

Державний вищий навчальний заклад
“Запорізький національний університет”
Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України

О.В.Приходько, В.М.Синьоокий, А.В.Ткаченко

ОСНОВИ СУЧАСНОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

Навчальний посібник
для студентів освітньо – кваліфікаційного рівня «бакалавр»
напряму підготовки «Фізика»

Затверджено
вченою радою ЗНУ
Протокол № від

Запоріжжя
2012

УДК: 621.38 (076)

ББК: 3 85я73

Приходько О.В., Синьоокий В.М., Ткаченко А.В. Основи сучасної електроніки: навчальний посібник для студентів освітньо – кваліфікаційного рівня «бакалавр» напряму підготовки «Фізика» – Запоріжжя: ЗНУ, 2012. – 108с.

Навчальний посібник містить теоретичні положення, основні поняття, рекомендації по проведенню лабораторних робіт та обробці результатів досліджень, контрольні питання.

Призначений для студентів освітньо – кваліфікаційного рівня «бакалавр» напряму підготовки «Фізика».

Рецензент *В.В. Погосов*

Відповідальний за випуск *В.М. Синьоокий*

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Лабораторна робота № 1. Вивчення структури і правил користування радіоелектронними приладами. Вимірювання параметрів радіоелектронних сигналів та його похибки.....	5
Лабораторна робота № 2. Дослідження нерозгалуженого лінійного електричного кола постійного струму.....	20
Лабораторна робота № 3. Дослідження розгалуженого лінійного електричного кола постійного струму.....	26
Лабораторна робота № 4. Дослідження лінійних чотирьохполюсників.....	37
Лабораторна робота № 5. Дослідження напівпровідникових діодів.....	45
Лабораторна робота № 6. Дослідження параметрів і властивостей біполярного транзистора.....	55
Лабораторна робота № 7 Дослідження підсилювача сигналів звукової частоти.....	63
Лабораторна робота № 8 Зняття характеристик та визначення параметрів польового транзистора.....	72
Лабораторна робота № 9. Дослідження генератора гармонічних коливань.....	82
Лабораторна робота № 10. Вивчення мультівібратора.....	91
Лабораторна робота № 11. Вимірювання коефіцієнта стабілізації, вихідного опору та частотної смуги непрозорості інтегральних схем (ІС) стабілізаторів напруги.....	100

ВСТУП

Метою дисципліни „Основи сучасної електроніки” є вивчення технічних характеристик, елементів управління і правил користування приладами, що використовуються в даному курсі; вимірювання параметрів радіоелектронних сигналів; дослідження електричних кіл постійного та змінного струму; вивчення роботи елементів і схем на їх основі; накопичування та оброблення експериментальних даних; вміння працювати з відповідною літературою.

За підсумками вивчення курсу студент повинен

знати: методи розрахунку лінійних, нелінійних та високочастотних кіл, радіотехнічні сигнали та кола, елементи радіотехнічних кіл, еквівалентні схеми елементів і межі їх застосування, основні вузли радіоелектронних приладів: джерела живлення, підсилювачі, генератори, цифрові, аналогові пристрої та їх комбінації; методику вимірювання параметрів та характеристик схем, вміння самостійно обирати необхідні методи, прилади та обладнання для їх вимірювання;

вміти: проектувати радіотехнічні кола, виконувати їх розрахунки, свідомо використовувати радіоелектронні прилади для вимірювання і оброблення радіотехнічних сигналів.

Зміст курсу: теорія електричних та магнітних кіл; поняття, класифікація, параметри, подання електричних кіл та їх елементів; закони електричних кіл; розрахунок лінійних кіл; одержання, параметри, векторне зображення синусоїдальних електричних величин; комплексний метод розрахунку кіл синусоїдального струму з послідовним і паралельним з'єднанням R , L , C ; резонанс напруг і струмів; перехідні процеси в лінійних електричних колах; закони комутації; періодичні несинусоїдальні напруги і струми в лінійних колах; розрахунок електричних кіл при несинусоїдальних напругах і струмах; вивчення роботи елементів радіоелектронної апаратури; випрямлячі змінного струму, фільтри, стабілізатори, підсилювачі сигналів, автогенератори гармонічних коливань, генератори релаксаційних коливань.

Перед початком виконання кожної лабораторної роботи студент повинен здати теоретичний мінімум і отримати допуск до неї: знати відповіді на контрольні питання, послідовність виконання роботи та заготовити конспект звіту для занесення експериментальних даних.

Після закінчення виконання завдань отримані результати повинні бути завірені у інженера лабораторії.

Залік лабораторної роботи полягає у захисті її повністю оформленого звіту.

В даному навчально-методичному виданні представлені інструкції до виконання десяти лабораторних робіт. Їх виконання дає студентам змогу практично затвердити знання, отримані в лекційному та практичному курсах з вище зазначеної дисципліни.

Лабораторна робота № 1

ВИВЧЕННЯ СТРУКТУРИ І ПРАВИЛ КОРИСТУВАННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННИМИ ПРИЛАДАМИ. ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИГНАЛІВ ТА ЙОГО ПОХИБКИ

Мета роботи: Вивчення структури, технічних характеристик, елементів управління і правил користування радіоелектронними приладами; вимірювання параметрів радіоелектронних сигналів.

Обладнання: мілівольтметр ВЗ-38, вольтметр універсальний цифровий В7-35, генератор сигналів низькочастотний ГЗ-123, генератор імпульсний Г5-63, осцилограф універсальний С1-83, джерело живлення постійного струму Б5-44А.

1. Теоретичні відомості

1.1. Класифікація приладів

Використовувані при виконанні лабораторних робіт прилади можуть бути класифіковані на такі види:

1. Формувачі: джерела живлення постійного та змінного струмів; генератори гармонічного, прямокутного сигналів.

2. Реєстратори: вольтметри, амперметри, омметри, фазометри, осцилографи, характеріографи.

Джерело живлення постійного струму Б5-44А призначене для живлення схем постійними стабілізованими напругою або струмом.

Генератор сигналів низькочастотний ГЗ-123 являє собою джерело гармонічного сигналу з підвищеною вихідною потужністю і призначений для дослідження, налаштування та випробувань схем і приладів, що використовуються в радіоелектроніці.

Генератор імпульсів Г5-63, призначений для дослідження і обслуговування радіотехнічних пристроїв, є джерелом імпульсів прямокутної форми позитивної і негативної полярності змінної частоти та амплітуди.

Вольтметр універсальний цифровий В7-35 призначений для вимірювання напруги постійного і змінного струму, сили постійного і змінного струму, опору постійному струму з індикацією результату вимірювання в цифровій формі і з автоматичним вибором межі вимірювань.

Мілівольтметр ВЗ-38 призначений для вимірювання напруги змінного струму до 300 В з частотою до 5 МГц.

Осцилограф С1-83 призначений для візуального спостереження і дослідження електричних сигналів в діапазоні 0 ÷ 5 МГц шляхом:

- вимірювання амплітудних і часових параметрів досліджуваного сигналу;

- одночасного зображення двох досліджуваних сигналів на одній розгортці;
- зображення функціональних залежностей між двома сигналами в режимі X-Y.

В обох класах приладів може використовуватися атенюатор - пристрій примусового ослаблення прийнятого сигналу (від франц. *attenuer* - зм'якшити, послабити). Величина ослаблення може регулюватися плавно або декількома ступенями.

Вхідний атенюатор (наприклад, в С1-83) призначений для узгодження рівня вхідних сигналів з діапазоном вимірювання реєстратора.

Вихідний атенюатор (наприклад, в ГЗ-123) призначений для ступінчастого регулювання (ослаблення) рівня вихідної напруги формувача.

Коефіцієнт ослаблення атенюатора K визначають за формулою:

$$K = \frac{U_{\text{вх}}}{U_{\text{вих}}}, \quad (1.1)$$

де $U_{\text{вх}}$ - вхідна напруга пристрою, В;

$U_{\text{вих}}$ - вихідна напруга пристрою, В.

Величину K в абстрактних одиницях перераховують в децибели (дБ) згідно з виразом:

$$N = 20 \cdot \lg \frac{U_{\text{вх}}}{U_{\text{вих}}}, \quad (1.2)$$

де N - ступінь ослаблення, дБ;

1 дБ = 0,1 Бел, 1 Бел = $\lg 10$.

1.2. Класифікація сигналів

Сигнал - фізичний процес, що несе інформацію, тобто відомості, якими обмінюються об'єкти між собою. У радіотехніці та електроніці носієм сигналу є електромагнітна енергія.

Слід розглядати два типи сигналів - зразкові і вимірювальні, що розрізняються характером інформації, що утримується в них.

Зразковими називають сигнали з апріорно відомими характеристиками, формовані за допомогою зразкових мір і цифроаналогових перетворювачів.

Вимірювальними називають сигнали, один або кілька параметрів яких апріорно невідомі і функціонально пов'язані з вимірюваною величиною. Вимірювальні сигнали розділяються в залежності від того, в якій частині засобу вимірювань (ЗВ) вони діють. Сигнали, що діють на вході ЗВ, називають вхідними, а на виході - вихідними.

Параметри вимірювального сигналу, що несуть невідомі нам дані, вимірювальну інформацію, називаються інформативними параметрами.

Інформативним параметром сигналу є параметр, функціонально пов'язаний з вимірюваною величиною.

Математичні функції, що описують сигнали, можуть приймати як дійсні, так і комплексні значення. Відповідно сигнали можуть бути дійсними і комплексними.

Знання математичних моделей сигналів дає можливість класифікувати їх за різними ознаками. Так, насамперед, сигнали розділяються на невипадкові і випадкові в залежності від можливості або неможливості точного розрахунку їх миттєвих значень у будь-які моменти часу. Якщо математична модель дозволяє здійснити такий розрахунок, то сигнал є не випадковим і називається детермінованим. Він може бути заданий математичною функцією, обчислювальним алгоритмом і навіть словесним описом.

Випадковим називається сигнал, закон змінення якого в часі (або в просторі) носить випадковий характер.

У залежності від числа можливих значень вимірювальні сигнали розділяються на аналогові, квантовані і дискретизовані.

Аналоговим називають сигнал, зміна якого в часі або просторі має безперервний характер. Число миттєвих значень функції, що описує цей сигнал, нескінченно при будь-якому збільшенні аргументу.

Квантованим сигналом називається фізичний процес, основний параметр якого може приймати обмежену множину значень у межах діапазону вимірів.

Дискретизованим називають сигнал, у якого значення хоча б одного параметра може бути відмінне від нуля тільки при визначених значеннях аргументу функції, що його описує. Таким аргументом можуть бути: час, просторові координати, частота. Відповідно, сигнал називається дискретизованим за часом, за простором і за частотою.

Основними елементарними сигналами являються: постійний сигнал, ідеальний одиничний імпульс, синусоїдальний сигнал.

До періодичних складних сигналів відносяться полігармонічний сигнал, послідовність імпульсів прямокутної, експоненційної та іншої форм.

Сигнали також розрізняються за частотою: високочастотні та низькочастотні. Високочастотний сигнал може бути промодульований низькою частотою - це модульований ВЧ сигнал, а у випадку відсутності модуляції - немодульований ВЧ сигнал. **Імпульсні сигнали** являють собою модульовані ВЧ сигнали - імпульси напруги (струму), що діють протягом коротких проміжків часу, більших у порівнянні із тривалістю перехідних процесів - відеоімпульси. Імпульси можуть мати різну форму: прямокутну, трикутну та іншу.

Періодична послідовність імпульсів характеризується періодом проходження імпульсів T і частотою проходження імпульсів $f = 1/T$, тривалістю імпульсу τ , тривалістю паузи між імпульсами $T_{\text{п}}$, скважністю $q = T/\tau$, коефіцієнтом заповнення $K_3 = T/T_{\text{п}}$.

Параметри імпульсу: амплітуда U , тривалість: імпульсу τ , переднього фронту τ_{ϕ} , заднього фронту $\tau_{сп}$ визначаються згідно з рисунком 1.1.

Одиночний імпульс або періодичну послідовність імпульсів можна представити у вигляді спектра - суми або інтеграла гармонік (синус, косинус) з різними амплітудами й фазами (Фур'є - спектр). Спектр зображується у вигляді амплітудно-частотної і фазочастотної характеристик, що показують залежність амплітуди й фази сигналу від частоти.

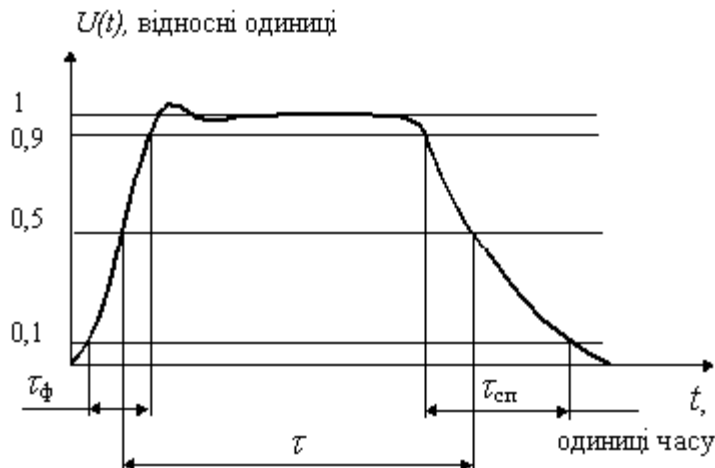


Рисунок 1.1

1.3 Вимірювання при регулюванні і налаштуванні

1.3.1 Основні поняття про вимірювальну техніку

Вимір - це знаходження значення фізичної величини дослідним шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів.

Засоби вимірів - це технічні засоби, які мають нормовані метрологічні характеристики. При цьому значення фізичної величини, відлічуване по відліковому пристрою засобу виміру, строго відповідає певній кількості фізичних одиниць, прийнятих за одиниці виміру.

До засобів вимірювання відносяться:

- - міра
- - вимірювальні прилади
- - вимірювальні перетворювачі
- - вимірювальні системи
- - установки, комплекси.

Міра - це засіб вимірів, призначений для відтворення фізичної величини заданого розміру. Міри бувають однозначні і багатозначні. До однозначних мір відносяться котушки опору, котушки індуктивності, нормальні елементи та ін.; до багатозначних - магазини опорів, конденсатори змінної ємності, калібратори напруги і струму та ін.

Вимірювальний прилад - засіб вимірів, призначений для видачі кількісної інформації про вимірювану величину в доступній для сприйняття формі.

За способом відліку значень вимірюваної величини вимірювальні прилади поділяються на аналогові та цифрові. У аналогових вимірювальних приладах значення вимірюваної величини визначається безпосередньо за шкалою зі стрілкою або іншими покажчиками. У цифрових вимірювальних приладах значення вимірюваної величини визначається за цифровим індикатором приладу.

Вимірювальні прилади поділяють на показуючі та реєструючі.

Показуючі вимірювальні прилади призначені для відліку результату вимірів в аналоговій або цифровій формі, реєструючі - для реєстрації результату виміру.

Вимірювальний перетворювач - засіб вимірів, призначений для вироблення сигналу вимірювальної інформації у формі, зручній для передачі, подальшого перетворення, обробки і зберігання, але що не піддається безпосередньому сприйняттю. До вимірювальних перетворювачів відноситься подільники напруги, підсилювачі, вимірювальні трансформатори та ін.

По метрологічному призначенню засоби вимірів поділяються на:

- - еталонні;
- - зразкові;
- - робочі.

Робочі засоби вимірів застосовуються для вимірів, не пов'язаних з передачею розміру одиниць.

Зразкові засоби вимірів призначені для передачі розміру одиниць від еталонів до робочих засобів виміру, тобто служать для їх перевірки.

Еталон - засіб вимірів, забезпечуючий відтворення і зберігання одиниці фізичної величини для передачі її розміру засобам виміру, нижчестоячим за перевіркою схемою.

1.3.2 Види і методи вимірів

Залежно від отримання результату - безпосередньо в процесі виміру або після виміру шляхом наступних розрахунків - розрізняють прямі, непрямі і сукупні виміри.

Прямі виміри - виміри, при яких шукане значення фізичної величини визначається безпосередньо з дослідних даних. Наприклад, визначення значення протікаючого струму в ланцюзі за допомогою амперметра.

Непрямі виміри - виміри, при яких вимірюється не сама фізична величина, а величина, функціонально пов'язана з нею. Вимірювана величина визначається на основі прямих вимірів величини, функціонально пов'язаної з вимірюваною, з наступним розрахунком на основі відомої функціональної залежності. Наприклад, вимір потужності постійного струму за допомогою амперметра і вольтметра з наступним розрахунком потужності по відомій залежності $P = U \cdot I$.

Сукупні виміри - виміри декількох однорідних величин, на підставі яких значення шуканої величини знаходять шляхом рішення системи рівнянь.

Суть виміру фізичних величин вимірювальними приладами полягає в порівнянні (співставленні) їх з однорідною фізичною величиною, прийнятою за одиницю. І перш, ніж проводити вимірювання, необхідно залежно від необхідної точності і від наявності вимірювальних приладів вибрати відповідний метод виміру.

Метод виміру - сукупність прийомів використання принципів і засобів вимірів. Виміри одержують одним з двох методів : методом безпосередньої оцінки або методом порівняння з мірою.

Метод безпосередньої оцінки - метод, при якому значення шуканої величини визначають безпосередньо по відліковому пристрою вимірювального приладу. Приклад методу безпосередньої оцінки - вимір струму амперметром.

1.4 Похибки вимірів

Результат вимірів фізичної величини завжди відрізняється від істинного значення на деяку величину, яка називається похибкою. Класифікація похибок залежно від джерела виникнення, умов проведення вимірів, характеру прояву вимірюваної величини в часі і способу її вираження приведена нижче:

Похибка методу обумовлена недосконалістю методу і прийомів використання засобів вимірів. Наприклад, при визначенні потужності постійного струму за показами амперметра і вольтметра без урахування потужності, споживаної вказаними приладами, виникає методична похибка.

Інструментальна похибка (похибка інструменту) обумовлюється похибкою застосованих засобів вимірів. Наприклад, похибки із-за неточного градування вимірювального приладу.

Суб'єктивна похибка обумовлена недосконалістю органів чуття оператора. Наприклад, похибка при вимірі частоти методом биття із слуховим контролем.

Основна похибка - похибка, що виникає в нормальних умовах застосування засобу виміри (температура, вологість, напруга живлення та ін.), які нормуються і вказуються в стандартах або технічних умовах.

Додаткова похибка обумовлюється відхиленням однієї або декількох впливаючих величин від нормального значення. Наприклад, зміна температури довкілля, зміна вологості, коливання напруги мережі живлення. Значення додаткової похибки нормується і вказується в технічній документації на засоби виміру.

Додаткова похибка від дії впливаючої величини - це зміна оціненої статичної функції перетворення, яка викликана відхиленням однієї з впливаючих величин від встановленого за нормальних умов номінального значення або номінального діапазону, причому усі інші впливаючі величини зберігають своє номінальне значення або свій номінальний діапазон.

Систематична похибка - постійна похибка або така, що закономірно змінюється при повторних вимірах однієї і тієї ж величини в однакових умовах виміру. Наприклад, похибка, що виникає при вимірі опору ампервольтметром, обумовлена розрядом батареї живлення.

Систематична складова основної похибки при одному і тому ж значенні інформативного параметра вхідного сигналу в незмінних умовах застосування залишається постійною або змінюється настільки повільно, що її змінами за час виміру можна нехтувати, або змінюється за певним законом, якщо умови міняються.

Випадкова похибка - похибка виміру, характер зміни якої при повторних вимірах однієї і тієї ж величини в однакових умовах випадковий. Наприклад, похибки відліку при декількох повторних вимірах.

Груба похибка (промах) - похибки виміру, яка істотно перевищує очікувану в цих вимірах.

Статична похибка - похибка при вимірі постійної за часом величини. Наприклад, похибки виміру незмінної за час виміру напруги постійного струму.

Динамічна похибка - похибка виміру величини, що змінюється в часі. Наприклад, похибка виміру комутованої напруги постійного струму, обумовлена перехідними процесами при комутації, а також обмеженою швидкодією вимірювального приладу.

Абсолютна похибка виміру Δ - різниця між результатом виміру X і істинним значенням X_0 вимірюваної величини:

$$\Delta = X - X_0, \quad (1.3)$$

Абсолютна похибка виражається в одиницях вимірюваної величини.

Відносна похибки виміру δ - відношення абсолютної похибки виміру Δ до істинного значення вимірюваної величини X_0 :

$$\delta = \frac{\Delta}{X_0} = \frac{X - X_0}{X_0} \quad (1.4)$$

Відносна похибка - безрозмірна величина. Оскільки істинне значення вимірюваної величини X_0 невідоме, то практично використовують дійсне значення вимірюваної величини X_A , і тоді похибки визначається як різниця між вимірним X і дійсним значенням X_A :

$$\Delta = X - X_A \quad (1.5)$$

Дійсне значення знаходять експериментально, шляхом застосування точніших методів і засобів вимірів. Зазвичай за дійсне значення приймають показання зразкових засобів виміру.

Значення відносної похибки δ на практиці визначається як відношення абсолютної похибки до дійсного значення:

$$\delta = \frac{\Delta}{X_D} = \frac{X - X_A}{X_A} \quad (1.6)$$

Приведена похибки виміру γ - це відношення абсолютної похибки Δ до нормуючого значення X_N :

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} \cdot 100\% \quad (1.7)$$

Нормуюче значення X_N - це встановлене значення ширини діапазону або певне значення, до якого відноситься значення характеристики.

Нормуючого значення X_N набуває рівним:

- 1) $X_N = X_{100\%}$ - кінцевому значенню діапазону вимірів - для приладів з одnobічною шкалою;
- 2) $X_N = X_{100\%} + X_{0\%}$ - сумі кінцевих значень діапазону вимірів - для приладів з двобічною шкалою;
- 3) $X_N = X_{100\%} - X_{0\%}$ - різниці кінцевого і початкового значень діапазону - для приладів з безнульовою шкалою.

При логарифмічному, гіперболічному і статистичному характері шкали приладу приведену похибки виражають у відсотках від довжини шкали.

1.4 Обробка результатів вимірів

Результат виміру, під яким розуміють значення величини, визначене при її вимірі, отримують після відповідної обробки результатів спостережень: визначають систематичну складову похибки і виключають промахи. Систематичну складову виключають шляхом введення поправки $\Delta\Pi$. Значення поправки дорівнює абсолютній систематичній похибки Δ , узятій з протилежним знаком:

$$\Delta\Pi = -\Delta \quad (1.8)$$

З урахуванням поправки результат виміру набуває значення:

$$X = X_{\bar{a}} + \Delta\Pi \quad (1.9)$$

Вплив випадкової складової похибки можна зменшити багаторазовим повторенням одного і того ж виміру в однакових умовах (з наступною обробкою результату методами математичної статистики). Оскільки вірогідність появи позитивних і негативних випадкових похибок однакова, то за результат вимірів при досить великій їх кількості приймають середнє арифметичне $X_{\text{сеп}}$ з усіх отриманих результатів $X_1, X_2, X_3, \dots, X_N$:

$$X_{\text{сеп}} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_N}{N} \quad (1.10)$$

де N - кількість вимірів.

Випадкову похибки одиничного виміру характеризують середньоквадратичною похибкою σ , яка розраховується згідно з виразом:

$$\sigma = \frac{\sqrt{(X_1 - X_{\text{сеп}})^2 + (X_2 - X_{\text{сеп}})^2 + \dots + (X_N - X_{\text{сеп}})^2}}{N - 1} \quad (1.11)$$

При цьому максимальна випадкова похибка M рівна:

$$M = \pm 3\sigma \quad (1.12)$$

З урахуванням систематичної і випадкової похибок межі можливих значень вимірюваної величини визначаються наступними виразами:

$$X = X_{\text{сеп}} \pm (\Delta + \sigma) - \text{з вірогідністю } 68,0\%. \quad (1.13)$$

$$X = X_{\text{сеп}} \pm (\Delta + 2\sigma) - \text{з вірогідністю } 95,0\%. \quad (1.14)$$

$$X = X_{\text{сеп}} \pm (\Delta + 3\sigma) - \text{з вірогідністю } 99,7\%. \quad (1.15)$$

При обробці результатів непрямих вимірів, якщо шукана вимірювана величина X дорівнює добутку декількох величин, виміряних прямим методом:

$$X = A^K \cdot B^M \cdot C^N \quad (1.16)$$

де K , M , N - постійні числа, то гранична відносна похибки непрямого виміру визначається за наступним виразом:

$$\delta_X = |K \cdot \delta_A| + |M \cdot \delta_B| + |N \cdot \delta_C| + \dots \quad (1.17)$$

При обробці непрямих вимірів, якщо вимірювана величина X дорівнює сумі (різниці) декількох однорідних величин $X = X_1 \pm X_2 \pm \dots$, гранична відносна похибка визначається за виразом:

$$\delta_X = \frac{|X_1 \cdot \delta_1| + |X_2 \cdot \delta_2| + \dots}{X} \quad (1.18)$$

В результаті обробки результатів спостережень отримуємо числове значення вимірюваної шуканої величини. Отримане значення похибки виміру дозволяє оцінити достовірність числових значень.

1.5 Правила округлення результатів обробки

1. Значення похибки складає не більше двох значущих цифр, причому остання цифра округляється зазвичай до нуля або п'яти.
2. Числове значення результату вимірів повинне закінчуватися цифрою того ж розряду, що і значення похибки. Приклад: $235,732 \pm 0,15$ округляється до $235,73 \pm 0,15$.
3. Якщо перша з відкиданих цифр менше п'яти, то цифри, що залишаються, не змінюються. Приклад: $442,741 \pm 0,4$ округляється до $442,7 \pm 0,4$.
4. Якщо перша з відкиданих цифр більше або рівна п'яти і за нею йде значуща цифра, то остання цифра, що залишається, збільшується на одиницю. Приклад: $37,268 \pm 0,5$ округляється до $37,3 \pm 0,5$; $37,252 \pm 0,5$ округляється до $37,3 \pm 0,5$.
5. Якщо перша з відкиданих цифр рівна п'яти і за нею не слідує значущих цифр, то округлення виробляється до найближчого парного. Приклад: $21,35 \pm 0,2$ округляється до $21,4 \pm 0,2$; $21,45 \pm 0,2$ округляється до $21,4 \pm 0,2$; $21,55 \pm 0,2$ округляється до $21,6 \pm 0,2$.

Останнє правило ускладнює обробку результатів вимірів за допомогою ПЕОМ. У зв'язку з цим, якщо перша з відкиданих цифр рівна п'яти, пропонується збільшувати останню з цифр, що залишилася, на одиницю.

1.6 Похибки цифрових вимірювальних приладів

В процесі вимірювання аналогової величини $X(t)$ може відбуватися дискретизація за часом, квантування за значенням.

Дискретизація за часом складається в уявленні неперервної функції $X(t)$ рядом її миттєвих значень, визначених через однакові проміжки часу, не більше ніж

$\Delta t = \frac{1}{2f_m}$ (теорема В.А. Котельникова), де f_m – максимальна частота в спектрі

функції $X(t)$

Квантування за значенням даної величини X заключається в розподіленні X на ступені квантування ΔX_K .

В результаті вимірювання X - його значення представляється найближчим до нього дискретним числовим значенням $X_N = N_X \cdot \Delta X_K$

де N_X – число ступенів квантування;

X_N – покази цифрового пристрою.

Зі збільшенням числа ступенів квантування і зменшенням тривалості циклу знижується похибка вимірювання, а складність та вартість цифрових приладів збільшується.

Значення вимірюваної величини X представляється одним із найближчих дискретних значень $N \cdot \Delta X_K$ або $(N+1) \cdot \Delta X_K$.

В результаті виникає похибка квантування або дискретності δ_K .

В залежності від закону розподілу ймовірності похибки квантування (а) симетричний, б) несиметричний, в) з поправкою на $0.5\Delta X_K$) середньоквадратичне значення похибки по відношенню до результату вимірювання складає:

$$\text{а) } \delta_K = \pm \Delta X_K; \text{ б) } \delta_K = +\Delta X_K; \text{ в) } \delta_K = \pm \frac{\Delta X_K}{2}.$$

Сумарна абсолютна похибка приладу складається з постійної аддитивної складової, що не залежить від величини X , та змінної мультиплікативної складової, яка залежить від величини X .

В цифрових приладах точність характеризується сукупністю двох складових похибки: мультиплікативної $\gamma_{\text{мульт}}$ в відсотках від X та аддитивної $\gamma_{\text{адд}}$ в відсотках від $X_{\text{номін}}$ або числом одиниць молодшої декади.

Сумарна абсолютна похибка вимірювання в цьому випадку дорівнює:

$$\delta_{\Sigma} = \gamma_{\text{мульт}} \cdot \frac{X}{100} + \gamma_{\text{адд}} \cdot \frac{X_N}{100}, \quad (1.18)$$

Сумарна відносна похибка:

$$\gamma_{\Sigma} = \gamma_{\text{мульт}} + \gamma_{\text{адд}} \cdot \frac{X_N}{X}, \quad (1.19)$$

В цифрових приладах клас точності позначають двома числами ($c = \gamma_{\text{мульт}} + \gamma_{\text{адд}}$ та $d = \gamma_{\text{адд}}$), розділеними косою лінією, наприклад $00,2/0,01$.

2. Завдання

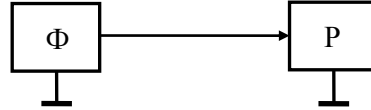
2.1 Вивчити структури, технічні характеристики і правила користування радіоелектронними приладами згідно з методичними рекомендаціями до навчального посібника „Основи сучасної електроніки”.

