсилення за струмом; $K_P = P_{\text{вих}}/P_{\text{вх}}$ - коефіцієнт підсилення за потужністю. Підсилювач поперед всього підсилює потужність електричного сигналу. Коли немає підсилення за потужністю, немає і підсилення.

2. Вхідний опір - це опір між вхідними клемми підсилювача змінного струму: $R_{\text{вх}} = \Delta U_{\text{вх}}/\Delta I_{\text{вх}}$

3. Вихідний опір - це опір між вихідними клемми підсилювача змінного струму: $R_{\text{вих}} = \Delta U_{\text{вих}}/\Delta I_{\text{вих}}$

4. Коефіцієнт корисної дії (ККД) підсилювача - це відношення потужності, яка приходить на навантаження, до потужності, вживаної від джерела живлення $\eta = P_{\text{н}}/P_{\text{дж}}$

5. Амплітудно-фазова характеристика. Взагалі напруга $U_{\text{вих}}$ і струм підсилювача $I_{\text{вих}}$ зсунуті за фазою відносно вхідної напруги $U_{\text{вх}}$ і струму $I_{\text{вх}}$. У зв'язку з цим коефіцієнт підсилення за напругою і струмом є в загальному випадку величиною комплексною, яка характеризується модулем і фазою: $K_U = U_{\text{вих}}/U_{\text{вх}}$; $K_I = I_{\text{вих}}/I_{\text{вх}}$. Модуль коефіцієнта підсилення підсилювачів і його фаза залежать від частоти підсилюваного сигналу.

Амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) - це залежність модуля коефіцієнта підсилення підсилювача від частоти підсилюваного сигналу.

Фазочастотна характеристика (ФЧХ) - це залежність фазового зсування між вхідним і вихідним сигналом від частоти.

Внаслідок наявності у схемі підсилювача реактивних елементів, а також за рахунок частотних властивостей транзистора коефіцієнт підсилення підсилювача має різні значення на різних частотах. Це явище має назву частотних спотворень підсилювача. Для їх оцінки введено параметр - коефіцієнт частотних спотворень M , який дорівнює відношенню коефіцієнта підсилення на середніх частотах (СЧ) K_{U_0} до коефіцієнта підсилення на заданій частоті K_{U_f} :

$$M = K_{U_0}/K_{U_f}$$

Частоти, на яких коефіцієнт досягає гранично допустимого значення, називають верхньою $f_{В.гр.}$ та нижньою $f_{Н.гр.}$ граничними частотами. Різниця $\Delta f = f_{В.гр.} - f_{Н.гр.}$ має назву смуги пропускання підсилювача. У багатьох випадках приймають M рівним $\sqrt{2} = 1,41$.

6. Амплітудна характеристика підсилювача - це залежність амплітуди вихідного сигналу від амплітуди вхідного.

Для ідеального підсилювача амплітудна характеристика була б прямою лінією, яка проходить крізь початок координат. У реальному підсилювачі при великих вхідних сигналах $U_{ВХ} > U_{ВХ max}$ вихідна напруга підсилювача припиняє збільшуватися. Це зв'язано з тим, що в режимі великих вхідних сигналів робоча точка транзистора заходить у режим насичення /виявляються нелінійні властивості транзистора/. При цьому вихідний сигнал спотворюється. Це явище має назву нелінійних спотворень. При малих вхідних сигналах $U_{ВХ} > U_{ВХ min}$ вихідна напруга підсилювача залишається постійною і дорівнює $U_{ВІХ min}$. Напруга $U_{ВІХ min}$ має назву напруги власних шумів підсилювача. Власні шуми підсилювача заявляються внаслідок різних перешкод і наводок, а також несталості електричних процесів у часі. За допомогою підсилювача неможливо підсилити сигнали з амплітудою $U_{ВХ} < U_{ВХ min}$, оскільки підсилений сигнал не може бути знайдений у власних шумах підсилювача. Відношення $U_{ВХ max} / U_{ВІХ min} = D$ має назву динамічного діапазону підсилення.

Контрольні запитання

1. Визначити за принциповою схемою спосіб ввімкнення уніполярного транзистора.
2. Порівняти схеми зі СВ, СС за коефіцієнтами підсилення K_U, K_I, K_P .
3. В якому каскаді реалізовано максимальне підсилення за напругою?
4. В якому каскаді реалізовано максимальне підсилення за потужністю?
5. Порівняти каскади СВ, СС за величинами $R_{ВХ}$ і $R_{ВІХ}$.
6. Чим зумовлені зниження АЧХ на ВЧ і НЧ?
7. Як за реакцією каскаду на прямокутний вхідний сигнал знайти граничні частоти $f_{В.гр.}$ і $f_{Н.гр.}$?

Лабораторна робота № 13

ПІДСИЛЮВАЧ ПОТУЖНОСТІ

Мета роботи: дослідити властивості безтрансформаторного двотактного каскаду підсилювача потужності на біполярних транзисторах типу $p-n-p$ та $n-p-n$ в режимах класів A та B .

Опис досліджуваної схеми

До складу лабораторної установки входять: універсальний лабораторний стенд, змінний модуль №13, генератор гармонічного сигналу Л-30, вхідний та вихідний вольтметри ВЗ-38 (ВЗ-13), осцилограф СІ-55, магазин опорів РЗЗ, мультиметр ВР-ІІ.

На рис. 13.1 показано принципову електричну схему лабораторного модуля, який являє собою безтрансформаторний кінцевий каскад з послідовним живленням, зібраний на транзисторах типу $p-n-p$ та $n-p-n$. Транзистори $VT1$ і $VT2$ ввімкнуті за схемою спільного колектора (СК). Режим їх роботи на постійному струмі визначається компонентами дільника напруги $R1, R2, R3$ підключеного до джерела постійної напруги U . Напруга живлення вмикається кнопкою $S11$ (ВКЛ.)

Зміна режиму роботи підсилювача потужності здійснюється перемикачем $S6$, при замиканні якого каскад переходить з режиму роботи класу A у режим роботи класу B .

Резистор $R1=100$ Ом, включений у вхідне коло, призначений для непрямого вимірювання вхідного струму каскаду, визначаємого за величиною падіння напруги на $R1$. Падіння напруги вимірюється вхідним вольтметром $PV1$ або осцилографом на двох полюсах резистора за допомогою перемикача $S5$.

Конденсатори $C2$ та $C3$ є роздільними, а $C1$ використовується для передачі без затухання вхідного сигналу на базу транзистора $VT1$ у режимі класу A .

Для лінеаризації вхідних характеристик транзисторів до їх емітерних кіл ввімкнуті резистори $R5$ та $R6$ напруга на яких (гнізда $XS2 - XS5$ та $XS4 - XS5$) повторює форму емітерного струму. Внутрішнє навантаження каскаду підключається перемикачем $S7$, а зовнішнє (магазин опорів РЗЗ) підключається до гнізд $XS5$ та $XS20(\perp)$.

