

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

Факультет енергетики і комп'ютерних технологій

Кафедра електротехніки і електромеханіки імені професора В.В. Овчарова

**ЕЛЕКТРОНІКА ТА МІКРОСХЕМОТЕХНІКА**

Методичні вказівки до лабораторних робіт  
для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр»  
зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка»

Мелітополь  
2020

УДК 621.316

**Електроніка та мікросхемотехніка.** Методичні вказівки до лабораторних робіт для здобувачів ступеня вищої освіти зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Курашкін С.Ф., Квітка С.О. – Мелітополь: ТДАТУ, 2020. – 61 с.

Розробники: к.т.н., доц. **Курашкін С.Ф.**; к.т.н., доц. **Квітка С.О.**

Рецензенти: к.т.н., доцент кафедри «Електроенергетика і автоматизація» ТДАТУ, **Кашкар'юв А.О.**;  
к.т.н., ст.викл. кафедри «Вища математика і фізика» ТДАТУ,  
**Дяденчук А.Ф.**

Розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри електротехніки і електромеханіки імені професора В.В. Овчарова

Протокол № 12 від «29» травня 2020 року

Затверджено методичною комісією факультету енергетики і комп'ютерних технологій

Протокол № 11 від «12» червня 2020 року

© Курашкін С.Ф., Квітка С.О., 2020 рік

## ЗМІСТ

Вступ .....	4
<b>Лабораторна робота 1.</b> Випрямні напівпровідникові діоди .....	5
<b>Лабораторна робота 2.</b> Випрямлячі однофазного струму .....	9
<b>Лабораторна робота 3.</b> Напівпровідникові стабілітрони .....	13
<b>Лабораторна робота 4.</b> Напівпровідникові світлодіоди .....	16
<b>Лабораторна робота 5-6.</b> Перемикаючі прилади (тиристори) .....	18
<b>Лабораторна робота 7-8.</b> Біполярні транзистори .....	22
<b>Лабораторна робота 9-10.</b> Польові транзистори .....	27
<b>Лабораторна робота 11.</b> Підсилювачі на біполярних транзисторах .....	33
<b>Лабораторна робота 12.</b> Підсилювачі на польових транзисторах .....	36
<b>Лабораторна робота 13.</b> Операційні підсилювачі .....	39
<b>Лабораторна робота 14-15.</b> Генератори синусоїдальних коливань .....	43
<b>Лабораторна робота 16.</b> Логічні елементи, тригери .....	47
<b>Лабораторна робота 17-18.</b> Імпульсні пристрої .....	53
Критерії оцінювання знань .....	60
Список літератури.....	61

## ВСТУП

Навчальна дисципліна «Електроніка та мікросхемотехніка» є базовою у підготовці фахівців ступеня вищої освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», а лабораторні заняття є одним з основних видів навчальних занять студентів при її вивченні.

Метою проведення лабораторних робіт з навчальної дисципліни є вивчення принципів будови електронних схем та принципу дії електронних пристроїв на основі напівпровідникових приладів та інтегральних мікросхем, які застосовуються під час експлуатації електронних пристроїв систем управління і контролю технологічного обладнання потоково-технологічних ліній виробництва та переробки сільськогосподарської продукції.

В результаті вивчення дисципліни студент повинен

- знати: фізичні основи, будову, принцип дії, параметри, характеристики і область застосування напівпровідникових приладів та інтегральних мікросхем; принцип побудови і принцип дії електронних пристроїв на базі напівпровідникових приладів та інтегральних мікросхем; параметри, характеристики та область застосування електронних пристроїв; принцип розрахунку основних вузлів електронних пристроїв;
- вміти: визначати за умовними позначеннями (маркуванням) і довідникам параметри елементів електронних пристроїв; кваліфіковано вирішувати інженерні задачі по обслуговуванню електронних пристроїв, що використовуються в агропромисловому комплексі; формулювати технічні завдання на розробку електронних пристроїв для вирішення конкретних виробничих задач; проектувати найпростіші електронні пристрої.

Після перевірки готовності до заняття, студенти приступають до виконання лабораторної роботи. Кожна робота виконується за допомогою ПК з встановленою програмою моделювання електронних схем «Electronic Workbench v.5.12» (EWB). Після закінчення експерименту студент повинен надати для перевірки отримані результати викладачу, який проводить заняття і після його дозволу завершити виконання програми, а робоче місце привести у належний порядок. Після проведення експериментальних досліджень студент здійснює обробку отриманих результатів, оформлює звіт у спеціальному робочому зошиті за структурою, наведеною в методичних вказівках, робить висновок. Графічні зображення виконуються олівцем за допомогою креслярського приладдя згідно ДСТУ. При побудові графіків масштаби, що відкладаються на осях координат величин, вибираються таким чином, щоб графік розмістився на площі не менш 100x100 мм. Наприкінці заняття відбувається захист лабораторної роботи кожним студентом у вигляді письмової роботи розрахункового характеру.

Перед початком лабораторних занять студенти зобов'язані вивчити правила техніки безпеки в навчальній лабораторії, розписатись в журналі про проведення інструктажу та дотримуватись. Студенти, які не пройшли інструктаж з техніки безпеки, до виконання лабораторних робіт не допускаються.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

### ВИПРЯМНІ НАПІВПРОВІДНИКОВІ ДІОДИ

**Мета роботи:** вивчення будови, принципу дії, вольт-амперних характеристик (ВАХ) випрямних діодів. Дослідження найпростіших електричних кіл з випрямними діодами.

#### 1. ЗАВДАННЯ ДЛЯ ДОМАШНЬОЇ ПІДГОТОВКИ

- 1.1 Підготуватися до відповідей на контрольні питання.
- 1.2 Скласти принципові електричні схеми для дослідження властивостей випрямного діода (рис. 1, 2), підготувати таблицю 1 для запису результатів експериментальних досліджень.

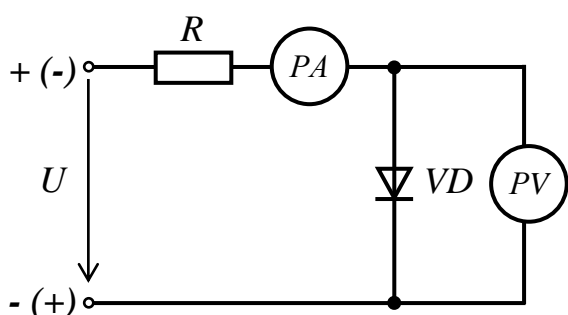


Рисунок 1 – Принципова електрична схема для дослідження ВАХ випрямного діода

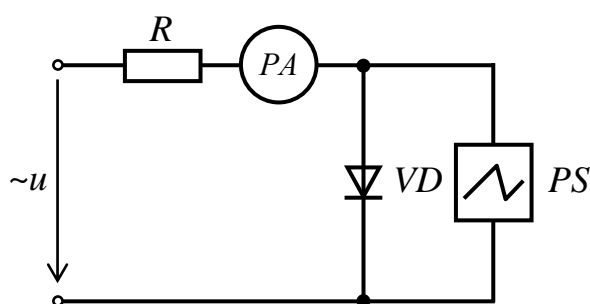


Рисунок 2 – Принципова електрична схема для дослідження електричного кола з випрямним діодом

- 1.3 Згідно варіанта (таблиця 2) побудувати графіки зміни в часі (часові діаграми) напруг на випрямному діоді  $U_{m.VD}$  і резисторі  $U_{m.R}$  при синусоїдальній вхідній напрузі  $U_{m.ex}$ .

#### 2. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 2.1 Запустити програму EWB і в меню обрати схему (рис. 3) і встановити опір резистора  $R$  відповідно варіанту (таблиця 2).
- 2.2 Включити схему. Змінюючи напругу джерела живлення  $E$ , зняти пряму  $I_{PP} = f(U_{PP})$  і зворотну  $I_{3B} = f(U_{3B})$  частину ВАХ випрямного діода. Результати вимірів занести до таблиці 1.
- 2.3 За даними таблиці 1 побудувати ВАХ випрямного діода  $I = f(U)$ .
- 2.4 В меню обрати схему (рис. 4) і встановити опір резистора  $R$  і напругу джерела живлення  $E$  відповідно варіанту (таблиця 2).
- 2.5 Включити схему. За допомогою візирних ліній віртуального осцилографа визначити амплітуди вхідної напруги  $U_{BX.m}$  і напруги на навантажувальному резисторі  $U_{R.m}$ . За різницею амплітуд обчислити падіння напруги на діоді  $U_{PP}$ . Привести осцилограми напруг.

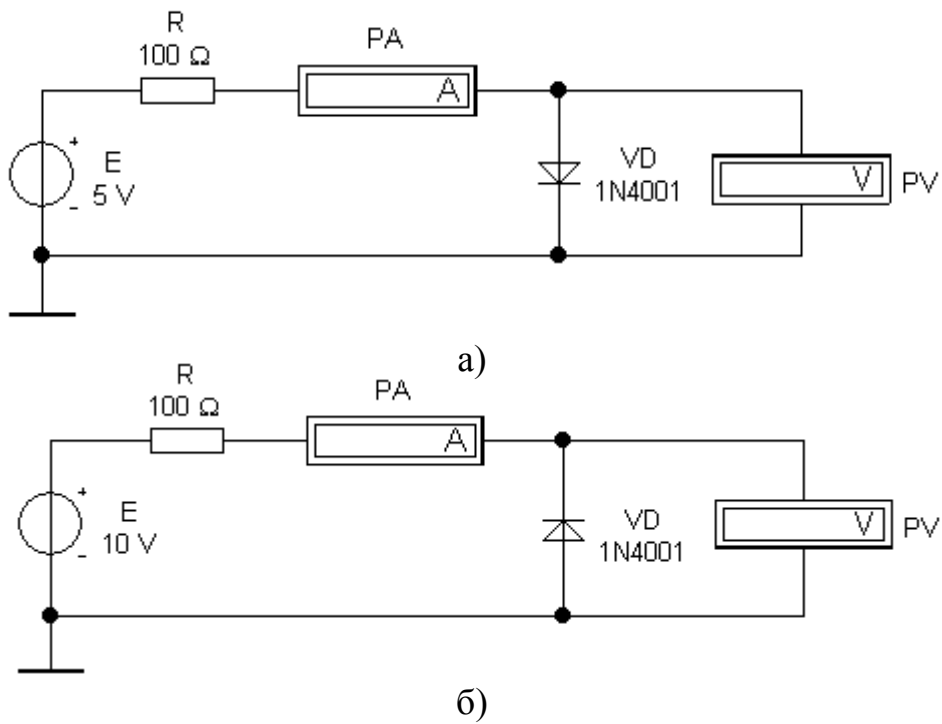


Рисунок 3 – Схема для зняття ВАХ випрямного діода: а) прямої частини; б) зворотної частини

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень випрямного діода

Пряма частина ВАХ випрямного діода							
$E, \text{В}$	0	0,5	1	2	3	4	5
$U_{np}, \text{В}$							
$I_{np}, \text{мА}$							
Зворотна частина ВАХ випрямного діода							
$E, \text{В}$	0	5	10	15	20		
$U_{зб}, \text{В}$							
$I_{зб}, \text{мА}$							

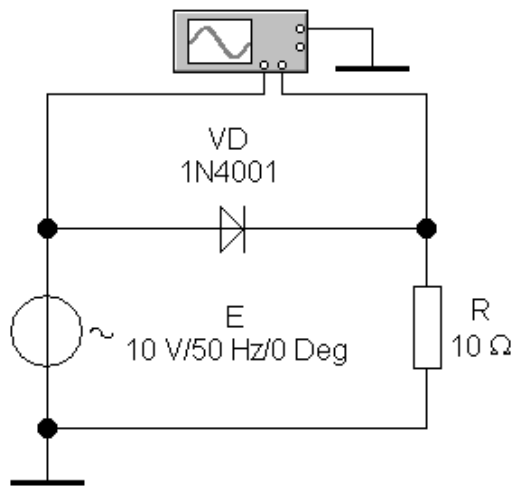


Рисунок 4 – Схема для дослідження електричного кола з випрямним діодом

Таблиця 2

№ вар.	Для діода 1N4001 $U_{np} = 1,35 \text{ В}$		№ вар.	Для діода 1N4001 $U_{np} = 1,35 \text{ В}$	
	$U_{ex.m.}, \text{ В}$	$R, \text{ Ом}$		$U_{ex.m.}, \text{ В}$	$R, \text{ Ом}$
1	10	10	16	29	16
2	12	20	17	27	14
3	14	30	18	25	12
4	16	40	19	23	10
5	18	50	20	21	11
6	20	45	21	19	13
7	22	35	22	17	15
8	24	25	23	15	17
9	26	11	24	13	19
10	28	13	25	11	10
11	30	15	26	9	11
12	32	17	27	7	12
13	34	19	28	5	13
14	33	20	29	8	14
15	31	18	30	6	15

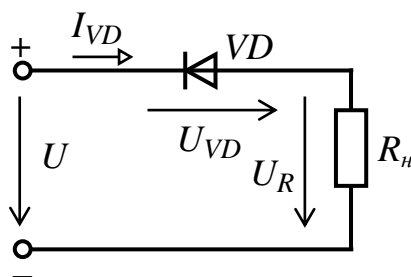
### 3. ЗМІСТ ЗВІТУ

- 3.1 Найменування і мета роботи.
- 3.2 Схеми (рис. 1, 2), результат розрахунку згідно п.п. 1.3, експериментальні данні (таблиця 1), ВАХ випрямного діода, часові діаграми згідно п.п. 2.5.
- 3.3 Висновки по роботі (аналіз ВАХ випрямного діода).

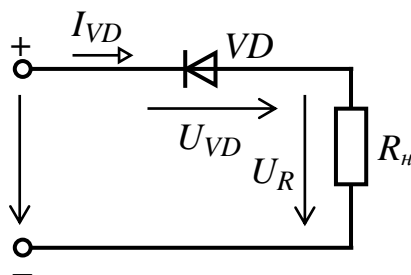
### 4. ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1. Що таке донорні домішки?
2. Що таке акцепторні домішки?
3. Яким чином отримують напівпровідник з електронною електропровідністю?
4. Яким чином отримують напівпровідник з дірчастою електропровідністю?
5. Що називають електронною провідністю?
6. Що називається напівпровідником *n*-типу?
7. Що називається дірчастою провідністю?
8. Що називається напівпровідником *p*-типу?
9. Що називається *p-n* переходом?
10. Що називається запираючим шаром?
11. Що розуміють під прямим вмиканням *p-n* переходу?
12. Що розуміють під зворотним вмиканням *p-n* переходу?
13. Яка напруга називається прямою?
14. Яка напруга називається зворотною?
15. Який струм називається прямим?

16. Який струм називається зворотнім?
17. Яке призначення напівпровідникового випрямного діода?
18. Вкажіть умовне графічне позначення випрямного діода.
19. Вкажіть ВАХ випрямного діода.
20. Назвіть основні параметри випрямного діода.
21. В якому випадку випрямні діоди вмикаються послідовно.
22. В якому випадку випрямні діоди вмикаються паралельно.
23. Відомо, що  $U = 15$  В. Визначити напругу на діоді  $U_{VD}$ .



24. Відомо, що  $U = 20$  В. Визначити напругу на резисторі  $U_R$ .



25. Як необхідно вмикати в електричне коло два однотипних випрямних діоди, які розраховані на максимально допустимий струм 100 мА кожний, якщо в колі протікає струм  $I = 150$  мА?
26. Випрямні діоди типу КД103А мають максимальну зворотну напругу  $U_{зв} = 50$  В. Як необхідно вмикати такі діоди в електричне коло, до якого підведена напруга  $U = 80$  В?



## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

### ВИПРЯМЛЯЧІ ОДНОФАЗНОГО СТРУМУ

**Мета роботи:** вивчення принципу роботи і дослідження схем однофазних випрямлячів. Дослідження впливу ємності конденсатора згладжуючого фільтра на форму і величину випрямленої напруги.

#### 1. ЗАВДАННЯ ДЛЯ ДОМАШНЬОЇ ПІДГОТОВКИ

- 1.1 Підготуватися до відповідей на контрольні питання.
- 1.2 Скласти принципові електричні схеми однофазних випрямлячів: однофазного однопівперіодного (рис. 1, а); однофазного двопівперіодного з виводом середньої точки вторинної обмотки трансформатора (рис. 1, б); однофазного двопівперіодного мостового (рис. 1, в).

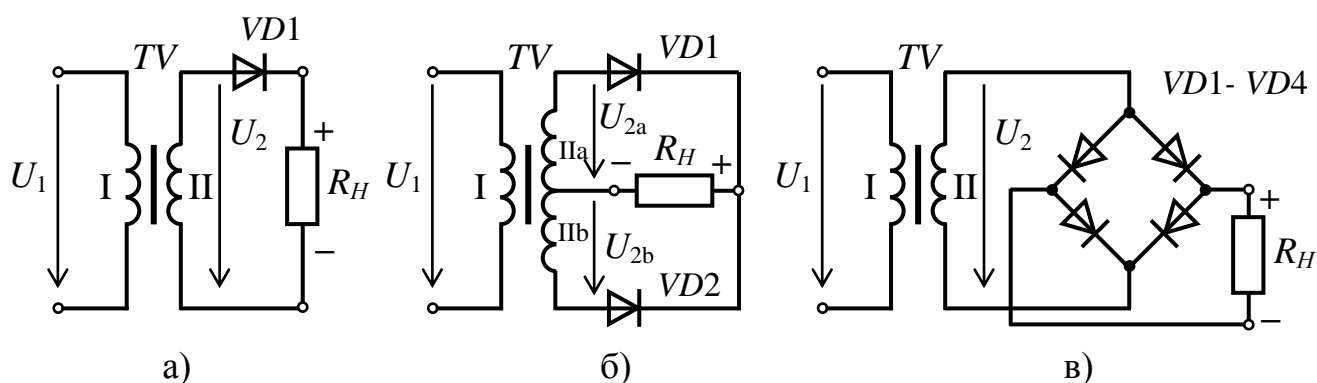


Рисунок 1 – Принципові електричні схеми однофазних випрямлячів

- 1.3 Для схем однофазних випрямлячів визначити: середнє значення випрямленої напруги  $U_d$ , середнє значення випрямленого струму  $I_d$ , коефіцієнт пульсацій  $q$  і зворотну напругу діодів  $U_{зв}$  при заданих значеннях напруги на вторинній обмотці трансформатора  $U_2$  і опору резистора навантаження  $R_H$ . Варіанти завдань наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

№ вар.	$U_2$ , В	$R_H$ , Ом	№ вар.	$U_2$ , В	$R_H$ , Ом	№ вар.	$U_2$ , В	$R_H$ , Ом
1	10	20	11	60	70	21	10	55
2	15	25	12	55	75	22	14	60
3	20	30	13	50	80	23	18	65
4	25	35	14	45	20	24	22	70
5	30	40	15	40	25	25	26	75
6	35	45	16	35	30	26	30	80
7	40	50	17	30	35	27	34	85
8	45	55	18	25	40	28	38	90
9	50	60	19	20	45	29	42	95
10	55	65	20	15	50	30	44	100

1.4 Для схем однофазних випрямлячів побудувати графіки зміни в часі напруг на діодах і резисторі навантаження при синусоїдальній вхідній напрузі згідно варіанту.

## 2. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 2.1 Запустити програму EWB. В меню обрати схему однопівперіодного випрямляча (рис. 2), встановити опір резистора  $R_H$  і значення напруги джерела ЕРС ( $U_2$ ) згідно варіанту (таблиця 1).
- 2.2 Включити схему. Записати показання приладів: вольтметра  $PV$  (середнє значення випрямленої напруги  $U_d$ ) і амперметра  $PA$  (середнє значення випрямленого струму  $I_d$ ).
- 2.3 На віртуальному осцилографі за допомогою візирних ліній визначити амплітудні значення вхідної і вихідної напруги випрямляча. Визначити величину падіння напруги на діоді.
- 2.4 Привести осцилограми вхідної і вихідної напруги випрямляча.

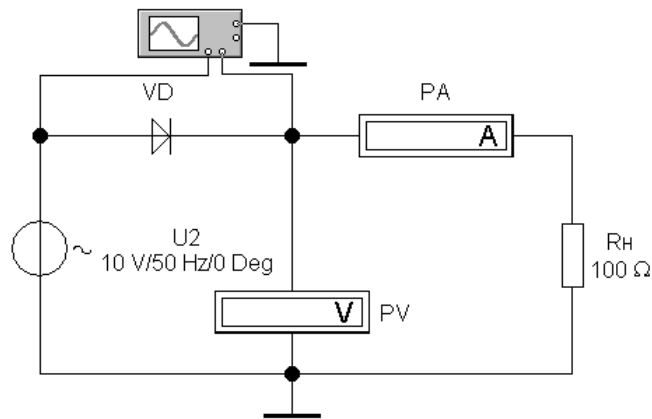


Рисунок 2

- 2.5 Обрати схему для дослідження однофазного двопівперіодного випрямляча з виводом середньої точки вторинної обмотки трансформатора (рис. 3).
- 2.6 Виконати п.п. 2.2-2.4.

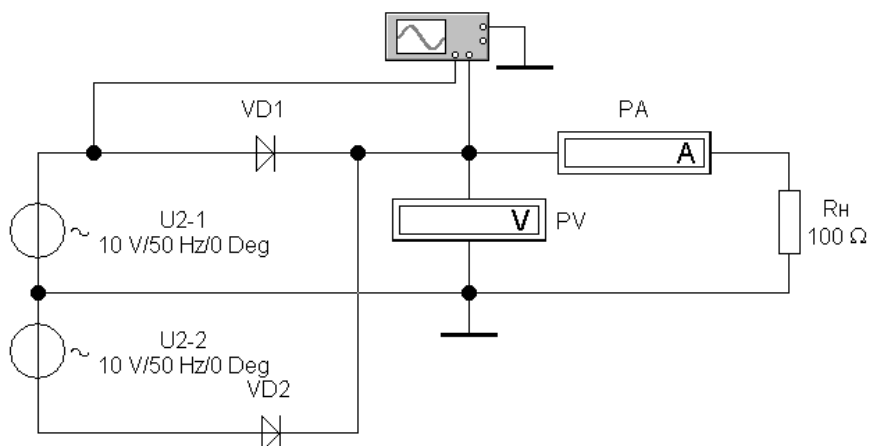


Рисунок 3

2.7 Обрати схему для дослідження однофазного двопівперіодного мостового випрямляча (рис. 4).