2.2 Провести вимірювання параметрів електричних сигналів відповідно до розділу 3 „Порядок виконання роботи”

2.3 Скласти звіт про виконану роботу. Звіт повинен містити у собі: найменування і мету роботи, технічні характеристики досліджуваного об'єкта, основні паспортні дані використаної контрольної-вимірювальної апаратури, схему дослідження з стислою характеристикою елементів, що входять до неї, опис виконаних дій, таблицю вимірювань, графік основної досліджуваної залежності, обчислення основних параметрів досліджуваного об'єкта, стислі висновки по роботі. Визначити похибки вимірювань.

3. Порядок виконання роботи

3.1 Зібрати схему вимірювань параметрів радіоелектронних сигналів згідно з рисунком 1.2.



Ф- формувач, Р – реєстратор

Рисунок 1.2

Для цього приєднати вихід формувача до входу реєстратора, враховуючи, що будь-яке з'єднання має два автономних провідника, один з яких є потенціальним, а інший - загальним. Спочатку – загальний провід до загального затискача („землі”, корпусу, загальної точки електричного кола), а потім потенціальний провід приєднується до потенціального затискача (входу) приладу. Виконавши з'єднання, перевірити їх правильність разом з викладачем або інженером.

3.2 Провести вимірювання параметрів постійного електричного сигналу. Як формувач використати джерело постійного струму Б5-44А, а як реєстратор використати вольтметр В7-35 та осцилограф С1-83.

Послідовно задати на Б5-44А значення напруги відповідно до таблиці 1.1 і зняти показання реєстратора. У стовпчик «поділлка (П)» вносять показання приладу в поділках, у колонку «ціна (Ц)» - вносять ціну поділки або межу вимірювання.

Таблиця 1.1 Результати вимірювання постійного сигналу

Прилад	U, В														
	1		2		5		8		10						
Б5-44А															
В7 - 35															
С1 - 83	Ц	П	U,В	Ц	П	U,В	Ц	П	U,В	Ц	П	U,В	Ц	П	U,В

Ц–ціна поділки, П–кількість поділок, U (В)–напруга;

Після виконання вимірів за допомогою В7-35 підключити як реєстратор осцилограф С1-83. Допускається одночасне використання двох реєстраторів.

При використанні за реєстратора осцилографа приєднати вихід формувача до входу I або II. Осцилограф використати в режимі спостереження сигналу відповідного каналу (перемикач режиму роботи підсилювача встановити в положення I або II; перемикач синхронізації - у відповідне каналу положення; ручки плавного регулювання „В/дел” та „Время/дел” - в крайнє праве положення).

3.3 Виконуючи вимоги п.п 3.1, провести вимірювання параметрів гармонійного сигналу генератора ГЗ-123 вольтметром ВЗ-38 та осцилографом С1-83 для заданих в табл. 1.2 значень U і f . Результати вимірювань занести в табл. 1.2. (Якщо на вольтметрі ВЗ-38 ручка перемикача піддіапазону стоїть на відмітці 10V, то в стовпчик ціна поділки вносять 10V/30).

Таблиця 1.2 Результати вимірювання гармонійного сигналу

Прилад	Параметр	Значення				
		ГЗ - 123	$U, В$	2	2	5
$f, кГц$	1		10	5	10	20
ВЗ - 38	U	Ц				
		П				
		В				
С1 - 83	U	Ц				
		П				
		В				
	T	Ц				
		П				
		мс				

3.4 Виконуючи вимоги п.п 3.1 провести вимірювання параметрів імпульсного сигналу генератора Г5-63 за допомогою осцилографа С1-83 для заданих в табл. 1.3 значень U , T , τ . Результати вимірювань занести в табл. 1.3.

3.5 Виключити прилади у наступній послідовності: формувач, реєстратор, стенд. Розібрати схему й здати робоче місце інженеру.

3.6 Зробити відмітку про виконання роботи в інженера або викладача.

Таблиця 1.3 Результати вимірювання імпульсного сигналу

Прилад	Параметр	Значення				
Г5 - 63	U, В	2	2	5	5	5
	T, мкс	30	30	10	15	20
	τ , мкс	5	10	2	5	5
	$q = T/\tau$					
С1-83	U	Ц				
		П				
		В				
	T	Ц				
		П				
		мкс				
	τ	Ц				
		П				
		мкс				
	$q = T/\tau$					

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Початкові дані для розрахунку.
3. Принципова схема лабораторної установки.
4. Таблиці експериментальних і розрахункових даних.
5. Графіки залежностей, отриманих в результаті експерименту.
6. Короткі висновки за результатами розрахунку і експерименту.

Контрольні запитання

1. Дати класифікацію і призначення радіоелектронних приладів.
2. До якого типу приладів за класифікаційною схемою належить осцилограф С1-83? Пояснити режими роботи осцилографа.
3. Чому відрізняються амплітуди напруг, зареєстрованих мілівольтметром В3-38 або осцилографом С1-83, від заданих на виході генераторів Г3-123, Г5-63?
5. Що таке децибел?
6. Пояснити зміст поняття „сигнал”. Дати класифікацію сигналів.
7. Дати означення параметрів гармонічних сигналів.
8. Дати означення параметрів прямокутних імпульсних сигналів.
9. Типи і визначення похибок вимірювання.
10. Особливості похибок цифрових приладів.

Література

1. Генератор імпульсов Г5-63: Техническое описание и инструкция по эксплуатации. - МЭТЗ, 1989. - С.77.
2. Осциллограф универсальный С1-83: Техническое описание и инструкция по эксплуатации. - ЛПО, 1990. - С.10-12, 33-35, 46-53.
3. Ефимчик М.К., Шушкевич С.С. Основы радиоэлектроники. - Мн.: Университетское, 1986. - С.16, 253-257.
4. Сисоев В.М., Чернявський В.П. Радіотехніка з елементами обчислювальної техніки: Практикум. - К.: Вища шк., 1986. - С.14-23.

Лабораторна робота № 2

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕРОЗГАЛУЖЕНОГО ЛІНІЙНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Мета роботи: вивчення нерозгалуженого лінійного електричного кола постійного струму, побудування потенціалограми кола.

Обладнання: джерела живлення постійного струму Б5-44А, вольтметр універсальний цифровий В7-35, резистори типу МЛТ.

1. Теоретичні відомості

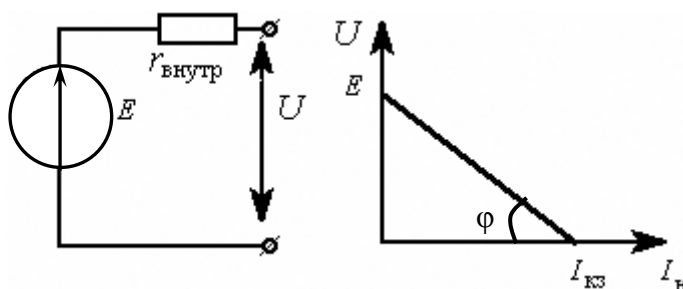
Електричне коло - з'єднання джерел живлення, провідників, споживачів, вимірювальних приладів, призначених відповідно для створення, передавання, використання та контролю енергії електричного струму. Електричні кола підрозділяються на розгалужені і нерозгалужені. У всіх елементах нерозгалуженого кола діє однаковий струм. Нерозгалуженим називають електричне коло з послідовним з'єднанням його елементів.

Розгалуженим називають коло з паралельним або змішаним з'єднанням його ділянок.

Постійним називають струм, незмінний за часом, який являє собою спрямований рух часток, які несуть електричні заряди (в металах - вільні електрони, в рідинах - іони, в газах - електрони та іони).

Джерела електричної енергії - це перетворювачі хімічної, ядерної, механічної, сонячної, теплової та інших видів енергії в електричну. Джерела електричної енергії характеризуються значенням і напрямком електрорушійної сили (ЕРС) і внутрішнім опором. Зображення джерела електричної енергії - коло зі стрілкою в середині, яка показує позитивний напрямок ЕРС або струму (усередині джерела - від його мінуса до плюса). При аналізі і розрахунках електричних кіл джерела електроенергії з ЕРС E і внутрішнім опором $r_{\text{вн}}$ можуть бути подані двома схемами заміщення: з джерелом ЕРС або з джерелом струму.

Джерелом ЕРС називається джерело електроенергії, внутрішній опір якого значно менше опору зовнішньої схеми ($r_{\text{вн}} \ll R_{\text{н}}$), тому напруга на полюсах джерела $U = E - r_{\text{вн}} \cdot I_{\text{н}}$ при зміні величини струму в межах від нуля до $I_{\text{номін}}$ змінюється мало.



Джерело струму, навпаки має значно більший внутрішній опір ($r_{\text{вн}} \gg R_{\text{н}}$), тому струм $I_{\text{н}}$ кола практично не залежить від напруги на навантаженні при її зміні від нуля до $U_{\text{номін}}$.

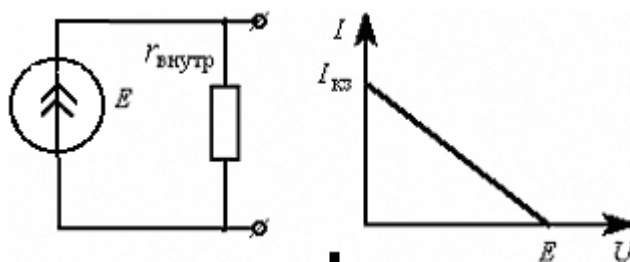


Схема заміщення реального джерела ЕРС складається з ідеального джерела ЕРС і послідовно з'єднаного з ним внутрішнього опору реального джерела електроенергії.

Схема заміщення реального джерела струму складається з ідеального джерела струму, і паралельно з'єднаного з ним внутрішнього опору реального джерела електроенергії.

$$I = I_{\text{кз}} - \frac{U}{r_{\text{внутр}}}$$

Схеми заміщення не відображають процесів, які відбуваються всередині джерела і рівноцінні лише в відношенні енергії, споживаної навантаженням $R_{\text{н}}$.

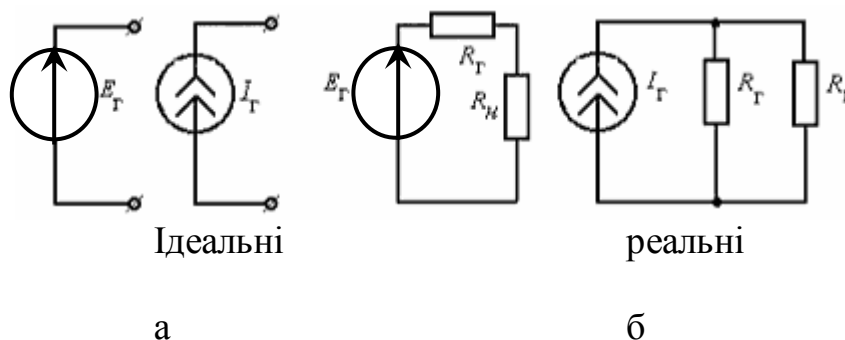


Рисунок 2.1

Споживач струму (навантаження) - елемент електричного кола, у якому відбувається перетворення і споживання енергії електричного струму.

Під **резистивним елементом** або **опором** розуміють такий ідеалізований пасивний елемент, у якому електрична енергія перетворюється в інший вид енергії. Основне рівняння елемента, що зв'язує струм і напругу, його вольт-амперна характеристика, визначається законом Ома, що встановлює пропорційність напруги і струму:

$$U = I \cdot r. \quad (2.1)$$

Лінійне співвідношення (2.1) між напругою і струмом має графік у вигляді прямої, що проходить через початок координат (рис. 2.2) і має кут нахилу, який визначається величиною опору.

$$\operatorname{tg}\alpha = r = U_i / I_i$$

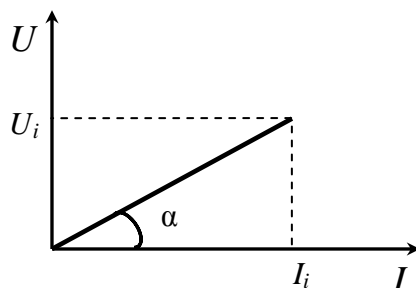


Рисунок 2.2

2. Завдання

2.1 Зібрати електричну схему нерозгалуженого кола.

2.2 Виміряти потенціали в різних точках нерозгалуженого кола за допомогою вольтметра В7-35.

2.3 Розрахувати падіння напруг на резисторах та струм, що протікає через них.

2.4 Побудувати потенціалограму для кожного варіанту включення джерел постійного струму E_1 та E_2 .

3. Порядок виконання роботи

3.1 Зібрати електричне коло згідно рис. 2.3. За допомогою лаборанта або викладача перевірити зібране коло.

3.2 Задати на одному із джерел живлення значення вихідної напруги 1В та регулятором «I» перевести його в режим стабілізації струму. Перемикач «V/mA» установити в положення «mA» і переконатися, що показання індикатора Б5-44 відмінні від нуля. Це означає, що по зібраному Вами колу тече струм.

3.3 Встановити на джерелі E_1 напругу відповідно до таблиці 2.1(згідно варіанту), а на E_2 $U=0$ В.

Провести за допомогою вольтметра В7-35 вимірювання потенціалів кола в точках 1,2,3,4,5 (Рис. 2.3). Для цього гніздо «*» вольтметра В7-35 підключити до заземленої клеми джерела E_1 , а провідником, з'єднаним з другим входом В7-35 послідовно підключатися до заданих точок кола. Результати вимірів занести в табл. 2.2.

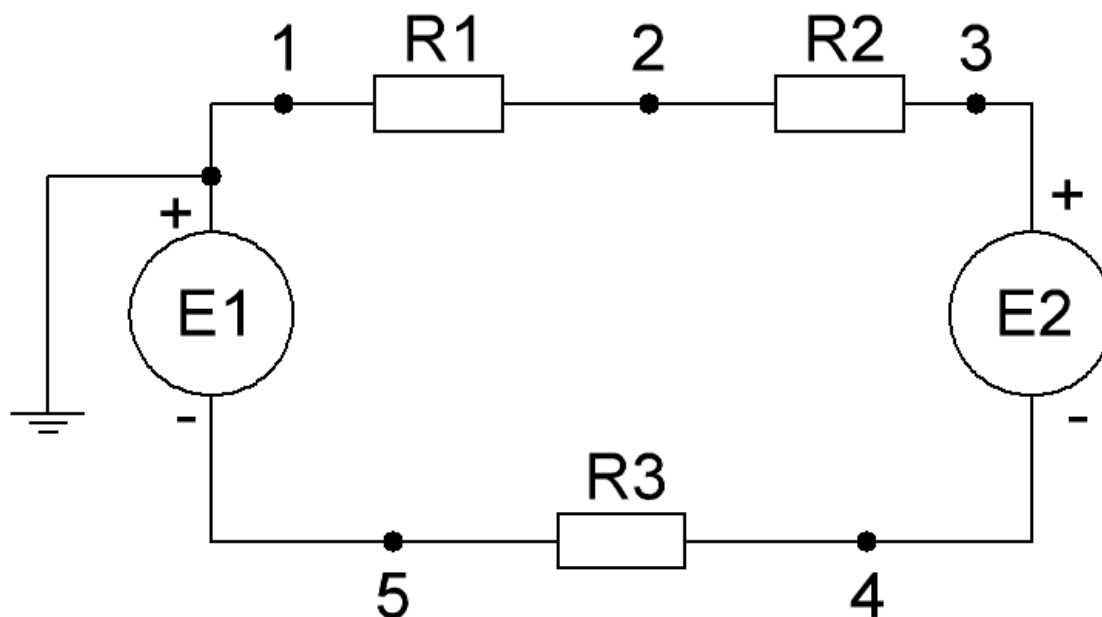


Рисунок 2.3 Схема нерозгалуженого лінійного електричного кола постійного струму

Таблиця 2.1 Варіанти завдань

Варіант	$U_1, \text{В}$	$U_2, \text{В}$	$R_1, \text{кОм}$	$R_2, \text{кОм}$	$R_3, \text{кОм}$
1	10	15	11,0	1,0	1,0
2	10	20	1,0	1,0	2,2
3	15	15	1,0	2,2	20,0
4	15	10	2,2	20,0	11,0
5	15	15	20,0	11,0	1,0
6	5	20	11,0	0,2	1,0
7	10	10	0,2	0,12	1,0

3.4 Установити на виході джерела E_1 напругу $U_1=0\text{В}$, а на виході джерела E_2 напругу U_2 , і повторити вимірювання згідно п. 3.3.

3.5 Установити на джерелах E_1 и E_2 напруги U_1 й U_2 , згідно з даними варіанту в таб. 2.1, і повторити вимірювання згідно п.3.3.

3.6. Розрахувати різницю потенціалів між точками кола, що зазначені у таблиці 2.3. Використовуючи закон Ома для ділянки кола й номінали резисторів, розрахувати струм, що протікає по цих ділянках кола. Результати занести в табл. 2.2. та 2.3.

Таблиця 2.2 Результати вимірювання потенціалів в точках нерозгалуженого кола

Потенціал	Режим		
	$U_1 \neq 0, B (U_2 = 0)$	$U_2 \neq 0, B (U_1 = 0)$	$U_1 \neq 0, B, U_2 \neq 0, B$
φ_1			
φ_2			
φ_3			
φ_4			
φ_5			

Таблиця 2.3 Результати розрахунків різниці потенціалів і електричних струмів

Електричні режими		U_{12}, B	U_{23}, B	U_{45}, B	I_1, A	I_2, A	I_3, A
$U_1 \neq 0$	$U_2 = 0$						
$U_1 = 0$	$U_2 \neq 0$						
$U_1 \neq 0$	$U_2 \neq 0$						

Примітка. У таблиці введені позначення: I_1, I_2, I_3 - значення струму, який протікає у резисторах R_1, R_2, R_3 відповідно;

Різницю потенціалів розраховують за формулою:

$$U_{ij} = \varphi_j - \varphi_i$$

Струм на ділянці кола - $I_i = \frac{U_{ij}}{R_{ij}}$, де

R_{ij} - опір ділянки кола між точками "i" та "j".

3.8. Побудувати потенціалограму для всіх досліджених кіл. Для цього на осі абсцис нанести опори ділянок кола між парами точок: "1-1", "1-2", "1-3", "1-4" й "1-5". По осі ординат відкласти виміряні потенціали точок 1-5 у такий спосіб. Потенціал φ_1 відповідає т. "1-1" на осі абсцис, φ_2 - т. "1-2", φ_3 - т. "1-3", і т.д.

Сусідні точки на графіку з'єднати прямими лініями. Потенціалограми для всіх трьох режимів вимірювання будуються на одному графіку.

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Початкові дані для розрахунку.
3. Попередній розрахунок.
4. Принципова схема лабораторної установки.
5. Таблиці експериментальних і розрахункових даних.
6. Графіки залежностей, отриманих в результаті експерименту і розрахунку.
7. Короткі висновки за результатами розрахунку і експерименту.

Контрольні запитання

1. Дати означення електричного кола. Назвати його основні елементи.
2. Пояснити, що являє собою електричний струм у резисторі, твердому тілі, розчині, газі.
3. Пояснити зміст поняття „схема заміщення”.
4. Дати означення потенціалу, спаду напруги на ділянці кола, спаду напруги на елементі кола.
5. Вказати ознаки лінійного електричного кола.
6. Якими параметрами характеризуються джерело ЕРС, джерело струму?
7. Сформулювати закон Ома для ділянки кола.
8. У якому випадку закон Ома не можна використовувати для нерозгалуженого електричного кола?
9. Пояснити лінійність вольт-амперних характеристик ділянок нерозгалуженого електричного кола.

Література

1. І.А. Борисенко. Електротехніка. Лінійні електричні кола.- К.: УМК ВО, 1991.- 224 с.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: В 2 т. - М.: Высш. шк., 1978. - 523 с.
3. Пинский А.А., Граковский Г.Ю. Физика с основами электротехники. - М.: Высш.шк., 1985. - С.73-81.
4. Резисторы: Справочник - М.: Радио и связь, 1991. - С.12-15, 56-101.
5. Электротехника / В.Г.Герасимов, Х.Э.Зайдель, В.В.Коген-Далин и др. - М.: Высш.шк., 1983. - С.13-17, 88-89, 95-97.

Лабораторна робота № 3

ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗГАЛУЖЕНОГО ЛІНІЙНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Мета роботи: вивчення законів, методів розрахунку параметрів і основних властивостей розгалуженого лінійного електричного кола постійного струму.

Обладнання: джерела живлення постійного струму Б5-44А, вольтметр універсальний цифровий В7-35, осцилограф універсальний С1-83, резистори типу МЛТ.

1. Теоретичні відомості

Розгалуженим вважається коло з паралельним або змішаним з'єднанням його ділянок, у складі якого є гілки, вузли та контури.

Гілка - це ділянка кола, що складається з послідовно з'єднаних елементів, через які тече однаковий струм.

Вузол - це місце з'єднання трьох і більше гілок в електричній схемі кола.

Електрична схема - це графічне зображення електричного кола за допомогою умовних позначок його елементів.

Електричний контур - будь-який замкнений шлях, який охоплює декілька ділянок кола.

Незалежним називається контур, що містить хоча б одну гілку, яка не входить в інший контур.

Лінійні електричні кола розраховуються за допомогою законів Кірхгофа:

I закон - сума струмів, що притікають до вузла, дорівнює сумі струмів, що витікають із вузла

$$\sum_j I_j = 0, \quad (3.1)$$

II закон - алгебраїчна сума ЕРС у замкнутому контурі дорівнює алгебраїчній сумі спадів напруг на елементах контуру

$$\sum_j^n E_j = \sum_i^m I_i R_i, \quad (3.2)$$

Знак ЕРС залежить від напрямку струму в джерелі і напрямку обходу контуру. Знак спаду напруги також визначається напрямком струму в елементі кола й напрямком обходу контуру.

1.1 Метод безпосереднього використання законів Кірхгофа

Даний метод доцільний у таких випадках:

- якщо відома величина частини струмів, але невідомі величини такої ж кількості джерел або елементів кола;
- для визначення спаду напруги між якими-небудь двома точками електричного кола;
- для перевірення правильності розрахунків, проведених будь-яким іншим методом.

Розрахунок розгалуженого кола за законами Кірхгофа полягає у визначенні сили струмів у всіх гілках кола. Порядок розрахунку:

- а) довільно вибирають напрямки невідомих струмів;
- б) довільно вибирають напрямки обходу контурів.

Контури вибирають так, щоб наступний контур містив мінімум одну гілку, що не входила ні в один із уже обраних контурів. Число рівнянь повинно дорівнювати числу невідомих струмів p , де p - кількість гілок. Спочатку за I законом складають $(q-1)$ рівнянь, де q - кількість вузлів, а потім за II законом $(p-q+1)$ відсутніх рівнянь.

1.2. Метод еквівалентних структурних перетворень

В основі різних методів перетворення електричних схем лежить поняття еквівалентності, відповідно до якого напруги і струми в гілках схеми, яких не торкнулися перетворення, залишаються незмінними. Перетворення електричних схем застосовуються для спрощення розрахунків.

Розглянемо найбільш типові методи перетворення.

1.2.1 Послідовне з'єднання опорів

При послідовному з'єднанні елементів через них протікає той самий струм I . Відповідно до другого закону Кірхгофа, напруга, прикладена до всього кола

$$U = \sum_k U_k, \quad (3.3)$$

де k - кількість елементів.

Для послідовно з'єднаних опорів r_1, r_2, \dots, r_n , з врахуванням (3.3) будемо мати

$$U = I \sum_k r_k = I r_{\text{екв}}, \quad (3.4)$$

Струм у колі з послідовним з'єднанням елементів дорівнює:

$$I = \frac{U}{r_{\text{екв}}}, \quad (3.5)$$

а напруга на n -ому елементі дорівнює

$$U = \frac{U}{r_{\text{екв}}} r_n, \quad (3.6)$$

1.2.2 Послідовне з'єднання джерел напруги

При послідовному з'єднанні джерел напруги вони замінюються одним еквівалентним джерелом з напругою $U_{\text{екв}}$, рівною алгебраїчній сумі напруг окремих джерел.

1.2.3 Паралельне з'єднання елементів

З'єднання груп елементів, при якому всі елементи перебувають під тою самою напругою, називається **паралельним**. Відповідно до першого закону Кірхгофа, струм всього кола I дорівнює алгебраїчній сумі струмів у паралельних гілках, тобто

$$I = \sum_k I_k, \quad (3.7)$$

На підставі цього рівняння для паралельного з'єднання резистивних елементів одержуємо:

$$I = U \sum_k g_k = U g_{\text{екв}}, \quad (3.8)$$

де $g_{\text{екв}} = \sum_k g_k$ - еквівалентна провідність.

Струми паралельно з'єднаних гілок при $U = \text{const}$ не залежать один від одного і визначаються за формулою:

$$I_k = \frac{U}{r_k} = U \cdot g_k, \quad (3.9)$$

При збільшенні числа паралельних гілок еквівалентна провідність електричного кола зростає, а еквівалентний опір відповідно зменшується. Це приводить до збільшення струму I . Якщо напруга залишається постійною, то збільшується також загальна потужність P . Струми і потужності попередніх гілок не змінюються.

1.3 Метод контурних струмів

Даний метод дає можливість спростити розрахунок електричних кіл у порівнянні з методом розрахунку за законами Кірхгофа за рахунок зменшення числа рівнянь, які доводиться вирішувати спільно. Цей метод полягає в тому, що на підставі другого закону Кірхгофа визначаються так звані контурні струми які замикаються в незалежних контурах, в яких відсутні внутрішні гілки. Число рівнянь, що записуються для контурних струмів за другим законом Кірхгофа, дорівнює числу незалежних контурів, тобто для електричної схеми із числом вузлів q і числом гілок p завдання знаходження контурних струмів зведеться до рішення системи $p-q+1$ рівнянь. Напрямки контурних струмів задаються довільно. Напрямок обходу кожного контуру приймається, як правило, співпадаючим з обраним напрямком контурного струму; тому при складанні рівняння за другим законом Кірхгофа спад напруги від заданого контурного струму в опорах, що входять у контур, береться зі знаком „+”. Спад напруги від струму суміжного контуру в загальному опорі береться зі знаком „-”, якщо контурні струми в цьому опорі спрямовані зустрічно.

1.4 Метод вузлових напруг

Полягає в тому, що на підставі першого закону Кірхгофа визначаються напруги у вузлах електричного кола щодо деякого базисного вузла. Ці визначені напруги називаються вузловими напругами, причому додатний напрямок їх вказується стрілкою від розглянутого вузла до базисного.

Напруга на будь-якій гілці дорівнює різниці вузлових напруг кінців даної гілки; добуток же цієї напруги на провідність даної гілки дорівнює струму в ній. Таким чином, знаючи вузлові напруги в електричному колі, можна знайти струми в гілках.

Якщо прийняти потенціал базисного вузла рівним нулю, то напруги між іншими вузлами і базисним вузлом будуть рівні також потенціалам цих вузлів. Тому даний метод називається також методом вузлових потенціалів.

При наявності однієї гілки з ЕРС і нескінченною провідністю доцільно прийняти за базисний вузол один з вузлів, до якого примикає дана гілка, тоді напруга даного вузла стає відомою і число невідомих скорочується на одне.

Число невідомих у методі вузлових напруг дорівнює числу рівнянь, які треба скласти для схеми за першим законом Кірхгофа. Метод вузлових напруг має перевагу перед методом контурних струмів у тому випадку, коли число рівнянь, записаних за першим законом Кірхгофа, менше числа рівнянь, записаних за другим законом Кірхгофа, або якщо $(q-1) < (p-q+1)$, або, що те ж $2(q-1) < p$, де q - кількість вузлів, p - кількість гілок.

1.4.1 Метод двох вузлів

У випадку двох вузлів (рисунок 3.1) необхідність в рішенні системи рівнянь відпадає: $q-1=2-1=1$.

Загальний вираз для розрахунку міжвузлової напруги має вид:

$$U_{bd} = \frac{\sum E_k g_k}{\sum g_k}, \quad (3.10)$$

де k - кількість гілок;

$\sum E_k g_k$ - алгебраїчна сума струмів у вузлі b (вузол d - загальний);

$\sum g_k$ - сума провідностей гілок, які з'єднуються в цьому вузлі, тобто вузлова провідність.

Після розрахунку U_{bd} визначаються струми в гілках згідно з законом Ома для гілки з ЕРС.

1.5 Метод накладення

При розрахунку за методом накладення струм у будь-якій гілці електричного кола визначається як алгебраїчна сума струмів, викликаних у даній гілці кожною з ЕРС окремо, у припущенні рівності нулю всіх інших ЕРС.

Порядок розрахунку кола методом накладення такий. В електричному колі закорочують всі джерела ЕРС, крім одного. На їх місці лишається внутрішній опір джерел ЕРС. Виконують розрахунок електричного кола. Подібним чином роблять стільки разів, скільки знаходиться в колі джерел. Результуючий струм кожної гілки визначають як алгебраїчну суму струмів від всіх джерел.

Метод накладення досить зручний для аналізу процесів, що відбуваються в електричних колах при зміні їх параметрів.

1.6 Метод еквівалентного генератора

Даний метод використовується для розрахунку струму та напруги в опорі (провідності) однієї гілки складного кола. Опір цієї гілки замінюється еквівалентною ЕРС

$$E = -R \cdot I = -U, \quad (3.11)$$

де I та U - шукані струм і напруга, що співпадають за напрямком.

