

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ І СПОРТУ УКРАЇНИ

Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Електроживлення
систем зв’язку” для студентів спеціальності 6.050903
“Телекомунікації” усіх форм навчання

2011

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Електроживлення систем зв’язку” для студентів спеціальності 6.050903 “Телекомунікації” усіх форм навчання /Укл.:В.О.Костенко, - Запоріжжя: ЗНТУ, 2011. - 66с.

Укладачі: В.О.Костенко, доцент, к.т.н.

Рецензент: Б.М.Бондарев, доцент, к.т.н.

Відповідальний

за випуск: В.О.Костенко, доцент, к.т.н.

Експерт: Д.М.Піза, професор, доктор техн. наук

Затверджено:

на засіданні кафедри “Радіотехніки та телекомунікацій”

Протокол № 1 від “ 01 ” вересня 2011

Зміст

Вступ.....	5
1 Лабораторна робота № 1	6
1.1 Теоретичні відомості.....	6
1.2 Література	7
1.3 Домашнє завдання	7
1.4 Контрольні запитання.....	7
1.5 Лабораторне завдання.....	8
1.6 Опис лабораторного макету.....	8
1.7 Методика виконання лабораторної роботи.....	18
1.8 Зміст протоколу.....	21
2 Лабораторна робота № 2	22
2.1 Теоретичні відомості	22
2.2 Література	25
2.3 Домашнє завдання	25
2.4 Контрольні запитання	25
2.5 Лабораторне завдання	25
2.6 Опис лабораторного макету	26
2.7 Методика виконання лабораторної роботи	28
2.8 Зміст протоколу	31
3 Лабораторна робота № 3	32
3.1 Теоретичні відомості	32
3.2 Література	36
3.3 Домашнє завдання	36
3.4 Контрольні запитання	37
3.5 Лабораторне завдання	37
3.6 Опис лабораторного макету	38
3.7 Методика виконання лабораторної роботи	40
3.8 Зміст протоколу	42
4 Лабораторна робота №4	43
4.1 Теоретичні відомості	43
4.2 Література	46
4.3 Домашнє завдання	46
4.4 Контрольні запитання	46

4.5 Лабораторне завдання	47
4.6 Опис лабораторного макету	47
4.7 Методика виконання лабораторної роботи	49
4.8 Зміст протоколу	50
5 Лабораторна робота №5	51
5.1 Теоретичні відомості	51
5.2 Література	53
5.3 Домашнє завдання	53
5.4 Контрольні запитання	53
5.5 Лабораторне завдання	53
5.6 Опис лабораторного макету	54
5.7 Методика виконання лабораторної роботи	55
5.8 Зміст протоколу	57
6 Лабораторна робота №6	58
6.1 Теоретичні відомості	58
6.2 Література	60
6.3 Домашнє завдання	60
6.4 Контрольні запитання	61
6.5 Лабораторне завдання	61
6.6 Опис лабораторного макету	61
6.7 Методика виконання лабораторної роботи	65
6.8 Зміст протоколу	66

Вступ

Методичні вказівки розраховані на використання відповідного програмного забезпечення, яке встановлено на кожному персональному комп'ютері класу кафедри РТТ.

Це методичне та програмне забезпечення розроблено у Одеській Національній академії зв'язку ім. О.С.Попова під керівництвом д.т.н., професора Кадацького А.Ф. і передано в ЗНТУ згідно акту впровадження матеріалів дисертаційної роботи Русу О.П. від 20.03.2006р. Пізніше, у 2009 році, вийшов з друку посібник А.Ф.Кадацький, О.П.Русу «Лабораторний практикум», Одеса, ОНАЗ ім. О.С.Попова, 299 с., до якого увійшли доопрацьовані лабораторні роботи, наведені в даних методичних вказівках.

Теми лабораторних робіт відібрані й узгоджені з програмою підготовки бакалаврів за напрямком вищої освіти 0924 – телекомунікації.

1 Лабораторна робота №1

Дослідження режимів роботи однофазного мостового випрямляча

Мета роботи – оволодіння методу дослідження характеристик однофазного некерованого мостового випрямляча, працюючого на різні типи навантаження

1.1 Теоретичні відомості

Функціональна схема малопотужного випрямляча зображена на рисунку 1.1. Означення на схемі: Т – трансформатор, який узгоджує напругу на вході випрямляча з напругою первинної мережі, а також забезпечує гальванічну розв'язку вхідних і вихідних кіл; В – випрямляч, який забезпечує перетворення змінної напруги первинної мережі у пульсуючу; Ф – згладжуючий фільтр, який зменшує пульсації випрямленої напруги; Н – навантаження.



