

Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

До друку і в світ дозволяю

Проректор

Гладкий І.П.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисципліни
«Основи електроніки»

для студентів денної та заочної форми навчання за на-
прямом
6.0510101

Всі цитати, цифровий,
фактичний матеріал
і бібліографічні
відомості перевірені,
написання одиниць
відповідає стандартам

Затверджено
методичною радою
університету.
Протокол №
від . . 2014

Упорядники:

В.Я. Фролов
В.Г.Кубата

Відповідальний за випуск

О.В. Бажинов

Харків ХНАДУ 2014

Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисципліни
«Основи електроніки»

Харків
ХНАДУ
2014

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисципліни
«Основи електроніки»
для студентів денної та заочної форми навчання за на-
прямом
6.0510101

Затверджено методичною
радою університету,
Протокол № від . .2014

Харків
ХНАДУ
2014

Укладачі: В.Я. Фролов
В.Г. Кубата

Кафедра автомобільної електроніки

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Лабораторні роботи з електроніки допомагають студентам ознайомитися з роботою найбільш поширених елементів бортових електронних приладів автомобілів і електровимірювальних приладів, і дозволяють експериментально перевірити основні теоретичні положення, придбати досвід по підключенню вимірювальних приладів. Безпосередня участь в експериментах виробляє у студентів практичні навички по одержанню і оцінці результатів вимірювання. Всі роботи виконуються на універсальних лабораторних стендах.

При запису показань електромеханічних вимірювальних приладів потрібно обов'язково розрахувати ціну поділки, яку необхідно навести в таблицях. У цьому випадку для кожного режиму записують дві цифри: число поділок на шкалі приладу і обчислене, з урахуванням ціни поділки, значення вимірюваної величини.

Прилади з нерівномірною шкалою не придатні для вимірювань в початковій частині шкали між нулем та першою поділкою. При таких показаннях у звіті вказують, що показання приладу менше значення, відповідної першої поділки шкали приладу.

Всі записи в звіті слід робити чітко і акуратно. Якщо при вимірюваннях або запису допущена помилка, то неправильні результати закреслюють, а правильні значення записують в рядок.

Після закінчення кожного етапу роботи, до розбирання схеми, слід оцінити правильність отриманих результатів, побудувати графіки та подати цей матеріал викладачу для перевірки, після якої можна розібрати схему і приступити до наступної частини роботи.

Лабораторний звіт повинен містити:

- найменування і мету роботи;
- перелік приладів, що застосовуються в роботі;
- електричну схему, викреслену у відповідності з ДСТУ;
- короткі теоретичні відомості, необхідні формули і розрахункові дані;
- експериментальні дані та результати їх обробки, зведені в таблиці;
- графіки, які побудовані по числовим значенням в таблицях, з вказанням по осях позначень величин і одиниць їх вимірювань;
- висновки за отриманими результатами досліджень.

Поява і широка доступність персонального комп'ютера дозволяє докорінно змінити характер виконання лабораторних робіт.

Найбільшу ефективність мають навчальні програми моделюючого типу. Стосовно до професійної підготовки фахівців в галузі автомобільної електроніки та метрології ця перевага поєднується з тією обставиною, що розробка будь-якого радіоелектронного пристрою супроводжується фізичним або математичним моделюванням. Фізичне моделювання пов'язане з великими матеріальними витратами, оскільки потребує виготовлення макетів і їх трудомістке дослідження. Заміна теми лабораторної роботи вимагає виготовлення макету і підключення приладів та осцилографа.

Більш оперативно можна замінити тему лабораторної роботи на більш сучасну за допомогою математичного моделювання з використанням засобів і методів обчислювальної техніки. Найбільш зручною і легко освоюваною є програма Electronics Workbench (EWB) - розробка канадської компанії Interactive Image Technologies. Особливістю програми є наявність в ній контрольно-вимірювальних приладів, за зовнішнім виглядом, органами управління і характеристиками максимально наближених до їхніх промислових аналогів, що сприяє одночасно і придбанню практичних навичок роботи з найбільш поширеними приладами: мультиметром, осцилографом, вимірювальним генератором та інші.

В опису лабораторних робіт також є лабораторні роботи, які необхідно виконувати шляхом комп'ютерного моделювання в середовищі Electronics Workbench (EWB).

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РЕЗИСТОРІВ ТА КОНДЕНСАТОРІВ

Мета роботи

Одержати практичні навички по вимірюванню опору резисторів та ємності конденсаторів за допомогою електромеханічного тестера та мультиметра. Записати результат вимірювання з урахуванням приведеної та абсолютної похибки вимірювання параметрів резисторів та конденсаторів, познайомитися з умовними позначеннями резисторів та конденсаторів різних типів.

1. Призначення тестерів і мультиметрів

Комбіновані прилади дозволяють вимірювати кілька фізичних величин у широких межах. Розширення діапазонів для вимірювання напруги здійснюється за допомогою додаткових опорів. Розширення діапазонів вимірювання струму здійснюється за допомогою шунтів. Додаткові опори підключаються послідовно з вимірювальним механізмом. Шунти підключаються паралельно з вимірювальним механізмом. Розширення меж вимірювання по напрузі дозволяє також збільшити вхідний опір комбінованого приладу.

Наявність вимірювального механізму дозволяє точно конструювати схему вимірювальних опорів. При наявності джерела змінної напруги дає можливість конструювати схему вимірювання ємності.

Мультиметри дозволяють замінити комбіновані стрілочні прилади. Призначення органів управління і індикації представлені в таблиці 1.1. Відсутність електромеханічного вимірювального приладу значно здешевшує конструкцію мультиметра, а наявність екрану дозволяє навіть представити графічну інтерпретацію.

Цифровий мультиметр Mastech M890G виконує вимірювання сили постійного і змінного струму, значення постійної і змінної напруги, опору і коефіцієнт підсилення біполярних транзисторів (h_{21}),

ємність конденсаторів, частоту у звуковому діапазоні і температуру навколишнього середовища за допомогою терморизи, яка входить в комплект поставки (Табл.1.1). Результати вимірювань виводяться на цифровий 3 1/2-розрядний рідинно-кристалічний дисплей. Живлення мультиметра здійснюється від однієї батареї 9В, типу "Крона"

Таблиця 1.1–Перелік параметрів, які вимірюються мультиметром М890 G

№ п/п	Параметр, який вимірюється	Значення параметру
1	Кількість вимірювань в сек	2-3
2	Постійна напруга $U=$	0,1мВ-1000В
3	Змінна напруга $U\sim$	0,1мВ-700В
4	Змінний струм $I\sim$	10мкА-10А
5	Постійний струм $I=$	1мкА-10А
6	Діапазон частот	40-400Гц
7	Опір постійному струму R	0,1Ом-200МОм
8	Вхідний опір R	10 МОм
9	Температура $t^{\circ} C$	-50 $^{\circ}C \div +1000^{\circ}C$
10	Ємність C	1пФ \div 20мкФ
11	Частота F	1Гц-20кГц

Таблиця 1.2–Переклад позначень органів управління та індикації мультиметра АРРА

Призначення	Переклад
<i>Органи управління</i>	
RWR RST	Вмикання живлення (після авто відключення)
RANGE	Заміна межі вимірювання
HOLD	Затримка
~Hz	Вимірювання частоти сигналу
OFF	Вимкнено
COM (common)	Загальний вихід
<i>Органи індикації</i>	
RANGE	Межа вимірювання
H (hold)	Затримка результату вимірювання
AC (alternating current)	Змінний струм
DC (direct current)	Постійний струм
AP0 (auto power off)	Автоматичне вимикання живлення

Крім вимірювання струму, напруги і опору цифрові мультиметри дозволяють вимірювати ємність та індуктивність і мають вбудований частотомір. Такі мультиметри випускає фірма Metamax.

Цифрові мультиметри мають цифровий вихід, який можна приєднати до комп'ютера, через нього до мережі Internet. Такі мультиметри випускає фірма Sanwa.

1.1 Класи точності засобів вимірювання

Комбінованим приладом називають засіб вимірювання, за допомогою якого можна вимірювати декілька фізичних величин.

Основна задача вимірювань – забезпечення точності, вірогідності, порівнянності результатів і їх єдність. Питання теорії і практики забезпечення єдності і точності результатів вимірювань, одержуваних за допомогою засобів вимірювання, визначають зміст метрології.

Точність вимірювання характеризується близькістю їхніх результатів X до істинного значення \tilde{O}_0 і виражається похибкою вимірювань. Розрізняють абсолютну $\Delta\tilde{O}$, відносну δ і приведену похибку.

Абсолютна похибка – безпосереднє відхилення вимірюваного значення X від дійсного \tilde{O}_0 , що виражається в одиницях вимірюваної величини:

$$\Delta\tilde{O} = \tilde{O} - \tilde{O}_0 \quad (1.1)$$

Наприклад, якщо при вимірюванні напруги, дійсне значення якого $U_0 = 100$ В, отримане значення $U=98$ В, то абсолютна похибка вимірювання:

$$\Delta U = U - U_0 = -2 \text{ В.}$$

Або при вимірюванні напруги, дійсне значення якого $U_0 = 1$ В, отримане значення $U=1,05$ В, то абсолютна похибка:

$$\Delta U = U - U_0 = 0.05 \text{ В.}$$

Відносна похибка служить для оцінки точності вимірювання. Її вважають відношенням абсолютної похибки до дійсного значення у частках або відсотках:

$$\delta = \frac{\Delta \tilde{O}}{\tilde{O}_0} \approx \frac{\Delta \tilde{O}}{\tilde{O}}; \delta = \frac{\Delta \tilde{O}}{\tilde{O}_0} \cdot 100. \quad (1.2)$$

Для наведених прикладів відносна похибка вимірювання:

1) $\delta = -2\%$;

2) $\delta = 5\%$.

Отже, перше вимірювання по абсолютній величині є більш точним, хоча абсолютна похибка у першому випадку більше, ніж у другому.

Для порівняльної оцінки точності електромеханічних приладів, у тому числі комбінованих, використовують приведену похибку, під якою розуміють виражене у відсотках відношення абсолютної похибки до значення, що нормує, \tilde{O}_N :

$$\gamma = \frac{\Delta X}{X_N} \cdot 100. \quad (1.3)$$

Значення \tilde{O}_N для одномежевих приладів приймають рівним кінцевому значенню шкали приладу або сумі кінцевих значень, якщо шкала двостороння. Для багатомежових приладів – \tilde{O}_N дорівнює межі вимірювання. При істотно нерівномірній шкалі приведену похибку виражають у відсотках від довжини шкали:

$$\gamma = \frac{\Delta X_I}{L} \cdot 100, \quad (1.4)$$

де L – довжина робочої частини шкали, мм;

$\Delta \tilde{O}$ – відстань між двома сусідніми поділками на ділянці шкали, де зупинилась стрілка, мм.

Приведену похибку, визначену для конкретного приладу при нормальних умовах називають основною похибкою приладу. Узагальнену характеристику, обумовлену межами допуску основних і додаткових похибок, а також іншими властивостями, що впливають на точність, називають класом точності приладу і визначають стандартом. Клас точності характеризує властивості приладів у відношенні точності, але не є безпосереднім показником точності окремих вимірювань, виконаних за допомогою цих приладів. Приладам, у яких межі основної похибки, що допускається, задані приведеною похибкою, привласнюють відповідно до Держстандарту 8.401-80 той або інший клас точності, обраний з ряду $1 \cdot 10^n$; $1,5 \cdot 10^n$; $2 \cdot 10^n$; $2,5 \cdot 10^n$; $4 \cdot 10^n$ де $n = 1,0; 2,0$ і т.д., зі знаком «+» або «-», наприклад, для електровимірювальних приладів прийняті класи точності 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0, де більш точним є прилад із класом точності 0,02.

Електромеханічний тестер Ц4324 має приведену похибку при вимірюванні постійного струму, напруги і опору $\gamma = \pm 2,5\%$ і при вимірюванні змінного струму і напруги $\gamma = \pm 4\%$. Вхідний опір тестера дорівнює 20 кОм/В при вимірюванні постійної напруги і 4 кОм/В при вимірюванні змінної напруги.

1.2. Параметри резисторів

По значенню опору постійному струму резистори діляться на постійні та змінні. Опір змінного резистора функціонально змінюється в залежності від положення рухомого контакту. Опір резистора в залежності від положення рухомого контакту може змінюватися лінійно – тип А, по логарифмічному закону – тип Б, по зворотно логарифмічному закону – тип В. Номінальний опір змінних резисторів одержують множенням чисел 1,0, 1,5, 2,2, 3,3, 4,7, 6,8 на 10^n (n – ціле позитивне або від'ємне число)

В залежності від матеріалу виготовлення, резистори діляться на дротові, металофольгові, не дротові. Значення номінальних опорів дротових резисторів знаходяться в діапазоні від 0,47 до 10^6 Ом, не дротових від 1 до 10^7 Ом.

Позначення не дротових резисторів (ОСТ – 68) складається з трьох букв: перша вказує вид резистивного матеріалу (К – компози-

ційні, У – вуглеводисті, М – метало-плівкові), друга – вид захисту (Л – лаковані, Г – герметичні, В – вакуумні), третя характеризує особливі властивості або призначення резисторів (Т – теплостійкі, П – прецизійні, В – високовольтні). Наприклад МЛТ – метало-плівкові, лаковані, теплостійкі.

В залежності від групи і властивостей резисторів позначення резисторів складається із букв і цифр. Букви позначають групи виробів: С – резистори постійні; СП – резистори змінні. Цифри після букв позначають вид струмопровідного елемента: 1- не дротові, тонкошарові, вуглеводисті та боро-вуглеродисті; 2 – не дротові тонкошарові метало діелектричні і метало оксидні; 3 – не дротові композиційні шарові; 4 – не дротові композиційні об’ємні; 5 – дротові; 6 – не дротові тонкошарові, металізовані. Цифри, які стоять після першої цифри позначають реєстраційний номер резистора, наприклад, С3-14, С5-60.

Відповідно до ОСТ 4.074.009 – 78 введена нова система умовних позначень, яка має слідуєчі елементи: Перший елемент - буква, або сполука букв, які позначають підклас резисторів: Р – резистори постійні, РП – резистори змінні, ПТ – потенціометри, ТР- терморезистори з від’ємним температурним коефіцієнтом опору (ТКО), ТРП- терморезистори с позитивним ТКО, БП – болометри напівпровідникові, МР – магніторезистори, ВР- варістори постійні, ВРП – варістори змінні, НР- набір резисторів, ГЕР газорезистори. Другий елемент – цифра, яка позначає вид матеріала резистора 1 – недротовий, 2 –дротовий. Третій елемент – порядковий номер даного типу резистора (номер розробки).

Наприклад Р1-26 – 0,5 Вт - $\pm 10\%$ - постійний недротовий резистор з порядковим номером розробки 26, номінальною потужністю розсіяння 0,5 Вт, номінальним опором 10 кОм, допустимим відхиленням опором $\pm 10\%$.

По визначеній маркіровці на резисторі можливо визначить його вид, номінальну потужність і опір, допускаєме відхилення опору, дату виготовлення. Позначення номіналів резисторів на корпусі представлені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3–Позначення номіналів резисторів

Значення опору	Позначення на корпусі	Найменування
0,47 Ом	R47	Оми
1 Ом	1R0	Оми
4,7 Ом	4R7	Оми
47 Ом	R47	Оми
100 Ом	100R	Оми
1 kОм	1K	Кілооми
10kОм	10K	Кілооми
10Mом	10M	Мегаоми

Відповідно з ГОСТ 15598 – 72 на постійних резисторах допускається маркування кольоровим кодом, який наноситься знаками у вигляді кіл або смуг. Для маркування кольоровим кодом номінальний опір резисторів в омах показується двома або трьома цифрами і множником 10^n (n – будь-яке число від мінус 2 до плюс 9). Маркувальні знаки пересувають до одного з торців резистора і розташовують зліва направо у наступному порядку: перша, друга і третя цифри, множник, допуск.

Кольори знаків номінальних опорів і допусків повинні відповідати таблиці 1.4.

Таблиця 1.4–Кольорове кодування резисторів

№ п.п	Колір знака	Номінальний опір, Ом			Множник	Допуск, %
		Перша цифра	Друга цифра	Третя цифра		
1	Серебристий	-	-	-	10^{-2}	± 10
2	Золотистий	-	-	-	10^{-1}	± 5
3	Чорний	-	0	-	1	-
4	Коричньовий	1	1	1	10	± 1
5	Червоний	2	2	2	10^2	± 2
6	Помаранчевий	3	3	3	10^3	-
7	Жовтий	4	4	4	10^4	-
8	Зелений	5	5	5	10^5	± 5
9	Голубий	6	6	6	10^6	$\pm 0,25$
10	Фіолетовий	7	7	7	10^7	$\pm 0,1$
11	Сірий	8	8	8	10^8	$\pm 0,005$
12	Білий	9	9	9	10^9	-

Для резисторів з номінальним опором, який виражається трьома цифрами і множником кольорова маркировка складається з п'яти знаків: перша, друга і третя цифри, множник, допуск.

Якщо розміри резисторів не дозволяють розмістити маркування ближче до одного з торців резистора, площа першого знака робиться в два рази більше площі других знаків.

До електричних параметрів резисторів відносяться:

– $P_{\text{ном}}$ - номінальна потужність, це потужність, яка розсіюється резистором. Значення $P_{\text{ном}}$ в ватах входить в позначення резистора. Наприклад, МЛТ-0,5 номінальна потужність $P_{\text{ном}}=0,5$ Вт, МЛТ-2 номінальна потужність $P_{\text{ном}}=2$ Вт;

– $U_{\text{мах}}$ - максимальна напруга, це найбільша напруга, при якій резистор може працювати тривалий час.

Терморезистори – це недротові напівпровідникові резистори, опір яких значно залежить від температури. У терморезисторах з від'ємним температурним коефіцієнтом опору (ТКО) при збільшенні температури опір зменшується. У терморезисторах з позитивним ТКО при збільшенні температури опір збільшується.

Варістори – це нелінійні резистори, опір яких швидко зменшується при збільшенні прикладеної до варістора напруги.

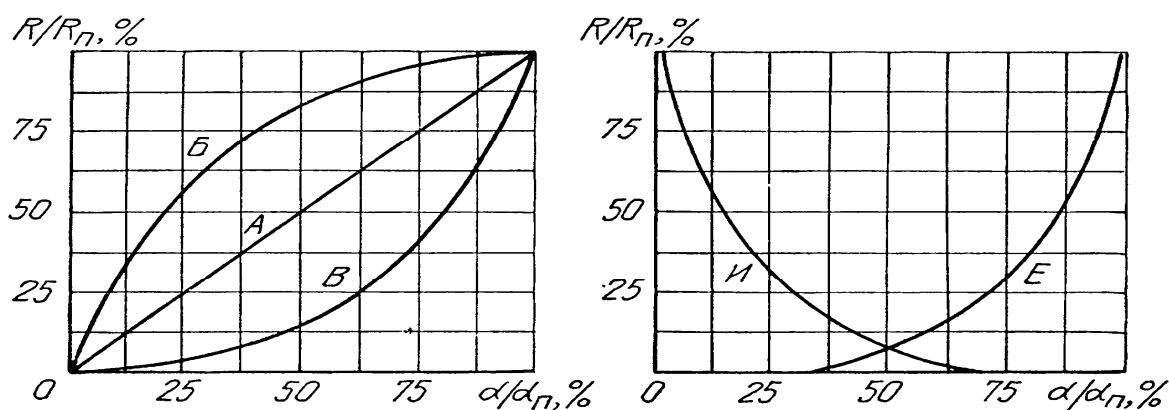


Рисунок 1.1—Залежність відносної зміни опору резистора від кута повороту рухливої частини: А - лінійна; Б - логарифмічна; В - антилогарифмічна; характеристики типу И, Е

Змінні резистори поділяються на підстроювальні (опір змінюється при регулюванні електричних режимів ланцюга) і регульовальні (опір змінюється під час функціонування апаратури). За принципом зміни опору змінні резистори бувають однооборотні, багатооборотні і повзункові.

Крім параметрів характерних для постійних резисторів змінні резистори володіють додатковими характеристиками. До них належать функціональна характеристика, роздільна здатність, зносостійкість, шуми ковзання, розбаланс опору.

Функціональна характеристика визначає залежність зміни опору при зміні кута повороту рухливої частини. Змінні резистори можуть мати лінійну характеристику А і нелінійну: логарифмічну Б, антилогарифмічну або характеристики типу И, Е (рис.2.1).

1.3. Параметри конденсаторів

Конденсатори діляться на підкласи: постійної ємності, змінної ємності, підстроєчні, нелінійні.

Позначення конденсаторів складається з слідуючих елементів: перші букви позначають підклас конденсатора (К – постійної ємності, КТ – підстроєчні, КП- змінної ємності, КН- нелінійні, КС – конденсатори збірки) друга – група конденсаторів; третя – порядковий номер розробки.

Повне умовне позначення конденсаторів складається із наступних елементів: перший – скорочене умовне позначення; другий – основні параметри і характеристики; третій – варіант кліматичного виконання.

Умовне позначення конденсаторів може бути скороченим і повним. Згідно з діючою системою, скорочене умовне позначення складається з букв і цифр. Перший елемент - буква або сполучення літер, що позначають підклас конденсатора:

- К - постійної ємності;
- КТ - підстроєчні;
- КП - змінної ємності;
- КН - нелінійні;
- КС - конденсаторні складання.

Другий елемент - число, що позначає групу конденсатора залежно від матеріалу діелектрика.

Третій елемент - пишеться через дефіс і позначає реєстраційний номер конкретного типу конденсатора. До складу третього елемента може входити також літерне позначення.

Повне умовне позначення конденсатора складається із скороченого позначення типу конденсатора, позначення і величини основних параметрів і характеристик, необхідних для замовлення і запису в конструкторській документації, позначення кліматичного виконання і документа на постачання.

Наприклад:

K10-7B-M47-27пФ±10% ГОСТ 5.621-70. Це керамічний конденсатор K10-7B, усе кліматичного виконання «У», групи ТКЕ М47, номінальною місткістю 27 пФ, з допуском ±10%, що поставляється за ГОСТ 5.621-70.

K50-7a-250 В-100 мкФ-В ГОСТ 5.635-70. Це конденсатор оксидно-електролітичний алюмінієвий K50-7, конструктивного варіанту «а», на номінальну напругу 250 В, номінальною ємністю 100 мкФ, все кліматичного виконання «У», що поставляється за ГОСТ 5.636.-70.

Повне позначення номінальних ємностей складається з значення номінальної ємності (цифра) і позначення одиниці вимірювання (пФ - пікофаради, мкФ - мікрофаради, Ф - фаради), наприклад: 1,5 пФ; 0,1 мкФ; 10 мкФ; 1 Ф (таблиця 1.5).

Таблиця 1.5–Значення номінальних ємностей конденсаторів

Значення ємності	Позначення на корпусі	Найменування
0,68 пФ	p68	Пікофаради
6,8 пФ	бp8	Пікофаради
1000 пФ	1п0	Нанофаради
6,8 пФ	6п8	Нанофаради
1000 пФ	1μ0	Мікрофаради
6,8 мкФ	6μ8	Мікрофаради
6,8 мФ	6т0	Міліфаради
0,1 мФ	0т0	Міліфаради

Кодоване позначення номінальних ємностей складається з трьох або чотирьох знаків, що включають дві або три цифри та літеру. Літера коду з російського або латинського алфавіту означає множник, що становить значення ємності, і визначає положення коми десяткового знака. Букви П (p), Н (n), М (μ), І (m), Ф (F) позначають множники 10^{-12} , 10^{-9} , 10^{-6} , 10^{-3} і 1 відповідно для значень ємності, виражених у фарадах. Наприклад: 1П5 (1p5); 100Н (100n); 10М (10μ); 1Ф0 (1F0).

При позначенні ємностей від 1 до 10 пФ останньою цифрою може бути «9» (109 = 10 пФ), при позначенні ємностей менше 1 пФ першою цифрою «0» (010 = 1 пФ). В якості розділової коми може використовуватися буква R (0R5 = 0,5 пФ). Для конденсаторів ємністю більше 10 мкФ габарити дозволяють наносити повне маркування.

1.4. Порядок виконання роботи

1. Виміряти значення постійного резистора і записати результат вимірювання з урахуванням похибки вимірювального приладу для тестера Ц4315 в табл. 4.1, а для мультиметра М890G в табл. 1.6.

Таблиця 1.6–Вимірювання опору за допомогою тестера Ц4315

Тип резистора	Значення опору резистора	Вимірне значення опору	Абсолютна похибка	Результат вимірювання

Тип резистора і значення опору необхідно занести в таблицю відповідно до умовного позначення резистора на корпусі.

Вимірне значення опору визначається за формулою

$$R = n \cdot 10^m, \quad (1.1)$$

де n - показання приладу по шкалі омів або кілоомів;

m – показник ступені відповідно до вибраної межі вимірювання.

По шкалі омів $m = 0$.

Абсолютну похибку вимірювання опору знайдемо з формули (1.2). Так як шкала вимірювання опору нерівномірна, то з деякою похибкою будемо рахувати, що приведена похибка опору приблизно дорівнює відносній похибці на кінці шкали кілоомів. Тобто $\delta_R \approx \gamma_R$. Тоді

$$\Delta R = \frac{\gamma_R \cdot R_{\text{аєі}}}{100}, \quad (1.2)$$

де $R_{\text{аєі}}$ – виміряне значення опору.

Результат вимірювання опору записується у вигляді

$$R = R_{\text{аєі}} \pm \Delta R. \quad (1.3)$$

Таблиця 1.7–Вимірювання опору за допомогою мультиметра M890 G

Тип резистора	Значення опору резистора	Виміряне значення опору	Абсолютна похибка	Результат вимірювання

Абсолютна похибка вимірювання опору мультиметром дорівнює одиниці останнього знаку на екрані дисплея.

2. Виміряти значення змінного резистора і записати результати вимірювання для чотирьох значень кута повороту повзунка в табл.1.8, побудувати залежність опору від кута повороту повзунка.

Таблиця 1.8–Вимірювання опору змінного резистора

Тип резистора	Значення опору резистора для кута повороту			
	90°	180°	270°	360°

3. Виміряти за допомогою мультиметра M890G значення опору терморезисторів і записати результати в табл. 1.9

Таблиця 1.9–Вимірювання опору терморезистора за допомогою мультиметра

Тип Терморезистора	Значення опору терморезистора при кімнатній температурі	Значення опору терморезистора при температурі 36 ⁰ C

Контрольні питання до роботи

1. Призначення електромеханічних тестерів.
2. Призначення мультиметрів.
3. Абсолютна та відносна похибка вимірювання.
4. Приведена похибка електромеханічних тестерів.
5. Позначення не дровових резисторів.
6. Кольорове позначення резисторів.
7. Позначення конденсаторів.
8. Запис результату вимірювання.
9. Нормуюче значення величини для приведеної похибки.
10. Температурний коефіцієнт терморезистора.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗМІННОЇ НАПРУГИ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕЛЕКТРОННОГО ОСЦИЛОГРАФА

Мета роботи

Вивчити призначення та органи регулювання осцилографа, генератора високої частоти, цифрового мультиметра і електромеханічного тестера. Виміряти амплітудне значення змінної напруги за допомогою осцилографа, та дійсне значення за допомогою мультиметра і тестера.

2.1. Призначення осцилографа

Електронний осцилограф є приладом за допомогою якого можна спостерігати зміну електричної напруги у часі. За допомогою осцилографа можна спостерігати форму досліджуваної напруги, проводити вимірювання значення напруги, визначати частоту і період повторення гармонічних сигналів або імпульсів.

2.2. Структурна схема осцилографа

Електронний осцилограф складається з наступних основних частин (рис 2.1): електронно-променева трубка; канал вертикального відхилення; канал горизонтального відхилення; генератор розгортки.

Вхідний сигнал через дільник напруги надходить на попередній підсилювач каналу вертикального відхилення. З попереднього підсилювача каналу вертикального відхилення сигнал надходить на вихідний підсилювач і, в режимі внутрішньої синхронізації, генератор пилкоподібної напруги каналу горизонтального відхилення. З вихідного підсилювача каналу вертикального відхилення сигнал надходить на вертикально відхиляючі пластини. Вертикальне відхилення пропорційно вхідному сигналу.

Для вимірювання амплітуди сигналу U у вольтах необхідно показання перемикача K_B [V/Div] помножити на амплітуду зображення сигналу у великих діленнях шкали h .

$$U = \hat{E}_A \cdot h. \quad (2.1)$$

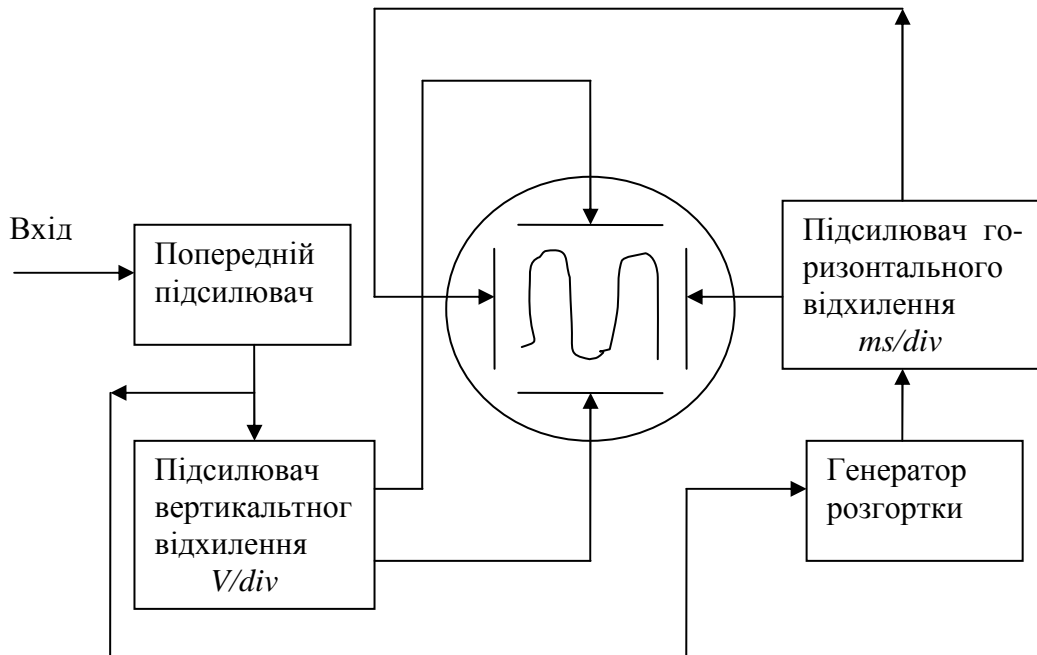


Рисунок 2.1– Структурна схема осцилографа. Синхронізація «внутрішня»

Для формування горизонтальної розгортки служить генератор розгортки, який генерує пилкоподібну напругу. Тривалість періоду пилкоподібної напруги T_p вибирається кратною періоду досліджуваного сигналу T_c

$$T_p = n \cdot T_c. \quad (2.2)$$

Для вимірювання періоду сигналу в мілісекундах або мікросекундах необхідно показання перемикача K_L [Time/div] помножити на тривалість зображення сигналу у великих діленнях шкали L

$$\dot{O}_{\tilde{N}} = \hat{E}_A \cdot L. \quad (2.3)$$

Електронно-променева трубка (ЕПТ) осцилографа являє собою спеціальний тип електронної лампи, в якій електрони, що випромінюються розжареним катодом, в результаті термоелектронної емісії концентруються за допомогою електричного поля в промінь, який потрапляє на флуоресцентний екран. У місці попадання променя електронів на екрані виникає пляма, яка світиться. Перед попаданням на екран промінь може бути відхилений в сторони під впливом електричних полів, які створюються напругами, що підлягають дослідженню. Переміщення плями, яка світиться на екрані відповідає миттєвим значенням напруги, яка досліджується.

Конструктивно електронно-променева трубка являє собою вакуумний скляний балон з металевими електродами (рис.2.2.).

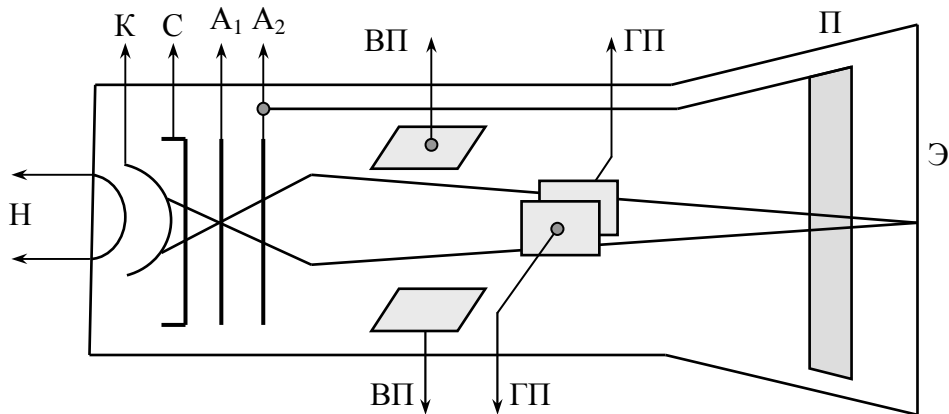


Рисунок 2.2– Схематичне зображення електронно-променевої трубки

Відхиляючі пластини являють собою дві пари плоскопаралельних пластин, які розташовуються взаємно перпендикулярно. Пластини ВП (вертикального переміщення) розташовані горизонтально, а пластини ГП (горизонтального переміщення) - вертикально відносно зображення на екрані. Якщо до пластин прикласти деяку різницю потенціалів, то електронний промінь проходячи між пластинами потрапляє в поле їх дії. При цьому траєкторія електронів змінюється. Наприклад, при збільшенні позитивного потенціалу правою пластини ГП, щодо лівої пластини, промінь зміститься відносно центру екрана ЕПТ управо.