Після цього використовується метод накладення у два етапи. Спочатку враховують всі джерела енергії активного двополюсника, до якого

приєднується досліджувана гілка, а джерело ЕРС E закорочується. Тоді струм гілки I' дорівнює струму короткого замикання $I_{кз}$ активного двополюсника і співпадає за напрямком зі струмом I . На другому етапі враховується лише ЕРС E , при цьому в джерелах напруги активного двополюсника закорочують ЕРС, а в джерелах струму розмикають кола їх внутрішніх струмів. Таким чином, активний двополюсник перетворюється в пасивний. Він містить лише внутрішні опори джерел і всі інші опори гілок. А його еквівалентна провідність відносно клем - g_b . Тоді струм для другого етапу I'' , якщо вважати його напрям, який співпадає з I' , дорівнює

$$I'' = g_b \cdot E = -g_b \cdot U$$

Реальний струм досліджуваної гілки з провідністю $g = 1/R$

$$I = g \cdot U = I' + I'' = I_{кз} - g_b \cdot U$$

Звідки

$$U = \frac{I_{кз}}{g + g_b}, \quad (3.12)$$

При $g = 0$ (режим холостого ходу) напруга на вихідних клеммах U_{xx} двополюсника буде:

$$U_{xx} = \frac{I_{кз}}{g_b} = R_b \cdot I_{кз}$$

Тоді струм

$$I = \frac{U}{R} = \frac{I_{кз}}{R(g + g_b)} = \frac{I_{кз}}{1 + \frac{R}{R_b}} = \frac{R_b \cdot I_{кз}}{R + R_b}$$

$$\text{або} \quad I = \frac{U_{xx}}{R + R_b}, \quad (3.13)$$

Таким чином, замість звичайного розрахунку заданого кола визначається U_{xx} при розімкнутій або $I_{кз}$ при короткозамкнутій гілці, що спрощує коло, і визначення R_b або g_b при відсутності джерел; після чого знайдені величини підставляють в вираз (3.12) або (3.13).

1.7 Принцип взаємності

Принцип взаємності заснований на теоремі взаємності, що сформулюємо без доказу: для лінійного кола струм I_k в k -ій гілці, викликаний єдиною в схемі ЕРС E_i , що перебуває в i -ій гілці,

$$I_k = g_i E_i, \quad (3.15)$$

дорівнює струму I_i в i -ій гілці, викликаному ЕРС E_k , чисельно рівній ЕРС E_i , що перебувала б в k -ій гілці,

$$I_i = g_k E_k, \quad (3.16)$$

Звідси зокрема впливає зазначене вище співвідношення $g_i = g_k$.

Іншими словами, принцип взаємності говорить: якщо ЕРС E , діючи в деякій гілці схеми, що не містить інших джерел, викликає в іншій гілці струм I , то принесена в цю гілку ЕРС E викличе в першій гілці такий же струм.

1.8 Рівняння енергетичного балансу

Рівняння енергетичного балансу при живленні від джерел ЕРС (без врахування їх внутрішніх опорів) має вигляд

$$\sum I_i^2 R_i = \sum U_j I_j, \quad (3.14)$$

де U_j - напруга j -го джерела живлення;

I_j - струм j -го джерела живлення;

$\sum U_j I_j$ - сумарна потужність джерел живлення;

j - нумерація джерел ЕРС;

I_i - струм i -го приймача;

R_i - опір i -го приймача;

$\sum I_i^2 R_i$ - сумарна потужність приймачів;

i - нумерація приймачів.

2. Завдання

2.1 Зібрати електричну схему розгалуженого електричного кола.

2.2 Виміряти падіння напруги на резисторах за допомогою вольтметра В7-35 або осцилографа С1-83.

2.3 Розрахувати електричні струми кожної вітки електричного кола за результатами вимірювань, виконаних у п. 2.2.

2.4 Визначити алгебраїчні суми струмів у вузлах й алгебраїчні суми падінь напруг у замкнутих контурах, використовуючи експериментальні дані з табл. 3.2 - 3.4.

2.5. Зробити розрахунок струмів у кожній вітці схеми за законами Кірхгофа, користуючись даними таблиці 3.1.

2.5 Провести перевірку методу двох вузлів для схеми рис.3.1.

2.7 Скласти енергетичний баланс схеми рис.3.1. відповідно з варіантом.

3. Порядок виконання роботи

3.1 Зібрати електричну схему наведену на рис. 3.1. Значення номіналів резисторів і напруг джерел живлення взяти з табл. 3.1, відповідно до свого варіанту.

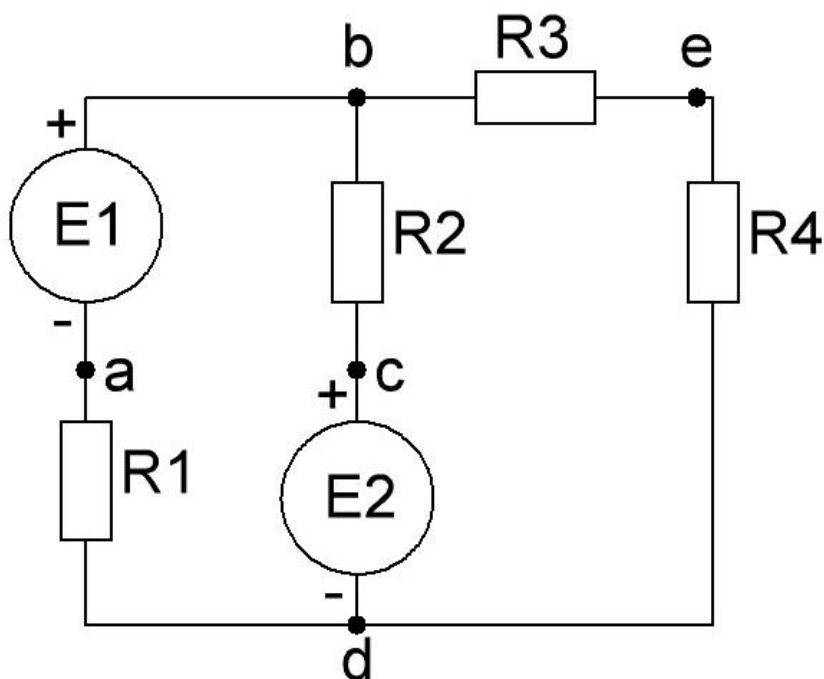


Рисунок 3.1

Таблиця 3.1 Варіанти завдань

Варіант	U_1 , В	U_2 , В	R_1 , кОм	R_2 , кОм	R_3 , кОм	R_4 , кОм
1	5	10	0,2	11,0	1,0	1,0
2	5	20	0,2	11,0	2,2	1,0
3	10	10	2,2	11,0	0,2	1,0
4	10	5	11,0	2,2	1,0	0,2
5	15	5	11,0	2,2	1,0	0,12
6	10	20	2,2	11,0	1,0	0,2
7	10	10	2,2	11,0	0,2	1,0

Примітка. Нумерація резисторів схеми не збігається з нумерацією їх на набірному полі, на якому здійснюється монтаж досліджуваної схеми. Номінали резисторів набірною поля такі: $R_2 = 11 \text{ кОм}$; $R_4 = 1 \text{ кОм}$; $R_5 = 0,2 \text{ кОм}$; $R_6 = 0,12 \text{ кОм}$; $R_8 = 2,2 \text{ кОм}$; $R_9 = 1,0 \text{ кОм}$.

3.2 Після зібрання кола перевірити його. На одному з джерел живлення виставити значення напруги $U_1 = 1 \text{ В}$, перемкнути джерело у струмовий режим роботи регулятором „I” і перевірити наявність струму в електричному колі. Повільно змінюючи напругу до 3 В, переконатися у відповідній зміні значень струму.

3.3 Для вимірювань використати осцилограф у режимі роботи з відкритим входом підсилювача (перемикач роду робіт встановити в положення „ \cong ”) або вольтметр універсальний цифровий В7-35, настроєний на вимірювання напруги постійного струму з допомогою перемикача передньої панелі. Вхід „*” вольтметра В7-35 з’єднати з загальним електродом „ \perp ”.

3.4 Виставити значення напруг U_1 і U_2 джерел живлення E_1 і E_2 згідно з даними таблиці 3.1. Виміряти спад напруги на кожному опорі таким чином: вставляти потенціальний кінець кабелю вимірювального приладу у гнізда праворуч від опору, а загальний - ліворуч (орієнтуючись за годинниковою стрілкою). Результати вимірювання занести в таблицю 3.2. Окремо виміряти різницю потенціалів точок **b** і **d** та занести результати в таблицю 3.5.

Таблиця 3.2 Результати вимірювання падінь напруги на резисторах

$U_1 = \text{ В}$ $U_2 = \text{ В}$	$R_1 =$	$\varphi_a - \varphi_d =$	$I_1 =$
	$R_2 =$	$\varphi_c - \varphi_b =$	$I_2 =$
	$R_3 =$	$\varphi_e - \varphi_b =$	$I_3 =$
	$R_4 =$	$\varphi_d - \varphi_e =$	$I_4 =$

3.5 Повторити вимірювання згідно п. 3.4. при напругах на джерелі E_1 рівному «0», і на джерелі E_2 рівному U_2 з табл. 3.1. Результати вимірювання занести в табл. 3.3.

3.6 Повторити вимірювання згідно п. 3.4. при напругах на джерелі E_1 рівному U_1 з табл. 3.1, і на джерелі E_2 рівному «0». Результати вимірювання занести в табл. 3.4.

3.7. Зробити розрахунок струмів у кожній вітці схеми за законами Кірхгофа користуючись даними таблиці 3.1. та порівняти з значеннями струмів таблиць 3.2, 3.3., 3.4.

3.8 Для перевірки методу двох вузлів виміряти різницю потенціалів між точками **b** й **d** (Рис. 3.1). Порівняти виміряне значення U_{bd} з розрахунковим.

Таблиця 3.3 Результати вимірювання падінь напруги на резисторах

$U_1 \neq 0\text{В}$ $U_2 = 0$	$R_1 =$	$\varphi_a - \varphi_d =$	$I_1 =$
	$R_2 =$	$\varphi_c - \varphi_b =$	$I_2 =$
	$R_3 =$	$\varphi_e - \varphi_b =$	$I_3 =$
	$R_4 =$	$\varphi_d - \varphi_e =$	$I_4 =$

Таблиця 3.4 Результати вимірювання падінь напруги на резисторах

$U_1 = 0\text{В}$ $U_2 \neq 0\text{В}$	$R_1 =$	$\varphi_a - \varphi_d =$	$I_1 =$
	$R_2 =$	$\varphi_c - \varphi_b =$	$I_2 =$
	$R_3 =$	$\varphi_e - \varphi_b =$	$I_3 =$
	$R_4 =$	$\varphi_d - \varphi_e =$	$I_4 =$

Для цього за допомогою схеми на рис.3.1 і даних табл. 3.1 розрахувати значення провідностей віток bad, bcd й bed за формулою:

$$g_b = \frac{1}{R_b}, \text{ де}$$

g_b - провідність вітки; R_b - загальний опір вітки.

Напругу U_{bd} розрахувати за формулою:

$$U_{bd} = \frac{U_1 \times g_{bad} + U_2 \times g_{bcd}}{g_{bad} + g_{bcd} + g_{bed}}$$

3.8 Для перевірки енергетичного балансу використати дані з табл. 3.1 і результати розрахунку струмів з табл. 3.5.

Таблиця 3.5 Результати перевірки методу двох вузлів

	$U_{bd}, \text{В}$	
	виміряна	розрахована
$U_1 \neq 0\text{В}$ $U_2 \neq 0\text{В}$		
$U_1 \neq 0\text{В}$ $U_2 = 0\text{В}$		
$U_1 = 0\text{В}$ $U_2 \neq 0\text{В}$		

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Початкові дані для розрахунку.
3. Попередній розрахунок.
4. Принципова схема лабораторної установки.
5. Таблиці експериментальних і розрахункових даних.
6. Графіки залежностей, отриманих в результаті експерименту і розрахунку.
7. Короткі висновки за результатами розрахунку і експерименту.

Контрольні запитання

1. Дати означення розгалуженого електричного кола і його основних елементів.
2. Сформулювати закон Ома для ділянки кола з ЕРС.
3. Сформулювати перший і другий закони Кірхгофа.
4. Скільки незалежних рівнянь можна скласти, використовуючи перший і другий закони Кірхгофа для схеми, яка складається з трьох вузлів і шести гілок?
5. Пояснити сутність методу вузлових потенціалів.
6. Що таке контурний струм?
7. У чому різниця між контурним струмом і струмом гілки?
8. Викласти сутність методу контурних струмів.
9. Назвати основні властивості електричних кіл постійного струму.
10. Сформулювати принцип накладення (суперпозиції).
11. Розповісти про баланс потужностей для електричного кола.

Література

1. Будіщев М. С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка.–Львів: Афіша, 2001. – 424 с.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: В 2 т. - М.: Высш. шк., 1978. - 523 с.
2. Общая электротехника / Под ред. А.Т.Блажкина. - Л.: Энергия, 1979. - 472 с.
3. Основы теории цепей / Г.В.Зевеке, П.А.Ионкин, А.В.Нетушил, С.В.Страхов. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - С.15-56.
4. Електротехніка / В.Г.Герасимов, Х.Э.Зайдель, В.В.Коген-Далин и др. - М.: Высш.шк., 1983. - С.13-17, 88-89, 95-97.

Лабораторна робота № 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ЛІНІЙНИХ ЧОТИРИПОЛЮСНИКІВ

Мета роботи: Вивчення параметрів і частотних характеристик лінійних чотириполіусників.

Обладнання: генератор сигналів низькочастотний ГЗ-123, осцилограф універсальний С1-83, резистори типу МЛТ, конденсатори типу БМ.

1. Теоретичні відомості

Двополіусник - елемент кола із двома полюсами (клемами), які називаються входами (Рис. 4.1).

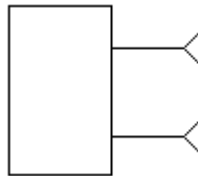


Рисунок 4.1

Чотириполіусник - елемент кола із двома парами полюсів (клем): входом і виходом (Рис. 4.2).

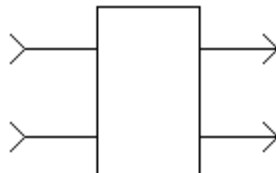


Рисунок 4.2

Вольт-амперна характеристика чотириполіусника показує залежність сили струму, який протікає через чотириполіусник, від зміни напруги на його клеммах (Рис. 4.3).

Лінійний чотириполіусник має лінійну вольт-амперну характеристику. (При синусоїдальному законі зміни напруги в лінійному колі струм в ньому також змінюється синусоїдально).

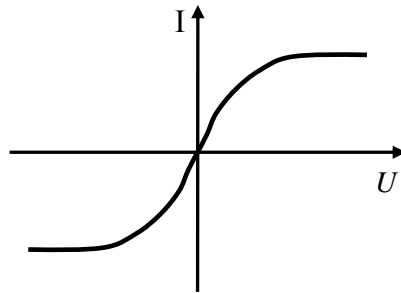


Рисунок 4.3

Вольт-амперна характеристика лінійного пасивного чотириполюсника - пряма лінія, що проходить через початок координат (Рис. 4.4).

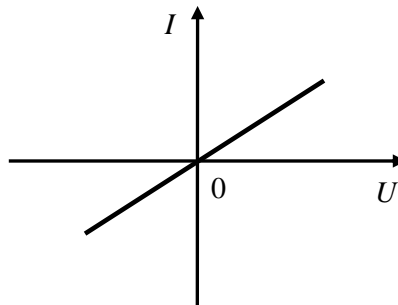


Рисунок 4.4

Вольт-амперна характеристика лінійного активного чотириполюсника - пряма лінія, що не проходить через початок координат (Рис. 4.5).

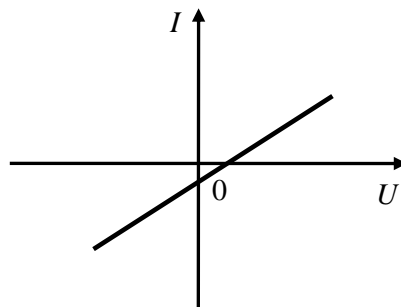


Рисунок 4.5

У лінійного чотириполюсника діюче значення напруги між клемми пропорційно діючому значенню сили струму.

За законом Ома

$$U = Z \cdot I, \quad (4.1)$$

Повний опір Z лінійного чотириполюсника визначається за допомогою двох параметрів: модуля опору z і фази φ (фазового кута). Повний опір вимірюється в омах (Ом).

Активний опір (R): фазовий кут дорівнює нулю $\varphi = 0$.

Реактивний опір (X): фазовий кут не дорівнює нулю $\varphi \neq 0$.

Індуктивний опір $X_L = \omega L$, де $\omega = 2\pi \cdot f$ - кутова частота, L - індуктивність.

Ємнісний опір $X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$, де C - ємність.

Модуль повного опору при послідовному з'єднанні R , C , L : $z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$, фаза $\cos\varphi = \frac{R}{z}$, знак φ визначає знак $(X_L - X_C)$.

Провідність (g) - величина, зворотна опору $g = 1/z$; вимірюється в Сименсах (См).

Пасивний чотириполюсник складається з індуктивностей, ємностей, резисторів.

Ослаблення чотириполюсника - величина, що характеризує зменшення напруги U , струму I або потужності $P = I \cdot U$ при передаванні через чотириполюсник.

Ослаблення вимірюється в децибелах:

а) якщо вихідна потужність P_2 , а вхідна P_1 , то ослаблення дорівнює:

$$\alpha = 10 \cdot \lg \frac{P_2}{P_1}, \quad (4.2)$$

б) у випадку напруг, U_2 - вихідної та U_1 - вхідної, ослаблення становить:

$$\alpha = 20 \cdot \lg \frac{U_2}{U_1}, \quad (4.3)$$

Ослаблення в чотириполюснику залежить від опорів генератора і навантаження.

Активний чотириполюсник має можливість передавати в навантаження потужність, більшу за ту, що надходить до нього, оскільки до його складу входять джерела живлення електронних підсилювальних ламп, транзисторів.

Коефіцієнт передавання - відношення величини напруги, струму або потужності на виході чотириполюсника до відповідної величини на вході.

Модуль вхідного опору $Z_{вх}$ чотириполюсника дорівнює відношенню збільшення вхідної напруги ΔU_1 на вхідних клеммах до викликаного ним зростання вхідного струму ΔI_1

$$Z_{\text{вх}} = \frac{U'_1 - U_1}{I'_1 - I_1} = \frac{\Delta U_1}{\Delta I_1}, \quad (4.4)$$

де U_1 - початкова вхідна напруга;

U'_1 - збільшена вхідна напруга;

I_1 - початковий вхідний струм.

I'_1 - збільшений вхідний струм.

Модуль вихідного опору $Z_{\text{вих}}$ чотирьохполосника дорівнює відношенню збільшення вихідної напруги ΔU_2 до відповідної зміни величини вихідного струму ΔI_2 :

$$Z_{\text{вих}} = \frac{U'_2 - U_2}{I'_2 - I_2} = \frac{\Delta U_2}{\Delta I_2}, \quad (4.5)$$

де U_2 - початкова вихідна напруга;

U'_2 - збільшена вихідна напруга;

I_2 - початковий вихідний струм.

I'_2 - збільшений вихідний струм.

2. Завдання

2.1 Зібрати схему лінійного чотирьохполосника та схему дослідження його АЧХ і ФЧХ у відповідності з варіантом Рис 4.6 (а–в) та рис.4.7.

2.2 Зняти АЧХ і ФЧХ чотирьохполосника.

2.3 Розрахувати коефіцієнт передавання та фазовий зсув між вихідною та вхідною напругами чотирьохполосника для 10 значень частот відповідно п.2.2.

2.4 Побудувати експериментальні та розрахункові характеристики на одному графіку відповідно для АЧХ та ФЧХ.

3. Порядок виконання роботи

3.1 Варіанти лінійних чотирьохполосників задаються у відповідності до рисунку 4.6.

Номінали елементів плати набірною поля наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Рисунок	R , кОм	R_1 , кОм	R_2 , кОм	C , мкФ	C_1 , мкФ	C_2 , мкФ
4.6, а		1	2,2	0,1		
4.6, б		1	2,2	0,01		
4.6, в	1				0,1	0,01

Зібрати схему дослідження частотних характеристик одного з варіантів (рисунок 4.6, а–в) лінійного чотирьохполюсника у відповідності до рисунку 4.7.

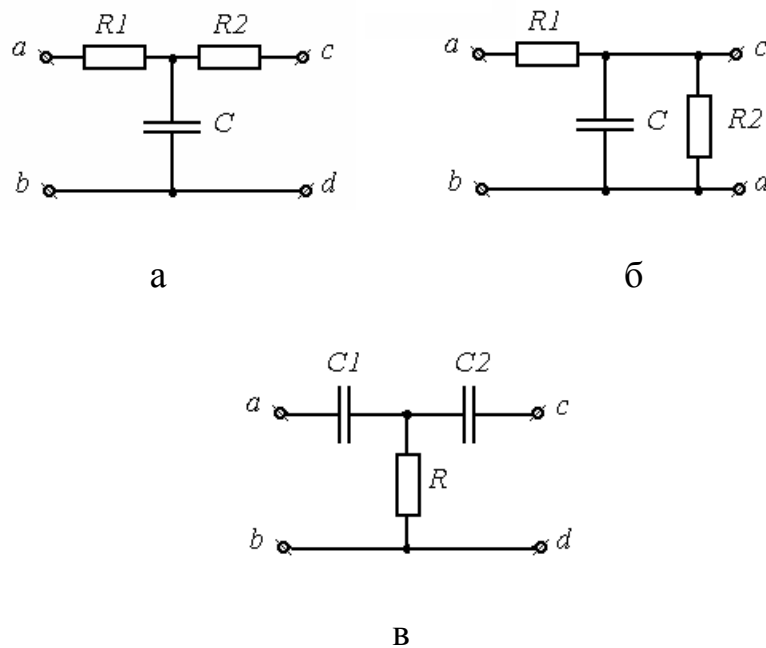


Рисунок 4.6

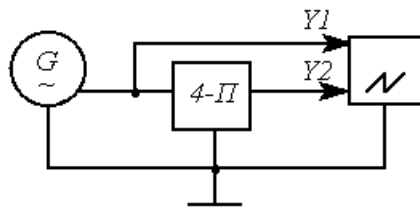


Рисунок 4.7

3.2 Увімкнути прилади. Осцилограф використати у режимі спостереження сигналів по обох каналах (перемикач роду робіт встановити в положення „---“). На виході генератора задати напругу 10 В частотою $f = 2$ кГц. Дискретно змінюючи частоту через $(0.2 \div 0.5)$ кГц визначити діапазон вимірювань $f_{min} - f_{max}$, в якому змінюється амплітуда вихідного сигналу. Розбити визначений діапазон на 10 рівних інтервалів і значення частоти кожного вписати замість позначок частоти f_i в таблиці 4.2.

3.3 Розрахувати параметри схеми запропонованого варіанту чотирьохполюсника для десяти частот, зазначених в таблиці 4.2:

- вхідний Z_1 , вихідний Z_2 опори (див. таблицю - додаток);

- коефіцієнт передавання $K(f) = \frac{U_2}{U_1}$.

Дані розрахунку занести до таблиці 4.2. Побудувати залежності $Z(f)$, $K(f)$.

Таблиця 4.2 Результати вимірювання АЧХ та ФЧХ чотириполосника

Значення f , кГц		f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9	f_{10}
$Z_{вх}$	розр.										
$Z_{вих}$	розр.										
$U_{вих}$, В											
$K(f)$	розр.										
	експ.										
ФЧХ	X_1										
	X_2										
$\Delta\varphi$, град	розр.										
	експ.										

3.4 Виставити на виході генератора напругу $U=10$ В. Встановлюючи частоти, зазначені в таблиці 4.2 і підтримуючи вхідну напругу сталою, зняти АЧХ чотириполосника, вимірюючи вихідну напругу за допомогою осцилографа. Одержані дані занести до таблиці 4.2. Побудувати експериментальну АЧХ $|K(f)/K_0|$ на одному графіку з розрахунковою.

3.5 Зняти ФЧХ методом фігур Лісажу у такій послідовності. Осцилограф використати у режимі характерографа (перемикач роду роботи підсилювача встановити в положення „II, X-Y”; перемикач синхронізації - в положення „X-Y”). Ручками перемикачів „V/дел” виставити зображення в межах екрану при їх однакових положеннях по входах X та Y. Установити зображення в центрі екрану. Виміряти відстані X_1 та X_2 у поділках, як зображено на рисунку 4.3.

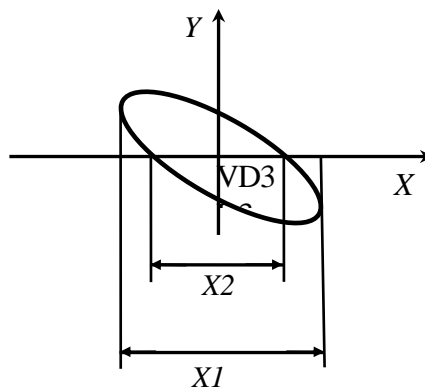


Рисунок 4.3

Змінюючи частоту від f_{min} до f_{max} , зняти ФЧХ, вимірюючи X_1 та X_2 у поділках, як зображено на рисунку 4.3. Фазовий зсув розрахувати за формулою:

$$\Delta\varphi = \pm \arcsin \frac{X_2}{X_1}, \quad (4.6)$$

3.6 Одержані результати занести до таблиці 4.2. Побудувати фазо-частотну характеристику $\varphi(f)$ на одному графіку з розрахунковою.

3.7 Побудувати амплітудно-фазову характеристику лінійного чотириполюсника, використовуючи відповідність між частотою і амплітудою та між фазовим зсувом і частотою у таблиці 4.2.

Додаток. Пояснення до виконання лабораторної роботи

Розрахункові значення вхідного $Z_{\text{вх}}$ і вихідного $Z_{\text{вих}}$ опорів виразити комплексними числами в показниковій і алгебричній формах:

- додавання/віднімання двох і більшої кількості комплексів роботи в алгебричній формі, наприклад, $(a_1 + jb_1) + (a_2 + jb_2) + \dots = (a_1 + a_2 + \dots) + j(b_1 + b_2 + \dots)$;

- ділення і множення комплексних чисел роботи в показниковій формі запису,

наприклад,

$$Z_3 \cdot e^{j\varphi_3} = \frac{Z_1 \cdot e^{j\varphi_1}}{Z_2 \cdot e^{j\varphi_2}} = \frac{Z_1}{Z_2} \cdot e^{j(\varphi_1 - \varphi_2)} \text{ або } Z_3 \cdot e^{j\varphi_3} = Z_1 \cdot e^{j\varphi_1} \cdot Z_2 \cdot e^{j\varphi_2} = Z_1 \cdot Z_2 \cdot e^{j(\varphi_1 + \varphi_2)}$$

Для переходу від показникової форми запису до алгебраїчної визначають значення активного $R = Z \cdot \cos \varphi$ і реактивного $X = Z \cdot \sin \varphi$ опорів.

Для переходу від алгебраїчної форми до показникової знаходять модуль комплексного опору $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ та φ ($\operatorname{tg} \varphi = \frac{X}{R}$).

Одержані значення Z домножають на множник $e^{\pm j\varphi}$, відповідно;

Векторні діаграми розташувати на осях ± 1 , $\pm j$. Фазові кути додатні при русі проти часової стрілки і від'ємні при русі за часовою.

Таблиця 4.3

Рисунок 4.1	$Z_{\text{вх}}$	$Z_{\text{вих}}$	U_2	K
а	$R_1 - jX_C$	$R_2 - jX_C$	$U_\Gamma \cdot (-jX_C) / Z_{\text{вх}}$	U_2 / U_Γ
б	$R_1 - \frac{R_2 \cdot jX_C}{R_2 - jX_C}$	$-\frac{jX_C \cdot R_2}{R_2 - jX_C}$	$U_\Gamma \cdot \frac{Z_{\text{вих}}}{Z_{\text{вх}}}$	U_2 / U_Γ
в	$R - jX_{C_1}$	$R - jX_{C_2}$	$U_\Gamma \cdot \frac{R}{Z_{\text{вх}}}$	U_2 / U_Γ

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Початкові дані для розрахунку.
3. Попередній розрахунок.
4. Принципова схема лабораторної установки.
5. Таблиці експериментальних і розрахункових даних.
6. Графіки залежностей, отриманих в результаті експерименту і розрахунку.
7. Короткі висновки за результатами розрахунку і експерименту.

Контрольні запитання

1. Дати означення чотирьохполосника. Навести приклади різних за властивостями чотирьохполосників.
2. Назвати основні параметри лінійного чотирьохполосника, дати їх означення.
3. Пояснити залежність амплітуди сигналу від частоти.
4. За якої умови амплітуди вхідного і вихідного сигналів чотирьохполосника рівні?
5. В чому полягає особливість підготовки осцилографа до зняття фазо-частотної характеристики?
6. Пояснити причину зміни різниці фаз зі зміною частоти чи опору.
7. Якими методами можна визначити фазовий зсув?
8. Викласти сутність методу фігур Лісажу.

Література

1. Будіщев М. С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка.–Львів: Афіша, 2001. – 424 с.
2. Осциллограф универсальный С1-83: Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – ЛПО, 1990. – С.10–12, 33–35, 46–55.
3. Остапенко Г.С. Усилительные устройства. – М.: Радио и связь, 1989. – С.20–27.
4. Сисоєв В.М., Чернявський В.П. Радіотехніка з елементами обчислювальної техніки: Практикум. – К.: Вища шк., 1986. – С.22–30.
5. Основы теории цепей / Г.В.Зевеке, П.А.Ионкин, А.В.Нетушил, С.В.Страхов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – С.103–105, 132–158.

Лабораторна робота №5

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ДІОДІВ

Мета роботи: ознайомлення з основними параметрами і характеристиками напівпровідникових діодів та їх використанням.

Обладнання: осцилограф універсальний С1-83, генератор сигналів низькочастотний ГЗ-123, вольтметр універсальний цифровий В7-35, діоди Д220–Д226, стабілітрон Д808–Д812, резистори МЛТ.

1. Теоретичні відомості

Напівпровідниковим діодом називають електроперетворювальний напівпровідниковий прилад з одним р - n -переходом і двома виводами.

Структура напівпровідникового діода з електронно-дірковим переходом і його умовне графічне позначення приведені на рис. 5.1, а, б.

