

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

з виконання лабораторних робіт дисципліни

«Основи електроніки та мікросхемотехніки»

для студентів спеціальності
G3 (141) – Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка
усіх форм навчання

Методичні вказівки з виконання лабораторних робіт дисципліни «Основи електроніки та мікросхемотехніки» для студентів спеціальності G3 (141) – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка усіх форм навчання. /Укл: М.Л. Антонов, В.О. Волков – м.Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2026. – 59 с.

Укладачі: М.Л. Антонов, к.т.н., доцент
В.О. Волков, к.т.н., доцент

Рецензент: А.В. Пирожок, к.т.н., доцент

Відповідальний за випуск: В.О. Волков, к.т.н., доцент

Затверджено
на засіданні кафедри
Електропривода і автоматизації
промислових установок
протокол № 6 від 10.03.2026 р.

Рекомендовано
до видання НМК ЕТФ
протокол № ___ від __. __.2026 р.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	4
1 Лабораторна робота № 1 ДІОД	5
1.1 Короткі теоретичні відомості	5
1.2 Порядок виконання лабораторної роботи №1	10
2 Лабораторна робота № 2 ТРАНЗИСТОР.....	13
2.1 Короткі теоретичні відомості	13
2.2 Порядок виконання лабораторної роботи №2	16
3 Лабораторна робота № 3 ТИРИСТОР	22
3.1 Короткі теоретичні відомості	22
3.2 Порядок виконання лабораторної роботи №3	23
4 Лабораторна робота № 4 ЛОГІЧНІ ЕЛЕМЕНТИ	27
4.1 Короткі теоретичні відомості	27
4.2 Порядок виконання лабораторної роботи №4	30
5 Лабораторна робота № 5 ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОФАЗНИХ НУЛЬОВОЇ ТА МОСТОВОЇ СХЕМ ВИПРЯМЛЯЧІВ НА ДІОДАХ	32
5.1 Короткі теоретичні відомості	32
5.2 Порядок виконання лабораторної роботи №5	39
6 Лабораторна робота № 6 ТРИФАЗНІ НЕКЕРОВАНІ ВИПРЯМЛЯЧІ	42
6.1 Короткі теоретичні відомості	42
6.2 Порядок виконання лабораторної роботи №6	47
7 Лабораторна робота № 7 ПОМНОЖУВАЧІ НАПРУГИ	51
7.1 Короткі теоретичні відомості	51
7.2 Порядок виконання лабораторної роботи №7	55
8 Лабораторна робота № 8 DC-DC ПЕРЕТВОРЮВАЧІ.....	56
8.1 Короткі теоретичні відомості	56
8.2 Порядок виконання лабораторної роботи №8	58
Перелік джерел посилання	59

ПЕРЕДМОВА

Методичні вказівки містять опис вісім лабораторних робіт з дисципліни «Основи електроніки та мікросхемотехніки» у відповідності до навчальних планів ОКР бакалаврів спеціальності G3 (141) – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка і рекомендації до їх виконання.

«Основи електроніки та мікросхемотехніки» належить до найважливіших курсів для підготовки сучасних інженерів – електриків, електромеханіків, електроенергетиків та інженерів інших електротехнічних спеціальностей. У цьому курсі майбутні фахівці вивчають: основні типи приладів та схем, які використовуються в електроніці; принцип дії та особливості лінійних, імпульсних та цифрових пристроїв для обробки сигналів в електронних системах керування та відображення інформації; принцип дії та особливості випрямлячів, інверторів та інших перетворювачів електричної енергії, що застосовуються в електроприводі, електричній тязі, промисловості, транспорту та електроенергетиці.

Лабораторні роботи містять короткі теоретичні відомості згідно теми роботи, завдання, рекомендації щодо їх виконання.

Для студентів спеціальності G3 (141) – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка денної форми навчання.

Лабораторна робота №1

ДІОД

Мета роботи: розбір принципу дії р-n-переходу, моделювання роботи, розрахунок та вибір діоду.

1.1 Короткі теоретичні відомості

Напівпровідниковий діод – найпростіший напівпровідниковий прилад, що складається з одного PN переходу, та зображений на рис. 1.1. Основна його функція – це проводити електричний струм в одному напрямку, і не пропускати його у зворотному. Складається діод з двох шарів напівпровідника типів N і P.



а – устрій діоду; б – схемне позначення діоду.

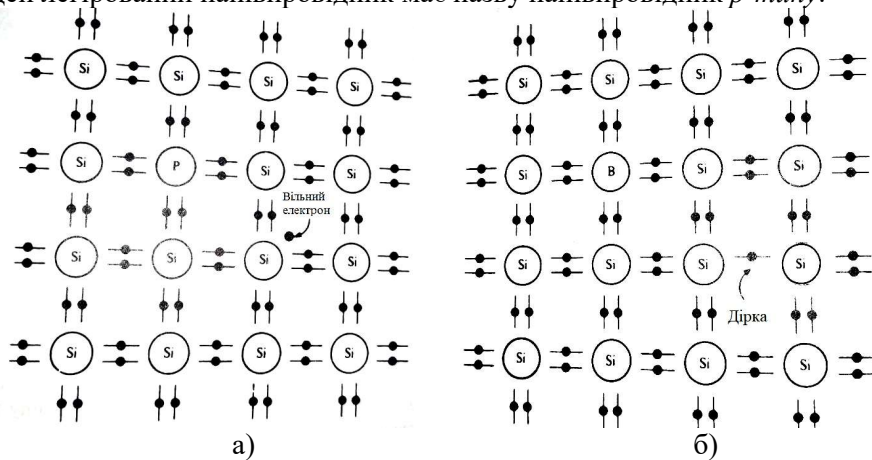
Рисунок 1.1 – Устрій й позначення на схемі діоду

На стику з'єднання P і N утворюється PN-перехід (PN-junction). Електрод, підключений до P, називається анод. Електрод, підключений до N, називається катод. Діод проводить струм в напрямку від анода до катода, і не проводить назад.

На рис. 1.2,а показан результат введення п'яти валентних атомів фосфору у кристал кремнію. Чотири з п'яти валентних електронів зв'язуються з сусідніми атомами кремнію, а залишений один електрон настільки слабо пов'язаний, що становиться *вільним* і може переміщатися по кристалу, збільшуючи його провідність. Введення

примесів в напівпровідник називають *легируванням*. Оскільки провідність в данному випадку провідність обумовлена вільними від'ємними зарядами (електронами), то цей тип легирування напівпровідника називають напівпровідником *n-типу*.

На рис. 1.2,б показан ефект від введення в кремній тривалентних атомів бору [1 – 3]. Не зважаючи на те, що атом бору має тільки три валентних електрона, він приймає додатковий електрон від одного із сусідніх атомів кремнію для заповнення його ковалентних зв'язків. Це призводить до утворення в решітці *дірок* або відсутність електрону, така дірка може переміщуватись, сприяючи таким чином у забезпеченні провідності. Тривалентні примесі, подібні бору, називають *акцепторні*, оскільки вони, при введенні в кристал, можуть приймати електрони. Так як тепер провідність обумовлена додатними дірками, цей легірований напівпровідник має назву напівпровідник *p-типу*.



а – матеріал *n*-типу; б – матеріал *p*-типу.

Рисунок 1.2 – Кристалічна структура матеріалів шарів діоду

На рис. 1.3 зображено діод, який являє собою *p-n*-перехід з металевими контактами з кожної сторони. Під зображенням переходу наведено графік потенціалу на *p-n*-переході. Як тільки перехід утворено, частина вільних електронів з області *n*-типу поблизу границі переходить у область *p*-типу і заповнює частину дірок в *p*-області. На

місці електронів залишається область з некомпенсованим додатнім зарядом. Те же саме виконується в області p -типу, де виникає від'ємний заряд. Ці заряди утворюють потенціальний бар'єр, перешкоджаючий подальшому переміщенню електронів через перехід, і тому настає рівновага. В результаті такого начального переміщення дірок і вільних електронів поблизу p - n -переходу практично не залишається вільних носіїв. Ця область, шириною менш одного мікрону, називається *збіднений шар*.

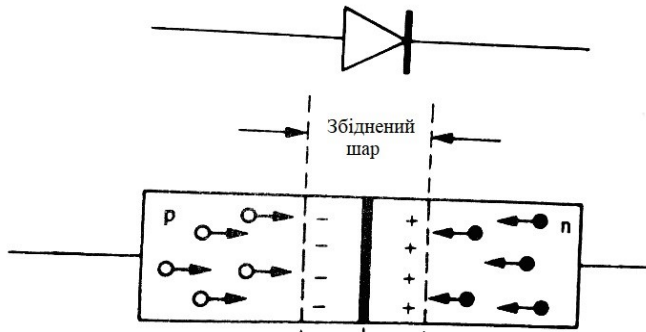
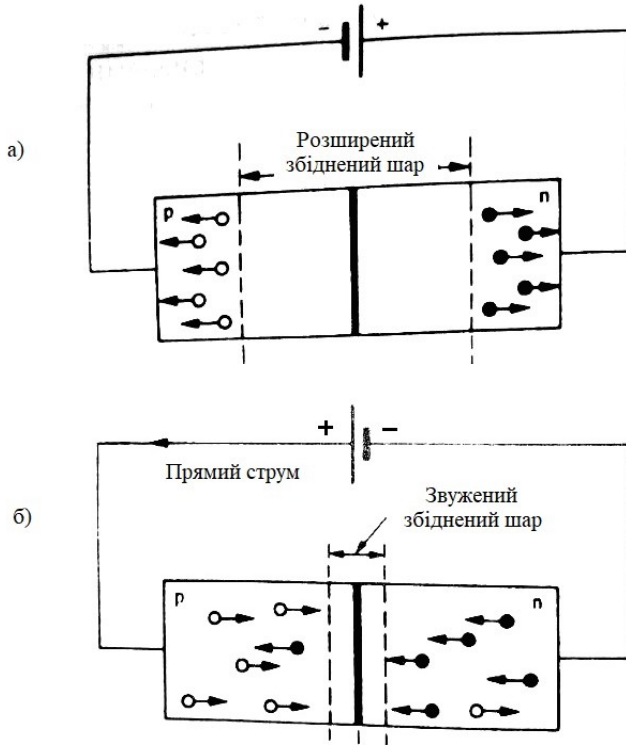


Рисунок 1.3 – p - n перехід з збідненим шаром і зміною потенціалу

Якщо до p - n -переходу підключено зовнішнє джерело напруги, то потенціальний бар'єр збідненого шару збільшується або зменшується в залежності від полярності напруги або зміщення. На рис. 1.4 показано обидва випадки: рис. 1.4,а – зворотнє зміщення, коли потенціальний бар'єр збільшується, та рис. 1.4,б – пряме зміщення, коли бар'єр зменшується, а збіднений шар звужується. Неосновні носії мають таку полярність, котра сприяє їх проходженню через перехід. Однак при комнатній температурі цей зворотний струм у кремнієвого переходу настільки малий (порядка 1нА), що на практиці їм часто нехтують. У випадку коли перехід зміщено в прямому напрямку потенціальний бар'єр звужується, порушується рівновага і частина електронів з n -області та дірок з p -області тепер можуть пересікати перехід. Чим більше напруга прямого зміщення, тим нижче потенціальний бар'єр, тим більше число електронів і дірок проходить

крізь збіднений шар і, відповідно, виникає струм, що протікає через перехід.



а – схема підключення зворотної напруги до діоду; б – схема підключення прямої напруги до діоду.

Рисунок 1.4 – Поведінка збідненого шару при зворотному зміщенні та при прямому зміщенні

Пряма і зворотня характеристики типового малопотужного кремнієвого діоду зображені на графіку залежності струму від прикладеної ЕРС (ВАХ) на рис. 1.5. З графіку видно, що кремнієвий перехід практично не проводить струм, доки ЕРС прямого зміщення не перевищить 0.5 В. У германієвих переходів ця величина менша і складає 0.2 В.

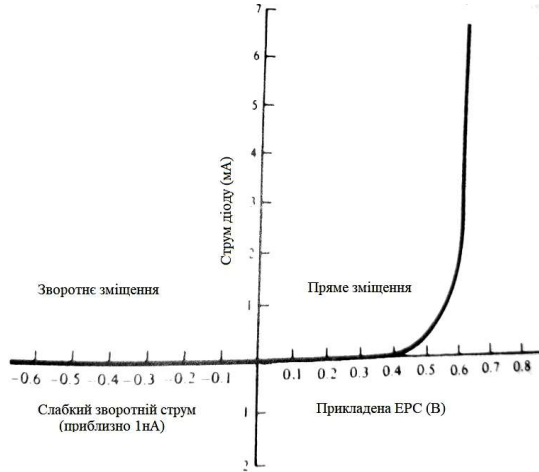


Рисунок 1.5 – Пряма і зворотня характеристики напівпровідникових креміневих діодів

Хоча при зворотному зміщенні діод веде себе як ізолятор, подальше збільшення прикладеної напруги приводить до ситуації, коли перехід раптом починає проводити (ВАХ зображена на рис. 1.6), ця ситуація має назву *лавинний пробой*. Лавинний пробой може виникати при напругах від 5В до 1000В і вище.

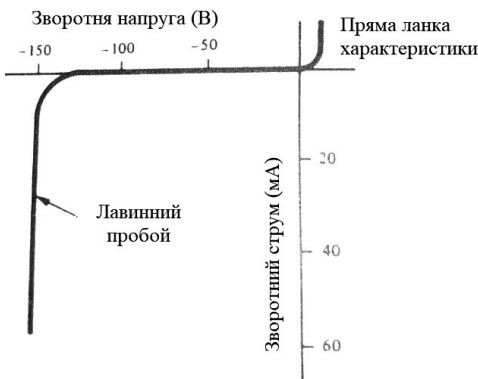


Рисунок 1.6 – Вольт-амперна характеристика (ВАХ) діоду при лавинному пробойі

1.2 Порядок виконання лабораторної роботи №1

1) Моделюємо роботу діоду за допомогою імітаційних моделей у середовищі MatLAB, які зображені на рис. 1.7. Параметри джерел живлення та навантаження обирайте за номером варіанту з табл. 1.1.