2.3. Формування зображення на екрані електропроменевої трубки

Напруга, яка досліджується подається на пластини вертикального переміщення променя ВП. Для спостереження на екрані зміни напруги в часі використовується допоміжна напруга, яка зміщує електронний промінь у горизонтальному напрямі з певною швидкістю.

Для того, щоб зображення напруги, яка досліджується $U=f(t)$ вийшло в прямокутній системі координат без спотворення, необхідно, щоб напруга розгортки (допоміжна напруга) змінювалося протягом деякого проміжку часу строго пропорційно часу зміни вхідної напруги, яка досліджується. Потім повинно відбуватися повернення напруги (а, отже, повернення плями, яка світиться) до початкового значення в можливо короткий час. Після цього процес періодично повторюється (рис. 2.3).

Напруга, що змінюється за таким законом, називається пилкоподібною. Якщо період пилкоподібної напруги T дорівнює періоду напруги, яка досліджується, то на екрані має місце нерухоме зображення, відповідне одному періоду напруги. Якщо період напруги, яка розгортається, в n разів більше досліджуваного періоду напруги, то на екрані з'явиться зображення, яке відповідає n періодам напруги, яка досліджується.

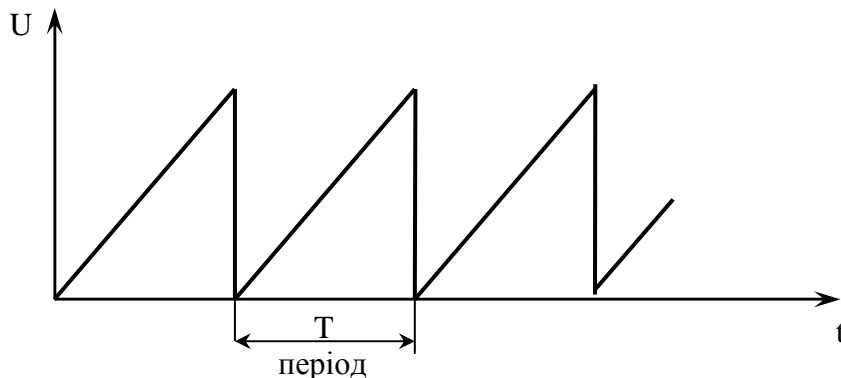


Рисунок 2.3 – Процес зміни напруги розгортки

Напругу, яка змінюється пилкоподібно на пластинах ЕПТ, створює вбудований в осцилограф генератор розгортки. На рис. 2.4 показаний процес формування зображення на екрані осцилографа.

На рис. 2.4а потенціал на лівій пластині ГП позитивний. Досліджуваний сигнал $U_{вх}$ відсутній. Промінь відхилився від центру ЕПТ уліво. На рис. 2.4б напруга на правій пластині ГП (позитивний потенціал щодо катода ЕЛТ) починає зростати за лінійним законом так, як це показано на рис. 2.3. Точка, яка світиться, рухається по екрану з права уліво. Потім напруга на правій пластині стрибкоподібно зменшується відносно лівої пластини ГП. Точка, яка світиться, повертається в ліву частину екрана. Потім цей процес може повторюватися, якщо напруга на горизонтальних відхиляючих пластинах буде періодично змінюватися за пилкоподібним законом.

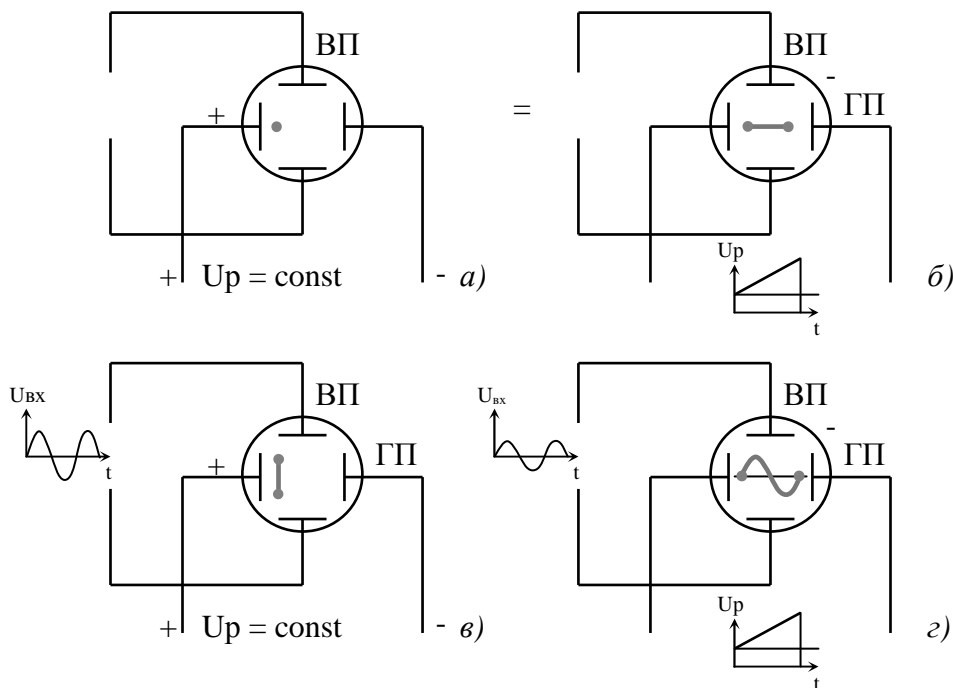


Рисунок 2.4– Процес формування зображення на екрані ЕПТ

На рис. 2.4в зображена осцилограма на екрані ЕПТ для випадку, коли на лівій пластині ГП щодо правої поданий позитивний потенціал, а на вертикальні пластини ВП підведена досліджувана змінна напруга синусоїдальної форми. У лівій частині екрана виникає лінія, яка світиться, довжина якої пропорційна подвійній амплітуді $U_{вх}$.

На рис. 2.4г показана остаточна фаза формування зображення на екрані ЕПТ при одночасній подачі допоміжної напруги розгортки.

Таблиця 2.1–Установка органів управління осцилографа GOS-620/620FG:

Найменування	Переклад	Положення перемикача
POWER	Мережа	Відтиснутий
INTEN	Яскравість	Середнє положення
FOKUS	Фокус	Середнє положення
VERD MODE	Режим	CAN1
ALT/CHOP	Змінно/ по черзі	Відтиснутий (ALT)
CH2 INV	Інверсія	Відтиснутий
VERTICAL POSITION	Вертикальне положення	Середнє положення
HORIZONTAL POSITION	Горизонтальне положення	Середнє положення
VOLTS/DIV	Вольт/поділка	0,5 VOLTS/DIV
VERIABLE	Плавно	Середнє положення
AC-DC-GND	Змінна/ постійна/земля	Земля (GND)
SOURS	Джерело	CH 1
SLOPE	Полярність	Позитивна (+)
TRIG ALT	Синхр.сигн. 1 і 2 каналів	Відтиснутий
TRIGGER MODE	Режим розгортки	AUTO
TIME/DIV	Час/поділка	0,5 мс/дел (0,5 ms/div)
SWP.VER	Розгортка плавно	Відтиснутий
POSITION	Положення	Середнє положення
X10 MAG	Розтягування в 10 разів	Відтиснутий

і напруги, яка досліджується, на горизонтальні і вертикальні пластини відповідно.

Для примусового підтримання необхідної кратності частот напруги розгортки і напруги, яка досліджується, здійснюється синхронізація. Синхронізація може бути зовнішня і внутрішня від мережі (50 Гц). Внутрішня синхронізація виконується самим сигналом, як це показано на рис. 2.1.

Перелік приладів:

- а) двохканальний осциллограф GOS-620/620FG
- б) генератор сигналів високої частоти FG-32
- в) цифровой мультиметр APPA 82 або M890 G
- г) электромеханический тестер Ц 4324.

2.4. Порядок виконання роботи

В лабораторній роботі необхідно виміряти амплітуду, частоту і період синусоїдального, трикутного і прямокутного сигналів тривалістю, яка встановлюється викладачем, за допомогою осцилографа, мультиметра і тестера. Необхідно враховувати, що амплітудне значення змінної напруги і діюче значення напруги мають різні співвідношення.

Для синусоїдального сигналу

$$U_A = U_D \cdot \sqrt{2}, \quad (2.4)$$

де U_A – амплітудне значення сигналу;
 U_D – діюче значення сигналу.

Для трикутного сигналу

$$U_A = U_D \cdot \sqrt{3}. \quad (2.5)$$

Послідовність імпульсів характеризується шпаруватістю

$$q = \frac{T}{\tau_{з\ i}}, \quad (2.6)$$

де T – період проходження імпульсів;
 $\tau_{з\ i}$ – тривалість імпульса.

Для прямокутного сигналу зі шпаруватістю q




$$U_A = U_D \cdot q. \quad (2.7)$$

. Період і частота сигналу мають співвідношення

$$f = \frac{1}{T}. \quad (2.8)$$

Результати вимірювань і обчислень занести в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 –Вимірювання амплітудного і дійсного значень змінної напруги

Форма сигна- ла	Параметр, який вимі- рю-ється	Вимірювання		
		Ампліту- дне зна- чення сигналу на осцило- графі	Дійсне зна- чення сигналу на мульти- метрі М 890 G	Дійсне зна- чення сигна- лу на тестері Ц4324
	<i>u</i>			
	<i>f</i>			–
	<i>u</i>			
	<i>f</i>			–
	<i>u</i>			
	<i>q</i>		–	–

Контрольні питання до лабораторної роботи

1. Поясніть пристрій і принцип дії електронно-променевої трубки.
2. Вкажіть призначення основних блоків осцилографа.
3. Поясніть процес роботи блоку розгортки.
4. Як визначається тривалість імпульсів по зображенню на екрані осцилографа?
5. Яким чином за допомогою осцилографа визначити частоту сигналу, який досліджується.
6. Як за допомогою осцилографа визначити амплітуду сигналу, який досліджується.
7. Чим відрізняється амплітудне та дійсне значення змінної напруги.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ДІОДІВ

Мета роботи

Вивчити принцип дії і характеристики напівпровідникових діодів.
Ознайомитися з методикою зняття вольт-амперних характеристик.

3.1. Принцип дії напівпровідникового діода

Напівпровідниковим діодом називають електроперетворюючий напівпровідниковий прилад з одним електричним переходом, має два виводи. В діодах p - n -перехід утворюється двома напівпровідниками з різними типами провідності.

На межі двох напівпровідників (рис. 3.1), за рахунок явища дифузії, електрони з n -області переміщуються в p -область. В напівпровіднику в граничному шарі залишаються позитивно заряджені іони, таким чином створюється так званий замикаючий шар. Виникає просторовий заряд з напруженістю поля $E_{зш}$. Електричне поле направлено від n -області до p -області. Це електричне поле перешкоджає подальшому руху електронів в область через p - n -перехід. Крізь замикаючий шар можуть рухатися тільки неосновні носії.

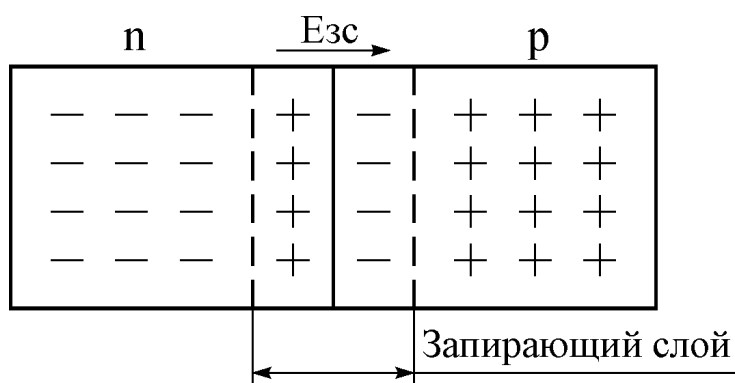


Рисунок 3.1– Виникнення замикаючого шару у p - n переході.

Зовнішня напруга U , прикладена до переходу, залежно від полярності буде посилювати або послаблювати дію поля замикаючого шару $E_{зш}$. Якщо "+" прикладений до n -області, а "-" до p -області (тобто підключена зворотня напруга), то електричне поле, створене зовнішнім джерелом живлення, $E_{зв}$ буде підсумовуватися з полем $E_{зш}$ замикаючого шару. При цьому величина замикаючого шару зростає, і ще менша кількість основних носіїв може подолати дію цього поля і перейти в сусідню область.

Через перехід проходить невеликий зворотний струм $I_{зв}$, обумовлений рухом неосновних носіїв.

Якщо зовнішню напругу прикласти в прямому напрямку, то зовнішнє електричне поле ($E_{пр}$) буде направлено назустріч полю замикаючого шару. У цьому випадку ширина замикаючого шару почне зменшуватися і при напрузі зовнішнього джерела, рівного 0,5..0,6 В, замикаючий шар повністю зникає. Опір переходу знижується і через нього проходить значний струм.

Основними параметрами випрямляючих діодів є:

$U_{пр}$ —пряма напруга;

$I_{пр}$ —прямий струм;

$U_{зв\ max}$ —максимально допустима зворотня напруга;

$I_{зв}$ —зворотний струм.

Якщо зовнішню напругу прикласти в зворотному напрямку, то зовнішнє електричне поле в замикаючому шарі стає настільки сильним, що здатне вирвати електрони з валентної зони в зону провідності (ефект Зенера). Зворотний струм зростає за рахунок додаткових носіїв і, якщо його не обмежувати, виникає тепловий пробій p - n -переходу. Зворотний струм менше прямого струму в тисячі разів (рис. 3.2).

Існують кремнієві діоди - стабілітрони, в яких електричний пробій може наступити і при малих напругах (0,7..14 В). Ці діоди можуть нормально працювати на ділянці електричного пробою p - n -переходу. Як видно з рис. 3.3, напруга $U_{ст}$ мало змінюється при значних змінах струму через стабілітрон $I_{ст}$. Це явище широко використовується в пристроях, що носять назву стабілізаторів напруги (рис.3.3).

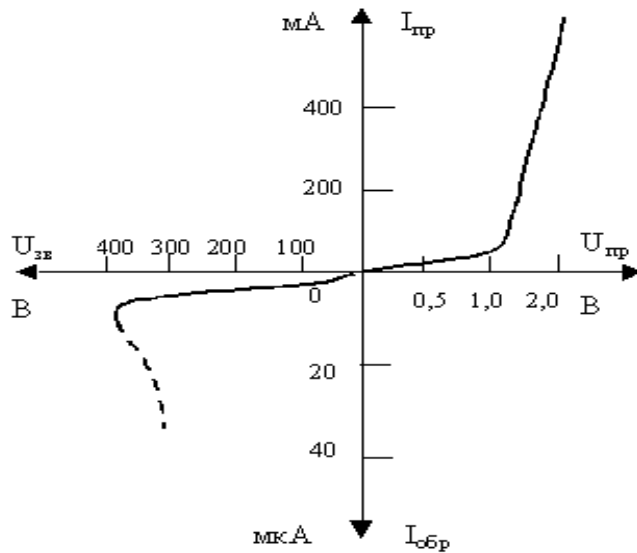


Рисунок 3.2–Вольт-амперна характеристика діоду, який випрямляє

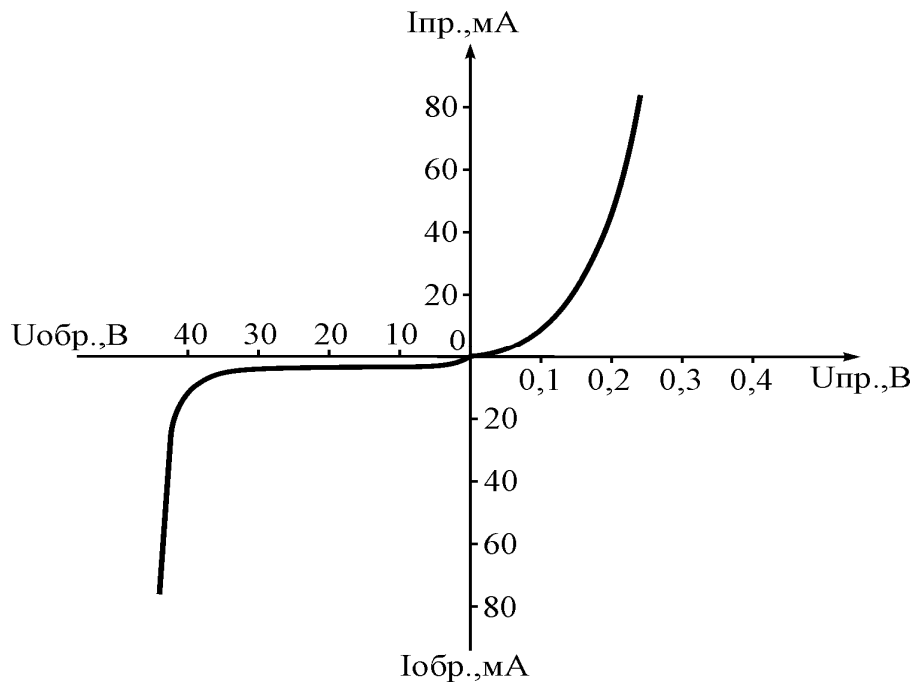


Рисунок 3.3– Вольт-амперна характеристика стабілітрона

На рис. 3.4 наведена принципова схема стабілізатора напруги. Припустимо, що вхідна напруга $U_{вх}$, відповідна струму 12 мА (див. рис. 3.3), збільшилася. При цьому зростає струм $I_{вх}$ і струм $I_{ст}$. Але на навантаженні R_H напруга U_H і струм I_H практично не змінюється. При цьому приріст напруги $\Delta U_{вх}$ падає на баластному опорі R_6 .

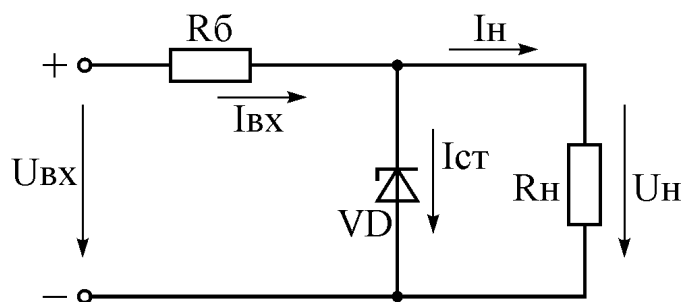


Рисунок 3.4– Схема параметричного стабілізатора напруги

$$\Delta U_{\text{âõ}} = \Delta I_{\text{âõ}} \cdot R_{\text{á}}. \quad (3.1)$$

Значення баластного опору визначається з рівняння стану електричного кола:

$$R_{\text{á}} = \frac{U_{\text{âõ}} - U_{\text{í}}}{I_{\text{ñò}} + I_{\text{í}}}. \quad (3.2)$$

Для більшості стабілітронів струм стабілізації лежить в межах від 3 до 30 мА. Тому звичайно середній струм через стабілітрон з урахуванням можливої зміни напруги на вході вибирається порядку 12...15 мА

3.2. Перелік приладів:

- а) блок для дослідження характеристик напівпровідникових діодів ;
- б) універсальне джерело живлення;
- в) комбінований вимірювальний прилад - 2 шт. АРРА – 82.

3.3. Порядок виконання роботи

3.3.1. Побудова вольт-амперної характеристики діода в прямому включенні

Підготувати джерело живлення до роботи:

- а) ручки регуляторів напруги і струму I і II каналу повернути проти годинникової стрілки до упору;

б) кнопки "СИНХРОНІЗАЦІЯ" встановити в режим "НЕЗАЛЕЖНО";

в) включити джерело живлення (кнопка "POWER");

г) налаштувати обмежувач струму I каналу джерела живлення:

- з'єднати провідником клеми "+" і "-" I каналу джерела живлення;

- повернути ручку "НАПРУГА" регулятора напруги $\sim 30^\circ$ за часовою стрілкою;

- перемикач індикатора встановити в положення "АМР" для виведення на індикацію струму I каналу джерела живлення;

- ручкою "СТРУМ" виставити обмеження струму 0,35А;

- повернути ручку "НАПРУГА" регулятора напруги проти часової стрілки до упору;

- від'єднати провідник, що з'єднує клеми "+" і "-" I каналу джерела живлення;

д) перемикач індикатора встановити в положення "VOLT" і ручкою "НАПРУГА" виставити 3,5В.

Підготувати до роботи вимірювальні прилади АРРА80/82, один у режимі вимірювання постійного струму (ручка режимів в положенні "А"), інший у режимі вимірювання постійної напруги (ручка режимів в положенні "V").

Зібрати схему згідно з рис. 3.5. При цьому ручка потенціометра "R_{д2}" у вихідному стані повинна знаходитися в нижньому за схемою положенні.

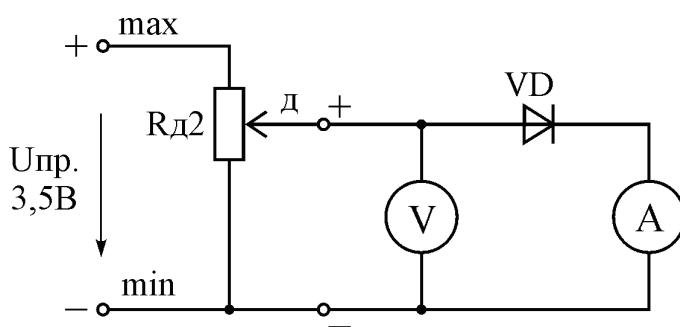


Рисунок 3.5– Схема для одержання вольт-амперної характеристики діода при прямому включенні

Плавно обертаючи ручку потенціометра "R_{д2}" необхідно змінювати струм, який протікає через VD, від 0 до 300мА, фіксуючи показання приладів.

Результати вимірювань занести в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1–Результати вимірювань прямої гілки вольт-амперної характеристики діода

$I_{np.}, \text{mA}$	0,1	0,5	1	5	10	20	40	80	160
$U_{np.}, \text{V}$									

3.3.2. Побудова вольт-амперної характеристики діода у зворотному включенні

Встановити вихідну напругу I каналу джерела живлення рівним 0 В. Для цього повернути ручку регулятора напруги I каналу проти годинникової стрілки до упору.

Підготувати до роботи вимірювальні прилади АРРА80/82, один у режимі вимірювання постійного струму (ручка режимів в положенні "μA"), другий в режимі вимірювання постійної напруги (ручка режимів в положенні "V").

Зібрати схему згідно з рис. 3.6.

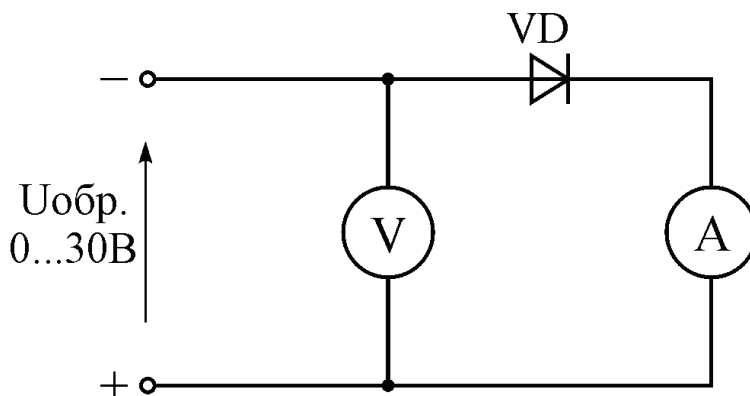


Рисунок 3.6– Схема для одержання вольт-амперної характеристики діода при прямому включенні

Плавно обертаючи ручку "НАПРУГА" джерела живлення змінювати напругу від 0 до 30 В, фіксуючи показання приладів. Результати вимірювань занести в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2– Результати вимірювань зворотної гілки вольт-амперної характеристики діода

$U_{зв}, \text{V}$	1	2	3	5	10	15	20	25	30
$I_{зв}, \text{мкА}$									

Розрахувати значення статичних і диференціальних (динамічних) опорів діода при прямому і зворотньому включенні (рис. 3.7).

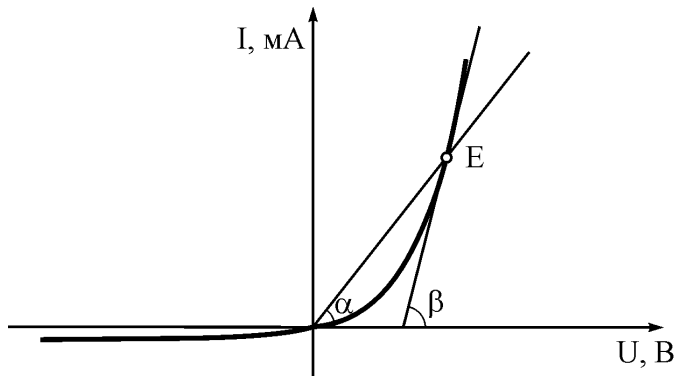


Рисунок 3.7– Принцип побудови статичних і динамічних опорів діода

$$r_{\Delta} = \frac{dU}{dI} \approx \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{m_U}{m_I} \operatorname{ctg} \beta; \quad (3.3)$$

$$R_{\text{ст}} = \frac{U_E}{I_E} = \frac{m_U}{m_I} \operatorname{ctg} \alpha. \quad (3.4)$$

. Використовуючи дані таблиці 3.1. і таблиці 3.2. побудувати вольт-амперну характеристику діода. Масштаб напруги для зворотного включення діода (третій квадрант графіка) візьміть у 100 разів більше, а масштаб струму в 1000 разів більше, ніж для прямого включення діода.

Результати розрахунків занести в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3– Результати розрахунків статичних і динамічних опорів діода

	Пряма ВАХ	Зворотня ВАХ
r_{Δ}		
$R_{\text{ст}}$		

3.3.3. Побудова вольтамперної характеристики стабілітрона

Підготувати джерело живлення до роботи:

- а) ручки регуляторів напруги і струму I і II каналу повернути проти годинникової стрілки до упору;
 б) кнопки "СИНХРОНІЗАЦІЯ" встановити в режим "НЕЗАЛЕЖНО";
 в) включити джерело живлення (кнопка "POWER");
 г) налаштувати обмежувач струму I каналу джерела живлення:
 - з'єднати провідником клемами "+" і "-" I каналу джерела живлення;
 - повернути ручку "НАПРУГА" регулятора напруги $\sim 30^\circ$ за часовою стрілкою;
 - перемикач індикатора встановити в положення "АМР" для виведення на індикацію струму I каналу джерела живлення;
 - ручкою "СТРУМ" виставити обмеження струму 0,8А;
 повернути ручку "НАПРУГА" регулятора напруги проти часової стрілки до упору;
 - від'єднати провідник, що з'єднує клемами "+" і "-" I каналу джерелника живлення.

д) перемикач індикатора встановити в положення "VOLT" і ручкою "НАПРУГА" виставити 0В.

Підготувати до роботи вимірювальні прилади APPA80/82, один у режимі вимірювання постійного струму (ручка режимів в положенні "А"), інший у режимі вимірювання постійної напруги (ручка режимів в положенні "V").

Зібрати схему згідно з рис. 3.8. В якості вольтметра V1 використовувати індикатор джерела живлення. Перемикач S1 встановити в замкнуте положення, а S2 - в розімкнуте.

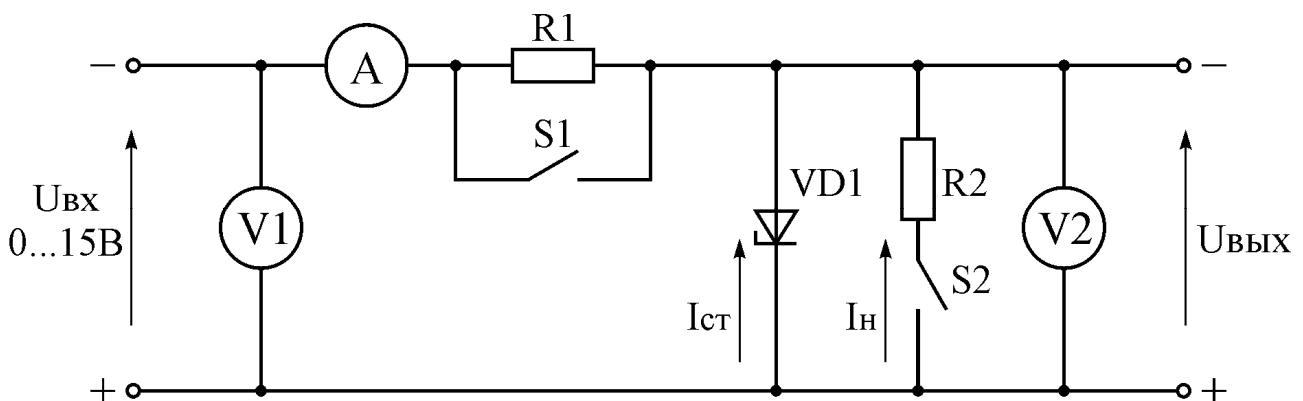


Рисунок 3.8– Схема для зняття характеристик стабілітрона

Плавно обертаючи ручку "НАПРУГА" джерела живлення змінювати напругу від 0 до 6 В, фіксуючи показання приладів.

Результати вимірювань занести в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4–Результати вимірювань вхідних параметрів стабілізатора

$U_{ВХ}, В (V1)$	1	2	3	4	4,5	5	5,3	5,5
$I, мА$								

Побудувати зворотню гілку вольт-амперної характеристики стабілітрона $I = f(U_{\hat{A}\tilde{O}})$.

На вольт-амперній характеристиці стабілітрона побудувати лінійаризовану характеристику області пробою стабілітрона. Визначити диференційний опір стабілітрона в області пробою.

Таблиця 3.5–Вихідні характеристики стабілітрона

$E_{ПРОБ}$	
$r_{Д}$	

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДО РОБОТИ

1. Поясніть процес утворення замикаючого шару у $p-n$ -переході.
2. Поясніть виникнення струму через $p-n$ -перехід при підключенні діода в прямому напрямку.
3. Поясніть виникнення струму через $p-n$ -перехід при підключенні діода у зворотному напрямку.
4. Яким чином виникає лавинний і тепловий пробій $p-n$ -переходу?
5. З якою метою в стабілізаторі напруги встановлюється баластний опір?
6. Зобразіть вольт-амперну характеристику випрямного діода.
7. Зобразіть вольт-амперну характеристику стабілітрона.
8. Поясніть відмінність динамічного (диференційного) опору від статичного. Для яких елементів ці опори рівні за величиною.
9. Запишіть лінійаризовані рівняння стабілітрона в області пробою.
10. Дайте визначення вихідного диференційного опору стабілітрона.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИПРЯМНОГО ПРИСТРОЮ

Мета роботи

Ознайомитися зі схемами випрямлення і зі схемами згладжуючих фільтрів. Дослідити роботу випрямного пристрою з навантаженням.

4.1.Схеми випрямлячів змінного струму

Основним елементом випрямного пристрою є вентиль, тобто прилад, що володіє односторонньою провідністю. Для випрямлячів однофазного змінного струму найбільш широко використовують два типи випрямлячи: однонапівперіодний і двонапівперіодний мостовий.

Схема однонапівперіодного випрямляча показана на рис.4.1.

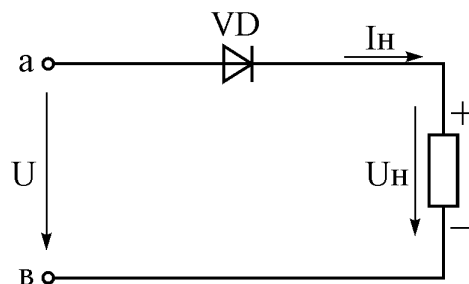


Рисунок 4.1– Схема однонапівперіодного випрямляча

Струм в навантажувальному резисторі R_n з'являється тільки в ті періоди часу (або ті напівперіоди напруги U), коли потенціал точки "а" позитивний по відношенню до потенціалу точки "в", оскільки в цьому режимі вентиль відкритий. Коли ж потенціал точки "а" негативний по відношенню до потенціалу точки "в" - вентиль закритий, струм у навантаженні дорівнює нулю. Таким чином, струм в резисторі має пульсуючий характер (рис. 4.2).

Недоліком однонапівперіодного випрямляча є високий рівень пульсації. Цього недоліку кілька позбавлений двонапівперіодний

випрямляч, в якому використовуються обидва напівперіоди напруги мережі.

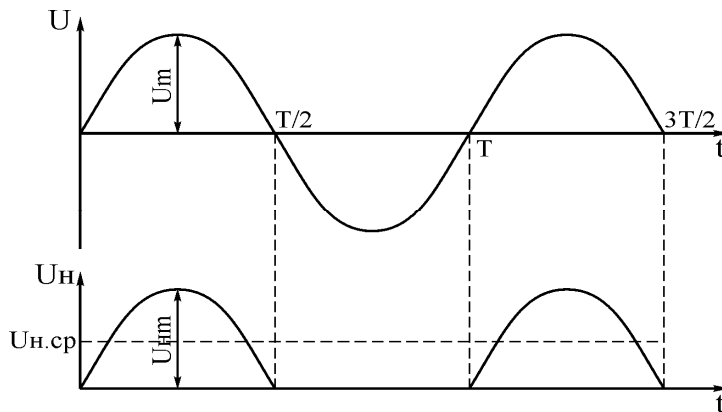


Рисунок 4.2– Часові діаграми напруг однонапівперіодного випрямляча

Випрямляч характеризується коефіцієнтом пульсацій, який дорівнює відношенню напруги основної гармоніки U_{nm} до середньо випрямленої напруги $U_{н.сп}$

$$\delta = \frac{U_{i m}}{U_{i .\bar{n}\delta}} \quad (4.1)$$

Для однонапівперіодного випрямляча коефіцієнт пульсацій дорівнює 1,57.

Найбільш поширений мостовий випрямляч (рис.4.3), в якому вентилях $VD1-VD4$ включені за мостовою схемою. До однієї з діагоналей моста підведена змінна напруга від мережі, до іншої діагоналі підключений навантажувальний резистор.

