

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО**

О. В. СТРОКАНЬ, М. Ю. МІРОШНИЧЕНКО

**КОМП'ЮТЕРНА ЕЛЕКТРОНІКА
ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА**

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

**Мелітополь
2020**

Дозвіл до впровадження та видання надано Вченою радою факультету енергетики і комп'ютерних технологій Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного (протокол №8 від «11» березня 2020 р.)

Укладачі: Строкань О.В., доцент Таврійського ДАТУ,
Мірошниченко М.Ю., старший викладач Таврійського ДАТУ.

Рецензенти:

Єремєєв В.С., д.т.н., професор, завідувач кафедри інформатики і кібернетики Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького

Прийма С.М., д.т.н., професор кафедри комп'ютерних наук Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного

Квітка С.О., к.т.н., доцент, завдувач кафедри електротехніки і електромеханіки ім. професора В.В. Овчарова Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного

Строкань О. В.

С 32 Комп'ютерна електроніка та електротехніка: лабораторний практикум / О. В. Строкань, М. Ю. Мірошниченко. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2020. – 111 с

У лабораторному практикумі наведено теоретичний матеріал і лабораторні роботи у програмному середовищі Electronics Workbench з дослідження схем електричних принципів постійного і змінного струму, напівпровідникових приладів та електронних пристроїв: випрямних діодів, стабілітронів, біполярних та польових транзисторів, імпульсних пристроїв, тригерів, випрямлячів, стабілізаторів напруги. Лабораторні роботи включають схеми, що досліджуються, порядок виконання робіт, контрольні запитання та тестові завдання, призначений для студентів вищих навчальних закладів, науковців і практичних працівників. Лабораторний практикум призначений для викладачів при підготовці до лабораторних робіт з дисципліни «Комп'ютерна електроніка та електротехніка», а також для студентів вищих навчальних закладів при підготовці здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки».

© Строкань О.В.,
© Мірошниченко М.Ю.,
©Таврійський державний
агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного, 2019

ЗМІСТ

Передмова.....	4
1 ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ МЕТОДИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КУРСУ..	5
2 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ.....	6
Лабораторна робота 1	
Дослідження лінійних кіл постійного струму з одним джерелом живлення.....	6
Лабораторна робота 2	
Дослідження кіл постійного струму з декількома джерелами живлення.....	17
Лабораторна робота 3	
Розрахунок кіл синусоїдального струму.....	24
Лабораторна робота 4	
Дослідження напівпровідникових діодів.....	41
Лабораторна робота 5	
Дослідження біполярних транзисторів.....	49
Лабораторна робота 6	
Дослідження польових транзисторів.....	58
Лабораторна робота 7	
Дослідження ключового режиму роботи транзисторів.....	67
Лабораторна робота 8	
Дослідження імпульсних пристроїв.....	73
Лабораторна робота 9	
Дослідження тригерів.....	88
Лабораторна робота 10	
Дослідження випрямляча однофазного струму.....	93
Лабораторна робота 11	
Дослідження стабілізатора напруги.....	100
Глосарій.....	106
Список літератури.....	112

ПЕРЕДМОВА

Комп'ютерна електроніка та електротехніка відноситься до числа найбільш важливих курсів для підготовки сучасних фахівців зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки». Комп'ютерна електроніка та електротехніка охоплює широкий розділ науки і техніки, який пов'язаний з вивченням і використанням різноманітних фізичних явищ, а також розробкою і застосуванням пристроїв, що основані на протіканні електричного струму.

У даному курсі майбутні спеціалісти вивчають: основні типи приладів і схем, що використовуються в електроніці; принцип дії і особливості лінійних, імпульсних та цифрових пристроїв для обробки сигналів в електронних схемах управління і відображення інформації; принцип дії й особливості випрямлячів та інших перетворювачів електричної енергії, що використовуються в комп'ютерній технології.

Головною метою дослідження запропонованих електронних пристроїв є навчити студентів розуміти їх принцип дії, грамотно експлуатувати їх й формулювати завдання на розробку нових пристроїв.

Приведені завдання для дослідження схем електронних пристроїв на комп'ютері виконуються за допомогою комп'ютерної програми Electronics Work Bench.

Викладений матеріал у навчальному посібнику для виконання лабораторних робіт структурований відповідно до навчального плану зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр».

Основні задачі лабораторного практикуму:

- виконання лабораторних робіт з творчим підходом до лекційного матеріалу;
- ознайомлення з функціональними можливостями імітаційного середовища Electronic Workbench;
- набуття навичок дослідження напівпровідникових приладів з використанням можливостей імітаційного моделювання;
- набуття навичок аналізу роботи електронних пристроїв;
- розширення кругозору у сучасних технологіях розробки та проектування комп'ютерної техніки.

1 ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ МЕТОДИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КУРСУ

Вивчення навчальної дисципліни «Комп'ютерна електроніка та електротехніка» організується за принципами кредитно-модульної системи, що сприяє систематичній роботі студентів над матеріалами курсу. Якість засвоєння навчального матеріалу здійснюється за рейтинговими показниками. Рейтингова система оцінювання дозволяє врахувати, як поточну підготовку студента до аудиторних занять, так і визначити рівень засвоєння навчального матеріалу окремого модуля. Підсумкова (залікова) оцінка виставляється за рейтинговими показниками.

У навчальному посібнику до виконання лабораторних робіт пропонується застосування імітаційного моделювання. Імітаційне комп'ютерне моделювання в навчальному процесі можна розглядати як частину підготовки до лабораторного практикуму. Використання наочного представлення результатів і анімації досліджуваних процесів дозволяє створювати переконливу ілюзію спостереження фізичних процесів.

Кожна робота навчального посібника починається з теоретичних відомостей, з якими обов'язково треба ознайомитись студенту. Студент виконує лабораторну роботу в комп'ютерному класі на персональному комп'ютері. Перед початком наступної теми, починаючи з другої роботи, проводиться експрес-тестування на засвоєння попереднього матеріалу. Тестування з останньої теми приєднується до заліку.

Хід роботи відображується у звіті, якій містить обов'язкові елементи: найменування роботи, тема, мета, виконання лабораторного завдання, схеми і таблиці дослідження пропонованих елементів, висновки по роботі. Для роботи кожний студент отримує індивідуальний варіант завдання.

При проведенні лабораторного заняття слід дотримуватися наступних вимог техніки безпеки: у комп'ютерному класі знаходитися лише у присутності викладача або лаборанта; не вмикати і не вимикати штекер з розетки самостійно; під час лабораторного заняття відкривати тільки вікна тих комп'ютерних програм, які стосуються теми поточної роботи.

2 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ЛІНІЙНИХ КІЛ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З ОДНИМ ДЖЕРЕЛОМ ЖИВЛЕННЯ

Мета роботи: Закріплення та експериментальне підтвердження теоретичного матеріалу по розрахунку лінійних колах постійного струму з одним джерелом живлення.

1.1 Теоретичні відомості

Електричне коло – це сукупність пристроїв, що забезпечують можливість створення електричного струму.

Електричне коло складається з основних трьох елементів:

- джерела електричної енергії;
- приймача електричної енергії;
- сполучних проводів.

Джерело електричної енергії - це пристрій, в якому енергія хімічна, теплова, променева або механічна перетворюється в електричну. Залежно від виду перетворюваної енергії розрізняють типи джерел: гальванічні елементи і акумулятори; термоелементи; фотоелементи; генератори.

Приймач електричної енергії - це пристрій, в якому електрична енергія перетворюється на енергію іншого вигляду: світлову, теплову, механічну тощо.

Принципова електрична схема кола – це графічне і літерне позначення окремих елементів кола, з'єднаних між собою.

Напруга - різниця потенціалів на ділянці кола. Літерне позначення напруги – U , одиниця виміру – 1 вольт (В).

За позитивний напрям напруги між двома точками електричного кола приймають напрям від точки з більшим потенціалом до точки з меншим потенціалом.

Електричним струмом називають упорядкований (спрямований) рух вільних зарядів під дією сил електричного поля. Одиниця сили струму -1 ампер (А). У міжнародній системі одиниць (СІ) ампер приймають за основну електричну одиницю.

За позитивний напрям електричного струму прийнято умовно вважати напрям руху позитивних зарядів - від плюса джерела до мінуса.

Закон Ома для ділянки кола. Для багатьох приймачів струм пропорційний напрузі:

$$I = \frac{U}{R}, \quad (1.1)$$

де R - опір приймача.

Перший закон Кірхгофа (закон для струмів): алгебраїчна сума струмів у вузлі дорівнює нулю:

$$\Sigma I = 0. \quad (1.2)$$

Другий закон Кірхгофа (закон для напруг): у контурі алгебраїчна сума електрорушійних сил (ЕРС) рівна алгебраїчній сумі падінь напруг:

$$\Sigma E = \Sigma RI. \quad (1.3)$$

Розрізняються задачі, коли приймачі сполучені між собою послідовно (рисунок 1.1), паралельно (рисунок 1.2) або змішано (рисунок 1.3). При цьому відомі напруга на вході і опори приймачів.

1) Послідовне з'єднання (рисунок 1.1).

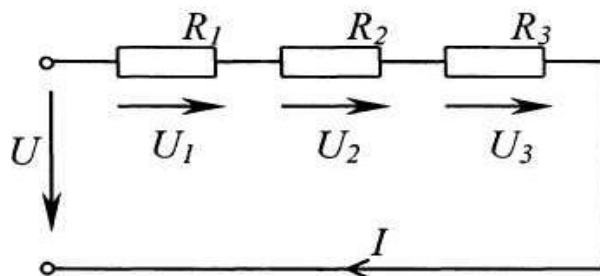


Рисунок 1.1 – Схема послідовного з'єднання

Для послідовного з'єднання приймачів (рис. 1.1, а): вхідна напруга U по другому закону Кірхгофа рівна сумі напруг на окремих ділянках (опорах):

$$U = U_1 + U_2 + U_3. \quad (1.4)$$

Застосувавши для кожної ділянки закон Ома, запишемо це рівняння у вигляді:

$$U = R_1 I + R_2 I + R_3 I = (R_1 + R_2 + R_3) I = R_{екв} I, \quad (1.5)$$

де $R_{екв} = R_1 + R_2 + R_3$ - еквівалентний опір.

Струм в ланцюзі $I = U/R$. Якщо сполучені послідовно n приймачів, то їх еквівалентний опір дорівнює сумі окремих опорів.

2) Паралельне з'єднання (рисунок 1.2). Всі опори приєднані до двох клем (вузлів) і знаходяться під однією напругою.

За першим законом Кірхгофа $I = I_1 + I_2 + I_3$. Застосовуючи для кожної гілки закон Ома, запишемо:

$$I = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \cdot U = gU, \quad (1.6)$$

де g - еквівалентна провідність.

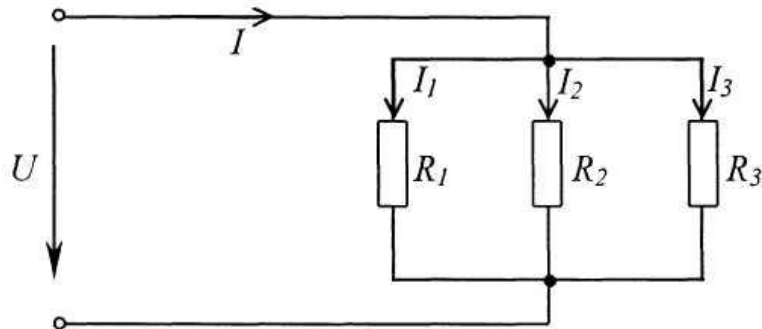


Рисунок 1.2 – Схема паралельного з'єднання

Отже, для паралельного кола: $I = gU$.

Якщо з'єднано паралельно n приймачів, то їх еквівалентна провідність дорівнює сумі провідностей гілок:

$$g = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = g_1 + g_2 + g_3. \quad (1.7)$$

Для двох паралельно з'єднаних приймачів:

$$g = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}, \quad (1.8)$$

$$R_{екв} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}, \quad (1.9)$$

де $R_{екв}$ – еквівалентний опір.

Паралельно включені приймачі розраховані на однакову напругу. Включення або відключення одного з них не впливає на роботу решти приймачів.

3) Змішане з'єднання (рисунок 1.3). Частина приймачів з'єднана послідовно, частина - паралельно. Еквівалентний опір такого кола дорівнює сумі опорів послідовно включених ділянок:

$$R_{екв} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + R_3. \quad (1.10)$$

Провідність такого кола:

$$g = \sum_{i=1}^n g_i. \quad (1.11)$$

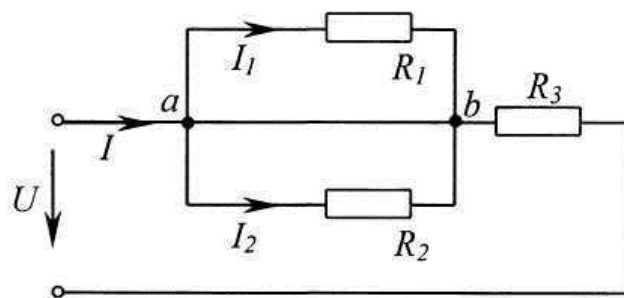


Рисунок 1.3 – Схема змішаного з'єднання

Струм в колі $I=U/R$. Напруги і струми окремих гілок визначаються за формулами для послідовного і паралельного з'єднання.

Приклад 1.1. Для схеми (рис. 1.3) дано напругу $U=24\text{ В}$ і опори $R_1=20\text{ Ом}$; $R_2=30\text{ Ом}$; $R_3=12\text{ Ом}$. Обчислити струми.

Рішення. Еквівалентні опори:

$$R_{ab} = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$$

паралельної ділянки:

$$R_{ab} = 12\text{ Ом}$$

всього кола:

$$R_{екв} = R_{ab} + R_3,$$

$$R_{екв} = 12 + 12 = 24\text{ Ом}.$$

Струм нерозгалуженої ділянки:

$$I = 24 / 24 = 1A.$$

Тепер можна обчислити напругу на паралельній ділянці:

$$U_{ab} = R_{ab}I,$$

$$U_{ab} = 12 \cdot 1 = 12 B$$

і струми гілок:

$$I_1 = \frac{U_{ab}}{R_1},$$

$$I_1 = \frac{12}{10} = 0,6 A,$$

$$I_2 = \frac{U_{ab}}{R_{21}},$$

$$I_2 = \frac{12}{30} = 0,4 A.$$

Перевірка: перший закон Кірхгофа для вузла а: $I = I_1 + I_2$ виконується $0,6 + 0,4 = 1A$.

1.2 Завдання для самостійної підготовки

1. Вивчити теоретичний матеріал за темою 1 [2, с.12-15; 4, с.160-165].
2. Привести визначення електричного струму.
3. Привести визначення електричного кола.
4. Привести закон Ома для ділянки кола.
5. Виконати наступні розрахунки:
 - а) для кола постійного струму з послідовним з'єднанням резисторів (рисунок 1.1) визначити величину струму у колі та величини напруги на кожному резисторі;
 - б) для кола постійного струму з паралельним з'єднанням резисторів (рисунок 1.2) визначити величини струмів у гілках та величину загального струму кола;

в) для кола постійного струму зі змішаним з'єднанням резисторів (рисунок 1.3) визначити величини струмів в загальному колі і гілках схеми та величини напруги на резисторах.

Варіанти завдання наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Варіанти завдань

<i>№вар</i>	<i>E, В</i>	<i>R1, Ом</i>	<i>R2, Ом</i>	<i>R3, Ом</i>	<i>№вар</i>	<i>E, В</i>	<i>R1, Ом</i>	<i>R2, Ом</i>	<i>R3, Ом</i>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	10	1	12	8	31	14	16	12	16
2	11	2	13	9	32	15	17	13	17
3	12	3	14	10	33	16	18	14	18
4	13	4	15	11	34	17	19	15	19
5	14	5	16	12	35	18	20	16	8
6	15	6	17	13	36	19	10	17	9
7	16	7	18	14	37	20	11	18	10
8	17	8	19	15	38	21	12	19	11
9	18	9	20	16	39	22	13	20	12
10	19	10	8	17	40	23	14	8	13
11	20	11	9	18	41	24	15	9	14
12	21	12	10	19	42	25	16	10	15
13	22	13	11	8	43	26	17	11	16
14	23	14	12	9	44	27	18	12	17
15	24	15	13	10	45	28	19	13	18
16	25	16	14	11	46	29	1	14	19
17	26	17	15	12	47	30	2	15	8
18	27	18	16	13	48	31	3	16	9
19	28	19	17	14	49	32	4	17	10
20	29	20	18	15	50	33	5	18	11
21	30	10	19	16	51	34	6	19	12
22	31	11	8	17	52	35	7	8	13
23	32	12	9	18	53	36	8	9	16
24	33	13	10	19	54	37	9	10	17
25	34	14	11	8	55	38	10	11	18
26	35	15	12	9	56	39	11	12	19
27	36	16	13	10	57	14	12	13	20
28	37	17	14	11	58	15	13	14	10
29	38	18	15	12	59	16	14	15	11
30	39	19	16	13	60	17	15	16	12

1.3 Порядок виконання роботи

1. Запустити програму Electronic Workbench.
2. Набрати схему дослідження кола постійного струму з послідовним з'єднанням резисторів (рисунок 1.4).

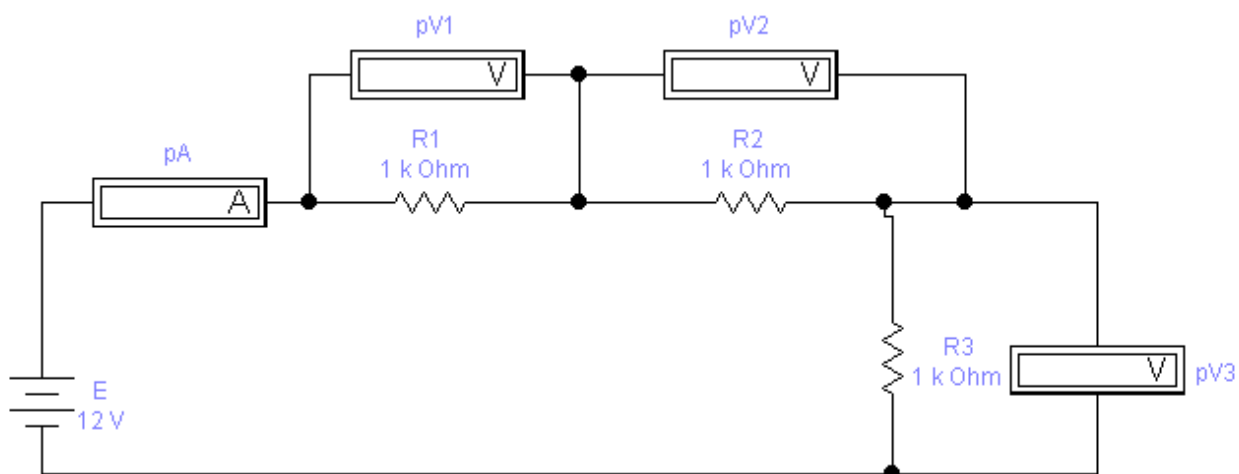


Рисунок 1.4 - Схема дослідження кола постійного струму з послідовним з'єднанням резисторів

3. Встановити задані параметри елементів схеми відповідно до індивідуального варіанту (таблиця 1.4).
4. Включити схему і записати показання приладів у таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 – Результати дослідження кола постійного струму з послідовним з'єднанням резисторів

Умова проведення експерименту	I, A	U_1, B	U_2, B	U_3, B
Кнопка «Вкл/Викл» включена				

5. Набрати схему дослідження кола постійного струму з паралельним з'єднанням резисторів (рисунок 1.5).

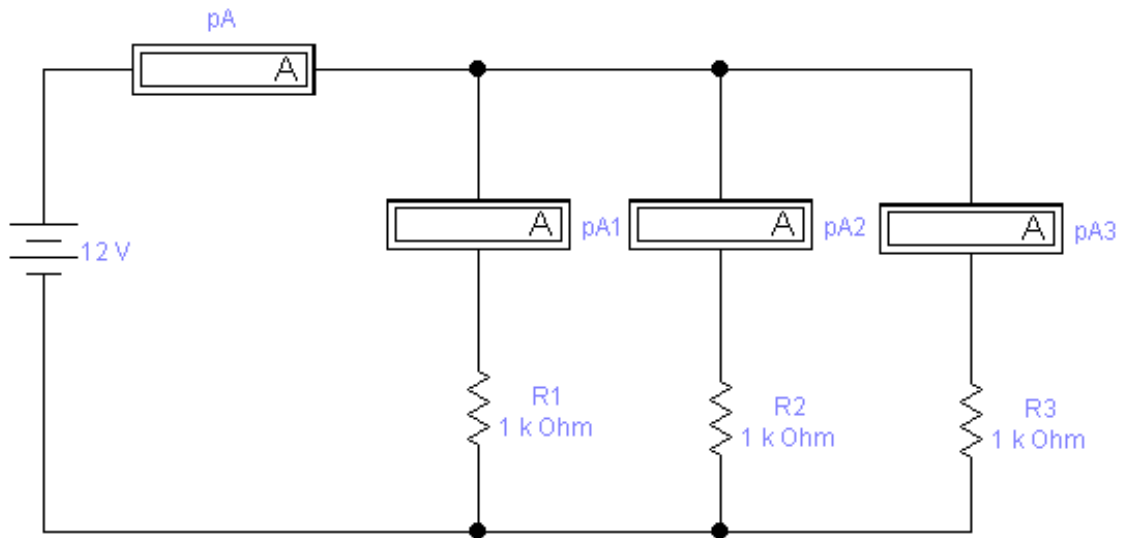


Рисунок 1.5 - Схема дослідження кола постійного струму з паралельним з'єднанням резисторів

6. Встановити задані параметри елементів схеми відповідно до індивідуального варіанту (таблиця 1.4).
7. Включити схему і записати показання приладів у таблицю 1.3.

Таблиця 1.3 – Результати дослідження кола постійного струму з паралельним з'єднанням резисторів

Умова проведення експерименту	I, A	I_1, A	I_2, A	I_3, A
Кнопка «Вкл/Викл» включена				

8. Набрати схему дослідження кола постійного струму зі змішаним з'єднанням резисторів (рисунок 1.6).
9. Встановити задані параметри елементів схеми відповідно до індивідуального варіанту (таблиця 1.4).
10. Включити схему і записати показання приладів у таблицю 1.4.

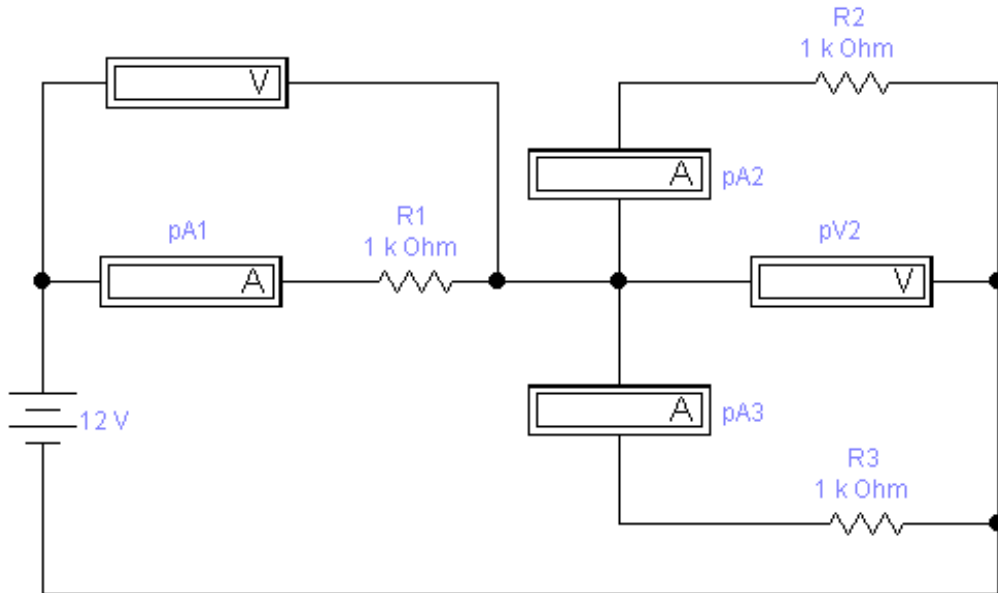


Рисунок 1.6 - Схема дослідження кола постійного струму зі змішаним з'єднанням резисторів

Таблиця 1.4 – Результати дослідження кола постійного струму зі змішаним з'єднанням резисторів

Умова проведення експерименту	I_1, A	U_1, B	I_2, A	I_3, A	U_2, B
Кнопка «Вкл/Викл» включена					

11. Виконати порівняння результатів, отриманих розрахунковим способом, з результатами, отриманими експериментальним способом.

1.4 Контрольні запитання

1. Що називається електричним струмом?
2. Приведіть визначення джерела електричної енергії?
3. Приведіть визначення приймача електричної енергії?
4. З яких основних елементів складається електричне коло?
5. В яких одиницях вимірюється сила електричного струму?
6. Що приймається за позитивний напрям електричного струму?
7. Що називається напругою?

8. В яких одиницях вимірюється напруга?
9. Що приймається за позитивний напрям напруги?
10. Наведіть закон Ома для ділянки кола.
11. Наведіть схему кола постійного струму з послідовним з'єднанням приймачів електричної енергії і алгоритм її розрахунку.
12. Наведіть схему кола постійного струму з паралельним з'єднанням приймачів електричної енергії і алгоритм її розрахунку.
13. Наведіть схему кола постійного струму зі змішаним з'єднанням приймачів електричної енергії і алгоритм її розрахунку.

1.5 Тестові завдання

Завдання № 1. За позитивний напрям електрорушійної сили приймають напрям ...

- 1) від негативного полюса джерела до позитивного;
- 2) від позитивного полюса джерела до негативного;
- 3) від негативного полюса приймача до позитивного;
- 4) немає правильної відповіді.

Завдання № 2. За позитивний напрям напруги між двома точками електричного кола приймають напрям ...

- 1) від точки з більшим потенціалом до точки з меншим потенціалом;
- 2) від точки з меншим потенціалом до точки з більшим потенціалом;
- 3) немає правильної відповіді.

Завдання № 3. Що називається упорядкованим (спрямованим) рухом вільних зарядів під дією сил електричного поля?

- 1) напруга;
- 2) електрорушійна сила;
- 3) електричний струм;
- 4) енергія.

Завдання № 4. Це здатність тіла здійснювати роботу...

- 1) напруга;
- 2) електрорушійна сила;
- 3) електричний струм;
- 4) енергія.

Завдання № 5. Що таке джерело електричної енергії?

- 1) фізична величина, що показує, у скільки разів напруга поля, в якому знаходиться діелектрик, більша ніж напруга поля в діелектрику;
- 2) особливий вид матерії, що оточує зарядами тіла і є посередником у їх взаємодії;

- 3) пристрій, в якому енергія хімічна, теплова, променева або механічна перетворюється в електричну;
- 4) пристрій, в якому електрична енергія перетворюється на енергію іншого вигляду.

Завдання № 6. Із скількох основних елементів складається електричне коло?

- 1) 3;
- 2) 4;
- 3) 6;
- 4) 8.

Завдання № 7. Що таке приймач електричної енергії?

- 1) пристрій, що дозволяє у малій ділянці простору накопичити великий заряд;
- 2) пристрій, в якому енергія хімічна, теплова, променева або механічна перетворюється в електричну;
- 3) фізична величина, що показує, у скільки разів напруга поля, в якому знаходиться діелектрик, більша ніж напруга поля в діелектрику;
- 4) немає правильної відповіді.

Завдання № 8. Яка одиниця вимірювання опору?

- 1) Вт;
- 2) Вольт;
- 3) Ом;
- 4) Ампер.

Завдання № 9. Яка одиниця вимірювання сили струму?

- 1) Кулон;
- 2) Вольт;
- 3) Ампер;
- 4) Ом.

Завдання № 10. Яка одиниця вимірювання напруги?

- 1) Кулон;
- 2) Вольт;
- 3) Ампер;
- 4) Ом.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ЛІНІЙНИХ КІЛ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З ДЕКІЛЬКОМА ДЖЕРЕЛАМИ ЖИВЛЕННЯ

Мета роботи: Закріплення та експериментальне підтвердження теоретичного матеріалу по лінійних колах постійного струму з декількома джерелами.

2.1 Теоретичні відомості

Розгалужене коло містить ділянки (гілки) з різними струмами (рис. 2.1). Місце з'єднання трьох і більше проводів називають **вузлом** (точки a і b). **Гілка** - це ділянка кола, яка розташована між двома вузлами. При обході по гілках кола можна одержати **контур** (осередок) - замкнутий контур, який створює нерозгалужене коло (наприклад, $abcd$ і $abfha$).

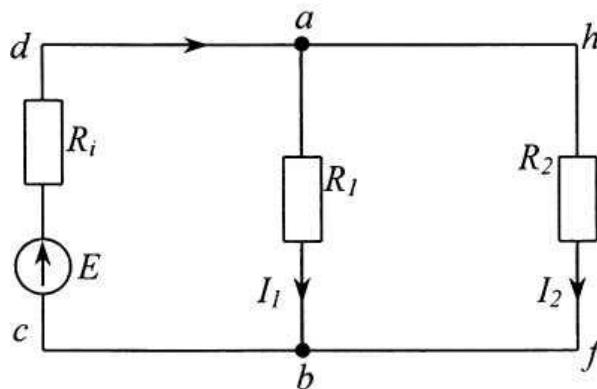


Рисунок 2.1 - Схема розгалуженого електричного кола

Перший закон Кірхгофа (закон для струмів): алгебраїчна сума струмів у вузлі дорівнює нулю:

$$\sum I = 0. \quad (2.1)$$

Умовно приймають, що сили струмів, які входять у вузол, беруться зі знаком «+», а сили струмів, які виходять з вузла, беруться зі знаком «-».

Другий закон Кірхгофа (закон для напруг): у контурі алгебраїчна сума електрорушійних сил (ЕРС) рівна алгебраїчній сумі падінь напруг:

$$\sum E = \sum RI. \quad (2.2)$$

Умовно приймають, що ЕРС та сили струмів беруться зі знаком «+», якщо їх напрями збігаються з довільно обраним напрямом обходу контуру; якщо не збігаються - зі знаком «-».

Розглянемо схему, показану на рис. 2.2. Для неї задані ерс E_1, E_2 , опори R_1, R_2, R_3 . Визначити струми в гілках I_1, I_2, I_3 .

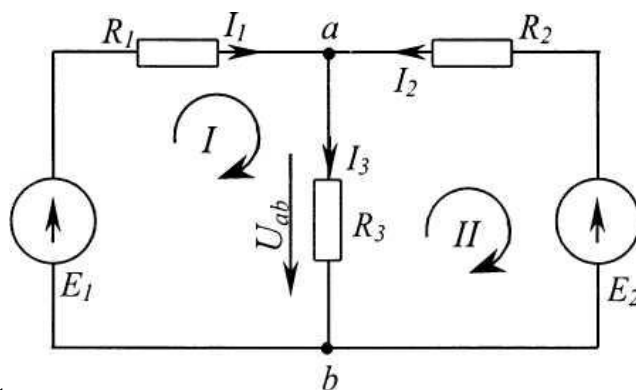


Рисунок 2.2 - Схема розгалуженого кола з двома джерелами живлення

Цю задачу можна вирішити декількома методами: методом рівнянь Кірхгофа; методом контурних струмів; методом накладення; методом вузлових потенціалів.

Метод рівнянь Кірхгофа. Складаємо систему рівнянь по законах Кірхгофа. Число рівнянь повинне бути рівним числу невідомих.

Порядок розрахунку:

а) на схемі довільно показуємо напрями струмів гілок (по умові вони невідомі) і складаємо рівняння за першим законом Кірхгофа (для вузлів): записуємо всі струми, що приходять до вузла із знаком «+», а що виходять з вузла - із знаком «-», і суму їх прирівнюємо нулю. Для схеми, зображеної на рис. 2.2: $I_1 + I_2 - I_3 = 0$.