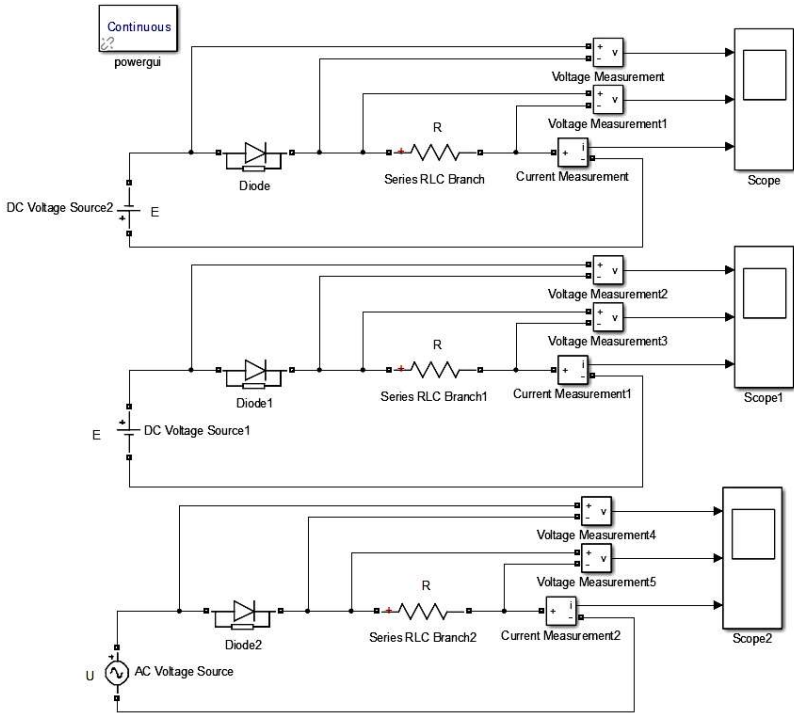


Рисунок 1.7 – Імітаційні моделі роботи діоду

2) Отримані електромагнітні характеристики з моделі редагуємо та наводимо у звіті відповідно до кожної з імітаційних схем моделювання. Графіки повинні мати інформативний вид та відповідати наступним вимогам: графік ч/б, колір фону білий, колір кривих, осей та написів – чорний, розмір шрифту підрисуночних написів 12pt, товщина характеристик та осей графіку 2мм, характеристика повинна бути зображена суцільною лінією.

3) Виконуємо розрахунок середнього значення випрямленого струму за період (для схеми з джерелом змінної напруги) за формулою:

$$I_{V.сep} = \frac{1}{T} \int_0^T I_V \cdot dt . \quad (1.1)$$

4) Обираємо номінальне значення струму, що протікає через діод найближчим значенням у бік збільшення з наступного стандартного ряду струмів:

$$I_{V.ном} \geq I_{V.сep}, \quad I_{V.ном} : 10; 16; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100 . \quad (1.2)$$

5) Визначаємо клас діоду за напругою:

$$U_V \geq K_3 \cdot U_{звор.мах} , \quad (1.3)$$

де K_3 – коефіцієнт запасу, що дорівнює 1.4 – 1.5;

$U_{звор.мах}$ – максимальне значення зворотної напруги на діоді.

Округляємо у бік збільшення до сотен значення U_V та визначаємо з наступного ряду клас напруги діоду:

100 В – 1 клас
200 В – 2 клас
.
.
.
4500 В – 45 клас

6) Записуємо маркировку отриманого типу діоду за наступною схемою:

$D - I_{V.ном}$ – клас напруги

Приклад: $D - 160 - 5$.

7) Привести у звіт 3 постачальника подібних діодів або їх аналогів та фотографії самих діодів.

8) Оформити звіт до лабораторної роботи №1.

Таблиця 1.1 – Індивідуальні завдання

№ вар.	R, Ом	E, В	U, В	f, Гц	№ вар.	R, Ом	E, В	U, В	f, Гц
1	2	100	230	50	16	12	230	100	10
2	4	50	380	20	17	18	380	50	20
3	5	30	660	30	18	22	660	30	50
4	8	20	1100	100	19	4	1100	20	60
5	10	40	310	40	20	3	310	40	100
6	20	60	170	30	21	9	170	60	50
7	2	70	140	10	22	25	140	70	70
8	6	90	50	80	23	6	50	90	80
9	7	140	1240	120	24	100	1240	140	110
10	15	600	300	30	25	50	300	600	20
11	21	200	550	50	26	25	550	200	40
12	3.5	150	120	60	27	2	120	150	60
13	5.5	110	60	100	28	5	60	110	80
14	8	220	1150	20	29	10	1150	220	50
15	9	12	780	10	30	75	780	12	60

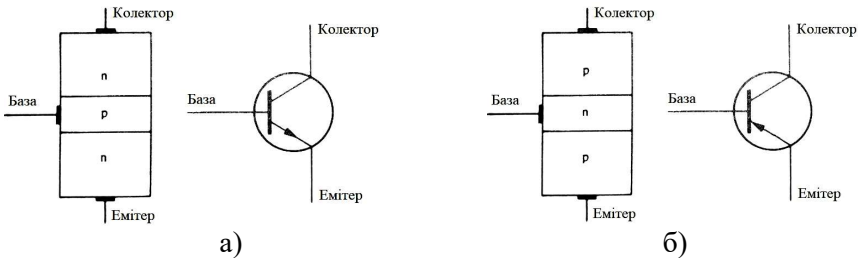
Лабораторна робота №2

ТРАНЗИСТОР

Мета роботи: розбір принципу дії транзистору й дослідження його роботи на прикладі двох схем: регулятора напруги та однофазного інвертора напруги.

2.1 Короткі теоретичні відомості

Біполярний транзистор складається з двох $p-n$ -переходів, утворених шарами напівпровідників з примісями [1 – 3]. На рис. 2.1,а наведена найпростіша схема конструкції $n-p-n$ транзистора. Тонкий шар слабо легируваного напівпровідника p -типу (база) розташовано між двома товстими шарами n -типу (емітер і колектор). Товщина бази може бути менше одного одного мікрона.



а – $n-p-n$; б – $p-n-p$.

Рисунок 2.1 – Устрій транзисторів й їх умовні позначення

Принци дії транзистора. На рис. 2.2 показано транзистор, включений по схемі з *спільним емітером*. В схемі, наведеній на рис. 2.2,а струм бази не тече, а в схемі на рис. 2.2,б перемикач S замкнено, що дозволяє струму з батареї V_1 протікати в базу транзистора. Спочатку розглянемо схему на рис. 2.2,а. Відмітемо, що перехід колектор-база зміщено в зворотньому напрямку і потенціальний бар'єр перешкоджає потоку основних носіїв. Таким

чином, нехтуючи струмами витоку, можна вважати, що при розімкнутому ключі S колекторний струм дорівнює нулю. Тепер розглянемо, що трапиться, коли ключ S замкнено (рис.2.2,б). Перехід база-емітер становиться зміщеним в прямому напрямку, а перехід колектор-база залишається зміщеним в зворотному напрямку. Завдяки зміщенню переходу база-емітер в прямому напрямку електрони з емітеру n -типу за допомогою дифузії проходять по базі p -типу по напрямку до збідненого шару на переході база-колектор. Ці електрони, що є неосновними носіями в області бази, досягнувши збідненого шару, по потенційному бар'єру бистро переміщуються у колектор, створюючи тим самим в транзисторі колекторний струм. Дія зміщеного в прямому напрямку переходу база-емітер нагадує відкриття воріт і дозволяє струму протікати по цепі емітер-колектор. Це є такий принцип дії транзистора. При цьому у базу потрапляють лише (0.3 – 5) %, а з емітера в колектор (95 – 99.7)% носіїв заряду.

Співвідношення між струмами емітера I_e , колектора I_k та бази I_b наступні:

$$\left. \begin{aligned} I_e &= I_k + I_b, \\ I_b &= (0.3 \dots 0.5)\% \cdot I_e, \\ I_k &= (95 \dots 99.7)\% \cdot I_e, \\ \beta &= \frac{I_k}{I_b} = \frac{(95 \dots 99.7)}{(0.3 \dots 0.5)} = 20 \dots 350 \end{aligned} \right\}, \quad (2.1)$$

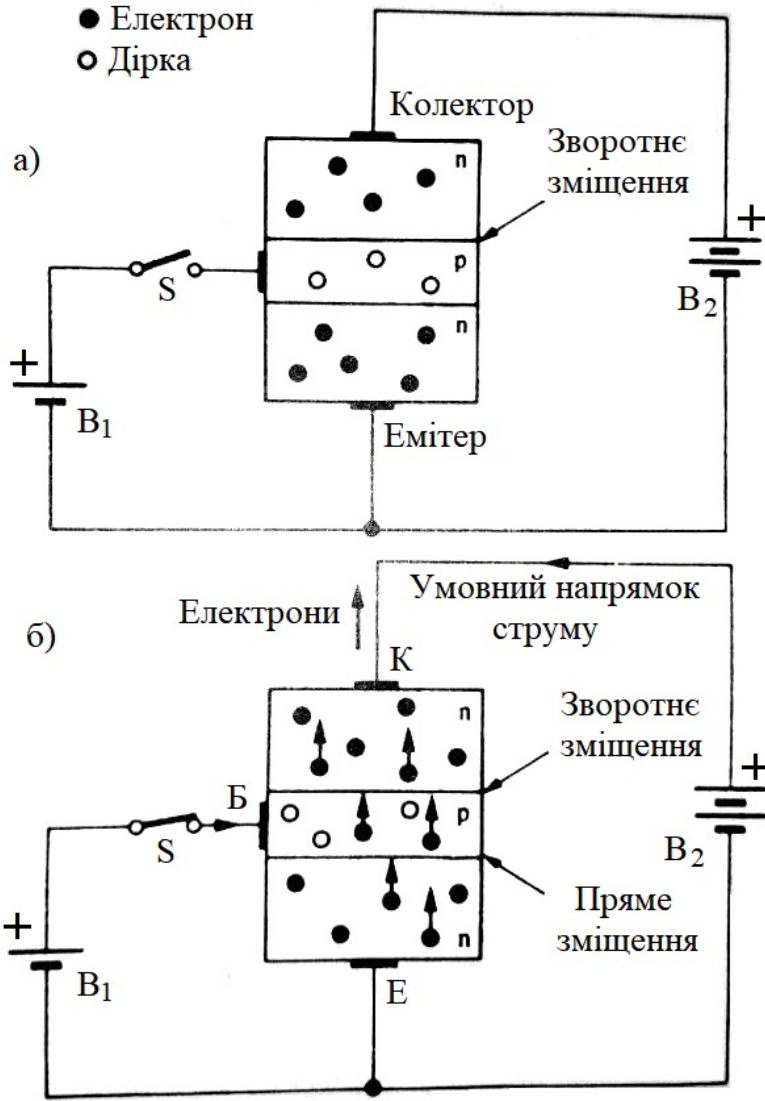
де β – коефіцієнт підсилення за струмом для схеми з спільним емітером (20 – властиве для потужних та 350 – для малопотужних транзисторів).

Вхідні та вихідні вольт-амперні характеристики біполярного транзистора наводяться на рис. 2.3.

Особливістю є падіння напруги є падіння напруги на базо-емітерному переході:

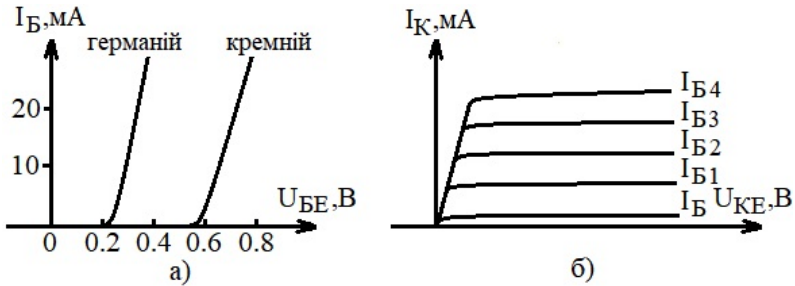
0.15 ... 0.2 В – для германію та 0.5 ... 0.6 В – для кремнію.

Величина струму колектора визначається струмом бази.



а – струму на базі немає; б – струм через базу тече.

Рисунок 2.2 – Схема роботи транзистора:



а – вхідні ВАХ; б – вихідні ВАХ.

Рисунок 2.3 – Вхідні та вихідні вольт-амперні харатеристики

2.2 Порядок виконання лабораторної роботи №2

1) Роботу транзистора ми будемо розглядати на базі блоку-моделі IGBT-транзистора у MatLAB. Загальний вигляд блоку-моделі наведено на рис. 2.4 та вікно параметрів цього блоку наведено на рис. 2.5.

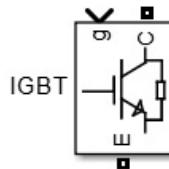


Рисунок 2.4 – Вид блоку IGBT в загальній бібліотеці Simulink

Параметри блока:

Resistance R_{on} (Ohm) – опір у ввімкнутому стані (Ом);

Inductance L_{on} (H) – індуктивність у ввімкнутому стані (Гн);

Forward voltage V_f (V) – падіння напруги в пряму напрямку (В);

Current 10% fall time T_f (s) – час спаду струму до рівня 0.1 від струму в момент вимикання (с);

Current tail time T_t (s) – час, за котре струм зменшиться до нуля від рівня 0.1 струму в момент вимкнення (с);

Initial current I_c (A) – початкове значення струму (А);

Snubber resistance R_s (Ohm) – опір демпфуючої ланки (Ом);

Snubber capacitance C_s (F) – ємність демпфуючої ланки (Ф).

2) Розглянемо роботу IGBT транзистора на прикладі двох схем (рис. 2.6).