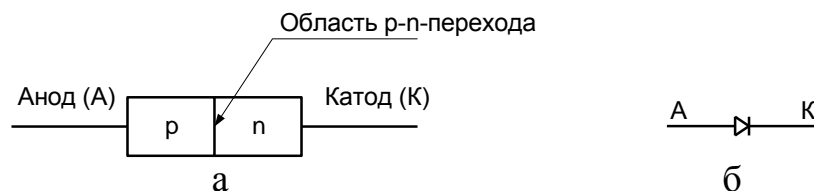


Рис. 5.1. Структура напівпровідникового діода з електронно-дірковим переходом і його умовне графічне позначення

Буквами р і n позначені шари напівпровідника з провідністю відповідно р -типа і n -типа. Як правило, концентрація основних носіїв заряду в емітері (електронів) суттєво перевищує концентрацію основних носіїв (дірок) в базі.

Залежно від основного призначення і виду використовуваного явища в р - n -переході розрізняють шість основних функціональних типів електроперетворюючих напівпровідникових діодів: випрямні, високочастотні, імпульсні, тунельні, стабілітрони, варікапи. Кожен тип діода містить ряд типоміналів, регламентованих відповідним ГОСТом.

На рис. 5.2 представлені структури планарно-епітаксіального (а) і сплавного (б) діодів. База і емітер утворюють омичні переходи (контакт) з електродами. До електродів приєднані металеві виводи, за допомогою яких діод включається в коло.

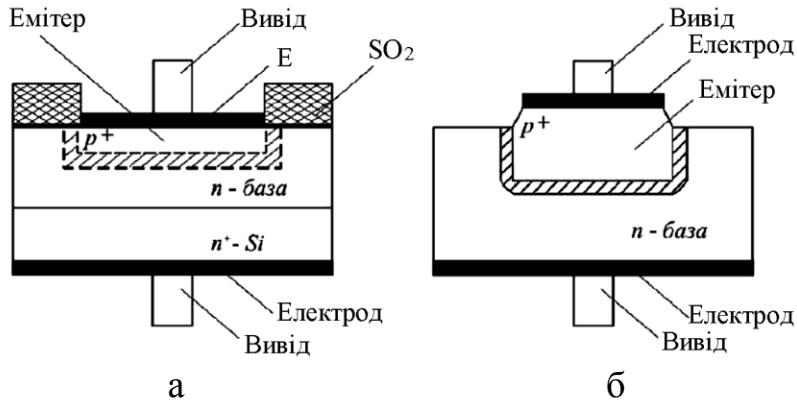


Рис. 5.2. Структури планарно-епітаксiального (а) і сплавного (б) діодів.

Основною характеристикою напівпровідникових діодів служить вольт-амперна характеристика. На відміну від характеристики ідеального р - п - переходу (пунктирна крива на рис. 5.3, а), характеристика реального діода (суцільна крива на рис. 5.3, а) в області прямої напруги U розташовується дещо нижче із-за падіння частини прикладеної напруги на об'ємному опорі бази діода g .

Рівняння вольт-амперної характеристики має вигляд:

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{U}{\varphi_T}\right) - 1 \right]$$

де U - напруга на р - п - переході; I_0 - зворотний (чи тепловий) струм, φ_T - температурний потенціал електрона.

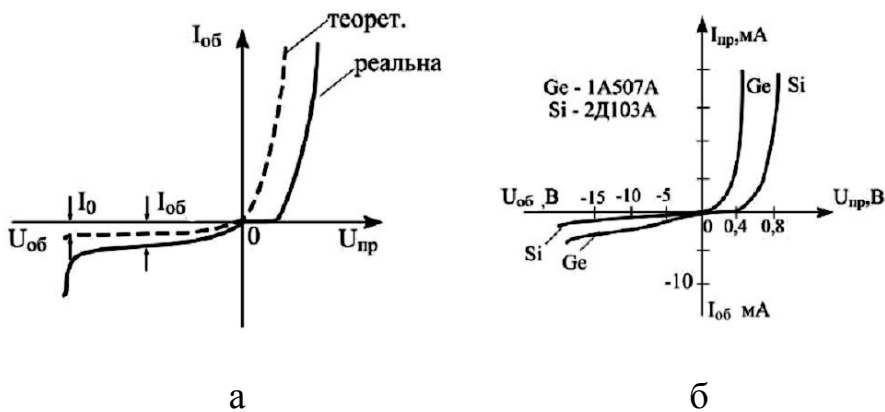


Рис. 5.3. ВАХ напівпровідникових діодів.

У області зворотної напруги можна нехтувати падінням напруги в об'ємі напівпровідника. При досягненні зворотною напругою певного критичного значення струм діода починає різко зростати. Це явище називають пробоем діода.

Розрізняють два основні види пробую електронно-діркового переходу: електричний і тепловий. У обох випадках різке зростання струму пов'язане із

збільшенням числа носіїв заряду в переході. Електричний пробій буває двох видів - лавинний і тунельний.

Напівпровідникові діоди відрізняються один від одного матеріалом напівпровідника. Найчастіше в них використовують германій або кремній. Вольт-амперні характеристики кремнієвого і германієвого діодів представлені на рис. 5.3, б. При підвищенні температури абсолютна величина зміни зворотного струму в кремнієвому діоді (рис. 5.4, а) значно менша, ніж в германієвому (рис. 5.4, б).

Однобічна провідність р – n -перехода використовується для випрямлення змінних струмів частотою 50 Гц – 100 кГц. Головна особливість випрямних діодів великі площі р - n -перехода, оскільки вони розраховані на випрямлення великих за величиною струмів. Основні параметри випрямних діодів даються стосовно їх роботи в однонапівперіодному випрямлячі з активним навантаженням (без конденсатора, що згладжує пульсації).

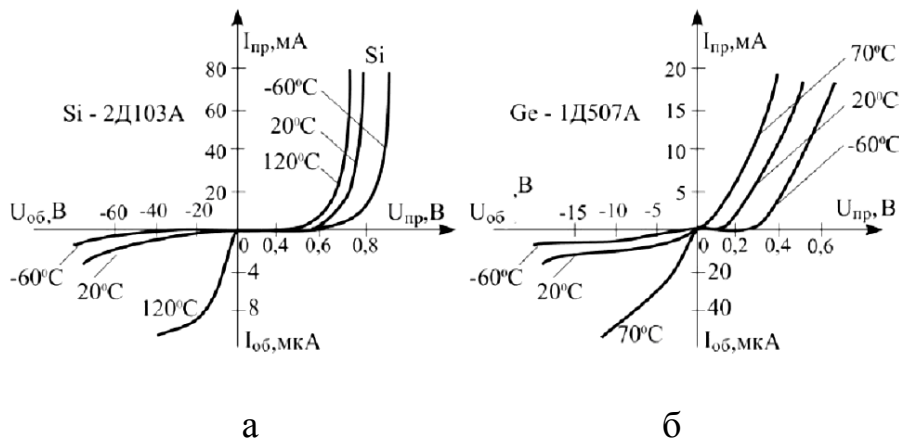


Рис. 5.4

Середня пряма напруга $U_{пр.ср}$ - середня за період пряма напруга на діоді при протіканні через нього максимально допустимого випрямленого струму.

Середній зворотний струм $I_{зв.ср}$ - середній за період зворотний струм, вимірюваний при максимальній зворотній напрузі.

Максимально допустима зворотна напруга $U_{зв.мах}$ ($U_{зв.імах}$) - найбільша постійна (чи імпульсна) зворотна напруга, при якій діод може тривало і надійно працювати.

Максимально допустимий випрямлений струм $I_{вп.срмах}$ - середній за період струм через діод (постійна складова), при якому забезпечується його надійна тривала робота.

Перевищення максимально допустимих величин веде до різкого скорочення терміну служби або пробою діода.

Максимальна частота $f_{мах}$ - найбільша частота напруги, що підводиться, при якій випрямляч на цьому діоді працює досить ефективно, а нагрів діода не перевищує допустимої величини.

У випрямному пристрої енергія змінного струму перетвориться в енергію постійного струму за рахунок однобічної провідності діодів.

На рис. 5.5 приведена схема однонапівперіодного випрямляча. Робота випрямляча відбувається таким чином. Якщо генератор виробляє синусоїдальну напругу

$$e(t) = E_m \sin \omega t ,$$

то протягом позитивного (+) напівперіоду напруга для діода є прямою, його опір малий, і через резистор проходить струм, який створює на резисторі R_H падіння напруги $U_{\text{вих}}$, що повторює вхідну напругу $e(t)$. У наступний, негативний (-) напівперіод, напруга для діода є зворотною, опір діода великий, струму практично немає і, отже, $U_{\text{вих}} = 0$.

Таким чином, через діод і R_H протікає пульсуючий випрямлений струм. Він створює на резисторі R_H пульсуючу випрямлену напругу $U_{\text{вих}}$.

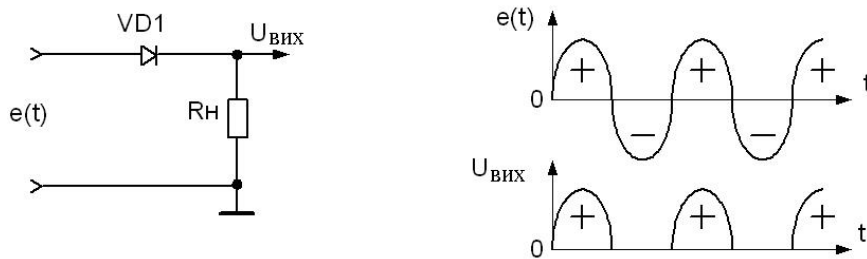


Рис. 5.5 Схема однонапівперіодного випрямляча

Корисною частиною випрямленої напруги є його постійна складова або середнє значення $U_{\text{сер}}$ (за напівперіод):

$$U_{\text{сер}} = \frac{U_{\text{max}}}{\pi} = 0.318 \cdot U_{\text{max}}$$

Таким чином, $U_{\text{сер}}$ складає близько 30% від максимального значення.

Випрямлена напруга зазвичай використовується як напруга живлення електронних схем.

Високочастотні (універсальні) і імпульсні діоди застосовують для випрямлення струмів, модуляції і детектування сигналів з частотами до декількох сотень мегагерц. Імпульсні діоди використовують як ключові елементи в пристроях з мікросекундною і наносекундною тривалістю імпульсів. Їх основні параметри:

Максимально допустима зворотна напруга $U_{\text{зв. max}}$ ($U_{\text{зв. i max}}$) - постійна (імпульсна) зворотна напруга, перевищення якої призводить до його негайного пошкодження.

Постійна пряма напруга $U_{пр}$ - падіння напруги на діоді при протіканні через нього постійного прямого струму $I_{пр}$ - заданого ТУ.

Постійний зворотний струм $I_{зв}$ - струм через діод при постійній зворотній напрузі ($U_{зв\ max}$). Чим менше $I_{зв}$, тим якісніше діод.

Ємність діода C_d - ємність між выводами при заданій напрузі. При збільшенні зворотної напруги (по модулю) ємність C_d зменшується.

При коротких імпульсах необхідно враховувати інерційність процесів включення і виключення діода, що характеризується наступними параметрами. Час встановлення прямої напруги на діоді ($t_{вст}$) - час, за який напруга на діоді при включенні прямого струму досягає свого стаціонарного значення із заданою точністю (рис. 5.6, а).

Цей час пов'язаний із швидкістю дифузії і полягає в зменшенні опору області бази за рахунок накопичення в ній неосновних носіїв заряду, інжектуємих емітером. Спочатку опір високий, оскільки мала концентрація носіїв заряду. Після подачі прямої напруги концентрація неосновних носіїв заряду в базі збільшується, це знижує прямий опір діода.

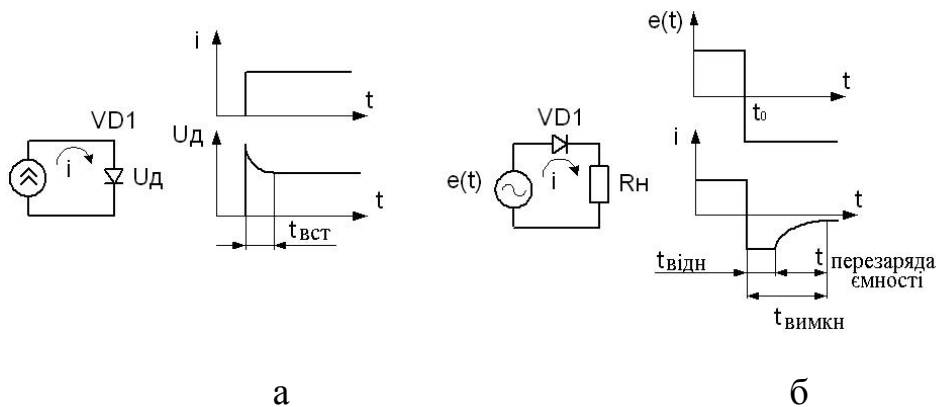


Рис. 5.6

Час відновлення зворотного опору діода ($t_{відн.}$) визначається як час, протягом якого зворотний струм діода після перемикавання полярності прикладеної напруги з прямого на зворотне досягає свого стаціонарного значення із заданою точністю (рис. 5.6, б), зазвичай 10% від максимального зворотного струму. Цей час пов'язаний з розсмоктуванням в базі неосновних носіїв заряду, накопичених при протіканні прямого струму. Він складається з двох складових $t_{відн.} = t_1 + t_2$, де t_1 - час розсмоктування, за який концентрація неосновних носіїв заряду на межі р-п-перехода перетворюється в нуль; t_2 - час розряду дифузійної місткості, пов'язаний з розсмоктуванням неосновних зарядів в об'ємі бази діода. В цілому час відновлення це час виключення діода.

Там, де вимагається малий час перемикавання, використовують діоди Шотки, вони базуються на переході метал - напівпровідник, який має випрямний ефект. Накопичення заряду в базі цього типу діода виражене слабо. Тому час перемикавання може бути зменшений до значення близько 100 пс. Іншою

особливістю цих діодів є мала (в порівнянні із звичайними кремнієвими діодами) пряма напруга, що становить близько 0,3 В.

2. Завдання

- Дослідити напівпровідникові випрямні діоди VD1÷VD4 рис.5.7 ($R_1=1\text{k}\Omega$, $R_2=150\Omega$, $U_T=10\text{В}$, $f_T=1\text{kГц}$):
 - зняти вольт-амперні характеристики (ВАХ) діодів VD1, VD2 $I=f(U)$ (не менше 10 точок);
 - результати оформити у вигляді таблиці 5.1 і графіків.
 - по результатах визначити типи використовуваних випрямних діодів (кремнієвий або германієвий);
 - зняти вольт-амперні характеристики (ВАХ) паралельного з'єднання зустрічно ввімкнених германієвого та кремнієвого діодів $I=f(U)$ (не менше 10 точок).
- Зібрати схему дослідження однонапівперіодного випрямляча, використовуючи пасивний RC-фільтр (рис.5.8).
 - Для частоти 10кГц та амплітуди змінного струму 10В зафіксувати осцилограми та рівень змінної та постійної напруг в контрольних точках схеми (1,2,3).
 - Визначити коефіцієнти згладжування пульсацій та ефективності випрямляча для пасивного фільтру.

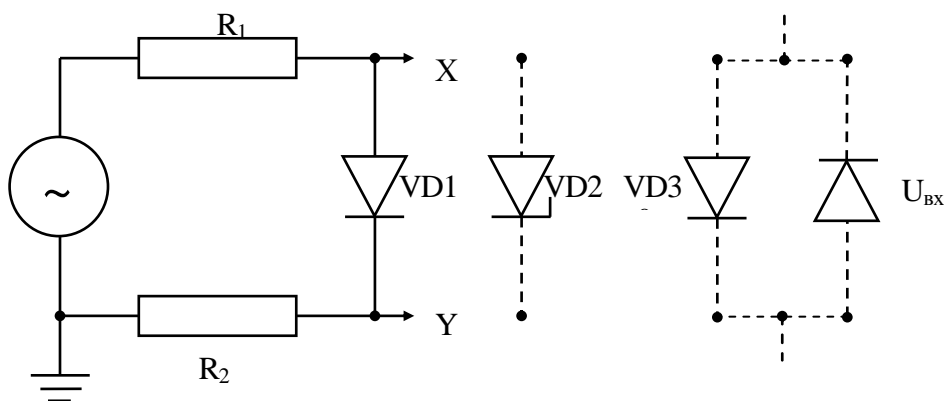


Рис. 5.7.

3. Порядок виконання роботи

1. Для зняття вольт-амперних характеристик (ВАХ) діодів VD1, VD2 та паралельного з'єднання зустрічно ввімкнених германієвого та кремнієвого діодів необхідно зібрати схему рис.5.7. Осцилограф використати в режимі характериографа (перемикачі роду роботи вхідних підсилювачів встановити в положення „П, X-Y”; перемикач синхронізації - в положення „X-Y”). Входи осцилографа приєднати до точок „X, Y” для одержання вхідної та вихідної ВАХ діодів.

2. Задати амплітуду синусоїдальних коливань $U_G \leq 10\text{В}$ на виході генератора ГЗ-123 частотою 1кГц.

3. Результати оформити у вигляді таблиці 5.1.

4. Зібрати електричне коло в відповідності до рисунку 5.8, де між випрямлячем VD1 і навантаженням R_H включається RC-фільтр (рисунок 5.9).

Приєднати навантажувальний резистор $R_H = 2,2\text{кОм}$ до точок „3” і „⊥”.

4.1 Увімкнути осцилограф С1-83, генератор ГЗ-123 (G), вольтметр В7-35.

4.2 Задати з генератора (G) $U_{Г1} = 5 \div 15\text{В}$ і частоту $1 \div 2\text{кГц}$.

4.3 Відкалібрувати канали осцилографа. Відрегулювати підсилення кожного каналу так, щоб можна було сумістити для порівняння осцилограми в.т. 1, 2, 3 (рис.5.8). Накреслити одержані осцилограми $U(t)$ на одному графіку. Зафіксувати амплітудні значення напруги U і занести до таблиці 5.2.

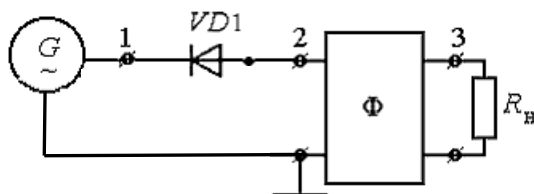


Рисунок 5.8 Схема дослідження однонапівперіодного випрямляча; Φ - фільтр, 1, 2, 3 - точки приєднання вимірювальних приладів

Таблиця 5.1

Пряма гілка	$U_Y, [\text{В}]$																		
	$I_{VD} = \frac{U_Y}{R_2} [\text{mA}]$																		
	$U_X, \frac{Si}{Ge} [\text{В}]$																		
Зворотна гілка	$U_X, [\text{В}]$																		
	$U_Y, [\text{В}]$																		
	$I_{VD} = \frac{U_Y}{R_2} [\text{mA}]$																		

4.4 Приєднати до точок 1, 2 та 3 цифровий вольтметр В7-35 спочатку входом для вимірювання напруги змінного струму, а потім для вимірювання напруги постійного струму. Записати одержані значення напруги до таблиці 5.2.

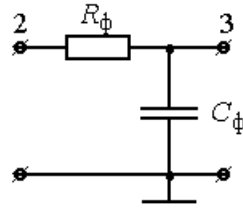


Рисунок 5.9 Схема пасивного фільтра; $R_{\phi}=1,0\text{кОм}$, $C_{\phi}=0,1\text{мкФ}$

Таблиця 5.2

Параметри	B7-35		
	„1”	„2”	„3”
U_{-} , В			
U_{\sim} , В			
$K_{згл}$			
$K_{еф}$			

4.5 Визначити струм, що протікає по навантажувальному опору $R_{н}$. Розрахувати параметри схеми випрямлення:

- коефіцієнт згладжування K_3 :

$$K_3 = \frac{\frac{U_{i\sim}}{U_{i-}}}{\frac{U_{(i+1)\sim}}{U_{(i+1)-}}},$$

де $U_{i\sim}$, U_{i-} - змінна і постійна складові напруги на вході фільтра;
 $U_{(i+1)\sim}$, $U_{(i+1)-}$ - змінна і постійна складові напруги на виході фільтра;
 - коефіцієнт ефективності випрямляча $K_{еф} = P_{н}/P_{\Sigma}$

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Початкові дані для розрахунку.
3. Попередній розрахунок.
4. Принципова схема лабораторної установки.
5. Таблиці експериментальних і розрахункових даних.
6. Графіки залежностей, отриманих в результаті експерименту і розрахунку.
7. Короткі висновки за результатами розрахунку і експерименту.

Додаток

При розрахунку коефіцієнта ефективності випрямляча в розрахунковій формулі сумарна потужність визначається як сума постійної і змінної компонент $P_{\Sigma} = P_n + P_{\sim} + P_{\phi-}$, де P_n - потужність в навантаженні Другий доданок необхідно враховувати на вході фільтра. Він знаходиться з співвідношення

$$P_{\sim} \approx \frac{1}{2} \cdot U_{\sim} \cdot I_{\sim},$$

де U_{\sim} - вимірне значення пульсації на вході фільтра,

$$I_{\sim} = \frac{U_{\sim}}{\sqrt{R_{\phi}^2 + X_{C_{\phi}}^2}},$$

де

$$X_{C_{\phi}} = \frac{1}{\omega \cdot C_{\phi}} = \frac{1}{2\pi f_c \cdot C_{\phi}}$$

Третій доданок відображає втрати потужності на самому фільтрі від струму навантаження.

$$P_{\phi} = (U_{2-} - U_{3-}) \cdot I_n,$$

де

$$I_n = \left(\frac{U_{3-}}{R_n} \right)$$

Контрольні питання

1. Пояснити як утворюється р - n -переход. Властивості р - n -перехода, потенційний бар'єр.
2. Види напівпровідникових діодів, призначення, сфера застосування, основні параметри і характеристики.
3. У чому особливість діодів Шотки, їх переваги і сфера застосування.
4. У чому відмінність ідеальної ВАХ напівпровідникового діода від реальної?
5. Порівняти ВАХ германієвого і кремнієвого напівпровідникового діода, зіставити з отриманими експериментальними даними.
6. Що називають прямим включенням діода?
7. Який струм протікає через діод при його зворотному включенні і чим він викликаний?
8. Яке явище називається пробоем діода? Види пробою.
9. Що називають диференціальним опором діода?

Література

1. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника. – М.: Высшая школа, 1991.
2. Жеребцов И.П. Основы электроники. – Л.: Энергоатомиздат, 1990.
3. Будіщев М. С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка. – Львів: Афіша, 2001. – 424 с.
4. Андреев А.В., Горлов М.И. Основы электроники. – Р.-Д.: Феникс, 2003.

Лабораторна робота № 6

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ І ВЛАСТИВОСТЕЙ БІПОЛЯРНОГО
ТРАНЗИСТОРА**

Мета роботи: вивчення властивостей, вхідних і вихідних вольт-амперних характеристик біполярного транзистора, увімкненого за схемою зі спільним емітером, визначення h -параметрів.

Обладнання: генератор сигналів низькочастотний ГЗ-123, осцилограф універсальний С1-83, джерело постійного струму Б5-44А, транзистори $p-n-p$ -типу, резистори МЛТ.

1. Теоретичні відомості

Біполярні транзистори є найбільш універсальними та розповсюдженими напівпровідниковими приладами, призначеними для підсилювання і генерації електричних коливань, і мають трьохшарову $p-n-p$ або $n-p-n$ -структуру. Кожний шар має зовнішній електрод, назва якого співпадає з назвою області транзистора. Середню область називають базою, а крайні - емітером та колектором.

Назву біполярні транзистори одержали тому, що перенесення струму в них виконується носіями зарядів двох типів: електронами і дірками.

Біполярний транзистор має два $p-n$ -переходи - емітерний і колекторний.

Розрізняють три основних режими роботи біполярного транзистора: активний, відсічення, насичення.

В активному режимі транзистор працює в підсилювачах, коли необхідно підсилення електричних сигналів з мінімальним спотворенням їх форми. При цьому на емітерний $p-n$ -перехід подають зовнішню напругу у прямому напрямку, а на колекторний - у зворотному.

Струми транзистора пов'язані рівнянням:

$$I_e = I_k + I_b$$

Якщо в колекторний ланцюг включити резистор, то спад напруги на ньому виявиться значно більшим вхідної напруги $U_{вх}$, яка зумовила появу струму I_b . Таким чином, транзистор підсилює вхідний сигнал.

У режимі насичення на обидва $p-n$ -переходи задається пряма напруга. При цьому в базу інjektуються основні носії заряду емітера і колектора, а опір між колектором і емітером різко зменшується.

У режимі відсічення обидва переходи транзистора зміщені у зворотному напрямку. В цьому режимі транзистор відзначається значним опором.

Залежно від того, який електрод транзистора є спільним для вхідного й вихідного сигналу, розрізняють три схеми увімкнення транзистора:

а) зі спільною базою (СБ);

- б) зі спільним емітером (СЕ);
 в) зі спільним колектором (СК).

Для розрахунку транзисторних схем використовують два сімейства вольт-амперних характеристик: вхідні і вихідні. Вхідні характеристики транзистора показують залежність струму вхідного електрода від напруги між ним і загальним електродом при постійній напрузі на вихідному електроді. Вихідні характеристики відображають залежність струму вихідного електрода від напруги між ним і загальним електродом. Їх будують для ряду постійних струмів вхідного електрода.

В режимі підсилення слабких сигналів, коли нелінійністю ВАХ можна знехтувати, транзистор уявляють як лінійний чотириполюсник (Рис. 6.1), вхідні параметри якого для схеми зі СЕ пов'язані рівняннями:

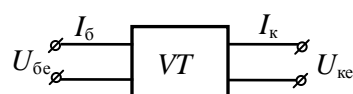


Рисунок 6.1

$$\left. \begin{aligned} \Delta U_{\text{бe}} &= \dot{h}_{11} \cdot \Delta I_{\text{б}} + \dot{h}_{12} \cdot \Delta U_{\text{ке}} \\ \Delta I_{\text{к}} &= \dot{h}_{21} \cdot \Delta I_{\text{б}} + h_{22} \cdot \Delta U_{\text{ке}} \end{aligned} \right\}$$

Фізичний зміст h -параметрів транзистора складається в наступному:

- \dot{h}_{11} - вхідний опір в режимі короткого замикання (КЗ) на виході;
- \dot{h}_{12} - коефіцієнт внутрішнього зворотного зв'язку в режимі холостого ходу (ХХ) на вході;
- \dot{h}_{21} - коефіцієнт передання струму в режимі КЗ на виході;
- \dot{h}_{22} - вихідна провідність транзистора в режимі ХХ на вході.

Розраховують h -параметри для схеми зі спільним емітером за формулами:

$$h_{11} = \Delta U_{\text{бe}} / \Delta I_{\text{б}} \quad (U_{\text{ке}} = \text{const}), \quad (6.1)$$

$$h_{12} = \Delta U_{\text{бe}} / \Delta U_{\text{ке}} \quad (I_{\text{б}} = \text{const}), \quad (6.2)$$

$$h_{21} = \Delta I_{\text{к}} / \Delta I_{\text{б}} \quad (U_{\text{ке}} = \text{const}), \quad (6.3)$$

$$h_{22} = \Delta I_{\text{к}} / \Delta U_{\text{ке}} \quad (I_{\text{б}} = \text{const}), \quad (6.4)$$

Аналітичний розрахунок h -параметрів складний і неточний. Набагато простіше їх визначати за ВАХ.

Для визначення h_{11} на вхідній характеристиці відмічають робочу точку А (р.т.) транзистора (Рис. 6.2, а), яка задається значеннями вхідного струму $I_{\text{б}}$ і

вхідної напруги $U_{\text{бе}}$. Через робочу точку A проводять дотичну і будують трикутник BCD . За формулою (6.1) розраховують h_{11} : $h_{11} = BD/CD = \Delta U_{\text{бе}}/\Delta I_{\text{б}}$.

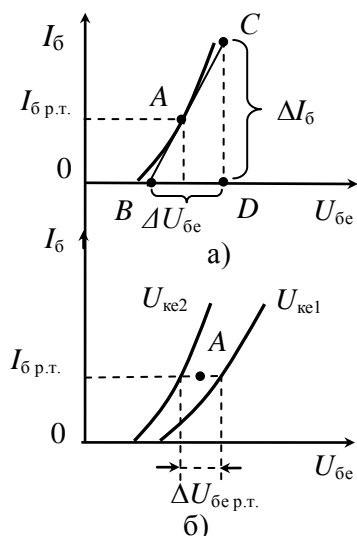


Рисунок 6.2 а,б. Вхідні ВАХ транзистора

Для визначення h_{12} необхідно побудувати дві вхідні характеристики для двох значень напруги на вихідному електроді (Рис. 6.2, б).

Через робочу точку A проводять лінію $I_{\text{б}} = \text{const}$, що відповідає холостому ходу на вході транзистора за змінним струмом. Точки перетину характеристик з цією лінією проектують на вісь $U_{\text{бе}}$ і визначають $\Delta U_{\text{бе}}$. Використовуючи формулу (6.2) знаходять h_{12} , в якій $\Delta U_{\text{ке}} = U_{\text{ке2}} - U_{\text{ке1}}$.

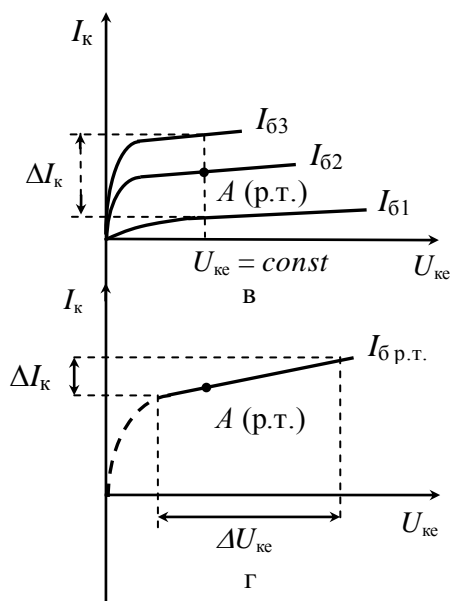


Рисунок 6.2 в,г. Вихідні ВАХ транзистора

Для визначення h_{21} сімейство вихідних характеристик в області робочої точки перетинають лінією $U_{ке} = const$, що відповідає КЗ за змінним струмом на виході транзистора. Параметр h_{21} знаходять за формулою (6.3), графічно визначивши ΔI_k і розрахувавши $\Delta I_6 = I_{63} - I_{61}$.