Щоб рівняння були незалежними, число їх повинне бути на одне менше, ніж кількість в схемі. У нашому прикладі два вузли, значить, по першому закону можна записати тільки одне рівняння. Бракуючі рівняння складемо за другим законом Кірхгофа;

б) показуємо на схемі напрям обходу контурів (наприклад, за годинниковою стрілкою). Контури обираємо так, щоб в кожен новий контур входила хоча б одна гілка, не врахована в попередніх контурах. Лише при цій умові рівняння Кірхгофа будуть взаємно незалежні.

Складаємо рівняння за другим законом Кірхгофа: записуємо всі ЕРС в лівій частині рівняння із знаком «+», якщо напрям ЕРС співпадає з вибраним напрямом обходу контуру, із знаком «-», якщо ЕРС направлена протилежно обходу контуру. Всі падіння напруг на опорах контуру записуємо в правій частині рівняння: із знаком «+», якщо напрям падіння напруги співпадає з напрямом обходу контуру, із знаком «-», якщо напрям падіння напруги протилежний обходу контуру (за напрям падіння напруги приймаємо напрям струму в опорі).

Для схеми, зображеної на рис. 2.2:

$$\text{контур I: } E_1 = R_1 I_1 + R_3 I_3;$$

$$\text{контур II: } -E_2 = -R_3 I_3 - R_2 I_2.$$

Вирішуємо одержані рівняння і знаходимо значення сил струмів I_1, I_2, I_3 . Якщо якийсь струм одержали з негативним знаком, значить його напрям

протилежний вказаному на схемі.

Робимо перевірку розрахунку: отримані значення сил струмів підставляємо у систему рівнянь, складену за законами Кірхгофа.

Приклад. Для схеми, зображеної на рис. 2.2, відомі величини ЕРС джерел живлення $E_1=10\text{ В}$; $E_2=5\text{ В}$; величини опорів резисторів $R_1=1\text{ Ом}$; $R_2=12\text{ Ом}$; $R_3=8\text{ Ом}$.

Відомі величини підставляємо у систему рівнянь, складену за другим законом Кірхгофа:

$$\text{контур I: } 10 = I_1 + 8I_3;$$

$$\text{контур II: } -5 = -8I_3 - 12I_2.$$

Вирішуємо одержані рівняння і знаходимо значення сил струмів: $I_1=1,38\text{ А}$; $I_2=-0,30\text{ А}$; $I_3=1,08\text{ А}$.

Отримані значення сил струмів підставляємо у систему рівнянь, складену за першим законом Кірхгофа: $1,38-0,30-1,08=0$.

Розрахунок виконано вірно.

Метод контурних струмів. При розрахунку по цьому методу використовують так звані контурні струми. Це умовні, розрахункові струми. Вважаємо, що вони замикаються через елементи тільки даного контуру (рис. 2.3). На відміну від струмів гілок позначатимемо їх двома індексами: I_{11} , I_{22} .

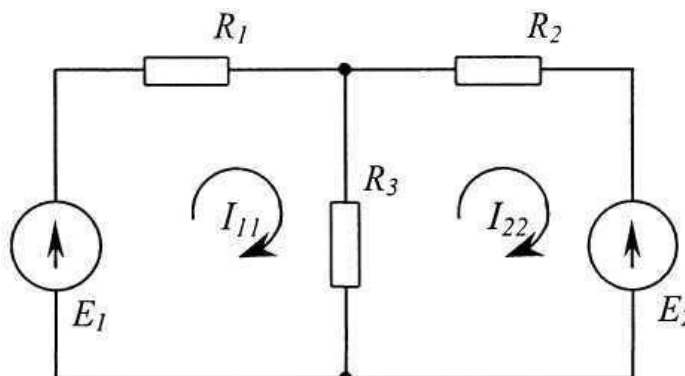


Рисунок 2.3 - Схема до розрахунку розгалуженого кола методом контурних струмів

Послідовність розрахунку:

- у всіх незалежних контурах намічаємо напрям контурних струмів;
- для кожного з контурів складаємо рівняння по другому закону Кірхгофа; при цьому враховуємо і інші контурні струми, якщо вони замикаються на опорах даного контуру.

Для схеми, зображеної на рис. 2.3:

$$\text{контур I: } E_1 = (R_1 + R_3) I_{11} - R_3 I_{22},$$

$$\text{контур II: } -E_2 = (R_2 + R_3) I_{22} - R_3 I_{11};$$

в) вирішуємо рівняння і знаходимо контурні струми I_{11} , I_{22} ;

г) визначаємо дійсні струми гілок таким чином: струм гілки, по якій протікає тільки один контурний струм, дорівнює відповідному контурному струму: $I_1 = I_{11}$, $I_2 = I_{22}$. Струм гілки, через яку замикається декілька контурних струмів, дорівнює їх сумі алгебри: $I_3 = I_{11} - I_{22}$.

Метод контурних струмів дозволяє обійтися меншим числом рівнянь в порівнянні з методом рівнянь Кірхгофа.

Метод накладення. Розрахунок заснований на принципі накладення: струм в будь-якій гілці дорівнює сумі алгебри струмів, що викликаються кожною з ЕРС схеми окремо.

Принцип розрахунку:

а) у ланцюзі по черзі залишаємо тільки по одному джерелу живлення. Враховуємо внутрішні опори джерел, що виключаються. Замість однієї схеми, представленої на рис. 2.3, розраховуємо дві схеми (рис. 2.4). У загальному випадку стільки схем, скільки ЕРС міститься в колі;

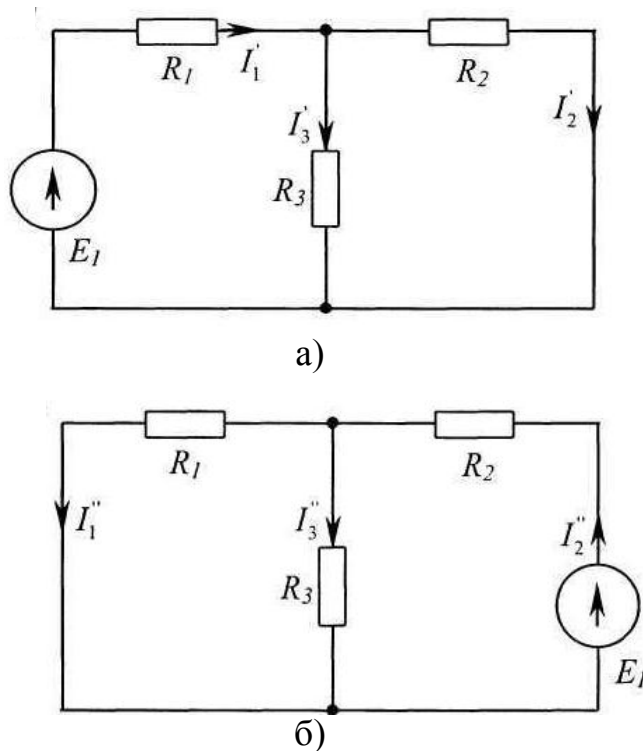


Рисунок 2.4 - Схема до розрахунку розгалуженого кола методом накладення

б) визначаємо еквівалентний опір кожної розрахункової схеми і за законом Ома обчислюємо часткові (від одного джерела) струми всіх гілок: для схеми рис. 2.4,а I_1' , I_2' , I_3' і для схеми рис. 2.4,б - I_1'' , I_2'' , I_3'' ; визначаємо струми гілок, складаючи відповідні часткові струми розрахункових схем з урахуванням їх напрямів. Напрями струмів в першій схемі вважаємо позитивними:

$$I = I' - I'', \quad I_2 = I_2' - I_2'', \quad I_3 = I_3' - I_3''.$$

2.2 Завдання для самостійної підготовки

1. Вивчити теоретичний матеріал за темою 2 [4, с.165-168, 9, с.40-42].
2. Привести перший і другий закони Кірхгофа.
3. Які існують методи розрахунку розгалужених кіл постійного струму з декількома джерелами живлення?
4. Виконати наступні розрахунки: для кола постійного струму з декількома джерелами живлення (рисунок 2.2) визначити струми у гілках методом рівнянь Кірхгофа. Величини ЕРС джерела живлення E_1 та опорів резисторів задані в таблиці 1.4 лабораторної роботи №1, прийняти $E_2 = 5 \text{ В}$.

2.3 Порядок виконання роботи

1. Запустити програму Electronic Workbench. Набрати дослідну схему (рисунок 2.5).
2. Встановити задані параметри елементів схеми згідно варіанту (таблиця 1.4), прийняти $E_2 = 5 \text{ В}$, $E_2 = 10 \text{ В}$.

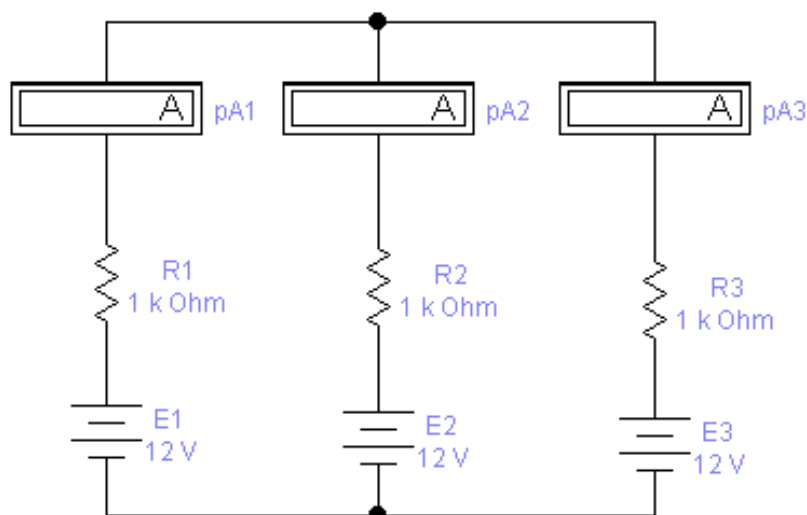


Рисунок 2.3 – Схема дослідження кола постійного струму з декількома джерелами живлення

3. Включити схему і записати показання приладів у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати дослідження кола постійного струму з декількома джерелами живлення

Умова проведення експерименту	$I_1, \text{ А}$	$I_2, \text{ А}$	$I_3, \text{ А}$
Кнопка «Вкл/Викл» включена			

4. Підтвердити за допомогою експериментальних даних перший закон Кірхгофа.

2.4 Контрольні запитання

1. Що називається гілкою? Що таке вузол розгалуженого електричного кола? Що називається контуром?
2. Приведіть перший закон Кірхгофа. Запишіть математично перший закон Кірхгофа.
3. Наведіть другий закон Кірхгофа. Запишіть математично другий закон Кірхгофа.
4. Опишіть порядок розрахунку електричного кола методом рівнянь Кірхгофа.
5. Опишіть порядок розрахунку електричного кола методом контурних струмів.
6. Опишіть порядок розрахунку електричного кола методом накладення.

2.5 Тестові завдання

Завдання № 1. Як називається ділянка кола, яка розташована між двома вузлами?

- 1) вузол;
- 2) пучок;
- 3) контур;
- 4) гілка.

Завдання № 2. Як називається місце з'єднання трьох і більше проводів?

- 1) вузол;
- 2) контур;
- 3) гілка;
- 4) осередок.

Завдання № 3. Вкажіть перший закон Кіргофа:

- 1) алгебраїчна сума струмів у вузлі дорівнює нулю;
- 2) для багатьох приймачів струм пропорційний напрузі;
- 3) сила струму в нерозгалуженому електричному колі прямо пропорційна ЕРС і обернено пропорційна опору кола;
- 4) на всіх ділянках нерозгалуженого кола струм має однакове значення.

Завдання № 4. Вкажіть другий закон Кіргофа:

на всіх ділянках нерозгалуженого кола струм має однакове значення;

- 1) сила струму в нерозгалуженому електричному колі прямо пропорційна ЕРС і обернено пропорційна опору кола;

- 2) для багатьох приймачів струм пропорційний напрузі;
- 3) немає правильної відповіді.

Завдання № 5. Скільки джерел повинно залишатися в схемі при розрахунку кола методом накладення?

- 1) усі;
- 2) два;
- 3) ні одного;
- 4) немає правильної відповіді.

Завдання № 6. Для якого закону справедливе це твердження: "сума струмів у вузлі дорівнює нулю"?

- 1) перший закон Кірхгофа;
- 2) другий закон Кірхгофа;
- 3) третій закон Кірхгофа;
- 4) закон Ома.

Завдання № 7 Як називається замкнута ділянка електричного кола?

- 1) вузол;
- 2) гілка;
- 3) точка;
- 4) контур.

Завдання № 8. Яке число рівнянь повинно бути при розрахунку кола методом Кірхгофа?

- 1) дорівнювати числу невідомих;
- 2) два;
- 3) менше на одне від числа невідомих

Завдання № 9. Як записуються сили струмів у рівняння за першим законом Кірхгофа, що входять до вузла?

- 1) зі знаком «+»;
- 2) зі знаком «-»;
- 3) довільно.

Завдання № 10. Як записуються сили струмів у рівняння за першим законом Кірхгофа, що виходять до вузла?

- 1) зі знаком «+»;
- 2) зі знаком «-»;
- 3) довільно.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3

РОЗРАХУНОК КІЛ СИНУСОЇДНОГО СТРУМУ

Мета роботи: Закріплення та експериментальне підтвердження теоретичного матеріалу по колах синусоїдного струму.

3.1 Теоретичні відомості

Електрична енергія виробляється, розподіляється і споживається головним чином у вигляді енергії змінного струму. Це пояснюється тим, що змінний струм високої напруги легко трансформувати (перетворити) в змінний струм низької напруги і назад.

Змінний струм - струм певної форми, що періодично змінюється в часі (рисунок 3.1).

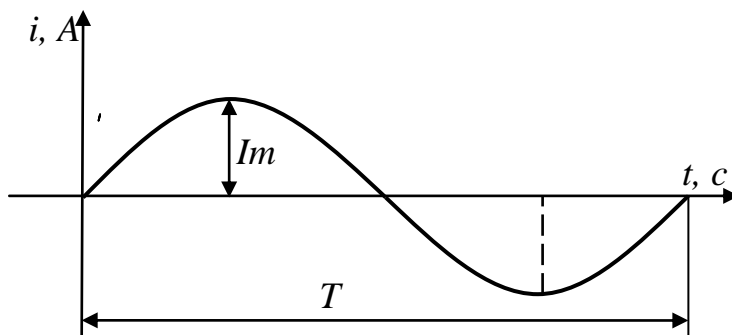


Рисунок 3.1 – Графічне зображення змінного синусоїдного струму

Якщо крива зміни струму описується синусоїдою або косинусоїдою, то такий струм називають синусоїдним струмом.

Основні поняття синусоїдної функції

Період T - інтервал часу, протягом якого функція проходить повний цикл своєї зміни (вимірюється в секундах).

Частота $f = 1/T$ - величина, зворотна періоду. Чисельно вона рівна числу періодів в одну секунду. Одиниця вимірювання - герц (Гц), розмірність $1/c$.

Миттєві значення - значення струму, напруги, ЕРС, потужності у будь-який момент часу. Очевидно, що впродовж одного періоду можна узяти незліченну безліч миттєвих значень. Миттєві значення позначаються рядковими літерами: u , i , e , p . Основна особливість миттєвого значення у тому, що впродовж нескінченно малого проміжку часу t його можна вважати величиною постійною.

Амплітудне значення (амплітуда) - найбільше (максимальне) миттєве значення синусоїдального струму, напруги, ЕРС, потужності. Позначається прописною літерою з індексом m : I_m, U_m, E_m, P_m .

Кут, що визначає миттєве значення синусоїдної функції, одержав назву фазового кута, або фази. Фазовий кут за час одного періоду T може приймати будь-які значення від 0 до n радіан.

Реальна індуктивна котушка у колі змінного синусоїдного струму

Включимо котушку в коло змінного струму. Генератор приймемо ідеальним, опорами з'єднувальних дротів зневажимо. У котушці спостерігаються наступні фізичні процеси: під дією синусоїдальної ЕРС джерела в котушці протікає струм i ; спостерігається теплова дія струму і котушка нагрівається; змінний синусоїдний струм створює змінне магнітне поле, яке пронизує цю ж котушку – спостерігається явище електромагнітної індукції і в котушці наводиться ЕРС самоіндукції.

На рисунку 3.2, а наведено розрахункову схему кола змінного струму з реальною котушкою, яке складається з послідовно з'єднаних резистивного та індуктивного елементів, по якому проходить синусоїдний струм:

$$i = I_m \sin \omega t. \quad (3.1)$$

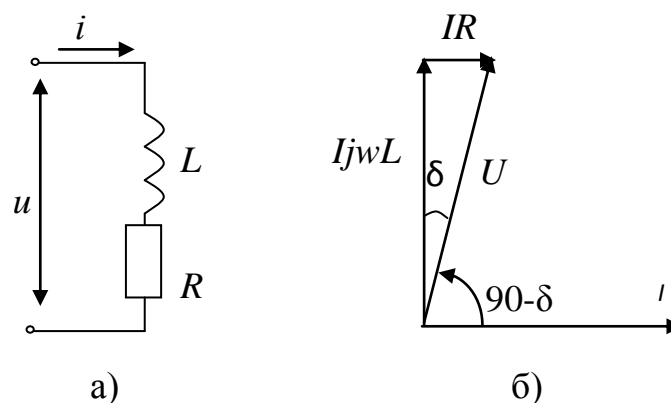


Рисунок 3.2 - Схема кола котушки

Діючий струм однаковий на всіх елементах, так як вони з'єднані послідовно. Вияснимо, якою буде напруга, прикладена до кола, яка розподіляється на двох опорах:

1. спад напруги на активному опорі збігається за фазою зі струмом і його миттєве значення буде:

$$u_R = I_m R \sin \omega t = U_{mR} \sin \omega t. \quad (3.2)$$

Спад напруги на активному опорі називають активною напругою.

Діюче значення активної напруги:

$$U_R = IR, \quad (3.3)$$

2. спад напруги на індуктивному опорі випереджає за фазою струм на кут 90° і його миттєве значення:

$$u_L = I_m L \sin(\omega t + 90^\circ) = U_{mL} \sin(\omega t + 90^\circ). \quad (3.4)$$

Спад напруги на активному опорі називають реактивною напругою.

Діюче значення реактивної напруги:

$$U_L = I\omega L = IX_L. \quad (3.5)$$

За II законом Кірхгофа миттєве значення повної напруги (на затискачах кола) у будь-який час дорівнює геометричній сумі падінь напруг на окремих елементах:

$$u = u_R + u_L = I_m R \sin \omega t + I_m \omega L \sin(\omega t + 90^\circ). \quad (3.6)$$

Побудуємо векторну діаграму струму та напруг (рис. 3.2, б). для побудови векторної діаграми використаємо діючі значення струму і напруг. За вихідний вектор приймаємо вектор струму, який збігається з позитивним напрямком вісі абсцис при початковій фазі нуль. Вектор активної напруги відкладаємо за напрямком вектора струму, а вектор індуктивної напруги проводимо під кутом $+90^\circ$ до вектора струму (проти годинникової стрілки). За правилом паралелограма отримуємо вектор діючого значення повної напруги U . Таким чином, вектори U_R , U_L і U утворюють прямокутний трикутник, який називається трикутником напруг.

З векторної діаграми видно, що напруга на затискачах кола, яке розглядається, випереджає за фазою струм на кут $\varphi < 90^\circ$:

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi), \quad (3.7)$$

де φ – зсув фаз між прикладеною напругою та струмом:

$$\varphi = \psi_u - \psi_i.$$

Зсув за фазою струму відносно напруги на затискачах котушки пояснюються виникненням ЕРС самоіндукції, яка відстає за фазою від струму на кут 90° .

Індуктивна складова напруги дорівнює їй за величиною, але протилежна за напрямком, тобто випереджає струм на кут 90^0 . Чим більше реактивна напруга при зрівнянні з активною, тим більше кут зсуву фаз між напругою на затискачах кола і струмом.

Трикутник опорів можна отримати, якщо усі сторони трикутника напруг зменшити у I разів (рис. 3.3, а). Опори кола постійні величини, тому їх неможна зображати векторами. Якщо помножити сторони трикутника напруг на діюче значення струму у колі I , то отримаємо подібний трикутник потужностей (рис. 3.3, б).

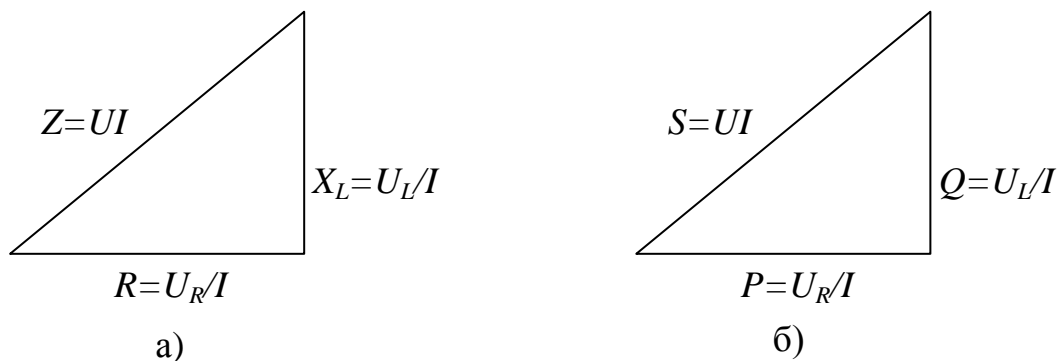


Рисунок 3.3 – Трикутник опорів (а) і потужностей (б) у колі з послідовним з'єднанням резистивного та індуктивного елементів

Діюче значення прикладеної напруги і повний опір кола, як видно з трикутників, будуть:

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2},$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}.$$
(3.8)

Середня потужність в активному опорі – це активна потужність усього кола, яке розглядається, тобто активна потужність кола P витрачається лише на резистивному елементі:

$$P = UI \cos \varphi = I^2 R = \frac{U^2}{R}.$$
(3.9)

Реактивна індуктивна потужність кола Q_L є виміром величини обміну енергією між джерелом і магнітним полем котушки:

$$Q_L = UI \sin \varphi = I^2 X_L.$$
(3.10)

Повна потужність кола:

$$S = \sqrt{P^2 + Q_L^2} = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{Q_L}{\sin \varphi}. \quad (3.11)$$

Реальний конденсатор у колі змінного синусоїдного струму

Реальний конденсатор, так само як і котушку, на розрахунковій схемі можна подати послідовним з'єднанням двох ділянок з активним R і ємнісним X_C опорамі (рис. 3.4, а).

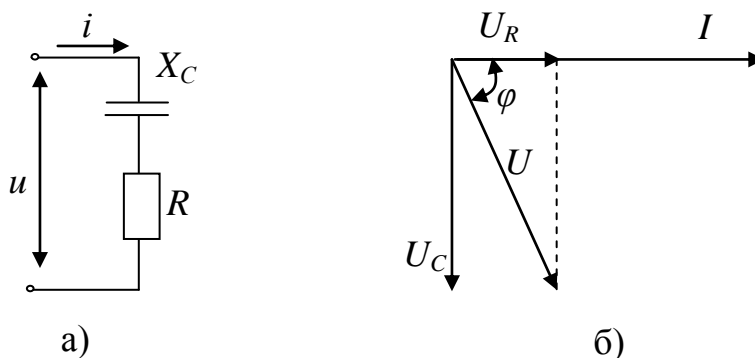


Рисунок 3.4 – Схема реального конденсатора

Діючий струм однаковий на всіх елементах, так як вони з'єднані послідовно. Вияснимо, якою буде напруга, прикладена до кола, яка розходується на двох опорах:

- спад напруги на активному опорі збігається за фазою зі струмом і його миттєве значення буде:

$$u_R = I_m R \sin \omega t = U_{mR} \sin \omega t. \quad (3.12)$$

Спад напруги на активному опорі називають активною напругою.

Діюче значення активної напруги:

$$U_R = IR, \quad (3.13)$$

- спад напруги на ємнісному опорі відстає за фазою від струму на кут 90° і його миттєве значення:

$$u_C = I_m \frac{1}{\omega C} \sin(\omega t - 90^\circ) = U_{mC} \sin(\omega t - 90^\circ). \quad (3.14)$$

Спад напруги на реактивному опорі називають реактивною напругою.
Діюче значення реактивної напруги:

$$U_C = I \frac{1}{\omega C} = IX_C. \quad (3.15)$$

За II законом Кірхгофа миттєве значення повної напруги (на затискачах кола) у будь-який час дорівнює геометричній сумі падінь напруги на окремих елементах:

$$u = u_R + u_C = I_m R \sin \omega t + I_m \frac{1}{\omega C} \sin(\omega t - 90^\circ). \quad (3.16)$$

Побудуємо векторну діаграму струму та напруг (рис. 3.4, б). для побудови векторної діаграми використаємо діючі значення струму і напруг. За вихідний вектор приймаємо вектор струму, який збігається з позитивним напрямком вісі абсцис при початковій фазі нуль. Вектор активної напруги відкладаємо за напрямком вектора струму, а вектор індуктивної напруги проводимо під кутом -90° до вектора струму (за годинниковою стрілкою). За правилом паралелограма отримуємо вектор діючого значення повної напруги U . Таким чином, вектори U_R , U_C і U утворюють прямокутний трикутник, який називається трикутником напруг.

З векторної діаграми видно, що напруга на затискачах кола, яке розглядається, відстає за фазою струм на кут $\varphi < 90^\circ$:

$$u = U_m \sin(\omega t - \varphi), \quad (3.17)$$

де φ – зсув фаз між прикладеною напругою та струмом:

$$\varphi = \psi_u - \psi_i.$$

Трикутник опорів можна отримати, якщо усі сторони трикутника напруг зменшити у I разів (рис. 3.5, а). Опори кола постійні величини, тому їх неможна зображати векторами. Якщо помножити сторони трикутника напруг на діюче значення струму у колі I , то отримаємо подібний трикутник потужностей (рис. 3.5, б).

Діюче значення прикладеної напруги і повний опір кола, як видно з трикутників, будуть:

$$\begin{aligned} U &= \sqrt{U_R^2 + U_C^2}, \\ Z &= \sqrt{R^2 + X_C^2}. \end{aligned} \quad (3.18)$$

Середня потужність в активному опорі – це активна потужність усього кола, яке розглядається, тобто активна потужність кола P витрачається лише на резистивному елементі:

$$P = UI \cos \varphi = I^2 R = \frac{U^2}{R}. \quad (3.19)$$

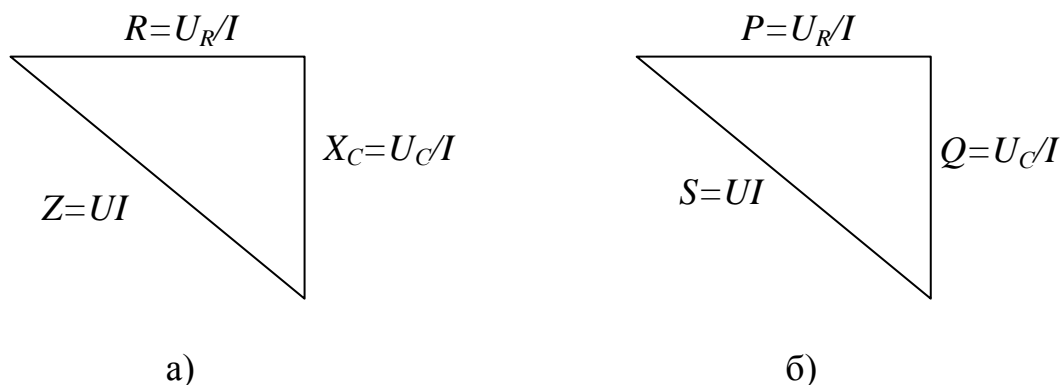


Рисунок 3.5 – Трикутник опорів (а) і потужностей (б) у колі з послідовним з'єднанням резистивного та ємнісного елементів

Реактивна індуктивна потужність кола Q_C є виміром величини обміну енергією між джерелом і магнітним полем котушки:

$$Q_L = UI \sin \varphi = I^2 X_C. \quad (3.20)$$

Повна потужність кола:

$$S = \sqrt{P^2 + Q_C^2} = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{Q_C}{\sin \varphi}. \quad (3.21)$$

Приклад 3.1. Дана електрична схема (рис. 3.4, а) з послідовним з'єднанням активного опору і ємності. Необхідно визначити: повний, активний і реактивний опори кола, активну і реактивну складову напруги, миттєве значення напруги, повну і реактивну потужність електричного кола.

Дано: $U = 200B$;

$i = 22,56 \sin(\omega t | -90^0), A$;

$\varphi = 37^0$;

$f = 50Гц$.

Знайти: $Z, U_R, U_C, R, X_C, u, Q_C, S, в.д.$

Рішення:

1. Визначаємо повний опір кола за формулою :

$$Z = \frac{U}{I}, \quad (3.22)$$

де Z – повний опір кола, Ом;

U – діюче значення напруги кола, В;

I – діюче значення струму у колі, А.

Діюче значення струму визначаємо за формулою:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}, \quad (3.23)$$

де I_m – амплітудне значення струму, А.

$$I = 22,56 / 1,41 = 20 \text{ А}.$$

$$Z = \frac{200}{20} = 10 \text{ Ом}.$$

2. Визначаємо діюче значення напруги на активному опорі за формулою:

$$U_R = IR, \quad (3.24)$$

де U_R – діюче значення напруги на активному опорі, В;

R – активний опір кола, Ом.

3. Активний опір визначаємо за формулою:

$$R = Z \cos \varphi, \quad (3.25)$$

де φ – кут зсуву фаз між напругою та струмом, $^{\circ}$.

$$R = 10 \cos 37^{\circ} = 8 \text{ Ом},$$

$$U_R = 20 \cdot 8 = 160 \text{ В}.$$

4. Визначаємо діюче значення напруги на ємнісному опорі визначаємо за формулою:

$$U_C = IX_C,$$

де X_C – реактивний ємнісний опір кола, Ом.

5. Реактивний ємнісний опір кола визначаємо за формулою:

$$X_C = Z \sin \varphi. \quad (3.26)$$

$$U_C = 20 \cdot 6 = 120 \text{ В}.$$

6. Миттєве значення напруги визначається виразом:

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_u), \quad (3.27)$$

де u – миттєва напруга, В.

7. Амплітудне значення напруги визначаємо через амплітудне значення струму за формулою:

$$U_m = I_m Z, \quad (3.28)$$

$$U_m = 22,56 \cdot 10 = 225,6 \text{ В}$$

8. Визначаємо початкову фазу напруги за формулою:

$$\psi_u = \psi_i - \varphi, \quad (3.29)$$

$$\psi_u = -90 - 37^\circ = -127^\circ.$$

Кінцевий вираз миттєвого значення напруги має вигляд:

$$u = 225,6 \sin(\omega t - 127^\circ), \text{ В}$$

9. Визначаємо активну складову потужність за формулою:

$$P = I^2 R,$$

$$P = 8 \cdot 20^2 = 3200 \text{ Вт}.$$

10. Визначаємо реактивну потужність визначається за формулою:

$$Q_C = I^2 X_C,$$

$$Q_C = 6 \cdot 20^2 = 2400 \text{ вар}.$$

Повна потужність кола дорівнює:

$$S = 10 \cdot 20^2 = 4000 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Відповідь: $Z = 10 \text{ Ом}$, $U_R = 160 \text{ В}$, $U_C = 120 \text{ В}$, $R = 8 \text{ Ом}$, $X_C = 6 \text{ Ом}$,
 $u = 225,6 \sin(\omega t - 127^\circ), \text{ В}$, $Q_C = 2400 \text{ вар}$, $S = 4000 \text{ ВА}$.

Приклад 3.2. Дана електрична схема (рис. 3.2, а) з послідовним з'єднанням активного опору та котушки.