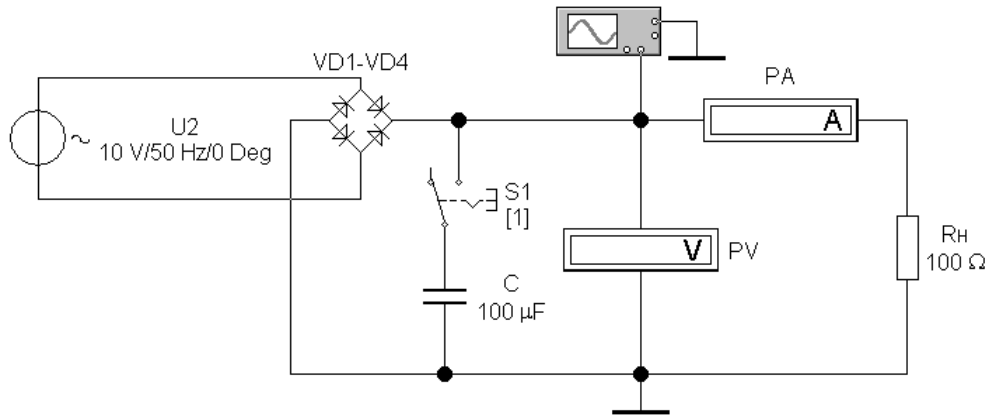


Рисунок 4

- 2.8 Виконати п.п. 2.2, 2.3 при відключеному конденсаторі  $C$  (перемикач  $S1$  розімкнутий).
- 2.9 Записати показання приладів: вольтметра  $PV$  (середнє значення випрямленої напруги  $U_d$ ) і амперметра  $PA$  (середнє значення випрямленого струму  $I_d$ ) і привести осцилограми напруги на виході випрямляча.
- 2.10 За допомогою перемикача  $S1$  підключити конденсатор  $C$  згладжуючого фільтра і, змінюючи величину ємності конденсатора згідно таблиці 2, записати показання приладів (вольтметра  $PV$ , амперметра  $PA$ ) і привести осцилограми вихідної напруги випрямляча.

Таблиця 2 – Результати експериментальних досліджень ємнісного згладжуючого фільтра

$C$ , мкФ	0	10	50	100	200	500	1000
$U_d$ , В							
$I_d$ , А							

- 2.11 За даними таблиці 2 побудувати графік залежності вихідної напруги мостового випрямляча від величини ємності конденсатора згладжуючого фільтра:  $U_d = f(C)$ .

### 3. ЗМІСТ ЗВІТУ

- 3.1 Найменування і мета роботи.
- 3.2 Схеми (рис. 1), результат розрахунку згідно п.п. 1.3, результати експерименту згідно п.п. 2.3, часові діаграми згідно п.п. 2.4, експериментальні данні (таблиця 2), графік залежності  $U_d = f(C)$ .
- 3.4 Висновки по роботі (аналіз і порівняння для кожної з схем випрямлячів теоретичних і експериментальних результатів).

#### 4. ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1. Що називають випрямлячем?
2. Для чого застосовують некеровані випрямлячі?
3. Для чого застосовують керовані випрямлячі?
4. Приведіть схему однофазного однонапівперіодного випрямляча.
5. Як визначається середнє значення випрямленої напруги для однофазного однонапівперіодного випрямляча?
6. Як визначається середнє значення випрямленого струму для однофазного однонапівперіодного випрямляча?
7. Чому дорівнює коефіцієнт пульсації для однофазного однонапівперіодного випрямляча?
8. Приведіть схему однофазного двонапівперіодного випрямляча з нульовим виводом.
9. Як визначається середнє значення випрямленої напруги для однофазного двонапівперіодного випрямляча з нульовим виводом?
10. Як визначається середнє значення випрямленого струму для однофазного двонапівперіодного випрямляча з нульовим виводом?
11. Чому дорівнює коефіцієнт пульсації для однофазного двонапівперіодного випрямляча з нульовим виводом?
12. Приведіть схему однофазного мостового випрямляча.
13. Що називають згладжуючим фільтром?
14. Приведіть схему ємнісного згладжуючого фільтра.
15. Приведіть схему  $\Gamma$ -подібного згладжуючого  $LC$ -фільтра.
16. Приведіть схему  $\Pi$ -подібного згладжуючого  $LC$ -фільтра.
17. Визначить амплітуду основної змінної складової напруги випрямляча, якщо напруга на навантаженні  $U_H = 36$  В, коефіцієнт пульсацій випрямляча  $q = 0,67$ .
18. Визначить струм діода однофазного двонапівперіодного випрямляча з виводом середньої точки вторинної обмотки трансформатора, якщо напруга і потужність навантаження  $U_H = 100$  В;  $P_H = 1000$  Вт.
19. Визначить напругу на вході однофазного мостового випрямляча, який працює на навантаження з параметрами  $P_H = 40$  Вт;  $I_H = 2$  А.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

### НАПІВПРОВІДНИКОВІ СТАБІЛІТРОНИ

**Мета роботи:** вивчення будови, принципу дії, вольт-амперних характеристик (ВАХ) стабілітронів. Дослідження найпростіших електричних кіл із стабілітронами.

#### 1. ЗАВДАННЯ ДЛЯ ДОМАШНЬОЇ ПІДГОТОВКИ

- 1.1 Підготуватися до відповідей на контрольні питання.
- 1.2 Скласти принципові електричні схеми для дослідження властивостей стабілітрона (рис. 1, 2), підготувати таблицю 1 для запису результатів експериментальних досліджень.

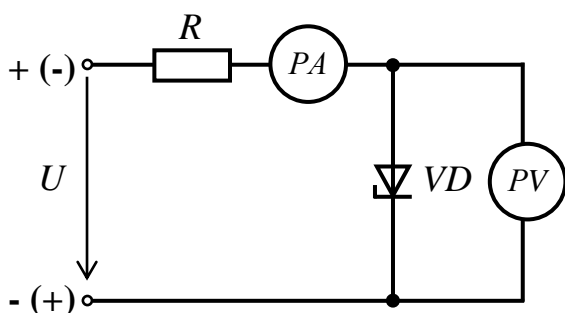


Рисунок 1 – Принципова електрична схема для дослідження ВАХ стабілітрона

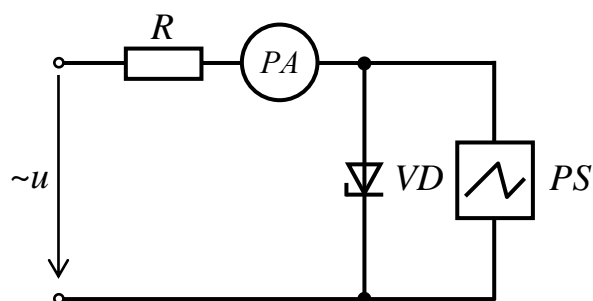


Рисунок 2 – Принципова електрична схема для дослідження електричного кола з стабілітронем

- 1.3 Згідно варіанта (таблиця 2) побудувати графіки зміни в часі (часові діаграми) напруг на резисторі  $U_{m,R}$  і стабілітроні  $U_{m,VD}$  при синусоїдальній вхідній напрузі  $U_{m,вх}$ .

#### 2. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 2.1 Запустити програму EWB. В меню обрати схему (рис. 3, а), встановити опір резистора  $R$  згідно варіанту (таблиця 2).
- 2.2 Включити схему. Змінюючи напругу джерела живлення  $E$ , зняти пряму  $I_{np} = f(U_{np})$  і зворотню  $I_{зб} = f(U_{зб})$  частину ВАХ стабілітрона. Результати вимірів занести в таблицю 1.
- 2.3 В меню обрати схему (рис. 3, б).
- 2.4 Включити схему. За допомогою візирних ліній віртуального осцилографа визначити амплітуду вхідної напруги  $U_{ВХ,m}$  і напруги стабілізації стабілітрона  $U_{СТ}$ . Зняти осцилограми напруг.
- 2.5 За даними таблиці 1 побудувати ВАХ стабілітрона  $I = f(U)$ .

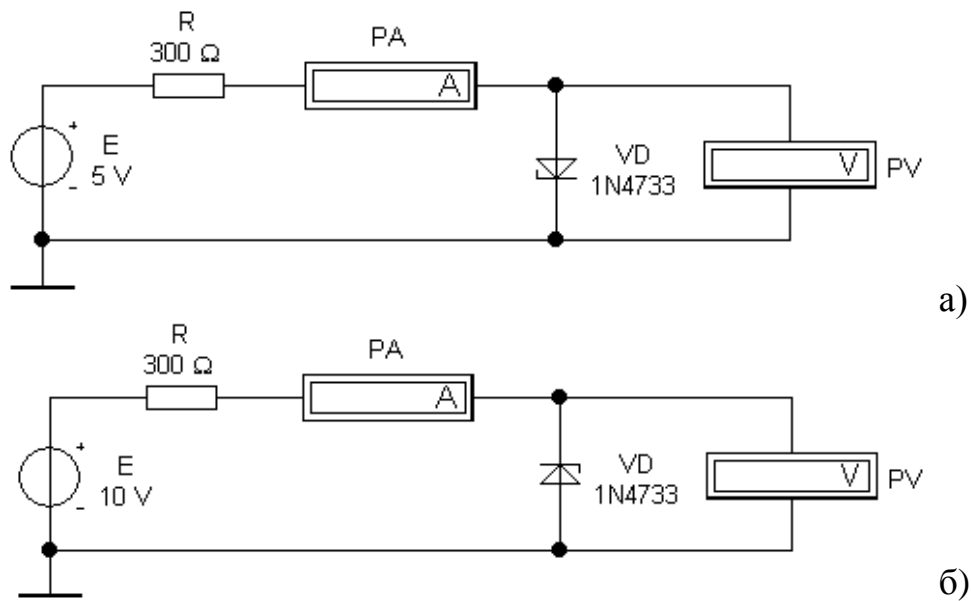


Рисунок 3 – Схема для зняття ВАХ стабілітрона: а) прямої частини; б) зворотної частини

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень стабілітрона

Пряма частина ВАХ стабілітрона							
$E, \text{В}$	0	0,5	1	2	3	4	5
$U_{np}, \text{В}$							
$I_{np}, \text{мА}$							
Зворотна частина ВАХ стабілітрона							
$E, \text{В}$	0	4	6	10	15	20	25
$U_{зб}, \text{В}$							
$I_{зб}, \text{мА}$							

Таблиця 2

№ вар.	Для стабілітрона 1N4733 $U_{cm} = 5,1 \text{ В}$		№ вар.	Для стабілітрона 1N4733 $U_{cm} = 5,1 \text{ В}$	
	$U_{ex.m}, \text{В}$	$R, \text{кОм}$		$U_{ex.m}, \text{В}$	$R, \text{кОм}$
1	6	0,2	16	21	3,2
2	7	0,4	17	22	3,4
3	8	0,6	18	23	3,6
4	9	0,8	19	24	3,8
5	10	1,0	20	25	4,0
6	11	1,2	21	6	0,3
7	12	1,4	22	7	0,5
8	13	1,6	23	8	0,7
9	14	1,8	24	9	0,9
10	15	2,0	25	10	1,1

Продовження таблиці 2

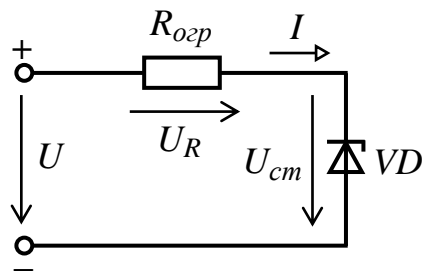
№ вар.	Для стабілітрона 1N4733 $U_{cm} = 5,1 \text{ В}$		№ вар.	Для стабілітрона 1N4733 $U_{cm} = 5,1 \text{ В}$	
	$U_{вх.м.}$ , В	R, кОм		$U_{вх.м.}$ , В	R, кОм
11	16	2,2	26	11	1,3
12	17	2,4	27	12	1,5
13	18	2,6	28	13	1,7
14	19	2,8	29	14	1,9
15	20	3,0	30	15	2,1

### 3. ЗМІСТ ЗВІТУ

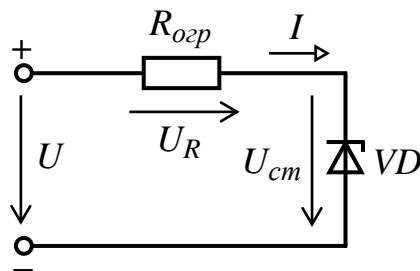
- 3.1 Найменування і мета роботи.
- 3.2 Схеми (рис. 1), результат розрахунку згідно п.п. 1.3, експериментальні данні (таблиця 1), ВАХ стабілітрона.
- 3.3 Висновки по роботі (аналіз ВАХ стабілітрона).

### 4. ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1. Яке призначення напівпровідникового стабілітрона?
2. Приведіть умовне графічне позначення стабілітрона.
3. Приведіть ВАХ стабілітрона.
4. Назвіть основні параметри стабілітрона.
5. В якому випадку стабілітрони вмикаються послідовно.
6. Відомо, що  $U = 15 \text{ В}$ ;  $U_{CT} = 3 \text{ В}$ . Визначити напругу на резисторі  $U_R$ . Поясніть призначення резистора  $R_{огр}$ .



7. Відомо, що  $U = 20 \text{ В}$ ;  $U_{CT} = 3 \text{ В}$ . Визначити напругу на стабілітроні  $U_{VD}$ .



8. Яку напругу можна стабілізувати на навантаженні при послідовному вмиканні двох стабілітронів типу Д814Г, кожний з яких має напругу стабілізації  $U_{CT} = 10 \dots 12 \text{ В}$ ?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

### НАПІВПРОВІДНИКОВІ СВІТЛОДІОДИ

**Мета роботи:** вивчення будови, принципу дії, ВАХ і характеристики яскравості світлодіодів.

#### 1. ЗАВДАННЯ ДЛЯ ДОМАШНЬОЇ ПІДГОТОВКИ

- 1.1. Підготуватися до відповідей на контрольні питання.
- 1.2. Скласти принципову електричну схему для дослідження ВАХ і характеристики яскравості світлодіода (рис. 1), підготувати таблиці для запису результатів експериментальних досліджень.

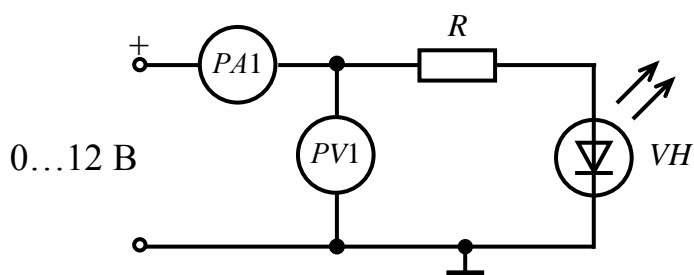


Рисунок 1 – Принципова електрична схема для дослідження ВАХ і люкс-амперної характеристики світлодіода

#### 2. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 2.1. Набрати схему для зняття ВАХ і характеристики яскравості світлодіода за допомогою універсальної монтажною плати і з'єднувальних провідників.
- 2.2. Подати на схему напругу від регульованого джерела живлення. Змінюючи напругу живлення від 0 до 12 В, зняти ВАХ світлодіода  $I = f(U)$ , контролюючи показання міліамперметра РА1, вольтметра РV1, а також люксметра Ю-116 (на схемі не позначений) Результати вимірів занести до таблиці 1.
- 2.3. За даними таблиці 1 побудувати ВАХ  $I = f(U)$  і характеристику яскравості  $\Phi = f(I)$  світлодіода.

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень світлодіода

$U, В$	0	2	4	6	8	10	12
$I_{np}, мА$							
$\Phi, лк$							

#### 3. ЗМІСТ ЗВІТУ

- 3.1 Найменування і мета роботи.
- 3.2 Схема (рис. 1), експериментальні данні (таблиця 1), ВАХ світлодіода, характеристики яскравості світлодіода.



3.4 Висновки по роботі (аналіз отриманих результатів).

#### 4. ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1. Дати визначення світлодіода.
2. Яке призначення мають світлодіоди?
3. Описати принцип дії світлодіода.
4. Привести умовне та позиційне позначення світлодіода.
5. Назвати параметри світлодіода.
6. Привести загальний вид характеристик світлодіода.
7. Привести схеми включення світлодіодів.
8. Яким чином проводиться розрахунок електричного кола зі світлодіодом?
9. Визначити опір резистора  $R$  і його потужність для живлення світлодіода  $VH$  (рис. 1), якщо напруга живлення складає  $E = 12$  В, параметри світлодіода –  $U_{np} = 3$  В,  $I_{np} = 10$  мА.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5-6

### ПЕРЕМИКАЮЧІ ПРИЛАДИ

**Мета роботи:** вивчення будови, принципу дії, ВАХ тиристорів.

#### 1. ЗАВДАННЯ ДЛЯ ДОМАШНЬОЇ ПІДГОТОВКИ

- 1.1. Підготуватися до відповідей на контрольні питання.
- 1.2. Скласти принципову електричну схему для дослідження ВАХ тріодного тиристора (рис. 1), підготувати таблиці для запису результатів експериментальних досліджень.

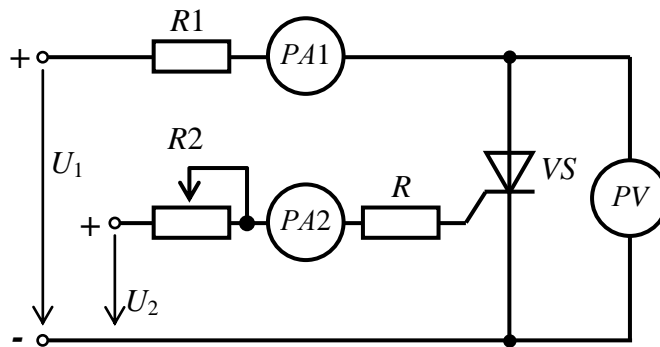


Рисунок 1 – Принципова електрична схема для дослідження ВАХ тріодного тиристора

- 1.3. Скласти принципову електричну схему однофазного однопівперіодного керованого випрямляча з використанням тріодного тиристора (рис. 2), вказати призначення елементів схеми.

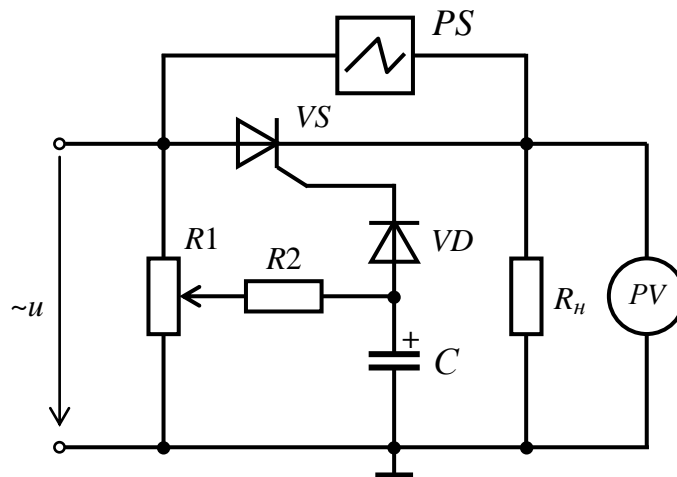


Рисунок 2 – Принципова електрична схема для дослідження однофазного однопівперіодного керованого випрямляча

- 1.4. Привести графіки зміни в часі (часові діаграми) струму керування  $I_{кер}$ , напруги на тиристорі  $U_{VS}$  і навантаженні  $U_R$  при заданих значеннях напруги мережі  $U_{мер}$  і кута керування тиристором  $\alpha$ . Варіанти завдань наведені в таблиці 2.