Для визначення h_{22} (рисунок 6.2, г) знімають вихідну характеристику для струму бази в робочій точці, знаходять ΔI_k та $\Delta U_{ке}$, і за формулою (6.4) розраховують h_{22} .

2. Завдання

2.1 Зібрати схему для вимірювання вхідних і вихідних характеристик транзистора.

2.2 Зняти осцилограми вхідних ВАХ при двох значеннях напруги „коллектор - емітер”.

2.3 Зняти осцилограми вихідних ВАХ при трьох значеннях напруги „база - емітер”.

2.4 Побудувати отримані вхідні характеристики в координатах „ $I_6 - U_{63}$ ” при $U_{ке} = const$.

2.5 Побудувати отримані вихідні характеристики в координатах „ $I_k - U_{ке}$ ” при $I_6 = const$

2.6 Визначити h-параметри біполярного транзистора: h_{11} , h_{12} , h_{21} , h_{22} .

3. Порядок виконання роботи

3.1 Зібрати схему (рис.6.3а) для зняття вхідної характеристики біполярного р-п-р транзистора, включеного за схемою із загальним емітером (ЗЕ).

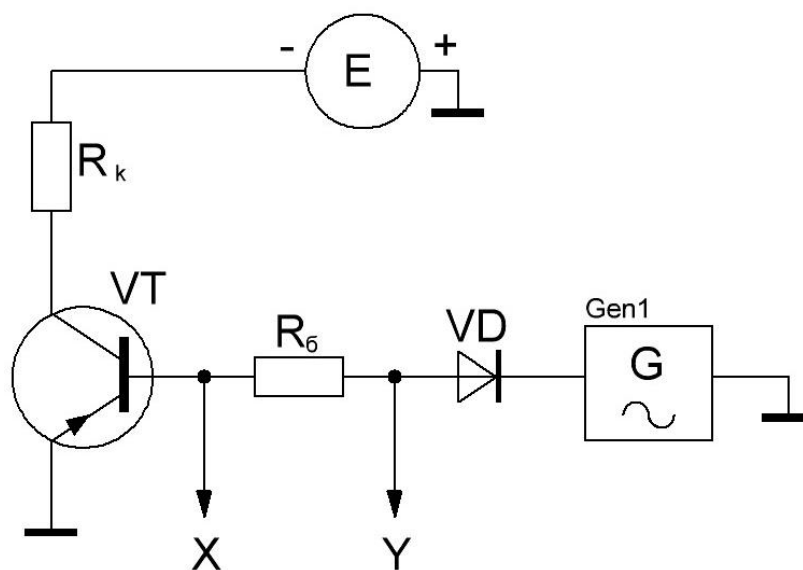


Рисунок 6.3.а

Примітка. Значення опорів резисторів на електричних схемах $R_e = 15 \text{ Ом}$, $R_k = 1,0 \text{ кОм}$, $R_6 = 20 \text{ кОм}$.

3.2 Осцилограф використати в режимі характеріографа (перемикачі роду роботи входних підсилювачів встановити в положення „П, X-Y”; перемикач синхронізації - в положення „X-Y”). Входи осцилографа приєднати до точок „X, Y” для одержання входної ВАХ в схемі увімкнення транзистора зі спільним емітером. Встановити точку в центрі екрану осцилографа.

3.3 Виставити на виході генератора ГЗ-123 напругу $U_r = 5 \text{ В}$ і частоту $f = 200 \div 500 \text{ Гц}$. На виході джерела живлення Б5-44А встановити $E_1 = 0 \text{ В}$. На екрані осцилографа отримати входну ВВХ, яку зняти за точками (7 точок), заповнивши табл. 6.1.

3.4. Установити на виході джерела живлення Б5-44А напругу $E = -5 \text{ В}$ і повторити дії п.3.3.

3.5. Зібрати схему (Рис.6.3.б) для зняття вихідної характеристики біполярного р-п-р транзистора, включеного за схемою із спільним емітером.

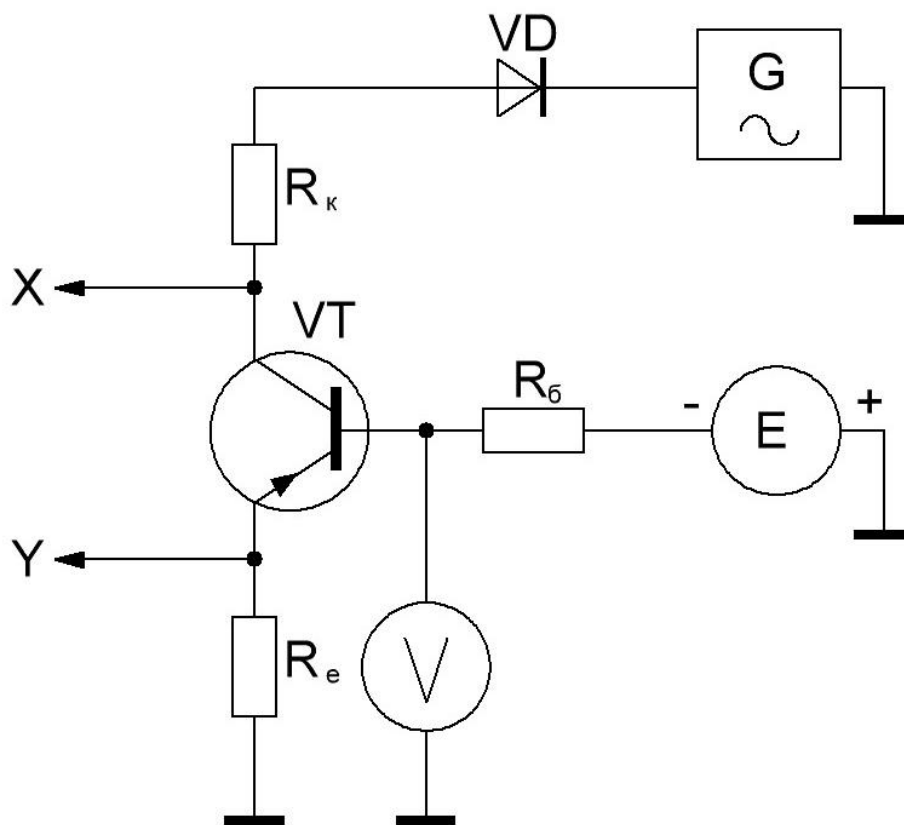


Рисунок 6.3.б

3.6. Зняти вихідні вольт-вольткові характеристики (ВВХ). Виставити на виході генератора ГЗ-123 напругу $U_r = 5 \text{ В}$ і частоту $f = 200 \div 500 \text{ Гц}$. На виході джерела живлення Б5-44А встановити $E_1 = -1 \text{ В}$. На екрані осцилографа отримати вихідну ВВХ, яку зняти за точками, заповнивши табл.6.2.

Таблиця 6.1 Вхідні ВВХ та ВАХ при $E = \dots V$

U_x, V	Ц							
	П							
	Р							
U_y, V	Ц							
	П							
	Р							
U_{be}, V								
$I_{\bar{o}}, A$								

Таблиця 6.2 Вихідні ВВХ та ВАХ при $I_{\bar{o}} = \dots A$

U_x, V	Ц							
	П							
	Р							
U_y, V	Ц							
	П							
	Р							
U_{be}, V								
I_k, A								
U_{ke}, V								
$I_{\bar{o}}, A$								

Ц – ціна поділки, П – покази в поділках, Р – результат вимірювання.

3.7 За допомогою вольтметра В7-35 виміряти значення U_{BE} й занести до табл. 6.2.

3.8 Повторити вимірювання по пп. 3.6, 3.7 при напругах на виході джерела живлення Б5-44А рівних $E_2 = -1,5V$ та $E_3 = -2V$.

3.9 Зробити перерахунок ВВХ у ВАХ у такий спосіб:

1) для вхідних характеристик транзистора, включеного за схемою з ОЕ:

$$I_{\bar{o}} = \frac{U_y - U_x}{R_{\bar{o}}}; U_{\bar{o}\bar{e}} = U_x$$

2) для вихідних характеристик транзистора, включеного за схемою з ОЕ:

$$I_k = I_e - I_b; I_b = \frac{E - U_{be}}{R_b}; I_e = \frac{U_y}{R_y}; U_{ke} = U_x - U_y$$

3.10 Вхідні характеристики побудувати на одному графіку в координатах $I_b - U_{be}$ для двох значень напруги E на виході джерела постійного струму Б5-44А (Рис. 6.4а)

3.11 Вихідні характеристики побудувати на одному графіку в координатах $I_k - U_{ky}$ для трьох значень струму бази I_b .

3.12 Визначити h – параметри транзистора використовуючи ВАХ п/п 3.10 та 3.11.

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Початкові дані для розрахунку.
3. Попередній розрахунок.
4. Принципова схема лабораторної установки.
5. Таблиці експериментальних і розрахункових даних.
6. Графіки залежностей, отриманих в результаті експерименту і розрахунку.
7. Короткі висновки за результатами розрахунку і експерименту.

Контрольні запитання

1. Що конструктивно являє собою транзистор?
2. Яку класифікацію можна вжити для біполярних транзисторів?
3. Який принцип роботи біполярного транзистора?
4. Які схеми увімкнення транзисторів існують для низьких і високих частот?
5. В чому причини широкого застосування транзистора за схемою зі спільним емітером у порівнянні з іншими схемами увімкнення?
6. Як залежать параметри біполярного транзистора від режиму роботи?
7. Що означає „робоча точка” транзистора і як вона визначає режим роботи транзистора?
8. В чому полягає причина застосування h -параметрів?
9. Які фізичні величини складають систему h -параметрів?

Література

1. Ефимчик М.К., Шушкевич С.С. Основы радиоэлектроники. - Мн.: Университетское, 1986. - С. 77-82.
2. Манаев Е.И. Основы радиоэлектроники. - М.: Радио и связь., 1990 - С. 88-122.
3. Будіщев М. С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка.—Львів: Афіша, 2001. – 424 с.
4. Сисоєв В.М., Чернявський В.П. Радіотехніка з елементами обчислювальної техніки: Практикум .- К.: Вища шк., 1986. - С.52-58.

Лабораторна робота № 7

ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДСИЛЮВАЧА СИГНАЛІВ ЗВУКОВОЇ ЧАСТОТИ

Мета роботи: Дослідження підсилювача на біполярному транзисторі, увімкненому за схемою з загальним емітером. Зняття характеристик, визначення робочих режимів і розрахунок параметрів підсилювача.

Обладнання: генератор сигналів низькочастотний ГЗ-123, осцилограф універсальний С1-83, мілівольтметр ВЗ-38, джерело постійного струму Б5-44А, резистори типу МЛТ, конденсатори.

1. Теоретичні відомості

Електронним підсилювачем називають пристрій, що підвищує потужність вхідного електричного сигналу за рахунок енергії джерела живлення підсилювача за допомогою підсилювальних елементів при заданому рівні спотворень.

У наш час основним елементом електронного підсилювального пристрою є транзистор.

Підсилювальний каскад на транзисторі зі спільним емітером найбільш розповсюджений, оскільки відзначається максимальним підсиленням потужності серед інших варіантів схем. До вхідного кола підсилювального каскаду на транзисторі зі спільним емітером відносяться всі елементи, що приєднуються між базою і емітером транзистора, а також джерело вхідного сигналу $U_{вх}$.

Одиночний підсилювальний каскад на транзисторі, увімкненому за схемою зі спільним емітером, зсуває фазу вихідної напруги відносно вхідної на 180° , тобто вихідна напруга $U_{вих}$ і вхідна $U_{вх}$ знаходяться у протифазі. Це одна з основних властивостей такого каскаду. Основним параметром будь-якого підсилювача є його коефіцієнт підсилення K , величина, що дорівнює відношенню вихідного сигналу до вхідного. Через наявність у схемі каскаду елементів, параметри яких залежать від частоти, в загальному випадку коефіцієнт підсилення є комплексною величиною.

Основними характеристиками підсилювального каскаду є амплітудна (АХ), амплітудно-частотна (АЧХ) та фазо-частотна (ФЧХ).

Амплітудна характеристика визначає залежність амплітуди або діючого значення першої гармоніки вихідної напруги від амплітуди або діючого значення вхідної напруги при постійній частоті синусоїдального вхідного сигналу.

Амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) підсилювача являє собою залежність модуля коефіцієнта підсилення K_U від частоти підсилюваного сигналу при сталості значення амплітуди вхідного сигналу. Нелінійність АЧХ обумовлена наявністю в схемі підсилювача елементів (зокрема, конденсаторів і

транзистора), параметри яких залежать від частоти. АЧХ дозволяє судити про частотні спотворення, які називаються лінійними. Такі спотворення виникають, якщо вхідний сигнал має складну форму і його можна уявити як суму гармонічних складових з різними частотами і амплітудами, які підсилюються неоднаково, тобто з різними коефіцієнтами підсилення.

Фазо-частотна характеристика (ФЧХ) підсилювача являє собою залежність зсуву фаз від частоти підсилюваного сигналу при сталості значення амплітуди вхідного сигналу.

Діапазон частот підсилювача, у межах якого підсилювач забезпечує задане значення коефіцієнта підсилення, називають **смужою пропускання**, що визначає нижню f_n і верхню f_v граничні частоти підсилення при заданому рівні частотних (лінійних) спотворень. Як правило, значення коефіцієнта підсилення на граничних частотах смуги пропускання становить $K = K_0/\sqrt{2}$, де K_0 - коефіцієнт підсилення на середніх частотах.

Коефіцієнт підсилення за напругою визначається відношенням комплексних значень амплітуд вихідної синусоїдальної напруги до вхідної:

$$K_U = \frac{\dot{U}_{m_{\text{вих}}}}{\dot{U}_{m_{\text{вх}}}}, \quad (7.1)$$

На практиці жоден підсилювач не використовується без зворотного зв'язку (ЗЗ).

Зворотним зв'язком називають передавання потужності електричного сигналу з вихідного кола у вхідне.

Існує цілий ряд кваліфікаційних ознак ЗЗ. Якщо електричний сигнал після ланки ЗЗ пропорційний вихідній напрузі, то в підсилювачі використовується зворотний зв'язок за напругою; якщо сигнал на виході ланки ЗЗ пропорційний струму у вихідному ланцюзі, то використається ЗЗ за струмом. Можливий і комбінований ЗЗ. Вплив ЗЗ може привести або до збільшення, або до зменшення сигналу безпосередньо на вході підсилювача. У першому випадку ЗЗ називають позитивним, у другому - негативним (сигнали на вході підсилювача або складаються, або віднімаються).

За способом введення сигналу ЗЗ у вхідний ланцюг підсилювача розрізняють **послідовний** і **паралельний зворотні зв'язки**. У першому випадку напруга з виходу ланки ЗЗ вмикається послідовно з напругою джерела вхідного сигналу, а в другому - паралельно.

2. Завдання

2.1. Зібрати електричну схему підсилювача звукової частоти й схему дослідження цього підсилювача.

2.2. Відлагодити підсилювач звукової частоти.

2.3. Визначити робочі режими підсилювача при постійному й змінному сигналах.

2.4. Побудувати амплітудну, амплітудно-частотну й фазочастотні характеристики підсилювача.

2.5 Визначити наступні параметри підсилювача:

- коефіцієнт підсилювання;
- коефіцієнт зворотного зв'язку;
- смугу пропускання ΔF .

3. Порядок виконання роботи

3.1. Зібрати електричну схему підсилювача, зображену на рис. 7.1. Номінали елементів схеми вибрати з табл. 7.1.

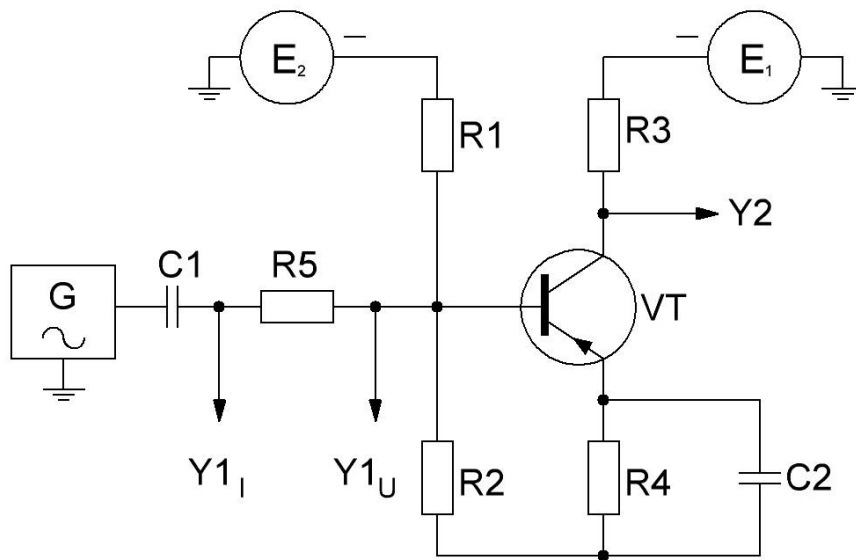


Рисунок 7.1 Електрична схема підсилювача

Таблиця 7.1 Номінали елементів до схеми на рис.7.1

Елементи	Номінали
$E_1, \text{В}$	10
$E_2, \text{В}$	5÷10
$R_1, \text{кОм}$	47
$R_2, \text{кОм}$	4,7
$R_3, \text{кОм}$	2,2
$R_4, \text{кОм}$	0,2
$R_5, \text{кОм}$	1,0
$C_1, \text{мкФ}$	0,1
$C_2, \text{мкФ}$	1,0
Транзистор VT типу МП20	

3.2 Відлагодження підсилювача провести таким чином:

- виставити напругу живлення $E_1 = -10$ В;

- змінюючи напругу джерела живлення E_2 , добитися $U_k - \text{земля} \approx \frac{-E_1}{2}$;

- змінюючи напругу на виході генератора (вхідний сигнал) добитися гармонічної форми вихідного сигналу.

3.3 Зняття амплітудної характеристики (АХ) підсилювача провести в такій послідовності:

- встановити частоту $f = 1$ кГц і мінімальну напругу на вході генератора (вхідний сигнал), яка відповідає появі вихідного гармонічного сигналу на екрані осцилографа. Значення мінімальної амплітуди вхідного гармонічного сигналу генератора занести до першого рядку таблиці 7.2;

Таблиця 7.2 Амплітудна характеристика

№	$U_{\text{вх}}$, мВ	$I_{\text{вх}}$, мкА	$U_{\text{вих}}$, В	$I_{\text{вих}}$, мкА	K_U	K_I	K_P	β
1			Ц					
			П					
			Р					
2			Ц					
			П					
			Р					
3			Ц					
			П					
			Р					
4			Ц					
			П					
			Р					
5			Ц					
			П					
			Р					
6			Ц					
			П					
			Р					
7			Ц					
			П					
			Р					

- встановити максимальне значення амплітуди вхідного сигналу, при якому не спостерігається спотворення вихідного сигналу; значення максимальної амплітуди вхідного гармонічного сигналу генератора занести в останній рядок таблиці 7.2;

- розділити одержаний діапазон вхідного сигналу на сім інтервалів. Значення одержаних інтервальних точок ділення занести до таблиці 7.2;

- послідовно встановити значення амплітуди вхідного сигналу у відповідності до значення інтервальних точок і зафіксувати значення вихідного сигналу підсилювача. Занести одержані значення до таблиці 7.2.

3.4 Зняти амплітудно-частотну характеристику в такій послідовності:

- задати на вхід підсилювача сигнал в діапазоні частот від 50 Гц до 200 кГц з постійною амплітудою, яка відповідає середині АХ, і зафіксувати частоти для мінімальної і максимальної амплітуди вихідного сигналу;

- встановити в кожену сторону (збільшення, зменшення) від частоти, на якій зафіксовані максимум амплітуди вихідного сигналу, по 3-5 значень частоти;

- занести значення частот і амплітуд вихідного сигналу до таблиці 7.3;

Таблиця 7.3 Амплітудно–частотна і фазо-частотна характеристики

№	f , кГц	$U_{\text{вих}}$, В	$\frac{U_{\text{вих},f_i}}{U_{\text{вих},f_{cp}}}$	$\frac{2U_x}{2U'_x}$	φ , град
1	$f_{\text{нижн}}$	Ц			
		П			
		Р			
2		Ц			
		П			
		Р			
3		Ц			
		П			
		Р			
4		Ц			
		П			
		Р			
5		Ц			
		П			
		Р			
6		Ц			
		П			
		Р			
7	$f_{\text{верхн}}$	Ц			
		П			
		Р			

3.5 Зняти фазо-частотну характеристику методом фігур Лісажу при тих же значеннях частот, які були прийняті для АЧХ, використовуючи осцилограф

в режимі характеристики графа. Дані занести до таблиці 7.3, за якими побудувати графік фазо-частотної характеристики підсилювача.

3.6 За даними таблиці 7.2. розрахувати коефіцієнт підсилення $K_u = U_{вих}/U_{вх}$, $K_I = \frac{U_{вих}}{R_K \cdot I_{вх}}$ та $K_P = K_U \cdot K_I$, де $I_{вх} = \frac{U_{y1}I'' - U_{y1}U''}{R_5}$, й отримані значення занести в цю ж таблицю.

3.7 Використовуючи дані з табл. 7.1, розрахувати коефіцієнт зворотного зв'язку β й результат занести в табл. 7.2.

Коефіцієнт зворотного зв'язку розраховується за формулою:

$$\beta = \frac{R_E}{R_E + R_K}$$

3.8 Використовуючи дані табл. 7.3 розрахувати смугу пропускання підсилювача ΔF . Для цього по амплітудно-частотній характеристиці потрібно визначити дві частоти $f_{нижн.}$ й $f_{верх.}$ при коефіцієнті підсилення рівному $\frac{K_U}{\sqrt{2}}$, де

$$K_U = \frac{U_{вих}}{U_{вх}} \text{ — при } f_{ср.}$$

3.9 Побудувати графік амплітудної характеристики підсилювача в координатах « $U_{вих.} - U_{вх}$ » за даними з табл. 7.2.

3.10 За даними таблиці 7.3 побудувати АЧХ та ФЧХ, для чого спочатку зробити нормування.

Для нормування даних при побудованні АЧХ використати відношення вихідних напруг підсилювача на середній частоті і частотах на краях робочого діапазону (3–5 значень від частоти, на якій зафіксовані максимум амплітуди

$$\text{вихідного сигналу) } A = \frac{U_{f_i}}{U_{f_{ср.}}}$$

Додаток.1 Визначення робочих режимів підсилювача

Визначення робочих режимів підсилювача являється найбільш відповідальним моментом, оскільки правильний вибір робочої точки-електричного стану підсилювального елемента по постійному струму до подання вхідного сигналу забезпечує максимальне підсилення при мінімальних нелінійних спотвореннях.

Робоча точка транзистора, включеного з загальним емітером, визначається чотирма параметрами: струмами $I_{б.пт}$ та $I_{к.пт}$ і напругами $U_{бе.пт}$ та $U_{ке.пт}$. (Рис.7.2).

Для їх визначення вимірюють падіння напруги на резисторах R_k , R_e на pn -переході база-емітер транзистора (рис.7.1) вольтметром В7-35 або осцилографом.

Тоді:

$$I_{к.пт} = \frac{U_{R_k}}{R_k}; \quad I_{б.пт} = \frac{U_{R_e}}{R_e} - \frac{U_{R_k}}{R_k}$$

$$U_{ке.рм} = E - U_{R_k} - U_{R_e} ; U_{бe.рм} = U_{б} - U_{R_e}$$

На лінії навантаження $U_{ке} = E_K - I_K (R_K + R_e)$ визначають діапазон, в межах якого робоча точка під дією вхідного сигналу зміщується (т.1–т.2).

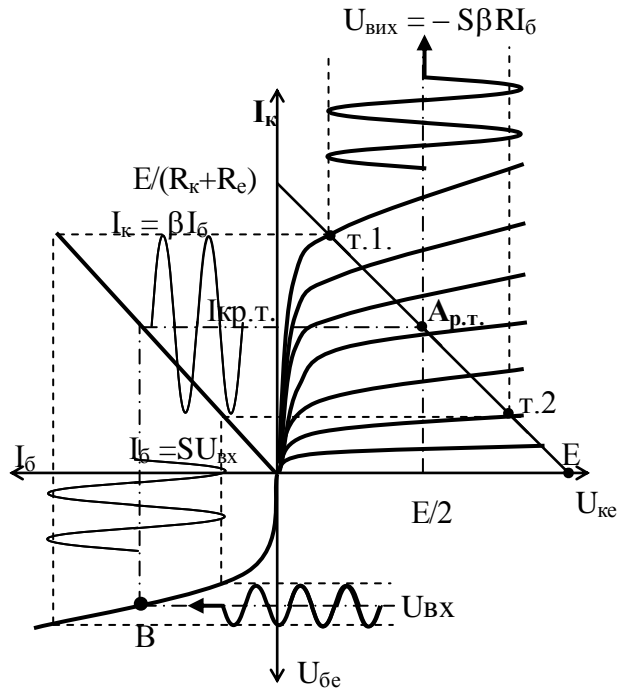


Рис.7.2

Додаток 2 Визначення фазового зсуву між двома періодичними сигналами методом фігур Ліссажу

Для вимірювання кута зсуву фаз між двома напругами (наприклад, вхідною та вихідною підсилювача) одна з них ($U_{вх}$) подається на вхід „X”, а друга ($U_{вих}$) „Y” осцилографа С1-83. Останній використовується в режимі характериографа (вхідний перемикач встановити в положення „П, x-y”, перемикач синхронізації відповідно в положення „x-y”).

Ручками „Підсилення” та „Синхронізація” устанавлюють на екрані зображення в виді еліпса, кола чи прямої лінії, що заповнює всю площину екрану (Рис.7.3).

$U_x=U_y$					
фазовий зсув	$\varphi=0^0$	$\varphi=45^0$	$\varphi=90^0$	$\varphi=135^0$	$\varphi=180^0$

Рис.7.3 Варіанти фігур Ліссажу

Для зменшення похибки вимірювання необхідно досягати тотожності відстаней $2U_x = 2U_y$ (Рис.7.4).

Кут зсуву визначають по фігурам Ліссажу, які представляють собою замкнені траєкторії, що накреслює промінь осцилографа, який здійснює одночасно 2 гармонічних коливання у двох взаємно перпендикулярних напрямках. Якщо на екрані одержано еліпс (Рис.7.4), то фазовий кут визначають за формулою:

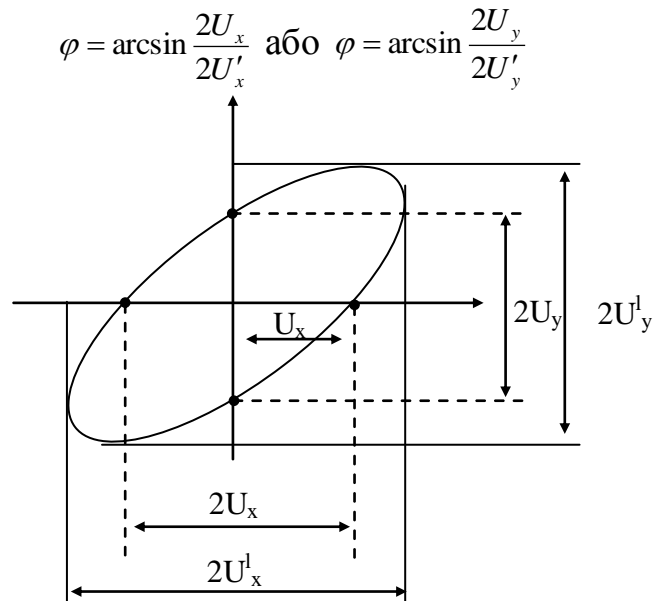


Рис.7.4 Схема вимірювання кута зсуву фаз

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Початкові дані для розрахунку.
3. Попередній розрахунок.
4. Принципова схема лабораторної установки.
5. Таблиці експериментальних і розрахункових даних.
6. Графіки залежностей, отриманих в результаті експерименту і розрахунку.
7. Короткі висновки за результатами розрахунку і експерименту.

Контрольні запитання

1. Що являє собою підсилювач?
2. Які основні вимоги до підсилювачів?
3. Які властивості покладені в основу класифікації підсилювачів?
4. Назвати параметри підсилювача і дати їх означення.
5. Що таке зворотний зв'язок і які його параметри?
6. Як забезпечується стабільність роботи підсилювача?
7. Які вхідні сигнали називаються синфазними і диференціальними?

Література

1. Ефимчик М.К., Шушкевич С.С. Основы радиоэлектроники. - Мн.: Университетское, 1986. - С. 97-124, 133-138.
2. Манаев Е.И. Основы радиоэлектроники. - Г.: Радио и связь., 1990 - С. 122-137, 175-198.
3. Сисоев В.М., Чернявський В.П. Радіотехніка з елементами обчислювальної техніки: Практикум. - К.: Вища шк., 1986. - С. 63-68.
4. Терещук Р.М., Терещук К.М., Седов С.А. Полупроводниковые приемно-усилительные устройства: Справочник радиолюбителя. - К.: Наук. думка, 1989. - С. 349-421.
5. Остапенко Г.С. Усилительные устройства. - Г.: Радио и связь, 1989. - С.8-54.
6. Осциллограф универсальный С1-83: Техническое описание и инструкция по эксплуатации. - ЛПО, 1990. - С. 53-55.