Рисунок 1.1 – Малопотужне джерело живлення

Режим роботи випрямляча визначається згладжуючим фільтром. При цьому виділяють три основні типи навантаження:

- а) активне;
- б) індуктивне;
- в) ємнісне.

Різниця роботи випрямляча при різних характерах навантаження полягає у зміні величини та форми випрямленої напруги (U_0), струму (I_0), струмів в первинній та вторинній (I_1 , I_2) обмотках трансформатора. Зміна вказаних величин є основним моментом у вивченні роботи випрямляча. Ці зміни можна встановити, попередньо ознайомившись з теорією випрямлення, яка описана у літературі 1, 2.

1.2 Література

1. Китаев В.Е. Электропитание устройств связи / Китаев В.Е., Бокуняев А.А., Колканов М.Ф. – М: Связь, 1975.
2. Иванов-Цыганов А.И. Электротехнические устройства радиосистем. / Иванов-Цыганов А.И. – М.: Высшая школа, 1973.

1.3 Домашнє завдання

1.3.1 Вивчити характер фізичних процесів, які відбуваються у випрямлячі при активному, індуктивному та ємнісному характері навантаження. Розібратися із побудовою зовнішніх характеристик випрямляча $U_0 = f(I_0)$.

1.3.2 У протоколі накреслити схеми однофазного мостового випрямляча з ємнісним та індуктивним фільтрами, а також діаграми напруги U_0 , струмів I_0 , I_d (діода) та I_2 (вторинної обмотки) для активного, індуктивного та ємнісного характерів навантаження ідеального випрямляча.

1.3.3 Відповісти на контрольні запитання 1 – 6 з розділу 1.4.

1.3.4 Ознайомитися з методикою виконання даної роботи, приведеної у розділі 1.7.

1.3.5 Підготувати бланк звіту, у якому привести інформацію, потрібну (на думку студента) для виконання лабораторної роботи.

1.4 Контрольні запитання

1.4.1 Поясніть роботу схеми випрямляча при активному, індуктивному та ємнісному характері навантаження.

1.4.2 Поясніть діаграми випрямленої напруги U_0 , струму I_0 , струму через діод I_d , струму I_2 вторинної обмотки трансформатора при активному, індуктивному та ємнісному характері навантаження.

1.4.3 Зробіть порівняння схеми, використовуючи основні співвідношення струмів, напруг та потужностей для різного характеру навантаження.

1.4.4 Поясніть зовнішні характеристики випрямляча при роботі на активне, індуктивне та ємнісне навантаження.

1.4.5 У чому різниця між осцилограмами знятими у пунктах 2 – 4 розділу 1.5 та осцилограмами, приведеними у домашньому завданні для індуктивного та ємнісного характерів навантаження?

1.4.6 Приведіть переваги та недоліки мостової схеми випрямлення порівняно з іншими однофазними схемами випрямлення.

1.5 Лабораторне завдання

1.5.1 Ознайомтеся із описом лабораторного макету, наданому у розділі 1.6.

1.5.2 Проведіть дослідження роботи мостового випрямляча на активне навантаження згідно з методикою, наданою у п.1.7.1 розділу 1.7.

1.5.3 Проведіть дослідження роботи мостового випрямляча на ємнісне навантаження згідно з методикою, наданою у п.1.7.2 розділу 1.7.

1.5.4 Проведіть дослідження роботи мостового випрямляча на індуктивне навантаження згідно з методикою, наданою у п.1.7.3 розділу 1.7.

1.5.5 Проведіть дослідження роботи мостового випрямляча на Г-образний фільтр згідно з методикою, наданою у п.1.7.4 розділу 1.7.

1.5.6 Проведіть дослідження роботи мостового випрямляча на П-образний фільтр згідно з методикою, наданою у п.1.7.5 розділу 1.7.

1.5.7 Приведіть у одній системі координат зовнішні характеристики випрямляча $U_n = f(I_n)$, зняті у п. 2 – 6. Зробіть висновки по отриманим результатам.

1.6 Опис лабораторного макету

1.6.1 Склад і можливості лабораторного макета.

