

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт із дисципліни

«Електроніка та мікропроцесорна техніка»

(для здобувачів вищої освіти спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»)
(електронне видання)

ЗАТВЕРДЖЕНО

на засіданні кафедри

Комп'ютерно – інтегрованих

систем управління

Протокол № 8 від 06.04.2026 р

Київ, 2026р.

УДК 681.3

Методичні вказівки до лабораторних робіт із дисципліни «Електроніка та мікропроцесорна техніка» (для студентів денної форми навчання спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка») (електронне видання) /Укладач Ж.Г.Самойлова .Київ: вид-во-СНУ ім.В. Даля, 2021. – 146 с.

Наведені матеріали, необхідні для виконання лабораторних робіт із дисципліни «Електроніка та мікропроцесорна техніка». Описані основні методи дослідження елементів електронної техніки, мета лабораторних робіт, порядок виконання, лабораторні установки, методи обробки елементарних досліджень, контрольні питання для самоперевірки.

Укладач: Ж.Г. Самойлова, доц.

Відповідальний за випуск: Ж.Г. Самойлова, доц.

Рецензент: М.Г. Лорія, д.т.н., проф.

ЗМІСТ

№п/п	Назва розділів	Стор.
	Загальні вказівки	4
1	Дослідження напівпровідникових діодів	5
2.	Дослідження біполярних транзисторів	10
3.	Дослідження багатокаскадних транзисторних підсилювачів	16
4.	Дослідження підсилювачів постійного струму (ППС)	23
5.	Дослідження джерел вторинного живлення	30
6.	Дослідження керованого однофазного випрямляча та некерованого трифазного випрямляча	40
7.	Дослідження згладжувальних фільтрів	50
8.	Вивчення систем числення	68
9.	Арифметичні основи побудови елементів і вузлів обчислювальних машин і систем	83
10.	Побудова лічильників і вивчення їх роботи	92
11.	Побудова регістрів, дешифраторів і вивчення їх роботи	97
12.	Елементи цифрових і мікропроцесорних пристроїв	104
13.	Оперативний запам'ятовуючий пристрій	114
	Список літератури	117
	Додаток А	119
	Додаток В	145

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

Ціль лабораторних робіт - закріплення основних теоретичних положень курсу, придбання навичок використання сучасної електровимірної апаратури, експериментальних досліджень, а також узагальнення та оформлення результатів експерименту.

Студент зобов'язаний підготуватися до виконання лабораторної роботи: усвідомити мету роботи, вивчити необхідні теоретичні положення, ознайомитися з порядком проведення, принципом дії досліджуваних пристроїв, виконати відповідні розрахунки, підготувати таблиці для запису експериментальних даних, відповісти на контрольні питання, мати не більш одного незахищеного звіту по раніше виконаних роботах.

Звіт повинний містити: ціль роботи, назва і необхідні принципові схеми досліджуваних пристроїв, таблиці досліджених і розрахункових даних, що відповідають розрахунковим формулам, графіки і діаграми та висновки по роботі.

Звіт представляється на черговому занятті і перевіряється викладачем при захисті.

1. ДОСЛІДЖЕННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ДІОДІВ

Ціль роботи - експериментальне дослідження характеристик і параметрів напівпровідникових випрямляючих діодів і стабілітронів.

1.1. Основні відомості

Напівпровідникові прилади і мікросхеми створюються на основі напівпровідникових матеріалів з n- і p-типом провідності. Напівпровідники n - типу - це напівпровідники з перевагою електронної провідності. Їх одержують, вводячи у власний напівпровідник домішки - донори. У напівпровідниках p -типу переважає діркова провідність, обумовлена введенням домішок -акцепторів. Вільні носії заряду, що переважають у домішковому напівпровіднику, називають основними, а носії протилежного знака заряду - неосновними.

При контакті напівпровідників з різними типами провідності на границі розділу утворюється p-n перехід, що має нелінійну вольт-амперну характеристику. Утворення p-n переходу супроводжується виникненням внутрішнього електричного поля і потенціального бар'єру на границі розділу напівпровідників.

У випадку прямого включення p-n переходу, коли до p -області прикладений позитивний потенціал, а до n -області негативний, виникають умови для протікання струму, що має характер переходу основних носіїв з одного напівпровідника в інший. При зміні полярності напруги протікання струму обумовлене дрейфом неосновних носіїв через p-n перехід. Концентрація неосновних носіїв у напівпровідниках значно менше, ніж основних, тому зворотний струм p-n переходу на кілька порядків менший, ніж прямої. Зворотне включення p-n переходу супроводжується його розширенням.

При збільшенні зворотної напруги може виникнути різке збільшення зворотного струму, яке називають пробоем p-n переходу. Розрізняють такі види пробоя: тепловий, лавинний і тунельний. Лавинний і тунельний пробій виникають у p-n переходах з високою концентрацією домішок і використовуються для стабілізації напруги в таких приладах, як стабілітрони .

При підготовці до лабораторної роботи вивчити розділи конспекту лекцій і підручника, що містять питання електропровідності напівпровідників,

властивостей р-п переходів, принципу дії, характеристик, параметрів і класифікації напівпровідникових діодів

Скласти проект звіту і підготувати відповіді на контрольні питання.

1.2 Опис експериментальної установки

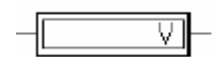
Комп'ютер з встановленою програмою **Electronics Workbench**. У даній лабораторній роботі вам будуть необхідні наступні елементи (див. додаток А):

1. З набору **Sources** (джерела):

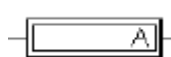


- джерело живлення (**Battery**);

2. З набору **Indicators** (індикатори):



- Вольтметр (**Voltmeter**);



- Амперметр (**Ammeter**);

3. З набору **basic**:



- Резистор (**resistor**);



Змінний резистор. Положення движка змінного резистора встановлюється за допомогою спеціального елемента - стрілки-регулятора. У діалоговому вікні можна встановити опір, початкове положення движка (у відсотках) і крок збільшення (також у відсотках). Є можливість змінювати положення движка за допомогою клавіш-ключів.

З набору **Diodes** (діоди):



- випрямний діод (**diode**);



Стабілітрон зазвичай використовують для стабілізації напруги, для стабілітрона (діода Зенера) робочою є негативна напруга.

1.3 Виконання роботи

1. Приступаючи до виконання даної лабораторної роботи необхідно запустити програму **Electronics Workbench**.

2. Зберіть схему для дослідження параметрів напівпровідникових діодів:

2.1. З бібліотеки компонентів джерел живлення **Sources** на поле помістіть джерело заданої напруги і заземлення.

2.2. З бібліотеки пасивних елементів **Basic** на поле помістіть резистор, змінний резистор.

2.3. З бібліотеки індикаторних пристроїв **Indicators** помістіть амперметр і вольтметр.

2.4. З бібліотеки **Diodes** на поле помістить діод або стабілітрон (тип діоду або стабілітрону див. додаток В).

2.5. З'єднайте всі компоненти за схемою. Встановіть необхідні параметри компонентів.

3. Наведені чотири схеми включення діода (рисунок 1.1., 1.2.) і стабілітрона (рисунок 1.3., 1.4.), які забезпечують отримання прямої і зворотної гілки ВАХ (вольт-амперної характеристики).

Щоб схеми почали функціонувати, необхідно натиснути кнопку у верхньому правому куті.

4. Змінюючи напругу джерела живлення змінним резистором (або змінюючи значення напруги живлення) зніміть залежність струму діода (рисунок 1.1.) і стабілітрона (рисунок 1.3.) від напруги діода і стабілітрона (пряма гілка). Значення змінного резистора можна змінювати від 0% до 100% через інтервал 20%. Збільшення можна виробляти натисканням клавіші «Shift + R», а зменшення - натисканням клавіші «R», крок збільшення / зменшення можна задати.

5. Змініть полярність напруги живлення схеми (діод і стабілітрон буде включений у зворотному напрямку) зніміть залежність струму діода (рисунок 1.2.) і стабілітрона (рисунок 1.4.) від напруги діода і стабілітрона (зворотна гілка.).

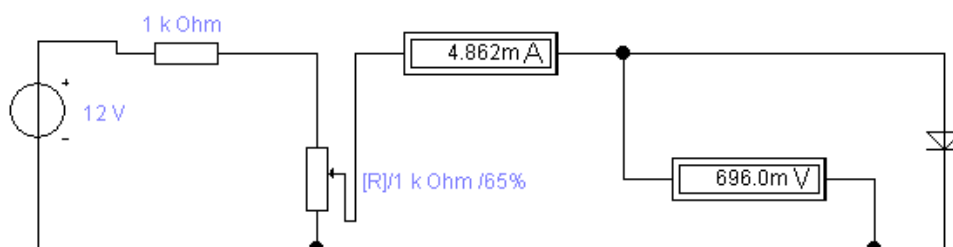


Рисунок 1.1. Схема для зняття прямої гілки ВАХ діода

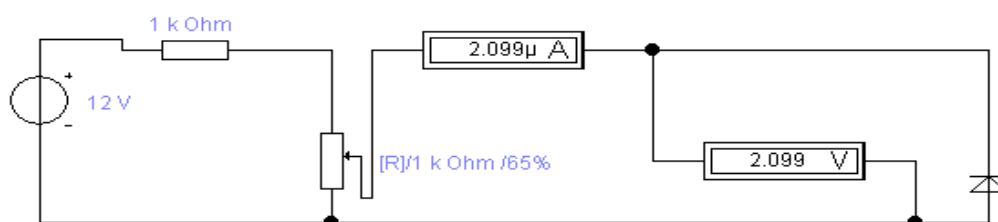


Рисунок 1.2. Схема для зняття зворотної гілки ВАХ діода

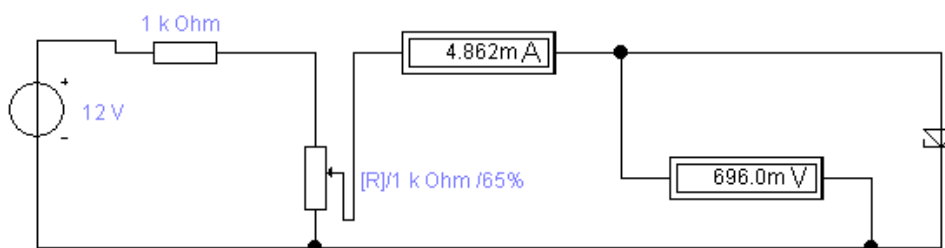


Рисунок 1.3. Схема для зняття прямої гілки ВАХ стабілітрона

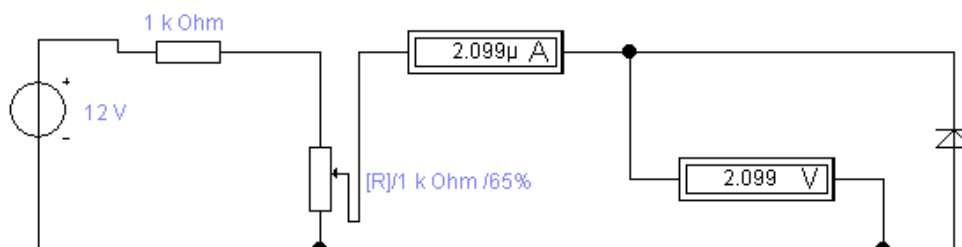


Рисунок 1.4. Схема для зняття зворотної гілки ВАХ стабілітрона

6. За даними вимірювання побудуйте графіки прямої і зворотної гілки вольт-амперної характеристики діода і стабілітрона. Використовуючи їх, розрахуйте диференціальні опори діода на лінійній і квадратичній ділянках прямої гілки і зворотній опір діода при $U_{звр} = 10$ В.

Визначити мінімальне значення струму стабілізації стабілітрона і диференціальний опір на робочій ділянці.

7. Отримані результати занести в звіт. Порівняти експериментальні дані з теоретичними. Зробити висновки по роботі.

Контрольні питання

- 1 Чим відрізняється механізм електропровідності напівпровідників і металів?
- 2 У чому відмінність механізмів електропровідності власного і напівпровідника з домішками?
- 3 Що таке потенційний бар'єр і як він змінюється при підключенні до р-п переходу зовнішнього електричного поля?

- 4 Які вентиляльні властивості р-n переходу?
- 5 У чому відмінність опору діода постійному струму від диференціального опору (опору змінному струму)?
- 6 Як зняти пряму гілку вольт-амперної характеристики діода?
- 7 Як зняти зворотну гілку вольт-амперної характеристики діода?
8. Як визначити напругу стабілізації стабілітрона ?
9. Як визначити мінімальний і максимальний робочі струми стабілітрона?

2. ДОСЛІДЖЕННЯ БІПОЛЯРНИХ ТРАНЗИСТОРІВ

Мета роботи — вивчення принципу дії, характеристик і параметрів біполярних транзисторів.

2.1 Основні відомості

Напівпровідниковий прилад з декількома р-n переходами, придатний для підсилення потужності електричних сигналів і який має три виводи, називається транзистором (тріодом). Широко поширені біполярні транзистори з двома р-n переходами і з чергуванням напівпровідникових шарів. Розрізняють транзистори типу р-n-р і n-p-n. Структури й умовні графічні зображення біполярних транзисторів типу р-n-р (а) і n-p-n (б) показані на рисунку 2.1. Крайні шари називають емітером і колектором, а середній - базою.

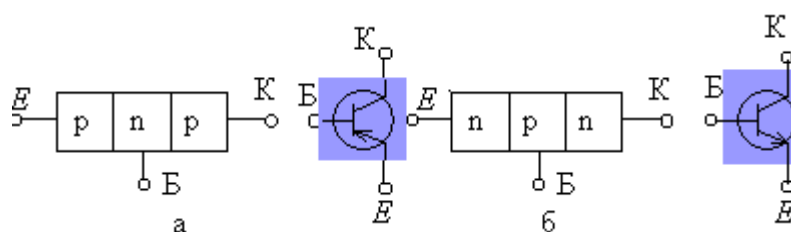


Рисунок 2.1. Біполярний транзистор.

Звичайно до переходу емітер - база (емітерному) прикладена напруга $U_{\text{бе}}$, що зміщує перехід у прямому напрямку. Ця напруга мала і складає 0,1-0,5 В. До переходу колектор - база (колекторному) при прямому включенні транзистора напруга $U_{\text{бк}}$ прикладена в зворотному напрямку. Вона може бути порівняно велика і складати 5-20 В, а для деяких типів транзисторів - до 1000 В.

Роботу транзистора розглянемо на прикладі n-p-n -структури. Якщо емітерний перехід зміщений у прямому напрямку, на базі відносно емітера позитивна напруга. Під дією такого електричного поля з емітера електрони будуть інжектуватися (нагнітатися) у базу, де вони є неосновними носіями. Товщина бази невелика (декілька мікрометрів), тому під час дрейфу електронів від емітерного переходу до колекторного тільки невелика їхня частина встигає рекомбінувати у базі з дірками, а основна маса підхоплюється електричним полем колекторного переходу і надходить у колектор.

За рахунок рекомбінуючих носіїв одержують невеликий по величині струм бази $I_{\text{б}}$, а основна частина носіїв створює струм колектора $I_{\text{к}}$, тому $I_{\text{е}} = I_{\text{к}} + I_{\text{б}}$. При цьому $I_{\text{к}} = f(I_{\text{б}})$, відкіля виходить, що, підводячи до транзистора порівняно невеликі $U_{\text{бе}}$ та $I_{\text{б}}$, можна керувати значно більшим струмом $I_{\text{к}}$, тобто підсилювати електричні сигнали.

Схеми ввімкнення транзисторів типу p-n-p та n-p-n аналогічні. При використанні транзистора, що має три електроди, у підсилювачі з двома вхідними і двома вихідними клемми один з електродів відноситься до вхідного ланцюга, інший - до вихідного, а третій виявляється загальним щодо вхідного і вихідного ланцюгів. У залежності від того, який електрод загальний, розрізняють три основні схеми включення транзистора: із загальним емітером (ЗЕ), із загальною базою (ЗБ), із загальним колектором (ЗК).

Схема для зняття статичних характеристик транзисторів приведена на рисунку 2.2.

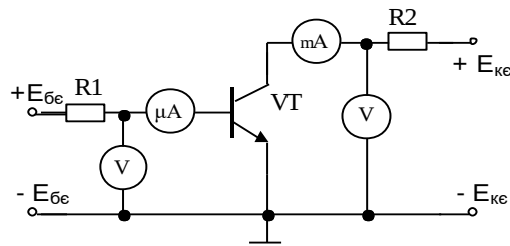


Рисунок 2.2. Схема для дослідження вхідних і вихідних характеристик біполярного транзистора

Для аналізу підсилювачів використовуються сімейства вхідних і вихідних характеристик транзисторів. Для схеми з загальним емітером вхідними є залежності $I_b = f(U_{be})$ при $U_{ce} = \text{const.}$, а вихідними – колекторні характеристики $I_c = f(U_{ce})$ при $I_b = \text{const.}$

Вхідні характеристики при зміні U_c у широких межах змінюються незначно, тому в довідниках приводяться дві вхідні характеристики: при $U_c = 0$ і при деякому значенні U_c (5 або 10В). Сімейства вхідних і вихідних характеристик біполярного транзистора в схемі з загальним емітером показані на рисунку 2.3.

При роботі підсилювача вхідні величини I_b та U_{be} отримують прирости ΔI_b та ΔU_{be} , які, в свою чергу, викликають зміни значень I_c і U_{ce} (ΔI_c , ΔU_{ce}).

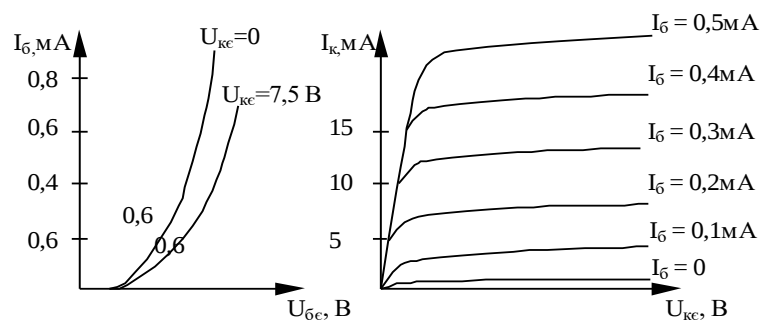


Рисунок 2.3. Сімейства вхідних і вихідних характеристик біполярного транзистора в схемі з загальним емітером

Якщо вхідний сигнал має невелику величину, то ці збільшення малі і робота підсилювача буде проходити на лінійних ділянках вхідних і вихідних

характеристик. У цьому випадку транзистор може бути представлений у вигляді лінійного чотирьохполюсника, для якого справедливі наступні рівняння

$$\Delta U_{\bar{o}e} = h_{11} \cdot \Delta I_{\bar{o}} + h_{12} \cdot \Delta U_{\kappa}, \quad (2.1)$$

$$\Delta I_{\bar{n}} = h_{12} \cdot \Delta I_{\bar{o}} + h_{22} \cdot \Delta U_{\kappa}, \quad (2.2)$$

Де вхідний опір транзистора:

$$h_{11} \approx \left. \frac{\Delta U_{\bar{o}e}}{\Delta I_{\bar{o}}} \right|_{U_{\kappa}=\text{const}} \quad (2.3.)$$

Коефіцієнт підсилення по струму:

$$h_{21} \approx \left. \frac{\Delta I_{\bar{n}}}{\Delta I_{\bar{o}}} \right|_{U_{\kappa}=\text{const}} \quad (2.4.)$$

Коефіцієнт внутрішнього зворотного зв'язку:

$$h_{12} \approx \left. \frac{\Delta U_{\bar{o}e}}{\Delta U_{\kappa e}} \right|_{I_{\bar{o}}=\text{const}} \quad (2.5.)$$

Вихідна провідність

$$h_{22} \approx \left. \frac{\Delta I_{\bar{n}}}{\Delta U_{\kappa e}} \right|_{I_{\bar{o}}=\text{const}} \quad (2.6.)$$

Параметри h_{11} та h_{21} визначаються при короткому замиканні кола колектора, а h_{12} та h_{22} холостому ході в колі бази по змінному струму. Тому що вхідна напруга $U_{\bar{o}e}$ мало залежить від вихідної $U_{\kappa e}$, то можна вважати, що $h_{12} \approx 0$. Приведені співвідношення справедливі для схеми включення транзистора з загальним емітером. Для інших схем включення величини h – параметрів змінюються. Слід зазначити, що використовувати h - параметри можна тільки за умови, коли нелінійний елемент (транзистор) розглядають як працюючий у лінійному режимі. Ці вимоги виконуються, якщо $\Delta I_{\bar{o}} < I_{\bar{o}}$, $\Delta U_{\bar{o}e} < U_{\bar{o}e}$, $\Delta I_{\kappa} < I_{\kappa}$, $\Delta U_{\kappa e} < U_{\kappa e}$.

Визначають h - параметри по сімействах вхідних і вихідних характеристик. Вони добре описують роботу транзисторів в області низьких частот. На високих частотах коефіцієнт підсилення по струму h_{21} через інерційність носіїв заряду

зменшується і стає комплексним. Крім того, стають комплексними й інші параметри через вплив ємностей і індуктивностей.

При підготовці до роботи вивчити по конспекту лекцій принцип дії схеми включення, характеристики і параметри біполярних транзисторів.

2.2 Опис експериментальної установки

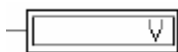
Комп'ютер з встановленою програмою **Electronics Workbench**. У даній лабораторній роботі вам будуть необхідні наступні елементи (див. додаток А):

1. З набору **Sources** (джерела):



- джерело живлення (**Battery**);

2. З набору **Indicators** (індикатори):



- Вольтметр (**Voltmeter**);



- Амперметр (**Ammeter**);

3. З набору **basic**:



- Резистор (**resistor**);



Змінний резистор. Положення движка змінного резистора встановлюється за допомогою спеціального елемента - стрілки-регулятора. У діалоговому вікні можна встановити опір, початкове положення движка (у відсотках) і крок збільшення (також у відсотках). Є можливість змінювати положення движка за допомогою клавіш-ключів.

4. З набору **Transistors** (транзистори):



n-p-n транзистор має дві n-області і одну p-область

2.3 Порядок виконання роботи

1. Приступаючи до виконання даної лабораторної роботи необхідно запуснути програму **Electronics Workbench**.

2. Зберіть схему для дослідження параметрів транзисторів:

2.1. З бібліотеки компонентів джерел живлення **Sources** на поле помістіть джерело заданої напруги і заземлення.

2.2. З бібліотеки пасивних елементів **Basic** на поле помістіть резистор і змінні резистори.

2.3. З бібліотеки індикаторних пристроїв **Indicators** помістіть амперметри і вольтметри.

2.4. З бібліотеки транзисторів **Transistors** помістіть на поле n-p-n транзистор(тип транзистора див. додаток В) . Зберіть схему для дослідження параметрів транзистора:

2.5. З'єднайте всі компоненти за схемою. Встановіть необхідні параметри компонентів.

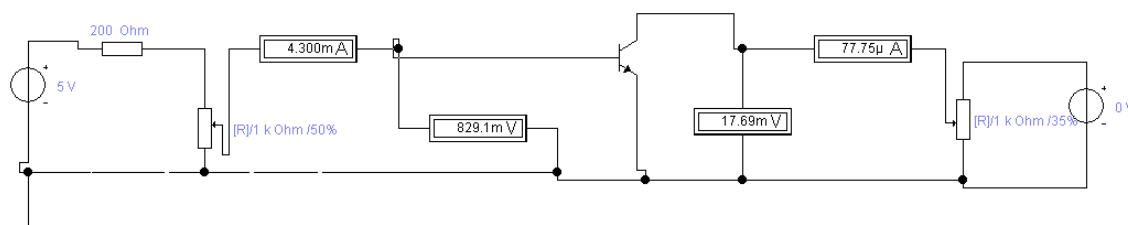


Рисунок 2.4. Схема для дослідження входних і вихідних характеристик біполярного транзистора

3. Зняти входні статичні характеристики транзистора для двох значень напруги $U_{ке} = 0$ та $U_{ке} = 7$ В або при інших значеннях, вказаних викладачем. Результати вимірів занести в таблицю.

4. Зняти сімейство вихідних статичних характеристик при наступних фіксованих значеннях струму бази I_b , що дорівнюють: 0; 20; 40; 60; 80 і 100 мкА; при дослідженнях $U_{ке}$ не повинне перевищувати 12 В.

5. Побудувати графік експериментальних вхідних і вихідних характеристик. На середині лінійної ділянки характеристик вибрати положення робочої точки, задаючись значенням $I_{\text{б0}}$ і $U_{\text{кє}}$. Визначити відповідні значення $I_{\text{б0}}$ і $U_{\text{бє0}}$. Розрахувати h - параметри досліджуваного транзистора поблизу робочої точки.

6. Отримані результати занести в звіт. Оцінити реально визначені експериментальні параметри транзистора. Зробити висновки по роботі.

Контрольні питання

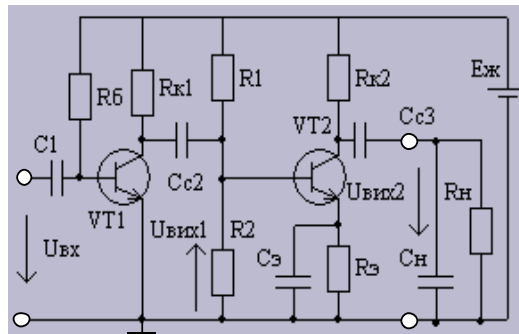
1. Що таке транзистор та його призначення?
2. Чим відрізняються транзистори типу *p-n-p* від транзисторів типу *n-p-n* ?
3. Які схеми вмикання транзисторів використовуються і як їх розрізняють?
4. Які характеристики є вхідними і вихідними для кожної зі схем включення транзистора?
5. Яке співвідношення між струмами емітера, колектора і бази?
6. Що таке h - параметри транзистора?
7. Як визначити по характеристиках коефіцієнт підсилення транзистора по струму в схемі з загальним емітером?
8. Як визначити вхідний і вихідний опори транзистора?

3. ДОСЛІДЖЕННЯ БАГАТОКАСКАДНИХ ТРАНЗИСТОРНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ

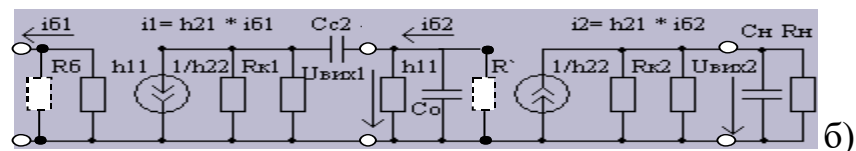
Мета роботи - дослідження основних характеристик багато-каскадних підсилювачів з резистивно-ємностним зв'язком, визначення їхніх основних параметрів і вивчення впливу елементів схеми на параметри і характеристики підсилювачів.

3.1 Основні відомості

У різних електронних пристроях часто застосовують багатокаскадні підсилювачі, тому що коефіцієнт підсилення однокаскадного підсилювача порівняно невеликий.



а)



б)

Рисунок 3.1. Принципова схема (а) і схема заміщення (б) двокаскадного підсилювача

На рисунку 3.1 приведені принципова схема і схема заміщення двокаскадного підсилювача, досліджуваного в роботі. Вхідна напруга підсилюється першим каскадом на транзисторі VT_1 . Посилений сигнал через конденсатор C_{c2} надходить на вхід другого каскаду на транзисторі VT_2 , навантаженого на резистор R_n , до якого може бути підключений конденсатор навантаження C_n .

Одним з основних параметрів підсилювача є його вхідний і вихідний опори; коефіцієнти підсилення по напрузі, струму і потужності; смуга пропускання. Основними характеристиками – амплітудно-частотна, амплітудна і фазочастотна.

Зменшення коефіцієнта підсилення в області нижчих і вищих частот характеризується коефіцієнтом частотних викривлень

$$M_f = \frac{K_0}{K_f}, \quad (3.1.)$$

де K_0 - коефіцієнт підсилення на середніх частотах, K_f - коефіцієнт підсилення на даній частоті f . Допустиме значення M звичайно лежить у межах 1,02-1,5, часто його приймають рівним $\sqrt{2}$.

Зменшення коефіцієнта підсилення даного підсилювача на нижчих частотах обумовлено впливом C_1 , C_{C2} , C_{C3} і C_E , а на високих частотах C_3 , C'_H і частотними властивостями транзисторів. Ємність C_0 складається з вхідної і вихідної ємностей каскадів, а також ємності монтажу. Ємність C'_H - вихідної ємності другого каскаду, ємностей навантаження і монтажу.

Нелінійність амплітудної характеристики обумовлена нелінійністю вхідних у підсилювач елементів, в основному транзистора, а також переходом транзисторів у режими насичення чи відсічки при великих вихідних напругах.

При підготовці до лабораторної роботи вивчити по конспекту лекцій принцип дії, характеристики і параметри однокаскадних і багатокаскадних транзисторних підсилювачів.

3.2 Опис експериментальної установки

Комп'ютер з встановленою програмою **Electronics Workbench**. У даній лабораторній роботі вам будуть необхідні наступні елементи (див. додаток А):

1. З набору **Sources** (джерела):

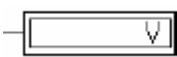


- джерело живлення (**Battery**);



-джерело змінної напруги. Чинне значення напруги джерела вимірюється в вольтах і задається похідними величинами (від мкВ до кВ). Є можливість установки частоти і початкової фази.

2. З набору **Indicators** (індикатори):



- Вольтметр (**Voltmeter**);



- Амперметр (**Ammeter**);



- Осцилограф, імітований програмою **Workbench**, являє собою аналог двулучевого осцилографа, що запам'ятовує, і має дві модифікації: просту і розширену. Розширена модифікація за своїми можливостями наближається до кращих цифрових запам'ятовуючих осцилографів. Через те, що розширена модель займає багато місця на робочому полі, рекомендується починати дослідження простою моделлю, а для докладного дослідження процесів - використовувати розширену модель. Осцилограф можна підключити до вже включеної схеми або під час роботи схеми переставити виводи до інших точок - зображення на екрані осцилографа зміниться автоматично.

3. З набору **basic**:



- Резистор (**resistor**);



-Конденсатор. Ємність конденсатора вимірюється в Фарадах і задається похідними величинами (від пФ до Ф).

4. З набору **Transistors** (транзистори):



п-р-п транзистор марки КТ312В має дві п-області і одну р-область

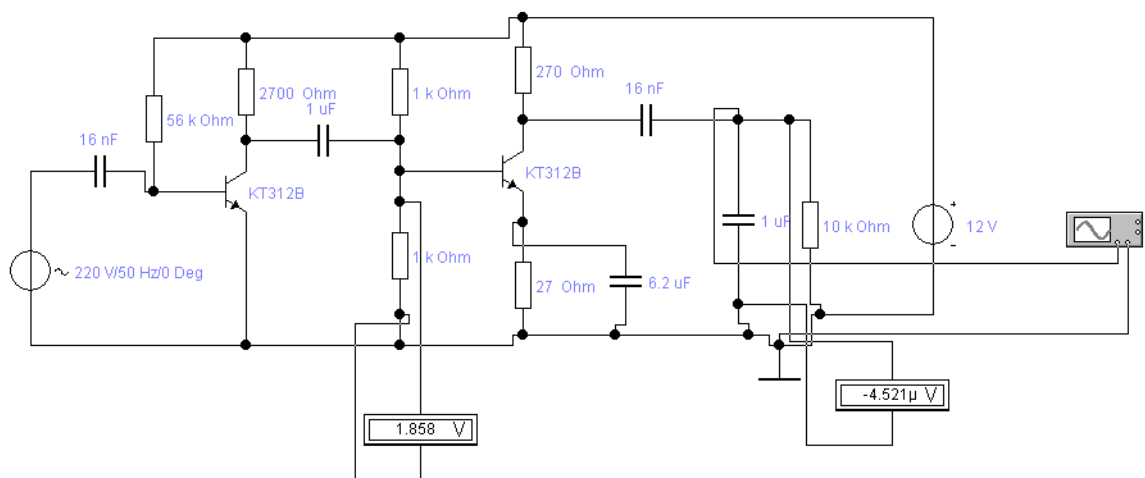


Рисунок 3.2. Досліджувана схема підсилювача

Двокаскадний підсилювач (рисунк 3.1,а) збирається на транзисторах VT_1 і VT_2 марки КТ312В з використанням закріплених поруч резисторів і конденсаторів. Випробувальна схема дозволяє досліджувати параметри і характеристики кожного каскаду окремо, а також двокаскадного підсилювача з низькоомним входом і з високоомним перетворювачем на вході.

3.3 Порядок виконання роботи

1 При підготовці до роботи розрахувати значення граничних частот смуги пропускання першого каскаду підсилювача . f_H і f_B , прийнявши $M_H=M_B =\sqrt{2}$ та $C_0 = 5000$ пФ. Значення R_K , R_{BX} , $R_{ВИХ}$ та C_C указуються викладачем.

2 Зібрати підсилюючі каскади з загальним емітером (за схемою ЗЄ) на транзисторах VT_1 і VT_2 , виміряти їхні коефіцієнти підсилення по напрузі K_1 і K_2 на частоті $f = 1$ кГц при $U_{BX} = 5$ мВ, подаючи сигнал від джерела змінної напруги.

3 Зібрати двокаскадний підсилювач за схемою ЗЄ-ЗЄ, зняти дані і побудувати амплітудну характеристику. Виміряти коефіцієнт підсилення K_U при $f = 1$ кГц, прийнявши U_{BX} , яка відповідає лінійній ділянці. Порівняти зі значенням коефіцієнта підсилення, що виходить за даними п.2. Пояснити розбіжність отриманих результатів.

4 Визначити смугу пропускання двокаскадного підсилювача ЗЄ-ЗЄ.

5 Установити вплив ємностей конденсатора зв'язку C_{C2} , конденсаторів C_H та C_E на смугу пропускання і коефіцієнт підсилення підсилювача, для чого замість конденсатора C'_{C2} підключити $C''_{C2} = 5$ мкф, вимірити K_0 і визначити нові значення $-f_H$ і f_B , а потім знову підключити C'_{C2} . Аналогічні виміри зробити при почерговому підключенні C_H та C_E .

6 Дослідити роботу підсилювача ЗЄ-ЗЄ з високоомним джерелом сигналу, для чого послідовно з конденсатором C_1 ввімкнути змінний резистор R_1 , що імітує внутрішній опір джерела. Установити $R_1 = 1500$ Ом при подачі з виходу джерела змінної напруги $f = 1$ кГц, $U = 1$ мВ, визначити K_0 і пояснити відмінність від K_0 , який виміряли в п.3.

Схеми одиночних каскадів підсилення, досліджуваних у даній роботі, приведені на рисунку 3.3.

Для визначення смуги пропускання підсилювача при $U_{\text{вх}}=1$ мВ знайти частоту, на якій вихідна напруга максимальна, і визначити його. Змінюючи частоту вхідної напруги при незмінній його величині, визначити граничні частоти смуги пропускання f_H і f_B , на яких вихідна напруга підсилювача зменшується в $M = \sqrt{2}$ разів.