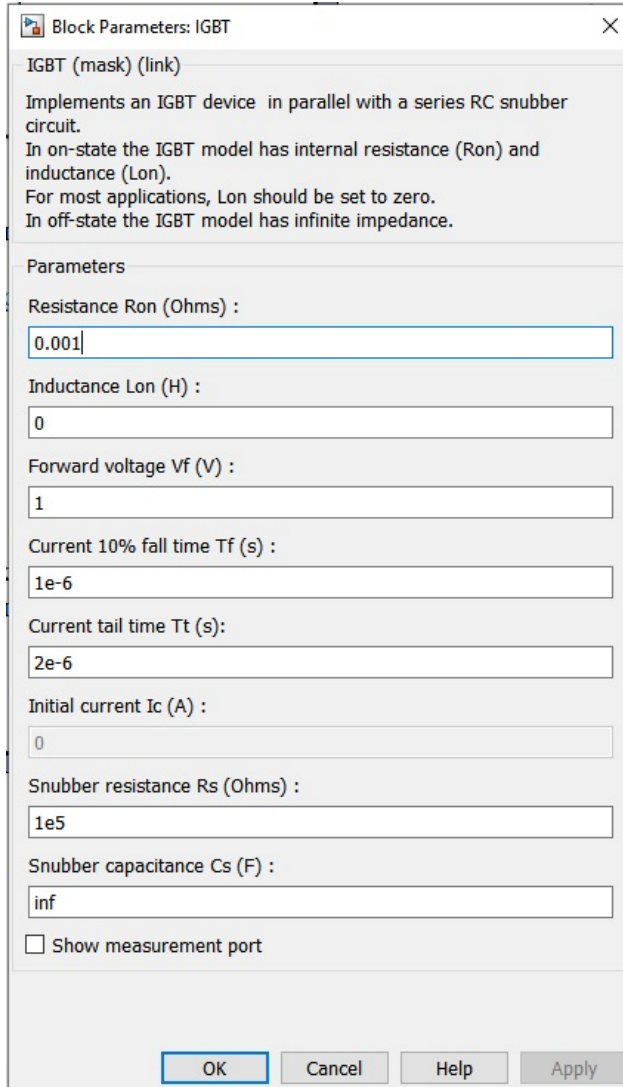
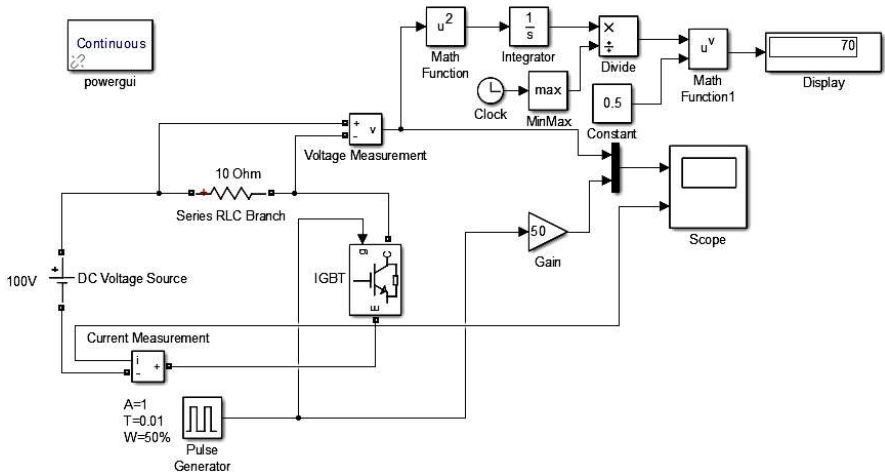
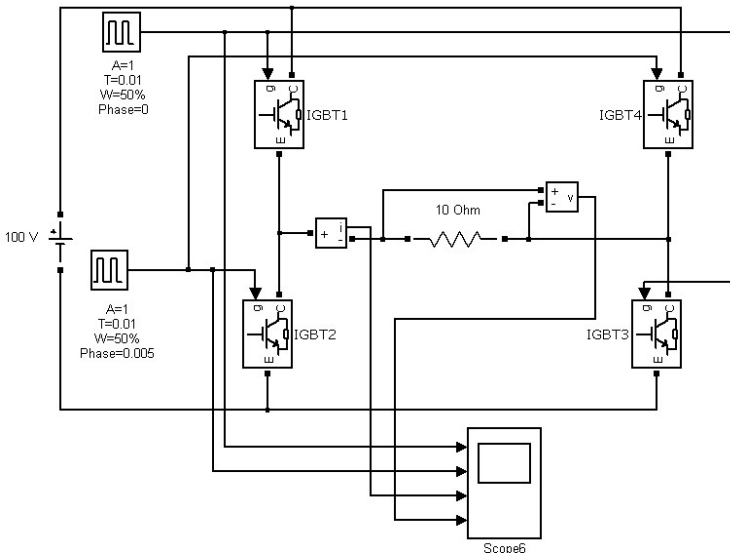


Рисунок 2.5 – Вікно параметрів блоку IGBT



а)



б)

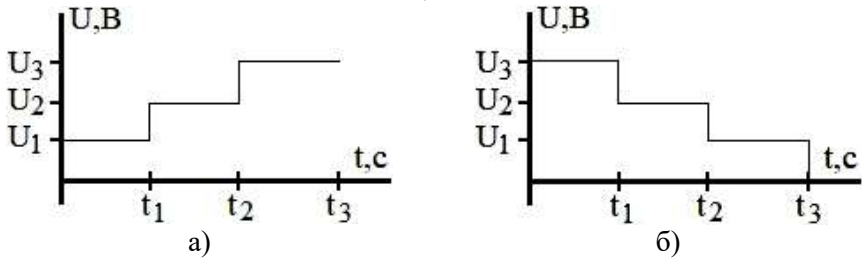
а – регулятор; б – однофазний інвертор.

Рисунок 2.6 – Схеми регулятора та однофазного інвертора на IGBT транзисторі

3) Побудувати модель регулятора напруги, що зображено на рис. 2.6, а. Промоделювати цю модель змінюючи діюче значення напруги у часі відповідно до свого індивідуального варіанту (табл. 2.1 та рис. 2.7). Зняти, побудувати та навести у звіті електромагнітні характеристики напруги на резисторі, струму у колі та діючого значення напруги на резисторі.

Діюче значення напруги знаходиться за наступною формулою:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 \cdot dt} . \quad (2.2)$$



а – поступово зростаюча; б – поступово спадаюча.

Рисунок 2.7 – Завдання характеру зміни напруги

Таблиця 2.1 – Індивідуальні завдання

№ вар.	U ₁ ,В	U ₂ ,В	U ₃ ,В	t ₁ ,с	t ₂ ,с	t ₃ ,с	Рис. 2.7
1	10	20	30	1	2	3	а)
2	5	15	20	2	4	6	а)
3	2	4	6	5	7	9	а)
4	3	6	9	6	10	15	а)
5	1	2	3	3	6	9	а)
6	5	7	9	4	7	12	а)
7	6	8	10	15	30	45	а)
8	4	7	12	20	40	70	а)
9	15	30	45	2	4	6	а)
10	20	40	70	3	6	9	а)

Продовження таблиці 2.1

№ вар.	$U_1, В$	$U_2, В$	$U_3, В$	$t_1, с$	$t_2, с$	$t_3, с$	Рис. 2.7
11	100	50	30	1	2	3	б)
12	80	60	40	2	4	6	б)
13	80	50	20	5	7	9	б)
14	70	40	20	6	10	15	б)
15	200	100	50	3	6	9	б)
16	30	20	10	4	7	12	б)
17	15	10	5	15	30	45	б)
18	24	16	8	20	40	70	б)
19	40	30	20	2	4	6	б)
20	110	70	40	3	6	9	б)
21	50	150	170	3	6	8	а)
22	100	120	140	2	4	7	а)
23	80	100	130	3	5	8	а)
24	15	30	45	6	10	15	а)
25	20	40	70	3	6	9	а)
26	60	40	20	2	4	6	б)
27	70	50	30	3	6	9	б)
28	18	12	6	3	6	8	б)
29	9	6	3	2	4	7	б)
30	6	4	2	3	5	8	б)

4) Побудувати модель однофазного інвертора, що зображено на рис. 2.6, б. Реалізувати живлення навантаження (активного опору) змінною напругою з амплітудою та частотою відповідно до номера варіанту з табл. 2.2. Зняти, побудувати та навести у звіті відповідні електромагнітні характеристики.

Таблиця 2.2 – Індивідуальні завдання

№ вар.	U,В	f, Гц	№ вар.	U,В	f, Гц
1	220	30	16	50	300
2	110	40	17	75	400
3	60	20	18	90	200
4	330	60	19	120	600
5	380	70	20	50	700
6	127	80	21	200	800
7	12	1000	22	300	100
8	50	100	23	75	25
9	75	75	24	60	35
10	90	60	25	80	55
11	120	80	26	30	65
12	50	30	27	120	95
13	200	120	28	110	15
14	300	110	29	135	65
15	140	135	30	75	115

5) Привести у звіт 3 транзистора з їх параметрами та зображення, різних фірм та виробників. Вибір транзисторів виконується з частотою перемикання, напругою та струмом між колектором та емітером.

6) Оформити звіт до лабораторної роботи №2.

Лабораторна робота №3

ТИРИСТОР

Мета роботи: розбір принципу дії тиристора й дослідження його роботи.

3.1 Короткі теоретичні відомості

Тиристор – це чотирьохшарний напівпровідниковий прилад [1 – 3], якому властиві два стійких стана: стан низької провідності (тиристор зачинено) і стан високої провідності (тиристор відкрито). Перехід тиристора з зачиненого стану в відчинений стан в електричному ланцюзі здійснюється за допомогою зовнішнього керуючого впливу на прилад. Найбільш широко для відчинення тиристорів застосовуються впливи напругою (струмом, рис. 3.1) або світлом (фототиристори). Структура, умовне позначення, транзисторний еквівалент тиристора та еквівалентна схема тиристора на транзисторах зображені на рис. 3.2.

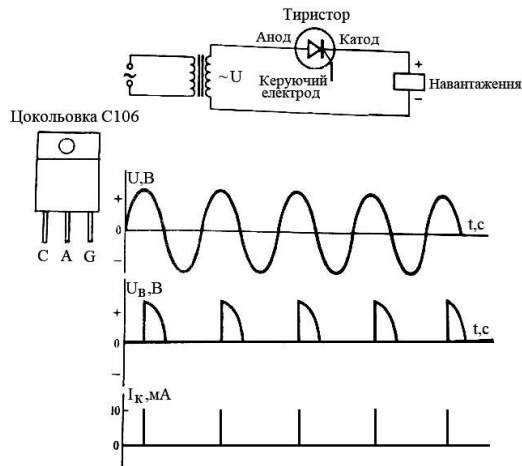
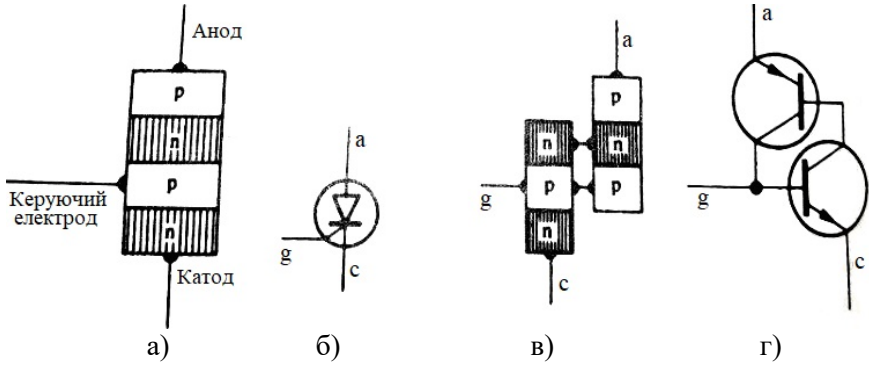


Рисунок 3.1 – Проста тиристорна схема, що відповідає роботі керованого випрямляча



а – структура; б – умовне позначення; в – транзисторний еквівалент;
г – еквівалентна схема реалізації тиристора на транзисторах.

Рисунок 3.2 – Тиристор

3.2 Порядок виконання лабораторної роботи №3

1) Розглянемо роботу тиристора на прикладі двох схем: тиристорного регулятора постійної напруги (рис. 3.3) та тиристорного регулятора змінної напруги (рис. 3.4).

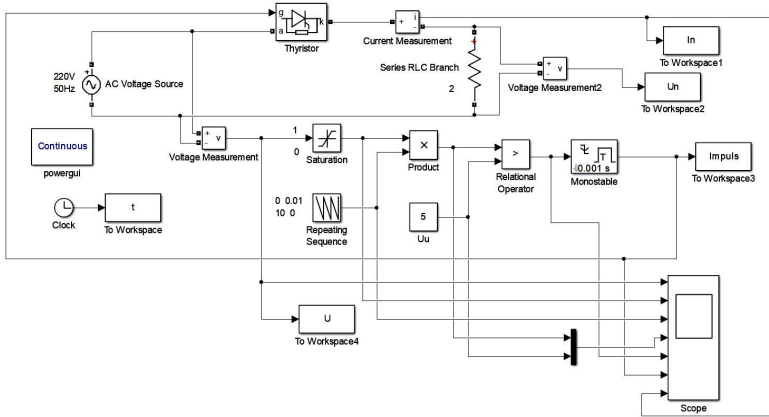


Рисунок 3.3 – Тиристорний регулятор постійної напруги

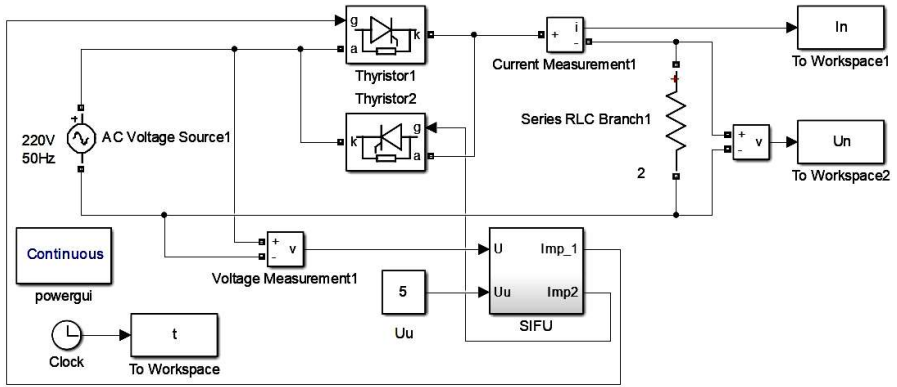


Рисунок 3.4 – Тиристорний регулятор змінної напруги

2) Побудувати модель тиристорного регулятора постійної напруги, що зображено на рис. 3.3, а. Промоделювати цю модель змінючи кут відкриття тиристорів відповідно до свого індивідуального варіанту (табл. 3.1). Зняти, побудувати та навести у звіті електромагнітні характеристики напруги на резисторі, струму у колі, діючого значення напруги на резисторі та керуючі імпульси на тиристорі.

Таблиця 3.1 – Індивідуальні завдання

№ вар.	f, Гц	α_1 , ел.гр.	α_2 , ел.гр.	α_3 , ел.гр.	t ₁ , с	t ₂ , с	t ₃ , с
1	50	0	90	120	1	2	3
2	100	30	60	90	2	4	6
3	60	45	90	135	5	7	9
4	1000	60	120	150	6	10	15
5	80	30	90	120	3	6	9
6	600	160	120	60	4	7	12
7	200	150	100	50	15	30	45
8	400	120	90	60	20	40	70
9	50	90	60	30	2	4	6
10	300	60	30	0	3	6	9
11	150	150	120	90	1	2	3

Продовження таблиці 3.1

№ вар.	f, Гц	α_1 , ел.гр.	α_2 , ел.гр.	α_3 , ел.гр.	t ₁ , с	t ₂ , с	t ₃ , с
12	250	0	90	120	2	4	6
13	80	30	60	90	5	7	9
14	70	45	90	135	6	10	15
15	200	60	120	150	3	6	9
16	30	30	90	120	4	7	12
17	50	160	120	60	15	30	45
18	100	150	100	50	20	40	70
19	40	120	90	60	2	4	6
20	110	90	60	30	3	6	9
21	50	60	30	0	3	6	8
22	100	150	120	90	2	4	7
23	80	30	60	90	3	5	8
24	50	45	90	135	6	10	15
25	20	60	120	150	3	6	9
26	60	30	90	120	2	4	6
27	70	160	120	60	3	6	9
28	45	150	100	50	3	6	8
29	90	120	90	60	2	4	7
30	60	90	60	30	3	5	8

3) Побудувати модель тиристорного регулятора змінної напруги, що зображено на рис. 3.3,а. Про моделювати цю модель змінюючи кут відкриття тиристорів (кути в додатній і від'ємній полярності напруги однакові за значенням) відповідно до свого індивідуального варіанту (табл. 3.2). Зняти, побудувати та навести у звіті електромагнітні характеристики напруги на резисторі, струму у колі, діючого значення напруги на резисторі та керуючі імпульси на тиристорі.