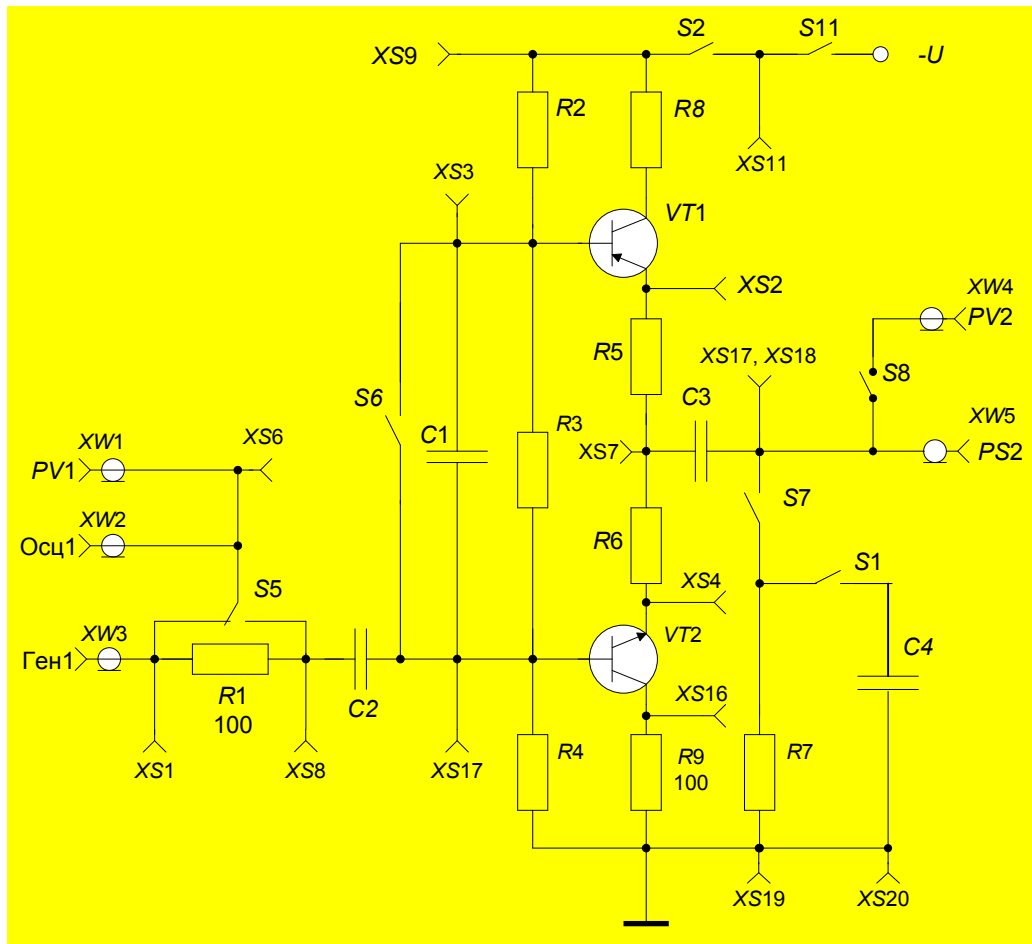


Рис. 13.1

Домашнє завдання

1. Вивчити способи реалізації та властивості каскадів підсилення потужності в режимах класів A , B , AB [1, с.323-328; 3, с. 132-143; 5, с. 412-428].
2. Використовуючи характеристики транзисторів типу КТ8І5А і К8І4В, обрати положення робочої точки для отримання потужності 1 Вт при напрузі джерела живлення $U = -5\text{В}$, на навантажувальному резисторі $R_H = 15\text{Ом}$ при роботі підсилювача у режимі класу B .

Робоче завдання

1. Замалювати осцилограми вихідного сигналу $U_{\text{вих}}$ та емітерних струмів i_{E1} , i_{E2} при роботі підсилювача потужності на внутрішнє навантаження у режимі класу A та B .
2. Для каскаду у режимі класу A зняти і побудувати залежності потужності P_0 , споживаної від джерела живлення; потужності P_H , що віддається у навантаження; потужності P_K , розсіюваної на колекторах транзисторів; коефіцієнта корисної дії (ККД) η від амплітуди вхідної напруги $U_{\text{вх}}$:
 $f_{\Gamma} = 1000\text{ Гц}$, $R_{\Gamma} = 50\text{ Ом}$, $R_H = 5\text{ Ом}$.

$U_{\text{ВХ}}, \text{В}$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8
$I_0, \text{мА}$										
$U_{\text{н}}, \text{В}$										
$P_0, \text{Вт}$										
$P_{\text{н}}, \text{Вт}$										
$P_{\text{к}}, \text{Вт}$										
$\eta, \%$										

3. Визначити коефіцієнт підсилення за потужністю K_p каскаду в режимі класу A : $f_{\Gamma} = 1000 \text{ Гц}$, $R_{\Gamma} = 50 \text{ Ом}$, $R_{\text{н}} = 5 \text{ Ом}$.

4. Для каскаду у режимі класу B :

а) зняти і побудувати амплітудну характеристику;

б) зняти і побудувати залежності P_0 , $P_{\text{н}}$, $P_{\text{к}}$, η від $U_{\text{ВХ}}$ при $f_{\Gamma} = 1000 \text{ Гц}$, $R_{\Gamma} = 50 \text{ Ом}$, $R_{\text{н}} = 5 \text{ Ом}$;

в) зняти і побудувати залежності, що віддаються до навантаження потужності від опору навантаження $R_{\text{н}}$: $f_{\Gamma} = 1000 \text{ Гц}$, $R_{\Gamma} = 50 \text{ Ом}$, $U_{\text{ВХ}} = 1,0 \text{ В}$;

г) зняти і побудувати амплітудно-частотну характеристику підсилювача: $R_{\Gamma} = 50 \text{ Ом}$, $R_{\text{н}} = 15 \text{ Ом}$, $U_{\text{ВХ}} = 1,0 \text{ В}$, $f_{\Gamma} = 10 \dots 20 \text{ кГц}$.

5. Зробити аналіз результатів вимірів та записати висновки.

Методичні вказівки

1. Для отримання осцилограм емітерних струмів $I_{\text{Е1}}$ та $I_{\text{Е2}}$ треба підключити осцилограф відповідно до резистора $R5$ (гнізда $XS2$ та $XS5$) і резистор $R6$ (гнізда $XS4$ та $XS5$).

УВАГА! При зніманні осцилограм струмів $I_{\text{Е1}}$ та $I_{\text{Е2}}$ неприпустимо підключати корпус осцилографа до гнізд $XS2$ і $XS4$. Корпус осцилографа підключати тільки до гнізда $XS5$.

2. Потужність, що споживається від джерела живлення, визначається за співвідношенням:

$$P_0 \approx UI_0,$$

$$\text{де } U = 5 \text{ В}, I_0 = U_{R9} / R9 = U_{R9} / 100.$$

Потужність $P_{\text{н}}$, що віддається до навантаження,

$$P_{\text{н}} = U_{\text{н}}^2 / R_{\text{н}},$$

де $U_{\text{н}}$ - показання вихідного вольтметра $PV2$.

Потужність $P_{\text{к}}$, розсіювана на колекторі $VT1$ і $VT2$,

$$P_{\text{к1}} = P_{\text{к2}} = (P_0 - P_{\text{н}}) / 2.$$

Коефіцієнт корисної дії

$$\eta = P_H / P_0 \cdot 100(\%).$$

3. Для визначення коефіцієнта підсилення потужності K_P потрібно спочатку визначити вхідний опір каскаду R_{BX} або вхідний струм I_{BX} . Перемикач забезпечує підключення вольтметра $PV1$ до двох затискачів резистора $R1 = 100$ Ом. Відповідно отримані значення напруг U_Γ і U_{BX} дають:

$$I_{BX} = \frac{U_\Gamma - U_{BX}}{R1}; \quad R_{BX} = \frac{U_{BX}}{I_{BX}} = \frac{U_{BX}}{U_\Gamma - U_{BX}} R1,$$

тоді

$$R_{BX} = \frac{U_{BX}^2}{P_{BX}}, \quad K_P = \frac{P_H}{P_{BX}} = K_U^2 \frac{R_{BX}}{R_H}.$$

4. Залежності P_0, P_H, P_K та η від U_{BX} у режимі класу B визначають аналогічно п.2.

Амплітудну характеристику каскаду знімають для діапазону вхідних напруг $U_{BX \min}$ до $U_{BX \max}$, при якому з'являються істотні нелінійні спотворення сигналу.

При зніманні залежності $P_H(R_H) = U_H^2 / R_H$ при $U_{BX} = const$ необхідно відключити внутрішнє навантаження $R7$, установити опір Ом магазину $P33$ $R_M = 25$ Ом та підключити магазин до гнізд $XS5$ та $XS20(\perp)$ і зменшити опір магазину до 5 Ом. Подальше зменшення R_M неприпустимо тому, що це може призвести до теплового пробою транзисторів.

Амплітудно-частотну характеристику знімають відповідно до п.5 методичних вказівок до роботи № 11.

Контрольні запитання

1. Поясніть положення робочої точки транзистора підсилювача потужності класів A, AB, B, C .
2. Порівняйте каскади підсилення класів A, AB, B, C за економічністю та рівнем нелінійних спотворень.
3. Поясніть причини нелінійних спотворень у каскадах підсилення потужності на біполярних транзисторах.
4. Опишіть принцип роботи досліджуваної схеми.
5. Поясніть призначення компонентів схеми каскаду.
6. Приведіть співвідношення для потужностей P_0, P_K, P_H та η , поясніть їх залежність від U_{BX} у підсилювальних каскадах класів A і B .
7. Поясніть позитивні якості і недоліки безтрансформаторної схеми підсилювача потужності.
8. Поясніть способи лінеаризації характеристик транзисторних підсилювачів потужності.
9. Що таке узгоджене навантаження каскаду?

Лабораторна робота № 14

ШИРОКОСМУГОВИЙ ПІДСИЛЮВАЧ

Мета роботи: дослідити широкосмуговий підсилювач методом перехідних та частотних характеристик, вивчити причини частотних спотворень та методи корекції амплітудно-частотної характеристики підсилювачів в області низьких та високих частот.

Опис досліджуваної схеми

До складу лабораторної установки входить: універсальний лабораторний стенд, змінний модуль №14, генератор імпульсів Г5-54, генератор гармонічного сигналу Л-30, вхідний та вихідний вольтметри В3-38 (В3-13), осцилограф С1-55, мультиметр ВР-11.

На рис 14.1 показано принципову схему досліджуваного підсилювача з перемикаємими компонентами кіл низькочастотної та високочастотної корекції. У роботі досліджується двокаскадний *RC*-підсилювач, зібраний на біполярних транзисторах *VT1*, *VT2*. Вхідний сигнал подається на підсилювач з генератора прямокутних імпульсів Г5-54 або з генератора сигналів Л-30. Міжкаскадний зв'язок, а також зв'язок з джерелом сигналу і навантаженням здійснюється через роздільні конденсатори *C1*, *C9*, *C10*.