## 2. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1 Запустити програму EWB. В меню обрати схему (рис. 3).

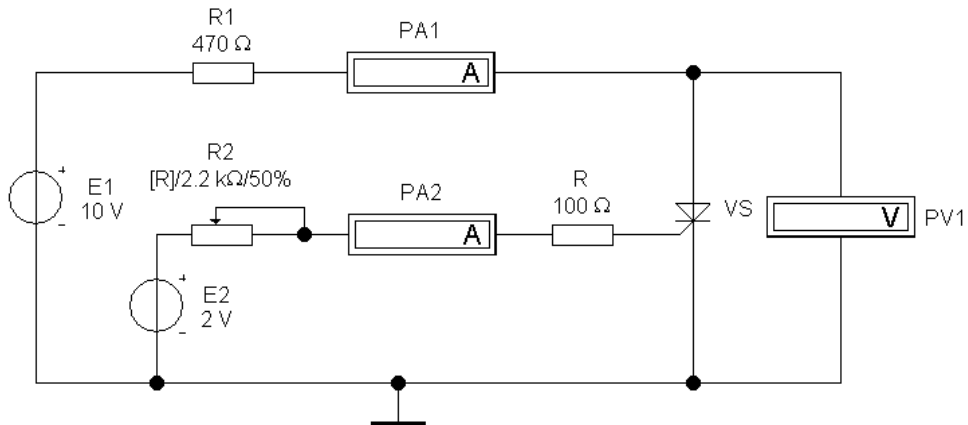


Рисунок 3 – Схема для зняття ВАХ тріодного тиристора

2.2 Включити схему. Змінюючи напругу джерела живлення  $E1$ , зняти ВАХ тиристора  $I_{np} = f(U_{np})$  при струмах у керуючому електроді  $I_{кер.1}$ ;  $I_{кер.2}$ ;  $I_{кер.3}$  та визначити напругу вмикання тиристора  $U_{вмик.}$ . Струм керування  $I_{кер}$  встановлюється за допомогою змінного резистора  $R2$  (при натисканні клавіші <R> опір зменшується, при натисканні комбінацій клавіш <shift+R> опір збільшується). Результати вимірів занести до таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень тріодного тиристора

$I_{кер.1} = 0,93 \text{ мА}, U_{вмик.1} = \text{В}$							
$E1, \text{В}$							
$U_{np}, \text{В}$							
$I_{np}, \text{мА}$							
$I_{кер.2} = 0,95 \text{ мА}, U_{вмик.2} = \text{В}$							
$E1, \text{В}$							
$U_{np}, \text{В}$							
$I_{np}, \text{мА}$							
$I_{кер.3} = 1,0 \text{ мА}, U_{вмик.3} = \text{В}$							
$E1, \text{В}$							
$U_{np}, \text{В}$							
$I_{np}, \text{мА}$							

2.3 За даними таблиці 1 побудувати ВАХ триністора  $I_{np} = f(U_{np})$  при значеннях струму у керуючому електроді:  $I_{кер.1}$ ;  $I_{кер.2}$ ;  $I_{кер.3}$ .

2.4 В меню програми обрати схему керованого випрямляча (рис. 4).

2.5 Встановити параметри елементів схеми згідно варіанту (таблиця 2).

2.6 Включити схему. Змінюючи опір резистора  $R1$ , простежити за зміною величини випрямленої напруги  $U_d$  (вольтметр  $PV$ ) залежно від величини кута керування тиристором  $\alpha$  (визначається по осцилографу).

2.7 Привести осцилограми напруги на навантаженні  $U_d$  при різних значеннях кута керування тиристором  $\alpha$ .

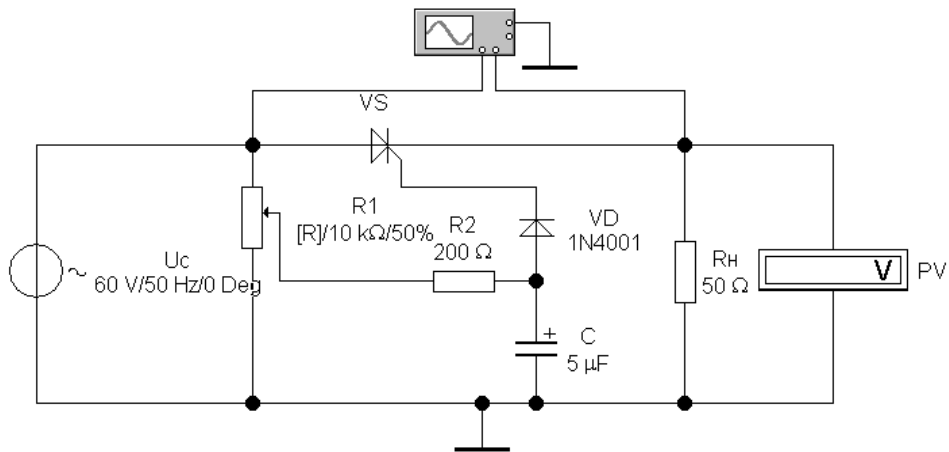


Рисунок 4 – Схема для дослідження однофазного однопівперіодного керованого випрямляча

Таблиця 2

№ вар.	$U_{мер}$ , В	$\alpha$ , град.	$R_2$ , Ом	$C$ , мкФ	$R_н$ , Ом	№ вар.	$U_{мер}$ , В	$\alpha$ , град.	$R_2$ , Ом	$C$ , мкФ	$R_н$ , Ом
1	20	10	50	6,0	20	16	110	140	350	5,0	55
2	40	30	70	5,5	30	17	130	160	370	6,0	65
3	60	50	90	5,0	40	18	150	15	390	4,5	75
4	80	70	110	4,5	50	19	170	35	410	3,0	85
5	100	90	130	4,0	60	20	190	55	430	1,5	95
6	120	110	150	3,5	70	21	210	75	450	1,0	105
7	140	130	170	3,0	80	22	230	95	470	2,2	115
8	160	150	190	2,5	90	23	25	115	490	3,2	125
9	180	170	210	2,0	100	24	45	135	510	4,2	110
10	200	20	230	1,5	110	25	65	155	60	5,2	95
11	220	40	250	1,0	120	26	85	25	80	6,2	80
12	30	60	270	0,5	130	27	105	45	100	5,8	65
13	50	80	290	2,0	25	28	125	65	120	5,4	50
14	70	100	310	3,0	35	29	145	85	140	5,0	35
15	90	120	330	4,0	45	30	165	105	160	4,6	20

### 3. ЗМІСТ ЗВІТУ

3.1 Найменування і мета роботи.

3.2 Схеми (рис. 1, 2), результат розрахунку згідно п.п. 1.4, експериментальні данні (таблиця 1), ВАХ триністора, часові діаграми випрямляча згідно п.п. 2.7.

3.3 Висновки по роботі (аналіз побудованих ВАХ і часових діаграм).

#### 4. ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1. Що називають перемикаючим приладом?
2. Що називають диністором?
3. Що називають триністором?
4. Що називають симістором?
5. Що називають одноперехідним транзистором?
6. Приведіть умовне графічне позначення диністора.
7. Приведіть умовне графічне позначення триністора з керуванням по катоду.
8. Приведіть умовне графічне позначення керованого симістора.
9. Приведіть умовне графічне позначення некерованого симістора.
10. Приведіть умовне графічне позначення одноперехідного транзистора.
11. Приведіть ВАХ диністора.
12. Приведіть ВАХ триністора.
13. Приведіть ВАХ некерованого симістора.
14. Приведіть ВАХ одноперехідного транзистора.
15. Приведіть напівпровідникову структуру диністора.
16. Приведіть напівпровідникову структуру триністора.
17. Приведіть напівпровідникову структуру симістора.
18. Поясніть призначення однофазного керованого випрямляча.
19. Поясніть, на якому принципі базується робота однофазного керованого випрямляча?
20. Опишіть принцип дії однофазного керованого випрямляча (рис. 1).
21. Поясніть призначення елементів однофазного керованого випрямляча (рис. 1).
22. Що таке кут керування тиристора  $\alpha$ ?
23. Як буде змінюватися середнє значення напруги за півперіоду, якщо кут керування тиристором буде змінюватися від  $0^\circ$  до  $180^\circ$ ?
24. В яких межах можна регулювати напругу на навантаженні  $U_{HL}$ , змінюючи кут керування тиристором від  $0^\circ$  до  $180^\circ$ , якщо  $U_M = 220$  В?
25. В яких межах можна регулювати напругу на навантаженні  $U_{HL}$ , змінюючи кут керування тиристором  $\alpha$  від  $0^\circ$  до  $180^\circ$ , якщо  $U_M = 220$  В?

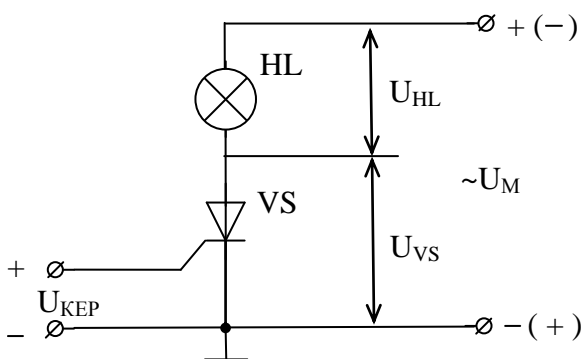


Рис. 1

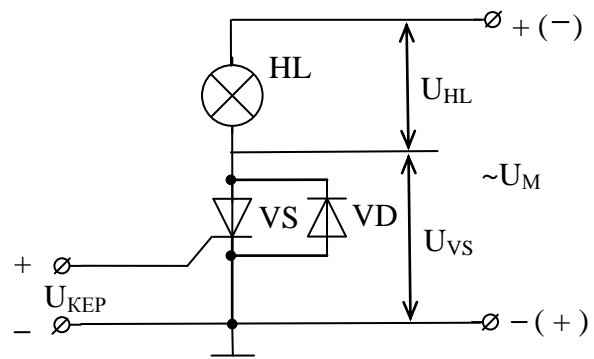


Рис. 2

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7-8

### БІПОЛЯРНІ ТРАНЗИСТОРИ

**Мета роботи:** вивчення будови, принципу дії, ВАХ біполярних транзисторів.

#### 1. ЗАВДАННЯ ДЛЯ ДОМАШНЬОЇ ПІДГОТОВКИ

- 1.1. Підготуватися до відповідей на контрольні питання.
- 1.2. Скласти принципову електричну схему для дослідження ВАХ біполярного транзистора (рис. 1), підготувати таблиці для запису результатів експериментальних досліджень.

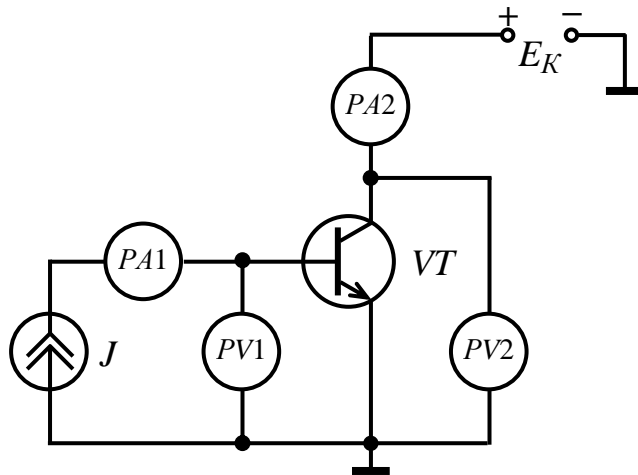


Рисунок 1 – Принципова електрична схема для дослідження ВАХ біполярного транзистора

- 1.3. Скласти принципову електричну схему для дослідження підсилювального каскаду на біполярному транзисторі (рис. 2), вказати призначення елементів схеми.

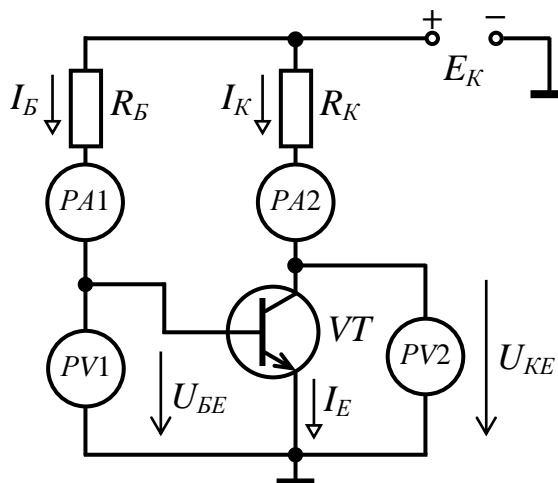


Рисунок 2 – Принципова електрична схема для дослідження режиму спокою підсилювача на біполярному транзисторі

## 2. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1 Запустити програму EWB. В меню обрати схему (рис. 3).

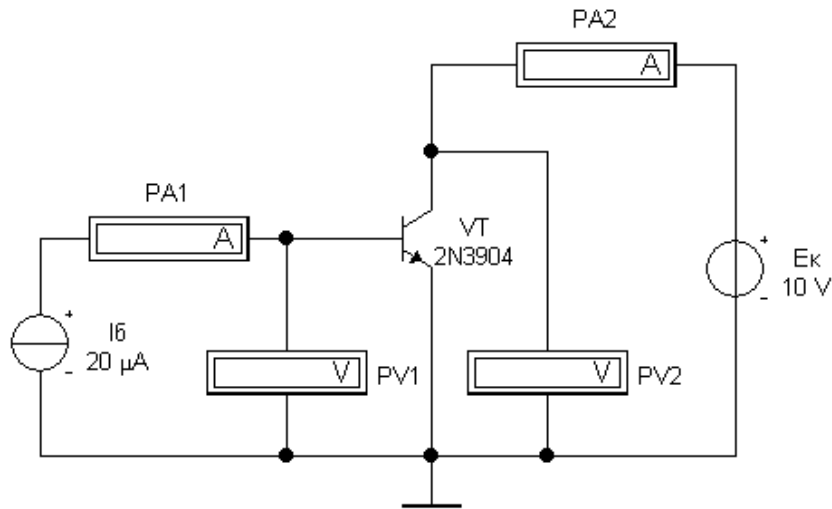


Рисунок 3 – Схема для зняття ВАХ характеристик біполярного транзистора, увімкненого за схемою із спільним емітером

2.2 Включити схему. Змінюючи струм бази, зняти вхідну ВАХ транзистора  $I_B = f(U_{BE})$  двічі для фіксованих значеннях напруги колектор-емітер:  $U_{KE} = 0$  та  $U_{KE} = 10$  В. Результати вимірів занести до таблиці 1.

2.3 Далі, змінюючи величину напруги джерела живлення  $E_K$ , зняти вихідні ВАХ  $I_K = f(U_{KE})$  транзистора при фіксованих значеннях струму бази:  $I_B = 10$  мкА; 50 мкА та 100 мкА. Результати вимірів занести до таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень біполярного транзистора

Вхідні ВАХ			Вихідні ВАХ			
$I_B$ , мкА	$U_{BE}$ , В		$E_K$ , В	$I_K$ , мА		
	$U_{KE} = 0$	$U_{KE} = 10$ В		$I_B = 10$ мкА	$I_B = 50$ мкА	$I_B = 100$ мкА
10			0,1			
30			0,2			
50			1,0			
70			10			
90			–	–	–	–
100			–	–	–	–

2.4 За даними таблиці 1 побудувати ВАХ біполярного транзистора:  $I_B = f(U_{BE})$  та  $I_K = f(U_{KE})$ .

2.5 В меню програми EWB обрати схему (рис. 4).

2.6 Згідно варіанта встановити параметри елементів схеми (таблиця 2).

2.7 Включити схему. Змінюючи опір резистора  $R_B$ , по показанням вольтметра PV2 встановити режим спокою ( $E_K = E_K/2$ ). Записати показання приладів і опір резистора  $R_B$ .

2.8 Змінюючи опір резистора  $R_B$  ( $R_B = 2R_B$ ;  $R_B = R_B/2$ ), записати показання приладів і провести аналіз отриманих результатів, включивши його у висновки по роботі.

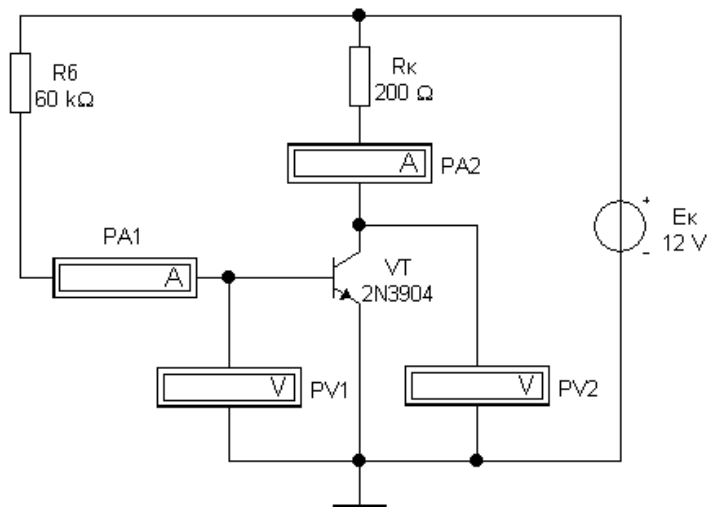


Рисунок 4 – Схема для дослідження режиму спокою підсилювача на біполярному транзисторі

Таблиця 2

№ вар.	$\beta$	$E_K$ , В	$R_K$ , кОм	№ вар.	$\beta$	$E_K$ , В	$R_K$ , кОм	№ вар.	$\beta$	$E_K$ , В	$R_K$ , кОм
1	176	8	0,5	11	184	18	0,9	21	183	17	0,7
2	178	9	0,6	12	182	19	1,0	22	185	18	0,8
3	180	10	0,7	13	180	20	1,0	23	187	19	0,9
4	182	11	0,8	14	178	10	0,9	24	189	20	1,0
5	184	12	0,9	15	176	11	0,8	25	187	10	0,5
6	186	13	1,0	16	174	12	0,7	26	185	11	0,6
7	188	14	0,5	17	175	13	0,6	27	183	12	0,7
8	190	15	0,6	18	177	14	0,5	28	181	13	0,8
9	188	16	0,7	19	179	15	0,5	29	179	14	0,9
10	186	17	0,8	20	181	16	0,6	30	177	15	1,0

### 3. ЗМІСТ ЗВІТУ

3.1 Найменування і мета роботи.

3.2 Схеми (рис. 1, 2), експериментальні данні (таблиця 1), вхідні і вихідні ВАХ транзистора, результати експерименту згідно п.п. 2.7, 2.8.

3.3 Висновки по роботі (аналіз ВАХ, вплив резистора  $R_B$  на режим спокою підсилювача).



#### 4. ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1. Що називають біполярним транзистором (БТ)?
2. Яке призначення має біполярний транзистор?
3. Приведіть умовне графічне позначення БТ  $p-n-p$  типу.
4. Приведіть умовне графічне позначення БТ  $n-p-n$  типу.
5. Яку область БТ називають емітером?
6. Яку область БТ називають колектором?
7. Яку область БТ називають базою?
8. Приведіть зв'язок між струмами колектора, емітера і бази БТ.
9. Приведіть схему вмикання БТ з спільною базою (СБ).
10. Приведіть схему вмикання БТ з спільним емітером (СЕ).
11. Приведіть схему вмикання БТ з спільним колектором (СК).
12. Як визначається коефіцієнт передачі струму  $\alpha$  для схеми з СБ?
13. Чому дорівнює величини  $\alpha$  ?
14. Як визначається коефіцієнт підсилення струму  $\beta$  для схеми з СЕ?
15. Чому дорівнює величина  $\beta$  ?
16. Наведіть ВАХ БТ, увімкненого за схемою з СБ.
17. Наведіть ВАХ БТ, увімкненого за схемою з СЕ.
18. Визначить величину струму в колі бази  $I_B$ , якщо відомо, що струм колектора транзистора  $I_K = 0,1$  мА, а коефіцієнт підсилення транзистора за струмом  $\beta = 100$ .
19. Визначить величину струму в колі колектора  $I_K$ , якщо відомо, що струм бази транзистора  $I_B = 0,01$  мА, а коефіцієнт підсилення транзистора за струмом  $\beta = 100$ .
20. Визначить потужність колекторного переходу  $P_K$ , якщо відомо, що струм колектора транзистора  $I_K = 0,1$  А, а напруга між колектором і емітером дорівнює  $U_{KE} = 12$  В.
21. Як забезпечити активний режим роботи біполярного БТ?
22. Як забезпечити режим роботи відсічки БТ?
23. Як забезпечити режим роботи насичення БТ?
24. Яке призначення підсилювального каскаду?
25. Для чого призначений конденсатор  $C_p$  (рис. 5)?

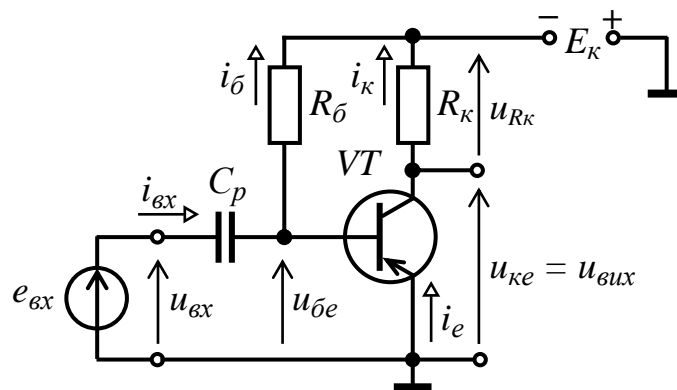


Рис. 5

26. Для чого призначений резистор  $R_K$  (рис. 1)?
27. Для чого призначений резистор  $R_B$  (рис. 1)?
28. Для підсилювального каскаду на біполярному транзисторі (рис. 5) визначить напругу колектор-емітер  $U_{KE}$ , якщо відомо, що струм колектора транзистора  $I_K = 15$  мА, величина опору резистора  $R_K = 1$  кОм, величина напруги джерела живлення  $E_K = 25$  В.
29. Для підсилювального каскаду на біполярному транзисторі (рис. 5) визначить опір резистора  $R_B$ , якщо відомо, що струм  $I_B = 10$  мА, величина напруги база-емітер  $U_{BE} = 1$  В, величина напруги джерела живлення  $E_K = 20$  В.
30. Для підсилювального каскаду на біполярному транзисторі (рис. 5) визначить опір резистора  $R_K$ , якщо відомо, що струм  $I_K = 12$  мА, величина напруги колектор-емітер  $U_{KE} = 11$  В, величина напруги джерела живлення  $E_K = 35$  В.
31. Для підсилювального каскаду на біполярному транзисторі (рис. 5) визначить напругу база-емітер  $U_{BE}$ , якщо відомо, що струм  $I_B = 0,1$  мА, величина опору резистора  $R_B = 100$  кОм, величина напруги джерела живлення  $E_K = 15$  В.
32. Відомо, що  $K_U = 25$ ,  $K_I = 100$ . Визначить коефіцієнт підсилення каскаду за потужністю  $K_P$ .

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9-10

### ПОЛЬОВІ ТРАНЗИСТОРИ

**Мета роботи:** вивчення будови, принципу дії, ВАХ польових транзисторів. Дослідження електричних кіл постійного струму з польовими транзисторами.