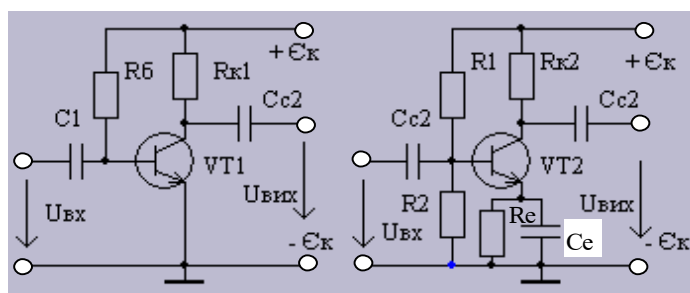


Рисунок 3.3. Схеми одиночних каскадів підсилення, досліджуваних у даній роботі

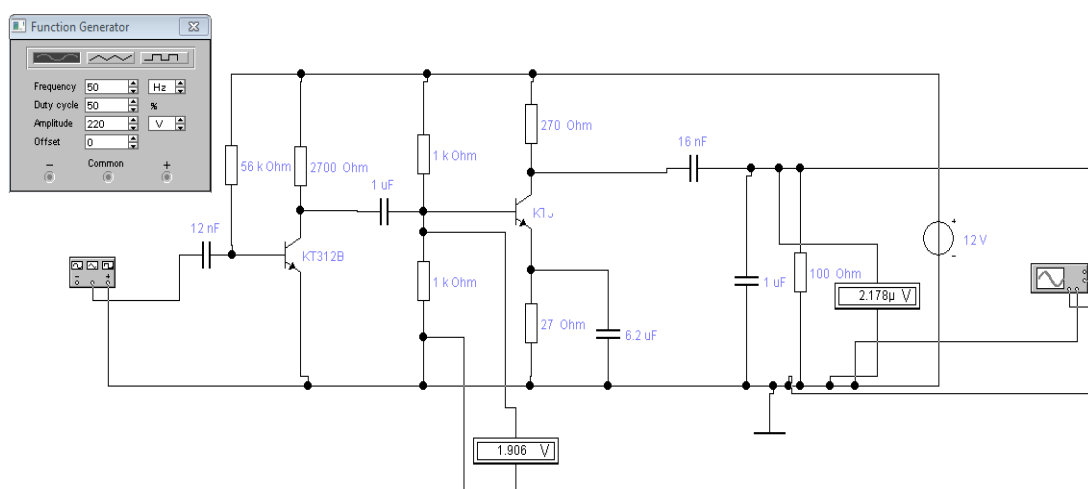


Рисунок 3.4. Досліджувана двокаскадна схема підсилювача

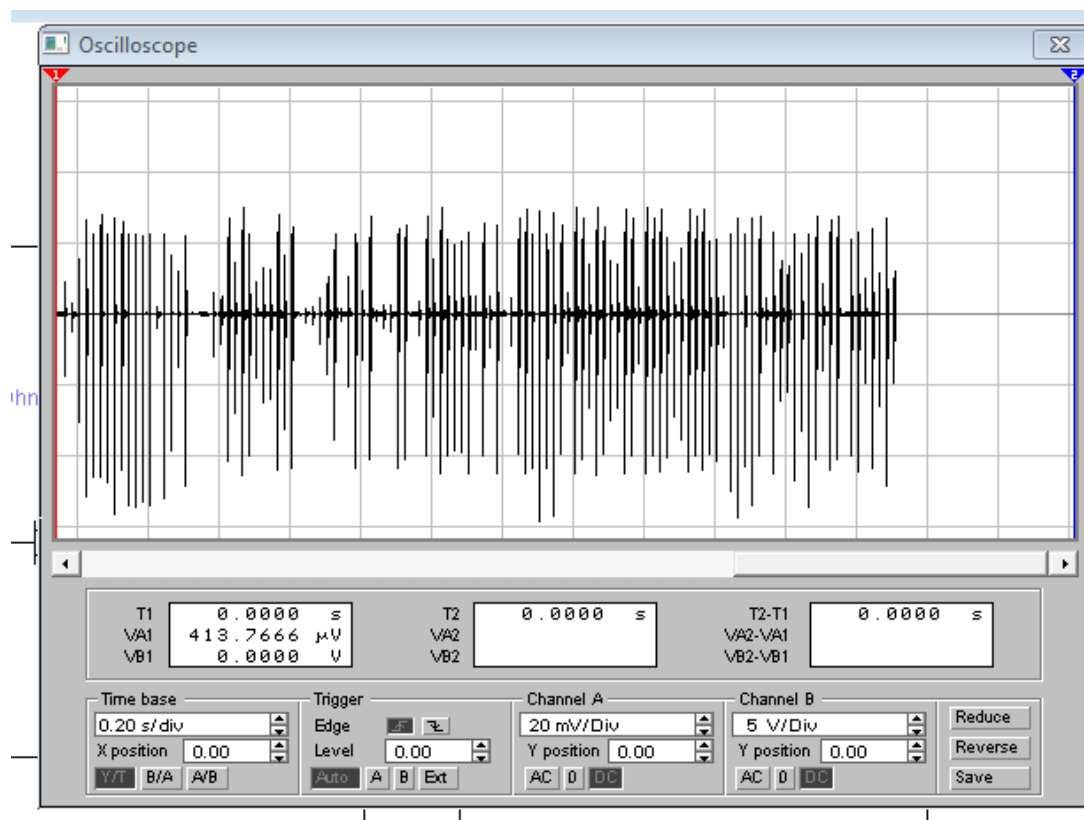


Рисунок 3.5. Сигнал на екрані осцилографа

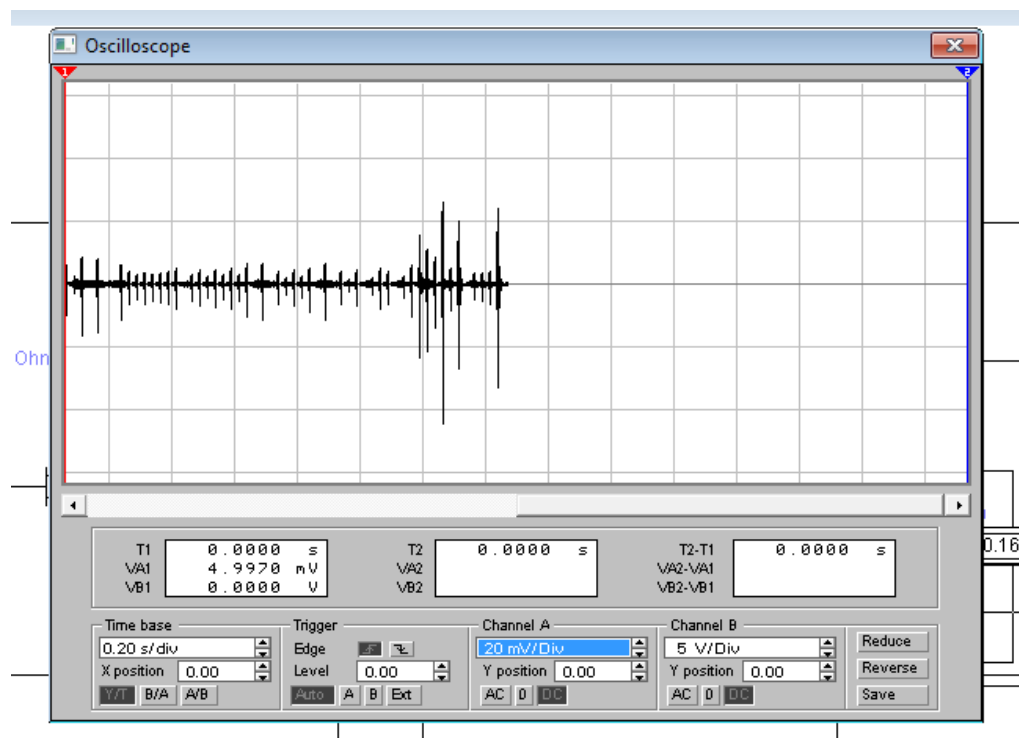


Рисунок 3.6. Змінений сигнал на екрані осцилографа

Контрольні питання

- 1 У яких випадках використовують багатокаскадні підсилювачі?
- 2 Яким чином здійснюється зв'язок між каскадами в багатокаскадному підсилювачі?
- 3 Чому не враховується вплив резистора R_6 у схемі заміщення рисунка 3.1.б?
- 4 Що таке амплітудна характеристика підсилювача?
- 5 Для яких значень вхідних напруг справедлива схема заміщення рисунка 3.1.б?
- 6 Чи можна розрахувати вихідну напругу підсилювача за формулою $U_{вих} = K_0 \bullet U_{вх}$ на нелінійній ділянці амплітудно-частотної характеристики?
- 7 Як визначити вихідну напругу підсилювача, якщо амплітудна характеристика нелінійна?
- 8 Чи залежить коефіцієнт підсилення багатокаскадного підсилювача від значень вхідних і вихідних опорів каскадів?

4. ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДСИЛЮВАЧІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ (ППС)

Мета роботи - вивчення принципів побудови підсилювачів постійного струму, характеристик ППС і методів підвищення їхньої стабільності.

4.1 Основні відомості

Підсилювачі, що здатні підсилювати сигнали дуже низьких частот (порядку часток герц), постійні напруги і струми, називаються підсилювачами постійного струму. У таких підсилювачів зв'язок між каскадами здійснюється через елементи, що пропускають постійний струм: резистори, напівпровідникові діоди, транзистори та тощо. Основна вимога до ППС, така ж, як і до всіх підсилювальних пристроїв, лінійна залежність вихідної напруги від вхідної.

Наявність в ППС зв'язків за постійним струмом (гальванічні зв'язки) у ряді випадків приводить до появи на виході неконтрольованих напруг при відсутності вхідного сигналу. Це відбувається при старінні елементів схеми, зміні електричного або теплового режиму роботи схеми. Таке явище називають дрейфом нуля.

Існують різні способи зменшення дрейфу нуля. Основними є створення підсилювачів з перетворенням сигналу і використанням схем балансових і диференціальних підсилювачів.

При підготовці до лабораторної роботи вивчити відповідні розділи конспекту лекцій.

4.2 Опис експериментальної установки

Комп'ютер з встановленою програмою **Electronics Workbench**. У даній лабораторній роботі вам будуть необхідні наступні елементи (див. додаток А):

1. З набору **Sources** (джерела):

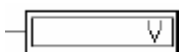


- джерело живлення (**Battery**);



- джерело змінної напруги. Чинне значення напруги джерела вимірюється в вольтах і задається похідними величинами (від мкВ до кВ). Є можливість установки частоти і початкової фази.

2. З набору **Indicators** (індикатори):



- Вольтметр (**Voltmeter**);



- Амперметр (**Ammeter**);



- Осцилограф, імітований програмою **Workbench**, являє собою аналог двулучевого осцилографа, що запам'ятовує, і має дві модифікації: просту і розширену. Розширена модифікація за своїми можливостями наближається до кращих цифрових запам'ятовуючих осцилографів. Через те, що розширена модель

займає багато місця на робочому полі, рекомендується починати дослідження простою моделлю, а для докладного дослідження процесів - використовувати розширену модель. Осцилограф можна підключити до вже включеної схеми або під час роботи схеми переставити виводи до інших точок - зображення на екрані осцилографа зміниться автоматично.

3. З набору **basic**:



- Резистор (**resistor**);

4. З набору **Transistors** (транзистори):



n-p-n транзистор має дві n-області і одну p-область

На рисунку 4.1 зображені спрощені схеми досліджуваних підсилювачів. Двуполярне живлення для обох підсилювачів отримано за допомогою двох джерел постійної напруги. Застосування двуполярного живлення підсилювачів дозволяє одержати загальну точку вхідних і вихідних ланцюгів, що полегшує підключення джерел сигналу і вимірювальних приладів.

Перший підсилювач містить два каскади з загальним емітером (ЗЕ) і два емітерних повторювачі на вході і виході схеми. Двокаскадний підсилювач з ЗЕ зібраний на комплементарних транзисторах VT_2 і VT_3 з гальванічним зв'язком, що дозволяє одержати більш високий коефіцієнт підсилення при меншій складності підсилювача і полегшити узгодження по рівнях напруги вхідних і вихідних ланцюгів окремих каскадів і всього підсилювача в цілому.

Емітерний повторювач, включений на вході, має досить високий вхідний опір, а повторювач на виході - низький вихідний опір. Усе це дозволяє не пред'являти жорстких вимог до опорів джерел сигналу і вимірювальних приладів. Діод VD_1 здійснює температурну стабілізацію режимів роботи транзисторів.

Другий досліджуваний підсилювач включає рівнобокий балансовий каскад на транзисторах VT_5 , VT_6 і емітерний повторювач на транзисторі VT_7 . Напруга з виходу підсилювача через резистор зворотного зв'язку R_{10} надходить на вхід

підсилювача у фазі з вхідним сигналом і збільшує загальний коефіцієнт підсилення. Балансування каскаду виконується потенціометром R_{12} .

При підготовці до виконання лабораторної роботи виконати наступні завдання.

1. Зробити підготовку для побудови АХЧ. Для цього по осі абсцис відкласти частоти в логарифмічному масштабі від 1 Гц до 20 кГц.
2. Зобразити схему двокаскадного ППС з включеними джерелами вхідної напруги і вимірювальних приладів.
3. Зобразити схему рівнобічного балансового ППС із виключеними джерелами живлення, джерелами вхідної напруги і вимірювальними приладами.

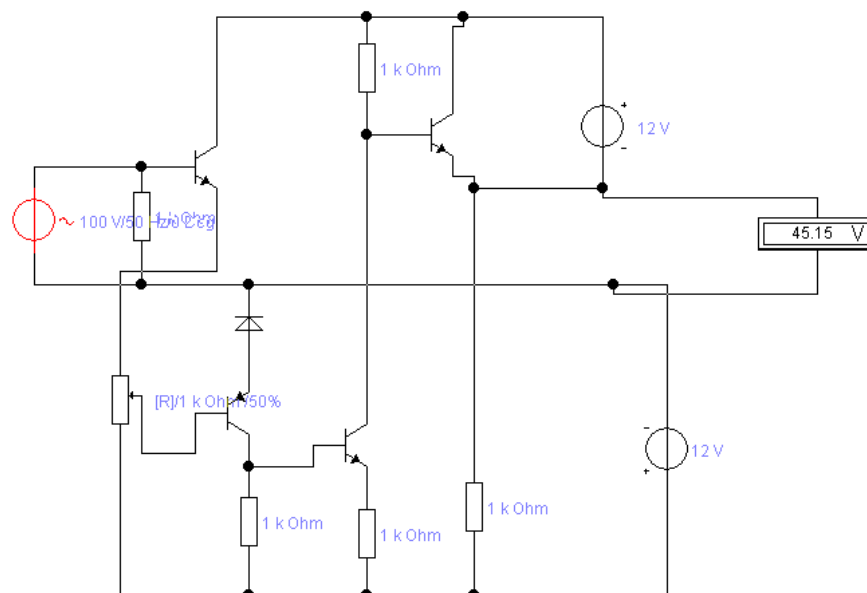


Рисунок 4.І. Схема досліджуваного підсилювача постійного струму

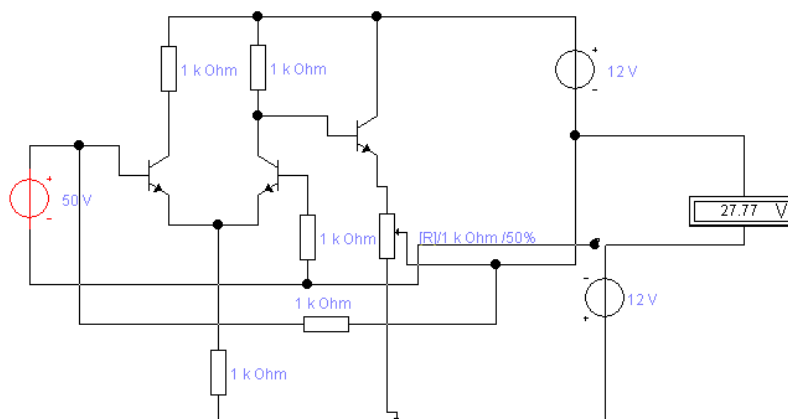


Рисунок 4.2. Схема ППС

4.3 Порядок виконання роботи

1. Встановити номінальну напругу живлення 12 В, підключити електронний вольтметр до виходу і домогтися відсутності напруги на виході підсилювача.
2. При номінальній напрузі живлення зняти амплітудну характеристику підсилювача. Перевірити, як зміниться коефіцієнт підсилення при зміні знака вхідної напруги. За результатами вимірів побудувати амплітудну характеристику.
3. Зменшити напругу живлення на 1-2 В и визначити зміну коефіцієнта підсилення при одному зі значень негативної вхідної напруги, використаних у п.2.
4. Визначити дрейф нуля на виході підсилювача при зменшенні напруги живлення E_k на 0,25 і 0,5 В. Обчислити приведений до входу дрейф нуля, викликаний зміною напруги живлення (електричний дрейф нуля).
5. Установити номінальну напругу живлення і визначити коефіцієнт підсилення підсилювача, подаючи на вхід підсилювача змінну напругу частотою 20, 50, 100, 500 Гц, 2, 10, 20 кГц від генератора звукових частот. За результатами вимірів побудувати АХЧ підсилювача.

6. Встановити номінальну напругу живлення, підключити вольтметр до виходу балансового ППС і домогтися відсутності вихідної напруги. Виконати виміри і розрахунки, зазначені у пп.2-5.

При виконанні роботи враховувати наступні рекомендації.

Коефіцієнт підсилення визначають при декількох значеннях вхідної напруги. При великих значеннях, коли $U_{\text{вих}}$ близьке до E_k , коефіцієнт підсилення починає зменшуватися внаслідок нелінійності характеристик транзисторів.

Вимірювати коефіцієнт підсилення при малих значеннях вхідної напруги $U_{\text{вх}}$, близьких до дрейфу нуля, не треба через великі похибки визначення коефіцієнта підсилення. Перевірити, як зміниться коефіцієнт підсилення при зміні полярності вхідної напруги.

Зміну напруги живлення роблять при відсутності вхідної напруги, потім встановлюють нуль вихідної напруги. Після цього, подаючи вхідну напругу, визначають коефіцієнт підсилення. Повторна установка нуля дозволяє позбутися погрішності, що виникає через електричний дрейф нуля підсилювача.

Перевірити установку нуля при номінальній напрузі живлення. Вхідна напруга встановлюється рівною нулеві. Змінюючи E_k на $\pm 0,5$ В, записати зміни вихідної напруги.

Електричний дрейф нуля визначається по співвідношенню

$$D_{E=0} = \frac{\Delta U_{\text{вих}}}{K_u \cdot \Delta E_k}, \quad (4.1)$$

де:

$\Delta U_{\text{вих}}$ - зміна вихідної напруги при зміні напруги живлення на величину $-\Delta E_k$; коефіцієнт підсилення - K_u повинний бути узятий у відповідному режимі виміру.

При вимірі коефіцієнта підсилення змінних напруг вхідна напруга подається також, як і в п.2 і відраховується по вольтметру генератора, підключеного до входу. АХЧ являє собою залежність коефіцієнта підсилення від частоти. При побудові цієї

характеристики звичайно використовують логарифмічний масштаб по осі абсцис. Це дозволяє при великому діапазоні частот одержати досить великий масштаб в області низьких частот. По осі ординат часто відкладають нормований коефіцієнт підсилення $K = K_U/K$, де K - коефіцієнт підсилення в області середніх частот. У нашому випадку K можна вважати рівним коефіцієнтові підсилення по постійному струму. Область середніх частот для досліджуваних підсилювачів - частоти 1-2 кГц.

Контрольні питання

1. Якого типу сигнали підсилюють ППС?
2. Яким основним умовам повинні відповідати підсилювачі напруги, що повільно змінюється?
3. Як зміниться вихідна напруга ППС при зміні знака вхідної напруги?
4. Що таке дрейф нуля?
5. Які існують різні види дрейфу нуля?
6. При яких умовах можуть бути з'єднані між собою два підсилювальних каскади ППС?
7. Які існують способи зменшення дрейфу нуля?
8. Що таке рівнобокий балансовий каскад?
9. Для чого потрібний змінний резистор у балансовому ППС?
10. Чому дрейф нуля балансового ППС менший, ніж у звичайних підсилювачах?
11. Як обчислюється приведений до входу електричний дрейф нуля?
- 12.3 якою метою використовують двуполярне живлення ППС?
- 13.3 якою метою використовують модулятор в ППС із перетворенням сигналу?
14. Чому у підсилювача змінної напруги не має дрейфу нуля?
15. Чи може ППС підсилювати змінну напругу?

5. ДОСЛІДЖЕННЯ ДЖЕРЕЛ ВТОРИННОГО ЖИВЛЕННЯ

Мета роботи - дослідження основних параметрів джерела вторинного живлення електронної апаратури на базі однофазного двохнапівперіодного випрямляча

5.1 Основні відомості

Джерела вторинного живлення (ДВЖ) призначені для перетворення напруги в постійну напругу, призначену для живлення електронних схем. Існує дві основні структурні схеми ДВЖ: класична і імпульсна.

Класична схема (мережевий трансформатор - випрямляч - фільтр - стабілізатор постійної напруги) проста в реалізації, але має істотний недолік - великогабаритний понижуючий трансформатор. Тому все ширше застосовуються імпульсні ДВЖ (випрямляч напруги -високочастотний перетворювач в імпульсну напругу необхідних номіналів - випрямляч імпульсної напруги - фільтр, що згладжує - стабілізатор постійної напруги).

Незважаючи на більшу кількість структурних елементів імпульсні ДВЖ мають менші габарити і масу, так як параметри ВЧ трансформаторів на феритових сердечниках незрівнянно краще, ніж трансформаторів з сердечниками з електротехнічної сталі.

Структурна схема класичного ДВЖ представлена на рисунку 5.1.

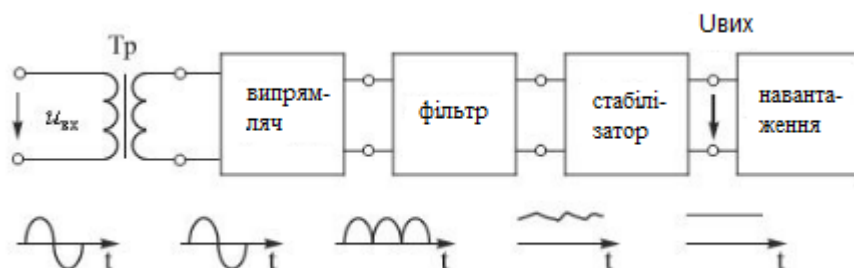


Рисунок 5.1. Структурна схема класичного ДВЖ

Трансформатор призначений для зміни рівня змінної напруги і гальванічної розв'язки випрямляча і мережі живлення. Вибір типу сердечника трансформатора (визначаємого в основному його масогабаритними характеристиками) проводиться, як правило, з стандартизованих значень по так званих габаритній потужності, яка визначається за заданою потужністю у вторинних обмотках (сумарної потужності в навантаженні).

Випрямляч - перетворює змінну напругу мережі живлення в випрямлену пульсуючу (або імпульсну напругу однієї полярності). Називати випрямлену напругу постійною явно некоректно.

Основними характеристиками випрямлячів є:

Номінальна напруга постійного струму $U_{\text{ср}}$ середнє значення випрямленої напруги, що задається технічними вимогами.

Номінальний випрямлений струм $I_{\text{ср}}$ - середнє значення випрямленого струму, тобто його постійна складова, задана технічними вимогами. Визначається сумою струмів всіх кіл, що живляться від ДВЖ. Напруга мережі U мережі - напруга мережі змінного струму, від якої живиться випрямляч. Стандартне значення напруги для побутової мережі одно 220В з відхиленнями, що допускаються $\pm 10\%$. Пульсація - перемінна складова чи напруга струму на виході випрямляча. Є якісним показником випрямляча. Частота пульсацій - частота найбільш яскраво вираженої гармонійний складової чи напруги струму на виході випрямляча.

Для однонапівперіодной схеми випрямляча частота пульсацій дорівнює частоті живлячої мережі. Частота пульсацій двухнапівперіодних схем дорівнює подвоєній частоті мережі живлення. Багатофазні схеми випрямлення мають частоту пульсацій, що залежить від схеми випрямляча і числа фаз. Нестабільність напруги на виході випрямляча - зміна напруги постійного струму щодо номінального. Визначається відхиленнями напруги мережі живлення. Додатково ДВЖ характеризують:

Коефіцієнт пульсацій - характеризує відношення амплітуди 1-й гармоніки напруги пульсації до середнього значення:

$$q = U_{\text{п1м}} / U_{\text{о.}} \quad (5.1.)$$

Значення коефіцієнта пульсацій на виході фільтра визначаються вимогами навантаження до якості живлення.

Коефіцієнт фільтрації (коефіцієнт згладжування) - відношення коефіцієнта пульсацій на вході фільтра до коефіцієнта пульсацій на виході фільтра. Для багатоланкових фільтрів коефіцієнт фільтрації дорівнює добутку коефіцієнтів фільтрації окремих ланок.

Процес випрямлення змінної напруги заснований на нелінійності ВАХ діода.

Випрямлячі можуть бути однонапівперіодними і двухнапівперіодними. При цьому вони поділяються на однофазні та багатфазні.

Схема однонапівперіодного випрямляча представлена на рисунку 5.2. Оскільки діод має властивості односторонньої провідності, на виході виходить пульсуюча напруга однієї полярності.

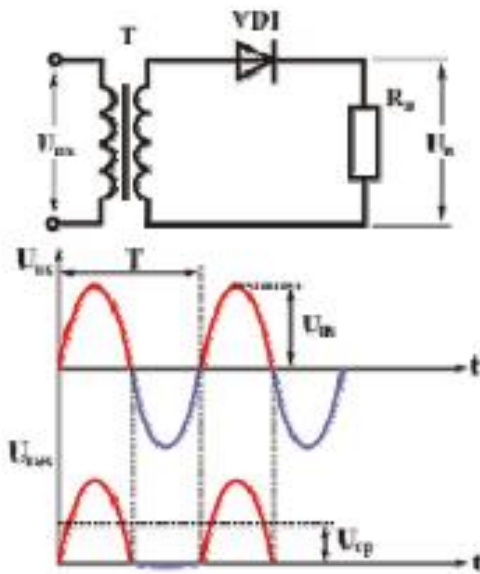


Рисунок 5.2. Схема однофазного однонапівперіодного випрямляча і графіки, що пояснюють принцип його роботи

Вихідна напруга менше вхідної на величину падіння напруги на відкритому діоді. Дана схема характеризується наступними параметрами:

Середнє значення випрямленої напруги ($U_{\text{ср}}$):

$$U_{\text{ср}} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2} U_{2\text{нтр}} \sin \omega t d\omega t \approx 0.45 U_{2\text{нтр}} \quad (5.2.)$$

Діюче значення вхідної напруги:

$$U_{\text{вх}} = \frac{\pi U_{\text{сер}}}{\sqrt{2}} \approx 2.22 U_{\text{сер}} \quad (5.3.)$$

Середнє значення випрямленого струму:

$$I_{\text{ср}} = \frac{0.45 U_{\text{вх}}}{R_{\text{н}}} \quad (5.4.)$$

Максимальна зворотна напруга на діоді:

$$U_{\text{звД}} = \sqrt{2} U_{\text{вх}} = \pi U_{\text{сер}} \quad (5.5.)$$

Діюче значення струму у вторинній обмотці трансформатора:

$$I_2 = \frac{U_{\text{вх}}}{R_{\text{н}}} = \frac{\pi U_{\text{ср}}}{\sqrt{2} R_{\text{н}}} \approx 1.57 I_{\text{ср}} \quad (5.6.)$$

Коефіцієнт пульсацій випрямленої напруги в першому наближенні дорівнює відношенню максимального і середнього значення напруги. Для однофазного однонапівперіодного випрямляча коефіцієнт пульсацій p має найбільше значення і дорівнює:

$$p = \frac{U_{\text{сер}2} \frac{\pi}{2}}{U_{\text{сер}}} = \frac{\pi}{2} = 1.57 \quad (5.7.)$$

Тому на практиці дану схему застосовують у вкрай рідкісних випадках в малопотужних пристроях, коли не потрібна висока ступінь згладжування випрямленої напруги (як правило, для живлення низькоомних навантажень, не критичних до високих пульсацій). До переваг схеми можна віднести простоту конструкції.

Двухнапівперіодні схеми випрямлення

а). Схема випрямляча з виводом від середньої точки трансформатора (рис.5.3.).

Під час першого напівперіоду перший діод D_1 відкритий і на навантаженні створюється падіння напруги. Під час другого напівперіоду діод D_1 закривається, оскільки він виявляється включеним у зворотному напрямку, а другий D_2 , навпаки, відкривається і на навантаженні знову виділяється позитивна напівхвиля.

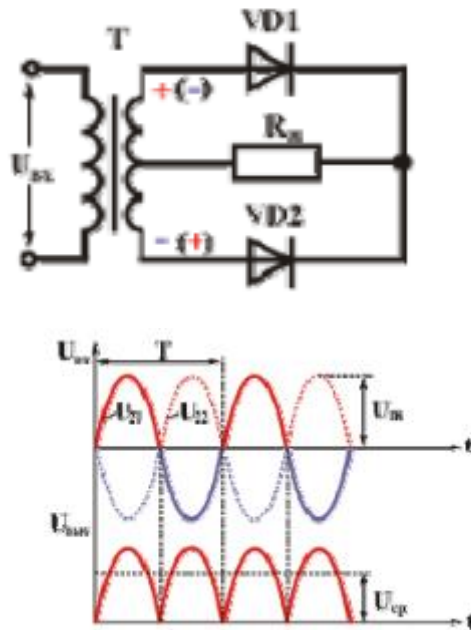


Рисунок 5.3. Схема двухнапівперіодного випрямляча з виводом від середньої точки обмотки трансформатора і графіки, що пояснюють принцип її роботи

У двохнапівперіодному випрямлячі постійні складові струму і напруги збільшується вдвічі в порівнянні з однонапівперіодной схемою:

$$U_{\text{ср}} = 0.9 U_{\text{вх}} \quad (5.8.)$$

$$I_{\text{ср}} = 0.9 \frac{U_{\text{вх}}}{R_{\text{н}}} \quad (5.9.)$$

Діюче значення струму у вторинній обмотці трансформатора

$$I_2 = 0.78 I_{\text{ср}} \quad (5.10.)$$

Коефіцієнт пульсацій двухнапівперіодного випрямляча вдвічі менше, що є його перевагою:

$$P = 0.67 \quad (5.11.)$$

Недоліком є наявність трансформатора з двома симетричними обмотками (що збільшує його масогабаритні показники). Оскільки струм у вторинній обмотці трансформатора двухнапівперіодного випрямляча синусоїдальний, а не пульсуючий, він не містить постійної складової. Теплові втрати при цьому зменшуються, що дозволяє зменшити габарити трансформатора.

Істотним недоліком схеми на рисунку 5.3. є те, що до закритого діода прикладена зворотна напруга, яка рівна подвоєній амплітуді напруги одного плеча вторинної обмотки трансформатора:

$$U_{зв}=2U_{2m} \quad (5.12.)$$

Тому необхідно вибирати діоди з приблизно удвічі більшою зворотною напругою. Більш раціонально використовуються діоди в мостовій схемі випрямляча (рисунок 5.4).

б). Мостова схема

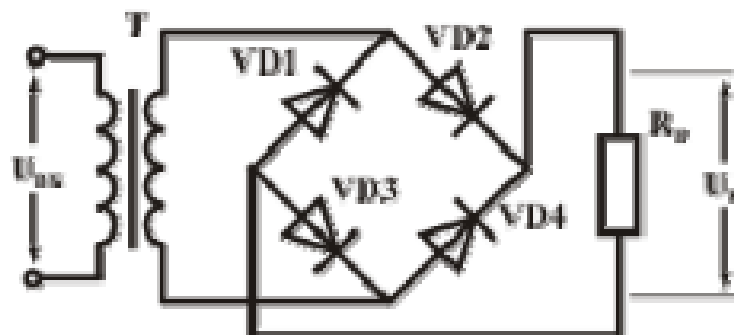


Рисунок 5.4. Мостова схема випрямляча

Електричні параметри мостової схеми випрямляча аналогічні параметрам схеми з виводом від середньої точки вихідної обмотки трансформатора, за винятком величини зворотної напруги на діодах: воно в два рази менше.

5.2.Опис експериментальної установки

Комп'ютер з встановленою програмою **Electronics Workbench**. У даній лабораторній роботі вам будуть необхідні наступні елементи (див. додаток А):

1. З набору **Sources** (джерела):

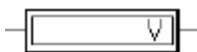


- джерело живлення (**Battery**);

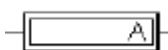


-джерело змінної напруги. Чинне значення напруги джерела вимірюється в вольтах і задається похідними величинами (від мкВ до кВ). Є можливість установки частоти і початкової фази.

2. З набору **Indicators** (індикатори):



- Вольтметр (**Voltmeter**);



- Амперметр (**Ammeter**);



- Осцилограф, імітований програмою **Workbench**, являє собою аналог двулучевого осцилографа, що запам'ятовує, і має дві модифікації: просту і розширену. Розширена модифікація за своїми можливостями наближається до кращих цифрових запам'ятовуючих осцилографів. Через те, що розширена модель займає багато місця на робочому полі, рекомендується починати дослідження простою моделлю, а для докладного дослідження процесів - використовувати розширену модель. Осцилограф можна підключити до вже включеної схеми або під час роботи схеми переставити виводи до інших точок - зображення на екрані осцилографа зміниться автоматично.

3. З набору **basic**:



- Резистор (**resistor**);



-Конденсатор. Ємність конденсатора вимірюється в Фарадах і задається похідними величинами (від пФ до Ф).

4. З набору **Transistors** (транзистори):



п-р-п транзистор марки КТ312В має дві п-області і одну р-область

5.3 Порядок виконання роботи

5.3.1. Зібрати коло однонапівперіодного випрямляча, яке складається з джерела первинної напруги - (220В, 50 Гц), понижувального трансформатора, необхідного для отримання на виході змінної напруги 9В (або за завданням викладача). У колі низької напруги зібрати схему однонапівперіодного випрямляча і ємнісного фільтра, що згладжує, як навантаження підключить змінний резистор в (0 - 1000 Ом). Підключити до схеми вимірювальні прилади необхідні для вимірювання напруги і струму в навантаженні, а також двоканальний осцилограф. На лівий канал осцилографа подайте сигнал напруги до фільтра, що згладжує, а на правий канал, напругу після фільтра. Напруга має вимірюватися щодо "0" з цього схему необхідно заземлити. (Без цього модель працювати не буде). (Рисунок 5.5.).

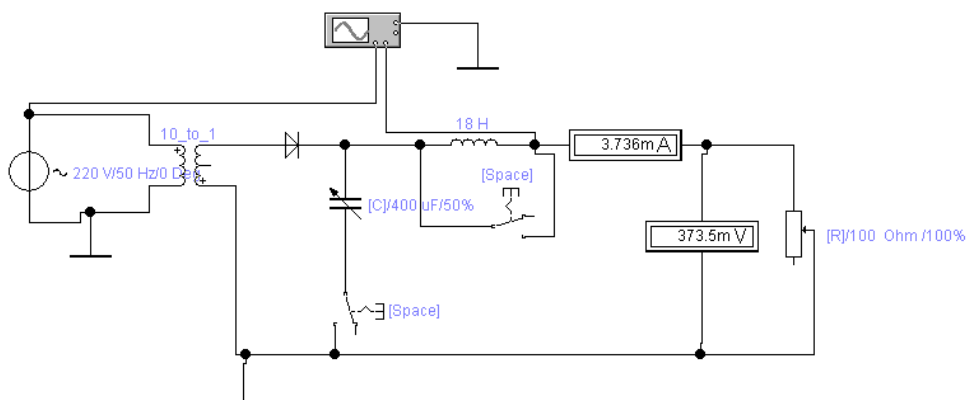


Рисунок 5.5. Схема включення однонапівперіодного випрямляча

Включити коло (для цього потрібно клацнути на значку). Розгорнути вікно осцилографа двічі клацнувши на його значок. Встановити часовий інтервал на одну поділку осцилографа (Time base) рівний 5.00 ms/div (5 мсек на поділку), коефіцієнт ділення напруги на каналі А (Channel A) рівний 100V/div (100 вольт на поділку), а на каналі В - 10V/div. Детальніше про роботу з осцилографом дивись в додатку А.