Дано: $u = 282 \sin(\omega t + 70^\circ), B;$

$$R = 3 \text{ Ом};$$

$$X_L = 4 \text{ Ом}.$$

Виконати аналіз кола.

Рішення:

1. Визначаємо повний опір кола за формулою (3.18) :

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2},$$

$$Z = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5 \text{ Ом}.$$

2. Визначаємо амплітуду струму за формулою:

$$I_m = \frac{U_m}{Z},$$

$$I_m = \frac{282}{5} = 56,4 \text{ Ом}.$$

3. Визначаємо кут зсуву фаз кола за формулою:

$$\varphi = \arccos \frac{R}{Z}, \quad (3.30)$$

$$\varphi = \arccos \frac{3}{5} \approx 53^\circ.$$

4. Визначаємо початкову фазу струму за формулою:

$$\psi_i = \psi_u - \varphi,$$

$$\psi_i = 70 - 53 = 17^\circ. \quad (3.31)$$

5. Записуємо миттєвий струм:

$$i = 56,4 \sin(\omega t + 17^\circ), A.$$

6. Визначаємо амплітуду напруги на активному опорі за формулою:

$$U_{mR} = IR,$$

$$U_{mR} = 56,4 \cdot 3 = 169,2 \text{ B.}$$

7. Визначаємо початкову фазу напруги на активному опорі:

$$\varphi_{uR} = \varphi_i = 17^{\circ}.$$

8. Записуємо миттєву напругу на активному опорі за формулою:

$$u_R = 169,2 \sin(\omega t + 17^{\circ}), \text{ B.}$$

9. Визначаємо амплітуду напруги на індуктивному опорі за формулою:

$$U_{mL} = IX_L,$$

$$U_{mL} = 56,4 \cdot 4 = 225,6 \text{ B.}$$

10. Визначаємо початкову фазу напруги на індуктивному опорі за формулою:

$$\varphi_u = \varphi_i + 90^{\circ} = 17 + 90 = 107^{\circ}.$$

11. Записуємо миттєву напругу на індуктивному опорі за формулою:

$$u_L = 225,6 \sin(\omega t + 107^{\circ}), \text{ B.}$$

12. Визначаємо діюче значення струму за формулою:

$$I = \frac{56,4}{\sqrt{2}} = 40 \text{ A.}$$

13. Визначаємо активну потужність за формулою (3.9):

$$P = 3 \cdot 402 = 4800 \text{ Вт.}$$

14. Визначаємо реактивну потужність за формулою (3.10):

$$Q_L = 4 \cdot 402 = 6400 \text{ вар.}$$

15. Визначаємо повну потужність за формулою (3.11):

$$S = 5 \cdot 402 = 8000 \text{ ВА.}$$

Відповідь: $Z = 5 \text{ Ом}$, $U_{mR} = 169,2 \text{ В}$, $U_{mL} = 225,6 \text{ В}$, $u_R = 169,2 \sin(\omega t + 17^\circ), \text{ В}$,
 $u_L = 225,6 \sin(\omega t + 107^\circ), \text{ В}$, $P = 4800 \text{ Вт}$, $Q_L = 6400 \text{ вар}$, $S = 8000 \text{ ВА}$.

3.2 Завдання для самостійної підготовки

1. Вивчити теоретичний матеріал за темою 3 [4, с.169-174; 9, с.71-84].
2. Привести визначення змінного струму.
3. Привести способи зображення синусоїдного струму.
4. Охарактеризувати основні поняття синусоїдного струму: період, частота, амплітуда, фазовий кут.
5. Привести схему, часову діаграму зміни напруги і струму, векторну діаграму для кола з ідеальним конденсатором.
6. Привести схему, часову діаграму зміни напруги і струму, векторну діаграму для кола з ідеальною котушкою.

3.3 Порядок виконання роботи

Вирішити завдання, наведене у таблиці 3.1 згідно варіанту.

Таблиця 3.1 – Варіанти завдання

Варіант 1	Варіант 2
<p>Дано: $u = 161 \sin(\omega t + 60)$; $R = 3 \text{ Ом}$; $L = 6 \text{ мГн}$. Знайти: i, U_L, U_R .</p>	<p>Дано: $u = 161 \sin(\omega t + 60)$; $Z = 5 \text{ Ом}$; $R = 5 \text{ Ом}$; Знайти: i, S, P, Q_L .</p>
Варіант 3	Варіант 4
<p>Дано: $i = 56,4 \sin(\omega t + 33)$; $X_L = 4 \text{ Ом}$; $Z = 5 \text{ Ом}$. Знайти: I, U_R, U_L .</p>	<p>Дано: $i = 101 \sin(\omega t + 30)$; $X_L = 3 \text{ Ом}$; $\psi_u = 70^\circ$; $R = 4 \text{ Ом}$. Знайти: u, I, S .</p>

Продовження таблиці 3.1

Варіант 5	Варіант 6
<p>Дано: $U = 100 \text{ В};$ $\psi_u = 33^\circ;$ $Z = 5 \text{ Ом}.$ Знайти: $u, P, Q_L, S.$</p>	<p>Дано: $I = 14,1 \text{ А};$ $R = 3 \text{ Ом};$ $\psi_i = 70^\circ;$ $Z = 5 \text{ Ом}.$ Знайти: $i, U, P, Q_L.$</p>
Варіант 7	Варіант 8
<p>Дано: $u = 161 \sin(\omega t + 60), \text{ В};$ $R = 3 \text{ Ом};$ $P = 2000 \text{ Вт};$ $X_L = 4 \text{ Ом}.$ Знайти: $Q_L, S, U.$</p>	<p>Дано: $u = 170 \sin(\omega t + 45), \text{ В};$ $R = 3 \text{ Ом};$ $X_L = 4 \text{ Ом}.$ Знайти: $i, P, Q_L, S.$</p>
Варіант 9	Варіант 10
<p>Дано: $u = 161 \sin(\omega t + 60), \text{ В};$ $R = 3 \text{ Ом};$ $L = 6 \text{ мГн}.$ Знайти: $i, U_L, U_R.$</p>	<p>Дано: $u = 161 \sin(\omega t + 60), \text{ В};$ $Z = 5 \text{ Ом};$ $R = 5 \text{ Ом}.$ Знайти: $i, P, Q_L, S.$</p>
Варіант 11	Варіант 12
<p>Дано: $i = 56,4 \sin(\omega t + 33), \text{ А};$ $X_L = 4 \text{ Ом};$ $Z = 5 \text{ Ом}.$ Знайти: $I, U_R, U_L.$</p>	<p>Дано: $i = 101 \sin(\omega t + 30), \text{ А};$ $X_L = 3 \text{ Ом};$ $\psi_u = 70^\circ;$ $R = 4 \text{ Ом}.$ Знайти: $u, I, S.$</p>
Варіант 13	Варіант 14
<p>Дано: $U = 100 \text{ В};$ $\psi_u = 33^\circ;$ $Z = 5 \text{ Ом}.$ Знайти: $u, P, Q_L, S.$</p>	<p>Дано: $I = 14,1 \text{ А};$ $R = 3 \text{ Ом};$ $\psi_i = 70^\circ;$ $Z = 5 \text{ Ом}.$ Знайти: $i, U, P, Q_L.$</p>

Продовження таблиці 3.1

Варіант 15	Варіант 16
<p>Дано:</p> $u = 161 \sin(\omega t + 60), B;$ $R = 3 \text{ Ом};$ $P = 2000 \text{ Вт};$ $X_L = 4 \text{ Ом}.$ Знайти: $Q_L, S, U.$	<p>Дано:</p> $u = 161 \sin(\omega t + 60), B$ $R = 4 \text{ Ом}$ $C = 6 \text{ нФ}$ Знайти: $i, U_C, U_R.$
Варіант 17	Варіант 18
<p>Дано:</p> $u = 161 \sin(\omega t + 60), B;$ $Z = 5 \text{ Ом};$ $R = 5 \text{ Ом}.$ Знайти: $i, S, P, Q_C.$	<p>Дано:</p> $i = 56,4 \sin(\omega t + 33), A;$ $X_C = 4 \text{ Ом};$ $Z = 5 \text{ Ом}.$ Знайти: $I, U_R, U_C.$
Варіант 19	Варіант 20
<p>Дано:</p> $i = 101 \sin(\omega t + 30), A;$ $X_C = 4 \text{ Ом};$ $\psi_u = 70^\circ;$ $R = 4 \text{ Ом}.$ Знайти: $u, I, S.$	<p>Дано:</p> $U = 100 \text{ В};$ $\psi_u = 33^\circ;$ $Z = 5 \text{ Ом}.$ Знайти: $u, P, Q_C, S.$
Варіант 21	Варіант 22
<p>Дано:</p> $I = 14,1 \text{ А};$ $R = 3 \text{ Ом};$ $\psi_i = 70^\circ;$ $Z = 5 \text{ Ом}.$ Знайти: $i, U, P, Q_C.$	<p>Дано:</p> $u = 161 \sin(\omega t + 60), B;$ $R = 3 \text{ Ом};$ $P = 2000 \text{ Вт};$ $X_C = 4 \text{ Ом}.$ Знайти: $Q_C, S, U.$
Варіант 23	Варіант 24
<p>Дано:</p> $u = 170 \sin(\omega t + 45), B;$ $R = 3 \text{ Ом};$ $X_C = 4 \text{ Ом}.$ Знайти: $i, P, Q_C, S.$	<p>Дано:</p> $u = 161 \sin(\omega t + 60), B;$ $R = 3 \text{ Ом};$ $C = 6 \text{ нФ}.$ Знайти: i, U_L, U_R

Продовження таблиці 3.1

Варіант 25	Варіант 26
<p>Дано: $u = 161\sin(\omega t + 60), B;$ $Z = 5 \text{ Ом};$ $R = 5 \text{ Ом} .$ Знайти: $i, S, P, Q_C .$</p>	<p>Дано: $i = 56,4\sin(\omega t + 33), A;$ $X_C = 4 \text{ Ом};$ $Z = 5 \text{ Ом} .$ Знайти: $I, U_R, U_L .$</p>
Варіант 27	Варіант 28
<p>Дано: $i = 101\sin(\omega t + 30), A;$ $X_C = 4 \text{ Ом};$ $\psi_u = 70^\circ;$ $R = 4 \text{ Ом} .$ Знайти: $u, I, S .$</p>	<p>Дано: $U = 100 B;$ $\psi_u = 33^\circ;$ $Z = 5 \text{ Ом} .$ Знайти: $u, P, Q_C, S .$</p>
Варіант 29	Варіант 30
<p>Дано: $I = 14,1 A;$ $R = 3 \text{ Ом};$ $\psi_i = 70^\circ;$ $Z = 5 \text{ Ом} .$ Знайти: $i, U, P, Q_C .$</p>	<p>Дано: $u = 161\sin(\omega t + 60), B;$ $R = 3 \text{ Ом};$ $P = 2000 \text{ Вт};$ $X_C = 4 \text{ Ом} .$ Знайти: $Q_C, S, U .$</p>

3.4 Контрольні запитання

1. Що називається змінним струмом?
2. Що називається синусоїдним струмом?
3. Що називається миттєвими значеннями змінного струму?
4. Що називається амплітудними значеннями змінного струму?
5. Що називається фазовим кутом синусоїдної величини?
6. Що називається діючим значенням змінного струму? Як воно позначається?

7. Наведіть схему, графіки зміни та векторну діаграму простого електричного кола з активним опором.
8. Наведіть схему та векторну діаграму електричного кола з реальною котушкою.
9. Наведіть співвідношення для електричного кола, що володіє реальною котушкою.
10. Наведіть схему та векторну діаграму електричного кола з реальним конденсатором.
11. Наведіть співвідношення для електричного кола, що володіє реальним конденсатором.

3.5 Тестові завдання

Завдання № 1. Період – це...

- 1) інтервал часу, протягом якого функція проходить повний цикл своєї зміни;
- 2) інтервал часу, протягом якого функція проходить половину циклу своєї зміни;
- 3) немає правильної відповіді.

Завдання № 2. Період вимірюється у...

- 1) вольтах;
- 2) герцах;
- 3) градусах;
- 4) секундах.

Завдання № 3. Синусоїдну функцію часу можна представити у вигляді:

- 1) графіка;
- 2) функції;
- 3) радіус-вектора;
- 4) усі відповіді вірні.

Завдання № 4. Параметр конденсатора...

- 1) ємність;
- 2) індуктивність;
- 3) частота;
- 4) радіан.

Завдання № 5. Як позначається котушка індуктивності?

- 1) L;
- 2) C;
- 3) F;
- 4) Y.

Завдання № 6. Як називається найбільше (максимальне) значення синусоїдного струму, напруги, ЕРС, потужності?

- 1) амплітуда;
- 2) радіус;
- 3) щільність;
- 4) вектор.

Завдання № 7 Як називається інтервал часу, протягом якого функція проходить повний цикл своєї зміни?

- 1) вектор;
- 2) хвиляста;
- 3) масштаб;
- 4) період.

Завдання № 8 Яким опором володіє електричне коло з реальною котушкою?

- 1) активним і реактивним ємнісним;
- 2) тільки реактивним ємнісним;
- 3) тільки активним;
- 4) немає правильної відповіді.

Завдання № 9. Яким опором володіє електричне коло з реальним конденсатором?

- 1) активним і реактивним ємнісним;
- 2) тільки реактивним ємнісним;
- 3) тільки активним;
- 4) немає правильної відповіді.

Завдання № 10. Це такий постійний струм, який на однаковому опорі за час, що дорівнює одному періоду, виділяє таку ж кількість теплоти, що і даний змінний струм за той же час:

- 1) діюче значення змінного струму;
- 2) миттєві значення;
- 3) довготривалі значення;
- 4) перехідні значення.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ДІОДІВ

Мета роботи: Закріплення та експериментальне підтвердження теоретичного матеріалу по випрямних діодах і стабілітронах і роботі найпростіших колоїв з діодами.

4.1 Теоретичні відомості

Електронно-дірковим переходом називають область на границі двох напівпровідників, один із яких має електронну, а інший діркову провідність, у якій відсутні рухливі носії зарядів, тобто має високий питомий опір.

Напівпровідниковими діодами називаються напівпровідникові прилади з одним *p-n* переходом і двома виводами, у яких використовуються властивості переходу.

Випрямним діодом називають напівпровідниковий діод, що призначений для перетворення змінного струму в постійний. На рисунку 4.1 наведено умовне графічне зображення (а) та воль-амперна характеристика (б) випрямного діода.

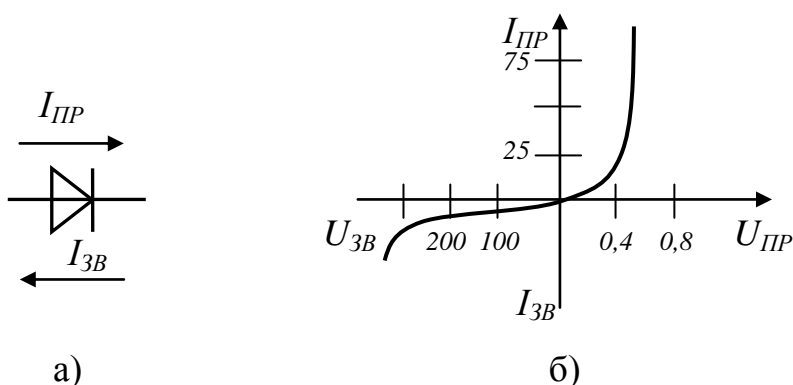


Рисунок 4.1 – Напівпровідниковий випрямний діод

Завдяки великій площі переходу прямий струм площинних діодів складається від одиниці до тисяч амперів. Звичайно, до діода прикладається напруга не більше 1 В. При цьому щільність струму в напівпровіднику досягає 1-10 А/мм, що викликає деяке підвищення температури напівпровідника. Для збереження працездатності германієвого діода його температура не повинна перевищувати 85°C . Кремнієві діоди можуть працювати при температурі до 180°C .

Основні параметри випрямного діода:

- пряма напруга $U_{ПР}$, що нормується при деякому прямому струмі $I_{ПР}$;
- максимально допустима зворотна напруга діода $U_{ЗВ \max}$;

- зворотний струм діода $I_{ЗВ}$, що нормується при деякій зворотній напрузі $U_{ЗВ \max}$.

Напівпровідниковий стабілітрон - напівпровідниковий діод, напруга на якому в області електричного пробою мало залежить від струму і який служить для стабілізації напруги.

На рисунку 4.2 наведено умовне графічне зображення (а) та воль-амперна характеристика (б) стабілітрона.

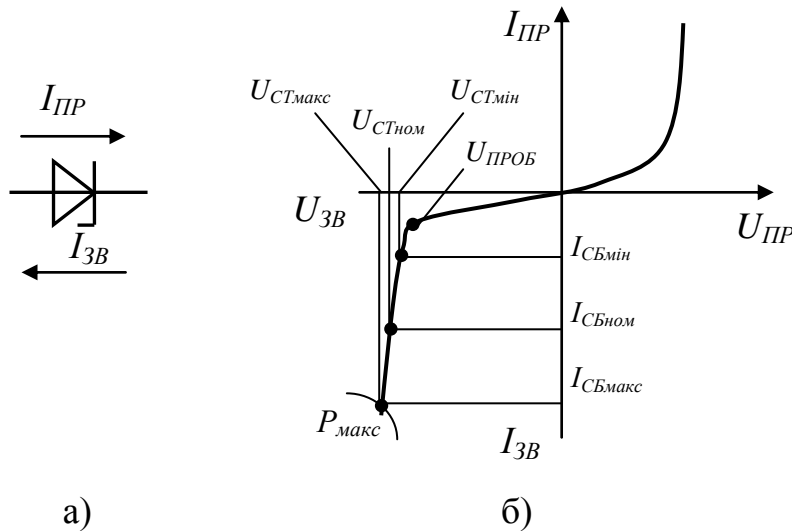


Рисунок 4.2 – Стабілітрон

В області пробою напруга на стабілітроні $U_{СТ}$ тільки незначно змінюється при більших змінах струму стабілізації $I_{СТ}$. Тому характеристику стабілітрона використовують для одержання стабільної напруги, наприклад, у параметричних стабілізаторах напруги.

Головні характеристики стабілітрона:

- напруга на ділянці стабілізації $U_{СТ}$;
- мінімальний струм стабілізації $I_{СТmin}$;
- максимальний струм стабілізації $I_{СТmax}$;
- температурний коефіцієнт напруги на ділянці стабілізації

$$T_{KU} = \frac{dU_{СТ}}{dt} \cdot 100\% .$$

4.2 Завдання для самостійної підготовки

1. Вивчити теоретичний матеріал за темою 4 [4, с.15-27; 5, с.3-8].
2. Привести визначення та умовне графічне позначення випрямного діода і стабілітрона.
3. Описати будову і основні властивості $p-n$ переходу.
4. Описати принцип дії випрямного діода і стабілітрона.

5. Привести вольт-амперні характеристик випрямного діода і стабілітрона.

4.2 Порядок виконання роботи

1. Запустити програму Electronic Workbench. Набрати схему дослідження випрямного діода при прямому включенні (рисунок 4.3).

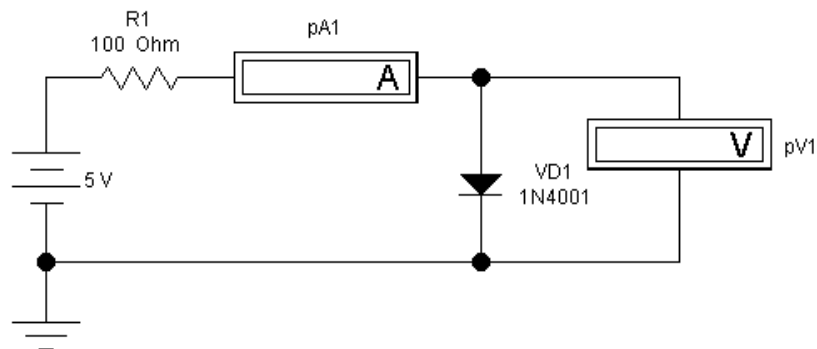


Рисунок 4.3 – Схема для зняття вольт-амперної характеристики випрямного діода при прямому включенні

2. Включити схему. Змінюючи напругу джерела живлення E зняти пряму $I_{пр} = f(U_{пр})$ вольт-амперну характеристику випрямного діода. Результати вимірів занести в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати дослідження випрямного діода при прямому включенні

$E, В$	0	1	2	3	4	5	6	8	10	12
$U_{пр}, В$										
$I_{пр}, мА$										

3. Набрати схему дослідження напівпровідникового діода при зворотному включенні (рисунок 4.4).

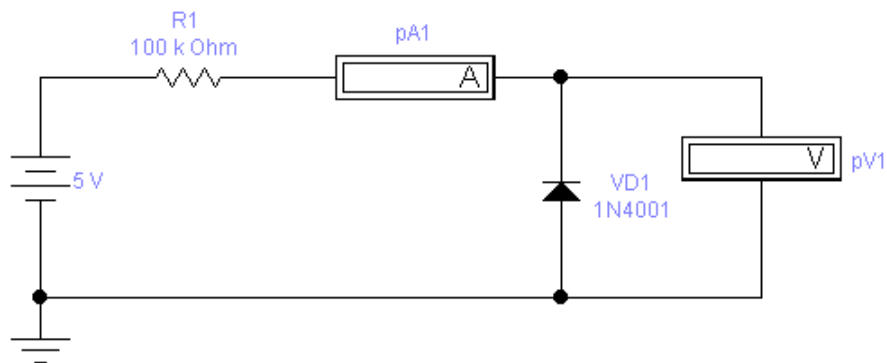


Рисунок 4.4 – Схема для зняття вольт-амперної характеристики випрямного діода при зворотному включенні

4. Включити схему. Змінюючи напругу джерела живлення E зняти зворотну $I_{3B} = f(U_{3B})$ ВАХ випрямного діода. Результати вимірів занести в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати дослідження випрямного діода при зворотному включенні

$E, \text{В}$	0	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$U_{3B}, \text{В}$										
$I_{3B}, \text{мА}$										

5. За даними таблиць 4.1 і 4.2 побудувати вольт-амперну характеристику випрямного діода.
6. Набрати схему для дослідження електричного кола з випрямним діодом (рисунок 4.5).
7. Лінію, що з'єднує вхід В осцилографа зі схемою, установити кольоровою.
8. Установити задані параметри елементів схеми (варіанти завдань приведені в таблиці 4.3).

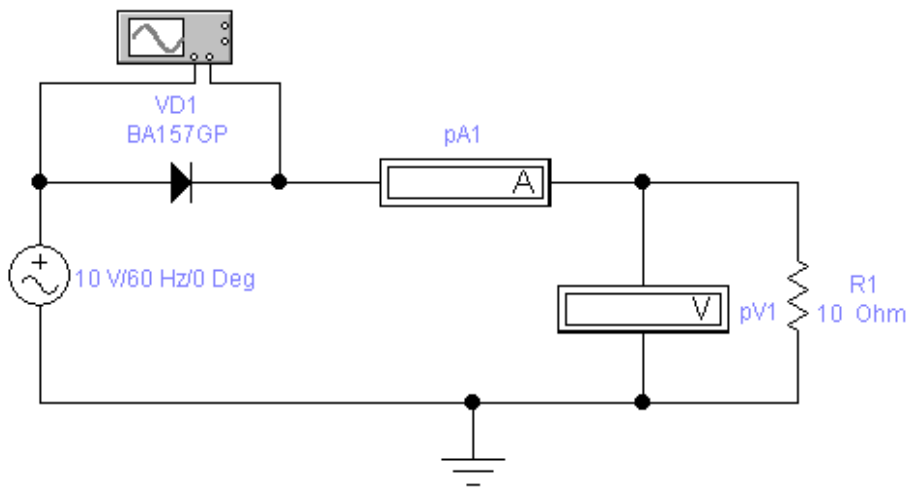


Рисунок 4.5 - Схема для дослідження електричного кола з випрямним діодом

9. Включити схему і записати показання приладів, що відповідають середнім значенням напруги і струму.
10. За допомогою візирних ліній віртуального осцилографа визначити амплітуди вхідної U_{mex} і вихідної напруг U_{mR} . По різниці амплітуд обчислити спадання напруги на діоді. Замалювати осцилограми напруг на вході і виході схеми (рисунок 4.6).

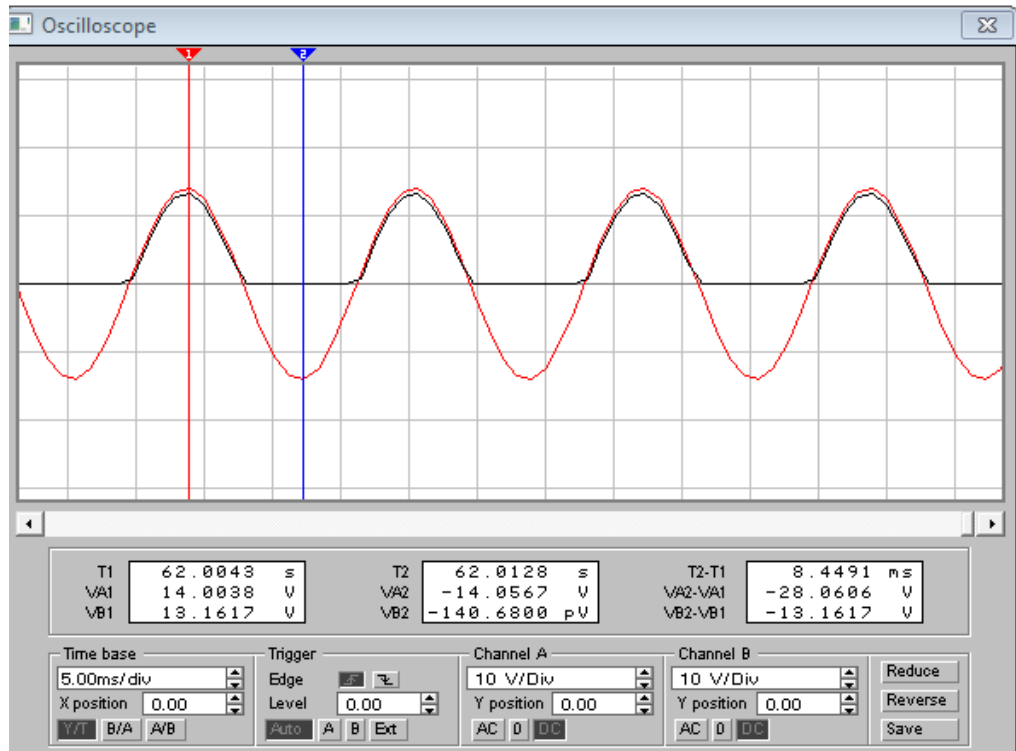


Рисунок 4.6 - Осцилограми напруг електричного кола з випрямним діодом

11. Набрати схему для дослідження стабілітрона (рисунок 4.7).
12. Установити задані значення елементів схеми (варіанти завдань приведені в таблиці 4.3).

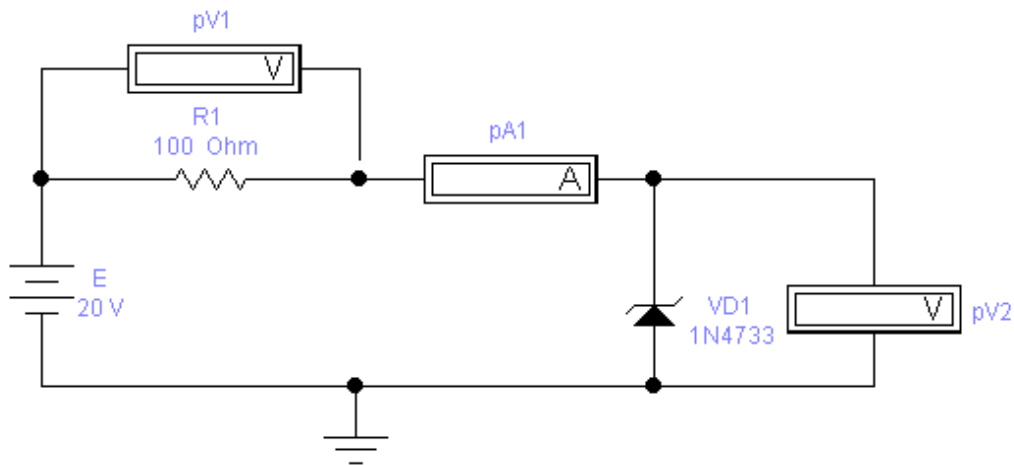


Рисунок 4.7 - Схема дослідження стабілітрона

13. Включити схему і записати показання амперметра (I_1) і вольтметра (U_1).
14. Збільшити величину вхідної напруги E в 1,5 рази.
15. Записати показання амперметра (I_2) і вольтметра (U_2).
16. Обчислити величину опору робочої ділянки вольт-амперної характеристики $R = (U_2 - U_1) / (I_2 - I_1)$. За результатами першого і другого вимірів побудувати ділянку вольт-амперної характеристики.

Таблиця 4.3 – Варіанти завдання

Діод 1N401 $U_{пр} = 1,35$ В. Стабілітрон 1N4733 $U_{ст} = 5,1$ В

№ вар.	Для діода		Для стабілітрона		№ вар.	Для діода		Для стабілітрона	
	$U_{тєх}, В$	$R, Ом$	$E, В$	$R, Ом$		$U_{тєх}, В$	$R, Ом$	$E, В$	$R, Ом$
1	10	14	6	19	31	10	5	10	15
2	12	15	7	20	32	12	7	11	16
3	14	16	8	21	33	14	9	12	17
4	16	17	9	22	34	16	11	13	18
5	18	18	10	23	35	18	13	10	20
6	20	5	11	32	36	20	15	20	22
7	22	7	12	34	37	22	17	30	24
8	24	9	13	33	38	24	19	40	28
9	26	11	14	31	39	26	20	50	30
10	28	13	15	29	40	28	18	19	24
11	30	15	16	27	41	30	16	20	25
12	32	17	17	25	42	32	14	21	26
13	34	19	18	27	43	34	12	22	27
14	33	20	19	23	44	33	10	23	28
15	31	8	20	29	45	31	18	24	29
16	29	6	21	30	46	29	16	25	30
17	27	7	22	31	47	27	14	26	31
18	25	8	23	32	48	25	12	27	32
19	23	9	24	33	49	23	10	8	10
20	21	10	25	34	50	21	8	9	11

4.4 Контрольні запитання

1. Дайте визначення $p-n$ переходу.
2. Охарактеризуйте властивості $p-n$ переходу.
3. Дати визначення напівпровідникових діодів.
4. Навести класифікацію діодів.
5. Замалювати умовно графічне позначення випрямного діода.
6. Замалювати вольт-амперну характеристику випрямного діода.
7. Замалювати умовно графічне позначення стабілітрона.
8. Замалювати вольт-амперну характеристику стабілітрона.
9. Навести основні параметри випрямного діода.
10. Навести основні параметри стабілітрона.
11. Яка максимальна напруга може прикладатися до напівпровідникового діода?

12. Якої щільності досягає струм у напівпровідниковому діоді?
13. Якою повинна бути максимальна температура германієвого напівпровідникового діода для збереження його стану працездатності?
14. Якою повинна бути максимальна температура кремнієвого напівпровідникового діода для збереження його стану працездатності?
15. В яких пристроях використовуються стабілітрони?

4.5 Тестові завдання

Завдання № 1. Напівпровідниковими діодами називаються...

- 1) напівпровідникові прилади з двома $p-n$ переходами і одним виводом;
- 2) напівпровідникові прилади з одним $n-p$ переходом і одним виводом, у яких використовуються властивості переходу;
- 3) напівпровідникові прилади з одним $p-n$ переходом і двома виводами, у яких використовуються властивості переходу;
- 4) діелектричні прилади з двома $p-n$ переходами і двома виводами, у яких використовуються властивості переходу.

Завдання № 2. На які класи діляться усі напівпровідникові діоди?

- 1) крапкові й площинні;
- 2) крапкові й випрямні;
- 3) площинні й тунельні;
- 4) площинні й випрямні.