Вхідний та вихідний каскади виконані за схемою спільний емітер /*CE*/ із заданням робочої точки фіксованим потенціалом бази і колами емітерної стабілізації. У підсилювачі використовується метод низькочастотної корекції АЧХ за допомогою частотнозалежного навантаження (*R3 – C2, C3, C4*) і два методи високочастотного коригування: частотно-залежне навантаження (*L1, L2, L3*) і частотнозалежний зворотний зв'язок (*R6 – C6, C7, C8*).

Сигнал на виході першого каскаду може досліджуватись шляхом вмикання вольтметра *PV2* або осцилографа до гнізд *XS2* і *XS20*(\perp).

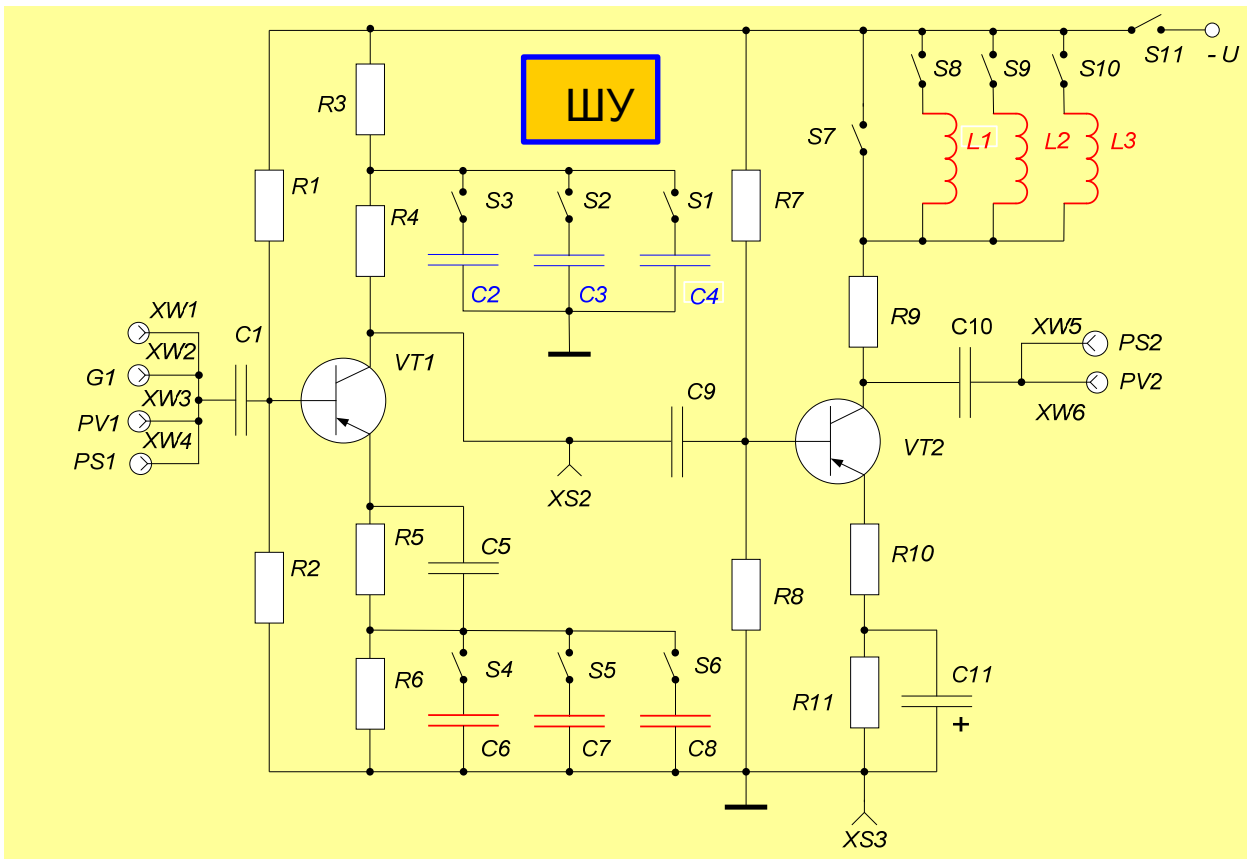


Рис. 14.1

Домашнє завдання

1. Визначити причини лінійних спотворень в RC -підсилювачах в областях високих і низьких частот (малих та великих тривалостей), вивчити основні способи корекції АЧХ, їх вплив на вид АЧХ та форму вихідного імпульсу RC -підсилювача [5, с. 328-352].

2. Записати вираз і обчислити коефіцієнти підсилення напруги K_U кожного каскаду і двокаскадного RC -підсилювача в області середніх частот при підключених конденсаторах $C8$ в емітерному і $C4$ в колекторному колах транзистора $VT1$ (перемикач $S7$ замкнутий, $R_{\Gamma} = 50 \text{ Ом}$, $R_{\text{H}} = \infty$).

Робоче завдання

А. Дослідження широкосмугового RC підсилювача без корекції АЧХ.

1. Зняти і побудувати у напівлогарифмічному масштабі нормовану АЧХ двокаскадного RC -підсилювача $K/K_0 = F(f)$ ($U_{\text{ВХ}} = 10 \text{ мВ}$, $R_{\Gamma} = 50 \text{ Ом}$, $R_{\text{H}} = \infty$). Визначити коефіцієнт підсилення напруги K_U у діапазоні середніх частот ($S7$ замкнутий).

2. Визначити тривалість переднього $t_{\Phi 1}$ і заднього $t_{\Phi 2}$ до фронтів імпульсу, а також відносний спад вершини імпульсу при подачі на вхід імпульсів прямокутної форми ($U_{\text{ВХ}} = 10 \text{ мВ}$, $t_l = 10 \text{ мкс}$). Форму імпульсу намалювати.

Б. Дослідження широкосмугового RC -підсилювача в області низьких частот (великих тривалостей).

1. Зняти і побудувати нормовані АЧХ підсилювача при різних значеннях конденсаторів коригуючого кола $R3-C2$, $C2$, $C4$ ($U_{ВХ} = 10\text{ мВ}$, $R_{Г} = 50\text{ Ом}$).

2. Визначити відносний спад вершини імпульсу для трьох значень коригуючого конденсатора. Форму імпульсу (позитивної полярності) намалювати ($U_{ВХ} = 10\text{ мВ}$, $t_{I} = 10\text{ мкс}$).

В. Дослідження широкосмугового RC -підсилювача в області високих частот (малих тривалостей).

1. Зняти і побудувати нормовану АЧХ підсилювача при використанні ВЧ-корекції методом частотнозалежного від'ємного зворотного зв'язку для трьох значень $C_{КОР}(C1, C2, C3)$ ($U_{ВХ} = 10\text{ мВ}$, $R_{Г} = 50\text{ Ом}$).

2. Зняти і побудувати нормовану АЧХ підсилювача при використанні ВЧ-корекції методом частотно залежного навантаження для трьох значень $L_{КОР}(L1, L2, L3)$ ($U_{ВХ} = 10\text{ мВ}$, $R_{Г} = 50\text{ Ом}$).

3. Визначити тривалості переднього і заднього фронтів імпульсу для тих самих значень емітерного конденсатора. Намалювати форму імпульсу на виході, підсилювача.

4. Дослідити вплив коригуючої індуктивності на тривалість переднього і заднього фронтів вихідного імпульсу підсилювача. Намалювати форму імпульсів.

5. Сформулювати основні висновки по роботі.

Методичні вказівки

А. Спотворення АЧХ в області низьких частот обумовлені падінням напруг низькочастотного сигналу на роздільних конденсаторах, а також погіршенням нейтралізації від'ємного зворотного зв'язку (ВЗЗ) конденсаторами кола емітерної стабілізації.

Спотворення АЧХ в області високих частот смуги, пропускання досліджуваного підсилювача зв'язані з наявністю паразитних ємностей монтажу, ємностей колекторних переходів та залежністю параметрів транзисторів від частоти.

1. Нормована АЧХ знімається і будується відповідно до п. 5 методичних вказівок до лабораторної роботи № 11.

2. Тривалість переднього і заднього фронтів визначають на рівнях 0,1 і 0,9 амплітуди імпульсів. Для визначення еквівалентної сталої часу аперіодичного лінійного кола за перехідною характеристикою потрібно виміряти інтервал часу від початку імпульсу (нульовий рівень) до рівня $0,95U_m$, що відповідає інтервалу $t_{\Phi} \approx 3\tau_{В.екв.}$

Відносний спад вершини імпульсу при $t_I \ll t_{\Phi} \approx 3\tau_{В.екв.}$ визначається за співвідношенням

$$\delta = \frac{\Delta U_{ВИХ}}{U_{ВИХ}} \approx \frac{t_I}{\tau_{I.екв.}}$$

де $\Delta U_{\text{ВХ}}$ – спад вихідної напруги за час t_1 .

Б. Використання частотнозалежного навантаження першого каскаду, повний опір якого підвищується при зменшенні частоти від $R4/X_{C_{\text{КОР}}}$ до $(R3+R4)$ ($X_{C_{\text{КОР}}} = \infty$) дозволяє отримати підняття АЧХ в області НЧ. Це поліпшує рівномірність підсилення гармонічних складових широко-смугового сигналу на НЧ і забезпечує зменшення спотворень форми складного сигналу (для присутнього сигналу зменшується спад вершини імпульсу).