Лабораторний макет зображений на рисунку 1.2. Він містить:

- а) джерело синусоїдальної напруги U_1 ;
- б) двохполуперіодний випрямляч, утворений діодами $VD1 - VD4$;
- в) чотири типи згладжуючих фільтрів, утворених елементами $C1, C2, L1$;
- г) опір навантаження $R1$;

- д) вимикач навантаження;
- е) двохпроменевий осцилограф;
- є) вольтметр напруги живлення $V1$;
- ж) амперметр струму, споживаного від джерела живлення $A1$;
- з) вольтметр вихідної напруги $V2$;
- и) амперметр струму навантаження $A2$.



Рисунок 1.2 – Лабораторний макет

Лабораторний макет забезпечує:

- а) дослідження 5 варіантів навантаження випрямляча;
- б) зміна опору навантаження $R1$ в межах 1 ... 100 Ом з інтервалом 1 Ом;
- в) повне відключення опору навантаження;
- г) контроль діючого значення напруги живлення;
- д) контроль діючого значення струму, споживаного від джерела живлення;
- е) контроль діючого значення вихідної напруги;
- є) контроль діючого значення струму навантаження;

ж) контроль діаграм напруг і струмів всіх елементів досліджуваної схеми, а також напруги на виході випрямляча і вихідного струму випрямляча (контрольна точка P_0);

з) збереження в пам'яті осцилографа останнього періоду моделювання;

и) режим паузи моделювання;

і) контроль загального часу моделювання.

1.6.2 Вибір досліджуваної схеми.

Вибір досліджуваної схеми здійснюється за допомогою перемикача схеми дослідження (рисунок 1.2).

Лабораторний макет дозволяє досліджувати наступні режими роботи випрямляча:

а) робота без фільтра, який згладжує, на активне навантаження (рисунок 1.3);

б) робота на індуктивне навантаження (рисунок 1.4);

в) робота на ємнісне навантаження (рисунок 1.5);

г) робота на Г-образний фільтр (рисунок 1.6);

д) робота на П-образний фільтр (рисунок 1.7).