#### 1. ЗАВДАННЯ ДЛЯ ДОМАШНЬОЇ ПІДГОТОВКИ

- 1.1. Підготуватися до відповідей на контрольні питання.
- 1.2. Скласти принципові електричні схеми для дослідження ВАХ польових транзисторів (рис. 1, рис. 2), підготувати таблиці для запису результатів експериментальних досліджень.

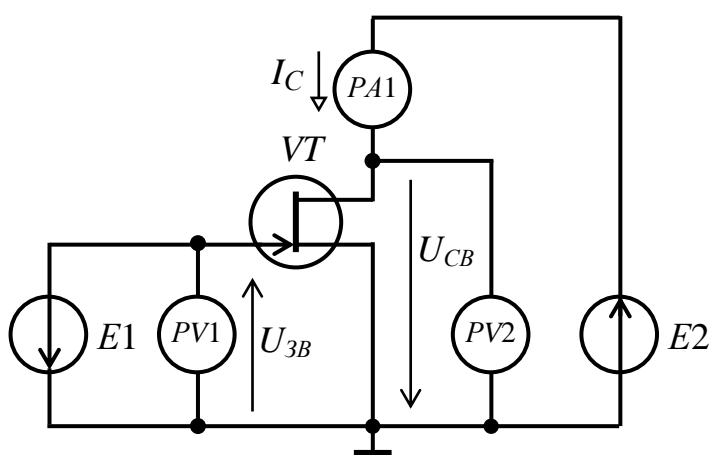


Рисунок 1 – Принципова електрична схема для дослідження ВАХ польового транзистора з керованим  $p-n$  переходом

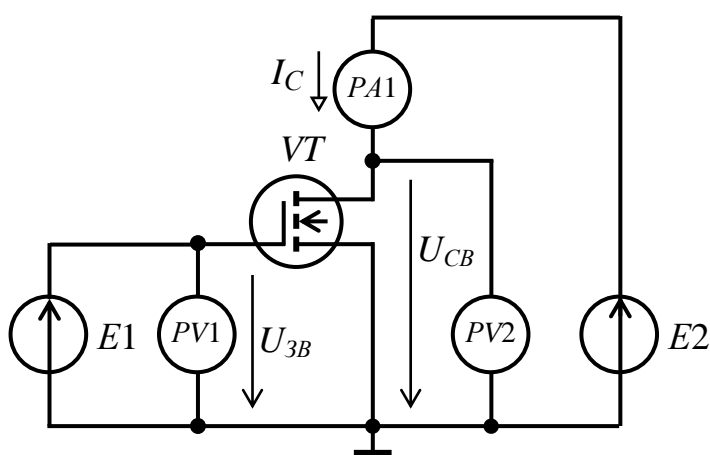


Рисунок 2 – Принципова електрична схема для дослідження ВАХ польового транзистора з ізольованим затвором індукованим каналом

1.3. Скласти принципову електричну схему для дослідження підсилювального каскаду на польовому транзисторі з керованим  $p-n$  переходом (рис. 3), вказати призначення елементів схеми.

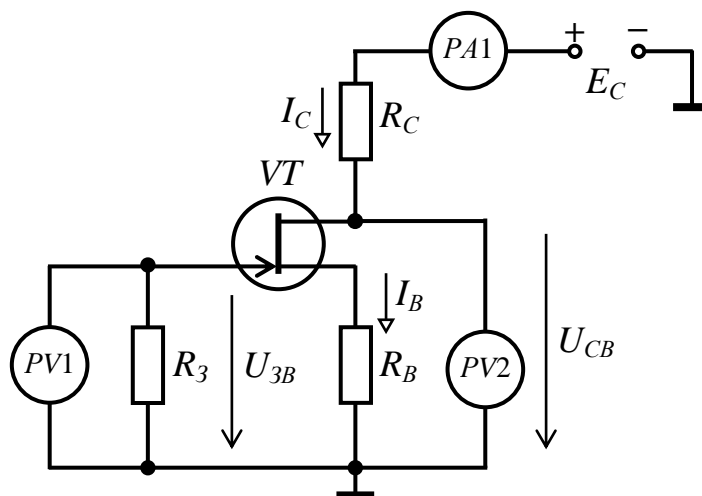


Рисунок 3 – Принципова електрична схема для дослідження режиму спокою підсилювача на польовому транзисторі з керованим  $p-n$  переходом

1.4. Скласти принципову електричну схему для дослідження підсилювального каскаду на польовому транзисторі з ізолюваним затвором індукованим каналом (рис. 4), вказати призначення елементів схеми.

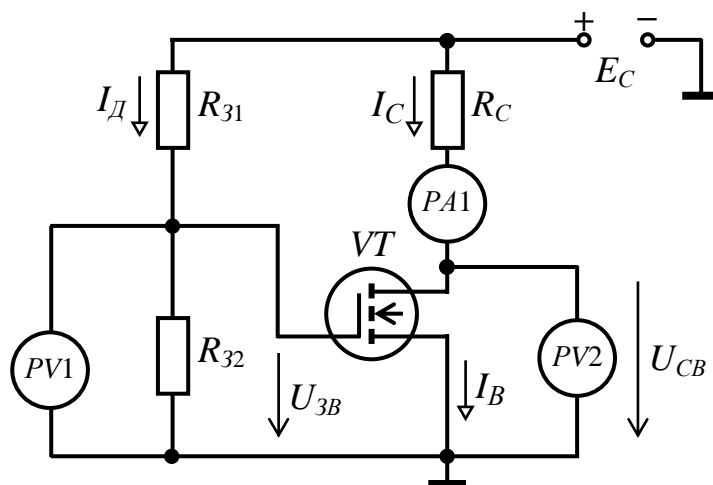


Рисунок 4 – Принципова електрична схема для дослідження режиму спокою підсилювача на польовому транзисторі з ізолюваним затвором індукованим каналом

## 2. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1 Запустити програму EWB. В меню обрати схему (рис. 5).

2.2 Включити схему. Змінюючи напругу  $U_{3B}$  (при фіксованій напрузі  $U_{CB} = \text{const}$ ) зняти стік-затворну ВАХ транзистора  $I_C = f(U_{3B})$ . Далі, змінюючи напругу  $U_{CB}$  (при фіксованих значеннях напруги  $U_{3B} = \text{const}$ ) зняти стокові ВАХ транзистора  $I_C = f(U_{CB})$ . Результати вимірів струму  $I_C$  занести в таблицю 1.

**Примітка:** величину напруги  $U_{3B}$  змінювати за допомогою джерела живлення  $E1$ , величину напруги  $U_{CB}$  – за допомогою джерела живлення  $E2$ .

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень польового транзистора з керованим  $p-n$  переходом

Стік-затворні ВАХ			Стокові ВАХ			
$U_{3B}, \text{В}$	$I_C, \text{мА}$		$U_{CB}, \text{В}$	$I_C, \text{мА}$		
	$U_{CB} = 1 \text{В}$	$U_{CB} = 10 \text{В}$		$U_{3B} = 0$	$U_{3B} = 1 \text{В}$	$U_{3B} = 2 \text{В}$
0			0,1			
0,5			1,0			
1,0			5,0			
1,5			10			
2,0			–			
2,5			–			

2.3 За даними таблиці 1 побудувати ВАХ польового транзистора з керованим  $p-n$  переходом:  $I_C = f(U_{3B})$  та  $I_C = f(U_{CB})$ .

2.4 В меню програми EWB обрати схему (рис. 6).

2.5 Включити схему. Змінюючи напругу  $U_{3B}$  (при фіксованій напрузі  $U_{CB} = \text{const}$ ) зняти стік-затворну ВАХ транзистора  $I_C = f(U_{3B})$ . Змінюючи напругу  $U_{CB}$  (при фіксованих значеннях напруги  $U_{3B} = \text{const}$ ) зняти стокові ВАХ транзистора  $I_C = f(U_{CB})$ . Результати вимірів струму  $I_C$  занести в таблицю 2.

Таблиця 2 – Результати експериментальних досліджень польового транзистора з ізолюваним затвором індукованим каналом

Стік-затворні ВАХ			Стокові ВАХ			
$U_{3B}, \text{В}$	$I_C, \text{мА}$		$U_{CB}, \text{В}$	$I_C, \text{мА}$		
	$U_{CB} = 1 \text{В}$	$U_{CB} = 10 \text{В}$		$U_{3B} = 0$	$U_{3B} = 1 \text{В}$	$U_{3B} = 2 \text{В}$
1,0			0,1			
2,0			1,0			
5,0			5,0			
10			10			
15			–			

2.6 За даними таблиці 2 побудувати ВАХ польового транзистора з ізолюваним затвором індукованим каналом:  $I_C = f(U_{3B})$  та  $I_C = f(U_{CB})$ .

2.7 В меню програми EWB обрати схему підсилювача (рис. 7).

2.8 Згідно варіанта встановити параметри елементів схеми:  $E_C$  і  $R_C$  (таблиця 3), встановити опір  $R_3 = 1 \text{МОм}$ .

2.9 Включити схему. Резистором  $R_B$  за показаннями вольтметра  $PV2$  встановити режим спокою ( $U_{CB} \approx E_C/2$ ). Записати показання приладів і величину опору резистора  $R_B$ .

2.10 В меню програми EWB обрати схему підсилювача (рис. 8).

2.11 Згідно варіанта встановити параметри елементів схеми:  $E_C$  і  $R_C$  (таблиця 3).

2.12 Включити схему. Резисторами  $R_{31}$  і  $R_{32}$  за показаннями вольтметра  $PV2$  установити режим спокою ( $U_{CB} \approx E_C/2$ ). Записати показання приладів і величину опору резисторів  $R_{31}$  і  $R_{32}$ . Величини резисторів  $R_{31}$  і  $R_{32}$  вибирають у межах: десятки-сотні кОм.

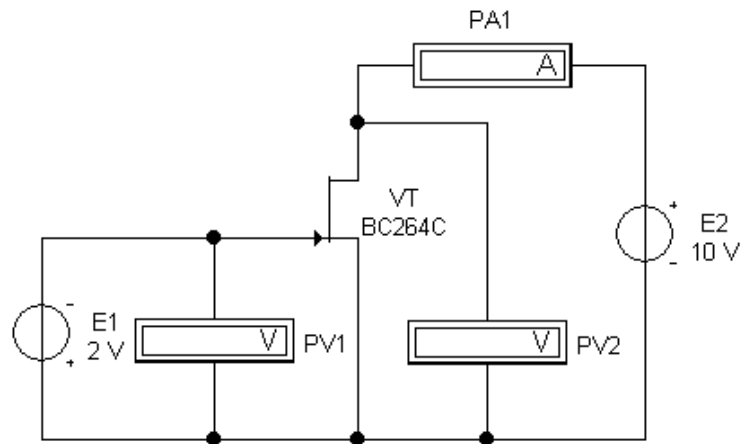


Рисунок 5 – Схема для зняття ВАХ польового транзистора з керованим  $p-n$  переходом

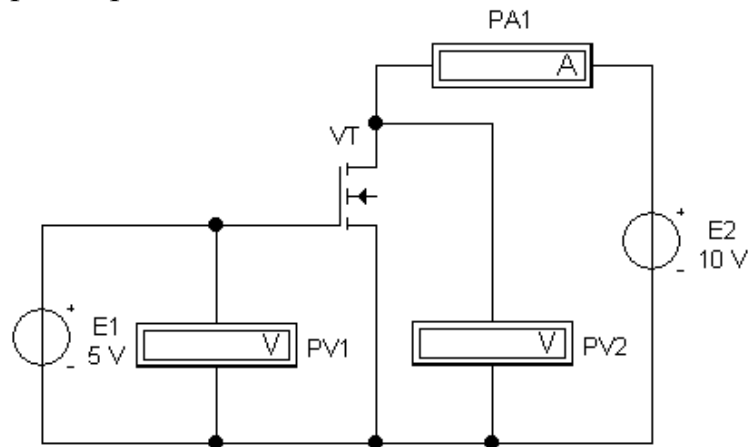


Рисунок 6 – Схема для зняття ВАХ польового транзистора з ізольованим затвором

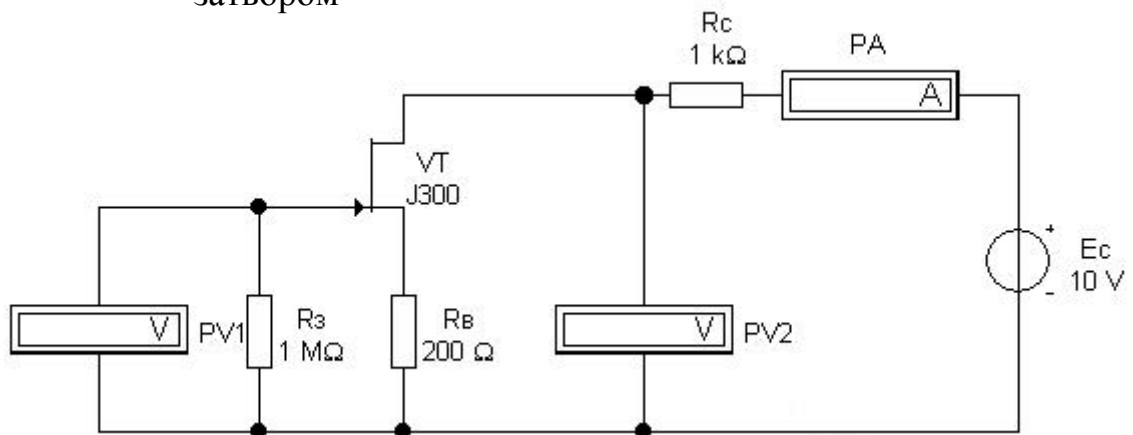


Рисунок 7 – Схема для дослідження режиму спокою підсилювача на польовому транзисторі з керованим  $p-n$  переходом

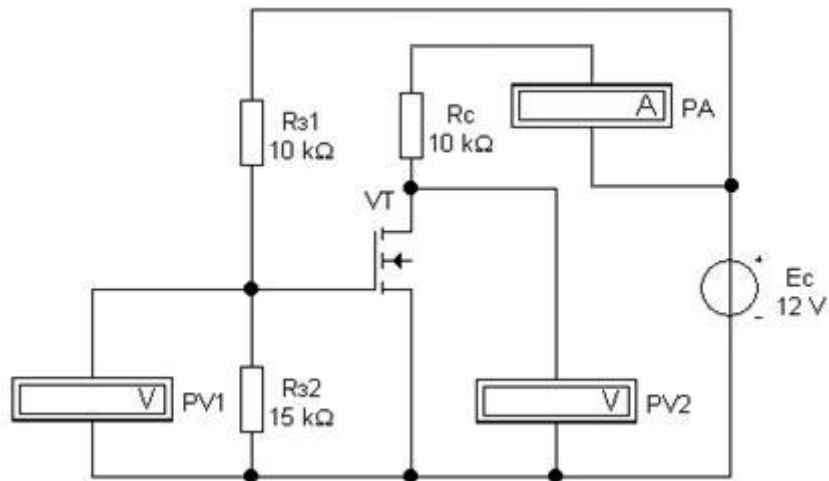


Рисунок 8 – Схема для дослідження режиму спокою підсилювача на польовому транзисторі з ізольованим затвором

Таблиця 3

№ вар.	$S$ , мА/В	$I_{c.поч}$ , мА	$U_{зв.відс}$ , В	$E_c$ , В	$R_c$ , кОм	№ вар.	$S$ , мА/В	$I_{c.поч}$ , мА	$U_{зв.відс}$ , В	$E_c$ , В	$R_c$ , кОм
1	0,5	1,0	0,2	8	7	16	2,0	4,2	0,3	23	10
2	0,6	1,4	0,3	9	8	17	2,1	4,4	0,4	24	7
3	0,7	1,6	0,4	10	9	18	2,2	4,6	0,5	25	8
4	0,8	1,8	0,5	11	10	19	2,3	4,8	0,6	8	9
5	0,9	2,0	0,6	12	7	20	2,4	5,0	0,7	9	10
6	1,0	2,2	0,7	13	8	21	2,5	5,4	0,8	10	7
7	1,1	2,4	0,8	14	9	22	2,6	5,6	0,9	11	8
8	1,2	2,6	0,9	15	10	23	2,7	5,8	1,0	12	9
9	1,3	2,8	1,0	16	7	24	2,8	6,0	1,1	13	10
10	1,4	3,0	1,1	17	8	25	2,9	6,4	1,2	14	7
11	1,5	3,2	1,2	18	9	26	3,0	6,8	1,3	15	8
12	1,6	3,4	1,3	19	10	27	3,1	7,0	1,4	16	9
13	1,7	3,6	1,4	20	7	28	3,2	7,2	1,5	17	10
14	1,8	3,8	1,5	21	8	29	3,3	7,4	1,2	18	7
15	1,9	4,0	0,2	22	9	30	3,4	7,6	1,0	19	8

### 3. ЗМІСТ ЗВІТУ

3.1 Найменування і мета роботи.

3.2 Схеми (рис. 1-4), експериментальні данні (таблиця 1), вхідні і вихідні ВАХ транзисторів, результати експерименту згідно п.п. 2.9, 2.12.

3.4 Висновки по роботі (аналіз ВАХ, вплив резисторів  $R_B$ ,  $R_{31}$ ,  $R_{32}$  на режим спокою підсилювачів).

#### 4. ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1. Що називають польовим транзистором (ПТ)?
2. Яке призначення має польовий транзистор?
3. Наведіть визначення ПТ з керуючим  $p-n$  переходом.
4. Приведіть умовне графічне позначення ПТ з керуючим  $p-n$  переходом.
5. Яку область ПТ називають каналом?
6. Який електрод ПТ називають витоком?
7. Який електрод ПТ називають стоком?
8. Який електрод ПТ називають затвором?
9. При якій напрузі через канал ПТ з керуючим  $p-n$  переходом тече максимальний струм стоку?
10. При якій напрузі через канал ПТ з керуючим  $p-n$  переходом протікає мінімальний струм стоку?
11. Приведіть ВАХ ПТ з керуючим  $p-n$  переходом.
12. Як визначається крутизна стік-затворної характеристики ПТ?
13. Наведіть визначення ПТ з ізолюваним затвором.
14. Приведіть ВАХ ПТ з ізолюваним затвором вбудованим каналом.
15. Приведіть ВАХ ПТ з ізолюваним затвором індукованим каналом.
16. Приведіть умовне графічне позначення МДН-транзистора з ізолюваним затвором вбудованим каналом.
17. Приведіть умовне графічне позначення МДН-транзистора з ізолюваним затвором індукованим каналом.
18. Приведіть схему увімкнення ПТ з спільним витоком.
19. Приведіть схему увімкнення ПТ з спільним затвором.
20. Приведіть схему увімкнення ПТ з спільним стоком.
21. Яке призначення підсилювального каскаду?
22. Який режим роботи польового транзистора називають режимом спокою?
23. Для чого призначений конденсатор  $C_B$  (рис. 9)?

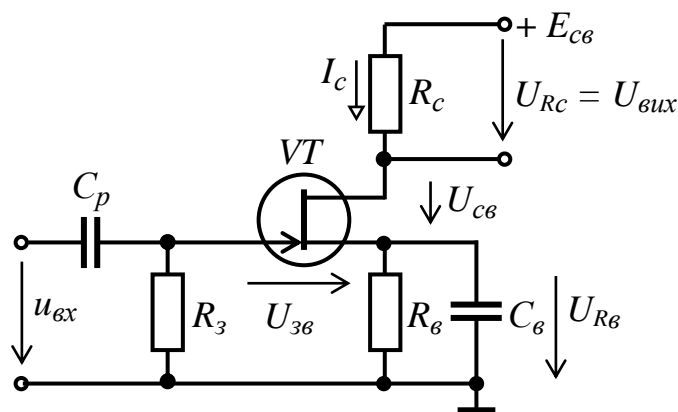


Рисунок 9

24. Для чого призначений резистор  $R_3$  (рис. 9)?
25. Для чого призначений конденсатор  $C_p$  (рис. 9)?
26. Для чого призначений резистор  $R_B$  (рис. 9)?
27. Для чого призначений резистор  $R_C$  (рис. 9)?



## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11

### ПІДСИЛЮВАЧІ НА БІПОЛЯРНИХ ТРАНЗИСТОРАХ

**Мета роботи:** вивчення принципу роботи і методів розрахунку підсилювальних каскадів на біполярних транзисторах. Дослідження підсилювачів на біполярних транзисторах, увімкнених за схемою із спільним емітером.

#### 1. ЗАВДАННЯ ДЛЯ ДОМАШНЬОЇ ПІДГОТОВКИ

- 1.1 Підготуватися до відповідей на контрольні питання.
- 1.2 Привести схему підсилювача на біполярному транзисторі, увімкненого за схемою із спільним емітером (рис. 1). Описати призначення елементів схеми.