1. Нормовані АЧХ знімаються і будуються для вмикаємих конденсаторів $C2, C3, C4$.

2. При подачі на вхід підсилювача прямокутного імпульсу від геератора Г5-54 або Л-30 потрібно намалювати форму вихідних імпульсів для вмикаємих по черзі $C2, C3, C4$. Нуль на рисунку повинен відповідати лінії розгортки осцилографа при $U_{\text{ВХ}} = 0$.

3. Визначення $f_{\text{Н.гр.}}$ за АЧХ здійснюється знаходженням частоти, на якій $K(f)/K_0 = 0.707$.

За видом вихідного імпульсу $f_{\text{Н.гр.}}$ знаходять так: проводять дотичну до експоненти, яка є плоскою частиною вершини імпульсу, у точці початку спаду. Після цього знаходять точку перетинання дотичної з віссю часу t . Отриманий інтервал від точки дотикання до точки перетинання $\tau_{\text{Н.екв.}}$. Тоді залишається знайти

$$f_{\text{Н.гр.}} = \frac{\omega_{\text{Н.гр.}}}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\tau_{\text{Н.екв.}}}$$

В. Для корекції АЧХ в області ВЧ використовується як частотно-залежне навантаження, так і частотнозалежний ВЗЗ. При застосуванні частотнозалежного навантаження підйом АЧХ забезпечується зростанням повного опору колекторного кола $VT2$ за рахунок зростання $X_L = \omega L$. Підйом АЧХ при використанні частотнозалежного ВЗЗ забезпечується ослабленням дії зворотного зв'язку за рахунок шунтування резистора $R6$ (місцевий послідовний ВЗЗ за струмом) конденсаторами $C6, C7$ або $C8$. Для ефективної корекції потрібно, щоб на середній частоті $L_{\text{КОР}}$ та $C_{\text{КОР}}$ задовольняли умови:

$$\omega_0 L_{\text{КОР}} \ll R9; \frac{1}{\omega_0 C_{\text{КОР}}} \gg R6$$

1. Нормовані АЧХ знімаються і будуються для вмикаємих по черзі конденсаторів $C6, C7, C8$ та індуктивностей $L1, L2, L3$ ($S7$ - розімкнутий).

2. Тривалості переднього і заднього фронтів імпульсу визначають від початку фронту до рівня 0,95 асимптотичного значення. Тоді $t_{\Phi} \approx 3\tau_{\text{В.екв}}$ або $f_{\text{Г.гр.}} \approx 3/(2\pi t_{\Phi})$.

Контрольні запитання

1. Чим обумовлені спотворення АЧХ RC -підсилювачів в областях НЧ та ВЧ?
2. Який вид мають НЧ та ВЧ спотворення на формі прямокутного імпульсу на виході RC -підсилювача?
3. Які методи використовують для корекції АЧХ?
4. У чому полягає принцип НЧ-корекції АЧХ та форми імпульсів?
5. Поясніть принципи НЧ-корекції АЧХ використанням частотнозалежних зворотних зв'язків?
6. У чому полягає умова оптимальної корекції?
7. Поясніть метод корекції АЧХ на НЧ та ВЧ за допомогою частотнозалежного навантаження.

Лабораторна робота № 15

ПІДСИЛЮВАЧ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Мета роботи: дослідити властивості підсилювача постійного струму (ППС) на транзисторах (з безпосереднім зв'язком) і на операційному підсилювачі (ОП)

Опис досліджуваної схеми

До складу лабораторної установки входять лабораторний стенд, мультиметр ВР-II, осцилограф СІ-55.

На рисунку 15.1 наведено принципову електричну схему лабораторного стенду. Підсилювач постійного струму на транзисторах (з безпосереднім зв'язком) являє собою трикаскадну схему підсилення. В перших двох каскадах застосовані паралельні балансні підсилювачі. Третій каскад з поділенням навантаження зв'язаний з виходом другого потенціометричним зв'язком.

Вхідний сигнал подається на одну з баз першого каскаду. В коло другої бази підключено змінний опір для узгодження входу каскаду з еквівалентним опором джерела сигналу. Емітери транзисторів паралельних балансних каскадів з'єднані опорами R_1 і R_2 , призначеними для балансування каскадів в режимі спокою, а в режимі підсилення - для попередження можливого замикання одного з транзисторів.

Загальноемітерні опори в обох каскадах (R_{E1} і R_{E2}) сприяють підвищенню стабільності схеми, оскільки вони створюють від'ємний зворотний зв'язок по відношенню до зміни суми емітерних струмів обох транзисторів, підтримуючи її постійною.

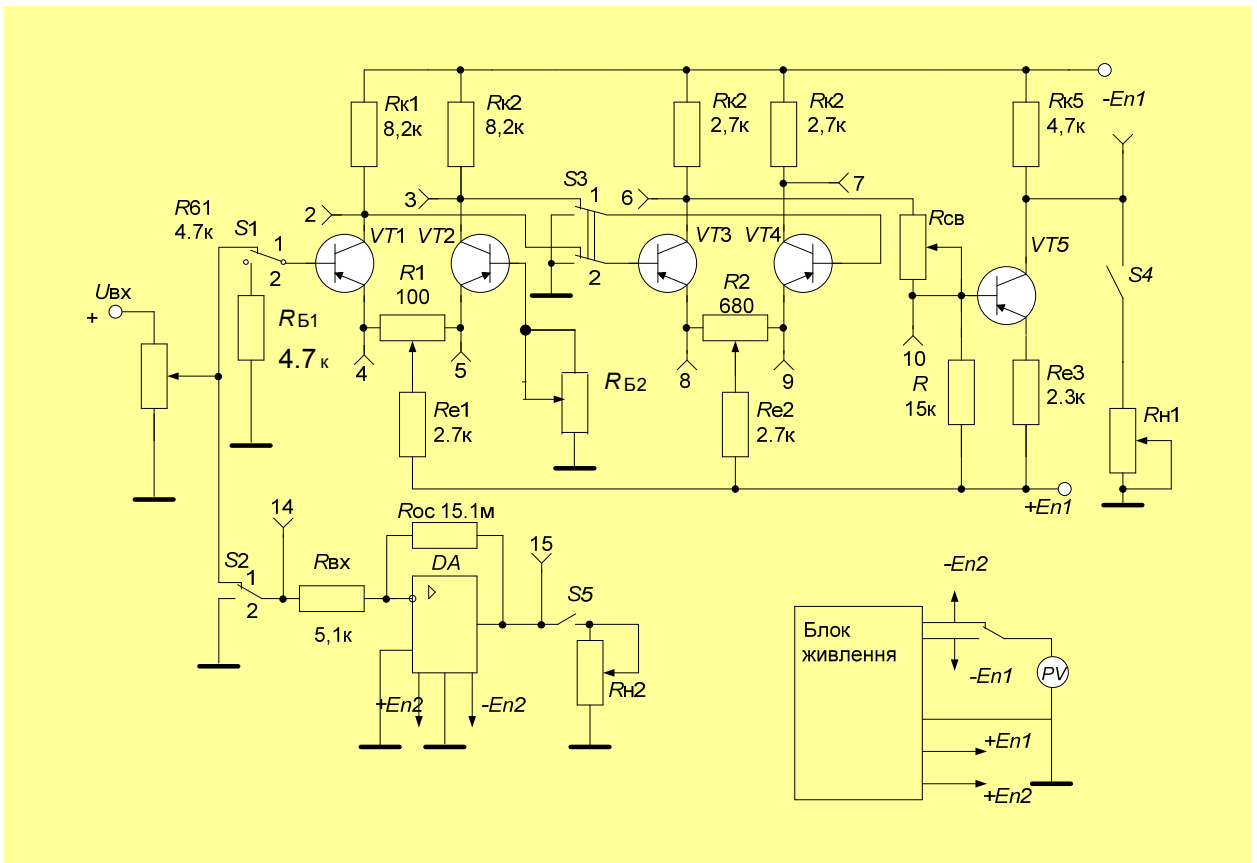


Рис. 15.1

Симетричний вхід першого каскаду забезпечує компенсацію дрейфу нуля. Вихідна напруга першого каскаду подається між базами другого. Підсилений сигнал знімається з одного із колекторів другого каскаду, що погіршує стабільність схеми за рахунок некомпенсованого дрейфу нуля, і крізь коло зв'язку ($R_{св}$; R) подається на вхід третього каскаду. Наявність третього підсилюючого каскаду ($VT5$) підвищує стабільність схеми за рахунок зворотного зв'язку, який компенсує потенціал на колекторі $VT3$. Підбір режимів базового та емітерного кіл транзисторів вихідного каскаду забезпечує роботу підсилювача на лінійній ділянці амплітудної характеристики. Однак наявність кола зв'язку між другим та третім каскадами знижує коефіцієнт підсилення взагалі.

ППС на ОП застосовано у стенді для порівняння з аналогічними параметрами ППС на транзисторах. В ППС на ОП зібрано за схемою інвертуючого підсилювача.