Завдання № 3. Випрямним діодом називають?

- 1) напівпровідниковий діод, що призначений для перетворення змінного струму в постійний;
- 2) напівпровідниковий діод, що призначений для перетворення постійного струму в змінний;
- 3) провідниковий діод, що призначений для перетворення змінного струму в постійний;
- 4) провідниковий діод, що призначений для перетворення постійного струму в змінний.

Завдання № 4. Напівпровідниковий стабілітрон служить для ...

- 1) стабілізації потужності;
- 2) для перетворення змінного струму в постійний;
- 3) стабілізації напруги;
- 4) усі відповіді правильні.

Завдання № 5. Яка напруга прикладається до випрямного діода?

- 1) не більше 10 В;
- 2) не менше 1 В;

- 3) не більше 1 В;
- 4) 5 В.

Завдання № 6. Для збереження працездатності германієвого діода його температура не повинна...

- 1) перевищувати 85°C ;
- 2) бути нижче 50°C ;
- 3) складати 30°C ;
- 4) бути не більше 27°C .

Завдання № 7. При підвищенні температури *p-n* переходу кількість неосновних носіїв заряду збільшується, тому...

- 1) зворотний струм діода росте;
- 2) діод виходить із строю;
- 3) діод не робить ніяких змін;
- 4) зворотний струм діода падає.

Завдання № 8. Як називаються напівпровідниками, які утворені донорними домішками?

- 1) *p*-напівпровідники;
- 2) *s*-напівпровідники;
- 3) *n*-напівпровідники;
- 4) *k*-напівпровідники.

Завдання № 9. Як називаються напівпровідниками, які утворені акцепторними домішками?

- 1) *p*-напівпровідники;
- 2) *s*-напівпровідники;
- 3) *n*-напівпровідники;
- 4) *k*-напівпровідники.

Завдання № 10. Якою провідністю володіють *p*-напівпровідники?

- 1) електронною;
- 2) атомною;
- 3) дірковою;
- 4) немає правильної відповіді.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5

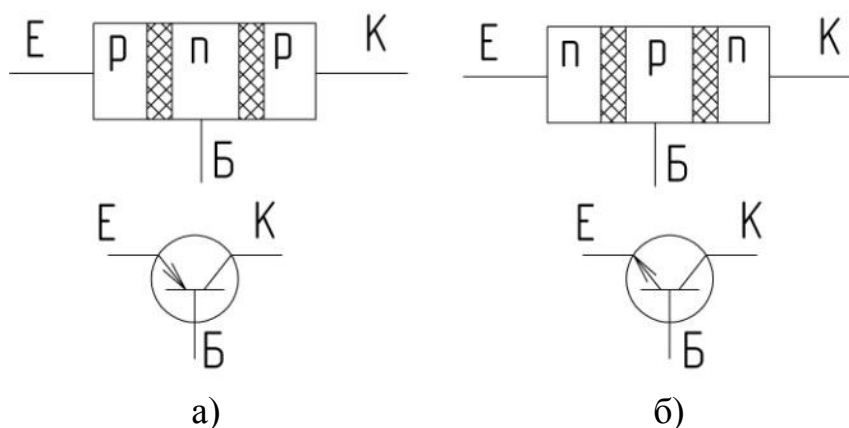
ДОСЛІДЖЕННЯ БІПОЛЯРНИХ ТРАНЗИСТОРІВ

Мета роботи: Вивчення будови, принципу дії, вольт-амперних характеристик і застосування біполярних транзисторів.

5.1 Теоретичні відомості

Біполярним транзистором (БТ) називається електроперетворювальним напівпровідниковий прилад, що складається із трьох областей провідності, що чергуються, призначений для посилення потужності.

Відповідно, із чергуванням ділянок із різною електропровідністю всі біполярні транзистори підрозділяють на два типи: $p-n-p$ і $n-p-n$ (рис. 5.1).



а) типу $p-n-p$; б) типу $n-p-n$

Рисунок 5.1 - Структурна схема транзисторів:

У біполярних транзисторах середній шар називають базою (Б) зовнішній шар, що є джерелом носіїв заряду (електронів і дірок), що, головним чином, і утворює струм приладу - емітером (Е), інший зовнішній шар - колектором (К). Він приймає носії заряду, які приходять від емітера.

Схеми включення БТ:

- із загальним емітером (ЗЕ);
- із загальною базою (ЗБ);
- із загальним колектором (ЗК).

Вхідне (керуюче) коло служить для управління роботою транзистора. У вихідному (керованому) колі отримують посилені електричні коливання сигналу.

Джерело посилюваних коливань вмикається у вхідне коло, а у вихідне вмикається навантаження.

Основні параметри:

- вхідний опір транзистора

$$R_{\text{вх}} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} = 100 \div 1000 \text{ Ом},$$

де ΔU_{BE} - зміна напруги база-емітер, В;

ΔI_B - зміна струму бази, мА;

- вихідний опір транзистора

$$R_{\text{вих}} = \frac{\Delta U_{KE}}{\Delta I_K} = 100 \div 1000 \text{ кОм},$$

де ΔU_{KE} - зміна напруги колектор - емітер,

ΔI_K - зміна струму колектора;

- струм емітера

$$I_E = I_K + I_B;$$

-

- коефіцієнт передачі по струму із загальною базою

$$\alpha = \frac{I_K}{I_E} = 0,9 \div 0,99;$$

- коефіцієнт підсилення транзистора за схемою із загальним емітером

$$\beta = \frac{I_K}{I_B} = 10 \div 1000.$$

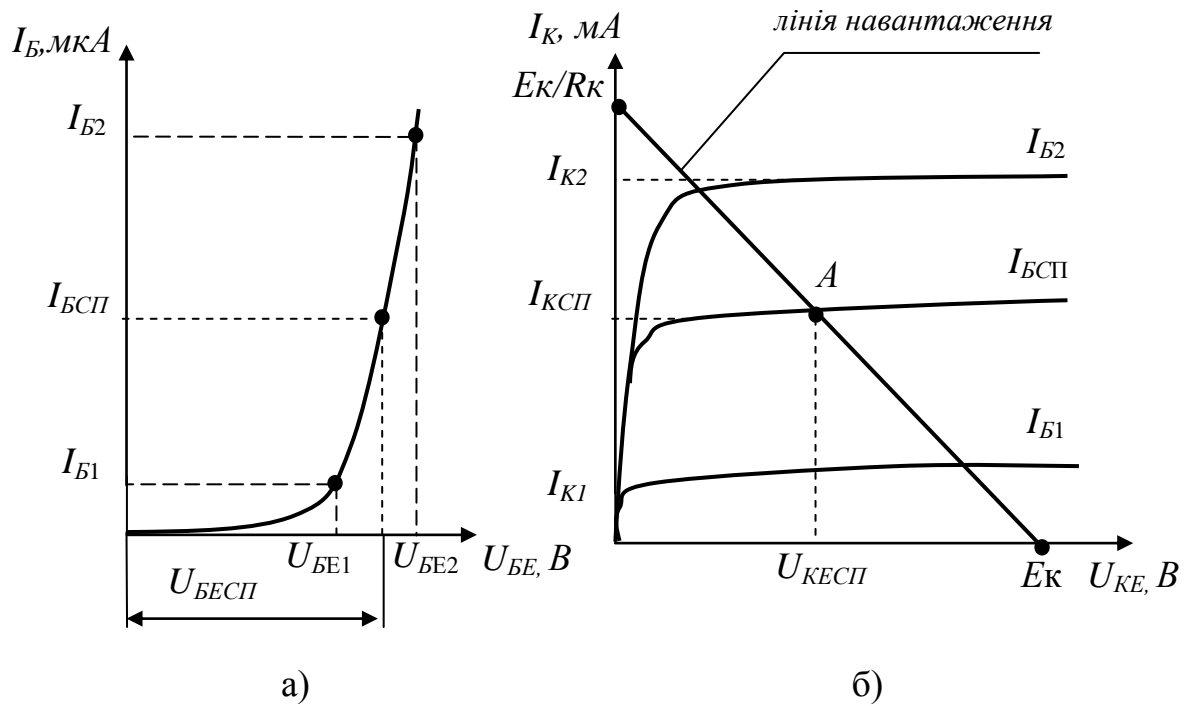
Процес підсилення ґрунтується на перетворенні енергії джерела постійної напруги E_K в енергію змінної напруги у вихідному колі за рахунок зміни опору керованого елемента (транзистора) у відповідності до закону, за яким змінюється вхідний сигнал.

Розрахунок підсилювального каскаду на біполярному транзисторі виконується у такій послідовності:

1. будуємо вольт-амперні характеристики біполярного транзистора (вхідну і вихідну) (приклад на рис. 5.2);
2. на колекторних характеристиках будуємо лінію навантаження по двох точка:

перша точка : $I_K=0$; $U_{KE}=E_K$;

друга точка : $U_{KE}=0$; $I_K = \frac{E_K}{R_K}$;



а) вхідна характеристика; б) вихідна характеристика

Рисунок 5.2 - Графо-аналітичний розрахунок робочого режиму транзистора за допомогою вихідних і вхідної характеристик

3. визначаємо робочу точку спокою на лінії навантаження. Для режиму підсилення класу А робоча точка знаходиться на середині лінії навантаження. Через цю точку проводимо вольт-амперну характеристику. Параметри точки спокою знаходимо за формулами:

$$I_{КСП} = \frac{E_K}{2R_K}; \quad U_{КЕСП} = \frac{E_K}{2};$$

$$I_{БСП} = \frac{I_{КСП}}{\beta};$$

4. на вхідній характеристиці відмічаємо струм бази спокою $I_{БСП}$ і відповідно цьому струму по вольт-амперній характеристиці визначаємо напругу база-емітер спокою $U_{БЕСП}$;
5. забезпечуємо струм бази спокою вибором резистора бази R_B :

$$R_B = \frac{E_K - U_{БЕСП}}{I_{БСП}}.$$

Таке забезпечення режиму спокою називається фіксованим струмом бази.

5.2 Завдання для самостійної підготовки

1. Вивчити теоретичний матеріал за темою 5 [4, с.30-37; 5, с.16-21].
2. Привести визначення, умовне графічне позначення та класифікацію біполярних транзисторів.
3. Привести конструкцію та описати принцип дії біполярного транзистора.
4. Побудувати графіки вхідної і колекторних вольт-амперних характеристик біполярного транзистора. Визначити параметри режиму спокою: напруга колектор-емітер спокою $U_{КЕП}$, струм колектора спокою $I_{КСП}$, струм бази спокою $I_{БСП}$, напруга база-емітер спокою $U_{БЕП}$. Робоча точка розташована на середині лінії навантаження. Задано координати лінійної ділянки вхідної характеристики: точка 1 ($I_B=10 \text{ мкА}$, $U_{BE}=0.6 \text{ В}$), точка 2 ($I_B=100 \text{ мкА}$, $U_{BE}=0.8 \text{ В}$), коефіцієнт підсилення транзистора β , напруга джерела живлення E_K , опір у ланцюзі колектора R_K . Варіанти завдання приведені в табл. 5.2 Визначити величину резистора у колі бази, що забезпечує режим спокою.

5.3 Порядок виконання роботи

1. Запустити програму Electronic Workbench.
2. Набрати схему для зняття вольт-амперних характеристик транзистора (рисунок 5.3).

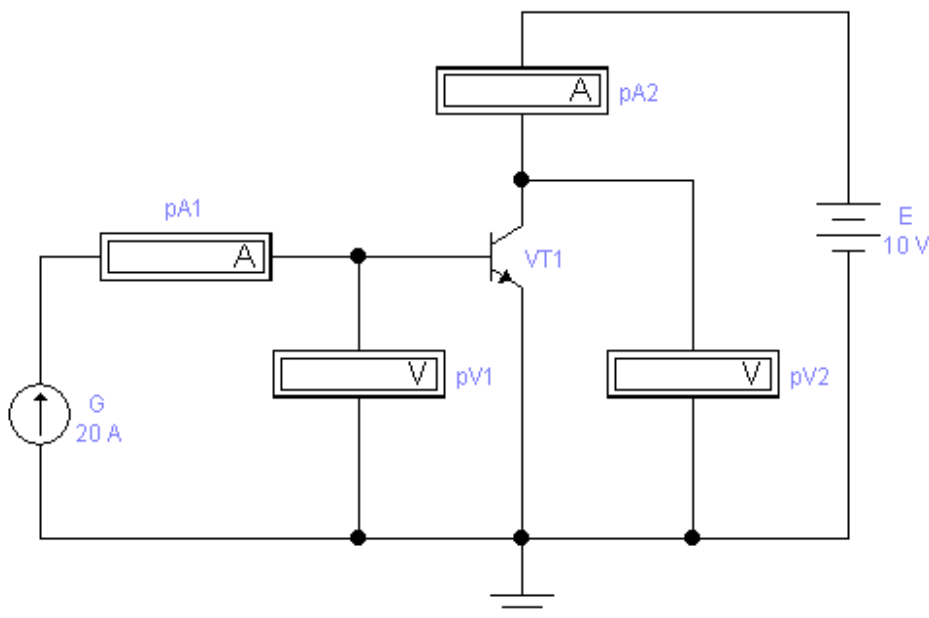


Рисунок 5.3 - Схема для зняття вольт-амперних характеристик біполярного транзистора

3. Установити задані параметри елементів схеми (варіанти завдання наведені у таблиці 5.3).
4. Зняти вхідну характеристику $I_B=f(U_{BE})$. Для цього встановити $E_K=0$ В ($U_{KE1}=0$ В).
5. Змінюючи значення струму бази від 1 до 100 мкА, записати відповідні значення напруги U_{BE} (вольтметр рV1) в таблицю 5.1.
6. Повторити вимірювання при вихідному напрузі $U_{KE2} = 15$ В.

Таблиця 5.1 – Результати дослідження біполярного транзистора для побудови вхідної характеристики

Вхідний струм I_B , мкА	1	2	5	10	20	50	100
Вхідна напруга U_{BE} , В при $U_{KE1} = 0$ В							
Вхідна напруга U_{BE} , В при $U_{KE2}=15$, В							

7. Зняти вихідну характеристику $I_K=f(U_{KE})$. Результати досліду занести до таблиці 5.2.
8. Встановити струм бази $I_{B1} = 20$ мкА.
9. Змінюючи значення напруги E_K від 0,1 до 35 В, записати відповідні значення струму колектора I_K (амперметр рА2) в таблицю 5.2.
10. Повторити вимірювання при вхідних токах $I_{B2} = 50$ мкА і $I_{B3} = 100$ мкА.
11. За результатами вимірювань побудувати вхідні і вихідні характеристики транзистора.

Таблиця 5.2 – Результати дослідження біполярного транзистора для побудови вихідної характеристики

Вихідна напруга U_{KE} , В	0,1	1	2	5	10	15	20	25	30	35
Вихідний струм I_K , мА при вхідному струмі $I_{B1} = 20$ мкА										
Вихідний струм I_K , мА при вхідному струмі $I_{B2} = 50$ мкА										
Вихідний струм I_K , мА при вхідному струмі $I_{B3} = 100$ мкА										

12. Набрати схему найпростішого підсилювача на біполярному транзисторі (рисунок 5.4).

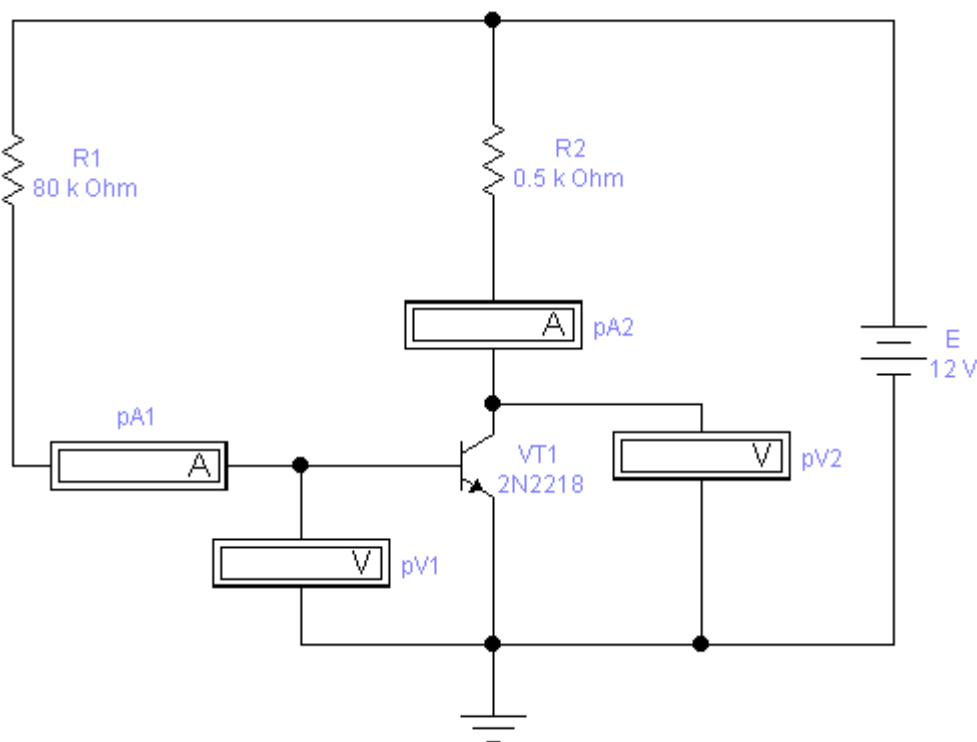


Рисунок 5.4 - Схема дослідження найпростішого підсилювального каскаду

13. Установити задані параметри елементів схеми (варіанти завдання приведені у таблиці 5.3).

14. Змінюючи R_I , установити параметри режиму спокою, величини, яких визначені в п. 4 завдання для самостійної підготовки.

15. Збільшуючи і зменшуючи R_I у 2 рази, записати показання приладів і зробити аналіз отриманих результатів.

Таблиця 5.3 – Варіанти завдання

№ вар.	β	E_K, B	$R_K, k\Omega$	№ вар.	β	E_K, B	$R_K, k\Omega$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	70	8	0,5	31	70	16	1,0
2	72	9	0,6	32	72	17	0,9
3	74	10	0,7	33	74	18	0,8

Продовження таблиці 5.3

1	2	3	4	5	6	7	8
4	76	11	0,8	34	76	19	0,7
5	78	12	0,9	35	78	20	0,6
6	80	13	1,0	36	80	10	0,5
7	82	14	0,5	37	82	11	1,0
8	84	15	0,6	38	84	12	0,9
9	86	16	0,7	39	86	13	0,8
10	88	17	0,8	40	88	14	0,7
11	90	18	0,9	41	90	15	0,6
12	71	19	1,0	42	71	16	0,5
13	73	20	1,0	43	73	17	0,5
14	75	10	0,9	44	75	18	0,6
15	77	11	0,8	45	77	19	0,7
16	79	12	0,7	46	79	20	0,8
17	81	13	0,6	47	81	10	0,9
18	83	14	0,5	48	83	11	1,0
19	85	15	0,5	49	85	12	1,0
20	87	16	0,6	50	87	13	0,9
21	89	17	0,7	51	89	14	0,8
22	91	18	0,8	52	91	15	0,7
23	93	19	0,9	53	93	16	0,6
24	95	20	1,0	54	95	17	0,5
25	97	10	0,5	55	97	18	1,0
26	99	11	0,6	56	99	19	0,9
27	92	12	0,7	57	92	20	0,8
28	94	13	0,8	58	94	10	0,7
29	96	14	0,9	59	96	11	0,6
30	98	15	1,0	60	98	12	0,5

5.4 Контрольні запитання

1. Дати визначення біполярного транзистора.
2. Навести $p-n-p$ структуру.
3. Навести $n-p-n$ структуру.
4. Назвати області біполярного транзистора.
5. Дати визначення області бази.
6. Дати визначення області емітера.
7. Дати визначення області колектора.
8. Замалювати вольт-амперну характеристику транзистора за схемою з загальним емітером.

9. Замалювати вольт-амперну характеристику транзистора за схемою з загальною базою.
10. Замалювати вольт-амперну характеристику транзистора за схемою з загальним колектором.
11. Дати визначення емітерного $p-n$ переходу.
12. Дати визначення колекторного $p-n$ переходу.
13. Визначити коефіцієнт передачі по струму α .
14. Визначити коефіцієнт підсилення β .
15. Описати принцип роботи транзистора $p-n-p$ структури.
16. Як утворюється струм бази?
17. Визначити зв'язок між струмами транзистора.

5.5 Тестові завдання

Завдання № 1. Напівпровідниковий прилад, що складається із трьох областей провідності, що чергуються, призначений для посилення потужності називається ...

- 1) полярний транзистор;
- 2) польовий транзистор;
- 3) біполярний транзистор;
- 4) польовий транзистор із управляючим $p-n$ переходом.

Завдання № 2. Як називається середній шар у біполярних транзисторах?

- 1) база;
- 2) сток;
- 3) емітер;
- 4) колектор.

Завдання № 3. Які основні носії заряду у $n-p-n$ транзистора?

- 1) дірки;
- 2) електрони;
- 3) фотони;
- 4) нейтрони.

Завдання № 4. Що таке рекомбінація?

- 1) перетворення дірки у електрон (чи навпаки);
- 2) кристалізація речовини;
- 3) ядра під дією великої напруги;
- 4) немає вірної відповіді.

Завдання № 5. До чого зазвичай подається струм при прямому включенні?

- 1) до емітера;
- 2) до бази;
- 3) до колектора;
- 4) до обшивки.

Завдання № 6. Як називаються зовнішній шар біполярного транзистора, що є джерелом носіїв заряду, що, головним чином, і утворює струм приладу?

- 1) емітер;
- 2) колектор;
- 3) база;
- 4) канал.

Завдання № 7. В яких межах вимірюється коефіцієнт передачі по струму із загальною базою?

- 1) 0,1...1,0;
- 2) 10...1000;
- 3) 0,9...0,99;
- 4) 10...100.

Завдання № 8. В яких межах вимірюється коефіцієнт підсилення транзистора за схемою із загальним емітером?

- 1) 0,1...1,0;
- 2) 10...1000;
- 3) 0,9...0,99;
- 4) 10...100.

Завдання № 9. Які основні носії заряду у *p-n-p* транзистора?

- 1) дірки;
- 2) електрони;
- 3) фотони;
- 4) нейтрони.

Завдання № 10. Де знаходиться діод Шоткі в транзисторі Шоткі?

- 1) між базою та емітером;
- 2) між емітером та колектором;
- 3) немає правильної відповіді;
- 4) між базою та колектором.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛЬОВИХ ТРАНЗИСТОРІВ

Мета роботи: Вивчення будови, принципу дії, вольт-амперних характеристик і застосування польових транзисторів.

6.1 Теоретичні відомості

Польовим транзистором називають електроперетворюючий напівпровідниковий прилад, у якому струм через канал управляється електричним полем, що виникає з поданням напруги між затвором і витоком.

Канал – це область у транзисторі, опір якої залежить від потенціалу на затворі. Електрод, з якого в канал надходять основні носії заряду, називається **витоком**, а електрод, через який основні носії заряду виходять із каналу - **стоком**. Електрод, що служить для регулювання поперечного перерізу каналу, називають **затвором**.

Класифікація:

- польовий транзистор із керуючим $p-n$ переходом
- польовий транзистор з ізольованим затвором вбудованим каналом;
- польовий транзистор з ізольованим затвором індукованим каналом.

Польовий транзистор із керуючим переходом - польовий транзистор, у якого затвор електрично відділений від каналу закритим $p-n$ переходом (рис. 6.1).



Рисунок 6.1 – Умовне графічне зображення польового транзистора з керуванням $p-n$ переходом

Польовий транзистор з ізольованим затвором - польовий транзистор, затвор якого електрично відділений від каналу шаром діелектрика.

Поділяється на два класи:

- польовий транзистор з ізолюваним затвором вбудованим каналом (рисунок 6.2,а);
- польовий транзистор з ізолюваним затвором індукованим каналом (рисунок 6.2,б).

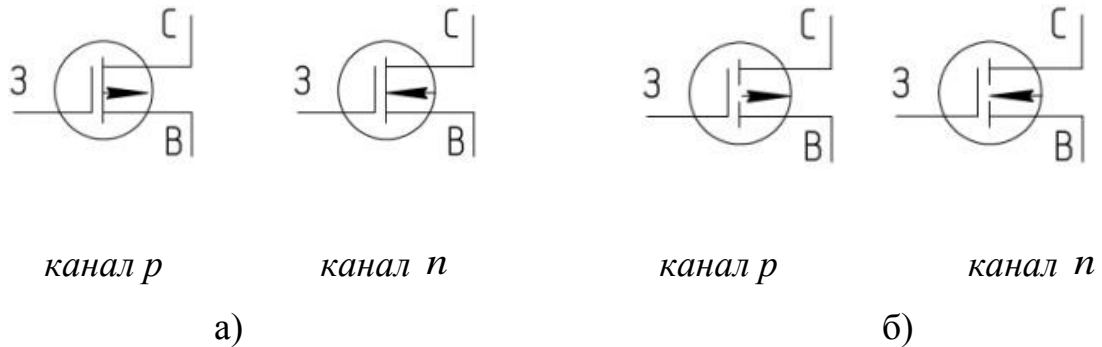


Рисунок 6.2 – Умовне графічне зображення польового з ізолюваним затвором

У польових транзисторах з ізолюваним затвором для зменшення струму затвора I_z між металевим затвором і напівпровідниковим каналом перебуває тонкий шар діелектрика, звичайно окис кремнію, а $p-n$ перехід відсутній. Такі польові транзистори часто називають МДН - (метал-діелектрик-напівпровідник) транзисторами або МОН (МОН - метал - оксид - напівпровідник) транзисторами.

Принцип дії МДН-транзисторів заснований на ефекті зміни провідності приповерхневого шару напівпровідника на границі з діелектриком під дією поперечного електричного поля. Приповерхневий шар напівпровідника є струмопровідним каналом цих транзисторів. МДН-транзистори являють собою в загальному випадку чотирьох електродний прилад. Четвертим електродом (підкладкою), що виконує допоміжну функцію, є вивід від підкладки напівпровідникової пластини.

6.2 Завдання для самостійної підготовки

1. Вивчити теоретичний матеріал за темою 5 [4, с.42-53; 5, с.66-29].
2. Привести визначення та класифікацію польових транзисторів.
3. Привести визначення, умовне графічне позначення та принцип дії польового транзистора з керуючим $p-n$ переходом.
4. Привести структурну схему й умовне графічне позначення польового транзистора з ізолюваним затвором індукованим каналом. Описати принцип роботи транзистора.

5. Привести структурну схему й умовне графічне позначення польового транзистора з ізольованим затвором вбудованим каналом. Описати принцип роботи транзистора.
6. Замалювати схеми найпростіших підсилювальних каскадів на польовому транзисторі. Описати способи забезпечення режиму спокою.

6.3 Порядок виконання роботи

1. Запустити програму Electronic Workbench.
2. Набрати схему для зняття вольт-амперної характеристики польового транзистора із керуючим $p-n$ переходом (рисунок 6.3).
3. Установити задані значення параметрів елементів схеми у відповідності зі своїм варіантом згідно таблиці 6.3.

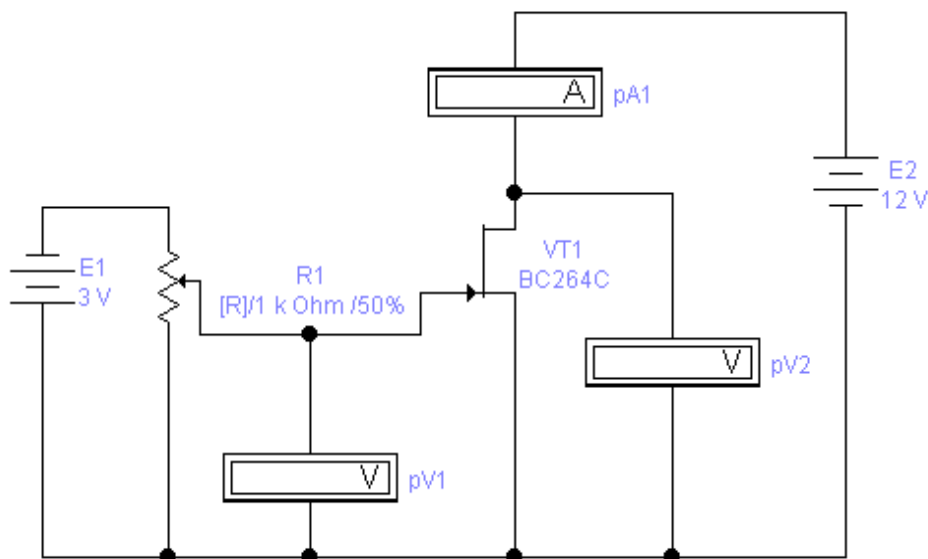


Рисунок 6.3 - Схема для зняття вольт-амперних характеристик польового транзистора із керованим $p-n$ переходом

4. Зняти сток-затворну характеристику $I_C=f(U_{ЗВ})$. Для цього встановити ($U_{СВ}=5 В$).
5. Збільшуючи напругу затвору $U_{ЗВ}$ у діапазоні від 0 до 1,6 В за допомогою джерела напруги, записати показники амперметра pA1 та вольтметра pV1 в табл. 6.1.
6. Повторити вимірювання при $U_{СВ} = 10 В$. Результати вимірювань записати у табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Результати дослідження польового транзистора з керованим $p-n$ переходом для побудови воль-амперних характеристик

Стоко-затворні вольт-амперні характеристики			Стокові вольт-амперні характеристики				
	$U_{CB}=5\text{ В}$	$U_{CB} = 10\text{ В}$		$U_{CB}=5\text{ В}$	$U_{CB}=-0,2\text{ В}$	$U_{CB}=-0,5\text{ В}$	$U_{CB}=-0,8\text{ В}$
$U_{ЗВ},\text{В}$	$I_C, \text{мкА}$	$I_C, \text{мкА}$	$U_{ЗВ},\text{В}$	$I_C, \text{мкА}$	$I_C, \text{мкА}$	$I_C, \text{мкА}$	$I_C, \text{мкА}$
0			0				
0,2			0,5				
0,4			1				
0,6			1,5				
0,8			2				
1,0			2,5				
1,2			3				
1,4			5				
1,6			10				

- Провести вимірювання напруги та струму вихідних стокових вольт-амперних характеристик транзистору при різних фіксованих напругах затвору. Для цього встановити за допомогою джерела напруги найнижче із вказаних в табл. 6.1. значень напруги затвору $U_{ЗВ}$, контролюючи його за показниками вольтметра рV1.
- Регулюючи напругу U_{CB} в діапазоні від 0 до 10 В відповідно табл. 6.1. (контролювати його за показниками вольтметра рV2), записати показники амперметра рА1 в табл. 6.1.
- Повторити вимірювання для всіх інших фіксованих значень напруг затвору, вказаних в табл.6.1.
- За даними таблиці 6.1 побудувати ВАХ польового транзистора з керованим $p-n$ переходом: $I_C = f(U_{ЗВ})$ і $I_C = f(U_{CB})$.
- Набрати схему для зняття вольт-амперної характеристики польового транзистора з індукованим каналом (рис. 6.4).
- Установити задані значення параметрів елементів схеми (варіанти завдань наведені у таблиці 6.3).
- Включити схему. Зняти сток-затворну характеристику $I_C=f(U_{ЗВ})$. Для цього встановити ($U_{CB}=5\text{ В}$).
- Збільшуючи напругу затвору $U_{ЗВ}$ у діапазоні від 1 до 15 В за допомогою джерела напруги, записати показники амперметра рА1 та вольтметра рV1 в табл. 6.2.
- Повторити вимірювання при $U_{CB} = 10\text{ В}$. Результати вимірювань записати у табл. 6.2.