Лабораторна робота № 8

**ЗНЯТТЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ
ПОЛЬОВОГО ТРАНЗИСТОРА**

Мета роботи: вивчення принципу дії польового транзистора, зняття та аналіз його вольт-амперних характеристик, визначення параметрів.

Обладнання: генератор сигналів низькочастотний ГЗ-123, осцилограф універсальний С1-83, джерело постійного струму Б5-44А, польові n-канальні транзистори з керувальним p-n переходом типу КПЗОЗЕ, резистори МЛТ.

Теоретичні відомості

Польовими транзисторами називаються напівпровідникові прилади, у яких струм через канал залежить від електричного поля, що виникає при прикладанні напруги між затвором і витоком (виток, як правило, з'єднується з підкладкою).

Витоком називають електрод польового транзистора, через який у канал втікають носії заряду, що збираються на виході з каналу іншим електродом - стоком.

Електрод польового транзистора, на який відносно витоку подається керуюча напруга, для зміни потоку основних носіїв заряду через канал, називають затвором.

Канал - область напівпровідникового кристала, у якій потік носіїв регулюється зміною її поперечного перерізу за допомогою керуючої напруги затвора.

Польові транзистори називають також уніполярними, тому що принцип їхньої роботи заснований на керуванні рухом носіїв тільки одного знака (основних носіїв). Розрізняють два типи польових транзисторів: польові транзистори з керуючим **p-n** переходом і польові транзистори з ізольованим затвором (МДН- або МОН- транзистори). Всі польові транзистори розрізняються також по виду провідності каналу: **p** або **n** типу.

Польові транзистори з керуючим p-n переходом.

Умовні позначення (I) і структура (II) польового транзистора з керуючим **p-n** переходом показано на рис.1.

На підкладці з **p-кремнію** створюється тонкий шар напівпровідника **n** - типу, що виконує функцію струмопровідної області (каналу). Канал ізольований ввімкненим в зворотному напрямку **p-n** переходом від підкладки й затвора. Затвор використовується для керування величиною поперечного перерізу каналу. На кінцях каналу знаходяться – сильно леговані **n+** - області, завдяки яким формується омичні контакти із металевими електродами стоку й витоку.

При підключенні напруги U_{CB} між стоком (+) і витоком (-) виникає дрейфовий рух основних носіїв заряду (електронів) від джерела через канал до

стоку. З'явиться струм стоку I_C , який буде максимальним ($I_{C \text{ MAX}}$) при повністю відкритому каналі, тобто при $U_{зв}=0$.

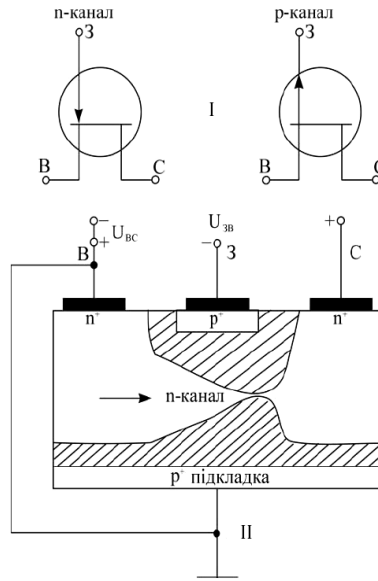


Рис.8.1

При подачі негативної напруги на затвор ($U_{зв}<0$) замикаючий шар розширюється, канал звужується, збільшується його опір, зменшується струм стоку I_C . Негативна напруга на затворі, при якій незалежно від напруги на стоці відбудеться перекриття каналу, називається напругою відсічки струму стоку ($U_{відс}<0$).

Підкладка може служити другим керуючим електродом. Напруга на *p-n* переході поблизу витоку складає $U_{зв}$, а поблизу стоку – $(U_{зв}+U_{св})$, що зумовлює область розширення збідненого носіями заряду шару.

Звичайно для польового транзистора використовуються дві статичні характеристики: вихідні характеристики $I_C=f(U_{св})$ при $U_{зв}=const$ (рис. 8.2а) і характеристика прямої передачі $I_C=f(U_{зв})$ при $U_{св}=const$ (рис. 8.2б).

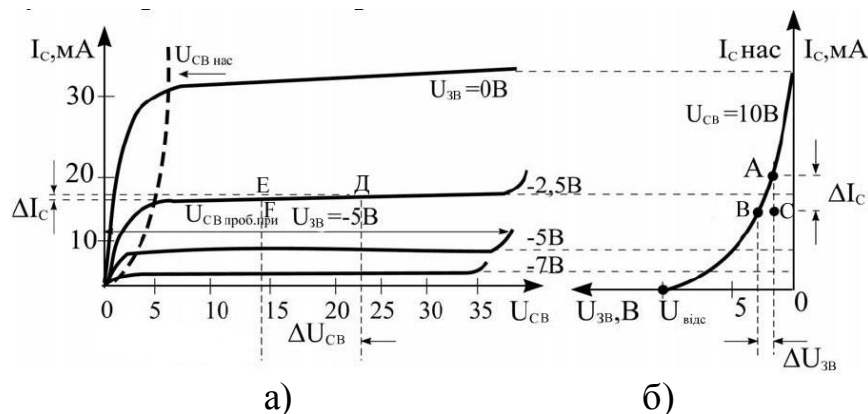


Рис.8.2

Теоретично вихідна (стокова) характеристика (початкова ділянка) описується рівнянням:

$$I_c = \frac{1}{R_i} \left[U_{ce} + \frac{2}{3} \left(\sqrt{\frac{U_{3B}^3}{U_{відс}}} - \sqrt{\frac{(U_{3B} + U_{ce})^3}{U_{відс}}} \right) \right], \quad (8.1)$$

при $U_{CB} \leq U_{CB \text{ НАС}} = U_{ВДС} - U_{3B}$;

$$R_i = \frac{U_{відс}}{3I_{c \text{ max}}} \quad \text{- опір каналу.}$$

Передаточна характеристика польового транзистора в режимі насичення ($U_{CB} > U_{CB \text{ НАС}}$) апроксимується залежністю

$$I_c = I_{c \text{ max}} \left[1 - 3 \frac{U_{3B}}{U_{відс}} + 2 \left(\frac{U_{3B}}{U_{відс}} \right)^{\frac{3}{2}} \right] \quad (8.2)$$

Як параметри польового транзистора використовують наступні величини (для схеми з загальним витоком):

вихідний диференціальний опір:

$$R_{вих.диф} = R_i = \frac{dU_{CB}}{dI_c} \approx \frac{\Delta U_{CB}}{\Delta I_c} \quad \text{при } U_{3B} = const; \quad (8.3)$$

Крутість характеристики прямої передачі:

$$S = \frac{dI_c}{dU_{3B}} \approx \frac{\Delta I_c}{\Delta U_{3B}} \quad \text{при } U_{CB} = const; \quad (8.4)$$

Статичний коефіцієнт підсилення:

$$\mu = SR_i = - \frac{dU_{CB}}{dU_{3B}} = - \frac{\Delta U_{CB}}{\Delta U_{3B}} \quad \text{при } I_{C \text{ НАС}} = const; \quad (8.5)$$

Вихідна провідність:

$$q_c = \frac{\Delta I_c}{\Delta U_{CB}} \quad \text{при } U_{3B} = const; \quad (8.6)$$

Крутість S показує на скільки міліампер змінюється струм стока I_c при зміні напруги U_{3B} на 1В і постійній напрузі між стоком і витоком U_{CB} . Цим параметром характеризують підсилювальні властивості приладу.

Звичайно крутість розраховують для режиму, який відповідає мінімальному участку стоко-затворної характеристики. Для цього будують трикутник ABC завдяки якому знаходять приріст струму ΔI_c і напруги $\Delta U_{зв}$ і по формулі (4) визначають крутість S (рис. 8.2б).

Вихідна провідність визначається нахилом стокової характеристики в області насичення (рис. 8.2а). Цей параметр знаходять побудовою трикутника DEF завдяки якому визначають приріст струму ΔI_c і напруги $\Delta U_{св}$. За формулою (8.6) розраховують значення вихідної провідності g_c .

При роботі польового транзистора на високих частотах необхідно врахувати вплив міжелектродних ємностей і розподілених опорів каналу r' , стоку r_k .

Міжелектродні ємності:

- ємність відносно витoku $C_{зв}$ і підкладки $C_{зп}$;
- ємність затвора відносно каналу $C_{зк}$;
- ємність стоку відносно затвора $C_{сз}$;
- ємність стоку відносно підкладки $C_{сп}$.

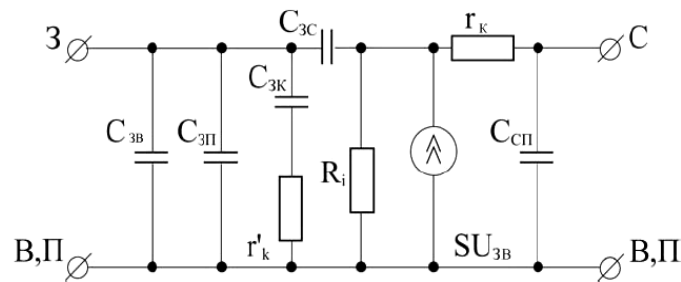


Рис. 8.3 Еквівалентна схема польового транзистора

МДН-транзистори з ізолюваним затвором

На відміну від польових транзисторів з керуючим ***p-n*** переходом, у МДН-транзисторах електрод затвора ізолюваний від напівпровідникової області каналу діелектриком. МДН-транзистори з ізолюваним затвором підрозділяються на МДН-транзистори з вбудованим та індукованим каналом. Умовні позначення та будова транзисторів з вбудованим каналом показані на рис.8.4а.

У підкладці кремнію, наприклад *p*- типу, шляхом локальної дифузії створюється дві області *n+*- типу -стік і витік. Ці області з'єднані тонким поверхневим шаром – каналом *n* – типу. Поверхня кристала напівпровідника покрита плівкою діелектрика, звичайно плівкою діоксиду кремнію SiO_2 . Поверх цієї плівки, над каналом, нанесена металева плівка - затвор. Звідси й назва транзистора - МДН - метал - діелектрик - напівпровідник.

Принцип дії.

Якщо на затвор транзистора з вбудованим *n*- каналом подана негативна напруга, то в каналі створюється поле, під впливом якого електрони

виштовхуються з каналу, збіднюючи його основними носіями. Чим менше носіїв, тим менше струм в каналі. Якщо на затвор подана позитивна напруга, то електричне поле втягує електрони в канал, збагачуючи його основними носіями. Таким чином, змінюючи величину й полярність напруги $U_{зв}$ можна, як й у транзисторі з керуючим $p-n$ – переходом, змінювати величину провідності каналу.

Провідність каналу в МДН-транзисторі змінюється не за рахунок зміни поперечного переріза каналу, а за рахунок зміни концентрації носіїв у ньому під дією напруги на затворі. МДН-транзистор з вбудованим каналом може працювати як при негативній, так і при позитивній напрузі на затворі.

Характеристики МДН-транзистора з вбудованим каналом наведені на рис.8.5:

- а) вихідні (стокові);
- б) прямої передачі (стоко - затворні).

У МДН-транзисторі з індукованим каналом у вихідному стані між джерелом і стоком відсутній струмопровідний канал, який індукується тільки при відповідній напрузі на затворі, що називається пороговою напругою $U_{пор}$.

На рис. 8.4, б приведені умовні позначення й будова МДН-транзистора з індукованим каналом.

При подачі на затвор позитивної напруги виникає електричне поле відштовхує дірки від поверхні в глибину p -напівпровідника. І при подальшому збільшенні позитивної напруги на затворі приповерхнева область p -напівпровідника продовжує збіднюватися дірками, тобто на поверхні p -напівпровідника утвориться тонкий шар з інверсною електронною провідністю. У цьому шарі під дією електричного поля накопичуються електрони і між стоком і витком формується n -канал. Зміна напруги на затворі, змінює концентрацію електронів у каналі та керує провідністю каналу.

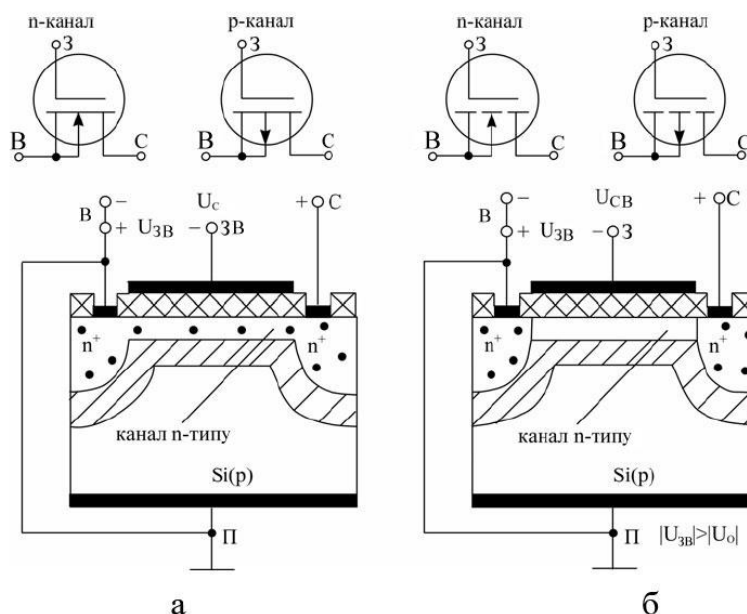


Рис.8.4

Вихідні (стокові) характеристики МДН-транзистора з індукованим каналом приведені на рис. 8.6а:

прямої передачі (стоко - затворні) – на рисунку 8.6б.

Лінійна область вихідної характеристики МДН-транзистора до переходу в режим насичення, тобто при $U_{CB} \leq U_{зв} - U_0 = U_{НАС}$ визначається співвідношенням:

$$I_c = 2b \left[(U_{зв} - U_0) U_{CB} - \frac{U_{CB}^2}{2} \right]$$

Залежність $I_c = b(U_{зв} - U_0)^2$ описує область насичення вихідної характеристики транзистора з індукованим каналом (b - питома крутість характеристики МДН-транзистора, обумовлена геометрією каналу); типові значення

$$b = 0,1 \dots 0,2 \text{ mA/V.}$$

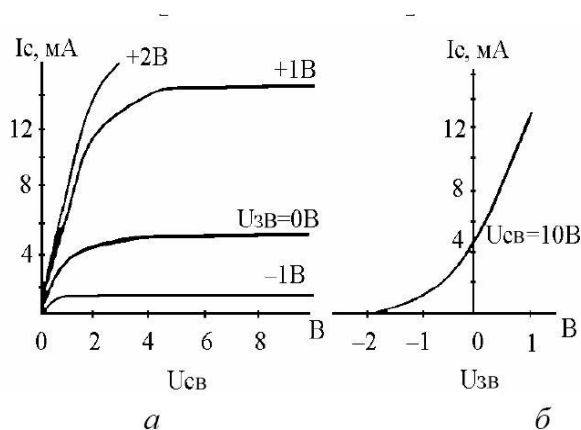


Рис.8.5

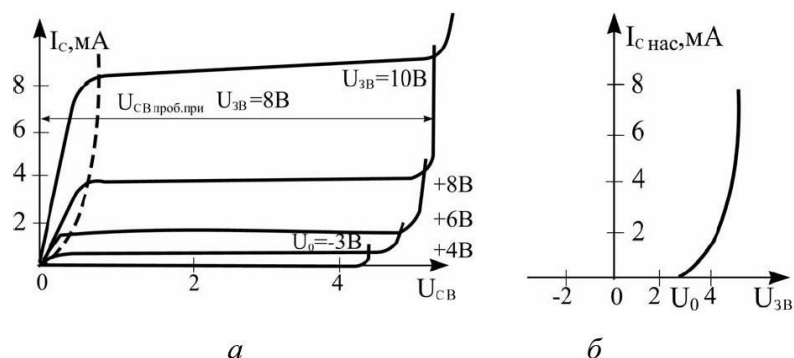


Рис.8.6

2. Завдання

- 2.1 Вивчити будову, принцип дії і характеристики польових транзисторів.
- 2.2 Вивчити особливості, технічні характеристики досліджуваного польового транзистора КП 303. Звернути увагу на межеві значення струмів і напруг між електродами.
- 2.3 Намалювати та зібрати схеми для одержання вихідної та стоко-затворної ВАХ прямої передачі польового транзистора.
- 2.4 Зняти осцилограми вихідних ВАХ при 3-х значеннях напруг $U_{зв}$.
- 2.5 Зняти осцилограми стоко-затворної ВАХ прямої передачі для 3-х значень $U_{св} \geq U_{св \text{ нас}}$.
- 2.6 Побудувати отримані по п/п 2.4 та 2.5 ВАХ.
- 2.7 Визначити $U_{зв}$ відс., $U_{св \text{ нас}}$, S , g_c , μ .

3. Порядок виконання роботи

3.1 Зібрати схему для зняття вихідних ВВХ польового транзистора КП 303, включеного за схемою з загальним витоком (рис. 8.7)

Примітка: значення опорів резисторів на електричній схемі $R_1=100$ кОм, $R_2=100$ Ом, $R_3=1$ кОм.

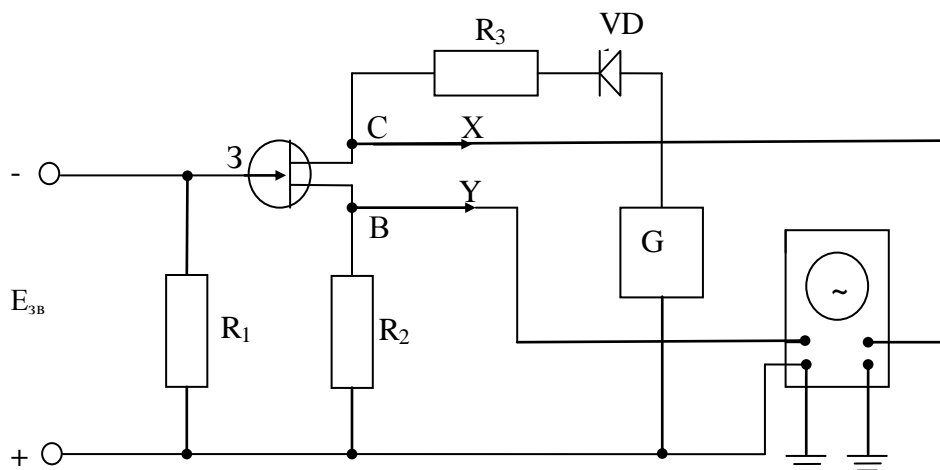


Рис. 8.7

3.2 Осцилограф використовувати в режимі характериографа (перемикачі роду роботи вхідних підсилювачів встановити в положення («П, X-Y»; перемикач синхронізації – в положення «X-Y»). Входи осцилографа приєднати до точок «X-Y» для одержання вихідних ВВХ. Встановити точку в центрі екрану осцилографа при відсутності сигналів.

3.3 Встановити на виході генератора ГЗ-123 напругу 10В і частоту 500 Гц. На виході джерела живлення Б5-44А встановити $E_{зв} = 0$. Зняти за-5

точками спостережувану на екрані осцилографа характеристику, заповнивши таблицю 8.1.

3.4 Встановити на виході джерела живлення послідовно напругу $E_{3B} = -5V$, $-8V$ і повторити дії п/п 3.3.

3.5 Зібрати схему (рис 8.8) для зняття стоко-затворної ВВХ прямої передачі.

3.6 Виставити на виході генератора ГЗ-123 напругу $10V$ і частоту 500 Гц, на виході джерела живлення $E_{CB} = +5V$. На екрані осцилографа отримати ВВХ прямої передачі. Зняти за 5 точками спостережувану на екрані осцилографа характеристику, заповнити табл. 8.2.

3.7 Повторити вимірювання по п/п 3.6 при напругах на виході джерела живлення Б5-44А, $E_{CB} = +10V$, $E_{CB} = +15V$.

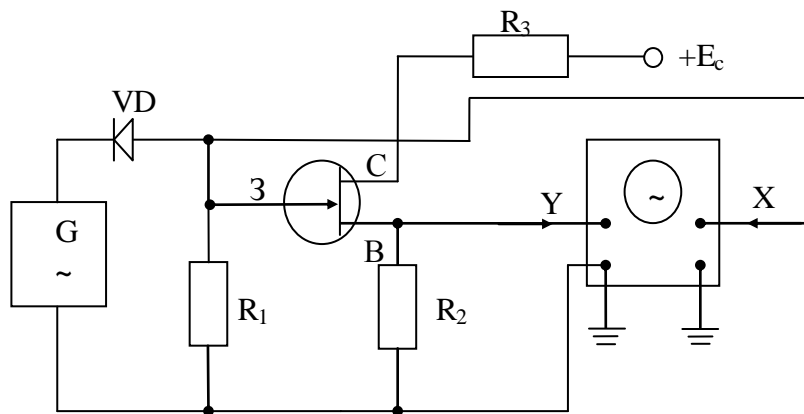


Рис. 8.8

3.8 Зробити перерахунок ВВХ у ВАХ:

а) для вихідних характеристик

$$I_c = \frac{U_y}{R_2}$$

$$U_{CB} = U_x - U_y.$$

б) для стоко-затворної характеристики прямої передачі

$$I_c = \frac{U_y}{R_2}$$

$$U_{CB} = E - U_y \cdot \left(\frac{R_3}{R_2} + 1 \right) = E - 11 \cdot U_y$$

Таблиця 8.1. Вихідна ВАХ для заданої напруги $U_{зв} = 0В, -5В, -8В$

U_x	Ц					
	П					
	Р					
U_y	Ц					
	П					
	Р					
U_{CB}						
I_C						

Таблиця 8.2. Стоко – затворна ВАХ прямої передачі для заданої напруги $U_{CB} = 5В, 10В, 15В$

$U_x = U_{зв}$	Ц					
	П					
	Р					
U_y	Ц					
	П					
	Р					
I_C						

3.9 Вихідні характеристики побудувати на одному графіку в координатах $I_C - U_{CB}$ для 3-х значень напруги $U_{зв}$ на виході джерела живлення Б5-44А.

3.10 Стоко-затворні ВАХ прямої передачі побудувати на одному графіку в координатах $I_C - U_{зв}$ для 3-х значень напруги U_{CB} .

3.11 Розрахувати крутість S , вихідну провідність g_{CB} і коефіцієнт підсилення μ .

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Початкові дані для розрахунку.
3. Попередній розрахунок.
4. Принципова схема лабораторної установки.
5. Таблиці експериментальних і розрахункових даних.
6. Графіки залежностей, отриманих в результаті експерименту і розрахунку.
7. Короткі висновки за результатами розрахунку і експерименту.

Контрольні запитання

1. Який напівпровідниковий прилад називається польовим транзистором ? Назвіть тотожні назви польових транзисторів.
2. Яка будова і принцип дії польового транзистора з керувальним переходом, з вбудованим та індукованим каналами.
3. Перерахуйте переваги та недоліки польових транзисторів в порівнянні з іншими напівпровідниковими приладами і електронними лампами.
4. Які переваги польових транзисторів з ізольованим затвором в порівнянні з транзисторами з керувальним р-n переходом .
5. Намалюйте і поясніть вид вихідних та характеристик прямої передачі польового транзистора з керувальним р-n переходом, з вбудованим та індукованим каналами.
6. Назвіть основні параметри польових транзисторів ? Як їх визначити по значенням струмів і напруг електродів ?
7. Як по характеристикам польового транзистора визначити його параметри ?
8. Поясніть схеми для одержання вихідних характеристик і характеристик прямої передачі польового транзистора за допомогою осцилографа.
9. Чим пояснюється високий вхідний опір польових транзисторів .
10. Наведіть приклади використання польових транзисторів.

Література

1. Сисоєв В.М., Чернявський В.П. Радіотехніка з елементами обчислювальної техніки: Практикум – К.:Вища шк., 1986.
2. Ляшко М.Н. Радиотехника. Лабораторный практикум. Минск «Высшая школа», 1989.
3. Колонтоевский Ю.Ф. Лабораторный практикум по радиоэлектронике, М.: «Высшая школа», 1989.
4. Терещук Р. М. Справочник радиолюбителя, М.: «Высшая школа», 1989.

Лабораторна робота №9

ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРІВ ГАРМОНІЙНИХ КОЛИВАНЬ

Мета роботи: вивчення принципу дії та параметрів генераторів гармонічних коливань, визначення умов їх самозбудження.

Обладнання: осцилограф універсальний С1-83, джерело живлення постійного струму Б5-44А, набір генераторів виконаних у вигляді модулів на платах.

1. Теоретичні відомості

Генератори гармонічних коливань (ГГК) перетворюють енергію джерел живлення в енергію незатухаючих синусоїдальних коливань на виході.

ГГК складаються з джерела живлення, підсилювача і ланцюга зворотнього зв'язку.

Їх структурна схема не відрізняється від структурної схеми підсилювача зі зворотнім зв'язком.

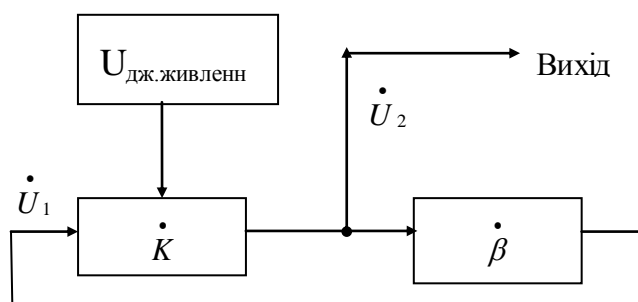


Рис.9.1 Принципова схема автогенератора

Отже автогенератор представляє собою нелінійний підсилювач з ланцюгом позитивного зворотнього зв'язку, коефіцієнт підсилення якого:

$$\dot{K}_{33} = \frac{\dot{K}_u}{1 - \dot{K}_u \dot{\beta}}$$

Де \dot{K}_u - коефіцієнт підсилення підсилювача без зворотнього зв'язку;

$\dot{\beta}$ - коефіцієнт зворотнього зв'язку;

Умовою самозбудження генератора являється співвідношення:

$$\dot{\beta} \cdot \dot{K}_u = 1$$

Оскільки $\dot{K}_u = K_u \cdot e^{j\phi_k}$, $\dot{\beta} = \beta \cdot e^{j\phi_\beta}$,

де K_u , β - числові значення (модулі) коефіцієнта підсилення каскаду по напрузі і коефіцієнта зворотнього зв'язку.

φ_k , φ_β - фазові зсуви між напругами на виході і вході підсилювача, вході і виході ланцюга зворотнього зв'язку, то

$$K_u \cdot \beta \cdot e^{j(\varphi_k + \varphi_\beta)} = 1$$

Цей вираз можна уявити у вигляді двох рівностей:

$$1) K_u \cdot \beta = 1; \beta = \frac{1}{K_u}$$

$$2) \varphi_k + \varphi_\beta = 0, 2\pi, 4\pi, \dots$$

Перша рівність називається умовою балансу амплітуд в автогенераторі, друга – умовою балансу фаз.

Очевидно, самозбудження генератора можливе і при

$$K_u \cdot \beta \geq 1$$

Оскільки в якості підсилювальних елементів схем автогенераторів використовують нелінійні елементи (транзистори або мікросхеми), зі зростанням амплітуди коливань величина K_u зменшується і в процесі встановлення стаціонарної амплітуди вказана нерівність переходить в рівність $K_u \cdot \beta = 1$.

В реального підсилювача зі зворотнім зв'язком (33) завжди є реактивні елементи, і $K_u, \beta, \varphi_k, \varphi_\beta$ являються функціями частоти. Це означає, що в автогенератора можливо виникнення коливань в визначеній смузі частот.

Використання вибіркового підсилювачів, вибіркового ланцюгів зворотнього зв'язку дає можливість одержати коливання в вузькій смузі частот.

В залежності від механізму виникнення коливань і ланцюга зворотнього зв'язку генератори діляться на генератори з зовнішнім і внутрішнім зворотнім зв'язком, тобто з використанням негативного опору деяких активних елементів, наприклад, тунельного діода. Високочастотні автогенератори, які працюють в діапазоні частот від 100 кГц до 100 МГц, створюють на основі схеми резонансного підсилювача і називають генераторами LC-типу.

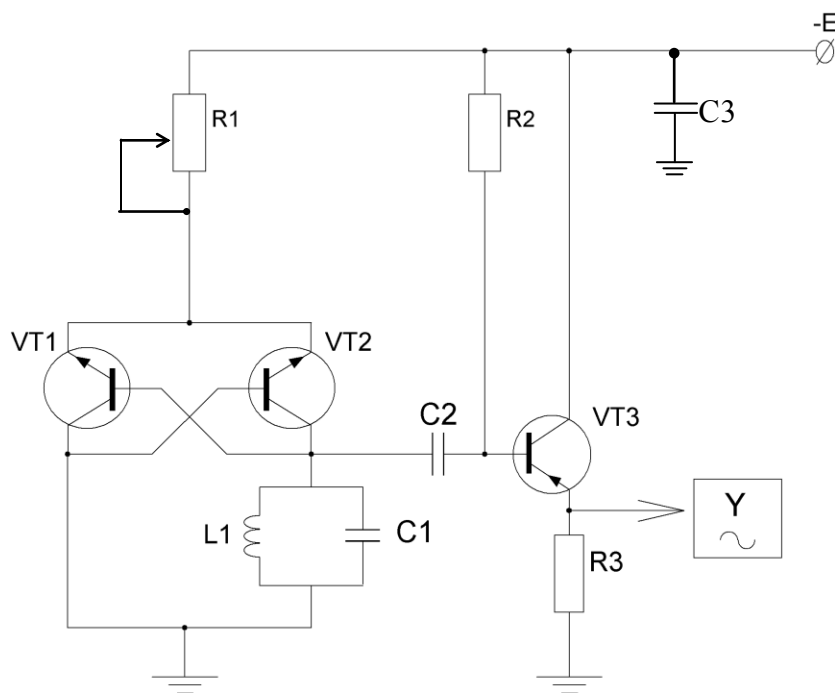
Низькочастотні автогенератори, які працюють в діапазоні від 0,01 Гц до 100 кГц, будують на основі схеми аперіодичного підсилювача на резисторах і називають генераторами RC-типу.