4) Привести у звіт 3 тиристорів з їх параметрами та зображенням, різних фірм та виробників. Вибір тиристорів виконується так само як і вибір діодів з лабораторної роботи № 1.

5) Оформити звіт до лабораторної роботи №3.

Таблиця 3.2 – Індивідуальні завдання

№ вар.	f, Гц	α_1 , ел.гр.	α_2 , ел.гр.	α_3 , ел.гр.	t ₁ , с	t ₂ , с	t ₃ , с
1	200	0	90	120	1	2	3
2	30	30	60	90	2	4	6
3	50	45	90	135	5	7	9
4	100	60	120	150	6	10	15
5	40	30	90	120	3	6	9
6	110	160	120	60	4	7	12
7	50	150	100	50	15	30	45
8	100	120	90	60	20	40	70
9	80	90	60	30	2	4	6
10	50	60	30	0	3	6	9
11	20	150	120	90	1	2	3
12	60	0	90	120	2	4	6
13	70	30	60	90	5	7	9
14	45	45	90	135	6	10	15
15	50	60	120	150	3	6	9
16	100	30	90	120	4	7	12
17	60	160	120	60	15	30	45
18	1000	150	100	50	20	40	70
19	80	120	90	60	2	4	6
20	600	90	60	30	3	6	9
21	200	60	30	0	3	6	8
22	400	150	120	90	2	4	7
23	50	30	60	90	3	5	8
24	300	45	90	135	6	10	15
25	150	60	120	150	3	6	9
26	250	30	90	120	2	4	6
27	80	160	120	60	3	6	9
28	70	150	100	50	3	6	8
29	50	120	90	60	2	4	7
30	100	90	60	30	3	5	8

Лабораторна робота №4

ЛОГІЧНІ ЕЛЕМЕНТИ

Мета роботи: моделювання роботи логічних елементів, побудова схем на логічних елементах та на елементах промислової електроніки, заповнення таблиць істинності.

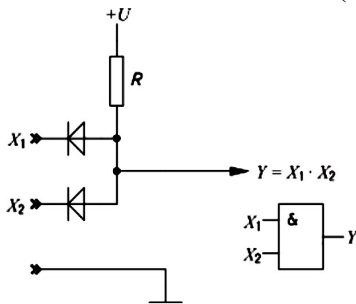
4.1 Короткі теоретичні відомості

Основний принцип Булевої алгебри полягає в тому, що логічний алфавит складеть лише з двох станів: брехня (0) й істина (1).

Оснують три основні операції:

1) кон'юнкція (логічне "І" або «AND»)

$$Y = X1 \cdot X2 = X1 \& X2 \quad (4.1)$$



Таблиця 4.1 – Таблиця істинності

X1	X2	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Рисунок 4.1 – Реалізація логічного елемента «І» («AND») на діодах

2) дез'юнкція (логічне "АБО" або «OR»)

$$Y = X1 + X2 = X1 | X2 \quad (4.2)$$

Таблиця 4.2 – Таблиця істинності

X1	X2	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

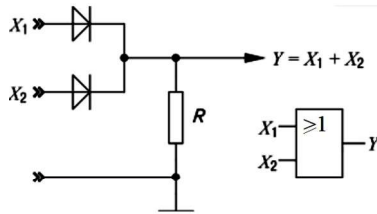
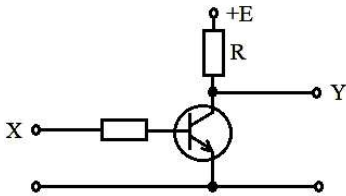


Рисунок 4.2 – Реалізація логічного елемента «АБО» («OR») на діодах

3) інверсія (логічне "НІ" або «NOT»)

$$Y = \bar{X} = \sim X \quad (4.3)$$



Таблиця 4.3 – Таблиця істинності

X	Y
0	1
1	0

Рисунок 4.3 – Реалізація логічного елемента «НІ» («NOT») на транзисторі

Приклад виконання лабораторної роботи:

1) Розглянемо роботу логічних елементів на наступному прикладі деякої логічної функції:

$$Y = \bar{X}_1 \cdot X_2 + X_1 \cdot \bar{X}_2. \quad (4.4)$$

2) Цій логічній функції відповідає схема на логічних елементах (рис. 4.4) та елементах промислової електроніки (рис. 4.5).

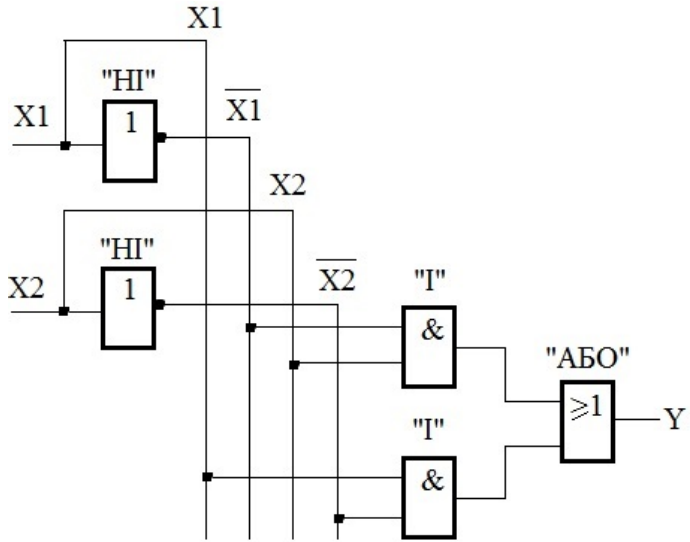


Рисунок 4.4 – Схема на логічних елементах

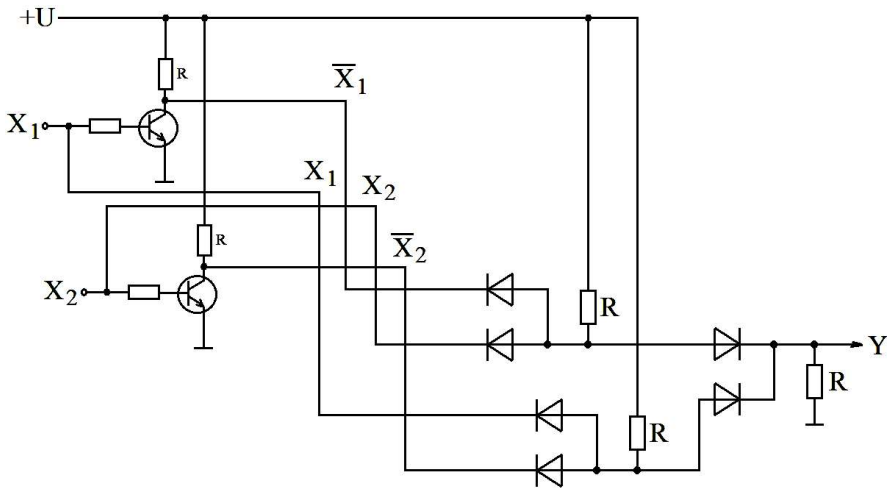


Рисунок 4.5 – Схема на елементах промислової електроніки

3) Заповнимо таблицю істинності

Таблиця 4.4 – Таблиця істинності

X1	X2	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

4.2 Порядок виконання лабораторної роботи №4

- 1) Побудувати схему на логічних елементах, що відповідає логічній функції за номером варіанту (табл. 4.5).
- 2) Побудувати еквівалентну схему на елемента промислової електроніки.
- 3) Заповнити таблицю істинності для своєї схеми.
- 4) Оформлення лабораторної роботи і захист.

Таблиця 4.5 – Індивідуальні завдання

№ вар.	Логічне рівняння
1	$\bar{X}4 \cdot X3 + X1 \cdot \bar{X}2 \cdot (X1 + \bar{X}2 \cdot X4 \cdot \bar{X}2)$
2	$\bar{X}1 \cdot X2 + X3 + X1 \cdot \bar{X}2 \cdot (X4 + \bar{X}1 \cdot X3 \cdot \bar{X}2)$
3	$\bar{X}1 \cdot X2 + \bar{X}3 + X4 \cdot \bar{X}2 \cdot (X2 + X3 \cdot \bar{X}1)$
4	$(\bar{X}1 \cdot X2 + X3) \cdot \bar{X}3 + X1 \cdot \bar{X}2 \cdot (X4 + \bar{X}1 \cdot \bar{X}2)$
5	$(\bar{X}1 + X3) \cdot \bar{X}3 + X1 \cdot \bar{X}2 + (X4 + \bar{X}1 \cdot \bar{X}2)$
6	$\bar{X}1 \cdot X2 + X4 + X1 \cdot \bar{X}3 \cdot (X1 + \bar{X}1 + X3 \cdot \bar{X}2)$
7	$\bar{X}4 + X3 \cdot X2 + \bar{X}4 \cdot (X2 + \bar{X}1 \cdot X4 + \bar{X}2)$
8	$\bar{X}1 \cdot (X2 + \bar{X}4 + X1) \cdot \bar{X}3 \cdot (X1 + X3 \cdot \bar{X}2)$
9	$\bar{X}1 \cdot (X2 + \bar{X}4 + X1) + \bar{X}2 \cdot (\bar{X}1 + X4 \cdot \bar{X}2)$
10	$\bar{X}1 \cdot ((X2 + X4) + X1 \cdot \bar{X}3) \cdot (X1 + \bar{X}1 + X3 \cdot \bar{X}2)$
11	$\bar{X}1 \cdot ((X2 + X4) + X1 \cdot \bar{X}3) \cdot (X1 + \bar{X}1) + X3 \cdot \bar{X}2$

Продовження таблиці 4.5

№ вар.	Логічне рівняння
12	$\bar{X}1 \cdot (X4 + (X2 + X2) + \bar{X}3) \cdot (X4 + \bar{X}1) + X1 \cdot \bar{X}2$
13	$\bar{X}1 \cdot X2 + X2 \cdot \bar{X}3 \cdot (X1 + X4 \cdot (\bar{X}1 + X3) \cdot \bar{X}2)$
14	$\bar{X}1 \cdot (X2 + \bar{X}3 + X4) + \bar{X}2 \cdot (X1 + X3 \cdot \bar{X}2)$
15	$\bar{X}1 \cdot X2 + X1 \cdot \bar{X}3 \cdot (X1 + X4 \cdot (\bar{X}2 + X1) \cdot \bar{X}2)$
16	$\bar{X}1 \cdot (X1 \cdot \bar{X}3 + X4) + \bar{X}2 \cdot (X1 + X3 \cdot \bar{X}2)$
17	$\bar{X}1 \cdot X2 + X2 \cdot \bar{X}3 + (X1 + X4 \cdot (\bar{X}1 + X3) \cdot \bar{X}2)$
18	$\bar{X}4 \cdot (X2 + \bar{X}3 + X1) + \bar{X}1 \cdot \bar{X}3 + (X1 + X3 \cdot \bar{X}2)$
19	$\bar{X}1 \cdot X2 + \bar{X}2 \cdot \bar{X}3 \cdot (X2 + X3 \cdot (\bar{X}1 + X4) \cdot \bar{X}2)$
20	$\bar{X}1 \cdot (X2 \cdot \bar{X}3 + X4) + \bar{X}2 \cdot (X1 + \bar{X}4 \cdot X3 \cdot \bar{X}2)$
21	$\bar{X}1 \cdot X2 + X2 \cdot \bar{X}3 \cdot (X1 + X4 \cdot (\bar{X}1 + X3) \cdot \bar{X}2)$
22	$\bar{X}1 \cdot (X2 + \bar{X}3 + X1) + \bar{X}2 \cdot X4 + X3 \cdot \bar{X}2$
23	$\bar{X}1 \cdot X2 + X2 \cdot \bar{X}3 \cdot (X1 + X4 \cdot (\bar{X}1 + X3) \cdot \bar{X}1)$
24	$\bar{X}1 \cdot (X2 + \bar{X}3 + X4 + \bar{X}3) + \bar{X}2 \cdot (X1 + X3 \cdot \bar{X}2)$
25	$\bar{X}1 \cdot X2 + X2 \cdot \bar{X}3 \cdot (X1 + X4 \cdot (\bar{X}1 + X3) \cdot \bar{X}2)$
26	$\bar{X}1 \cdot X2 + X2 \cdot \bar{X}3 \cdot (X1 + X4 \cdot (\bar{X}1 + X3) \cdot \bar{X}2)$
27	$\bar{X}1 \cdot (X2 + \bar{X}1 + X4) + \bar{X}2 \cdot (X1 + X4 \cdot \bar{X}2)$
28	$\bar{X}1 \cdot X2 + X1 \cdot \bar{X}3 \cdot (X1 + X4 \cdot (\bar{X}2 + X1) \cdot \bar{X}2)$
29	$\bar{X}1 \cdot (X1 \cdot \bar{X}3 + X4) + \bar{X}2 \cdot (X1 + X3 \cdot \bar{X}2)$
30	$\bar{X}1 \cdot X2 + X2 \cdot \bar{X}3 + (X1 + X4 \cdot (\bar{X}1 + X3) \cdot \bar{X}2)$

Лабораторна робота №5

ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОФАЗНИХ НУЛЬОВОЇ ТА МОСТОВОЇ СХЕМ ВИПРЯМЛЯЧІВ НА ДІОДАХ

Мета роботи: моделювання роботи однофазних нульової та мостової схем випрямлення на діодах, побудова вольт-амперних характеристик.

5.1 Короткі теоретичні відомості

Випрямляч можна представити у вигляді структурної схеми (рис. 5.1), в яку входять: силовий трансформатор (СТ), вентиляльний блок (ВБ), фільтруючий пристрій (ФУ), ланцюг навантаження (Н) [4].

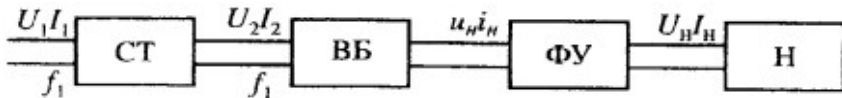


Рисунок 5.1 – Структурна схема випрямляча

Силовий трансформатор служить для узгодження вхідного і вихідного напруг випрямляча. Можливі різні з'єднання обмоток трансформатора відповідно з різними схемами випрямлення. Напряга вторинної обмотки трансформатора U_2 визначає значення випрямленої напруги U_n (або U_d). Трансформатор дозволяє одночасно гальванічно розв'язати мережу живлення U_1, I_1 з частотою f_1 , і ланцюг навантаження з U_n, I_n (або U_d, I_d).

