

Азаров О Д., Крупельницький Л.В., Байко В.В.

КОМП'ЮТЕРНА ЕЛЕКТРОНІКА
ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

Частина 1

Міністерство освіти і науки України
Вінницький державний технічний університет

Азаров О.Д., Крупельницький Л.В., Байко В.В.

КОМП'ЮТЕРНА ЕЛЕКТРОНІКА
ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

Частина 1

Затверджено Ученою радою Вінницького державного технічного університету як лабораторний практикум для студентів спеціальності "Комп'ютерні системи та мережі" денної та заочної форми навчання.
Протокол № 12 від 30 травня 2002 р.

Вінниця ВДТУ 2002

УДК 621.382
А35

Рецензенти:

А.М.Петух, доктор технічних наук, професор
В.П.Тарасенко, доктор технічних наук, професор
О.М.Роїк, кандидат технічних наук, доцент

Рекомендовано до видання Ученою радою Вінницького державного технічного університету Міністерства освіти і науки України

Азаров О.Д., Крупельницький Л.В., Байко В.В.
А35 **Комп'ютерна електроніка.** Лабораторний практикум. Частина 1. –
Вінниця: ВДТУ, 2002.- 107 с.

В лабораторному практикумі розглянуті фундаментальні основи комп'ютерної електроніки в лабораторних роботах. Практикум розроблений у відповідності до плану кафедри та програми з дисципліни “Комп'ютерна електроніка. В кожній лабораторній роботі наведені теоретичні основи та особливості її виконання, наведені спеціальні технічні засоби (стенди).

УДК 621.382

© О.Д.Азаров, Л.В.Крупельницький, В.В.Байко, 2002

Міністерство освіти і науки України
Вінницький державний технічний університет

Азаров О.Д. Крупельницький Л.В. Байко В.В.

КОМП'ЮТЕРНА ЕЛЕКТРОНІКА
ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ
Частина 1

Усі цитати, цифровий, фактичний матеріал та бібліографічні відомості перевірені, написання одиниць відповідає стандартам.

Зауваження рецензентів враховані.

Автори:

_____ Азаров О.Д.
(підпис)

_____ Крупельницький Л.В.
(підпис)

_____ Байко В.В.
(підпис)

Вимогам, які висуваються до навчальної літератури, відповідає.

До друку і в світ дозволяю на підставі §2 п.15 "Єдиних правил..."

Проректор з навчальної та науково-методичної роботи
_____ В.О.Леонтєв
(підпис)

Затверджено
на засіданні кафедри ОТ
Протокол № __ від __.__.200__р.
Зав. кафедри ОТ
_____ О.Д. Азаров
(підпис)

Вінниця ВДТУ 2002

Навчальне видання

**Азаров О.Д.,
Крупельницький Л.В.,
Байко В.В.**

КОМП'ЮТЕРНА ЕЛЕКТРОНІКА

Лабораторний практикум

Частина 1

Оригінал-макет підготовлено авторами

Редактор С.А. Малішевська

Навчально-методичний відділ ВДТУ
Свідоцтво Держкомінформу України
Серія ДК № 746 від 25.12.2001
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВДТУ

Підписано до друку
Формат 29,7x42¹/₄.
Друк різнографічний
Тираж 75 прим.
Зам. №

Гарнітура Times New Roman
Папір офсетний
Ум. друк. арк. 4,6

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького державного технічного університету
Свідоцтво Держкомінформу України
Серія ДК № 746 від 25.12.2001
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВДТУ

ЗМІСТ

Передмова	4
Вступ.....	5
1. Загальні методичні вказівки.....	6
1.1. Порядок виконання лабораторних робіт і вимоги до змісту лабораторних протоколів	6
1.2. Опис лабораторних стендів, принципів побудови схем та лабораторного обладнання.....	7
Лабораторна робота № 1	12
Лабораторна робота № 2	25
Лабораторна робота № 3	33
Лабораторна робота № 4	43
Лабораторна робота № 5	49
Лабораторна робота № 6	52
2. Дослідження зворотних зв'язків у підсилювачі звукової частоти	59
Лабораторна робота № 7	62
Лабораторна робота № 8	65
Лабораторна робота № 9	74
Лабораторна робота № 10	80
Лабораторна робота № 11	84
Література	91
Додатки.....	92

ПЕРЕДМОВА

Лабораторний практикум з комп'ютерної електроніки в різних навчальних закладах проводяться або з використанням різних технічних засобів (стендів) і вимірювальних пристроїв, або з використанням програмних пакетів типу MicroCap. Капітальні витрати, а, відповідно, і вартість навчання в першому випадку значно вища, ніж у другому, особливо з використанням фронтального способу проведення лабораторних робіт.

Безумовно, перевагою в першому випадку є те, що студенти мають справу з “живими”, дійсно існуючими елементами та пристроями. Однак поява нових технологій потребує нової елементної бази електронних пристроїв, що, в свою чергу потребує модернізації, а інколи і заміни технічних засобів.

Використання моделюючих пакетів типу MicroCap значно зменшує капітальні витрати, однак збільшує рівень абстракції під час дослідження електронних схем. Крім того, немає можливості емуляції необхідних пристроїв і тестувального обладнання.

Значні ускладнення виникають також під час дослідження схем цифрових пристроїв, тому що в бібліотеці моделюючих пакетів відсутні деякі необхідні елементи. Під час роботи з пакетами моделюючих програм виявлено і ряд інших недоліків. Тому до лабораторного практикуму з комп'ютерної електроніки введені спеціальні технічні засоби (стенди) і деякі лабораторні роботи виконуються з використанням моделюючих пакетів типу MicroCap.

Автори висловлюють подяку Тарасовій О.М. та Обертюху М.Р. за допомогу по редагуванню та оформленню рукопису.

ВСТУП

Дисципліна "Комп'ютерна електроніка" базується на знаннях і навичках, здобутих студентами в процесі вивчення фізики, математики теорії електричних і магнітних ланцюгів, прикладної математики. Дана дисципліна є основою для схмотехнічного забезпечення всіх наступних дисциплін, служить базою для розуміння принципів побудови більшості блоків ЕОМ та інших технічних засобів обчислювальної техніки.

Особливості вивчення комп'ютерної електроніки обумовлені тим, що це одна з дисциплін, які зв'язують загальнонаукові фундаментальні дисципліни та дисципліни, що забезпечують спеціальну підготовку студентів.

В процесі лабораторних занять здійснюється один з найважливіших моментів навчального процесу – зв'язок теорії з практикою, в результаті чого студент отримує необхідні знання, вміння та навички в організації та проведенні дослідів та досліджень, а також опановує технологію монтажу, налагодження й експлуатації електронних схем.

Загальні завдання лабораторного практикуму, який пропонується:

- поглиблене вивчення прослуханого на лекціях і отриманого в результаті самостійної роботи теоретичного матеріалу, розвиток практичних навичок розрахунку, побудови та налагодження електронних схем, їх експериментальне дослідження, обробка отриманих результатів, оформлення звітної документації, використання стандартного обладнання для генерування типових сигналів, вимірювань та реєстрації отриманих результатів;
- розвиток навичок постановки задачі досліджень, виявлення та розрахунку критичних режимів роботи схеми з урахуванням впливу навколишнього середовища, розкиду параметрів елементів, джерел живлення, аналізу отриманих результатів та вміння робити правильні висновки з експериментальних даних;
- поглиблене вивчення принципів роботи електронних схем, які досліджуються, методики їх розрахунку, завад, несправностей та їх усунення.

Лабораторний практикум розрахований на студентів, які вивчають дисципліну "Комп'ютерна електроніка". Цей практикум може бути корисний викладачам вузів при розробленні лабораторних робіт за відповідною тематикою.

1. ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

1.1. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ І ВИМОГИ ДО ЗМІСТУ ЛАБОРАТОРНИХ ПРОТОКОЛІВ

На першому занятті викладач дає студентам перелік лабораторних занять на поточний семестр, рекомендує їм необхідну літературу, знайомить з прийнятою методикою проведення робіт, а також із принципом дії різних технічних засобів і програм для навчання та контролю підготовленості студентів до наступних лабораторних занять.

У вступній бесіді зі студентами викладач пояснює мету виконуваних робіт, знайомить з основним обладнанням, яке буде використовуватись, та дає загальні методичні вказівки для проведення дослідів та досліджень. При цьому викладач вказує на специфічні умови роботи в даній лабораторії, які визначаються правилами внутрішнього розпорядку, організацією робочого часу, технікою безпеки та правилами протипожежної безпеки під час роботи з електричними колами, приладами, установками, а також під час роботи на персональних ЕОМ.

Кожний студент повинен самостійно вивчити всі перераховані документи та підтвердити підписом у спеціальному журналі в лабораторії про ознайомлення його з заходами щодо безпечного виконання робіт в лабораторії та обов'язками не порушувати встановлені правила.

Виконання кожної лабораторної роботи складається з двох етапів:

Підготовка до лабораторної роботи, вивчення теоретичного матеріалу, виконання всіх розрахунків, складання плану досліджень.

Збирання з розрахованих та підібраних елементів робочої схеми та дослідження її згідно із планом, зіставлення теоретичних та практичних результатів та їх аналіз, оформлення протоколу.

У процесі підготовки до лабораторної роботи студент повинен чітко з'ясувати кінцеву мету лабораторного дослідження, форму та характер зміни вхідних та вихідних параметрів та виконати необхідні розрахунки.

Протокол, який підготовлений до лабораторної роботи, повинен містити назву та мету роботи, схему, яка досліджується, часові діаграми, які пояснюють її роботу, розрахунок основних елементів схем, таблицю з їх номіналами, вхідний файл, якщо схема досліджується на персональній

ЕОМ, план досліджень.

Кінцевий протокол, що поданий до захисту, додатково повинен мати часові діаграми реальних процесів, які відбуваються в схемі, аналіз та порівняння отриманих результатів із теоретичними.

Часові діаграми обов'язково упорядковують таким чином, щоб вони знаходились одна над одною, були синхронізовані та служили ілюстрацією фізичних процесів, які відбуваються в схемі.

Порядок виконання досліджень в лабораторії такий:

Студент допускається до виконання чергової лабораторної роботи при наявності підготовленого згідно з наведеними вище вимогами протоколу та успішно отриманого допуску до лабораторної роботи у викладача. Протоколи всіх робіт зберігаються у студента.

1. Після дозволу на виконання дослідження студент збирає схему та самостійно налагоджує її. У випадку, коли схема не працює або працює неправильно, він повинен знайти причину несправності та ліквідувати її.

Після налагодження схеми та перевірки її вихідних сигналів, розрахункових даних, студент повинен показати її викладачу.

Після цього виконується заплановане дослідження, по закінченні якого результати демонструються викладачу, після його дозволу схема розбирається, робоче місце приводиться в належний стан.

До наступної лабораторної роботи повністю оформляється протокол та показується викладачу.

Перед виконанням кожної лабораторної роботи викладач опитує студентів, як про зміст самої роботи, так і про методику її виконання. Скорочення часу опитування досягається використанням різних контрольних програм. Найбільший ефект при цьому досягається з використанням персональних ЕОМ, на яких встановлені такі програми (тести). Непідготовлені студенти не допускаються до виконання лабораторної роботи, а вивчають в лабораторії незасвоєний ними матеріал згідно з рекомендованою літературою.

1.2. ОПИС ЛАБОРАТОРНИХ СТЕНДІВ, ПРИНЦИПІВ ПОБУДОВИ СХЕМ ТА ЛАБОРАТОРНОГО ОБЛАДНАННЯ

Для проведення лабораторних робіт фронтальним методом необхідний лабораторний стенд, що дозволяє вирішити широке коло задач, що виникають під час дослідження електронних та мікроелектронних елементів і схем. Такий стенд повинен надавати широкі функціональні можливості для дослідження схем, мати мінімум зовнішньої контрольно-вимірювальної апаратури, характеризуватись простотою сполученості досліджуваних схем із зовнішньою вимірювальною апаратурою; крім того, для досліджуваних схем повинні використовуватись широко розповсюджені елементи, а також стенд повинен бути виконаний на сучасній елементній базі із врахуванням вимог естетики та енергетики. Для

побудови таких стендів можна рекомендувати навчально-лабораторний пристрій (НЛП) з багаточисельним набором мікромакетів (МК) та з'єднуювальних провідників.

НЛП - це пристрій, що дозволяє проводити різні варіанти комутації радіоелементів, які знаходяться в мікромакетах. Мікромакети під'єднуються до пульта.

НЛП складається з таких складових вузлів: пульта НЛП; мікромакетів основного і додаткового комплектів; комплекту з'єднуювальних проводів.

Конструктивно пульт НЛП складається з корпусу, на якому закріплені блок живлення, панель індикації та інші.

На передній панелі розташовані комутаційне поле, на яке виведені входи і виходи мікромакетів, а також органи керування та виходи допоміжних пристроїв (ГІ, ГПІ, джерело регульованої напруги (ДРН), два десятирозрядних регістри і т.д.). На панелі індикації розташовані десятирозрядний світлодіодний індикатор виходів і цифровий індикатор напруги.

Над верхньою кришкою розташовані розетки РГРММІ-61ГО2 для під'єднання мікромакетів. Розетки захищені корпусом.

Для зручності використання в мікромакетах передбачені виштовхувачі. Принципові електричні схеми мікромакетів представляють собою різний набір мікросхем 555, 580, 589, 1804 та інших серій, а також операційних підсилювачів, конденсаторів та інших радіоелементів.

Порядок роботи НЛП

Пульт НЛП

Робочі поверхні панелей пульта НЛП і розташування на них органів керування наведені на рис.1 – 3.

Розташування органів керування на передній панелі пульта НЛП наведено на рис.1:

- 1) мікروتумблери;
- 2) світлодіоди індикації “логічної одиниці”;
- 3) гнізда виходу розрядів регістрів;
- 4) вихід генератора поодиноких імпульсів (ГПІ);
- 5) світлодіод індикації ввімкнення ГПІ;
- 6) кнопка пуску ГПІ;
- 7) гнізда “логічного 0”;
- 8) гнізда “логічної 1”;
- 9) світлодіод індикації виходу генератора імпульсів (ГІ);
- 10) ГІ;
- 11) перемикач вихідних частот ГІ;

- 12) вмикач джерела регульованої напруги (ДРН);
- 13) вихід ДРН;
- 14) резистор регулювання вихідної напруги ДРН;
- 15) світлодіод індикації увімкнення ДРН;
- 16) комутаційно-індикаторні поля (рис.2).

Ввімкнення НЛП

Під'єднайте НЛП за допомогою мережевого шнура з вилкою до електромережі 220 В 50 Гц та переведіть тумблер “МЕРЕЖА” у положення ВМК. При цьому повинен засвітитись індикатор увімкнення мережі. Вимкніть тумблер “МЕРЕЖА”.

Виконання лабораторних робіт

1. Вивчіть методичні рекомендації щодо проведення лабораторної роботи.

2. Підготуйте необхідні для роботи мікромакети згідно зі своєю схемою (номери мікромакетів показані на стенді “Мікромакети”), а також з'єднувальні проводи.

3. Під'єднайте мікромакети до з'єднувального пристрою на кришці пульта НЛП, не прикладаючи при цьому значних зусиль. При цьому входи та виходи мікросхем мікромакетів, що позначені цифрами від 1 до 55 на схемах мікромакетів, під'єднуються до відповідних гнізд комутаційно-індикаційного поля пульта НЛП.

4. Подальше з'єднання мікросхем і мікромакетів та виконання лабораторної роботи проводиться згідно з методикою проведення лабораторної роботи.

5. Після завершення лабораторної роботи вимкніть пульт НЛП тумблером “МЕРЕЖА”, розберіть схеми з'єднань, від'єднайте мікромакети за допомогою виштовхувачів, складіть мікромакети та з'єднувальні проводи на відповідні місця у шафі для їх зберігання.

Така методика складання електричних схем дає можливість кожному студенту виконувати цю операцію самостійно, дозволяє багаторазово використовувати радіоелектронні елементи та вузли, виключає процес паяння в лабораторіях, які, як правило, не мають спеціальних витяжних і вентиляційних устаткувань. Крім того, змінюючи набори мікромакетів, легко модернізувати старі та ставити нові лабораторні роботи без заміни самих стендів.

Крім описаних універсальних лабораторних стендів деякі лабораторні роботи виконуються на спеціалізованих стендах. Особливості кожного з них описуються у відповідних лабораторних роботах.

Універсальні та спеціалізовані стенди, як правило, доповнюються генераторами й осцилографами і у випадку необхідності деякими іншими приладами.

Вказівки щодо експлуатації

Для надійної роботи НЛП необхідно дотримуватись таких правил:

- 1) перед початком роботи студент повинен ознайомитись з технічним описом і інструкцією щодо експлуатації;
- 2) установку мікромaketів і з'єднувальних проводів, а також розбирання схеми треба проводити без надмірних зусиль і при вимкненому пристрої;
- 3) забороняється вмикати НЛП у мережу, не під'єднавши заземлення;
- 4) забороняється працювати з НЛП при знятих кришках і задній стінці.

Деякі лабораторні роботи із дисципліни “Комп’ютерна електроніка” виконуються на персональному комп’ютері за допомогою моделюючих програм, таких, як MicroCap, Pspice і PCAD.

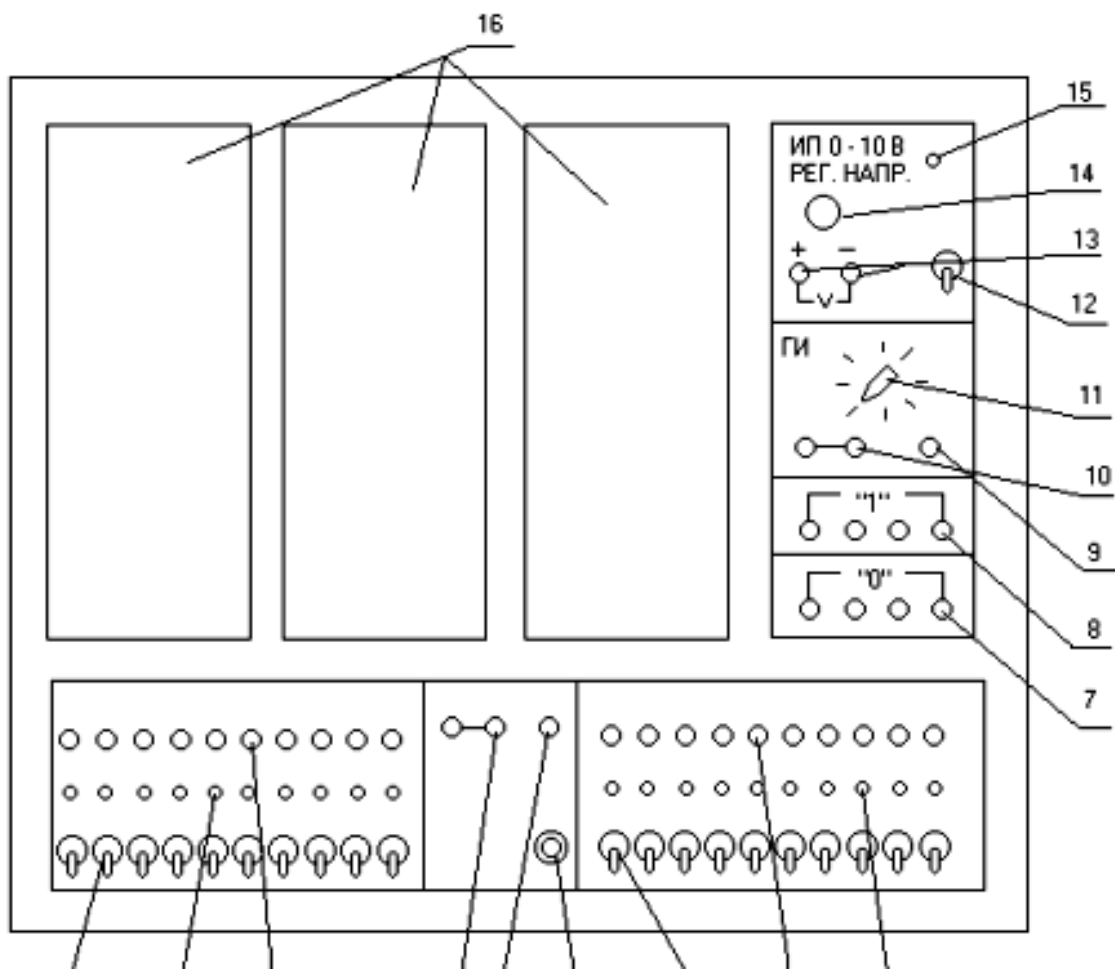


Рис.2. Передня панель пульта НЛП

На рис. 2 введені такі обозначення:

Рис. 1. Передня панель пульта НЛП

На рис. 1 введені такі позначення:

- 1 - мікротумблери;
- 2 - світлодіоди індикації “логічної одиниці” (20 штук);
- 3 - гнізда виходу розрядів регістра (20 штук);
- 4 - вихід ГП;
- 5 - світлодіод індикації ввімкнення ГП;
- 6 - кнопка пуску ГП;
- 7 - гнізда “логічного 0”;
- 8 - гнізда “логічної 1”;
- 9 - світлодіод індикації ГІ;
- 10 - вихід ГІ;
- 11 - перемикач вихідних частот ГІ;
- 12 - вимикач ДРН;
- 13 - вихід ДРН;
- 14 - резистор регулювання вихідної напруги ДРН;
- 15 - світлодіод індикації ввімкнення ДРН;
- 16 - комутаційно-індикаторні поля (рис. 3).

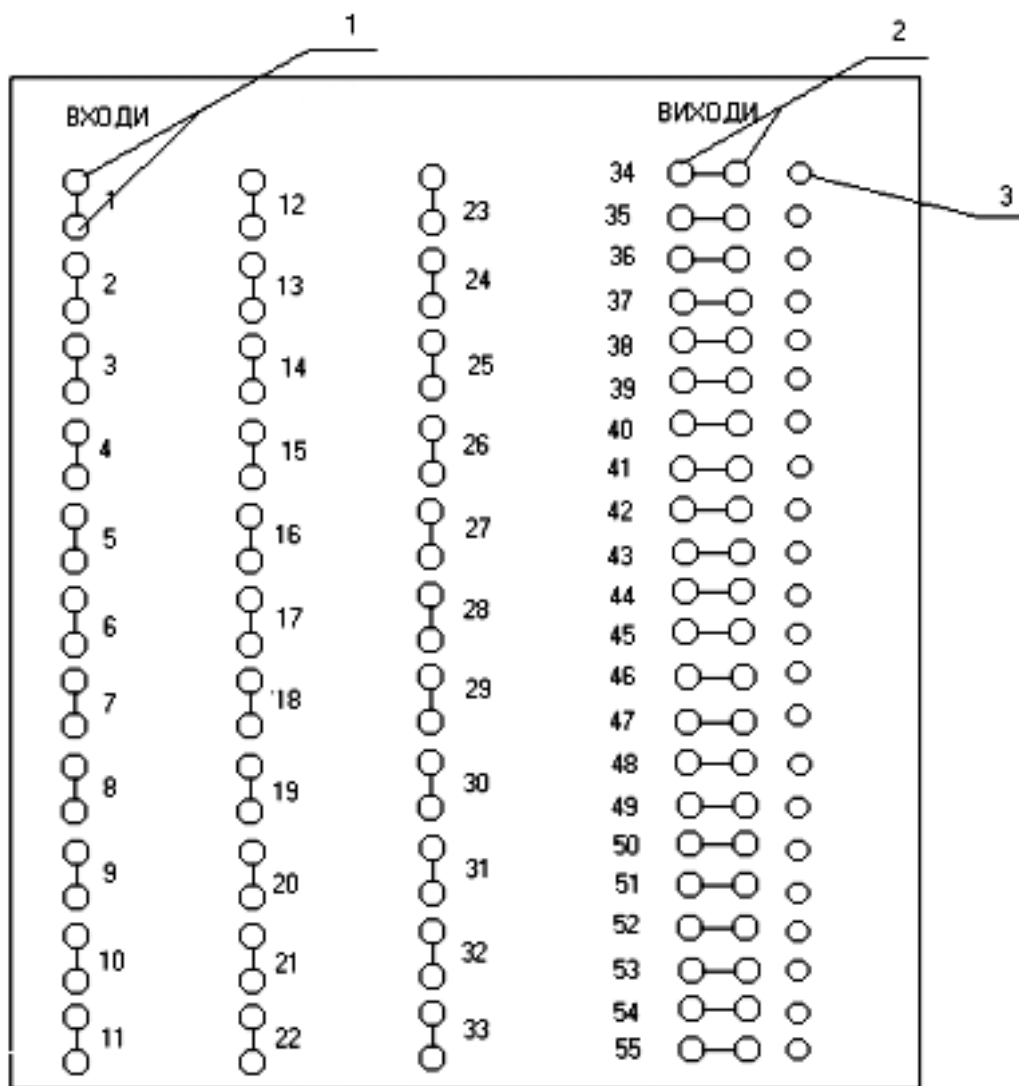


Рис. 2. Комутаційно-індикаторне поле пульта НЛП

На рис. 2 введені такі позначення:

- 1 – подвоєні гнізда входів мікромакетів (33 пари);
- 2 – подвоєні гнізда виходів макетів (22 пари);
- 3 – світлодіоди індикації виходів мікромакетів (22 шт.).

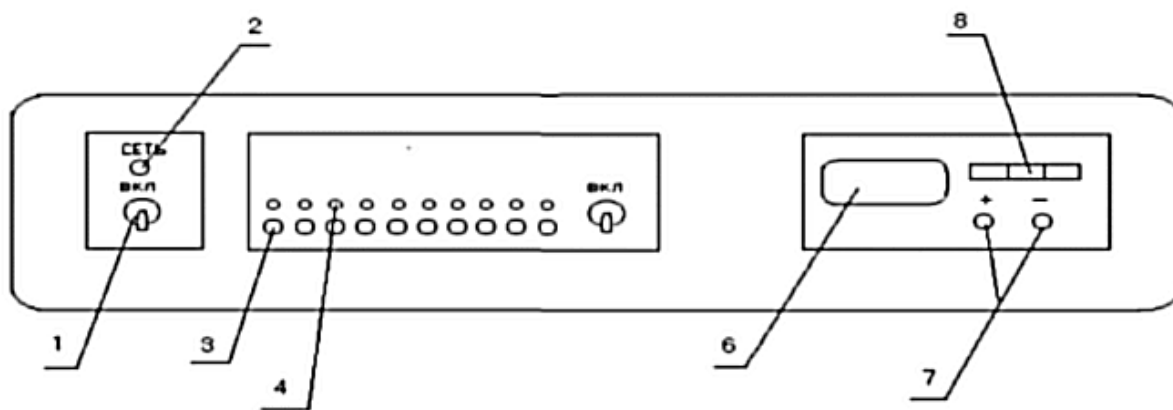


Рис. 3. Панель індикації пульта НЛП

На рис. 3 введені такі позначення:

- 1 – вимикач мережі;
- 2 - індикатор увімкнення мережі;
- 3 - гнізда входів плати індикації (10 шт.);
- 4 - світлодіоди плати індикації (10 шт.);
- 5 - вимикач плати індикації;
- 6 - індикатор постійної напруги;
- 7 - входні гнізда індикатора напруги;
- 8 - перемикач діапазонів індикатора.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ОЗНАЙОМЛЕННЯ З КОНСТРУКЦІЄЮ, ПОЗНАЧЕННЯМИ, ОСНОВНИМИ ПАРАМЕТРАМИ І МЕТОДАМИ ПЕРЕВІРКИ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ

МЕТА РОБОТИ: практично ознайомитись з конструкцією електронних компонентів, з їх позначеннями та методами перевірки працездатності за допомогою ампервольтметра. Освоїти роботу з довідниковою літературою.

Теоретичні відомості

Вимірювальним приладом називається пристрій, що оцінює значення вимірювальної фізичної величини. Вимірювальні пристрої діляться на електромеханічні та електронні.

Ампервольтметр є електромеханічним вимірювальним приладом. Це прилад непрямого порівняння – значення вимірюваної величини

оцінюється безпосередньо за шкалою, яка попердньо градується за допомогою еталоних мір [3]. Такі прилади складаються з вимірювального механізму, вимірювального ланцюга (або схеми) та відлікового пристрою.

Вимірювальний механізм є основою приладу. В ньому електрична величина перетворюється в механічне (кутове) переміщення покажчика, що потребує затрат деякої кількості електромагнітної енергії. Вимірюваний ланцюг служить для перетворення вимірювальної величини в іншу, яка вже безпосередньо діє на вимірювальний механізм. Відліковий пристрій приладу складається з покажчика, який жорстко пов'язаний з рухомою частиною та нерухомою шкалою, яка розміщується під стрілкою.

За способом перетворення електромагнітної енергії в вимірювальному механізмі при відхиленні його рухомої частини та за конструктивними особливостями розрізняють такі системи приладів: магнітоелектричну, електромагнітну, електродинамічну, електростатичну та ряд інших. В даному випадку ампервольтметр є приладом з магнітоелектричною системою.

Вимірювальні механізми магнітоелектричних приладів будують у вигляді нерухомого магнітного кола та рухомої котушки, де тече вимірюваний струм (рис. 1.1).

Магнітне коло утворюється сильним магнітом 1 з двома полюсними наконечниками 2 з магнітного матеріалу, які радіальним зазором охоплюють нерухомий точно центрований циліндр 3 також з магнітом'якого матеріалу. В радіальному зазорі розміщена рухома котушка 4, яка закріплена з піввісями 5 та 6, кожна з яких жорстко з'єднана з кінцями спіральних пружин 7 та 8. Ці пружини служать для утворення протидійного моменту та одночасно служать провідниками, що проводять струм від зовнішнього кола до рухомої котушки.

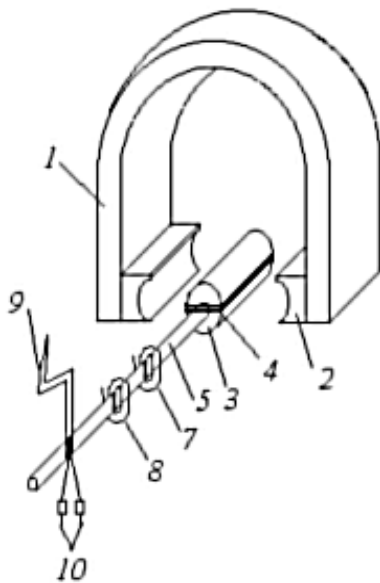


Рис.1.1. Вимірювальний механізм

На передній піввісі закріплена вказівна стрілка 9 та противаги 10. Взаємодія струму в котушці та магнітного потоку постійного магніту утворює обертальний момент, під дією якого котушка та стрілка намагаються повернутись на кут α , який пропорційний вимірюваному струму. Прилади магнітоелектричної системи вважаються найбільш точними (до класу 0,05) з усіх приладів електромеханічної групи.

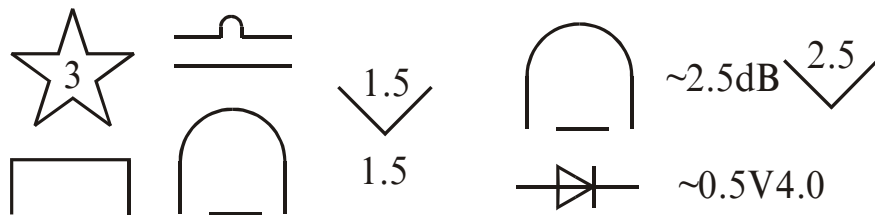
Найбільш суттєва частка загальної похибки цих приладів обумовлена наявністю тертя в опорах рухомої частини, недосконалістю збирання, неточностями градування та виготовленням шкали.

Із джерел похибок, які викликані

впливом зовнішніх факторів, найбільш суттєвим є температура зовнішнього середовища, яка впливає на змінення опору провідників рухомої котушки, змінення опорів протидійних пружин, якості постійного магніту.

Зовнішні магнітні поля мало впливають на роботу магнітоелектричних приладів, оскільки індукція у повітряному зазорі магнітного кола приладу дуже велика (до 0,15-0,2 Тл та більше). Велику небезпеку становлять магнітні поля близько розташованих (менше 20 см) приладів цієї ж системи [2].

Тестер, як і всі вимірювальні прилади, на шкалі або лицьовій стороні має позначення, які характеризують даний прилад. Зокрема, у даному випадку, тестер (у нижній частині шкали) має такі позначення :



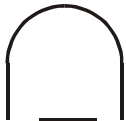
Вони означають :



- вимірювальне коло, що ізольоване від корпусу та випробуване напругою 3 кВ;



- прилад використовувати при горизонтальному положенні шкали;



- магнітоелектричний прилад з рухомою рамкою;



- випрямляч;



- похибки вимірювань при постійному струмі та напрузі, відповідно;



- живлення омметра постійним струмом;



- границя похибки для шкали dB;



- максимальна похибка для шкали змінної напруги

Порядок роботи ампервольтметра

Комбінований прилад Ц4317 служить для вимірювання струму та напруги в колах постійного та змінного струму синусоїдальної форми, опору постійному струму, ємності та відносного рівня змінної напруги.