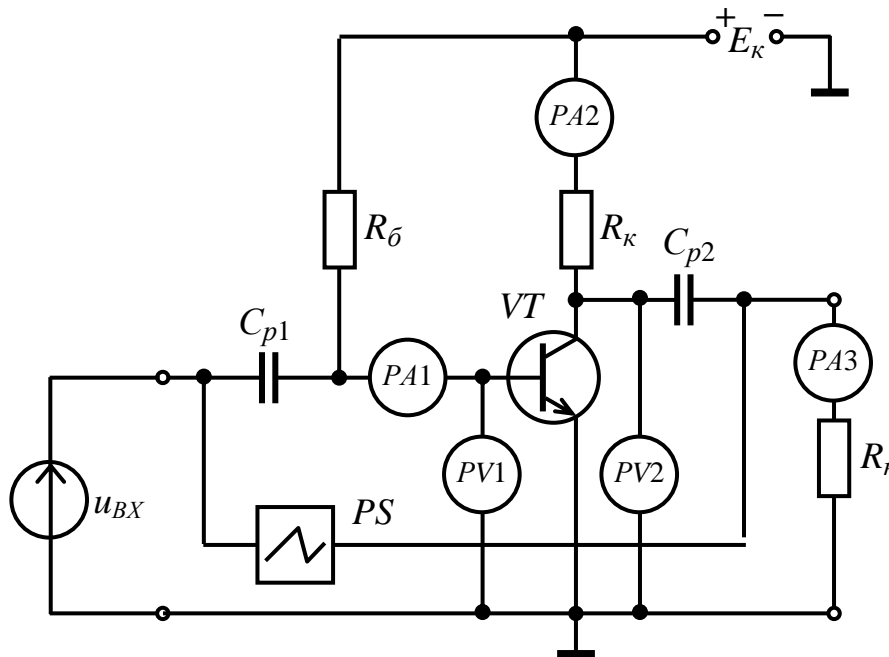


Рисунок 1 – Схема підсилювача на біполярному транзисторі, увімкненого за схемою із спільним емітером

- 1.3 Виконати розрахунок підсилювального каскаду графоаналітичним методом:
  - побудувати вхідну  $I_B = f(U_{BE})$  і вихідну  $I_K = f(U_{KE})$  ВАХ біполярного транзистора, увімкненого за схемою із спільним емітером;
  - побудувати лінію навантаження підсилювача за постійним струмом;
  - визначити параметри режиму спокою:  $U_{KEC}$ ,  $I_{KC}$ ,  $U_{BEC}$ ,  $I_{BC}$ ;
  - визначити величину опору резистора  $R_B$ , що забезпечує режим спокою;
  - побудувати лінію навантаження підсилювача за змінним струмом;
  - побудувати графіки зміни струмів бази  $I_B$  і колектора  $I_K$ , напруг  $U_{KE}$  і  $U_{BE}$  при синусоїдальній вхідній напрузі (величина амплітуди вхідної напруги не повинна виходити за межі лінійної частини вхідної ВАХ транзистора).

**Вихідні дані:** лінійна частина вхідної ВАХ біполярного транзистора  $I_B = f(U_{BE})$  задається викладачем; значення коефіцієнта підсилення транзистора  $\beta$ ,

напруги джерела живлення  $E_K$ , опору резистора в колі колектора  $R_K$  наведені в табл. 1. Опір резистора навантаження  $R_H$  прийняти рівним  $R_K$ .

1.4 Визначити коефіцієнти підсилення каскаду за напругою  $K_U$ , струмом  $K_I$  і потужністю  $K_P$ .

Таблиця 1 – Варіанти вихідних даних

№ вар.	$E_K$ , В	$R_K$ , кОм	$\beta$	№ вар.	$E_K$ , В	$R_K$ , кОм	$\beta$
1	12	1,2	75	13	16	1,2	75
2	12	2,4	40	14	16	2,4	40
3	14	2,8	50	15	28	2,8	50
4	14	0,7	150	16	28	1,4	100
5	15	0,75	150	17	10	1,0	50
6	15	1,5	80	18	9	4,5	25
7	16	1,6	90	19	9	1,5	60
8	16	3,2	100	20	12	3,0	40
9	18	1,8	120	21	18	3,6	40
10	18	0,82	120	22	18	0,9	70
11	20	1,5	130	23	15	1,5	50
12	20	2,0	100	24	10	2,0	100

## 2. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1 Запустити програму EWB. В меню обрати схему (рис. 2).

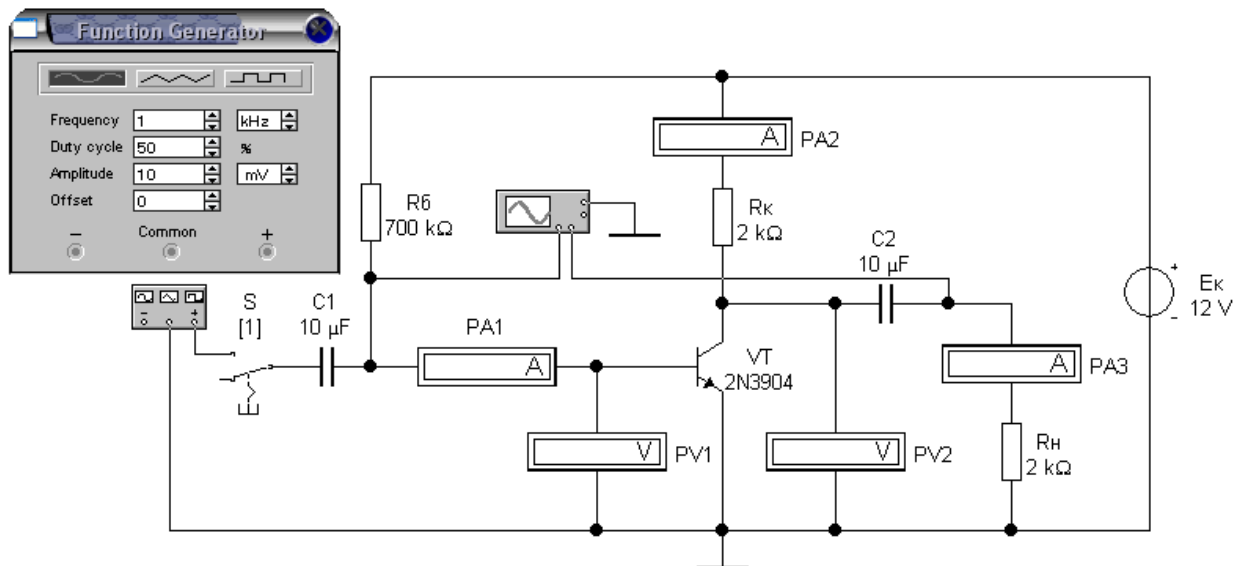


Рисунок 2 – Схема для дослідження підсилювального каскаду на біполярному транзисторі, увімкненого за схемою із спільним емітером

2.2 Встановити параметри елементів схеми згідно таблиці 1 і віртуального генератора згідно рис. 2.

- 2.3 Включити схему. Перемикачем S відключити генератор від входу підсилювача. Резистором  $R_B$  установити параметри режиму спокою, значення яких визначені в п. 1.3. Записати показання приладів.
- 2.4 Перемикачем S підключити генератор до входу підсилювача. Записати показання приладів. За допомогою візирних ліній осцилографа визначити амплітуди напруг на вході  $U_{m_{BX}}$  та виході  $U_{m_{ВИХ}}$  підсилювального каскаду. Привести осцилограми напруг.
- 2.5 За експериментальними даними визначити коефіцієнти підсилення каскаду за напругою  $K_U$ , струмом  $K_I$  і потужністю  $K_P$ .
- 2.6 Збільшити вхідну напругу до  $U_{BX} = 0,1В$ . Привести осцилограми напруг. Пояснити причину викривлення вихідної напруги підсилювального каскаду.

### 3. ЗМІСТ ЗВІТУ

- 3.1 Найменування і мета роботи.
- 3.2 Схема (рис. 1), розрахунок згідно п.п. 1.3, осцилограми згідно п.п. 2.4, результати розрахунків згідно п.п. 2.5.
- 3.3 Висновки по роботі (аналіз результатів експерименту, пояснення результатів експерименту згідно п.п. 2.6).

### 4. ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1. Поясніть призначення підсилювачів.
2. Наведіть класифікацію підсилювачів.
3. Назвіть основні параметри підсилювачів.
4. Назвіть режими роботи підсилювальних каскадів та поясніть чим вони забезпечуються.
5. Наведіть визначення режиму спокою підсилювального каскаду.
6. Наведіть схеми задання режиму спокою підсилювального каскаду і поясніть принцип їх дії.
7. Поясніть, чому виникає потреба в температурній стабілізації підсилювального каскаду і як вона забезпечується?
8. Поясніть при якому способі увімкнення біполярного транзистора можна забезпечити найбільше підсилення потужності в підсилювальному каскаді?
9. Наведіть схему підсилювального каскаду на біполярному транзисторі, увімкненого за схемою із спільним емітером. Поясніть призначення елементів схеми та принцип роботи підсилювача.
10. Поясніть методику побудови лінії навантаження каскаду за постійним струмом та визначення параметрів режиму спокою.
11. Поясніть методику побудови лінії навантаження каскаду за змінним струмом та визначення коефіцієнтів підсилення каскаду за напругою  $K_U$ , струмом  $K_I$  і потужністю  $K_P$ .
12. Поясніть, як зміниться положення робочої точки і параметри режиму спокою підсилювального каскаду при зміні: величини опору резистора  $R_K$ ; напруги живлення  $E_K$ ; коефіцієнта підсилення  $\beta$ ; струму бази  $I_B$ ?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12

### ПІДСИЛЮВАЧІ НА ПОЛЬОВИХ ТРАНЗИСТОРАХ

**Мета роботи:** вивчення принципу роботи і методів розрахунку підсилювальних каскадів на польових транзисторах. Дослідження підсилювачів на польових транзисторах, увімкнених за схемою із спільним витоком.

#### 1 ЗАВДАННЯ ДЛЯ ДОМАШНЬОЇ ПІДГОТОВКИ

- 1.1 Підготуватися до відповідей на контрольні питання.
- 1.2 Привести схему підсилювального каскаду на польовому транзисторі з керованим  $p-n$  переходом, увімкненого за схемою із спільним витоком (рис. 1). Описати призначення елементів схеми.

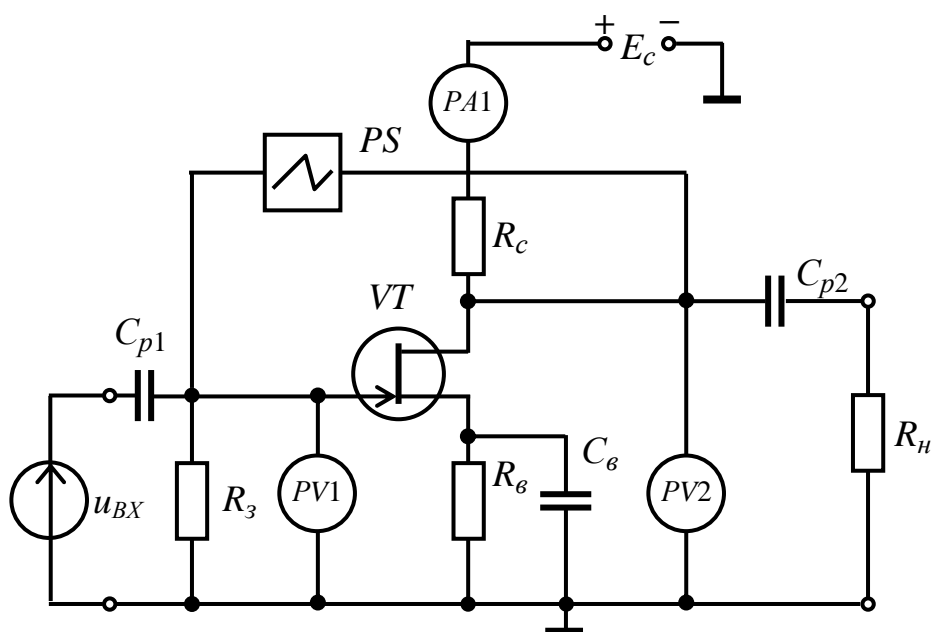


Рисунок 1 – Схема підсилювача на польовому транзисторі, увімкненого за схемою із спільним витоком

- 1.3 Виконати графоаналітичним методом розрахунок підсилювача на польовому транзисторі з керованим  $p-n$  переходом, який працює в режимі підсилення класу А:
  - побудувати стік-затворну  $I_C = f(U_{ЗВ})$  і стокові  $I_C = f(U_{СВ})$  ВАХ польового транзистора з керованим  $p-n$  переходом;
  - побудувати лінію навантаження підсилювача за постійним струмом;
  - визначити параметри режиму спокою:  $U_{ЗВС}$ ,  $I_{СС}$ ,  $U_{СВС}$ ;
  - визначити величину опору резистора  $R_B$ ;
  - побудувати лінію навантаження підсилювача за змінним струмом;
  - побудувати графіки зміни струму стоку  $I_C$ , напруг  $U_{ЗВ}$  і  $U_{СВ}$  при синусоїдальній вхідній напрузі.

**Вихідні дані:** варіанти завдань наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Варіанти вихідних даних

№ вар.	$S$ , мА/В	$I_{C\text{ поч.}}$ , мА	$U_{ЗВ\text{ вДС}}$ , В	$E_C$ , В	$R_C$ , кОм	№ вар.	$S$ , мА/В	$I_{C\text{ поч.}}$ , мА	$U_{ЗВ\text{ вДС}}$ , В	$E_C$ , В	$R_C$ , кОм
1	0,5	1,0	0,2	8	7	16	2,0	4,2	0,3	23	10
2	0,6	1,4	0,3	9	8	17	2,1	4,4	0,4	24	7
3	0,7	1,6	0,4	10	9	18	2,2	4,6	0,5	25	8
4	0,8	1,8	0,5	11	10	19	2,3	4,8	0,6	8	9
5	0,9	2,0	0,6	12	7	20	2,4	5,0	0,7	9	10
6	1,0	2,2	0,7	13	8	21	2,5	5,4	0,8	10	7
7	1,1	2,4	0,8	14	9	22	2,6	5,6	0,9	11	8
8	1,2	2,6	0,9	15	10	23	2,7	5,8	1,0	12	9
9	1,3	2,8	1,0	16	7	24	2,8	6,0	1,1	13	10
10	1,4	3,0	1,1	17	8	25	2,9	6,4	1,2	14	7
11	1,5	3,2	1,2	18	9	26	3,0	6,8	1,3	15	8
12	1,6	3,4	1,3	19	10	27	3,1	7,0	1,4	16	9
13	1,7	3,6	1,4	20	7	28	3,2	7,2	1,5	17	10
14	1,8	3,8	1,5	21	8	29	3,3	7,4	1,2	18	7
15	1,9	4,0	0,2	22	9	30	3,4	7,6	1,0	19	8

## 2. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1 Запустити програму EWB. В меню обрати схему (рис. 2).

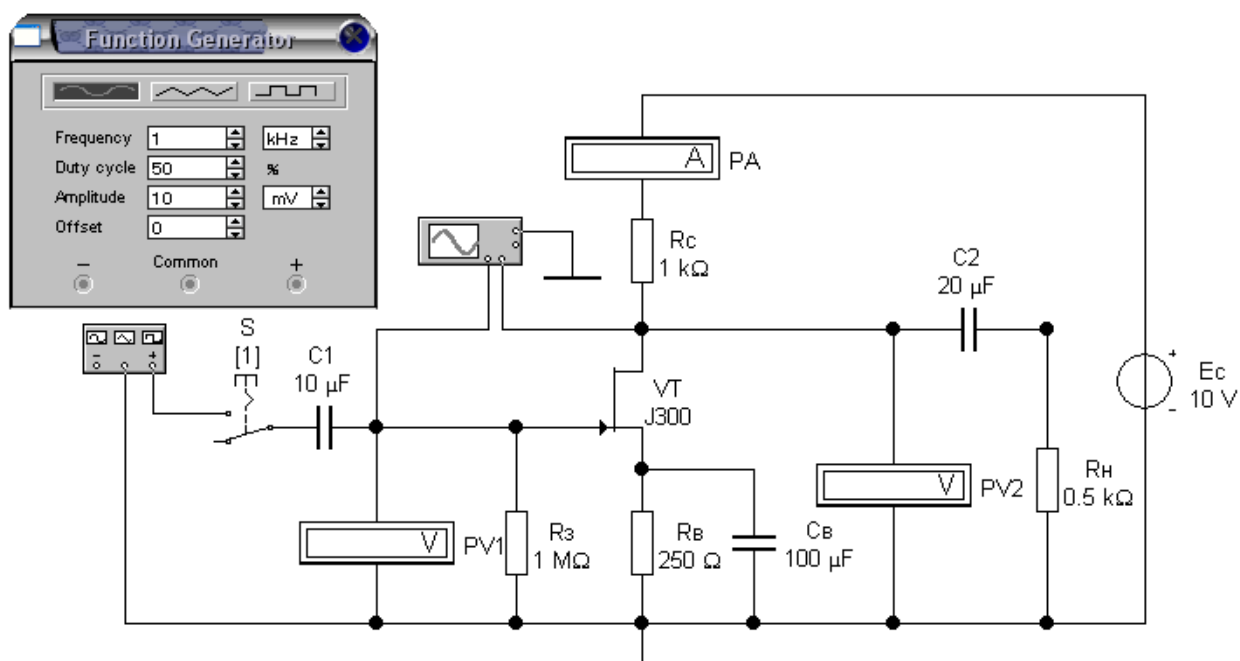


Рисунок 2 – Схема для дослідження підсилювача каскаду на польовому транзисторі з керованим  $p-n$  переходом

2.2 Встановити параметри елементів схеми згідно таблиці 1 і віртуального генератора згідно рис. 2.

- 2.3 Включити схему. Перемикачем  $S$  відключити генератор від входу підсилювача. Резистором  $R_B$  встановити параметри режиму спокою, значення яких визначені в п. 1.3. Записати показання приладів.
- 2.4 Перемикачем  $S$  підключити генератор до входу підсилювача. Записати показання приладів. За допомогою візирних ліній осцилографа визначити амплітуди напруг на вході і виході підсилювального каскаду. Привести осцилограми напруг.
- 2.5 За експериментальними даними визначити коефіцієнт підсилення каскаду за напругою  $K_U$ .

### 3. ЗМІСТ ЗВІТУ

- 3.1 Найменування і мета роботи.
- 3.2 Схема (рис. 1), розрахунок згідно п.п. 1.3. осцилограми згідно п.п. 2.4, результати розрахунку згідно п.п. 2.5.
- 3.3 Висновки по роботі (аналіз результатів експерименту).

### 4. ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1. Поясніть призначення підсилювачів.
2. Назвіть основні параметри підсилювачів.
3. Наведіть визначення режиму спокою підсилювального каскаду.
4. Наведіть схеми задання режиму спокою підсилювальних каскадів на польових транзисторах і поясніть принцип їх дії.
5. Наведіть схему підсилювального каскаду на польовому транзисторі з керованим  $p-n$  переходом, увімкненого за схемою із спільним витоком. Поясніть призначення елементів схеми та принцип роботи підсилювального каскаду.
6. Наведіть схему підсилювального каскаду на польовому МДН-транзисторі з вбудованим каналом, увімкненого за схемою із спільним витоком. Поясніть призначення елементів схеми та принцип роботи підсилювального каскаду.
7. Наведіть схему підсилювального каскаду на польовому МДН-транзисторі з індукованим каналом, увімкненого за схемою із спільним витоком. Поясніть призначення елементів схеми та принцип роботи підсилювального каскаду.
8. Поясніть методику побудови лінії навантаження підсилювача на польовому транзисторі за постійним струмом та визначення параметрів режиму спокою.
9. Поясніть методику побудови лінії навантаження підсилювального каскаду на польовому транзисторі за змінним струмом та визначення коефіцієнтів підсилення каскаду за напругою  $K_U$  і потужністю  $K_P$ .
10. Поясніть, як зміниться положення робочої точки і параметри режиму спокою підсилювального каскаду на польовому транзисторі при зміні: величини опору резистора  $R_C$ ; напруги живлення  $E_C$ ; напруги  $U_{ЗВ}$ ; крутизни вольт-амперної характеристики транзистора  $S$ ?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 13

### ОПЕРАЦІЙНІ ПІДСИЛЮВАЧІ

**Мета роботи:** вивчення принципу дії та дослідження пристроїв на операційних підсилювачах.

#### 1. ЗАВДАННЯ ДЛЯ ДОМАШНЬОЇ ПІДГОТОВКИ

1.1 Підготуватися до відповідей на контрольні питання.

1.2 Привести схему інвертуючого підсилювача на ОП (рис.1, а).