Любий автогенератор LC — типу складається із паралельного резонансного контуру, в якому збуджуються незгасаючі коливання бажаної частоти, і зворотнього зв'язку, в вигляді трансформаторного, автотрансформаторного або ємнісного кола.

На Рис.9.2 представлена схема LC-автогенератора на двох кремнієвих транзисторах з перехрестним зв'язком колектор–база. В колекторний ланцюг

одного з яких включений коливальний LC-контур, а емітери транзисторів підключені до напруги живлення через резистор R_1 негативного зворотнього зв'язку за постійним струмом, який забезпечує стабільну робочу точку на вхідній ВАХ транзисторів.

Баланс фаз в схемі генератора реалізується завдяки інвертуючим властивостям пов'язаних транзисторів на лінійній ділянці ВАХ.



$E=9\div 12\text{В}$, $R_1=10\text{К}$, $R_2=180\text{К}$, $R_3=3\text{К}$, $C_1=C_2=C_3=0,10\text{мкФ}$, $L_1=30\text{ мГн}$, VT1, VT2 – КТ315, VT3 – КТ361Б.

Рис.9.2 Схема LC-автогенератора на двох кремнієвих транзисторах з перехрестним зв'язком колектор-база

$$f_{рез} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 \cdot C_1}}$$

Активний режим роботи кремнієвих транзисторів VT1 та VT2 обумовлений відсутністю інжекції неосновних носіїв з колектора в базу при напрузі $U_{кб} \leq 0,5\text{В}$. Синусоїдальна напруга на виході генератора не перевищує 0,1 В. Емітерний повторювач на транзисторі VT3 забезпечує мінімальний вплив на добротність LC-контура завдяки значному вхідному опору ($R_{вх} = \beta_N \cdot R_3$). Вибір лінійної ділянки на вхідній ВАХ транзисторів досягається зміною резистора R_1 або напруги живлення $-E$.

Застосування автогенераторів з коливальним контуром має обмеження, як при надвисоких частотах, так і при низьких. Із зростанням частоти розміри коливальної системи зменшуються настільки, що вона стає сумісною з

довжиною хвилі коливань, тобто не може розглядатися як система із зосередженими параметрами. Тому для надвисоких частот коливальні системи будуть у вигляді резонаторів і застосовують спеціальні електронні прилади.

При дуже низьких частотах для побудови коливальної системи потрібні конденсатори та катушки значних розмірів, щоб забезпечити великі ємності та індуктивності.

Ось чому при побудові автогенераторів гармонічних коливань для низькочастотних діапазонів використовують аперіодичні вузькосмугові підсилювачі (Рис.9.3), в колі позитивного частотозалежного зворотнього зв'язку яких на одній з частот одночасно забезпечують виконання умов балансу фаз й амплітуд.

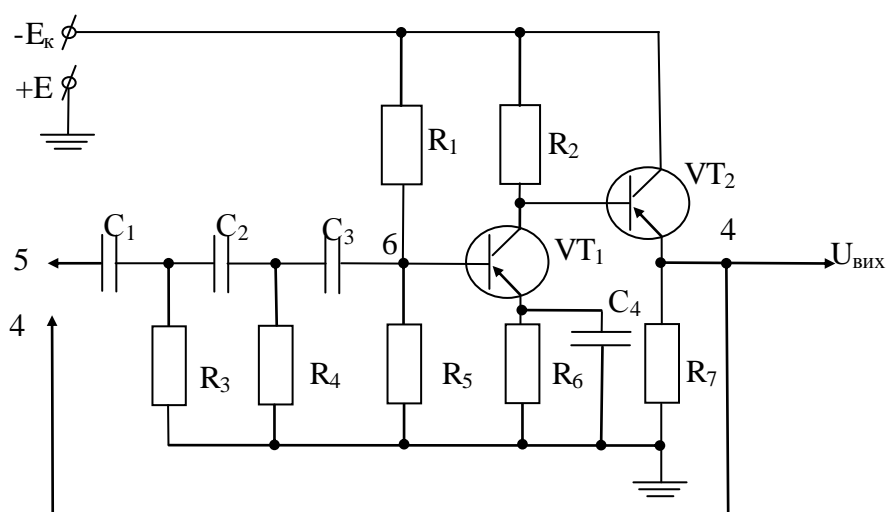


Рис.9.3 Принципова схема автогенератора з ланцюжковим RC – фільтром $R_1=R_2=R_3=R_4=R_5=4,7\text{кОм}$, $C_1=C_2=C_3=0,01\text{нФ}$, $C_4=1,0\text{мкФ}$, VT_1, VT_2 – МП20.

За умов $R_3 = R_4 = R_5$ і $C_1 = C_2 = C_3$ маємо

$$\beta = \frac{1}{29}; K_u \geq 29; f = \frac{1}{2\pi\sqrt{6R_\phi C_\phi}}$$

Виконання умови балансу амплітуд забезпечують вибором коефіцієнта підсилення каскаду, а виконання умови балансу фаз-зміною на 180° фази напруги в колі ЗЗ на певній частоті f_0 . Ще на 180° , як відомо, фазу змінює сам аперіодичний підсилювач.

Найпростішим колом, яке здатне змінити фазу сигналу на 180° , є три – або чотириланковий ланцюжковий RC-фільтр (рисунок 9.4)

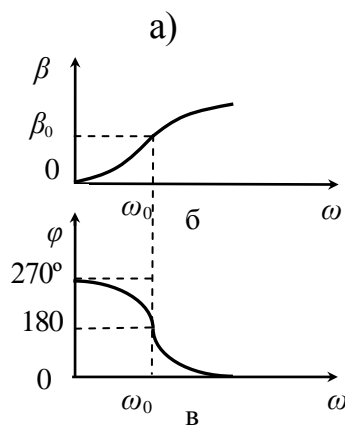
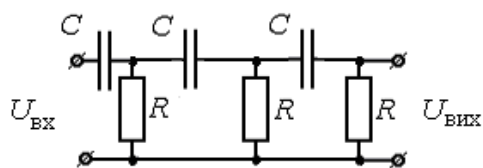


Рис.9.4

Найпоширенішими RC-генераторами є двокаскадні автогенератори (Рис.9.5), в яких і баланс фаз, і баланс амплітуд досягаються завдяки підсилювальним каскадам, а мостові схеми фільтрів в колах частотно залежного позитивного ЗЗ забезпечують вибір частоти та її перестроювання.

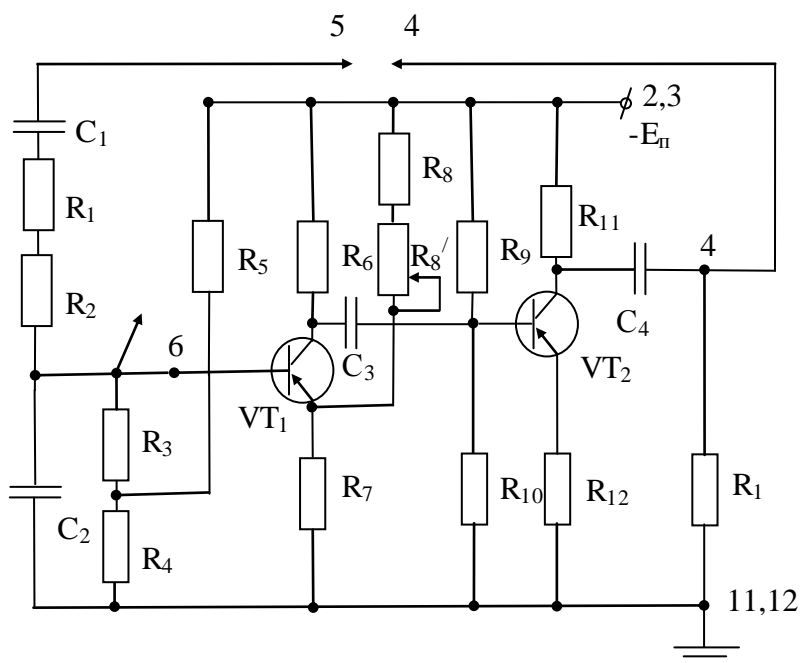


Рис.9.5 Схема RC-генератора з мостом Віна

$R_1=2\text{кОм}$, $R_2=10\text{кОм}$, $R_3=10\text{кОм}$, $R_4=2,4\text{кОм}$, $R_5=24\text{кОм}$, $R_6=20\text{кОм}$,
 $R_7=1,2\text{кОм}$, $R_8=3\text{кОм}$, $R_8'=22\text{кОм}$, $R_9=51\text{кОм}$, $R_{10}=5,1\text{кОм}$, $R_{11}=3,9\text{кОм}$,
 $R_{12}=510\text{кОм}$, $R_{13}=15\text{кОм}$, $C_1=C_2=1000\pi\text{Ф}$, $C_3=C_4=1\text{мкФ}$, VT1, VT2 – МП20.

В схемі Рис.9.5 колювання виникають з частотою

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_{\phi 1} \cdot R_{\phi 2} \cdot C_{\phi 1} \cdot C_{\phi 2}}}$$

При коефіцієнті підсилення двокаскадного підсилювача

$$K_u = 1 + \frac{R_{\phi 1}}{R_{\phi 2}} + \frac{C_{\phi 1}}{C_{\phi 2}}$$

Для випадку $R_{\phi 1} = R_{\phi 2}$ і $C_{\phi 1} = C_{\phi 2}$, $\beta = 1/3$; $K_u = 3$,

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot R_{\phi} \cdot C_{\phi}}$$

На Рис.9.6 представлені амплітудо-частотна (Рис.9.6б) та фазово-частотна характеристики (Рис.9.6в) моста Віна (Рис.9.6а) використаного в автогенераторі (Рис.9.5) в якості позитивного ЗЗ.

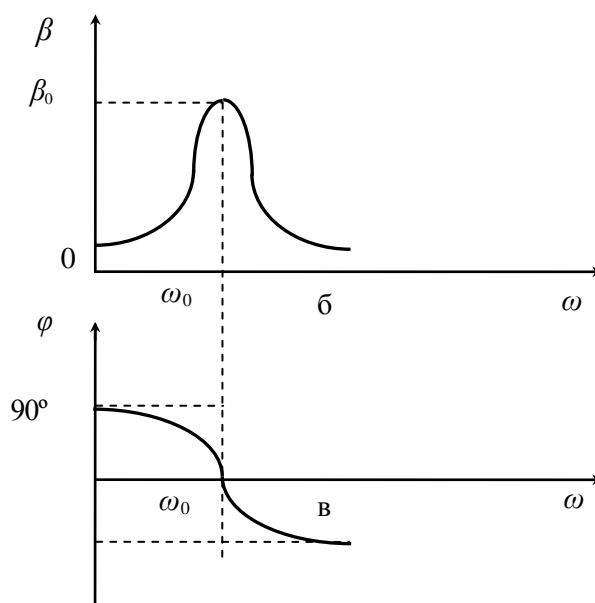
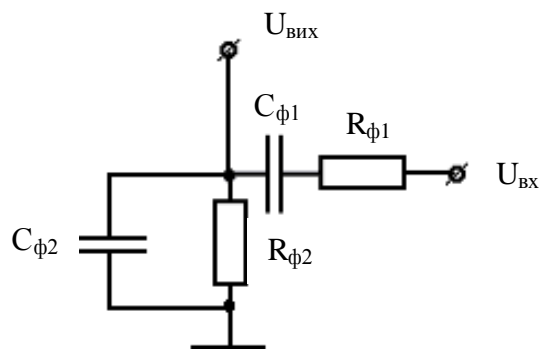


Рис.9.6 Частотно-залежне плече моста Віна і його АЧХ (б) та ФЧХ (в)
2. Завдання

2.1 Дослідити режим самозбудження генератора відповідно з варіантом схем (Рис.9.2, 9.3, 9.5). Визначити резонансну частоту $f_{рез}$ та оптимальну напругу джерела живлення $E_{опт}$, яка відповідає максимальній напрузі гармонічного сигналу на виході генератора.

2.2 Для визначених оптимальної напруги джерела живлення $E_{опт}$ і резонансної частоти $f_{рез}$ зняти і побудувати залежність $K_u = F(E)$ і $\beta = F(f)$.

2.3 По залежностям зробити висновки, відносно реалізації в генераторі балансу фаз і амплітуд.

3. Порядок виконання роботи

3.1 Встановити плату автогенератора відповідного варіанта в контактну колодку і використовуючи позначки вузлових точок схеми на платі, підключити до них прилади через гнізда на набірному полі.

Принципальні схеми автогенераторів з вузловими точками приведені на Рис. 9.2., 9.3., 9.5.

3.2 Увімкнути прилади. Перемикачі роду струму на входах осцилографа („дел/см”) перевести в положення „~”.

3.3 Дослідження режиму самозбудження генератора провести в такій послідовності:

3.3.1 Замкнути коло зворотнього зв'язку (Рис.9.2, рис.9.3, рис.9.5);

3.3.2 Подати напругу від джерела постійного струму.

3.3.3 Плавню збільшуючи вихідну напругу джерела живлення від 0 до 10В, зафіксувати і занести до таблиці 9.1 значення E , при якому на екрані осцилографа з'явиться стійке зображення гармонічного сигналу. Виміряти амплітуду і частоту $f_{рез}$ одержаного сигналу.

3.4 Дослідити залежність амплітуди вихідного гармонічного сигналу від напруги живлення. Для цього задати від джерела живлення з рівними інтервалами між сусідніми значеннями не менше семи значень напруги. Занести одержані данні до таблиці 9.1.

3.5 Визначити значення коефіцієнта передавання підсилювача $K_u = \frac{U_{вих}}{U_{вх}}$

3.5.1 Розірвати коло 33 (т.4-т.5 – Рис.9.3, рис.9.4).

3.5.2 Приєднати вихід генератора ГЗ-123 до входу кола зворотнього зв'язку 5, задати сигнал частотою, одержаною в п/п 10.3.1. і амплітудою 10-15 мВ з його виходу, а до виходу кола 4 прямого передавання приєднати вхід осцилографа.

3.5.3 Подати напругу від джерела живлення, одержану в п/п 3.3, яка відповідає стійкому зображенню гармонічного сигналу і виміряти значення амплітуди одержаного вихідного сигналу. Розрахувати значення коефіцієнта прямого передавання і занести до таблиці 9.1.

3.5.4 Зняти залежність K_u для 7 значень E .

Таблиця.9.1 Залежність амплітуди вихідного сигналу від напруги живлення

№	1	2	3	4	5	6	7
+E	-3ΔE	-2ΔE	-ΔE	$E_{опт.}$	+ΔE	+2ΔE	+3ΔE
$U_r = (10-15 \text{ мВ})$ на частоті $f_{рез}$							
$U_{вих}$							
K_U							

3.6 Визначити значення коефіцієнта передавання кола зворотнього зв'язку (коло 33 розірване, джерело живлення відключено) $\beta = \frac{U_{вих}}{U_{вх}}$.

3.6.1 Приєднати вихід генератора ГЗ-123 до входу кола зворотнього зв'язку 5, задати сигнал частотою $f_{рез}$ амплітудою 3В, а до виходу кола зворотнього зв'язку 6 приєднати вхід осцилографа.

3.6.2 Зафіксувати амплітуду сигналу, одержаного на виході кола зворотнього зв'язку і записати його до таблиці 10.2.

3.6.3 Зняти залежність $\beta = F(f)$ для 7 значень частоти ($\pm 3\Delta f$ значення) відносно $f_{рез}$, а результати внести до таблиці 10.2.

3.7 Побудувати залежності $K_u = F(E)$ і $\beta = F(f)$.

Таблиця.10.2 Залежність коефіцієнта передавання β від частоти

№	1	2	3	4	5	6	7
f	-3 Δf	-2 Δf	- Δf	F ₀	+ Δf	+2 Δf	+3 Δf
U _{вх} , В	3	3	3	3	3	3	3
U _{вих} , В							
$\beta = U_{вих}/U_{вх}$							

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Початкові дані для розрахунку.
3. Попередній розрахунок.
4. Принципова схема лабораторної установки.
5. Таблиці експериментальних і розрахункових даних.
6. Графіки залежностей, отриманих в результаті експерименту і розрахунку.
7. Короткі висновки за результатами розрахунку і експерименту.

Контрольні запитання

1. Що являє собою генератор гармонічних коливань?
2. В чому полягає принцип роботи автогенератора?
3. Які умови самозбудження автогенератора?
4. Який режим стійкої роботи автогенератора?
5. Як класифікуються автогенератори в залежності від їх структури?
6. Які особливості функціонування різних типів автогенераторів?
7. Які основні параметри автогенератора? Чим визначаються параметри гармонічних коливань автогенератора?

Література

1. Ефимчик М. К., Шушкевич С.С. Основы радиоэлектроники. - Мн.: Университетское, 1986. - С. 139-147.
2. Манаев Е. И. Основы радиоэлектроники.- Г.: Радио и связь, 1987. - С.288-301, 310-314.

3. Сисоев В.М., Чернявський В.П. Радіотехніка з елементами обчислювальної техніки: Практикум. - К.: Вища шк., 1986. - С.82-85.
4. Андреев В.С. Теория нелинейных электрических цепей. - М.: Связь, 1972. - С.122-228.

Лабораторна робота № 10

ВИВЧЕННЯ МУЛЬТИВІБРАТОРА

Мета роботи: Вивчення формувача релаксаційних коливань на прикладі мультівібратора, експериментальне визначення умов виникнення релаксаційних коливань і параметрів сигналу мультівібратора.

Обладнання: осцилограф універсальний С1-83, джерело живлення Б5-44А, мультівібратор в модульному виконанні.

1. Теоретичні відомості

Для одержання імпульсів прямокутної форми широко використовуються релаксаційні генератори, побудовані на основі підсилювачів з позитивним зворотним зв'язком. *Релаксаційні генератори, у яких позитивний зворотний зв'язок створюється за допомогою RC-кіль, називають мультівібраторами.*

Глибина позитивного зворотного зв'язку залишається майже постійною в широкій смузі частот. *Якщо позитивний зворотний зв'язок створюється з допомогою імпульсного трансформатора, то такі релаксаційні генератори називають блокінг-генераторами.*

Мультівібратори можуть працювати у двох режимах: автоколивальному і загальмованому. В автоколивальному режимі схема має два стани, тривалість кожного з яких визначається RC-колом. У загальмованому режимі схема має один стійкий стан, в якому може перебувати необмежено довго. Під дією короткого запускаючого зовнішнього імпульсу схема переходить у квазіусталений стан, а потім самостійно повертається у початковий стан, формуючи імпульс заданої тривалості.

1.1. Пояснення до роботи мультівібратора зі зв'язком „емітер-база”

Мультівібратор зі зв'язком „емітер-база” (Рисунок 10.1) являє собою формувач прямокутних імпульсів з керованою скважністю у випадку увімкнення в емітерному колі потенціометра замість резисторів R_1 і R_2 . Основною умовою його працездатності є приблизна рівність сталих часу кіл R_6C_1 і R_2C_2 . Розглянемо процес зміни потенціалів в точках „a”, „b”, „c”, „d” мультівібратора зі зв'язком „емітер-база”, а, отже, алгоритм формування вихідного сигналу.

В момент подання напруги живлення на схему (Рис. 10.1) потенціал у вузлі „a” стає рівним заданій напрузі живлення $U_a = -E$, потенціал вузла „c” дорівнює нулю, $U_b = -E + U_{pn}$, тому що ємності C_2 і C_1 незаряджені і спад напруги на них дорівнює нулю.

Транзистор VT_2 відкривається - на його базі діє напруга, що дорівнює $-(E - I_{CT2}R_K) < 0$, а транзистор VT_1 надійно запертий різницею потенціалів $\varphi_c - \varphi_b = E - U_{pn} > 0$.

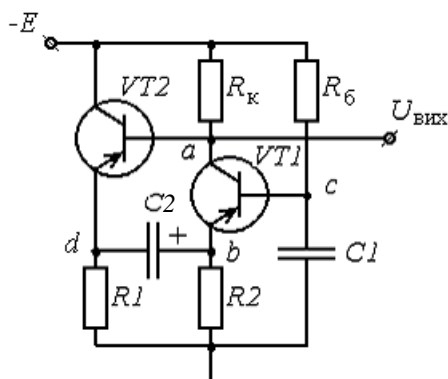


Рисунок 10.1 Мультивібратор зі зв'язком емітер – база

Конденсатори починають заряджатися і спад напруги на них експоненціально змінюється. Конденсатор C_2 заряджається за колом „земля - R_2 - C_2 - емітер - колектор VT_2 - джерело живлення $(-E)$ ” зі сталою часу $\tau_{зар} = 0,3 \cdot R_2 C_2$. Конденсатор C_1 заряджається за колом „земля - C_1 - R_6 - джерело живлення - E ”. В силу приблизної рівності сталих часу заряду обох ємностей різниця потенціалів $\varphi_c - \varphi_b > 0$ деякий час дотримується. Спад напруги на конденсаторі C_2 збільшується, різниця потенціалів $\varphi_c - \varphi_b = E - U_{C2} - U_{C1}$ змінює знак і досягає U_{pn} . Транзистор VT_1 відкривається, а VT_2 переходить в стан відсічки. Потенціал φ_a вузла „a” стрибком зменшується до рівня $(U_{C1} - U_{BE_{VT1}})$, а різниця потенціалів $\varphi_d - \varphi_a \approx U_{C2}$ змінює знак на протилежний, що закриває транзистор VT_2 .

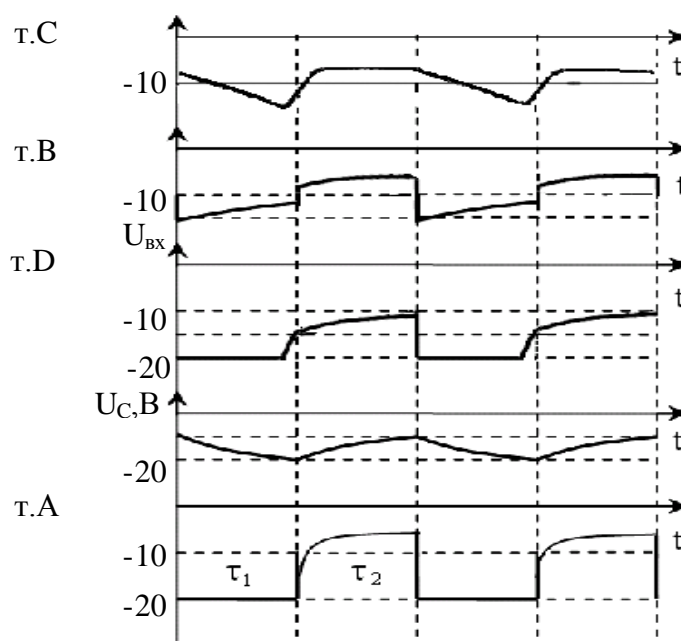


Рисунок 10.2 Перехідні процеси в узлових точках мультивібратора

$$\tau_1 = \tau_{зар} = 0,3 \cdot R_2 C_2, \quad \tau_2 = \tau_{розр} = 1,5 \cdot \tau_{зар} \approx 0,5 \cdot R_1 C_2$$

З цього моменту починається розряд ємності C_2 за колом „земля – C_2 - емітер - колектор VT_1 - R_K -джерело живлення ($-E$)” і ємності C_1 за колом „+електрод C_1 - R_2 - емітер - база VT_1 - електрод - C_1 ” Розряд ємності C_2 відбувається із сталою часу $0,5R_1C_2$. Різниця потенціалів $\varphi_d - \varphi_a$ з мірою розряду конденсатора C_2 змінює свій знак, зростає до U_{pn} і відкриває транзистор VT_2 , при цьому різко зростає спад напруги на резисторах в емітерних колах транзисторів і відбувається зміна станів транзисторів. Таким чином, вихідний сигнал відповідає потенціалу вузлової точки „а”. В подальшому цикл заряду - розряду конденсаторів повторюється.

1.2. Симетричний мультивібратор зі зв'язками „колектор - база”

В мультивібраторі (Рис. 10.3) наперемінно заряджаються та розряджаються ємності C_1 і C_2 .

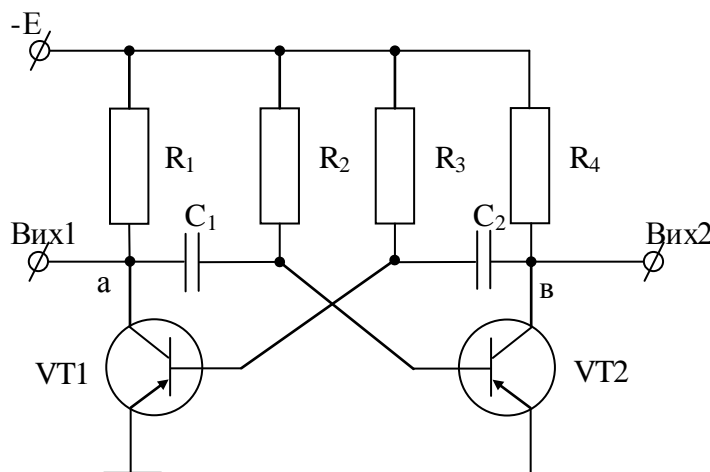


Рисунок 10.3 Симетричний мультивібратор зі зв'язком колектор – база

Схема симетрична і логічно уявити, що в деякий момент часу колекторні напруги і струми транзисторів VT_1 і VT_2 однакові. Припустимо, що через флуктуації струм транзистора VT_1 дещо збільшився, внаслідок чого напруга на його колекторі зменшилась. Схема в цілому представляє в цьому випадку двокаскадний підсилювач, охоплений значним позитивним зворотним зв'язком.

Процес зростання струму транзистора VT_1 та зменшення струму транзистора VT_2 прискорюється позитивним зворотним зв'язком і транзистор VT_1 швидко переходить в режим насичення. При цьому заряд ємності не встигає суттєво змінитися. Тому на базі транзистора VT_2 потенціал різко стає позитивним - VT_2 закривається і розриває коло зворотного зв'язку.

Схема на деякий час переходить в перший квазіусталений стан (VT_1 відкритий, VT_2 закритий). Після цього ємність C_2 заряджається зі сталою часу $\tau_2 \approx R_4 \cdot C_2$, а ємність C_1 розряджається зі сталою часу $\tau_1 \approx R_2 \cdot C_1$ (звичайно $\tau_1 \gg \tau_2$).

Внаслідок розряду ємності C_1 в деякий момент часу напруга на базі транзистора VT_2 досягає рівня відкриття транзистора VT_2 . В схемі знову замикається коло позитивного зворотного зв'язку, відбувається швидке відкриття VT_2 і закриття VT_1 . Зворотний зв'язок розривається закритим транзистором VT_1 - реалізується другий квазіусталений стан. Після цього починається заряд ємності C_1 зі сталою часу $\tau'_2 \approx R_1 \cdot C_1$ і розряд ємності C_2 зі сталою часу $\tau'_1 \approx R_3 \cdot C_2$ (якщо $R_2 = R_3$ і $C_1 = C_2$, то $\tau'_1 = \tau_1$ і $\tau'_2 = \tau_2$).

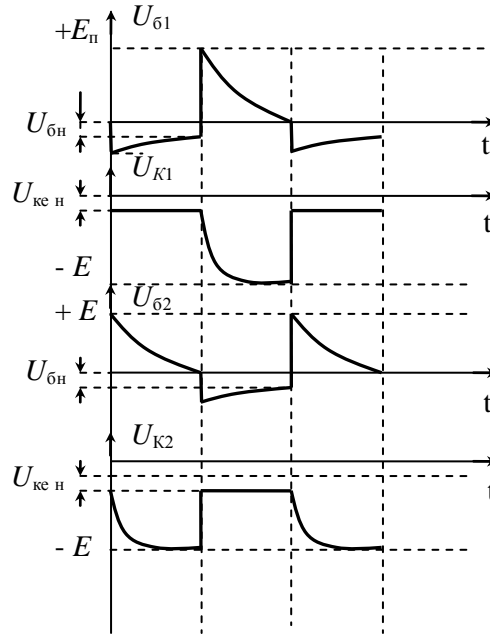


Рисунок 10.4 Часова діаграма напруг на електродах транзисторів мультівібратора

Коли ємність C_2 розрядиться настільки, що потенціал бази транзистора VT_1 досягне рівня його відкриття, в схемі знову спрацює коло позитивного зворотного зв'язку, в результаті чого VT_1 перейде в насичений стан, а VT_2 закриється. Процес періодично повторюється з періодом, пропорційним сумі сталих часу $R_2 \cdot C_1 + R_3 \cdot C_2$.

Для стабільної генерації необхідно, щоб сталі часу $R_2 \cdot C_1$ та $R_3 \cdot C_2$ перевищували час перехідних процесів в обох каскадах.

1.3. Розрахункові співвідношення

1. Значення базових резисторів $R_2 = R_3 = R_6$ розраховують з умови насичення транзистора в квазіусталеному стані

$$R_6 \leq \frac{\beta_{\min} \cdot R_k}{\gamma},$$

де $R_k = R_1 = R_4$,

β_{min} - мінімальний коефіцієнт підсилення струму в схемі зі спільним емітером,

$\gamma = 1,5 \div 2,0$ - рівень насичення транзистора.

2. Значення ємностей $C_1 = C_2 = C$ для симетричного мультівібратора визначають за виразом

$$C \approx \frac{T}{2R_6 \cdot \ln 2}$$

Звідки $T \approx 1,4 \cdot R_6 \cdot C$, де T - період коливань.

Час позитивних фронтів на колекторах транзисторів (вихід) $\tau_{\phi}^+ \approx 2,3 \cdot R_4 \cdot C_2$ ($2,3R_1 \cdot C_1$).