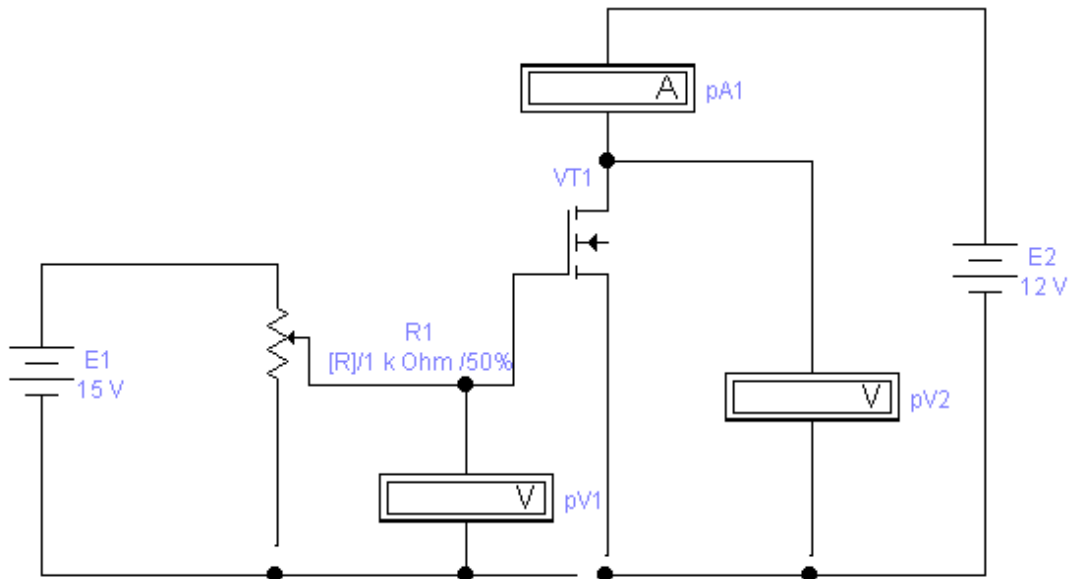


Рисунок 6.4 - Схема для зняття вольт-амперних характеристик польового транзистора з індукованим каналом

16. Провести вимірювання напруги та струму вихідних стокових вольт-амперних характеристик транзистору при різних фіксованих напругах затвору. Для цього встановити за допомогою джерела напруги найнижче із вказаних в табл.6.2. значень напруги затвору $U_{ЗВ}$, контролюючи його за показниками вольтметра pV1.
17. Регулюючи напругу $U_{СВ}$ в діапазоні від 0 до 10 В відповідно табл. 6.2 (контролювати його за показниками вольтметра pV2), записати показники амперметра pA1 в табл. 6.2.
18. Повторити вимірювання для всіх інших фіксованих значень напруг затвору, вказаних в табл.6.2.
19. За даними таблиці 6.2 побудувати ВАХ польового транзистора з індукованим каналом: $I_C = f(U_{ЗВ})$ і $I_C = f(U_{СВ})$.
20. Набрати схему найпростішого підсилювача на польовому транзисторі (рисунок 6.5,а).
21. Установити задані в таблиці 6.3 значення E і R_C , $R_3 = 1 \text{ МОм}$.

Таблиця 6.2 – Результати дослідження польового транзистора з індукованим каналом для побудови вольт-амперних характеристик

Стоко-затворні вольт-амперні характеристики			Стокові вольт-амперні характеристики				
	$U_{CB}=5\text{ В}$	$U_{CB} = 10\text{ В}$		$U_{CB}=5\text{ В}$	$U_{CB}=-0,2\text{ В}$	$U_{CB}=-0,5\text{ В}$	$U_{CB}=-0,8\text{ В}$
$U_{3B},\text{В}$	$I_C, \text{мкА}$	$I_C, \text{мкА}$	$U_{3B},\text{В}$	$I_C, \text{мкА}$	$I_C, \text{мкА}$	$I_C, \text{мкА}$	$I_C, \text{мкА}$
1			0,1				
2			0,2				
5			1,0				
10			10				
15			-				

22. Резистором R_I (R_B) установити режим спокою ($U_{CB} \approx E/2$). Записати показання приладів і значення резистора R_I .

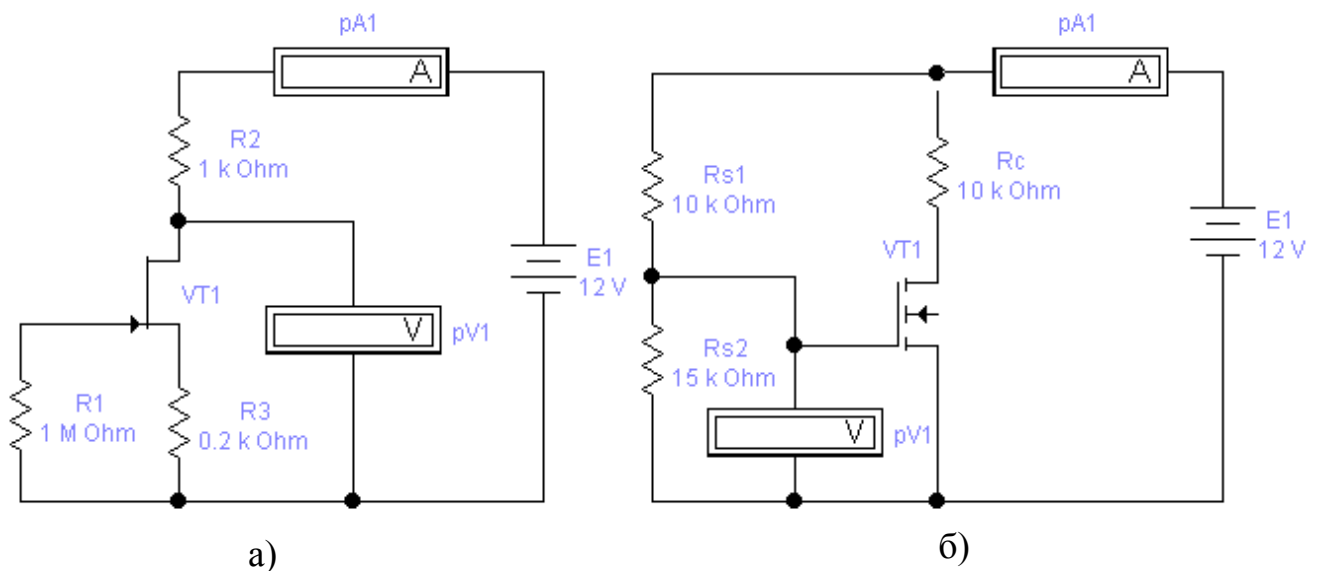


Рисунок 6.5 - Схеми дослідження найпростіших підсилювальних каскадів на польових транзисторах

23. Набрати схему найпростішого підсилювача на польовому транзисторі (рисунок 6.5, б).

24. Установити задані в таблиці 6.3 значення E и R_C .

25. Резисторами R_{S1} і R_{S2} установити режим спокою ($U_{CB} \approx E/2$). Записати показання приладів і значення резисторів R_{S1} і R_{S2} . Величини резисторів R_{S1} і R_{S2} вибирають у межах десятки...сотні кілоом.

Таблиця 6.3 - Варіанти завдання

№ вар.	S , мА/В	Испоч, мА	$U_{ЗВноч}$, В	E , В	R_c , кОм	№ вар.	S , мА/ В	Испоч, мА	$U_{ЗВноч}$, В	E , В	R_c , кОм
1	2,7	1,2	8	10	2,7	31	1,4	3,0	1,1	17	8
2	2,8	1,3	9	7	2,8	32	1,5	3,2	1,2	18	9
3	2,9	1,0	10	8	2,9	33	1,6	3,4	1,3	19	10
4	3,0	0,8	11	9	3,0	34	1,7	3,6	1,4	20	7
5	3,1	0,9	12	10	3,1	35	1,8	3,8	1,5	21	8
6	1,0	2,2	0,7	13	8	36	1,0	3,1	1,2	25	10
7	1,1	2,4	0,8	14	9	37	1,1	3,2	1,1	8	7
8	1,2	2,6	0,9	15	10	38	1,2	3,3	1,0	9	8
9	1,3	2,8	1,0	16	7	39	1,3	3,4	0,9	10	9
10	0,5	1,8	1,0	20	9	40	1,4	3,5	0,8	11	10
11	0,6	2,0	1,2	21	10	41	1,5	4,0	0,7	12	7
12	0,7	2,4	1,5	22	7	42	1,6	3,6	0,6	13	8
13	0,8	2,8	1,4	23	8	43	1,7	3,7	0,5	14	9
14	0,9	3,0	1,3	24	9	44	1,8	3,8	0,4	15	10
15	1,9	4,0	0,2	22	9	45	1,9	3,9	0,3	16	7
16	2,0	4,2	0,3	23	10	46	2,0	4,0	0,5	17	8
17	2,1	4,4	0,4	24	7	47	2,1	4,1	0,6	18	9
18	2,2	4,6	0,5	25	8	48	2,2	4,2	0,7	19	10
19	2,3	4,8	0,6	8	9	49	2,3	4,3	0,8	20	7
20	2,4	5,0	0,7	9	10	50	2,4	4,4	0,9	21	8
21	2,5	5,4	0,8	10	7	51	2,5	4,5	1,0	22	9
22	2,6	5,6	0,9	11	8	52	2,6	4,6	1,1	23	10
23	2,7	5,8	1,0	12	9	53	0,5	4,8	1,0	0,2	8
24	2,8	6,0	1,1	13	10	54	0,6	5,0	1,4	0,3	9
25	2,9	6,4	1,2	14	7	55	0,7	5,2	1,6	0,4	10
26	3,0	6,8	1,3	15	8	56	0,8	5,4	1,8	0,5	11
27	3,1	7,0	1,4	16	9	57	0,9	5,6	2,0	0,6	12
28	3,2	7,2	1,5	17	10	58	3,2	5,8	0,7	13	7
29	3,3	7,4	1,2	18	7	59	3,3	6,0	0,6	14	8
30	3,4	7,6	1,0	19	8	60	3,4	6,2	0,5	15	9

6.4 Контрольні запитання

1. Дати визначення польового транзистора.
2. Дати класифікацію польових транзисторів.
3. Дати визначення транзистора з керованим $p-n$ переходом.
4. Замалювати умовне графічне позначення транзистора з керованим $p-n$ переходом.
5. Дати визначення польових транзисторів з ізольованим затвором.
6. Навести конструкцію МДН-транзисторів.
7. Навести конструкцію МНОН-транзистора

6.5 Тестові завдання

Завдання № 1. Що називається польовим транзистором?

- 1) електроперетворюючий напівпровідниковий прилад, у якому струм через канал управляється електричним полем, що виникає з додатком напруги між затвором і витоком;
- 2) електроперетворюючий напівпровідниковий прилад, у якому струм через канал управляється електричним полем, що виникає з додатком напруги між стоком і витоком;
- 3) електроперетворюючий напівпровідниковий прилад, у якому струм через $p-n$ - перехід управляється електричним полем, що виникає з додатком напруги між затвором і витоком;
- 4) немає правильної відповіді.

Завдання № 2. Це область у транзисторі, опір якої залежить від потенціалу на затворі...

- 1) канал;
- 2) сток;
- 3) виток;
- 4) затвор.

Завдання № 3. Електрод, з якого в канал входять основні носії заряду, називається...

- 1) канал;
- 2) сток;
- 3) виток;
- 4) затвор.

Завдання № 4. Електрод, що служить для регулювання поперечного перерізу каналу називається ...

- 1) канал;

- 2) сток;
- 3) виток;
- 4) затвор.

Завдання № 5. Як називається область у польовому транзисторі, опір якої залежить від потенціалу на затворі?

- 1) виток;
- 2) канал;
- 3) сток;
- 4) база.

Завдання № 6. Як називається чотиришаровий кремнієвий вентиль з двома електродами?

- 1) польовий транзистор;
- 2) біполярний транзистор;
- 3) діністор;
- 4) варикап.

Завдання № 7. Розшифрувати назву МНОН-транзистори?

- 1) метал-натрій-оксид-напівпровідник;
- 2) метал-нітрид-оксид-напівпровідник;
- 3) метал-нітроген-оксид-напівпровідник;
- 4) метал-нітрид-оксиген-напівпровідник.

Завдання № 8. Яку структуру мають транзистори МЕН-типу?

- 1) метал-провідник;
- 2) оксид-напівпровідник;
- 3) метал-напівпровідник;
- 4) метал-оксид.

Завдання № 9. За допомогою чого здійснюється стирання записаної інформації в ЛІЗМОН-транзисторах?

- 1) за допомогою імпульсу напруги на затворі;
- 2) за допомогою ультрафіолетового випромінювання;
- 3) за допомогою імпульсу напруги на затворі або ультрафіолетовим випромінюванням;
- 4) немає правильної відповіді.

Завдання № 10. Як називається занесення заряду під затвор МНОН-транзистора?

- 1) зберігання;
- 2) зчитування;
- 3) програмування;
- 4) стирання.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7

ДОСЛІДЖЕННЯ КЛЮЧОВОГО РЕЖИМУ РОБОТИ ТРАНЗИСТОРІВ

Мета роботи: Закріплення та експериментальне підтвердження теоретичного матеріалу по устрою, принципові дії транзисторів у ключовому режимі.

7.1 Теоретичні відомості

В залежності від полярності напруг, що прикладені до емітерного і колекторного переходів транзистора, розрізняють такі режими його роботи:

Активний режим. На емітерний перехід подана пряма напруга, а на колекторний – зворотна. Цей режим є основним режимом роботи транзистора. Внаслідок того, що напруга в колі колектора значно перевищує напругу, підведену до емітерного переходу, а струми в колах емітера і колектора практично рівні, потужність сигналу в колекторному (вихідному) колі може значно перевищувати потужність у емітерному (вхідному) колі. Ця обставина визначає підсилювальні властивості транзистора.

Режим відсікання. До обох переходів підведені зворотні напруги. Тому через них проходить лише незначний струм, зумовлений рухом неосновних носіїв заряду (дрейфовий струм). Практично транзистор в режимі відсікання виявляється закритим.

Режим насичення. Особливе місце в роботі транзистора займає режим насичення. Режим насичення характерний тим, що на обох переходах – емітерному та колекторному – діють прямі напруги. При цьому і емітер і колектор інjektують носії в базу назустріч один одному та одночасно кожен із них збирає носії, що дійшли від іншого. Струм у вихідному колі транзистора максимальний і практично не регулюється струмом вхідного кола. В цьому режимі транзистор повністю відкритий.

Інверсний режим. До емітерного переходу підводиться зворотна напруга, а до колекторного – пряма. Отже емітер виконує функції колектора, а колектор – емітера. Цей режим, як правило, не відповідає нормальним умовам експлуатації транзистора.

Транзистор в режимі ключа. Важливими елементами сучасних схем автоматики і обчислювальної техніки є пристрої, які мають можливість знаходитись в одному з двох стійких станів (режимів) і під дією вхідного сигналу стрімко змінювати свій стан (режим). Це дозволяє здійснювати перемикання (комутацію) різних електричних кіл схеми. Таким елементом є тунельний діод. Транзистор також є одним з найрозповсюдженіших елементом безконтактних

перемикаючих пристроїв. Режим роботи транзистора в перемикаючій схемі називають ключовим режимом. В цьому режимі транзистор в процесі роботи схеми періодично переходить з відкритого стану (режиму насичення) в закритий (режим відсікання) і навпаки, що відповідає двом стійким станам перемикаючого пристрою.

7.2 Завдання для самостійної підготовки

1. Вивчити теоретичний матеріал за темою 7 [4, с.102-103].
2. Привести визначення біполярного транзистора.
3. Привести визначення польового транзистора.
4. Перерахувати та охарактеризувати режими роботи транзисторів.
5. Охарактеризувати режим роботи транзистора в режимі ключа.

7.3 Порядок виконання роботи

1. Запустити програму Electronic Workbench.
2. Набрати схему на біполярному транзисторі для зняття вольт-амперної характеристики (рис. 7.1).

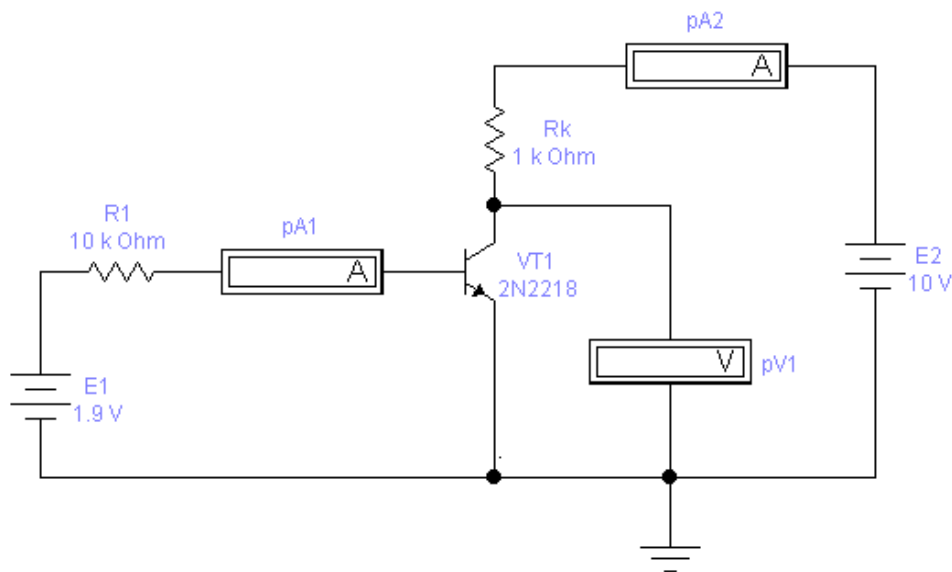


Рисунок 7.1 – Схема транзистора у ключовому режимі роботи

3. Зняти вхідну вольт-амперну характеристику біполярного транзистора $I_B=f(U_{BE})$ при двох напругах колектор-емітер: $U_{KE}=0V$ і $U_{KE}=5V$ і значеннях струму бази відповідно до таблиці 7.1. Результати дослідження занести до таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Результати дослідження біполярного транзистора

Вхідний струм I_B , мкА	20	40	60	80	100
Вхідна напруга U_{BE} , В при $U_{KE1} = 0$ В					
Вхідна напруга U_{BE} , В при $U_{KE2} = 5$ В					

4. Зняти вихідну характеристику біполярного транзистора $I_K = f(U_{KE})$. Встановити струм бази $I_{B1} = 20$ мкА. Змінюючи значення напруги E_K від 0,1 до 10В, записати відповідні значення струму колектора I_K (амперметр рА2) в таблицю 7.2.
5. Повторити вимірювання при вхідних токах $I_{B2} = 50$ мкА і $I_{B3} = 100$ мкА.
6. За результатами вимірювань побудувати вхідні і вихідні характеристики транзистора.

Таблиця 7.2 – Результати дослідження біполярного транзистора для побудови вихідної характеристики

Вихідна напруга, U_{KE} , В	0,1	0,2	1,0	5	10
Вихідний струм I_K , мА, при вхідному струмі $I_{B1} = 20$ мкА					
Вихідний струм I_K , мА, при вхідному струмі $I_{B2} = 50$ мкА					
Вихідний струм I_K , мА, при вхідному струмі $I_{B3} = 100$ мкА					

7. Набрати схему на польовому транзисторі для зняття вольт-амперної характеристики (рис. 7.2).
8. Установити задані значення параметрів елементів схеми (варіанти завдань наведені у таблиці 6.3).
9. Включити схему. Зняти сток-затворну характеристику $I_C = f(U_{3B})$. Для цього встановити ($U_{CB} = 5$ В). Збільшуючи напругу затвору U_{3B} у діапазоні від 1 до 15 В за допомогою джерела напруги, записати показники амперметра рА1 та вольтметра рV1 в табл. 7.3.
10. Повторити вимірювання при $U_{CB} = 10$ В. Результати вимірювань записати у табл. 7.3.

11. Провести вимірювання напруги та струму вихідних стокових вольт-амперних транзистору при різних фіксованих напругах затвору. Для цього встановити за допомогою джерела напруги найнижче із вказаних в табл.7.3. значень напруги затвору $U_{ЗВ}$, контролюючи його за показниками вольтметра pV1. Регулюючи напругу $U_{СВ}$ в діапазоні від 0 до 10 В відповідно табл. 7.3 (контролювати його за показниками вольтметра pV2), записати показники амперметра pA1 в табл. 7.3. Повторити вимірювання для всіх інших фіксованих значень напруг затвору, вказаних в табл. 7.3.

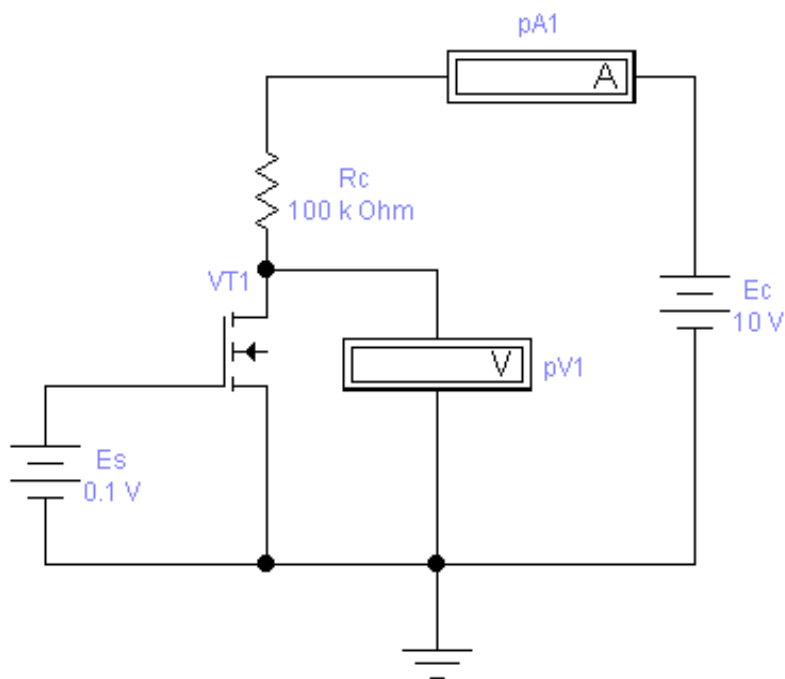


Рисунок 7.2 – Схема дослідження польового транзистора в режимі ключа

Таблиця 7.3 – Результати дослідження польового транзистора з індукованим каналом для побудови воль-амперних характеристик

Стоко-затворні вольт-амперні характеристики			Стокові вольт-амперні характеристики				
	$U_{CB}=5\text{ В}$	$U_{CB}=10\text{ В}$		$U_{CB}=5\text{ В}$	$U_{CB}=-0,2\text{ В}$	$U_{CB}=-0,5\text{ В}$	$U_{CB}=-0,8\text{ В}$
$U_{ЗВ},\text{В}$	$I_C, \text{мкА}$	$I_C, \text{мкА}$	$U_{ЗВ},\text{В}$	$I_C, \text{мкА}$	$I_C, \text{мкА}$	$I_C, \text{мкА}$	$I_C, \text{мкА}$
1			0,1				
2			0,2				
5			1,0				
10			10				
15			-				

12. За даними таблиці 7.3 побудувати ВАХ польового транзистора з індукованим каналом: $I_C = f(U_{3B})$ і $I_C = f(U_{CB})$.

7.4 Контрольні запитання

1. В яких режимах можуть працювати транзистори?
2. Опишіть особливості активного режиму роботи транзистора.
3. В чому міститься режим відсікання?
4. В чому міститься режим насичення?
5. Охарактеризуйте інверсний режим роботи транзистора.
6. В чому міститься ключовий режим роботи біполярного транзистора?
7. В чому міститься ключовий режим роботи польового транзистора?

7.5 Тестові завдання

Завдання № 1. Напівпровідниковий прилад, що складається із трьох областей із типами, що чергуються, електропровідності, призначений для посилення потужності називається ...

- 1) полярний транзистор;
- 2) польовий транзистор;
- 3) біполярний транзистор;
- 4) польовий транзистор із управляючим *p-n* переходом.

Завдання № 2. Який режим роботи транзистора вважається основним?

- 1) активний режим;
- 2) режим відсікання;
- 3) ключовий режим;
- 4) інверсний режим.

Завдання № 3. Які напруги прикладені до емітерного і колекторного переходів біполярного транзистора при режимі відсікання?

- 1) прямі;
- 2) зворотні;
- 3) до емітерного – зворотна напруга, до колекторного – пряма напруга;
- 4) до емітерного – пряма напруга, до колекторного – зворотна напруга.

Завдання № 4. Скільки стійких станів має біполярний транзистор в режимі ключа?

- 1) два;
- 2) чотири;
- 3) шість;
- 4) вісім.

Завдання № 5. Яким чином транзистор при ключовому режимі роботи переходить з одного стану в інший?

- 1) під дією вхідного сигналу;
- 2) при прикладенні до колекторного переходу прямої напруги;
- 3) при прикладенні до емітерного переходу прямої напруги;
- 4) немає правильної відповіді.

Завдання № 6. У якому стані знаходиться транзистор в режимі відсікання?

- 1) закритому;
- 2) відкритому.

Завдання № 7. Які напруги прикладені до транзистора в інверсному режимі роботи?

- 1) до емітерного переходу підводиться зворотна напруга, а до колекторного – пряма;
- 2) до емітерного переходу підводиться пряма напруга, а до колекторного – зворотна;
- 3) на обидва переходи підводиться пряма напруга;
- 4) на обидва переходи підводиться зворотна напруга.

Завдання № 8. Як називається режим насичення?

- 1) подвійної інжекції;
- 2) переповнення;
- 3) закриття;
- 4) короткого замикання.

Завдання № 9. До чого зазвичай подається струм при прямому включенні біполярного транзистора?

- 1) до емітера;
- 2) до бази;
- 3) до колектора;
- 4) до обшивки.

Завдання № 10 Як називається середній шар у біполярних транзисторах?

- 1) база;
- 2) сток;
- 3) емітер;
- 4) канал.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 8

ДОСЛІДЖЕННЯ ІМПУЛЬСНИХ ПРИСТРОЇВ

Мета роботи: Закріплення та експериментальне підтвердження теоретичного матеріалу по імпульсним пристроям на операційних підсилювачах : компаратору; тригеру Шмітта; мультівібратору; одновібратору.

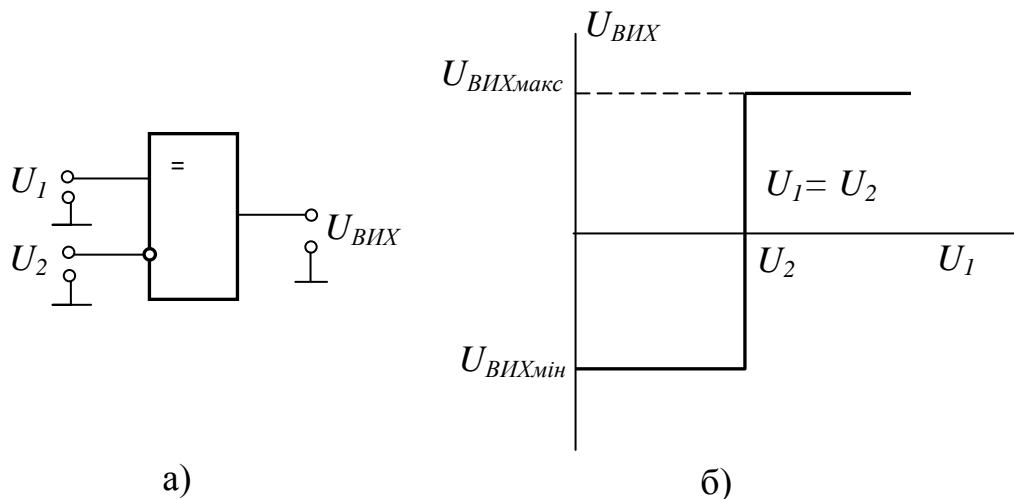
8.1 Теоретичні відомості

Операційним підсилювачем (ОП) називають диференціальний підсилювач постійного струму з великим коефіцієнтом підсилення (десятки ... сотні тисяч), що має два входи й один вихід, і живиться від джерела біполярної напруги. Спочатку ОП застосовувалися головним чином для виконання різних операцій над аналоговими величинами (додавання, віднімання, інтегрування й т.д.)

Під **імпульсними пристроями** розуміють такі пристрої, які під час роботи піддаються впливу електричних імпульсів або самі виробляють імпульси.

Електричним імпульсом називають напругу або струм, що відрізняється від нуля або має постійне значення лише протягом короткого проміжку часу меншого або порівняного із тривалістю встановлення процесів в імпульсній системі.

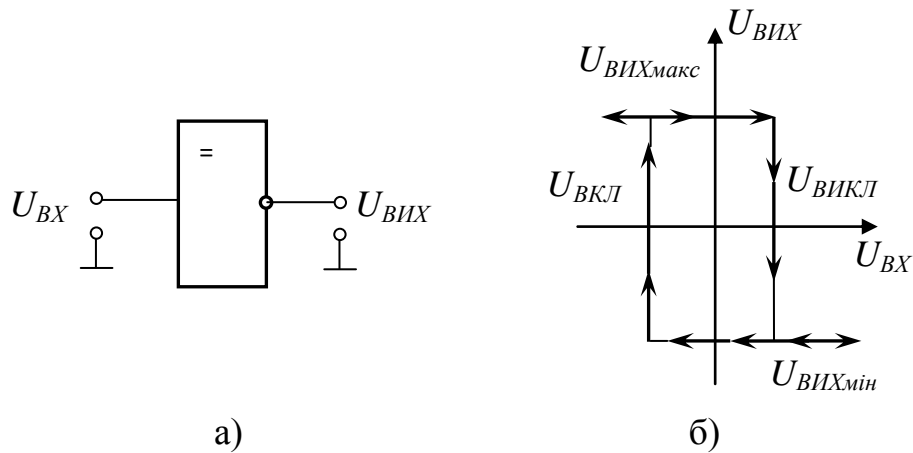
Компаратором називають пристрій, призначений для порівняння двох напруг. На рисунку 8.1,а приведено умовне позначення компаратора, а на рисунку 8.1,б – його передатна характеристика.



а) умовне графічне позначення; б) передатна характеристика

Рисунок 8.1 - Компаратор

Тригером Шмітта називають пристрій, призначений для формування напруги прямокутної форми із вхідної напруги довільної форми (рисунок 8.2).



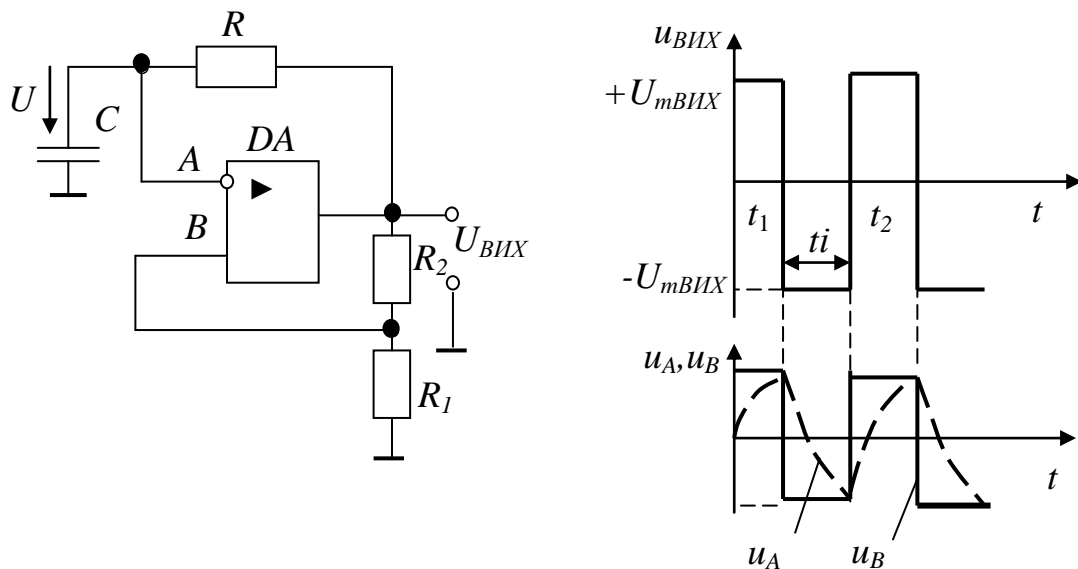
а) умовне графічне зображення; б) передатна характеристика
Рисунок 8.2 – Тригер Шмітта

Тригер Шмітта є граничним елементом, рівні включення й вимикання якого не збігаються. Різниця в рівнях називається гістерезисом перемикавання.