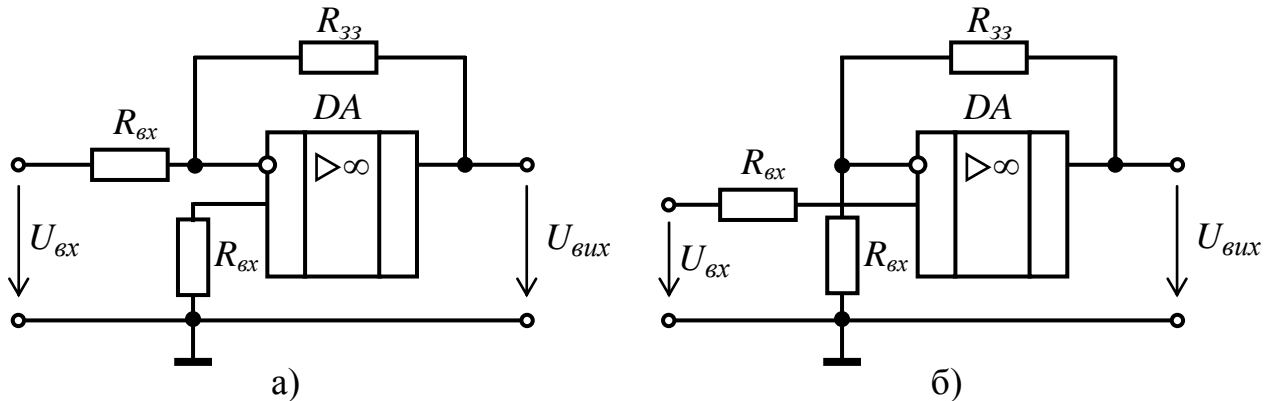


Рисунок 1 – Схема підсилювача на основі ОП: а) інвертуючого; б) неінвертуючого

1.3 Визначити величину опору резистора  $R_{ВХ}$  на інвертуючому вході ОП при заданих значеннях коефіцієнта підсилення  $K_U$  і опору резистора в колі зворотного зв'язку  $R_{ЗЗ}$ . Побудувати графік залежності  $U_{ВИХ} = f(U_{ВХ})$ . Варіанти завдань наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Варіанти вихідних даних

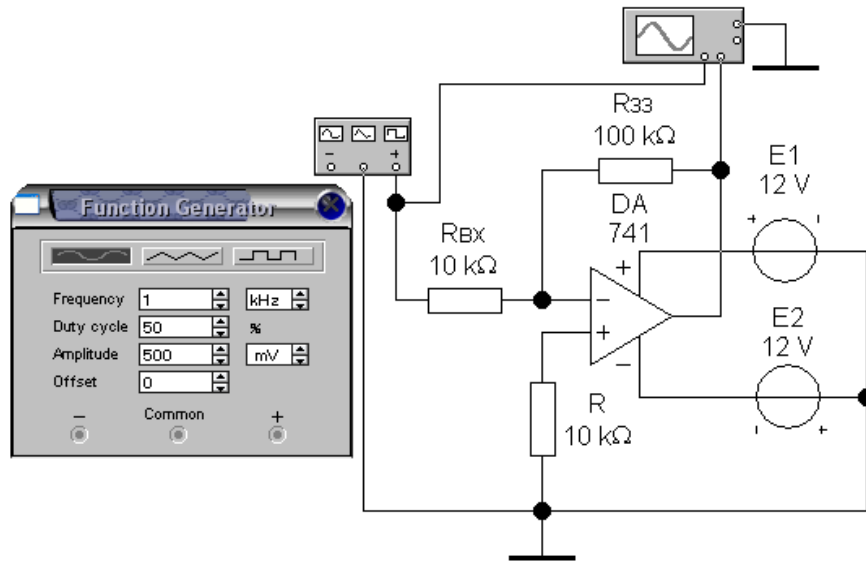
$U_{ВИХ\text{МАХ}} = \pm 11\text{В}$ .

№ вар.	$K_U$	$R_{ЗЗ}$ , кОм	№ вар.	$K_U$	$R_{ЗЗ}$ , кОм
1	8	50	16	10	125
2	9	55	17	11	130
3	10	60	18	12	135
4	11	65	19	13	140
5	12	70	20	14	145
6	13	75	21	15	150
7	14	80	22	16	155
8	15	85	23	17	160
9	16	90	24	18	165
10	17	95	25	19	170
11	18	100	26	20	175
12	19	105	27	21	180
13	20	110	28	8	185
14	8	115	29	9	190
15	9	120	30	10	195

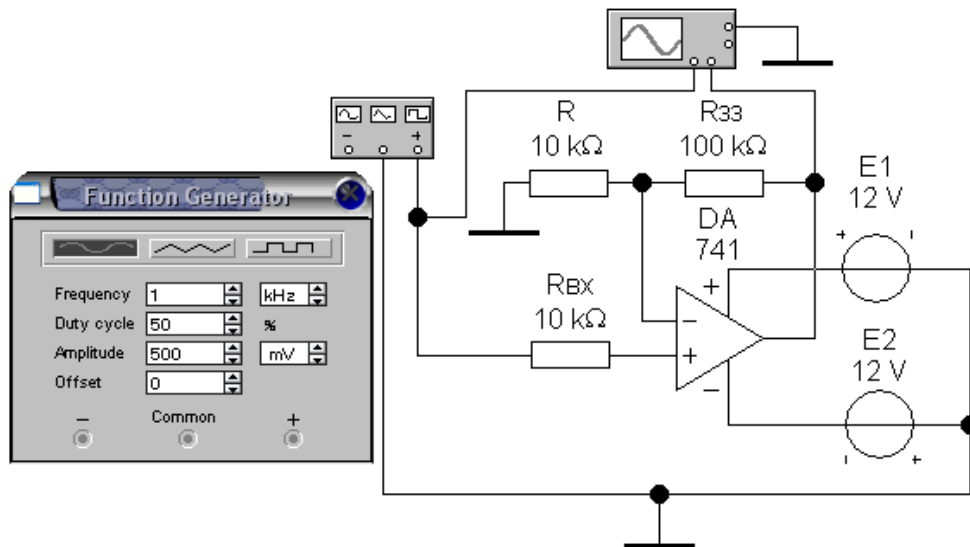
- 1.4 Привести схему неінвертуючого підсилювача на ОП (рис. 1, б).  
 1.5 Визначити коефіцієнт підсилення підсилювача при величині опорів резисторів  $R_{BX}$  і  $R_{ЗЗ}$  з п. 1.3. Побудувати графік залежності  $U_{ВИХ} = f(U_{ВХ})$ .

## 2. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 2.1 Запустити програму EWB. В меню обрати схему (рис. 2, а).



а)



б)

Рисунок 2 – Схеми для дослідження операційних підсилювачів:  
 а) інвертуючого; б) неінвертуючого

- 2.2 Встановити задані в табл. 1 і розраховані в п. 1.3 параметри елементів схеми.



2.3 Включити схему. За допомогою візирної лінії віртуального осцилографа визначити амплітуду вихідної напруги  $U_{ВИХ}$ . Результати вимірів занести в табл. 2.

Таблиця 2 – Результати експериментальних досліджень операційного підсилювача

$U_{ВХ}, В$	Інвертуючий підсилювач	Неінвертуючий підсилювач
	$U_{ВИХ}, В$	$U_{ВИХ}, В$
0,5		
0,6		
0,7		
0,8		
0,9		
1,0		
1,1		
1,2		
1,3		
1,4		
1,5		

2.4 Привести осцилограми напруг. Визначити коефіцієнт підсилення ОП за напругою  $K_U$ .

2.5 Набрати схему для дослідження неінвертуючого підсилювача (рис. 2, б).

2.6 Виконати пп. 2.2 – 2.4.

2.7 За даними табл. 2 побудувати графіки залежності  $U_{ВИХ} = f(U_{ВХ})$  для інвертуючого і неінвертуючого підсилювачів.

### 3. ЗМІСТ ЗВІТУ

3.1 Найменування і мета роботи.

3.2 Схеми (рис. 1), розрахунок згідно п.п. 1.3-1.5, результати експерименту (таблиця 2), осцилограми і розрахунки згідно п.п. 2.4, графіки залежності  $U_{ВИХ} = f(U_{ВХ})$ .

3.3 Висновки по роботі (аналіз результатів експерименту).

### 4. ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1. Поясніть призначення підсилювачів постійного струму.
2. Поясніть, що таке операційний підсилювач і як він побудований?
3. Поясніть призначення операційних підсилювачів.
4. Наведіть умовне графічне позначення та поясніть призначення виводів операційного підсилювача.

5. Наведіть основні параметри і характеристики операційного підсилювача.
6. Наведіть схему та поясніть принцип дії інвертуючого підсилювача на ОП.
7. Наведіть схему та поясніть принцип дії неінвертуючого підсилювача на ОП.
8. Наведіть схеми та поясніть принцип дії інвертуючого і неінвертуючого суматорів на ОП.
9. Наведіть схему та поясніть принцип дії інтегруючого підсилювача на ОП.
10. Наведіть схему та поясніть принцип дії диференціюючого підсилювача на ОП.
11. Поясніть, яку роль виконує зворотний зв'язок в операційному підсилювачі?
12. Поясніть, як впливає зворотний зв'язок в операційному підсилювачі на його передатну характеристику?
13. Поясніть, у чому полягає відмінність операційних підсилювачів від звичайних?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 14-15

### ГЕНЕРАТОРИ СИНУСОЇДАЛЬНИХ КОЛИВАНЬ

**МЕТА РОБОТИ:** Вивчення принципу роботи і дослідження генераторів синусоїдальних (гармонійних) коливань.

#### 1. ЗАВДАННЯ ДЛЯ ДОМАШНЬОЇ ПІДГОТОВКИ

- 1.1 Підготуватися до відповідей на контрольні питання.
- 1.2 Привести схему LC-генератора синусоїдальних коливань на біполярному транзисторі (рис. 1). Описати призначення елементів схеми і принцип роботи генератора.

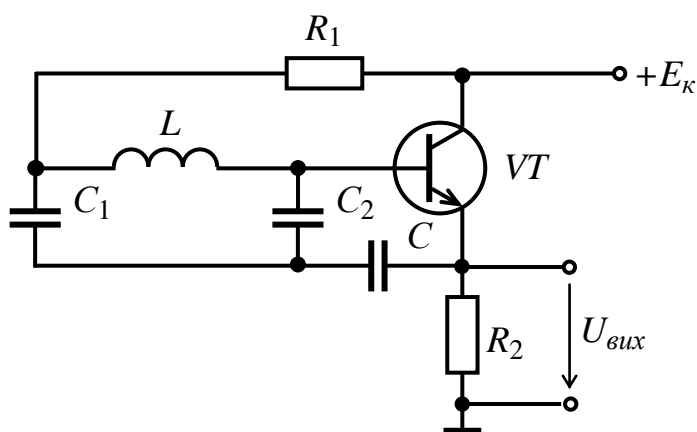


Рисунок 1 – Схема LC-генератора на біполярному транзисторі

- 1.3 Визначити частоту коливань генератора [ $f = 1/(2\pi\sqrt{L_K C_K})$ ]. Варіанти завдань ( $L_K, C_K$ ) наведені в таблиці 1.
- 1.4 Привести схему RC-генератора синусоїдальних коливань на операційному підсилювачі з мостом Віна (рис. 2). Описати призначення елементів схеми і принцип роботи генератора.

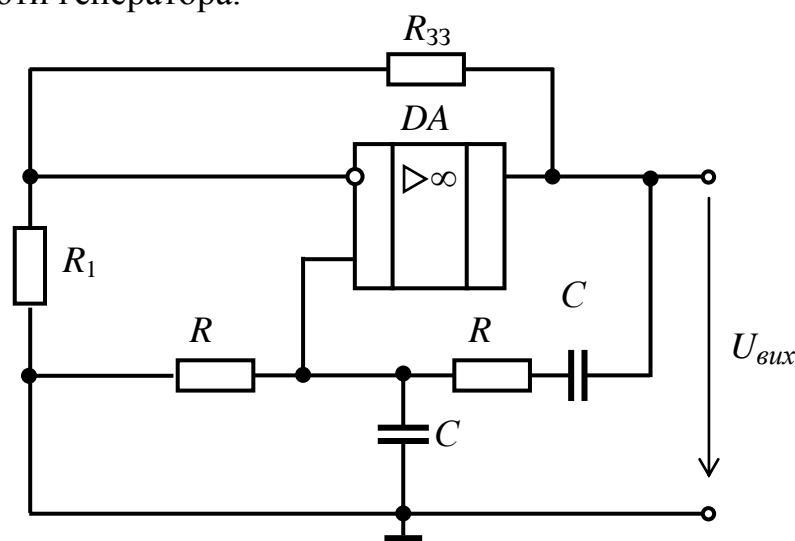


Рисунок 3 – Схема для RC-генератора на ОП з мостом Віна

1.5 Визначити частоту коливань генератора [ $f = 1/(2\pi RC)$ ]. Варіанти завдань (R, C) наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Варіанти вихідних даних

№ вар.	LC-генератор			RC-генератор		№ вар.	LC-генератор			RC-генератор	
	L, Гн	C <sub>1</sub> = C <sub>2</sub> , мкФ	C, мкФ	C, мкФ	R, Ом		L, Гн	C <sub>1</sub> = C <sub>2</sub> , мкФ	C, мкФ	C, мкФ	R, Ом
1	2,0	1,0	0,2	0,5	20	16	1,6	2,5	0,3	2,0	5
2	1,9	1,1	0,2	0,6	19	17	1,5	2,6	0,3	2,1	20
3	1,8	1,2	0,2	0,7	18	18	1,4	2,7	0,3	2,2	19
4	1,7	1,3	0,2	0,8	17	19	1,3	2,8	0,3	2,3	18
5	1,6	1,4	0,2	0,9	16	20	1,2	2,9	0,3	2,4	17
6	1,5	1,5	0,2	1,0	15	21	1,1	3,0	0,3	2,5	16
7	1,4	1,6	0,25	1,1	14	22	1,0	3,1	0,3	2,6	15
8	1,3	1,7	0,25	1,2	13	23	0,9	3,2	0,3	2,7	14
9	1,2	1,8	0,25	1,3	12	24	0,8	3,3	0,3	2,8	13
10	1,1	1,9	0,25	1,4	11	25	0,7	3,4	0,3	2,9	12
11	1,0	2,0	0,25	1,5	10	26	0,6	3,5	0,3	3,0	11
12	2,0	2,1	0,3	1,6	9	27	0,5	3,6	0,35	3,1	10
13	1,9	2,2	0,3	1,7	8	28	0,6	3,7	0,35	3,2	9
14	1,8	2,3	0,3	1,8	7	29	0,7	3,8	0,35	3,3	8
15	1,7	2,4	0,3	1,9	6	30	0,8	3,9	0,35	3,4	7

## 2. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1 Запустити програму EWB. В меню обрати схему LC-генератора (рис. 3).

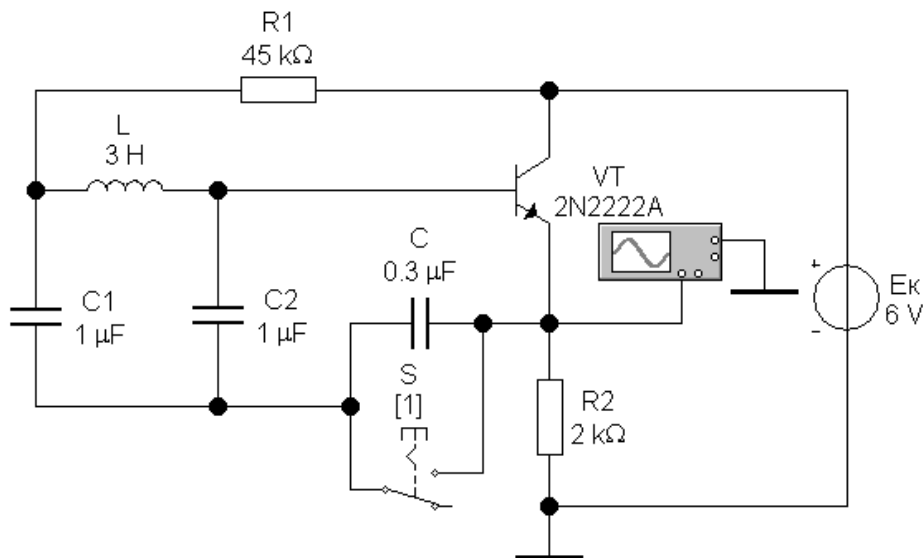


Рисунок 4 – Схема для дослідження LC-генератора

2.2 Встановити параметри елементів схеми згідно варіанту (таблиця 1).

- 2.3 Включити схему. Для прискорення виникнення коливань генератора перемикачем S короткочасно замкнути конденсатор С.
- 2.4 Привести осцилограму вихідної напруги  $u_{ВИХ} = f(t)$ .
- 2.5 За допомогою візирних ліній осцилографа визначити амплітуду і період синусоїдальних коливань. Обчислити частоту коливань  $[f = 1/T]$ .
- 2.6 Набрати схему для дослідження RC-генератора синусоїдальних коливань на операційному підсилювачі з мостом Віна (рис. 5).

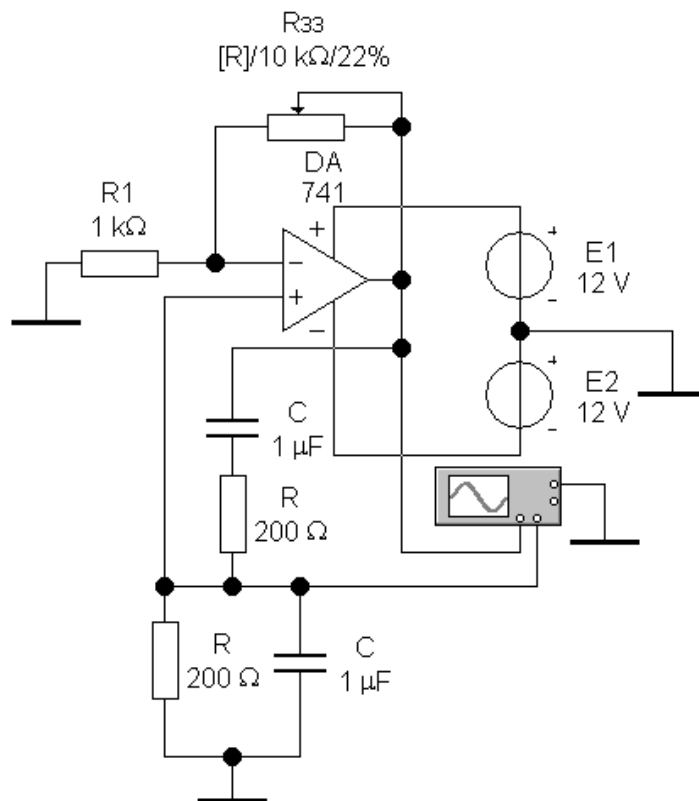


Рисунок 5 – Схема для дослідження RC-генератора на операційному підсилювачі з мостом Віна

- 2.7 Встановити параметри елементів схеми згідно варіанту (таблиця 1).
- 2.8 Включити схему. Привести осцилограми напруг на виході генератора і моста Віна.
- 2.9 За допомогою візирних ліній осцилографа визначити амплітуду і період синусоїдальних коливань на виході генератора і моста Віна. Обчислити частоту коливань і коефіцієнт передачі моста Віна  $[\beta = U_{ВИХ}/U_{ВХ}]$ , де  $U_{ВИХ}$  і  $U_{ВХ}$  – вихідна і вхідна напруга моста Віна].

### 3. ЗМІСТ ЗВІТУ

- 3.1 Найменування і мета роботи.
- 3.2 Схеми (рис. 1, 2), відповіді на завдання п.п. 1.2-1.5, осцилограми згідно п.п. 2.4, 2.8, результати розрахунків згідно п.п. 2.9.
- 3.4 Висновки по роботі (аналіз результатів експерименту).

#### 4. ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1. Поясніть призначення генераторів синусоїдальних коливань.
2. Наведіть класифікацію генераторів синусоїдальних коливань.
3. Наведіть структурну схему генератора синусоїдальних коливань.
4. Наведіть умови режиму генерації генераторів синусоїдальних коливань.
5. Наведіть основні параметри і характеристики генераторів синусоїдальних коливань.
6. Поясніть призначення LC- та RC-генераторів.
7. Наведіть схему моста Віна, його амплітудно- і фазо-частотну характеристики.
8. Наведіть схему подвійного T-подібного моста, його амплітудно-частотну характеристику.
9. Наведіть схему RC-генератора з подвійним T-подібним мостом на операційному підсилювачі. Поясніть призначення елементів і принцип роботи схеми.
10. Наведіть схему RC-генератора з мостом Віна на операційному підсилювачі. Поясніть призначення елементів і принцип роботи схеми.

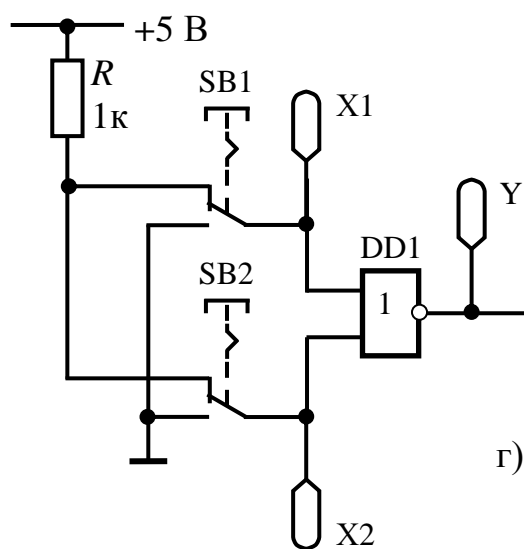
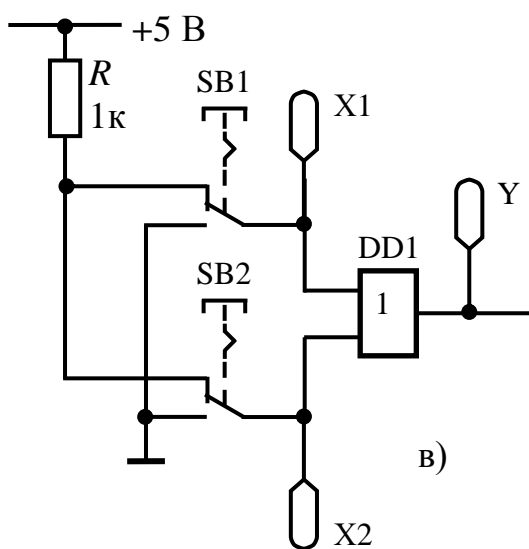
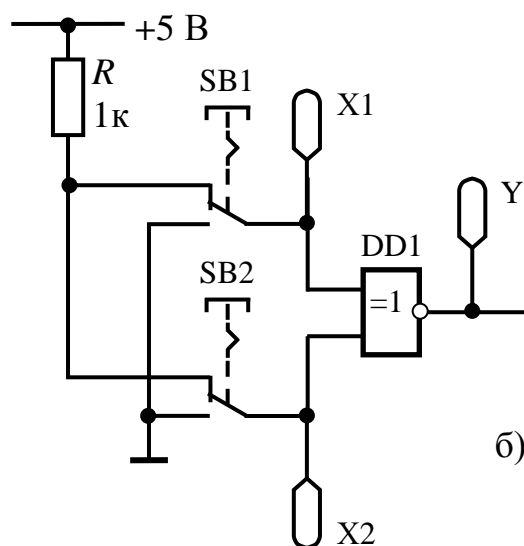
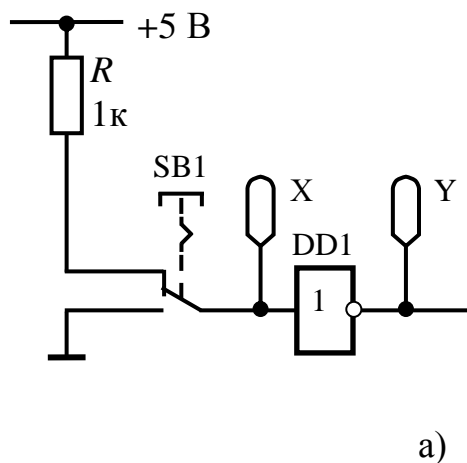
## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 16

### ЛОГІЧНІ ЕЛЕМЕНТИ. ТРИГЕРИ

**Мета роботи:** вивчення принципу роботи і дослідження логічних елементів і тригерів в інтегральному виконанні.

#### 1. ЗАВДАННЯ ДЛЯ ДОМАШНЬОЇ ПІДГОТОВКИ

- 1.1. Підготуватися до відповідей на контрольні питання.
- 1.2. Скласти принципові електричні схеми для дослідження логічних елементів (рис. 1, а – рис. 1, е) і тригерів (рис. 2, а – рис. 2, в). Підготувати таблиці для запису результатів експериментальних досліджень.