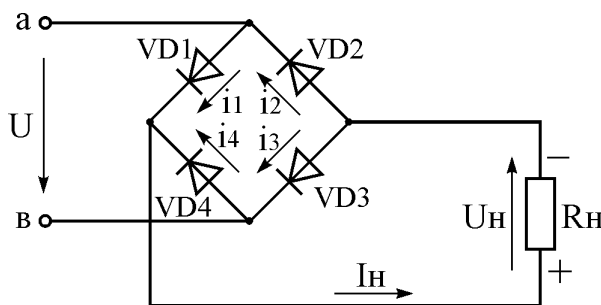


Рисунок 4.3– Схема двонапівперіодного мостового випрямляча

Протягом першого напівперіоду напруга мережі U , коли потенціал точки "а" позитивний по відношенню до потенціалу точки "в",

вентилі $VD1$, $VD3$ відкриті, і в навантаженні R_H виникає струм I_H . В цей час вентилі $VD2$, $VD4$ закриті. В інший напівперіод, коли потенціал точки "а" негативний вентилі $VD2$, $VD4$ відкриті, а вентилі $VD1$, $VD3$ закриті. У навантажувальному резисторі R_H струм має той же напрямок, що і в перший напівперіод напруги мережі (рис. 4.4).

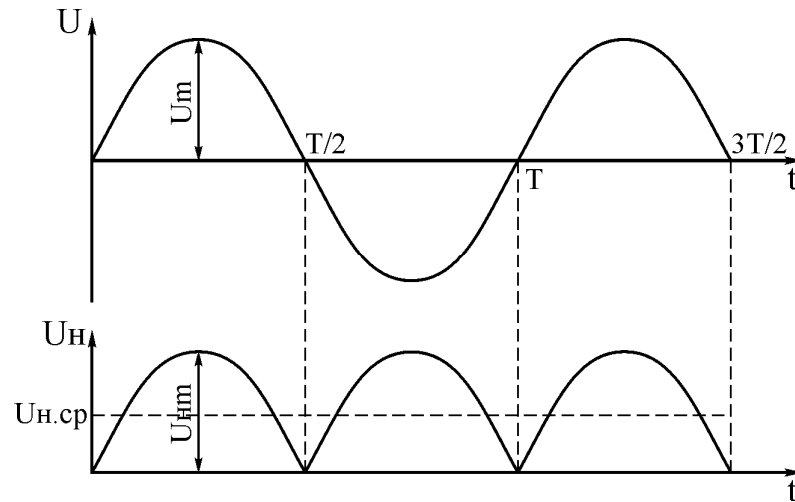


Рисунок 4.4– Часові діаграми напруг мостового випрямляча

Аналіз часових діаграм показує, що мостовий випрямляч має перевагу порівняно з однонапівперіодним випрямлячем, що середня напруга (отже, і струм) $U_{H.sp}$ в два рази більше, а коефіцієнт пульсацій значно менший і дорівнює 0,67.

4.2. Згладжуючі фільтри

Випрямлена напруга на навантаженні має пульсуючий характер і є періодичною і несинусоїдальною напругою. Вона може бути розкладена в ряд на постійну і гармонійні складові. Частота першої (основної) гармоніки для однонапівперіодного випрямляча дорівнює частоті випрямленої напруги (для мережі - 50 Гц), а для двонапівперіодного випрямляча - подвоєній частоті випрямленої напруги.

Амплітуда основної гармоніки значно перевищує амплітуди других гармонік. Тому за коефіцієнт пульсації p приймають відношення амплітуди основної гармоніки випрямленої напруги до її постійної складової.

Таким чином, одержану безпосередньо з випрямляча напругу використувати не можна. Для зниження пульсацій до необхідної величини служать згладжуючі фільтри.

Ефективність фільтрів оцінюється коефіцієнтом згладжування q , рівним відношенню коефіцієнтів пульсації на вході і виході фільтра

$$q = \frac{P_{\text{вх}}}{P_{\text{вих}}} \quad (4.2)$$

Коефіцієнт пульсацій напруги для живлення електронних пристроїв повинен становити $10^{-4} \dots 10^{-7}$.

Найпростішим згладжуючим фільтром є конденсатор. Існують різні згладжуючі фільтри, з використанням активних опорів та конденсаторів, так звані Г - і П-подібні.

Ємність фільтрів $C_{\text{ф}}$ включається паралельно навантажувальному резистору $R_{\text{н}}$ (рис.4.5).

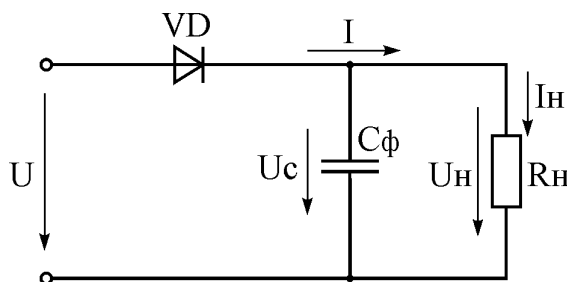


Рисунок 4.5– Схема включення ємнісного фільтра

При такому включенні конденсатор $C_{\text{ф}}$ заряджається через вентиль VD , до амплітудного значення напруги U_m тоді, коли струм через вентиль збільшується до максимального значення. Коли напруга на вентилі починає зменшуватися (рис.4.6) конденсатор $C_{\text{ф}}$ розряджається через навантаження $R_{\text{н}}$.

На (рис.4.6) показано спрощені часові діаграми напруги випрямлячів з ємнісним фільтром. Час t_1 відповідає початковому періоду, коли випрямляч підключається до мережі.

Конденсатор до кінця першої частини періоду заряджається до амплітудного значення U_m . Під час другої чверті і частини третьої чверті ("б") та другої чверті і другого напівперіоду змінної напруги (для "а") конденсатор розряджається через навантаження $R_{\text{н}}$, тобто

віддає частину запасеної електричної енергії в навантаження (інтервал t_2).

Наприкінці часового інтервалу t_2 напруга $U_c = U_H$ дещо знижується: у однонапівперіодного більше, а у двонапівперіодного - менше. В період часу t_3 відбувається процес зарядки конденсатора C_ϕ , тому вентиль в цей момент відкривається, і електрична енергія знову подається на C_ϕ і R_H від мережі.

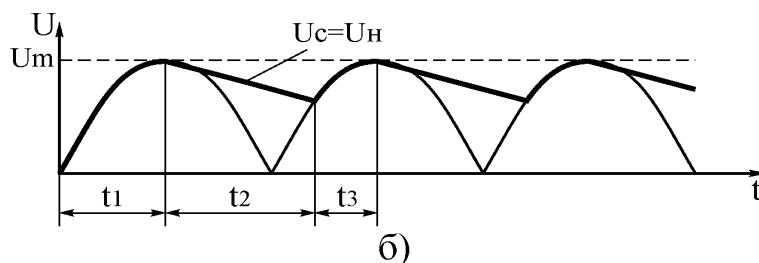
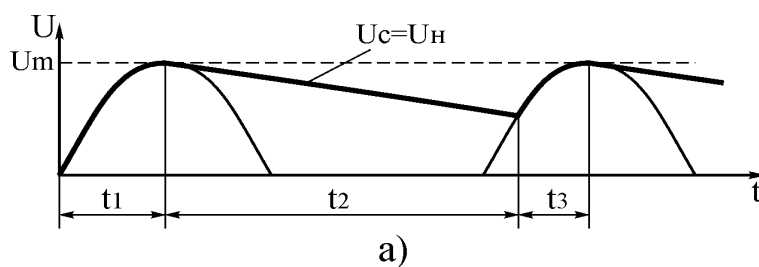


Рисунок 4.6– Часові діаграми напруг однонапівперіодного ("а") і двонапівперіодного ("б") випрямлячів з ємнісним фільтром

На (рис.4.6) видно, що при включенні ємнісного фільтра напруга U_H не зменшується до нуля, а пульсує в деяких межах, збільшуючи середнє значення випрямленої напруги. Якщо опір R_H зменшити (тобто збільшити I_H), то пульсації на навантаженні і C_ϕ збільшаться. Зазвичай ємність C_ϕ вибирають такої величини, щоб для основної гармоніки випрямленої напруги опір конденсатора був багато менше опора навантаження R_H тобто:

$$R_i > \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{ін}} \cdot \tilde{N}_o} \cdot \quad (4.3)$$

Існують більш складні фільтри для випрямлячів. Таким, наприклад, являється Г-подібний RC -фільтр (рис.4.7). Цей фільтр звичайно застосовується, коли струм в навантаженні не перевищує декілька десятків міліампер.

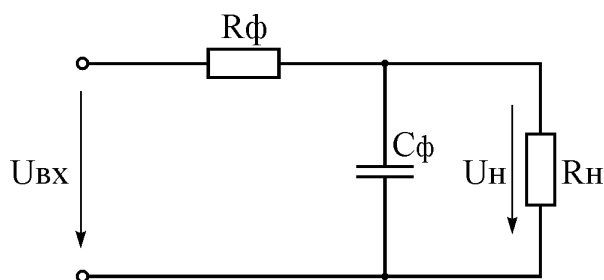


Рисунок 4.7– Схема Г-подібного RC-фільтра

В такому згладжуєчому фільтрі, при, $X_{c\phi} < R_{\phi}$ на резисторі R_{ϕ} створюється значно більше падіння напруги від змінної складової впрямленого струму, ніж від постійної складової. Звичайно для RC-фільтрів виконується співвідношення

$$\frac{R_1}{R_1 + R_0} = 0,5 \dots 0,9.$$

Г-подібний фільтр забезпечує значно менші пульсації напруги на навантаженні, ніж простий емнісний фільтр.

4.3. Перелік приладів:

- а) блок для дослідження випрямного пристрою;
- б) універсальне джерело живлення;
- в) комбіновані вимірювальні прилади – 2 шт. АРРА-82 або Ц4324;
- г) осцилограф GOS-620.

4.4. Порядок виконання лабораторної роботи

4.4.1. Зберіть схему для дослідження роботи однонапівперіодного випрямляча (рис.4.8).

У комбінованому вимірювальному приладі, включеному як вимірювач струму, натисніть кнопку "~" і встановіть перемикач меж вимірювання на положення 300 мА. Для приладу, що вимірює постійну напругу, межа вимірювання 30 В (кнопка "-" повинна бути натиснута). До виходу випрямляча підключіть електронний осцилограф (вхід "Y").

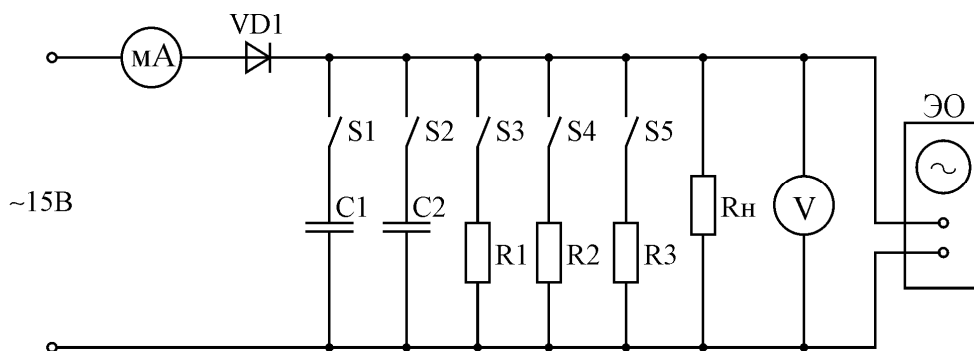


Рисунок 4.8– Схема однонапівперіодного випрямляча


Увімкніть джерело змінної напруги і встановіть на його виході амплітуду $\sim U = 15 \text{ В}$.

При відключених перемикачах П1-П5 замалюйте зображення форми напруги на екрані осцилографа.

Увімкніть S1 - (тобто ємнісний фільтр C1).

Доповніть попередній рисунок кривої напруги прямою лінією, що проходить по вершинах півхвиль. Показання вольтметра U занесіть в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 –Результати дослідження однонапівперіодного випрямляча

	№ п.п.	1	2	3	4	5	6	 VD1
C_1	$U, \text{ В}$							
	мА							
$C_1 + C_2$	$U, \text{ В}$							
	мА							

Увімкніть S3 (навантаження R1). Доповніть попередній малюнок (осцилограму) лінією, що зображає пульсації напруги на навантаженні (за аналогією з рис.4.6). Показання вольтметра і міліамперметра занесіть у таблицю 4.1 (графу 2). Повторіть попередні операції при додатковому з'єднанні S4 і S5 (тобто при збільшенні струму в навантаженні).

Паралельно конденсатору C1 підключіть C2 (включіть S2).

Доповніть попередню осцилограму додатковими кривими пульсації при різних навантаженнях. Дані вимірювання занесіть в таблицю 4.1.

4.4.2. Зберіть схему для дослідження роботи мостового випрямляча (рис.4.9). Замалюйте осцилограму напруги і занесіть результати вимірювань в таблицю 4.2 (аналогічно пункту 4.1.).

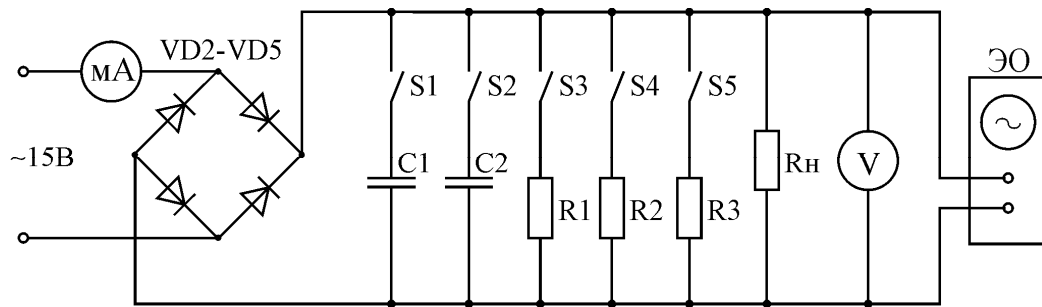


Рисунок 4.9– Схема мостового або двонапівперіодного випрямляча

Таблиця 4.2 –Результати дослідження мостового випрямляча

№ п.п.		1	2	3	4	5	6	
C ₁	U, В							
	mA							
C ₁ + C ₂	U, В							
	mA							

5.3. Побудуйте (на одному графіку) зовнішні характеристики однонапівперіодного і мостового випрямлячів.

5.4. Визначте, у скільки разів (по осцилограмам напруги) значення пульсації напруги на навантаженні (при включеному C1) в мостовому випрямлячі менше, ніж у однонапівперіодному.

Контрольні питання до роботи

1. Які елементи містить випрямний пристрій?
2. Яка роль конденсатора, що підключається паралельно опору навантаження?
3. Зобразити процес згладжування пульсацій напруги в однонапівперіодному випрямлячі з найпростішим фільтром.
4. Зобразити процес згладжування напруги в двонапівперіодному випрямлячі.
5. Коефіцієнт пульсацій однонапівперіодного випрямляча і двонапівперіодного випрямляча.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНЗИСТОРІВ

Мета роботи

Вивчити принцип дії і характеристики біполярних і уніполярних транзисторів. Ознайомитися з методикою зняття вольт-амперних характеристик транзисторів.

5.1. Принцип дії біполярного транзистора

Транзистором називається електроперетворюючий напівпровідниковий прилад з одним або декількома електричними переходами, що має три або більше електродів. Транзистори з двома *p-n*-переходами носять назву біполярних. Вони мають різні типи носіїв зарядів - електронів і дірок.

Згідно з чергуванням областей з різним типом електропровідності біполярні транзистори поділяються на *p-n-p* і *n-p-n*. Умовні позначення біполярних транзисторів (надалі для простоти транзисторів) показані на рис.5.1.



Рисунок 5.1—Умовні позначення транзисторів

Для прикладу розглянемо роботу транзистора *n-p-n*-структури (рис.5.2).

Центральний шар транзистора називають базою, джерело носіїв заряду (для *n-p-n* - електрони), лівий за схемою шар - емітер, шар, збираючий носії зарядів – колектор. На перехід емітер-база напруга подається в прямому напрямку, тому навіть при малих напругах через нього проходить значний струм. На перехід колектор-база, на-

пруга подається в зворотному напрямку. Ця напруга має бути значно більше напруги емітер-база.

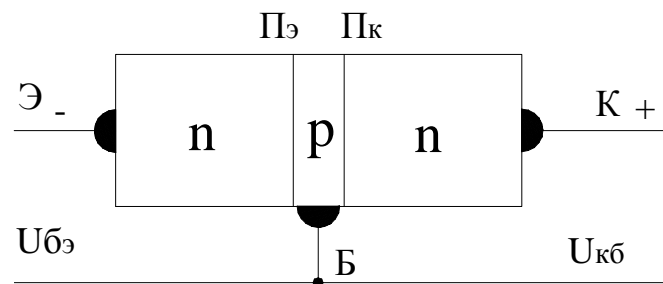


Рисунок.5.2– Рух носіїв заряду в транзисторі

Поки струм емітера дорівнює нулю $I_e=0$, струм у колекторі обумовлений рухом тільки неосновних носіїв заряду (дірок), які знаходяться в колекторі і базі, і має мале значення I_{k0} .

При підключенні напруги $U_{бэ}$ виникає струм емітера I_e . Електрони, що потрапили в область бази частково рекомбінують з її дірками.

Однак базу зазвичай виконують з малою концентрацією домішок і лише деякі електрони, що потрапили в область бази, рекомбінують з її дірками, утворюючи базовий струм I_b . Більшість електронів під впливом електричного поля колектора (напрямок поля від колектора до бази) досягає колектора, утворюючи струм I_k .

Зв'язок між приростом емітерного і колекторного струмів характеризується коефіцієнтом передачі струму

$$\alpha = \frac{\Delta I_{\hat{e}}}{\Delta I_{\hat{y}}} < 1. \quad (5.1)$$

У розглянутому випадку база є загальним електродом для емітерного і колекторного ланцюгів. Така схема включення транзисторів називається схемою із загальною базою, при цьому емітерний ланцюг є вхідною ланкою, а колекторний – вихідною. Однак схему з загальною базою застосовують рідко через низький коефіцієнт передачі струму.

Основною схемою включення транзистора вважають схему, в якій загальним електродом для вхідного і вихідного ланцюгів по змінному струму є емітер (рис.5.3).

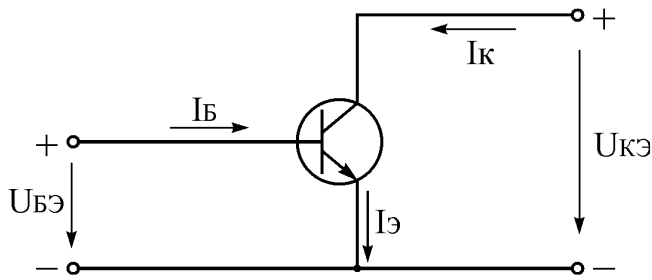


Рисунок.5.3–Включення транзистора по схемі із загальним емітером

Для такої схеми включення виконується рівність:

$$I_{\text{к}} = I_{\text{а}} - I_{\text{е}} = (1 - \alpha) \cdot I_{\text{а}} - I_{\text{е}0}, \quad (5.2)$$

$$I_{\text{а}} \ll I_{\text{е}} \approx I_{\text{а}}. \quad (5.3)$$

Мале значення управляючого струму $I_{\text{б}}$ обумовило широке застосування схеми з загальним емітером. Коефіцієнт передачі струму для схеми із загальним емітером

$$\beta = \frac{\Delta I_{\text{е}}}{\Delta I_{\text{а}}} = 10..1000. \quad (5.4)$$

Залежність $I_{\text{а}} = f(U_{\text{ае}})$ при постійній напрузі $U_{\text{ке}}$ називають вхідною характеристикою, а залежність струму $I_{\text{а}} = f(U_{\text{еа}})$ при постійному струмі $I_{\text{б}}$ називають вихідною характеристикою (рис.5.4).

За допомогою вхідних і вихідних характеристик транзистора можна визначити його деякі параметри, наприклад, вхідний та вихідний опір та коефіцієнт підсилення за струмом. У схемі з загальним емітером значення вхідного опору транзистора досягає декілька сотень Ом, вихідного - одиниць кОм. Коефіцієнт підсилення транзистора за струмом для схеми з загальним емітером досягає декілька сотень.

Вхідний опір транзистора визначається за допомогою вхідних характеристик (рис. 5.4а) за формулою

$$R_{\hat{a}\hat{o}} = \frac{\Delta U_{\hat{a}\hat{a}}}{\Delta^2_{\hat{a}}} \quad (5.5)$$

Вихідний опір транзистора визначається по вихідним характеристикам (рис. 5.4б) за формулою

$$R_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}} = \frac{\Delta U_{\hat{e}\hat{a}}}{\Delta^2_{\hat{e}}} \quad (5.6)$$

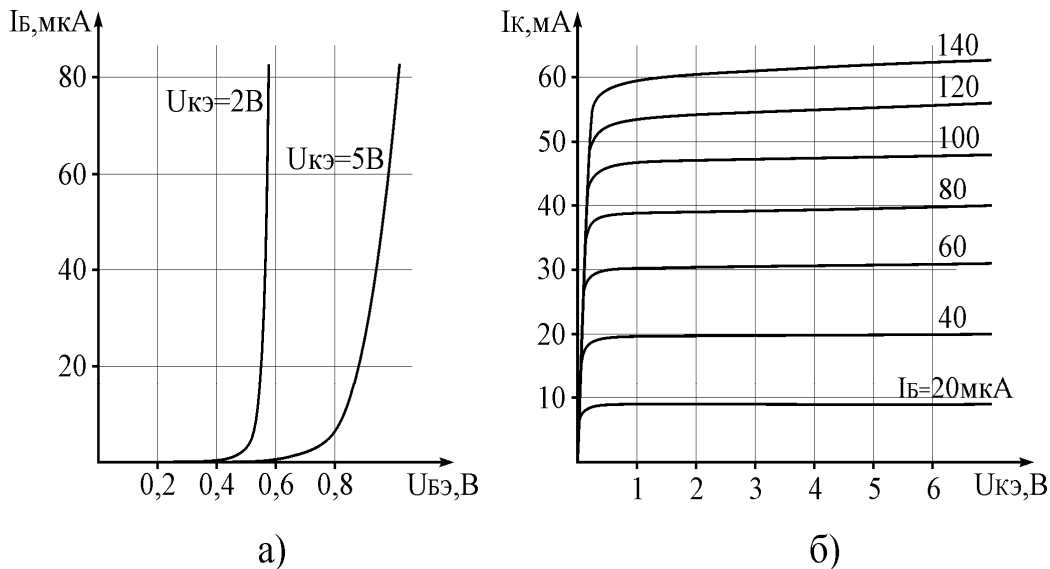


Рисунок 5.4– Сімейство вольт-амперних характеристик біполярного транзистора: а) вхідні; б) вихідні

Вхідним струмом у схемі з загальним емітером є струм бази, а вихідним струмом є струм колектора.

5.2. Принцип дії польового транзистора

Польовим транзистором називають прилад, в якому струм через канал управляється електричним полем, що виникає з прикладанням напруги між затвором і витоком.

Якщо на стрижень напівпровідника, наприклад, p -типу, нанести поясок домішки n -типу, то на межі розділу областей з різною провідністю створюється p - n -перехід (рис.5.5).

Концентрація домішок в n -області робиться значно вище, ніж в p -області. При цьому замикаючий шар, збіднений основними носіями, що виникає під дією прикладеного через перехід

зворотної напруги (U_z), буде майже цілком розташований в ділянці p -типу.

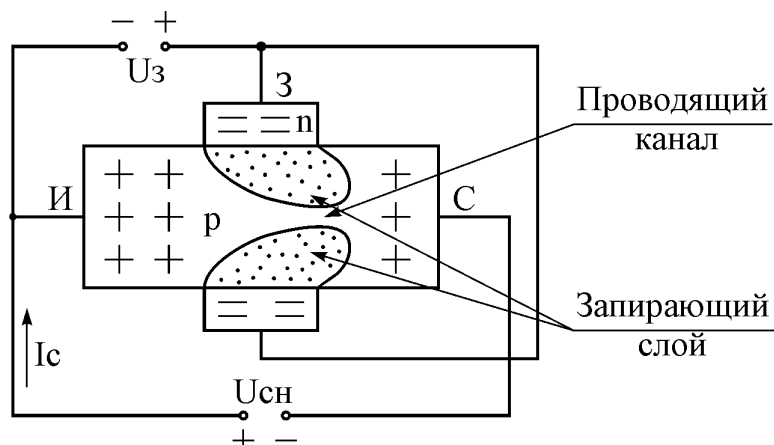


Рисунок 5.5–Структурна схема польового транзистора

При подачі напруги $U_{св}$ між точками I і $З$ напівпровідника p -типу, провідність його буде в основному визначатися провідністю проводячого каналу. Струм I_c , що виникає, буде складатися з потоку дірок напівпровідника p -типу. Дірки будуть рухатися в напрямку електричного поля E . Вивід I , від якого починається рух дірок - витік; вивід $С$ носить названня стік. Керуючий електрод $З$ зветься затвор.

Польові транзистори часто називають уніполярними, оскільки носіями струму є заряди одного знака (або n або p). Умовне зображення польового транзистора показано на рис.5.6.



Рисунок 5.6– Умовне позначення польового транзистора:
а) канал n -типу; б) канал p -типу

Відключимо джерело напруги U_z і з'єднаємо точки I і $З$ накоротко. Із збільшенням U_c буде зростати струм стоку I_c і зростати зворотне зміщення p - n -переходу (затвор - напівпровідниковий стрижень). При цьому замикаючий шар буде розширюватися, канал, що проводить - звужуватися. При певному струмі I_c збільшення на-

пруги U_c настільки звужить канал, що струм I_c перестане збільшуватися.

Ця напруга називається напругою відсічення, а струм, який відповідає цій напрузі називають струмом насичення $I_{нас}$ (рис.4-7). Якщо від'єднати затвор від витока и подати між В и З напругу U_3 , то при збільшенні U_3 , навіть при відсутності напруги U_{cb} , канал буде звужуватись.

Якщо одночасно з подачею U_3 , підключити U_{cb} , то відсічення наступить раніше, ніж при відсутності напруги U_3 (рис.5.7).

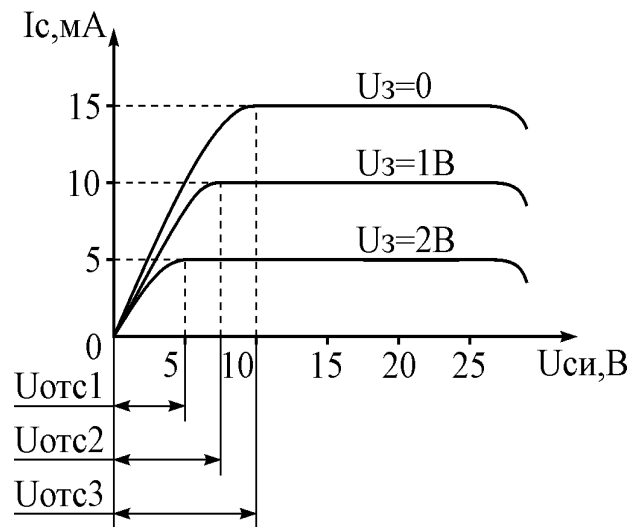


Рисунок 5.7– Сімейство стоківих характеристик польового транзистора

З метою подальшого зменшення струму затвора застосовують польові транзистори з ізолюваним затвором, в яких між затвором і каналом розміщують тонкий шар діелектрика, а $p-n$ -перехід відсутній.

В таких транзисторах на затвор можна подати як позитивну, так і негативну напругу щодо витоку. Вольт-амперні характеристики транзисторів з ізолюваним затвором в основному аналогічні характеристикам транзисторів з неізолюваним затвором.

5.3. Перелік приладів:

- а) блок для дослідження характеристик транзисторів;
- б) універсальне джерело живлення - ЭПЗ.3003.33;
- в) комбінований вимірювальний прилад - 2 шт. АРРА-82.
- г) блок дільника напруги.

5.4. Порядок виконання лабораторної роботи

Зберіть схему для дослідження роботи біполярного транзистора (рис.5.8).

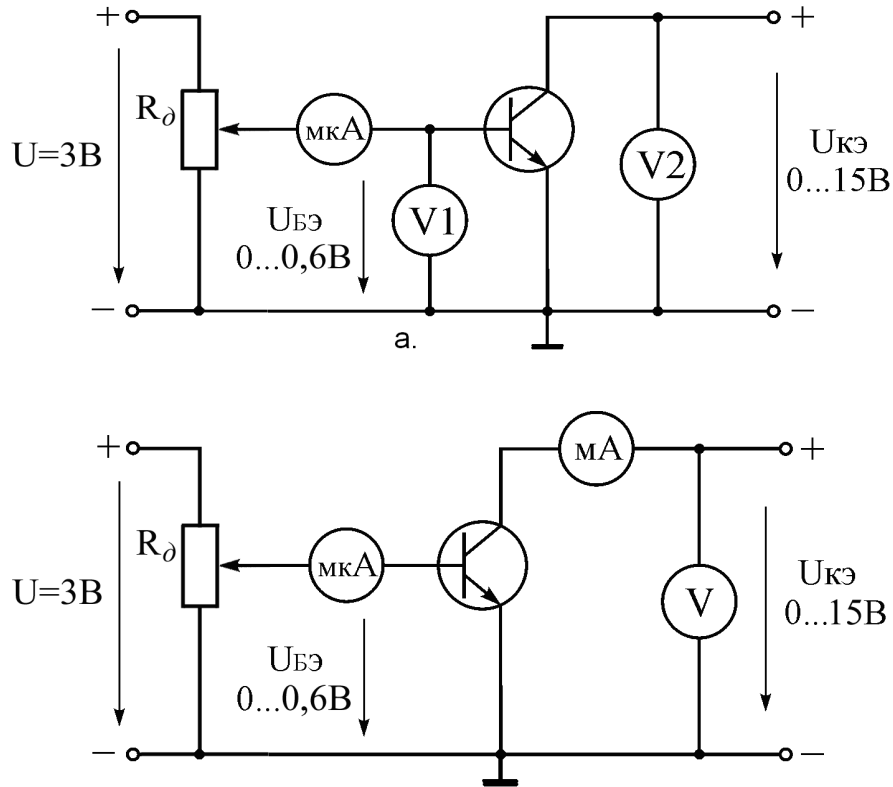


Рисунок 5.8– Схема для зняття вольт-амперних характеристик біполярного транзистора: а) вхідні характеристики; б) вихідні характеристики

Зніміть вхідні характеристики транзистора $I_{\dot{a}} = f(U_{\dot{a}\dot{y}})$, $U_{\dot{e}\dot{y}} = const$. Дані вимірювань занесіть в таблицю 5.1

Таблиця 5.1–Дослідження вхідних характеристик транзистора

$U_{\dot{b}\dot{e}}$, В							$U_{\dot{к}\dot{e}}$, В
$I_{\dot{b}1}$, мкА							0
$I_{\dot{b}2}$, мкА							5В

Зніміть вихідні характеристики транзистора $I_{\dot{e}} = f(U_{\dot{e}\dot{e}})$, $I_{\dot{a}} = const$. Дані вимірювань занесіть в таблицю 5.2.

Таблиця 5.2– Дослідження вихідних характеристик транзистора

$U_{ке}, В$							$I_{б}, мкА$
$I_{к1}, мА$							200
$I_{к2}, мА$							300
$I_{к3}, мА$							400

За даними таблиць 5.1 і 5.2 побудуйте сімейство вхідних і вихідних характеристик транзистора.

По вихідній характеристиці визначіть коефіцієнт передачі струму (β) транзистора, включеного за схемою із загальним емітером.

Зберіть схему для зняття сімейства стокових характеристик польового транзистора (рис. 5.9).

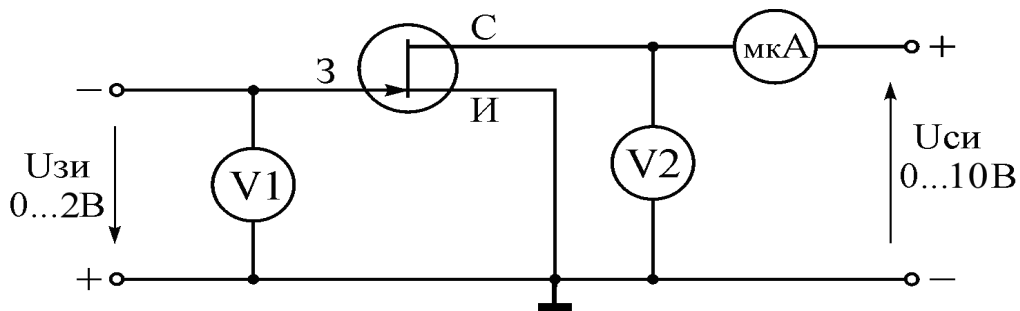


Рисунок 5.9– Схема для зняття стокових характеристик польового транзистора

Зніміть стокові характеристики польового транзистора $I_{\tilde{n}} = f(U_{\tilde{n}\hat{a}})$, $U_{\zeta} = const$. Дані вимірювань занесіть в таблицю 5.3.

За даними таблиці 5.3 побудуйте сімейство стокових характеристик польового транзистора.