Мультивібраторами називають пристрої, призначені для генерування періодичної послідовності імпульсів напруги прямокутної форми із необхідними параметрами (амплітудою, тривалістю, частотою проходження та ін.)

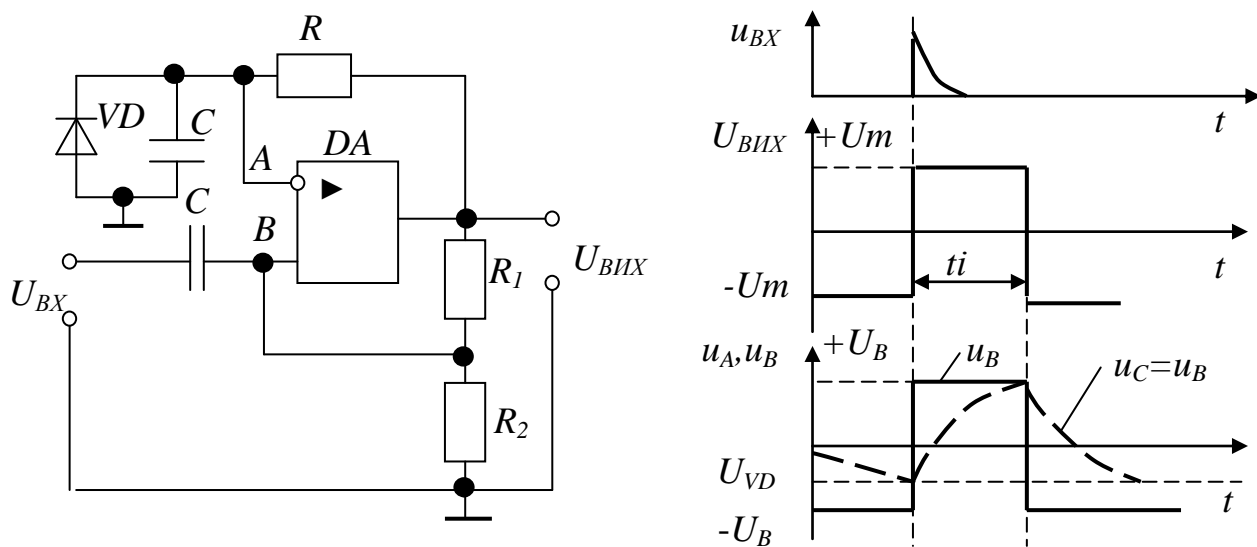
Мультивібратори працюють у режимі самозбудження і процес одержання імпульсної напруги ґрунтується на перетворенні енергії джерела постійного струму.

Мультивібратори іноді називають релаксаційними генераторами (релаксаторами). Релаксатори, як і тригери, відносяться до класу спускових пристроїв. Вони засновані на застосуванні підсилювачів із гнучким (діючим тільки в перехідні процеси) додатним зворотним зв'язком на біполярних або польових транзисторах, логічних елементах і операційних підсилювачах в інтегральному виконанні або електронних приладах із негативним диференціальним опором, наприклад, тунельних діодах, одноперехідних транзисторах або тиристорах. На відміну від тригерів, що володіють двома станами стійкої рівноваги, мультивібратори мають стани квазірівноваги, які характеризуються порівняно повільними змінами струмів і напруг, що приводять до деякого критичного стану, при якому створюються умови для стрибкоподібного переходу мультивібратора з одного стану в інший. На рисунку 8.3 наведена схема й часова діаграма роботи мультивібратора на операційному підсилювачі. Мультивібратор виконаний на основі тригера Шмітта, що інвертує, у якому від'ємний зворотний зв'язок здійснюється через R_C - коло, а додатний - через дільник на резисторах R_1, R_2 .



а) схема; б) часові діаграми роботи
Рисунок 8.3 – Мультивібратор

Одновібратори (чекаючі мультивібратори) призначені для формування прямокутного імпульсу напруги необхідної тривалості й амплітуди при впливі на вході короткого імпульсу, що запускає (рисунком 8.4).



а) схема; б) часові діаграми роботи
Рисунок 8.4 – Одновібратор

На відміну від мультивібраторів, у яких два стани є нестійкими, в одновібраторах один стан стійкий, а інше - нестійкий. Нестійкий стан настає із приходом вхідного імпульсу, що запускає. Він триває якийсь час, обумовлений колом схеми, після чого одновібратор повертається у вихідний стійкий стан.

8.2 Завдання для самостійної підготовки

1. Вивчити теоретичний матеріал за темою 8 [4, с.122-135].
2. Привести схему та пояснити функціональне призначення компаратора.
3. Побудувати графік залежності $U_{ВИХ} = f(U_{ВХ})$. Опорна напруга $U_{ОП}$ подана на неінвертуючий вхід операційного підсилювача, а вхідна синусоїдна напруга подана на інвертуючий вхід. Прийняти $U_{ВИХmax} = 11В$. Значення напруг наведені в таблиці 8.1.
4. Представити на одному рисунку графіки зміни в часі вихідної напруги компаратора $u_{ВИХ} = f(t)$ і вхідної синусоїдальної напруги $u_{ВХ} = f(t)$.

Таблиця 8.1 – Варіанти завдань для дослідження компаратора

№ варіанта	$U_{оп}, В$	$U_{mВХ}, В$	№ варіанта	$U_{оп}, В$	$U_{mВХ}, В$
1	2,0	9,0	31	2,1	4,0
2	2,2	8,8	32	2,3	4,2
3	2,4	8,6	33	2,5	4,3
4	2,6	8,4	34	2,7	7,4
5	2,8	8,2	35	2,9	8,1
6	3,0	8,0	36	3,1	8,5
7	3,2	7,8	37	3,3	8,7
8	3,4	7,6	38	3,5	8,9
9	3,6	7,4	39	3,7	9,1
10	3,8	7,2	40	3,9	9,3
11	4,0	7,0	41	4,1	9,5
12	4,1	6,8	42	4,3	9,7
13	4,2	6,6	43	4,5	10
14	2,1	9,0	44	2,1	4,2
15	2,3	8,8	45	2,3	4,3
16	2,5	8,6	46	2,5	7,4
17	2,7	8,4	47	2,7	8,1
18	2,9	8,2	48	2,9	8,5
19	3,1	8,0	49	3,1	8,7
20	3,3	7,8	50	3,3	8,9
21	3,5	7,6	51	3,5	9,1
22	3,7	7,4	52	3,7	9,3
23	3,9	7,2	53	3,9	9,5
24	4,1	7,0	54	4,1	9,7
25	4,3	6,8	55	4,3	10
26	4,5	6,6	56	4,5	8,1
27	2,0	9,0	57	2,7	8,5
28	2,2	8,8	58	2,9	8,7
29	2,4	8,6	59	3,1	8,9
30	2,6	8,4	60	3,3	9,1

5. Привести визначення та схему тригера Шмітта. Описати призначення елементів схеми.
6. Описати принцип роботи тригера Шмітта.
7. Визначити величину другого резистора діляника напруги, якщо напруга на неінвертуючий вхід подається з резистора величиною 1 кОм. Прийняти $U_{ВІХmax} = 11В$. Варіанти завдань величини опорної напруги приведені в таблиці 8.2.

Таблиця 8.2 – Варіанти завдань для дослідження тригера Шмітта

№ варіанта	$U_{оп}, В$	$U_{mВХ}, В$	№ варіанта	$U_{оп}, В$	$U_{mВХ}, В$
1	1,8	4,0	13	3,1	5,0
2	2,0	4,2	32	3,3	5,4
3	2,2	4,4	33	3,5	5,5
4	2,4	4,6	34	3,7	5,7
5	2,6	4,8	35	3,9	5,9
6	2,8	5,0	36	4,1	6,1
7	3,0	5,2	37	4,3	6,3
8	3,2	5,4	38	4,5	6,5
9	3,4	5,6	39	4,7	6,7
10	3,6	5,8	40	4,9	6,9
11	3,8	6,0	41	5,1	7,1
12	4,0	6,2	42	5,3	7,3
13	4,2	6,4	43	5,5	7,5
14	2,0	4,0	44	3,1	5,5
15	2,2	4,2	45	3,3	5,7
16	2,4	4,4	46	3,5	5,9
17	2,6	4,6	47	3,7	6,1
18	2,8	4,8	48	3,9	6,3
19	3,0	5,0	49	4,1	6,5
20	3,2	5,2	50	4,3	6,7
21	3,4	5,4	51	4,5	6,9
22	3,6	5,6	52	4,7	7,1
23	3,8	5,8	53	4,9	7,3
24	4,0	6,0	54	5,1	7,5
25	4,2	6,2	55	5,3	5,0
26	3,4	5,0	56	5,5	5,4
27	3,6	5,2	57	4,9	5,5
28	3,8	5,4	58	5,1	5,7
28	4,0	5,6	59	5,3	5,9
30	4,2	5,8	60	5,5	6,1

8. Представити на одному рисунку графіки зміни в часі вихідної напруги компаратора $U_{ВИХ} = f(U_{ВХ})$.
9. Привести визначення мультівібратора.
10. Привести схему мультівібратора.
11. Описати призначення елементів схеми і принцип роботи мультівібратора.
12. Привести визначення одновібратора.
13. Привести схему одновібратора.
14. Описати призначення елементів схеми і принцип роботи одновібратора.

8.3 Порядок виконання роботи

1. Запустити програму Electronic Workbench.
2. Набрати схему компаратора (рис. 8.5).

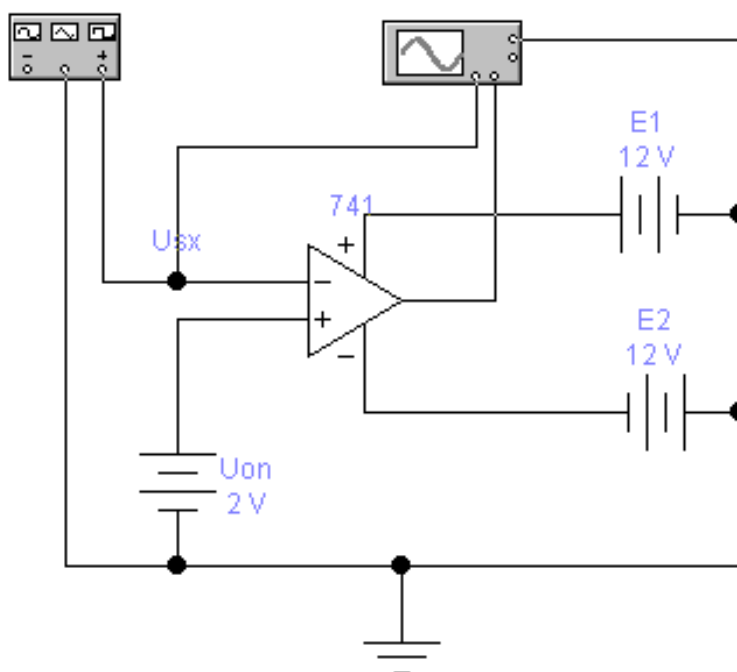


Рисунок 8.5 - Схема дослідження компаратора

3. Установити величину заданої опорної напруги $U_{оп}$ (таблиця 8.1).
4. На віртуальному генераторі установити задані значення частоти і напруги.
5. Лінію, що з'єднує вхід операційного підсилювача і вхід А віртуального осцилографа, установити кольоровою.
6. З віртуального осцилографа замалювати осцилограми вхідної і вихідної напруг компаратора (рис. 8.6).

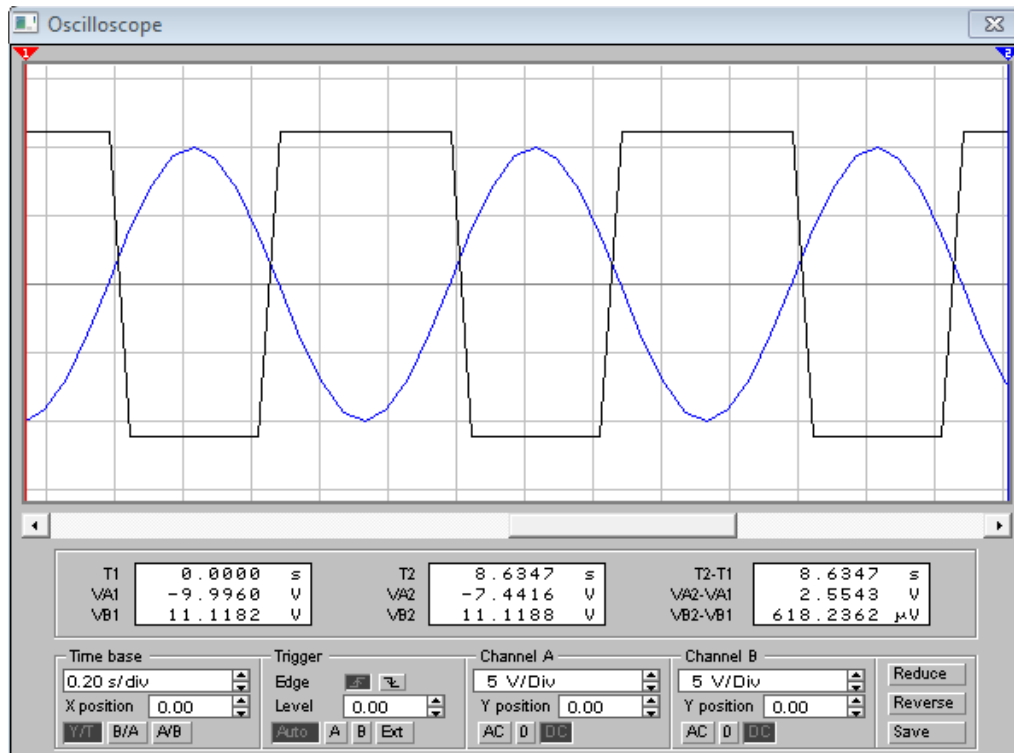


Рисунок 8.6 - Осцилограми напруг компаратора

7. Набрати схему тригера Шмітта (рис. 8.7). Встановити параметри схеми (варіанти завдань приведені в таблиці 8.2).

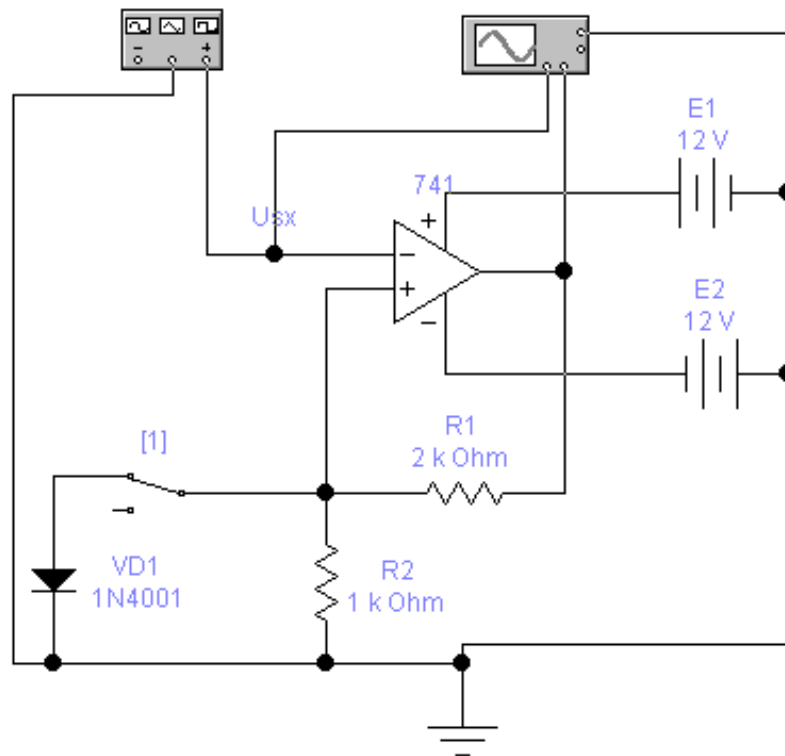


Рисунок 8.7 - Схема дослідження тригера Шмітта

8. З віртуального осцилографа замалювати осцилограми вхідної і вихідної напруг тригера Шмітта (рис. 8.8).
9. На осцилографі переключити режим розгорнення з V/T на V/A.
10. Замалювати осцилограму петлі гістерезису (рисунок 8.9).

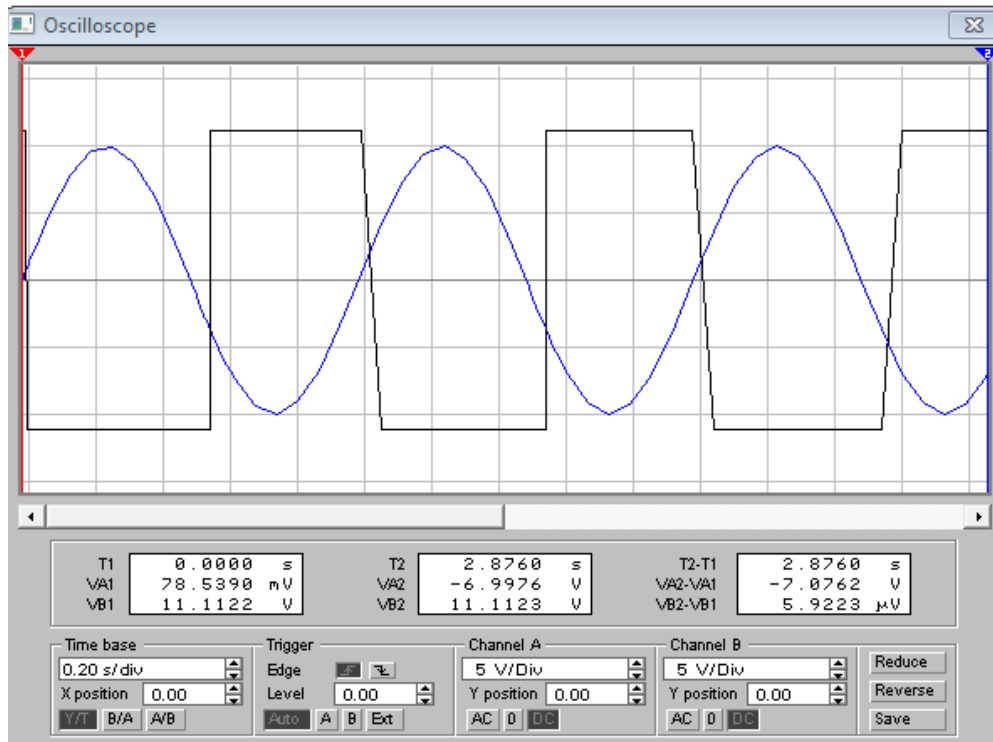


Рисунок 8.8 - Осцилограми напруг тригера Шмітта

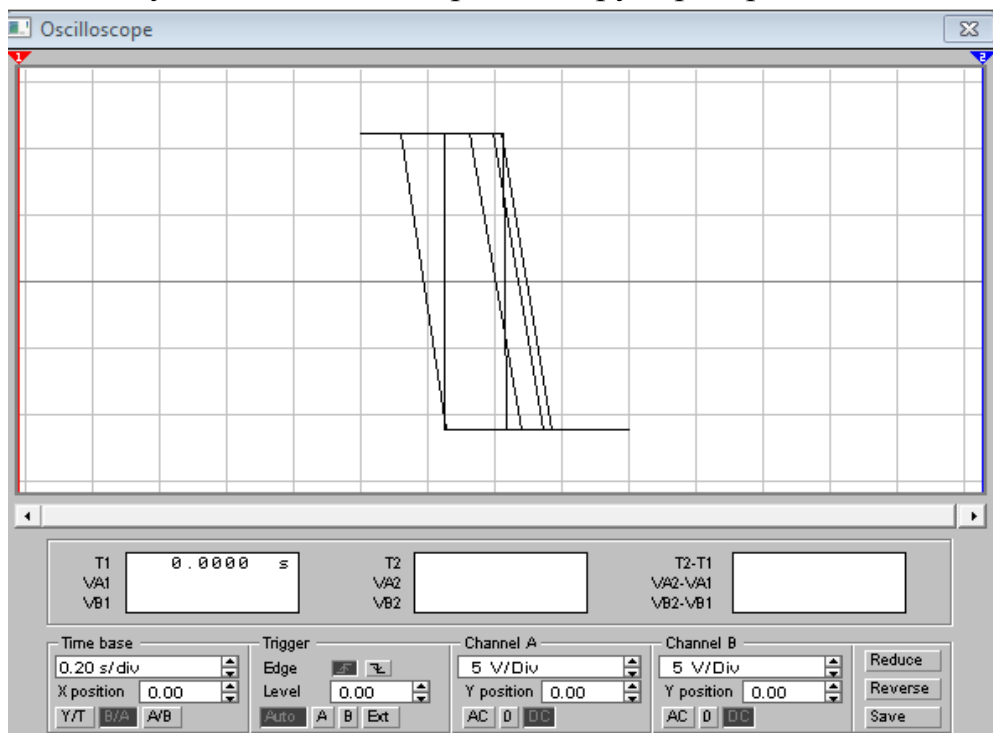


Рисунок 8.9 - Петля гістерезису тригера Шмітта

11. Набрати схему мультивібратора (рис. 8.10).

12. Установити задані величини елементів схеми. Варіанти завдань приведені в таблиці 8.3.

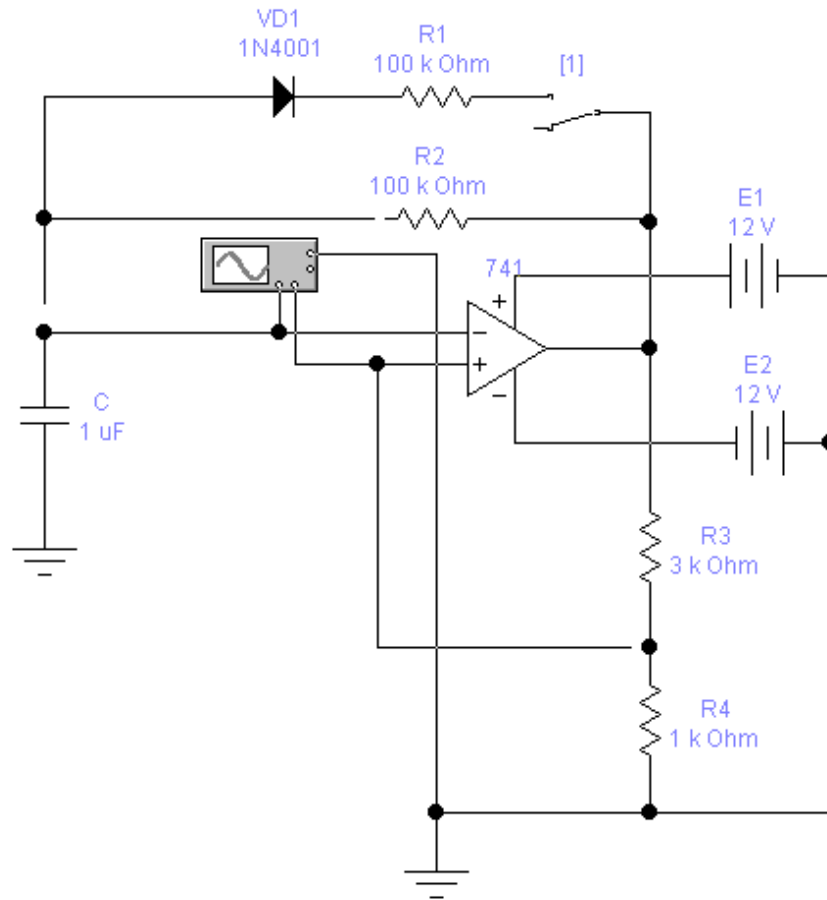


Рисунок 8.10 - Схема дослідження мультивібратора

13. Лінію, що з'єднує вхід А осцилографа, установити кольоровою.

14. Замалювати осцилограми напруг на вході і виході операційного підсилювача (рис. 8.11).

15. За допомогою візирних ліній віртуального осцилографа визначити тривалість і період імпульсів, що генеруються мультивібратором

16. Вхід В осцилографа з'єднати з виходом мультивібратора перемикачем [1].

17. Замалювати осцилограми напруг на вході і виході операційного підсилювача (рис. 8.12).

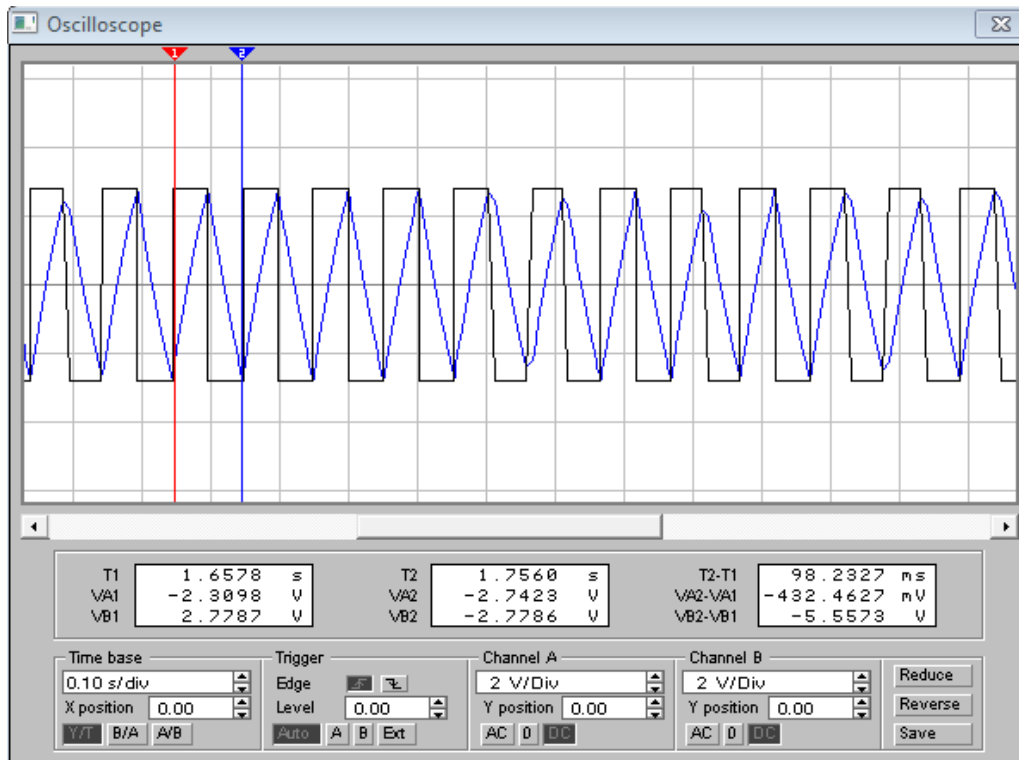


Рисунок 8.11 - Осцилограми напруг мультивібратора

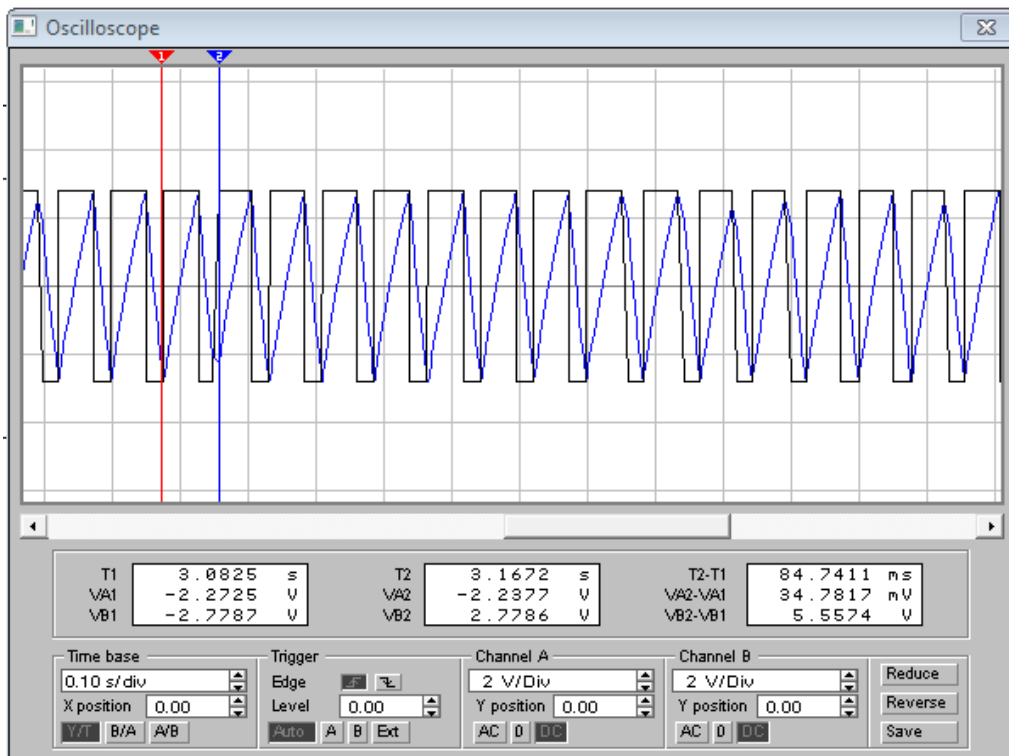


Рисунок 8.12 - Осцилограми напруг на вході і виході операційного підсилювача

Таблиця 8.3 – Варіанти завдань для дослідження мультівібратора

<i>№ Вар.</i>	$R_4,$ кОм	$R_3,$ кОм	$R_2,$ кОм	$C_1,$ мкФ	$R_1,$ кОм	<i>№ вар.</i>	$R_4,$ кОм	$R_3,$ кОм	$R_2,$ кОм	$C_1,$ мкФ	$R_1,$ кОм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	3	10	20	8	31	2,3	5,4	10	21	5
2	1,1	3,2	20	19	18	32	2,4	5,8	20	22	15
3	1,2	3,4	30	18	28	33	2,5	6,0	30	10	25
4	1,3	3,6	40	17	35	34	2,6	6,4	40	11	30
5	1,4	3,8	50	16	45	35	2,7	6,6	50	12	40
6	4,5	4,0	60	15	55	36	2,8	6,8	60	13	50
7	4,6	4,1	70	14	65	37	2,9	7,0	70	14	60
8	1,7	4,2	80	13	75	38	3,0	7,2	80	15	70
9	1,8	4,3	90	12	85	39	3,1	7,4	90	16	80
10	1,9	4,5	100	11	95	40	3,2	7,8	100	17	90
11	2,0	4,8	100	10	90	41	3,3	8,2	100	18	100
12	2,1	5,0	120	21	100	42	3,4	8,5	120	19	100
13	2,2	5,2	130	22	110	43	3,5	9,0	130	20	100
14	1	3	10	20	8	44	2,3	5,4	10	21	5
15	1,1	3,2	20	19	18	45	2,4	5,8	20	22	15
16	1,2	3,4	30	18	28	46	2,5	6,0	30	10	25
17	1,3	3,6	40	17	35	47	2,6	6,4	40	11	30
18	1,4	3,8	50	16	45	48	2,7	6,6	50	12	40
19	4,5	4,0	60	15	55	49	2,8	6,8	60	13	50
20	4,6	4,1	70	14	65	50	2,9	7,0	70	14	60
21	1,7	4,2	80	13	75	51	3,0	7,2	80	15	70
22	1,8	4,3	90	12	85	52	3,1	7,4	90	16	80
23	1,9	4,5	100	11	95	53	3,2	7,8	100	17	90
24	2,0	4,8	100	10	90	54	3,3	8,2	100	18	100
25	2,1	5,0	120	21	100	55	3,4	8,5	120	19	100
26	2,2	5,2	130	22	110	56	3,5	9,0	130	20	50
27	1,4	4,5	50	15	8	57	2,3	5,4	10	21	60
28	4,5	4,8	60	14	18	58	2,4	5,8	20	22	70
29	4,6	5,0	70	13	28	59	2,5	6,0	30	10	80
30	1,7	5,2	80	12	35	60	2,6	6,4	40	11	90

18. За допомогою візирних ліній осцилографа визначити тривалість і період генеруємих імпульсів.
19. Набрати схему одновібратора (рис. 8.13).
20. Встановити задані значення елементів схеми. Варіанти завдань приведені в таблиці 8.4.
21. Лінію, що з'єднує вхід В осцилографа, установити кольоровою.
22. Перемикачем [1] підключити джерело вхідного сигналу до входу операційного підсилювача.
23. Привести осцилограми напруг на входах операційного підсилювача і вихідної напруги одновібратора
24. За допомогою візирних ліній осцилографа визначити тривалість генеруємих імпульсів.