5.3.2. Зняти осцилограми і розрахувати коефіцієнт пульсації з великим і малим навантаженням для наступних комбінацій згладжуючих фільтрів:

- 1) без фільтра;
- 2) з фільтром $C = 100\text{мкФ}$;
- 3) з фільтром $C = 800\text{мкФ}$.
- 4) з фільтром C і $L = 18\text{мГн}$;

$$C=400\text{мкФ } U_{\text{вх}}=300\text{V}, U_{\text{вих}}=30\text{V}$$

$$C=800\text{мкФ } U_{\text{вх}}=300\text{V}, U_{\text{вих}}=30\text{V}$$

$$L=18\text{H } U_{\text{вх}}=300\text{V}, U_{\text{вих}}=1\text{V}$$

За мале навантаження прийняти 100 Ом (10% від опору резистора), за велике - 10 Ом (1%). Значення зменшується клавішею [R], збільшується - [Shift] + [R]. Для кожної осцилограми підписати тип фільтра, потужність навантаження і коефіцієнт пульсації.

5.3.3. Після закінчення роботи зберегти документ в файл звіту про лабораторну роботу. Коефіцієнт пульсації дорівнює відношенню змінної складової напруги до постійної складової. Режим вимірювання вольтметра перемикається в вікні, що викликається подвійним клацанням миші: Mode: AC - режим вимірювання змінної складової; Mode: DC - режим вимірювання постійної складової. При постійному значенні ємності фільтра $C = 200\text{ мкФ}$ (50%) і відключеною котушкою індуктивності зробити 5 - 6 вимірів при різному опорі корисного навантаження. Побудувати графік залежності коефіцієнта пульсації від опору корисного навантаження.

5.3.4. Зібрати коло мостового двухнапівперіодного випрямляча (рисунок 5.6.). Коло мостового двухнапівперіодного випрямляча ідентичне колу

однапівперіодного випрямляча, за винятком того, що для випрямлення напруги використовується діодний міст, а не один діод як в однапівперіодному випрямлячі

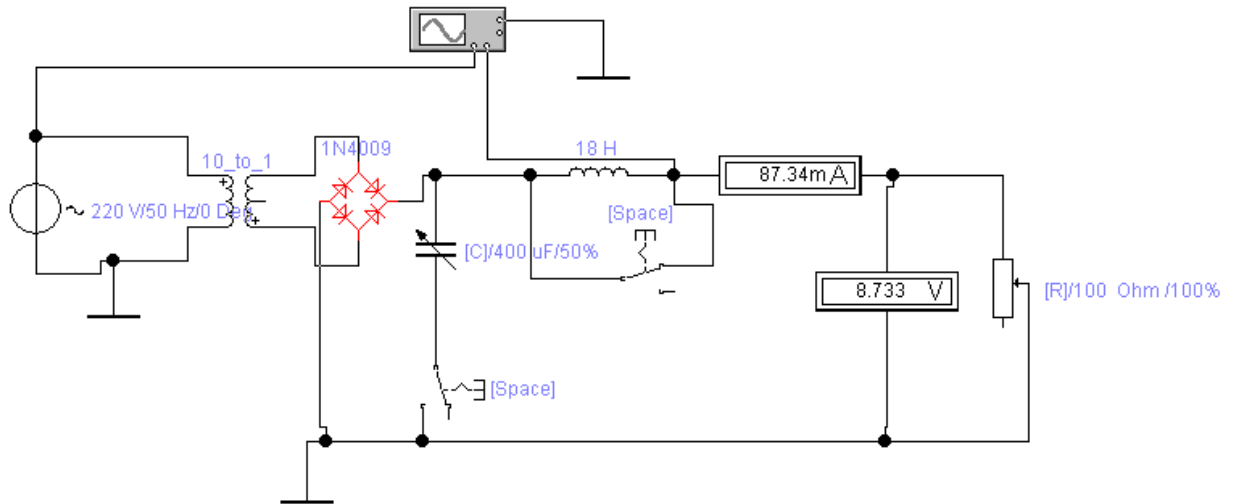


Рисунок 5.6. Схема включення мостового однапівперіодного випрямляча

$C=400\text{mkF}$ $U_{\text{bx}}=300\text{V}$, $U_{\text{bix}}=24\text{V}$

$C=800\text{mkF}$ $U_{\text{bx}}=300\text{V}$, $U_{\text{bix}}=24\text{V}$

$C=2\text{-}3\text{mF}$

$L=18\text{H}$ $U_{\text{bx}}=300\text{V}$, $U_{\text{bix}}=13\text{V}$

Контрольні питання

1. Які бувають види випрямлячів?
2. Які характеристики випрямлячів?
3. Які характеристики згладжуючих фільтрів?
4. Які характеристики трансформаторів?

6. ДОСЛІДЖЕННЯ КЕРОВАНОГО ОДНОФАЗНОГО ВИПРЯМЛЯЧА ТА НЕКЕРОВАНОГО ТРИФАЗНОГО ВИПРЯМЛЯЧА

Мета роботи - вивчити принцип дії та основні характеристики керованого однофазного випрямляча та некерованого трифазного випрямляча.

6.1 Основні відомості

Для перетворення змінної напруги на постійну напругу застосовують випрямні пристрої. У випрямний пристрій зазвичай входять трансформатор, один або кілька вентилів, фільтр, що згладжує, електронний стабілізатор постійної напруги. Залежно від умов роботи, окремі елементи випрямного пристрою можуть бути відсутніми.

Досить часто у різних пристроях потрібно регулювати величину випрямленої напруги. Такі випрямлячі отримали назву керованих випрямлячів. В якості керованих вентилів нині застосовуються тиристори.

Тиристор – напівпровідниковий перемикач – виготовляється з кремнію та має три р-п переходи (рисунок 6.1,а). Напруга живлення E_a подається на тиристор так, що переходи Π_1 та Π_3 відкриті, а перехід Π_2 закритий. Струм I_a , що проходить через тиристор, буде визначатися високим опором закритого переходу. На рисунку 6.1,б наведено вольтамперні характеристики тиристора для позитивних значень напруги. Зі збільшенням напруги u_a струм тиристора зростає незначно. Але при досягненні напруги $u_{вкл}$ (рисунок 6.1,б) настає електричний пробій у переході. При цьому відбувається лавиноподібне збільшення кількості носіїв зарядів за рахунок лавинного множення носіїв у переході Π_2 дірками та електронами, що рухаються. Внаслідок цього струм I_a збільшується стрибком і напруга на тиристорі зменшується.

В анодне коло тиристора для обмеження струму включають резистор R_a . При стрибкоподібному зростанні анодного струму збільшується падіння напруги на резисторі R_a і напруга на тиристорі зменшується. Зміна анодного струму після

настання електричного пробою проводиться зміною величини R_a або E_a . Якщо зняти напругу живлення, то властивості р-n переходу Π_2 відновлюються.

Напругу $u_{\text{вкл}}$ можна знизити введенням додаткових носіїв у будь-який шар, що утворюють перехід. Поява додаткових носіїв збільшує число актів іонізації атомів у переході, і тому напруга $u_{\text{вкл}}$ зменшується. Додаткові носії зарядів, що утворюють струм I_y , вводяться в тиристор допоміжним колом джерела живлення E_y . Вплив величини струму I_y працюючого тиристора видно з рисунка 6.1,б.

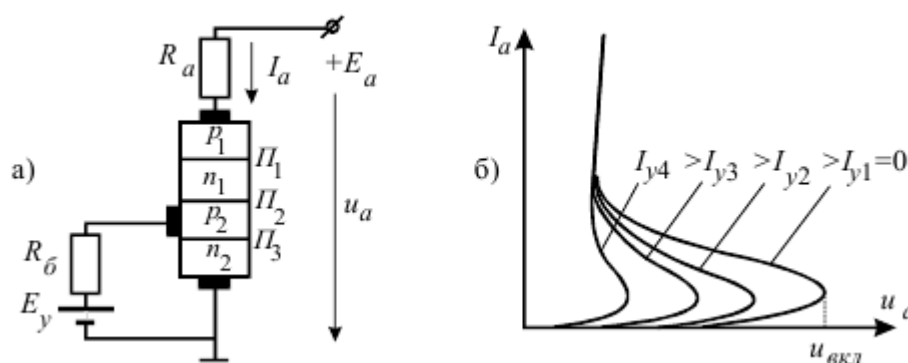


Рисунок 6.1. Структурна схема (а) та вольт-амперні характеристики (б) тиристора

При включенні тиристора у прямому напрямку переходи Π_1 і Π_3 будуть закриті, й у ньому з'явиться дуже невеликий струм. Щоб уникнути пробою тиристора у зворотному напрямку необхідно, щоб зворотна напруга була меншою $u_{\text{зв.дод.}}$.

Керування у випрямлячі зводиться до керування моментом відмикання тиристорів. Найбільш поширений спосіб керування тиристорами – імпульсно-фазовий; при цьому на керуючий електрод тиристора періодично подаються імпульси напруги u_y , які можуть зрушуватися в часі до моменту появи позитивної напівхвилі колекторної напруги тиристора u_k .

У тих випадках, коли за умовами експлуатації випрямляча допускається деяке розкидання моментів відмикання тиристорів, замість імпульсного управління може бути застосоване фазове управління синусоїдальним струмом. Якщо,

наприклад, тиристор включити послідовно з опором навантаження (рисунок 6.2, а) і керувати моментом включення тиристора сигналами змінного струму, через навантаження будуть протікати імпульси струму (рисунок 6.2, б).

У наведеній схемі момент включення визначає фазовий зсув напруги керування. Фазовий зсув створює регульований фазообертач, включений в коло керуючого електрода.

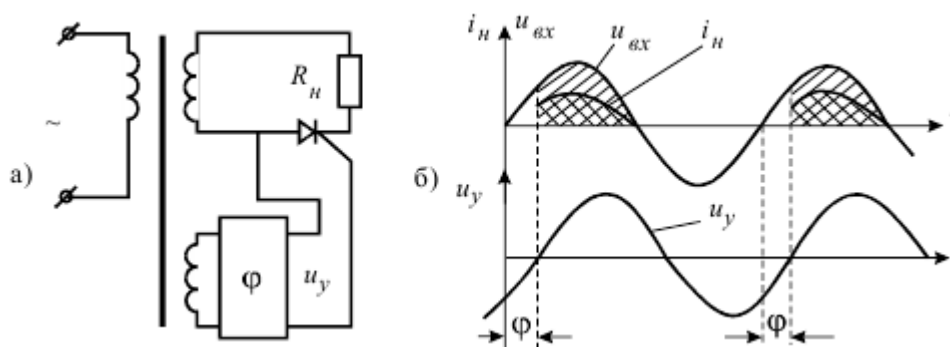


Рисунок 6.2 – Схема (а) та часові діаграми (б) керованого тиристорного випрямляча

Трифазні випрямлячі застосовують у пристроях великої та середньої потужності. На рисунку 6.3,а зображено одну з можливих схем трифазного випрямляча. Струм через кожен діод може проходити тільки тоді, коли потенціал на його аноді вищий за потенціал на катоді. Це можливо протягом 1/3 періоду, коли напруга в даній фазі вище напруги у двох інших фазах. Так, наприклад, коли відкритий діод D_1 , через нього та навантаження R_n проходить струм, що визначається u_A . Саме тоді діоди D_2 і D_3 замкнені, т.к. потенціали їх катодів вищі за потенціали анодів. У наступну третину періоду відкрито діод D_2 і т.д. Характер зміни напруги фаз, відповідне відкритого стану діодів, показаний на рисунку 6.3,б. Якщо вважати діоди ідеальними, то напруга на навантаженні R_n дорівнює напрузі фази з відкритим діодом і, отже, струм навантаження змінюється за тим самим законом, тобто. Струм, що проходить через навантаження, не падає до нуля, як це мало місце в схемах одно-і двохнапівперіодних випрямлячів. Таким чином,

пульсація струму у трифазному випрямлячі відносно невелика і коефіцієнт пульсацій $\varepsilon=0,25$.

Середнє значення випрямленого струму навантаження $I_0 = 0,827I_m$. У кожному діоді струм проходить протягом $T/3$, і тому його середнє значення $I_{\text{СЕР}} = I_0/3$.

Випрямлена напруга на навантаженні $U_0 = 0,827U_m$, але так як $U_m = \sqrt{2}U$, де U – значення фазної напруги, що діє, на вторинній обмотці трансформатора, то $U_0 = 1,17U$.

Очевидно, що максимальне значення зворотної напруги на кожному діоді визначається амплітудою лінійної напруги $U_{\text{обр } m} = \sqrt{3}U_m$, оскільки $U_m = 1,21U_0$, то $U_{\text{зв } m} = 2,09U_0$.

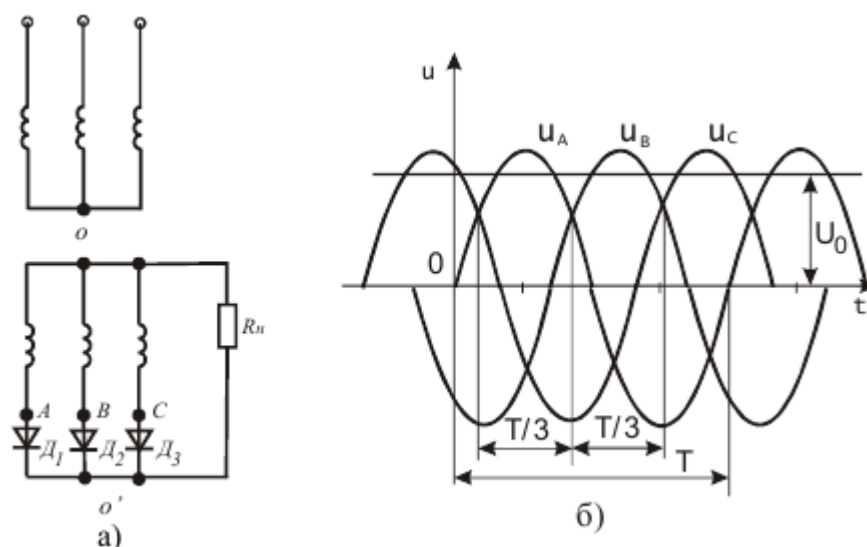


Рисунок 6.3. Схема трифазного випрямляча (а) та фазна напруга на ньому (б)

6.2 Опис експериментальної установки

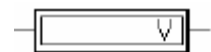
Комп'ютер з встановленою програмою **Electronics Workbench**. У даній лабораторній роботі вам будуть необхідні наступні елементи (див. додаток А):

1. З набору **Sources** (джерела):

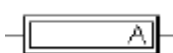


-джерело змінної напруги. Чинне значення напруги джерела вимірюється в вольтах і задається похідними величинами (від мкВ до кВ). Є можливість установки частоти і початкової фази.

2. З набору **Indicators** (індикатори):



- Вольтметр (**Voltmeter**);



- Амперметр (**Ammeter**);

3. З набору **basic**:



- Резистор (**resistor**);



Змінний резистор. Положення движка змінного резистора встановлюється за допомогою спеціального елемента - стрілочки-регулятора. У діалоговому вікні можна встановити опір, початкове положення движка (у відсотках) і крок збільшення (також у відсотках). Є можливість змінювати положення движка за допомогою клавіш-ключів.



-Конденсатор. Ємність конденсатора вимірюється в Фарадах і задається похідними величинами (від пФ до Ф).



-трансформатор

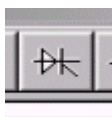


- ключ має два стани: вимкнений (розімкнутий) і включений (замкнутий). У вимкненому стані вони представляють нескінченно великий опір, у включеному стані їх опір дорівнює нулю.

З набору **Diodes** (діоди):



- випрямний діод (**diode**);



- Тиристор.

З набору **Instruments** (прилади для аналогових схем):



- осцилограф.

6.3 Виконання роботи

6.1. Приступаючи до виконання даної лабораторної роботи необхідно запустити програму **Electronics Workbench**.

2. Зберіть схему для дослідження керованого однофазного однонапівперіодного випрямляча:

6.1. З бібліотеки компонентів джерел живлення **Sources** на поле помістіть джерело заданої напруги і заземлення.

6.2. З бібліотеки пасивних елементів **Basic** на поле помістіть резистор, змінний резистор, конденсатор, трансформатор, ключ.

6.3. З бібліотеки індикаторних пристроїв **Indicators** помістіть амперметр і вольтметр.

6.4. З бібліотеки **Diodes** на поле помістить діод і тиристор.

6.5. З бібліотеки **Instruments** на поле помістить осцилограф.

6.6. З'єднайте всі компоненти за схемою (рис.6.4.) Встановіть необхідні параметри компонентів.

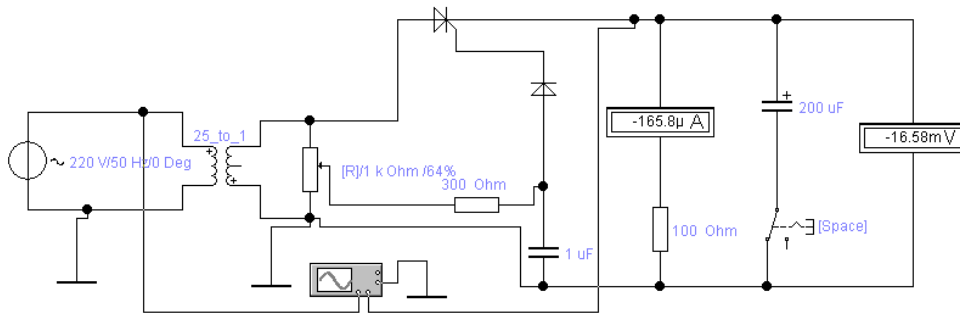


Рисунок 6.4. Схема керованого однофазного однопівперіодного випрямляча.

Щоб схема почала функціонувати, необхідно натиснути кнопку у верхньому правому куті.

Спочатку слід досліджувати роботу керованого випрямляча без ємнісного фільтра, відключивши його. На вхід А осцилографа подається вихідний сигнал, а на вхід - вхідний.

Замалюйте отримані осцилограми (рис.6.5., рис.6.6.).

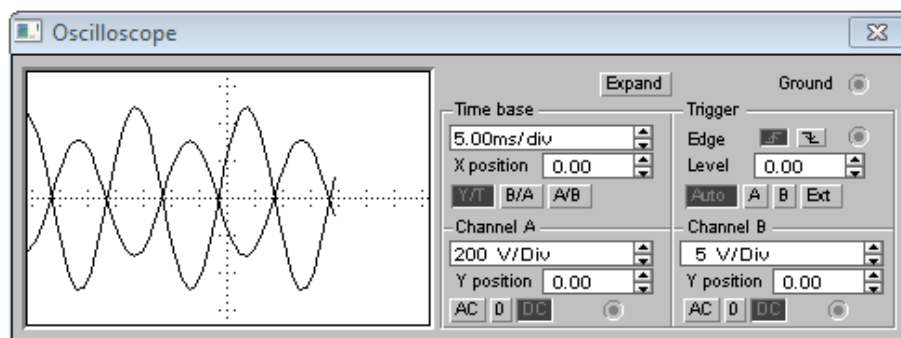


Рисунок 6.5. Осцилограма вихідного сигналу

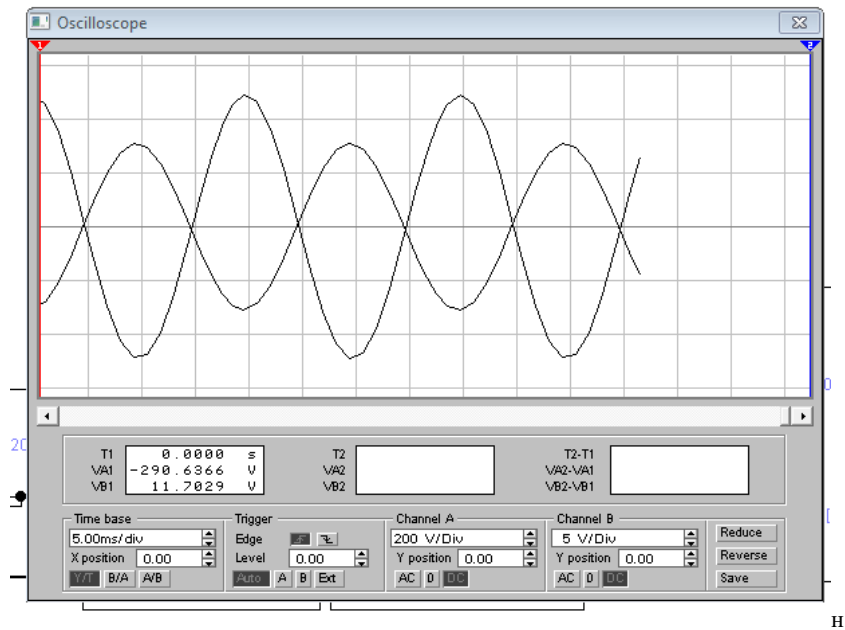


Рисунок 6.6. Розгорнута осцилограма вихідного сигналу

Виміряйте максимальну вхідну та вихідну напругу. Встановлюючи різні значення опору навантаження випрямляча (резистор R_3), зніміть показання вольтметра та амперметра, занісши їх до таблиці 6.1. Побудуйте зовнішні характеристики однополуперіодного керованого випрямляча, що працює без ємнісного фільтра, за різних моментів відмикання тиристора (регулюється опором R_1). Момент відмикання визначити із осцилограм.

Таблиця 6.1. Зовнішня характеристика однонапівперіодного керованого випрямляча без фільтра

Параметр	$\varphi_1 =$					$\varphi_2 =$				
U_H, V										
I_H, A										

Потім підключіть ємнісний фільтр, зніміть і побудуйте зовнішню характеристику випрямляча аналогічно описаному раніше. Також замалюйте осцилограми напруги при двох різних значеннях ємностей конденсатора.

Обчисліть цих значень ємностей конденсатора фільтра середнє значення напруги і коефіцієнт пульсацій.

6.3. Зберіть схему для дослідження трифазного однонапівперіодного випрямляча:

6.1. З бібліотеки компонентів джерел живлення **Sources** на поле помістіть джерело заданої напруги і заземлення.

6.2. З бібліотеки пасивних елементів **Basic** на поле помістіть резистор, змінний резистор, конденсатор, трансформатор, ключ.

6.3. З бібліотеки індикаторних пристроїв **Indicators** помістіть амперметр і вольтметр.

6.4. З бібліотеки **Diodes** на поле помістить діод і тиристор.

6.5. З бібліотеки **Instruments** на поле помістить осцилограф.

6.6. З'єднайте всі компоненти за схемою (рис.6.7.) Встановіть необхідні параметри компонентів.

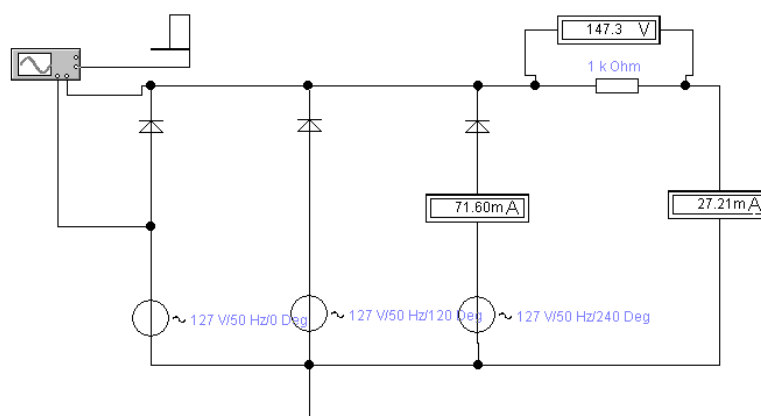


Рисунок 6.7. Схема для дослідження трифазного однонапівперіодного випрямляча

На вхід А осцилографа подається вихідний сигнал, а на вхід - вхідний. Замалюйте отримані осцилограми. Виміряйте максимальну вхідну та вихідну напругу. Встановлюючи різні значення опору навантаження випрямляча (резистор R_n), зніміть показання вольтметра та амперметра, внісши їх до таблиці 6.2. Побудуйте зовнішню характеристику трифазного випрямляча.

Таблиця 6.2. Зовнішня характеристика трифазного однонапівперіодного випрямляча без фільтра

$U_H, В$										
$I_H, мА$										

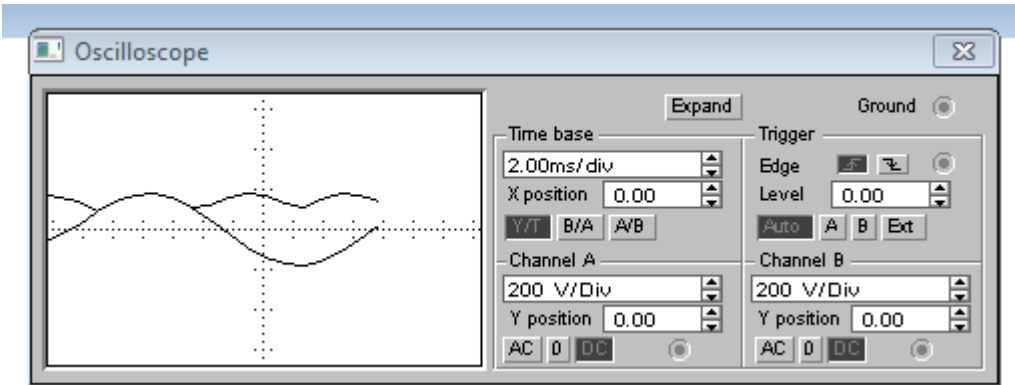


Рисунок 6.8. Осцилограма вихідного сигналу

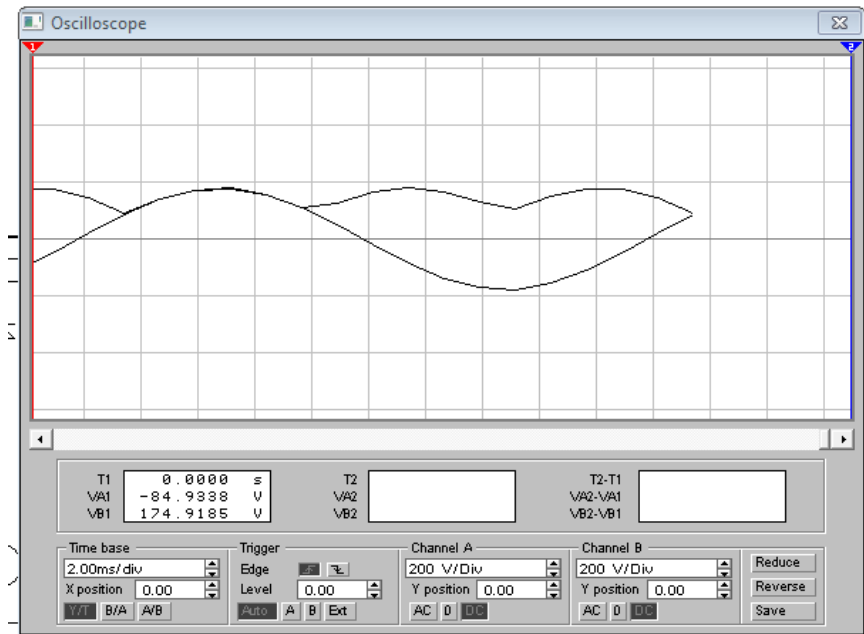


Рисунок 6.9. Розгорнута осцилограма вихідного сигналу

6.4. Отримані результати занести в звіт. Порівняти експериментальні дані з теоретичними. Зробити висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Назвіть електроди тиристора.
2. Чому дорівнює коефіцієнт пульсації для трифазного випрямляча?
Порівняйте його значення зі значенням коефіцієнта пульсацій для однофазних випрямлячів.
3. Складіть структурну схему керованого випрямляча.
4. Як співвідносяться струми та напруги на вході та виході трифазного випрямляча?

7.ДОСЛІДЖЕННЯ ЗГЛАДЖУВАЛЬНИХ ФІЛЬТРІВ

Мета роботи - дослідження роботи індуктивно-ємнісних та транзисторних фільтрів, що згладжують.

7.1.Короткі теоретичні відомості

Випрямлену напругу з підвищеним рівнем пульсацій у переважній більшості випадків використовувати не можна, тому що при цьому робота електронних блоків та пристроїв різко погіршується або взагалі неприпустима.

Залежно від призначення того чи іншого електронного блоку (підсилювача, генератора тощо), його місця в електронному пристрої або системі (на вході, виході тощо) коефіцієнт пульсацій напруги живлення не повинен перевищувати певних значень. Так, для основних каскадів автоматичних систем він не повинен перевищувати $10^{-2} - 10^{-3}$, для вихідних підсилювальних каскадів – $10^{-4} - 10^{-5}$, для автогенераторів – $10^{-5} - 10^{-6}$, а для вхідних каскадів електронних вимірювальних пристроїв - $10^{-6} - 10^{-7}$. Напруга на виході будь-якого випрямляча завжди пульсує і містить постійну та змінну складову напруги. Для згладжування пульсацій застосовують фільтри, що згладжують (ЗФ) – пристрої, призначені для придушення пульсацій випрямленої напруги до рівня, при якому відбувається нормальна робота

споживача. Згладжуючі фільтри, включають між вентиляною групою і стабілізатором постійної напруги СН з навантажувальним пристроєм R_n (рис.7.1).

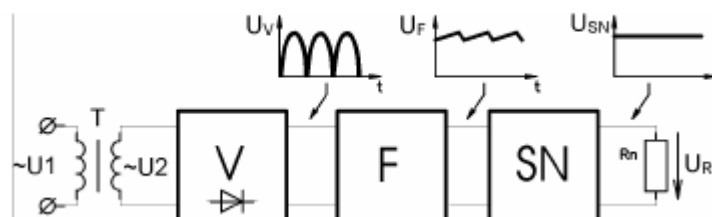


Рисунок 7.1. Структурна схема електронного пристрою

Найпростіший ЗФ складається з двох пасивних елементів, включених за Г-подібною схемою (рис. 7.2.). Послідовний елемент має великий опір змінному струму, а паралельний елемент (конденсатор) – малий.

Також можна побудувати багатоланкові фільтри. Наприклад, спочатку дросель, потім конденсатор, знову дросель - Т-подібний фільтр. Або конденсатор, дросель, конденсатор - П-подібний фільтр і т. д. LC-фільтри мають істотні недоліки. По-перше, це масогабаритні показники. Конденсатор великої ємності буде не таким маленьким. Та й індуктивність також. По-друге, для LC-фільтрів характерна наявність зовнішніх магнітних полів, але це несприятливо позначається на чутливих вузлах апаратури. Зменшити масогабаритні показники можна, використовуючи транзисторні ЗФ замість громіздких LC-фільтрів. Але виграш транзисторних фільтрів компенсується меншим ККД.

Як відбувається згладжування пульсацій? Розглянемо форму вихідної напруги однонапівперіодного випрямляча, показану на рис. 7.3.

На рисунку U_{cp} – це середнє значення випрямленої напруги. Як видно з рисунка, ця напруга менша за амплітудне значення, але найголовніше – великі пульсації. Тепер слід встановити найпростіший фільтр, що згладжує, як показано на рис. 7.4.

Встановивши осцилограф паралельно навантаженню, можна побачити картину, зображену на рис. 7.5. Розглянемо, як працюють дросель та конденсатор окремо.

Допустимо, конденсатор розряджений. Під час подачі напруги на конденсатор він починає заряджатися – короткий відрізок пили рисунку. Досягши максимального значення, амплітуда вихідної напруги випрямляча починає зменшуватися до нуля. Відповідно, заряджений до максимального значення конденсатор починає розряджатися через навантаження – довгий відрізок пилки.

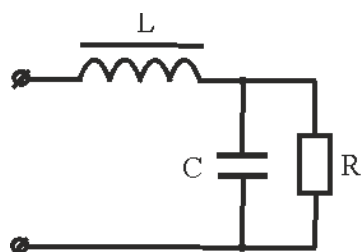


Рисунок 7.2. Індуктивно-ємнісний фільтр, що згладжує

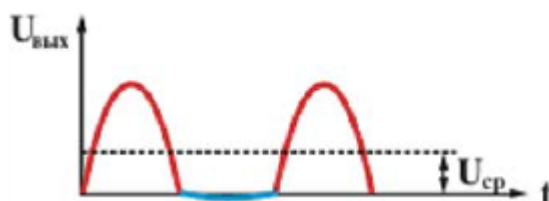


Рисунок 7.3. Форма вихідної напруги однонапівперіодного випрямляча

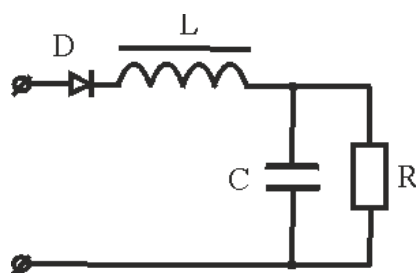


Рисунок 7.4. Приклад випрямляча з найпростішим фільтром, що згладжує.

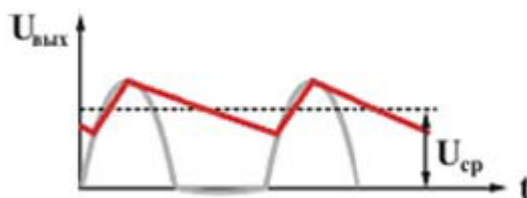


Рисунок 7.5. Форма вихідної напруги випрямляча зі згладжуючим фільтром

При наступному наростанні амплітуди процес повторюється. Природно, що розмах амплітуди пили, а це теж пульсації, залежить від ємності конденсатора і від величини опору навантаження, звичайно. Чим більша ємність, тим менше пульсації; що менше опір навантаження, то більше вписувалося пульсації.

Процес фільтрації можна пояснити і іншому аспекті. Вважається, що вихідна напруга випрямляча містить постійну та змінну складову. Оскільки ємнісний опір конденсатора є $X = 1/\omega C$, де $\omega = 2\pi f$, то неважко помітити, що зі збільшенням ємності опір зменшується. Аналогічно для частоти. Але для постійного струму частота дорівнює 0 – отже ємнісний опір прагнути нескінченності.

Таким чином, змінна складова проходить через конденсатор і замикається на загальний провід, не потрапляючи у навантаження, тоді як постійна складова повністю виділяється у навантаженні.

При перебігу струму через індуктивність відбувається накопичення енергії. Потім енергія виділяється в навантаженні і т. д. В іншому аспекті: оскільки котушка має індуктивний опір, рівним $X = \omega L$, то неважко помітити, що при збільшенні частоти опір також пропорційно збільшується. Оскільки для постійного струму частота дорівнює нулю, то й опір дорівнюватиме нулю. Іншими словами, індуктивність не пропускає змінної складової у навантаження, тоді як постійна складова безперешкодно проходить через індуктивність..