1. Вимірювання струму та напруги:

- натиснути кнопку “—” для вимірювання на постійному струмі або “~” для вимірювання на змінному струмі. Перемикач границь вимірювань встановлюється в положення, яке відповідає очікуваному значенню вимірюваної величини. Під’єднати прилад до кола, що досліджується. Відлік вимірюваної величини за шкалою “—” або “~”.

2. Вимірювання опорів до 300 Ом:

- натиснути одночасно кнопки “—” та “кΩ”, що відповідає “Ω”. Перемикач границь вимірювання встановити в положення “Ω”. Ручкою встановлення нуля омметра встановити стрілку на відмітку “∞” шкали “Ω”. Якщо це зробити неможливо, необхідно замінити джерело живлення. Під’єднати до затискачів приладу вимірюваний опір. Відлік за шкалою “Ω”.

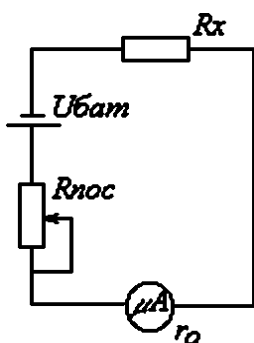
3. Вимірювання опорів до 500 кОм:

- натиснути кнопку “кΩ”. Під’єднати дроти до затискачів приладу та замкнути їх накоротко. Перемикач границь вимірювання встановити в положення “кΩ”. Ручкою встановлення нуля омметра встановити стрілку на нульову відмітку шкали “кΩ”.

4. Вимірювання опорів до 5000 кОм:

- додатковим джерелом живлення служить зовнішня батарея напругою 34–43 В. Батарею під’єднати до затискача приладу “*” від’ємним полюсом, а до другого затискача - додатним полюсом. Перемикач границь вимірювання встановити в положення “МΩ”. Ручкою встановлення нуля омметра стрілку встановити на нульову відмітку шкали “кΩ”. Додатний полюс батареї від’єднати від затискача та між полюсом і затискачем увімкнути вимірювальний опір. Відлік за шкалою “кΩ”.

Схеми вимірювання опорів, струму та напруги



$$I = U_{\text{бат}} / (R_x + R_{\text{посл}} + r_0);$$

$$R_{\text{посл}} = U_{\text{бат}} / I - R_x - r_0,$$

де R_x - вимірюваний опір;

r_0 - внутрішній опір амперметра.

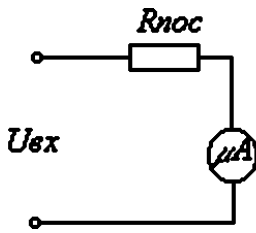


Рис.1.3. Схема вимірювання струму

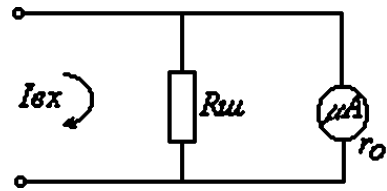


Рис.1.4. Схема вимірювання напруги

$$I = U_{вх} / (R_{посл} + r_0);$$

$$R_{посл} = U_{вх} / I - r_0.$$

$$R_{ш} (I_{вх} - I) = r_0 I;$$

$$R_{ш} = r_0 I / (I_{вх} - I).$$

Електронні прилади відносять до *активних* елементів, якщо вони можуть здійснити випрямлення, підсилення, генерацію, перетворення частоти змінних струмів і другі активні процеси. *Пасивними* елементами є резистори, конденсатори, котушки, трансформатори. До всіх радіоелектроелементів (РЕЕ) висувається ряд вимог, які визначають властивості й якість елементів.

У теоретичній частині розглянемо:

- принципи роботи й основні довідникові дані резисторів та конденсаторів;

- загальні відомості про типи, параметри, конструкції і маркування електронних компонентів.

Резистори

Резистори дозволяють контролювати значення струмів та напруг в електричному колі. Вони, наприклад, забезпечують режим зміщення транзистора в підсилювачі електричних сигналів. Вимірюючи напругу на резисторі, можна регулювати струми емітера та колектора транзистора. За допомогою резисторів виконуються подільники струмів та напруг у вимірювальних приладах.

Електричні характеристики резистора в значній мірі визначаються матеріалом, з якого його виготовлено, та його конструкцією. При виборі

типу резистора для конкретного застосування враховуються такі параметри:

- 1) необхідне значення опору (Ом, кОм, МОм);
- 2) точність (можливе відхилення, %, від значення опору, яке позначено на резисторі);
- 3) потужність, яку може розсіяти резистор;
- 4) температурний коефіцієнт опору: $\alpha = \frac{R_T - R_{20}}{R_{20}} \cdot \frac{1}{\Delta T}$;
- 5) стабільність резистора (мається на увазі відсоткова зміна його опору в процесі експлуатації);
- 6) шумові властивості (мається на увазі напруга шуму, який генерується резистором).

За пунктами "5" та "6" більшість фірм-виробників найчастіше дають якісну оцінку властивостей приладів, які характеризують резистори, наприклад, як високостабільні або малOSHумові. Резистори з допусками $\pm 2\%$ або менше називаються високоточними. Високостабільні, малOSHумові та високоточні резистори потрібні лише у спеціальних випадках. Широке їх використання обмежується лише високою вартістю цих пристроїв.

В табл. 1.1 наведено характеристики резисторів, які виготовлені на основі різних матеріалів.

Резистори на основі вугільного композиту використовуються тільки в джерелах електроживлення та підсилювачах потужності. Резистори на основі вугільної плівки знаходять широке використання, а інші прилади використовуються в малосигнальних підсилювачах та вимірювальній апаратурі.

Резистори з керамічними корпусами використовуються тільки в джерелах електроживлення та підсилювачах потужності. Пристрої зі скляними корпусами знаходять широку сферу використання, а резистори з алюмінієвою оболонкою використовуються лише в малосигнальних підсилювачах та вимірювальних пристроях.

Таблиця 1.1

Характеристики резисторів з різних матеріалів

Параметр	Матеріал			
	Вугільний композит	Вугільна плівка	Металева плівка	Окис металу
Діапазон опорів, Ом	Від 2,2 до 10^6	Від 10 до 10^6	Від 1 до 10^6	Від 10 до 10^6
Точність, %	± 10	± 5	± 1	± 2
Потужність, Вт	0,125-1	0,25-2	0,125-0,5	0,25-0,5
Температурний коефіцієнт,	+1200	-250	+50 +100	+250

$10^{-6}/^{\circ}\text{C}$				
Стабільність	Незадовільна	Задовільна	Відмінна	Відмінна
Шумові властивості	Незадовільні	Задовільні	Відмінні	Відмінні
Діапазон робочих температур, $^{\circ}\text{C}$	Від -40 до +105	Від -45 до +125	Від -55 до +125	Від -55 до +125

Номинальне значення опору та точність

На корпусі резистора наноситься номінальне значення його опору та допуск. Так, резистор з маркуванням $100\ \Omega \pm 10\%$ може мати будь-який опір в межах від 90 до 110 Ω . Опір резистора, який має маркування $100\ \Omega \pm 1\%$, знаходиться в межах від 99 до 101 Ω .

Всі резистори, що випускаються промисловістю, об'єднуються у серії. Кількість номінальних значень опорів у межах однієї серії визначається прийнятою точністю. Наприклад, для того, щоб перекрити всі можливі значення опорів від 1 до 10 за допомогою резисторів, які мають точність $\pm 20\%$, досить мати набір з шести базових значень (серія E6).

Серія E12 має 12 базових значень з точністю $\pm 10\%$. Серія E24 має 24 базових значення опорів, з точністю $\pm 5\%$. В межах кожної серії міститься 6 або 7 груп резисторів, опір яких відрізняється в 10 разів. Це означає, що відповідна група опорів отримується множенням базового значення на 1, 10, 100, 1 кОм, 10 кОм, 100 кОм, 1 МОм (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Номинальні (базові) значення опорів резисторів серій E6($\pm 20\%$), E12($\pm 10\%$), E24($\pm 5\%$)

E6	E12	E24	E6		E24
----	-----	-----	----	--	-----

1,0	1,0	1,0	3,3	3,3	3,3
		1,1			3,6
	1,2	1,2		3,9	3,9
		1,3			4,3
1,5	1,5	1,5	4,7	4,7	4,7
		1,6			5,1
	1,8	1,8		5,6	5,6
		2,0			6,2
2,2	2,2	2,2	6,8	6,8	6,8
		2,4			7,5
	2,7	2,7		8,2	8,2
		3,0			9,1

Кольорове маркування резисторів

Резистори на основі вугільної та металооксидної плівки мають кольорове маркування, яке характеризує їх номінальний опір та точність. За першим методом резистори маркуються чотирма кольоровими поясами (рис. 1.5.), а за другим - п'ятьма (рис. 1.6).

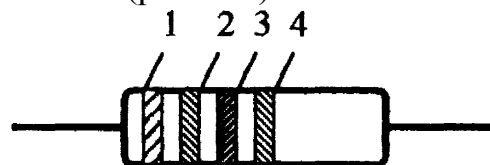


Рис. 1.5. Кольоровий код для позначення номіналів резисторів (перший метод)

Пояси 1 і 2: чорний 0, коричневий 1, червовий 2, оранжевий 3, жовтий 4, зелений 5, голубий 6, фіолетовий 7, сірий 8, білий 9; пояс 3 (множник): срібний 0,01, золотий 0,1, чорний 1, коричневий 10, червоний 100, оранжевий 1.000, жовтий 10.000, зелений 100000, голубий 1.000.000; пояс 4 (точність $\pm$ %): червоний 2, золотий 5, срібний 10, немає поясу: 20.

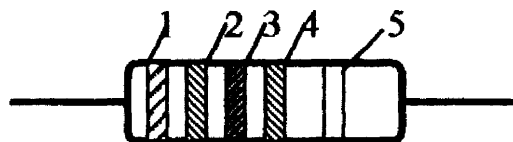


Рис. 1.6. Кольоровий код для позначення номіналів резисторів (другий метод)

Пояси 1-3: чорний 0, коричневий 1, червоний 2, оранжевий 3, жовтий 4, зелений 5, голубий 6, фіолетовий 7, сірий 8, білий 9; пояс 4 (множник): срібний 0,01, золотий 0,1, чорний 1, коричневий 10, червоний 100, оранжевий 1.000, жовтий 10.000, зелений 100.000, голубий 1.000.000;

пояс 5 (точність $\pm$ %): червоний 2, золотий 5, срібний 10, немає поясу: 20.

Маркування резисторів за системою BS 1852

Деякі типи резисторів маркуються за системою British Standart 1852. За цією системою положення децимальної коми позначається відповідною буквою. Іншими словами, буквою позначається значення множника (табл. 1.3.).

Друга буква позначає точність резистора (табл. 1.4.).

Таблиця 1.3

Буква	Множник
R	1
K	1.000
M	1.000.000

Таблиця 1.4

Буква	Точність, %
F	± 1
G	± 2
J	± 5
K	± 10
M	± 20

Напівпровідникові резистори

Напівпровідникові резистори, які мають нелінійні властивості, називаються варисторами. Раніше їх називали нелінійним напівпровідниковим опором (ННО). Основним матеріалом для варисторів служить порошок карбиду кремнію (ВІС) з будь-якою в'язучою речовиною. Нелінійність опору пояснюється, головним чином, нагрівом мікроконтактів між зернами карбиду кремнію. Зовнішньо варистор виготовляють у вигляді стержнів або дисків.

На рис. 1.7. наведено вольт-амперну характеристику варистора та його позначення на схемах.

Варистори можна використовувати на постійному та змінному струмі з частотою до кількох кілогерц. На більш високих частотах починає проявлятися власна ємність варистора.

Варистори використовуються для захисту від перенапруг, в стабілізаторах та обмежувачах напруги, в різних схемах автоматики.

Терморезистори – це напівпровідникові резистори, в яких опір значно

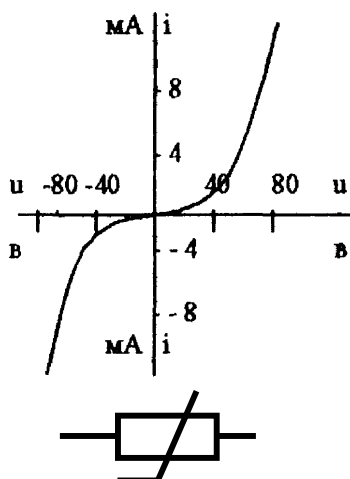


Рис. 1.7. Вольт-амперна характеристика та умовне графічне позначення

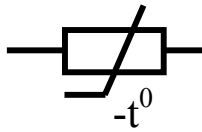


Рис. 1.8. Зображення терморезистора на схемах

залежить від температури (рис. 1.8.). Найчастіше терморезистори виготовляють із оксидів металів і мають від'ємний ТКО.

Вони реалізовані у вигляді стержнів, пластин, дисків і т.д. Випускаються також терморезистори, які мають в деякому, порівняно вузькому інтервалі температур, додатний ТКО. Вони називаються *позисторами*.

Терморезистори використовуються як датчики температури і як нелінійні резистори в різних пристроях автоматики. Спеціальні малогабаритні подвійні терморезистори називаються болометрами, застосовуються для вимірювання променевої енергії.

Деякі терморезистори випускаються з вторинним підігрівом, тобто мають підігрівач у вигляді провідника, через який пропускається струм.

Важливими параметрами терморезисторів є такі:

- номінальний опір (від декількох Ом до декількох кОм із допусками ± 5 , ± 10 і $\pm 20\%$);
- температурний коефіцієнт опору, як правило, $(0,8-6,0) \cdot 10^{-2} \text{K}$. Для правильної експлуатації треба враховувати максимально допустиму температуру і максимально допустиму розсіювальну потужність.

Конденсатори

Конденсатори являються засобом накопичення електричної енергії в електричному полі. В основному використовують їх у згладжувальних фільтрах в джерелах електроживлення, в колах міжкаскадного зв'язку в підсилювачах змінних сигналів, у колах фільтрації завад, які виникають на шинах електроживлення електронної апаратури, і т.п.

Електричні характеристики конденсатора визначаються його конструкцією та властивостями матеріалів, що використовуються для його виготовлення. При виборі конденсатора треба враховувати такі обставини:

- 1) потрібне значення ємності (мкФ, нФ, пФ);
- 2) робочу напругу (то максимальне значення напруги, за якою конденсатор може працювати довго без зміни своїх параметрів);
- 3) потрібна точність (можливий розкид значень ємності конденсатора);
- 4) температурний коефіцієнт ємності (залежність ємності конденсатора від температури зовнішнього середовища);
- 5) стабільність конденсатора;
- 6) струм витоку діелектрика при номінальній потужності і даній температурі.

В таблицях 1.5 - 1.7 наведено основні характеристики конденсаторів

різних типів.

Керамічні конденсатори використовуються у відокремлювальних колах, електролітичні використовуються також у відокремлювальних колах та згладжувальних фільтрах, а конденсатори на основі металізованої плівки використовуються у високовольтних джерелах електроживлення.

Слюдяні конденсатори використовуються в звуковідтворювальних пристроях, фільтрах та осциляторах. Пристрої з поліестера - це конденсатори загального використання, а конденсатори з поліпропілену використовуються в високовольтних колах постійного струму.

Конденсатори на основі полікарбонату використовуються в фільтрах, осциляторах та часозадавальних колах. Пристрої останніх двох типів використовуються також в часозадавальних та відокремлювальних колах. Вони вважаються конденсаторами загального призначення.

Кольорове маркування конденсаторів

На корпусі більшості конденсаторів написана їх номінальна ємність та робоча напруга. Але зустрічається і кольорове маркування (рис. 1.9.).

Деякі конденсатори маркуються надписом в два рядки. На першому рядку вказана їх ємність (пФ або мкФ) та точність ($K = 10\%$, $M = 20\%$). На другому наведена допустима постійна напруга та код матеріалу діелектрика.

Таблиця 1.5

Характеристики керамічних, електролітичних конденсаторів та конденсаторів на основі металізованої плівки

Параметр	Тип конденсатора		
	Керамічний	Електричний	На основі металізованої плівки
Діапазон зміни ємності	Від 2,2 пФ	Від 100 нФ	Від 1 мкФ
Похибка, %	± 10 і ± 20	-10 і $+50$	± 20
Робоча напруга, В	50-250	6,3-400	250-600
Температурний коефіцієнт, $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	$+100 \div -4700$	$+1000$	$+100 \div 200$

Стабільність	Задовільна	Незадовільна	Задовільна
Діапазон зміни температури зовнішнього середовища, °C	Від –85 до +85	Від –40 до +85	Від –25 до +85

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

За час підготовки до лабораторної роботи необхідно вивчити літературу та лекційний матеріал за такою тематикою:

- принципи роботи й основні довідникові дані резисторів, конденсаторів, діодів і транзисторів;
- загальні відомості про типи, параметри, конструкції та маркування електронних компонентів;
- принцип роботи тестера (ампервольтметра).

Для виконання лабораторної роботи видаються:

- 1) набори електронних компонентів (постійні та змінні резистори, електролітичні та керамічні конденсатори, імпульсні та випрямні діоди, малопотужні та потужні транзистори, інтегральні та гібридні мікросхеми);
- 2) друковані вузли імпульсного перетворювача напруги;
- 3) тестери;
- 4) необхідні довідники.

Таблиця 1.6

Характеристики слюдяних конденсаторів та конденсаторів на основі поліестеру та пропілену

Параметр	Тип конденсатора		
	Слюдяний	На основі поліестеру	На основі пропілену
Діапазон зміни	Від 2,2 пФ	Від 10 нФ	Від 1 нФ

ємності	до 1 нФ	до 0,1мкФ	до 10 нФ
Точність,%	±1	±20	±20
Робоча напруга, В	350	250	100
Температурний коефіцієнт, $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	±50	±200	±200
Стабільність	Відмінна	Добра	Добра
Діапазон зміни температури зовнішнього середовища, $^{\circ}\text{C}$	Від -40 до +85	Від -40 до +100	Від -55 до +100

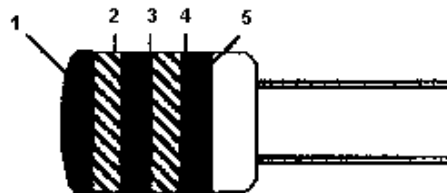


Рис.1.9. Кольоровий код для позначення номіналу конденсатора

Пояси 1 і 2: чорний 0, коричневий 1, червоний 2, оранжевий 3, жовтий 4, зелений 5, голубий 6, фіолетовий 7, сірий 8, білий 9; пояс 3: (множник): оранжевий 1000, жовтий 10000, зелений 100000, голубий 1000; пояс 4 (точність, $\pm$ %): білий 10, чорний 20; пояс 5 (робоча постійна напруга, В): червоний 250; жовтий 400.

Монолітні керамічні конденсатори маркуються кодом, який має три цифри. Третя цифра показує, скільки нулів потрібно дописати до перших двох, щоб отримати ємність в пікофарадах.

Таблиця 1.7

Характеристика конденсаторів на основі полікарбонату, полістирену та танталу

Параметр	Тип конденсатора		
	На основі полікарбонату	На основі полістирену	На основі танталу
Діапазон зміни ємності	Від 10 нФ до 10мкФ	Від 10 пФ до 10 нФ	Від 100 нФ до 100 мкФ
Точність,%	±20	±2,5	±20
Робоча напруга, В	63-630	160	6,3-35
Температурний коефі-	+60	-150 ÷ +80	Від 100 до

цієнт, $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$			+200
Стабільність	Відмінна	Добра	Задовільна
Діапазон зміни температури зовнішнього середовища, $^{\circ}\text{C}$	Від -55 до +100	Від -40 до +70	Від -55 до +85

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Кожній бригаді отримати набір компонентів, тестер, плати.
2. Підготувати до роботи тестер. Для цього перевірити його працездатність в режимі вимірювання опорів, при замкнутих щупах виставити "нуль" опору.
3. Визначити призначення кожного компоненту. Записати в звіт з роботи типи всіх елементів, які є в наявності. Для резисторів і конденсаторів також визначити за маркуванням на корпусі їх номінали.
4. За допомогою тестера кожному студенту вибірково виміряти опір 2-3 резисторів. Розрахувати їх відсотковий розкид по відношенню до номіналу, який вказано на корпусі. Врахувати похибку вимірювання тестера.
5. Провести вимірювання опору електролітичних конденсаторів у прямому і в оберненому ввімкненні, на різних границях вимірювання. Пояснити отримані результати. Чи можна таким чином порівняти за ємністю два конденсатори?
6. Для діодів експериментальним шляхом визначити їх полярність. Пояснити, чому при вимірюваннях в прямому ввімкненні опір діода різний на різних границях вимірювань тестера? Для кожного з діодів визначити з довідника величину прямого струму, максимально обернену напругу, ємність переходу або сталу часу. Які з діодів найбільш придатні для мережевих, а які для імпульсних випрямлячів джерел живлення?
7. Для транзисторів за допомогою тестера визначити вивід бази. Визначити полярність (р-п-р або п-р-п). Знайти з довідника потужність розсіювання, коефіцієнт підсилювання за струмом ("бета") та ємність переходів. Навести приклади пристроїв із використанням цих транзисторів (підсилювачі високої або низької частоти, імпульсні пристрої, блоки живлення, підсилювачі потужності).
8. Для інтегральних мікросхем (ІС) визначити перший вивід та напрямлення підрахунку виводів при огляді корпусу зверху та знизу. Який вивід цифрових мікросхем найчастіше підключають до загальної шини, а який до шини живлення (+5В)? В чому переваги та недоліки пластмасових корпусів з прямокутними виводами в порівнянні з металокерамічними корпусами з планарними виводами? Який з відказів ТТЛ-мікросхем можна виявити за допомогою тестера? Як треба поводитись із КМОП-мікросхемами і чому?

9. Для гібридних інтегральних мікросхем (ГІС) зніміть верхню кришку корпусу та спробуйте визначити призначення окремих безкорпусних компонентів. Як виконуються резистори в ГІС та від чого залежить їх опір? Знайдіть в довідниках безкорпусні компоненти. Зверніть увагу на їх потужність розсіювання.

10. Для друкованих вузлів імпульсного джерела струму розгляньте конструкцію компонентів та визначіть місце розташування ключового стабілізатора напруги, імпульсних трансформаторів, випрямлячів, ключових транзисторів.

Під час захисту лабораторної роботи необхідно пред'явити звіт з роботи з її назвою, метою, записами по пунктах роботи. Підготувати усну відповідь на питання, що наведені в тексті.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ДІОДІВ ТА СТАБІЛІТРОНІВ

МЕТА РОБОТИ: зняття й аналіз вольт-амперних характеристик кремнієвих діода, стабілітрона; визначення їх параметрів за цими характеристиками.

Частина 1

Напівпровідниковий діод містить один р-п-перехід і має два виводи: р і n областей. Найбільш розповсюджені дві групи діодів - випрямлювальні та імпульсні, які називаються універсальними.

Випрямлювальні діоди, в яких використовується властивість р-п переходу (його одностороння електропровідність) застосовують головним чином для випрямлювання змінного струму в діапазоні частот від 50 Гц до 100 кГц.

Імпульсні діоди застосовують в імпульсних режимах роботи.

Робота напівпровідникових діодів в електричній схемі визначається його вольт-амперною характеристикою (ВАХ).

Пряму гілку ВАХ знімають увімкнувши діод, що досліджується, в схему, яка зображена рис. 2.1, а. Прямий струм через діод задається генератором струму ГС, характерною особливістю якого є незначна залежність вихідного струму від опору навантаження. Плавнo збільшуючи від нуля вихідний струм генератора ГС, заміряють вихідну напругу $U_{пр}$ діода для ряду значень прямого струму $I_{пр}$. Зворотну гілку ВАХ знімають, увімкнувши досліджуваний діод в схему, що показана на рис. 2.1, б.

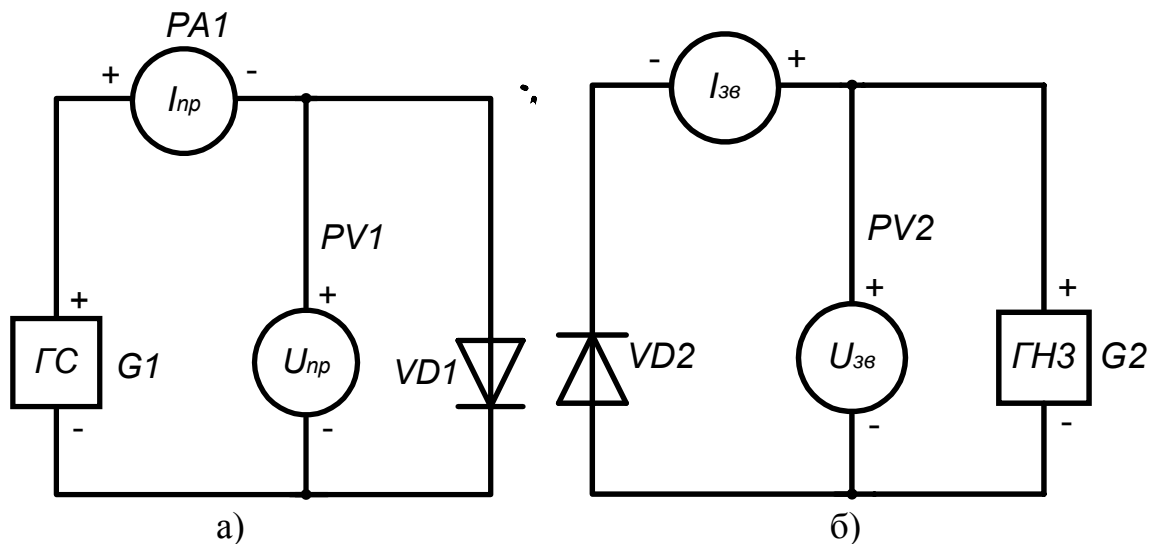


Рис. 2.1

Плавно збільшуючи від нуля вхідну напругу ГНЗ, заміряють зворотний струм $I_{зв}$ діода для ряду значень зворотної напруги $U_{зв}$.

Основними параметрами випрямляючих діодів є:

- постійна пряма напруга $U_{пр}$ при визначеному для кожного діода постійному прямому струмові або середня пряма напруга $U_{пр.ср}$ у схемі однопівперіодного випрямляча при визначеному середньому прямому струмові $I_{пр.ср}$ і максимально допустимій зворотній напрузі ;

- постійний зворотний струм $I_{зв}$ при визначеній постійній зворотній напрузі або середній зворотний струм $I_{зв.ср}$ у схемі однонапівперіодного випрямляча при максимально допустимій зворотній напрузі і визначеному середньому прямому струмові;

- максимально допустима постійна зворотна напруга $U_{зв.мах}$; максимально допустимий середній прямий струм $I_{пр.ср.мах}$, який звичайно визначається як середній за період прямий струм у схемі однонапівперіодного випрямлювача. Підвищення $U_{зв.мах}$ переводить діод у режим пробою. Розрізняють електричний та тепловий пробої р-n переходу. Електричний пробой може бути лавинним або тунельним (ділянка а-б на рис. 2.2) і не супроводжуватись руйнуванням р-n переходу (ділянка б-в на рис. 2.2).

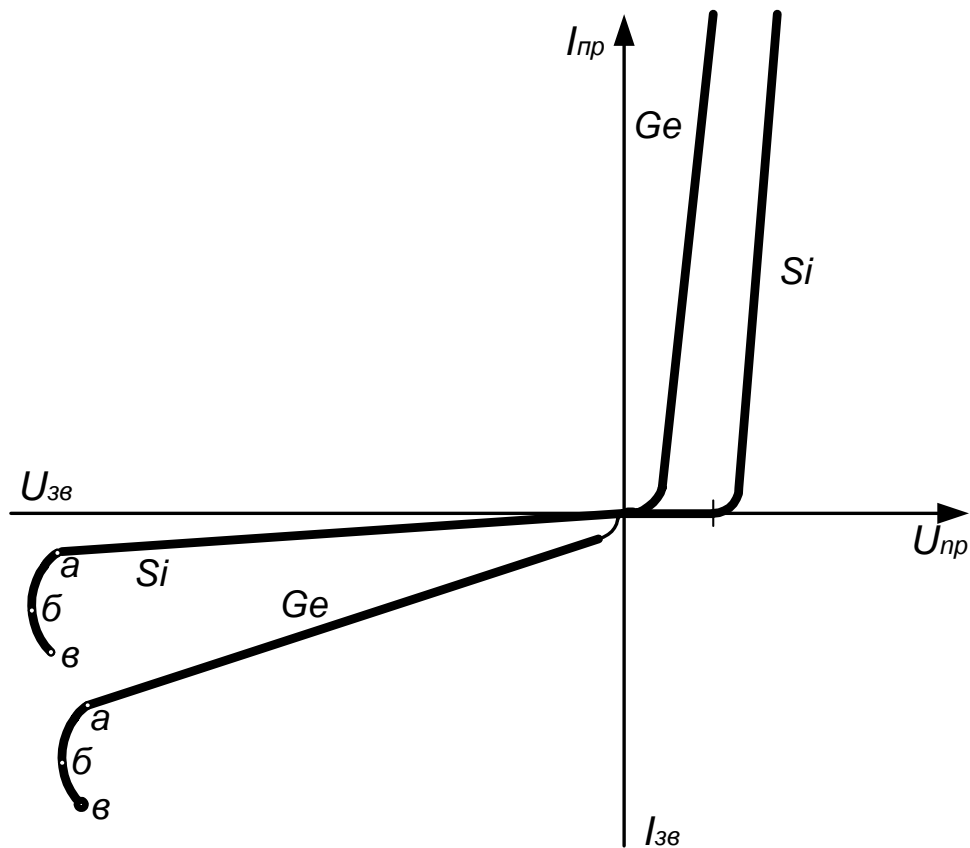


Рис. 2.2. ВАХ діодів

Частина 2

Стабілітрон (діод Зенера) - це напівпровідниковий діод, на якому напруга зберігається з визначеною точністю під час зміни струму, що протікає через нього, в заданому діапазоні. Цей прилад призначений для стабілізації напруги. Ділянка ВАХ, яка відповідає електричним режимам стабілітрона у режимі стабілізації, називається робочою (ділянка аб на рис. 2.3).

Робоча ділянка стабілітрона розташована на зворотній гілці ВАХ, тобто прилад працює в режимі пробою.

Основними параметрами стабілітронів є такі:

- номінальна напруга стабілізації стабілітрона при 298^0K (20^0C) і заданому струмі стабілізації $I_{\text{ст}}$;
- розкид напруги стабілізації $\Delta U_{\text{ст}}$ - інтервал напруг, в межах якого знаходиться напруга стабілізації приладу даного типу;
- температурний коефіцієнт напруги стабілізації, який показує, на скільки відсотків зміниться напруга стабілізації $U_{\text{ст}}$ при зміні температури навколишнього середовища на 1K ;
- диференціальний опір $r_{\text{ст}}$, який визначає стабілізуючі властивості приладу і показує, як напруга стабілізації залежить від струму:

$$R_{ст} = (U_{ст. \max} - U_{ст. \min}) / (I_{ст. \max} - I_{ст. \min}); \quad (2.1)$$

- мінімально допустимий струм стабілізації $I_{ст. \min}$ - мінімальний струм через стабілітрон, при якому зберігаються його стабілізуючі властивості; при менших значеннях струму $I_{ст}$ різко збільшується $R_{ст}$ і зменшується $U_{ст}$;

- максимально допустимий струм стабілізації $I_{ст. \max}$ - максимальний струм, при якому прилад функціонує тривалий час.