Розрахуйте крутизну характеристики польового транзистора

$$S = \frac{\Delta I_{\tilde{n}}}{\Delta U_{\zeta}}, U_{\tilde{n}\hat{a}} = const \text{ по вихідним характеристикам.}$$

Таблиця 5.3–Дослідження стокових характеристик польового транзистора

$U_{св}, В$							$U_3, В$
$I_{c1}, мА$							0
$I_{c2}, мА$							1
$I_{c3}, мА$							2

Контрольні питання до роботи

1. Яке призначення елементів біполярного транзистора?
2. Чому в кожному елементі транзистора різна концентрація домішок?
3. В якому напрямку необхідно підключити *p-n* - переходи емітер-база і база-колектор?
4. Зобразити транзистор *n-p-n* структури, який включений за схемою з загальним емітером.
5. Зобразити вхідні і вихідні вольт-амперні характеристики біполярного транзистора, включеного за схемою з загальним емітером.
6. Пояснити принцип дії польового транзистора.
7. Зобразити сімейство стокових характеристик польового транзистора.
8. У чому полягають переваги польового транзистора.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПІДСИЛЮВАЧА НАПРУГИ

Мета роботи

Вивчити принцип дії і характеристики підсилювача напруги з RC-зв'язком. Ознайомитися з методикою зняття амплітудної і частотної характеристик підсилювача.

6.1. Принцип дії підсилювача напруги

Підсилювач напруги являє собою пристрій, на виході котрого отримують посилене напруге, яка повторює за формою вхідний сигнал.

Розрізняють підсилювачі з безпосереднім зв'язком (підсилювачі постійного струму), коли між каскадами і навантаженням немає поділу, і підсилювачі змінного струму. У підсилювачах змінного струму для зв'язку каскадів за змінним струмом і відділення постійної складової використовують різні розділювальні елементи: ємності (RC-підсилювачі), трансформатори, коливальні контури. На рис. 6.1. представлений один з найбільш поширених RC-підсилювачів на біполярному транзисторі, який включений за схемою з загальним емітером.

На цьому каскаді емітер є загальним електродом для вхідних і вихідних ланцюгів.

Резистор R_b , включений в ланцюг бази, забезпечує роботу транзистора в режимі спокою, тобто за відсутності вхідного сигналу. Він дозволяє отримати оптимальне значення струму бази, відповідне середині лінійної ділянки динамічної вхідної характеристики транзистора.

Конденсатор C_p служить для подачі вхідної напруги U_{ex} у ланцюг бази транзистора VT. При відсутності цього конденсатора в ланцюзі

джерела вхідного сигналу створювався б постійний струм від джерела живлення попереднього підсилювача E_k .

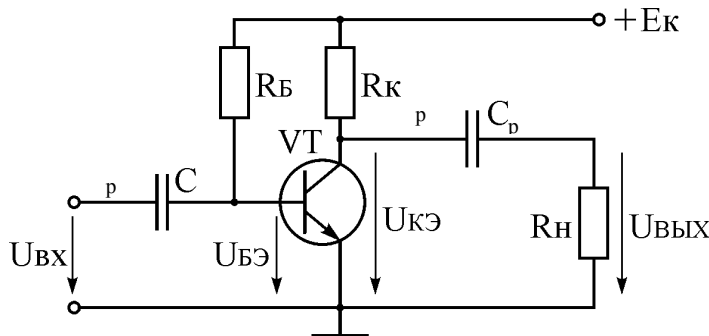


Рисунок 6.1– Схема RC-підсилювача з загальним емітером

Конденсатор зв'язку C_p на виході підсилювального каскаду забезпечує виділення з колекторної напруги $U_{ке}$ змінної складової, яка подається на навантаження R_n або на наступний каскад підсилення напруги (в багатокаскадному підсилювачі).

За допомогою резистора R_k в колекторному ланцюзі створюється вихідна напруга при зміні колекторного струму транзистора.

Для колекторного ланцюга підсилювального каскаду у відповідності з другим законом Кірхгофа можна записати наступне рівняння електричного стану:

$$E_{\hat{e}} = U_{\hat{e}} + R_{\hat{e}} \cdot I_{\hat{e}} \quad (6.1)$$

Для ланцюга $+A_{\hat{e}} \rightarrow R_{\hat{a}} \rightarrow \text{зв'язок} \rightarrow -A_{\hat{e}}$ другий закон Киргофа запишеться у вигляді

$$\dot{A}_{\hat{e}} = \dot{I}_{\hat{a}} \cdot R_{\hat{a}} + U_{\hat{a}\hat{a}}. \quad (6.2)$$

Вольт-амперна характеристика резистора R_k є лінійною, а вольт-амперні характеристики транзистора являють собою нелінійні вихідні характеристики транзистора, включеного за схемою з загальним емітером.

Розрахунок такого нелінійного ланцюга простіше всього зробити графічно за відповідним сімейством вхідних і вихідних характеристик транзистора.

Найважливішою характеристикою підсилювача є коефіцієнт підсилення по напрузі, який дорівнює відношенню вихідної напруги $U_{\text{вих}}$ до вхідної $U_{\text{вх}}$

$$\hat{E}_U = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}} \quad (6.3)$$

При великих вхідних напругах змінні складові струмів виходять за межі лінійних ділянок вольт-амперних характеристик транзистора, в результаті чого, форма кривої вихідної напруги зазнає значні спотворення. Ці спотворення носять назву нелінійних. Для оцінки діапазону зміни вхідних напруг, які підсилюються без спотворень, використовують амплітудну характеристику. Вона представляє собою залежність амплітудного значення вихідної напруги від амплітудного значення вхідної напруги (рис. 6.2).

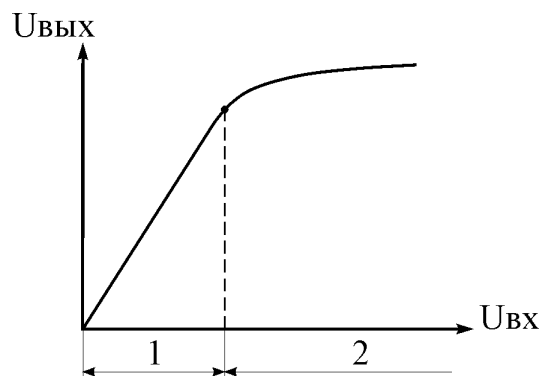


Рисунок 6.2– Амплітудна характеристика RC-підсилювача

На рисунку видно, що при перевищенні вхідним сигналом визначеного рівня залежність перестає бути лінійною. Спотворення в підсилювачі можуть бути також частотні і фазові. Частотні спотворення викликаються зміною коефіцієнта підсилення на різних частотах і відчувається нами як зміна тембру звучання голосів та музичних інструментів, погіршення чіткості передачі, зниження розбірливості мови. Причиною частотних спотворень є реактивні елементи (конденсатори, котушки індуктивності, ємність $p-n$ -переходів напівпровідникових приладів, ємність монтажу тощо.

Частотні спотворення можна оцінити по частотній характеристиці, тобто залежності коефіцієнта підсилення від частото-

ти вхідного сигналу при постійному значенні рівня вхідного сигналу.

На рис.6.3 наведена частотна характеристика. При побудові цієї характеристики по осі абсцис відкладають логарифм частоти, підписуючи під логарифмом дійсне значення частоти, а по осі ординат відкладають значення коефіцієнта підсилення. Ступінь спотворення на відповідних частотах оцінюється коефіцієнтом частотних спотворень

$$M = \frac{K_0}{K_f} \quad (6.4)$$

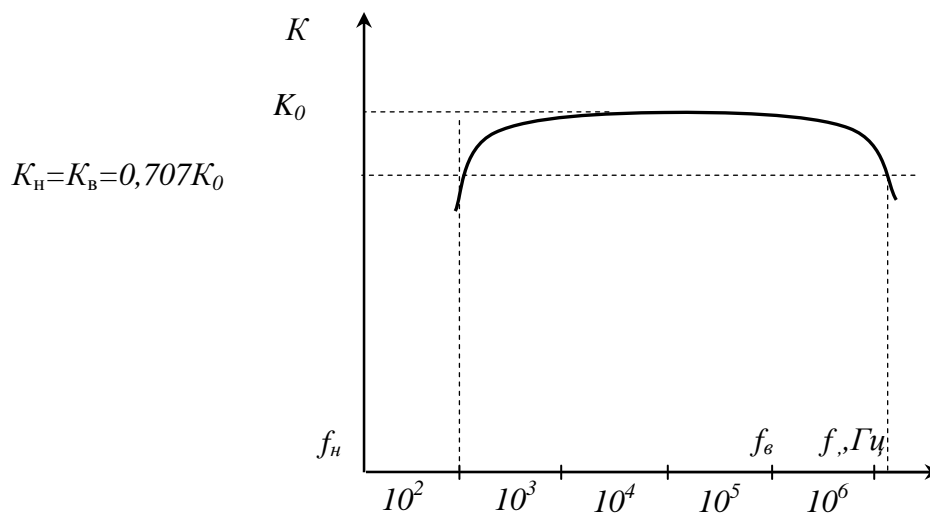


Рисунок 6.3– Частотна характеристика RC-підсилювача

Ці коефіцієнти дозволяють судити про рівномірність частотної характеристики. На середніх частотах коефіцієнт підсилення практично не залежить від частоти. В області низьких частот спостерігається "завал" частотної характеристики, обумовлений опором роздільних конденсаторів

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C_p} \quad (6.5)$$

включених послідовно у вхідний ланцюг. Чим менше частота вхідного сигналу, тим більша частина вхідного сигналу гаситься в цих конденсаторах. "Завал" в області високих частот обумовлений

шунтувальною дією паразитних ємностей (ємність монтажу, резисторів і інших елементів підсилювача), опір яких при високих частотах зменшується. Зазвичай вважають допустимим відносне зменшення коефіцієнта K до $0,707K_0$ і при цих значеннях визначають граничну нижчу і вищу частоти. Смуга пропускання підсилювача це область частот, на яких коефіцієнт підсилення зменшується до $0,707$ від максимального значення коефіцієнта підсилення K_0 .

Нелінійні спотворення виникають у тих випадках, коли вхідний сигнал виходить за межі лінійної ділянки амплітудної характеристики підсилювача. В результаті нелінійних спотворень на виході підсилювача крім корисного сигналу з'являються вищі гармоніки, тобто абсолютно нові коливання, яких не було на вході.

Поява цих нових частот призводить до спотворення звуку. Ступінь нелінійних спотворень підсилювача оцінюється значенням коефіцієнта нелінійних спотворень (коефіцієнт гармонік):

$$\hat{E}_{\bar{A}} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{U_1} \cdot 100\% , \quad (6.6)$$

де U_i - діючі значення гармонік на активному опорі навантаження підсилювача при синусоїдальній вхідній напрузі.

Допустима величина коефіцієнта нелінійних спотворень залежить від призначення підсилювача; для підсилювачів радіоцентрів його значення знаходиться в межах від $0,1\%$ до $1,5\%$, а для підсилювачів пристроїв автоматики можливі більші значення коефіцієнта гармонік.

6.2. Перелік приладів:

- а) блок для дослідження характеристик підсилювача напруги (блок №6);
- б) універсальне джерело живлення;
- в) комбінований вимірювальний прилад - 2 шт. АРРА-85 або М-890G;
- г) генератор високої частоти FG-32;
- д) осцилограф GOS-620.

6.3. Порядок виконання лабораторної роботи

Зберіть схему для дослідження роботи RC-підсилювача (рис. 6.4).

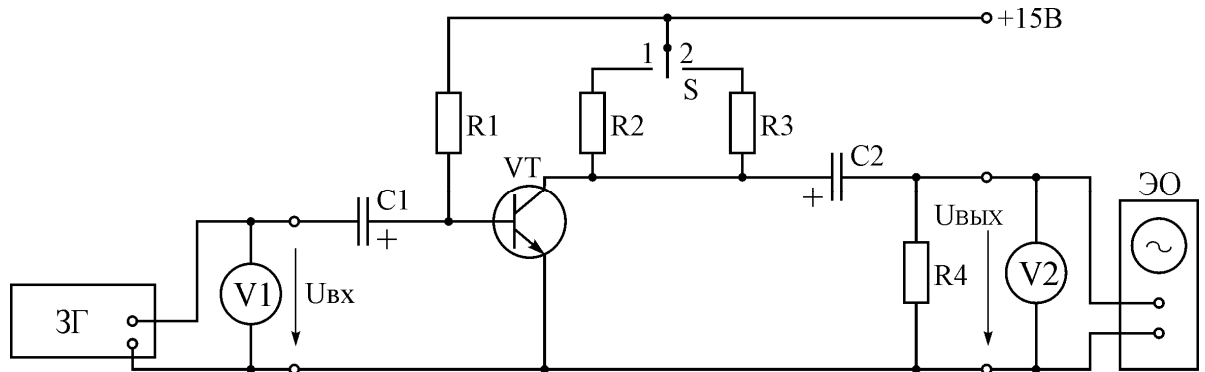


Рисунок 6.4– Схема для дослідження роботи підсилювача напруги

Зніміть амплітудну характеристику підсилювача при різних опорах навантаження в ланцюзі колектора. Дані вимірювань занесіть в таблицю 6.1.

Таблиця 6.1– Результати вимірювання амплітудної характеристики RC-підсилювача

$U_{вх}, В$										$R_k, кОм$	$f_{вх}, кГц$
$U_{вих1}, В$										R_2	
$U_{вих2}, В$										R_3	

За даними таблиці 6.1 побудувати графічні залежності для різних опорів навантаження (дві криві на одному кресленні).

Зніміть частотну характеристику підсилювача при різних опорах навантаження в ланцюзі колектора. Дані вимірювань занесіть у таблицю 6.2.

Таблиця 6.2– Результати вимірювання частотної характеристики RC-підсилювача

$f_{вх}, кГц$										$R_k, кОм$	$U_{вх}, В$
$U_{вих1}, В$										R_2	
$U_{вих2}, В$										R_3	

За даними таблиці 6.2 побудувати графічні залежності для різних опорів навантаження (дві криві на одному графіку).

Визначте коефіцієнти підсилення по амплітудній характеристиці для лінійної і нелінійної частини при різних опорах колекторного навантаження.

Зробіть висновки про вплив значення колекторного навантаження на амплітудну і частотну характеристики підсилювача напруги.

Контрольні питання до роботи

1. Поясніть принцип дії RC - підсилювача.
2. З якою метою необхідний резисторний дільник в ланцюзі бази підсилювача?
3. З якою метою встановлюється резистор і конденсатор в емітерний ланцюг підсилювача?
4. Яке призначення резистора в ланцюзі колектора?
5. Зобразити амплітудну характеристику RC - підсилювача напруги.
6. Чому частотна характеристика RC - підсилювача має спад на низьких і високих частотах?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ОПЕРАЦІЙНОГО ПІДСИЛЮВАЧА

Мета роботи

Вивчення принципу роботи, основних параметрів і характеристик операційного підсилювача (ОП).

7.1. Структурна схема операційного підсилювача

Незалежно від складності принципової схеми інтегральний ОП звичайно містить наступні функціональні вузли (рис.1): вхідний диференціальний каскад, підсилювач напруги, схему зсуву постійного рівня і вихідний каскад — підсилювач потужності.

Вхідний каскад, виконаний звичайно по схемі диференційного підсилювача, є найважливішою частиною ОП, що визначає як вхідні параметри, так і похибок підсилювача в цілому.

Диференційний каскад в інтегральному виконанні має високий ступінь симетрії, що дозволяє значно понизити дрейф нуля і зменшити чутливість до синфазних, тобто діючих одночасно на обох диференційних входах, перешкод.

Вхідний каскад також має найбільший коефіцієнт посилення, щоб понизити посилення подальших каскадів, зменшивши при цьому вплив їх розбалансу на параметри ОП.

Другий і третій каскади інтегрального ОП звичайно з'єднані і призначені для деякого підсилення сигналу, узгодження по рівню з вихідним каскадом, а також для розв'язки входу і виходу підсилювача.

Вихідний підсилювач потужності ОП служить для узгодження вихідного опору підсилювальних каскадів з низкоомним навантаженням, тобто забезпечує малий вихідний опір ОП. Як правило, він виконується у вигляді двотактного емітерного повторювача, що працює в режимі класу АВ або В. Іноді вихідні каскади виконуються у вигляді однокласного емітерного повторювача, що працює в режимі класу А. В деяких ОП у вихідних каскадах передбачена

схема захисту від перевантажень, обмежуючи максимальний вихідний струм ОП.

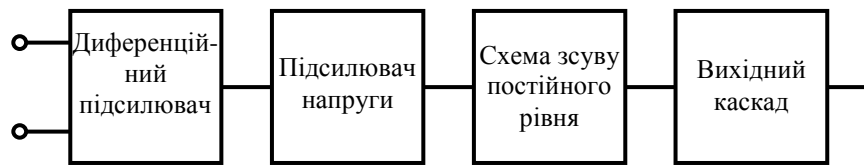


Рисунок 7.1–Структурна схема інтегрального операційного підсилювача

Звичайно операційні підсилювачі розраховані на застосування симетричних різнополярних джерел живлення, що спрощує задачу компенсації зсуву нуля на виході підсилювача і запобігає появі небажаної постійної складової в навантаженні.

7.2. Параметри ідеального операційного підсилювача

«Ідеальним» ОП називається підсилювач, що володіє дуже високими або, як прийнято говорити, ідеальними параметрами. Основні характеристики такого ОП наступні:

коефіцієнт підсилення нескінченно великий ($A \rightarrow \infty$);

смуга пропускання нескінченно велика ($\Delta F \rightarrow \infty$);

вхідний опір нескінченно великий ($Z_{вх} \rightarrow \infty$);

вихідний опір нескінченно малий ($Z_{вих} \rightarrow 0$);

вихідна напруга рівна нулю при нульовій напрузі на вході.

Хоча такі високі параметри не можуть бути реалізовані, розвиток техніки ОП йде у напрямі наближення характеристик реальних підсилювачів до ідеальних, а якість ОП визначається ступенем цього наближення.

Переходячи до реальних значень параметрів, що характеризують сучасні ОП, необхідно мати на увазі, що параметри ОП, охоплених колами зворотних зв'язків, в конкретних схемах включення можуть значно відрізнятись від власних параметрів ОП, що розглядаються нижче.

Коефіцієнт підсилення ОП визначається відношенням зміни вихідної напруги до зміни напруги між диференціальними входами підсилювача при розімкненому колі зворотного зв'язку. В сучасних

ОП величина коефіцієнта підсилення досягає десятків, а іноді і сотень тисяч.

Коефіцієнт підсилення ОП без зворотного зв'язку залежить від опору навантаження, температури навколишнього середовища, напруги живлення і ін. ОП рідко використовуються з розімкненим колом зворотного зв'язку, за винятком випадків застосування в компараторах напруг.

Вхідний опір. Залежно від способу подачі вхідного сигналу в ОП з диференціальними входами розрізняють диференціальний вхідний опір і вхідний опір для синфазних сигналів (див. рис.7.2.). Диференціальний вхідний опір, тобто опір ОП для вхідного сигналу, різниця потенціалів якого прикладена між диференціальними входами ОП, визначається величиною опору між цими входами. Він має величину - від декількох кілоом до декількох мегаом. Вхідний опір для синфазного сигналу, тобто опір ОП для вхідної напруги, прикладеної одночасно до обох диференціальних входів ОП щодо землі, визначається опором між замкнутими накоротко входами ОП і заземленою шиною. Вхідний опір для синфазних сигналів звичайно дуже великий і складає десятки мегаом.

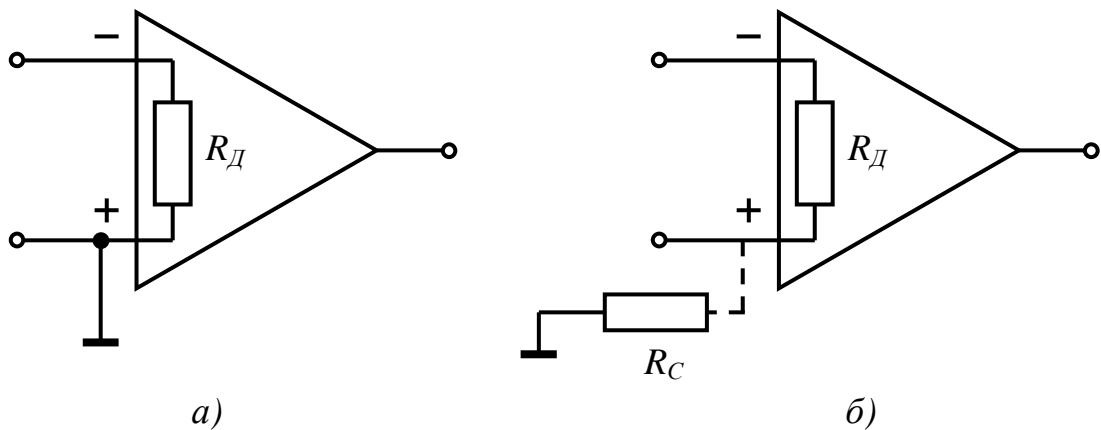


Рисунок 7.2– Вхідний опір операційного підсилювача

Вихідний опір — цей опір ОП, виміряний з боку підключення навантаження. Для різних типів ОП він знаходиться в межах від 50 до 2000 Ом. Величина вихідного опору визначає максимальну силу вихідного струму незалежно від виду навантаження. Цей параметр особливо важливий для ОП з розімкненим контуром зворотного зв'язку, наприклад для компараторів.

Смуга пропускання визначається видом частотної характеристики ОП, тобто залежністю його підсилення від частоти вхідного сигналу. Типова амплітудно-частотна характеристика ОП (див. рис.7.3), що ідеалізується, має дві характерні точки, лежачі на частотах f_c і f_1 , де f_c —частота зрізу, відповідна падінню посилення на 3 дБ, тобто до рівня 0,707; f_1 —частота, на якій коефіцієнт підсилення стає рівним одиниці. Залежність коефіцієнта підсилення від частоти не повністю характеризує частотні властивості реального підсилювача. З підвищенням частоти зменшується також гранично досяжна амплітуда вихідного сигналу через обмеження по струму, наступаючого в одному з каскадів ОП.

При цьому зберігається незмінною швидкість наростання вихідної напруги, максимальна величина якої і використовується для характеристики цієї особливості ОП. Максимальна швидкість наростання сучасних ОП знаходиться в межах 0,3—50 В/мкс.

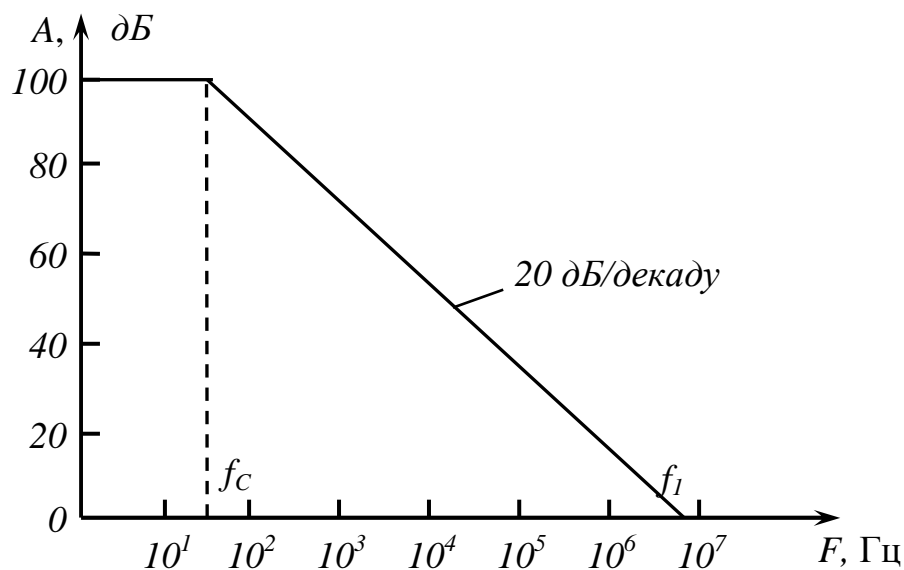


Рисунок 7.3– Амплітудно-частотна характеристика операційного підсилювача

Зсув рівня вихідної напруги ОП. В реальному підсилювачі через неминуче розузгодження параметрів схемних елементів, навіть за відсутності вхідного сигналу, на виході ОП з'являється невелика постійна напруга. Величина цієї напруги, а головне, її відхід (дрейф) залежно від температури, часу і інших чинників, який не відрізняється від корисного сигналу, є одним з головних обмежень, визна-

чаючим точність роботи ОП. Ці похибки можна оцінити за допомогою приведених нижче параметрів.

Напруга зсуву нуля визначається величиною напруги, прикладеної між входами підсилювача, необхідної для приведення напруги на виході ОП до нуля. Основну частку цієї напруги складає різниця напруг база-емітер вхідних транзисторів диференційного каскаду. Напруга зсуву залежить від температури і напруги джерел живлення. Типова паспортна величина напруги зсуву нуля 10—50 мВ. Величина дрейфу 1—50 мкВ/°С.

Вхідні струми ОП обумовлені кінцевою величиною вхідного опору реального ОП. Початковий вхідний струм, який визначається вхідним опором ОП, звичайно складає 1—100 мкА.

Коефіцієнт придушення синфазних сигналів. Одне з важливих достоїнств ОП — придушення співпадаючих по фазі сигналів. В ідеальному випадку коефіцієнти підсилення по обох входах повинні бути однакові по величині і протилежні по знаку. І, якщо до обох входів прикладена однакова напруга, вихідна напруга не повинна змінюватися. Реально коефіцієнти підсилення по обох входах не точно рівні один одному, і на виході присутня вихідна напруга. Відношення зміни вихідної напруги до зміни вхідних напруг, співпадаючих по фазі, ділене на коефіцієнт підсилення ОП без зворотного зв'язку, називається коефіцієнтом придушення синфазного сигналу. Його величина лежить в межах від 80 до 100 дБ.

7.3. Базові схеми підключення операційних підсилювачів

Інвертуючий підсилювач, схема якого представлена на рис.7.4, перетворює вхідні сигнали, що поступають на інвертуючий вхід ОП так, що вихідний сигнал має фазу, протилежну фазі вхідного сигналу. Якщо при розгляді цієї схеми вважати ОП «ідеальним», у якого вхідний струм рівний нулю, а коефіцієнт підсилення A достатньо великий, то можна визначити струми в схемі за законом Ома:

$$i_{\text{CC}} = \frac{u'_{\text{a}\tilde{\text{o}}} - u'_{\text{a}\hat{\text{e}}\tilde{\text{o}}}}{R_{\text{CC}}},$$

$$i_1 = \frac{u_{\hat{a}\hat{o}} - u'_{\hat{a}\hat{o}}}{R_1}.$$

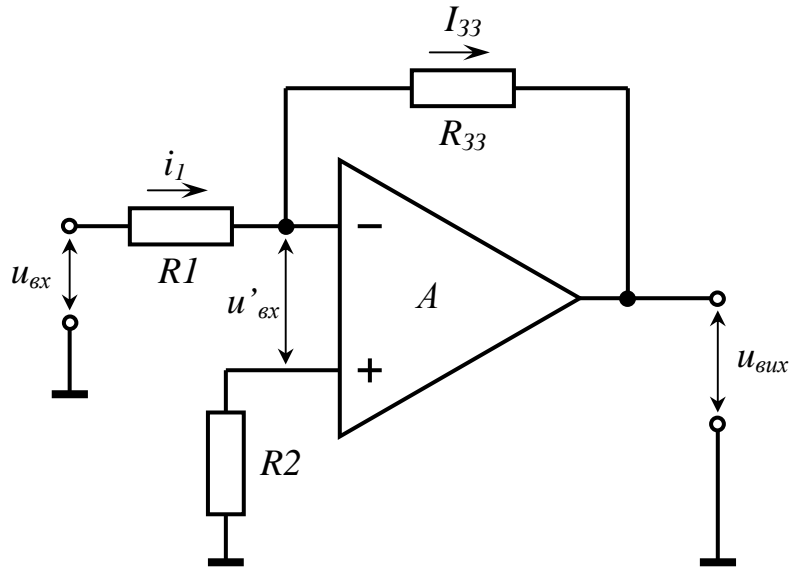


Рисунок 7.4– Схема інвертуючого підсилювача

При цьому $i_1 = i_{\text{CC}}$, так як ці струми протікають по одному колу. В той же час із виразу

$$u_{\hat{a}\hat{o}} = -A u'_{\hat{a}\hat{o}}$$

видно, що $u'_{\hat{a}\hat{o}} \rightarrow 0$, так як $A \rightarrow \infty$. З урахуванням цього в рівняннях

для струмів можна зневажити членом $u'_{\hat{a}\hat{o}}$. Тоді $\frac{u_{\hat{a}\hat{o}}}{R_1} = \frac{u_{\hat{a}\hat{o}}}{R_{\text{CC}}}$ або

$$K = -\frac{u_{\hat{a}\hat{o}}}{u_{\hat{a}\hat{o}}} = \frac{R_{\text{CC}}}{R_1}.$$

Як видно із цього виразу, коефіцієнт передачі K при інвертуючому включенні цілком визначається параметрами елементів кола зворотного зв'язку. Крім того, напруга $u'_{\hat{a}\hat{o}}$ на інвертуючому вході при достатньо великому коефіцієнті підсилення A и заземленому неінвертуючому вході («+») зневажливо мала, що дозволяє розглядати інвертуючий вхід як точку «землі, що здається». Із цього також слідує, що вхідний опір інвертуючого підсилювача рівний опорі резистора R_1 , так як його правий вивід підключений до точки з «нульовим» потенціалом.

Хоча коефіцієнт підсилення реального ОП на постійному струмі і низьких частотах вельми великий, але все ж його величина кінцева. З урахуванням цього коефіцієнт підсилення інвертуючого підсилювача має вигляд

$$K = \frac{A}{1 + A \frac{R_1}{R_{CC}}}$$

Слід відмітити, що на низьких частотах, де власний коефіцієнт підсилення ОП великий, підсилення схеми визначається практично тільки колом зворотного зв'язку. На високих же частотах глибина зворотного зв'язку падає із-за зниження величини A , яка починає чинити помітний вплив на підсилення підсилювача із замкнутим зворотним зв'язком.

Вихідний опір інвертуючого підсилювача зменшується при збільшенні глибини зворотного зв'язку і визначається наступним співвідношенням

$$R_{\text{вх}} = \frac{R_{\text{вх}}}{A} \cdot \frac{R_{CC}}{R_1}$$

Це співвідношення справедливе за умови $A \gg \frac{R_{CC}}{R_1}$, коли власний коефіцієнт підсилення ОП значно більше відношення $\frac{R_{CC}}{R_1}$, тобто за умови достатньо глибокого негативного зворотного зв'язку.

Вихідна напруга зміщення інвертуючого підсилювача із-за вхідних погрешностей на вході ОП визначається наступним виразом

$$u_{\text{вх}} = u_{\text{вх}} \frac{R_{CC}}{R_1} + I_{\text{вх}1} R_{CC} - I_{\text{вх}2} R_2 \frac{R_1 + R_{CC}}{R_1}$$

Неінвертуючий підсилювач, схема якого представлена на рис.7.5, на відміну від попередньої схеми не змінює фазу вхідного сигналу і має дуже великий вхідний опір.

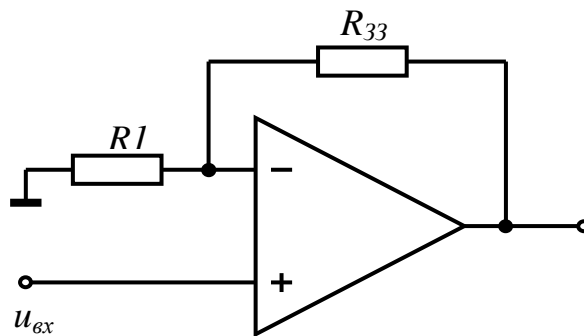


Рисунок 7.5– Схема неінвертуючого підсилювача

Вхідний опір підсилювача рівний вхідному диференційному опору, помноженому на відношення власного коефіцієнта підсилення операційного підсилювача A до посилення по неінвертуючому входу із замкнутою петлею зворотного зв'язку:

$$R_{\text{вх}} = A \frac{R_1}{R_{\text{CC}} + R_1} R_{\text{д}}.$$

Коефіцієнт передачі неінвертуючого підсилювача визначається наступним виразом:

$$K = \frac{R_1 + R_{\text{CC}}}{R_1} = 1 + \frac{R_{\text{CC}}}{R_1}.$$

Вихідний опір неінвертуючого підсилювача залежить від глибини зворотного зв'язку і вихідного опору ОП при розімкненому зворотному зв'язку

$$R_{\text{в}} = \frac{R_{\text{д}} \cdot (R_1 + R_{\text{CC}})}{AR_1}.$$

Для зменшення вихідних похибок за рахунок вхідних струмів в схемі неінвертуючого підсилювача опір паралельно сполучених резисторів R_1 і R_{33} повинен бути рівний опору джерела сигналу, а для випадку одиночного посилення опір резистора R_{CC} повинен бу-

ти рівний опору джерела сигналу. При використанні ємнісного зв'язку з джерелом сигналу вхід неінвертуючого підсилювача не можна залишати незаземленим. В цьому випадку опори резисторів R_1 і R_{CC} повинні вибиратися у відповідності до опору резистора, включеного з неінвертуючого входу на землю.

Перелік приладів:

- а) макет для дослідження характеристики операційного підсилювача;
- б) універсальне джерело живлення;
- в) цифровий мультиметр АРРА-82 або М890 G;
- г) генератор низькочастотних сигналів FG-32;
- д) осцилограф GOS-620.

7.4. Порядок виконання роботи

7.4.1. Дослідження інвертуючого ОП

Виконайте підключення лабораторного макета з ОП до джерела живлення згідно схеми. Як вольтметр, підключений до виходу V_2 , використовується мультиметр АРРА-80,82 або М890 G, осцилограф підключається до гнізд «Вих». На вхід подається напруга, що змінюється, від генератора низькочастотних сигналів FG-32. Для реалізації схеми інвертуючого підсилювача встановіть перемикач в положення «ІНВ».

Зняти і побудувати залежність діючого значення $U_{\text{д}} = f(U_{\text{в}})$ для частоти $f = 1$ кГц і занести дані в таблицю 7.1.