Основним параметром, що характеризує ефективність дії фільтра, що згладжує, є коефіцієнт згладжування, рівний відношенню коефіцієнтів пульсацій на вході і виході фільтра:

$$q = \frac{Kp_{\text{вх}}}{Kp_{\text{вих}}} \quad (7.1.)$$

Основним параметром, що характеризує ефективність згладжування дії фільтра, є коефіцієнт згладжування, рівний відношенню коефіцієнтів пульсацій на вході і виході фільтра

$$Kp = \frac{U_{1m}}{U_{\text{сер}}} \quad (7.2.)$$

Зазвичай K_p визначають як відношення половини розмаху пульсацій ΔU (рис.7.6) до середньої напруги $U_{\text{ср}}$, тобто.

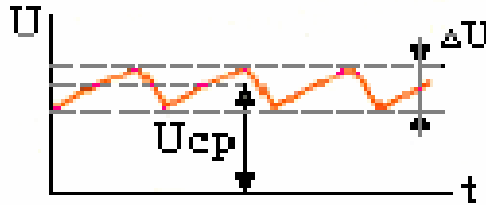


Рисунок 7.6. Графік розмаху пульсацій ΔU та середньої напруги $U_{\text{ср}}$

Основні визначення та розрахункові співвідношення:

1. Диференційний опір – опір транзистора змінному струму:

$$r_d = \frac{dU}{dI} = \frac{\Delta U}{\Delta I} \quad (7.3.)$$

2. Статичний опір – опір транзистора постійному струму:

$$r_{\text{ст}} = \frac{U}{I} \quad (7.4.)$$

3. Коефіцієнт пульсації – відношення амплітудного значення змінної складової U_{max} до середнього значення випрямленої напруги U_d :

$$k_{\text{п}} = \frac{U_{\text{max}}}{U_d} \quad (7.5.)$$

де U_{max} – амплітуда пульсації; U_d – середнє значення постійної складової напруги.

4. Коефіцієнт фільтрації – відношення амплітуди змінної складової на вході фільтру $U'_{\sim \text{max}}$ до амплітуди змінної складової на виході фільтру $U_{\sim \text{max}}$:

$$k_{\phi} = \frac{U'_{\sim \text{max}}}{U_{\sim \text{max}}} \quad (7.6.)$$

5. Коефіцієнт згладжування фільтру

$$k_{згл} = \frac{k'_\pi}{k_\pi} \quad (7.7.)$$

де k'_π , k_π – коефіцієнт пульсації відповідно на вході та виході фільтра.

6. Коефіцієнт передавання сталої складової фільтру

$$\lambda = \frac{U_{dвих}}{U_{dвх}} \quad (7.8.)$$

де $U_{dвх}$, $U_{dвих}$ – стала складова напруги на вході та на виході фільтру.

7. Коефіцієнт корисної дії фільтру – відношення потужності сталого струму P_d , що надходить до навантаження, до потужності, що споживається на вході фільтра $P_{вх}$:

$$ККД = \frac{P_d}{P_{вх}} \quad (7.9.)$$

У багатьох випадках ККД фільтру приблизно можна визначити як

$$ККД \cong \lambda = \frac{P_{dвих}}{P_{dвх}} \quad (7.10.)$$

Транзисторний фільтр

Розглянемо типові схеми транзисторних фільтрів. На рисунку 7.7. представлена схема найпростішого транзисторного фільтра. На колектор транзистора VT надходить напруга з випрямляча з великою амплітудою пульсацій. Коло бази живиться через інтегруюче коло RC. Це коло згладжує пульсації з урахуванням транзистора. В принципі, це коло можна уявити як RC-фільтр. Чим більше часу $\tau = RC$, тим менше пульсації напруги з урахуванням транзистора. А оскільки транзистор включений за схемою емітерного повторювача, то на виході напруга повторюватиме напругу на базі, тобто пульсації будуть настільки ж малими, як і на базі. Ємність конденсатора може бути в кілька разів менше (приблизно в h_{21e} раз), ніж в LC-фільтрі, оскільки базовий струм набагато менше вихідного струму фільтра, тобто колекторного струму транзистора. Основна перевага схеми – простота.

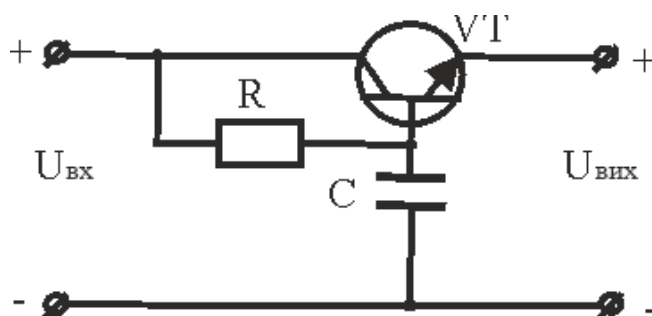


Рисунок 7.7. Найпростіший транзисторний фільтр

Недоліки:

1. Суперечливі вимоги до опору резистора R – для зменшення пульсацій слід збільшувати опір, для підвищення ККД – зменшувати;
2. Сильна залежність параметрів від температури, струму навантаження, коефіцієнта передачі струму бази транзистора (h_{21e}). Зазвичай резистор підбирають експериментально.

Дещо інша схема наведена на рисунку 7.8. У такій схемі коло бази транзистора запитується від окремого джерела з напругою більшу за вхідну. Схема має менші пульсації.

Оскільки база живиться від окремого джерела, опір резистора можна збільшити і, отже, зменшити пульсацію вихідної напруги. Потужність, що виділяється на резисторі R мала, тому що струм бази малий. Тим не менш, цій схемі притаманні ті ж недоліки, що й попередньої. Крім того, в такому фільтрі транзистор може увійти в насичення і всі пульсації з входу без обмежень фільтра будуть передаватися на вихід. У цей режим транзистор увійде, коли напруга з урахуванням перевищить напругу на колекторі. На рисунку 7.9. наведена схема транзисторного фільтра, що згладжує (ЗФ), позбавлена вищевказаних недоліків.

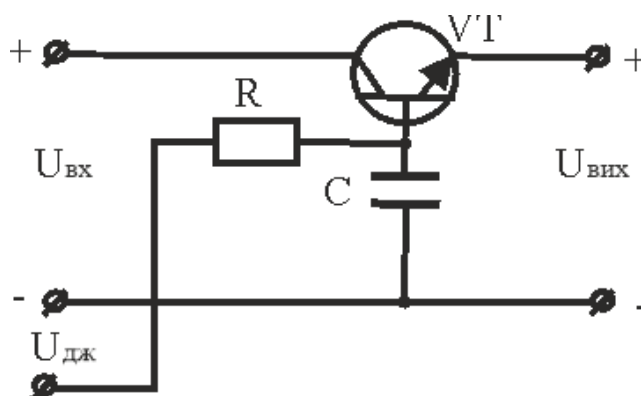


Рисунок 7.8. Схема транзисторного ЗФ із зовнішнім живленням

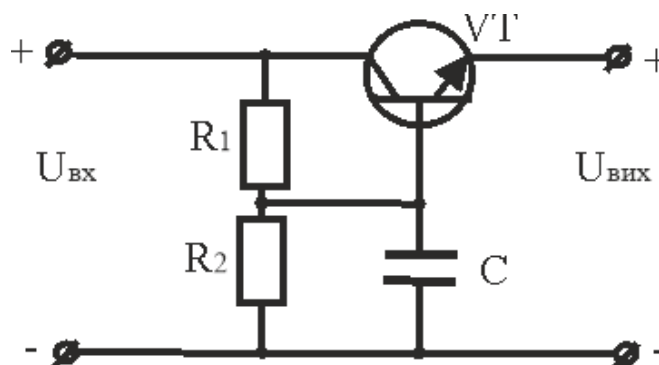


Рисунок 7.9. Фільтр із дільником напруги

Струм через дільник R_1R_2 вибирається більше в 5-10 разів, порівняно з струмом, що відгалужується в базу. Тому вихідна напруга фільтра визначається розподілом вхідної напруги на дільнику. Недоліки фільтра – менший ККД у порівнянні з попередніми схемами. До того ж необхідно збільшувати ємність конденсатора C_1 для отримання прийнятних пульсацій.

На завершення представлена практична схема транзисторного фільтра, що згладжує по ККД і пульсаціям близького до LC-фільтрів, але перевершує їх за масогабаритними показниками. Схема наведено на рисунку 7.10. На колектор транзистора VT_1 надходить вхідна напруга з великими пульсаціями, на базу через резистор R_1 напруга від окремого джерела за значенням більше вхідної. Конденсатор C_1 заряджається до того часу, поки напруга у ньому стане більше вхідної на величину прямої напруги на діоді $VD1$, т. е. $U_{прVD1}$. Конденсатор C_1 починає розряджатися через відчинений діод $VD1$, транзистор $VT1$ і навантаження. Розряджатися конденсатор буде, поки вхідна напруга знову не збільшуватиметься. Діоди $VD2, VD3$ зміщують рівень постійної складової. Крім того, діод $VD2$ виконує

функції ключа у піковому детекторі VD2C₂. Оскільки струм бази досить малий, і конденсатор розряджається через коло бази, то пульсації у ньому будуть менше, ніж C₁. Отже, і на виході пульсації будуть незначні.

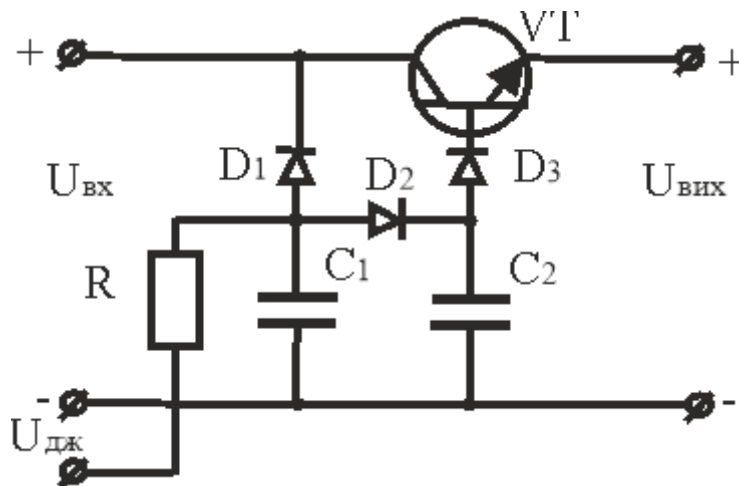
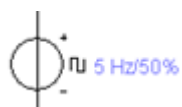


Рисунок 7.10. Транзисторний фільтр, що згладжує

7.2.Опис експериментальної установки

Комп'ютер з встановленою програмою **Electronics Workbench**. У даній лабораторній роботі вам будуть необхідні наступні елементи (див. додаток А):

1. З набору **Sources** (джерела):

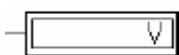


- генератор тактових імпульсів (**Clock**);

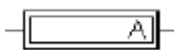


-джерело змінної напруги. Чинне значення напруги джерела вимірюється в вольтах і задається похідними величинами (від мкВ до кВ). Є можливість установки частоти і початкової фази.

2. З набору **Indicators** (індикатори):



- Вольтметр (**Voltmeter**);



- Амперметр (**Ammeter**);



- Осцилограф, імітований програмою **Workbench**, являє собою аналог двулучевого осцилографа, що запам'ятовує, і має дві модифікації: просту і розширену. Розширена модифікація за своїми можливостями наближається до кращих цифрових запам'ятовуючих осцилографів. Через те, що розширена модель займає багато місця на робочому полі, рекомендується починати дослідження простою моделлю, а для докладного дослідження процесів - використовувати розширену модель. Осцилограф можна підключити до вже включеної схеми або під час роботи схеми переставити виводи до інших точок - зображення на екрані осцилографа зміниться автоматично.

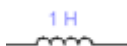
3. З набору **basic**:



- Резистор (**resistor**);



-Конденсатор. Ємність конденсатора вимірюється в Фарадах і задається похідними величинами (від пФ до Ф).



- котушка індуктивності. Індуктивність вимірюється в Генрі і задається похідними величинами (від мГн до Гн)



-трансформатор

4. З набору **Diodes** (діоди):



-діод

5. З набору **Transistors** (транзистори):



п-р-п транзистор марки КТ819В має дві п-області і одну р-область

7.3 Порядок виконання роботи

7.3.1. Дослідження згладжуючого С фільтра. Зібрати коло згладжуючого фільтра, яке складається з джерела первинної напруги - (220В, 50 Гц),

понижувального трансформатора, необхідного для отримання на виході змінної напруги (або за завданням викладача). У колі низької напруги зібрати схему однофазної мостової схеми і ємнісного фільтра ($C_1 = 10$ мкФ і $C_2 = 100$ мкФ), що згладжує, як навантаження підключіть резистори в 400 Ом і 1000 Ом. Діоди підключаємо згідно таблиці варіантів). Підключити до схеми вимірювальні прилади необхідні для вимірювання напруги і струму в навантаженні, а також двоканальний осцилограф. Напряга має вимірюватися щодо "0" з цього схему необхідно заземлити. (Без цього модель працювати не буде). (Рисунок 7.11.).

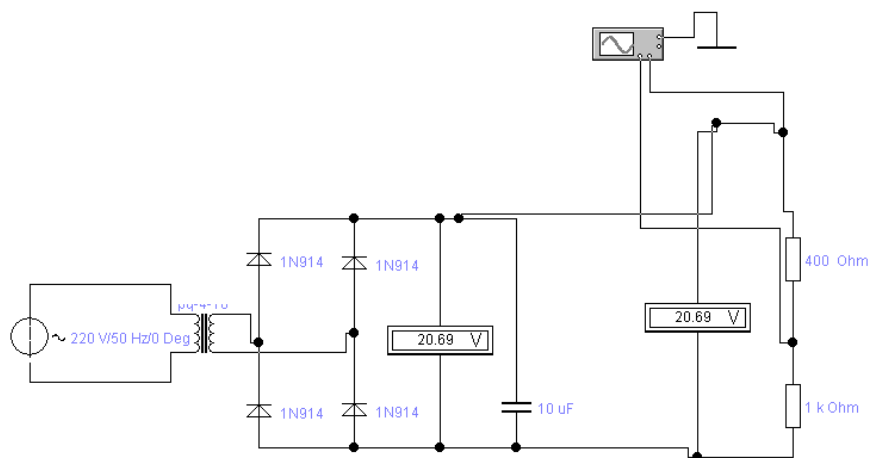


Рисунок 7.11. Ргладжуючий С фільтр

Включити коло (для цього потрібно клацнути на значку). Розгорнути вікно осцилографа двічі клацнувши на його значок. Встановити часовий інтервал на одну поділку осцилографа (Time base) рівний 0.02 s/div (0,02 сек на поділку), коефіцієнт ділення напруги на каналі А (Channel A) рівний 10V/div (10 вольт на поділку), а на каналі В - 5V/div (рисунок 7.12.). Детальніше про роботу з осцилографом дивись в додатку А.

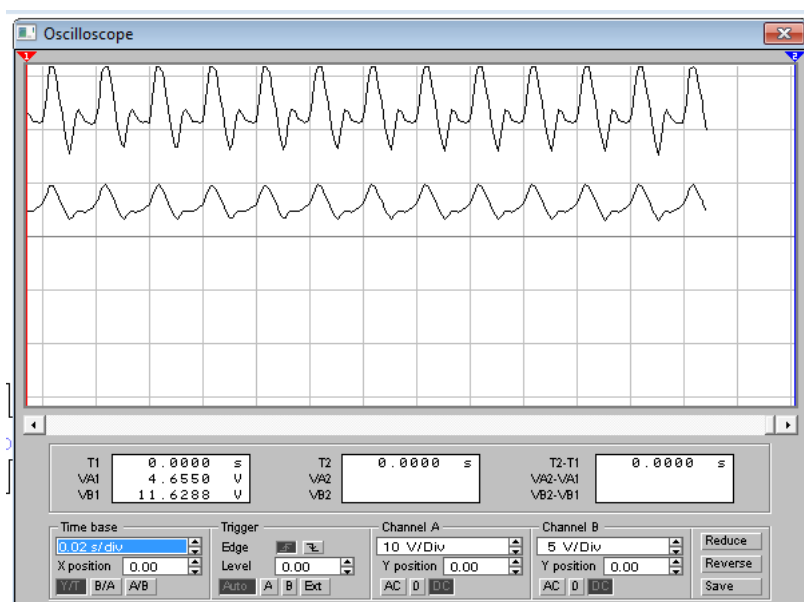


Рисунок 7.12. Осцилограма згладжуючого С фільтра

Зняти осцилограми і розрахувати коефіцієнт пульсації.

7.3.2. Дослідження згладжуючого Г-подібного RC - фільтра. Зібрати коло згладжуючого фільтра, яке складається з джерела первинної напруги - (220В, 50 Гц), понижувального трансформатора, необхідного для отримання на виході змінної напруги (або за завданням викладача). У колі низької напруги зібрати схему однофазної мостової схеми і ємнісного фільтра ($R=200 \text{ Ом}$ і $C = 100 \text{ мкФ}$), що згладжує, як навантаження підключіть резистори в 400 Ом і 1000 Ом . Діоди підключаємо згідно таблиці варіантів). Підключити до схеми вимірювальні прилади необхідні для вимірювання напруги і струму в навантаженні, а також двоканальний осцилограф. Напруга має вимірюється щодо "0" з цього схему необхідно заземлити. (Без цього модель працювати не буде). (Рисунок 7.13.).

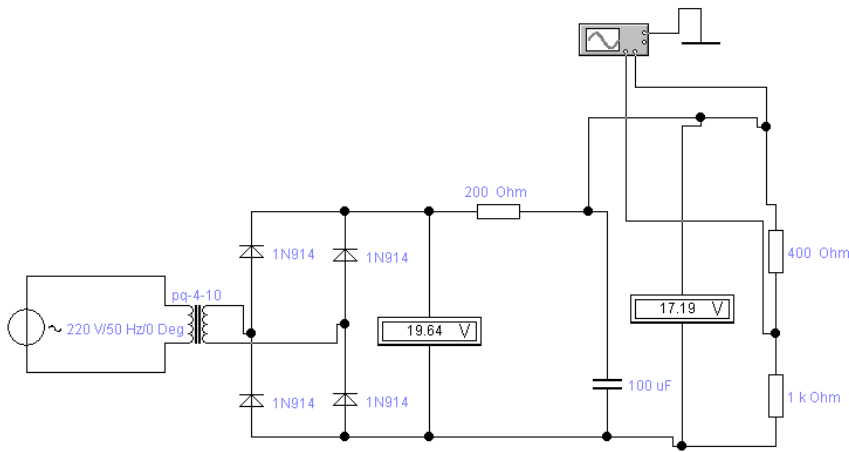


Рисунок 7.13. Згладжуючий Г-подібний RC - фільтр

Включити коло (для цього потрібно клацнути на значку). Розгорнути вікно осцилографа двічі клацнувши на його значок. Встановити часовий інтервал на одну поділку осцилографа (Time base) рівний 0.02 s/div (0,02 сек на поділку), коефіцієнт ділення напруги на каналі А (Channel A) рівний 10V/div (10 вольт на поділку), а на каналі В - 5V/div (рисунок 7.14.). Детальніше про роботу з осцилографом дивись в додатку А.

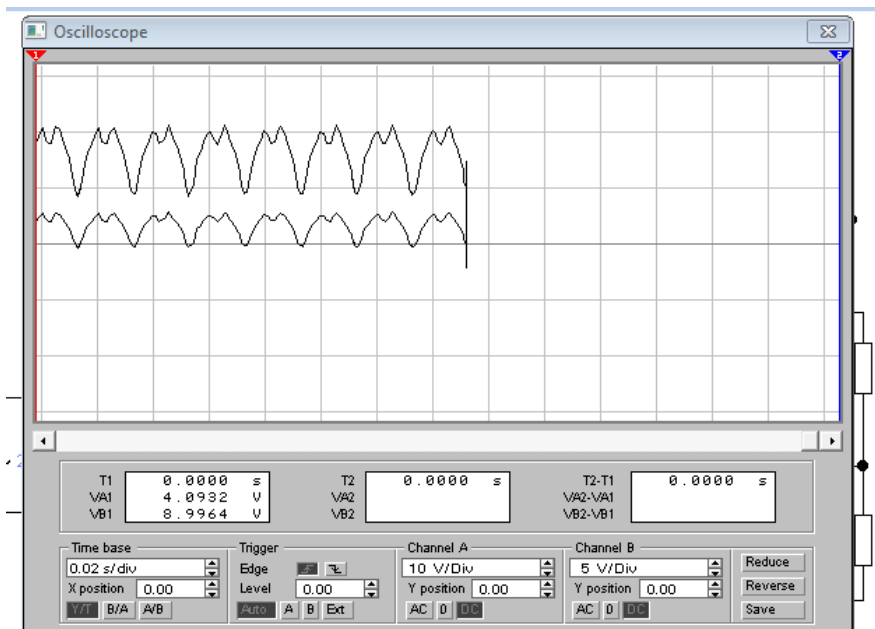


Рисунок 7.14. Осцилограма згладжуючого Г-подібного RC - фільтра

Зняти осцилограми і розрахувати коефіцієнт пульсації.

7.3.3. Дослідження згладжуючого L фільтра. Зібрати коло згладжуючого фільтра, яке складається з джерела первинної напруги - (220В, 50 Гц), понижувального трансформатора (трансформатор вибираємо згідно таблиці варіантів), необхідного для отримання на виході змінної напруги (або за завданням викладача). У колі низької напруги зібрати схему однофазної мостової схеми і індуктивного фільтра ($L_1 = 500$ мГн і $L_2 = 1$ Гн), що згладжує, як навантаження підключіть резистори в 400 Ом і 1000 Ом. Діоди підключаємо згідно таблиці варіантів. Підключити до схеми вимірювальні прилади необхідні для вимірювання напруги і струму в навантаженні, а також двоканальний осцилограф. Напруга має вимірюється щодо "0" з цього схему необхідно заземлити. (Без цього модель працювати не буде). (Рисунок 7.15.).

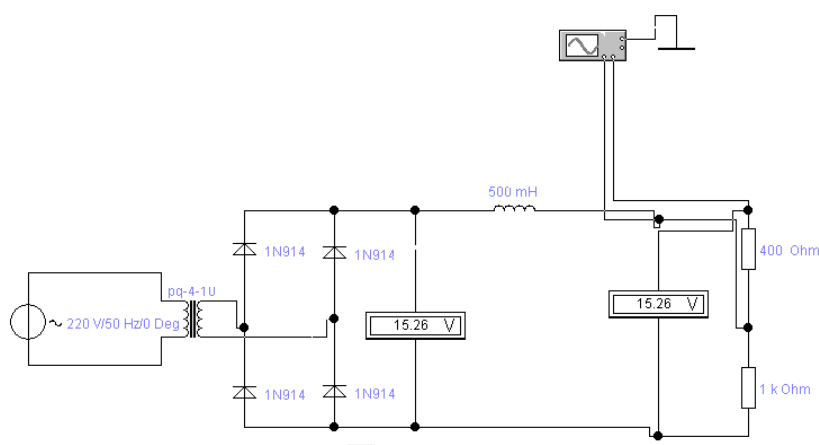


Рисунок 7.15. Згладжуючий L фільтр

Включити коло (для цього потрібно клацнути на значку). Розгорнути вікно осцилографа двічі клацнувши на його значок. Встановити часовий інтервал на одну поділку осцилографа (Time base) рівний 0.02 s/div (0,02 сек на поділку), коефіцієнт ділення напруги на каналі A (Channel A) рівний 10V/div (10 вольт на поділку), а на каналі B - 5V/div (рисунок 7.16.). Детальніше про роботу з осцилографом дивись в додатку А.

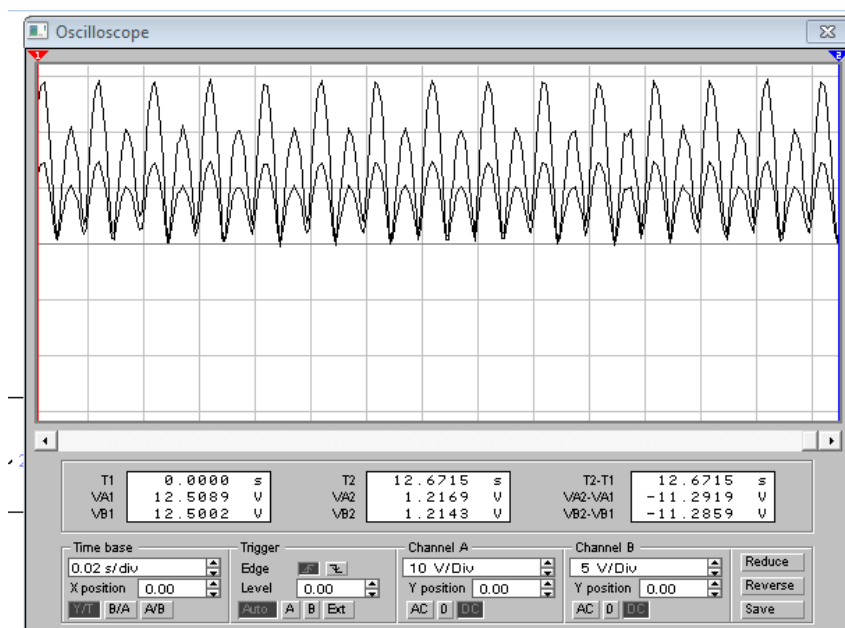


Рисунок 7.16. Осцилограма згладжуючого L фільтра

Зняти осцилограми і розрахувати коефіцієнт пульсації.

7.3.4. Дослідження згладжуючого Г-подібного LC - фільтра. Зібрати коло згладжуючого фільтра, яке складається з джерела первинної напруги - (220В, 50 Гц), понижувального трансформатора, необхідного для отримання на виході змінної напруги (або за завданням викладача). У колі низької напруги зібрати схему однофазної мостової схеми і LC - фільтра ($L=500$ мГн і $C = 100$ мкФ), що згладжує, як навантаження підключіть резистори в 400 Ом і 1000 Ом. Діоди підключаємо згідно таблиці варіантів). Підключити до схеми вимірювальні прилади необхідні для вимірювання напруги і струму в навантаженні, а також двоканальний осцилограф. Напруга має вимірюється щодо "0" з цього схему необхідно заземлити. (Без цього модель працювати не буде). (Рисунок 7.17.).

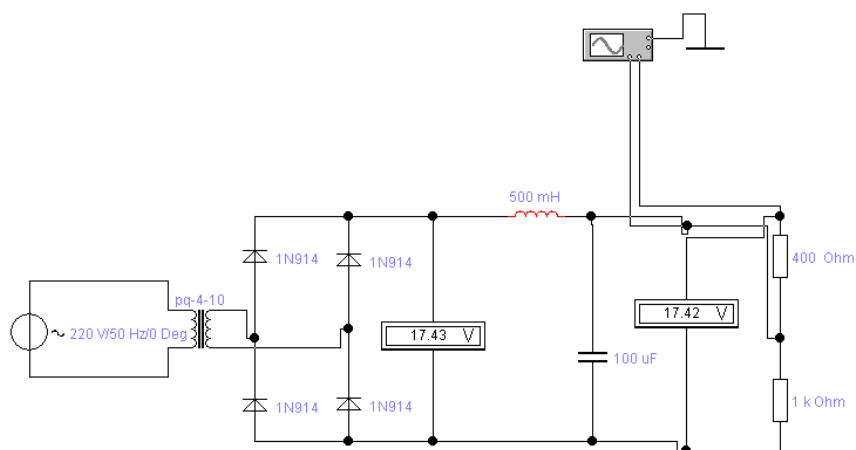


Рисунок 7.17. Згладжуючий Г-подібний LC - фільтр

Включити коло (для цього потрібно клацнути на значку). Розгорнути вікно осцилографа двічі клацнувши на його значок. Встановити часовий інтервал на одну поділку осцилографа (Time base) рівний 0.02 s/div (0,02 сек на поділку), коефіцієнт ділення напруги на каналі А (Channel A) рівний 10V/div (10 вольт на поділку), а на каналі В - 5V/div (рисунок 7.18.). Детальніше про роботу з осцилографом дивись в додатку А.

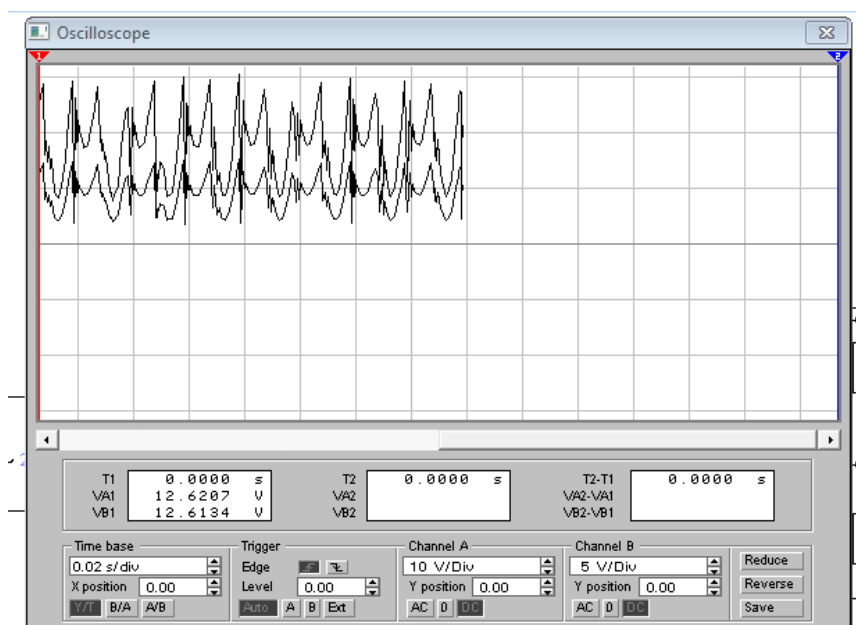


Рисунок 7.18. Осцилограма згладжуючого Г-подібного LC - фільтра

Зняти осцилограми і розрахувати коефіцієнт пульсації.

7.3.5. Дослідження згладжуючого транзисторного фільтра, за КПД і пульсаціями, близькими до LC-фільтрів, але перевершуючими їх за масогабаритними показниками. Зібрати коло згладжуючого фільтра, яке складається з джерела первинної напруги - (220В, 50 Гц), понижувального трансформатора, необхідного для отримання на виході змінної напруги (або за завданням викладача). У колі низької напруги зібрати схему однофазної мостової схеми і транзисторного фільтра, що згладжує, як навантаження підключити резистори в 400 Ом і 1000 Ом. Діоди підключаємо згідно таблиці варіантів. Транзистор підключаємо також згідно таблиці варіантів. Підключити до схеми вимірювальні прилади необхідні для вимірювання напруги і струму в навантаженні, а також двоканальний осцилограф. Напруга має вимірюватися щодо "0" з цього схеми необхідно заземлити. (Без цього модель працювати не буде). (Рисунок 7.19.). В генераторі тактових імпульсів (**Clock**) напруга становить 18-20 В, частота імпульсів становить 5 Гц.

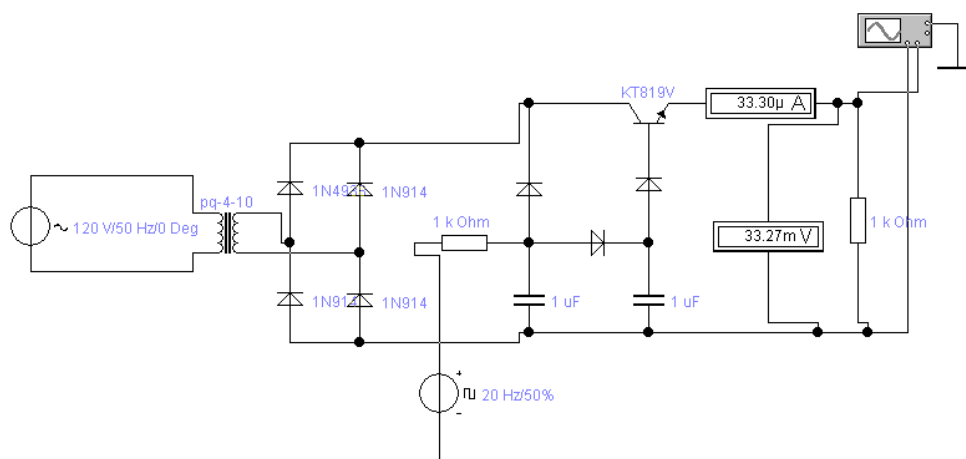


Рисунок 7.19. Згладжуючий транзисторний фільтр

Включити коло (для цього потрібно клацнути на значку). Розгорнути вікно осцилографа двічі клацнувши на його значок. Встановити часовий інтервал на одну поділку осцилографа (Time base) рівний 0.02 s/div (0,02 сек на поділку), коефіцієнт ділення напруги на каналі А (Channel A) рівний 50V/div (50 вольт на поділку), а на

каналі В - 10V/div (рисунок 7.18.). Детальніше про роботу з осцилографом дивись в додатку А.

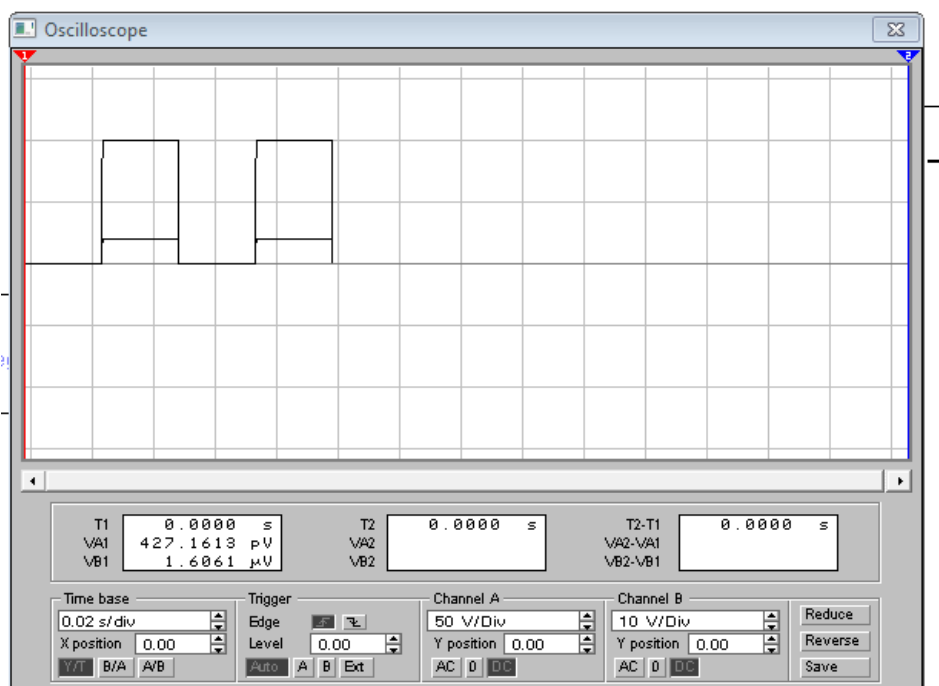


Рисунок 7.18. Осцилограма згладжуючого транзисторного фільтра

Зняти осцилограми і розрахувати коефіцієнт пульсації.

Контрольні питання

1. Для чого застосовуються фільтри, що згладжують?
2. У чому перевага транзисторних фільтрів перед LC-фільтрами?
3. Як відбувається згладжування пульсацій сигналу?
4. Від чого залежить розмах амплітуди пилки в індуктивному ЗФ?
5. Що являє собою індуктивний ЗФ та принцип його роботи?
6. Які фільтри називають Г-подібними?
7. Поясніть принцип роботи транзисторного ЗФ.
8. Як отримати прийнятні пульсації на виході транзисторного ЗФ з дільником напруги?
9. Схема ЗФ із зовнішнім живленням, «+» і «-» цієї схеми? Обґрунтуйте відповідь.