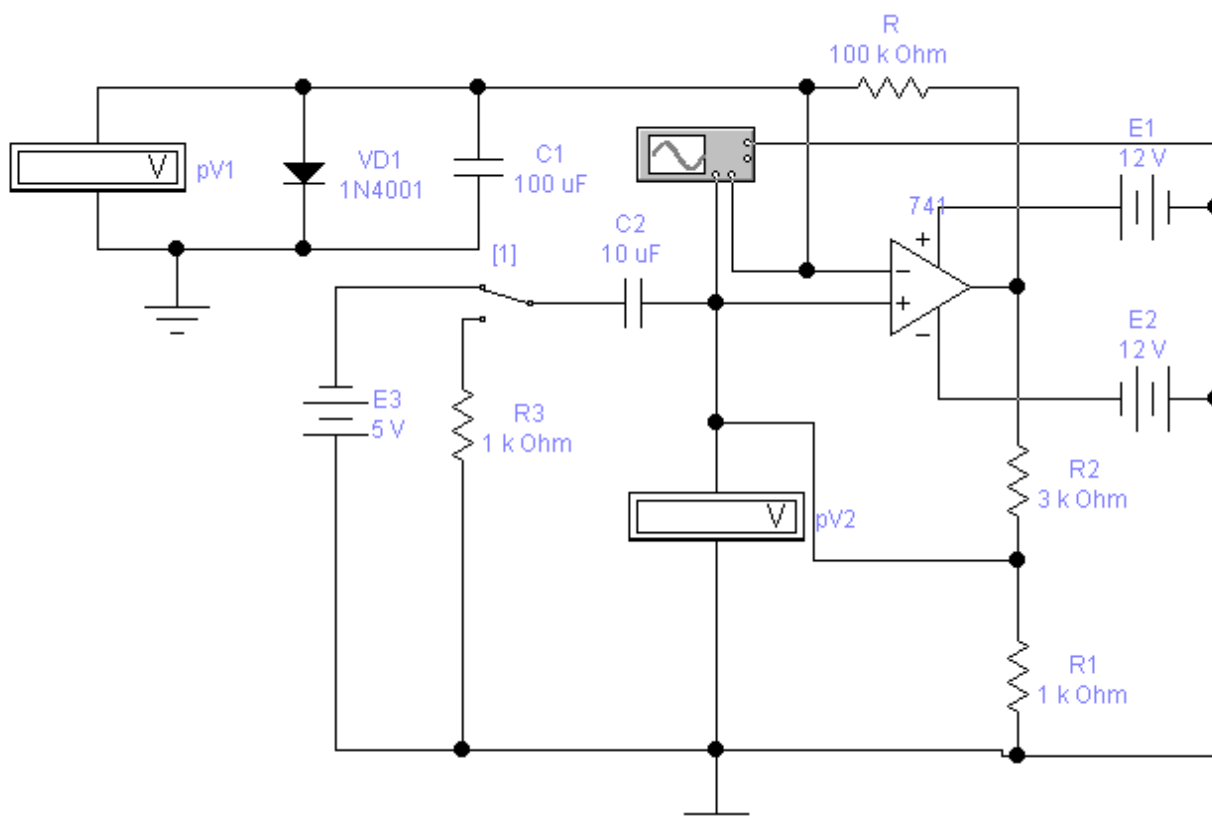


Рисунок 8.13 - Схема дослідження одновібратора

Таблиця 8.4 – Варіанти завдань для дослідження одновібратора

VD1N401 $U_{IP} = 1,35B$			VD1N4148 $U_{IP} = 1,57B$		
№ варіанта	$R, кОм$	$C_1, мкФ$	№ варіанта	$R, кОм$	$C_1, мкФ$
1	20	100	31	72	61
2	24	97	32	76	58
3	28	94	33	80	55
4	32	91	34	84	52
5	36	88	35	88	49
6	40	85	36	90	46
7	44	82	37	92	43
8	48	79	38	94	40
9	52	76	39	96	37
10	56	73	40	98	34
11	60	70	41	100	31
12	64	67	42	16	100
13	68	64	43	12	95
14	72	61	44	20	100
15	76	58	45	24	97
16	80	55	46	28	94
17	84	52	47	32	91
18	88	49	48	36	88
19	90	46	49	40	85
20	92	43	50	44	82
21	94	40	51	48	79
22	96	37	52	52	76
23	98	34	53	56	73
24	100	31	54	60	70
25	16	100	55	64	67
26	12	95	56	68	64
27	36	88	57	36	88
28	40	85	58	40	85
29	44	82	59	44	82
30	48	79	60	48	79

8.4 Контрольні запитання

1. Дайте визначення компараторам.
2. Наведіть умовне графічне зображення компаратора.
3. Наведіть передатну характеристику компаратора.
4. Дайте визначення тригерам Шмітта.

5. Наведіть умовне графічне зображення тригера Шмітта.
6. Наведіть передатну характеристику тригера Шмітта.
7. Дайте визначення мультівібраторам.
8. Наведіть схему мультівібратора на операційному підсилювачі.
9. Наведіть часові діаграми роботи мультівібратора.
10. Дайте визначення одновібратору.
11. Приведіть схему одновібратора на операційному підсилювачі.
12. Наведіть часові діаграми роботи одновібратора.
13. Опишіть принцип роботи компаратора.
14. Опишіть принцип роботи тригерів Шмітта.
15. Опишіть принцип роботи мультівібраторів.

8.5 Тестові завдання

Завдання № 1. Тригер Шмітта призначений для формування напруги якої форми?

- 1) циліндричної;
- 2) прямокутної;
- 3) пилкоподібної;
- 4) круглої.

Завдання № 2. Який рівень напруги може змінювати компаратор, коли рівні вхідні сигнали, що безупинно змінюються, стають рівними?

- 1) вихідної;
- 2) вхідної;
- 3) від'ємної;
- 4) паралельної.

Завдання № 3. Який пристрій, призначений для порівняння двох напруг?

- 1) логічний елемент;
- 2) стабілітрон;
- 3) компаратор;
- 4) діод.

Завдання № 4. Який пристрій, призначений для формування напруги прямокутної форми із вхідної напруги довільної форми?

- 1) тригер Шмітта;
- 2) біполярний транзистор;
- 3) стабілітрон;
- 4) немає правильної відповіді.

Завдання № 5. Який пристрій призначений для генерування періодичної послідовності імпульсів напруги прямокутної форми із необхідними параметрами ?

- 1) компаратор;
- 2) тригер Шмітта;
- 3) мультівібратор;
- 4) генератор лінійно-змінюваної напруги.

Завдання № 6. Що називається блокінг-генератором?

- 1) релаксаційний генератор, що являє собою однокаскадний ключовий підсилювач, що за допомогою імпульсного трансформатора замкнутий у кільцеву схему із сильним додатним зворотним зв'язком;
- 2) пристрій, призначений для генерування періодичної послідовності імпульсів напруги прямокутної форми із необхідними параметрами;
- 3) пристрій для створення розгорнення електронного променя по екрану електронно-променевої приладів;
- 4) немає правильної відповіді.

Завдання № 7. Чи збігаються рівні включення й вимикання тригера Шмітта?

- 1) ні;
- 2) так.

Завдання № 8. Пристрої, призначені для створення розгорнення електричного променя по екрану електронно-променевої приладів, одержання тимчасових затримок імпульсних сигналів, модуляції по тривалості й т.д. називаються...

- 1) компаратор;
- 2) тригер Шмітта;
- 3) мультівібратор;
- 4) генератор лінійно змінюваної напруги.

Завдання № 9. Мультівібратори працюють у режимі...

- 1) самозбудження;
- 2) подачі напруги;
- 3) подачі струму;
- 4) немає правильної відповіді.

Завдання № 10. Для чого призначений компаратор?

- 1) для підрахунку вхідних імпульсів;
- 2) для підсумовування двійкових кодів двох чисел;
- 3) для прийому, зберігання і передачі двійкових слів;
- 4) для порівняння рівнів вхідних напруг.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 9

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИГЕРІВ

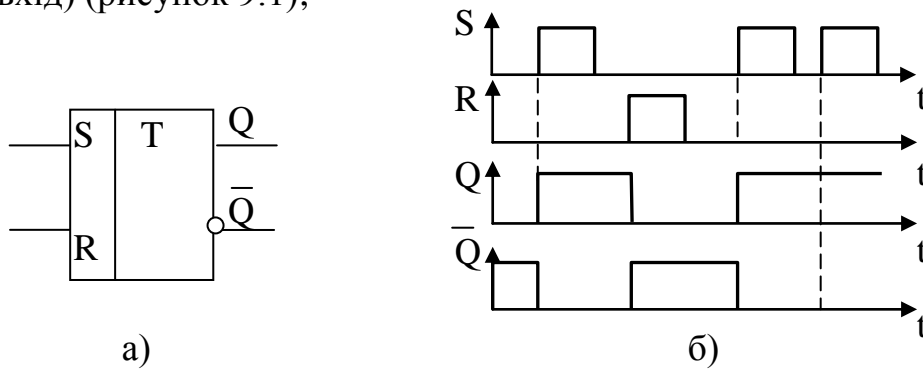
Мета роботи: Закріплення та експериментальне підтвердження теоретичного матеріалу по устрою, принципові дії, часовим характеристикам тригерів.

9.1 Теоретичні відомості

Тригером називають пристрій, що володіє двома станами стійкої рівноваги і здатний стрибком переходити з одного стану в інше під впливом зовнішнього керуючого сигналу.

Класифікація по функціональній ознаці:

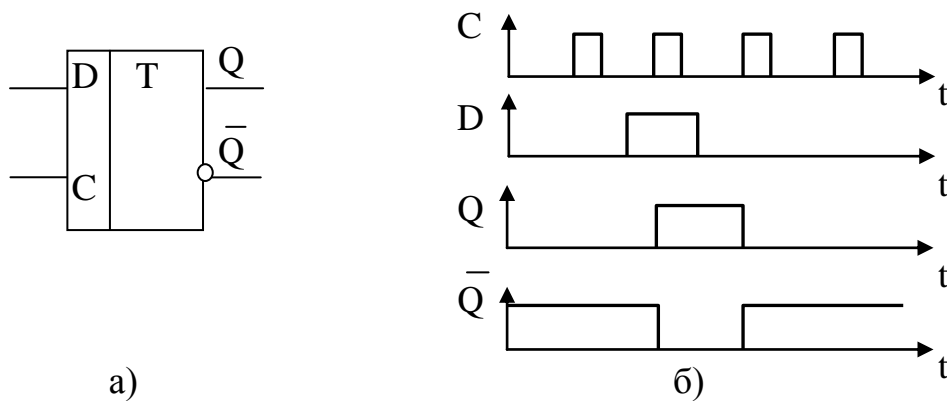
- R-S тригер – запам'ятовуючий елемент з роздільними інформаційними входами для установки його у відповідний стан "0" (R-вхід) і у стан "1" (S-вхід) (рисунк 9.1);



а) умовне графічне зображення; б) часові діаграми роботи

Рисунок 9.1 - R-S тригер

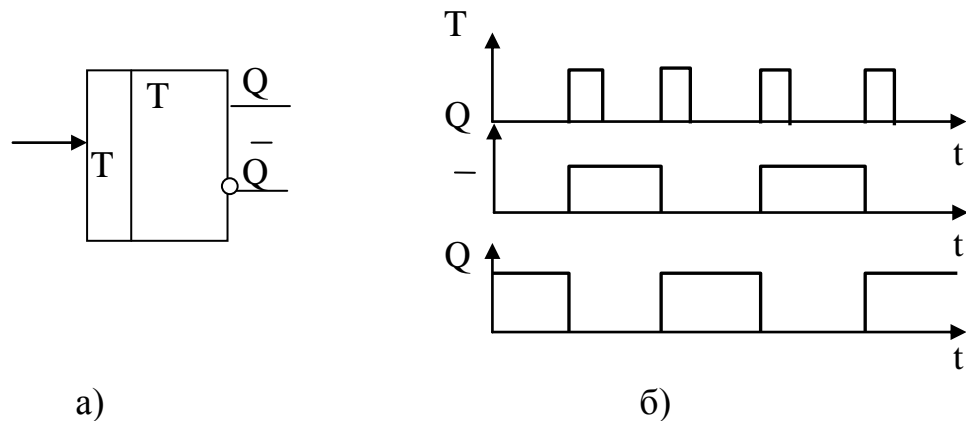
- D тригер – синхронний запам'ятовуючий елемент з двома сталими станами і одним інформаційним D-входом (рисунк 9.2);



а) умовне графічне зображення; б) часові діаграми роботи

Рисунок 9.2 - D тригер

- Т тригер – запам’ятовуючий елемент з двома сталими станами і одним інформаційним Т-входом. Стан Т-тригера змінюється на протилежний після кожного приходу лічильного імпульсу на Т-вхід (рисунок 9.3);



а) умовне графічне зображення; б) часові діаграми роботи

Рисунок 9.3 - Т тригер

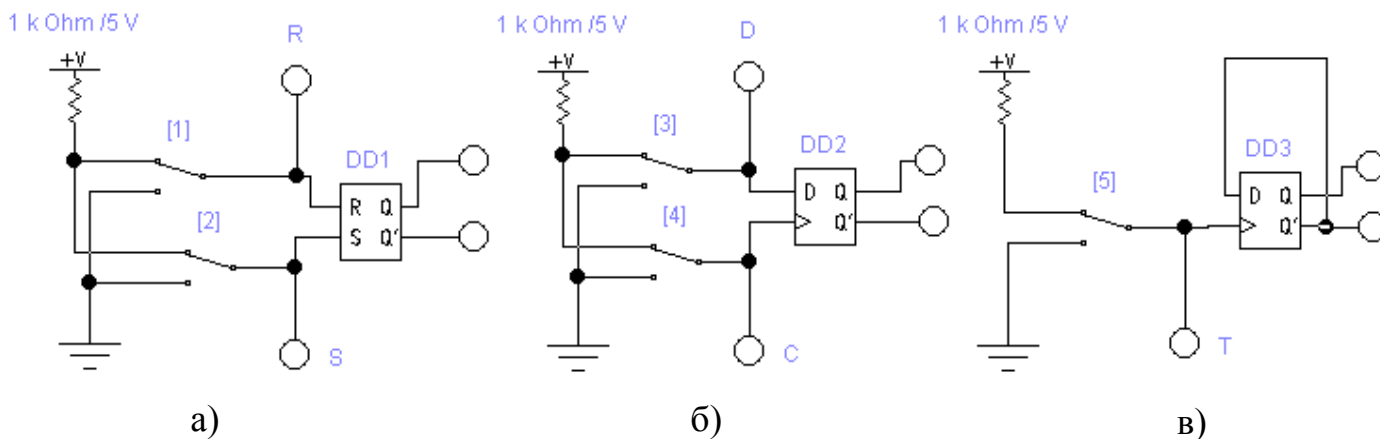
- J-К тригер – запам’ятовуючий елемент з двома сталими станами і інформаційними входами J (аналог S) і К (аналог R), які забезпечують відповідно роздільну установку сигналів “1” і “0”.

9.2 Завдання для самостійної підготовки

1. Вивчити теоретичний матеріал за темою 9 [4, с.115-120].
2. Привести функціональне призначення RS-, D-, T-, JK-тригерів.
3. Привести умовне графічне позначення зазначених тригерів.
4. Скласти таблиці переходів тригерів. Таблиця переходів показує стан Q^n тригера в деякий момент часу t^n і стан Q^{n+1} у наступний момент часу t^{n+1} після приходу чергових імпульсів.
5. Замалювати часові діаграми роботи тригерів.
6. На логічних елементах скласти схему RS-тригера.

9.3 Порядок виконання роботи

1. Запустити програму Electronic Workbench.
2. Набрати схеми дослідження тригерів (рис. 9.4).



а) RS – тригера; б) D – тригера; в) T - тригера

Рисунок 9.4 - Схеми дослідження тригерів в інтегральному виконанні:

- Включити схему. Подаючи перемикачами 1 і 2 на входи тригерів сигнали у відповідності з таблицею 9.1, заповнити таблицю 9.1 переходів для кожного тригера (Q – прямий вихід, Q' - інверсний вихід, функції T – тригера виконує D – тригер зі зворотним зв'язком: вихід інвертуючого тригера – Q' з'єднаний із входом D).
- Відповідно до таблиць станів (таблиця 9.1) побудувати часові діаграми роботи тригерів.

Таблиця 9.1 – Результати досліджень тригерів

RS – тригер				D - тригер				T - тригер		
t^{n+1}		Q^n	Q^{n+1}	t^{n+1}		Q^n	Q^{n+1}	t^{n+1}	Q^n	Q^{n+1}
R	S			D	C			T		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	1			0	1			1		
0	0			1	0			0		
1	0			1	1			1		
0	0			0	0			0		
0	1			0	1			1		
0	0			0	0			0		

9.4 Контрольні запитання

- Наведіть визначення тригера.
- Наведіть класифікацію тригерів.
- Наведіть умовне позначення й часові діаграми роботи RS - тригера.
- Наведіть умовне позначення й часові діаграми роботи D - тригера.

5. Наведіть умовне позначення й часові діаграми роботи Т - тригера.
6. Наведіть умовне позначення й часові діаграми роботи JK - тригера.
7. Наведіть принцип роботи RS - тригера.
8. Наведіть принцип роботи D - тригера.
9. Наведіть принцип роботи T - тригера.
10. Наведіть принцип роботи JK - тригера.

9.5 Тестові завдання

Завдання № 1. Як називається пристрій, що володіє двома станами стійкої рівноваги і здатний стрибком переходити з одного стану в інше під впливом зовнішнього керуючого сигналу?

- 1) логічний елемент;
- 2) тригер;
- 3) транзистор;
- 4) діод.

Завдання № 2. Який це тригер: запам'ятовуючий елемент з роздільними інформаційними входами для установки його у відповідний стан "0" (R-вхід) і у стан "1" (S-вхід)?

- 1) R-S тригер;
- 2) D тригер;
- 3) T тригер;
- 4) J-K тригер.

Завдання № 3. Який це тригер: синхронний запам'ятовуючий елемент з двома сталими станами і одним інформаційним D-входом?

- 1) R-S тригер;
- 2) D тригер;
- 3) T тригер;
- 4) J-K тригер.

Завдання № 4. Який це тригер: запам'ятовуючий елемент з двома сталими станами і одним інформаційним T-входом?

- 1) R-S тригер;
- 2) D тригер;
- 3) T тригер;
- 4) J-K тригер.

Завдання № 5. Що називається тригером?

- 1) пристрій, що володіє двома станами стійкої рівноваги і здатний стрибком переходити з одного стану в інше під впливом зовнішнього керуючого сигналу;

- 2) пристрій, що володіє трьома станами стійкої рівноваги і здатний стрибком переходити з одного стану в інше під впливом зовнішнього керуючого сигналу;
- 3) пристрій, призначений для зберігання інформації;
- 4) немає правильної відповіді

Завдання № 5. Чи існує в чистому виді J-K тригер?

- 1) так;
- 2) ні.

Завдання № 6. R-S тригер-це...

- 1) синхронний запам'ятовуючий елемент з двома сталими станами і одним інформаційним D-входом
- 2) запам'ятовуючий елемент з роздільними інформаційними входами для установки його у відповідний стан "0" (R-вхід) і у стан "1" (S-вхід);
- 3) запам'ятовуючий елемент з двома сталими станами і одним інформаційним T-входом;
- 4) запам'ятовуючий елемент з двома сталими станами і інформаційними входами J і K, які забезпечують відповідно роздільну установку сигналів "1" і "0".

Завдання № 7. Яку кількість інформації може зберігати тригер?

- 1) 1 Байт;
- 2) 0;
- 3) 1 Біт;
- 4) до одного терабайта.

Завдання № 8. На яких логічних елементах побудований тригер?

- 1) АБО або І;
- 2) викл. АБО;
- 3) АБО-НІ;
- 4) І-НІ.

Завдання № 9. Як називаються тригери, які мають С-вхід?

- 1) синхронні;
- 2) асинхронні;
- 3) паралельні;
- 4) послідовні.

Завдання № 10. Як називаються мінімальний час між наростанням синхросигнала С і спадом інформаційного сигналу D?

- 1) час відновлення;
- 2) час перемикання;
- 3) час попередньої установки у стан «0»;
- 4) час попередньої установки у стан «1».

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 10

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИПРЯМЛЯЧА ОДНОФАЗНОГО СТРУМУ

Мета роботи: Закріплення та експериментальне підтвердження теоретичного матеріалу по двопівперіодним випрямлювачам однофазного змінного струму. Дослідження впливу ємності конденсатора згладжувального фільтра на форму і величину випрямленої напруги.

15.1 Теоретичні відомості

Випрямлячем називають пристрій, призначений для перетворення енергії джерела змінного струму в постійний струм.

Залежно від числа фаз мережі змінного струму розрізняють однофазні й багатофазні (звичайно трифазні) випрямлячі.

За формою випрямленої напруги випрямлячі підрозділяють на однонапівперіодні й двопівперіодні.

Випрямлячі бувають некерованими й керованими:

За допомогою некерованих випрямлячів на виході одержують випрямлену (пульсуючу) напругу постійну за знаком, але змінну за величиною.

Керовані випрямлячі застосовують тоді, коли необхідно зменшити значення випрямленого струму або напруги. Для збільшення випрямленої напруги іноді застосовують множителі напруги.

Однофазні випрямлячі – це перетворювачі однофазної змінної напруги на знакопостійну пульсуючу напругу.

Некеровані випрямлячі живлять пристрої навантаження напругою, середнє значення якої не можна змінювати без конструктивних змін власно випрямляча.

Однопівперіодний некерований випрямляч має в своєму складі вентильну схему (ВС), що являє собою один діод, увімкнений послідовно з вторинною обмоткою трансформатора.

Двopівперіодний некерований випрямляч з виводом середньої точки вторинної обмотки трансформатора має в своєму складі вентильну схему (ВС), що складається з двох однопівперіодних схем, які працюють синхронно, але протифазно на одне навантаження.

Мостова схема випрямляча складається з чотирьох діодів, які сполучені за схемою електричного моста.

10.2 Завдання для самостійної підготовки

1. Вивчити теоретичний матеріал за темою 10 [4, с.146-151].
2. Дати визначення і класифікацію двонапівперіодних випрямлячів.
3. Обчислити параметри випрямленої напруги (U_d , I_d , q) при заданих значеннях: напруги на вході трансформатора U_{BX} і опору навантаження R_H . Коефіцієнт трансформації трансформатора – відношення напруги кожної вторинної обмотки U_2 до U_{BX} дорівнює 0,25. Варіанти завдань приведені в таблиці 10.1.

Таблиця 10.1 – Варіанти завдання

№ варіанта	$U_{вх}, В$	$R_H, Ом$	№ варіанта	$U_{вх}, В$	$R_H, Ом$
1	100	20	31	60	20
2	110	25	32	70	25
3	120	30	33	80	30
4	130	35	34	90	35
5	140	40	35	100	40
6	150	45	36	110	45
7	160	50	37	120	50
8	170	55	38	130	55
9	180	60	39	140	60
10	190	65	40	150	65
11	200	70	41	160	70
12	210	75	42	170	75
13	220	80	43	180	80
14	90	20	44	190	85
15	80	25	45	200	90
16	70	30	46	210	95
17	60	35	47	220	100
18	100	40	48	60	115
19	110	45	49	70	20
20	120	50	50	80	25
21	130	55	51	90	30
22	140	60	52	100	35
23	150	65	53	110	40
24	160	70	54	120	45
25	170	75	55	130	50
26	180	80	56	140	55
27	190	85	57	150	60
28	200	90	58	160	65
29	210	95	59	170	70
30	220	100	60	180	75

4. Привести схему випрямляча з виводом середньої точки трансформатора.
5. Визначити середнє значення струму I_{dCP} і зворотну напругу випрямного діода U_{d3B} при заданих значеннях вхідної напруги і опору навантаження.
6. Привести схему однофазного мостового випрямляча. Визначити I_{dCP} і U_{d3B} .
7. Для обох схем випрямлячів побудувати графіки зміни в часі напруг на діодах і опору навантаження при синусоїдній вхідній напрузі.
8. Описати роботу згладжувального ємнісного фільтру.

6.3 Порядок виконання роботи

1. Запустити програму Electronic Workbench.
2. Набрати схему випрямляча з виводом середньої точки трансформатора (рис. 10.1).

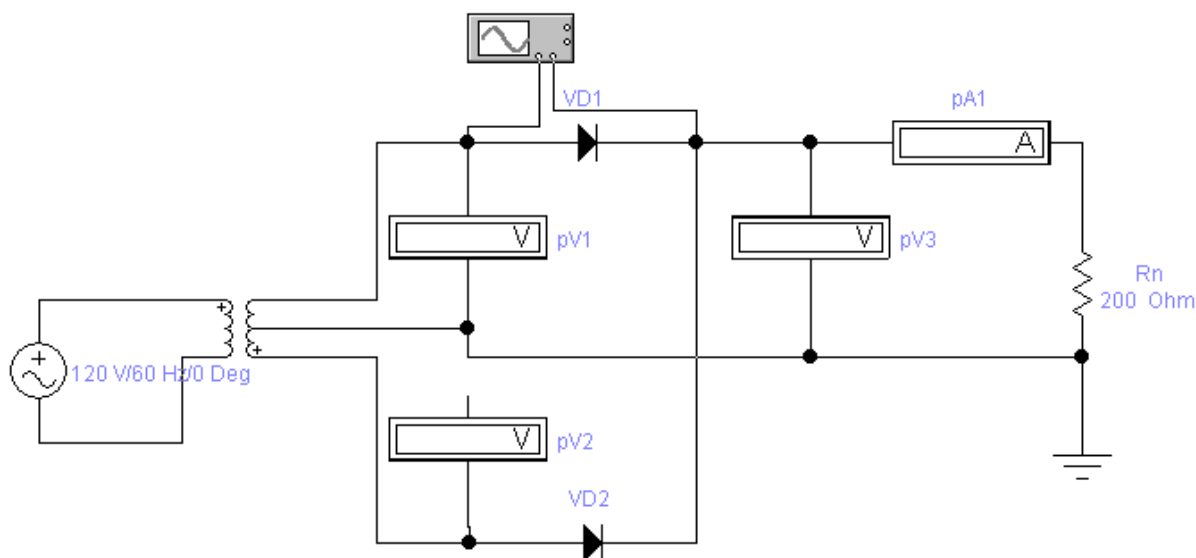


Рисунок 10.1 - Схема дослідження випрямляча з виводом середньої точки трансформатора

3. Установити задане значення напруги на джерелі ЕРС (U_{BX}). Варіанти завдань наведені у таблиці 10.1.
4. Лінію, що з'єднує вхід А осцилографа зі схемою установити кольоровою.
5. Включити схему і записати показання приладів.
6. На віртуальному осцилографі за допомогою візирної лінії визначити амплітудні значення напруг на вході діода і на резисторі (рис. 10.2).
7. Обчислити величину спадання напруги на діоді.
8. Замалювати осцилограми напруг.

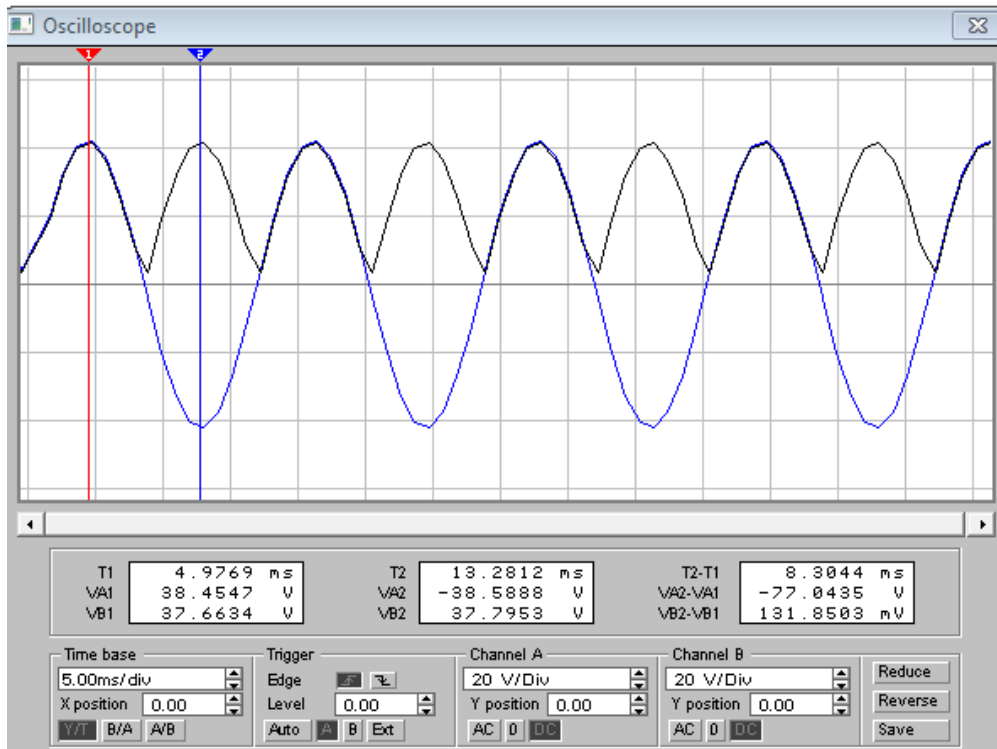


Рисунок 10.2 - Осцилограми напруг випрямляча з виводом середньої точки трансформатора

9. Набрати схему мостового випрямляча (рис. 10.3) й установити задану величину напруги E . Варіанти завдань наведені у таблиці 10.1.
10. При відключеному конденсаторі C записати показання приладів і замалювати осцилограму напруги (рис. 10.4).