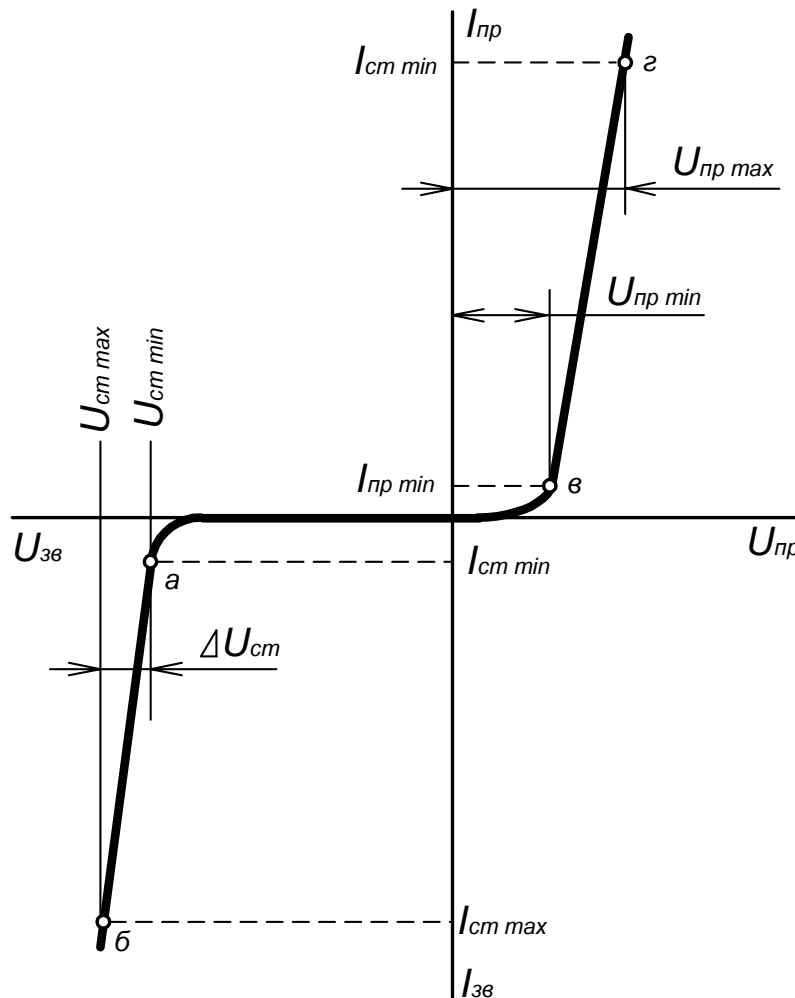


Рис. 2.3. ВАХ стабілітрона

Значення температурного коефіцієнта напруги стабілізації $\Delta U_{ст}$ і його знак залежать від напруги $U_{ст. \text{ном}}$. Стабілітрони, напруга стабілізації яких більша 5,5В, мають $\Delta U_{ст} > 0$, тобто при збільшенні температури $U_{ст}$ збільшується. При напрузі $U_{ст. \text{ном}} < 5,5\text{В}$ стабілітрони мають $\Delta U_{ст} < 0$, їх напруга стабілізації при збільшенні температури зменшується. Стабілітрони також мають $\Delta U_{ст} < 0$.

В стабілізаторах напруги, що працюють в широкому діапазоні температур, для термокомпенсації використовують прецизійні стабілітрони з внутрішньою термокомпенсацією, в яких послідовно їх р-п

переходу ввімкнений в прямому напрямку звичайний р-п перехід з від'ємним температурним коефіцієнтом прямої напруги (рис. 2.4).

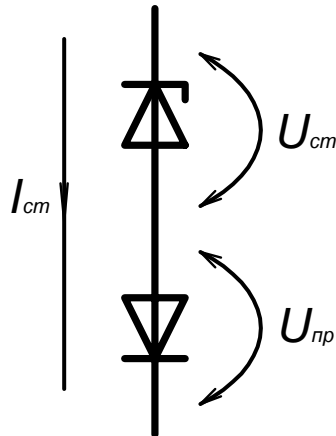


Рис. 2.4. Прецизійний стабілітрон

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Частина 1

1. Накреслити табл. 2.1. і табл. 2.2 для зняття прямої і зворотної гілок ВАХ кремнієвого діода.
2. Накреслити систему координат (рис. 2.3) для побудови прямих і зворотних гілок ВАХ (масштаб по осях: $I_{пр}$ - в 1 см 2 мА; $U_{пр}$ - в 1см 0.1В; $I_{зв}$ - в 1см 0.05 мкА; $U_{зв}$ - в 1см 5 В).
3. Накреслити схеми для отримання ВАХ діодів (рис. 2.1, а, б).
4. Зібрати схему, що зображена на рис. 2.1, зняти прямі гілки ВАХ кремнієвого діода і занести результати вимірювань в табл. 2.2.
5. Користуючись даними табл. 2.1 і табл. 2.2, побудувати прямі гілки ВАХ діода в координатних осях.

Таблица 2.1

Прямий струм $I_{пр}$, мА	0.05	0.2	0.5	1	5	10
Пряма напруга $U_{пр}$, В						

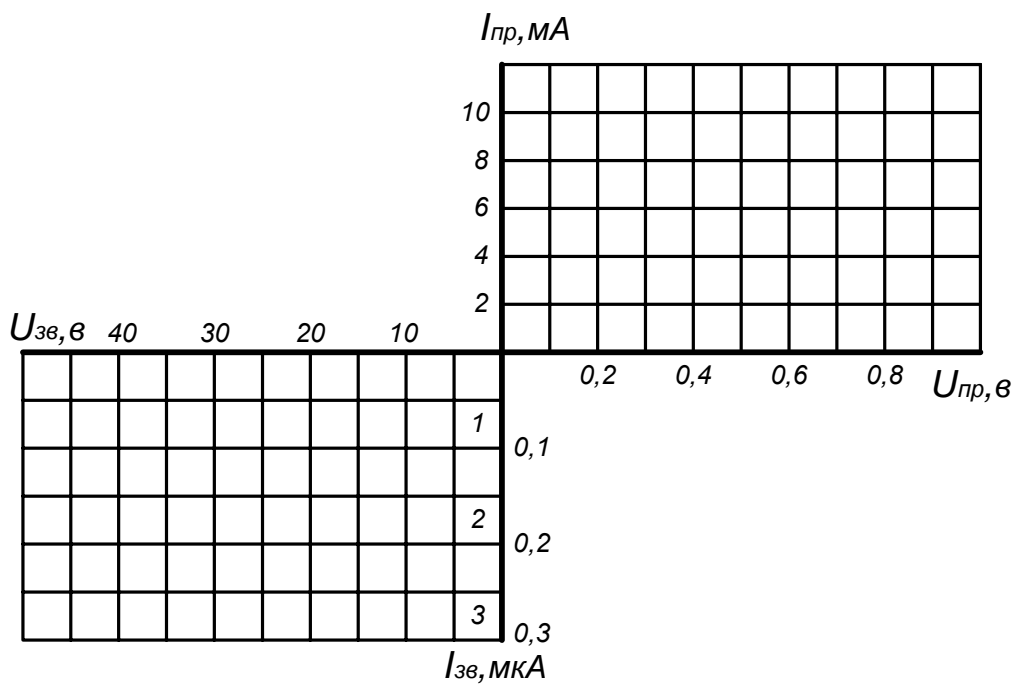


Рис. 2.5

Таблиця 2.2

Зворотна напруга $U_{зв}$, В	1	5	10	20	30	40
Зворотний струм $I_{зв}$, мА						

Частина 2

1. Накреслити табл. 2.3. і табл. 2.4 для зняття прямої і зворотної гілок ВАХ стабілітрона.

Таблиця 2.3

Прямий струм	0.1	0.5	1	2	3	5	8	10
--------------	-----	-----	---	---	---	---	---	----

Іпр, мА								
Пряма напруга Uпр, В								

Таблиця 2.4

Зворотний струм Ізв, мА	0.1	0.5	1	2	3	5	8	10
Зворотна напруга Uзв, В								

2. Накреслити систему координат (рис. 2.6) для побудови прямих і зворотних гілок ВАХ (масштаб по осях: Іпр - в 1 см 2 мА; Uпр - в 1 см 0.1 В; Ізв - в 1 см 2 мА; Uзв - в 1 см 1 В).

Накреслити табл. 2.5 для запису результатів вимірювання нестабільності напруги стабілітрона під час зміни струму, що тече через нього.

Накреслити електричні схеми (рис. 2.7, а, б).

5. Зібрати схему, що зображена на рис. 2.7, зняти пряму гілку ВАХ стабілітрона і занести результати вимірювань в табл. 2.3.

Виміряти нестабільність напруги Uст стабілітрона під час зміни струму, що проходить через нього, і занести результати вимірювань в табл. 2.5.

7. Побудувати пряму і зворотну гілки ВАХ стабілітрона в координатних осях (рис. 2.6).

8. Розрахувати диференціальний опір стабілітрона за формулою (2.1).

Таблиця 2.5

Струм стабілізації Іст, мА	1	2	3	5	6	8	10
Нестабільність напруги стабілізації -Uст, мВ							

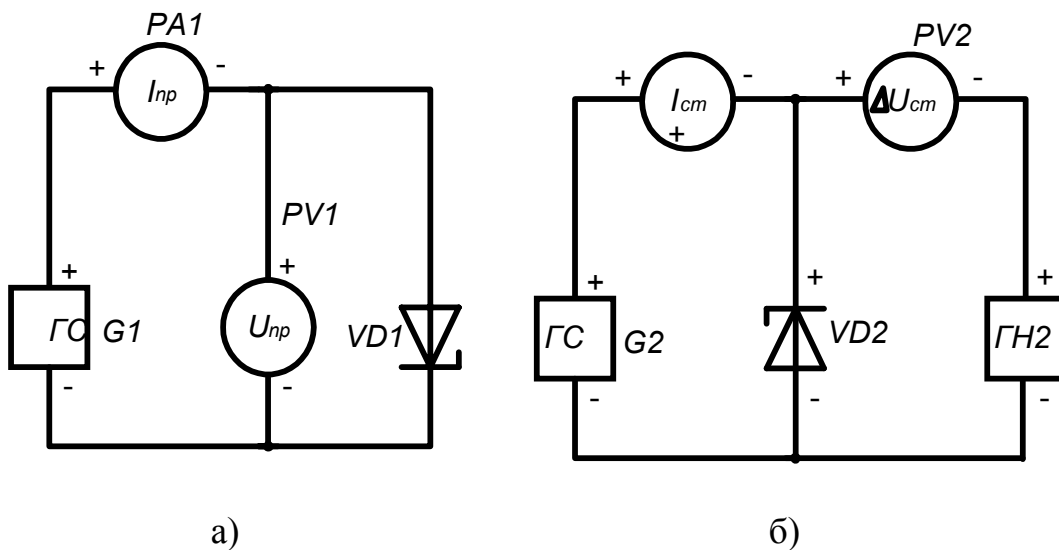


Рис. 2.7

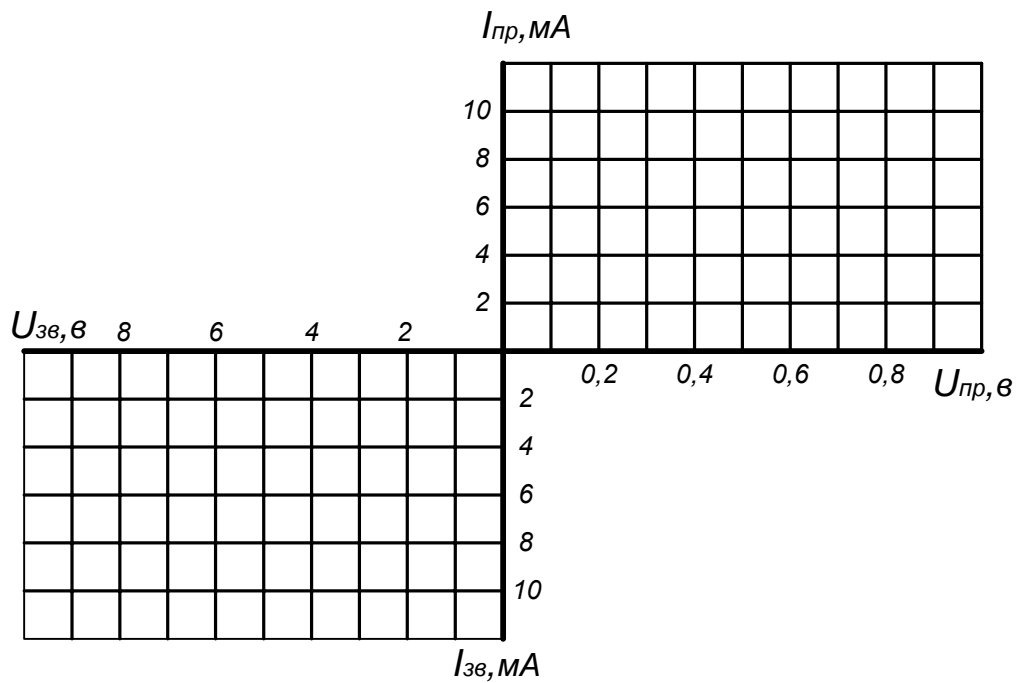


Рис. 2.6

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

1. Для зняття прямої гілки ВАХ діода використовувати мікромакет ММ1. Для цього необхідно з'єднати контакт А15 із А28 і змінним резистором макета регулювати напругу.
2. Для зняття зворотної гілки ВАХ необхідно з'єднати контакт А15 із А20 і регулювати напругу іншим змінним резистором макета.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Які основні напівпровідникові діоди ви знаєте?
2. Де застосовують випрямлювальні діоди?
3. Які особливості імпульсних, точкових та площинних діодів?
4. Які основні параметри випрямних діодів?
5. Яку ділянку ВАХ стабілітрона називають робочою?
6. Як змінюється напруга стабілітрона під час зміни струму, що протікає через нього?
7. Які властивості стабілітрона оцінюються диференціальним опором?
8. Чому стабілітрон нестійко працює при струмах, менших за мінімальні струми стабілізації?
9. Які основні параметри стабілітрона?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

МОДЕЛЮВАННЯ ПІДСИЛЮВАЛЬНИХ СХЕМ НА БІПОЛЯРНИХ ТРАНЗИСТОРАХ

МЕТА РОБОТИ: дослідити принцип роботи й основні характеристики підсилювального каскаду на біполярному транзисторі. Ознайомитись з методикою аналізу електронних схем за допомогою програми MicroCap.

Частина 1

Теоретичні відомості

Розглянемо принцип роботи й основні характеристики підсилювального каскаду на біполярному транзисторі.

Основними є такі питання:

1) підсилювачі на біполярних транзисторах за схемами з загальним емітером (ЗЕ), загальною базою (ЗБ) і загальним колектором (ЗК);

2) амплітудно-частотні, фазо-частотні та перехідні характеристики (АЧХ, ФЧХ, ПХ) підсилювачів і РС-ланцюгів;

3) від'ємний зворотний зв'язок (НЗЗ) у підсилювачах;

4) принципи аналізу електронних схем на ПЕОМ.

Лінійний підсилювальний каскад на біполярному транзисторі та зворотним зв'язком за струмом емітера наведено на рис. 3.1.

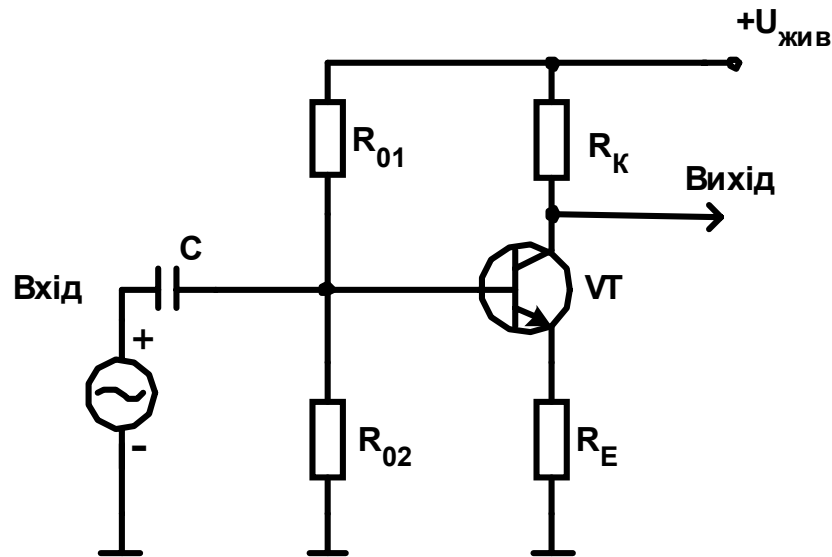


Рис. 3.1. Підсилювальний каскад

На рис. 3.1 введено такі позначення:

VT - біполярний n-p-n транзистор;

R01, R02 - резистори, які визначають потенціал бази;

Rк - колекторний резистор навантаження;

RE - емітерний резистор навантаження;

C - розділювальний конденсатор;

Uжив - напруга джерела живлення.

Напруга зміщення на базі транзистора визначається за формулою:

$$U_b = U_{\text{жив}} R_{02} / (R_{01} + R_{02}). \quad (3.1)$$

Початковий струм емітера визначається за формулою:

$$I_e = (U_b - U_{be}) / R; \quad U_{be} \approx 0.6\text{В}. \quad (3.2)$$

Напруга на колекторі визначається за формулою:

$$U_k = U_{\text{жив}} - I_e R. \quad (3.3)$$

I_e і R_k мають вибиратися за умови роботи транзистора без насичення. $(U_k - U_{\text{вих}}) > U_b$, де $U_{\text{вих}}$ - очікувана амплітуда вихідного змінного сигналу.

Номінал конденсатора C має вибиратися за умови:

$$1/(2\pi C(R_b \parallel R_{02} \parallel R_{\text{вх}})) < f_n, \quad (3.4)$$

де f_n – нижня границя смуги пропускання підсилювача;

$R_{\text{вх}}$ - вхідний опір бази транзистора.

Коефіцієнт підсилення схеми з ЗЕ на низькій частоті визначається за співвідношенням:

$$K_{ze} = -R_k / (R_e + 1/s + R_k/m), \quad (3.5)$$

де s - крутизна вольтамперної

характеристики транзистора у робочій

точці:

$$s = d I_k / d U_{be} ;$$

m – коефіцієнт максимального підсилення (для n-p-n транзисторів);
 $m=3000-7500$, для p-n-p транзисторів $m=1500 - 5500$). Знак “-” означає,
 що схема підсилювача є інвертувальною.

Для початкового розрахунку при $s \gg 1$ та $m \gg 1$ можна прийняти:

$$K_{ze} \approx -R_k / R_e. \quad (3.6)$$

Залежність K_{ze} від частоти f має комплексний

характер і виражається через АЧХ та ФЧХ підсилювача:

$$\text{АЧХ: } K_{33} = \sqrt{(R_e(K_{ze}(f)))^2 + (\text{Im}(K_{ze}(f)))^2}; \quad (3.7)$$

$$\text{ФЧХ: } \Phi(f) = \arctg(\text{Im}(K_{ze}(f)) / \text{Re}(K_{ze}(f))). \quad (3.8)$$

Спад АЧХ на високих частотах пояснюється частотними властивостями транзистора. Частота, на якій АЧХ зменшується до рівня 0,707 (-3дБ), називається частотою зрізу f_z . Крутизна спаду АЧХ після частоти зрізу f_z для однополосної схеми складає 20дБ/декаду. По досягненні рівня 0дБ на високій частоті підсилювач з ЗЕ втрачає свої підсилювальні властивості, вихідний сигнал повторює вхідний. Фазовий зсув на низьких частотах складає -180° (інверсія), частота зрізу $f_z = (-180^\circ - 45^\circ) = -225^\circ$, на високих частотах -360° (повторення).

Схема підсилювача на біполярному транзисторі з ЗЕ і з НЗЗ за струмом, що підготовлена в середовищі пакета MicroCap, зображена на рис. 3.2. Напруга на базі задається 1,6В, початковий струм емітера 1мА, коефіцієнт підсилення в 10 разів (20дБ). Використовуючи теоретичні положення, що наведені у частині 1, промодельюємо цю схему і знімемо перехідні та фазочастотні характеристики підсилювального каскаду.

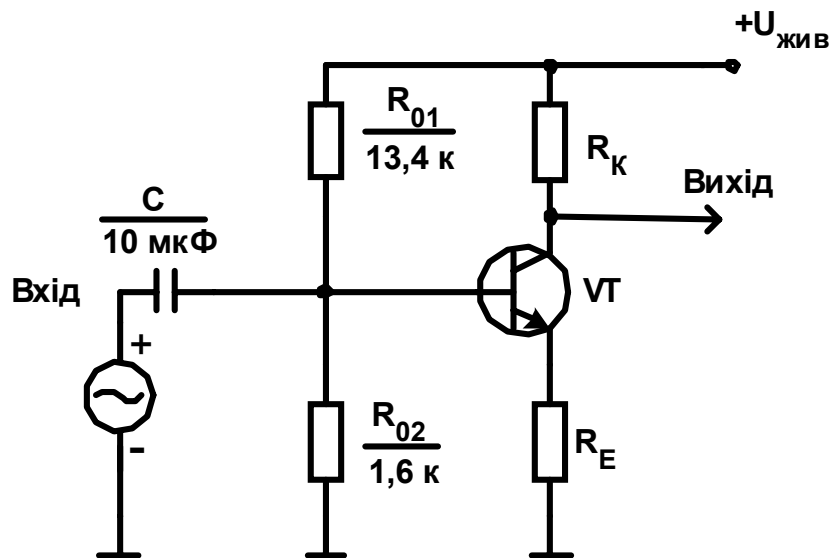


Рис. 3.2. Схема підсилювального каскаду для моделювання

Частина 2

Моделювання схеми за допомогою системи схемотехнічного моделювання MicroCap

Склад програми

Система **MicroCap** складається з двох **exe**-файлів:

- **MC5** - основна програма;
- **MODEL** — програма ідентифікації параметрів математичних моделей компонентів за паспортними даними.

Режими роботи редактора схем, система меню

Після запуску програми MC5 на екран виводиться вікно редактора схем. Схеми створюються та редагуються за допомогою команд, які згруповані в системі меню, а команди, які найчастіше зустрічаються, можна викликати за допомогою натискання на піктограми. Є декілька основних режимів редактора схем, в кожному з яких доступні конкретні програми. Розглянемо основні з них.

Select mode (вибір) — вибір об'єктів для виконання таких операцій: редагування, видалення (без розміщення в буфері обміну), видалення (з розміщенням в буфері обміну), переміщення, повертання, мультиплікація, дзеркальне відображення. Окремий об'єкт вибирається натисканням миші (для занесення об'єкта до групи необхідно натиснути клавішу **Cntrl**).

Component mode (компоненти) — занесення компонентів до схеми.

Text mode (текст) — нанесення текстових написів.

Wire mode (кола) — введення ортогональних провідників.

Diagonal wire mode — введення провідників під різними кутами.

Graphics mode (графіка) — створення графічних об'єктів: ліній, прямокутників, кіл та секторів.

Info mode (інформація) — виведення інформації про параметри вибраного компонента з можливістю редагування.

Help (допомога) — виклик допоміжної текстової інформації.

Огляд основних компонентів меню

Меню File

Меню File — містить команди для роботи з файлами схем, текстовими завданнями в форматі **Spice**:

- створення **нового** файлу (**New**);
- відкриття існуючого файлу (**Open**)(***.CIR** — файли схем в форматі **MC5**, ***.CKT**, ***.LIB** — текстові файли в форматі **Spice**, ***.MDL** — бінарні файли бібліотек моделей та довідкових даних і виклик програми **MODEL**);
- зберігання файлів (**Save** та **Save as...**) та їх закриття (**Close**);
- роздрукування файлів (**Print**), вибір принтера та параметрів друку (**Print Setup**) і попереднє зображення схеми перед друком на папір (**Print Preview**);
- вихід із системи (**Exit**).

Меню Edit

Меню Edit — містить команди редагування;

- відміна останньої команди (**Undo**);

- видалення вибраного об'єкта та розміщення його в буфері Windows (Cut),
- видалення без розміщення в буфері (**Clear**);
- копіювання вибраного об'єкта в буфер (**Copy**) та з буфера на екран (**Paste**),
- змінення шрифту (**Font**) та кольору (**Color**),
- пошук об'єктів (**Find**).

Меню Components

Меню Components — містить каталог бібліотек. Цей каталог має підменю, з яких можна вибрати необхідні елементи, що розташовані в них ієрархічно.

- типові аналогові компоненти (**Analog Primitives**), серед яких: пасивні компоненти (**Passive Components**) — резистори, конденсатори і т.д., активні пристрої (**Active Device**) — транзистори, операційні підсилювачі, джерела сигналів (**Waveform Sources**), функціональні джерела сигналів (**Function Sources**), макромоделі, що задаються схемами заміщення (**Macros**); з'єднувачі (**Connectors**);

- бібліотека моделей аналогових компонентів різних фірм (**Analog Library**);

- типові цифрові елементи (**Digital Primitives**), серед яких стандартні елементи (**Standart Gates**); елементи з трьома станами (**Tri-States Gates**); тригери (**Edge-Triggered Flip-Flops** - з динамічним керуванням та **Gated Flip-Flops/Latches** - з потенційним керуванням), джерела постійних логічних сигналів (**Pullups/Pulldown**); логічні функції (**Logic Expression**), генератори цифрових сигналів (**Stimulus Generators**);

- бібліотека моделей цифрових компонентів різних фірм (**Digital Library**). Для того, щоб обернути об'єкт на 90°, необхідно натиснути одночасно дві клавіші миші, натиснута права клавіша миші дозволяє переміщувати об'єкт на схемі.

Меню Windows

Меню Windows містить команди роботи з вікнами. Розглянемо деякі з них:

- каскадне розташування відкритих вікон (**Cascade**),
- послідовне розташування відкритих вікон за вертикаллю (**Title Vertical**),
- послідовне розташування відкритих вікон за горизонталлю (**Title Horisontal**),
- перехід в режим редагування бібліотеки компонентів (**Component Editor**);
- перехід в режим редагування графіки символів компонентів (**Shape**

Editor);

- виклик програми ідентифікації параметрів моделей аналогових компонентів **MODEL** за паспортними та експериментальними даними (**Model Program**),

- виклик вбудованого калькулятора (**Calculator**);

- також можлива активізація та розміщення на передньому плані будь-якого вікна.

Меню Options

Меню Options містить команди вибору режимів редагування та задання різних параметрів програмі MC5. Розглянемо основні з цих параметрів та команди, які дозволяють їх вибрати:

- включення / виключення рядка інструментів (**Tools**);

- вибір режиму (**Mode**) - можливе налаштування всіх режимів роботи програми;

- вибір інформації, яка буде відображатись на схемі (**View**): (атрибути --**Attribute Text**, текстові написи - **Grid Text**, номери вузлів схеми – **Node Numbers**, вузли сітки - **Grid**, нанесення рамки на лист креслення схеми - **Border**, зображення кутового штампа - **Title**);

- зміна кольору різних об'єктів, шрифтів та інших параметрів (**Preferences...**), відкриття діалогового вікна для заповнення графів основного напису (**Title Block**).

Виконання моделювання

Після того, як накреслена принципова схема і нанесено текстове написання, переходять до розрахунку характеристик, вибираючи з меню **Analysis** один із видів аналізу:

Transient Analysis [Alt+F1] – аналіз перехідних процесів;

AC Analysis [Alt+F2] - розрахунок частотних характеристик;

DC Analysis, [Alt + F3] - розрахунок передаточних функцій за постійним струмом.

Аналіз перехідних процесів

Основні положення

Аналіз перехідних процесів (**Transient Analysis**) із меню **Analysis MC5** виконує граматичний розбір кіл для виявлення помилок і готує внутрішні структури для аналізу перехідних процесів. Якщо не виявляється жодної помилки, програма представляє діалогове меню Межі Аналізу (**Transient Analysis Limits**). Це діалогове меню дозволяє задавати параметри моделювання:

- **Run** (виконати) - ця команда служить для початку моделювання (F2

також запустить моделювання);

- **Add (доповнення)** - додає ще одну колонку в специфікації виведення результатів до колонки, що відмічена курсором. Колонка сигналу складається з області опцій сигналу й області параметрів;

- **Delete (видалення)** - видалення колонки сигналу, що відмічена текстовим курсором;

- **Expand (розширення)** - поширення текстової області, що відмічена текстовим курсором, в велике діалогове меню для редагування або перегляду. Для того, щоб використати цю характеристику, необхідно натиснути кнопку миші в бажаній текстовій області і після цього натиснути кнопку **Expand**;

- **Stepping (покрокове виконання)** - виводиться покрокове діалогове меню.

- **Help** - допомога.

Числові параметри

- **Time Range (час моделювання)** - визначається область часу моделювання за форматом - $t_{\max} [t_{\min}]$. Наприклад, 3u, 1u визначає область: 1-3 мкс.

- **Maxium Time Step (максимальний час)** - визначає максимальний крок інтегрування. MC5 вибирає великий крок інтегрування з допустимою відносною похибкою RELTOL

- **Number Of Points (кількість точок)** — визначає, скільки точок повинно друкуватися в таблиці, а також фактичну кількість колонок в таблиці виведення результатів. Величини в числовій вихідній таблиці інтерполюються з фактичних величин сигналу (значення за замовчуванням —51).

- **Temperature (температура)** - визначає температурні величини, що повинні використовуватися в процесі аналізу, тобто діапазон зміни температури. Величини визначаються градусами за Цельсієм.

Опції сигналу

Ці області розташовуються нижче числової області та зліва області виразів. Кожна опція сигналу впливає тільки на сигнал в своїй колонці.

- **X Log/Linear Scale** - це перемикачі по координаті X між логарифмічною та лінійною шкалами. Логарифмічні ваги потребують позитивних масштабних областей. Кнопка зліва має відношення до логарифмічної шкали, а справа - визначає лінійну шкалу

- **Y Log/Linear Scale** - аналогічно по координаті Y.

- **Color (колір)** - кольорове меню. Є 16 можливих кольорових наборів для індивідуального сигналу. Кнопка відображає вибраний колір.

- **Monte Carlo** - статистичний аналіз за методом **Monte Carlo**. Ця програма виконує статистичний аналіз вибраного сигналу. Тільки один

сигнал може вибиратися для аналізу **Monte Carlo**.

Вирази

- **Вираз X** - області в цій колонці використовуються, щоб визначити вирази для змінних на осі X.
- **Вираз Y** - аналогічно на осі Y.
- **Область X** - максимальне та мінімальне значення по координаті X на графіку.
- **Область Y** - аналогічно на осі Y.
- **Формат** - форма зображення числових значень на графіках, таблицях і т.д.

Меню режимів розрахунку перехідних процесів

Меню забезпечує такі опції

- **RUN (F2)** - початок аналізу;
- **Limits (F9)** - доступ до меж аналізу діалогового меню;
- **Stepping (F11)** - покрокове діалогове меню;
- **Analysis Plot (F4)** - графічні результати аналізу;
- **Numeric Output (F5)** - виведення на екран числових результатів;
- **State Variables Editor (F12)** - виклик редактора значень змінних стану;
- **DSP** - відкриття діалогового вікна **DSP (Digital Signal Processing-цифрова обробка сигналів)**: задаються границі інтервалу часу для розрахунку спектральних щільностей;
- **Exit Analysis (F3)** - закриття всіх вікон аналізу та повернення до схеми.

Розрахунок частотних характеристик

Основні положення

Використовуючи модель для малих сигналів кожного пристрою в колі, програма створює комплект лінійних мережевих рівнянь і розв'язує їх для кожної напруги та струму в ланцюзі для певної області частот.

До входу схеми необхідно під'єднати джерело синусоїдального **Sin** або імпульсного **Pulse** сигналу або сигнал **User**, форма якого задається користувачем.

- **RUN (виконати)** - ця команда служить початком моделювання (F2 також запустить моделювання);
- **Add (доповнення)** - додає ще одну колонку в специфікацію виведення результатів до колонки, що відмічена курсором. Колонка сигналу складається з області опцій сигналу й області вираження;
- **Delete (видалення)** - видалення колонки сигналу, що відмічена текстовим курсором;

- **Expand (розширення)** - розширення текстової області, що відмічена текстовим курсором, в велике діалогове меню для редагування або перегляду. Для того, щоб використати цю характеристику, необхідно натиснути кнопку миші в бажаній текстовій області і після цього натиснути кнопку **Expand**;

- **Stepping (покрокове виконання)** - виводиться покрокове діалогове меню;

- **Help** – допомога.

Меню режимів розрахунку частотних характеристик АС

Меню забезпечує такі опції:

- **Run (F2)** - початок аналізу;
- **Limits (F9)** - доступ до меж аналізу діалогового меню;
- **Stepping (F11)** - покрокове діалогове меню;
- **Analysis Plot (F4)** - графічні результати аналізу;
- **Numeric Output (F5)** - виведення на екран числових результатів;
- **State Variables Editor (F12)** - виклик редактора значень змінних стану;
- **DSP** - відкриття діалогового вікна **DSP (Digital Signal Processing-цифрова обробка сигналів)** - задаються границі інтервалу часу для розрахунку спектральних щільностей;
- **Exit Analysis (F3)** - закриття всіх вікон аналізу і повернення до схеми.

Розрахунок передаточних функцій за постійним струмом (DC Analysis)

В режимі DC розраховуються передаточні характеристики за постійним струмом. До входів кола підключаються один або два незалежних джерела постійного струму або напруги. Як вихідний сигнал може розглядатись різниця вузлових потенціалів або струм через гілку, до якої під'єднаний резистор. При розрахунку режиму DC програма закорочує індуктивності, вимикає конденсатори і потім розраховує режим за постійним струмом для декількох значень вхідних сигналів.

Задання параметрів моделювання **DC Analysis Limits**, числові параметри та опції аналогічні розглянутим вище для **Transient Analysis** та **AC Analysis**.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити принцип роботи та призначення елементів підсилювального каскаду за схемою на рис. 3.1, 3.2. Усвідомити основні розрахункові співвідношення (3.1 - 3.8).

2. Освоїти розрахунок характеристик схеми за допомогою програми MICROCAP.