Таблиця 7.1–Результати вимірювання амплітудної характеристики операційного підсилювача

$U_{\text{вх}}, \text{В}$										$R_{33}, \text{кОм}$	$f_{\text{вх}}, \text{кГц}$
$U_{\text{вих1}}, \text{В}$										$R_{\text{н1}}$	
$U_{\text{вих2}}, \text{В}$										$R_{\text{н2}}$	

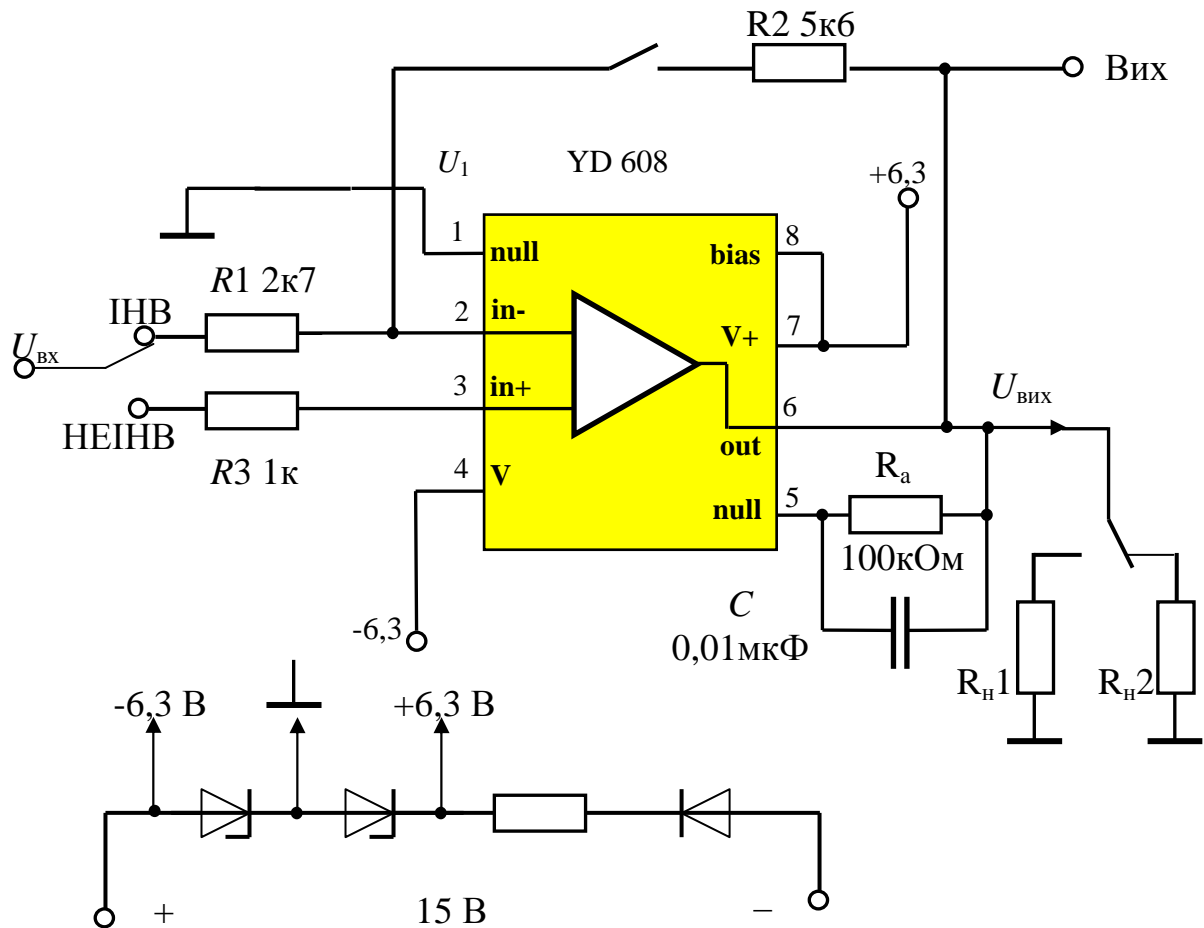


Рисунок 7.6 – Принципова схема лабораторного макета

Вивчити як впливає включення-виключення негативного зворотного зв'язку на підсилювальні властивості ОП.

Зняти і побудувати залежність коефіцієнта посилення від частоти вхідного сигналу. Виміряні дані занести в табл.7.2. Визначити частоту зрізу за умови $K_y = 0,707 K_{y0}$.

Таблиця 7.2–Результати вимірювання частотної характеристики операційного підсилювача

f_{ex} кГц										$R_{з3}$, кОм	U_{ex} , В
$U_{вих1}$, В										R_{H1}	
$U_{вих2}$, В										R_{H2}	

Змінювати величину навантаження R_{H1} або R_{H2} ($R_{H1} > R_{H2}$) і визначити її вплив на K_y .

7.4.2. Дослідження неінвертуючого ОП.

За допомогою перемикача режиму встановите режим неінвертуючого ОП.

Виконайте для даної схеми ті ж дослідження, що приведені в пунктах 7.4.1.

Контрольні питання до роботи

1. Принцип роботи і коефіцієнт підсилення інвертуючого ОП?
2. Принцип роботи і коефіцієнт підсилення неінвертуючого ОП?
3. Принцип роботи диференційного ОП?
4. В яких електронних пристроях застосовується ОП?
5. Частотна характеристика ОП?
6. Амплітудна характеристика ОП?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №8

ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРА ІМПУЛЬСІВ НА ЛОГІЧНИХ ЕЛЕМЕНТАХ

Мета роботи

Вивчення схем та принципів роботи генераторів на логічних елементах та проаналізувати вплив зворотних зв'язків на частоту повторення та тривалість імпульсів.

8.1. Принцип роботи генератора на логічних елементах

Релаксаційні генератори - це пристрої, здатні по черзі перебувати в тимчасово-стійких (квазістійких) станах.

Розрізняють два основних типи цих пристроїв:

- мультівібратор (автоколивальний генератор прямокутних імпульсів);

- чекаючий мультівібратор (одновібратор, здатний по черзі перебувати в одному тривалостійкому або короткочасному стані).

Мультівібратор у переважній більшості випадків виконує функцію провідного генератора (що задає), який формує і запускає вхідні імпульси для імпульсних, цифрових блоків і пристроїв.

Одновібратори призначені для формування прямокутного імпульсу напруги необхідної тривалості при дії на вході короткого імпульсу, що запускає.

Варіант простого генератора (мультівібратора) показаний на рис. 8.1 а. Схема має два динамічних стани. В першому з них, коли на виході $D1.1$ стан лог. "1" (вихід $D1.2$ – лог. "0"), конденсатор $C1$ заряджається. В процесі заряджання напруга на вході інвертора $D1.1$ зростає, і при досягненні значення

$$U_{\text{пор}} = 0,5U_{\text{жив}} \quad (8.1)$$

відбувається стрибкоподібний перехід у другий динамічний стан, в якому на виходах $D1.1$ лог. "0", $D1.2$ — "1". В цьому стані відбувається перезаряд ємності (розряд) струмом зворотного напрямку.

При досягненні напруги на $C1$ $U_{\text{пор}}$ відбувається повернення схеми в перший динамічний стан. Діаграма напруг пояснює роботу. Резистор $R2$ являється обмежуючим, і його опір не повинен бути меншим 1 кОм, а щоб він не впливав на розрахункову частоту, номінал резистора $R1$ вибираємо значно більше $R2$ ($R2 < 0,01R1$). Обмежуючий резистор ($R2$) іноді устанолюють послідовно з конденсатором. При використанні неполярного конденсатора $C1$ тривалість імпульсів (t_i) і пауза (t_o) будуть майже однаковими

$$t_i = t_o = 0,7R1C1. \quad (8.2)$$

Повний період

$$T = 1,4R1C1. \quad (8.3)$$

Резистор $R1$ и конденсатор $C1$ можуть знаходитися в діапазоні 20 кОм...10 МОм; 300 пФ...100 мкФ. При використанні в схемі (рис. 8.1.б) двох інверторів мікросхеми К561ЛН2 (вони мають на вході тільки один захисний діод) перезаряд конденсатора буде відбуватися від рівня $U_{\text{жив}} + U_{\text{пор}}$. В результаті чого симетричність імпульсів порушується

$$t_i = 1,1R1C1, \quad t_o = 0,5R1C1, \quad (8.4)$$

період

$$T = 1,6R1C1. \quad (8.5)$$

Так як поріг переключення логічних елементів не відповідає точно половині напруги живлення, щоб одержати симетричність імпульсів, в традиційну схему генератора можна додати коло з $R2$ і $VD1$, рис. 8.1.в. Резистор $R2$ дозволяє підстройкою одержати меандр ($t_i = t_o$) на виході генератора. Схема на рис. 8.2. дає можливість роздільно регулювати тривалість і паузу між імпульсами: $t_i = 0,8C1R1$, $t_o = 0,8C1R2$. При номіналах елементів, які вказані на схемі, тривалість імпульсів біля 0,1 с, період повторення 1 с. Більш стабільна частота у генераторів, які виконані на трьох інверторах (рис. 8.3).

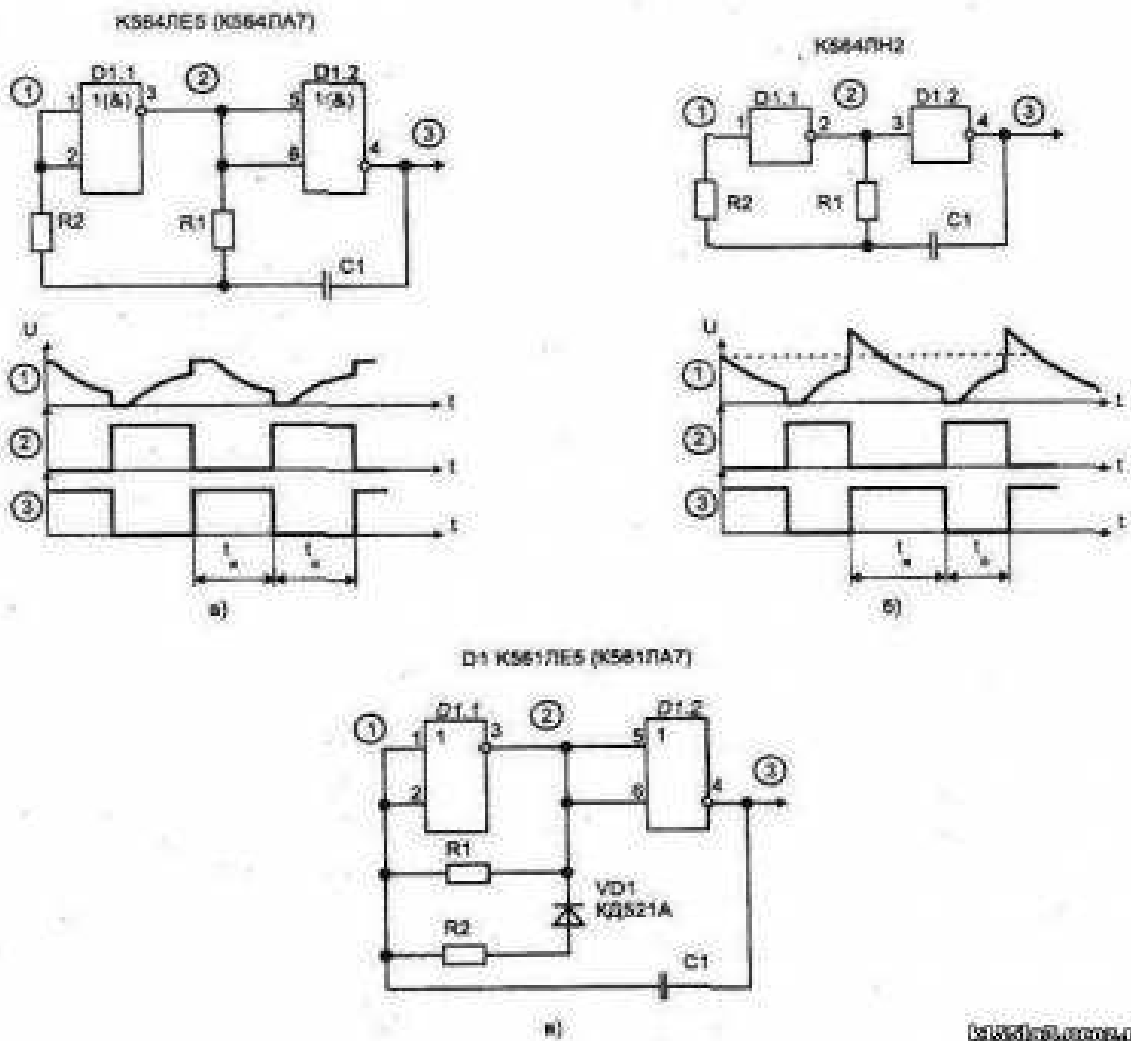


Рисунок 8.1–Генератор імпульсів на двох інвертах

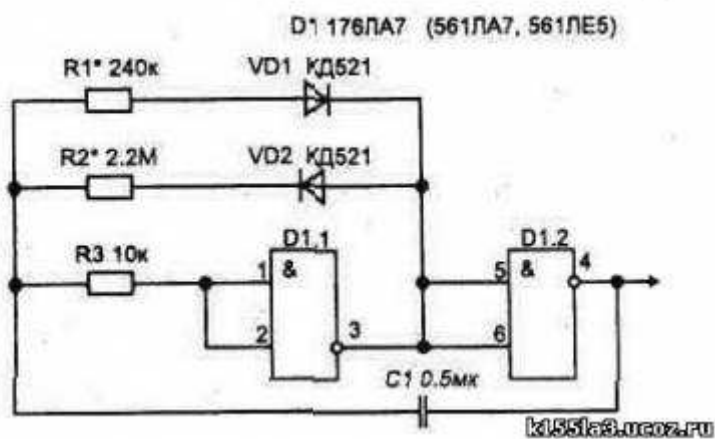


Рисунок 8.2– Генератор імпульсів з роздільною установкою тривалості імпульса і паузи між ними

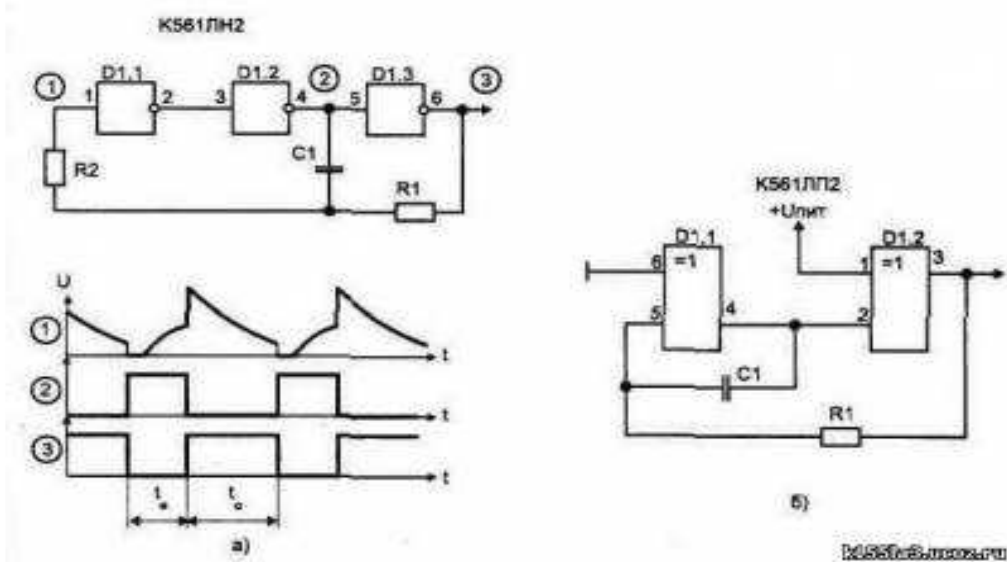


Рисунок 8.3– Генератор імпульсів на трьох інверторах

Процес перезарядки $C1$ в сторону зменшення напруги на лівій обкладинці починається від напруги $U_{жив} + U_{пор}$, в результаті чого на це витрачається більше часу

$$t_i = 1,1 C1 R2. \quad (8.6)$$

Повний період коливань складає

$$T = 1,8 C1 R2. \quad (8.7)$$

На рис. 8.4 приведені схеми аналогічних генераторів, які дозволяють роздільно регулювати тривалість і паузу між імпульсами або при незмінній частоті регулювати шпаруватість імпульсів. Елемент $D1.1$ використовується для створення другого кола від'ємного зворотного зв'язку, які охоплюють інвертор $D1.2$ (головне коло зворотного зв'язку для сигналу створює резистор $R5$). Елемент мікросхеми $D1.1$ працює в режимі з низьким коефіцієнтом підсилення при замкнутому ланцюгу зворотного зв'язку, подібно операційному підсилювачу, який працює в лінійній частині характеристики. В результаті цього інвертована порогова напруга інвертора $D1.1$ може бути просумована з напругою від'ємного зворотного зв'язку і подаватися на вхід елемента $D1.2$.

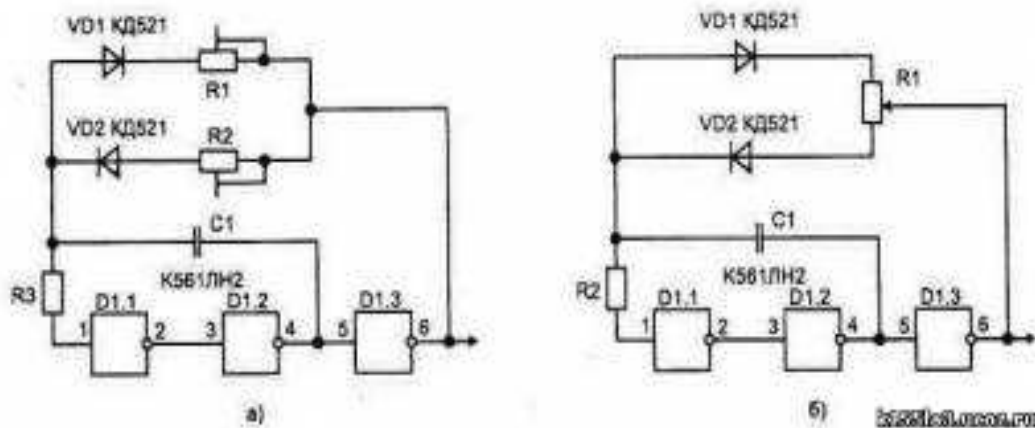


Рисунок 8.4 – Генератор імпульсів з роздільним регулюванням:
 а) тривалості імпульсів и паузи між ними; б) шпаруватості імпульсів

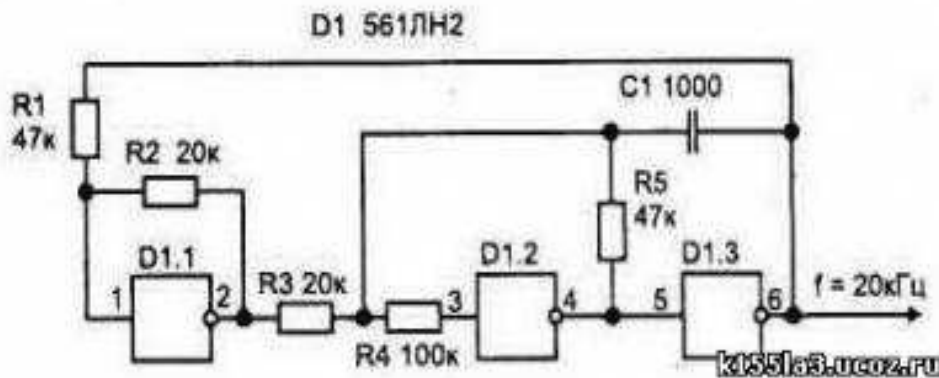


Рисунок 8.5– Генератор з симетричними імпульсами на виході

Якщо відношення $R2/R1$ дорівнює відношенню $R3/R5$ може бути одержана повна компенсація похибок, які обумовлені зміною

8.2. Перелік приладів:

- а) макет генератора імпульсів на логічних елементах «І-НІ»;
- б) універсальне джерело живлення ЕПЗ 3003 3.3;
- в) мультиметр - 2 шт. АРРА-82 або М890 G;
- г) осцилограф GOS-620.

8.3. Порядок виконання роботи

8.3.1 Дослідження мультівібратора

Включити функціональний модуль несиметричного мультівібратора за схемою, наведеною на рис. 8.6.

Підключити на вихід мультивибратора осцилограф і виконати аналіз осцилограм.

Визначити вид генерируємих імпульсів і дослідити вплив негативного зворотного зв'язку (VD2, R3+R5) і позитивного зворотного зв'язку (VD1, R2+R4) на параметри імпульсів. Дані занести в таблицю 8.1.

Розрахувати частоту генерованих імпульсів за формулою:

$$f = \frac{1}{T}, \quad (8.8)$$

де T - період повторення імпульсів.

Виміряти період і тривалість імпульсів і розрахувати шпаруватість імпульсів за формулою

$$q = \frac{T}{\tau_i}, \quad (8.9)$$

де τ_i - тривалість імпульса.

Дані вимірів та розрахунків занести в таблицю 8.2.

Таблиця 8.1 – Значення опорів позитивного і негативного зворотних зв'язків

Кут повороту, град	0 ⁰	90 ⁰	180 ⁰	270 ⁰	360 ⁰
R ₂ , кОм					
R ₃ , кОм					

Таблиця 8.2 - Значення періоду, тривалості імпульсів та шпаруватості імпульсів від глибини позитивного і негативного зворотних зв'язків

Кут повороту, град	0 ⁰	90 ⁰	180 ⁰	270 ⁰	360 ⁰
R ₂ , кОм					
R ₃ , кОм					
Період, T					
Тривалість імпульсів τ_i					
Шпаруватість, q					

Визначити діюче значення вихідної напруги, вимірявши амплітуду і тривалість імпульсів.

Зробити висновок про те, що викликає несиметрію досліджуваного типу мультивібратора.

Побудувати графіки залежності параметрів імпульсів від глибини зворотних зв'язків.

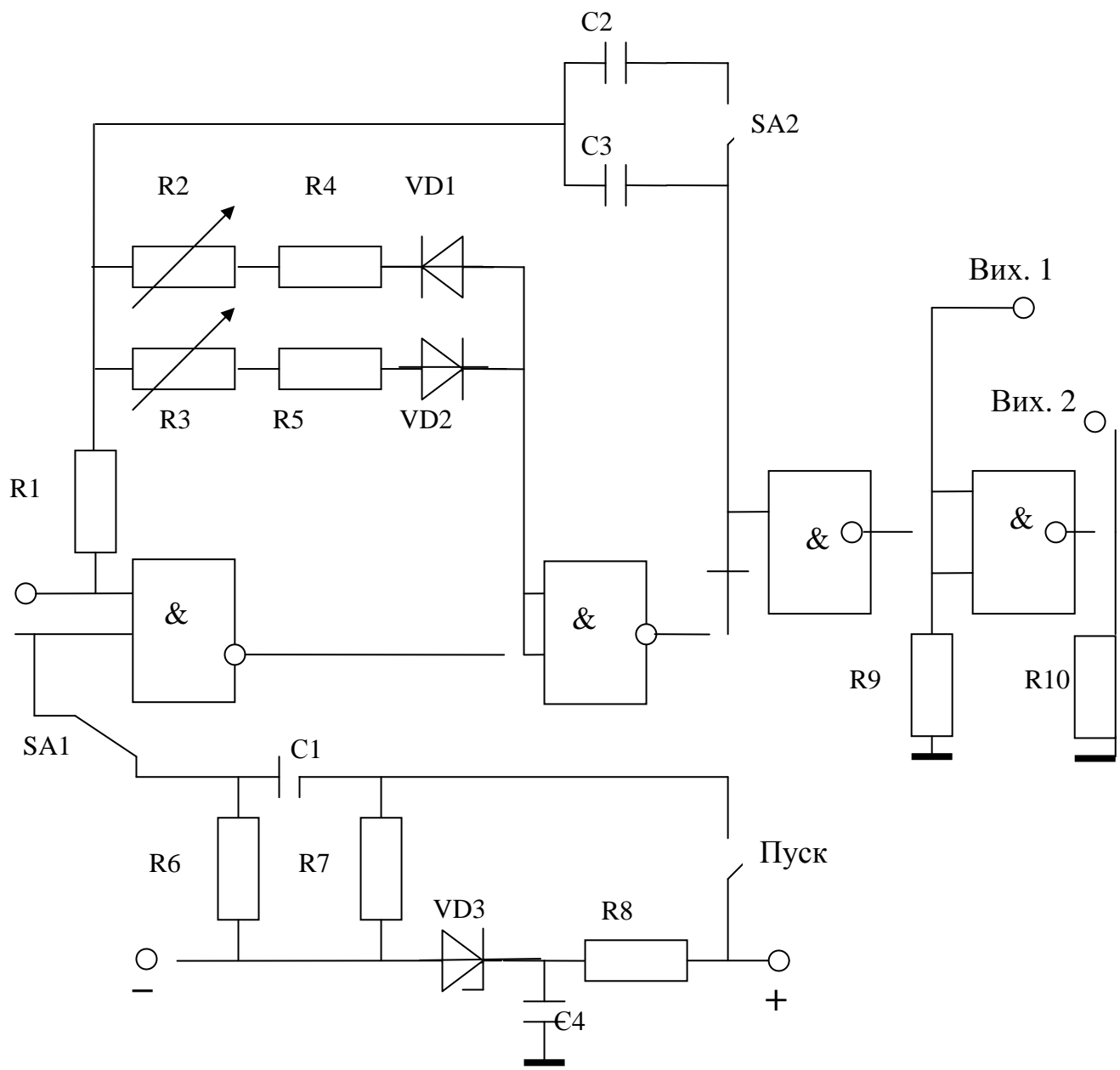


Рисунок 8.6– Макет генератора імпульсів на логічних елементах «І-НІ»
ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Мета роботи.
2. Схема генератора імпульсів на логічних елементах «І-НІ».
3. Основні параметри генерованих імпульсів: частота, період, шпаруватість, діюче значення вихідної напруги (табл.8.1,табл..8.2).
4. Графіки залежності параметрів імпульсів (період, тривалість, шпаруватість), від глибини зворотних зв'язків, які побудовані за даними таблиць.

Контрольні питання

1. Принцип роботи мультивібратора на логічних елементах.
2. Яке призначення конденсатора С1,С2, С3, С4 (рис. 8.6) ?
3. Яке призначення діодів VD1 і VD2 і VD3 (рис. 8.6) ?
- 4.. Які параметри мультивібратора можна виміряти за допомогою осцилографа?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №9

ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИНУСОЇДАЛЬНОГО І ІМПУЛЬСНОГО СИГНАЛІВ В СЕРЕДОВИЩІ ELECTRONICS WORKBENCH

Мета роботи

Дослідити віртуальні електронні вимірювальні прилади та навчитися вимірювати параметри синусоїдального і імпульсного сигналів в середовищі Electronics Workbench.

Вступ

Програма Electronics Workbench (EWB) - розробка канадської компанії Interactive Image Technologies. Особливістю програми є наявність в ній контрольно-вимірювальних приладів, за зовнішнім виглядом, органам управління і характеристиками максимально наближених до їхніх промислових аналогів, що сприяє одночасно і придбанню практичних навичок роботи з найбільш поширеними приладами: мультиметром, осцилографом, вимірювальним генератором та ін.

Завдання на лабораторну роботу

1. Вивчити призначення, параметри та органи управління мультиметра.
2. Вивчити призначення, параметри та органи управління функціонального генератора.
3. Вивчити призначення, параметри та органи управління електронного осцилографа (два види).
4. Розробити структурну схему лабораторного стенду для спостереження сигналів та вимірювання їх параметрів, змоделювати її.

5. Для синусоїдального сигналу і для послідовності прямокутних відеоімпульсів (по черзі для одного каналу) отримати зображення сигналу на екрані осцилографа, виміряти їх параметри.

Опис лабораторного станду

Лабораторний стенд призначений для вивчення осцилографа та електровимірювальних приладів, їх параметрів, призначення і органів управління. Структурна схема станду представлена на рис.9.1.

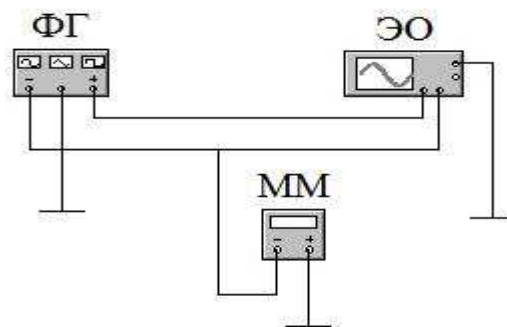


Рисунок 9.1 –Структурна схема лабораторного станду:
ФГ - функціональний генератор; ЭО - електронний осцилограф;
ММ - мультиметр

За допомогою цього лабораторного станда можна спостерігати форму сигналів, вимірювати значення напруги на різних ділянках електричного ланцюга, а також часові параметри.

9.1.Описання приладів

1 Мультиметр

Мультиметр (лат. multum - багато) - це багатфункціональний універсальний вимірювальний прилад, Мультиметрами вимірюють напруги постійного і змінного струму, ємність конденсаторів, опір резисторів, коефіцієнти підсилення, частоту та інші параметри. Умовне позначення і загальний вигляд мультиметра середовищі Electronics Workbench показано на рис.9.2.

При вимірювання струму мультиметр з'єднується в ланцюг послідовно до точки, в якій необхідно виміряти струм.

При вимірювання напруги мультиметр з'єднується в ланцюзі паралельно до точок, в яких необхідно виміряти падіння напруги.

При вимірюванні напруги змінного струму мультиметр показує середньоквадратичне значення.



а) б)
Рисунок 9.2. Умовне позначення (а) і загальний вигляд (б) мультиметра

Кнопки управління на мультиметрі показані в табл.9.1.

Таблиця 9.1– Кнопки управління на мультиметрі

Позначення кнопки	Назва кнопки	Опис
	Вимірювання струму, А	Мультиметр використовується як амперметр
	Вимірювання напруги, В	Мультиметр використовується як вольтметр для вимірювання падіння напруги між двома точками
	Вимірювання опору, Ом	Мультиметр використовується як омметр для вимірювання опору постійному струму ділянки кола
	Вимірювання загасання, дБ	Вимірювання загасання між двома точками
	Змінний струм	Проводяться вимірювання параметрів напруги змінного струму
	Постійний струм	Проводяться вимірювання параметрів постійного струму.
	Установки	Установка параметрів мультиметра

9.2. Функціональний генератор

Функціональний генератор – джерело напруги, який створює синусоїдальний сигнал або послідовність трикутних та прямокутних відеоімпульсів. Синусоїдальний сигнал характеризується амплітудним і діючим (середньоквадратичним) значеннями напруги які вимірюються на осцилографі і мультиметрі відповідно. Зв'язок між амплітудним і діючим значеннями напруги установлюється формулою:

$$U_A = U_D \cdot \sqrt{2}, \quad (9.1)$$

де U_A – амплітудне значення сигналу;
 U_D – діюче значення сигналу.

Для трикутного сигналу

$$U_A = U_D \cdot \sqrt{3}. \quad (9.2)$$

Послідовність імпульсів характеризується шпаруватістю

$$q = \frac{T}{\tau_{зг}}, \quad (9.3)$$

де T – період повторення імпульсів;
 $\tau_{зг}$ – тривалість імпульса.

Для прямокутного сигналу з шпаруватістю q

$$U_A = U_D \cdot q. \quad (9.4)$$

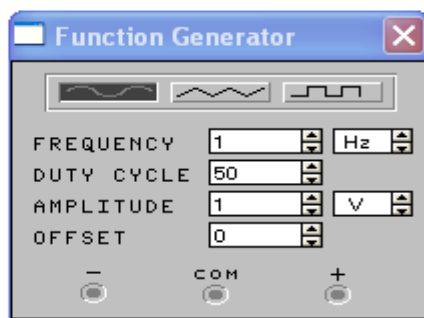
. Період T і частота сигналу f мають співвідношення .

$$f = \frac{1}{T}. \quad (9.5)$$

Умовне позначення і загальний вигляд функціонального генератора в середовищі Electronics Workbench показано на рис.9.3. Кнопки управління показані в табл.9.2.




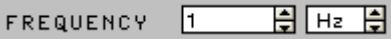
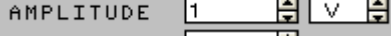


а)



б)

Рисунок 9.3 – Умовне позначення (а) і загальний вигляд (б) функціонального генератора

Таблиця 9.2– Кнопки управління функціонального генератора

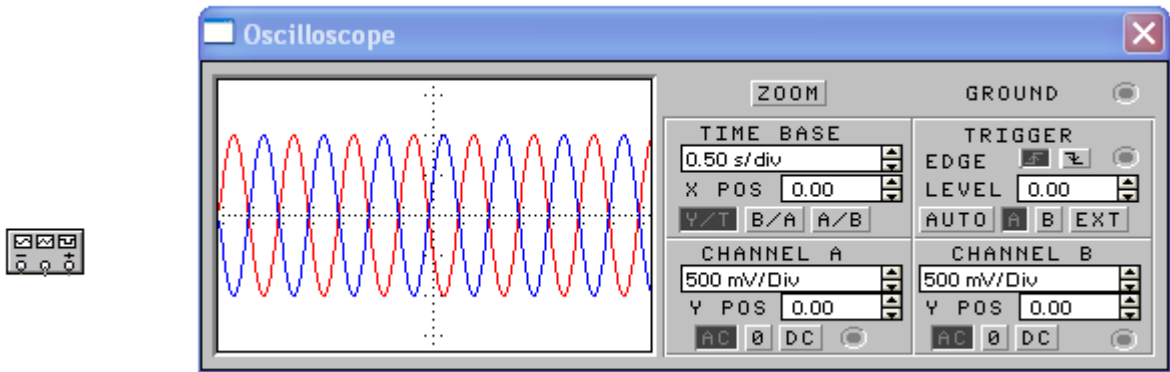
Позначення кнопки	Назва кнопки	Опис
	Форма сигналу	Установка форми вихідного сигналу: синусоїдальної, трикутної і прямокутної
	Частота	Установка частоти сигналу, який генерується (від 1 Гц до 999 МГц)
	Коефіцієнт заповнення	Коефіцієнт заповнення в %:– величина, обернена шпаруватості,.
	Амплитуда	Установка амплитуди вихідного сигналу
	Зміщення	Додавання до сигналу деякої постійної складової, на значення якої зміщуються хвилі відносно одне до одного. Вимірюється в вольтах.
	Вихідні зажими	При заземленні клеми COM (загальний) на клеммах «-» і «+» одержуємо парафазний сигнал.