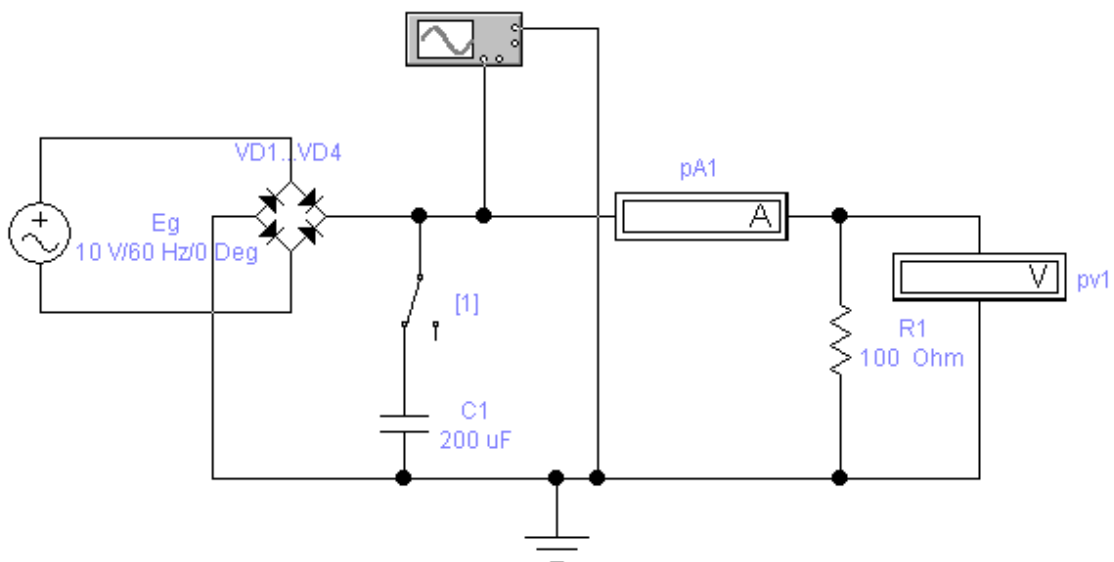


Рисунок 10.3 - Схема дослідження мостового випрямляча

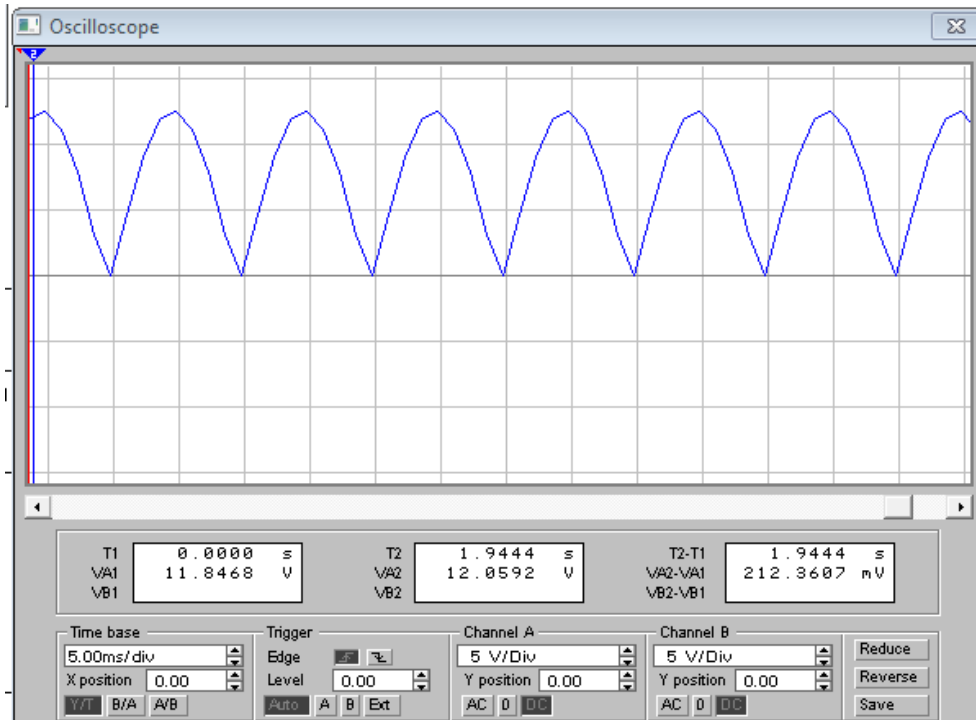


Рисунок 10.4 - Осцилограма напруги на виході однофазного двонапівперіодного мостового випрямляча

11. Підключити конденсатор C і змінюючи величину ємності згідно таблиці 10.2 записати показання приладів і замалювати осцилограми напруг (рис. 10.5).

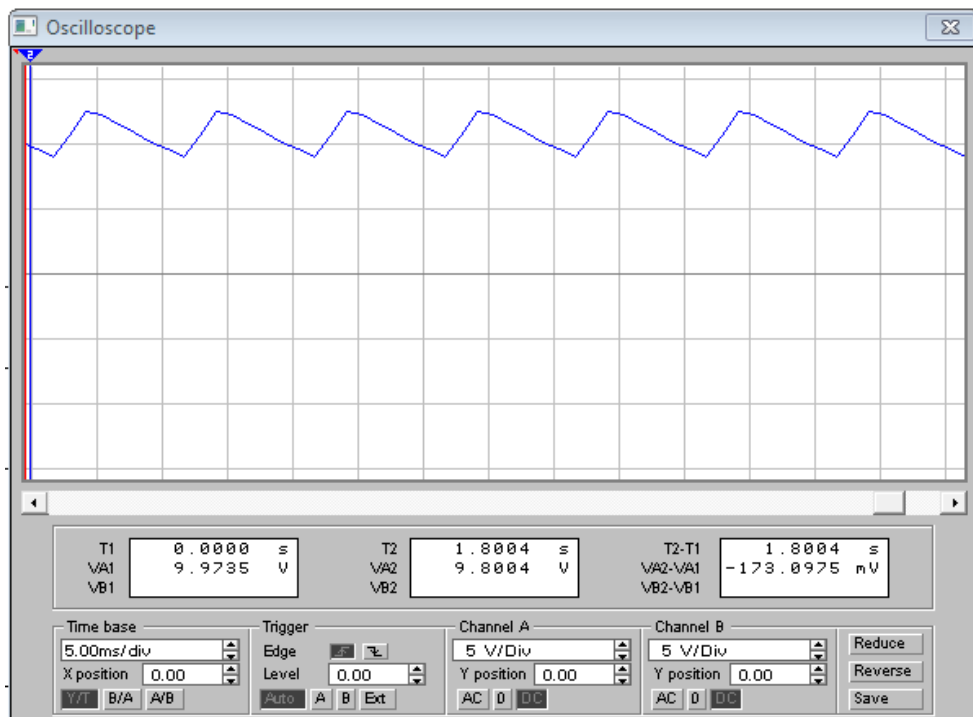


Рисунок 10.5 – Осцилограма напруги на виході однофазного двонапівперіодного мостового випрямляча з ємнісним згладжувальним фільтром

12. Побудувати графік залежності величини вихідної напруги від величини ємності конденсатора.

Таблиця 16.2 – Результати досліджень випрямляча

C , мкф	0	10	50	100	200	500	1000
U_d , В							
I_{dCP} , А							

6.4 Контрольні запитання

1. Дайте визначення однофазного однопівперіодного випрямляча.
2. Наведіть схему випрямляча. Опишіть принцип роботи випрямляча.
3. Замалуйте тимчасові діаграми роботи випрямляча.
4. Які основні параметри випрямленої напруги?
5. Де застосовуються однофазні однопівперіодні випрямлячі?

6.5 Тестові завдання

Завдання № 1. Що називається випрямлячем електричного струму?

- 1) пристрій, призначений для перетворення енергії джерела постійного струму в змінний струм;
- 2) пристрій, призначений для перетворення енергії приймача змінного струму в постійний струм;
- 3) пристрій, призначений для перетворення енергії джерела змінного струму в постійний струм;
- 4) усі відповіді вірні.

Завдання № 2. З яких елементів складається однофазний однонапівперіодний випрямляч?

- 1) трансформатор, напівпровідниковий діод, навантаження;
- 2) напівпровідниковий діод, навантаження;
- 3) трансформатор, напівпровідниковий діод;
- 4) усі відповіді вірні.

Завдання № 3. На чому базується робота однофазного однонапівперіодного випрямляча?

- 1) зрізання негативної напівхвилі амплітуди;
- 2) зрізання позитивної напівхвилі амплітуди;
- 3) усі відповіді вірні.

Завдання № 4. Як називається процес, при якому енергія постійного струму перетворюється в енергію змінного струму?

- 1) інвертування;
- 2) випрямлення;
- 3) рекомбінація;
- 4) згладження.

Завдання № 5. До якого типу джерел електроживлення відносяться випрямлячі електричного струму?

- 1) вторинні;
- 2) первинні;
- 3) магнітні;
- 4) третинні.

Завдання № 6. У яких випадках використовуються керовані випрямлячі?

- 1) коли необхідно зменшити значення випрямленого струму або напруги;
- 2) коли необхідно збільшити значення випрямленого струму або напруги.

Завдання № 7. Скільки напівпровідникових діодів містить мостовий випрямляч?

- 1) два;
- 2) чотири;
- 3) шість;
- 4) вісім.

Завдання № 8. Що називається згладжувальним фільтром?

- 1) пристрій, призначений для зменшення пульсацій випрямленої напруги;
- 2) пристрій, призначений для перетворення синусоїдального струму у прямокутний;
- 3) перетворення енергії постійного струму в енергію змінного струму;
- 4) перетворення енергії змінного струму в енергію постійного струму .

Завдання № 9. Коефіцієнти пульсацій випрямлених напруг для однопівперіодного однофазного випрямляча дорівнює ...

- 1) 0,25;
- 2) 0,97;
- 3) 1,57;
- 4) 0,0057.

Завдання № 10. Як ємнісний фільтр включається відносно навантажувального резистора?

- 1) послідовно;
- 2) паралельно.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 11

ДОСЛІДЖЕННЯ СТАБІЛІЗАТОРІВ НАПРУГИ

Мета роботи: Закріплення та експериментальне підтвердження теоретичного матеріалу по компенсаційним стабілізаторам напруги.

11.1 Теоретичні відомості

Стабілізатором напруги називають пристрій, що автоматично забезпечує підтримку напруги навантажувального пристрою із заданою точністю.

Напруга промислових мереж змінного струму може відрізнитися від номінального значення в межах від 5 до -15%. Іншими дестабілізуючими факторами є зміна температури навколишнього середовища, коливання частоти струму й т.д. Застосування стабілізаторів диктується тим, що сучасна електронна апаратура може нормально функціонувати при нестабільності живлячої напруги 0,1...3%.

Стабілізатори класифікуються:

- 1) за родом стабілізуємої величини - стабілізатори напруги й струму;
- 2) за способом стабілізації - параметричні та компенсаційні стабілізатори (безперервної дії та імпульсні).

Параметричний метод стабілізації базується на зміні параметрів нелінійного елемента стабілізатора в залежності від зміни дестабілізуючого чинника.

Особливості роботи такого стабілізатора напруги засновані на тому, що напруга стабілітрона на зворотній гілці його ВАХ змінюється незначно в широкому діапазоні зміни зворотного струму стабілітрона. Зміна напруги на вході стабілізатора зумовлює значну зміну струму стабілітрона при незначній зміні напруги на ньому.

В порівнянні з параметричними компенсаційні стабілізатори напруги мають вищий коефіцієнт стабілізації ($k_{CT} \geq 50$) і менший вихідний опір. Їх принцип роботи заснований на тому, що зміна напруги на навантаженні (під дією зміни U_{BX} або I_H) передається на регулюючий елемент, що спеціально вводиться в схему і перешкоджає зміні напруги U_H .

11.2 Завдання для самостійної підготовки

1. Вивчити теоретичний матеріал за темою 11 [4, с.154-159].
2. Дати визначення і класифікацію стабілізаторів напруги.
3. Описати принцип роботи параметричного стабілізатора напруги.

4. Описати принцип роботи компенсаційного стабілізатора напруги.
5. Виконати розрахунок стабілізатора. Вихідні дані: номінальна вихідна напруга $U_{н.вих}$, межі регулювання вихідної напруги $\Delta U_{вих} = U_{вих\max} - U_{вих\min}$, номінальний струм навантаження $I_{н.ном}$, зміна вхідної напруги $\Delta U_{вх}$. Варіанти завдань наведені в таблиці 11.1.

Таблиця 11.1 – Варіанти завдань

№	$\pm\Delta U_{вх}$, %	ΔU_0 , В	$\pm\Delta U_0$, В	I_0 , А	№	$\pm\Delta U_{вх}$, %	ΔU_0 , В	$\pm\Delta U_0$, В	I_0 , А
1	15	5	1	0,1	31	5	5	1	0,05
2	20	10	2	0,2	32	10	10	1	0,06
3	5	15	3	0,3	33	15	15	1	0,07
4	10	20	4	0,4	34	20	20	1	0,08
5	15	25	5	0,5	35	5	25	1,5	0,09
6	10	30	1	0,6	36	20	30	1,5	0,1
7	15	35	2	0,7	37	5	35	1,5	0,15
8	20	40	3	0,8	38	10	40	2,0	0,2
9	5	45	4	0,9	39	15	45	2,0	0,25
10	10	50	5	1,0	40	20	50	2,5	0,3
11	15	5	1	1,1	41	5	55	2,5	0,35
12	20	10	2	1,2	42	10	5	0,5	0,4
13	5	15	2	1,3	43	15	10	0,5	0,45
14	10	20	3	1,4	44	20	15	1	0,5
15	15	25	3,5	1,5	45	5	20	1	0,55
16	20	30	4,0	1,6	46	10	25	1	0,6
17	5	35	4,5	1,7	47	15	30	1,5	0,65
18	10	40	5,0	1,8	48	20	35	2,0	0,7
19	15	45	5,5	1,9	49	5	40	2,5	0,75
20	20	50	6,0	2,0	50	10	45	3,0	0,8
21	5	10	1	2,1	51	15	50	3,5	0,85
22	10	15	1,5	2,2	52	20	5	1	0,9
23	15	20	2,0	2,3	53	5	10	1,5	0,95
24	20	25	2,5	2,4	54	10	15	1,5	1,0
25	5	30	3,0	2,5	55	15	20	2,0	1,05
26	10	35	3,5	2,6	56	20	25	2,0	1,1
27	15	40	4,0	2,7	57	5	30	2,5	1,2
28	20	45	4,5	2,8	58	10	35	3,0	1,3
29	5	50	5,0	2,9	59	15	40	3,5	1,4
30	10	55	5,5	3,0	60	20	45	4,0	1,5

Порядок розрахунку:

1. Визначають:

- мінімальну вхідну напругу за формулою

$$U_{ВХ\min} = U_{ВІХ\max} + (4...5), \quad (11.1)$$

де $U_{ВІХ\max} = U_{НВІХ} + \Delta U_{ВІХ}$;

- номінальну вхідну напругу за формулою

$$U_{НВХ} = U_{ВХ\min} + \Delta U_{ВХ}; \quad (11.2)$$

- максимальну вхідну напругу за формулою

$$U_{ВХ\max} = U_{ВХ\min} + 2\Delta \quad (11.3)$$

2. В залежності від струму навантаження визначають число транзисторів регулюючого елемента. При струмі $I_0 = (0,02...0...0,03)A$ можна використовувати тільки один транзистор VT1, VT2; при $0,06 < I_0 < 5A$ – усі три транзистори.

3. По $U_{ВХ\max}$, $U_{0\min}$, I_0 визначають:

- максимальну напругу колектор-емітер за формулою:

$$U_{КЕ\max} = U_{ВХ\max} - U_{0\min}, \quad (11.4)$$

- струм колектора за формулою:

$$I_K = 1,2I_0, \quad (11.5)$$

- потужність, що виділяється на колекторному р-п переході, за формулою:

$$P_K = U_{КЕ\max} \cdot I_K. \quad (11.6)$$

- вибирають тип транзистора.

4. Обирають тип стабілітрона VD по напрузі стабілізації з умови $U_C = U_{0\min} - (2...3) В$. у цьому випадку опір резистора визначається за формулою:

$$R_2 = \frac{(2...3)}{I_{С\min}}, \quad (11.7)$$

де $I_{С\min}$ – мінімальний струм стабілітрона, мА.

При $I_{С\min} = 5mA$ $R_2 = (400...600) Ом$. Опір резистора R_1 визначають з умови, що при напрузі $U_{ВХ\min} - U_C$ по ньому протікає струм $3...5...5$ мА.

5. Розраховують сумарний опір R_D резисторів дільника $R_3...R_5$ з умови протікання по ньому струму $5...10...10mA$ при номінальній напрузі U_0 . При цьому опори резисторів дільника визначаються за формулами:

$$R_5 = \frac{R_D (U_C + U_{BE2})}{U_{0\max}}, \quad (11.8)$$

$$R_4 = \frac{R_D(1-U_C)}{U_{0\min}}, \quad (11.9)$$

$$R_3 = R_D - R_4 - R_5. \quad (11.10)$$

11.3 Порядок виконання роботи

1. Запустити програму Electronic Workbench.
2. Набрати схему компенсаційного стабілізатора напруги (рисунок 11.1).

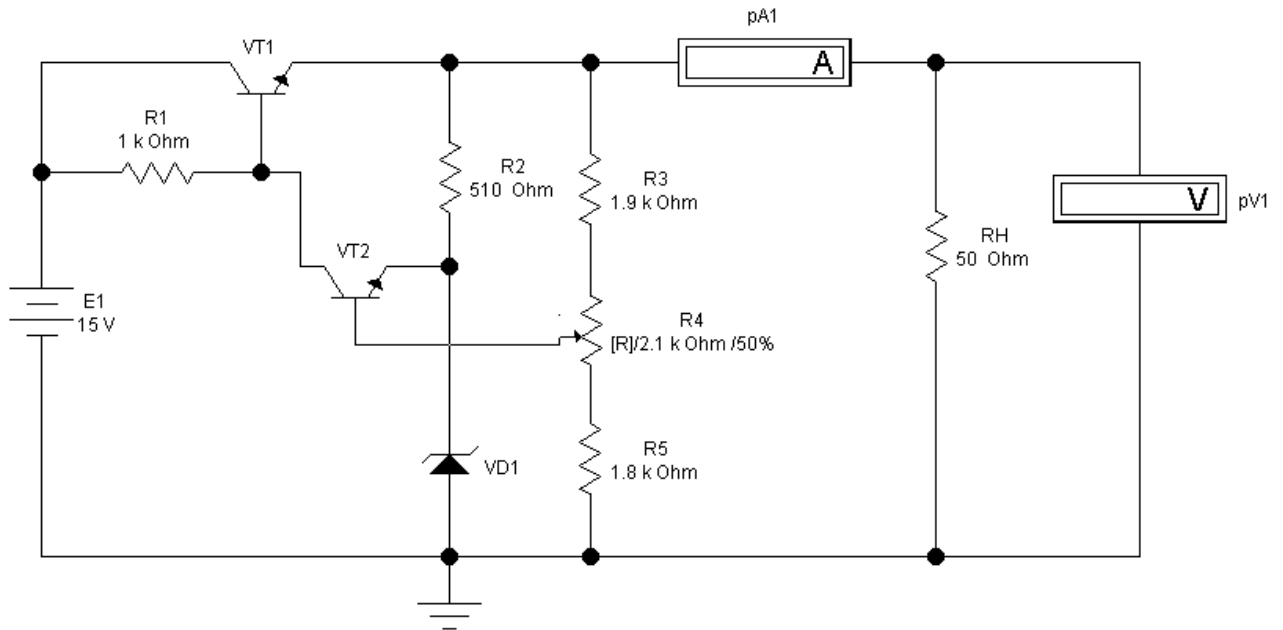


Рисунок 11.1 - Схему дослідження компенсаційного стабілізатора напруги

3. Установити задані і розрахункові параметри елементів схеми.
4. Уключити схему. Подати на вхід стабілізатора напругу $U_{BXном}$ і резистором R_4 установити U_0 . Заповнити таблицю 11.2.

Таблиця 11.2 - Результати дослідження компенсаційного стабілізатора напруги

$U_{ВХ}, B$	$U_{ВХном}, B$	$U_{ВХмін}, B$	$U_{ВХмакс}, B$

5. Визначити коефіцієнт стабілізації за формулою:

$$K_{СТ} = (\Delta U_{ВХ} / U_{ВХном}) / (\Delta U_0 / U_0). \quad (11.11)$$

6. При номінальній вхідній напрузі, змінюючи опір резистора R_4 у межах (0...100)% визначити $U_{0\min}$ і $U_{0макс}$.

7. Зняти навантажувальну характеристику стабілізатора: $U_{ВИХ}=f(I_H)$. Показання приладів занести в таблицю 11.3.
8. За результатами досліду побудувати навантажувальну характеристику.

Таблиця 11.3 – Результати дослідження для побудови навантажувальної характеристики

I_H/I_0	1,0	1,3	1,6	1,9	2,2	2,5	2,8	3,1
$U_{ВИХ}$ В								

11.4 Контрольні запитання

1. Дайте визначення стабілізатора напруги.
2. Наведіть класифікацію стабілізаторів.
3. Які основні параметри стабілізаторів напруги?
4. Опишіть принцип роботи компенсаційного стабілізатора.
5. Який спосіб регулювання вихідної напруги?

11.5 Тестові завдання

Завдання № 1. Стабілізатором напруги називають:

- 1) пристрій, що не здійснює підтримку напруги навантажувального пристрою із заданою точністю;
- 2) пристрій, що підвищує напругу;
- 3) пристрій, що автоматично забезпечує підтримку напруги навантажувального пристрою із заданою точністю;
- 4) пристрій, що забезпечує підтримку напруги в резисторах.

Завдання № 2. Компенсаційні стабілізатори напруги - це система:

- 1) автоматичного регулювання, в яких забезпечується сталість напруги на навантажувальному пристрої з високим ступенем точності;
- 2) забезпечення напруги на навантажувальному пристрої з низьким ступенем точності;
- 3) сталого регулювання напруги, в яких забезпечується сталість опору на навантажувальному пристрої з високим ступенем точності;
- 4) коефіцієнт напруги на навантажувальному пристрої з низьким ступенем точності.

Завдання № 3. Стабілізатори класифікують за родом величини, що стабілізується, на:

- 1) стабілізатори напруги і струму;

- 2) стабілізатори опору;
- 3) стабілізатори потужності;
- 4) усі відповіді правильні.

Завдання № 4. Стабілізатори класифікують за способом стабілізації на:

- 1) параметричні, компенсаційні;
- 2) рівноважні;
- 3) немає правильної відповіді.

Завдання № 5. Вкажіть недолік компенсаційного стабілізатора напруги:

- 1) низький ККД;
- 2) низький коефіцієнт стабілізації;
- 3) чутливість до температури зовнішнього середовища;
- 4) усі відповіді правильні.

Завдання № 6. Чи випускає промисловість імпульсні стабілізатори?

- 1) так;
- 2) ні.

Завдання № 7 Коефіцієнт стабілізації може досягати:

- 1) 30-50;
- 2) 20-40;
- 3) 50-60;
- 4) 10-15.

Завдання № 8. Напруга промислових мереж змінного струму може відрізнятись від номінального значення в межах...

- 1) від 15 до -15%;
- 2) від 14 до -14%;
- 3) від 16 до -15%;
- 4) від 10 до -10%.

Завдання № 9. Який основний напівпровідниковий елемент, що забезпечує постійність напруги на виході стабілізатора, використовується в стабілізаторах напруги?

- 1) випрямний діод;
- 2) стабілітрон;
- 3) тунельний діод;
- 4) тензоприлад.

Завдання № 10. Як називається відношення напруги пульсацій на вході стабілізатора до напруги пульсацій на його виході?

- 1) коефіцієнт згладжування пульсацій ;
- 2) коефіцієнт корисної дії ;
- 3) вихідний опір;
- 4) коефіцієнт нестабільності по струму.

Глосарій

База	середній шар біполярного транзистора
Біполярний транзистор	напівпровідниковий прилад, що складається із трьох областей із типами, що чергуються, електропровідності, призначений для посилення потужності
Блокінг-генератор	генератор, що являє собою однокаскадний ключовий підсилювач, що за допомогою імпульсного трансформатора замкнутий у кільцеву схему із сильним додатним зворотним зв'язком
Випрямний діод	напівпровідниковий діод, що призначений для перетворення змінного струму в постійний
Генератори лінійно змінюваної напруги	призначені для створення розгорнення електронного променя по екрану електронно-променевих приладів, одержання часових затримок імпульсних сигналів, модуляції імпульсів по тривалості й т.д.
D тригер	синхронний запам'ятовуючий елемент з двома сталими станами і одним інформаційним D-входом
Інвертування	процес перетворення енергії постійного струму в енергію змінного струму. Пристрої, що здійснюють цей процес, називають інверторами.
Інтегральна мікросхема	мікроелектронний виріб, що має не менше п'яти активних (транзистори, діоди) і пасивних (резистори, конденсатори, дроселі) елементів, які виготовляються в єдиному технологічному процесі, електрично зв'язані між собою, об'єднані в загальний корпус і являють собою нероздільне ціле.
Затвор	електрод, що служить для регулювання поперечного перерізу каналу.
Згладжувальний фільтр	пристрій, призначений для зменшення пульсацій випрямленої напруги. Як відзначалося, випрямлена напруга є пульсуючою.
Зворотній зв'язок	подача частини (або всього) вихідного сигналу підсилювача на його вхід

Електронно-дірковий перехід	область на границі двох напівпровідників, один із яких має електронну, а інший діркову провідність, у якій відсутні рухливі носії зарядів, тобто має високий питомий опір
Електричний імпульс	напруга або струм, що відрізняється від нуля або має постійне значення лише протягом короткого проміжку часу меншого або порівняного із тривалістю встановлення процесів в імпульсній системі.
Емітер	зовнішній шар, що є джерелом носіїв заряду (електронів і дірок), що, головним чином, і утворює струм приладу
Канал	область у транзисторі, опір якої залежить від потенціалу на затворі
Компаратор	пристрій, призначений для порівняння двох напруг
колектор	приймає носії заряду, які приходять від емітера
Коефіцієнт підсилення багатокаскадного підсилювача	дорівнює добутку коефіцієнтів підсилення, які входять до нього
ЛІЗМОН-транзистор	це МОН-транзистор (метал-оксид-напівпровідник) з індукованим каналом типу p або n
Логічний елемент	елемент, що виконує певну логічну функцію
Мультивібратор	пристрій, призначений для генерування періодичної послідовності імпульсів напруги прямокутної форми із необхідними параметрами (амплітудою, тривалістю, частотою проходження та ін.)
Напівпровідниковий діод	напівпровідниковий прилад з одним $p-n$ переходом і двома виводами, у якому використовуються властивості переходу
Напівпровідниковий стабілітрон	напівпровідниковий діод, напруга на якому в області електричного пробою мало залежить від струму і який служить для стабілізації напруги

Одновібратор	призначений для формування прямокутного імпульсу напруги необхідної тривалості й амплітуди при впливі на вході короткого імпульсу, що запускає
Операційний підсилювач	диференціальний підсилювач постійного струму з великим коефіцієнтом підсилення (десятки ... сотні тисяч), що має два входи й один вихід, і живиться від джерела біполярної напруги
Підсилювач електричних сигналів	пристрій, що здійснює керування енергією, при якому шляхом витрати невеликої її кількості можна управляти енергією у багато разів більше
Підсилювач постійного струму	призначений для посилення сигналів, що повільно змінюються в часі, тобто сигналів, еквівалентна частота яких наближається до нуля.
Польовий транзистор	напівпровідниковий прилад, у якому струм через канал управляється електричним полем, що виникає з поданням напруги між затвором і витокком
Польовий транзистор із керуючим переходом	польовий транзистор, у якого затвор електрично відділений від каналу закритим <i>p-n</i> переходом
Польовий транзистор з ізольованим затвором	польовий транзистор, затвор якого електрично відділений від каналу шаром діелектрик
Постійна пам'ять	призначена для зберігання програм, констант, табличних функцій та іншої інформації, що записується заздалегідь і не змінюється в процесі поточної роботи комп'ютера
R-S тригер	запам'ятовуючий елемент з роздільними інформаційними входами для установки його у відповідний стан "0" (R-вхід) і у стан "1" (S-вхід).
Світлодіод	напівпровідниковий діод, у якому передбачена можливість виводу світлового випромінювання з області <i>p-n</i> переходу крізь прозоре вікно в корпусі.
Стабілізатор напруги	пристрій, що автоматично забезпечує підтримку напруги

	навантажувального пристрою із заданою точністю.
Сток	електрод, через який основні носії заряду виходять із каналу
Тиристор	напівпровідникові прилади із трьома або більше $p-n$ переходами, у яких вольт-амперна характеристика має ділянку з негативним диференціальним опором.
Тригер	пристрій, що володіє двома станами стійкої рівноваги і здатний стрибком переходити з одного стану в інше під впливом зовнішнього керуючого сигналу.
T тригер	запам'ятовуючий елемент з двома сталими станами і одним інформаційним T-входом. Стан T-тригера змінюється на протилежний після кожного приходу лічильного імпульсу на T-вхід.
Тригер Шмітта	пристрій, призначений для формування напруги прямокутної форми із вхідної напруги довільної форми.
Фоторезистор	фотоелектричний напівпровідниковий приймач випромінювання, опір якого залежить від освітленості
Фотодіод	називають напівпровідниковий фотоелектричний діод, у якому поглинання випромінювання проходить безпосередньо близь переходу, і при цьому виникає фотогальванічний ефект, що проявляється на його виводах.
Фототранзистор	транзистор, у якому використовується фотоелектричний ефект.
J-K тригер	запам'ятовуючий елемент з двома сталими станами і інформаційними входами J (аналог S) і K (аналог R), які забезпечують відповідно роздільну установку сигналів "1" і "0".

Список літератури

1. Забродин Ю. С. Промышленная электроника. М: Высшая школа, 1982. 496с.
2. Загальна електротехніка: навчальний посібник для студентів вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом підготовки «Процеси машини та обладнання агропромислового виробництва» / В. В. Овчаров, О. Ю.Вовк. Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2018. 310с.
3. Интегральные микросхемы: справочник / под ред. Б.В. Тарабрина. М: Радио и связь, 1984. 210 с.
4. Єремєєв В.С., Чураков А.Я., Строкань О.В., Соловійова М.М. Мікроелектроніка. Мелітополь: Видавництво Мелітопольського державного педагогічного університету ім. Богдана Хмельницького, 2013. 180 с.
5. Квітка С. О., Курашкін С. Ф., Соломаха О. В. Електроніка та мікросхемна техніка. Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2018. 184 с.
6. Колонтаєвський Ю.П., Сосков А.Г. Промислова електроніка та мікросхемна техніка. К. : Каравела, 2003. 368с.
7. Мелешин, В. И. Транзисторная преобразовательная техника. М.: Техносфера, 2009. 628с.
8. Миловзоров О. В., Панков И.Г. Электроника. М.: Высш. школа, 2004. 288 с.
9. Овчаров В.В., Вовк О.Ю. Загальна електротехніка. Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2018. 310с.
10. Основы промышленной электроники. М: Высшая школа, 1986. 336 с.
11. Пасынков В. В., Чиркин Л. К., Шинков А. Д.. Полупроводниковые приборы. Высшая школа, 1981. 310с.
12. Полупроводниковые приборы: диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы.: справочник / под ред. Н. Н. Горюхова. М:Энергоиздат, 1982. 186 с.
13. Поляков К. П. Конструирование полупроводниковых приборов и устройств радиоэлектронной аппаратуры. М: Радио и связь, 1982. 234с.
14. Сенько В.І., Панасенко М.В., Сенько Є.В. Електроніка та мікросхемна техніка. К.: Обереги, 2000. 300 с.
15. Стахів П. Г. Коруд В. І., Гамала О.Є. Основи електроніки: функціональні елементи та їх застосування. Львів: «Новий світ», «Магнолія плюс», 2003. 208с.
- 16.. Перельман Б.Л. Транзисторы для аппаратуры широкого применения.М: Радио и связь, 1989. 200 с.
17. Чураков, А. Я. Електроніка. Симферополь: “Таврида”, 1996. 218 с.

Навчальне видання

**Строкань Оксана Вікторівна
Мірошниченко Микола Юрійович**

КОМП'ЮТЕРНА ЕЛЕКТРОНІКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

**НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК
ДЛЯ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

Надруковано з оригіналів макетів замовника
Підписано до друку 07.02.2019р. формат 60×84 1/10
Папір офсетний. Наклад 100 примірників
Замовлення № 100

**Виготовлено ПП Верескун В.М.
Видавничо-поліграфічний центр «Люкс»,
м. Мелітополь, вул. М. Г. Грушевського, 10
тел. (0619) 44-45-11**

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої діяльності
до Державного реєстру видавців, виробників
і розповсюджувачів видавничої продукції
від 11.06.2002 р. серія ДК № 1125.