8. ВИВЧЕННЯ СИСТЕМ ЧИСЛЕННЯ

Ціль роботи - вивчити системи числення (СЧ), позиційні і непозиційні системи числення, переклад чисел з однієї системи числення в іншу, вибір системи числення для електронно-обчислювальної машини (ЕОМ).

8.1. Основні відомості

По величині основи одержує назву система числення (СЧ): десяткова (основа 10), двійкова (основа 2), вісімкова (основа 8) і т.д. Якщо основа числа r перевищує 10, то цифри починаючи з 10, при записі позначають прописними літерами латинського алфавіту: А, В, ..., Z. При цьому цифрі 10 відповідає знак «А», цифрі 11 – знак «В» і т.д. В таблиці 8.1 наведено відповідності чисел між різними СЧ. При вивченні різних позиційних СЧ слід мати на увазі, що всі ці системи побудовані за одним принципом, так само, як і десяткова СЧ. Тому побудова чисел і виконання арифметичних операцій проводиться за тими ж правилами, що і побудова для десяткової СЧ.

Таблиця 8.1. Відповідності чисел між різними системами числення

r=10	r=2	r=16
0	0000	0
1	0001	1
2	0010	2
3	0011	3
4	0100	4
5	0101	5
6	0110	6
7	0111	7

8	1000	8
9	1001	9
10	1010	A
11	1011	B
12	1100	C
13	1101	D
14	1110	F
15	1111	E

У практиці рахунку застосовується десяткова система числення. У ній будь-яке число представляється в сумі певного числа одиниць, десятків, сотень і т.д. У десятковій системі числення основою є 10; будь-яке ціле число записується як сума значень 10^0 , 10^1 , 10^2 і т. д., кожна з яких може бути взята 1-9 разів.

Наприклад, в записі 343,31 число 3, що стоїть зліва на першому місці, означає число сотень, число 3 перед комою — число одиниць, а число 3 після коми — число десятих долей одиниць. Послідовність цифр 343,31 є скорочено записом виразу

$$343,31 = 3 \times 10^2 + 4 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 3 \times 10^{-1} + 1 \times 10^{-2} \quad (8.1.)$$

В обчислювальній техніці найчастіше використовується двійкова система числення. Це обумовлено тим, що двійкова система числення найлегше реалізується за допомогою двопозиційних елементів (наприклад, тригерів).

Крім того, вона дає можливість спростити виконання арифметичних дій. При двійковій системі числення потрібні всього лише дві цифри 0 і 1 (нуль і одиниця). Основою цієї системи числення є число 2; воно записується двома цифрами : 1 і 0. У двійковій системі числення будь-яке число записується як сума значень 2^0 , 2^1 , 2^2 ,

2^3 і т. д., кожна з яких може бути узята 0 або 1 разів. В загальному вигляді всяке число в двійковій системі числення може бути представлено як

$$A_r = \sum_{k=-m}^n a_k r_k = a_n 2^n + a_{n-1} 2^{n-1} + \dots + a_0 2^0 + a_{-1} 2^{-1} + \dots + a_{-m} 2^{-m}, \quad a_k = 0, 1 \quad (8.2.)$$

і записано у вигляді послідовності одиниць і нулів.

Для переведення десяткового числа в двійкове необхідно послідовно ділити десяткове число на 2 до тих пір, поки частне від ділення дасть число 1 або 0. При цьому сукупність залишків (0 або 1) від ділення на 2 утворює шукане.

Наприклад, представимо десяткове число 26 в двійковій системі числення.

Переведення числа в двійкову систему числення проводиться за вказаним вище правилом.

Таблиця 8.2. Переведення числа в двійкову систему числення

Ділення	Залишок
$26:2=13$	0 молодший розряд
$13:2=6$	1
$6:2=3$	0
$3:2=1$	1
$1:2=0$	1 старший розряд

Залишки, одержані при діленні, починаючи з останнього, утворюють двійковий запис десяткового числа 26:

$$26_{(10)} = 11010_{(2)} \quad (8.3.)$$

де 26—десятковий код числа; 11010 – двійковий код числа.

Це відповідає запису:

$$26=1\times 2^4+1\times 2^3+0\times 2^2+1\times 2^1+0\times 2^0=16+8+0+2+0 \quad (8.4.)$$

Переклад чисел з однієї СЧ в іншу може бути здійснений різними способами. Найбільш зручні для ручного рахунку способи розподілу на основу і підсумовування ступенів основи.

В загальному випадку при основі r число представляється у вигляді:

$$A_r = \sum_{k=-m}^n a_k r^k, \quad a_k = 0, 1, 2, \dots, (r-1) \quad (8.5.)$$

і записується як послідовність коефіцієнтів a_k .

Переклад чисел за способом розподілу на основу базується на наступному.

Правило. Для перекладу цілого числа в систему числення з основою r ділять задане число на основу цієї системи. Залишок від розподілу є молодшим розрядом цього числа. Потім частне знову ділять на основу, і залишок дає другий розряд. Так повторюють до тих пір, поки не отримають частне, рівне нулю. Останнє частне дає старший розряд числа в системі числення з основою r . Розподіл потрібно проводити в тій системі числення, в якій задано число.

$$A_{10}=37 \quad (8.6.)$$

Приклад. Потрібно записати в двійковій системі числення число.

Вказані в правилі дії запишемо у вигляді таблиці:

Таблиця 8.3. Переведення числа в двійкову систему числення

Ділення	Частне	залишок
37:2	18	1 молодший розряд
18:2	9	0
9:2	4	1

4;2	2	0
2;2	1	0
1;2	0	1 старший розряд

$$A_2 = 100101 \quad (8.7.)$$

Як було вказане, залишок при першому розподілі дає молодший розряд, а при останньому – старший.

Переклад дробових чисел здійснюється шляхом множення на основу.

Правило. Для перекладу правильного дробу в системі числення з основою r , необхідно помножити дріб на основу і виділити цілу частину; отримана цифра в цілій частині буде першою цифрою (після коми) шуканого числа. Помноживши дробову частину отриманого числа, що залишилася, знову на основу і узявши цілу частину нового числа, знайдемо другу цифру. Множення слід повторювати до тих пір, поки не буде отримана кількість розрядів шуканого числа, що задовольняє необхідній точності представлення цього числа. Множення проводити в тій системі числення, в якій задано число.

Приклад. Вимагається записати в двійковій системі числення дріб

$$A_{10} = 0,732 \text{ з точністю } 1 / 32.$$

При заданій точності вимагається визначити чотири розряди двійкового дробу. Запис дій проведемо у вигляді:

Таблиця 8.4. Переведення дробу в двійкову систему числення

$0,732 \times 2 = 1,464$
$0,464 \times 2 = 0,928$
$0,928 \times 2 = 1,856$
$0,856 \times 2 = 1,712$

Для запису двійкового дробу необхідно записати цифри, що стоять в числі зліва від запису. А саме:

$$A_2 = 0.1011 \quad (8.8.)$$

При перекладі чисел з системи числення з якою-небудь основою в десяткову систему зручно використовувати спосіб підсумовування ступенів основи.

Правило. Для перекладу чисел з однієї системи числення з основою r в десяткову систему, потрібно перемножити розряди заданого числа на відповідні їм ступені r і скласти.

Приклад. Перевести число $A=100101$ з двійкової системи числення в десяткову.

При перекладі чисел з системи числення з якою-небудь основою в десяткову систему зручно використовувати спосіб підсумовування ступенів основи.

Правило. Для перекладу чисел з однієї системи числення з основою r в десяткову систему, потрібно перемножити розряди заданого числа на відповідні їм ступені r і скласти.

Приклад. Перевести число $A=100101$ з двійкової системи числення в десяткову.

$$A_{10} = 2^5 + 2^2 + 2^0 = 37 \quad (8.9.)$$

Старшому розряду відповідає п'ятий ступінь двійки.

Десяткові числа від 0 до 10 в двійковому коді записуються таким чином:

0→0000	4→0100	8→1000
1→0001	5→0101	9→1001
2→0010	6→0110	10→1010
3→0011	7→0111	

У цифрових обчислювальних машинах окрім двійкової застосовуються і інші системи числення. Так, наприклад, при програмуванні використовується вісімкова система числення, а для введення і виведення даних — двійково-десяткова.

У вісімковій системі числення основою є число 8. Будь-яке число у вісімковій системі числення може бути представлено як сума чисел $8^3, 8^2, 8^1, 8^0, 8^{-1}, 8^{-2}, 8^{-3} \dots$, кожне з яких може бути узятє 1—7 разів.

Аналогічно запису цілого числа в десятковій позиційній системі числення у вісімковій системі числення представляється у вигляді

$$\overline{abcd}_8 = a \cdot 8^3 + b \cdot 8^2 + c \cdot 8^1 + d \cdot 8^0 \quad (8.10.)$$

де a, b, c, d менше 8.

Наприклад: $26_8 = 2 \times 8^1 + 6 \times 8^0 = 22_{10}$.

Отже, число 22_{10} є десятковий вид вісімкового числа 26.

Десяткове число 22 в двійковому коді має наступний запис:

$$22_{(10)} = 10110.$$

Якщо розглянути дане двійкове число, то виявляється, що перші дві цифри означають 2, а інші три — 6, тобто це не що інше, як вісімковий код, десяткового числа 22.

Отже, для переведення вісімкового числа в двійкове необхідно кожен цифру вісімкового числа окремо представити в двійковому коді.

Наприклад:

$$15_{(8)} = (001)(101)_{(2)},$$

$$\text{де } (001)_2 = (1)_8; (101)_2 = (5)_8;$$

$$23_{(8)} = (010)(011)_{(2)},$$

$$\text{де } (010)_2 = (2)_8; (011)_2 = (3)_8.$$

Таким чином, одному розряду вісімкової системи відповідають три розряди двійкової системи. Вісімкова система зручніша тим, що вона вимагає менше число розрядів, ніж двійкова. Тому вісімкова система застосовується при складанні програм для кодування адрес і команд. Після того, як програма складена, вона переводиться в двійкову систему числення і потім вводиться в машину.

Приклади переведення чисел в різні системи числення:

Приклад 1. Перевести число 19_{10} в шістнадцяткову СЧ.

$$\begin{array}{r|l} 19 & 16 \\ \hline 16 & 1 \\ \hline 3 & \end{array}$$

$$\text{Маємо: } 19_{10} = 13_{16}.$$

Приклад 2. Перевести число 123_{10} в шістнадцяткову СЧ.

$$\begin{array}{r|l} 123 & 16 \\ \hline 112 & 7 \\ \hline 11 & \end{array}$$

..... Маємо: $123_{10} = 7B_{16}$.

Приклад 3. Перевести число 13_{16} в десяткову СЧ.

Маємо: $13_{16} = 1 \cdot 16^1 + 3 \cdot 16^0 = 16 + 3 = 19$.

Правила перекладання чисел з двійкової СЧ в шістнадцяткову.

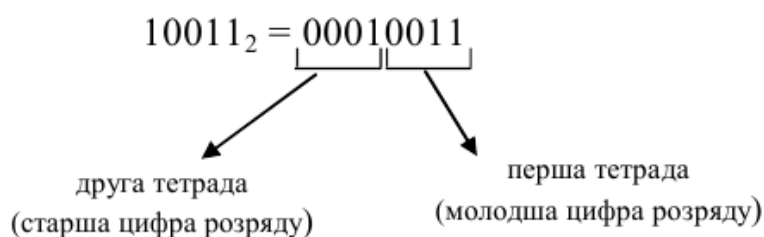
1. Початкове число розбивається на тетради (тобто на 4 цифри), починаючи з молодших розрядів. Якщо кількість цифр початкового двійкового числа не кратне 4, воно доповнюється зліва незначущими нулями до досягнення кратності 4;

2. Кожна тетрада замінюється відповідною шістнадцятковою цифрою у відповідності з таблицею 8.1.

Приклад 4. Перевести число 10011_2 в шістнадцяткову СЧ.

Оскільки в початковому двійковому числі кількість цифр не кратна 4, доповнюємо його зліва незначущими нулями до досягнення кратності 4 числа цифр.

Маємо:



У відповідності з табл. 1.1: $0011_2 = 11_2 = 3_{16}$ та $0001_2 = 1_2 = 1_{16}$.

Тоді $10011_2 = 13_{16}$.

Правила перекладання з шістнадцяткової СЧ в двійкову.

1. Кожна цифра початкового числа замінюється тетрадою двійкових цифр у відповідності з таблицею 1.1. Якщо в таблиці двійкове число має менше 4 цифр, то воно доповнюється зліва незначущими нулями до тетради;

2. Незначущі нулі в результуючому числі відкидаються.

Приклад 5. Перевести число 13_{16} в двійкову СЧ.

Згідно табл. 8.1 маємо: $1_{16} = 1_2$ після доповнення незначущими нулями, маємо: $1_2 = 0001_2$;

$$3_{16} = 11_2$$

після доповнення незначущими нулями, маємо: $11_2 = 0011_2$.

Тоді $13_{16} = 00010011_2$, після відкидання незначущих нулів маємо:

$$13_{16} = 10011_2.$$

Правила перекладання правильних дробів

З десятикової СЧ в двійкову та шістнадцяткову.

1. Початковий дріб спочатку помножають на основу СЧ, в яку переводиться число (2 або 16);

2. В отриманому добутку цілу частину перетворюють у цифру (у відповідності з табл. 8.1) та відкидають – вона є старшою цифрою отриманого дробу;

3. Частина дробу, яка залишилась, знову множать на основу СЧ, в яку переводять (у відповідності з кроками 1 та 2);

4. Процедура множення триває до тих пір, поки не буде отримано нульовий результат в дробовій частині добутку або не буде досягнуто необхідну кількість цифр в результаті.

5. Формують результат: послідовно відкинуті на кроці 2 цифри складають дробову частину результату, причому в порядку зменшення старшинства.

Приклад 6. Перевести число 0,847 в двійкову СЧ. Перевод виконувати до 4 значущих цифр після коми.

Маємо:

$$\begin{array}{rcl}
 \begin{array}{r} 0,847 \\ \cdot \quad 2 \\ \hline 1,694 \end{array} & \longrightarrow & \begin{array}{r} 0,694 \\ \cdot \quad 2 \\ \hline 1,388 \end{array} \\
 0,1101 & & \begin{array}{r} 0,388 \\ \cdot \quad 2 \\ \hline 0,776 \end{array} \\
 & & \begin{array}{r} 0,776 \\ \cdot \quad 2 \\ \hline 1,552 \end{array} \quad \text{і т.д.}
 \end{array}$$

В даному прикладі процедуру переводу було перервано на 4 кроці, оскільки отримано необхідну кількість розрядів результату. Очевидно, це призвело до втрати ряду цифр.

Приклад 7. Перевести число 0,847 в шістнадцяткову СЧ. Перевод виконувати до 3 значущих цифр.

Маємо:

$$\begin{array}{rcl}
 \begin{array}{r} 0,847 \\ \cdot \quad 16 \\ \hline 13,532 \end{array} & \longrightarrow & \begin{array}{r} 0,532 \\ \cdot \quad 16 \\ \hline 8,832 \end{array} \\
 0,D8D & & \begin{array}{r} 0,832 \\ \cdot \quad 16 \\ \hline 13,312 \end{array} \quad \text{і т.д.}
 \end{array}$$

З двійкової та шістнадцяткової СЧ в десяткову.

В цьому випадку розраховується повне значення числа, причому коефіцієнт a_i приймають десяткові значення у відповідності з СЧ.

Приклад 8. Перевести з двійкової СЧ в десяткову число $0,1101_2$.

Маємо:

$$\begin{aligned} 0.1101_2 &= 1 \cdot 2^{-1} + 1 \cdot 2^{-2} + 0 \cdot 2^{-3} + 1 \cdot 2^{-4} = 1 \cdot \frac{1}{2^1} + 1 \cdot \frac{1}{2^2} + 0 \cdot \frac{1}{2^3} + 1 \cdot \frac{1}{2^4} = \\ &= 0.5 + 0.25 + 0 + 0.0625 = 0.8125 \end{aligned} \quad (8.12.)$$

Розходження отриманого результату з початковим (0,847) викликано тим, що процедуру перевodu в двійковий дріб було перервано.

Приклад 9. Перевести з шістнадцяткової СЧ в десяткову число $0,D8D_{16}$.

Маємо:

$$\begin{aligned} 0.D8D_{16} &= 13 \cdot 16^{-1} + 8 \cdot 16^{-2} + 13 \cdot 16^{-3} = 13 \cdot \frac{1}{16^1} + 8 \cdot \frac{1}{16^2} + 13 \cdot \frac{1}{16^3} = \\ &= 13 \cdot 0.0625 + 8 \cdot 0.003906 + 13 \cdot 0.000244 = 0.84692 \end{aligned} \quad (8.13.)$$

Розходження отриманого результату з початковим (0,847) викликано тим, що процедуру перевodu в шістнадцятковий дріб було перервано.

З двійкової СЧ в шістнадцяткову.

1. Початковий дріб необхідно поділити на тетради, починаючи з десяткової крапки праворуч. Якщо кількість цифр дробової частини не кратне 4, то вона доповнюється праворуч незначущими нулями до досягнення кратності 4;
2. Кожна тетрада замінюється шістнадцятковою цифрою, у відповідності з табл. 8.1.

Приклад 10. Перевести з двійкової СЧ в шістнадцяткову число $0,0010101_2$.

Оскільки кількість цифр дрібної частини не кратне 4, то додамо праворуч незначущий нуль: $0,0010101_2 = 0,00101010_2$.

У відповідності з таблицею 1.1:

$$0010_2 = 10_2 = 2_{16} \text{ та } 1010_2 = A_{16}.$$

$$\text{Тоді маємо: } 0,0010101_2 = 0,2A_{16}.$$

З шістнадцяткової СЧ в двійкову.

1. Кожна цифра початкового дробу замінюється тетрадою двійкових цифр у відповідності з табл. 8.1;

2. Незначущі нулі відкидаються.

Приклад 11. Перевести з шістнадцяткової СЧ в двійкову число $0,2A_{16}$. Згідно таблиці маємо: $2_{16} = 0010_2$ та $A_{16} = 1010_2$.

Тоді $0,2A_{16} = 0,00101010_2$. Відкидаємо незначущий нуль та отримуємо кінцевий результат: $0,2A_{16} = 0,0010101_2$.

Правило перекладання дробових чисел

Окремо переводиться ціла частина числа, окремо – дрібна. Результати складають.

Приклад 12. Перевести з десяткової СЧ в шістнадцяткову числа 19,847.

Перевод виконувати до 3 значущих цифр після коми.

Представимо початкове число як суму цілого числа та правильного дробу:
 $19,847 = 19 + 0,847$.

З попереднього прикладу (1) $19_{10} = 13_{16}$, а у відповідності до прикладу (7) $0,847_{10} = 0,D8D_{16}$. Тоді маємо: $19_{10} + 0,847_{10} = 13_{16} + 0,D8D_{16} = 13,D8D_{16}$.

8.3.Завдання до лабораторної роботи

Згідно варіанту виконати наступні операції над числами:

1. Перевести число з десяткової СЧ в шістнадцяткову, згідно варіанту (таблиця 8.5).
2. Перевести число з шістнадцяткової СЧ в десяткову, згідно варіанту (таблиця 8.6).
3. Перевести число з двійкової СЧ в шістнадцяткову, згідно варіанту (таблиця 8.7).
4. Перевести число з шістнадцяткової СЧ в двійкову, згідно варіанту (таблиця 8.8).
5. Перевести правильний дріб з десяткової СЧ в двійкову та шістнадцяткову, згідно варіанту (таблиця 8.10.). Перевод виконувати до 4 значущих цифр після коми.
6. Перевести правильний дріб з двійкової СЧ в десяткову, згідно варіанту (таблиця 8.11.).
7. Перевести правильний дріб з шістнадцяткової СЧ в десяткову, згідно варіанту (таблиця 8.12).
8. Перевести правильний дріб з двійкової СЧ в шістнадцяткову, згідно варіанту (таблиця 8.10).
9. Перевести правильний дріб з шістнадцяткової СЧ в двійкову, згідно варіанту (таблиця 8.11).
10. Перевести дрібне число з десяткової СЧ в шістнадцяткову, згідно варіанту (таблиця 8.12). Перевод виконувати до 3 значущих цифр після коми.

Таблиця 8.5.

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Число	23	54	41	100	33	75	58	68	112	202

Таблиця 8.6.

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Число	15	22	33	61	42	77	82	40	25	34

Таблиця 8.7.

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Число	01110	110010	001100	01010	11001	0101101	110110	001011	11100	000111

Таблиця 8.8.

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Число	0,501	0,633	0,805	0,303	0,444	0,225	0,106	0,777	0,911	0,666

Таблиця 8.9.

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Число	0,110	0,0011	0,1010	0,1100	0,0101	0,1111	0,0111	0,1110	0,1000	0,1101

Таблиця 8.10.

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Число	23	54	41	100	33	75	58	68	112	202

Таблиця 8.11.

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Число	0.A7E	0.3DC	0.C8F	0.B3D	0.2EA	0.5DF	0.DF3	0.B8A	0.EC6	0.D7B

Таблиця 8.12.

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Число	20,404	33,02	150,843	100,115	44,201	22,444	18,041	51,002	22,761	31,052

Контрольні питання:

1. Що таке система числення?
2. Що називають основою системою числення (СЧ)?
3. Класифікація систем числення.
4. Пояснити різницю між двійковою, вісімковою та шістнадцятковою системами числення.

9.АРИФМЕТИЧНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ ЕЛЕМЕНТІВ І ВУЗЛІВ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ МАШИН І СИСТЕМ.

Ціль роботи - вивчити способи представлення чисел з фіксованою і плаваючою комою, форми представлення чисел в ЕОМ з фіксованою і плаваючою комою, основні арифметичні операції над числами в двійковій системі числення.

9.1.Основні відомості

Дана тема знайомить з арифметичними основами ЕОМ, тобто з тим, як представляються числа в машині і як виконуються арифметичні операції з кодами в двійковій системі числення. Подальший матеріал, а саме: побудова вузлів ЕОМ; арифметичних, запам'ятовуючих і управляючих пристроїв ЕОМ – заснований на матеріалі даної теми і не може бути зрозумілим при його недостатньому відпрацюванні. Всі питання теми повинні бути відпрацьовані не тільки теоретично. Особливо це торкається виконання арифметичних операцій в двійковій системі числення і з числами в нормальній формі.

Арифметичні дії над двійковими числами проводяться за тими ж правилами, що і над десятковими:

Таблиця 9.1. Арифметичні дії над двійковими числами

Складання	Віднімання	Множення
$0+0=0$	$0-0=0$	$0\times 0=0$
$0+1=1$	$0-1=0$	$0\times 1=0$
$1+0=1$	$1-1=0$	$1\times 0=0$
$1+1=10$	$10-1=1$	$1\times 1=1$

Приклади арифметичних дій над числами в десятковій і двійковій системах числення приведені таблиці 9.2.

У двійковій системі числення, так само як і в десятковій і двійковій, можуть бути записані дробові і змішані числа. Ціла і дробова частини в двійковій і в десятковій системах числення відділяються комою.

У десятковій системі числення в дробовій частині підсумовуються десятки, соті, тисячні і т.д. долі числа, а в двійковій – половинні, четвертні, восьмі, шістнадцяті і т.д.

Наприклад:

$$101,011 = 1\times 2^2 + 0\times 2^1 + 1\times 2^0 + 0\times 2^{-1} + 1\times 2^{-2} + 1\times 2^{-3}. \quad (9.1.)$$

Отже при використуванні двійкової системи числення для представлення в ЕОМ одного розряду числа необхідно мати фізичний елемент з двома стійкими станами. Один стан відповідає нулю, а інший – одиниці. Для того, щоб представити в ЕОМ число, необхідно мати ряд двійкових елементів, для кожного розряду свій елемент.

Сукупність двійкових елементів, необхідних для представлення одного числа, утворює розрядну сітку машини. Залежно від того, як використовується розрядна сітка, розрізняють два способи представлення чисел: в природній і в нормальній формі.

Таблиця 9.2. Арифметичні дії над числами в двійковій і десятковій системах
числення

Система	Складання	Віднімання	Множення	Ділення	
Десяткова	8	8	8	8	4
	+4	-4	$\times 4$	-8	2
	12	4	32	0	
Двійкова	1000	1000	1000	1000	100
	+100	-100	$\times 100$	-1000	10
	1100		0000		
			0000		
			+ 1000		
			100000		
	1100	100	0000		
			0000		
			+1000		
			100000		

При природній формі представлення чисел в розрядній сітці машини відводиться певна кількість розрядів для цілої частини, для дробової частини і один розряд (іноді два) для знака числа. Звичайно кому розташовують після знакового розряду, і отже, всі числа представляються правильними дробами.

Схематичне зображення розрядної сітки з комою, фіксованою після знакового розряду, і представлення чисел:

+0.10010111 і -0.01011001 (б) приведено в таблиці 9.3. і 9.4.

а) зн. Числова частина (дріб)

Таблиця 9.3. Схематичне зображення розрядної сітки з комою, фіксованою після знакового розряду, і представлення чисел +0.10010111

0	1	0	0	1	0	1	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---

б) зн. Числова частина (дріб)

Таблиця 9.4. Схематичне зображення розрядної сітки з комою, фіксованою після знакового розряду, і представлення чисел -0.01011001

1	0	1	0	1	1	0	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Діапазон чисел, які можна представити в машині при природній формі, визначається виразом:

$$2^{-2} \leq N \leq 1 - 2^{-n} \quad (9.2.)$$

де n – кількість розрядів числової частини.

Обмежене число розрядів розрядної сітки приводить до погрішності в представленні чисел.

Для найбільшого можливого числа $N_{\max}$ відносна похибка:

$$\delta_{\max_1} = \frac{\Delta_{\max}}{N_{\max}} = \frac{0.5 \cdot 2^{-n}}{1 - 2^{-n}} \cong 0.5 \cdot 2^{-n} \quad (9.3.)$$

Для якнайменшого уявного числа відносна похибка:

$$\delta_{\max_2} = \frac{0.5 \cdot 2^{-n}}{2^{-n}} = 0.5 \quad (2.4.)$$

В нормальній формі число представляється у вигляді:

$$N = M \times 10^P \quad (9.5.)$$

де М- мантиса. 10 - основа системи числення, записане в цій системі
р - порядок.

$$0,110101 \times 10^{+100} \text{ (a)}$$

$$0,101100 \times 10^{-10} \text{ (б)}$$

В розрядній сітці машини відводять розряди для мантиси, порядку, знака числа і знака порядку, схематичне зображення розрядної сітки і представлення двійкових чисел приведено на рисунку 9.1.



Рисунок 9.1. Представлення чисел з плаваючою комою.

Діапазон чисел, які можна представити в машині при нормальній формі, визначається виразом:

$$2^{-2^p} \leq N \leq (1 - 2^{-m}) \times 2^{(2^p-1)} \quad (9.6.)$$

де Р – кількість розрядів порядку; М – кількість розрядів мантиси.

Виконання арифметичних операцій з цілими числами в нормальній формі має певні особливості.

При складанні і відніманні необхідно провести вирівнювання, яке полягає в тому, що меншому числу привласнюється порядок більшого числа. Після цього проводиться дія з мантисою, а потім нормалізація результатів. В результаті повинна бути отриманий мантиса у вигляді правильного дробу із значущим старшим розрядом. При множенні і розподілі проводиться окремо дія з мантисами і окремо з порядками, а потім нормалізується результат.

Для представлення двійкових чисел в ЕОМ застосовують пряму, зворотну і додаткову коди. У всіх цих кодах передбачається додатковий розряд для представлення знака числа, причому знак (+) кодується цифрою 0, а знак (-) - цифрою 1. При допомозі цих кодів операція віднімання або складання алгебри зводиться до арифметичного складання. В результаті спрощуються арифметичні пристрої ЕОМ.

Позитивні числа в прямому, зворотному і додаткових кодах мають один і той же вигляд, негативні - різний.

Щоб представити двійкове негативне число в зворотному коді, треба поставити в знаковий розряд одиницю, а в усіх інших розрядах замінити одиниці нулями, а нулі – одиницями.

Наприклад, число:

$$(-3,5)_{10} - (-11,1)_2$$

Представлене в зворотному коді, має вигляд: $(100.0)_{\text{обр}}$, де перша одиниця в знаковому розряді указує на те, що число негативне.

При записі числа в додатковому коді ставлять одиницю в розряд знака, а цифрову частину числа замінюють доповненням модуля числа до цілої одиниці.

Наприклад, число $(-0.01)_2$ в додатковому коді матиме вид $(1.11)_{\text{доп}}$. Тут перша одиниця указує на те, що число негативне.

При складанні алгебри двох цілих чисел з використанням зворотного коду позитивні доданки представляються в прямому коді, а негативні в зворотному, проводиться арифметичне підсумовування цих кодів, включаючи розряди

знаків. При виникненні перенесення з розряду знака одиниця перенесення додається до молодшого розряду суми кодів (таке перенесення називають круговим або циклічним). В результаті виходить сума алгебри в прямому коді, якщо ця сума позитивна, і в зворотному коді, якщо вона негативна.

Додавання двійкових чисел

Операцію додавання починають з обробки найменших значень цифр в останній позицій праворуч. Якщо результат додавання найменших значущих цифр двох доданків не вміщається у відповідному розряді результату, то відбувається перенесення. Цифра, яку переносять в сусідній зліва розряд, додається до вмісту останнього. Перенесення виникає, якщо результат додавання цифр однойменних розрядів більше 1.

Приклад 1. Додати наступні числа $01100011 + 01011111$.

	1 1 1 1 1 1 1	- перенесення
	0 1 1 0 0 0 1 1	- доданок 1
+	0 1 0 1 1 1 1 1	- доданок 2
	<u>0 1 0 1 1 1 1 1</u>	
	1 1 0 0 0 0 1 0	- сума

Віднімання двійкових чисел

Якщо вміст розряду зменшуваного менше вмісту однойменного розряду від'ємника, то має місце позика. Це відбувається в тому випадку, коли від 0 віднімають 1.

Приклад 2. Від числа 01101101 відняти число 00110001.

$$\begin{array}{r}
 11 \\
 01101101 \\
 - \\
 \hline
 00110001 \\
 00111100
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \text{- позика} \\
 \text{- зменшуване} \\
 \text{- від'ємник} \\
 \text{- різниця}
 \end{array}$$

Множення двійкових чисел

При множенні одного числа на інше одне число називається множене, а інше – множитком. Множення виконують порозрядно. Часто виникає необхідність перенесення в наступний розряд. По завершенню множення множеного на значення молодшого розряду множника отримують перший частковий добуток. В результаті множення множеного на значення наступного розряду множника формується другий частковий добуток. Для отримання остаточного добутку, зміщені відносно один одного часткові добутки додають з урахуванням перенесення.

Приклад 3. Помножити наступні числа $11101 * 011$.

$$\begin{array}{r}
 11101 \\
 * \\
 \hline
 011 \\
 11101 \\
 + \\
 11101 \\
 + \\
 00000 \\
 \hline
 1010111
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \text{- множене} \\
 \text{- множник} \\
 \text{- перший частковий добуток} \\
 \text{- другий частковий добуток} \\
 \text{- третій частковий добуток} \\
 \text{- остаточний добуток}
 \end{array}$$

Даний спосіб множення двійкових чисел має назву множення шляхом зсуву та додавання. Основні правила цього способу:

1. Формування першого часткового добутку. Якщо значення молодшого розряду множника дорівнює 0, то і результат дорівнює 0, якщо значення цього розряду дорівнює 1, то результат є копією множеного.

2. Правило зсуву. При використанні чергового розряду множника для формування часткового добутку виконують зсув множеного на один розряд ліворуч.

3. Правило додавання. Кожний раз, коли значення розряду множника дорівнює 1, до результату необхідно додати множене, яке розташоване в позиції, що визначена правилом зсуву.

4. Визначення остаточного добутку. Він є результатом виконання всіх операцій зсуву та додавання.

9.2. Завдання до лабораторної роботи

Виконати основні арифметичні операції (додавання, віднімання та множення) згідно варіанту.

Таблиця 9.5. Варіанти завдань

варіант	додавання		віднімання		множення	
	Доданок 1	Доданок 2	зменшуване	Від'ємник	множник	множене
1	001101	101111	101111	101111	000101	001101
2	110011	110111	110111	011001	001111	010110
3	010110	100111	100111	101111	110011	101110
4	000101	011001	011001	110111	010110	100111
5	101110	001101	001111	010110	110111	101111
6	001111	110011	101110	000101	001101	110111

Таблиця 9.6. Варіанти завдань

варіант	додавання		віднімання		множення	
	Доданок 1	Доданок 2	зменшуване	Від’ємник	множник	множене
7	011001	010110	000101	001101	101111	011001
8	100111	000101	010110	110011	011001	001111
9	110111	101110	110011	001111	100111	000101
10	101111	001111	001101	101110	101110	110011

Контрольні питання

1. Які числа називаються числами з фіксованою комою? З плаваючою комою?
2. Призначення прямого, оберненого та додаткового кодів.
3. Особливості подання до комп’ютера від’ємних чисел.

10. ПОБУДОВА ЛІЧИЛЬНИКІВ І ВИВЧЕННЯ ЇХ РОБОТИ

Ціль роботи: вивчити принципи роботи різнотипних лічильників за допомогою навчальної прикладної програми Electronics Workbench.

10.1. Основні відомості

Лічильником називається вузол комп’ютера, призначений для підрахування вхідних сигналів. Лічильники можуть бути побудовані на основі рахункових тригерів зі спеціальними міжрозрядними зв’язками, на основі регістрів, що зсувають (кільцеві лічильники) і на основі багато стійких елементів.

Кількість дозволених станів лічильників називають його періодом, модулем або коефіцієнтом перерахування K .

Основними часовими характеристиками лічильників є:

f – максимальна частота надходження рахункових сигналів;

t – час переходу лічильника з одного стану в інший.

По характеру операцій лічильники можна розділити на підсумовуючі, що віднімають та реверсивні.

За способом організації ланцюгів переносу між розрядами лічильники підрозділяють на такі типи з: послідовним, паралельним, наскрізним, груповим переносом.

У лічильниках з послідовним переносом перенос (позиція) у сусідній старший розряд формується тільки після переключення тригера в попередньому розряді, тобто тригери переключаються не одночасно. При проектуванні таких лічильників виникають труднощі, пов'язані з необхідністю аналізу не тільки логічного рівня сигналів, що формуються в схемі, але і моментів зміни рівнів сигналів.

Ланцюги наскрізного переносу організовуються таким чином, щоб функція переносу i -го розряду лічильника була аргументом функції переносу $(i + 1)$ -го розряду. В цьому випадку сигнали переносів для кожного розряду формуються по черзі, починаючи з молодших розрядів лічильника. Такі лічильники вимагають меншого числа входів логічних елементів для організації ланцюгів переносу, але уступають лічильникам з паралельним переносом у швидкодії.

В лічильниках з паралельним переносом аргументами функцій переносів для кожного розряду є тільки сигнали на виходах тригерів відповідних розрядів. Переноси для всіх розрядів лічильника формуються одночасно (за умови, що всі логічні елементи в схемі мають однаковий час переключення).