Вентильний блок випрямляє змінний струм, підключаючи вторинну напругу відповідної фази трансформатора до кола постійного струму. У вентиляльному блоці використовуються, як правило, напівпровідникові діоди або зборки на їх основі. На виході вентиляльного блоку одержують знакопостійну напругу з високим рівнем пульсацій, визначеним тільки числом фаз мережі живлення та обраною схемою випрямлення.

Фільтруючий пристрій забезпечує необхідний рівень пульсацій випрямленого струму в ланцюзі навантаження. В якості ФУ використовуються послідовно включені резистор або згладжуючий

дросель і паралельно включені конденсатори. Іноді ФУ будується за більш складними схемами. У випрямлячах малої потужності установка резистора або дроселя не обов'язкова.

При використанні трифазних схем випрямлення рівень пульсацій природно знижується, і полегшує умови роботи ФУ.

Напівпровідникові випрямлячі можна класифікувати за такими ознаками :

1) за вихідною потужністю (малопотужні – до 600 Вт, середньої потужності – до 100 кВт, і великої потужності – більше 100 кВт);

2) по числу фаз джерела (однофазні, багатofазні);

3) по пульсності (p) випрямляча, яка визначається числом напівперіодів протікання струму у вторинній обмотці трансформатора за повний період напруги U_1 ;

4) по числу знакопостійних імпульсів в кривій випрямленої напруги U_2 за період напруги живлення:

- однонапівперіодні;

- двухнапівперіодні;

- M -напівперіодні.

Випрямлячі можуть бути побудовані на керованих вентилях (тиристорах, транзисторах) – керовані випрямлячі і на некерованих вентилях (діодах) – некеровані випрямлячі.

Для роботи й розрахунку випрямляча принципове значення має характер навантаження включеної на виході випрямляча. Розрізняють такі режими роботи випрямляча:

а) на активне навантаження;

б) на активно-індуктивне навантаження;

в) на активно-ємнісне навантаження;

г) на загрузку з проти-ЕРС.

Різні форми споживаних з мережі струмів і їх тривалість при різному характері навантаження випрямляча призводить до того, що методи розрахунків випрямлячів істотно розрізняються.

Розрахунок випрямляча зводиться до вибору схеми випрямлення, типу діодів, визначенням електромагнітних навантажень на обмотках трансформатора, діодах і елементах згладжуючого фільтру, а також енергетичних показників.

Вибір схеми випрямляча залежить від ряду факторів, які повинні враховуватися в залежності від вимог, що пред'являються до випрямного пристрою. До них відносяться:

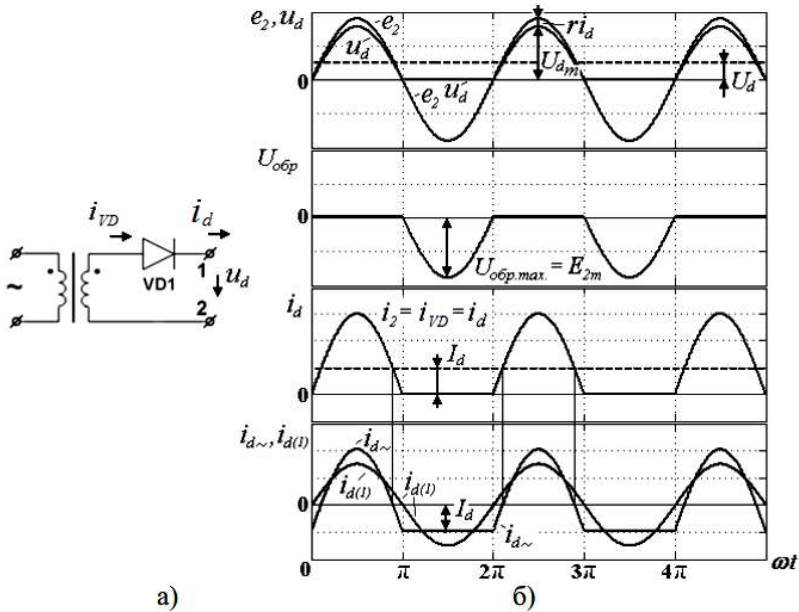
- величини випрямленої напруги і потужності;
- частота і величина пульсації випрямленої напруги;
- число діодів і величина зворотної напруги на них;
- коефіцієнт корисної дії (ККД);
- коефіцієнт потужності і інші енергетичні показники.

Основні схеми випрямлячів:

1) *Однофазна, однопівперіодна схема* (рис. 5.2,а) зазвичай застосовуються при випрямлених струмах до декількох десятків міліампер і в тих випадках, коли не потрібно високої ступеня згладжування випрямленої напруги. Ця схема характеризується низьким коефіцієнтом використання трансформатора по потужності і великими пульсаціями випрямленої напруги.

Діаграми напруг і струмів, що пояснюють роботу однопівперіодного випрямляча на активне навантаження з урахуванням втрат у трансформаторі і вентилі, представлені на рис. 5.2,б (індуктивністю розсіювання трансформатора нехтуємо, як це зазвичай допускається в випрямлячах малої потужності).

Під дією ЕРС вторинної обмотки e_2 струм в ланцюзі навантаження I_d може проходити тільки протягом тих напівперіодів, коли анод діода має позитивний потенціал відносно до катода. Діод пропускає струм I_{VD} в перший напівперіод, у другій напівперіод, коли потенціал анода стає негативним, струм в ланцюзі дорівнює нулю. Випрямлена напруга u_d в будь момент часу менше ЕРС вторинної обмотки e_2 , так як частина напруги втрачається на активних опорах трансформатора і відкритого вентиля (враховується опором r). Максимальна зворотна напруга на вентилі $U_{обр,max}$, як видно з рис. 5.2, б, досягає амплітудного значення ЕРС вторинної обмотки E_{2m} .



а – однополуперіодна схема випрямлення; б – діаграми напруг і струмів.

Рисунок 5.2 – Однофазна, однополуперіодна схема випрямлення й діаграми роботи на активне навантаження

Діаграма первинного струму трансформатора подібна діаграмі вторинного струму, якщо знехтувати струмом намагнічування і виключити з нього постійну складову I_d , яка в первинну обмотку не трансформується. В осерді трансформатора за рахунок постійної складової струму вторинної обмотки створюється додатковий постійний магнітний потік, що насичує сердечник. Це явище називають примушене підмагнічування осердя трансформатора постійною складовою струму, яке є головним недоліком цієї схеми. В результаті насичення намагнічується струм трансформатора зростає в кілька разів у порівнянні зі струмом у нормальному режимі намагнічування сердечника. Зростання намагнічує струму обумовлює

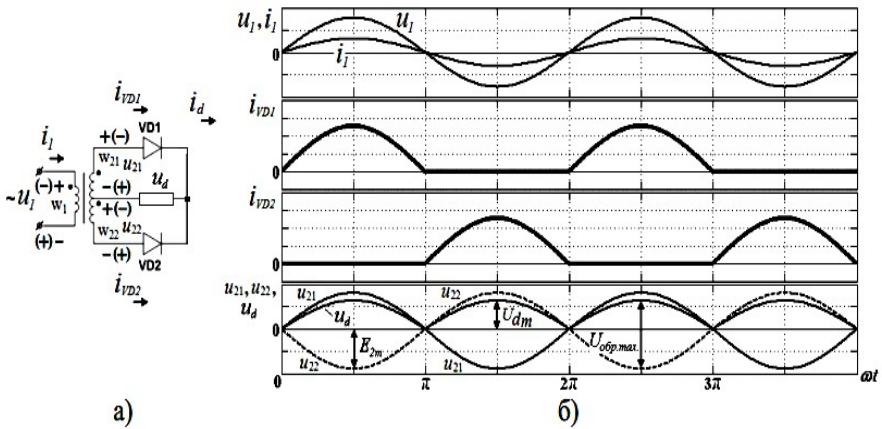
збільшення перетину дроту первинної обмотки, наслідком чого є завищені розміри трансформатора і габарити випрямляча в цілому.

2) *Двохнапівперіодна схема з середньою точкою (схема Миткевича)*. Однофазний двохнапівперіодний випрямляч з середнім (нульовим) виводом вторинної обмотки трансформатора (рис. 5.3, а) застосовують в низьковольтних пристроях. Він дозволяє зменшити вдвічі кількість діодів і тим самим знизити втрати, але має більш низький коефіцієнт використання трансформатора і, отже, великі габарити по порівнянню з однофазним мостовим випрямлячем, який розглянуто нижче. Зворотна напруга на діодах вище в цій схемі, ніж в мостовій.

Необхідним елементом даного випрямляча є трансформатор з двома вторинними обмотками. Випрямляч з середньою точкою є по суті двофазним, так як вторинна обмотка трансформатора з середньою точкою створює дві ЕРС, рівні по величині, але протилежні за напрямку. Таким чином, схема з'єднання обмоток така, що однакові за величиною напруги на висновках вторинних обмоток щодо середньої точки зміщені по фазі на 180° .

Діаграми напруг і струмів, що пояснюють роботу двохнапівперіодного випрямляча із середнім виводом на активне навантаження з урахуванням втрат в трансформаторі і вентилях, представлені на рис. 5.3, б.

Вторинні обмотки трансформатора підключені до анода вентилей VD1 і VD2. Напруги на вторинних обмотках трансформатора w_{21} і w_{22} знаходяться в протифазі. Тому діоди схеми VD1 і VD2 проводять струм по черзі, кожен у відповідний напівперіод напруги живлення. Протягом першого напівперіоду позитивний потенціал має анод діода VD1 і струм i_{VD1} проходить через нього, навантаження і вторинну полу обмотку w_{21} трансформатора. Протягом другого напівперіоду позитивний потенціал має анод діода VD2, струм i_{VD2} проходить через нього, навантаження і вторинну напівобмотку w_{22} трансформатора, причому в ланцюзі навантаження струм i_d проходить в тому ж напрямку, що і в перший напівперіод.

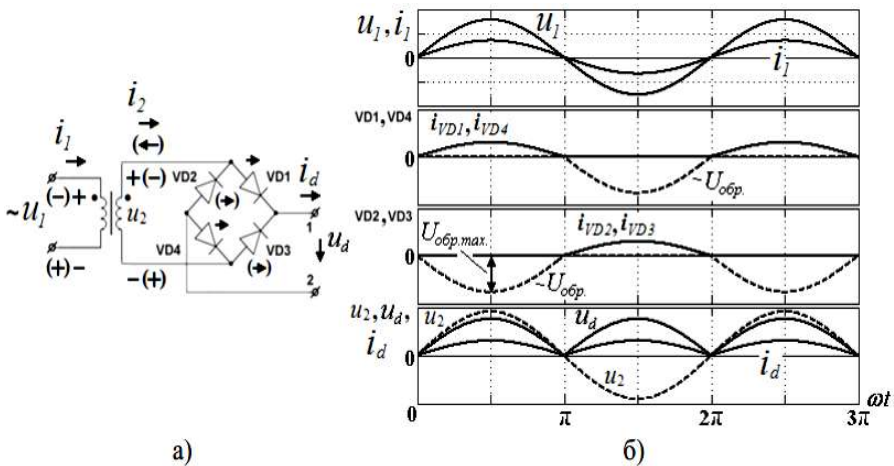


а – двохнапівперіодна схема випрямлення з середньою точкою;
б – діаграми напруг і струмів.

Рисунок 5.3 – Двохнапівперіодна схема випрямлення з середньою точкою й діаграми роботи на активне навантаження

Таким чином, на відміну від найпростішого однонапівперіодного випрямляча у випрямлячі з середньою точкою випрямлений струм проходить через навантаження протягом обох напівперіодів змінного струму, але кожна з половин вторинної обмотки трансформатора виявляється навантаженою струмом тільки протягом напівперіоду. В результаті зустрічного напрямку м.р.с. постійних складових струмів вторинних обмоток i_{21} та i_{22} в сердечнику трансформатора немає вимушеного підмагнічування.

3) Мостова схема (схема Греца) (рис. 5.4, а) характеризується високим коефіцієнтом використання трансформатора по потужності і тому може бути рекомендована для використання в пристроях підвищеної потужності при вихідних напругах від десятків до сотень вольт; пульсації такі ж, як в попередній схемі. Достоїнства – менша зворотна напруга на діодах в 2 рази, менші габарити, вище коефіцієнт використання трансформатора, ніж в схемі з середньою точкою. Недоліки – на діодах падіння напруги в 2 рази більше.



а – Однофазна мостова схема випрямлення; б – діаграми напруг і струмів.

Рисунок 5.4 – Однофазна мостова схема випрямлення (схема Греца) й діаграми роботи на активне навантаження

Діаграми напруг і струмів, що пояснюють роботу однофазного мостового випрямляча на активне навантаження з урахуванням втрат у трансформаторі і вентилях, представлені на рис. 5.4, б. Вихідна напруга u_d при чисто активному навантаженні, як і в схемі з виведенням середньої точки трансформатора, має вигляд однополярних напівхвиль напруги u_2 (рис. 5.4, б).

Це виходить в результаті почергового відмикання діодів VD1, VD4 і VD2, VD3. Діоди VD1 і VD4 відкриті при напівхвилі напруги u_2 позитивної полярності (показана на рис. 5.4, а без дужок), забезпечуючи зв'язок вторинної обмотки трансформатора з навантаженням і створюючи на ній напругу u_d тієї ж полярності, що і напруга u_2 . На напівхвилі напруги u_2 негативною полярністю (показаною на рис. 5.4, а з дужками) відкриті діоди VD2 і VD3, підключають напругу u_2 до навантаження з тією ж полярністю, що і на попередньому інтервалі.

5.2 План виконання лабораторної роботи

1) Проводимо дослідження роботи однофазної нульової схеми випрямлення згідно до схеми на рис. 5.3 та її імітаційної моделі на рис. 5.5, значення навантаження R_H беремо з табл. 5.1 відповідно до номеру варіанту. Визначаємо значення індуктивності й ємності потрібних для зменшення пульсації випрямленого струму в 10 разів. Визначаємо тип діоду у схемі. Будуємо графіки: $U_1(t)$, $U_2(t)$, $U_d(t)$, $I_d(t)$, $U_{звор}(t)$.