Коефіцієнт заповнення в %: для імпульсних сигналів, це відношення тривалості імпульса до періоду повторення – величина, обернена шпаруватості, для трикутних сигналів – відношення між тривалостями переднього і заднього фронтів.

За допомогою функціонального генератора також можна змінювати параметри вихідних сигналів: частоту, шпаруватість імпульсів, зміщення і амплітуду.

9.3.Електронний осцилограф

Електронний осцилограф призначений для спостереження сигналів і вимірювання їх параметрів. Умовне позначення і загальний вигляд осцилографа в середовищі Electronics Workbench показано на рис.9.4. Кнопки управління показані в табл.9.3. і табл.9.4. Вид електронного осцилографа в режимі Zoom показано на рис.9.5.



а) б)

Рисунок 9.4 – Умовне позначення (а) і загальний вигляд (б) електронного осцилографа

Осцилограф показує форму, значення і частоту електричних сигналів. Він має два канали вертикального відхилення А і В, тому одночасно можна спостерігати два різних сигнали.

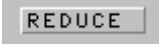


Для вимірювання амплітуди необхідно виміряти амплітуду сигналу в поділках шкали осцилографа по вертикалі і помножити на ціну поділки.

$$U = h \cdot \hat{E}_a, \quad (9.6)$$






де h – амплітуда сигналу в поділках шкали;

K_v – коефіцієнт вертикального відхилення, $\frac{V}{div}$.

Таблиця 9.3– Додаткові кнопки в режимі ZOOM

Позначення кнопки	Назва кнопки	Опис
	Зменшити	Повернення до початкового стану осцилографа
	Інвертувати	Повертає кольори зображення осцилограми на екрані осцилографа
	Збереження	Збереження осцилограми сигналів в файл с розширенням *.scr

Таблиця 9.4 –Кнопки управління осцилографа

Позначення кнопки	Назва кнопки	Опис
	Тривалість розгортки	Масштаб горизонтальної вісі часу (кількість секунд на поділку).
	Зміщення X	Визначає початкову точку відліку по вісі X. Максимальне зміщення 5 поділок в двох напрямках.
	Режим розгортки	В режимі Y/T реалізуються наступні режими розгортки: по вертикалі - напруга сигналу, по горизонталі – час; в режимі B/A: по вертикалі – сигнал каналу B, по горизонталі – сигнал каналу A; в режимі A/B: по вертикалі – сигнал каналу A, по горизонталі – сигнал каналу B.
	Триггер	В режимі Y/T передбачений також чекаючий режим (TRIGGER) з запуском розгортки (EDGE) по передньому або задньому фронту запускаючого сигналу (вибирається натисненням кнопок ) при регульованому рівні (LEVEL) запуску, а також в режимі AUTO, від каналу A, до каналу B або від зовнішнього джерела (EXT).

Для вимірювання періоду необхідно виміряти період сигналу в поділках шкали осцилографа по горизонталі і помножити на ціну поділки.

$$U = L \cdot K_z, \quad (9.7)$$

де L – тривалість сигналу в поділках шкали;

K_z – коефіцієнт горизонтального відхилення, $\frac{ms}{div}$, або $\frac{\mu}{div}$.

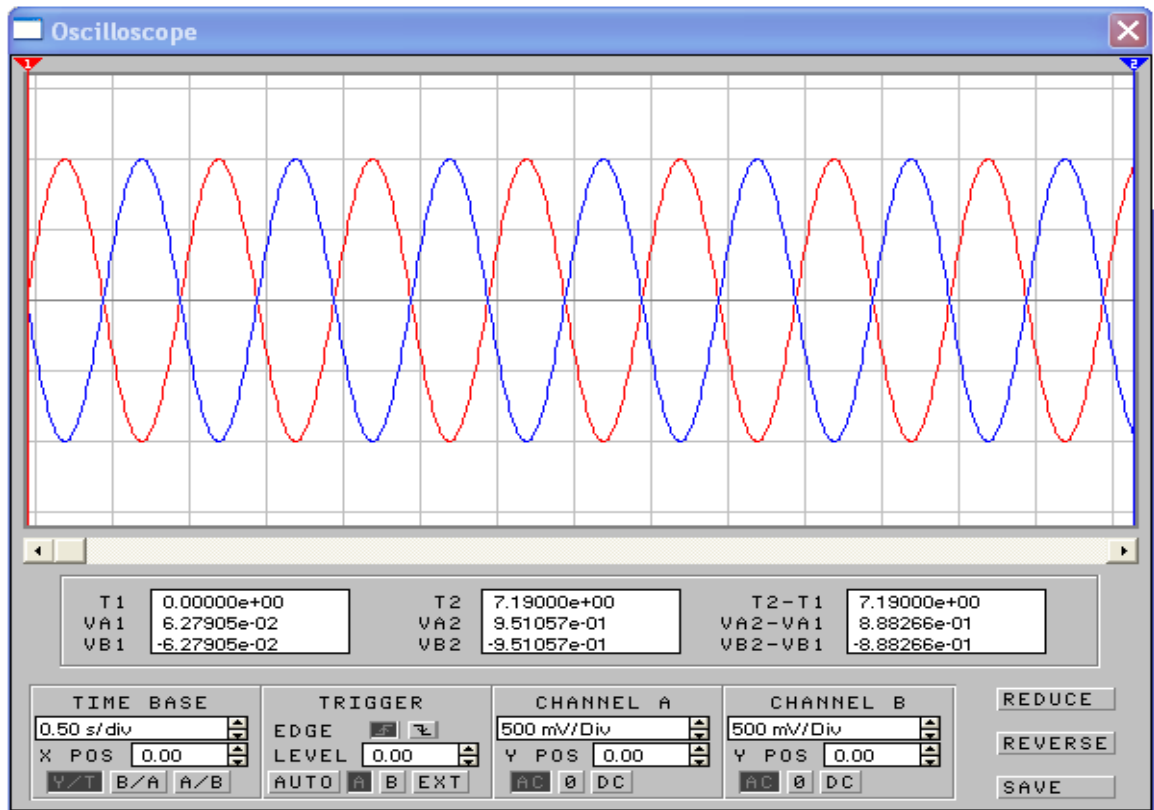


Рисунок 9.5 – Вид електронного осцилографа в режимі Zoom

9.4. Осцилограми сигналів

На рисунках 9.6, 9.7 наведені приклади осцилограм сигналів з екрану осцилографа, які показують налаштування функціонального генератора і електронного осцилографа:

$M_x=0,1$ с/под $T=0,2$ с; $M_y=500$ мВ/ под

$A=1$ В.

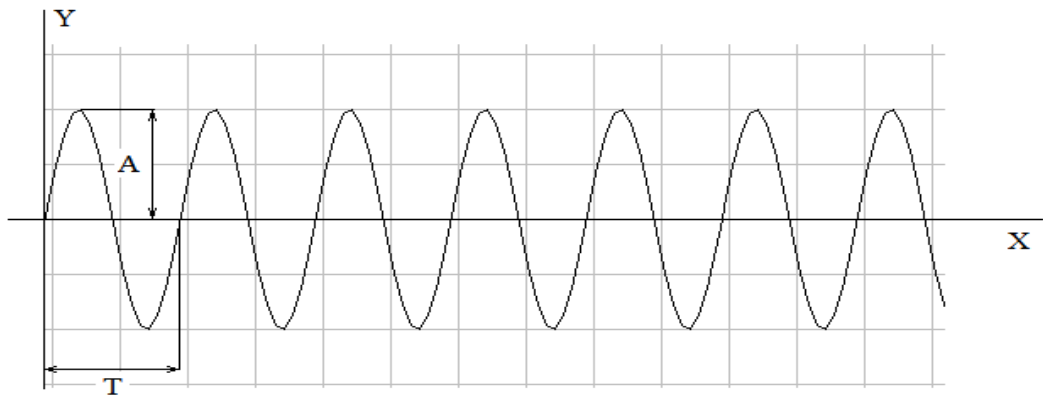


Рисунок 9.6– Осцилограма синусоїдального сигналу

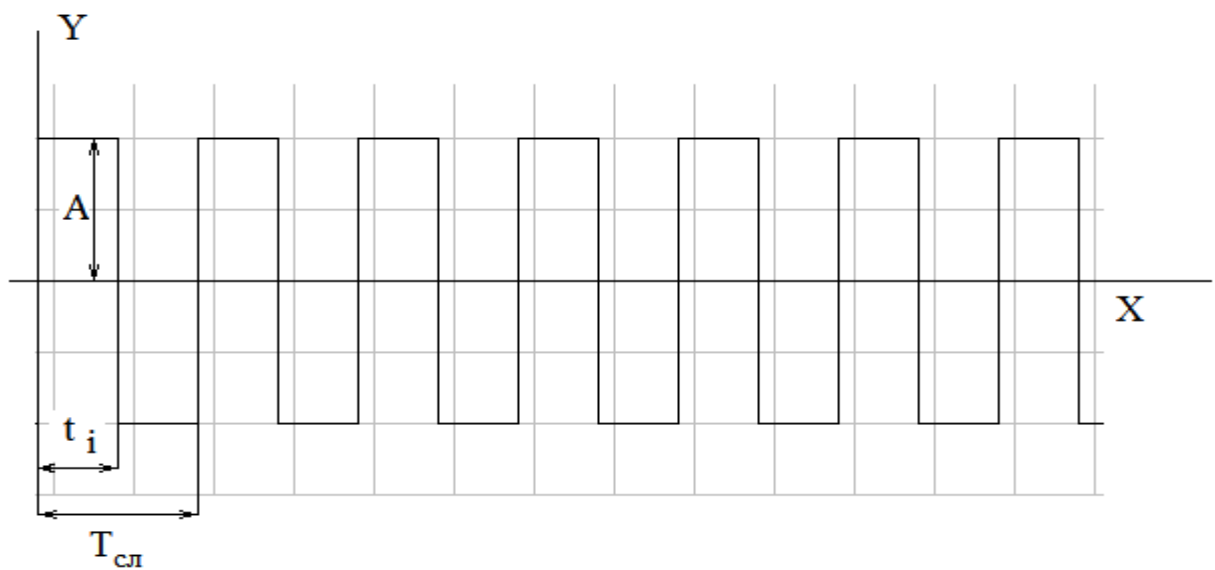


Рисунок 9.7– Осцилограма імпульсного сигналу

Контрольні питання до роботи

1. Які параметри електричного сигналу і пасивних елементів вимірюються мультиметром?
2. Призначення органів управління осцилографом.
3. Співвідношення діючого і амплітудного значень сигналів.
4. Порядок вимірювання амплітуди сигналу на осцилографі.
5. Порядок вимірювання періоду сигналу на осцилографі.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ДІОДІВ В СЕРЕДОВИЩІ ELECTRONICS WORKBENCH

Мета роботи

Отримати первинні навички роботи з програмою Electronics Workbench, навчитися збирати простіші електричні схеми і проводити дослідження процесів, які відбуваються, за допомогою вимірювальних приладів. Дослідити вольт-амперні характеристики діодів (випрямного діоду і стабілітрона).

10.1. Напівпровідниковий діод

Напівпровідниковий діод –електронний прилад, який має односторонню провідність за наявності одного *p-n*- переходу.

Напівпровідникові діоди діляться на випрямні, детекторні, світлодіоди, фотодіоди, варикапи, стабілітрони і т. п.

Принцип роботи полягає в тому, що якщо підключити до *p*-області плюс, а до *n*-області мінус джерела електрорушійної сили (ЕРС) E , то під дією електричного поля основні носії зарядів почнуть рухатися у бік *p-n*- контакту, зменшуючи ширину бар'єрного шару. При цьому різко зменшується опір бар'єрного шару, і створюється прямий струм $I_{пр}$.

При зворотній полярності джерела ЕРС E ширина бар'єрного шару збільшується, тому збільшується його опір. Створюється зворотний струм $I_{зв}$, який є незначним у порівнянні з прямим струмом $I_{пр}$.

Електричні процеси, які відбуваються у діоді наочно відображаються вольт-амперною характеристикою (ВАХ) діоду.

До основних параметрів діода відносяться:

- постійна пряма напруга $U_{пр}$
- постійна зворотна напруга $U_{зв}$
- постійний прямий струм $I_{пр}$
- постійний зворотний струм $I_{зв}$

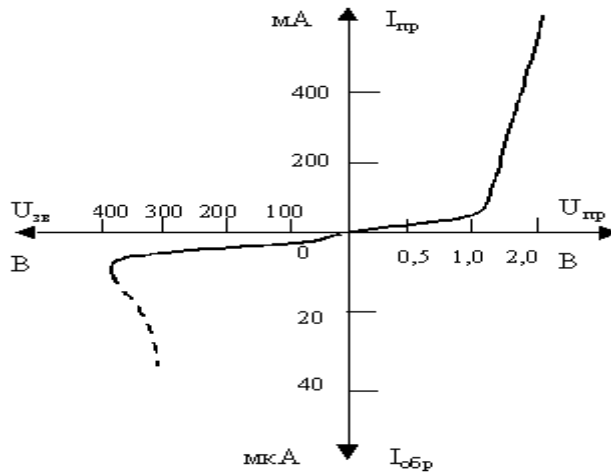


Рис. 10.1– Вольт-амперна характеристика діода

- діапазон робочих частот Δf – діапазон частот, на верхній межі якого випрямлений струм не повинний бути нижче 0,707 від максимального значення;
- загальна ємність діода C_d – ємність між выводами діода при заданих напругах зміщення і частоті;
- максимально допустима середня потужність розсіювання P_{max} – максимальна постійна потужність розсіювання на діоді, яка забезпечує задану надійність при тривалій роботі.

10.2. Особливості стабілітронів

Стабілітрон – це напівпровідниковий діод, зворотна напруга на якому слабо залежить від величини зворотного струму. Стабілітрони застосовуються для стабілізації напруг живлення у мережах постійного струму.

В стабілітроні застосовується властивість відновлюваного електричного пробою. Робочою ділянкою характеристики є зворотна гілка ВАХ, яка майже паралельна вісі струмів (рис. 10.2).

Основними параметрами стабілітрона є:

- напруга стабілізації $U_{ст}$ – напруга на стабілітроні при протіканні струму стабілізації;
- допустимі межі струмів стабілізації $I_{ст\ min}$ і $I_{ст\ max}$ – мінімальне і максимальне значення струмів стабілізації, при яких напруга стабілізації знаходиться у допустимих межах;

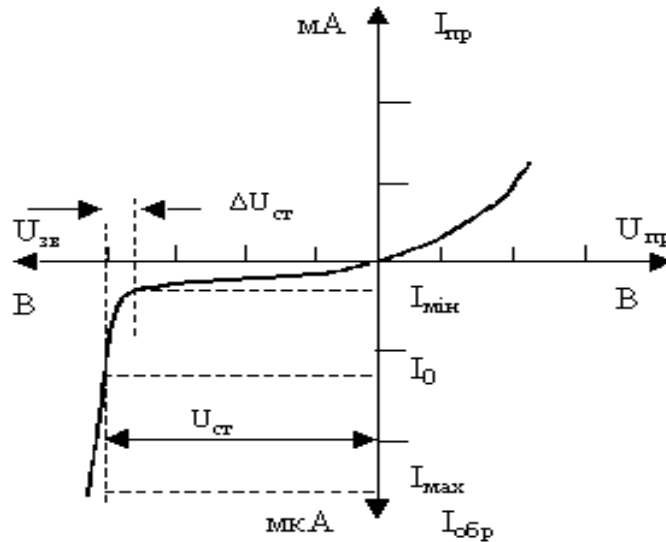


Рисунок 10.2– Вольт-амперна характеристика стабілітрона

- диференціальний опір $R_{ст}$ – відношення прирощення напруги стабілізації на стабілітроні до прирощення струму, який покликав цю зміну напруги стабілізації;
- допустима потужність розсіювання $P_{макс}$ – максимальна допустима потужність розсіювання, при якій не виникає теплового пробою стабілітрона.

10.3. Порядок виконання лабораторної роботи

Виконується на комп'ютері з використанням програми Electronics Workbench. Для цього необхідно запустити Electronics Workbench.

10.3.1. Дослідження вольт-амперної характеристики діода

За допомогою панелі інструментів зібрати електричну схему для дослідження прямої гілки ВАХ (рис. 10.3).

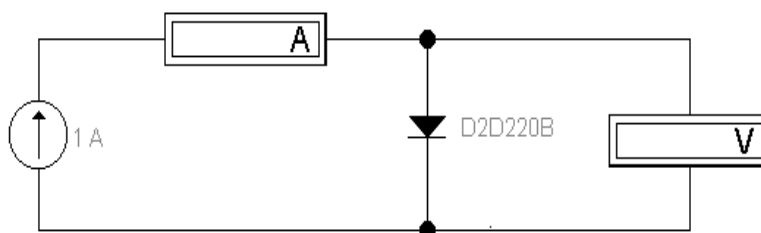


Рисунок 10.3– Схема дослідження прямої гілки ВАХ

Змінюючи значення прямого струму за допомогою джерела струму, визначити відповідні значення прямої напруги. Результати вимірювань занести до таблиці 10.1 звіту до лабораторної роботи.

За допомогою панелі інструментів зібрати електричну схему дослідження зворотної гілки ВАХ (рис. 10.4).

Таблиця 10.1–Результати вимірювань прямої гілки вольтамперной характеристики діода

$I_{пр.}, \text{мА}$	0,1	0,5	1	5	10	20	40	80	160
$U_{пр.}, \text{В}$									

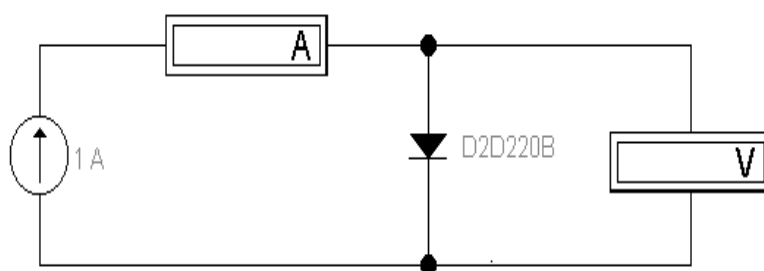


Рисунок 10.4– Схема дослідження зворотної гілки ВАХ

Змінюючи значення зворотної напруги за допомогою джерела напруги, визначити відповідні значення зворотного струму. Результати вимірювань занести до таблиці 10.2 звіту до лабораторної роботи.

Таблиця 10.2– Результати вимірювання зворотної гілки вольтамперной характеристики діода.

$U_{обр.}, \text{В}$	1	2	3	5	10	15	20	25	30
$I_{обр.}, \text{мкА}$									

10.2. Дослідження стабілітрона

За допомогою панелі інструментів зібрати електричну схему для визначення напруги стабілізації стабілітрона (рис. 10.5).

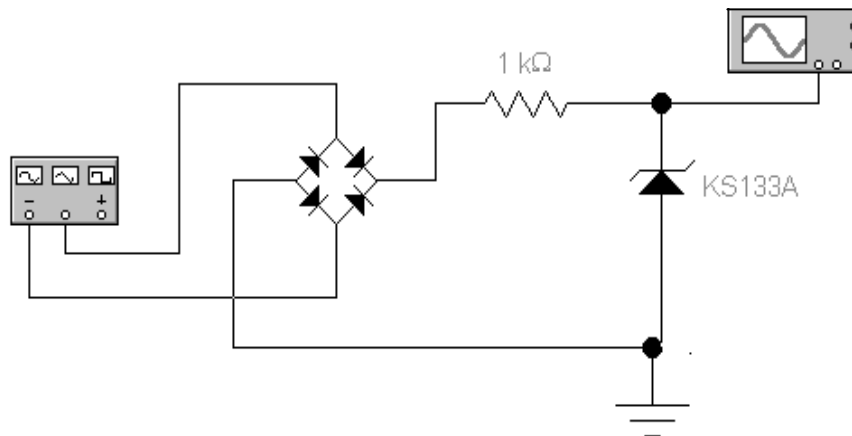


Рисунок 10.5– Схема дослідження напруги стабілізації

За допомогою вікна Zener Diode Properties у списку Models вибрати російський аналог стабілітрона (r-stab, KS133A).

За допомогою панелі Function Generator встановити наступні параметри сигналу на виході генератора: частота – 50 Гц, амплітуда – 10 В.

На екрані осцилографа спостерігати стабілізовану напругу. Параметри розгортки на панелі осцилографа встановити наступні: швидкість розгортки 0,01с/дел (Time base - 0.01s/div), амплітуда розгортки 2В/дел. Осцилограму цієї напруги занести в табл.10.3 звіту до лабораторної роботи. З осцилограми визначити напругу стабілізації, записати її в звіт до лабораторної роботи.

Таблиця 10.3–Результаты измерения входных параметров стабилизатора

$U_{ВХ}$, В (V1)	1	2	3	4	4,5	5	5,3	5,5
I , мА								

Контрольні питання до роботи

1. Основні характеристики діода.
2. Пряма гілка вольт-амперної характеристики діода.
3. Зворотна гілка вольт-амперної характеристики діода.
4. Призначення стабілітрона.
5. Вольт-амперна характеристика стабілітрона.
6. Особливості підключення стабілітрона і діода.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИПРЯМЛЯЧІВ В СЕРЕДОВИЩІ ELECTRONICS WORKBENCH

Мета роботи

Дослідження форми напруги і струму на вході та виході однонапівперіодного і двонапівперіодного випрямлячів.

Дослідження впливу згладжувальних фільтрів на форму та параметри напруги і струму у схемах однонапівперіодного та двонапівперіодного випрямлячів.

11.1. Параметри випрямлячів

Основним джерелом електроживлення споживачів електричної енергії в автомобілях є генератори змінного струму з напівпровідниковими випрямлячами. Найбільш поширеними схемами побудови напівпровідникових випрямлячів є однонапівперіодна та двонапівперіодна схеми. У однонапівперіодному випрямлячі використовується один напівпровідниковий діод, а двонапівперіодні випрямлячі будуються, як правило, за мостовою схемою і мають чотири діоди.

До параметрів, що характеризують роботу випрямляча, відносяться:

- величини і форма струму і напруги на виході випрямляча;
- коефіцієнт пульсацій випрямленої напруги.

На виході випрямлячів формується пульсуюча напруга. Величина пульсацій випрямленої напруги характеризується коефіцієнтом пульсацій K_n , який є важливим параметром випрямляча.

Коефіцієнт пульсацій K_n являє собою відношення амплітуди змінної складової напруги $U_{\dot{u}}$ до середнього значення випрямленої напруги U_0 , які діють на виході випрямляча

$$\hat{E}_{\dot{i}} = \frac{U_{\dot{i}}}{U_0}. \quad (11.1)$$

При використанні випрямлячів для електроживлення електронних засобів особливу увагу приділяють якості фільтрації випрямленої напруги. З метою зменшення (згладжування) пульсацій випрямленої напруги використовуються фільтри різних типів. Найпростішим видом фільтру є ємнісний фільтр, що включається паралельно навантаженню.

Основним параметром фільтра є коефіцієнт згладжування пульсацій:

$$\hat{E}_{\dot{\zeta}i} = \frac{\hat{E}_{\dot{i}}}{\hat{E}'_{\dot{i}}}, \quad (11.2)$$

де $K_{\Pi} = E_{\text{мн}}/U_0$ - коефіцієнт пульсацій на вході фільтра (на навантаженні без фільтру);

$\hat{E}'_{\dot{i}} = \hat{A}'_{\dot{i}}/U'_0$ - коефіцієнт пульсацій на виході фільтра (на навантаженні з фільтром);

$E_{\text{мн}}, \hat{A}'_{\dot{i}}$ - амплітуда змінної складової випрямленої напруги на вході та на виході фільтра відповідно;

U_0, U'_0 - середнє значення випрямленої напруги на навантаженні без фільтру та з фільтром.

11.2. Порядок виконання лабораторної роботи

1. Підготовка до виконання роботи

На рис. 11.1 показана структурна схема лабораторного стенда.

Лабораторна робота виконується на комп'ютері з використанням програми Electronics Workbench. Для цього необхідно виконати наступні операції: запустити Electronics Workbench, і за допомогою меню File/Open відкрити файл "випр_1.ewb".

При відкритті файлу на екрані монітору відображається вікно, що містить електронну схему дослідження однонапівперіодного випрямляча.

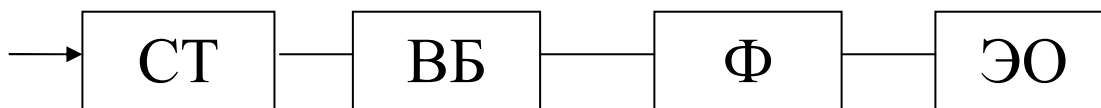


Рисунок 11.1 – Структурна схема лабораторного стенда

Лабораторний стенд містить:

СТ – силовий трансформатор;

ВБ – вентильний блок;

Ф – фільтр низьких частот;

ЭО – електронний осцилограф.

Кожна з цих схем містить генератор змінної напруги 20 В 50 Гц, вольтметр V, амперметр А і осцилограф для контролю форми напруги і струму на виході випрямляча. Схема містить конденсатор ємністю 100 мкФ, що застосовується у якості фільтра згладжування.

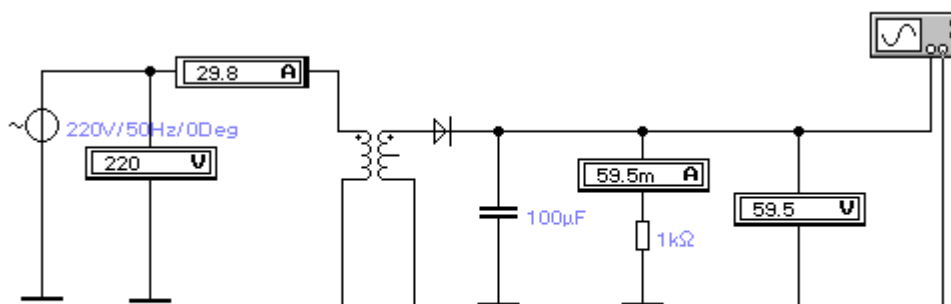


Рисунок 11.2 – Модель схеми однонапівперіодного випрямляча

2. Визначення значень постійної та змінної складових випрямленої напруги


Лівою клавішею маніпулятора натиснути кнопку включення живлення на панелі інструментів. У випадку серйозної помилки в схемі (замикання елемента живлення на коротко, відсутність нульового потенціалу в схемі) буде видано попередження. За допомогою вимірювальних приладів (А та V) визначити величини постійних складових напруги та струму на виході випрямляча при відсутності та при наявності ємнісного фільтра.

Величину змінної складової напруги на виході випрямляча з

фільтром та без фільтру визначають за допомогою осцилографа. Для цього вимірюють висоту сигналу по клітинам на екрані та розраховують напругу по кількості вольт у клітині, яке відповідає положенню перемикача осцилографа "V/дел".

Результати вимірювань занести до табл. 11.1 звіту до лабораторної роботи.

Таблиця 11.1–Результати дослідження однопівперіодного випрямляча

			 VD1
Без фільтра	U , В		
	I , мА		
$C=100\text{мкФ}$	U , В		
	I , мА		

11.3. Зняття осцилограм

За допомогою осцилографа спостерігати осцилограми напруги, що діють на вході та на виході випрямлячів, при наявності ємнісного фільтру та без нього. Навести ці осцилограми у журналі лабораторних робіт.



Рисунок 11.3 – Осцилограма вихідної напруги випрямляча при фіксованому опорі $R_H=1$ кОм, без конденсатора C_Φ .

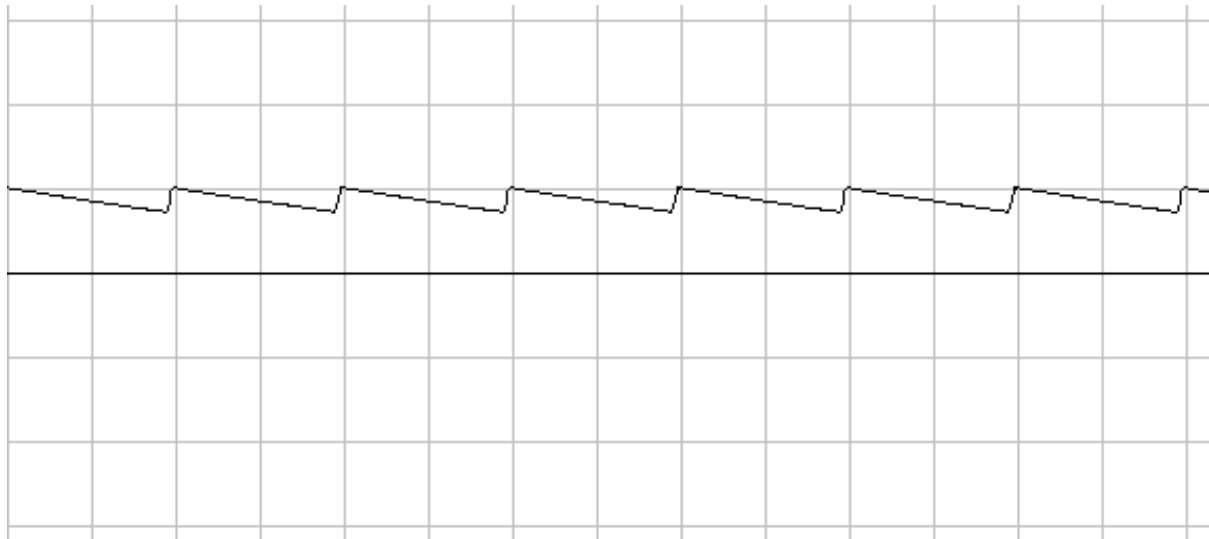


Рисунок 11.4 – Осцилограма вихідної напруги випрямляча при фіксованому опорі $R_H=1$ кОм, і ємності фільтра $C_\Phi=100$ мкФ.

11.4. Визначення коефіцієнта пульсацій випрямленої напруги

Для визначення коефіцієнта пульсацій випрямленої напруги необхідно з табл. 11.1 взяти величину U_0 - постійну складову випрямленої напруги та E_{MH} - амплітуду змінної складової випрямленої напруги без фільтру. За формулою (11.1) знайти значення коефіцієнта пульсацій випрямленої напруги. Значення коефіцієнта пульсацій випрямленої напруги розрахувати для обох схем випрямлячів. Результати розрахунків занести до таблиці 11.1.

11.5. Визначення коефіцієнта згладжування пульсацій

Для визначення коефіцієнта згладжування пульсацій необхідно з табл. 11.1 взяти величину U'_0 - постійну складову випрямленої напруги та \dot{A}'_1 - амплітуду змінної складової випрямленої напруги з фільтром. За формулою (11.1) знайти значення коефіцієнта пульсацій випрямленої напруги при наявності фільтру. Після цього за формулою (11.2) знайти величину коефіцієнта згладжування пульсацій. Значення коефіцієнта згладжування пульсацій розрахувати для обох схем випрямлячів. Результати розрахунків занести до

таблиці 11.1.

6. Висновки з лабораторної роботи

Після закінчення експериментальних досліджень та розрахунку коефіцієнтів пульсацій випрямляча та коефіцієнтів згладжування фільтрів, необхідно зробити висновки. В цих висновках стисло охарактеризувати закономірності явищ та їх теоретичне обґрунтування. Необхідно пояснити форму осцилограм напруги для однонапівперіодного випрямляча, та зробити порівняння коефіцієнтів пульсацій випрямленої напруги та коефіцієнтів згладжування пульсацій для різних величин ємності згладжувального фільтра. Після цього зробити висновок щодо якості випрямлення напруги однонапівперіодним випрямлячем та впливу фільтрів на якість згладжування пульсацій.

Контрольні питання

1. Принцип дії однонапівперіодного випрямляча.
2. Коефіцієнт пульсацій однонапівперіодного випрямляча.
3. Принцип дії двонапівперіодного випрямляча.
4. Коефіцієнт пульсацій двонапівперіодного випрямляча.
5. Призначення та принцип дії фільтра.

Лабораторна робота 12

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК БІПОЛЯРНИХ ТРАНЗИСТОРІВ В СЕРЕДОВИЩІ ELECTRONICS WORKBENCH

Мета роботи

Визначити вхідні і вихідні характеристики біполярних транзисторів, побудувати графіки статичних вольт-амперних характеристик.

12.1. Призначення транзисторів

Транзистори - це напівпровідникові прилади, що служать для генерації, посилення і перетворення сигналів електромагнітної природи. Збільшення потужності сигналу відбувається за рахунок зовнішнього джерела живлення. За принципом дії вони поділяються на біполярні та польові. Біполярним транзистор названий тому, що його робота обумовлена носіями обох полярностей (електронами і дірками). Надалі будемо розглядати тільки біполярні транзистори.

Конструктивно транзистор являє собою кристал тришарової структури $p-n-p$ чи $n-p-n$, поміщений в герметичний корпус з трьома виводами, кожен з яких пов'язаний з певною областю кристала (рис. 12.1,а). Одна з крайніх областей називається емітером (Е), інша - колектором (К), а середня базою (Б). Таким чином, в транзисторі є два $p-n$ -переходи: емітерний (між Е і Б) і колекторний (між Б і К). Умовне позначення транзисторів наведено на рис.12.1,б.