У зв'язку з обмеженнями на побудову лічильників з паралельним переносом великої розрядності широке розповсюдження отримали лічильники з груповим переносом (послідовно-паралельним переносом). Розряди таких лічильників розбиваються на групи, усередині яких організується принцип паралельного переносу. Групи з'єднують послідовно з використанням кон'юкторів, які формують перенос в наступну групу при одиничному стані всіх попередніх тригерів. При одиничному стані всіх тригерів групи надходження наступного вхідного сигналу

створить перенос з цієї групи. Ця ситуація підготовляє кон'юктор до прямого пропускання вхідного сигналу на наступну групу.

Несинхронізований чотирьохрозрядний підсумовуючий лічильник з послідовним переносом

На рисунку 3.1 наведено схему несинхронізованого чотирьохрозрядного підсумовуючого лічильника з послідовним переносом.

На входи J і K JK-тригерів подаються сигнали «1». Вихід кожного попереднього тригера під'єднаний до входу синхронізації наступного. Із спадом одиничного вхідного сигналу змінюється стан тригера першого розряду лічильника на протилежний. В подальших розрядах стан змінюється із спадом вихідного сигналу попереднього тригера.

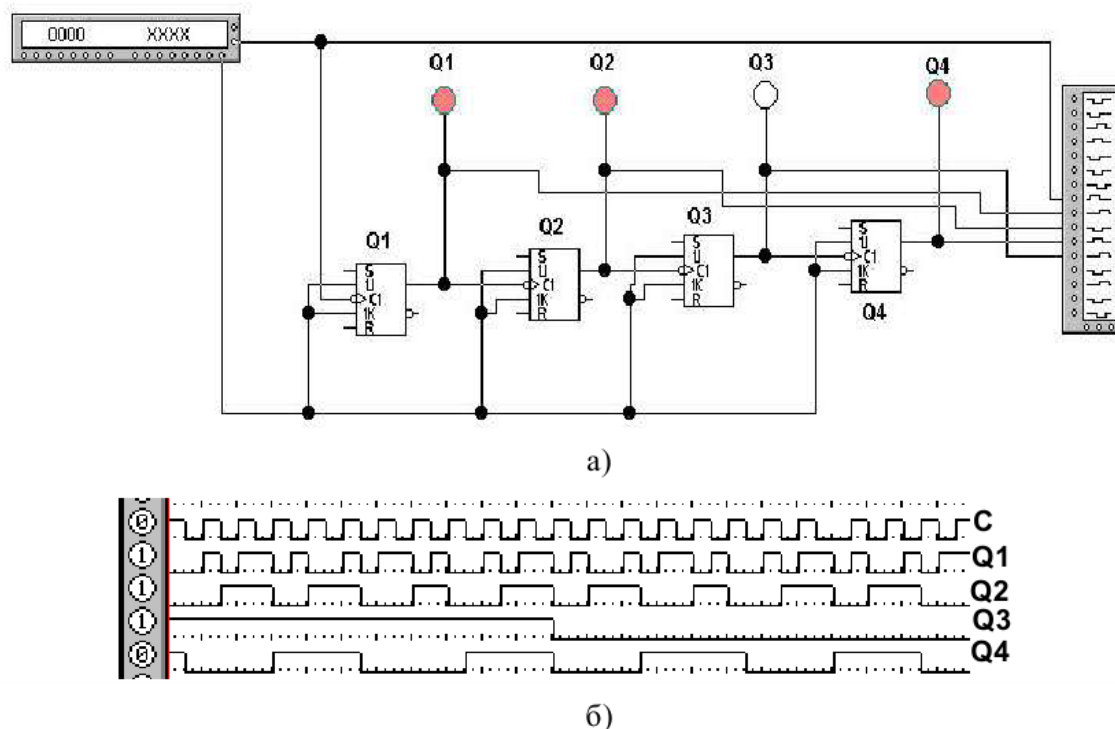
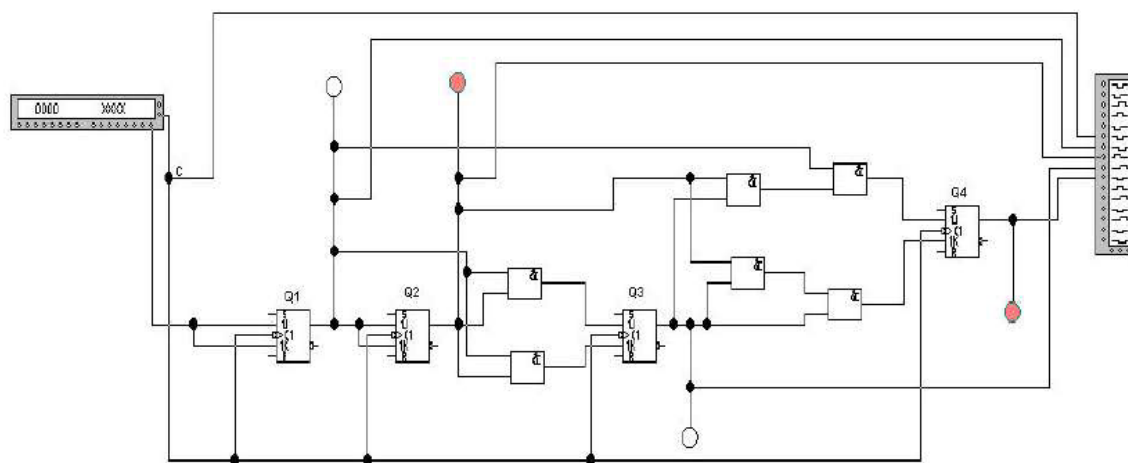


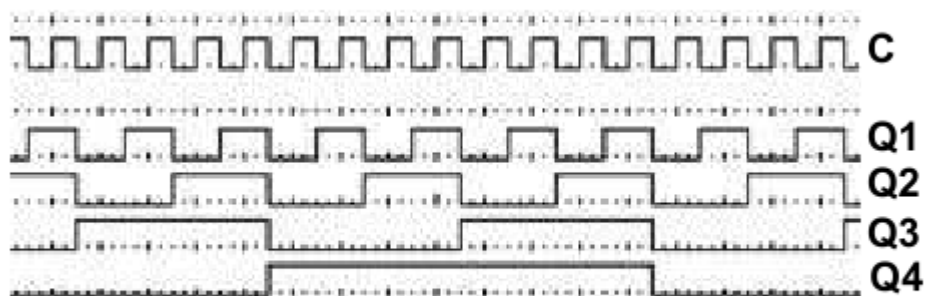
Рисунок 10.1. Несинхронізований чотирьохрозрядний підсумовуючий лічильник з послідовним переносом (а) та часові діаграми його роботи (б)

Несинхронізований чотирьохрозрядний підсумовуючий лічильник з паралельним переносом

На рисунку 10.2 наведено схему несинхронізованого чотирьохрозрядного підсумовуючого лічильника з паралельним переносом.



а)



б)

Рисунок 10.2. Несинхронізований чотирьохрозрядний підсумовуючий лічильник з паралельним переносом (а) та часові діаграми його роботи (б)

Особливістю цієї схеми є те, що з виходів Q всіх попередніх тригерів сигнали подаються на входи J і K наступного тригера. Зі збільшенням порядкового номера тригера збільшується кількість входів в елементах «І» JK-тригера, але тривалість перехідного процесу в такому лічильнику дорівнює тривалості перемикання одного розряду.

Для зменшення розмірів схеми на екрані вся вона або її частина можуть бути згорнуті у підсистему («мікросхему») і позначатись в подальшому одним елементом. Для виконання цієї дії необхідно скористатись підпунктом Create Subcircuit пункту меню Circuit. У віконці, що відкриється необхідно задати назву новостворюваного елемента і обрати кнопку Replace in Circuit.

10.2. Порядок виконання роботи:

1. Вивчити теоретичні відомості.
2. В процесі виконання роботи необхідно побудувати схеми лічильників з послідовним і паралельним переносом.

Для побудови і дослідження схем:

- 1) Перетягніть мишкою елементи схеми з бібліотек компонентів.
 - 2) Розмістіть їх в робочому просторі екрану.
 - 3) З'єднайте елементи схеми провідниками.
 - 4) Перетягніть мишею контрольно-вимірювальні прилади: генератор слів та логічний аналізатор з бункера приладів та приєднайте їх до схеми.
 - 5) Задайте таблицю вхідних сигналів на генераторі слів. Вмикайте подачу вхідного сигналу за допомогою органів керування генератора слів або вимикача розташованого в правому верхньому кутку екрана.
3. Після складання кожну схему підключити до приладів: генератора слів і логічного аналізатора.
 4. На синхронізуючі входи лічильників рекомендується подавати синхроімпульси з виходу генератора слів, розташованого в його правому нижньому куті. На входи логічного аналізатора необхідно подавати не тільки вихідні сигнали досліджуваної схеми, але й вихідні сигнали генератора слів.
 5. Використовуючи наявні засоби налагодити, роботу схеми одержати осцилограми роботи досліджуваних схем.

6. Приступати до складання чергової схеми тільки після перевірки викладачем правильності роботи попередньої схеми.

Контрольні питання

1. Поясніть, для чого призначені, які бувають і на чому можуть бути побудовані лічильники імпульсів?

2. Наведіть схему, умовне позначення і поясніть роботу несинхронізованого чотирьохрозрядного підсумовуючого лічильника з послідовним переносом.

3. Наведіть схему, умовне позначення і поясніть роботу несинхронізованого чотирьохрозрядного підсумовуючого лічильника з паралельним переносом

11. ПОБУДОВА РЕГІСТРІВ, ДЕШИФРАТОРІВ І ВИВЧЕННЯ ЇХ РОБОТИ

Ціль роботи - вивчити принципи роботи регістру зсуву та дешифратора за допомогою навчальної прикладної програми Electronics Workbench.

11.1. Основні відомості

Регістром називається пристрій, призначений для запам'ятовування слова, а також для виконання над словом певних логічних перетворень.

Мікрооперація – це елементарна машинна дія, в результаті якої змінюються значення слова чи здійснюється його пересилання.

Розрізняють синхронні й асинхронні регістри. У синхронних регістрах операції виконують по тактуючому сигналу T . Налаштування регістра на відповідну мікрооперацію здійснюється попередньою установкою на керуючих входах коду мікрооперації. Число розрядів у коді визначається зі співвідношення $T \geq |\log_2 k|$, де k – кількість мікрооперацій.

В асинхронних регістрах тактуючий вхід T відсутній. Кожна i -та мікрооперація виконується під дією власного керуючого сигналу. Кількість таких сигналів дорівнює числу мікрооперацій k , тобто, в загальному випадку, більше, ніж розрядів у коді мікрооперації синхронного регістра.

При виконанні мікрооперацій у кожному розряді регістра здійснюється однакове перетворення інформації.

Характер мікрооперації можна описати через стани сигналів у момент часу, що передує виконанню мікрооперації, і в момент завершення мікрооперації.

Найбільш часто на регістрах виконують операції занесення (прийому, запису) слова паралельним кодом, зсуву слова, а також установки вхідного (як правило, нульового) стану.

Для побудови регістрів в залежності від виконуваних мікрооперацій можуть бути використані тригери, різні по функціональній ознаці (наприклад, RS-, JK-, T-, D-типу) і по організації (синхронні й асинхронні, із внутрішньою затримкою і без внутрішньої затримки).

Зазвичай в регістрах всі розряди виконуються однаково. Розряд синхронного регістра (без обліку ланцюгів видачі інформації) може бути побудований як на синхронному, так і на асинхронному тригері.

Асинхронні регістри також можуть бути реалізовані з використанням і синхронних і асинхронних тригерів. Синхронні тригери найбільш зручні, коли на регістрі виконується одна мікрооперація (наприклад, мікрооперація зсуву).

На рисунку 11.1 зображено схему регістра зсуву на однотактних RS-тригерах. Операція зсуву коду - це переміщення в регістрі всіх розрядів коду слова на однакову кількість позицій, На вхід подається парафазний послідовний

код. Розряди слова, що вийшли з розрядної сітки губляться.

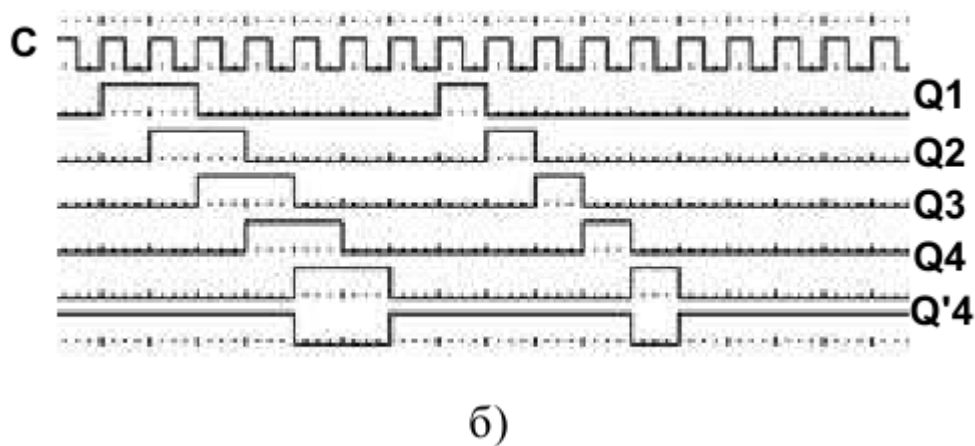
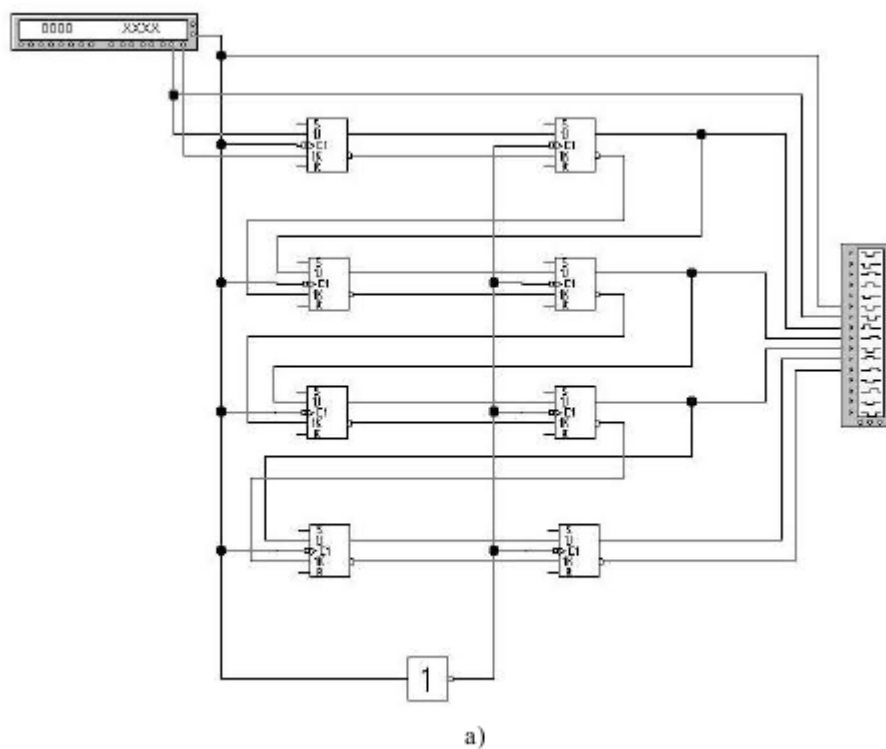


Рисунок 11.1. Регістр зсуву на однотактних RS-тригерах (а) та часові діаграми його роботи (б)

Дешифратором називається комбінаційна схема, з кількома входами і виходами, яка перетворює код, що подається на входи в сигнал на одному з виходів. Тобто, на одному з виходів дешифратора з'являється «0», а на інших виходах - «1». В загальному випадку дешифратор з n входами має « $2n$ » виходів.

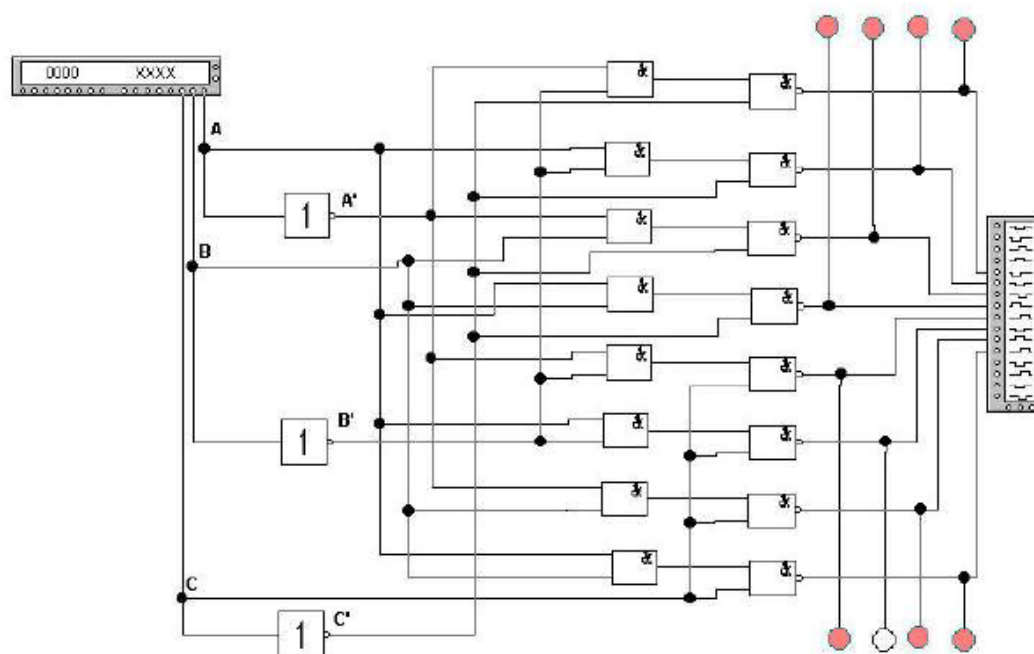
Крім інформаційних входів дешифратори зазвичай мають додаткові входи керування. Сигнали на цих входах, наприклад, дозволяють функціонування дешифратора або переводять його в пасивний стан, при якому, незалежно від сигналів на інформаційних входах, на всіх виходах встановиться рівень логічної «1».

Тобто, можна сказати, що існує деяка функція дозволу, значення якої визначається станами керуючих входів. У дешифраторів з декількома входами керування функція дозволу, як правило, представляють собою логічний добуток всіх дозволяючих сигналів керування.

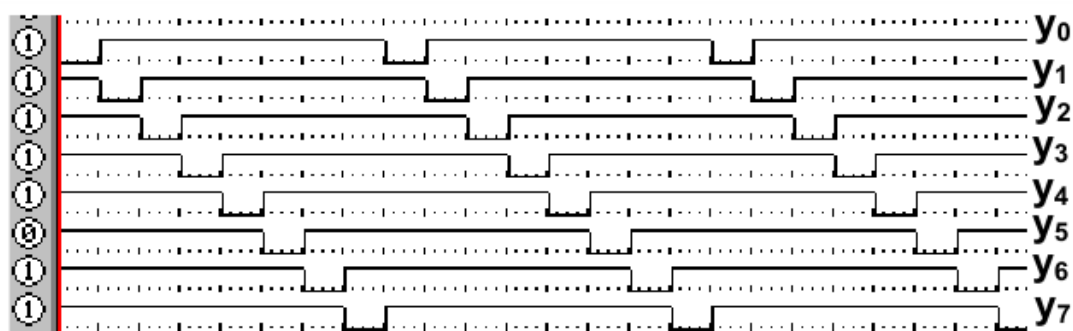
Зазвичай входи керування використовуються для збільшення розрядності дешифраторів або при паралельній роботі декількох схем на загальні вихідні лінії.

На рисунках 11.2 та 11.3 наведено спосіб побудови дешифратора для трьохрозрядного вхідного слова та показано дешифратор адреси.

Для зменшення розмірів схеми на екрані вся вона або її частина можуть бути згорнуті у підсистему («мікросхему») і позначатись в подальшому одним елементом. Для виконання цієї дії необхідно скористатись підпунктом Create Subcircuit пункту меню Circuit. У віконці, що відкриється необхідно задати назву новостворюваного елемента і обрати кнопку Replace in Circuit.



a)



б)

Рисунок 11.2. Дешифратор для трьохрозрядного вхідного слова (а) та часові діаграми його роботи при подачі на вхід послідовності двійкових чисел у порядку

зростання (б)

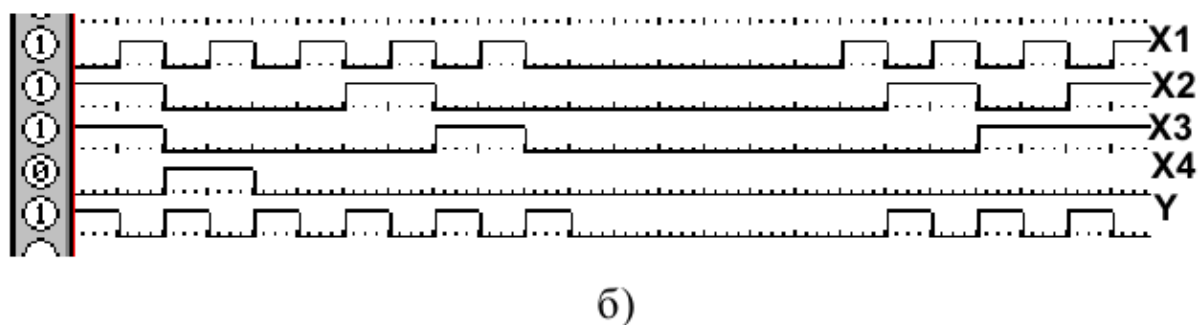
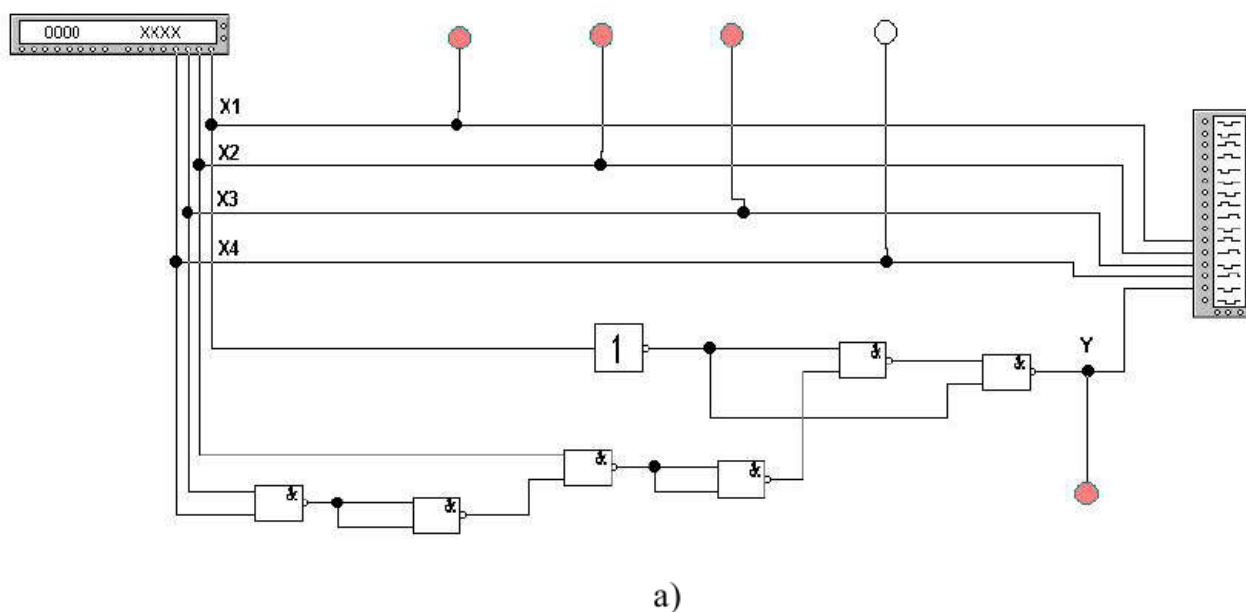


Рисунок 11.3. Дешифратор адреси (а) та часові діаграми його роботи (б)

11.2. Порядок виконання роботи:

1. Вивчити теоретичні відомості.
2. В процесі виконання роботи необхідно побудувати схеми регістру зсуву на RS-тригерах та дешифратори.

Для побудови і дослідження схем:

- 1) Перетягніть мишкою елементи схеми з бібліотек компонентів.
- 2) Розмістіть їх в робочому просторі екрану.

3) З'єднайте елементи схеми провідниками.

4) Перетягніть мишею контрольно-вимірювальні прилади: генератор слів та логічний аналізатор з бункера приладів та приєднайте їх до схеми.

5) Задайте таблицю вхідних сигналів на генераторі слів. Вмикайте подачу вхідного сигналу за допомогою органів керування генератора слів або вимикача розташованого в правому верхньому кутку екрана.

3. Після складання кожену схему підключити до приладів: генератора слів і логічного аналізатора.

4. При дослідженні регістру зсуву на однотактних RS-тригерах на входи першого тригера з генератора слів мають подаватись взаємно протилежні сигнали.

5. Використовуючи наявні засоби налагодити, роботу схеми одержати осцилограми роботи досліджуваних схем.

6. Приступати до складання чергової схеми тільки після перевірки викладачем правильності роботи попередньої схеми.

7. Скласти звіт з лабораторної роботи.

Контрольні питання

1. Що таке регістр та його призначення.

2. Як працює лічильник імпульсів? Типи лічильників.

3. Яким чином вводиться в регістр задане число паралельним чи послідовним кодом.

4. Що таке дешифратор та шифратор. Призначення. Принцип роботи

12. ЕЛЕМЕНТИ ЦИФРОВИХ І МІКРОПРОЦЕСОРНИХ ПРИСТРОЇВ

Ціль роботи: вивчення роботи семисегментних індикаторів, шифраторів, дешифраторів, а також їх застосування у цифрових та мікропроцесорних пристроях.

12.1. Основні відомості

Будь-яка мікропроцесорна система реалізує п'ять основних етапів перетворення інформації: введення вихідної інформації, обробка (виконання логічних, арифметичних та інших операцій), управління процесом обробки, зберігання та виведення результатів.

У найпростішій цифровій системі, представлений на рисунку 12.1., функцію введення інформації виконує кнопкова клавіатура, з допомогою якої здійснюється введення чисельної чи символічної інформації (цифр, літер та інших символів).

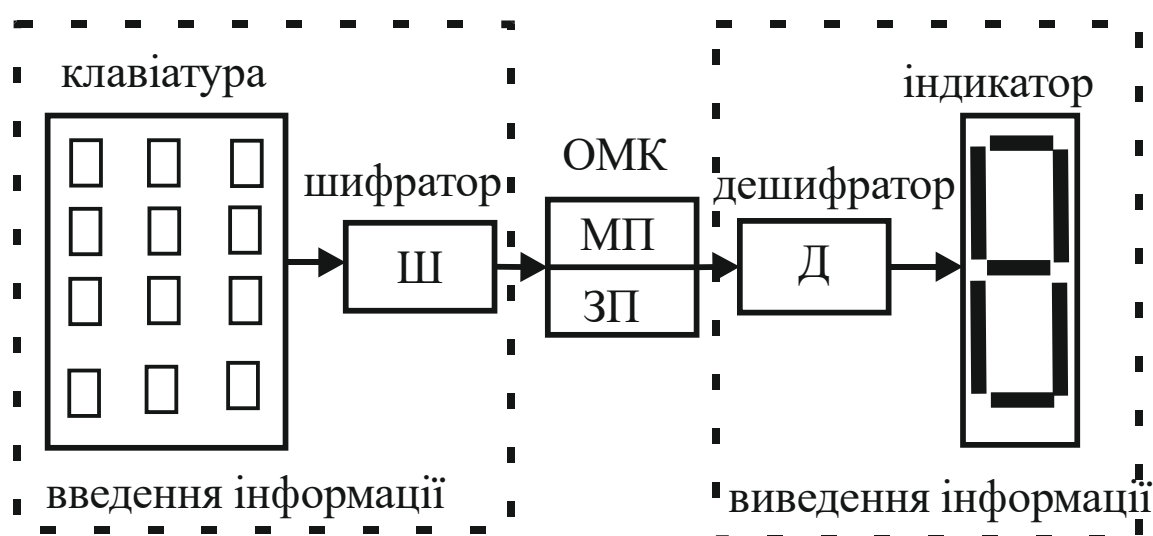


Рисунок 12.1. Найпростіша цифрова система

Для формування двійкового коду, що вводиться в однокристальний мікрокомп'ютер (ОМК) при натисканні відповідної клавіші на клавіатурі, застосовується цифровий пристрій, який називається шифратором (Ш). Обробка та управління процесом обробки інформації здійснюється мікропроцесором (МП), що входить до складу мікрокомп'ютера. Зберігання вихідних даних, проміжних і

кінцевих результатів, а також програм, за якими відбувається обробка інформації, здійснюється пристроєм, що запам'ятовує (ЗП), що входить також до складу мікрокомп'ютера. Виведення інформації здійснюється на семисегментний світлодіодний індикатор.

Відображення відповідного символу (цифри або літери) на семисегментному індикаторі здійснюється при подачі на його входи семирозрядного керуючого двійкового коду, який формується цифровим пристроєм, що називається дешифратором (Д). Дешифратор виконує перетворення двійкової інформації на виході мікрокомп'ютера у спеціальний двійковий код семисегментного індикатора, що відповідає символу, що відображається.

Семисегментний індикатор – це світлодіодна матриця, що складається з семи світлодіодів із загальним анодом або катодом в одному корпусі. На рисунку 12.2. показаний зовнішній вигляд та схеми підключення світлодіодного індикатора АЛС320. Різні комбінації сегментів, що світяться, що забезпечуються зовнішньою комутацією, дозволяють відтворити цифри від 0 до 9 і деякі символи. У 8-сегментних індикаторах (АЛС321) восьмий сегмент відображає десяткову точку.

Шифратор (кодер) – це комбінаційний логічний пристрій, що виробляє на виходах паралельний двійковий код під час подачі сигналу тільки один який-небудь його вхід. Такий кодуєчий пристрій застосовується для перетворення символів певного коду в n -розрядний двійковий код. Число інформаційних входів шифратора дорівнює числу символів, що перетворюються (клавіші клавіатури) і задовольняє умові

$$N_{\text{вх}} = 2n, \quad (12.1.)$$

де n - число інформаційних виходів. Розрядність шифратора відповідає розрядності вихідного двійкового коду. 4-розрядний шифратор дозволяє отримати шістнадцять ($2^4=16$) варіантів вихідного двійкового коду, достатніх для перетворення шістнадцяткових цифр від 0 до F.

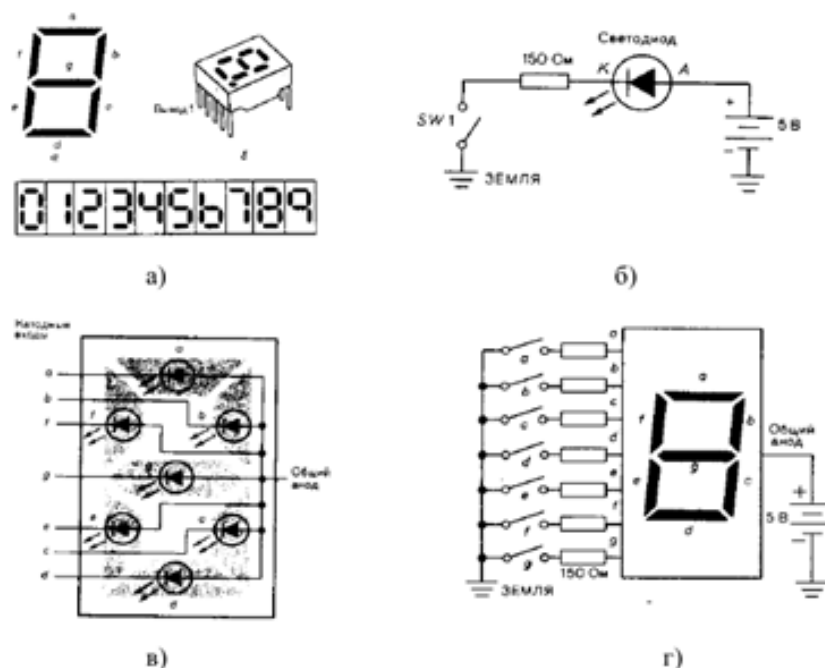


Рисунок 12.2. Зовнішній вигляд та схеми підключення світлодіодного індикатора АЛС320

Дешифратор (декодер) – це комбінаційний логічний пристрій, який з появою на входах паралельного двійкового коду виробляє вихідний сигнал одному з виходів. Як правило, номер виходу, на якому з'являється вихідний сигнал, відповідає певному двійковому вхідному коду. Такий декодуючий пристрій застосовується для розпізнавання вхідних двійкових кодів і перетворення двійкового коду інші види кодів, наприклад, семисегментний код для управління семисегментними індикаторами. Число входів дешифратора дорівнює кількості розрядів вхідного двійкового коду, а число виходів визначається виразом

$$N_{\text{вих}} = 2^n, \quad (12.2.)$$

де n – число інформаційних входів.

Повний двійковий дешифратор має 2^n виходи. Розрядність дешифратора визначається розрядністю вхідного коду. Так повний 4-розрядний дешифратор має чотири входи та шістнадцять виходів.

У цій роботі розглядається підключення семисегментних індикаторів та управління процесами введення та відображення інформації. Дослідження роботи конкретних схем виконується на комп'ютері з використанням моделюючої програми Electronics Workbench (EWB).

12.2. Порядок виконання роботи:

1). Спочатку треба вивчити роботу світлодіодного індикатора, дешифратора-формування семисегментного коду та шифратора. Для цього визначте двійковий та семисегментний коди. Результати запишіть до відповідних граф таблиці 12.1.

Таблиця 12.1. Двійковий та семисегментний коди

варіант завдання	1	2	3	4	5	6	7	8	9
семисегментний код									
двійковий код									

2). Схема включення семисегментного індикатора. Після завантаження файлу Indicator.EWB на екрані монітора в робочій області програми EWB з'являться схеми підключення семисегментного індикатора до генератора двійкового коду (Word Generator) та джерела постійної напруги +5 В (рисунок 12.3).

У схемі на рисунку 12.3,а генератор двійкового коду виробляє на виходах X7, ..., X1 двійковий код, що збільшується на 1 при кожному натисканні покажчиком «миші» кнопки «Step», і подається на входи індикатора. У покроковому режимі можна подати на індикатор $2^7=128$ семирозрядних двійкових кодів (від 0000000_2 до 1111111_2) і побачити відповідну інформацію, що відображається ним.

4). За допомогою ключів X1 ... X7 подайте на індикатор двійкові коди з таблиці 12.2. і переконайтеся у правильності відображення інформації та виконання попереднього завдання.

5). Схема включення індикатора із дешифратором-формувавцем семисегментного коду (файл Decoder.EWB).

Після завантаження файлу Decoder.EWB на екрані монітора в робочій області програми EWB з'явиться схема підключення індикатора до дешифратора-формувача, що перетворює двійковий код семисегментний код індикатора для відображення десяткових цифр (рисунок 12.4).