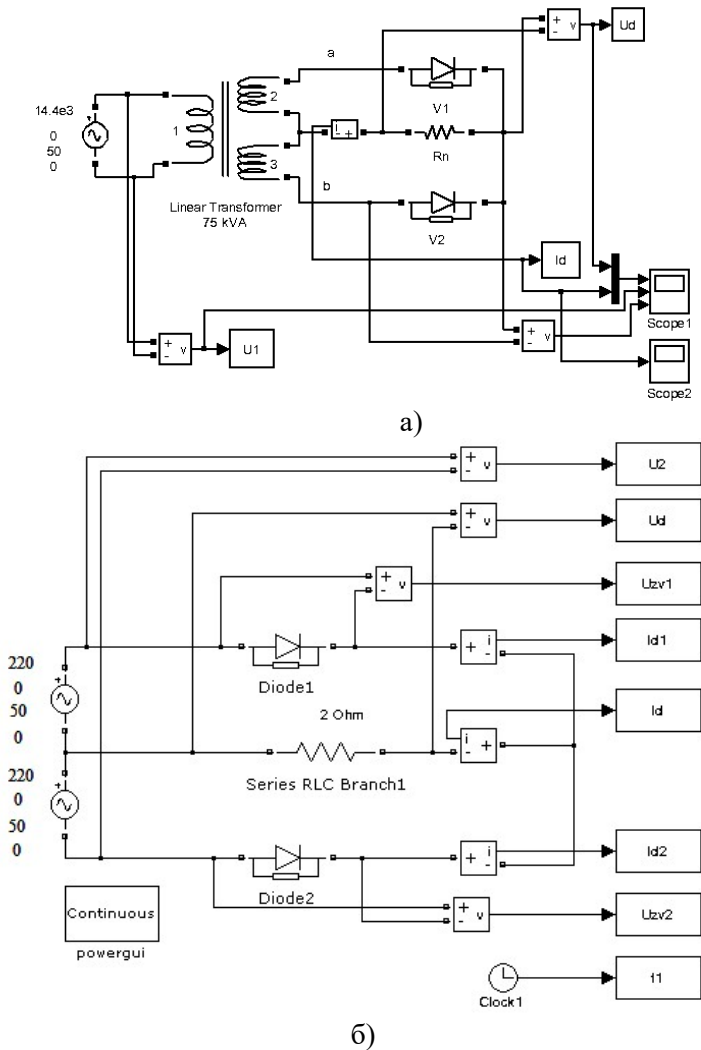
2) Проводимо дослідження роботи однофазної мостової схеми випрямлення згідно до схеми на рис. 5.6, значення навантаження R_H й змінної напруги U беремо з табл. 5.2 відповідно до варіанту. Визначаємо значення індуктивності й ємності потрібних для зменшення пульсації випрямленого струму в 10 разів. Визначаємо тип діоду у схемі. Будуємо графіки: $U_1(t)$, $U_2(t)$, $U_d(t)$, $I_d(t)$, $U_{звор}(t)$.

Таблиця 5.1 – Індивідуальні завдання для схеми на рис. 5.5

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R_H, \text{Ом}$	0.35	0.62	0.18	0.4	0.3	0.01	1.5	0.15	0.45	0.05
№	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$R_H, \text{Ом}$	0.02	20	7	9	0.15	0.205	2	3	4	6
№	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$R_H, \text{Ом}$	5	2.5	0.2	10	16	0.28	1	8	4	0.2

Таблиця 5.2 – Індивідуальні завдання для схеми на рис. 5.6

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U, \text{В}$	100	200	300	400	500	200	80	60	110	250
$R_H, \text{Ом}$	0.2	10	16	0.28	1	8	4	0.205	2	3
№	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$U, \text{В}$	380	20	8	6	4	120	220	16	28	10
$R_H, \text{Ом}$	4	6	5	2.5	3.5	0.15	0.45	0.05	0.02	20
№	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$U, \text{В}$	8	4	110	2	12	24	40	50	60	120
$R_H, \text{Ом}$	7	9	0.31	0.62	0.18	0.4	0.03	0.01	1.5	5.5



а – з триобмоточним трансформатором; б – на двох однофазних джерелах змінної напруги.

Рисунок 5.5 – Імітаційна модель однофазної нульової схеми випрямлення

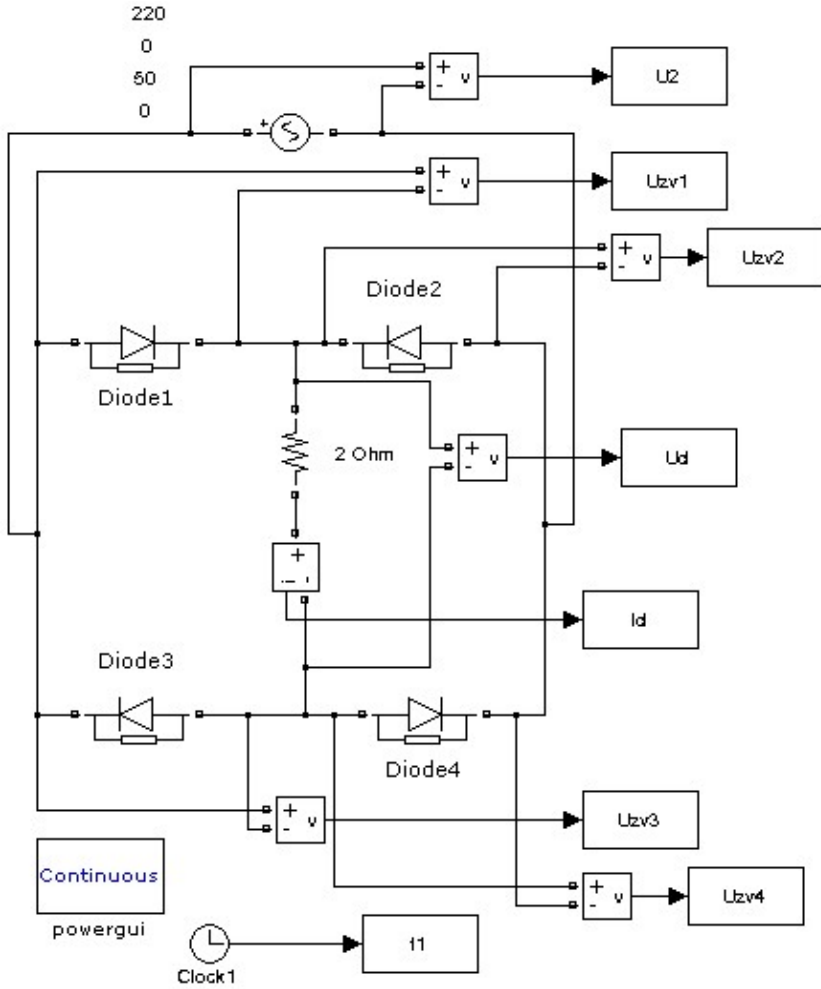


Рисунок 5.6 – Імітаційна модель однофазної мостової схеми випрямлення

- 3) Проводимо аналіз отриманих даних.
- 4) Оформляємо звіт.

Лабораторна робота №6

ТРИФАЗНІ НЕКЕРОВАНІ ВИПРЯМЛЯЧІ

Мета роботи: моделювання роботи трифазних нульової та мостової схем некерованих випрямлячів.

6.1 Короткі теоретичні відомості

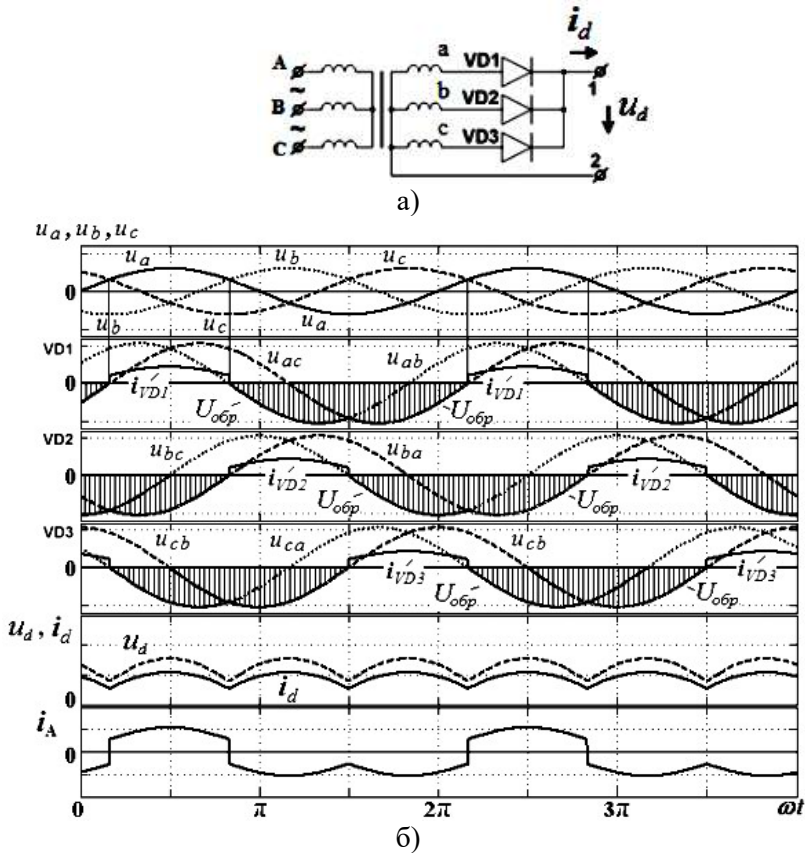
1) *Трифазна нульова схема.* У схему трифазного випрямляча з середньою (нульовий) точкою входить трансформатор з вторинними обмотками, з'єднаними зіркою. Виводи вторинних обмоток пов'язані з анодами трьох вентилів. Навантаження підключається до загальної точки з'єднання катодів вентилів та середньому виводу вторинних обмоток, так як зображено на рис. 6.1, а [4, 5].

Діаграми напруг і струмів, що пояснюють роботу ідеалізованого трифазного випрямляча з середньою точкою на активне навантаження, представлені на рис. 6.1, б. У ідеалізованій схемі, без врахування індуктивностей розсіювання обмоток трансформатора і вважаючи вентиля ідеальними, комутація струмів, тобто перехід струму з одного вентиля на інший, проходить миттєво і в будь-який момент часу струм пропускає тільки один вентиль, анод якого має найбільш високий потенціал.

У схемі трифазного випрямляча з середньою точкою струм навантаження створюється під дією фазної напруги вторинної обмотки трансформатора. За період напруги живлення через кожну вторинну обмотку одноразово протікає однополярний струм, при цьому інтервал провідності кожного вентиля складає $2\pi/3(120^\circ)$. Відкритий вентиль підключає напругу відповідної фази до навантаження. У результаті в навантаженні діє однополярна пульсуюча напруга u_d , що представляє собою ділянки фазної напруги вторинних обмоток та містить триразові пульсації за період. При чисто активному навантаженні випрямлена напруга і струм мають однакову форму.

2) *Трифазна мостова схема (схема Ларіонова)* (рис. 6.2, а) володіє найкращим коефіцієнтом використання трансформатора по потужності, найменшою зворотною напругою на діодах і високою частотою пульсації (шестипульсна) випрямленої напруги, що, в деяких

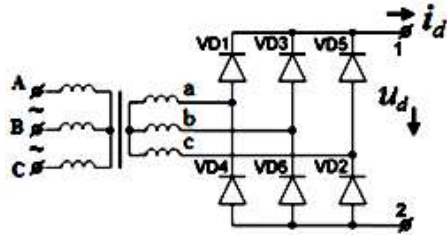
випадках, дозволяє використовувати цю схему без фільтра. Схема застосовується в широкому діапазоні випрямлених напруг і потужностей.



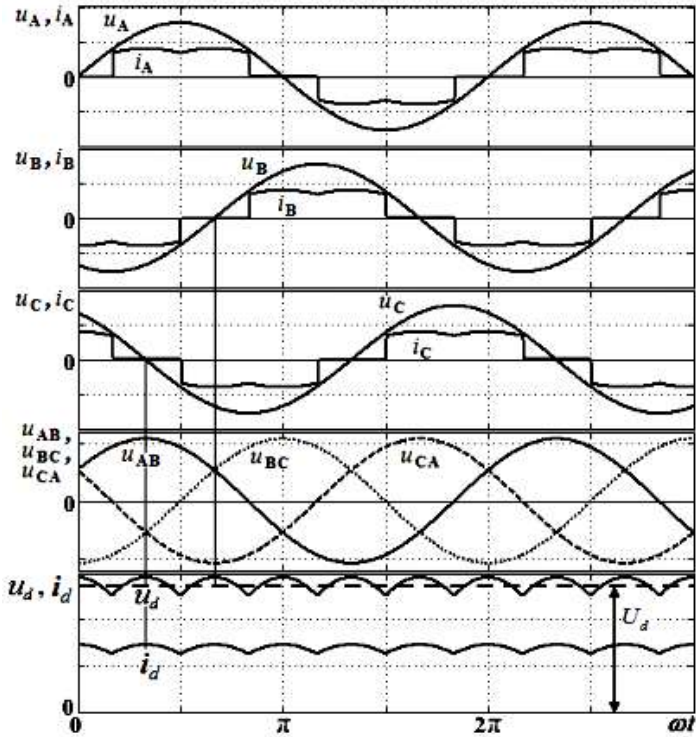
а – схема трифазного нульового випрямляча; б – діаграми роботи випрямляча на активне навантаження

Рисунок 6.1 – Трифазна нульова схема випрямляча й діаграми напруг і струмів

Схема трифазного мостового випрямляча містить випрямний міст з шести вентилів, в якому послідовно з'єднані дві трифазні групи.



а)



б)

а – схема трифазного мостового випрямляча; б – діаграми роботи випрямляча на активне навантаження

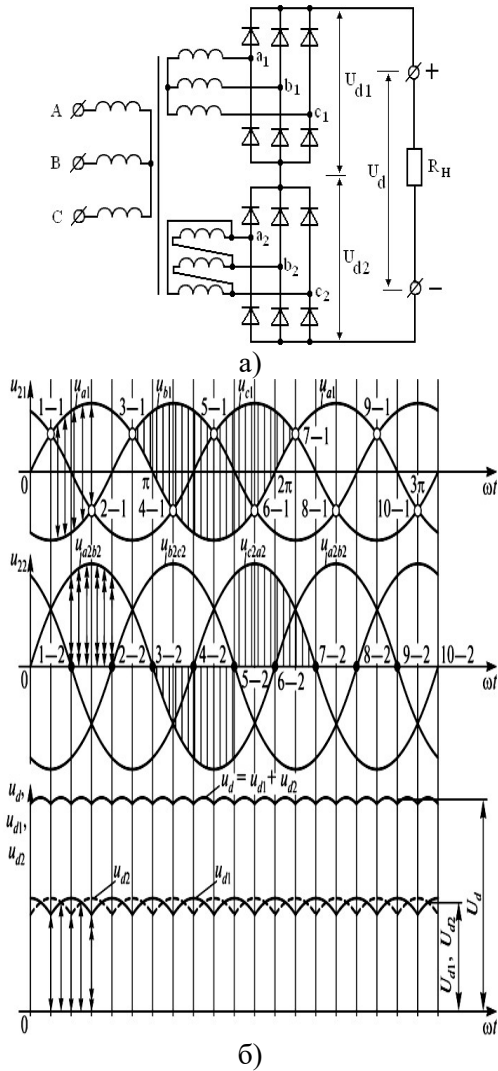
Рисунок 6.2 – Трифазна мостова схема випрямляча (схема Ларіонова) та діаграми напруг і струмів

У нижній групі вентиля з'єднані катодами (катодна група), а в верхній-анодами (анодна група). Навантаження підключається між точками з'єднання катодів і анодів вентилів. Схема допускає з'єднання як первинних, так і вторинних обмоток трансформатора зіркою або трикутником.