3. Самостійно виконати розрахунок початкового струму і коефіцієнта підсилення каскаду згідно з варіантами, що наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Початкові дані для розрахунку підсилювача за схемою з 3Е

Варіант	Початковий струм емітера I_e , мА	Коефіцієнт підсилення за напругою $K_{зе}$
1	0.5	2
2	1	4
3	1.5	8
4	2	10
5	3	15
6	0.5	4
7	1	8
8	1.5	10
9	2	15
10	3	2
11	0.5	8
12	1	10
13	1.5	15
14	2	2
15	3	4

Розрахунок зводиться до визначення номіналів резисторів R_e та R_k за формулами (3.2), (3.6) і до перевірки потенціалів на виводах транзистора за формулами (3.1), (3.3).

4. Схему підсилювача з вказаними на ній розрахованими номіналами і сам розрахунок навести в звіті з роботи.

5. За допомогою викладача і керуючись методичними вказівками, практично ознайомитись з порядком виконання роботи в пакеті MICROCAP.

6. Під час самостійної роботи з програмою загрузити базову схему BT.CIR і відразу переписати її під власним ім'ям, в яке додати свій номер групи, підгрупи та варіанту. Наприклад, BT315.cir (3 група, 1 підгрупа, 5 варіант).

7. Змінити номінали резисторів R_e та R_k відповідно до розрахунку і виконати розрахунок ПХ схеми (режим RUN/TRANSIENT), а також навести її АЧХ і ФЧХ (режим RUN/AC). Після показу викладачу роздрукувати графіки та пояснити результати.

8. Для отримання більш високої оцінки з лабораторної роботи рекомендується самостійно модифікувати схему: додати другий каскад

підсилення з розв'язкою за постійним струмом і з безпосереднім (гальванічним) зв'язком між каскадами. Кінцевий коефіцієнт підсилення має складати 40. Дослідити та пояснити отримані результати.

9. Для захисту лабораторної роботи в ній, крім звіту з досліджуваної схеми, мають бути також наведені: схеми підсилювачів на біполярних транзисторах з ЗК (емітерний повторювач) і з ЗБ; схеми підсилювачів на польових транзисторах із загальним стоком (витоковий повторювач) і підсилювача з загальним витоком.

Під час захисту роботи необхідно пояснити принцип дії й особливості схем.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

ДОСЛІДЖЕННЯ БІПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА З ЗАГАЛЬНИМ ЕМІТЕРОМ

МЕТА РОБОТИ: зняти та проаналізувати вхідні та вихідні характеристики транзистора, що ввімкнено з загальним емітером (ЗЕ), визначити його h -параметри (рис. 4.1).

Теоретичні відомості

Біполярні транзистори - це найбільш поширені напівпровідникові прилади, які призначені для підсилення та генерування електричних коливань, мають р-п-р або п-р-п структуру (рис. 4.1, а, б).

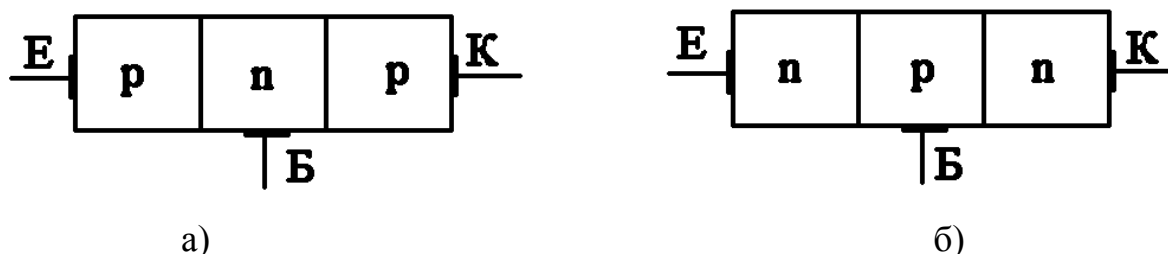


Рис. 4.1. р-п-р (а) і п-р-п (б) – структури біполярних транзисторів

Кожен шар має вивід, назва якого збігається з назвою шару або області транзистора. Середню область транзистора називають базою, а бокові - емітером та колектором.

Ці транзистори отримали назву біполярних тому, що перенесення струму в них здійснюється носіями заряду двох типів: електронами та дірками.

Принцип дії транзистора полягає в керуванні струмом колекторного переходу за допомогою струму емітерного переходу. При цьому струм переходу база-емітер проходить в прямому напрямку, а струм колектор-емітер проходить через зворотно зміщений колекторний перехід і прямий емітерний перехід.

В першому наближенні підсилювальні властивості транзистора визначаються таким чином:

$$I_k \approx \beta \cdot I_b,$$

де β - коефіцієнт передачі за струмом.

В залежності від функцій, що виконує в схемі транзистор, він може працювати в трьох режимах: підсилення, насичення та відсічки.

В активному режимі транзистор працює в підсилювачах, коли необхідно підсилити електричні сигнали з мінімальним спотворенням їх форми.

Режим насичення використовується в тих випадках, коли необхідно зменшити майже до нуля опір схеми, в яку ввімкнено транзистор.

В режимі відсічки транзистор має великий опір. Зворотні струми емітерного I_{e0} і колекторного I_{k0} переходів малі.

Вхідні характеристики транзистора при ввімкненні з ЗЕ мають залежність струму бази від напруги між нею і емітером при постійній напрузі на колекторі (рис. 4.2, а): $I_b = f(U_{be})$, коли $U_{ke} = \text{const}$.

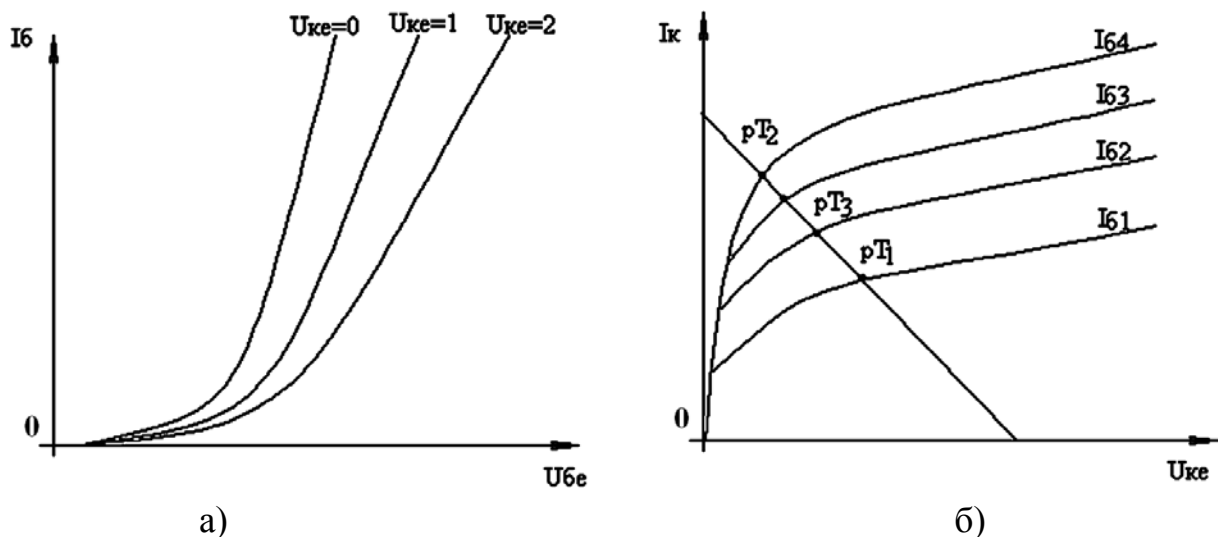


Рис. 4.2. ВАХ транзистора

Вихідні характеристики (рис. 4.2, б) представляють собою залежність струму колектора від напруги між ним і емітером при постійному струмі бази: $I_k = f(U_{ke})$, коли $I_b = \text{const}$.

В режимі підсилення малих сигналів, коли нелінійністю ВАХ можна знехтувати, транзистор, що ввімкнений з ЗЕ, еквівалентно представляють у вигляді лінійного чотирьохполюсника (рис. 4.3).

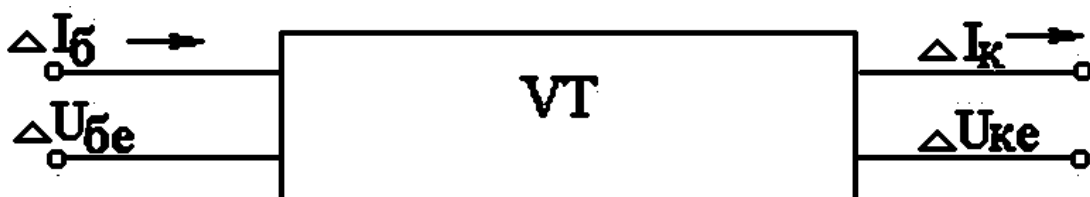


Рис. 4.3. Лінійний чотириполіусник

Вхідні та вихідні параметри чотириполіусника пов'язані такими рівняннями:

$$U_{бк} = h_{11e} \Delta I_{б} + h_{12e} \Delta U_{ке};$$

$$I_{к} = h_{21e} \Delta I_{б} + h_{22e} \Delta U_{ке}.$$

Наведемо h-параметри транзистора:

h_{11e} - вхідний опір в режимі короткого замкнення на виході;

h_{12e} - коефіцієнт внутрішнього зворотного зв'язку в режимі холостого ходу на вході;

h_{21e} - коефіцієнт передачі струму в режимі короткого замкнення на виході;

h_{22e} - вихідна провідність транзистора в режимі холостого ходу на вході.

Розрахунок h-параметрів для схеми з ЗЕ здійснюють за формулами:

$$h_{11e} = \Delta U_{бе} / \Delta I_{б}, \text{ при } U_{ке} = \text{const}; \quad (4.1)$$

$$h_{12e} = \Delta U_{бе} / \Delta U_{ке}, \text{ при } I_{б} = \text{const}; \quad (4.2)$$

$$h_{21e} = \Delta I_{к} / \Delta I_{б}, \text{ при } U_{ке} = \text{const}; \quad (4.3)$$

$$h_{22e} = \Delta I_{к} / \Delta U_{ке}, \text{ при } I_{б} = \text{const}. \quad (4.4)$$

Для визначення h_{11e} проводять через робочу точку А (р. т.) дотичну до вхідної характеристики та будують трикутник BCD (рис. 4.4, а). Тоді за формулою (4.1):

$$h_{11e} = BD / CD = \Delta U_{бе} / \Delta I_{б}.$$

Для визначення h_{12e} вибирають дві вхідні характеристики, що зняті при двох значеннях напруги між колектором і емітером (рис.4.4, б), проводять через А (р.т.) лінію $I_{б} = \text{const}$, що відповідає холостому ходу на вході транзистора. Потім точки перетину цієї лінії з характеристиками відображають на вісь $U_{бе}$, визначаючи $U_{ке} = U_{ке2} - U_{ке1}$, знаходять $U_{бе}$, розраховують h_{12e} за формулою (4.2).

Для визначення h_{21e} сімейства вихідних характеристик поблизу А (р.т.) перетинають лінії $U_{ке} = \text{const}$ (рис.4.4, в), що відповідають короткому замкненню на виході транзистора. Потім за формулою (4.3) розраховують h_{21e} , визначивши графічно $I_{к}$ в $I_{б}$ як різницю $I_{б2} - I_{б1}$.

Для визначення h_{22e} вибирають із сімейства вихідну характеристику, що знята при $I_{б}$ (р.т.). Знаходять приріст струму колектора $I_{к}$, що викликаний збільшенням напруги $U_{ке}$ на ньому при постійному струмові бази (рис.4.4, г), за формулою (4.4) розраховують h_{22e} .

Робоча точка транзистора в схемі з ЗЕ характеризується такими параметрами: $I_{б}$ (р.т.), $U_{б}$ (р.т.), $I_{к}$ (р.т.), $U_{ке}$ (р.т.).

Знання h-параметрів транзистора дозволяє розрахувати схему з використанням моделі чотириполюсника. Крім того, за h-параметрами визначаються такі довідникові дані транзистора:

β (h_{21e}) - коефіцієнт передавання за струмом;

S ($h_{22e} = \Delta I_k / \Delta U_{ke}$) - крутизна вихідної характеристики;

K_u ($h_{12e} = \Delta U_{ke} / \Delta U_{be}$) - коефіцієнт підсилення за напругою.

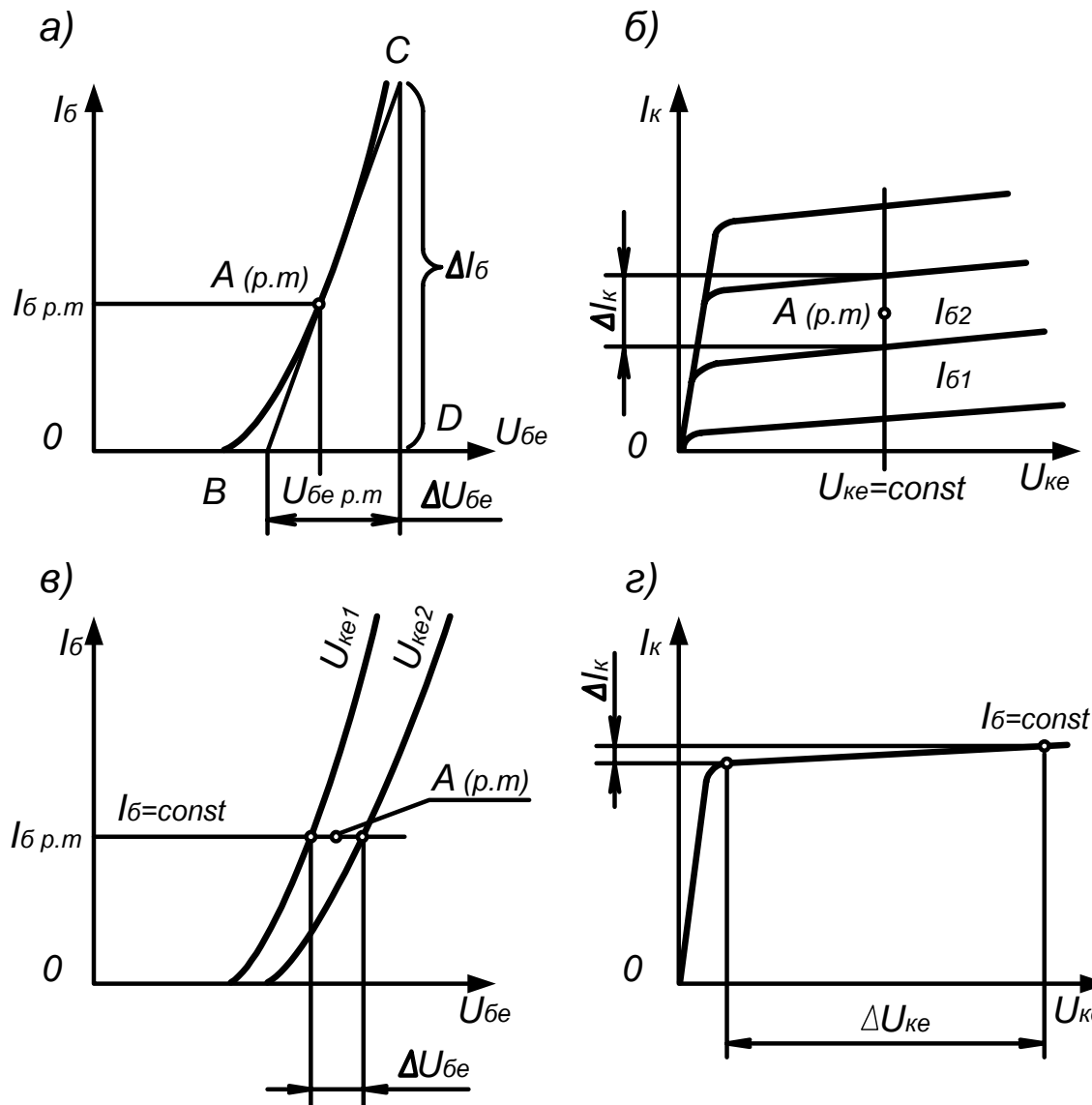


Рис. 4.4.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Накреслити табл. 4.1 і табл. 4.2 для отримання вхідних і вихідних характеристик транзисторів і координатну вісь (рис. 4.5, а, б).

Для їх побудови вибрати масштаб по осях: $I_{\text{б}}$ - в 1 см: 0.1 мА; $U_{\text{бе}}$ - в 1 см: 0.1 В; $I_{\text{к}}$ - в 1 см: 4 мА; $U_{\text{ке}}$ - в 1 см: 2 В.

2. Накреслити табл. 4.3 для запису електричних параметрів

транзисторів у трьох режимах його роботи.

3. Накреслити табл. 4.4 для запису h-параметрів.

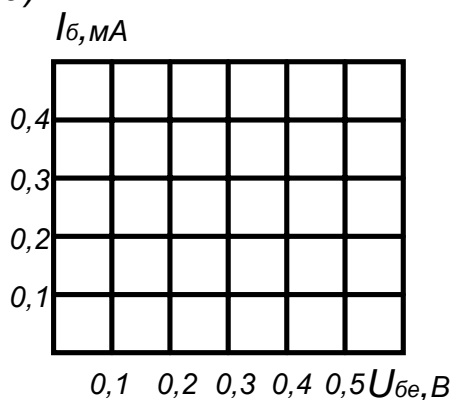
Таблиця 4.1

Струм бази I_b , мкА	50	100	200	300	400	500	$U_{ке}$, В
Напруга база-емітер $U_{бе}$, В							0 1 5

Таблиця 4.2

Напруга колектор-емітер $U_{ке}$, В	0.1	0.5	1	5	10	I_b , мкА
Струм колектора I_k , мА						50 100 200 300 400 500

а)



б)

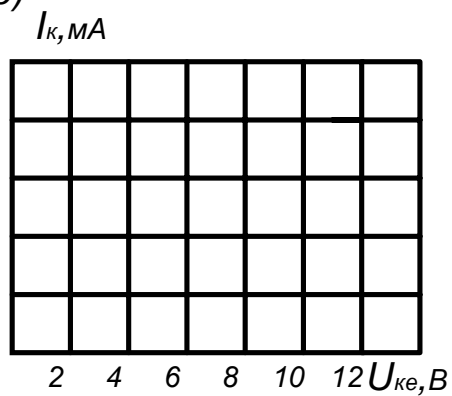


Рис. 4.5

Таблиця 4.3

Режим	Параметри			
Відсічки (р.т.1)				
Насичення (р.т. 2)	I_b	$U_{бе}$	I_k	$U_{ке}$
Активний (р. т. 3)				

4. Накреслити схему для знімання вхідних і вихідних характеристик

транзистора (див. рис. 4.1) і зібрати її.

5. Зняти вхідні та вихідні характеристики; результати вимірювань занести в табл. 4.1 і 4.2.

Таблиця 4.4

Схема	Параметри			
З загальною базою	h11	h12	h21	h22
З загальним емітером				

6. Побудувати вхідні і вихідні характеристики в координатній площині (рис. 4.5, а, б).

7. Визначити за характеристиками електричні параметри транзистора в режимі відсічки, насичення й активному; занести їх в табл. 4.3.

9. Виконати побудову на вхідних і вихідних характеристиках для визначення h-параметрів транзистора, розрахувати їх і занести результати розрахунків в табл. 4.4.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

1. У роботі досліджуються транзистори КТЗ15д і RT815g.

2. Для знімання вхідних характеристик використовують: генератор напруги стенда – для задання струму бази транзистора (струм бази задається напругою, що під'єднується до резисторів R1 або R2. При цьому $I_b = (U - U_{be}) / R$, $R=R_1, R=R_2=10\text{кОм}$), генератор напруги макета – для задання напруги $U_{ке}$, вольтметр стенда (0...10В) – для визначення U_{be} .

3. Для знімання вихідних характеристик використовують: генератор напруги стенда - для задання струму бази транзистора (струм бази задається напругою, що під'єднується до резисторів R1 або R2. При цьому $I_b = (U - U_{be}) / R$, $R=R_1, R=R_2=10\text{кОм}$.); генератор напруги макета - для задання напруги $U_{ке}$; міліамперметр - для визначення I_k .

4. При визначенні електричних параметрів транзистора в різних режимах його роботи прийняти: $U_{ке}=12\text{В}$ і $R_k=1,5\text{кОм}$. Лінія навантаження при цьому перетинатиме осі I_k і $U_{ке}$, відповідно, в точках 8мА і 12В (див. рис.4.2, б).

5. Робочі точки 1 і 2 (р.т. 1 і р.т. 2) відповідають режимам насичення і відсічки. Робочу точку 3 (р.т. 3) транзистора в активному режимі вибирають посередині ділянки р.т. 1 - р.т. 2 лінії навантаження.

6. Дозволяється дослідження макета замінити на моделювання в програмі MicroCap.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Чому h_{21e} значно більше 1?
2. Чому вхідний опір транзистора в схемі з ЗЕ більший, ніж в схемі з ЗБ?
3. Які параметри транзистора, що ввімкнений з ЗЕ, характеризують його робочу точку?
4. Яка фізична суть h -параметрів і при яких умовах їх визначають?
5. Чому схема ввімкнення транзистора з ЗЕ найбільш поширена?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛЬОВОГО ТРАНЗИСТОРА

МЕТА РОБОТИ: вивчення принципу роботи польового транзистора, зняття та аналіз його ВАХ, визначення параметрів (рис. 5.1).

Теоретичні відомості

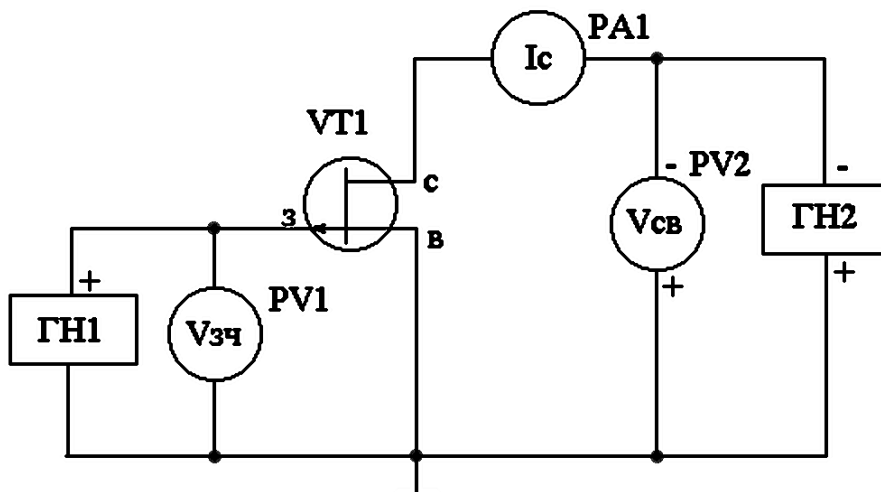


Рис. 5.1. Схема ввімкнення польових транзисторів

На відміну від біполярних транзисторів у польових транзисторах в перенесенні струму беруть участь або тільки електрони, або тільки дірки; це залежить від того, з якого матеріалу виготовлено канал, що проводить струм.

В роботі досліджується транзистор КП 103 з каналом р-типу. На бокову поверхню каналу нанесені шари напівпровідника електронної електропровідності - затвор. Між затвором та каналом з'являється р-п перехід, шар якого зосереджений головним чином в об'ємі каналу, що виготовляється з матеріалу з низьким вмістом домішок.

Канал має виводи - стік і витік. Витік В, як правило, заземлюють, а на стік С подають напругу, при якій основні носії заряду спрямовуються до нього.

В транзисторі з каналом р-типу на стік подається від'ємна напруга,

а на затвор - напруга, при якій перехід затвор-канал закритий і струм не проводить.

Вихідний струм польового транзистора - струм стоку I_c залежить від напруги на стоці $U_{св}$ і з його зростанням збільшується. Крім того, струм стоку I_c залежить від напруги на затворі $U_{зв}$, яка керує глибиною проникнення збідненого шару в об'єм каналу, а значить і його поперечним перерізом.

При напрузі $U_{св} = 0$ напруга $U_{зв}$ викликає зменшення поперечного перерізу каналу та збільшення його опору. Поява напруги $U_{св}$ змінює конфігурацію збідненого шару, до того ж зріз каналу з приближенням до стоку зменшується, оскільки зростає різниця потенціалів між затвором і каналом. При деякій напрузі $U_{св}$, що визначена для кожного значення напруги $U_{зв}$, збіднені шари змикаються, і настає насичення. Напругу $U_{св} = U_{св.нас}$ називають напругою насичення. При $U_{зв} = 0$ напруга насичення максимальна.

Збільшення напруги $U_{св}$ призводить до зміщення точки зімкнення збіднених шарів в напрямі витоку. Струм I_c підтримується за рахунок вприскування основних носіїв каналу в збіднену область, як і в колекторному переході біполярного транзистора. При подальшому збільшенні $U_{св}$ виникає пробій, і транзистор стає непрацездатним.

Стоково-затворна характеристика польового транзистора, що знімається при постійній напрузі $U_{св}$, дозволяє визначити напругу відсічки $U_{зв.відс}$, при якій струм стоку дорівнює нулю, та початковий струм стоку $I_{c.поч}$, що тече через канал при $U_{зв}=0$.

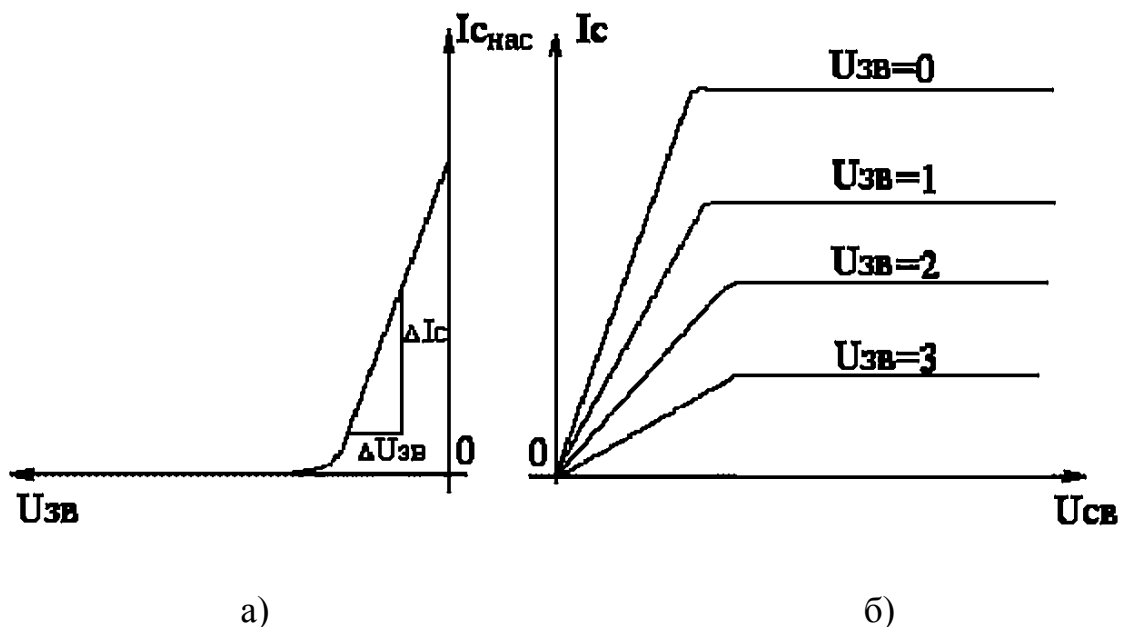


Рис. 5.2. Стокові характеристики польового транзистора

Вхідний струм польових транзисторів на відміну від біполярних

визначається напругою на затворі, при цьому струм затвору близький до нуля, оскільки це зворотний струм р-n-переходу (див. рис. 5.2, а).

$$I_c = f(U_{зв}), \text{ при } U_{св} = \text{const.}$$

На рис. 5.2 зображені стокові характеристики польового транзистора, що являють собою ряд залежностей струму стоку I_c від напруги $U_{св}$ для ряду постійних напруг $U_{зв}$:

$$I_c = f(U_{св}), \text{ при } U_{зв} = \text{const.}$$

Головними параметрами польового транзистора є крутизна стоко-затворної характеристики S та активна вхідна провідність g_{22} .

Крутизна S показує, на скільки міліампер зміниться I_c при зміні $U_{зв}$ на 1В і постійній напрузі $U_{св}$.

$$S = I_c / U_{зв}, \text{ при } U_{св} = \text{const.} \quad (5.1)$$

Цей параметр визначає підсилювальну можливість пристрою.

Активна вихідна провідність визначається нахилом стокової характеристики в області насичення:

$$g_{22} = I_c / U_{св}, \text{ при } U_{зв} = \text{const.} \quad (5.2)$$

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Накреслити табл. 5.1 і табл.. 5.2 для зняття характеристик.

Таблиця 5.1

$U_{зи},$		0	0.2	0.4	0.8	1.2	1.6
Струм стоку I_c , мА при напрузі стік-витік $U_{св}$, В	5						
Струм стоку I_c , мА при напрузі стік-витік $U_{св}$, В	10						

Таблиця 5.2

$U_{зв}$		1	2	3	4	5	8
Струм стоку I_c , мА при напрузі затвор-витік $U_{зв}$, В	0						
	0.3						
	0.6						
	0.9						
	1.2						

2. Накреслити схему (рис. 5.1) і зібрати її, користуючись

принциповою електричною схемою.

3. Зняти характеристику стік-затвор, побудувати її графік. Як перше джерело живлення, використовується вбудоване джерело живлення постійної напруги стенда (при цьому вихід ”-” під’єднується до землі), а як друге – використовується вихід А8 макета на стенді, регулювання якого відбувається за допомогою змінного резистора R8 макета.

4. Зняти стокові характеристики, побудувати їх графіки.

5. Розрахувати S і g_{22} .

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

1. В лабораторній роботі досліджується транзистор КП103.

2. Для зняття характеристик використовують:

- G1(ГН1) - джерело напруги $U_{зв}$ (вмонтований);
- G2(ГН2) - джерело напруги $U_{св}$ (регульований);
- PV1($U_{зв}$) - вольтметр;
- PA1(I_c) - амперметр;
- PV2($U_{св}$) - вимірювач напруги стенда.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Які транзистори називають польовими?

2. Чим пояснюється високий вхідний опір польових транзисторів?

3. Чим відрізняється польовий транзистор від біполярного?

4. Який принцип підсилення сигналів за допомогою польового транзистора?

5. Де використовують польові транзистори?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДСИЛЮВАЧА

ЗВУКОВОЇ ЧАСТОТИ І ЗВОРОТНИХ ЗВ’ЯЗКІВ У НЬОМУ

Частина 1

МЕТА РОБОТИ: вивчення принципу дії підсилювача звукової частоти (ПЗЧ) на транзисторі, що увімкнений за схемою з загальним емітером; експериментальна перевірка розрахунку елементів схеми та визначення її основних параметрів.

Каскади підсилення напруги звукової частоти в більшості випадків

виконують на транзисторах, що ввімкнені з загальним емітером (ЗЕ) (рис. 6.1), оскільки при цьому отримують найбільше посилення потужності сигналу (порівняно з двома іншими схемами ввімкнення транзистора з загальною базою (ЗБ) і загальним колектором (ЗК)).

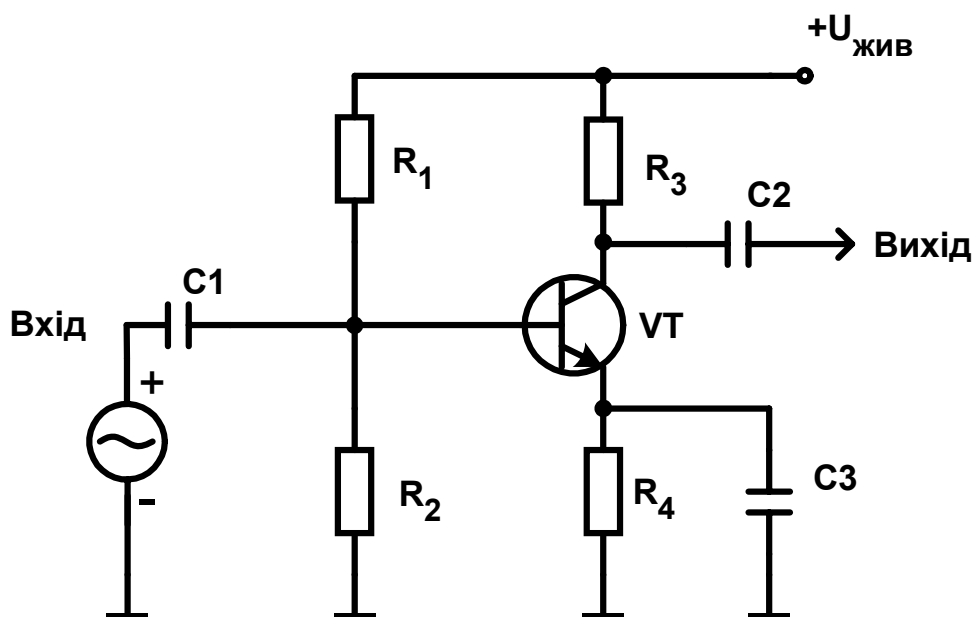


Рис. 6.1. Каскад підсилення напруги звукової частоти

Найбільше поширення на практиці знаходять лінійні підсилювачі. В них змінний вихідний сигнал, хоч і багатократно збільшений за потужністю, повинен мати ту ж форму, що вхідний.