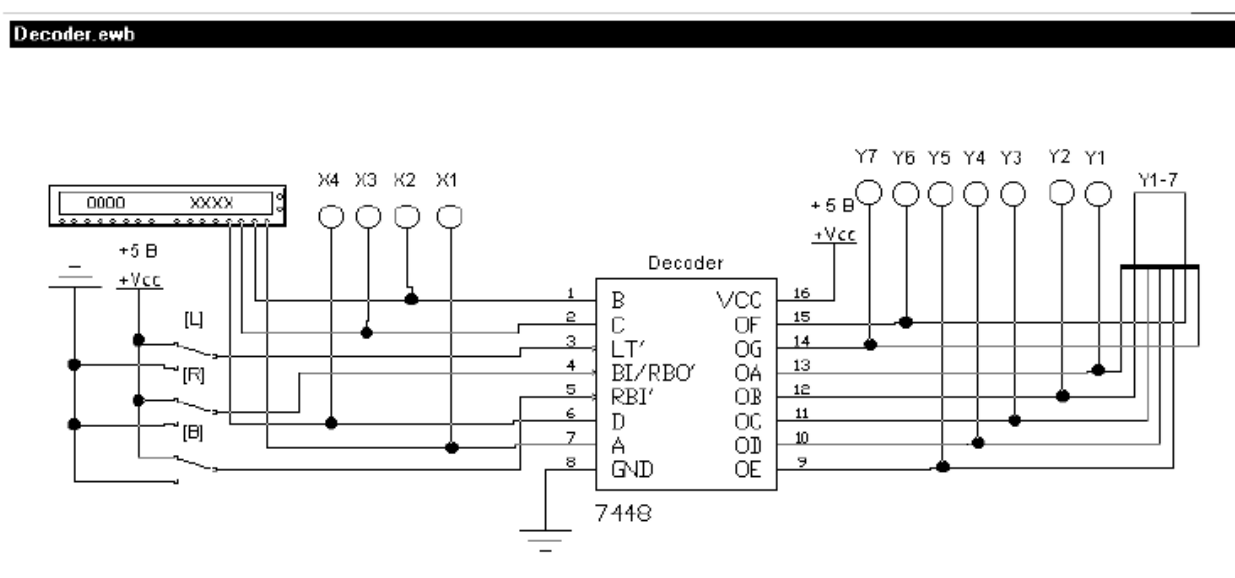


Рисунок 12.4. Схема підключення індикатора до дешифратора-формувача

На рисунку 12.4. наведено схему для дослідження спільної роботи генератора двійкового коду, мікросхеми дешифратора 7448 і семисегментного індикатора.

Мікросхема К155ИД1 є аналогом мікросхеми 7447А, умовне позначення якої показано на рисунку 12.5,а. Мікросхеми К155ИД1 і 7447А мають інверсні входи та виходи на відміну від мікросхеми 7448. Двійковий код подається на інформаційні входи А, В, С, D. Вхід LT використовується для активізації всіх виходів дешифратора – при подачі на нього низької напруги на індикаторі незалежно від коду на інформаційних входах. Входи RBI та BI/RBO – входи «гасіння» –

використовуються для гасіння індикатора при подачі на них низької напруги.

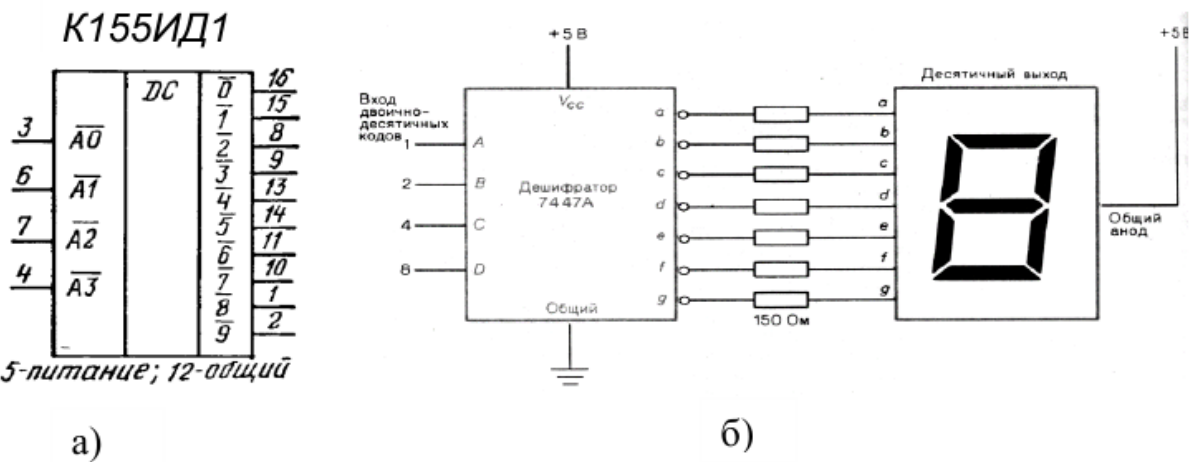


Рисунок 12.5. Умовне позначення мікросхеми K155ИД1

6). У покроковому режимі, подаючи двійкові коди на входи дешифратора, заповніть таблицю станів (таблицю 12.3.) мікросхеми 7448.

Зверніть увагу на зображення цифр "шість" та "дев'ять", а також на специфічні символи для деяких вхідних кодів, яким відповідають неповні цифрові зображення на індикаторі.

Таблиця 12.3. Таблиця станів мікросхеми 7448

N ₁₀	Входи (двійковий код)				Виходи (семісегментний код)							Зображення на індикаторі
	X4	X3	X2	X1	Y7	Y6	Y5	Y4	Y3	Y2	Y1	
0	0	0	0	0								
....												
15	1	1	1	1								

7). У циклічному режимі генератора вхідних кодів перевірте роботу дешифратора при подачі по черзі на його керуючі входи (LT, RBI і BI/RBO) низької напруги.

8). Перевірте результат попереднього завдання.

9). Схема відображення інформації, що вводиться із цифрової клавіатури (файл Coder.EWB).

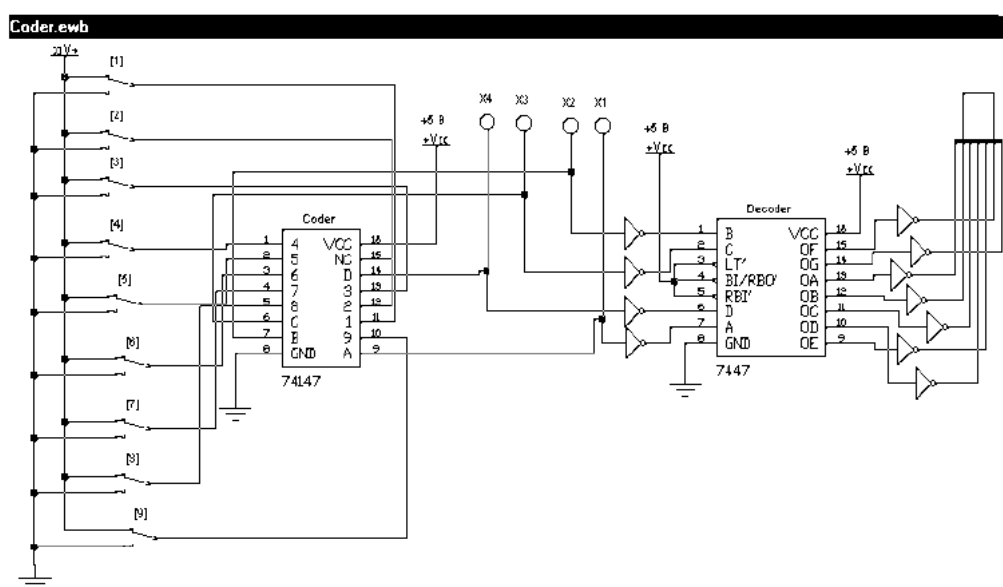


Рисунок 12.6. Схема відображення інформації, що вводиться із цифрової клавіатури

Після завантаження файлу Coder.EWB на екрані монітора в робочій області програми EWB з'явиться схема включення цифрової клавіатури (ключі 1 ... 9), шифратора (мікросхема 74147), дешифратора-формуваця (мікросхема 7447) та семисегментного.

Мікросхема 74147 – пріоритетний шифратор має дев'ять входів 1...9 і формує вихідний двійковий код на чотирьох виходах A, B, C, D. Входи та виходи - інверсні (активний сигнал – низький рівень напруги). Адресні входи – пріоритетні, вищий пріоритет – біля входу 9 .

Пріоритет входів виявляється в тому, що при подачі активного сигналу на кілька входів активізується (відгукується) вхід з великим пріоритетом. Нуль

кодується на виході, коли всі дев'ять входів подано напруга високого рівня, тому нульового входу немає. Аналогом мікросхеми 74147 є мікросхема K155IB3, умовне позначення якої показано на рисунку 12.7.

При натисканні будь-якої клавіші цифрової клавіатури комп'ютера відбувається замикання ключа з відповідним номером (1 ... 9) на шину «земля» (низький рівень напруги), і на один із входів мікросхеми 74147 подається сигнал низького рівня (логічний нуль).

Вихідний двійковий код шифратора відображається індикаторами X4, X3, X2, X1 і подається через інвертори на входи дешифратора-формувача, який перетворює отриманий двійковий код керування семисегментного індикатора. З виходів дешифратора семисегментний код через інвертори подається на індикатор, на якому висвічується цифра, що відповідає натиснутій клавіші цифрової клавіатури (номеру ключа замкнутому на заземлену шину).

10). По черзі натискаючи клавіші цифрової клавіатури комп'ютера, встановіть усі ключі у вихідний стан – замкніть їх на шину +5 В. При цьому на індикаторі має висвітлитися нуль.

11). По черзі натискайте клавіші цифрової клавіатури в послідовності 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, заповнюючи після кожного натискання таблицю стану шифратора (таблиця 12.4). Після натискання клавіші «9» усі ключі будуть замкнуті на шину «земля», а на індикаторі висвічуватиметься цифра «9». У цьому виявляється найвищий пріоритет дев'ятого входу шифратора – при замкнутому ключі «9» на шину «земля» натискання у будь-якій послідовності клавіш 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 не змінить вихідного коду шифратора та стану індикатора.

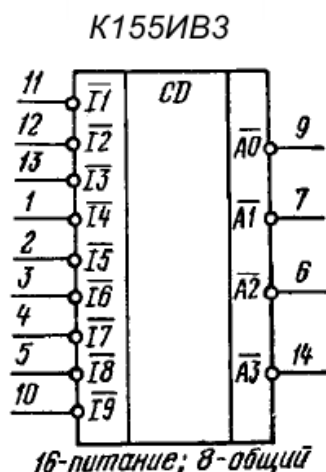


Рисунок 12.7. Умовне позначення мікросхеми K155IB3

Таблица 12.4. Стан шифратора

Номер ключа	Входы									Выходы				Символ индикатора
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D	C	B	A	
0	В	В	В	В	В	В	В	В	В					
1	Н	В	В	В	В	В	В	В	В					
...														
9														

Примітка: В – високий та Н – низький рівень напруги.

Контрольні питання

1. Які пристрої називають комбінаційними?
2. Як описується робота комбінаційних пристроїв?
3. Що таке дешифратор та як він працює?
4. Що розуміють під поняттям семисегментний код?
5. Як влаштований світлодіодний індикатор та як він підключається для відображення інформації.
6. Що таке шифратор та як він працює?
7. Які особливості має пріоритетний шифратор?
8. Які бувають різновиди дешифраторів?

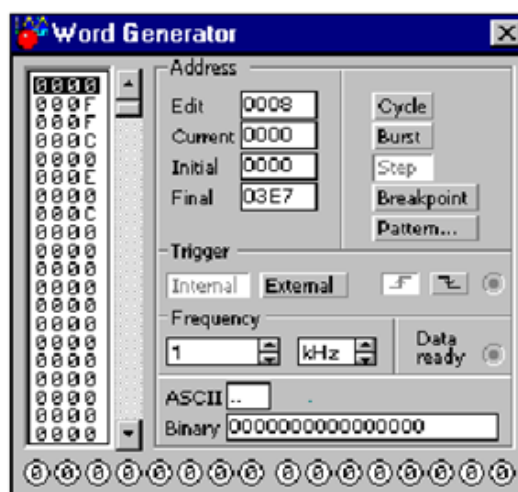


Рисунок 13.2. Вигляд використовуваного генератора слова

На рисунку 13.1. показано осередок статичного ОЗП на D-тригері та допоміжних логічних елементах. Інформаційний вхід комірки підключений до шини даних D1 одного з розрядів, її вихід – до відповідної шини D0 через елемент із трьома станами U6. Осередок вибирається сигналами $Y=1$, $X=1$, що надходять з дешифратора адреси. При записі в комірку пам'яті на D1 встановлюється 1 або 0 на вході WR/RD' – сигнал 1, в результаті чого спрацьовують елементи 2I U1, U2. Позитивний перепад сигналу з елемента U2 надходить на тактовий вхід D-тригера U4 і записується 1 або 0 в залежності від рівня сигналу на його D-вході. При читанні на вході WR/RD' встановлюється 0, при цьому спрацьовують елементи U1, U3, U5 і на вхід «дозвол виходу» буферного елемента U6 надходить роздільна здатність сигналу, в результаті чого сигнал з Q-виходу D-тригера передається на розрядну шину D0, стан якою індикуюється логічним пробником IND. Для перевірки функціонування комірки пам'яті використовується генератор слова (рисунок 13.2), вихідний код якого відповідає зазначеним режимам роботи комірки.

Зауважимо, що пристрої статичного типу, що запам'ятовують, відрізняються високою швидкістю і в комп'ютерах використовуються як так звана кеш-пам'ять.

Контрольні питання та завдання

1. Які типи пам'яті є?
2. Чим відрізняється динамічна пам'ять від статичної?
3. Змодельуйте та проаналізуйте роботу ОЗП, схема якого наведена вище.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Городжа А. Д. Загальна Електротехніка та основи електроніки / А. Д. Городжа. – К.: КНУБА, 2000. – 150 с.
2. Дмитрів В. Т. Електроніка і мікросхемотехніка : навч. посібник / В. Т. Дмитрів В. М. Шиманський. – Львів : Афіша, 2006. – 175 с.
3. Загальна електротехніка та основи електроніки: навчально-методичний посібник / під ред. Глухова Д. Я. – К. : Вища шк., 1970. – 370 с.
4. Вартабєян В.А. Загальна Електротехніка та основи електроніки / В.А. Вартабєян. – К. : Вища шк., 1979. – 160 с.
5. Колонтаєвський Ю. П. Електроніка і мікросхемотехніка : Підручник: / Ю. П. Колонтаєвський, А. Г. Сосков; За ред. А.Г.Соскова. – К.: Каравела, 2006. – 384 с.
6. Малинівський С.М. Загальна Електротехніка та основи електроніки / С.М. Малинівський. – Львів : Ви-во Львівської політехніки, 2001. – 596 с.
7. Немцов М. В. Электротехника и электроника: учебник для студ. образоват. учреждений сред. проф. образования / М. В. Немцов, М. Л. Немцова. – 2-е изд., стер. – М. : Академия, 2009. – 432 с.
8. Попов В.С. Общая электротехника с основами электроники / В.С. Попов, С.А. Николаев. – М. : Энергия, 1976. – 312 с.
9. Промислова електроніка: Підручник / В. С. Руденко, В. Я. Ромашко, В. В. Трифонюк. – К.: Либідь, 1993. – 432 с.
10. Руденко В. С. Основы промышленной электроники / В. С. Руденко, В. И. Сенько, В. В. Трифонюк. – К. : Высшая школа, 1985. – 400 с.
11. Стахів П. Г. Основи електроніки: функціональні елементи та їх застосування: навч. посіб. / П. Г. Стахів., В. І. Коруд, О. С. – Л. : Вид-во Нац. ун-ту „Львівська політехніка”, 2002. – 120 с.
12. Титаренко М. В. Електротехніка та основи електроніки: Навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вузів / М.В. Титаренко. – К.: Кондор, 2004. – 240 с
13. Новацький А.О. Програмування мікроконтролерів родини AVR : Навчальний посібник. – Київ : КПІ, 2013. – 109 с.

14. Руководство пользователя программы ISIS Proteus VSM. / Радио-Ежегодник, 2013, Вып. 24., – 443 с.
15. Прокопенко В.С. Программирование микроконтроллеров Atmel на языке С. – Київ : МК-Пресс, 2012. – 320 с.
16. ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання. – Київ : УкрНДНЦ, 2016. – 31 с.
17. ДСТУ ISO 5807:2016 Оброблення інформації. Символи та угоди щодо документації стосовно даних, програм та системних блок-схем, схем мережевих програм та схем системних ресурсів (ISO 5807:1985, IDT). – Київ : УкрНДНЦ, 2016. – 18 с.

Додаток А

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СИСТЕМИ СХЕМОТЕХНІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ СХЕМ ELECTRONICS WORKBENCH EWB5_12

1.1. Призначення і область застосування EWB5_12

Система схемотехнічного моделювання **Electronics Workbench** призначена для моделювання аналогових, цифрових і цифро-аналогових схем великої міри складності і реалізує наступні функції:

1. Побудову та редагування електричних схем.
2. Підключення до схем інструментів (приладів) для завдання зовнішніх впливів на схему (генератори аналогових і цифрових сигналів), інструментів для відображення в процесі моделювання параметрів схеми (осцилограф, плоттер, логічний аналізатор, індикатори та ін.).
4. Налаштування параметрів EPE (електрорадіоелементів) схеми і підключених до неї приладів.
5. Моделювання та аналіз електричних схем.
6. Документування результатів проектування та моделювання електричних схем (рисунки модельованих схем, аналогові і цифрові діаграми і графіки, параметри налаштування EPE схем і приладів, та ін.).
7. Інтерфейс з інформацією про модельовані схеми і моделі з системою Spice.

Система EWB5_12 запускається клацанням курсора миші по піктограмі системи, розташованій на робочому столі Windows.

1.2. Інтерфейс системи EWB5_12, призначений для користувача

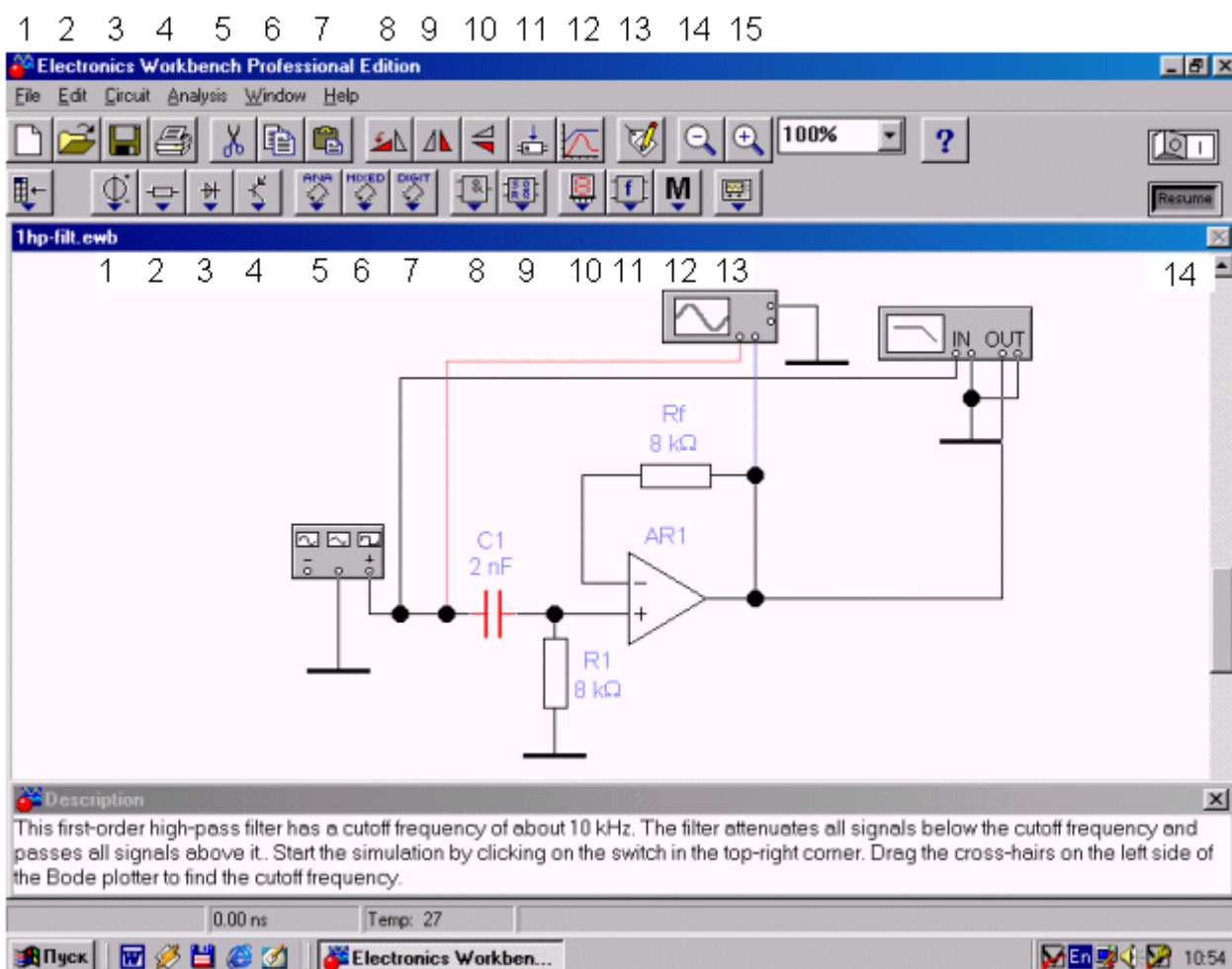


Рисунок 1.2.1. Екран системи EWB5_12 із завантаженою схемою.

На рис.1.2.1. показаний екран системи EWB5_12. У верхній частині екрану розташовується меню команд, яке активізується клацанням на імені меню, а нижче - робоче поле для зображення схем.

Користувачеві надані наступні меню: **File** (файл), **Edit** (редагування), **Circuits** (схема), **Help** (допомога).

Меню **File** включає наступні команди (рис.1.2.2.): **New** (Новий), **Open ...** (Відкрийте ...), **Save** (Збережіть), **Save As ...** (Збережіть як ...), **Revert to Saved ...** (Поверніться до збереженого ...), **Import** (Імпортувати), **Export** (Експортувати),

Print ... (Друкуйте ...), **Print Setup** (Установки друку), **Exit** (Вихід), **Install ...** (Установки ...).



Рисунок 1.2.2. Команда меню File (файл)

Меню **Edit** включає наступні команди редагування (рис.1.2.3.): **Cut** (Вирізати), **Copy** (Копіювати), **Paste** (Вставити), **Delete** (Видалити), **Select All** (Вибрати все), **Copy as Bitmap** (Копіювати растрове зображення в буфер обміну), **Show Clipboard** (Показати буфер обміну).

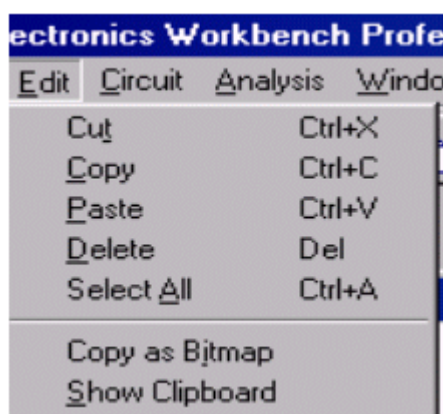


Рисунок 1.2.3. Команди меню Edit (Редагування)

Меню **Circuits** включає наступні команди роботи зі схемою (рис.1.2.4.): **Rotate** (Поворот) **Flip Horizontal** (Дзеркальне відображення відносно

горизонтальної осі), **Flip Vertical** (Дзеркальне відображення щодо вертикальної осі), **Component Properties** (Властивості компонентів), **Create Subcircuit** (Формування субблоків схем), **Zoom In** (Зменшення), **Zoom Out** (Збільшення), **Schematic Options** (Вибір схеми).

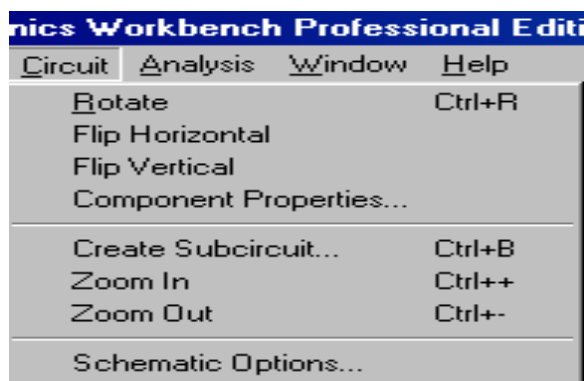


Рисунок 1.2.4. Команди меню **Circuits** (схема)

У середній частині екрана розташовані піктограми команд, які дублюють частково команди з падаючих меню. Опис піктограм будемо вести зліва направо:

- 1 - Створення нового файлу схеми;
- 2 - Відкриття існуючого файлу схеми;
- 3 - Збереження схеми;
- 4 - Вибір рисунка на принтер;
- 5 - Занесення схеми в буфер обміну з видаленням об'єкта зі схеми;
- 6 - Перетягування на робочому столі в буфер;
- 7 - Вставка об'єкта з буфера в проект;
- 8 - Поворот ЕРЕ на 90^0 проти годинникової стрілки;
- 9 - Дзеркальне відображення ЕРЕ щодо вертикальної осі;
- 10 - Дзеркальне відображення об'єкта відносно горизонтальної осі;
- 11 - Виділення субблока схеми;
- 12 - Аналіз графіків;
- 13 - Властивості компонентів;

14 - Зменшення зображення;

15 - Збільшення зображення;

16 - Перемикач Моделювання-Стоп.

У третьому рядку екрана розташовані піктограми ЕРЕ схем і приладів. Перерахування піктограм будемо вести зліва направо:

1 - Джерела живлення;

2 - Базисні ЕРЕ;

3 - Діоди;

4 - Транзистори;

5 - Аналогові мікросхеми;

6 - Аналого-цифрові мікросхеми;

7 - Цифрові мікросхеми;

8 - Дослідження логічних елементів;

9 - Цифрові схеми;

10 - Індикатори;

11 - Функціональні математичні моделі;

12 - Змішана група елементів;

13 - Прилади (інструменти).

1. ПАНЕЛЬ ЕЛЕКТРОРАДІОЕЛЕМЕНТІВ

2.1. Загальні положення

В системі **EWB5_12** всі використовувані ЕРЕ розділені на 11 груп (на рис.1.2.1. позиції 1-9, 11, 12) і для кожної групи може бути відкрита панель ЕРЕ.

Для цього необхідно клацнути курсором миші по відповідній піктограмі. Крім того в системі групи ЕРЕ об'єднані в блоки, які умовно можна позначити таким чином.

1. Дискретні ЕРЕ (рис.2.1.1.): джерела (**Soures**), базисні ЕРЕ (**Basic**), діоди (**Diodes**), транзистори (**Transistors**).



Рисунок 2.1.1. Піктограма дискретних ЕРЕ

Інтегральні схеми (рис.2.1.2.): Аналогові мікросхеми (**Analog ICs**), аналого-цифрові мікросхеми (**Mixed ICs**), цифрові мікросхеми (**Digital ICs**).

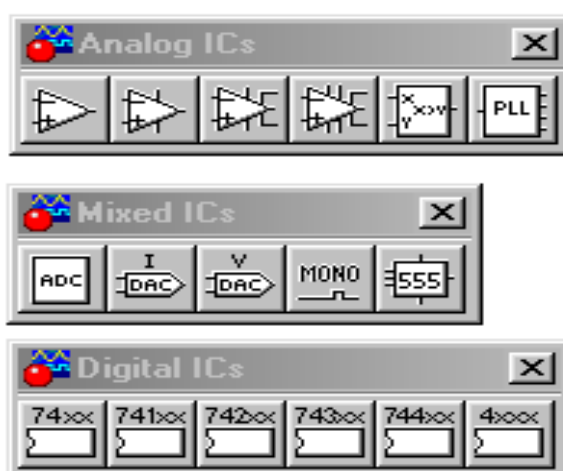


Рисунок 2.1.2. Піктограми інтегральних схем

Всі ЕРЕ системи **EWB5_12** можна розділити на 3 групи: аналогові, цифрові і цифро-аналогові.

2.1. Аналогові ЕРЕ

К аналоговим относятся ЕРЕ, піктограмми яких приведені на рис.2.1.1. і на рис.2.1.2. на верхній панелі аналогових ІС (інтегральних схем). Это джерела живлення (джерела постійного струму, джерело змінної напруги та струму, джерела модульованої напруги, елемент «земля» та ін.); основні ЕРЕ (резистори, конденсатори індуктивності, трансформатори, перемикачі та ін.); діоди (стабілітрони, світлодіоди, мостові випрямлячі, тиристори, сімістори, діпістори та ін.); транзистори (біполярні та польові); аналогові мікросхеми (операційні підсилювачі, компенсатори та ін.).

Для налаштування параметрів аналогових ЕРЕ необхідно по його зображенню на схемі клацнути курсором і з'являється меню настройки, в якому можна задати схемне позначення ЕРЕ в графі **Label** (наприклад **R1**) і в графі **Value** значення параметрів і їх одиниць виміру.

Для регульованих ЕРЕ ще задається положення движка (**Setting**) в% і дискретність переміщення движка (**Increment**).

Ключі (рис.2.1.1., панель **Basic**) мають два стани: вимкнений (розімкнуте) і включений (замкнуте). У вимкненому стані вони представляють нескінченно великий опір, у включеному стані їх опір дорівнює нулю. Ключі можуть управлятися:

- клавішею (параметр **Key**);
- таймером (реле часу);
- напругою;
- струмом.

Використовувані клавіші - ключі: літери **A - Z**, цифри **0 - 9**, клавіші **Enter** (введення) і **Space** (пропуск).

Реле часу представляє ключ, який розмикається в момент часу **Toff** і замикається в момент часу **Ton**.

Ключ, керований напругою, має два керуючих параметри: напруга, щовключає (**Von**) і (**Voff**) напруга, що виключає.

Ключ, керований струмом, має два керуючих параметри: струм, що включає (**Ion**) і струм, що вимикає (**Ioff**).

Операційний підсилювач (рис.2.1.2., панель **Analog Ics**) має два входи. Вхід «+» є прямим, а вхід «-» - інвертує.

2.2. Прилади для аналогових схем

Щоб відкрити панель приладів необхідно клацнути курсором миші по піктограмі прилади (інструменти), розташованої в третьому рядку екрану в позиції 13 (рис.1.2.1.). В результаті цієї дії з'явиться панель **Instruments**, наведена на рис.2.2.1. До досліджуваної схеми може бути підключений тільки один екземпляр приладу.

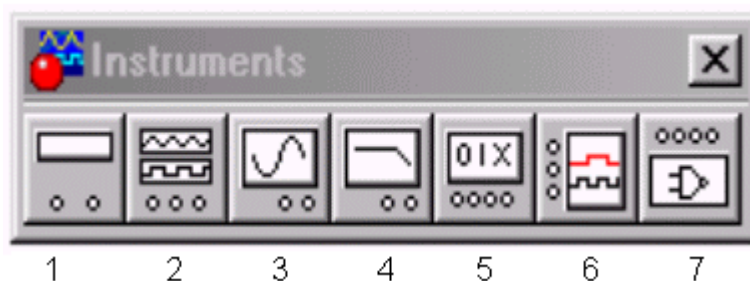


Рисунок 2.2.1. Панель приладів для аналогових і цифрових схем

На панелі наведено такі прилади:

Для аналогових схем:

1 - мультиметр;

2 - функціональний генератор (генератор аналогових сигналів);

3 - осцилограф;

4 - плоттер;

Для цифрових схем:

5 - генератор слів;

6 - логічний аналізатор;

7 - логічний перетворювач.

2.2.1. Мультиметр.

Мультиметр використовується для вимірювання:

- напруги постійної і змінної;
- струму постійного і змінного;
- опору;
- рівня напруги в децибелах.

Для настройки мультиметра потрібно подвійним клацанням миші на його зменшеному зображенні (рис.2.2.1.1.), відкрити його збільшене зображення.

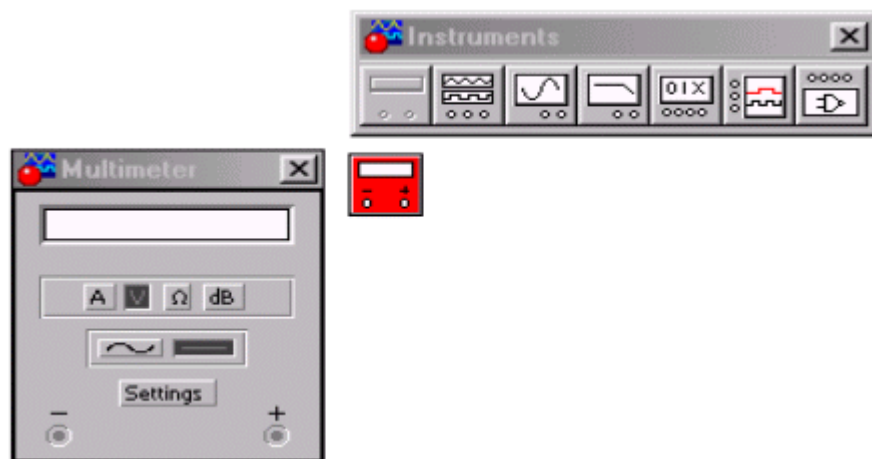


Рисунок 2.2.1.1. Панель приладів, зменшене і розширене зображення мультиметра

Натисканням лівої кнопки миші вибирається:

- вимірювана величина по одиницях виміру: **A, V, Q, dB**;
- вид вимірюваного сигналу (паралельний або постійний);
- режим установок параметрів мультиметра (клавіша **Settings**).

Для вимірювання струму мультиметр підключається послідовно в гілку схеми, в якій потрібно провести вимірювання. Потім натиснути на кнопку **A**, включити схему (перемикач в верхньому правому куті екрану (рис.1.2.1.)). На табло мультиметра з'явиться виміряне значення струму.

Для вимірювання напруги мультиметр підключається паралельно ділянці схеми, на якій потрібно виміряти напругу, натиснути на кнопку **V**, включити схему.

Для вимірювання опору мультиметр підключається до ділянки кола, опір якого потрібно виміряти, натиснути на кнопку **Ω** і включити схему. На табло мультиметра з'явиться виміряний опір.

Для вимірювання рівня напруги в децибелах мультиметр підключається одним з виводів до точки, рівень напруги в якій потрібно виміряти, а іншим виводом до точки, щодо якої проводиться вимір. Потім натиснути кнопку **dB** і включити схему. Результати вимірювань будуть відображені на табло.

Для налаштування параметрів мультиметра використовується кнопка **Settings**:

- вхідний опір вольтметра;
- послідовний опір амперметра;
- вимірювальний струм омметра;
- опорна напруга для відліку в децибелах.

Параметри мультиметра повинні мати таке значення, щоб вимірювальний прилад трохи впливав на тестируемую схему.

2.2.2. Генератор аналогових сигналів.

Генератор аналогових сигналів, є ідеальним джерелом напруги, який виробляє сигнали прямокутної, синусоїдальної і трикутної форми (рис.2.2.2.1.).