Примітка. На передній панелі стенду з відповідними написами розміщені:

- тумблер «СЕТЬ» для ввімкнення стенду;
індикатор для контролю включення;
- тумблер "S1", для підключення ППС на транзисторах до джерела сигналу або до корпусу;
- тумблер "S2" для підключення ППС на ОП до джерела сигналу або до корпусу;

- тумблер "S3" для підключення другого каскаду ППС на транзисторах до виходу першого або до корпусу;
- тумблер "S4" (R_{H1}) для підключення кола навантаження ППС на транзисторах;
- тумблер "S5" (R_{H2}) для підключення кола навантаження ППС на ОП;
- тумблер "S6" ($E_{П1} - E_{П2}$) для підключення вимірюючого приладу до кола живлення ППС;
- ручка регулятора " $U_{ВХ}$ " для вимірювання рівня вхідного сигналу;
- ручки регуляторів " $-E_{П1}$ ", " $-E_{П2}$ " для зміни напруг живлення;
- ручки регуляторів " R_{H1} ", " R_{H2} " для зміни опору навантаження ППС на транзисторах і на ОП відповідно;
- ручка регулятора " $R_{СВ.}$ " для зміни опору кола зв'язку між другим і третім каскадами;
- ручка регулятора " $R_{В2}$ " для узгодження каскаду з внутрішнім опором джерела сигналу;
- ручки регуляторів " $R1$ ", " $R2$ " для зміни міжемітерних зв'язків першого і другого каскадів відповідно;
- вольтметр " $-E_{П1}$ ", " $-E_{П2}$ " для вимірів напруг живлення;
- контрольні гнізда.

Домашнє завдання

1. Вивчити принцип роботи, параметри і характеристики ППС на транзисторах з безпосереднім зв'язком і на ОП [1, с.291-295; 3, с. 129-132, 164-168; 4, с. 63-71, 70-83; 6, с. 213-236; 7, с. 192-222].

2. Визначити вхідний, вихідний опори та коефіцієнт підсилення підсилювача.

Робоче завдання

А. Дослідження ППС на транзисторах (рис. 15.1).

1. Знайти коефіцієнт підсилення ППС за напругою.
2. Знайти режим спокою підсилювача.
3. Знайти дрейф нуля.
4. Зняти амплітудну характеристику підсилювача.

Б. Дослідження ППС на ОП.

1. Знайти коефіцієнт підсилення за напругою.
2. Знайти дрейф нуля.
3. Зняти амплітудну характеристику інвертуючого ОП при $R = \infty$
4. Знайти вхідну напругу зміщення нуля $U_{ЗМ.0} = \Delta U_{ВІХ} / K_0$

Методичні вказівки

1. Визначення коефіцієнта підсилення ППС на транзисторах за напругою:

а) ручкою регулятора " $-E_{\Pi 1}$ ", за вмонтованим вольтметром встановити напругу 12,8 В;

б) ручки регуляторів " R_{CB} ", " R_{B2} " та " R_{H1} " встановити в крайнє праве, " $R2$ " – в середнє положення. Ручку регулятора " U_{BX} " встановити в крайнє лїве положення. Перемикачі " $S1$ " та " $S3$ " та встановити в положення "1", перемикач " $S4$ " – в положення R_{H1} ;

в) ручкою регулятора " $R1$ " зробити балансування підсилювача, добива-ючись мінімального абсолютного значення показів вольтметра;

г) встановити ручку регулятора " U_{BX} " в крайнє праве положення. Зовнішнім вольтметром виміряти вихідну напругу в гніздах "II" і "⊥";

д) зовнішнім вольтметром виміряти вхідну напругу в гніздах "I" і "⊥";

е) розрахувати коефіцієнт підсилення.

2. Визначення режиму спокою підсилювача:

а) провести виміри потенціалів колекторів, баз, емітерів всіх транзисторів відносно корпусу;

б) знайти для всіх транзисторів різниці потенціалів і струми спокою.

3. Визначення дрейфу нуля:

а) збалансувати підсилювач аналогічно п. 1а - 1б;

б) виміряти вихідну напругу на гніздах "II" і "⊥" при зміні напруги " $E_{\Pi 1}$ ": $\Delta U_{\text{вих}} = U_{\text{вих}} / (E_{\Pi} = E_{\text{ном}}) - U_{\text{вих}} / (E_{\Pi} = E_{\text{ном}} + 10\%)$. Відносний дрейф знаходять за формулою $\delta_{\text{др}} = \Delta U_{\text{вих}} / U_{\text{вих}} (E_{\Pi} = E_{\text{ном}})$.

4. Визначення коефіцієнтів підсилення ОП за напругою:

а) ручкою регулятора " $-E_{\Pi 2}$ " за вмонтованим вольтметром встановити напругу 12,8 В (як ОП застосовується схема КР544УД2А);

б) перемикач " $S2$ " встановити в положення "I", а перемикач " $S5$ " – в положення "I". Ручки регуляторів " U_{BX} " та " R_{H2} " встановити у крайнє праве положення;

в) зовнішнім вольтметром провести виміри вхідної напруги в гніздах "I4" та "⊥" і вихідної напруги в гніздах "I5" та "⊥";

г) розрахувати коефіцієнт підсилення.

5. Визначення дрейфа нуля:

а) початкове положення ручок і перемикачів - аналогічно п. 4б, крім ручки " U_{BX} ". Ручку регулятора " U_{BX} " встановити в крайнє лїве положення;

б) зовнішній вольтметр підключити до гнізд "I5" та "⊥";

в) визначити дрейф нуля при зміні напруги живлення " $-E_{\Pi 2}$ ".

Контрольні запитання

1. Що таке дрейф нуля і які причини обумовлюють його у ППС на транзисторах?
2. Засоби зменшення дрейфу нуля.
3. Які схеми використовуються при побудові ППС на транзисторах?
4. Наведіть схеми диференціальних ППС на транзисторах.
5. Поясніть принцип дії інвертуючого ОП при підсиленні позитивних і негативних вхідних сигналів.
6. Який вигляд має зворотний зв'язок у підсилювачах при підключенні опору між виходом та інверсним входом лінійної інтегральної схеми?
7. Які одновні припущення і спрощення приймаються при аналізуванні ОП?
8. Визначте коефіцієнт передачі підсилювача при $R_{вх} = 10 \text{ кОм}$ і $R_{ос} = 260 \text{ кОм}$.
9. Чи залежить коефіцієнт передачі підсилювача від амплітуди вхідного сигналу?
10. Призначення, параметри вхідний і вихідний опори, коефіцієнт підсилення, ширина смуги і частотний діапазон, синфазна напруга і напруга зсування, характеристики і застосування ОП.

Лабораторна робота № 16

РОЗВ'ЯЗУЮЧІ ПІДСИЛЮВАЧІ

Мета роботи: дослідити властивості неінвертуючого та інвертуючого підсилювачів, автогенераторного та чекаючого мультивібраторів, інвертуючого суматора, тригера Шмідта, інтегратора, компаратора, генераторів пилкоподібної та трикутної напруги.

Опис досліджуваної схеми

До складу лабораторної установки входять: лабораторний стенд (рис. 16); змінні панелі, на яких нанесені умовні зображення досліджуваних схем і відповідні написи; осцилограф С1-55.