Діаграми напруг і струмів, що пояснюють роботу мостової схеми трифазного некерованого випрямляча з активним навантаженням, представлені на рис. 6.2, б.

3) *Дванадцятипульсна схема випрямляча.* Як видно з наведених часових діаграм рівень пульсацій на виході розглянутого трифазного випрямляча струму значно менший за попередні варіанти випрямлячів і становить 3,5%. Однак за допомогою трифазного трансформатора можна отримати на виході кількість фаз більше шести. Це дозволяє додатково зменшити рівень пульсацій напруги на виході трифазного випрямляча струму. Можлива реалізація дев'яти, дванадцяти, вісімнадцяти та більше фазних випрямлячів. Підвищення кількості фаз дозволяє зменшити рівень пульсацій напруги на виході випрямляча. Як приклад розглянемо схему дванадцятипульсного випрямляча струму. Його схема наведена на рис. 6.3.

У цій схемі застосовується трифазний трансформатор із двома вторинними обмотками для кожної фази. При цьому одна група вторинних обмоток включається за схемою "зірка", а інша – "трикутник". В результаті напруги на виході кожної з груп вторинних обмоток виявляється зрушеними на 30° . Для того, щоб напруги дорівнювали, кількість витків у кожній з груп вторинних обмоток відрізняються в 1.73 рази. Завдяки послідовному включенню постійні напруги на виході діодних мостів підсумовуються $U_d = U_{d1} + U_{d2}$ і на навантаженні діє напруга з частотою пульсацій у 12 разів вище частоти мережі та значно меншим порівняно з попередніми схемами рівнем пульсацій, що дорівнює 0.9%.



а – схема трифазного двенадцятипульсного випрямляча; б – діаграми роботи випрямляча на активне навантаження

Рисунок 6.3 – Трифазна двенадцятипульсна схема випрямляча та діаграми напруг і струмів

6.2 План виконання лабораторної роботи

1) Будуємо імітаційні моделі трифазної нульової, мостової та дванадцяти пульсної схем випрямління. Значення опору навантаження та випрямленої напруги беремо з табл. 6.1.

2) Будуємо електромагнітні процеси випрямленого струму, випрямленої напруги, зворотної напруги на діодах, та напруги на вторинній обмотці трансформатора.

Таблиця 6.1 – Індивідуальні завдання для схем рис.6.4 – рис.6.6

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R_H, \text{Ом}$	0.35	0.62	0.18	0.4	0.3	0.01	1.5	0.15	0.45	0.05
$U, \text{В}$	100	120	64	200	150	80	60	300	50	40
№	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$R_H, \text{Ом}$	0.02	20	7	9	0.15	0.205	2	3	4	6
$U, \text{В}$	240	320	270	220	110	350	400	600	500	250
№	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$R_H, \text{Ом}$	5	2.5	0.2	10	16	0.28	1	8	4	0.2
$U, \text{В}$	150	280	180	175	225	450	280	380	660	140

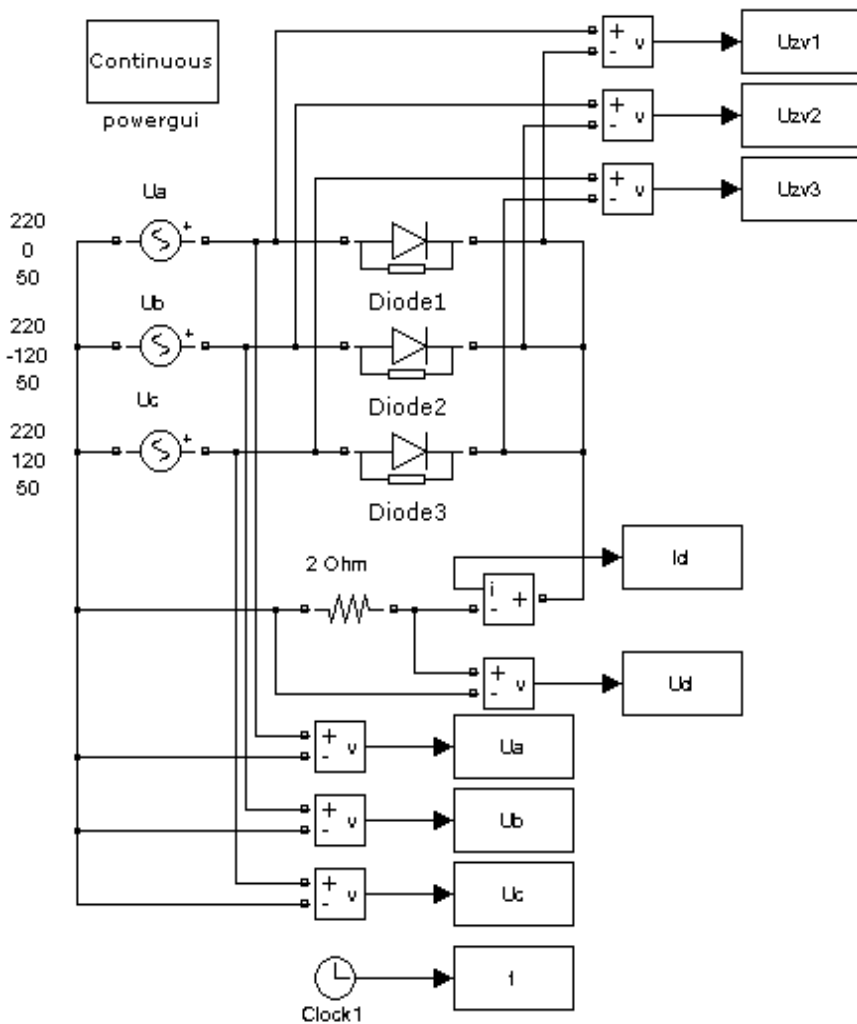


Рисунок 6.4 – Модель трифазної нульової схеми некерованого випрямляча

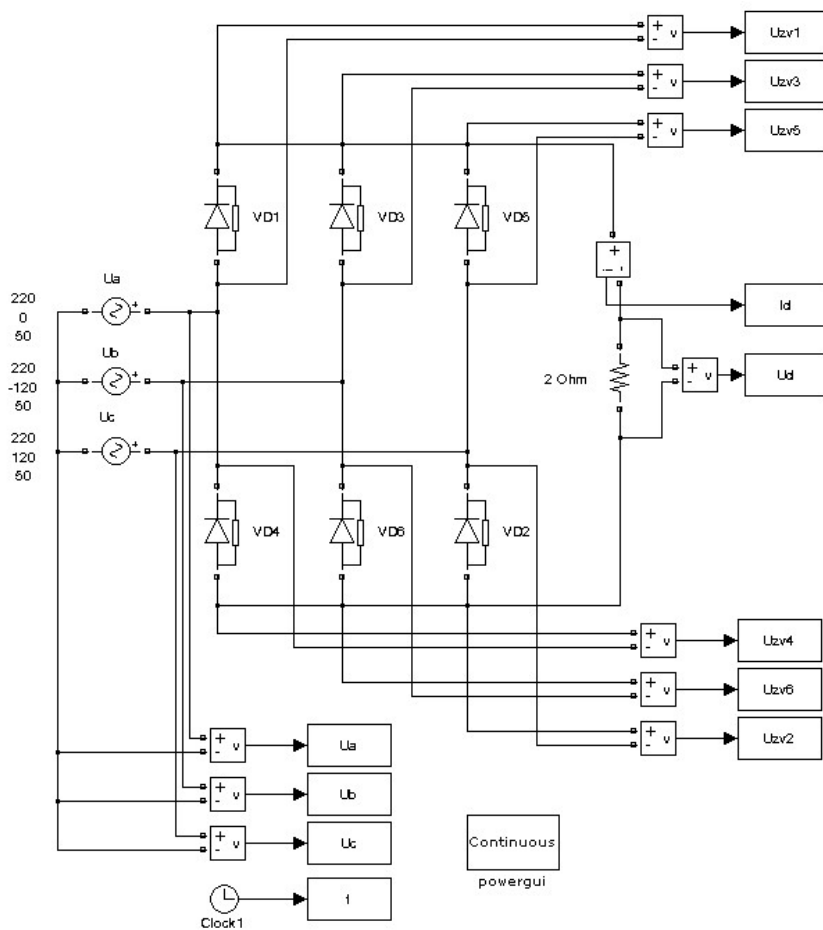


Рисунок 6.5 – Модель трифазної мостової схеми некерованого випрямляча

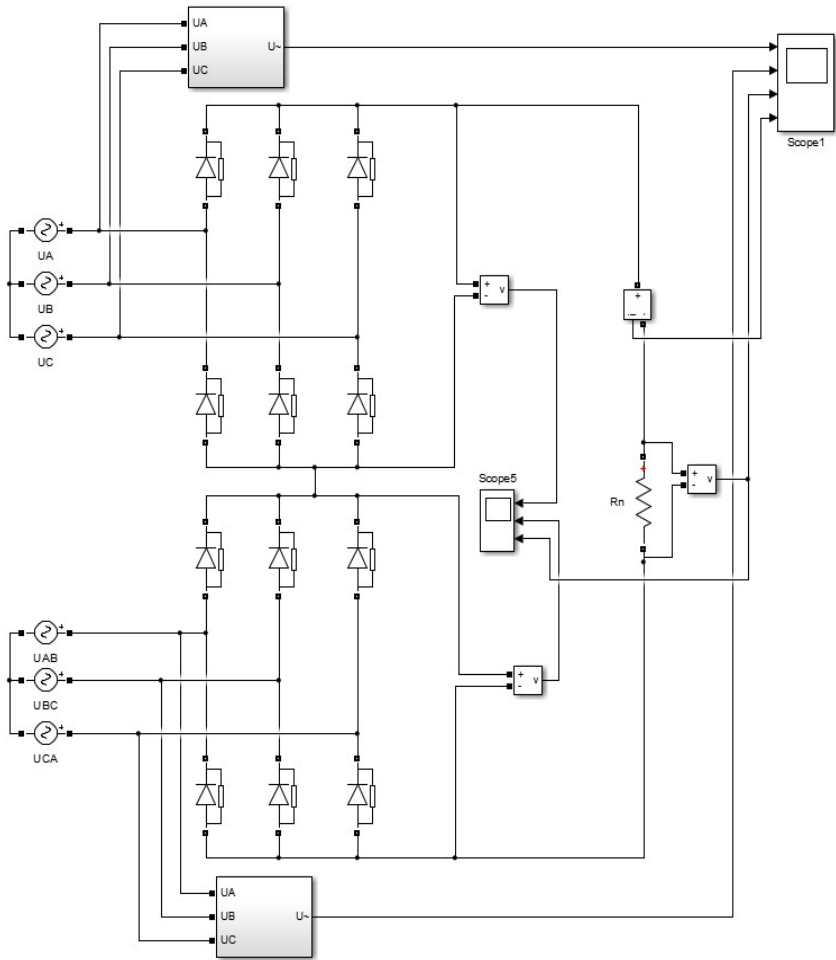


Рисунок 6.6 – Модель трифазної двенадцятипульсної схеми некерованого випрямляча

3) Виконуємо аналіз отриманих даних, приводимо зрівняння трифазних схем з однофазними схемами випрямлення, переваги та недоліки.

4) Оформляємо звіт.

Лабораторна робота №7

ПОМНОЖУВАЧІ НАПРУГИ

Мета роботи: моделювання роботи схем помноження постійної напруги.

7.1 Короткі теоретичні відомості

У сучасних радіоелектронних пристроях помножувачі знайшли широке застосування [2]. Вони використовуються в телевізійній та медичній апаратурі (джерела анодної напруги кінескопів, живлення малопотужних лазерів), у вимірювальній техніці (осцилографи, прилади для вимірювання рівня та доз радіоактивного випромінювання), у приладах нічного бачення і електрошокових пристроях, побутових і офісних електронних пристроях (іонізатори, "люстра Чижевського", ксерокопіювальні апарати) та багатьох інших областях техніки. Сталося це завдяки головним властивостям помножувачів – можливості формувати високе, до декількох десятків і сотень тисяч вольт напруги при малих габаритах і масі. Ще одна їх важлива перевага – простота розрахунку і виготовлення. Помножувач напруги складається з включених певним чином діодів і конденсаторів і являє собою перетворювач напруги змінного струму низьковольтного джерела в високу напругу постійного струму.

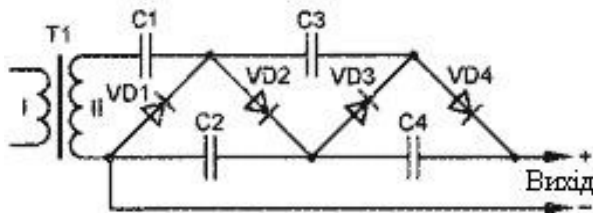


Рисунок 7.1 – Перша схема помножувача напруги

Принцип його роботи зрозумілий з рис. 7.1, на якому наведена схема однонапівперіодного помножувача. Під час дії негативного

напівперіоду напруги конденсатор $C1$ заряджається через відкритий діод $VD1$ до амплітудного значення прикладеної напруги U_a . Коли до входу помножувача докладено напруга позитивного напівперіоду, конденсатор $C2$ через відкритий діод $VD2$ заряджається до напруги $2U_a$. Під час наступного етапу – негативного напівперіоду – через діод $VD3$ до напруги $2U_a$ заряджається конденсатор $C3$. І, нарешті, при черговому позитивному напівперіоді до напруги $2U_a$ заряджається конденсатор $C4$. Очевидно, що запуск помножувача відбувається за кілька періодів змінної напруги. Постійна вихідна напруга складається з напруг на послідовно включених конденсаторах $C2$ та $C4$, й становить $4U_a$.