Основними вимогами, що висуваються до каскаду, є задане підсилення за напругою, мінімальні частотні та нелінійні зміни, висока економічність, температурна стабільність. Одночасно виконати всі ці вимоги неможливо. Так, при великому підсиленні знижується стійкість роботи підсилювача, який легко збуджується, перетворюючись в генератор. Збільшення температурної стабільності обов'язково супроводжується зниженням підсилення і ККД.

Для того, щоб транзистор виконував роль підсилювача, його потрібно перевести до відповідного стану за постійним струмом.

Правильний вибір робочої точки є одним із найважливіших моментів в роботі з транзисторними схемами.

До схеми формування робочої точки транзистора висуваються такі вимоги:

- 1) схема повинна жити від одного джерела;
- 2) має бути забезпечена відповідна напруга зміщення, тобто необхідний початковий струм бази;
- 3) має бути забезпечено відповідне коло для змінного вхідного сигналу для того, щоб він міг впливати на керуючий перехід транзистора.

Крім того, схема формування робочої точки повинна забезпечувати температурну стабільність підсилювального каскаду.

Розглянемо процес вибору робочої точки. Вхідна вольт-амперна характеристика транзистора зображена на рис. 6.2.

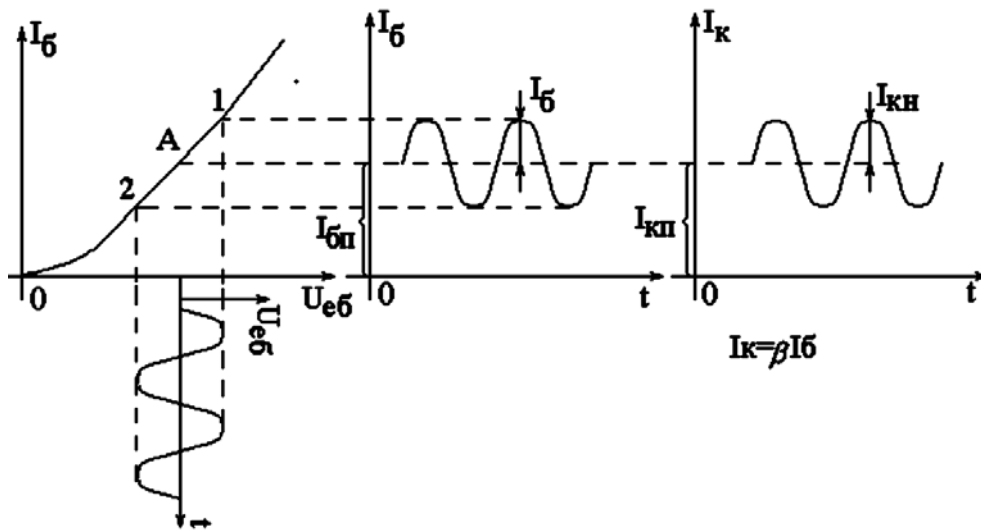


Рис. 6.2. Вхідна ВАХ транзистора

При подаванні визначеної напруги зміщення $U_{бзп}$ (або при протіканні визначеного струму бази $I_{бп}$) визначається робоча точка на вхідній характеристиці, тим самим визначається і початковий колекторний струм $I_{кп}$.

При подаванні вхідного сигналу напруга керуючого переходу змінюється, а робоча точка переміщається в проміжку між точками 1 і 2 та своїми проекціями на вісь ординат накреслює $I_{бм}$ змінної складової струму бази. На цьому ж рисунку показаний і колекторний струм спокою $I_{кп}$, і амплітуда $I_{км}$ його змінної складової.

Вибір робочої точки тісно пов'язаний з амплітудою сигналу, що підсилюється, при значній амплітуді вхідного сигналу робоча точка повинна бути праворуч на вхідній характеристиці.

При незначній амплітуді вхідного сигналу неефективно вибирати робочу точку занадто далеко, окрім того, при цьому зменшується вхідний опір.

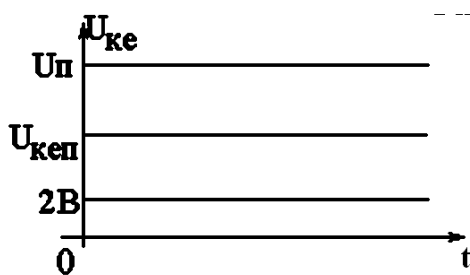


Рис. 6.3. Вибір робочої точки

На практиці в малопотужних лінійних транзисторних підсилювачах часто рекомендується робоча точка $I_{кп}=1\text{mA}$ і $U_{кеп}=1-3\text{V}$. При такому виборі підсилювальний каскад має оптимальні параметри (коефіцієнт підсилення K , вхідний опір та ін.). В цьому режимі при використанні транзисторів з $K=100-150$ можна отримати $K_u=50-100$, $K_i=100-150$, $K_p=2000-6000$.

Правильний вибір робочої точки можна виконати таким чином (див. рис. 6.3).

На графіку відображають прямі, що відповідають напрузі живлення $U_{жив}$ (відповідає максимальній вихідній напрузі каскаду) і мінімальній напрузі $U_{кз}$, наприклад, 2В (відповідає мінімальній вихідній напрузі каскаду). Робочу точку вибирають посередині ділянки між цими двома лініями.

Це дає можливість подавати на вхід каскаду і знімати з його виходу максимальні сигнали. Розглянемо, як працює схема з від'ємним зворотним зв'язком, що зображена на рис. 6.1, і яка досліджується в даній роботі.

Тут напруга зміщення транзистора забезпечується подільником R1-R2 і емітерним опором R4. Крім того, емітерний опір забезпечує і від'ємний зворотний зв'язок, який поліпшує температурну стабільність каскаду.

В режимі спокою тут протікають три струми:

- струм подільника I_d ;
- струм бази $I_{бп}$;
- колекторний струм $I_{кп}$.

Напруга зміщення транзистора $U_{бэп}$ дорівнює різниці між падінням напруги на R2 і R4. В нормальному режимі вона складає для кремнієвих транзисторів 0,4-0,8В. Конденсатор C3 повинен мати достатньо велику ємність, оскільки через нього проходить як вхідний, так і вихідний змінний сигнал, і для них він повинен мати дуже маленький опір. Таким чином, резистор R4 вимкнений з кола змінного струму, тому що шунтується зовсім малим опором конденсатора C3.

Струм через подільник вибирається звичайно в 2-10 разів більшим, ніж струм спокою бази $I_{бп}$.

Найчастіше R1 від 10 кОм до 100 кОм, а R2 від 3 кОм до 20 кОм.

Колекторна напруга в усіх випадках не повинна бути меншою, ніж 1-2В.

Розрахуємо коефіцієнт підсилення за напругою (K) каскаду, що зображений на рис.6.1. Напруга вхідного сигналу від генератора надходить через роздільний конденсатор C1 на базу транзистора VT1 і викликає три струми. Два, що проходять через резистори R1 і R2 подільника, і третій I_b , що проходить в колі бази транзистора і керує його струмами.

Вхідним опором каскаду для генератора, що має внутрішній опір R_i , і паралельно ввімкнені резистори базового подільника R1 і R2 і вхідний опір транзистора ($R_{тр}$). Звичайно опори R1 і R2 значно більші за $R_{тр}$ і тому вхідний опір каскаду $R_{вх} > R_{тр}$.

Колом генератора вхідного сигналу, яким може бути каскад попереднього підсилення, що аналогічний вище розглянутому, в загальному випадку є послідовно ввімкнені внутрішній опір генератора (R_i) і вхідний опір $R_{вх}$ каскаду.

Таким чином, змінна складова струму бази:

$$I_b = U_{вх} / (R_i + R_{вх}).$$

Тоді змінна складова струму колектора:

$$I_k = \beta I_b = \beta U_{вх} / (R_i + R_{вх}).$$

Напруга на колекторі, що є вихідною напругою :

$$U_{кэ} = I_k R_3 = \beta U_{вх} R_3 / (R_i + R_{вх}).$$

Тоді коефіцієнт підсилення напруги:

$$K = U_{вих} / U_{вх} = \beta R_3 / (R_i + R_{тр}).$$

Цей параметр підсилювача залежить від частоти і амплітуди сигналу, що підсилюється. Це пояснюється тим, що з пониженням частоти, падіння напруги на конденсаторах C_1 і C_2 під дією вхідного і вихідного струмів збільшується, і це є втратою напруги сигналу, а конденсатор C_3 все менше шунтує резистор R_4 , що збільшує повний опір емітерного кола транзистора, отже, зменшує коефіцієнт підсилення за напругою K .

Знаючи параметри транзистора в робочій точці, можна розрахувати опір резисторів R_1 і R_2 базового подільника. Струм спокою колектора:

$$I_{кп} = (U_{жив} - U_{вих.н}) / R_3,$$

де $U_{жив}$ - напруга живлення.

Струм емітера приблизно дорівнює струму колектора $I_{еп} = I_{кп}$.

При цьому падіння напруги на резисторі в емітерному колі:

$$R_4 = I_{еп} R_4.$$

Потенціал бази в стані спокою дорівнює сумі падіння напруги на резисторі R_4 і напруги $U_{бэп}$. Оскільки транзистор знаходиться в лінійному режимі, можна приблизно вважати $U_{бэп} = 0.6$ В.

Тоді:

$$U_b = I_{еп} R_4 + 0.6.$$

Знаючи U_b і струм подільника $I_{под}$, можна знайти значення резистора R_2 :

$$R_2 = U_b / I_{под}.$$

Аналогічно: $R_1 = (U_{жив} - U_b) / I_{под}.$

Для оцінювання впливу частоти сигналу на коефіцієнт підсилення за напругою використовують амплітудно-частотну характеристику (АЧХ)

підсилювача, тобто залежність модуля коефіцієнта підсилення від частоти вхідного сигналу.

Смугою пропускання підсилювача називають інтервал частот f , в межах якого коефіцієнт підсилення знижується не більше, ніж на 3дБ (до рівня 0.707) по відношенню до його значення на середніх частотах (для підсилювача звукової частоти: 400-1000 Гц).

Велике значення має також амплітудна характеристика, що показує залежність вихідного сигналу $U_{вих}$ від вхідного $U_{вх}$.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Накреслити електричну схему підсилювача (рис. 6.4). Встановити мікромакет з каскадом, який досліджується.

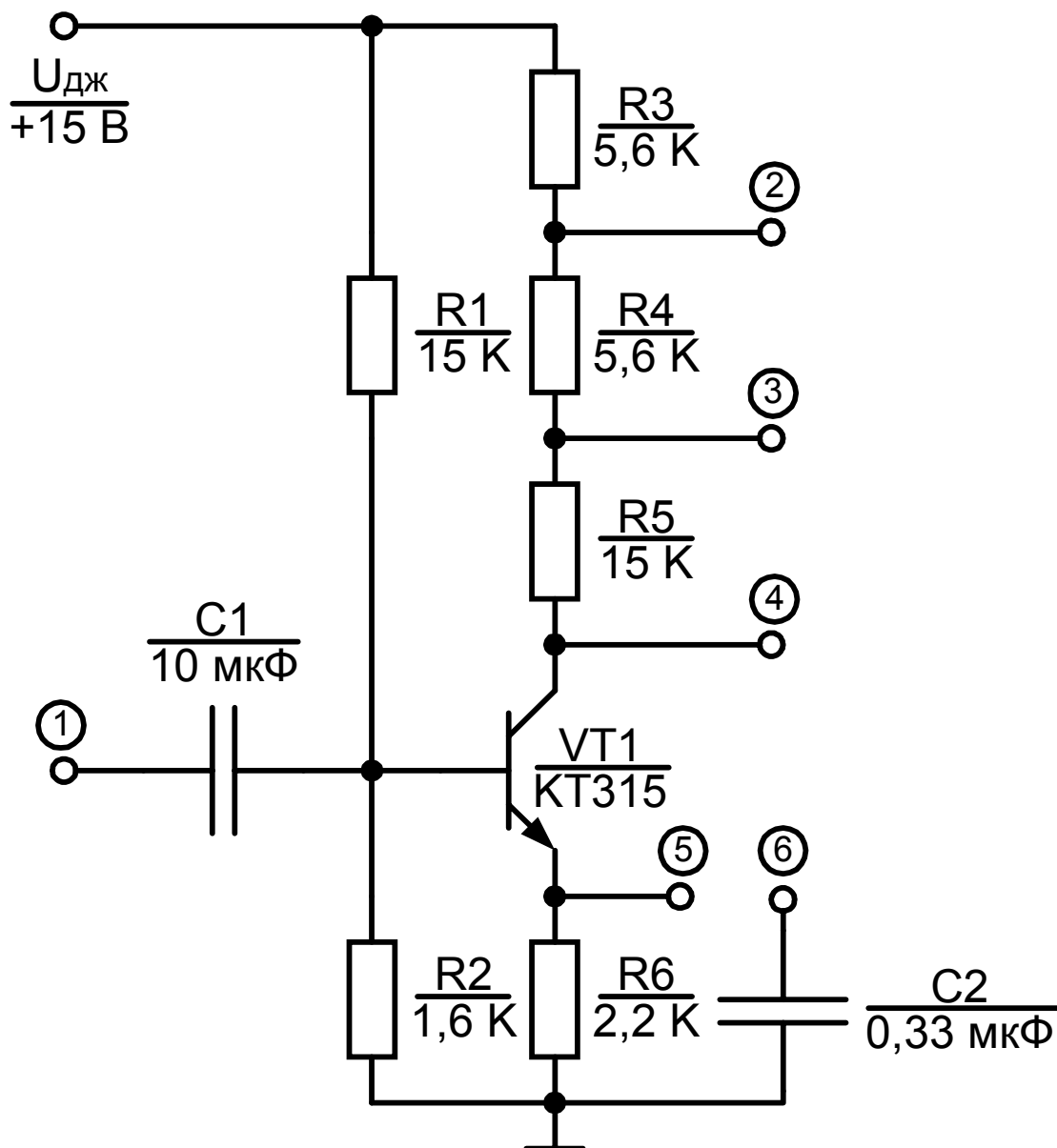


Рис. 6.4. Електрична схема

підсилювача

2. Визначити робочу точку каскаду, тобто напругу на виході $U_{вих.п}$ при відсутності вхідного сигналу.

3. Виміряти постійну напругу U_k , U_e .

4. Зняти амплітудну характеристику - зарисувати осцилограму вихідного сигналу (в точці 4) при сигналі на вході схеми синусоїдальної форми з амплітудою 0,1В на частоті 1кГц для значень вихідного сигналу

в трьох випадках:

- а) при відсутності перемичок;
- б) при встановленні перемички 2-3;
- в) при встановленні перемички 3-4.

Порівняти отримані результати.

Коефіцієнти підсилення розраховується за формулами:

$$K_{\text{розр.}} \approx R_k / R_e ;$$

$$|K_{\text{вим.}}| = U_{\text{вих.}\sim} / U_{\text{вх.}\sim} .$$

5. Зарисувати осцилограму вихідного сигналу (в точці 4) при встановленні перемички 5-6.

6. Зняти АЧХ підсилювача, результати занести в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

	Без перемички	Перемичка 2–3	Перемичка 3–4	Перемичка 5–6
Крозр.				
Квим.				
Гзр.				

7. Використовуючи визначену в п. 2 робочу точку, значення опорів $R_3=R_4=5,6 \text{ кОм}$, $R_5=15 \text{ кОм}$, $R_6=2,2 \text{ кОм}$, струм подільника $0,9 \text{ мА}$, а також напругу живлення 15 В , розрахувати значення опорів R_1 і R_2 .

2. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗВОРОТНИХ

ЗВ'ЯЗКІВ ПІДСИЛЮВАЧА

ЗВУКОВОЇ ЧАСТОТИ

МЕТА РОБОТИ: вивчення впливу зворотних зв'язків на роботу двокаскадного підсилювача звукової частоти.

В процесі підсилювання сигнал спотворюється, тобто змінюється його форма і частотний спектр. Причиною цього є нелінійність вольт-амперних характеристик транзисторів, що проявляється при підсиленні сигналів великих амплітуд, а також частотна залежність опорів роздільних та шунтувальних конденсаторів. Спотворення зменшуються, коли робочі точки підсилювальних елементів залишаються в межах лінійних ділянок ВАХ, а також при використанні конденсаторів більшої ємності.

Основними вимогами до підсилювачів звукової частоти (ПЗЧ) є мінімальні нелінійні та частотні спотворення при достатньому коефіцієнті підсилення, великий вхідний опір та малий вихідний опір. Виконати ці вимоги дозволяють зворотні зв'язки (ЗЗ). ЗЗ можуть здійснюватися в межах одного каскаду – внутрішньокаскадні ЗЗ, а також між виходом будь-якого наступного каскаду (в тому числі останнього) і входом будь-якого попереднього (в тому числі першого).

Дія зворотних зв'язків полягає в наступному. Сигнал, що надійшов на вхід підсилювача через коло зворотного зв'язку, несе інформацію про його роботу та всіх видах спотворень, так він впливає на вхідний сигнал, спотворюючи його, внаслідок додавання, що в вихідному сигналі ці спотворення або збільшуються, або зменшуються. Якщо сигнал зворотного зв'язку збігається за фазою з вхідним сигналом, то всі спотворення, що вносяться підсилювачем, збільшуються. Такий зворотний зв'язок називають додатним (ДЗЗ). Якщо сигнал зворотного зв'язку протилежний за фазою з вхідним сигналом, всі спотворення зменшуються. Такий зворотний зв'язок називають від'ємним (ВЗЗ).

Додатний зворотний зв'язок збільшує коефіцієнт підсилення

підсилювача:

$$K_{дзз} = K / (1 - K b),$$

де b - коефіцієнт передачі кола з ЗЗ;

K - коефіцієнт підсилення підсилювача без ЗЗ.

Від'ємний зворотний зв'язок зменшує коефіцієнт підсилення підсилювача:

$$K_{взз} = K / (1 + K b),$$

де b - коефіцієнт передачі кола з ЗЗ;

K - коефіцієнт підсилення підсилювача без ЗЗ.

При ДЗЗ всі параметри підсилювача погіршуються: зростають нелінійні та частотні спотворення, знижується температурна стабільність режимів підсилювальних елементів, зменшується вхідний і збільшується вихідний опір схеми. При $Kb=1$ знаменник в формулі $K_{дзз}$ дорівнює нулю, а $K_{дзз}$ прямує до нескінченності. Фізично це означає, що нескінченно мала випадкова зміна напруги на вході підсилювача приводить до появи на його виході значного сигналу, який обмежений тільки потужністю джерела живлення та граничними параметрами підсилювальних елементів. При цьому підсилювач самозбуджується, перетворюючись в генератор напруги складної несинусоїдальної форми.

Звичайно додатні зворотні зв'язки в підсилювачах паразитні і виникають при невірному виконаному монтажі. Вірогідність самозбудження підсилювача тим вища, чим більший коефіцієнт підсилення.

Самозбудження можливо попередити введенням додаткового кола ВЗЗ або збільшенням глибини існуючих кіл. Але спочатку визначають причину, що викликає самозбудження підсилювача, усувають її і тільки потім введенням від'ємного зворотного зв'язку збільшують стійкість підсилювача, доводячи його параметри до заданих.

Від'ємний зворотний зв'язок покращує всі параметри підсилювача, крім коефіцієнта підсилення, який зменшується. Вплив ВЗЗ на вхідний і вихідний опір залежить від засобу подачі сигналу ВЗЗ на вхід підсилювача по відношенню до вхідного сигналу, а також від того, якому з параметрів вихідного сигналу (струму або напругі) він пропорційний.

При паралельному способі подачі сигналу ВЗЗ вхідний опір підсилювача зменшується, а при послідовному - збільшується. В залежності від того, чи пропорційний сигнал ВЗЗ вхідній напрузі (ВЗЗ за напругою), чи вихідному струму, вихідний опір підсилювача, відповідно, зменшується або збільшується.

В даній лабораторній роботі досліджується двокаскадний підсилювач низької частоти з двома колами зворотного зв'язку.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Дослідити роботу підсилювача без зворотних зв'язків:
 - а) подати на вхід 1 сигнал частотою 2 кГц і амплітудою 0,1В;
 - б) осцилографом зняти сигнали з виходів 7 і 8. Зарисувати осцилограми сигналів у масштабі. Визначити Кп.
2. Дослідити роботу підсилювача з від'ємним зворотним зв'язком:
 - а) з'єднати виходи 8 і 9;

б) змінюючи опір R16, дослідити залежність Кп від значення R16, зарисувати три осцилограми в масштабі;

в) виміряти три значення опору зворотного зв'язку - опір між виводами 9 і 11.
3. Дослідити роботу підсилювача з додатним зворотним зв'язком:
 - а) з'єднати виходи 7 і 10;
 - б) змінюючи опір R17, провести дослідження залежності Кп від значення R17, зарисувати три осцилограми в масштабі;
 - в) провести вимірювання трьох значень опору зворотного зв'язку між виводами 10 і 11.
4. Компенсувати ВЗЗ і ДЗЗ. Провести вимірювання опорів ВЗЗ і ДЗЗ. При цьому одночасно з'єднайте виводи 7 і 9, 8 і 10, відповідно.
5. Висновки.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Які переваги мають каскади підсилювання напруги звукової частоти, що виконані на транзисторах і ввімкнені з ЗЕ, в порівнянні з іншими?
2. Підсилювач на біполярному транзисторі з ЗЕ. Структурна схема. Принцип роботи.
3. Правила, якими керуються при виборі робочої точки.

4. Амплітудно-частотна характеристика підсилювача, смуга пропускання підсилювача.
5. Розрахунок опорів базового підсилювача при заданих параметрах схеми ($U_{вих}$, R_3 , R_4 , R_5 , R_6 , I_p , $U_{жив}$).
6. Додатний зворотний зв'язок, його вплив на роботу підсилювача.
7. Від'ємний зворотний зв'язок, його вплив на роботу підсилювача.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДСИЛЮВАЧА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

МЕТА РОБОТИ: вивчення принципу дії диференціального підсилювача постійного струму (ППС) та набуття навичок його балансування; зняття та аналіз амплітудних характеристик.

Підсилювачі постійного струму служать для підсилення сигналів у діапазоні частот від $F=0$ (постійний струм) до частоти F_{max} , що визначається частотними властивостями транзисторів. Ця частота може досягати сотень мегагерц.

ППС, що досліджується в даній роботі (див. рис. 7.1), виконаний за паралельно-балансною схемою.

Такі ППС також носять назву диференціальних, оскільки їх вхідна напруга пропорційна різниці потенціалів на входах.

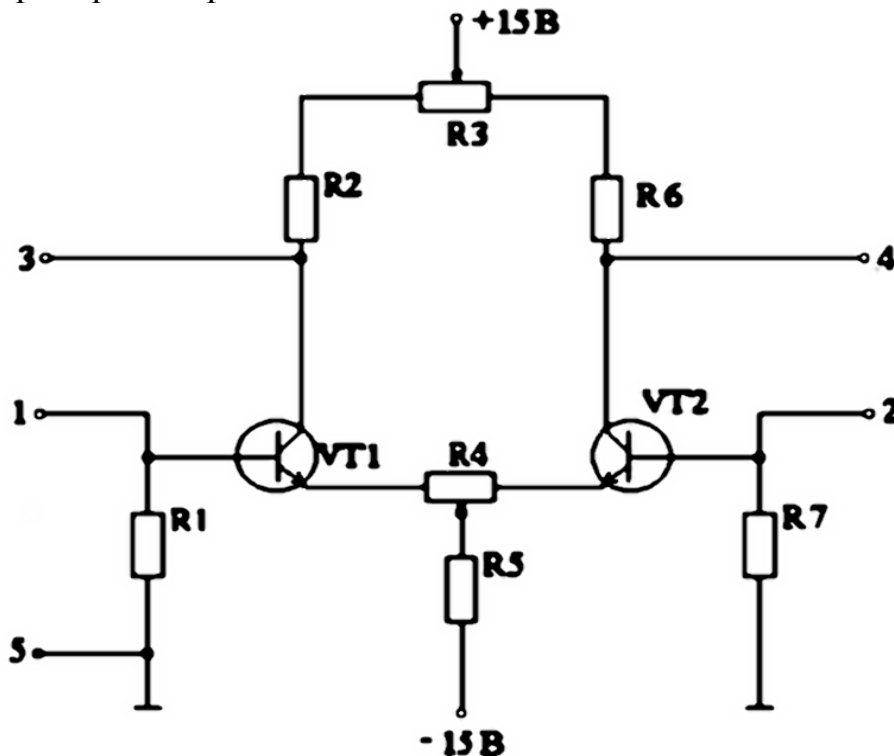


Рис. 7.1. Підсилювач постійного струму

Найкращою, з точки зору мінімального дрейфу, є схема ППС з

симетричними входом та виходом. Вхідний сигнал подається на ізольовані від корпусу затискачі 1 і 2, а вихідний знімається також з ізольованих від корпусу затискачів 3 та 4. Напруга на затискачах 1 та 2 перетворюється у вхідні струми:

$$I_{vx1}=U_{vx1}/R1; \quad I_{vx2}=U_{vx2}/R7.$$

У колекторні кола під'єднують резистори R2 і R6, що мають однакові опори.

Потенціометр R3 призначений для встановлення нуля на виході ППС при нульовому вхідному сигналі. Потенціометр R4 служить для виконання аналогічних функцій і, крім того, для вирівнювання неоднакових опорів емітерних областей та створення невеликого за глибиною від'ємного зворотного зв'язку (ВЗЗ), що додатково стабілізує режим транзисторів. Резистор R5 призначений для емітерної стабілізації робочих точок транзисторів, що понижує дрейф нуля.

Висока стабільність схеми пояснюються тим, що при зміні напруги джерела живлення або при однакових змінах параметрів транзисторів потенціали обох колекторів отримують однаковий приріст, тобто $U_{vx1} = U_{vx2} - U_{k2} = 0$. В реальних схемах завжди є деяка асиметрія плечей моста, тому існує деяка нестабільність (дрейф) нуля, тобто U_{vx1} не дорівнює 0.

При наявності вхідного сигналу (в найпростішому випадку його подають між входами 1 і 2) базовий струм одного з транзисторів зменшується, при цьому опір проміжку колектор-емітер збільшується, одночасно базовий струм другого транзистора збільшується, а опір проміжку колектор-емітер зменшується, на виході схеми з'являється сигнал. Вхідний сигнал зворотної полярності викликає появу на виході схеми сигналу такої ж полярності. Таким чином, вихідний сигнал вміщує інформацію не тільки про значення вхідного сигналу, а і про його знак. При повній симетрії схеми дрейф вихідних напруг окремих вихідних каскадів будують однаковим. Тому на навантаженні, що під'єднане до входів 3 і 4, дрейфу не буде взагалі.

Перед початком роботи схема повинна бути збалансована, для чого необхідно:

- встановити ручки потенціометрів R3 та R4 в середнє положення;
- під'єднати до гнізд 3 і 4 схеми вольтметр із граничним значенням шкали, що дорівнює 15В, та закоротити гнізда 1 та 2;

- встановити потенціометром R5 або R6 необхідну напругу на виході ППС, одночасно перемкнути вольтметр на більш чутливі границі.

При вмиканні до гнізда 1 додатного полюсу джерела вхідного

сигналу, а до гнізда 2 – від’ємного струм буде проходити по такому колу: гніздо 1, база-емітер VT1, резистор R4, резистор R5. Цим струмом транзистор VT2 буде закриватись, і додатна напруга на його колекторі почне зростати, а транзистор VT1 буде відкриватись, і додатна напруга на його колекторі буде зменшуватись. В такому випадку вольтметр для вимірювання вихідної напруги при встановленні полярності вхідного сигналу варто під’єднати плюсом до гнізда 3, а мінусом до гнізда 4.

При деякому вхідному сигналі транзистор VT2 починає закриватись, а транзистор VT1 буде в режимі насичення, тобто припиниться дія вхідного сигналу на ППС. Цьому стану схеми відповідають напруги $+U_{вихmax}$ і $-U_{вихmax}$, які обмежують лінійну ділянку амплітудної характеристики, в межах якої коефіцієнт підсилення напруги є постійним.

Для паралельно-балансної схеми розрізняють чотири окремих коефіцієнти підсилення:

$$K_{11} = \Delta U_{k1} / \Delta U_{vx1}; \quad K_{12} = \Delta U_{k2} / \Delta U_{vx1};$$

$$K_{21} = \Delta U_{k2} / \Delta U_{vx2}; \quad K_{22} = \Delta U_{k1} / \Delta U_{vx2}.$$

Диференціальний коефіцієнт підсилення каскаду незалежно від способу передавання вхідного сигналу дорівнює:

$$K = (\Delta U_{k1} - \Delta U_{k2}) / (\Delta U_{vx1} - \Delta U_{vx2}) = U_{вих} / U_{vx}.$$

У режимі холостого ходу:

$$K_{х.х.} = (\beta R_k) / (r_b + (r_e + R_e)(\beta - 1)) \approx R_k / R_e;$$

де β , r_b , r_e - фізичні еквівалентні параметри транзистора за схемою з загальним емітером;

R_k , R_e – відповідно, опори колекторного й емітерного кіл.

В режимі навантаження:

$$K_n = K_{х.х.} \cdot R_n / (R_{вих} + R_n).$$

Якщо R_n ввімкнений між колекторами, то $R_{вих} \approx 2 R_k$.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вставити мікромaket диференціального підсилювача в роз’єм НЛП і збалансувати схему.

2. Під’єднати до гнізд 1 та 5 генератор напруги та осцилограф. Домогтися, щоб на осцилографі з’явився вхідний синусоїдальний сигнал, амплітуда якого до 1В. Зарисувати показання осцилографа (частота сигналу 1кГц).

3. До другого входу диференціального каскаду (гніздо 2) під’єднати джерело змінної напруги та відрегулювати ним каскад для отримання

максимальної амплітуди сигналу.

4. Під'єднати осцилограф до гнізд 3 і 5, домогтися стійкої синхронізації сигналу. Зняти і зарисувати показання осцилографа.

5. Під'єднати осцилограф до гнізд 3 і 4, домогтися стійкої синхронізації сигналу. Зняти та зарисувати показання осцилографа.

6. Змінюючи частоту генератора, знайти максимальне значення частоти $F_{\max}$, коли спад сигналу АЧХ складає 3 дБ (0.707), зняти АЧХ.

7. Визначити коефіцієнт підсилення даної схеми (теоретично й експериментально).

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

1. Лабораторні роботи виконуються на стенді НЛП “Схемотехніка” з використанням мікромакета “Диференціальний підсилювач”.

В мікромакеті використовуються елементи таких номіналів:

а) резистори:

$R1 = R7 = 10 \text{ кОм};$

$R2 = R5 = R6 = 15 \text{ кОм};$

$R3 = R4 = 3.3 \text{ кОм (змінний)};$

б) транзистори:

VT1, VT2 - КТ315Д.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Які особливості схеми ППС?
2. Що таке дрейф нуля?
3. Що таке синфазний сигнал?
4. Які причини й основні способи зменшення дрейфу нуля?
5. Які параметри транзистора залежать від температури навколишнього середовища?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЛЬТРІВ

МЕТА РОБОТИ: дослідити фільтри, зняти перехідні характеристики.

ФІЛЬТР НИЗЬКИХ ЧАСТОТ

Фільтр низьких частот є схемою, яка без змін передає сигнали нижніх частот, а на високих частотах забезпечує затухання сигналів і затримку їх за фазою відносно до вхідних сигналів. На рис. 8.1 зображена схема простого RC-фільтра нижніх частот.