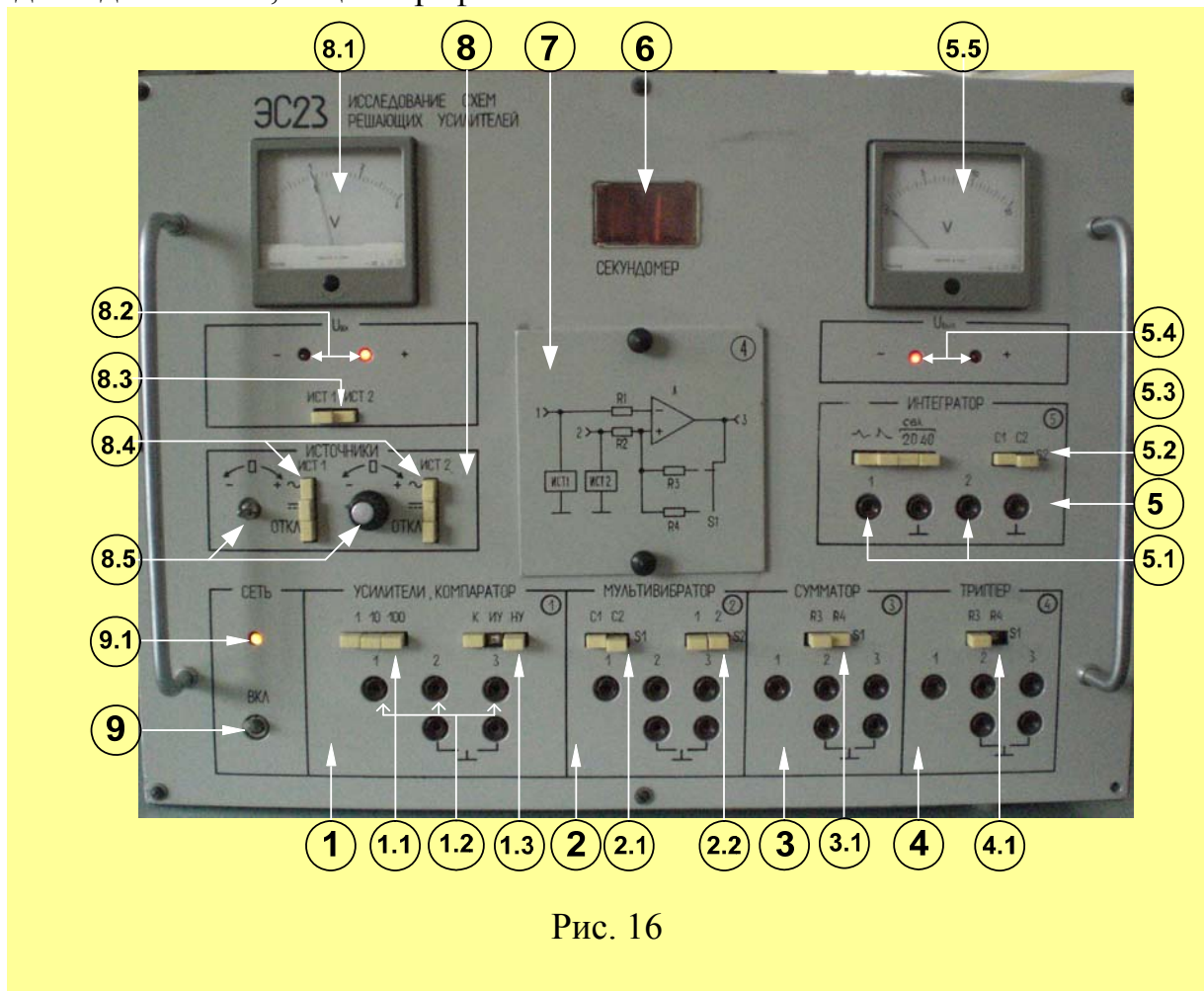


Рис. 16

Схема стенду складається з досліджуваних пристроїв: неінвертуючого підсилювача (рис. 16.1); інвертуючого підсилювача (рис. 16.2); компаратора (рис. 16.3); автогенераторного мультивібратора (рис. 16.4); чекаючого мультивібратора (рис. 16.5); інвертуючого суматора (рис. 16.6); тригера Шмідта (рис. 16.7); інтегратора (рис. 16.8); генератора пилкоподібної напруги (рис. 16.9); генератора трикутної напруги (рис. 16.9). Крім того, до нього належать допоміжні пристрої: автоматичного вибору полярності напруги; формувач інтервалів часу; генератор; блок живлення.

На передній панелі стенду (рис. 16) розташовані:

1. Панель дослідження компаратора, інвертуючого і неінвертуючого підсилювачів:
 - 1.1. перемикач «S1» (1, 10, 100) для задання коефіцієнта передачі підсилювачів;
 - 1.2. гнізда «1», «2», «3» для підключення зовнішніх вимірювальних приладів;
 - 1.3. перемикач «К, ИУ, НУ» для вибору схеми підсилювача та компаратора.
2. Панель дослідження мультивібраторів:
 - 2.1. перемикач «S1» для вибору конденсатора часозадавального кола (C1, чи C2);
 - 2.2. перемикач «S2» (1, 2) запуску чекаючого мультивібратора.
3. Панель дослідження суматора:
 - 3.1. перемикач «S1» (R3, R4) резистора зворотного зв'язку суматора.
4. Панель дослідження тригера Шмітта:
 - 4.1. перемикач «S1» (R3, R4) резистора зворотного зв'язку тригера Шмітта.
5. Панель дослідження інтегратора, генераторів пилкоподібної і трикутної форми:
 - 5.1. гнізда для підключення зовнішніх вимірювальних приладів на вході (1) і на виході (2) схеми;
 - 5.2. перемикач «S2» для вибору інтегруючої ємності інтегратора;
 - 5.3. перемикач «S1» для вибору схеми дослідження (генератора трикутної форми, пилкоподібної форми та часу інтегрування інтегратора 20 чи 40 секунд);
 - 5.4. лампочки індикації полярності вихідної напруги інтегратора;
 - 5.5. вольтметр «U_{вих}» для вимірів постійних напруг інтегратора;
6. Цифровий індикатор (секундомір).
7. Накладна панель досліджуваної схеми.
8. Панель джерел вхідних напруг:
 - 8.1. вольтметр «U_{вх}» для вимірювання вхідних постійних напруг;
 - 8.2. лампочки індикації полярностей вхідних постійних напруг;
 - 8.3. перемикачі «ИСТ1», «ИСТ2» для підключення вольтметра, що реєструє постійну регульовану напругу джерел вхідних сигналів;
 - 8.4. перемикачі джерел сигналів «ИСТОЧНИКИ» («ИСТ1», «ИСТ2»);
 - 8.5. потенціометри для регулювання величин постійних напруги джерел вхідних сигналів.
9. Тумблер «Вкл» для ввімкнення стенду;
 - 9.1. лампочка «Сеть» для контролю ввімкнення.