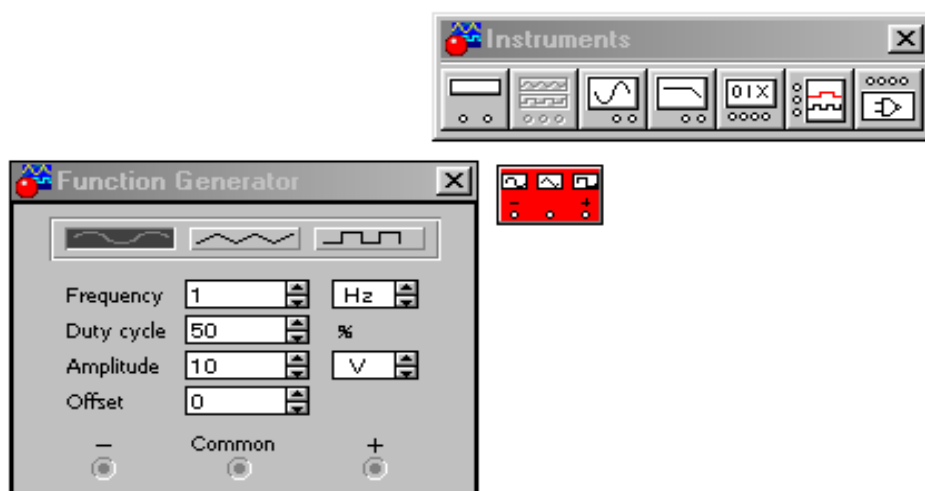


Рисунок 2.2.2.1. Панель приладів, зменшене і розширене зображення генератора аналогових сигналів

На зменшеному зображенні середній вивод генератора підключається до спільної точки (земля), а крайній правий і лівий виводи служать для подачі змінної напруги на схему. Напруга на правому виводі вимірюється в позитивному напрямку щодо спільного виводу, на лівому - в негативному.

Подвійним клацанням миші на зменшеному зображенні відкривається розширене зображення генератора, в меню якого можна задати параметри (рис. 2.2.2.1.):

- частоту вихідної напруги;
- шпаруватість;
- амплітуду вихідної напруги;
- постійну складову вихідної напруги.

Форма сигналу встановлюється шляхом натискання на відповідну піктограму.

Частота генератора регулюється від **1Hz** до **999 MHz**. Значення частоти встановлюється в рядку **Frequency** за допомогою клавіатури і кнопок зі стрілками. Одиниця виміру **Hz, KHz, MHz** - Гц, КГц, МГц відповідно. Установка амплітуди вихідної напруги може регулюватися від 0мВ до 999кВ. Одиниці виміру **mkV, mV, V, kV** - мкВ, мВ, В, кВ відповідно.

Приклад підключення генератора до досліджуваної схеми наведено на рис. 2.5.1.

Як генератор напруги фіксованих рівнів можна використовувати кероване джерело напруги.

2.2.3. Осцилограф.

Осцилограф являє собою аналог двухлучевого осцилографа, що запам'ятовує і має два меню (рис.2.2.3.1. і 2.2.3.2.). Рекомендується починати дослідження схеми з першого меню - меню настройки, наведеного на рис. 2.2.3.1., А для докладного дослідження процесів використовувати друге меню - меню аналізу графіків (рис. 2.2.3.2.)

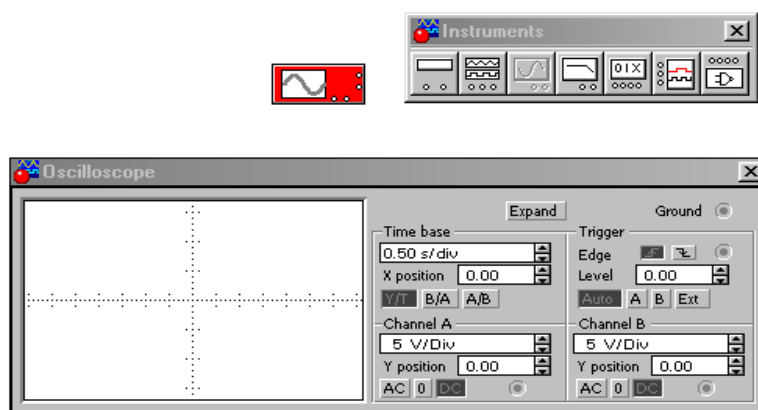


Рисунок 2.2.3.1. Панель приладів, зменшене і розширене меню настройки зображення осцилографа

На осцилографі є чотири вхідних затиска: верхній правий - загальний, нижній правий - вхід синхронізації, лівий і правий нижні затискачі - відповідно вхід каналу A (**Channel A**) і вхід каналу B (**Channel B**).

Для проведення вимірювань осцилограф потрібно налаштувати, для чого слід задати:

- 1) розташування осей, за якими відкладається сигнал;
- 2) потрібний масштаб розгортки по осях;
- 3) наступні початки координат по осях;
- 4) режими роботи по входу: закритий чи відкритий;
- 5) режим синхронізації: внутрішній або зовнішній.

Панель налаштування параметрів (рис.2.2.3.2.) Розділена на 4 поля:

- 1) поле управління горизонтальною розгорткою осі часу (**Time base**);
- 2) поле управління синхронізацією (**Trigger**);
- 3) поле управління каналом A (**Channel A**);
- 4) поле управління каналом B (**Channel B**).

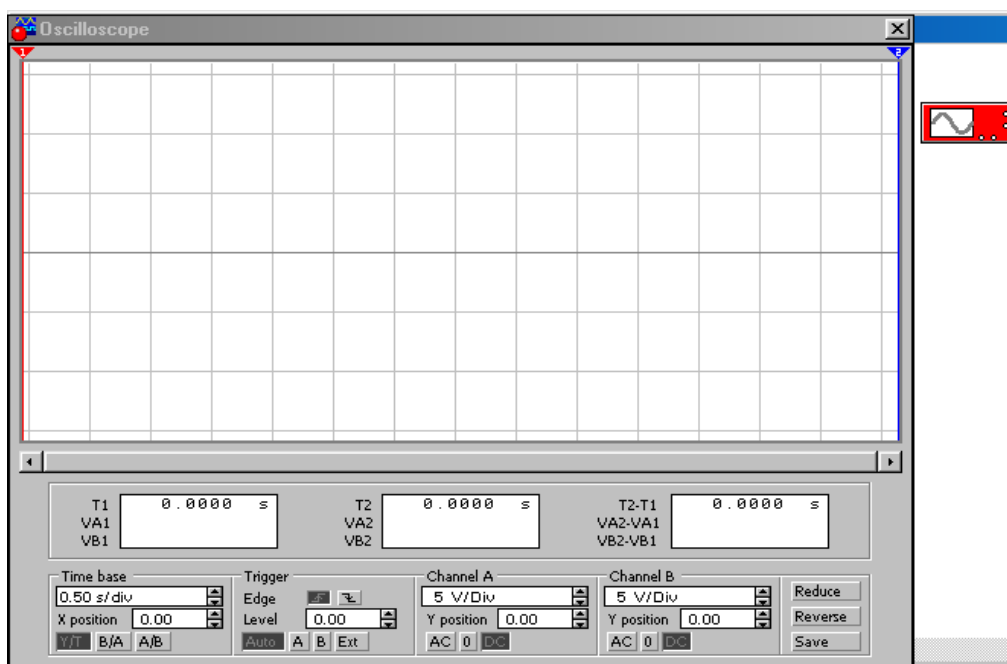


Рисунок 2.2.3.2. Меню аналізу графіків

1. Тимчасовий масштаб задається в сек/поділ, мс/поділ, мкс/поділ, нс/поділ (**s/div, ms/div, mks/div, ns/div** відповідно). Величина однієї поділки може бути встановлена від 0,1нс до 1 сек. Для зручності спостереження доцільно встановити масштаб часу таким чином, щоб ціна двох поділок становила б період сигналу. За допомогою кнопки **X position** можна зрушувати початок графіків по горизонтальній осі. У цьому ж полі розташовані кнопки **YIT, A/B, B/A**, що дозволяють задавати вид залежності сигналів, що відображаються. При натисканні на кнопку **YIT** по вертикальній осі відкладається напруга, по горизонтальній осі - час, при натисканні на кнопку **A/B** по вертикальній осі напруга на вході каналу **A**, по горизонтальній осі каналу **B** і при натисканні на кнопку **B/A** - навпаки.

2. За допомогою поля управління синхронізацією (**Trigger**) визначається момент початку відображення графіка на екрані. У рядку **Edge** задають момент запуску графіка по фронту або по зрізу імпульсу. Поле **Lekel** дозволяє задавати рівень, при перевищенні якого відбувається запуск графіка (осцилограми).

Є 4 режими синхронізації:

Auto - автоматичний запуск графіків при підключенні осцилографа до схеми або при її включенні;

A(B) - запуск по входу A(B), в якому сигналом, що запускає, є сигнал, що надходить на відповідний вхід;

Ext - сигналом запуску є сигнал, що подається на вхід синхронізації (на рис.2.2.3.1. - нижній правий зажим).

У полях управління каналами A і B є три рядки. У першому рядку задається масштаб осі відображуваної напруги по вертикальній осі. Ціна поділки від **10mv/div** до **5kv/div**. У рядку **Y position** можна встановлювати зсув сигналу вгору або вниз. Три нижні кнопки реалізують такі функції:

AC - режим роботи з закритим входом, тобто на вхід не пропускається постійна складова сигналу;

DC - режим роботи з відкритим входом, тобто на вхід пропускається як постійна, так і змінна складова сигналу;

O - визначення положення нульової позначки по осі Y.

Меню аналізу графіків (рис.2.2.3.2.), перехід на яке здійснюється натисканням кнопки **Expand**, має три інформаційних табло, на які виводяться результати вимірів величин:

T1 (T2) - положення курсору 1 (2) на тимчасовій осі (курсори переміщуються незалежно один від одного за допомогою миші);

VA1 (VB1) - координати точок перетину першого курсора з графіками каналів A(B);

VA2 (VB2) - координати точок перетину другого курсора з графіками каналів A(B).

Результати вимірювань можна записати в файл * .scr, натиснувши кнопку **Save** (рис.2.2.3.2).

Для переходу в меню настройки параметрів (рис.2.2.3.1) необхідно натиснути клавішу Reduce в меню аналізу графіків.

2.3. Плоттер

Плоттер використовується для отримання амплітудно-частотних (АЧХ) і фазо-частотних (ФЧХ) характеристик схеми. Плоттер (рис.2.3.1.) вимірює відношення амплітуд сигналів в двох точках схеми і фазовий зсув між ними.

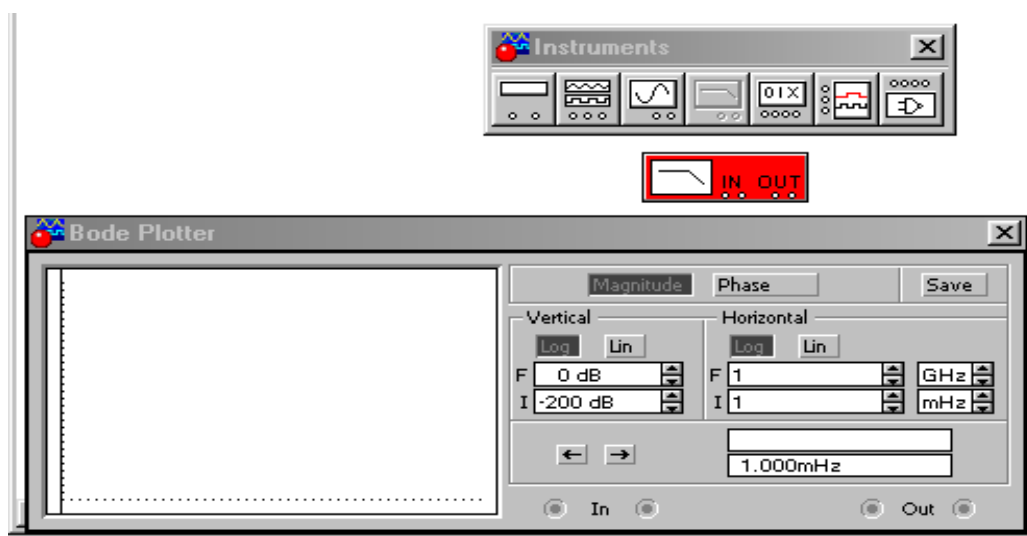


Рисунок 2.3.1. Панель приладів, зменшене і розширене зображення плоттера

Для вимірювання плоттер генерує власний спектр частот, діапазон якого може здаватися при настройці приладу. Плоттер має чотири затиску: два вхідних (**IN**) і два вихідних (**OUT**).

Для вимірювання відношення амплітуд або фазового зсуву потрібно підключити позитивні виводи входів **IN** і **OUT** (ліві виводи відповідних входів) до досліджуваних точок схеми, а два інших заземлити (рис. 2.3.1.).

Для отримання АЧХ необхідно натиснути кнопку **Magnitude**, а для отримання ФЧХ - кнопку **Phase**. Ліва панель управління (**Vertical**) задає початкове (**I-initial**) і кінцеве (**F-final**) значення параметрів, що відкладаються по вертикальній осі.

При вимірюванні амплітуди, вертикальна вісь показує відношення напруги на виході схеми до напруги на вході (коефіцієнт посилення) в децибелах (якщо встановлений режим **Log**) або відносних одиницях (якщо встановлений **Lin**). При вимірюванні зсуву фази, вертикальна вісь показує градуси.

Горизонтальна вісь плоттера завжди показує частоту. На початку горизонтальній осі розташований курсор (вертикальна лінія). Його можна переміщати натисканням на кнопки, розташовані праворуч від екрану або переміщати за допомогою миші.

Координати точки перетину курсора з графіком виводяться на інформаційні поля, в яких відображаються при аналізі АЧХ - значення коефіцієнта в децибелах або відносних одиницях і частоти, а при аналізі ФЧХ - зрушення фаз в градусах і частоти.

2.4. Індикатори

Щоб відкрити панель індикаторів необхідно клацнути курсором миші по піктограмі індикаторів, розташованій в третьому рядку екрана в позиції 10 (рис.1.2.1.). В результаті цієї дії з'явиться панель **Indicators**, яка наведена на рис.2.4.1. До досліджуваній схеми можна бути підключено необмежену кількість примірників індикаторів.

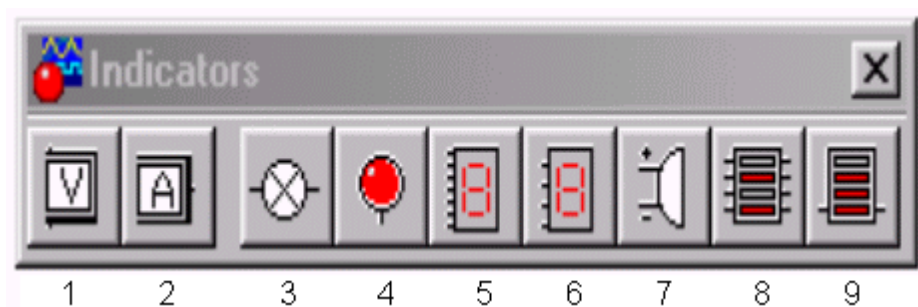


Рисунок 2.4.1. Панель індикаторів

На панелі наведено такі індикатори:

- 1 - вольтметр;
- 2 - амперметр;
- 3 - індикатор напруги (пробник);
- 4 - логічний індикатор;
- 5 - семисегментний символний індикатор;
- 6 - семісегментний символний індикатор, що дешіфрує;

7 - зумер;

8 - столбцовая діаграма;

9 - столбцовая діаграма, що дешифрує.

Схема підключення і параметри настройки вольтметра і амперметра аналогічні відповідним режимам роботи мультиметра (п.2.3.1.).

Логічний індикатор визначає логічний рівень (0 або 1) в конкретній точці схеми. Якщо досліджувана точка має рівень логічної 1, індикатор загоряється червоним кольором. Рівень логічного нуля світінням не відрізняється. Параметром індикатора є колір світіння.

На вхід семисегментний індикатора, що дешифрується подається шістнадцятковий код від **0** до **F**, а на дисплеї з'явиться індикатор символів, що відображаються відповідними кодами.

Зумер застосовується для звукової сигналізації про перевищення напруги, що підводиться до нього. Вбудований в комп'ютер динамік видає звук заданої частоти, якщо напруга перевищує порогове значення. Параметрами налаштування можна задати порогову напругу і частоту звукового сигналу.

2.5. Підключення приладів до аналогових кіл.

Підключення функціонального генератора, осцилографа і плоттера за досліджуваною схемою наведено на рис.2.5.1. Кожен з перерахованих вище приладів задіяти в одній схемі можливо тільки один раз.

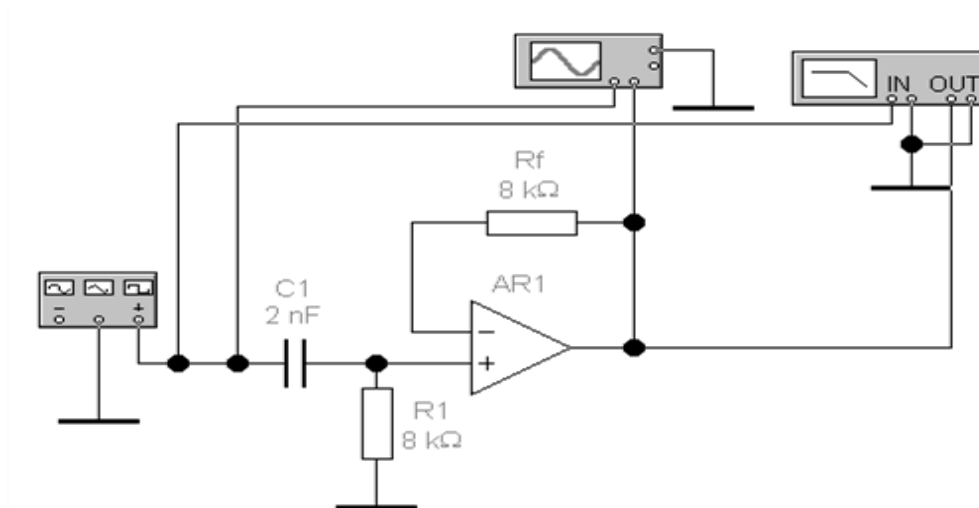


Рисунок 2.5.1. Підключення пристроїв до аналогової схеми

3. МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМ

3.1. Побудова і редагування схем

При побудові та редагуванні схем виконуються наступні процедури:

- вибір ЕРЕ (електрорадіоелементів) з бібліотек ЕРЕ;
- розміщення ЕРЕ і установка їх параметрів;
- з'єднання ЕРЕ провідниками;
- підключення приладів і настройка їх параметрів.

Досліджувана схема зображується в системі на одному аркуші. Якщо схема не поміщається в одному кадрі екрану, то будь-яку її ділянку можна переглянути за допомогою лінійок прокрутки, розташованих праворуч і внизу робочого поля.

3.1.1. Вибір ЕРЕ з бібліотек ЕРЕ

Вибір потрібного ЕРЕ проводиться з панелі ЕРЕ, розташованої в третьому рядку екрана поз.1-9, 11, 12 (рис.1.2.1.), натисканням лівої кнопки миші на одну з перерахованих вище піктограм панелі ЕРЕ. В результаті цих дій на робочому полі

екрана з'являються зображення відповідних ЕРЕ (см.п.2.1., рис.2.1.1, 2.1.2.). Після вибору зображення ЕРЕ за допомогою миші останній переміщається в потрібне місце робочого поля.

3.1.2. Розміщення ЕРЕ і установка їх параметрів

- У процесі розміщення ЕРЕ можуть виконуватися такі операції:
- - вибір ЕРЕ на робочому полі;
- - переміщення, поворот і дзеркальне відображення ЕРЕ;
- - видалення ЕРЕ;
- - установка параметрів ЕРЕ і схемних позначень.

Виділення в схемі об'єкта (під об'єктом мається на увазі як один ЕРЕ, так і група ЕРЕ) здійснюється шляхом установки курсору миші на ЕРЕ, що виділяється з наступним натисканням на ліву кнопку миші.

1. Для вибору групи ЕРЕ потрібно встановити покажчик миші в один з кутів прямокутної області, що містить групу, і, натиснувши ліву кнопку миші, розтягнути рамку до необхідних розмірів, після чого опустити кнопку. Обраний об'єкт змінює свій колір на червоний. Зняти виділення можна клацанням миші в будь-якій точці робочого поля.
2. Переміщення об'єкта проводиться за допомогою миші або стрілок на клавіатурі. Для переміщення об'єкт потрібно попередньо виділити, а потім перемістити в потрібне місце. При переміщенні мишею встановіть курсор на об'єкт і, натиснувши ліву кнопку миші, проведіть об'єкт.

Об'єкт можна повертати на кут, кратний 90^0 за годинниковою стрілкою. Для цього об'єкт потрібно попередньо виділити і вибрати піктограму команди **поворот** (рис.1.2.1., середній рядок, поз.8.). При повороті групи ЕРЕ на 90^0 повертається кожен ЕРЕ щодо прив'язочних точок, а не вся група цілком.

В процесі побудови схеми можна виконати дзеркальне відображення об'єкта щодо вертикальної і горизонтальної ліній. Для цього об'єкт потрібно попередньо

виділити і вибрати відповідну піктограму команди дзеркальне відображення (рис.1.2.1., середній рядок, поз.9, 10).

1. Перед видаленням об'єкта необхідно виділити і потім скористатися командою **Edit> Cut** (об'єкт видаляється в буфер) або командою **Edit> Delete**, або піктограмою команди **Cut** (рис.1.2.1., середній рядок, поз.5).

2. Встановлення значень параметрів ЕРЕ і їх схемних позначень проводиться в діалоговому вікні (меню налаштування) властивостей ЕРЕ, яке відкривається подвійним клацанням миші по зображенню ЕРЕ. В меню настройки можна ввести необхідне значення параметрів за допомогою миші і клавіатури, попередньо виділивши опцію **Value**. Основні параметри аналогових ЕРЕ наведені в п.2.2. Для підтвердження установки значень параметрів необхідно натиснути кнопку **Accept**.

Після розміщення ЕРЕ можна привласнити схемне позначення ЕРЕ на схемі після вибору пункту **Label** в меню параметрів.

3.1.3. З'єднання ЕРЕ провідниками

Для з'єднання виводів ЕРЕ провідниками потрібно підвести курсор до виводу ЕРЕ. При цьому на виводі ЕРЕ з'явиться велика чорна точка. Натиснувши ліву кнопку миші, перемістіть її до виводу іншого ЕРЕ, з яким потрібно з'єднатися, і відпустіть кнопку миші. Виводи з'єднуються провідником, що складається, в загальному випадку, з ортогональних відрізків прямих. Всі провідники за замовчуванням чорного кольору. Якщо так залишити, то все діаграми будуть чорного кольору, що викликає незручність при аналізі графіків. Тому для ланцюгів, сигнали яких будуть відображатися на діаграмах, потрібно змінити колір ліній провідників (наприклад, для вхідного сигналу - червоний, а для вихідного - зелений). Для цього потрібно двічі клацнувши на зображенні провідника відкрити вікно і в вікні мишею вибрати потрібний колір.

Для вказівки розгалуження провідників використовується елемент «точка», розташований на панелі **Basic**, поз.1 (п.2.1., Рис.2.1.1.).

Побудований провідник можна видалити командою **Edit> Delete**, але попередньо його потрібно виділити.

3.1.4. Підключення приладів до схеми

У **EWB5_12** є мережа приладів, які формують різні впливи і аналізують реакцію схеми (рис.3.1.1. і рис.3.1.5.). Ці прилади представлені у вигляді піктограм, розташованих на панелі **Instruments**, доступ до якої викладено в п.3.1. Для підключення приладу до схеми потрібно мишею перемістити прилад панелі інструментів на робоче поле і підключити виводи приладу до досліджуваних точок схеми. Деякі прилади потрібно заземлювати, інакше їх показання будуть невірними. Знак «земля» розташований на панелі **Sources**, поз.1 (п.2.1., Рис.2.1.1.).

Налаштування параметрів приладів для дослідження аналогових схем викладена в п.3.2.

3.1.5. Моделювання аналогових схем

Після побудови схеми і підключення приладів аналіз її роботи починається після натискання вимикача (рис.1.2.1., другий рядок, поз.14). Зробити паузу в процесі моделювання схеми можна натисканням кнопки (рис.1.2.1., третій рядок, поз.14). Відновити процес моделювання можна повторним натисканням цієї кнопки.

Повторне натискання вимикача в правому верхньому куті припиняє роботу схеми (вимикач переводиться в стан 0).

Процес моделювання аналогової схеми розглянемо на прикладі рішення завдання.

Завдання 3.1.5.1. Для RC-схеми інтегруючого типу (фільтр низьких частот) з заданими зовнішніми впливами (параметри налаштування генератора аналогових сигналів):

- форма сигналу - прямокутні імпульси;
- частота (Frequency) - 1,1 Гц;
- шпаруватість (Duty Cycle) - 50%;
- амплітуда (Amplitude) - 60 вольт;
- постійна складова (Offset) - 60 вольт;

підібрати такі параметри EPE R_1 і C_1 , щоб перехідний процес закінчився через 278 ms з початку впливу на схему прямокутного імпульсу.

Моментом закінчення перехідного процесу є момент часу, для якого виконується відношення

$$\frac{U_{вих}}{U_{вх}} = 0,964 \quad (3.1.5.1.)$$

де $U_{вих}$ - напруга на конденсаторі; $U_{вх}$ - напруга на вході схеми.

За амплітудно-частотної характеристики RC-схеми визначити коефіцієнт посилення в децибелах вхідного сигналу при частоті 46KHz, а по фазо-частотній характеристиці - зсув фаз між вхідною і вихідною напругою в градусах при частоті 2,122Hz.

Завдання виконуємо в такій послідовності схеми і підключаємо прилади відповідно до п.3.1. (Рис.3.1.5.1.).

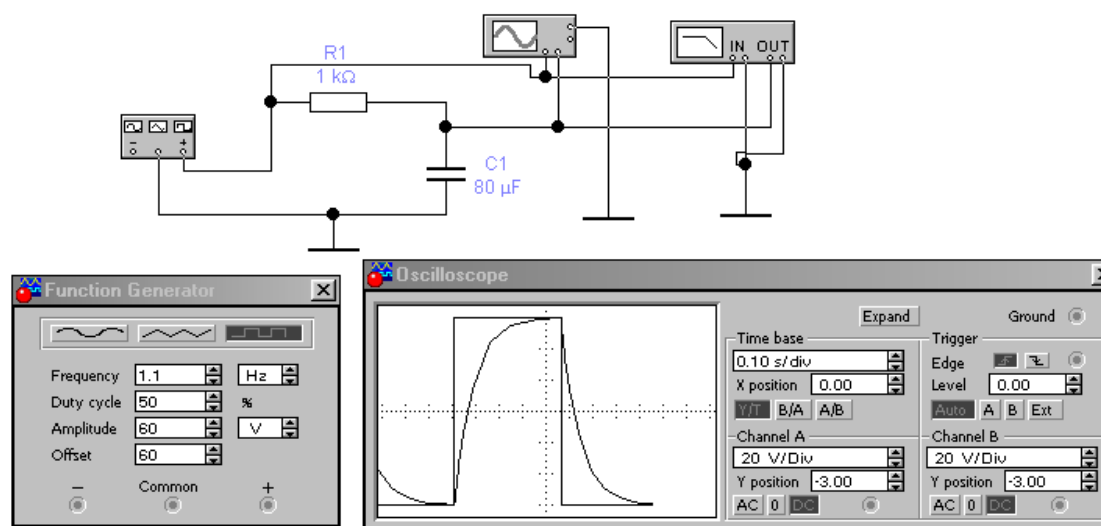


Рисунок 3.1.5.1. Досліджувана RC-схема, меню настройки параметрів генератора і осцилографа

1. Виконуємо настройку параметрів генератора аналогових сигналів відповідно до заданих зовнішніми впливами. Опис генератора приведено в п.2.3.2.

2. Виконуємо запрограмування осцилографа (п.2.3.3.) і запускаємо процес моделювання. Підбираємо параметри налаштування осцилографа таким чином, щоб ефективно використовувати вікно відображення (рис. 3.1.5.1.).

3. Потім натисканням кнопки Expand (рис. 3.1.5.1.) переходимо на меню аналізу графіків (рис. 3.1.5.1.), в якому встановлюємо курсор 1 (червоний) на початок імпульсу, а курсор 2 (синій) зміщуємо від курсора 1 на 278ms, що обумовлено умовою завдання. Часовий зсув курсорів відзначається в третьому вікні, в першому рядку: $T_2 - T_1$ (рис. 3.1.5.2.).

4. Цілеспрямовано змінюємо значення параметрів R_1 і C_1 до тих пір, поки не буде виконано відношення (3.1.5.1.) Це можливо при значенні $R_1 = 1\text{кОм}$, $C_1 = 80\text{мкф}$. На рис. 3.1.5.2. в середньому вікні наведені параметри вхідного сигналу $U_{\text{вх}} = 120$ Вольт (канал А) і вихідного $U_{\text{вих}} = 116,33$ Вольт (канал В).

Амплітудно-частотна характеристика для схеми з параметрами, обумовленими вище, наведена на рис.4.3. Коефіцієнт посилення (відношення

напруги на виході схеми до напруги на вході) в децибелах для частоти 46KHz становить - 87,22dB.

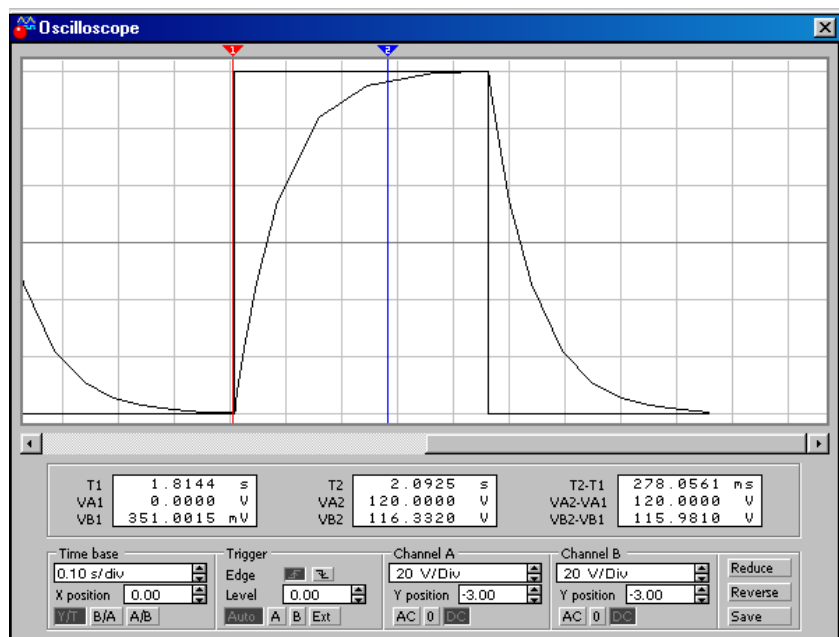


Рисунок 3.1.5.2. Меню аналізу графіків

Фазо-частотна характеристика для тієї ж схеми наведена на рис. 3.1.5.4. Зсув фаз між входною і вихідною напругою для частоти 2.122Hz становить - 46,55°.

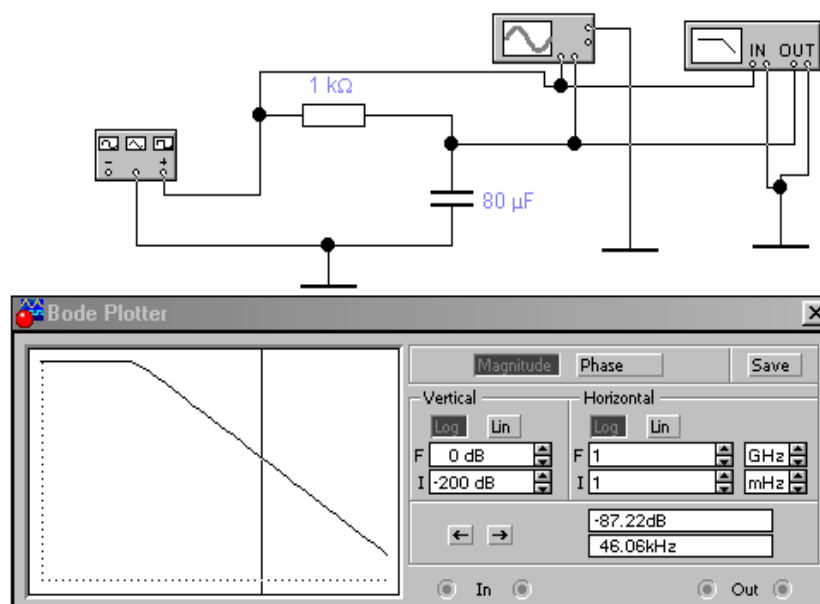


Рисунок 3.1.5.3. Амплітудно-частотна характеристика RC-схеми

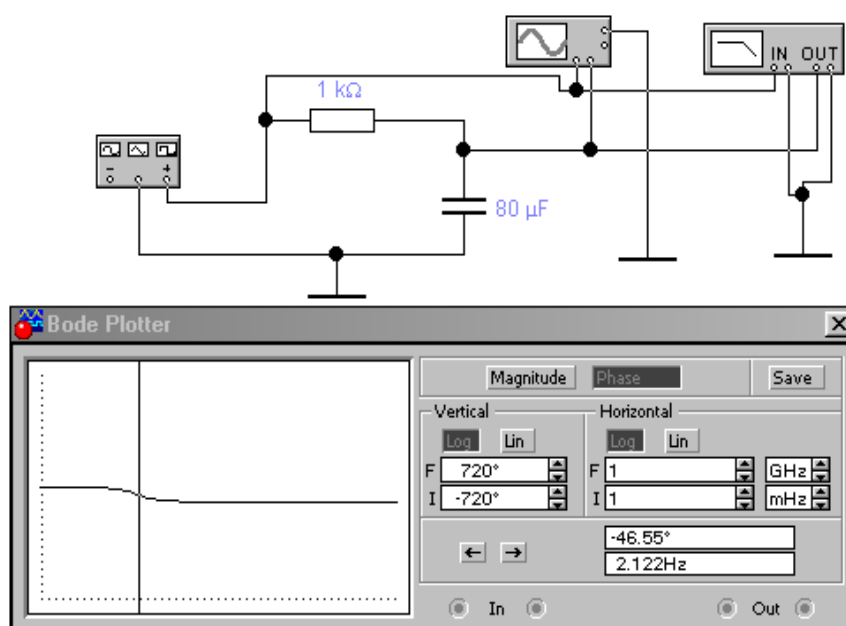


Рисунок 3.1.5.4. Фазо-частотна характеристика RC-схеми

Додаток В.

Таблиця варіантів

Номер варіанта	діоди	транзистори	трансформатори
1	1N914	KT819A	Pq-4-10
2	1N914A	KT819B	Pq-4-12
3	1N914B	KT819V	Pq-4-16
4	1N916	KT819A	Pq-4-20
5	1N916A	KT819B	Pq-4-24
6	1N916B	KT819V	Pq-4-10
7	1N914	KT819B	Pq-4-24
8	1N914A	KT819A	Pq-4-20
9	1N914B	KT819B	Pq-4-16
10	1N916	KT819V	Pq-4-10

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт із дисципліни

«Електроніка та мікропроцесорна техніка»

(для здобувачів вищої освіти спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»)

(електронне видання)

Укладач:

Ж.Г. САМОЙЛОВА

Оригінал-макет Ж.Г. Самойлова

Підписано до друку 10.03.2016.

Формат 60x84 ¹/₁₆. Папір типогр. Гарнітура Times.

Друк офсетний. Умов. друк. арк. _____. Обл.-вид. арк. _____.

Тираж ____ екз. Вид. № _____. Замов. № _____. Ціна договірна.

**Видавництво Східноукраїнського національного університету
імені Володимира Даля**

Свідоцтво про реєстрацію:.

Адреса університета: вул. Іоанна Павла II, 17

м. Київ, 01042, Україна

e-mail: vidavnictvoSNU.ua@gmail.com.