Тришарова структура створюється за сплавною або дифузною технологією. Функція шару, який зветься емітером - інжектування носіїв заряду в базу; функція шару, який зветься колектором- збирання носіїв заряду. Пластина напівпровідника, на яку наплавляють колектор і емітер, називається базою. Щоб носії заряду, які інжектвані емітером і проходять через базу, повніше збиралися колектором, площу колекторного переходу роблять більше площі емітерного переходу.

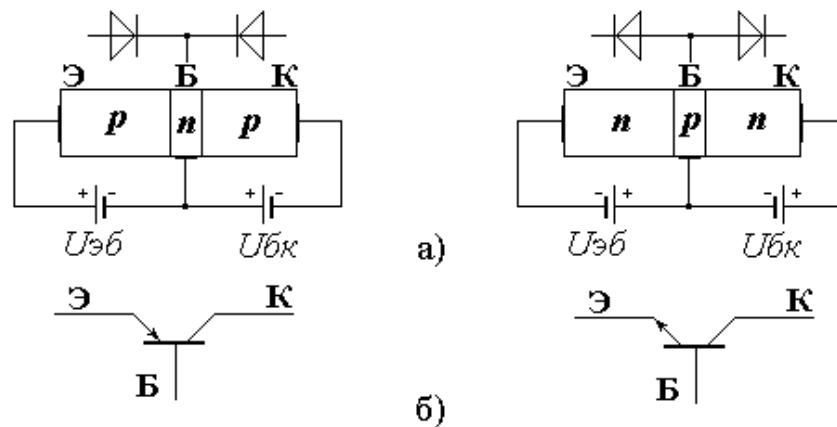


Рисунок 12.1– Тришарова структура (а) і умовне позначення (б) транзисторів різних типів

12.2. Принцип дії транзистора та його основні параметри

Зовнішню напругу підключають до транзистора таким чином, щоб забезпечувалося зміщення емітерного переходу в прямому напрямку, а колекторного переходу - у зворотному напрямку. Це досягається за допомогою двох джерел напруги U_e і U_k (рис.12.2).

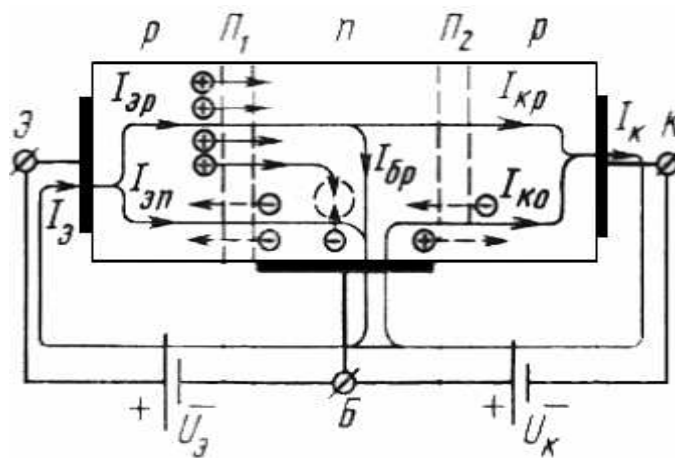


Рисунок 12.2– Схема включення транзистора типу $p-n-p$

Оскільки в емітерному переході зовнішня напруга U_e діє в прямому напрямку, потенційний бар'єр для дірок - основних носіїв зарядів емітерного шару, зменшується, і дірки з емітера під дією дифузії у великій кількості переходять (інжектують) в область бази. Більшість дірок в подальшому досягає колектора і викликає колекторний струм транзистора I_k .

Наявність колекторного переходу, включеного в зворотному напрямку, призводить до появи додаткової некерованої складової струму колектора, обумовленої протіканням зворотного струму колекторного переходу ЛКТ. Від значення струму емітера струм ЛКТ не залежить.

Основне співвідношення для струмів транзистора складається за першим законом Кірхгофа

$$I_{\text{а}} = I_{\text{е}} + I_{\text{к}}.$$

В залежності від напруги між виводами транзистора, розрізняють три основних режими:

- активний, в якому перехід Е-Б включений в прямому напрямку, а перехід К-Б - в зворотному (режим керування струмом колектора);
- режим відсічення, в якому обидва переходи включені в зворотному напрямку (транзистор закритий);
- режим насичення, в якому обидва переходи включені в прямому напрямку (транзистор повністю відкритий).

Схеми включення транзисторів

Для посилення сигналів застосовується три схеми включення транзисторів:

- із загальною базою (ЗБ) (рис. 12.3, а);
- із загальним емітером (ЗЕ) (рис. 12.3, б);
- із загальним колектором (ЗК) (рис. 12.3, в).

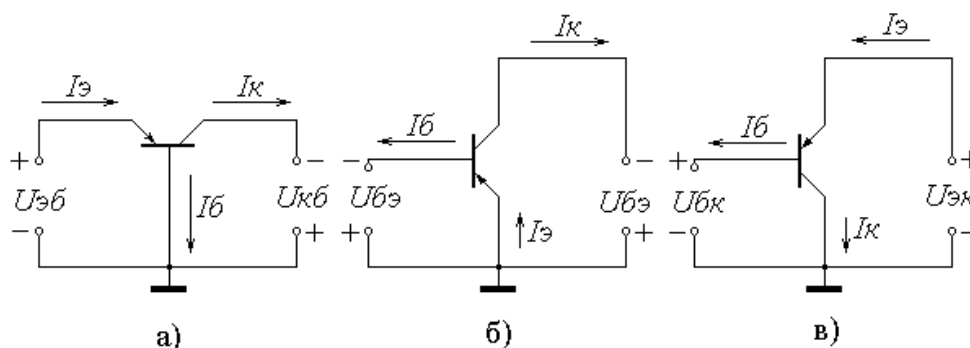


Рисунок 12.3– Схеми включення транзистора: (а) з загальною базою (ЗБ); (б) з загальним емітером (ЗЕ); (в) з загальним колектором (ЗК)

Назва схеми включення транзисторів збігається з назвою вивода, загального для вхідних і вихідних ланцюгів. Практично найбільш часто застосовується схема з ОЕ, що дає найбільше посилення сигналу за потужністю.

Вольт-амперні характеристики транзистора

На практиці найчастіше використовуються два сімейства ВАХ транзисторів – вхідні і вихідні (рис.12.4, 12.5). Вхідні характеристики визначають залежність вхідного струму (бази або емітера в залежності від способу включення транзистора) від напруги між базою і емітером при фіксованих значеннях напруги на колекторі. Вихідні характеристики визначають залежність струму колектора від напруги колектор-емітер при фіксованих значеннях

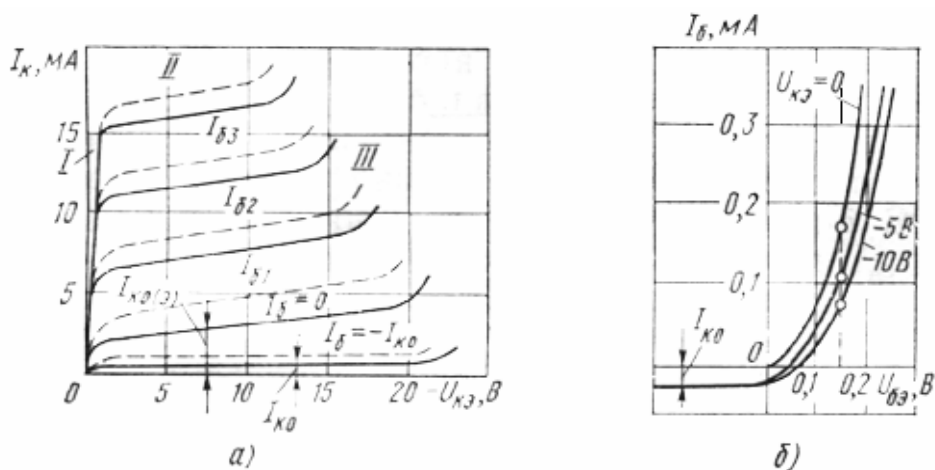


Рисунок 12.4 – Типові справочні характеристики транзистора, включеного за схемою з загальним емітером: а) вихідні; б) вхідні

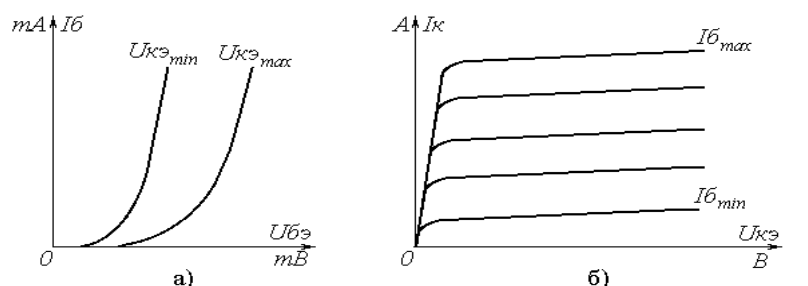


Рисунок 12.5– Ілюстрація вхідних (а) і вихідних (б) характеристик транзистора, який включений по схемі із ЗЕ

струму бази або емітера (в залежності від способу включення транзистора).

На практиці для розрахунку схем застосовують так звані h - параметри транзистора:

$h_{11} = \Delta U_1 / \Delta I_1$ - вхідний опір транзистора при незмінній вихідній напрузі ($\Delta U_2 = 0$);

$h_{21} = \Delta I_2 / \Delta I_1$ - коефіцієнт передачі струму при незмінній вихідній напрузі ($\Delta U_2 = 0$);

$h_{12} = \Delta U_1 / \Delta U_2$ - коефіцієнт зворотного зв'язку по напрузі при незмінному вхідному струмі ($\Delta I_1 = 0$);

$h_{22} = \Delta I_2 / \Delta U_2$ - вихідна провідність транзистора при незмінному вхідному струмі ($\Delta I_1 = 0$).

Цифра 1 відповідає вхідним параметрам. Цифра 2 - вихідним параметрам струмів і напруг. При розрахунку h - параметрів замість цифр 1 і 2 підставляють індекси: Е, Б, для значень струмів і напруг відповідної схеми включення транзистора.

Вхідні характеристики мають вигляд, аналогічний характеристикам діодів: струм експоненціально зростає із збільшенням напруги база-емітер. При підвищенні і зниженні температури вхідні характеристики зміщуються в бік менших і більших вхідних напруг відповідно. Напруга між базою і емітером для кремнієвих транзисторів зменшується приблизно на 2 мВ при збільшенні температури на кожен градус Цельсія.

Особливістю вихідних характеристик транзистора, включеного за схемою з ЗБ, є слабка залежність струму колектора від напруги колектор-база $U_{кб}$. При великих напругах $U_{кб}$ відбувається пробій колекторного переходу. При збільшенні температури вихідні характеристики зміщуються в бік більших струмів через збільшення зворотного струму $I_{ко}$.

У транзистора, включеного за схемою з ЗЕ, струм колектора більш сильно залежить від напруги колектор-емітер. Різке зростання струму колектора починається при меншій колекторній напрузі, ніж для вмикання транзистора за схемою з ЗБ. При підвищенні температури вихідні характеристики значно зміщуються в бік більших струмів, їх нахил сильно збільшується.

ВАХ транзисторів і діодів знімаються на постійному струмі (по точках) або за допомогою спеціальних приладів - характеріографів, що дозволяють уникнути сильного нагрівання приладів.

Вхідні та вихідні характеристики транзисторів використовуються для розрахунку кіл зміщення і стабілізації режиму, розрахунку кінцевих станів ключових схем (режиму відсічення, насичення).

Параметри транзистора в програмі моделювання

До складу параметрів транзисторів включені наступні (зібрані в п'яти вікнах-закладках):

- IS - зворотний струм колекторного переходу;
 - F - коефіцієнт підсилення струму в схемі з ОЕ;
 - BR - коефіцієнт підсилення струму в схемі з ОЕ при інверсному включенні транзистора (емітер і колектор міняються місцями);
 - RB - об'ємний опір бази, Ом;
 - RC - об'ємний опір колектора, Ом;
 - RE - об'ємний опір емітера. Ом;
 - CJE - ємність емітерного переходу при нульовій напрузі, Ф;
 - CJC - ємність колекторного переходу при нульовій напрузі, Ф;
 - CJS - ємність колектор-підкладка, Ф;
 - TF - час переноса заряду через базу, с;
 - TR - час переноса заряду через базу в інверсному включенні, с;
 - ME - коефіцієнт плавності емітерного переходу;
 - MC - коефіцієнт плавності колекторного переходу;
 - VA - напруга Ерлі, близька до параметру $U_{k\max}$, В;
 - ISE - зворотний струм емітерного переходу, А;
 - IKF - струм початку спаду посилення по струму, близький до параметру I_{vp} , А;
 - NE - коефіцієнт неідеальності емітерного переходу;
 - VJC - контактна різниця потенціалів переходу база-колектор, В;
 - VJE - контактна різниця потенціалів переходу база-емітер, В.
- Додаткові параметри мають наступне призначення:
- NF - коефіцієнт неідеальності в нормальному режимі;
 - NR - коефіцієнт неідеальності в інверсному режимі;

IKR - струм початку спаду коефіцієнта підсилення струму в інверсному режимі, А;

NC - коефіцієнт неідеальності колекторного переходу;

RBM - мінімальний опір бази при великих струмах, Ом;

IRB - струм бази, при якому опір бази зменшується на 50% від різниці RB-RBM, А;

XTF - коефіцієнт, що визначає залежність часу TF перенесення зарядів через базу від напруги колектор-база;

VTF - напруга колектор-база, при якому починає позначатися його вплив на TF, В;

PTF - додатковий фазовий зсув на граничній частоті транзистора, град.;

VJS - контактна різниця потенціалів переходу колектор-підкладка, В;

MJS - коефіцієнт плавності переходу колектор-підкладка;

XCJC - коефіцієнт розщеплення ємності база-колектор;

FC - коефіцієнт нелінійності бар'єрної ємності прямозміщених переходів;

EG - ширина забороненої зони, еВ;

XTB - температурний коефіцієнт підсилення струму в нормальному та інверсному режимах;

XTI - температурний коефіцієнт струму насичення;

KF - коефіцієнт фліккер-шуму;

AF - показник ступеня у формулі для фліккер-шуму;

TNOM - температура транзистора.

12.3. Побудова вольт-амперних характеристик транзистора в схемі з ЗЕ

Схеми включення транзистора з ЗЕ представлені на рис. 12.6 (L7_1.ewb) і рис.12. 7 (L7_2.ewb).

Сімейство вхідних ВАХ (L7_1.ewb) знімається при фіксованих значеннях UKE, шляхом зміни струму IB, і вимірювання напруги UBE. Сімейство вихідних ВАХ (L7_2.ewb) знімається при фіксованих значеннях IB, шляхом зміни напруги UKE, вимірювання і IK.

Вхідні статичні характеристики транзистора знімати для трьох значень UKE, які вибирати за допомогою ключів (10В, 20В, 30В).

Підтримуючи цю напругу незмінною, змінювати напругу між базою і емітером U_{BE} (потенціометр $R1$ від 0 до 100%), слідкувати за показаннями амперметра і вольтметра:
 $I_B = f(U_{BE})$ при $U_{KE} = \text{const}$.

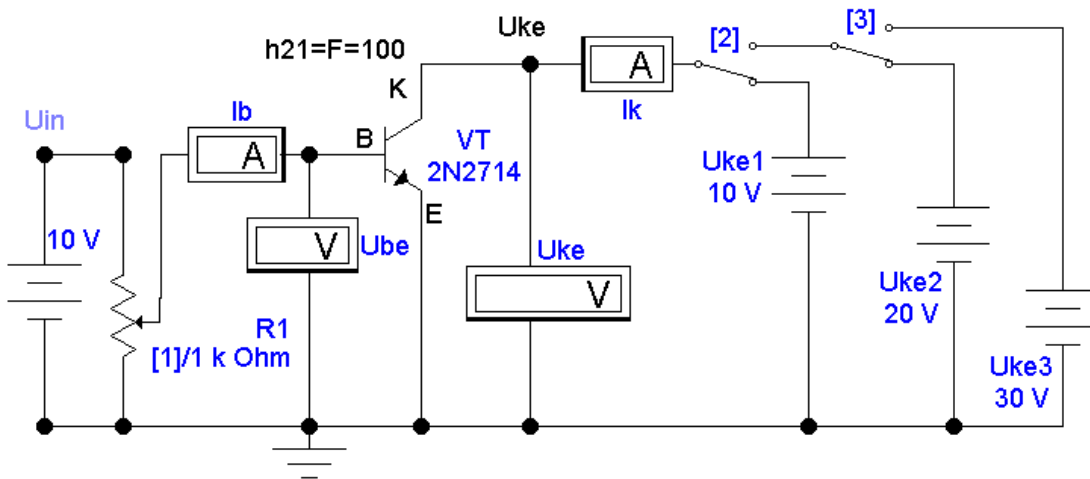


Рисунок 12.6–Дослідження входних ВАХ біполярного транзистора в схемі із загальним емітером

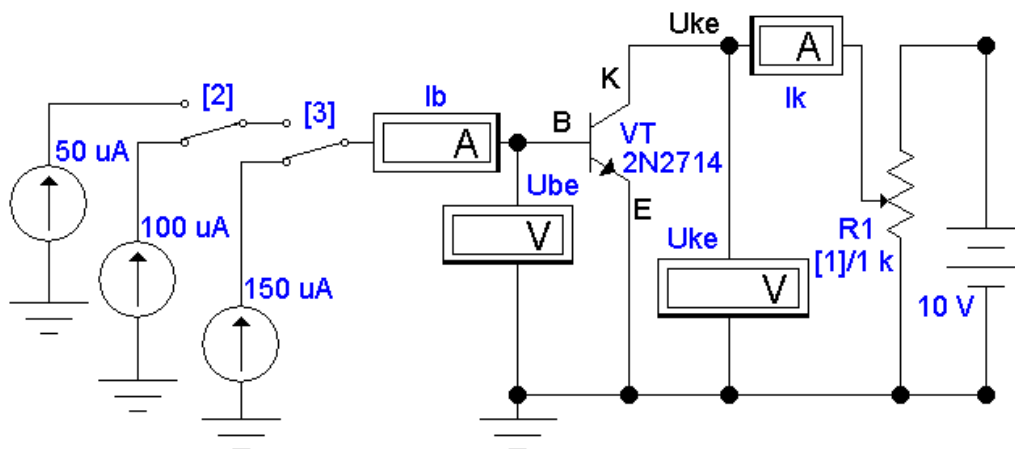


Рисунок 12.7– Дослідження вихідних ВАХ біполярного транзистора в схемі із загальним емітером

Побудувати статичні вольт-амперні характеристики (ВАХ) транзистора у схемі з ЗЕ.

Завдання 1. Визначити сімейство входних характеристик ВАХ при фіксованих значеннях напруги U_{KE} , шляхом зміни струму I_B , і напруги U_{BE} , (L7_1.ewb).

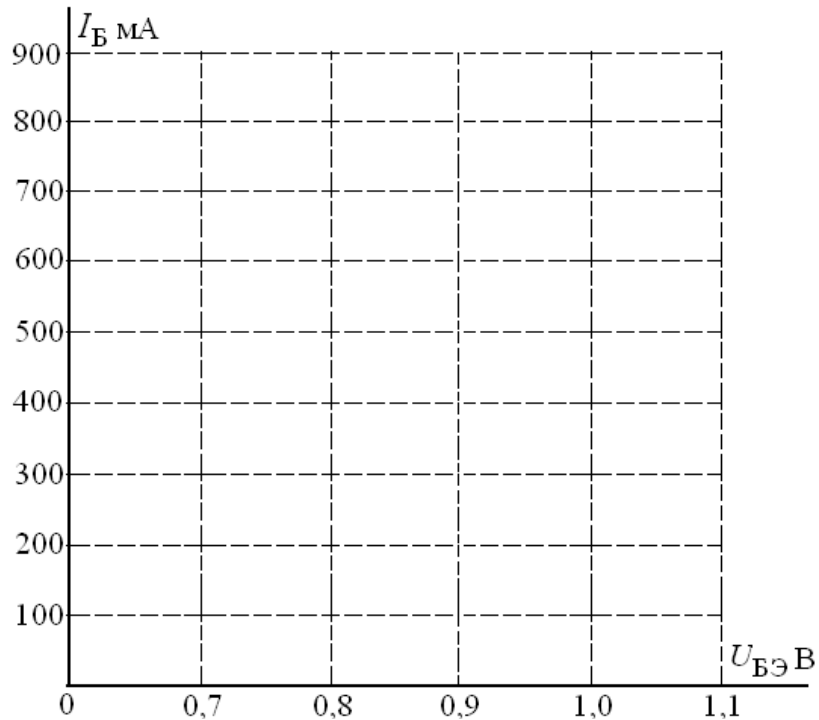


Рисунок 12.8– Вхідна характеристика транзистора

Вхідні статичні характеристики транзистора знімати для трьох значень U_{KE} , які вибрати за допомогою ключів (10В, 20В, 30В). Підтримуючи цю напругу незмінною, змінювати напругу між базою і емітером U_{BE} (потенціометр R1 від 0 до 100%), слідкувати за показаннями амперметра і вольтметра

$$I_B = f(U_{BE}), \text{ при } U_{KE} = \text{const.}$$

Використовуючи результати вимірювань побудувати статичні вхідні характеристики транзистора в схемі з ЗЕ (рис.12.7).

В якості прикладу, вхідні характеристики будуються автоматично (L7_1_vax.ewb) для різних значень напруги U_{KE} .

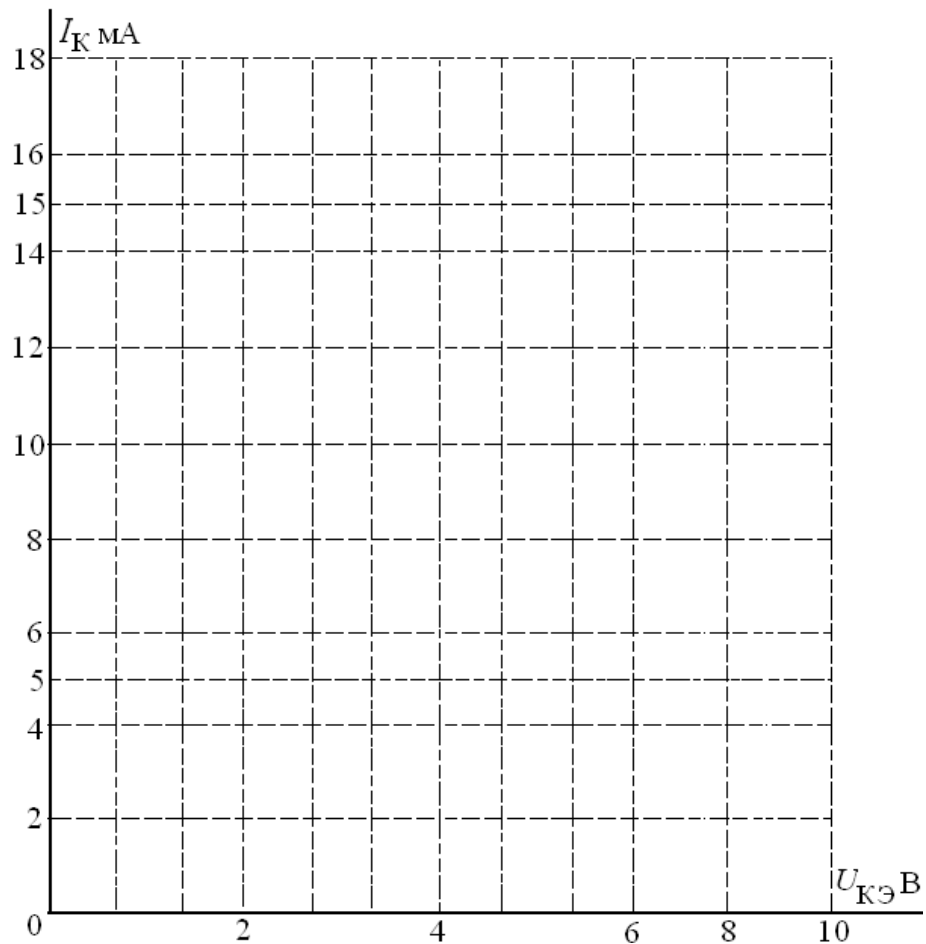


Рис.12.9– Вихідна характеристика транзистора

Завдання 2. Визначити сімейство вихідних ВАХ при фіксованих значеннях I_B , шляхом зміни U_{KE} , і I_K , (L7_2.ewb).
 Вихідні характеристики транзистора: $I_K = f(U_{KE})$ при $I_B = \text{const}$.
 Значення I_B встановити за допомогою ключів (50 мА, 100 мА, 150 мА). Підтримуючи I_K постійним, змінювати U_{KE} (значення R1 від 0 до 100%). Побудувати вихідні статичні характеристики транзистора в схемі з ОЕ (рис. 2).

В якості прикладу, вихідні характеристики будуються автоматично (L7_2_vax.ewb) для різних значень струму бази.

По вихідним характеристикам визначити значення коефіцієнта посилення по струму:

$\beta = h_{21e} = F$ (в програмі моделювання);

$h_{21e} = \Delta I_K / \Delta I_B$.

Прирошення струму ΔI_K визначається як різниця між двома найближчими графічними характеристиками (рис.2) на їх лінійній ділянці. Цим графікам відповідають два значення струму I_B , різниця між ними є природження ΔI_B .

Контрольні питання

1. Як називаються шари напівпровідникової структури транзистора і чому?
2. Як визначається коефіцієнт передачі струму?
- 3 Чим зумовлене посилення по струму в схемі включення транзистора з ОЕ?
- 4 Назвіть основні параметри біполярних транзисторів.
5. Як підключається напруга до колектора для транзисторів типу *p-n-p* або *n-p-n*.
6. Назвіть основні схеми підключення транзисторів.
7. Що таке вхідна характеристика транзистора.
8. Що таке вихідна характеристика транзистора.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 13

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОПЕРАЦІЙНОГО ПІДСИЛЮВАЧА В СЕРЕДОВИЩІ ELECTRONICS WORKBENCH

Мета роботи

Ознайомитися з можливостями моделювання електронних схем на операційних підсилювачах в середовищі EWB. Дослідити амплітудні характеристики масштабного підсилювача на ідеальному операційному підсилювачі з заданими параметрами.

13.1. Види операційних підсилювачів

Значне число аналогових схем прикладної радіоелектроніки в даний час виконується на операційних підсилювачах (ОП). Це стало можливим не тільки у зв'язку з підвищенням доступності ОП, але і завдяки ряду їх переваг (універсальність, суттєве спрощення міжкаскадних і міжблокових зв'язків, підвищення можливостей мікромініатюризації апаратури, тощо), що сприяють прискоренню та підвищенню якості розробки РЕА різного призначення.

Операційним підсилювачем називається інтегральна мікросхема, що представляє собою підсилювач постійного струму з параметрами, близькими до ідеальних. Це - дуже високий коефіцієнт підсилення (сотні тисяч), практично нескінченно великий вхідний і малий (десятки Ом) вихідний опір, стійкість до впливу перешкоди та ін.

Частотна характеристика ОП не має спаду в області низьких частот, а верхня гранична частота досягає досить великих значень (сотні мегагерц).

Живлення ОП здійснюється, як правило, від двох різнополярних джерел живлення однакової напруги. Умовне позначення ОП представлено на рис. 1.

Верхній на рисунках вхід ОУ називається неінвертуючим входом (при подачі сигналу на цей вхід фаза сигналу на виході збіга-

ється з фазою вхідного), а нижній - інвертуючим входом (при подачі сигналу на цей вхід фаза сигналу на виході протилежна фазі вхідного).

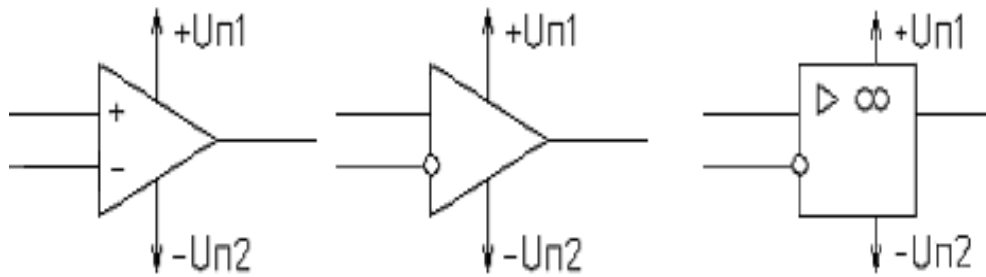


Рисунок.13.1– Умовне позначення ОП

Оскільки коефіцієнт підсилення власне ОП дуже великий, то використання його в якості підсилювача можливо лише при охопленні його негативним зворотним зв'язком (при відсутності від'ємного зворотного зв'язку (ВЗЗ) навіть вкрай малий сигнал “шуму” на вході ОП дасть на виході ОП напругу, близьку до напруги насичення, трохи менша напруги джерела живлення).

Інвертуючий підсилювач (рис. 13.2), що змінює знак вихідного сигналу щодо вхідного, створюється введенням по інвертуючому входу ОП з допомогою резистора $R_{зз}$ паралельного негативного зворотного зв'язку по напрузі. Вхідний сигнал подається через резистор R_1 на інвертуючий вхід ОП. При цьому $U_0 = 0$. Коефіцієнт підсилення інвертуючого підсилювача:

$$K_U = -\frac{R_{cc}}{R_1} \quad (13.1)$$

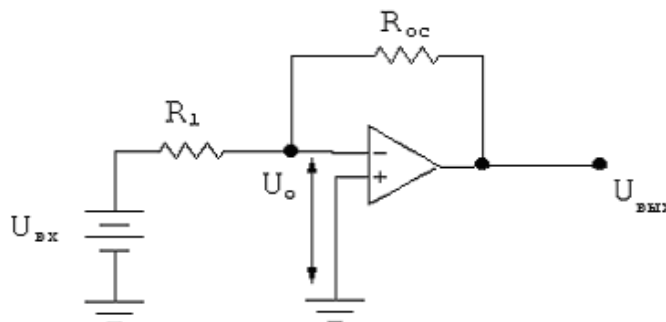


Рисунок 13.2– Інвертуючий підсилювач

Неінвертуючий підсилювач (рис. 13.3) містить послідовний негативний зворотний зв'язок по напрузі, яка подається на інвертуючий вход, вхідний сигнал подається на неінвертуючий вход ОП.

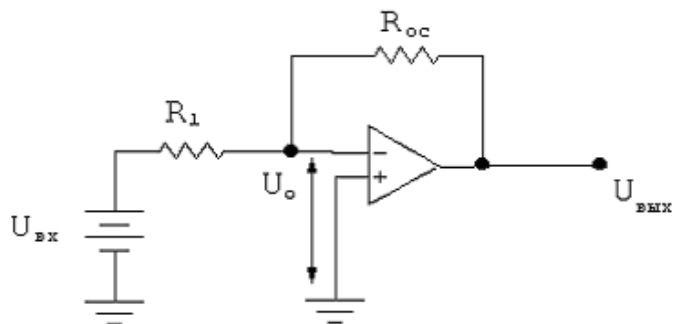


Рисунок 13.3 – Неінвертуючий підсилювач

Коефіцієнт підсилення неінвертуючого підсилювача

$$K_U = 1 + \frac{R_{ос}}{R_1} . \quad (13.2)$$

Амплітудні передавальні характеристики інвертуючого і неінвертуючого підсилювачів зі зворотним зв'язком представлені на рис.13.4 (відповідно 13.4а, і 13.4, б).

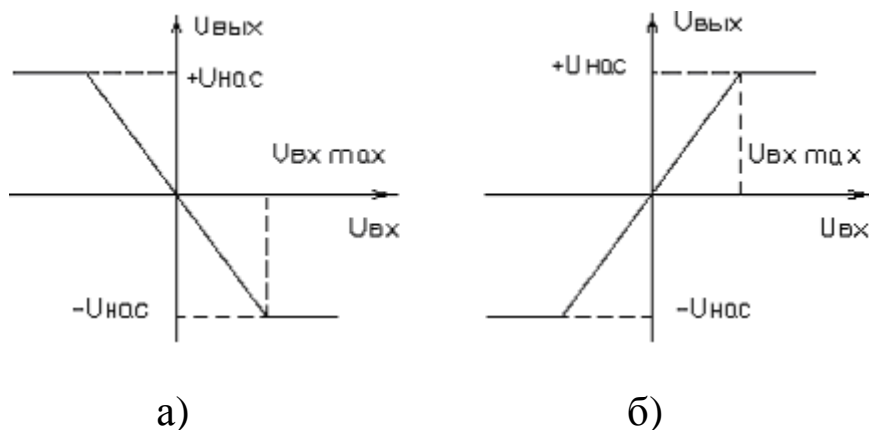


Рисунок 13.4–Амплітудні характеристики: а – інвертуючого, б – неінвертуючого підсилювачів

Нахил робочої ділянки характеристики визначається коефіцієнтом підсилення каскаду. На характеристиках є ділянки насичення, починаючи з деякого значення вхідної напруги $U_{вх\ max}$, вихідна

напруга не збільшується, а залишається постійною на рівні $U_{нас}$ значення, яке визначається напругою живлення мікросхем ОП. Зазвичай $U_{нас}$ менше напруги живлення.