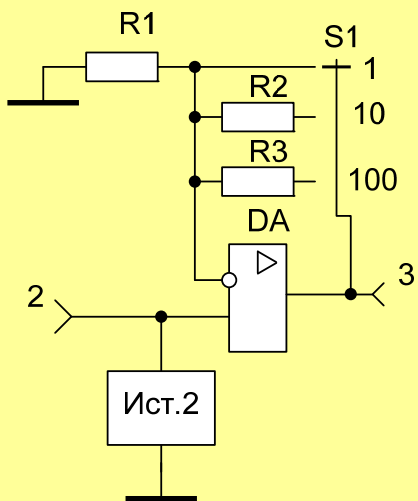


Рис. 16.1

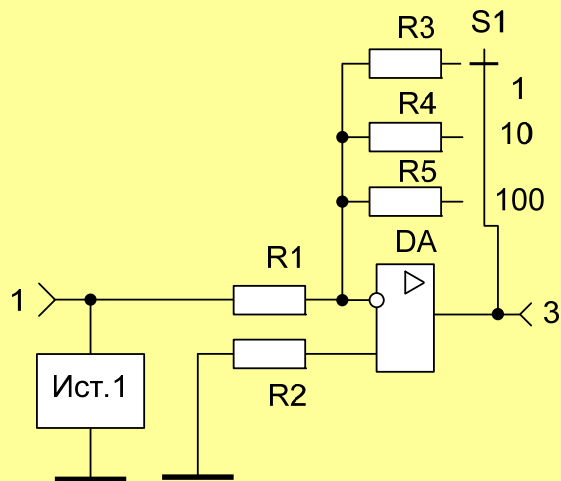


Рис. 16.2

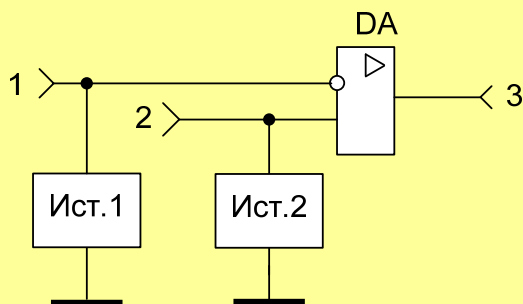


Рис. 16.3

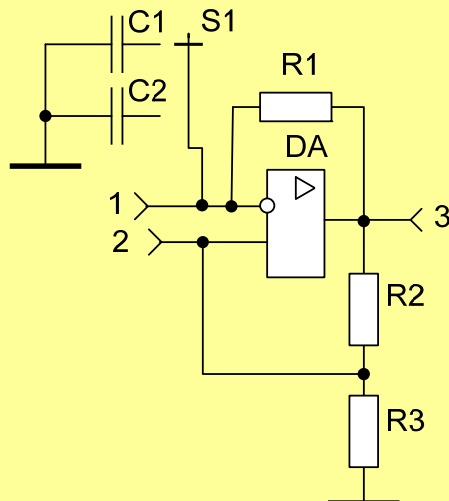


Рис. 16.4

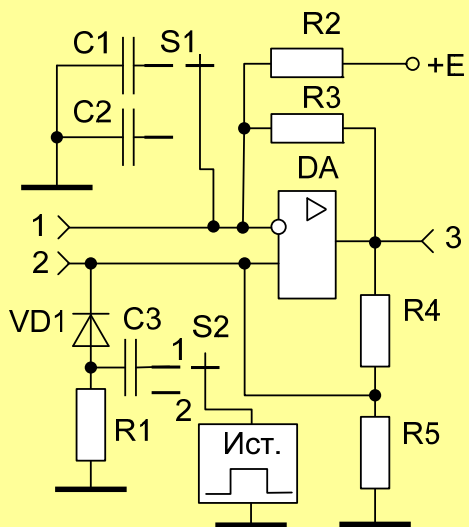


Рис. 16.5

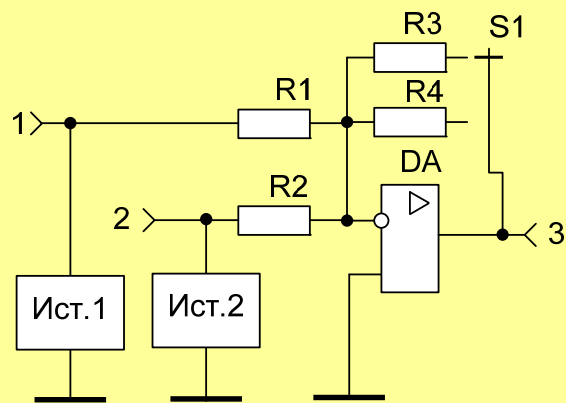


Рис. 16.6

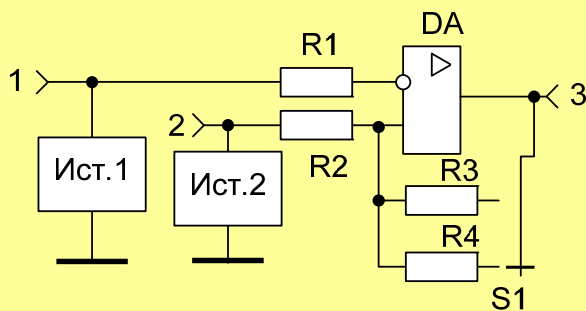


Рис. 16.7

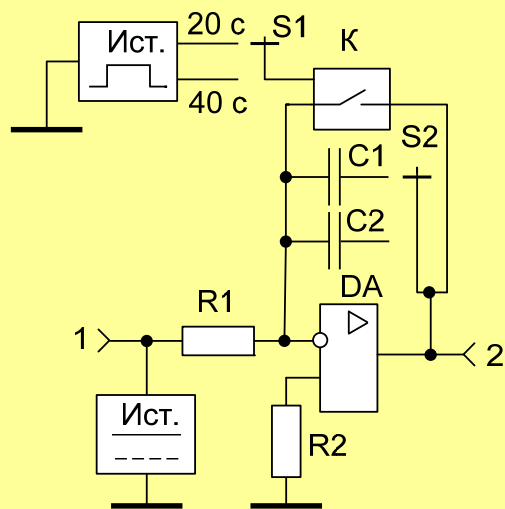


Рис. 16.8

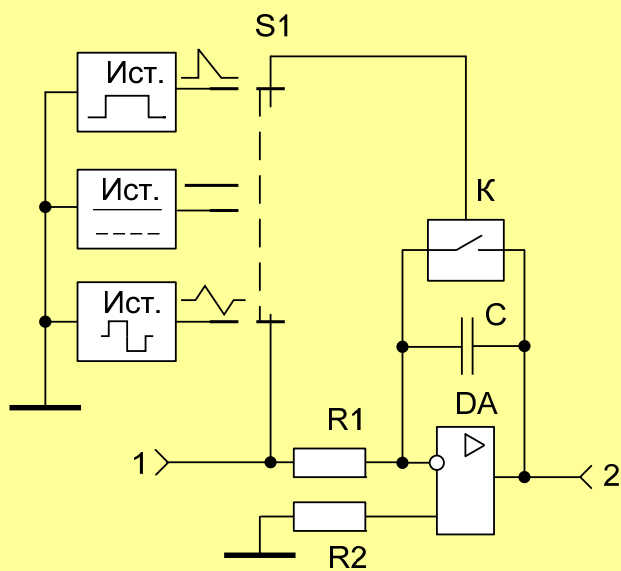


Рис. 16.9

1. Схеми компаратора, неінвертуючого та інвертуючого підсилювачів виконані на основі операційного підсилювача (ОП) К553УД2. Вхід і вихід операційного підсилювача та елементи схеми через роз'єднувач з'єднані з перемикачем вибору зразка досліджуваної схеми (1.3), перемикачем вибору коефіцієнта передачі (1.1) з гніздами (1.2) на панелі (1) рис. 16. Для початкового балансування ОП використовується

підстроювальний резистор.

При встановленні накладної панелі з зображеннями відповідної досліджуваної схеми через перемикач на операційний підсилювач подається напруга живлення ± 15 В.

На входи «Вх. 1» та «Вх. 2» досліджуваних схем через перемикачі поступають постійні регульовані або змінні напруги від джерел сигналів з плати генератора (8).

2. Схеми автогенераторного та чекаючого мультивібраторів виконані на основі операційного підсилювача К553УД2. Елементи схеми через роз'єднувач з'єднані з перемикачами досліджуваних схем, вибору конденсатора часозадавального кола S1 (2.1), режиму роботи чекаючого мультивібратора S2 (2.2), розташованими на панелі (2) рис. 16.

В чекаючому режимі мультівібратора на інвертуючий вхід ОП через диференційне коло С3R1 та діод VD1 надходять запускаючі імпульси з плати генератора. На інший вхід подається напруга зміщення від блока живлення (рис. 16.5).

3. Схема інвертуючого суматора (рис. 16.6) виконана на основі ОП К553УД2. Елементи схеми через роз'єднувач з'єднані з перемикачами досліджуваної схеми і вибору масштабного коефіцієнта S1 (3.1) та гніздами на панелі (3). При встановленні накладної панелі з відповідним зображенням суматора (рис. 16.6) через перемикач досліджуваних схем до ОП подається напруга живлення ± 15 В.

На входи «Вх. 1» та «Вх. 2» досліджуваної схеми через перемикач поступають напруги від джерел сигналу з плати генератора.

4. Схема тригера Шмітта (рис. 16.7) виконана на основі ОП К553УД2. Елементи схеми через роз'єднувач з'єднані з перемикачами досліджуваної схеми, вибору режиму роботи S2 (4.1) та гніздами підмикання осцилографа на панелі (4). При встановленні накладної панелі з зображенням тригера через перемикач досліджуваних схем на ОП подається напруга живлення ± 15 В.

На входи досліджуваних схем через перемикач «Вх. 1» та «Вх. 2» подаються напруги від джерел сигналу з плати генератора.

5. Схеми інтегратора, генераторів пилкоподібної та трикутної напруги виконані на основі ОП К553УД2. Елементи схеми через роз'єднувач з'єднані з перемикачами досліджуваних схем, вибору конденсатора сталої інтегрування (5.2), часу інтегрування і роду роботи (5.3) та гніздами на передній панелі (5.1) плати (5).

В режимі інтегрування конденсатор зворотного зв'язку розряджається через контакти реле (рис. 16.8), що вмикається транзистором. На транзистор надходять імпульси керування з плати формування інтервалів часу. На інвертуючий вхід підсилювача подається постійна напруга зміщення.

В режимі генератора пилкоподібної напруги (рис. 16.9) розряд конденсатора відбувається через транзисторний ключ, на вхід якого через перемикач S1 (5.3) надходять імпульси прямокутної форми з плати генератора. На інвертуючий вхід підсилювача подається постійна напруга зміщення.

В режимі генератора трикутної напруги (рис. 16.9) на інвертуючий вхід підсилювача подається різнополярна напруга прямокутної форми з плати генератора (5.3).

6. Для вимірів вхідних та вихідних напруг обох полярностей використовуються вольтметри постійного струму, підключені до вимірюваних схем через пристрої автоматичного вибору полярності.

Пристрій автоматичного вибору полярності побудовано на основі підсилювачів К553УД2 та транзисторних ключів. При подачі на вхід пристрою напруги будь-якої полярності на виході пристрою встановлюється напруга тільки позитивної полярності. При цьому абсолютне значення цієї напруги дорівнює значенню вхідної напруги. Транзисторні ключі підключають одну з ламп індикації полярності напруги.

7. Формувач інтервалів часу, побудований на основі мікросхем серії К155, складається з генератора на частоту 100 кГц, дільників частоти на лічильниках та формувача імпульсів скидання на тригерах і чекаю чому мультівібраторі. На виході формувача виробляється послідовність імпульсів лічби з періодом одна секунда. Для керування інтегратором та індикатором інтервалів часу формувач скидання виробляє імпульс скидання тривалістю п'ять секунд по закінченню часу інтегрування у 20 або 40 секунд.

8. Плата генератора складається з мостового генератора Віна, буферного підсилювача з регульованим коефіцієнтом підсилення і компаратора. Генератор виробляє синусоїдну напругу частотою 1000 Гц, яка надходить до підсилювача, з допомогою якого встановлюється необхідна величина синусоїдної напруги для подальшого використання її при дослідженні схем.

Крім того, ця напруга подається до компаратора, який виробляє напругу прямокутної форми обох полярностей для керування генератором трикутних імпульсів на основі інтегратора. Усі перераховані пристрої плати генератора побудовані на основі ОП К553УД2.