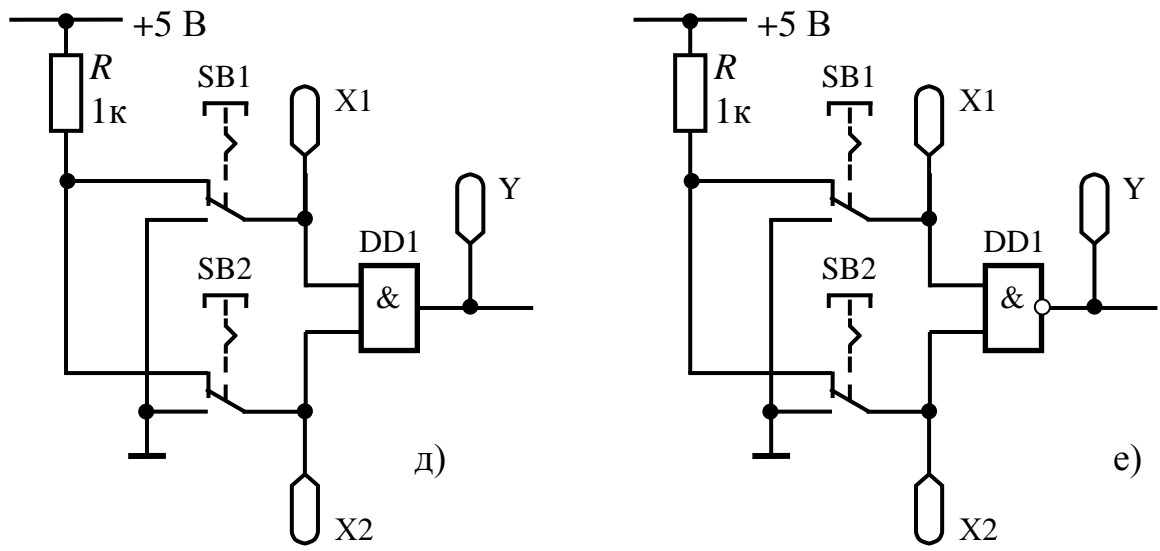


Рисунок 1 – Принципові електричні схеми для дослідження логічних елементів а) «НІ»; б) «Виключаюче АБО»; в) «АБО»; г) «АБО - НІ»; д) «І»; е) «І - НІ»

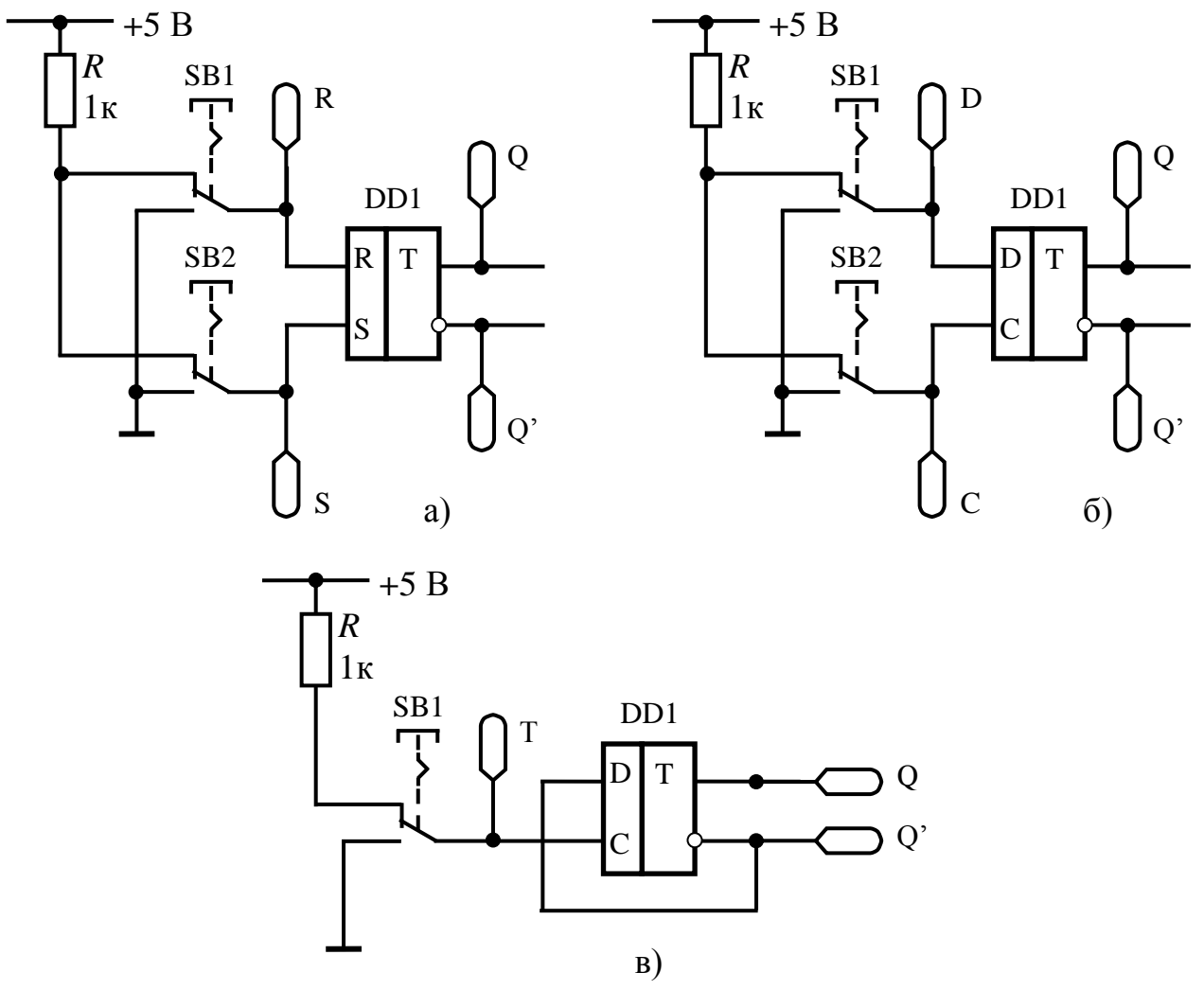


Рисунок 2 – Принципові електричні схеми для дослідження тригерів в інтегральному виконанні: а) RS - тригера; б) D - тригера; в) T - тригера



1.3. Записати в табл. 1 стан (“0” або “1”) логічних елементів і тригерів у схемі, наведеної на рис. 3. Варіанти завдань наведені в табл. 2.

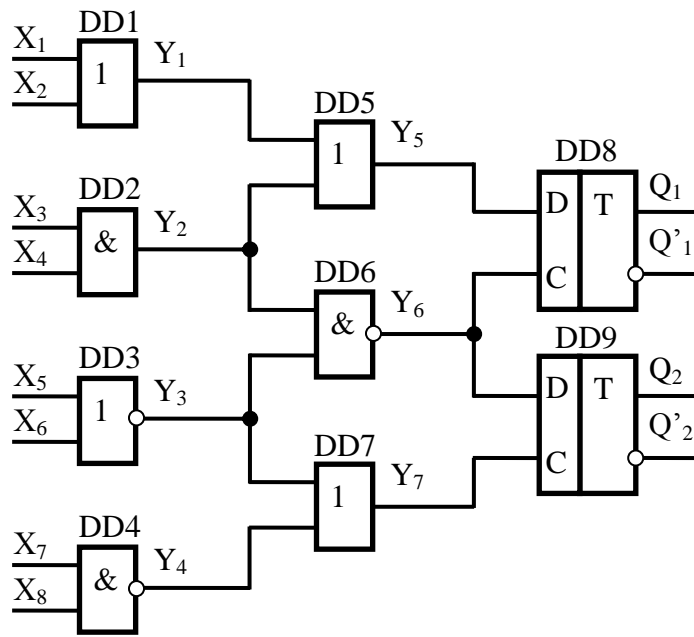


Рисунок 3 – Схема на логічних елементах і тригерах

Таблиця 1 – Вихідні сигнали логічних елементів і тригерів

Виходи	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Q1	Q'1	Q2	Q'2
Стан											

Таблиця 2

№ вар	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	№ вар	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
1	0	1	1	1	0	1	1	0	16	1	0	0	0	0	1	0	1
2	1	1	1	1	0	1	0	1	17	0	1	1	1	1	1	1	0
3	0	0	1	1	0	1	1	1	18	1	1	1	1	1	1	0	0
4	1	0	1	1	0	1	0	1	19	0	0	1	1	1	1	1	1
5	0	1	0	1	0	1	1	0	20	1	0	1	1	1	1	0	1
6	1	1	0	1	0	1	0	0	21	0	1	0	1	1	1	1	0
7	0	0	0	1	0	1	1	1	22	1	1	0	1	1	1	0	0
8	1	0	0	1	0	1	0	1	23	0	0	0	1	1	1	1	1
9	0	1	1	0	0	1	1	0	24	1	0	0	1	1	1	0	1
10	1	1	1	0	0	1	0	0	25	0	1	1	0	1	1	1	0
11	0	0	1	0	0	1	1	1	26	1	1	1	0	1	1	0	0
12	1	0	1	0	0	1	0	1	27	0	0	1	0	1	1	1	1
13	0	1	0	0	0	1	1	0	28	1	0	1	0	1	1	0	1
14	1	1	0	0	0	1	0	0	29	0	1	0	0	1	1	1	0
15	0	0	0	0	0	1	1	1	30	1	1	0	0	1	1	0	0

## 2. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

### 2.1 Дослідження логічних елементів

2.1.1 Запустити програму EWB. В меню обрати схему відповідної роботи. Обрати на робочому полі програми відповідну схему для дослідження (рис. 4).

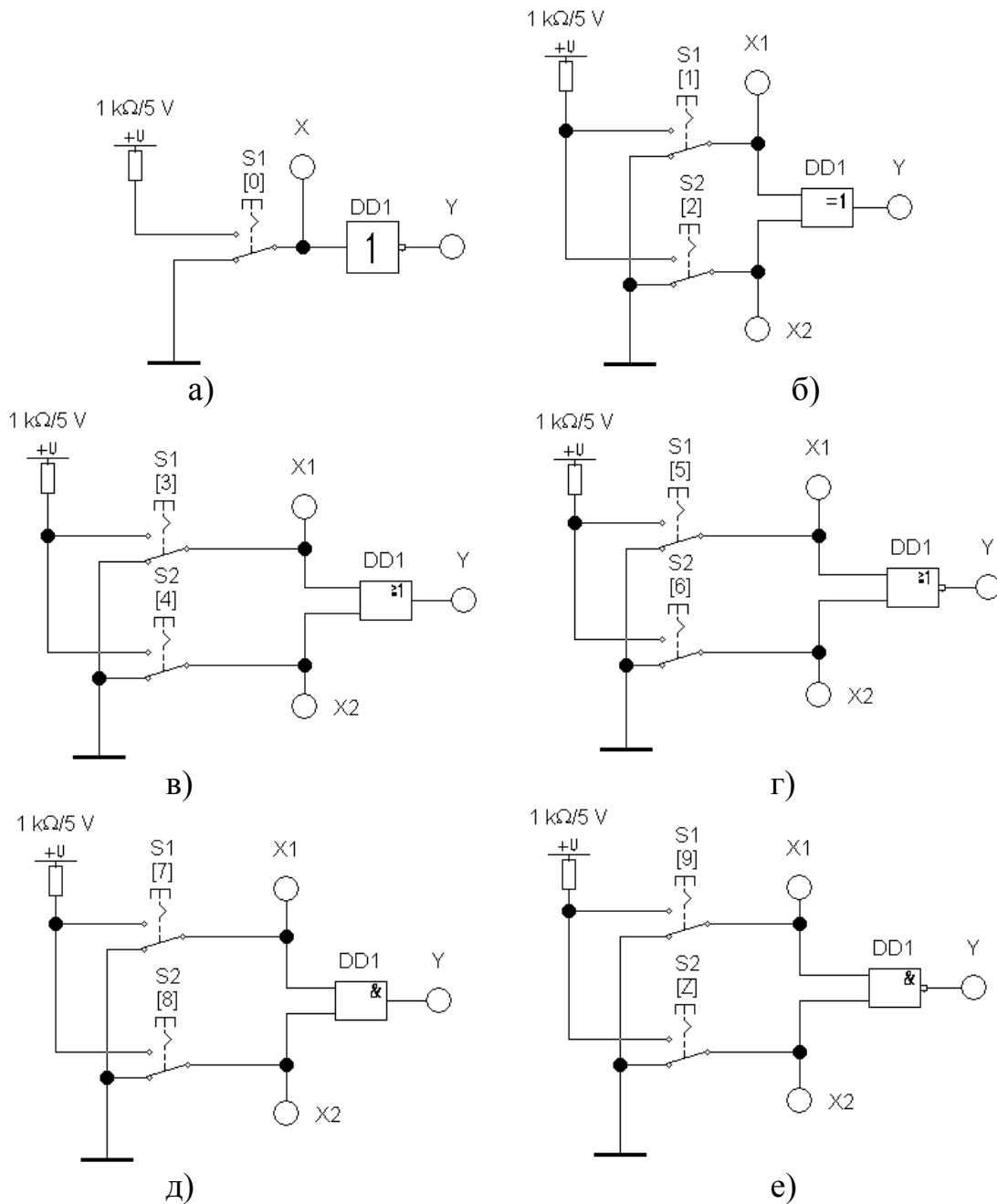


Рисунок 4 – Схеми для дослідження логічних елементів: а) «НІ»; б) «Виключаюче АБО»; в) «АБО»; г) «АБО - НІ»; д) «І»; е) «І - НІ»

2.1.2 Включити схему. Подаючи перемикачами S1, S2 на входи логічних елементів напруги логічного «0» та «1» і, спостерігаючи рівні сигналів на виході «Y» за допомогою логічних пробників (X1, X2, Y), заповнити таблицю істинності для кожного логічного елемента (табл. 3).

Таблиця 3 – Результати експериментальних досліджень логічних елементів

«НІ»		«ВИКЛЮЧ. АБО»			«АБО»			«АБО - НІ»			«І»			«І - НІ»		
X	Y	X1	X2	Y	X1	X2	Y	X1	X2	Y	X1	X2	Y	X1	X2	Y
×	×															
×	×															

2.1.3 Відповідно до таблиць істинності (табл. 3) побудувати часові діаграми роботи логічних елементів.

## 2.2 Дослідження тригерів

2.2.1 Обрати на робочому полі програми відповідну схему (рис. 5).

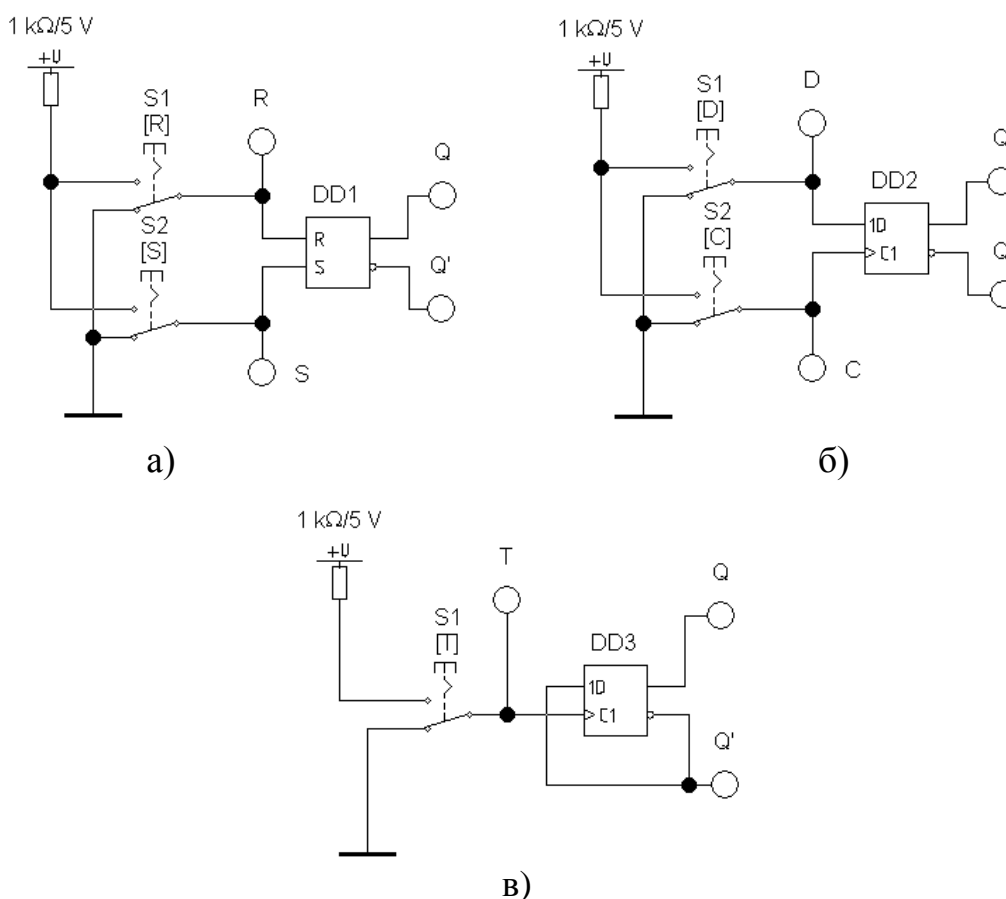


Рисунок 5 – Схеми для дослідження тригерів в інтегральному виконанні: а) RS - тригера; б) D - тригера; в) T - тригера

2.2.2 Включити схему. Подаючи перемикачами S1, S2 на входи тригерів сигнали у відповідності з табл. 4 і, спостерігаючи рівні сигналів на прямому Q та інверсному Q' виходах тригерів, заповнити таблицю станів для кожного тригера (табл. 4).

**Примітка:** у схемі (рис. 5, в) функції T-тригера виконує D-тригер.

2.2.3 Відповідно до таблиць станів (табл. 4) побудувати часові діаграми роботи тригерів.

Таблиця 4 – Результати експериментальних 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
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		

### 3. ЗМІСТ ЗВІТУ

3.1 Найменування і мета роботи.

3.2 Схема (рис. 3), таблиця 1 заповнена згідно до варіанту, який наведено в таблиці 2.

3.3 Умовні позначення логічних елементів «НІ», «АБО», «АБО - НІ», «І», «І - НІ», «Виключне АБО». Таблиця 3 з результатами експериментів.

3.4 Умовні позначення RS-, D-, T-тригерів. Таблиця 4 з результатами експериментів.

3.5 Висновки по роботі (аналіз результатів експерименту).

### 4. ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1. Поясніть поняття логічних величин (логічний нуль та логічна одиниця).
2. Назвіть основні логічні функції та елементи, які їх реалізують.
3. Поясніть призначення логічних елементів.
4. Наведіть основні параметри логічних елементів.
5. Наведіть умовне позначення, таблицю істинності та поясніть роботу логічних елементів: «НІ», «АБО», «АБО - НІ», «І», «І - НІ», «Виключне АБО».
6. Поясніть призначення тригерів.
7. Назвіть основні типи тригерів.
8. Поясніть функціональне призначення входів тригерів.
9. Поясніть різницю між асинхронним і синхронним тригерами.
10. Наведіть умовне позначення, таблицю переходів та поясніть роботу: RS - тригера, D - тригера, T - тригера, JK - тригера.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 17-18

### ІМПУЛЬСНІ ПРИСТРОЇ НА ОПЕРАЦІЙНИХ ПІДСИЛЮВАЧАХ

**Мета роботи:** вивчення принципу роботи і дослідження імпульсних пристроїв на операційних підсилювачах: компаратора; тригера Шміта; мультивібратора.

#### 1. ЗАВДАННЯ ДЛЯ ДОМАШНЬОЇ ПІДГОТОВКИ

- 1.1. Підготуватися до відповідей на контрольні питання.
- 1.2. Скласти принципову електричну схему для дослідження компаратора (рис. 1).
  - 1.2.1 Згідно варіанта (таблиця 1) побудувати графік залежності  $U_{ВИХ} = f(U_{ВХ})$ . Опорна напруга  $U_{ОП}$  подана на неінвертуючий вхід операційного підсилювача, а вхідна синусоїдальна напруга подана на інвертуючий вхід (рис. 1).