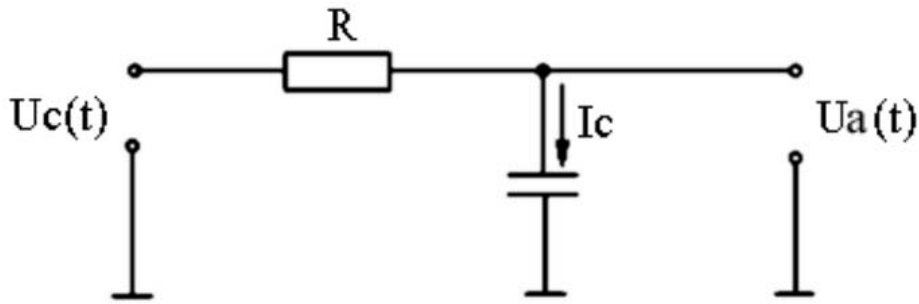


Рис. 8.1. Простий фільтр низьких частот

Опис в частотній області

Для розрахунку частотної характеристики схеми застосуємо формулу відношення напруг, що зображені в комплексній формі:

$$A(j\omega) = U_a/U_c = (1/j\omega C)/(R + 1/j\omega C) = 1/(1 + j\omega RC). \quad (8.1)$$

Звідси, врахувавши, що $A = |A|$, отримаємо:

$$|A| = \frac{1}{\sqrt{(1 + \omega^2 R^2 C^2)}}; \quad \varphi = -\arctg RC. \quad (8.2)$$

Обидві залежності представлені на рис. 8.2, а, б.

$$U_a(t) = U_R(1 - e^{-t/RC}), \quad U_a(t) = U_R(e^{-t/RC})$$

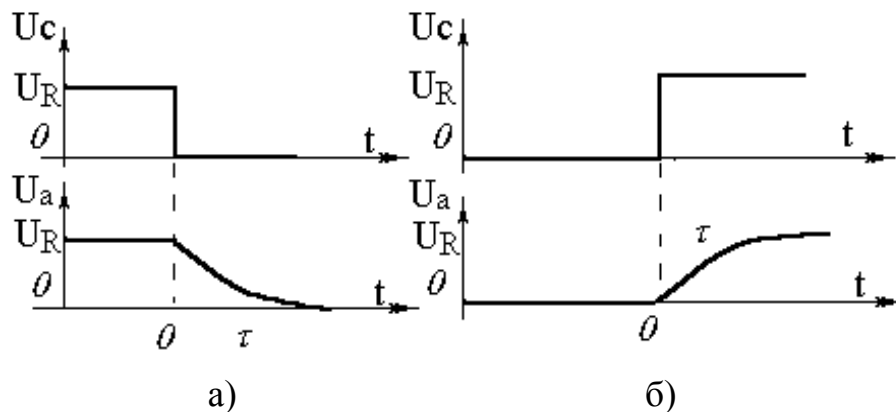


Рис. 8.2

Нехай:

$$|A| = \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{(1 + \omega_{зр}^2 R^2 C^2)}};$$

отримаємо формулу для частоти зрізу:

$$f_{зр} = (1/2\pi)\omega_{зр} = 1/2\pi RC. \quad (8.3)$$

Фазовий зсув на цій частоті, з формули (8.2), дорівнює - 45°.

Як видно з рис. 8.2 амплітудно-частотну характеристику найбільш просто скласти з двох асимптот:

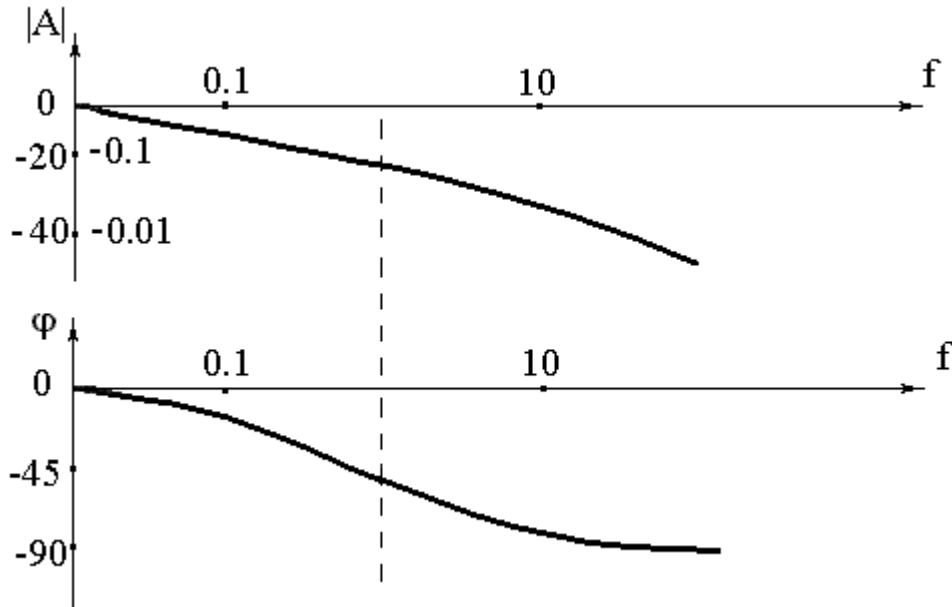


Рис. 8.3. АЧХ та ФЧХ для фільтра низьких частот

- 1). $|A|=1=0$ дБ на низьких частотах $f \ll f_{зр}$.
- 2). На високих частотах $f \gg f_{зр}$ з формули (8.2); $|A|=1/RC$, тобто коефіцієнт підсилення обернено пропорційний частоті. При збільшенні частоти в 10 разів коефіцієнт підсилення зменшується в 10 разів, тобто він зменшується на 20 дБ на декаду або на 6 дБ на октаву.
- 3). $|A|=1/2=-3$ дБ при $f=f_{зр}$.

Опис в часовій області

Для аналізу схеми в часовій області подамо на вхід цієї схеми імпульс напруги (рис. 8.2). Щоб розрахувати вихідну напругу, застосуємо правило вузлів до навантаженого виходу, тоді для схеми, що зображена на рис. 8.1, запишемо:

$$(U_c - U_a)/R - I_c = 0.$$

Враховуючи, що $I_c = CU_a$, отримаємо диференціальне рівняння:

$$RCU_a = U_c = U_r \quad \text{при } t > 0, \text{ рис. 8.3, а;} \quad (8.4)$$

$$RCU_a = U_c = 0 \quad \text{при } t < 0, \text{ рис. 8.3, б;}$$

$$U_c(t) = U_r(1 - e^{(-t/RC)}); \quad U_a(t) = U_r e^{(-t/RC)}.$$

(8.5)

До кінцевих значень $U_a=U_r$ і $U_a=0$ криві будуть зображатися асимптотично. Тому, як міра часу усталення вихідної напруги прийнята постійна часу. Вона показує час, протягом якого процес досягає значення, яке відрізняється від кінцевого на $1/e$ частину величини стрибка напруги на вході. З формули (8.5) бачимо, що постійна часу дорівнює:

$$\tau=RC. \quad (8.6)$$

Час встановлення вихідної напруги також можна знайти приблизно з формули (8.5).

Якщо на вхід прикладена напруга прямокутної форми з періодом T , то експоненційна функція переривається через кожну половину періоду. Яке значення при цьому буде досягнуто, залежить від співвідношення $T/2$ і τ .

Частота фронту імпульсу та частота зрізу фільтра

Другим параметром, що характеризує тривалість фронту імпульсу є параметр, який вказує на час, протягом якого вихідна напруга зростає від 10 до 90 % кінцевого значення, якщо на вхід подати імпульс напруги прямокутної форми. Враховуючи властивості експоненційної функції, із формули (8.5) отримаємо:

$$t_a=t(90\%)-t(10\%) = \tau(\ln 0.9-\ln 0.1)=\tau \ln 9=2.2\tau.$$

$$\text{При } f_{зр}=1/2\pi\tau; \quad \tau_a \approx f_{зр}/3. \quad (8.7)$$

Це співвідношення з більшою точністю дійсне для фільтра низьких частот.

При послідовному з'єднанні n фільтрів низьких частот, в яких забезпечується різна тривалість фронту вихідного імпульсу t_{ai} , підсумкова довжина фронту імпульсу дорівнює:

$$t_a = \sqrt{\sum_{i=1}^n (t_{ai})^2}. \quad (8.8)$$

Частота зрізу приблизно знаходиться як:

$$f_{зр} = \left(\sum_{i=1}^n f_{зpi}^{-2} \right)^{-\frac{1}{2}}.$$

Для випадку n фільтрів з однаковими частотами зрізу:

$$f_{3p} = \frac{f_{3pi}}{\sqrt{n}} m. \quad (8.9)$$

ФІЛЬТР ВИСОКИХ ЧАСТОТ

Фільтр високих частот - це схема, яка передає без зміни сигнали на високих частотах, а на низьких частотах забезпечує затухання сигналів та випередження їх за фазою відносно до вхідних сигналів. Схема простого RC-фільтра високих частот наведена на рис. 8.4.

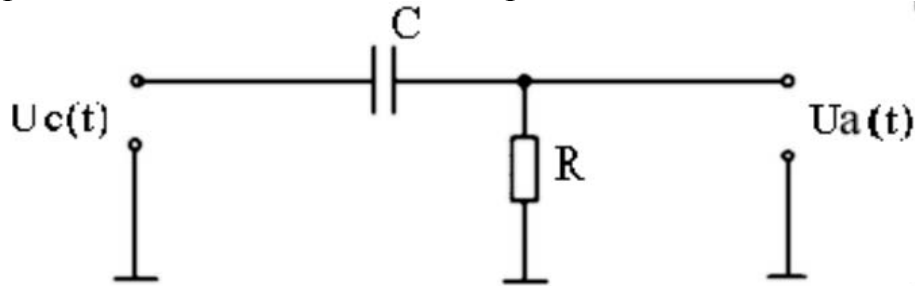


Рис. 8.4. Простий фільтр високих частот

Амплітудно-частотну та фазочастотну характеристики (рис. 8.5) знову отримаємо з формули для співвідношення напруг:

$$A(j\omega) = U_a/U_c = R/(R + 1/j\omega C) = 1/(1 + j\omega RC). \quad (8.10)$$

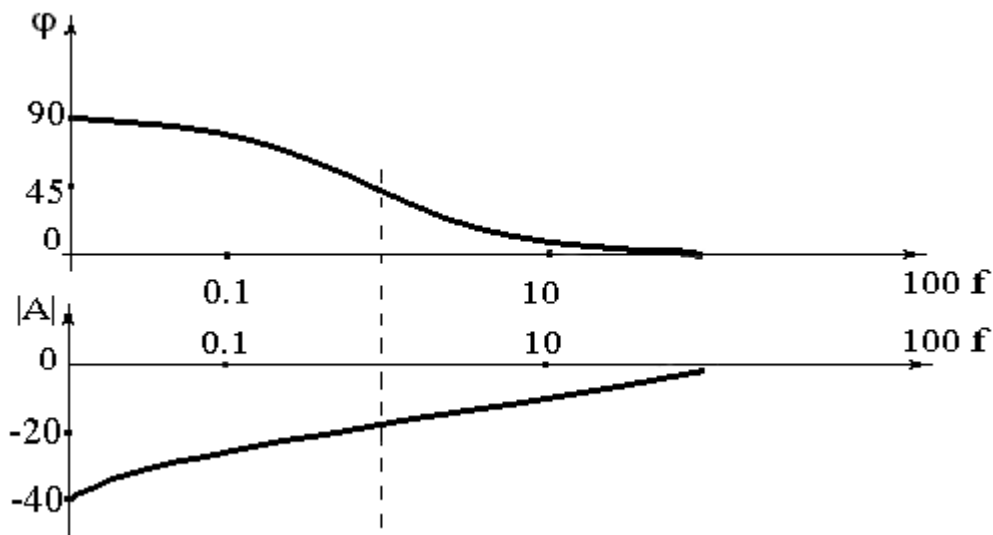


Рис. 8.5. АЧХ та ФЧХ для фільтра високих частот

Звідси знаходимо: $|A| = \frac{1}{\sqrt{(1 + 1/\omega^2 R^2 C^2)}}$;

$$\varphi = \arctg(1/\omega RC). \quad (8.11)$$

Співвідношення для частоти зрізу збігається із співвідношенням для фільтра низьких частот:

$$f_{зр} = 1/2\pi RC. \quad (8.12)$$

Фазовий зсув на цій частоті складає $+45^\circ$. Як і для фільтра низьких частот, найбільш просто скласти амплітудно-частотну характеристику у подвійному логарифмічному масштабі за допомогою асимптот:

1). $|A|=1=0$ дБ на високих частотах $f \gg f_{зр}$.

2). На низьких частотах $f \ll f_{зр}$ (8.11). $|A|=RC$, тобто коефіцієнт підсилення пропорційний частоті. Нахил асимптоти дорівнює $+20$ дБ на декаду або $+6$ дБ на октаву.

3). При $f=f_{зр}$, як і для фільтра низьких частот, $|A|=1/\sqrt{2}=-3$ дБ.

Реакція фільтра високих частот на стрибок напруги наведена на рис. 8.6.

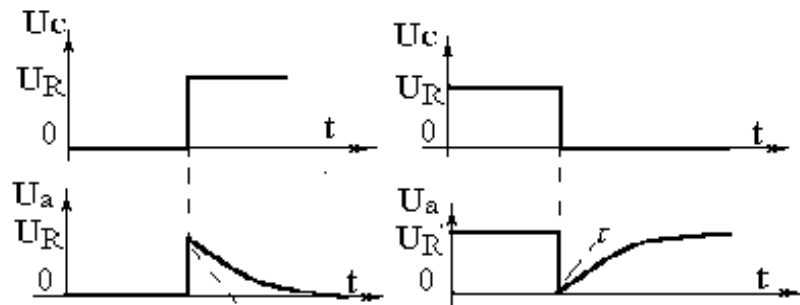


Рис. 8.6. Реакція фільтра високих частот на стрибок напруги

МІСТ ВІНА-РОБІНСОНА

Якщо смуговий фільтр, доповнити опорами $R1$ і $2R1$, то отримаємо міст Віна-Робінсона, що зображений на рис. 8.7.

Резистивний подільник напруги забезпечує частотну незалежну напругу, що дорівнює $1/3U_c$. При цьому на резонансній частоті вихідна напруга дорівнює нулю.

Схема використовується для генерування сигналів в обмеженій частотній області. Модуль та фазовий зсув знаходиться як:

$$\varphi = \arctg(3\Omega/(\Omega^2-1)), \Omega \neq 1.$$

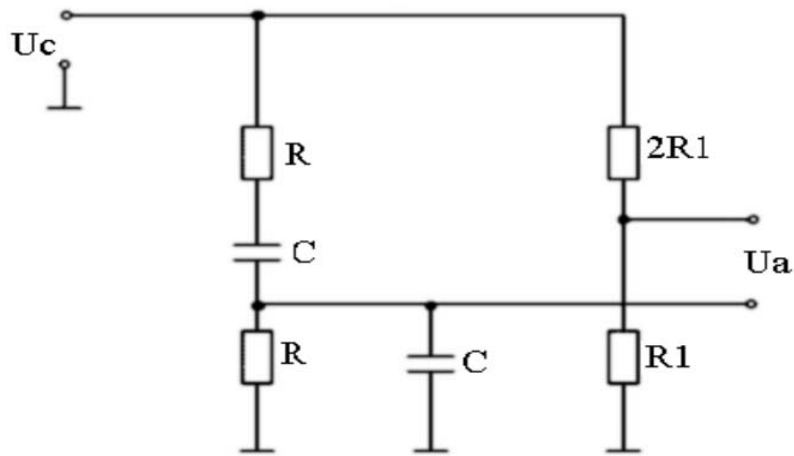


Рис. 8.7. Міст Віна-Робінсона

Графіки залежності $|A|$ і φ від частоти зображені на рис. 8.8.

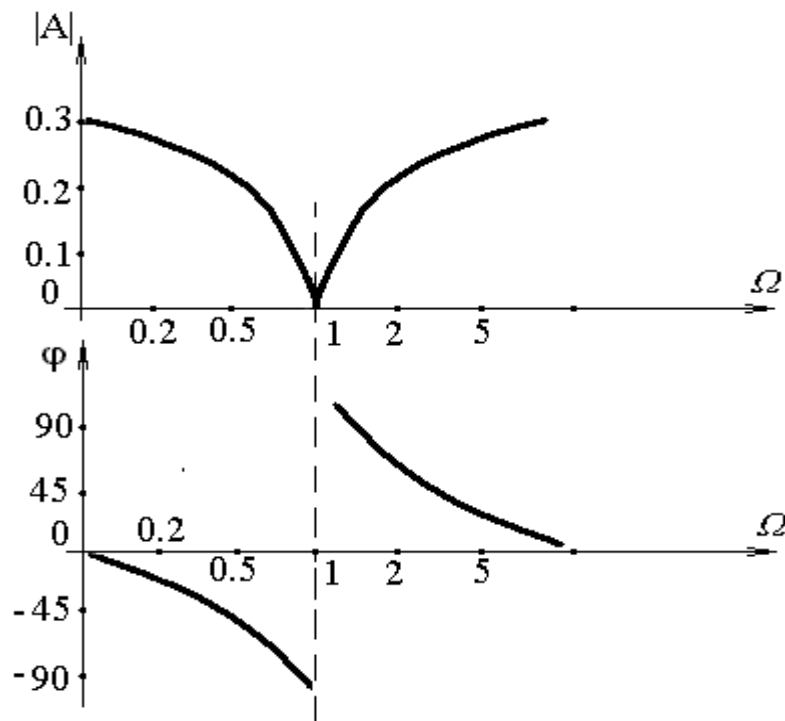


Рис. 8.8. АЧХ і ФЧХ моста Віна-Робінсона

ПОДВІЙНИЙ Т-ПОДІБНИЙ ФІЛЬТР

Подвійний Т-подібний фільтр (рис. 8.9) має частотну характеристику, яка ідентична характеристиці моста Віна-Робінсона.

На відміну від моста Віна-Робінсона вихідна напруга знімається відносно одного вузла. Для високих і низьких частот $U_a = U_e$. Сигнали високих і низьких частот будуть повністю передаватись через конденсатор C , а сигнали низьких частот - через резистор R .

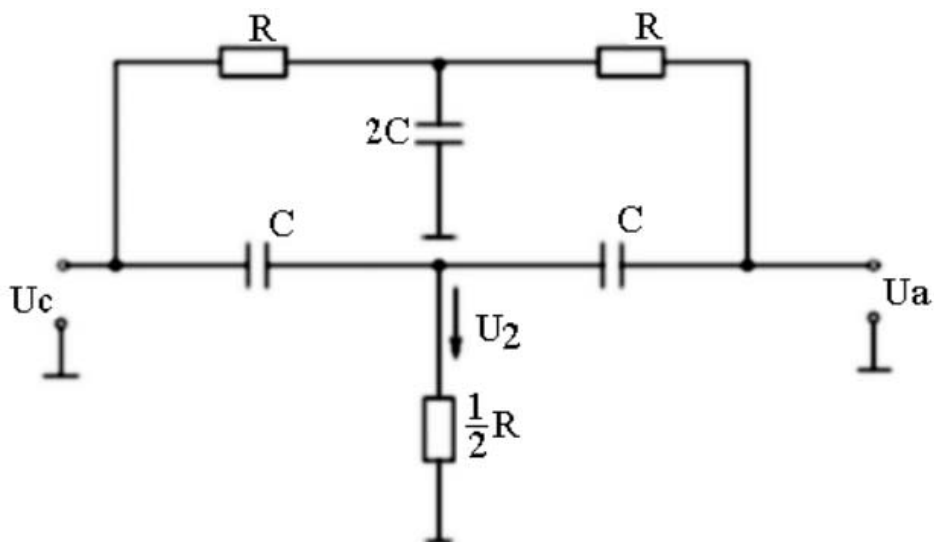


Рис.8.9. Подвійний Т – подібний фільтр

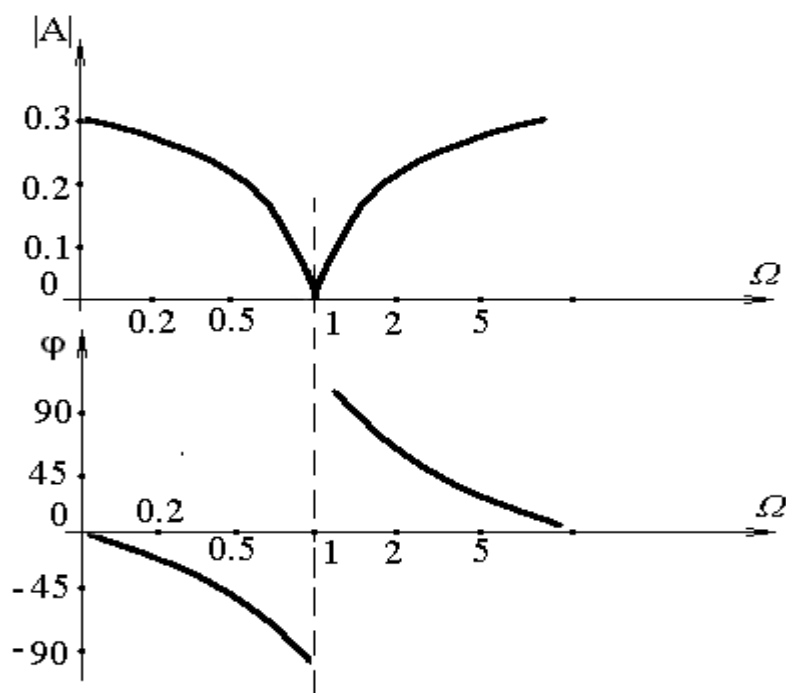


Рис. 8.10. АЧХ і ФЧХ подвійного Т-подібного фільтра

Модуль і фазовий зсув дорівнюють, відповідно:

$$|A| = \frac{(1 - \Omega^2)}{\sqrt{(1 - \Omega^2)^2 + 16\Omega^2}};$$

$$\varphi = \arctg(4\Omega/(\Omega^2 - 1)).$$

Графіки залежності $|A|$ і φ від частот зображені на рис. 8.10.

Фільтр Батерворта має плоску АЧХ в смузі пропускання і крутий спад в перехідній смузі. Перехідна характеристика має значні пульсації (рис. 8.11).

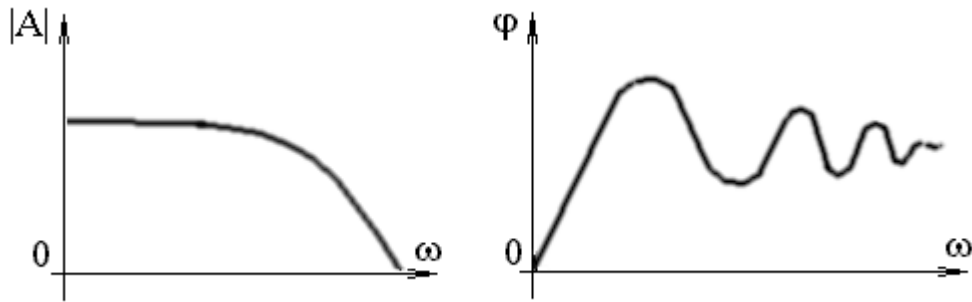


Рис. 8.11. АЧХ і ФЧХ фільтра Батерворта

Фільтр Чебишова має постійну нерівномірність в смузі пропускання. Перехідна характеристика має середні пульсації (рис. 8.12).

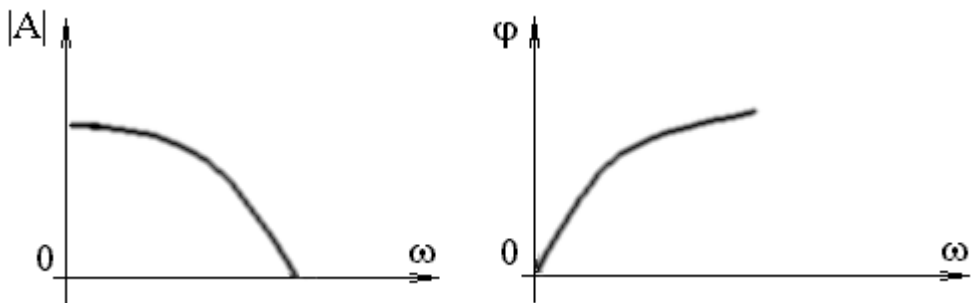


Рис. 8.12. АЧХ і ФЧХ фільтра Бесселя

Фільтр Бесселя має пологу АЧХ і оптимальну перехідну характеристику (рис. 8.13).

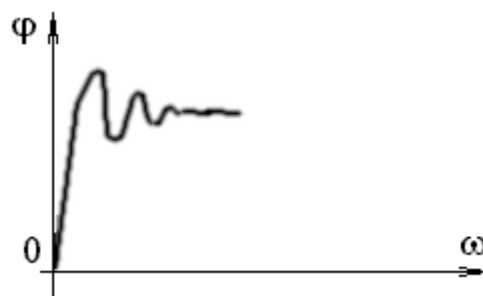


Рис. 8.13. АЧХ і ФЧХ фільтра Чебишова

Передаточна функція активного фільтра низьких частот, що зображений на рис. 8.14, має вигляд:

$$A(p) = (R_2/R_1) / (1 + \omega_z p C_1 (R_2 + R_3 + R_2 R_3 / R_1) + \omega_z^2 C_1 C_2 R_2 R_3 p^2).$$

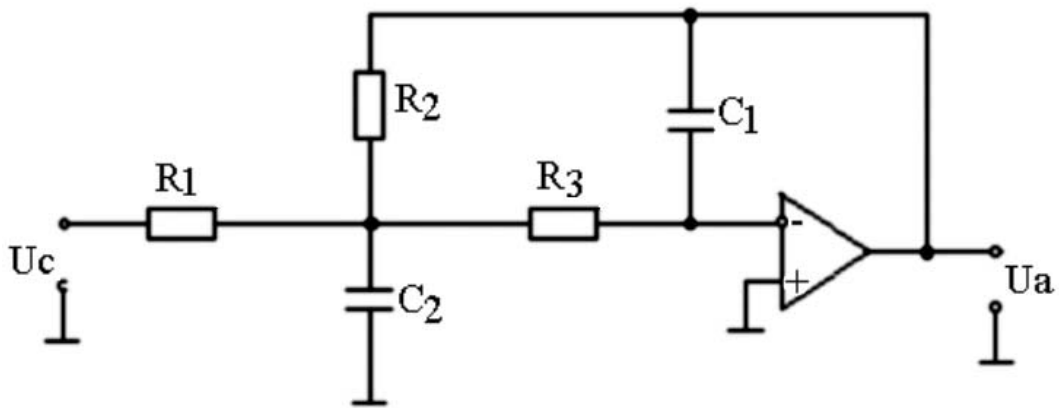


Рис. 8.14. Активний фільтр низьких частот другого порядку зі складним від'ємним зворотним зв'язком

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Під'єднати генератор до входу макета, для цього вихід генератора під'єднати до входу 1.
2. Зняти АЧХ всіх фільтрів. Для цього під'єднати осцилограф до виходу 1 на ФНЧ, до виходу 3 на ФВЧ, до виходу 5 для смугового фільтра, до виходу 7 для активного фільтра.
3. Для кожного фільтра знайти частоту зрізу та крутизну спаду.
4. Від генератора прямокутних імпульсів (зі стенда) подати прямокутні імпульси на вхід схеми. Зарисувати перехідні процеси та знайти постійну часу для всіх фільтрів.
5. Зробити висновки.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Які бувають типи фільтрів, їх властивості та характеристики.
2. Зарисувати перехідні характеристики ФВЧ і ФНЧ. Пояснити різницю.
3. Пояснити форму перехідного процесу для активного фільтра.
4. Як можна знайти частоту зрізу та постійну часу за АЧХ та за перехідною характеристикою?
5. Встановити зв'язок між частотою зрізу та постійною часу.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

ДОСЛІДЖЕННЯ МОСТОВОЇ СХЕМИ ВИПРЯМЛЯЧА

МЕТА РОБОТИ: дослідження однофазної мостової схеми випрямляча зі згладжувальним фільтром .

Випрямні пристрої (випрямлячі) відносять до вторинних джерел електроживлення. Вони використовуються для перетворення змінної напруги в постійну. Джерелом змінної напруги може бути мережа змінного струму з частотою 50Гц або перетворювач постійної напруги у змінну підвищеної частоти.

Випрямляч у більшості випадків складається з трансформатора живлення, що змінює напругу, комплекту вентилів, що випрямляють змінну напругу, та згладжувального фільтра. Вентиль є нелінійним елементом, опір якого у прямому напрямку в сотні, тисячі разів менший, ніж у зворотному. Зараз в основному використовуються напівпровідникові вентилі.

Основні параметри випрямлячів - номінальна напруга і частота мережі живлення та їх відхилення від номіналу; повна потужність, що споживається від мережі живлення при номінальному навантаженні; номінальна вихідна напруга; номінальний струм навантаження та його можливе відхилення від номінального; ККД; коефіцієнт пульсацій.

Коефіцієнт пульсацій K_p є відношення амплітуди першої гармоніки U_{1m} до середнього значення напруги на навантаженні $U_{нав.сер}$:

$$K_p = U_{1m} / U_{нав.сер}. \quad (9.1)$$

Іноді визначають коефіцієнт пульсацій як відношення подвійної амплітуди змінної складової до постійної складової. Подвійна амплітуда змінної складової вимірюється як сума позитивної та негативної напівхвиль змінної складової випрямленої напруги.

Схеми випрямлячів

У джерелах живлення електронної апаратури знаходять застосування однопівперіодні, двопівперіодні випрямлячі з виведенням середньої точки і мостові з подвоєнням напруги. Найчастіше вони мають згладжувальний фільтр, який містить конденсатор (рис. 9.1) і, отже, працюють на ємнісне навантаження. Хоч ці випрямлячі мають низький ККД у порівнянні з випрямлячами, що працюють на індуктивне навантаження, вони дають можливість отримати менший коефіцієнт пульсацій при однакових габаритних розмірах фільтрів. Випрямлячі, що працюють на ємнісне навантаження, використовуються для отримання випрямлених напруг від одиниць вольт до десятків кіловольт. Випрямлячі без згладжувального фільтра застосовуються дуже рідко, наприклад, для живлення електромагнітних реле та в інших випадках, коли коефіцієнт пульсацій не має істотного значення.



83

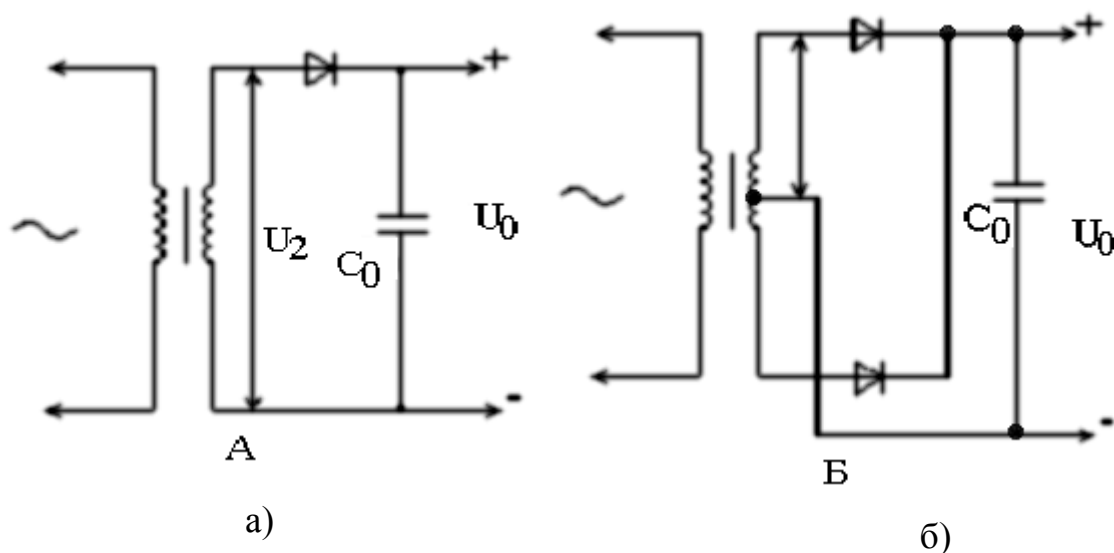


Рис. 9.2. Однофазна (а) та двофазна (б) схеми випрямляча

Переваги однопівперіодного випрямляча - найменша кількість елементів, низька вартість, можливість працювати без трансформатора за рахунок використання напівпровідникових вентилів.

Недоліки - низька частота пульсацій (дорівнює частоті мережі живлення), недостатнє використання трансформатора, підмагнічування його магнітопровода постійним струмом.

Двопівперіодну схему з виведенням середньої точки (двофазну), що наведена на рис. 9.2, б, найчастіше застосовують потужністю до 100 Вт і випрямлених напругах до 400-500 В. Випрямлячі, що виконані за цією схемою, характеризуються підвищеною частотою пульсацій, можливістю використання вентилів зі спільним катодом (чи анодом), що спрощує їх установку на спільному радіаторі, а також підвищеною зворотною напругою на вентилях і більш складною конструкцією трансформатора.