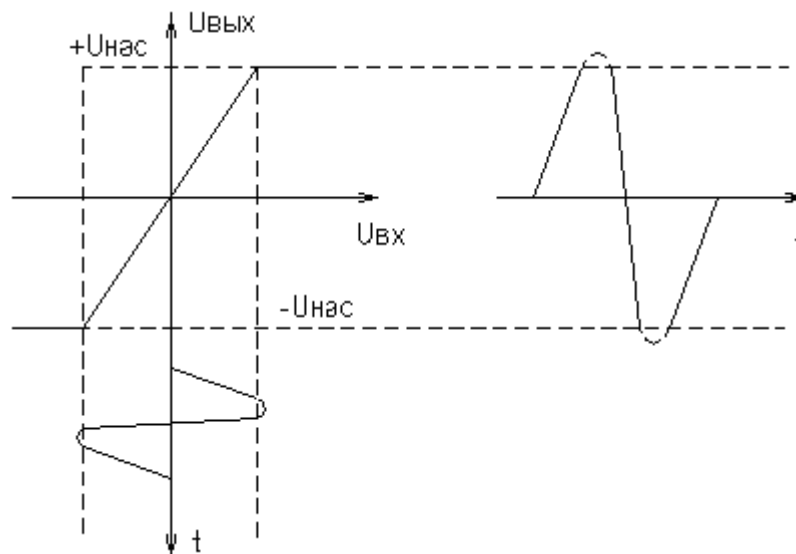


Рисунок 13.5– Вхідна і вихідна напруга ОП

При посиленні змінної напруги ділянка насичення обмежує амплітуду вихідної напруги, вона залишається на рівні $U_{нас}$, із зростанням вхідного сигналу (рис.13.5) таким чином з'являються нелінійні спотворення.

13.2.Завдання роботи:

1. Змоделювати схему масштабного підсилювача на ідеальному операційному підсилювачі з заданими параметрами (вхідний сигнал синусоїдальний, $R_{зз} = 1,7$ кОм, $K_{п} = 1,2$, $f = 100$ Гц).

2. Дослідити залежність величини вихідної напруги масштабного підсилювача від величини вхідної напруги $U_{вих} = f(U_{вх})$, а також залежність коефіцієнта передачі від величини вхідної напруги $K_{п} = f(U_{вх})$.

Лабораторний стенд

Лабораторний стенд призначений для дослідження масштабного підсилювача на ідеальному операційному підсилювачі з зада-

ними параметрами, структурна схема якого представлена на рис 13.6.

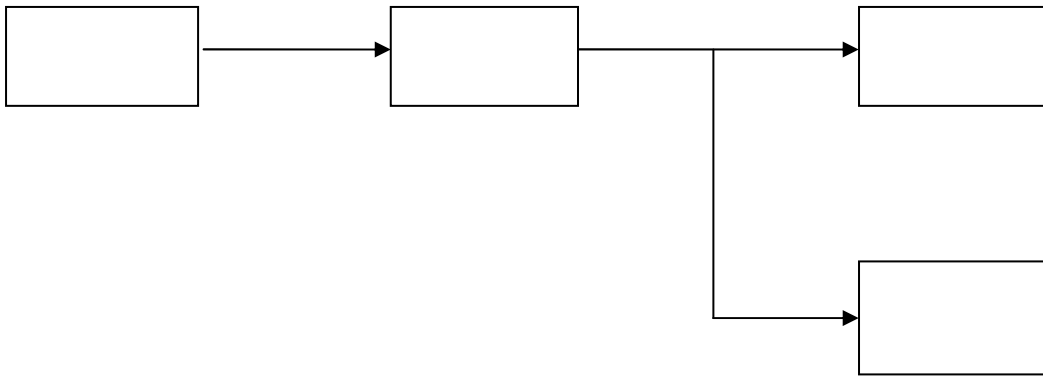


Рисунок 13.6 – Структурна схема лабораторного стенда

Лабораторний стенд містить:

ФГ – функціональний генератор;

ОП – операційний підсилювач;

ЕО – електронний осцилограф;

ММ – мультиметр.

У відповідності до структурної схеми лабораторного стенда, зібрати у середовищі Electronics Workbench модель схеми масштабного підсилювача, яка представлена на рис.13.7.

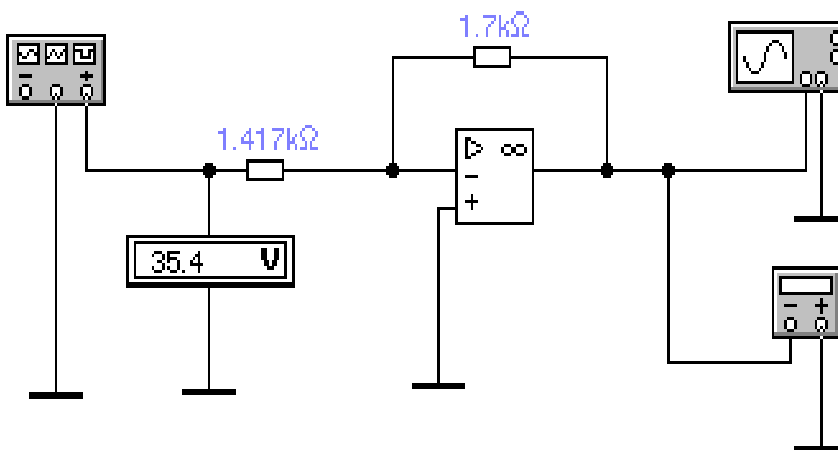


Рисунок 13.7 - Модель схеми масштабного підсилювача

За допомогою зібраної схеми можна визначити залежність величини вихідної напруги масштабного підсилювача від величини вхідної напруги $U_{\text{вих}} = f(U_{\text{вх}})$, а також залежність коефіцієнта передачі від величини вхідної напруги $K_{\text{п}} = f(U_{\text{вх}})$.

13.3. Таблиця експериментальних даних

Вхідний опір знаходимо за формулою

$$R_{\text{вх}} = -\frac{R_{\text{сц}}}{K_{\text{і}}} = \frac{1,7}{1,2} = 1,417 \text{ .}$$

Проведемо дослідження схеми масштабного інвертуючого підсилювача на ідеальному операційному підсилювачі з заданими параметрами (вхідний сигнал синусоїдальний $R_{\text{зз}} = 1,7 \text{ кОм}$, $K_{\text{п}} = 1,2$, $f = 100 \text{ Гц}$). Результати вимірів і розрахунків занесемо до таблиці 13.1.

Таблиця 13.1 – Експериментальні дані для залежностей $U_{\text{вих}} = f(U_{\text{вх}})$ і $K_{\text{п}} = f(U_{\text{вх}})$

Границя вихідної напруги ФГ	$U_{\text{вх}}$	$U_{\text{вих}}$	$K_{\text{п}} = -\frac{R_{\text{сц}}}{R_{\text{ао}}}$
100 мВ	70,7 мВ	84,8 мВ	1,199
500 мВ	354 мВ	424 мВ	1,198
1 В	707 мВ	848 мВ	1,199
3 В	212 В	2,545 В	1,2
5 В	354 В	4,242 В	1,198
7 В	495 В	5,938 В	1,1996
10 В	7,07 В	8,483 В	1,1999
15 В	10,6 В	12,7 В	1,198
20 В	14,1 В	15,7 В	1,11
25 В	17,7 В	16,7 В	0,94
30 В	21,2 В	17,4 В	0,82
50 В	35,4 В	18,5 В	0,52

За даними табл.13.1 будемо графіки, представлені на рис.13.8, 13.9.

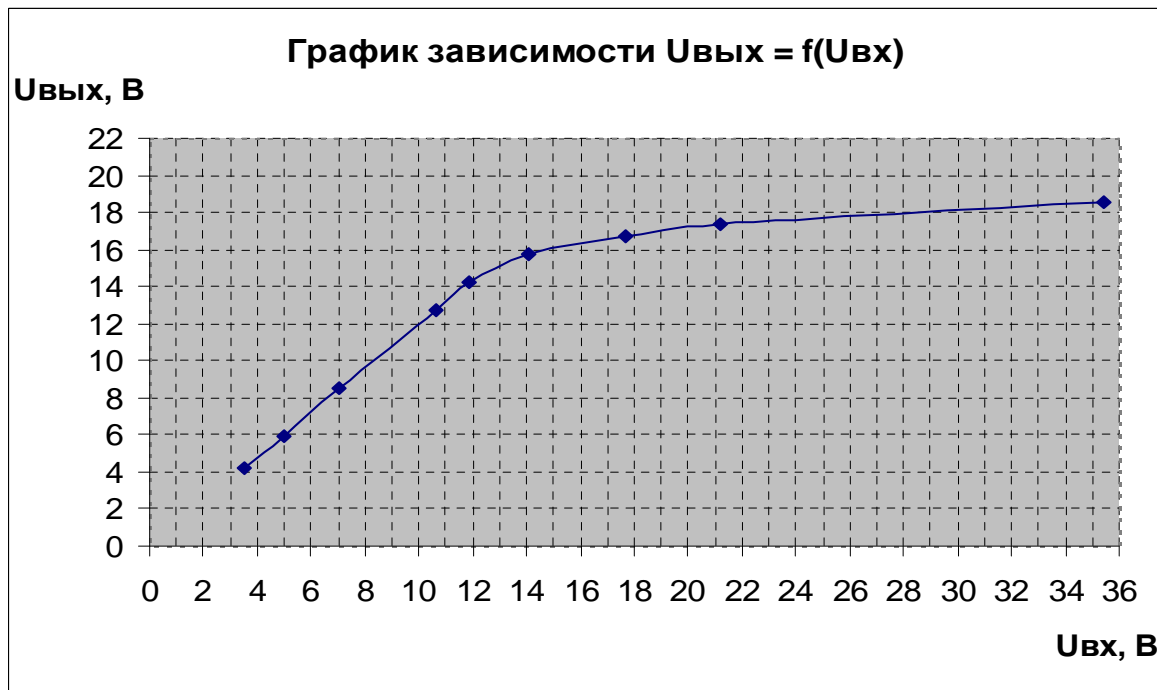


Рисунок 13.8 – Графік залежності значення вихідної напруги масштабного підсилювача від значення вхідної напруги $U_{\text{вих}} = f(U_{\text{вх}})$.

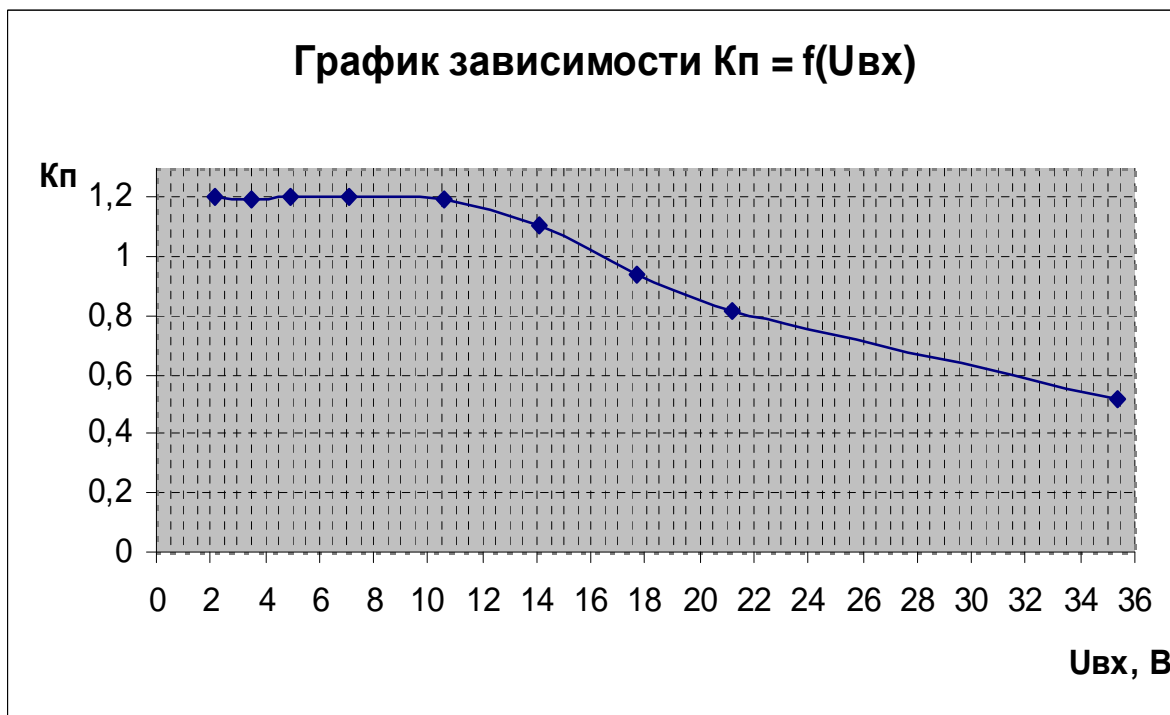


Рисунок 13.9 – Графік залежності коефіцієнта передачі від значення вхідної напруги $K_{\text{п}} = f(U_{\text{вх}})$.

На рис.13.10 і рис.13.11 для прикладу показані осцилограми вихідних змінних напруг до моменту виникнення амплітудних спо-

творень ($U_{вх}$ в межах лінійної ділянки амплітудної характеристики, до особливої точки $U_{нас}$) і після моменту їх виникнення ($U_{вх}$ перевищує межі лінійної ділянки) відповідно.

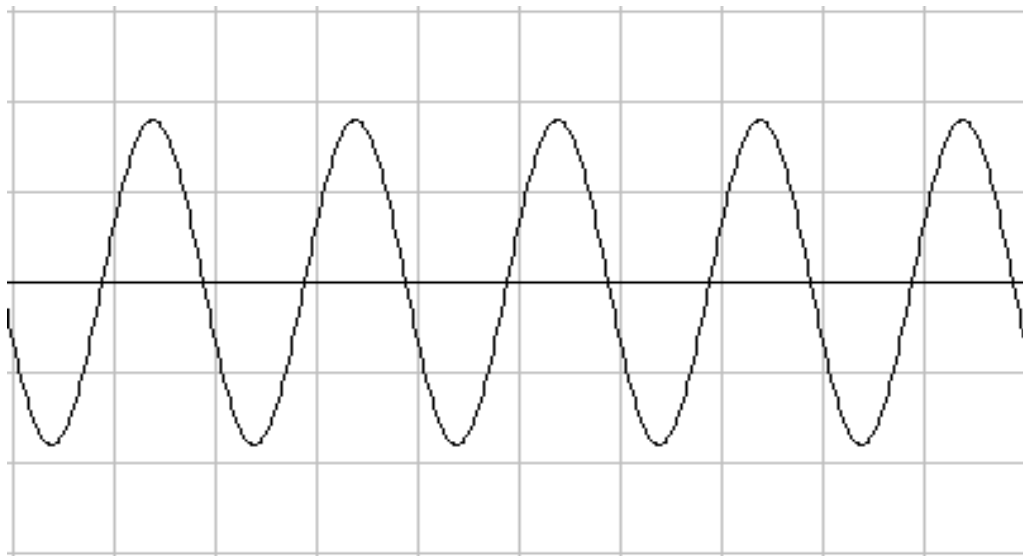


Рисунок 13.10 – Осцилограма вихідної напруги до особливої точки



Рисунок 13.11 – Осцилограма вихідної напруги після особливої точки

Контрольні питання

- 1 Де використовується інвертуючий і неінвертуючий підсилювач?
- 2 Види зворотних зв'язків в підсилювачах.
- 3 Коефіцієнт підсилення неінвертуючого підсилювача?
4. Вхідний і вихідний опори операційного підсилювача.
5. Амплітудна характеристика операційного підсилювача.

ДОДАТОК

Д1.Короткі відомості по роботі з програмою моделювання електронних схем Electronics Workbench.

Поява і широка доступність персонального комп'ютера дозволяє докорінно змінити сформовану систему освіти. Досвід показує, що застосування засобів програмованого навчання дозволяє підвищити успішність учнів і прискорити проходження матеріалу в середньому на 25-30% при значному полегшенні праці педагога.

Найбільшою ефективністю володіють навчальні програми моделюючого типу. Стосовно до професійної підготовки фахівців в галузі радіоелектроніки та автоматики це перевага поєднується з тією обставиною, що розробка будь-якого радіоелектронного пристрою супроводжується фізичним або математичним моделюванням. Фізичне моделювання пов'язане з великими матеріальними витратами, оскільки потребує виготовлення макетів і їх трудомістке дослідження. Часто фізичне моделювання просто неможливо через надзвичайну складність пристрою, наприклад, при розробці великих і надвеликих інтегральних мікросхем. У цьому випадку вдаються до математичного моделювання з використанням засобів і методів обчислювальної техніки. Наприклад, відомий пакет P-CAD містить блок логічного моделювання цифрових пристроїв, проте для початківців, в тому числі і для студентів, він представляє значні труднощі в освоєнні. Найбільш простий і легко освоюваної є програма Electronics Workbench (EWB) - розробка канадської компанії Interactive Image Technologies. Особливістю програми є наявність в ній контрольно-вимірювальних приладів, за зовнішнім виглядом, органам управління і характеристиками максимально наближених до їхніх промислових аналогів, що сприяє одночасно і придбанню практичних навичок роботи з найбільш поширеними приладами: мультиметром, осцилографом, вимірювальним генератором та ін

Програма Electronics Workbench призначена для дослідження процесів, які відбуваються в електричних схемах.

Electronics Workbench забезпечує графічне представлення і моделювання аналогових, цифрових і аналогово-цифрових схем.

Пакет містить у собі засоби редагування, моделювання і віртуальні інструменти тестування електричних схем, а також додаткові засоби аналізу моделей.

Програма Electronics Workbench має наочний і інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що дозволяє використовувати цю програму для виконання лабораторних робіт з курсу "Основи електроніки". Використання Electronics Workbench надає допомогу в тих випадках, коли в навчальному курсі бракує часу і засобів для практичної зборки електронних схем.

Необхідно відзначити, що використання програми Electronics Workbench не претендує на те, щоб цілком замінити практичну роботу зі зборки електронних схем з реальних компонентів.

Навчання студентів роботи з програмою Electronics Workbench на етапі розробки й аналізу електронних схем стає стандартом для всіх кваліфікованих працівників.

Діалогове вікно програми має наступний вигляд (рис.Д.1).

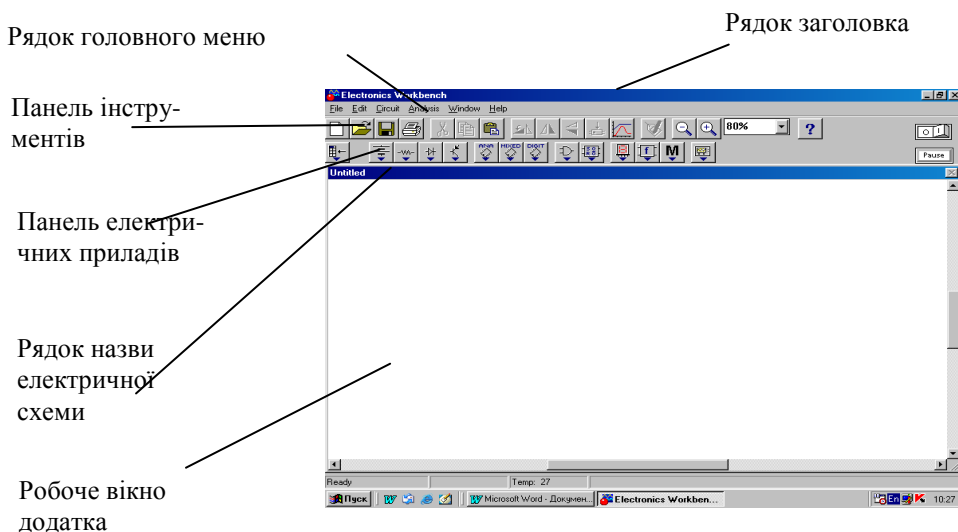


Рисунок Д.1– Вид діалогового вікна Electronics Workbench

Запуск програми Electronics Workbench здійснюється через кнопку **Пуск** на панелі задач. У головному меню відкритої програми послідовно натиснути кнопки **File – Open – Назва схеми дослідження**.

Вікно додатка Electronics Workbench складається з трьох частин.

Основну, центральну частину вікна додатка займає робоча область, у якій збирається і тестується електронна схема. За допомогою кнопок, що мають на панелі інструментів, можна змінювати вміст вікна набору компонентів. Зображення на кнопках показують, які типи компонентів з'являться в наборі при натисканні відповідної кнопки. Безпосередньо на панелі інструментів розташовані іконки вимірювальних приладів, які можуть бути застосовані для аналізу роботи зібраної схеми. Праворуч у цьому ж ряді розташований перемикач, що дозволяє включати і виключати зібрану схему. Перед іспитом зібраної схеми необхідно включити вимикач у верхньому правому куті вікна додатка Electronics Workbench у робоче положення. Переключення здійснюється за допомогою показника миші на перемикачі.

Д.2 Основні прийоми роботи в Electronics Workbench

У програмі Electronics Workbench зборка схеми здійснюється в робочій області. Електронні компоненти для зборки схеми беруться з лівого вікна, що містить набір компонентів. Вміст набору компонентів можна змінити натисканням відповідних кнопок, розташованих безпосередньо над вікнами.

Щоб здійснити які-небудь операції над елементом його необхідно виділити. Виділення елемента здійснюється щиком миші на цьому елементі, при цьому він офарблюється в червоний колір.

Всі електронні компоненти характеризуються своїми параметрами, що визначають їхнє поведіння в схемі. Щоб задати ці параметри потрібно двічі клацнути мишею на потрібному елементі, у результаті чого з'явиться діалогове вікно, у якому необхідно вибрати або записати необхідні параметри і закрити його натисканням кнопки "Асепт".

Основні компоненти Electronics Workbench, використовувані при виконанні лабораторних робіт.

Рисунок Д.2.– Панель пасивних елементів електричної схеми.



За допомогою цієї панелі вибираються необхідні елементи, які включаються в електричну схему. Здійснюється шляхом перетягування у робоче поле обраного елемента показником миші при натиснутій лівій клавіші. Наприклад, що наведені нижче.



Рисунок Д.3– Позначення пасивних елементів

Перемикач допускає два можливих положення, у яких один загальний вхід з'єднується з одним із двох можливих виходів. Переключення здійснюється клавішею [Space]. Щоб призначити якому-небудь перемикачеві іншу клавішу, потрібно двічі клацнути мишею на цьому перемикачі, увести необхідний символ у діалоговому вікні, що з'явилося, і натисканням кнопки "Асерт" підтвердити зроблений вибір. Після цього переключення даного перемикача буде здійснюватися за допомогою обраної клавіші, тобто замість слова Space вставити позначення обраної клавіші, наприклад [1].



Рисунок Д.4– Панель напівпровідникових діодів

За допомогою цієї панелі вибираються необхідні напівпровідникові діоди, які включаються в електричну схему. Наприклад, ті що наведені нижче.

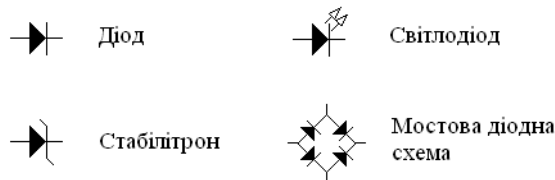


Рисунок Д.5– Позначення діодів

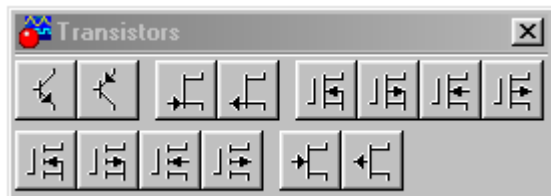


Рисунок Д.6– Панель напівпровідникових транзисторів.

За допомогою цієї панелі вибираються необхідні напівпровідникові транзистори, які включаються в електричну схему. Наприклад, ті що наведені нижче.



Рисунок Д.7– Позначення транзисторів



Рисунок Д.8– Панель індикаторних вимірювальних приладів.

За допомогою цієї панелі вибираються необхідні індикаторні вимірювальні прилади, які включаються в електричну схему. Наприклад, ті що наведені нижче.



Рисунок Д.9– Позначення вольтметра

Показує напругу, прикладена до його виводів. Одна зі сторін цього елемента виділена стовщеною лінією. Якщо напруга, прикладена до висновків таке, що потенціал на висновку, що знаходиться з не виділеної сторони, більше потенціалу на висновку, що знаходиться з виділеної сторони, то знак напруги, показуваного вольтметром, буде позитивним. У протилежному випадку знак напруги буде негативним.

Властивості вольтметра задаються натисканням правої клавіші миші і вибором необхідних параметрів.

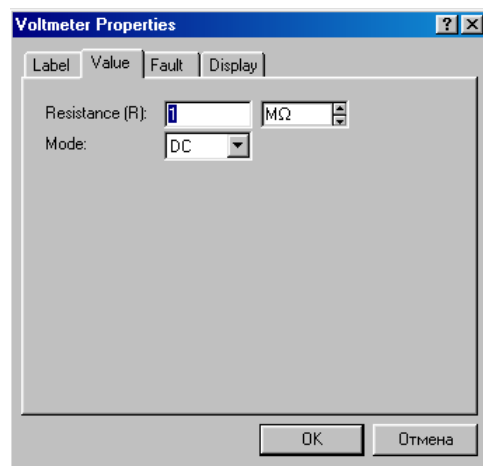


Рисунок Д.10– Вибір значення внутрішнього опору вольтметра (Resistance 1 MΩ).

При цьому вибирається потрібне значення внутрішнього опору (Resistance 1 MΩ). Тип струму постійний (DC), або перемінний (AC).



Рисунок Д.10– Позначення амперметра

Амперметр показує значення струму, що протікає через його виводи. Одна зі сторін цього елемента виділена стовщеною лінією. Якщо напрямок струму, що протікає через виводи елемента, збігається з напрямком від не виділеної сторони до виділеної сторони, то знак величини струму буде позитивним. У протилежному випадку знак буде негативним.

Властивості амперметра задаються натисканням правої клавіші миші і вибором необхідних параметрів.

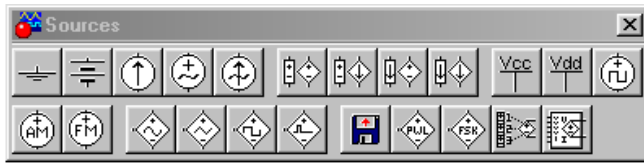



Рисунок Д.11–Панель джерел.

За допомогою цієї панелі вибираються необхідні джерела, які включаються в електричну схему. Наприклад, ті що наведені нижче.

 - Заземлення


 - Джерело постійної напруги

Рисунок Д.12– Позначення заземлення і джерела

Джерело постійної напруги являє собою модель ідеального джерела напруги, що підтримує на своїх виводах постійну напругу заданої величини. Величина напруги може задаватися розроблювачем клацанням правої клавіші миші на елементі і записом у діалоговому вікні необхідного значення.


 - Джерело змінної напруги

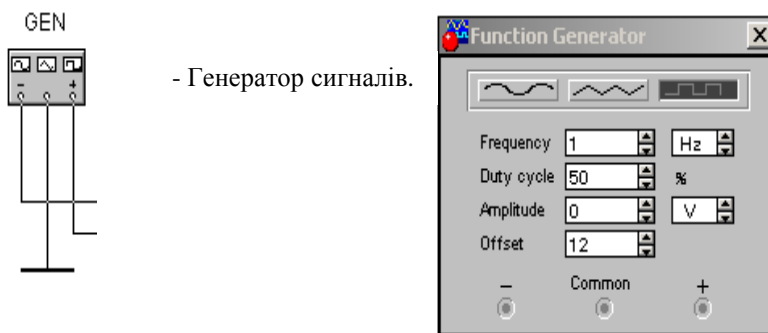
Рисунок Д.13– Позначення джерела змінної напруги

Джерело перемінної напруги являє собою модель ідеального джерела напруги, що підтримує на своїх виводах перемінну напругу заданої величини. Величина напруги може задаватися розроблювачем клацанням правої клавіші миші на елементі і записом у діалоговому вікні необхідного значення.



Рисунок Д.14– Панель вимірювальних приладів.

За допомогою цієї панелі вибираються необхідні вимірювальні прилади, які включаються в електричну схему для дослідження процесів. Наприклад, ті що наведені нижче.



- Генератор сигналів.

Рисунок Д.15– Позначення генератора сигналів

Дозволяє одержати з вихідних клем напругу сигналів синусоїдальної форми, а також трикутні і прямокутні імпульси. Мається можливість задавати частоту, амплітуду і зсув одержуваних сигналів. Генератор має три клеми, розташовані горизонтально знизу. Середню клему рекомендується заземлити. Напруга сигналу знімається з лівої або правої клем щодо землі, причому напруги на цих клемах є взаємно протифазними.

Генератор має 3 електричних виводу: загальний (земля), позитивний (+), негативний (-). Форма сигналу задається перемикачами у верхній частині (синус, пилка, імпульси). Значення частоти задається в полі *Frequency* і в множнику: Hz, kHz, MHz; симетричність форми задається параметром *Duty cycle*; амплітуда перемінної складової: *Amplitude*, множник: μV , m, V, k;

Постійна складова у вольтах задається в полі *Offset*, множник те ж, що й в амплітуди перемінної складової.

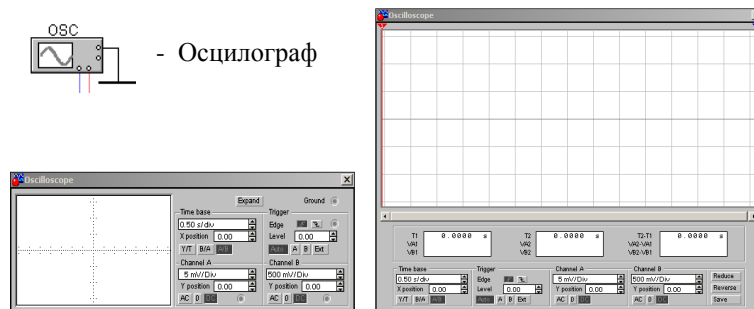


Рисунок Д.16– Позначення осцилографа

Самий головний вимірювальний прилад в електроніці. В Electronics Workbench використовується двоканальний осцилограф. Це означає, що з його допомогою можна спостерігати одночасно два сигнали, що надходять на його два входи. Відтворення форми сигналів, що надходять, виробляється у вікні розгорнутого зображення. Короткий вид приведений ліворуч, повний праворуч. Вид робочої панелі осцилографа може обиратися за допомогою кнопок Expand або Reduce.

Схема осцилографа має 4 входи: загальний (земля), вхід зовнішньої синхронізації, канал А, канал В.

Настроювання осцилографа визначається в першу чергу встановленням горизонтального і вертикального масштабів. Горизонтальний масштаб задається числом, що вказує кількість милі - або мікросекунд на один розподіл по горизонтальній осі. Вертикальний масштаб задається числом, що вказує число вольтів на один розподіл по вертикальній осі.

В області Time base знаходяться перемикачі режимів роботи і: Y/T, V/A, A/B.

На пластини – V/A (A/B), що відхиляють, подається напруга з каналних входів А і В. Множники задаються окремо по каналах в області Channel A(B), там же знаходяться перемикачі входу: AC(перемінний)/0(нуль)/DC(постійний).

ЛІТЕРАТУРА

1. Карлощук И.В. Электронная лаборатория на IBM PC. Том 1. Моделирование элементов аналоговых систем. 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Солон-пресс, 2006. – 672 с.

2. Панікарський О.С., Воробйов Д.О. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка.– Харків: ХНАДУ, 2009. – 152 с.

3.Бурбаева Н.В., Днепровская Т.С. Сборник задач по полупроводниковой электронике.– Москва,: ФИЗМАТЛИТ,2004.–168 с.

4.Кубата В.Г., Лубенец С.В., Фролов В.Я. Спеціалізовані електронні системи АТЗ. – Харків: ХНАДУ, 2011. – 272 с.

5.Будіщев М.С .Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка. Підручник. Львів .Афіша. 2001.-424 с.

6.Колонтаєвський, Ю.П,Сосков А.Г. Промислова електроніка та мікро- схемотехніка .Навчальне видання...Київ, ” Каравела”. 2004, - 429 с.

7.Морозов А.Г. Электротехника, электроника и импульсная техника. - М.: Высшая школа, 1987, 448с.

8.Тищенко В.Г., Тищенко Г.В. МикроЭВМ – своими руками. – Киев: Радянська школа, 1989. – 208 с.

9.Буреев Л.Н., Дудко А.Л., Захаров В.Н. Простейшая микро – ЭВМ. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 216 с.

10. Бечева М.К., Златенов И.Д., Новиков П.Н., Шапкин Е.В. Электротехника и электроника – М.: Высшая школа, 1991. – 224 с. 11. Электротехника / Под ред. Шихина А.Я. – М.: Высшая школа, 1991,– 336 с.

11.Кейт Бриндли, Джо Карр. Карманный справочник инженера электронной техники. – М,,: Додэка ХХ1,2007. –480 с.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
Лабораторна робота 1. Дослідження та вимірювання параметрів резисторів та конденсаторів	5
Лабораторна робота 2. Вимірювання параметрів змінної напруги за допомогою електронного осцилографа	18
Лабораторна робота 3. Дослідження характеристик напівпровідникових діодів	26
Лабораторна робота 4. Дослідження випрямного пристрою	35
Лабораторна робота 5. Дослідження характеристик транзисторів	43
Лабораторна робота 6. Дослідження характеристик підсилювача напруги	52
Лабораторна робота 7. Дослідження роботи операційного підсилювача	59
Лабораторна робота 8. Дослідження генератора на логічних елемент	70
Лабораторна робота 9. Вимірювання параметрів синусоїдального і імпульсного сигналів в середовищі ELECTRONICS WORKBENCH	78
Лабораторна робота 10. Дослідження напівпровідникових діодів в середовищі ELECTRONICS WORKBENCH	88
Лабораторна робота 11. Дослідження випрямлячів в середовищі ELECTRONICS WORKBENCH	93
Лабораторна робота 12. Дослідження характеристик біполярних транзисторів в середовищі ELECTRONICS WORKBENCH	99
Лабораторна робота 13. Дослідження характеристик операційного підсилювача в середовищі ELECTRONICS WORKBENCH	111
ДОДАТОК	119
ЛІТЕРАТУРА	128
ЗМІСТ	129