2. Завдання

2.1 Провести дослідження мультівібратора зібраного на платі у вигляді модуля, відповідно з варіантом Рис.10.1, Рис.10.3.

2.2 Розрахувати наступні параметри мультівібратора:

– τ_3 – постійна часу заряду;

– τ_p – постійна часу розряду;

– T – період, $\tau_{\text{фр}}$ – час формування фронту імпульсу.

2.3 Визначити, користуючись осцилографом, наступні параметри сигналу мультівібратора:

– τ_{z1}, τ_{z2} – час заряду ємностей C_1, C_2 ;

– τ_{p1}, τ_{p2} – час розряду ємностей C_1, C_2 ;

– $(T) = (\tau_{p1}) + (\tau_{p2})$ – період вихідних імпульсів мультівібратора;

– $\tau_{\text{фр}}$ – час фронту вихідного імпульсу (Рис.1, Рис.2);

– $(\tau_{\text{сп}})$ – час спаду вихідного імпульсу (Рис.1, Рис.2);

$\frac{U_{\text{max}}}{E_{\text{жив}}} =$ коефіцієнт використання напруги живлення;

$q = \frac{T}{\tau_{\text{розр}}}$ - скважність;

2.4 Зробити порівняння результатів п.2.2. і п.2.3.; оцінити розбіжності; пояснити їх причини.

3. Порядок виконання роботи

3.1 Принципові електричні схеми досліджуваних мультівібраторів подані на рисунках 10.1 та 10.3. Накреслити принципову схему мультівібратора, вказавши номінали елементів. Пояснити принцип його роботи, вказати напрямки струмів у вітках і діючі напруги у вузлових точках;

Таблиця 10.1

Елементи схем		Рисунок 11.1	Рисунок 11.3
Резистори, кОм	R_1	4,7	1,0
	R_2	4,7	11
	R_3		20
	R_4		1,0
	R_k	4,7	
	R_6	47,0	
Ємності, мкФ	C	1,0	
	C_1	0,1	1,0
	C_2		1,0
Е			

3.2 Встановити плату мультівібратора в контактну колодку у відповідності до варіанту за рисунком 10.1 або 10.3.

3.3 Приєднати прилади до відповідних гнізд на набірному полі (Б5-44А до „-Е”, С1-83 – до „ $U_{вих}$ ”) і увімкнути прилади.

3.4 Осцилограф використати в режимі роботи з закритим входом підсилювача (перемикач роду робіт встановити в положення „ \approx ”).

3.5 Задати напругу живлення $E_{жс} = -5В$.

3.6 Визначити параметри сигналу (τ_ϕ , $\tau_{сп}$, ΔU , T , q , τ_i) мультівібратора за осцилограмою в т.а (Рис.10.1, 10.3), одержаною з виходу мультівібратора і занести їх до таблиці 10.2.

Таблиця 10.2

Параметри		Рисунок. 10.1	Рисунок 10.3
Задані	f_Γ , кГц		
	$E_{живл}$, В		
Розрахункові	τ_z , мкс		
	τ_p , мкс		
	τ_ϕ , мкс		
	T , мкс		
Експериментальні	τ_ϕ , мкс		
	$\tau_{сп}$, мкс		
	τ_i , мкс		
	T , мкс		
	ΔU , В		
	q		

3.7 Виконати розрахунок часових параметрів мультивібратора, користуючись параметрами елементів схеми, що визначають зарядні і розрядні процеси.

3.8 Провести розрахунок ($\tau_3, \tau_p, \tau_\phi, T$) згідно формул додатку 2.

3.9 Одержані розрахункові дані ($\tau_3, \tau_p, \tau_\phi, T$) занести до таблиці 10.2.

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Початкові дані для розрахунку.
3. Попередній розрахунок.
4. Принципова схема лабораторної установки.
5. Таблиці експериментальних і розрахункових даних.
6. Графіки залежностей, отриманих в результаті експерименту і розрахунку.
7. Короткі висновки за результатами розрахунку і експерименту.

Додаток.1.а

Перехідні процеси в RC – ланцюгах підпорядковані виразу (1) і (2) для U_c і графіку (рис.1.б.), на якому відображені характерні точки.

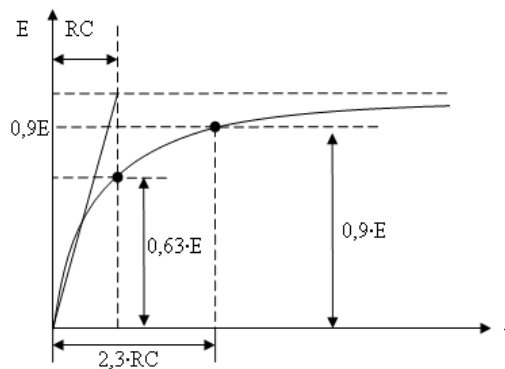
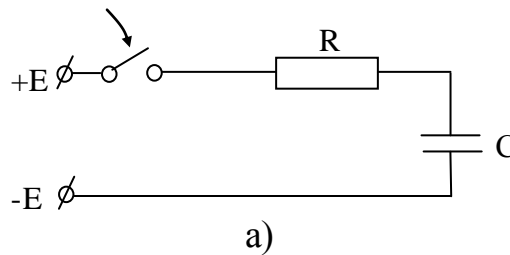


Рис. 1.

$$U_{Cзар} = E \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \quad (1) \quad U_{Cрозр} = E \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \quad (2)$$

Додаток.1.б

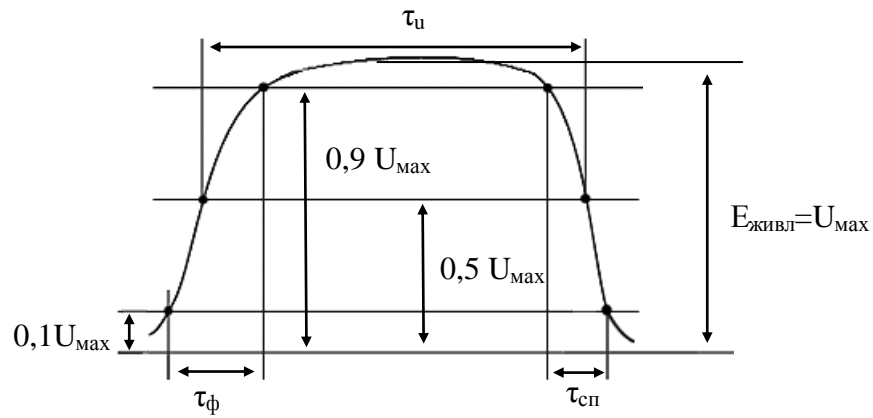


Рис.2.

Додаток.2

$$\tau_{\phi} = \tau_{\text{зар}} = 2,3 \cdot R_1 C_1 = 2,3 \cdot R_4 C_2; \text{ при } R_1 = R_4, C_1 = C_2$$

$$\tau_{\text{розр1}} = 0,7 \cdot R_2 C_1;$$

$$\tau_{\text{розр2}} = 0,7 \cdot R_3 C_2;$$

$$T = \tau_{\text{розр1}} + \tau_{\text{розр2}} = 0,7C(R_2 + R_3); \text{ при } C_1 = C_2 = C$$

$$\tau_i = \tau_{\text{розр1}};$$

$$q = \frac{T}{\tau_i} \text{ - скважність;}$$

$\tau_{\phi}, \tau_{\text{сп}}$ - відповідно з рис.2.

Контрольні запитання

1. Яке призначення генераторів релаксаційних коливань?
2. Який основний режим роботи активного елементу релаксаційного генератора?
3. В чому полягає принцип роботи мультівібратора?
4. Які фази в роботі мультівібратора можна виділити?
5. Якими параметрами характеризується релаксаційне коливання?
6. Якими параметрами характеризується релаксаційний генератор?
7. Чим визначаються часові параметри релаксаційного генератора?

Література

1. Ефимчик М.К., Шушкевич С.С. Основы радиоэлектроники. - Мн.: Университетское, 1986. - С. 147-150.
2. Манаев Е.И. Основы радиоэлектроники. - Г.: Радио и связь., 1990. - С. 328-322.
3. Сисоєв В.М., Чернявський В.П. Радіотехніка з елементами обчислювальної техніки: Практикум. - К.: Вища шк., 1986. - С. 89-96.

Лабораторна робота № 11

ВИМІРЮВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА СТАБІЛІЗАЦІЇ, ВИХІДНОГО ОПОРУ ТА ЧАСТОТНОЇ СМУГИ НЕПРОЗОРОСТІ ІНТЕГРАЛЬНИХ СХЕМ (ІС) СТАБІЛІЗАТОРІВ НАПРУГИ

Мета: Ознайомлення з роботою, схемами, параметрами і елементами розрахунку ІС стабілізаторів напруги.

Обладнання: Осцилограф універсальний С1-83, генератор імпульсів Г5-63, вольтметр універсальний цифровий В7-35, джерело живлення постійного струму Б5-44А, набір ІС стабілізатора напруги.

1. Теоретичні відомості

В ІС КР142ЕН реалізований послідовний принцип, в якому вхідна напруга розподілюється між навантаженням (стабільна частина) та регулюючим транзистором (надлишок вхідної напруги відносно стабільної частини). Цьому сприяють стабільний струм „дзеркала” ($VT17$), який розподіляється між регулюючим блоком ($VT18, VT19$) та підсилювачем похибки стабілізації ($VT9 - VT11$) відповідно зі зміною навантаження чи умов експлуатації ($U_{вх}, t_{кр}, ^\circ C$).

Критерієм розподілу струму „дзеркала” є величина розугодження між еталонною напругою, визначеною подільником вихідної стабільної напруги, та її величиною на подільнику при зміні навантаження чи умов експлуатації. Еталонна напруга формується на прямозміщених емітерних $p-n$ -переходах транзисторів $VT4, VT5$, працюючих при колекторних струмах ~ 1 мА, та $VT6, VT7$, ($I_k \approx 100$ мкА). Від’ємний характер температурного коефіцієнта зміни U_{pn} прям. (-2 мВ/ $^\circ C$) компенсується позитивним коефіцієнтом для ΔU_{pn} , який одержується внаслідок різниці між напругами при струмах 1 мА та 0,1 мА ($U_{pnVT4} + U_{pnVT5} - (U_{pnVT6} + U_{pnVT7})$) через база-емітерні переходи. Ця різниця $\Delta U = U_{R5}$ одночасно з позитивним температурним коефіцієнтом дифузійних резисторів забезпечує незалежність опорної напруги від температури. Між колектором і базою транзистора $VT9$ підсилювача приєднана ємність негативного зворотного зв’язку $C1 \approx 30$ пФ, яка блокує реакцію ІС на швидкі зміни вихідної напруги ($f > 200$ кГц), виключаючи можливість самозбудження ІС.

Тепловий захист ІС при досягненні кристалом ІС температури більшої $150^\circ C$ забезпечує зниження потужності на регулюючому транзисторі за рахунок зменшення його базового струму. Цьому сприяє відкриття транзистора $VT15$, пряма напруга U_{6e} якого при $t \geq +150^\circ C$ досягає 0,45 В - рівня напруги, сформованого подільником напруги на $R11, R10$. Напруга на подільник подається через емітерний повторювач на $VT16$ від стабілітрона $VD2$, стабільний струм через який задається з незалежного виходу „дзеркала” струму на $VT17$.

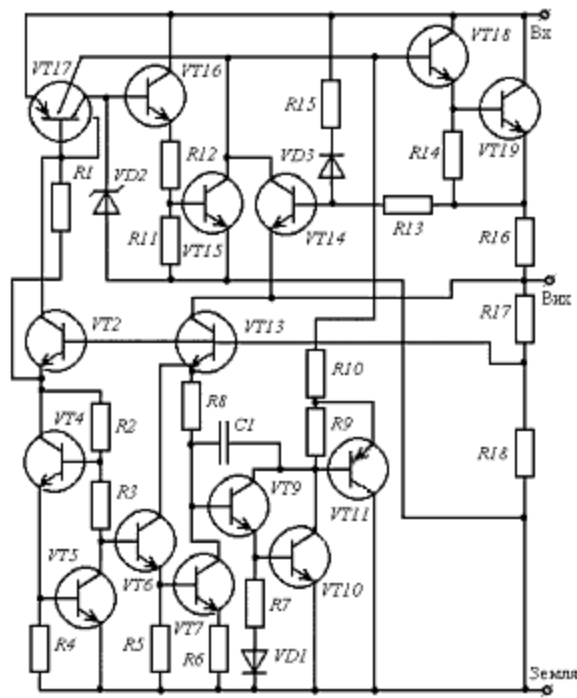


Рисунок 11.1 - ІС КР142ЕН5

Захист ІС від перенавантаження струмом чи вхідною напругою здійснюється при спрацюванні транзистора VT_{14} , внаслідок появи його базового струму за рахунок зростання напруги на R_{12} , R_{14} (до рівня $\geq 0,45$ В) чи R_{12} при пробиванні діода VD_3 ($U_{обр} \geq 6,5$ В). При цьому також зменшується базовий струм регулюючого транзистора VT_{19} . Це приводить до зниження струму навантаження і таким чином виключає вихід ІС з ладу.

2. Виконання роботи

Зібрати схем відповідно з рисунками 11.2 або 11.3, використовуючи стандартні кабелі, які з'єднують провідники з однополюсними штекерами та модуль ФСС (див. рисунок 11.4), вбудований в набірне поле, модифікації 3.

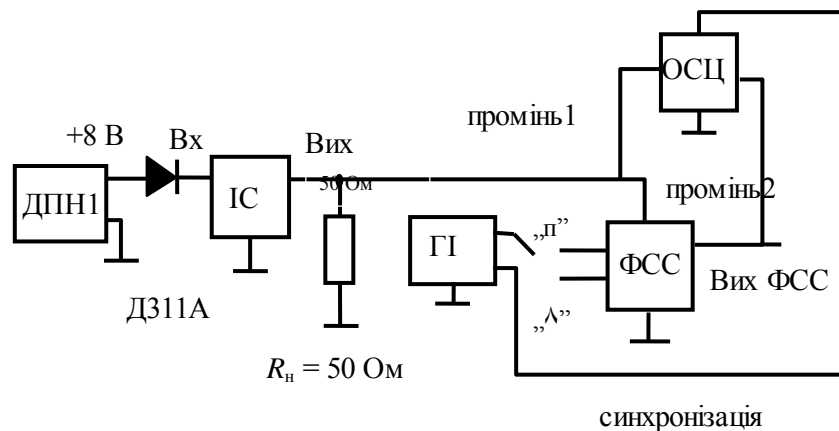


Рисунок 11.2. Схеми контролю частотних властивостей ІС та $R_{вих}$ ($U_{пвх} = 3$ В, $\tau_U = 40$ мкс, $f \geq 100$ Гц, $E_1 = 8$ В) / Динаміка - „П”, $R_{вих}$ - „Λ”

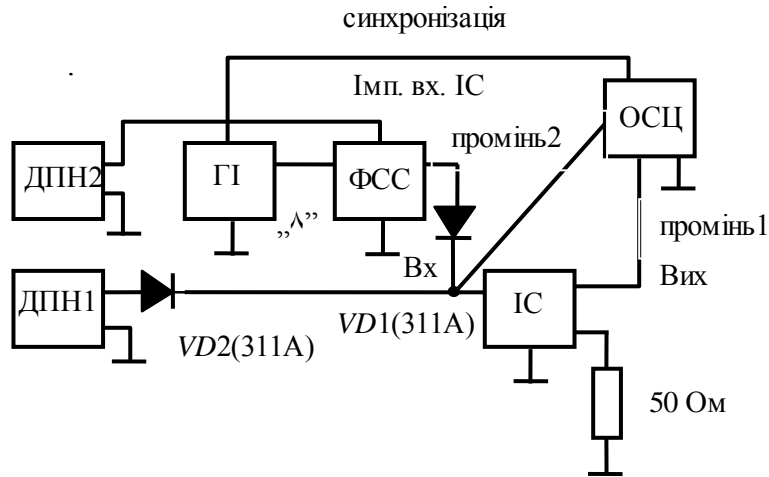


Рисунок 11.3. Схема контролю $K_{\text{стаб}}$ ($U_{\text{вх}} = 16 \text{ В}$, $\tau_U = 40 \text{ мкс}$, $f \geq 100 \text{ Гц}$, $E_1 = 8 \text{ В}$, $E_2 = 20 \text{ В}$) („Вихід ГІ” до „ \wedge ”, „вихід ФСС” до „імпульсний вхід ІС”, „вхід живлення ФСС” до „+20 В”(див. таблицю 11.1))

Діоди VD_1 , VD_2 , резистор R_H ($I_H = 0,1 \text{ А}$) вбудовані в обладнання лабораторної роботи.

Комутація приладів здійснюється завдяки їх приєднанню до однополюсних клем на горизонтальній панелі з відповідними назвами: \wedge - „+8 В”, „Вхід ІС”, „Імпульсний вхід ІС”, „Вихід ФСС”, „25 Ом”, „ \perp ”, „Вихід ІС”, „Вхід живлення ФСС”, „+20 В”, „ \wedge ”, „Вихід ГІ”, „ \perp ”.

В таблиці 14.1 відображені знаком „+” необхідні комутації залежно від вимірюваного параметра ІС, які здійснюються 2 - полюсним перемикачем (3 шт.)

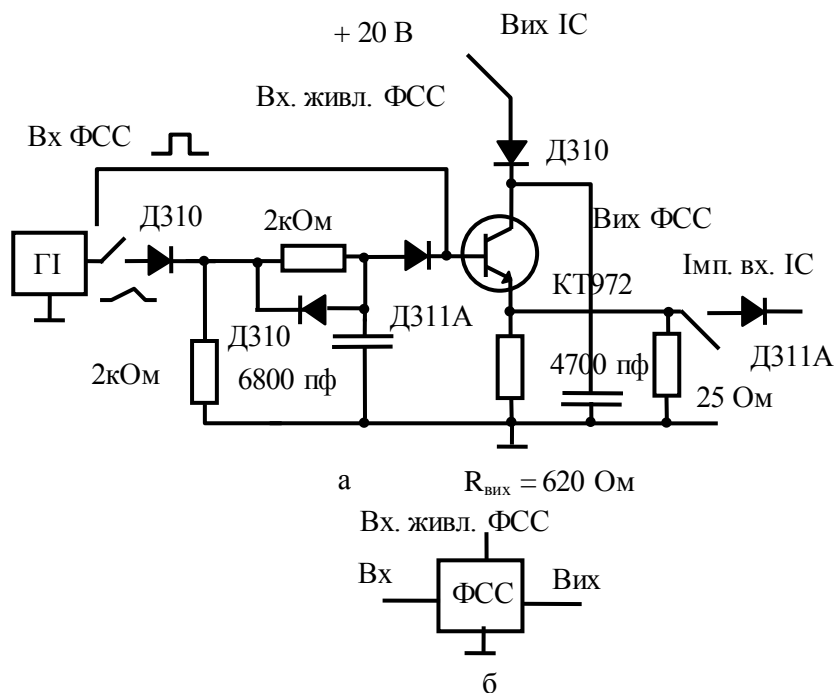



Рисунок 11.4(а, б) - Електрична (а) та структурна (б) схема формувача стимулюючого сигналу (ФСС)

Для зовнішнього запуску осцилографа приєднати вихід „синхроімпульс” ГІ до однополюсних входів „О” і „ \perp ” синхронізації осцилографа (режим запуску „ \blacksquare ждущ”). При дослідженні використовуються обидва промені осцилографа: канал І - на вихід ІС, канал ІІ - вхід ІС або „вихід ФСС” (таблиця 14.1). Джерело напруги ДПН1: +8 В приєднується до клеми „+8 В”, - 8 В до „ \perp ”. ДПН2: +20 В приєднується до „+20 В”, - 20 В до „ \perp ”. Вихід ГІ приєднати до клеми „Вихід генератора імпульсів”.

Таблиця 14.1


Ланцюг, що комутується	Варіант	Параметри		
		Динаміка	$K_{\text{стаб}}$	$R_{\text{вих}}$
Вихід ГІ	Λ		+	+
	Π	+		
Вихід ФСС	Імп. вхід ІС		+	
	25 Ом	+		+
Вхід живлення ФСС	Вихід ІС	+		+
	+20 В		+	
Нижній промінь осцилографа	Вхід ІС		+	
	Вихід ФСС	+		+
Верхній промінь осцилографа	Вихід ІС	+	+	+


3. Хід роботи


1. Вставити ІС  до 3-х позначених (лівий - вхід, середній - \perp , правий - вихід) контактів роз'єму № 1 (білого кольору).


2. До вмикання в мережу виставити наступні позиції приладів:

2.1 ГІ:

- амплітуда (А, В): перемикач  - чорний, 20 В (Π), ручка плавного регулювання - 16;

- тривалість (τ , мкс): перемикач  - чорний, $\times 1$, ручка плавного регулювання - 40;

- частота (період повторення (T , мкс): перемикач  - чорний, $\times 10^2$, ручка плавного регулювання - 10): $f = 1$ кГц;

- часовий зсув (D , мкс): перемикач  - чорний, $\times 10^2$, ручка плавного регулювання - 0;

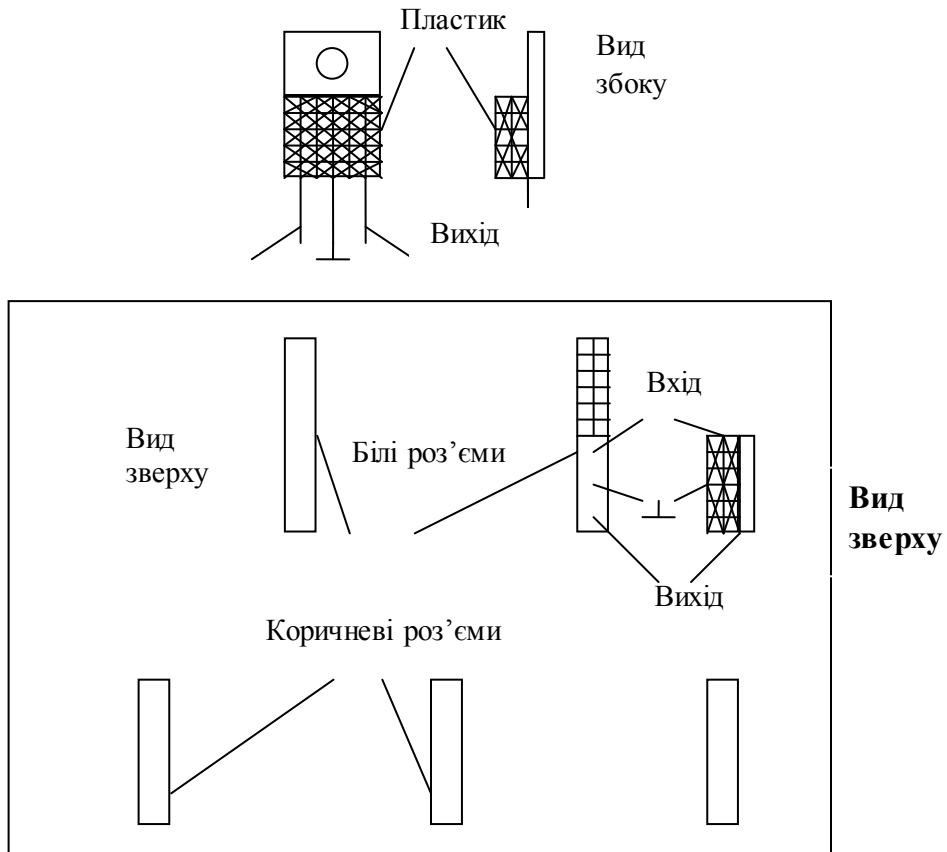


Рисунок 11.5 - орієнтація ІС при завантаженні

- тумблери регулювання амплітуди імпульсу: „1:2”, „1:10”, „1:100”
ввімкнути вправо, тобто „1:1”.

2.2 Осцилограф:

- перемикачі 10 – ти кратного підсилення сигналів: канал I - $\blacksquare \times 1$, канал II - $\blacksquare \times 10$;

- перемикачі режимів: канал I - „ \sim ”, канал II - „ $\sim -$ ”;

- перемикачі підсилення („V/дел”): канал I - 10 мВ/см, канал II - 1 В/см;

- ввімкнути розгортку променів: „ $\rightarrow \rightarrow$ ”;

- ввімкнути зовнішню синхронізацію: „ \sim ”;

- позиція перемикача розгортки („время/дел”): $20 \text{ мкс} \times 1$.

3. Ввімкнути пускач напруги стенду „вкл”. Потім ввімкнути задіяні в лабораторній роботі прилади до мережі.

3.1 Виставити на ДПН1 і ДПН2 регулятор струму (I) в крайнє праве положення. На ДПН1 виставити напругу $U = 8 \text{ В}$, на ДПН2 - $U = 20 \text{ В}$.

3.2 Відкорегувати промені каналів I та II в положенні режиму входу „ \perp ”.

3.3 При необхідності стабілізації зображення скорегувати ручкою синхронізації осцилографа („ждущ \blacksquare ”) рівень амплітуди початкового імпульсу.

4. Виміряти $\Delta U_{\text{вих}}$ для визначення $R_{\text{вих}}$ та динаміки (частотних властивостей) на 10 шт. ІС.

4.1 Генератор Імпульсів:

- амплітуда (A , В): перемикач ☼ - синій, 60 В (п), ручка плавного регулювання - 18;

- тривалість (τ , мкс): перемикач ☼ - синій, $\times 1$, ручка плавного регулювання - 40;

- частота (період повторення (T , мкс): перемикач ☼ - чорний, $\times 10^2$, ручка плавного регулювання - 10): $f = 1$ кГц;

- часовий зсув (D , мкс): перемикач ☼ - чорний, $\times 10^2$, ручка плавного регулювання - 0;

- тумблери регулювання амплітуди імпульсу: „1:10” ввімкнути вліво, „1:2”, „1:100” - вправо.

5 Виміряти $\Delta U_{\text{вих}}$ для визначення $K_{\text{стаб}}$ ІС.

5.1 Генератор імпульсів:

- амплітуда (A , В): перемикач ☼ - чорний, 20 В (п), ручка плавного регулювання - 17 ;

- тривалість (τ , мкс): перемикач ☼ - синій, $\times 1$, ручка плавного регулювання - 40;

- частота (період повторення (T , мкс): перемикач ☼ - чорний, $\times 10^2$, ручка плавного регулювання - 10): $f = 1$ кГц;

- часовий зсув (D , мкс): перемикач ☼ - чорний, $\times 10^2$, ручка плавного регулювання - 0;

- тумблери регулювання амплітуди імпульсу: „1:2”, „1:10”, „1:100” - вправо, тобто „1:1”.

6 Провести розрахунки $K_{\text{стаб}}$, $R_{\text{вих}}$ динаміки на 10 шт. ІС.

6.1 Розрахункові матеріали узагальнити: визначити максимальний розкид, середні значення, дисперсії. Дані занести в таблицю 11.2.

Таблиця 11.2

Пара-метри	№ ІС										\bar{X}	σ_x
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
$\Delta U_{\text{вх}}$ В												
$\Delta I_{\text{н}}$ А												
$\Delta U_{\text{вих}}$ В												
$K_{\text{стаб}}$												
$R_{\text{вих}}$ Ом												

6.2 Врахувати, що при вимірюванні:

- $K_{\text{стаб}}$: $\Delta U_{\text{вх}} = 7,5$ В; $I_{\text{н}} = 0,1$ А;

- динаміки та $R_{\text{вих}}$: $\Delta U_{\text{вх}} = 0$ В; $\Delta I_{\text{н}} = 0,1$ А

$$K_{\text{стаб}} = \frac{\Delta U_{\text{вх}}}{\Delta U_{\text{вих}}}$$

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

- динамічні параметри визначаються лише якісно по амплітуді $\Delta U_{\text{вих}}$.

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Початкові дані для розрахунку.
3. Попередній розрахунок.
4. Принципова схема лабораторної установки.
5. Таблиці експериментальних і розрахункових даних.
6. Графіки залежностей, отриманих в результаті експерименту і розрахунку.
7. Короткі висновки за результатами розрахунку і експерименту.

Контрольні запитання

1. Дати пояснення процесам в ІС, які стоять за спостережуваною зміною $\Delta U_{\text{вих}}$.
2. Які принципи реалізовані в аналогових інтегральних схемах.
3. Визначення $K_{\text{ст}}$, $R_{\text{вих}}$, смуги непрозорості.
4. Принцип дії струмового дзеркала.
5. Як забезпечується температурна стабілізація $U_{\text{стаб}}$ стабілітрона?
6. Як досягається температурна стабілізація $U_{\text{стаб}}$ виходу в розглянутій ІС.
7. Принцип дії теплового струмового захисту.
8. З чим пов'язана необхідність використання корегуючої ємності зворотного зв'язку.
9. Які співвідношення коефіцієнта стабілізації параметричного і компенсаційного стабілізаторів напруги?

Література

1. Прищепа М.М., Погребняк В.П. Мікроелектроніка: Елементи мікросхемотехніки. – К., 2006. – 503 с.
2. Алан Б. Гребен. Проектування аналогових інтегральних схем. – Пер. з англ. – М.: Енергія. – 1976. – 256 с.
3. Шило В. Л. Лінійні інтегральні схеми в радіоелектронній апаратурі. – М.: Радянське радіо. – 1979. – 368 с.
4. Крилов В. Х. Основні параметри і улаштування операційних підсилювачів. – М.: Радіо. – 1977. – 456 с.

Навчальне видання
(українською мовою)

Олександр Васильович Приходько, Володимир Миколайович Синьоокій,
Анатолій Володимирович Ткаченко

ОСНОВИ СУЧАСНОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

Навчальний посібник
для студентів освітньо – кваліфікаційного рівня «бакалавр»
напряму підготовки «Фізика»

Рецензент *В.В. Погосов*
Відповідальний за випуск *В.М. Синьоокій*
Коректор *А.В. Ткаченко*