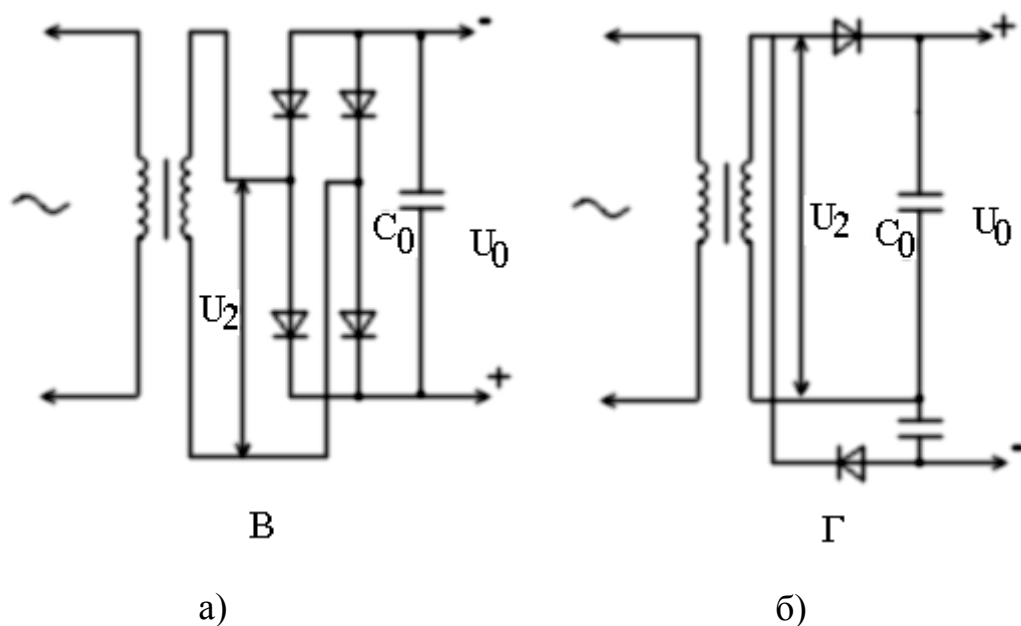


Рис. 9.3. Однофазна мостова (а) та симетрична (б) схеми випрямляча

Однофазна мостова схема (рис. 9.3, а) характеризується широким використанням трансформатора, тому рекомендується у навантаженні потужністю до 1000 Вт і більше. Переваги мостової схеми у порівнянні з двопівперіодною полягають у тому, що діоди можуть бути розраховані на двічі меншу зворотну напругу. Але в колі прямого струму у будь-який момент випрямного процесу знаходяться два послідовно ввімкнені діоди, що знижує економічність схеми за рахунок падіння напруги на них в момент проходження прямого струму. У випрямлячах, випрямлена напруга яких набагато більша прямого падіння напруги на діодах, цей недолік непомітний у тих випадках, коли випрямлена напруга порівняна з прямим падінням напруги, тому використовують двопівперіодну схему. У мостовій схемі частота пульсацій дорівнює подвоєній частоті мережі. Недоліки - підвищення падіння напруги у вентильному комплекті, неможливість встановлення однотипних вентилів на одному радіаторі без ізоляційних прокладок.

Симетричну схему з подвоєнням напруги (рис. 9.3, б) найчастіше застосовують у навантаженні потужністю до 1000 Вт і випрямлених напругах більше 500-600 В. При однакових випрямлених напругах напруга на вторинній обмотці трансформатора для схеми подвоєння десь у два рази менша, ніж для мостової. Зворотна напруга на вентилях у даній схемі десь така ж, як для мостової, частота пульсацій у два рази більша частоти мережі живлення.

Розглянемо, як працює мостова схема випрямляча. Схема під'єднується до генератора синусоїдальних імпульсів із частотою 50 Гц, і амплітудою 3В (рис. 9.1). Нехай у першому напівперіоді напруга U_2 на вихід 1 діє позитивно по відношенню до виводу 2, напруга і струм I_{14}

проходять по колу: вивід 1, діод VD3, резистор Rн, діод VD4, вивід 2. При цьому на резисторі Rн з'являється падіння напруги Uрн. Форма напруги Uрн - це наступні один за другим синусоїдальні імпульси. Діоди VD1 і VD4 протягом цього напівперіода струм не проводять, бо закриті струмом, який надходить на них через відкриті діоди VD3 і VD2 напругою U2m. Максимальна зворотна напруга закритих діодів дорівнює амплітуді напруги U2m, тобто вдвічі менша, ніж в двонапівперіодній схемі. У наступний напівперіод, коли знаки напруги на генераторі змінюються на протилежні, струм I2.3 буде проходити по колу: вивід 2, діод VD4, резистор Rн, діод VD1, вивід 1. Схема випрямляча включає інвертор для отримання напруги протилежної полярності (замість трансформатора). Резистори R3, R4 є обмежувальними. Особливістю даної схеми є те, що діагональ мосту не заземлена, що необхідно враховувати під час роботи даного макета.

Згладжувальні фільтри

Згладжувальний фільтр зменшує Кп. Ця його властивість оцінюється коефіцієнтом згладжування Кзгл, що є відношенням коефіцієнтів пульсацій на вході і виході фільтра:

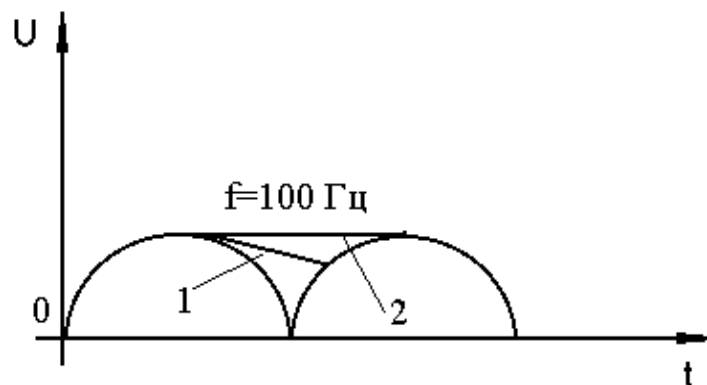


Рис. 9.4. Згладження пульсації

$$K_{згл} = K_{п.вх} / K_{п.вих}. \quad (9.2)$$

На рис. 9.4 показано, як фільтр згладжує пульсації.

Положення 2 відповідає ідеальній вихідній осцилограмі вихідної напруги з реальним згладжувальним фільтром. Чим ближче значення на осцилограмі до кривої 2, тим згладжувальний фільтр кращий. Фільтр характеризує АЧХ, що зображена на рис. 9.5.

Найпростішим згладжувальним фільтром є ємнісний, який складається із конденсатора, що під'єднаний паралельно резистору Rн. Під час заряду, коли напруга на вході фільтра близька до максимальної, конденсатор віддає накопичену енергію на навантаження, вхідна напруга зменшується. Коефіцієнт згладжування ємнісного фільтра тим вищий, чим більша ємність конденсатора. Але при цьому скорочуються імпульси струму підзаряду конденсатора, а отже, зростає їх амплітуда, що

ускладнює роботу випрямних діодів. Ємнісні фільтри широко вживаються у джерелах живлення радіоелектронних пристроїв, бо вони прості та дешеві (рис. 9.6).

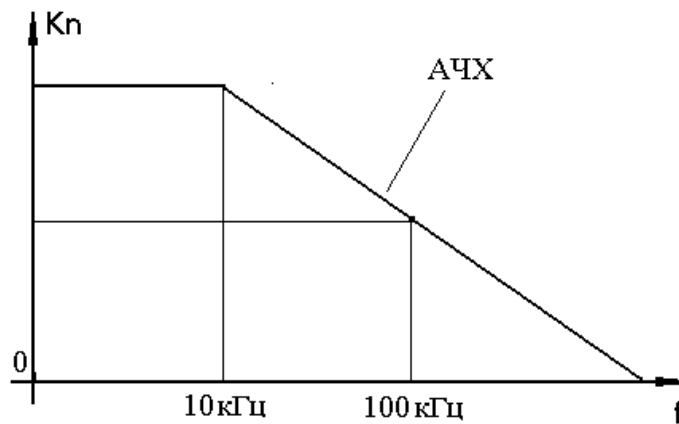


Рис. 9.5. АЧХ фільтра

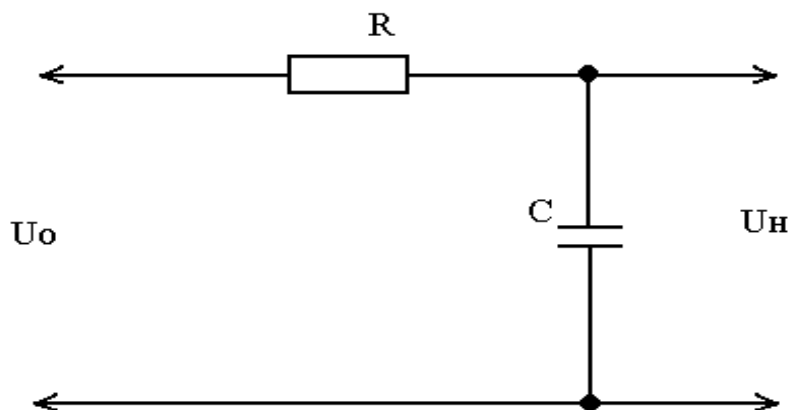


Рис. 9.6. Ємнісний фільтр

Більш ефективним є згладжувальний фільтр, який побудований із двох кіл: ємнісного $C1$ і RC -кола із елементів $R1$ і $C2$. Напруга на конденсаторі $C1$ зростає до амплітуди вхідного сигналу, при цьому попередньо згладжуються пульсації. Для їх кінцевого згладження служить друге коло. Такий фільтр простий у виготовленні та дешевий. Недоліком RC -фільтрів є низький ККД. На резисторі $R1$ випрямлена напруга зменшується до 10%, що припустимо тільки у малопотужних джерелах живлення.

Зовнішня або навантажувальна характеристика джерела живлення показує залежність вихідної напруги від струму навантаження і також показує, у якій мірі зменшується вихідна напруга джерела при зростанні навантаження.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Накреслити таблицю 9.1, а також координатні осі для побудови часових діаграм.

Таблиця 9.1

	R, мОм			200		100		66	
Елементи схеми	C1=C2, мкФ	22	44	22	44	22	44	22	44
U _{c1} , В									
ΔU _c , мВ									
ΔU _{c2} , мВ									
I, мА (R=1 кОм)									
U _{РН} (U _{Р2}), В									
ККД=(P _{вих} /P _{вх})100%									

2. Накреслити електричну схему випрямляча, що досліджується (див. рис. 9.1), і зібрати її, використовуючи умовні графічні позначення, що наведені на схемі.

3. Зняти електричні параметри схеми випрямляча для наведених в таблиці 9.1 значень R1 і C1=C2, розрахувати ККД і занести результати досліджень і розрахунки у таблицю 9.1.

4. За даними таблиці 9.1 розрахувати коефіцієнти пульсацій і згладжування для максимального навантаження (R2=10 кОм) та двох номіналів конденсаторів C1 і C2, використовуючи формули:

$$K_p = U_{1m} / U_{гнас};$$

$$K_{згл} = K_{п.вх} / K_{п.вих}.$$

5. Зняти і накреслити у координатних осях осцилограми напруг для схеми випрямляча.

6. Побудувати у координатних осях навантажувальну характеристику випрямляча, використовуючи дані таблиці 9.1.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

1. Під час виконання роботи використовують діоди КД105, резистор R1=10 кОм; конденсатори C1 і C2 ємністю 22 мкФ, резистор R2 = 10 кОм.

2. Змінну напругу підводять до гнізд 15 і 30 схеми від генератора НУ після інверсії DA1.

3. Як вимірювач струму навантажування РА(І) використовують АВМ2 на границях 50 мА і 10 В?

4. Постійну напругу у схемі вимірюють тестером в межах 25В і 10 В.

5. Змінну напругу на вході схеми вимірюють тестером, перемикаючи перемикач у положення “~”.

6. Пульсації в схемі вимірюють мілівольтметром МВ стенда для 5 В, 1 В, 500 мВ і 100 мВ, а їх форму досліджують за допомогою осцилографа.

7. В координатних осях необхідно побудувати не менше двох півперіодів пульсацій з урахуванням постійної складової.

8. ККД випрямляча обчислюють як відношення потужності на навантаженні до потужності на вході згладжувального фільтра, що виражений у відсотках.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Яка кількість діодів, що ввімкнені послідовно, у колі струму навантаження для мостової схеми випрямляча?

2. Яка повинна бути максимальна допустима зворотна напруга діоду в мостовій схемі?

3. Як впливають конденсатори фільтра й опір навантаження на амплітуду пульсацій?

4. Якою буде осцилограма напруги на навантаженні, якщо один із діодів від'єднаний?

5. Коли використовують мостову схему випрямляча?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10 ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПЕНСАЦІЙНОГО СТАБІЛІЗАТОРА НАПРУГИ

МЕТА РОБОТИ: вивчення принципу дії компенсаційного стабілізатора напруги та його випробування під час змінення вхідної напруги і навантаження; розрахунок коефіцієнта стабілізації та вихідного опору.

Порівняно з пасивними випрямлячами значно кращі параметри мають компенсаційні стабілізатори (КС) напруги: коефіцієнт стабілізації може досягати сотень і навіть тисяч одиниць. Найбільш розповсюджений КС напруги, регулівний елемент якого ввімкнений послідовно до навантаження. На вхід схеми подається відфільтрована не стабілізована напруга $U_{вх}$ (її відхилення від середнього значення $\pm U$), яка розподіляється між регулівним транзистором VT1 і опором навантаження R4 (рис. 10.1).

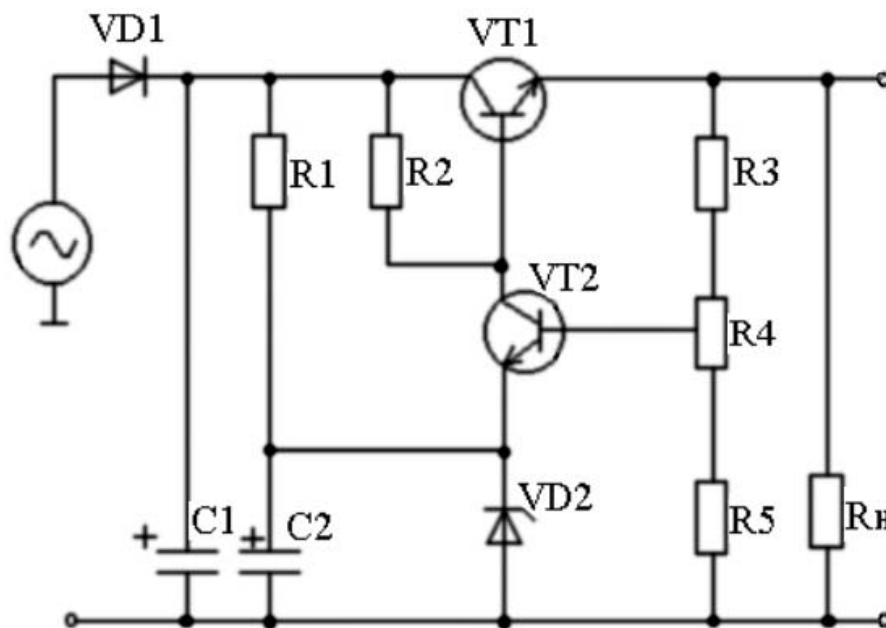


Рис. 10.1. Компенсаційний стабілізатор

$$U_{вх} = U_{ке_{vt1}} + U_{вих}.$$

Принцип дії стабілізатора: якщо збільшити $U_{вх}$, то автоматично майже на стільки ж збільшиться $U_{ке_{vt1}}$, а $U_{вих}$ змінюється незначно. При зменшенні $U_{вх}$ зменшується $U_{ке_{vt1}}$, а $U_{вих}$ змінюється незначно.

Підсилювач різницевого сигналу виконано на транзисторі VT2, на емітерний перехід якого надходять дві напруги: напруга опору $U_{оп}$, що виробляється параметричним стабілізатором на стабілітроні VD, і напруга $\alpha U_{вих}$, яка пропорційна вихідній напрузі (α - коефіцієнт ділення подільника, що виконаний на потенціометрі R3). Різницевий сигнал складається з цих двох напруг:

$$U_p = U_{бе_{vt1}} = \alpha U_{вих} - U_{оп}.$$

Цей сигнал посилюється і надходить на базу регульовного транзистора VT1, потенціал емітера якого дорівнює вихідній напрузі $U_{вих}$ стабілізатора. Напруга в емітерному колі транзистора складається з двох напруг:

$$U_{бе_{vt1}} = U_{к_{vt1}} - U_{вих}.$$

Збільшення вхідної напруги супроводжується збільшенням вихідної, а саме, напруги $\alpha U_{вих}$. При цьому напруга $U_{бе_{vt2}}$ і струм колектора транзистора VT2 збільшуються, а напруги $U_{к_{vt2}}$ і $U_{бе_{vt1}}$ зменшуються. Одночасно зменшується колекторний струм транзистора VT1, що відповідає збільшенню опору його проміжку колектор-емітер і, отже,

напруги $U_{ke_{vt1}}$. Таким чином, майже весь приріст напруги $U_{вх}$ припадає на регулівний транзистор VT1, а напруга $U_{вих}$ залишається незмінною. Вихідна напруга стабілізатора все ж змінюється, тому що для підтримки нового електричного стану транзистора VT1 необхідний деякий сигнал розсіювання, тим менший, чим вищий коефіцієнт посилення підсилювача сигналу розсіювання.

Зменшення вхідної напруги схема компенсує зменшенням опору колектор-емітер транзистора VT1, напруга на якому зменшується, а вихідна напруга КС змінюється незначно. Аналогічно КС реагує на пульсації вхідної напруги, значно послабляючи їх на виході.

При зміні положення движка потенціометра R3 змінюється напруга $U_{вих}$ КС. Це відбувається тому, що в схемі автоматично підтримується співвідношення між напругами в емітерному ланцюзі транзистора VT2:

$$U_{вих} \approx U_{оп} / \alpha.$$

Якщо движок потенціометра R3 змістити до верхнього виводу ($\alpha=1$), то вихідна напруга КС наблизиться до $U_{оп}$.

При зменшенні α (зміщення движка потенціометра R3 до нижнього виводу) вихідна напруга збільшується і, відповідно, зменшується напруга $U_{ke_{vt1}}$, поки VT1 не перейде в насичення. Тоді $U_{вих} = U_{вх} - U_{ke_{vt1_{нас.}}} = U_{вх}$.

У цьому режимі VT1 стає некерованим, а КС – перестає стабілізувати напругу. Напруга колектор-емітер VT1 складе не менше 3-5 В при максимальній напрузі на виході схеми. Така ж мінімальна напруга $U_{ke_{vt1}}$ необхідна для згладжування пульсацій.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Накреслити електричну схему КС, що досліджується, і зібрати її, користуючись отриманим мікромакетом і з'єднувальними проводами.

2. Виконати заміри і занести результати в таблицю.

3. Розрахувати потужність, що розсіюється транзистором VT1, для всіх режимів роботи стабілізатора і визначити режим, коли вона максимальна.

4. Користуючись даними таблиці 10.1, розрахувати коефіцієнт стабілізації, вихідний опір КС.

Таблиця 10.1

Напруга	+U1=13В				+U2=11В			
R6(Rн), кОм	0,75	1,1	1,6	∞	0,75	1,1	1,6	∞
Uc1, В								
ΔUc1, В								
Uк _{vt2} , В								
Uк _{e_{vt1}} , В								
ΔUк _{e_{vt1}} , В								
U _{гб} (U _{вих}), В								
I _н , мА								
U _{б_{e_{vt2}}} , В								
P _{r_{vt1}} =I _н Uк _{e_{vt1}} , мВт								

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

1. Для виконання роботи використовують: R1=16 кОм; R2=768 кОм; R3=200 Ом; R4=3.3 кОм (змінний); R5=1,1 кОм; R6=750 Ом; R7=1,1 кОм; R8=1,6 кОм; C1=100 мкФ; C2=20 мкФ; VD1 - діод КД 105; VT1 - КТВ 15; VT2 - КТ 315; VD2 - стабілітрон.

2. На 1 і 26 (загальний) контакти мікромакета подається змінна напруга з генератора звукової частоти.

3. Струм навантаження I_н вимірюють міліамперметром в межах вимірювань 50 мА і 10 мА, напругу - вольтметром в межах 25В і 10В, пульсації напруги мілівольтметром (діюче значення) і осцилографом (вимірюють амплітудне значення і спостерігають форму пульсацій і їх частоту). Як вольтметр і амперметр можна використовувати тестер чи мультиметр в осцилографі.

4. Вихідний опір КС розраховується за формулою:

$$R_{\text{вих}} = \delta U_{\text{рб}} / \Delta I_{\text{н}},$$

де ΔI_н - зміна струму навантаження, що викликало зміну вхідної напруги δU.

В даному випадку ΔI_н=I_н для R6=750 Ом, тому що струм навантаження при ввімкненому резисторі R6 дорівнює різниці вихідних напруг.

5. Знову встановлюють R6=750 Ом, вимірюють напругу на конденсаторі C1(постійну складову) і компенсують вхідну напругу КС. Знову вимірюють напругу на C1, а також δR6. Коефіцієнт стабілізації обчислюють за формулою:

$$K_{\text{ст}} = (2(U'_{\text{c1}} - U''_{\text{c1}}) / (U'_{\text{c1}} + U''_{\text{c1}})) / (\delta U_{\text{р6}} / (U_{\text{р6}} - 0,5\delta U_{\text{р6}})),$$

де U'c1 та U''c1 - напруги на конденсаторі C1, коли напруга на вході стабілізатора 13,0 В і 11,0 В, відповідно.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Який принцип дії КС напруги?
2. Які максимальні та мінімальні напруги можна отримати на виході схеми, що досліджується?
3. Як діє опір резистора R2 на коефіцієнт стабілізації?
4. Чому КС згладжує пульсації?
5. В якому режимі потужність, що розсіюється транзистором, мінімальна?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11

ДОСЛІДЖЕННЯ МУЛЬТИВІБРАТОРА

МЕТА РОБОТИ - вивчення принципу дії мультівібратора, що працює в автоколивному режимі; спостереження його роботи в режимах синхронізації та ділення частоти.

Мультівібратор - це імпульсний автогенератор, що призначений для генерації періодичної імпульсної послідовності. Форма вихідних імпульсів мультівібратора близька до прямокутної, а скважність знаходиться в межах від 2 до 20. Для таких генераторів характерне чергування інтервалів часу, коли напруга на виводах транзисторів змінюється повільно або не змінюється зовсім, з моментами лавиноподібної та швидкої її зміни перепадами, які на екрані осцилографа спостерігаються як розриви.

Розглянемо роботу мультівібратора в автоколивному режимі (рис. 11.1, рис. 11.2). Електричний стан схеми, що відповідає моменту (а), через визначений інтервал часу повторюється, що свідчить про автоколильний характер процесів у мультівібраторі.

В момент (а) транзистор VT1 відкритий (див. рис. 11.2), напруга $U_{K_{VT1}}$ на його колекторі мала.

При цьому конденсатор C1 розряджений майже до нуля, а конденсатор C2 заряджений майже до напруги E_K джерела, причому його електрод, що під'єднаний до бази транзистора VT1, заряджений від'ємно. Транзистор VT2 закритий, напруга на його колекторі наближається до напруги джерела E_K . Напруга на базі VT2 наближається до нуля.

В момент (а) транзистор VT1 відкритий (див. рис. 11.2), напруга $U_{K_{VT1}}$ на його колекторі мала.

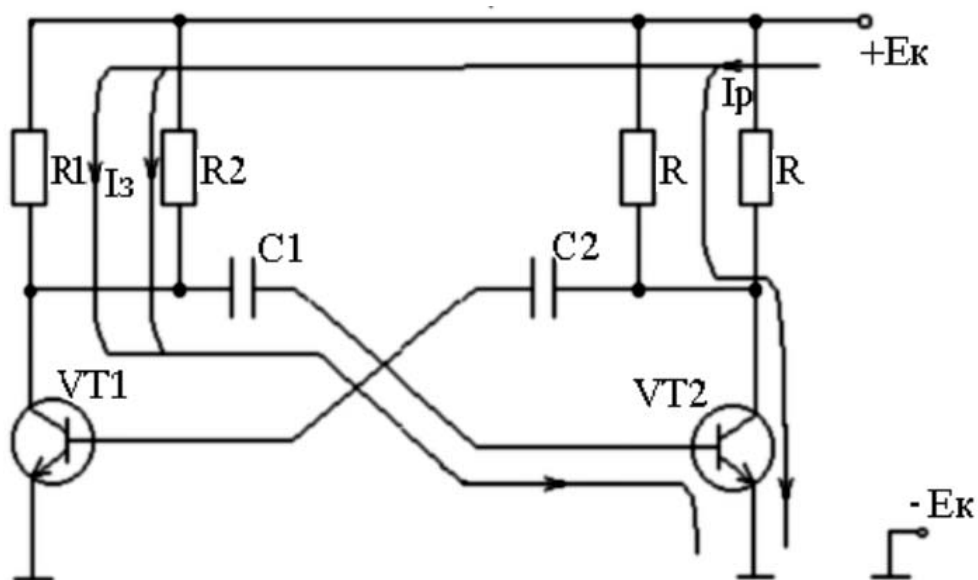


Рис. 11.1. Схема мультивібратора

При цьому конденсатор $C1$ розряджений майже до нуля, а конденсатор $C2$ заряджений майже до напруги E_k джерела, причому його електрод, що під'єднаний до бази транзистора $VT1$, заряджений від'ємно. Транзистор $VT2$ закритий, напруга на його колекторі наближається до напруги джерела E_k . Напруга на базі $VT2$ наближається до нуля.

В момент (а) напруга на базі транзистора $VT2$ стає додатною, тому що завершується розряд конденсатора $C1$ через насичений транзистор $VT1$, джерело напруги E_k та резистор $R2$. З'являється струм бази транзистора $VT2$, він починає відкриватись. Напруга на його колекторі спадає через падіння напруги на резисторі $R4$, внаслідок чого починає закриватись транзистор $VT1$, оскільки напруга на його базі також спадає. При цьому напруга на колекторі транзистора $VT1$ збільшується, що веде до зростання напруги на базі транзистора $VT2$ та збільшення його базового струму I_{b2} , що проходить по колу: корпус, емітер-база транзистора $VT2$, паралельно ввімкнені резистори $R1$ і $R2$. Внаслідок цього транзистор $VT2$ переходить до стану насичення, напруга на його колекторі спадає до $U_{ke_{VT2min}}$. До бази транзистора $VT1$ через насичений транзистор $VT2$ під'єднується заряджений майже до напруги джерела E_k конденсатор $C2$, і транзистор $VT1$ закривається.

Процес перемикання мультивібратора в новий часовий стійкий стан відбувається лавиноподібно і завершується в момент b (рис. 11.2, а-г).

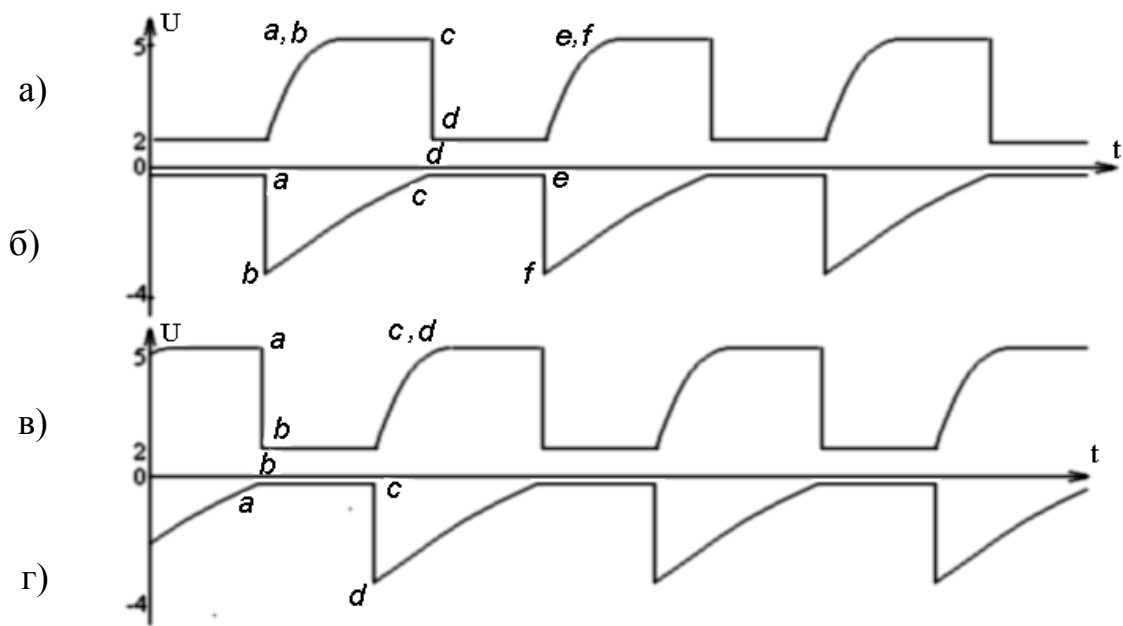


Рис. 11.2. Імпульси зовнішнього генератора

В інтервалі часу bc в схемі проходять такі процеси:

- напруга на колекторі транзистора VT1 спочатку збільшується за експонентою, оскільки струм заряду I_e конденсатора C2 створює падіння напруги на резисторі R1, що зменшується при зростанні заряду, а після закінчення заряду напруга на транзисторі VT1 стає близькою до напруги джерела E_k ;

- напруга $U_{ke_{VT2}min}$ на колекторі транзистора VT2 мала;

- напруга на базі транзистора VT1 додатна і зменшується за експонентою відповідно до розряду конденсатора C4;

- напруга на базі транзистора VT2 спочатку збільшується (точка b на рис. 11.2, г), а потім спадає за експонентою до рівня, що визначається струмом, який проходить через резистор R2. Стрибок і експоненціальний спад напруги пояснюється тим, що струм заряду конденсатора C2 через перехід емітер-база транзистора VT2 одразу за моментом (а) близький до струму колектора VT1 в режимі насичення, а після цього під час зарядження конденсатора C2 цей струм зменшується за експонентою, при цьому одночасно зменшує напругу на емітерному переході транзистора VT2 ;

- по закінченні зарядження конденсатора C2 струм бази транзистора VT2 визначається опором резистора R2; цей струм повинен бути достатнім для утримання транзистора VT2 в стані насичення.

В момент c (рис. 11.2, г) конденсатор C2 розряджається до нуля, починається процес переходу схеми в перший стійкий стан. При цьому з'являються струми бази і колектора транзистора VT1, зменшується

напруга на його колекторі, VT1 відкривається і переходить в насичення, а конденсатор C2 заряджається через емітерний перехід транзистора VT1.

Тимчасовий стійкий стан триває до моменту (е) (рис. 11.1, г), доки конденсатор C2 не розрядиться до нуля. Таким чином, електричний стан мультивібратора в момент (е) такий самий, як і в момент (а), тобто в схемі проходить автоколивний процес. Тривалість імпульсів мультивібратора визначається так:

$$T_{и1}=0,7RC_2; \quad T_{и2}=0,7R_2C_1,$$

а частота та період їх надходження:

$$f=1/[0,7(RC_2+R_2C_1)]; \quad (11.1)$$

$$T=0,7(RC_2+R_2C_1). \quad (11.2)$$

Якщо номінальні значення елементів схеми, що задають час, попарно однакові, тобто $R_2=R_4=R$ і $C_1=C_2=C$, мультивібратор стає симетричним і генерує імпульси скважністю 2. Часові параметри вихідного сигналу симетричного мультивібратора визначають за формулами:

$$T_{и}=0,7RC; \quad T=1,4RC; \quad f=1/(1,4RC).$$

Тривалість фронтів від'ємних перепадів на колекторах транзисторів визначають за формулами:

$$T_{ф1}=2,3R_1C_1; \quad T_{ф2}=2,3RC_2.$$

Мультивібратор добре синхронізується імпульсами зовнішнього генератора, частота яких дещо вища за частоти вільних коливань (рис.11.2, а, б).

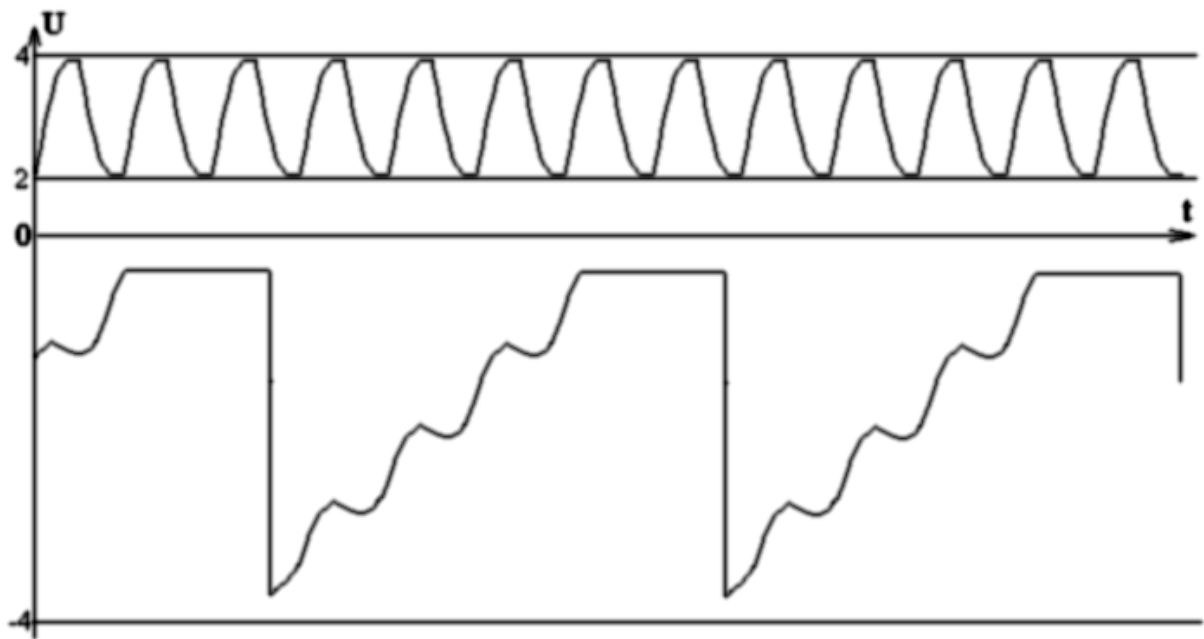


Рис. 11.3

В автоколивному режимі транзистор відкривається в момент б. Синхроімпульс відкриває транзистор дещо раніше - в момент а. При цьому схема примусово переходить в другий тимчасовий стійкий стан, при якому транзистор VT1 відкривається і входить в насичення, а транзистор VT2 закритий. Тривалість цього стану визначається постійною ланцюга розрядки конденсатора C2 через резистор R2. Потім схема вертається в перший тимчасовий стійкий стан. При наступному синхроімпульсі процес повторюється. Таким чином, стабільність частоти коливань мультівібратора визначається стабільністю частоти синхроімпульсів. Мультівібратор здатний працювати в режимі ділення частоти (рис. 11.2, в, г).