Домашнє завдання

2. Вивчити принцип дії, параметри та характеристики операційних підсилювачів [1, с. 305-316; 2, с. 76-83; 3, с. 154-167; 4, с. 76-83; 6, с. 229-238; 7, с. 209-255; 8, с. 150-156].
3. Визначити вхідний та вихідний опори, коефіцієнти підсилення інвертуючого та неінвертуючого підсилювачів (див. рис. 16.1, 16.2).
4. Вивчити принцип роботи компаратора (див. рис. 16.3), мультівібратора (див. рис. 16.4), чекаючого мультівібратора (див. рис. 16.5), суматора (див. рис. 16.6), тригера Шмітта (див. рис. 16.7), інтегратора, генераторів пилкоподібної та трикутної напруг (див. рис. 16.8, 16.9), на операційних підсилювачах [1, с. 305-316; 3, с. 170-171, 233-234, 243-260; 4, с. 86, 113-116, 119-130; 7, с. 226-227, 349-350, 358-360; 8, с. 156-160, 184-189, 192-194, 196-199].

Робоче завдання

А. Підсилювачі і суматори.

1. Дослідити вплив кола зворотного зв'язку на параметри підсилювача. Зняти характеристику передачі неінвертуючого підсилювача $U_{\text{вих}}=f(U_{\text{вх}})$ (див. рис. 16.1) при параметрах кола зворотного зв'язку, що забезпечує розрахований коефіцієнт підсилення $K_U=1, 10, 100$; $K_U=U_{\text{вих}}/U_{\text{вх}}=(R1+R2)/R1$; $R1=10$ кОм.

2. Визначити з передавальної характеристики K_U і порівняти з розрахунками.

3. Дослідити вплив характеристики передачі на нелінійні спотворення. Намалювати осцилограми $U_{\text{вих}}$ у схемі п.1 при синусоїдному $U_{\text{вх}}=0,5$

4. На графіку п.1 за заданою кривою $U_{ВХ}$ побудувати криву $U_{ВІХ}$, яка пояснює вид осцилограм п.3.

5. Зняти характеристику передачі інвертуючого підсилювача $U_{ВІХ}=f(U_{ВХ})$ (див. рис. 16.2) при параметрах кола зворотного зв'язку, що забезпечує розрахований коефіцієнт підсилення $K_U=1, 10, 100$; $K_U=U_{ВІХ}/U_{ВХ}=-R3/R1$; $R1=10$ кОм.

6. Визначити з передавальної характеристики K_U і порівняти з розрахунками.

7. Здійснити додавання сигналів. Намалювати осцилограми $U_{ВІХ}$, $U_{ВХ1}$, $U_{ВХ2}$ в інвертуючому суматорі (див. рис 16.6) при $K_U=1; 10$ при постійному $U_{ВХ1}$ і синусоїдному $U_{ВХ2}$.

Б. Компаратор.

1. Дослідити роботу операційного підсилювача, як компаратора для формування прямокутних імпульсів. Намалювати осцилограми $U_{ВІХ}$ у схемі рис. 16.3 при синусоїдній напрузі $U_{ВХ2}=0,5$ В і постійній напрузі $U_{ВХ1}=0$ та $+0,5$ В.

В. Мультивібратор.

1. Дослідити залежність періоду і частоти від сталої часу перезаряду конденсатора $\tau=CR1$ (див. рис. 16.4). Намалювати осцилограми U_C і U_{R3} (нижнє плече дільника $R2$ і $R3$) для значень $\tau=0,2$ мс і $0,05$ мс. Виміряти осцилографом період T та частоту $f=1/T$.

2. Знайти відносну похибку вимірів частоти $\delta=\Delta f/f$, де f – розрахована частота, а Δf – різниця між виміряною та розрахованою частотами. Для розрахунку частоти $T=1/f=2\ln(1+R3/R2)$.

3. Дослідити залежність тривалості імпульсу чекаючого мультивібратора (див. рис. 16.5) від сталої часу перезаряду конденсатора. Намалювати осцилограми $U_{ВІХ}$, $U_{ВХ1}$, $U_{ВХ2}$.

Г. Тригер Шмідта.

1. Дослідити залежність тривалості імпульсу на виході тригера (див. рис. 16.7) від величини резистора зворотного зв'язку. Намалювати осцилограми $U_{ВІХ}$, $U_{ВХ1}$, $U_{ВХ2}$:

а) при постійній $U_{ВХ1}=\pm 0,5$ В і синусоїдній $U_{ВХ2}=0,5$ В напругах;

Д. Інтегратор та генератори лінійномінливої напруги.

1. Побудувати характеристику інтегрування для схем рис. 16.8 і 16.9 (натиснути кнопку необхідного часу інтегрування: 20 с, 40 с, реєструючи одночасно показання секундоміра і вольтметра « $U_{ВІХ}$ »).

2. Дослідити генератор трикутної напруги на основі інтегратора (див. рис. 16.8), натиснувши кнопку з зображенням трикутного імпульсу. Намалювати осцилограми $U_{ВХ1}$, $U_{ВХ2}$.

Методичні вказівки

1. Вхідний ($R_{ВХ}$) і вихідний ($R_{ВИХ}$) опори та коефіцієнт підсилення $K_{ОП}$ без ВЗЗ для ОП (К553УД2) визначаються за довідником. З частотнонезалежним ВЗЗ ($R1, R3$, рис. 16.2) $R_{ВХ}$, $R_{ВИХ}$ і K_U розраховуються за формулами:

$$R_{ВХ} = R1 + \frac{R3(R_{ВХОП} + R2)}{K_{ОП}(R_{ВХОП} + R2 + R3K_{ОП}^{-1})};$$

$$R_{ВИХ} = \frac{R_{ВИХОП}}{1 + K \cdot \beta};$$

$$\beta \approx \frac{R1 + R_{\Gamma}}{R1 + R_{\Gamma} + R3}; \quad K = \frac{R3 + R_{ОП}}{R3 + R1(1 + K_{ОП})};$$

$$R1=R2=10 \text{ кОм}; R3=10 \text{ кОм}; 100 \text{ кОм}; 1 \text{ МОм}.$$

Контрольні запитання

1. Поясніть призначення, параметри (вхідний і вихідний опори, коефіцієнт підсилення, ширина смуги пропускання та частотний діапазон, синфазна напруга і напруга зміщення), характеристики і застосування операційних підсилювачів (ОП).
2. Які припущення (про ідеальність) ОП використовуються при виведенні розрахункових формул?
3. Які види зворотного зв'язку використовуються в схемах (додатний чи від'ємний, за струмом чи за напругою, послідовний чи паралельний), як ці зв'язки впливають на параметри схеми?
4. Нарисуйте амплітудно-частотні характеристики ОП без ВЗЗ і з ВЗЗ.
5. Як впливає на характеристику передачі ОП зміна напруги живлення $E_{п}$?
6. Поясніть принцип роботи мультивібратора на ОП.
7. Поясніть залежність частоти генерування від опору і ємності кола ВЗЗ.
8. Поясніть вплив коефіцієнта передачі у ланцюгу ВЗЗ на частоту генерації.
9. Від чого залежить тривалість фронтів вихідних імпульсів?
10. Поясніть залежність тривалості імпульсу чекаю чого мультивібратора на ОП від опору і ємності у колі ВЗЗ.
11. Поясніть вплив коефіцієнта передачі кола ДЗЗ на тривалість вихідного імпульсу мультивібратора.
12. Від чого залежить тривалість фронтів вихідного імпульсу чекаю чого мультивібратора?
13. Поясніть залежність тривалості імпульсу від опору і ємності у колі ВЗЗ.

14. Поясніть принцип роботи тригера Шмідта.
15. Поясніть принцип роботи інтегратора на основі ОП.
16. Поясніть принцип роботи генератора пилкоподібної напруги (ГПН) на основі ОП.
17. Поясніть призначення елементів схеми ГПН.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Електротехніка і електроніка. Теоретичні відомості, розрахунки та дослідження за підтримкою комп'ютерних технологій: Навчальний посібник/ За заг. ред. А.А.Щерби та В.М. Рябенського.-К.: "Корнійчук", 2007.-488 с.:іл.
2. Електроніка і схемотехніка: Підручник для студентів вищ. закл. освіти, що навчаються за напрямками "Електромеханіка" та "Електротехніка": У 4-х т. / Під.ред. В.І. Сенька.- Харків: Фоліо, 2002. Т.2. Аналогові та імпульсні пристрої.- 510 с.
3. Руденко В.С., Сенько В.І., Трифонюк В.В. Основы промышленной электроники. – К.: Выща шк., 1985. – 400 с.
4. Горбачев Г.Н., Чаплыгин Е.Е. Промышленная электроника. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 320 с.
5. Степаненко И.П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. – М.: Энергия, 1977. – 672 с.
6. Манаев Е.И. Основы радиоэлектроники. – М.: Энергия, 1977. – 672 с.
7. Промышленная электроника / В.С. Руденко, В.И. Сенько, В.В. Трифонюк, Е.Е. Юдин. – К.: Тэхника. 1979. – 503 с.
8. Забродин Ю.С. Промышленная электроника.- М.: Высш. шк., 1982. – 496 с.

ЗМІСТ

Лабораторна робота № 10.....	5
Лабораторна робота № 11.....	19
Лабораторна робота № 12.....	28
Лабораторна робота № 13.....	34
Лабораторна робота № 14.....	38
Лабораторна робота № 15.....	43
Лабораторна робота № 16.....	48
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	56