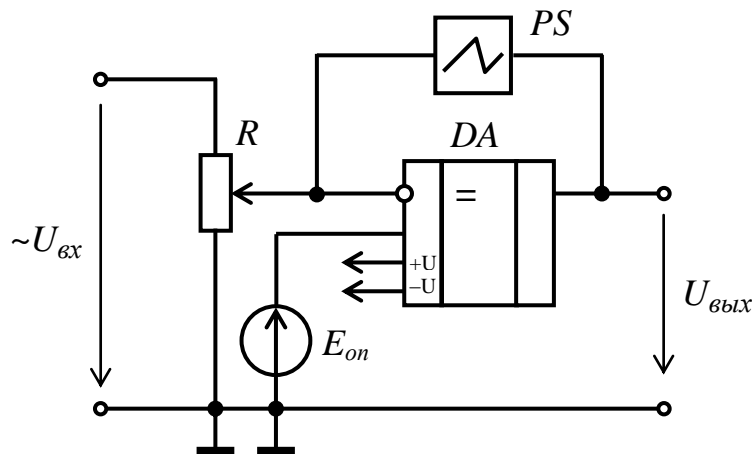


Рисунок 1 – Принципова електрична схема для дослідження компаратора.

Таблиця 1

$$U_{ВИХ\ MAX} = 11\ В$$

№ вар.	$U_{ОП}, В$	$U_{m\ ВХ}, В$	№ вар.	$U_{ОП}, В$	$U_{m\ ВХ}, В$	№ вар.	$U_{ОП}, В$	$U_{m\ ВХ}, В$
1	2,0	9,0	11	4,0	7,0	21	3,5	7,6
2	2,2	8,8	12	4,1	6,8	22	3,7	7,4
3	2,4	8,6	13	4,2	6,6	23	3,9	7,2
4	2,6	8,4	14	2,1	9,0	24	4,1	7,0
5	2,8	8,2	15	2,3	8,8	25	4,3	6,8
6	3,0	8,0	16	2,5	8,6	26	4,5	6,6
7	3,2	7,8	17	2,7	8,4	27	2,0	9,0
8	3,4	7,6	18	2,9	8,2	28	2,2	8,8
9	3,6	7,4	19	3,1	8,0	29	2,4	8,6
10	3,8	7,2	20	3,3	7,8	30	2,6	8,4

1.3. Скласти принципову електричну схему для дослідження тригера Шміта (рис. 2).

1.3.1 Визначити значення граничних напруг  $U_{СПР}$  і  $U_{ВДП}$  тригера Шміта при  $U_{ОН} = 0$  і  $U_{ОН} > 0$ . Значення опорної напруги наведені в таблиці 2.

1.3.2 Побудувати графік залежності  $U_{ВІХ} = f(U_{ВХ})$ . Варіанти завдань наведені в таблиці 2.

1.3.3 Представити графік зміни в часі вихідної напруги тригера  $u_{ВІХ} = f(t)$  і вхідної синусоїдальної напруги  $u_{ВХ} = f(t)$ .

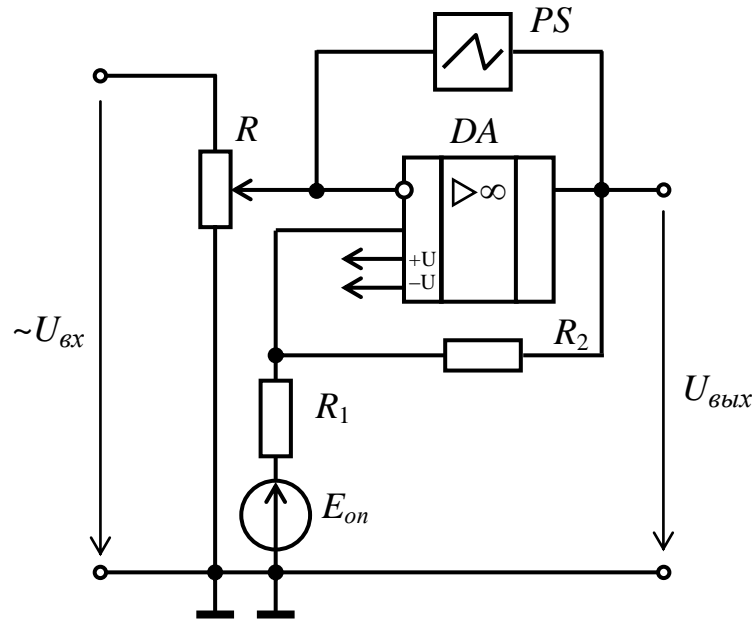


Рисунок 2 – Принципова електрична схема для дослідження тригера Шміта.

Таблиця 2

$$U_{ВІХ\ MAX} = 11\ В$$

№ вар.	$U_{ОН}, В$	$U_{m\ ВХ}, В$	№ вар.	$U_{ОН}, В$	$U_{m\ ВХ}, В$	№ вар.	$U_{ОН}, В$	$U_{m\ ВХ}, В$
1	1,8	4,8	11	3,8	6,8	21	3,4	6,6
2	2,0	5,0	12	4,0	7,0	22	3,6	6,8
3	2,2	5,2	13	4,2	7,2	23	3,8	7,0
4	2,4	5,4	14	2,0	5,2	24	4,0	7,2
5	2,6	5,6	15	2,2	5,4	25	4,2	7,4
6	2,8	5,8	16	2,4	5,6	26	3,4	6,8
7	3,0	6,0	17	2,6	5,8	27	3,6	7,2
8	3,2	6,2	18	2,8	6,0	28	3,8	7,4
9	3,4	6,4	19	3,0	6,2	28	4,0	7,6
10	3,6	6,6	20	3,2	6,4	30	4,2	7,8

1.4. Скласти принципову електричну схему для дослідження мультивібратора (рис. 3).

1.4.1 Розрахувати тривалість  $[t = RC \cdot \ln(1 + 2 \cdot R1/R2)]$  і частоту проходження імпульсів мультивібратора. Варіанти завдань наведені в таблиці 3.

- 1.4.2 Представити графіки зміни напруг у часі на інвертуючому вході  $u_C = f(t)$  і виході операційного підсилювача  $u_{ВИХ} = f(t)$ .
- 1.4.3 Описати можливі способи зміни тривалості імпульсів, що генеруються мультивібратором.

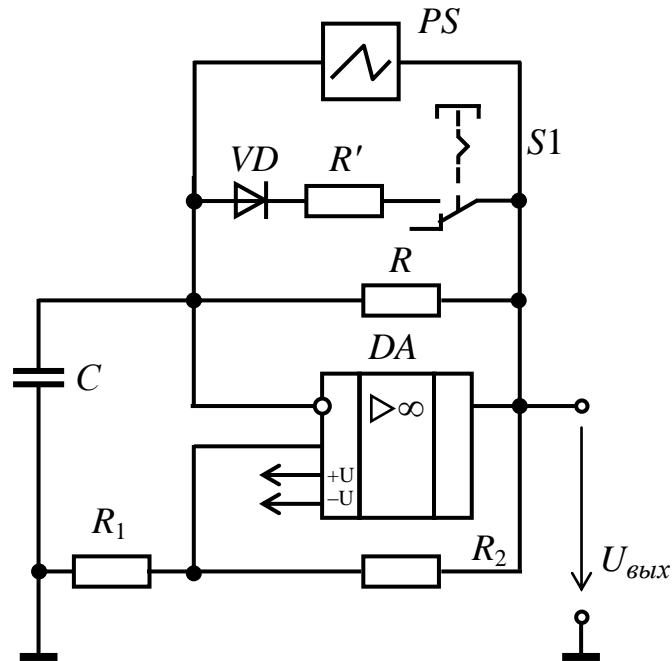


Рисунок 3 – Принципова електрична схема для дослідження мультивібратора.

Таблиця 3

№ вар.	$R_1$ , кОм	$R_2$ , кОм	$R$ , кОм	$C$ , мкФ	$R'$ , кОм	№ вар.	$R_1$ , кОм	$R_2$ , кОм	$R$ , кОм	$C$ , мкФ	$R'$ , кОм
1	1	3	10	20	8	16	1,2	3,4	30	18	28
2	1,1	3,2	20	19	18	17	1,3	3,6	40	17	35
3	1,2	3,4	30	18	28	18	1,4	3,8	50	16	45
4	1,3	3,6	40	17	35	19	4,5	4,0	60	15	55
5	1,4	3,8	50	16	45	20	4,6	4,1	70	14	65
6	4,5	4,0	60	15	55	21	1,7	4,2	80	13	75
7	4,6	4,1	70	14	65	22	1,8	4,3	90	12	85
8	1,7	4,2	80	13	75	23	1,9	4,5	100	11	95
9	1,8	4,3	90	12	85	24	2,0	4,8	100	10	90
10	1,9	4,5	100	11	95	25	2,1	5,0	120	21	100
11	2,0	4,8	100	10	90	26	2,2	5,2	130	22	110
12	2,1	5,0	120	21	100	27	1,4	4,5	50	15	8
13	2,2	5,2	130	22	110	28	4,5	4,8	60	14	18
14	1	3	10	20	8	29	4,6	5,0	70	13	28
15	1,1	3,2	20	19	18	30	1,7	5,2	80	12	35

## 2 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

### 2.1 Дослідження компаратора

- 2.1.1 Запустити програму EWB. В меню обрати схему відповідної роботи. Обрати на робочому полі програми схему для дослідження компаратора (рис. 4).
- 2.1.2 Установити величину заданої опорної напруги  $U_{оп}$  згідно таблиці 1.
- 2.1.3 На віртуальному генераторі встановити задані значення напруги  $U_{m,ВХ}$  (синусоїдальної форми) і частоти вхідного сигналу.
- 2.1.4 Лінію, що з'єднує вихід операційного підсилювача (компаратора) і вхід "В" віртуального осцилографа встановити кольоровою.
- 2.1.5 Привести осцилограми вхідної  $u_{ВХ} = f(t)$  і вихідної  $u_{ВИХ} = f(t)$  напруги компаратора.

### 2.2 Дослідження тригера Шміта

- 2.2.1 На робочому полі програми обрати схему для дослідження тригера Шміта (рис. 5).
- 2.2.2 Установити величину вхідної напруги  $U_{m,ВХ}$  відповідно до варіанта завдання (таблиця 2) і величину опорної напруги  $U_{оп} = 0$ .
- 2.2.3 Привести осцилограми вхідної  $u_{ВХ} = f(t)$  і вихідної  $u_{ВИХ} = f(t)$  напруги тригера Шміта.
- 2.2.4 Установити величину вхідної  $U_{m,ВХ}$  і опорної напруги  $U_{оп} > 0$  відповідно до варіанта завдання (таблиця 2).
- 2.2.5 Привести осцилограми вхідної  $u_{ВХ} = f(t)$  і вихідної  $u_{ВИХ} = f(t)$  напруги тригера Шміта.

### 2.3 Дослідження мультівібратора

- 2.3.1 Запустити програму EWB і обрати схему для дослідження мультівібратора (рис. 6).
- 2.3.2 Установити задані значення елементів схеми. Варіанти завдань наведені в таблиці 3.
- 2.3.3 Лінію, що з'єднує вихід операційного підсилювача (мультівібратора) і вхід "В" віртуального осцилографа встановити кольоровою.
- 2.3.4 Привести осцилограми вхідної  $u_{ВХ} = f(t)$  і вихідної  $u_{ВИХ} = f(t)$  напруги мультівібратора.
- 2.3.5 За допомогою візирних ліній віртуального осцилографа визначити тривалість і період імпульсів, що генеруються мультівібратором.
- 2.3.6 Кнопкою S1 підключити додаткове електричне коло, що складається з діода VD і резистора R'. Встановити значення опору резистора R' згідно таблиці 3.
- 2.3.7 Виконати пункти 2.3.4; 2.3.5.

## 3 ЗМІСТ ЗВІТУ

- 3.1 Найменування і мета роботи.
- 3.2 Схема компаратора (рис. 1), графік залежності  $U_{ВИХ} = f(U_{ВХ})$  згідно варіанту (таблиця 1).
- 3.3 Схема тригера Шміта (рис. 2), графік залежності  $U_{ВИХ} = f(U_{ВХ})$ , графіки  $u_{ВИХ} = f(t)$  і вхідної синусоїдальної напруги  $u_{ВХ} = f(t)$  згідно варіанту (таблиця 2).



3.4 Схема мультивібратора (рис. 3), розрахунок згідно п.п. 1.4.1, графіки  $u_C = f(t)$  і виході операційного підсилювача  $u_{ВИХ} = f(t)$  згідно варіанту (таблиця 3).

3.5 Висновки по роботі (аналіз результатів окремо для кожного експерименту).

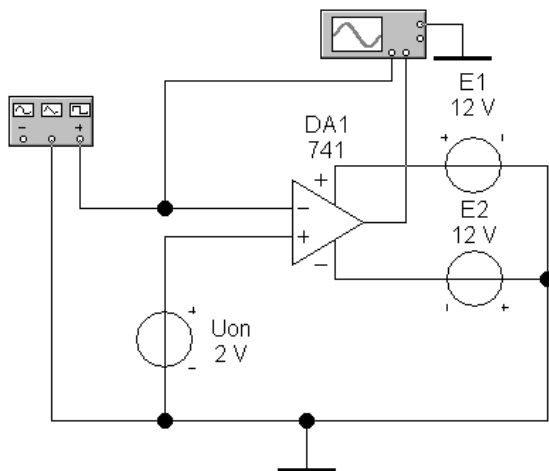


Рисунок 4 – Схема для дослідження компаратора

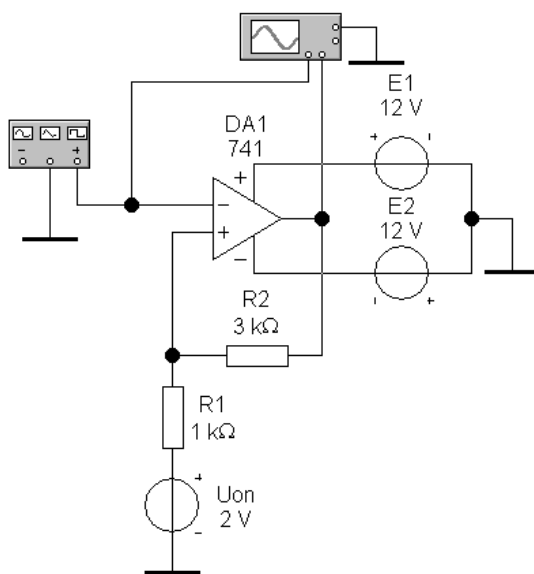


Рисунок 5 – Схема для дослідження тригера Шмітта

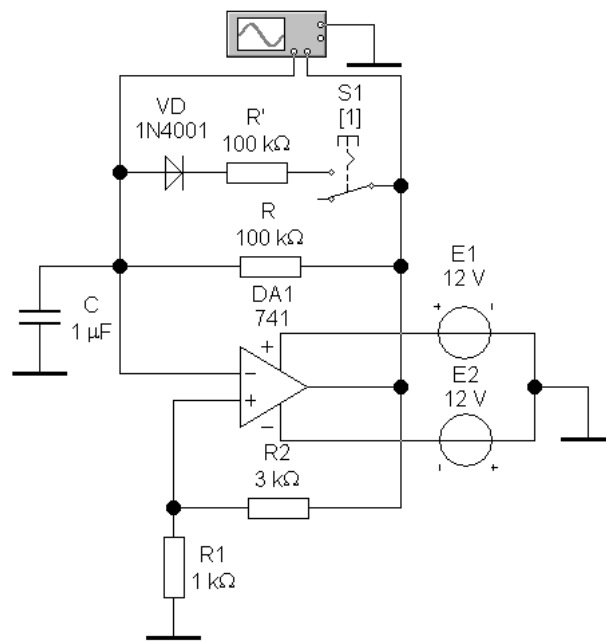


Рисунок 6 – Схема для дослідження мультивібратора

#### 4. ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1. Наведіть визначення електричного імпульсу. Наведіть форми імпульсних сигналів.
2. Наведіть параметри імпульсів та їх послідовностей.
3. Поясніть призначення компараторів.
4. Наведіть умовне графічне позначення та передатну характеристику компаратора.
5. Наведіть схему компаратора на операційному підсилювачі та поясніть принцип її роботи.
6. Поясніть призначення тригера Шміта.
7. Наведіть умовне графічне позначення та передатну характеристику тригера Шміта.
8. Наведіть схему тригера Шміта на операційному підсилювачі та поясніть принцип її роботи.
9. Поясніть призначення мультивібраторів.
10. Назвіть режими роботи мультивібраторів.
11. Наведіть схему симетричного мультивібратора на операційному підсилювачі. Поясніть призначення елементів і принцип роботи схеми.
12. Наведіть схему несиметричного мультивібратора на операційному підсилювачі. Поясніть призначення елементів і принцип роботи схеми.
13. Поясніть, яка відмінність між симетричним і несиметричним мультивібраторами?
14. Поясніть, чим визначається тривалість імпульсів мультивібратора? Як визначити частоту імпульсів мультивібратора?
15. Поясніть призначення одновібраторів.
16. Наведіть схему одновібратора на операційному підсилювачі. Поясніть призначення елементів і принцип роботи схеми.

17. Назвіть основні параметри мультівібраторів, одновібраторів.
18. Поясніть, як зміняться параметри імпульсної напруги симетричного мультівібратора на базі операційного підсилювача при збільшенні опору резистора в колі від'ємного зворотного зв'язку; зменшенні ємності конденсатора?
19. Поясніть, як зміняться параметри імпульсної напруги одновібратора на базі операційного підсилювача при збільшенні опору резистора в колі від'ємного зворотного зв'язку; збільшенні ємності конденсатора часозадавальної ланки; зміні напрямку включення діода?

## КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ

За результатами лабораторних і практичних занять у разі виконання студентом 100% завдань, він отримує 30 балів (у разі меншого відсотку вірно виконаних завдань ця кількість балів перераховується пропорційно відсотку вірно виконаних завдань). За результатами самостійної роботи студент може отримати 20 балів на протязі семестру. Навчальна дисципліна складається з двох змістовних модулів – ЗМ1 і ЗМ2, кожний з яких завершується проміжним модульним контролем, максимальна кількість балів – 20. Завершується вивчення дисципліни «Електроніка та мікросхемотехніка» екзаменом, максимальний бал за який – 30.

Додатково, наприкінці вивчення дисципліни (квітень-травень) проводиться предметна олімпіада, до участі в якій запрошуються студенти, що претендують на оцінку «добре» та «відмінно». Відповіді на завдання олімпіади оцінюються додатковими балами згідно положення.

### Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою
		екзамен
90 – 100	<b>A</b>	<b>5 (відмінно)</b>
82-89	<b>B</b>	<b>4 (добре)</b>
74-81	<b>C</b>	
64-73	<b>D</b>	
60-63	<b>E</b>	<b>3 (задовільно)</b>
35-59	<b>FX</b>	<b>2 (незадовільно)</b> (з можливістю повторного перескладання)
0-34	<b>F</b>	<b>2 (незадовільно)</b> (з обов'язковим повторним вивченням курсу)

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Квітка С.О. Електроніка та мікросхемотехніка: підручник / С.О. Квітка – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2019. – 223 с.
2. Курашкін С.Ф. Електроніка та мікросхемотехніка: курс лекцій / С.Ф. Курашкін. – Мелітополь: ТДАТУ, 2018. – 146 с.
3. Квітка С.О. Електроніка та мікросхемотехніка: навчальний посібник для виконання лабораторних робіт / С.О. Квітка, С.Ф. Курашкін, О.В. Соломаха. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2018. – 184 с.
4. Квітка С.О. Електроніка та мікросхемотехніка: посібник для виконання лабораторних і практичних занять / С. О. Квітка, Ю. М. Федюшко, Н. Г. Косуліна, С. О. Мороз; ХНТУСГ. – Х.: ФОП Мезіна В. В., 2017.-244 с.
5. Курашкін С.Ф. Електроніка та мікросхемотехніка. Електронний посібник: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://elib.tsatu.edu.ua/dep/enf/etem\\_1/index.html](http://elib.tsatu.edu.ua/dep/enf/etem_1/index.html)
6. Забродин Ю.С. Промышленная электроника: Учебник для вузов / Ю.С. Забродин. – М.: Высш. школа, 1982. – 496 с.
7. Гусев В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: учебник / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. – 6-е изд. – М.: КРОНУС, 2013. – 800 с.
8. Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум / Ю.П. Колонтаєвський, А.Г. Сосков. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003. – 368 с.
9. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники: Учеб. Пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / И.П. Степаненко. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. – 488 с.
10. Джонс. М.Х. Электроника – практический курс / М.Х. Джонс. – М.: Техносфера, 2006. – 512 с.
11. Фомичев Ю.М. Электроника. Элементная база, аналоговые и цифровые функциональные устройства: учеб. пособие / Ю.М. Фомичев, В.М. Сергеев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 275 с.
12. Гуржій А.М. Імпульсна та цифрова техніка. Підручник / А.М Гуржій; В.В. Самсонов, Н.І Поваротнюк. – Х.: компанія «Сміт», 2005. – 424 с.
13. Стахів П.Г. Основи електроніки: функціональні елементи та їх застосування. Підручник для студентів неелектротехнічних спеціальностей вищих навчальних закладів / П.Г. Стахів, В.І. Коруд, О.Є. Гамола. – Львів: «Новий Світ – 2000»; «Магнолія плюс», 2003. – 208 с.
14. Гершунский Б.С. Справочник по расчету электронных схем / Б.С. Гершунский. – К.: Вища школа. Изд-во при Киев. ун-те, 1983. – 240 с.
15. Бурбаева Н.В. Сборник задач по полупроводниковой электронике / Н.В. Бурбаева, Т.С. Днепровская. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 168 с.
16. Достал И. Операционные усилители. Пер. с англ. / И. Достал. – М.: Мир, 1982. – 512 с.
17. Дмитрів В.Т. Електроніка і мікросхемотехніка: Навч. посібник / В.Т. Дмитрів, В.М. Шиманський. – Львів: Афіша, 2006. – 175 с.