На базу транзистора VT1 подається імпульсна послідовність $U_{вх.}$, частота якої в декілька разів перевищує частоту вільних коливань. Амплітуду імпульсів підбирають такою, щоб примусове перекидання схеми проходило під дією другого, третього, четвертого імпульсу і т.д. Відповідно частота вихідного сигналу буде нижчою, ніж частота входної імпульсної послідовності $U_{вх.}$ в два, три, чотири рази і т.д.

Мультівібратор працює стійко, коли коефіцієнт ділення менший 10.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Накресліть табл. 11.1 і табл. 11.2 для запису результатів вимірювань розрахунків та режимів за постійним струмом.

Таблиця 11.1

Гніздо	1	2	3	4
Напруга				

Таблиця 11.2

Ємність конденсаторів $C1=C3$		0.2 мкФ		0.1 мкФ	
Опір резисторів $R2=R4$, кОм		51	25,5	51	25,5
Період надходження імпульсів T , мс	Виміряний				
	Розрахований				
Частота надходження імпульсів f , кГц	Виміряна				
	Розрахована				

2. Накреслити електричну схему мультивібратора (див. рис. 11.4), що досліджується.

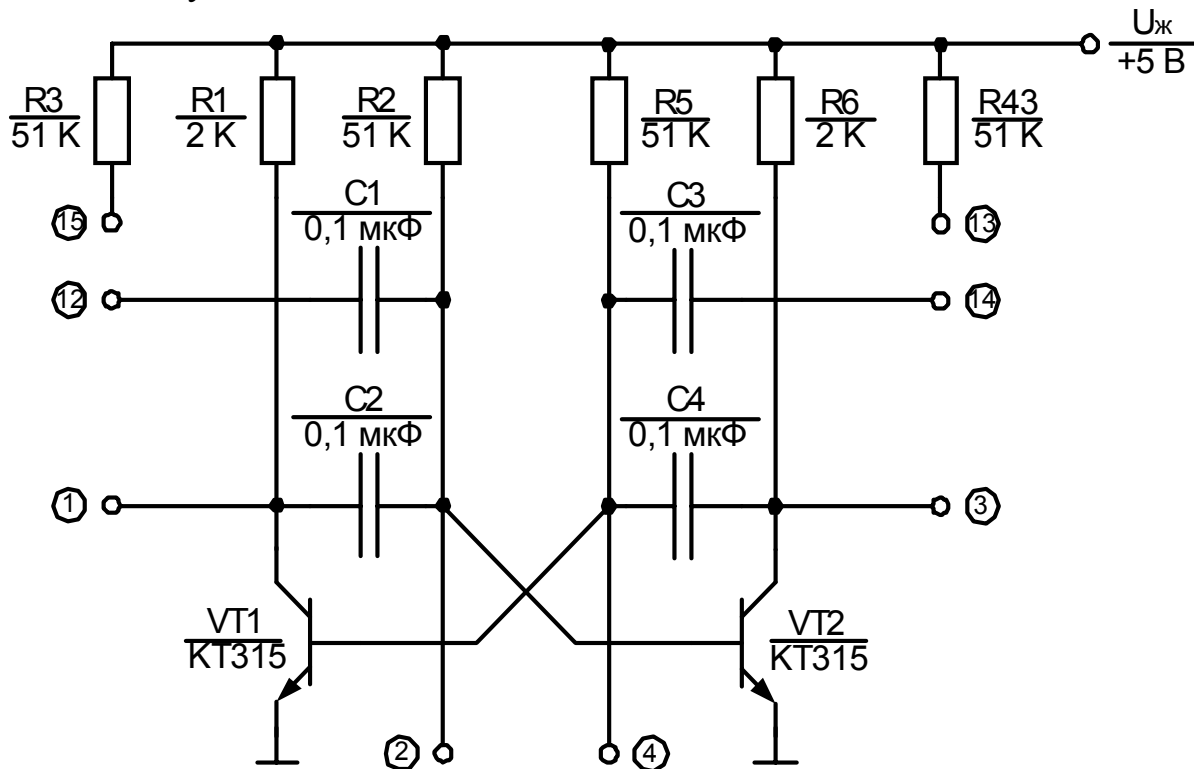


Рис. 11.4. Електрична схема макета мультівібратора

3. Виміряти часові параметри вихідного сигналу мультівібратора для наведених в табл. 11.1 номіналів елементів електронної схеми і занести результати вимірювань в цю таблицю. Розрахувати ці ж параметри схеми, користуючись формулами (11.1) і (11.2), занести результати розрахунків в табл. 11.1 та порівняти їх з виміряними.

4. Виміряти постійні складові напруг на виводах транзисторів мультівібратора в автоколивальному режимі і занести розрахунки в табл. 11.2.

5. Провести спостереження і зарисувати осцилограми напруги в гніздах 1-4, а також відмітити горизонтальними лініями однакові постійні складові напруг.

6. Спостерігати за роботою мультівібратора в режимі ділення частоти. Зарисувати осцилограми напруг на базах транзисторів в однаковому масштабі часу.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

1. Для виконання роботи використовувати мікромакетний навчально-лабораторний пристрій (НЛП) “Схемотехніка”, мікромакет до лабораторної роботи, осцилограф.

2. Для вимірювання часових параметрів коливань мультівібратора вхід осцилографа під’єднати до гнізд 1-3, а вхід “корпус” - до гнізда “0” на НЛП.

3. Для вимірювання постійних складових напруг в схемі використовують осцилограф.

4. Для спостерігання за режимом ділення частоти використовується генератор, що вбудований в НЛП, сигнали з якого подаються до гнізда 3.

5. Для вимірювання параметрів кола використовують такі з’єднання:

- ємність плечей - A1 з A12, A3 з A14;
- опір - A4 з A13, A2 з A15.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

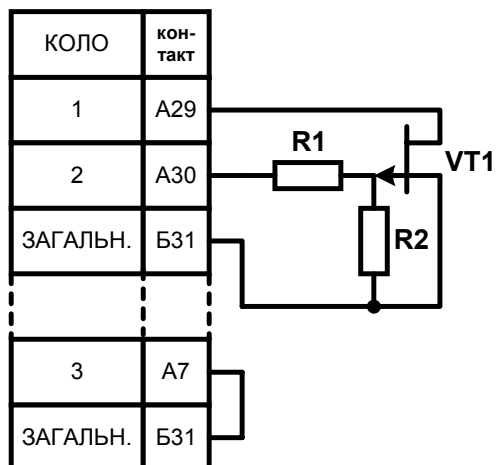
1. Для чого використовується мультівібратор?
2. Які елементи схеми мультівібратора визначають часові параметри його вихідного сигналу?
3. Як регулюють частоту і скважність імпульсної послідовності на виході мультівібратора?
4. Яка максимальна скважність на виході мультівібратора?
5. Поясніть процес ділення частоти.

ЛІТЕРАТУРА

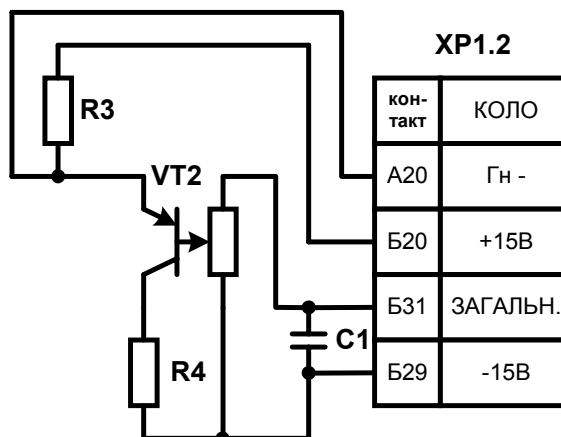
1. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учебн. пособие для приборостр. спец. вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. шк., 1991.
2. Гершунский Б.С. Основы электроники и микроэлектроники: Учебник. - 4-е изд., перераб. и доп. - К.: Выща школа, 1989 г.
3. Скаржепа В.А., Луценко А.И. Электроника и микросхемотехника: Учебник для вузов / Под ред. А.А. Краснопрошиной - К.: Выща школа, 1989 г.
4. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Пер. с нем. / Под ред. А.Г. Алексеенко - М.: Мир, 1983г.
5. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники.- Ч. 1, 2: Пер. с англ. / Под ред. М.В. Гальперина. - М.: Мир, 1983 г.
6. Гринфилд Дж. Транзисторные и линейные ИС: Руководство по анализу и расчету: Пер. с англ. - М.: Мир, 1992 г.
7. Степаненко И. И. Основы микроэлектроники: Учебное пособие для вузов. - М.: Сов. Радио, 1980 г.
8. Савельев А.Я. Прикладная теория цифровых автоматов: Учеб. для вузов по спец. ЭВМ.- М.: Высш. шк., 1987.
9. Схемотехника ЭВМ: Учеб. для студентов вузов специальности ЭВМ / Под ред. Соловьева Г.Н. - М.: Высш. шк., 1985.
10. Разевиг В.Д. Применение программ PCAD и PSpICE для схемотехнического моделирования на ПЭВМ: в 4 выпусках. - М.: Радио и связь, 1992.
11. Разевиг В.Д. MICROCAP-5 для студентов. - М.: Радио и связь, 1999.
12. Алексенко А.Г., Шагурин И.И. Микросхемотехника: Учеб. пособие для вузов / Под. ред. И.П. Степаненко. - М.: Радио и связь, 1982.
13. Янсен Й. Курс цифровой электроники: в 4-х т.: Пер. с голланд.- М.: Мир, 1987.
14. Цифровые ЭВМ: Практикум / К.Г. Самофалов, В.И. Корнейчук, В.П. Тарасенко, В.И. Жабин; Под. общ. ред. К.Г. Самофалова. - К.: Выща школа, 1990.

ДОДАТКИ

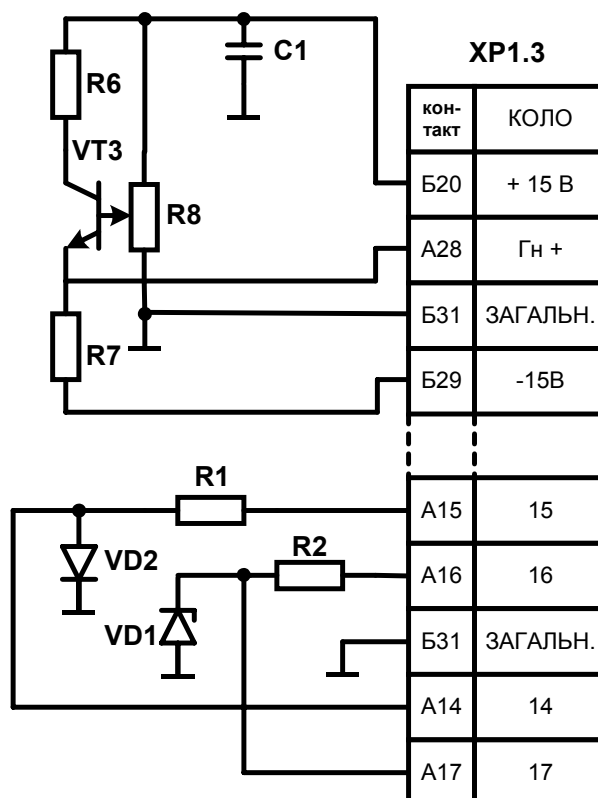
XP1.1



XP1.2

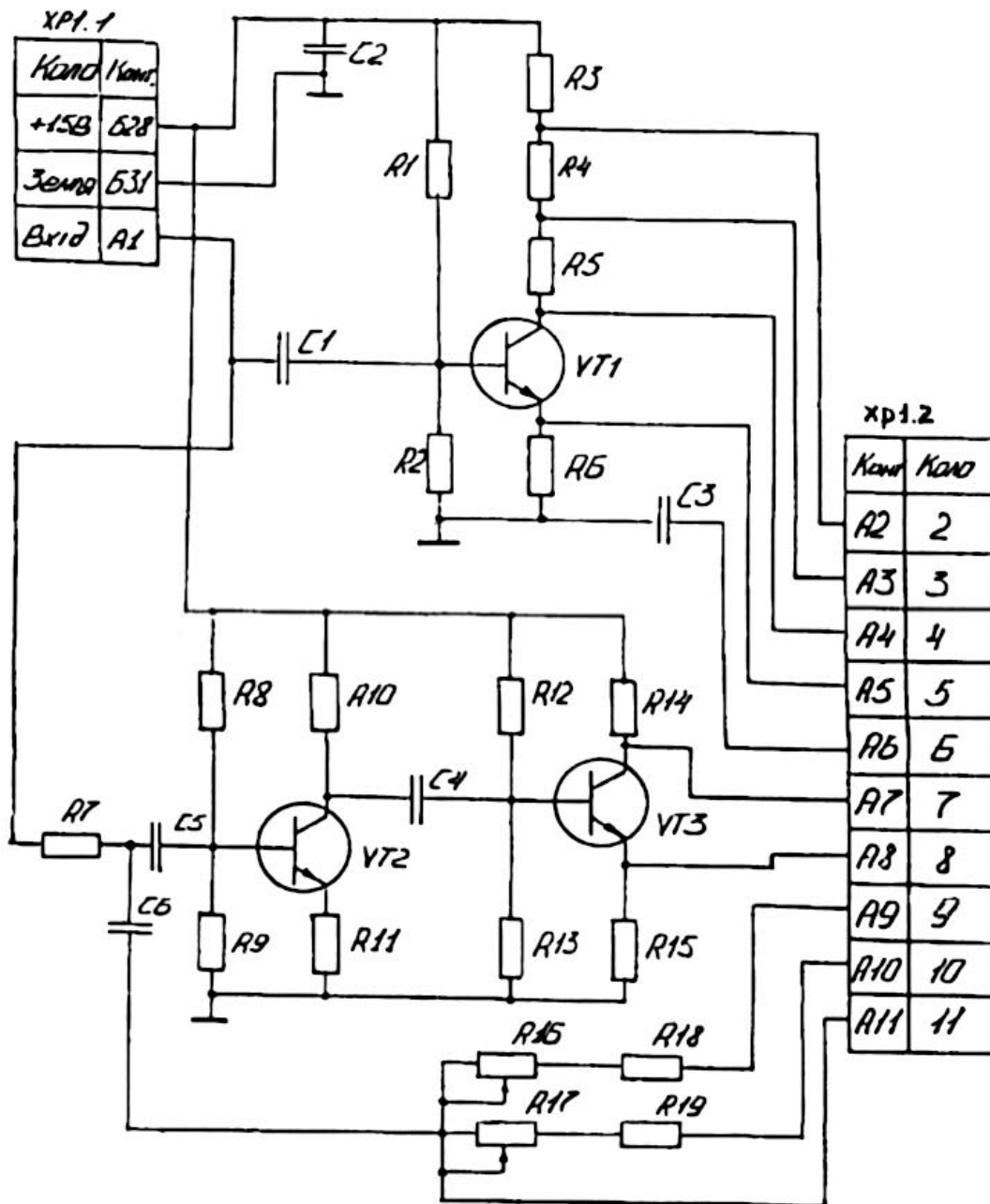


XP1.3



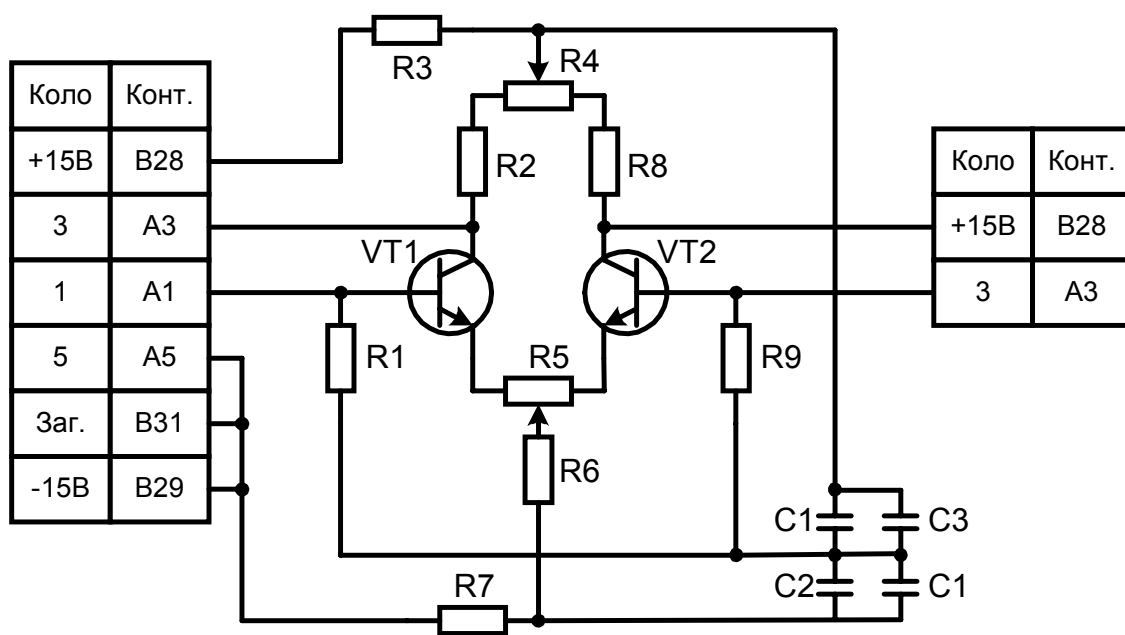
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Мікромакет ММ-1 Схема електрична принципова				Літ.		Арк.	Акрушів
Розроб.												
Перевір.												
Реценз.												
Н. контр.												
Затверд.												

[illegible]



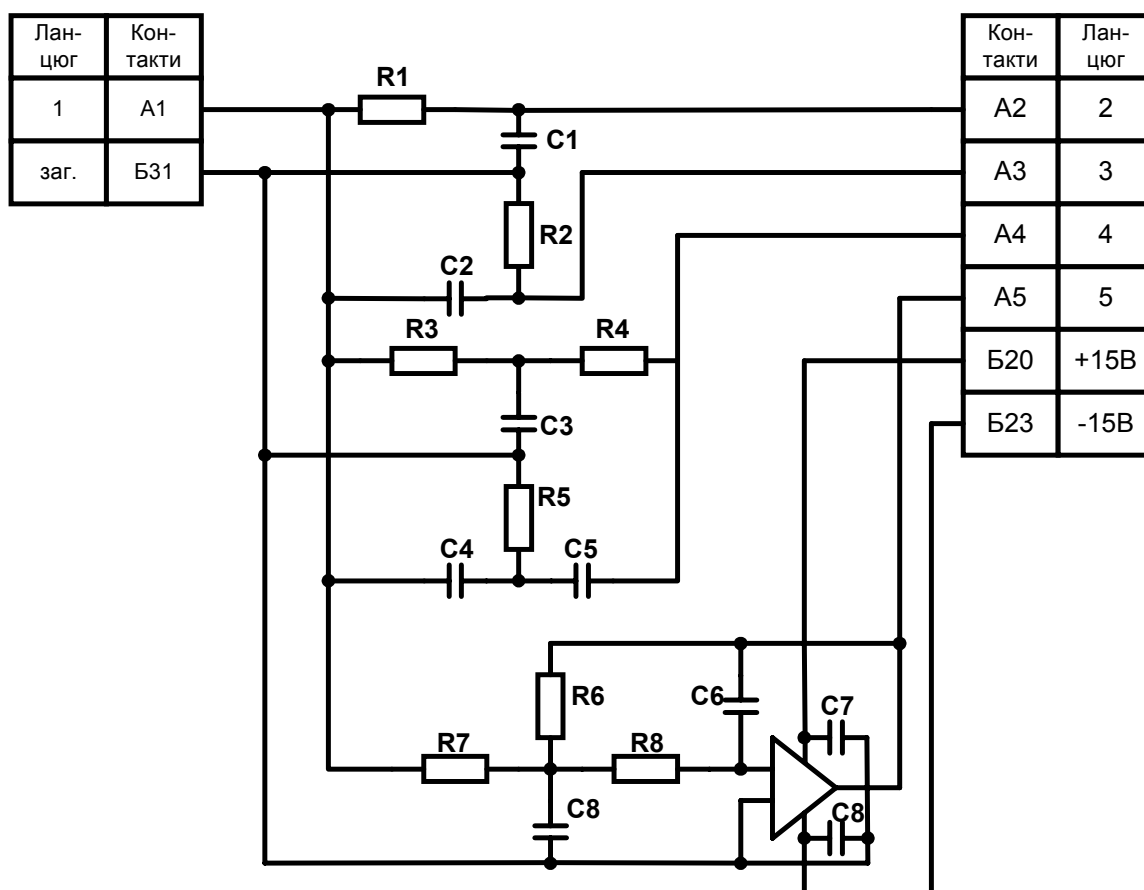
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Мікромакет ММ-2 Схема електрична принципова		
Розроб.							
Перевір.							
Реценз.							
Н. контр.							
Затверд.					Літ. Арк. Акрушів		

Познач.	Найменування	Кіл	Прим
C	K50 – 24 – 10 мкФ – 16 В	1	
	KМ – 5O – H90 – 0.33 мкФ	3	
	K50 – 24 – H90 – 16 В х 10 мкФ	2	
	Резистори		
	МЛТ – 0.125 – 15 кОм ± 10%	1	
R2	МЛТ – 0.125 – 1.6 кОм ± 10%	1	
R3, R4	МЛТ – 0.125 – 5.6 кОм ± 10%	2	
R5	МЛТ – 0.125 – 15 кОм ± 10%	1	
R6	МЛТ – 0.125 – 22 кОм ± 10%	1	
R7	МЛТ – 0.125 – 1 кОм ± 10%	1	
R8	МЛТ – 0.125 – 130 кОм ± 10%	1	
R9	МЛТ – 0.125 – 15 кОм ± 10%	1	
R10	МЛТ – 0.125 – 7.5 кОм ± 10%	1	
	МЛТ – 0.125 – 750 кОм ± 10%	1	
R12	МЛТ – 0.125 – 100 кОм ± 10%	1	
R13	МЛТ – 0.125 – 41 кОм ± 10%	1	
R14,	МЛТ – 0.125 – 3.8 кОм ± 10%	2	
R16,	СП4 - 1 Э102 10 кОм ТУ	2	
R18,	МЛТ – 0.125 – 1 кОм ± 10%	2	
	Транзисто	3	
	Вилка	1	



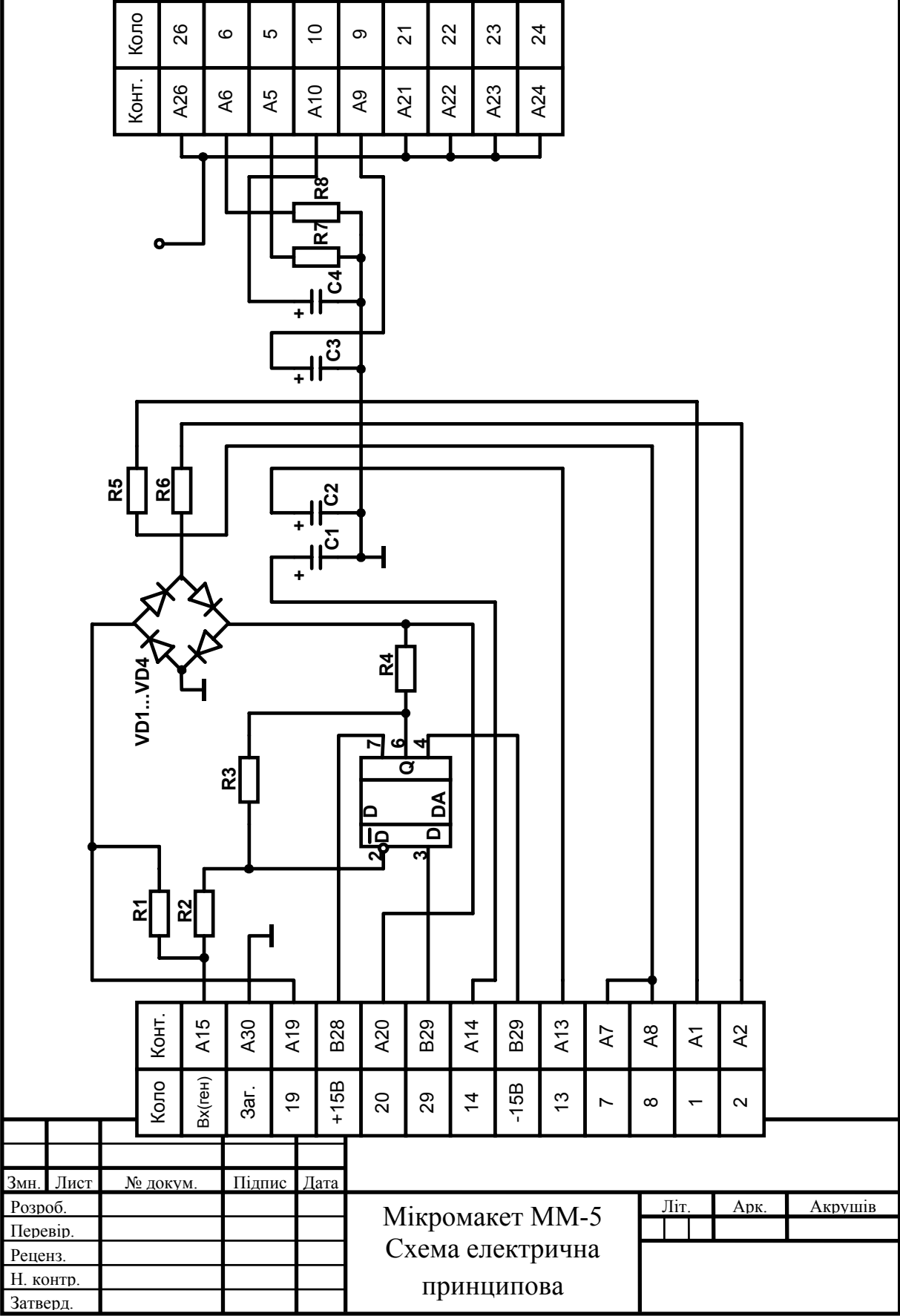
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Мікромакет ММ-3 Схема електрична принципова					Літ.		Арк.		Акрюшів	
Розроб.															
Перевір.															
Реценз.															
Н. контр.															
Затверд.															

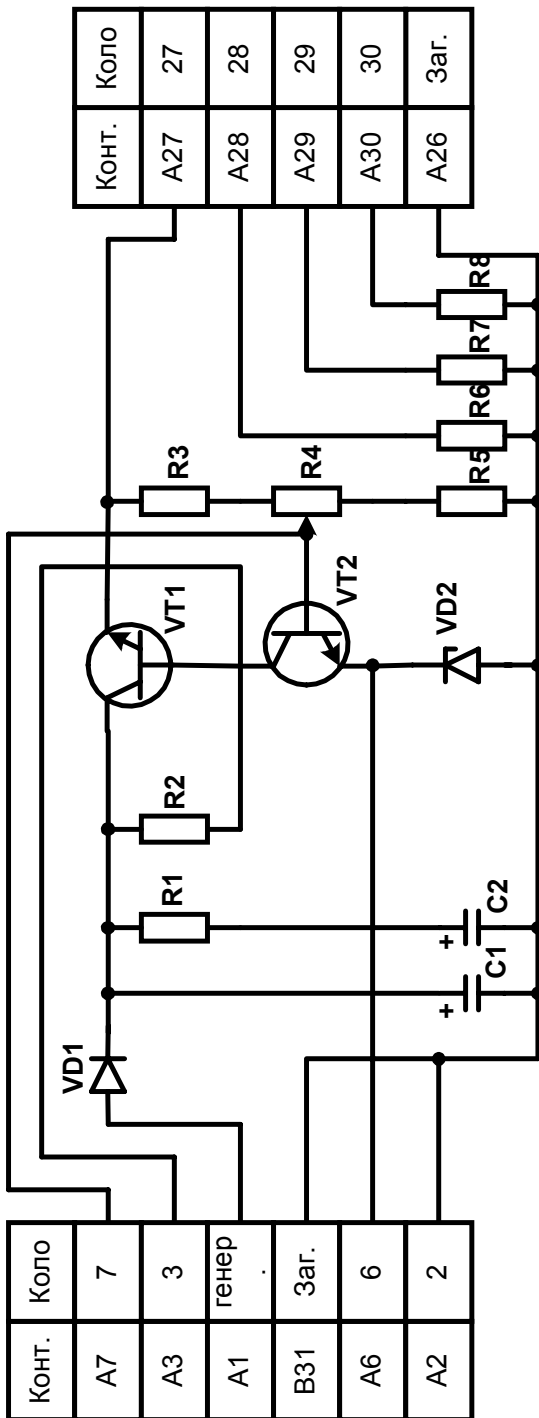
[illegible]



Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Мікромакет ММ-4 Схема електрична принципова		
Розроб.							
Перевір.					Літ.	Арк.	Акрушів
Реценз.							
Н. контр.							
Затверд.							

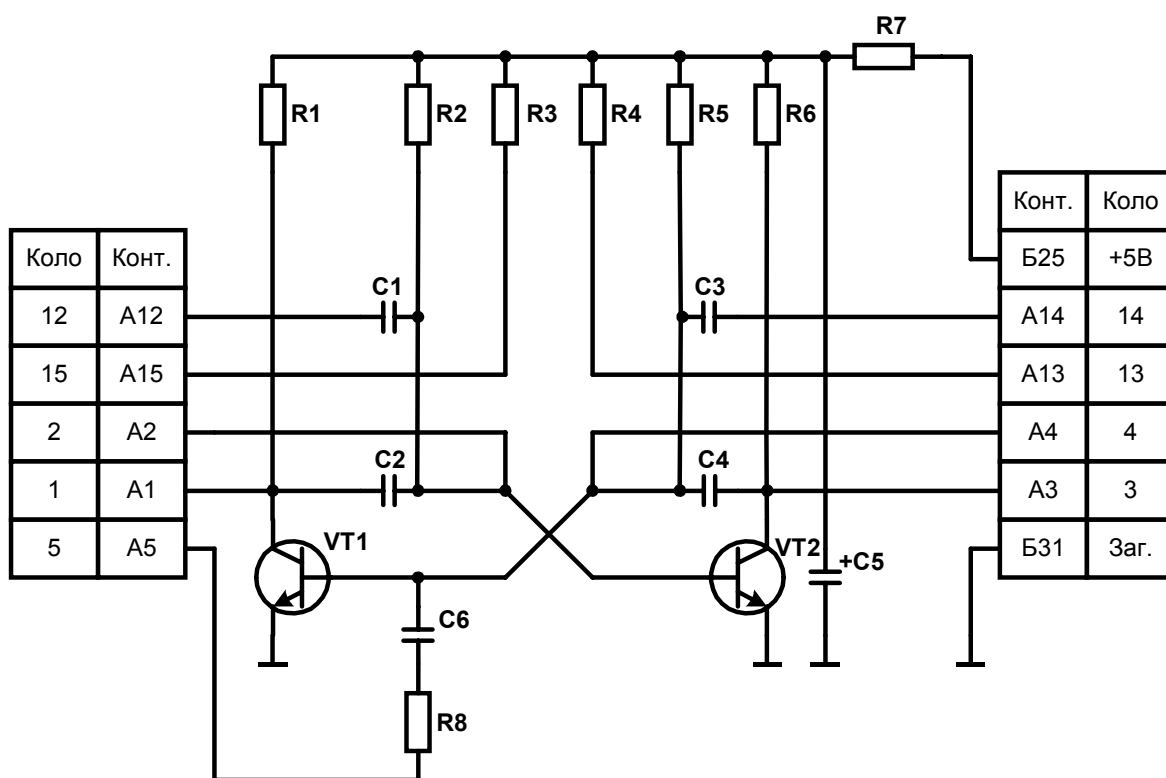
[illegible]





Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Мікромакет ММ-6 Схема електрична принципова					Літ.		Арк.		Акрушів	
Розроб.															
Перевір.															
Реценз.															
Н. контр.															
Затверд.															

[illegible]



Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Мікромакет ММ-7 Схема електрична принципова		
Розроб.							
Перевір.					Літ.	Арк.	Акрюшів
Реценз.							
Н. контр.							
Затверд.							

[illegible]