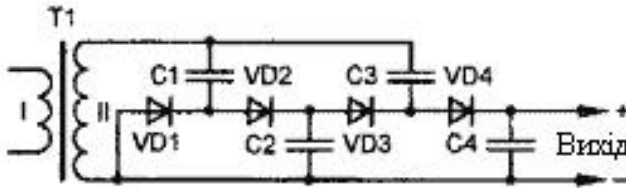


Рисунок 7.2 – Друга схема помножувача напруги

Зображений на рис. 7.1 помножувач відноситься до послідовних помножувачів. Існують також паралельні помножувачі напруги, для яких потрібна менша ємність конденсатора на ступінь множення. На рис. 7.2 наведена схема такого однопівперіодного помножувача.

Найбільш часто застосовують послідовні помножувачі. Вони більш універсальні, напруга на діодах і конденсаторах розподілені рівномірно, можна реалізувати більше число ступенів множення. Мають свої переваги й паралельні помножувачі. Однак такий їх недолік, як збільшення напруги на конденсаторах із збільшенням числа ступенів множення, обмежує їх застосування до вихідної напруги приблизно 20 кВ.

На рис. 7.3 й рис. 7.4 наведені схеми двонапівперіодних помножувачів. До переваг першого (рис.7.3) слід віднести такі: до конденсаторів $C1$, $C3$ докладена тільки амплітудне напруга, навантаження на діоди рівномірна, досягається хороша стабільність вихідної напруги. Другий помножувач, схема якого наведена на

рис. 7.4, відрізняють такі якості, як можливість забезпечення високої потужності, простота у виготовленні, рівномірний розподіл навантаження між компонентами, велике число ступенів множення.

При розрахунку помножувача слід задати його основні параметри: вихідна напруга, вихідну потужність, вхідна змінна напруга, необхідні габарити, умови роботи (температура, вологість).

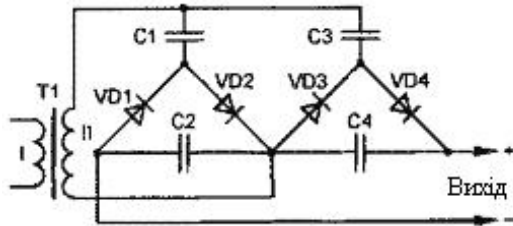


Рисунок 7.3 – Третя схема помножувача напруги

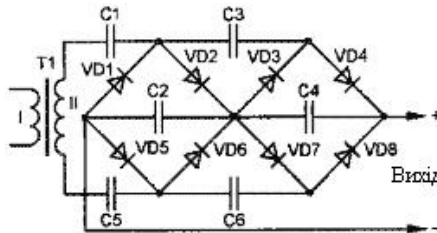


Рисунок 7.4 – Четверта схема помножувача напруги

Крім того, необхідно врахувати деякі обмеження: вхідна напруга може бути не більше 15 кВ, частота змінної напруги обмежена в межах 5 ... 100 кГц, вихідна напруга – не більше 150 кВ, інтервал робочої температури від -55 до +125 °С, а вологості – 0 ... 100%. На практиці розробляють і застосовують помножувачі з вихідною потужністю до 50 Вт, хоча реально досяжні значення в 200 Вт і більше.

Вихідна напруга помножувача залежить від струму навантаження. За умови, що вхідна напруга і частота постійні, воно визначається формулою:

$$U_{вих} = N \cdot U_{вх} - \left(\frac{I \cdot (N^3 + 2,25N^2 + 0,5N)}{12 \cdot f \cdot C} \right) \quad (7.1)$$

де I – струм навантаження, А;
 N – число ступенів помножувача;
 f – частота вхідної напруги, Гц;
 C – ємність конденсатора ступені, Ф.

Задаючи вихідну напругу, струм, частоту й число ступенів, з неї обчислюють необхідну ємність конденсатора ступенів.

Ця формула приведена для розрахунку послідовного помножувача. У паралельному для отримання того ж вихідного струму необхідна ємність менше. Так, якщо в послідовному ємність конденсатора 1000 пФ, то для триступінчатого паралельного помножувача буде потрібно ємність $1000 \text{ пФ} / 3 = 333 \text{ пФ}$. У кожній наступній ступені такого помножувача слід застосовувати конденсатори з великою номінальною напругою.

При практичній реалізації помножувача слід приділити особливу увагу вибору його елементів, їх розміщення та ізоляційних матеріалів. Конструкція повинна забезпечувати надійну ізоляцію щоб уникнути виникнення коронного розряду, який знижує надійність помножувача, призводить до виходу його з ладу. Якщо потрібно змінити полярність вихідної напруги, полярність включення діодів слід змінити на зворотну.

Імітаційні моделі відповідні електричним схемам рис. 7.1 та рис. 7.2 наведені відповідно на рис. 7.5 та рис. 7.6. Дослідження принципів функціонування помножувачів напруги згідно до схем рис. 7.3 та рис. 7.4 виконується самостійно.

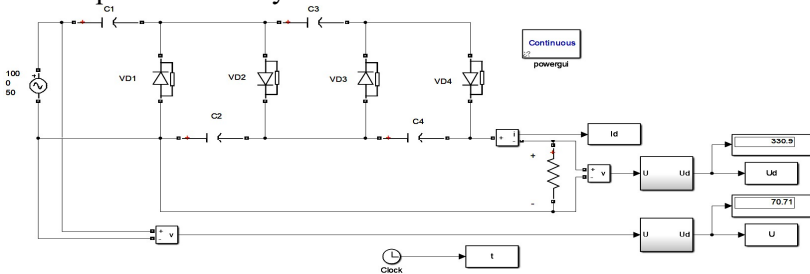


Рисунок 7.5 – Імітаційна модель послідовного однонапівперіодного помножувача постійної напруги

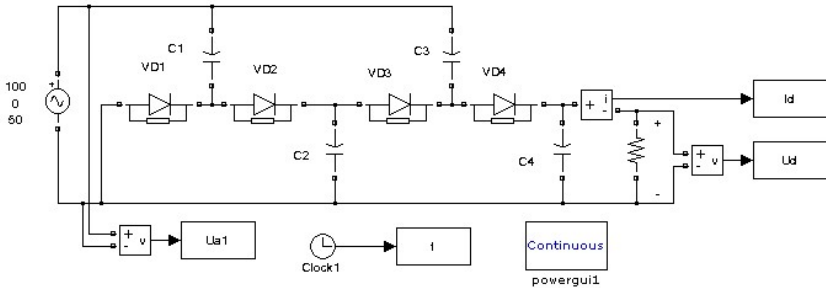


Рисунок 7.6 – Модель параллельного помножувача постійної напруги

7.2 Порядок виконання лабораторної роботи № 7

1) Проводимо дослідження роботи помножувачів постійної напруги в моделях на рис. 7.5 й рис. 7.6, для активного навантаження. Створення моделей помножувачів напруги за схемами рис. 7.3 та рис. 7.4 й дослідження характеру, принципу помноження проводиться самостійно.

2) Будемо електромагнітні процеси напруг та струмів на кожному елементі й в кожній ланці схеми, від джерела вхідної напруги до навантаження, на яке надається вихідна напруга.

3) Виконуємо досліди множення вхідної напруги мінімум в N разів відповідно до варіанту, наведеного в табл. 7.1. Множення потрібно виконати за трьома різними схемами.

Таблиця 7.1 – Індивідуальні завдання

Варіант	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8	№ 9	№ 10
$U_{вх}$, В	10	24	5	2	12	100	50	20	40	30
N	10	5	7	8	9	11	12	14	13	15
Варіант	№ 11	№ 12	№ 13	№ 14	№ 15	№ 16	№ 17	№ 18	№ 19	№ 20
$U_{вх}$, В	110	20	50	20	15	120	220	10	12	20
N	16	10	11	12	14	13	15	11	12	14
Варіант	№ 21	№ 22	№ 23	№ 24	№ 25	№ 26	№ 27	№ 28	№ 29	№ 30
$U_{вх}$, В	20	80	10	200	150	130	200	500	10	20
N	5	7	8	11	8	7	8	9	15	7

4) Оформляємо звіт.

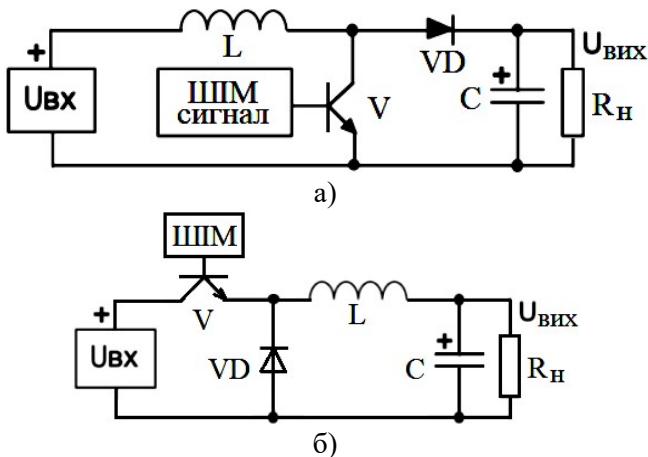
Лабораторна робота №8

DC-DC ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

Мета роботи: моделювання роботи схем та розглядання принципу роботи DC-DC перетворювачів.

8.1 Короткі теоретичні відомості

DC-DC перетворювачі застосовуються у обчислювальній апаратурі, засобах зв'язку, схемах управління та автоматики [1, 2]. Забезпечують зниження або підвищення напруги від джерела живлення (наприклад, акумуляторів або гальванічних елементів) до необхідного для живлення навантаження значення. Деякі моделі можуть інвертувати сигнал для отримання напруги зі зворотною полярністю. Керування транзистором здійснюється за допомогою ШІМ. На рис. 8.1 представлені функціональні схеми підвищуючого (а) та знижуючого (б) напругу DC-DC перетворювачів.



а – підвищуючий перетворювач; б – знижуючий перетворювач.

Рисунок 8.1 – Функціональні схеми DC-DC перетворювачів

Імітаційні моделі відповідні електричним схемам на рис.8.1 наведені на рис. 8.2 та рис. 8.3.

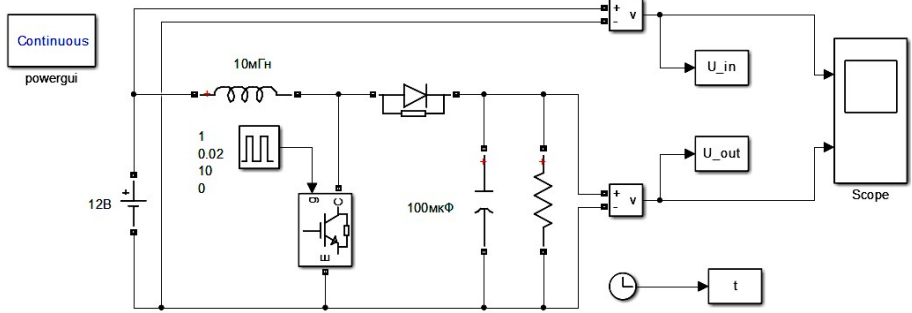


Рисунок 8.2 – Імітаційна модель підвищуючого DC-DC перетворювача

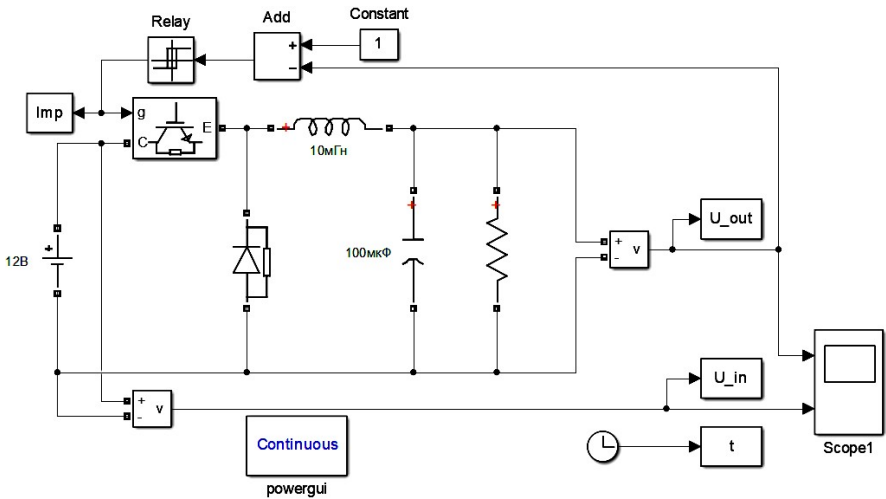


Рисунок 8.3 – Імітаційна модель знижуючого DC-DC перетворювача

8.2 Порядок виконання лабораторної роботи № 8

1) Проводимо дослідження роботи DC-DC перетворювачів за схемами моделей на рис. 8.2 та рис. 8.3, принципу дії та відповідних електромагнітних процесів.

2) Виконуємо збільшення (за схемою рис. 8.1, а) та зменшення (за схемою рис. 8.1, б) постійної напруги відповідно до варіанту, наведеного в табл. 8.1.

Таблиця 8.1 – Завдання для самостійної роботи

Варіант	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8	№ 9	№ 10
<i>U_{вх}</i> , В	10	24	50	20	12	100	50	20	40	30
<i>U_{вих1}</i> ,В	100	200	150	400	36	600	800	440	240	500
<i>U_{вих2}</i> ,В	1.5	5	12	4	2	20	10	5	1	12
Варіант	№ 11	№ 12	№ 13	№ 14	№ 15	№ 16	№ 17	№ 18	№ 19	№ 20
<i>U_{вх}</i> , В	110	20	45	30	15	120	220	110	12	20
<i>U_{вих1}</i> ,В	300	1000	800	600	450	1200	960	660	160	160
<i>U_{вих2}</i> ,В	25	4	15	2	5	20	24	12	2	1
Варіант	№ 21	№ 22	№ 23	№ 24	№ 25	№ 26	№ 27	№ 28	№ 29	№ 30
<i>U_{вх}</i> , В	20	80	10	200	150	130	200	500	10	20
<i>U_{вих1}</i> ,В	45	240	140	1850	450	900	1000	1500	110	250
<i>U_{вих2}</i> ,В	10	12	2	20	50	15	10	8	2	5

3) Оформляємо звіт.

Перелік джерел посилання

1. Yu P.Y., Cardona M. Fundamentals of Semiconductors. Springer, 2010. 793 p. DOI 10.1007/978-3-642-00710-1
2. Grundmann M. The Physics of Semiconductors. Springer, 2016. 998p. DOI 10.1007/978-3-319-23880-7
3. Sze S.M., Lee M.K. Semiconductor Devices. JOHN WILEY & SONS, 2012. 590 p. ISBN 978-0470-53794-7
4. Шавьолкін О.О. Силові напівпровідникові перетворювачі енергії: навчальний посібник. Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2015. 404 с.
5. Гончаров Ю.П., Бубьонний О. В., Морозов В. Г. Перетворювальна техніка: підр. Ч.2. Харків: Фоліо, 2000. 360 с.