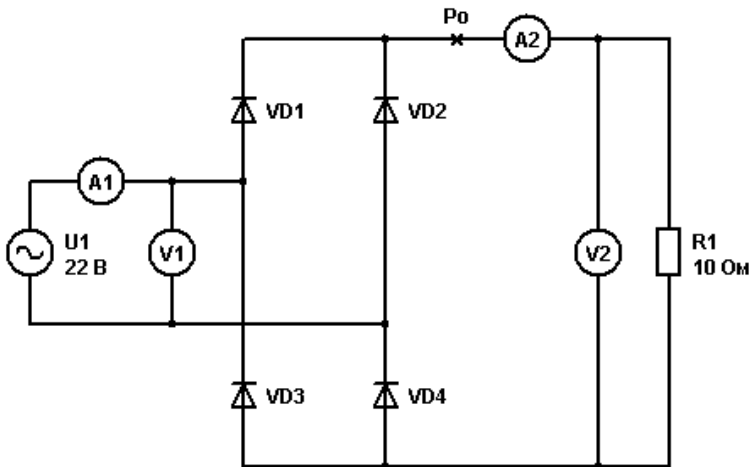


Рисунок 1.3 – Робота на активне навантаження

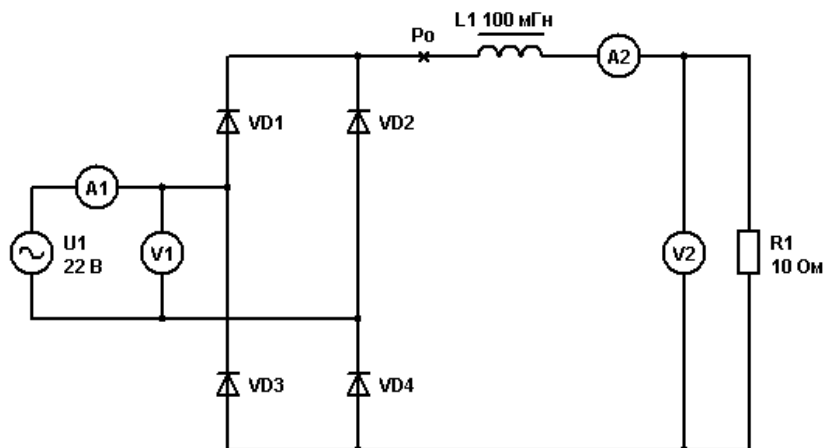


Рисунок 1.4 – Робота на індуктивне навантаження

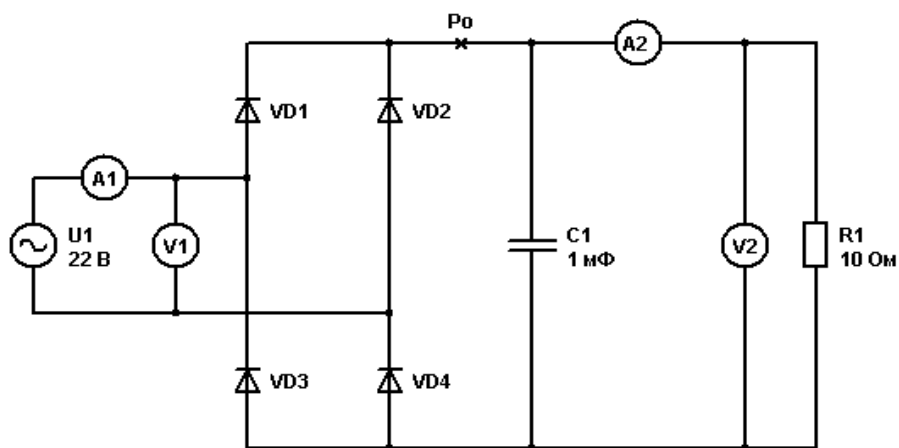


Рисунок 1.5 – Робота на ємнісне навантаження

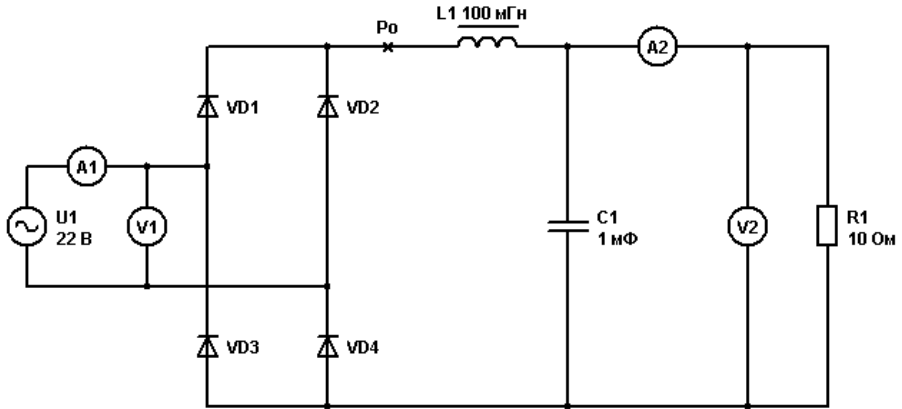


Рисунок 1.6 – Робота на Г-образний фільтр

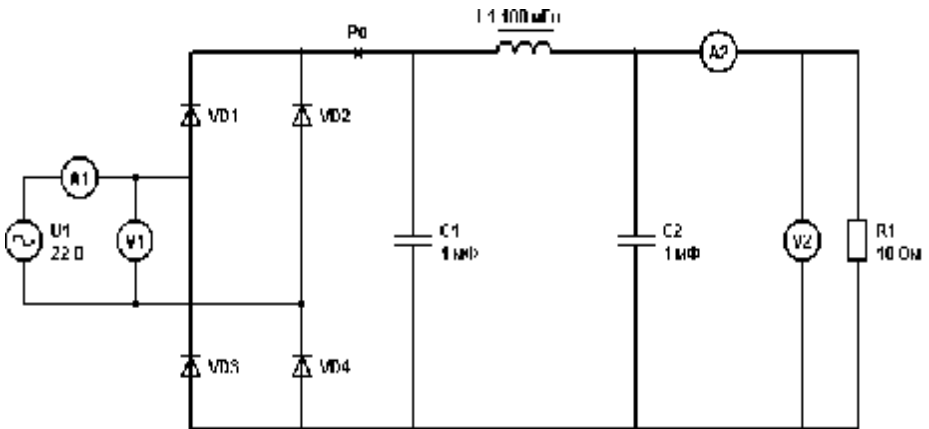


Рисунок 1.7 – Робота на П-образний фільтр

1.6.3 Зміна параметрів елементів.

Для редагування параметрів елементів необхідно підвести курсор миші до позиційного номера елемента. Якщо редагування параметрів можливо, позиційний номер засвітиться червоним кольором (рисунок 1.8). Для входу в режим редагування необхідно провести подвійне натиснення на ліву кнопку миші. При цьому,

залежно від типу елемента, з'явиться одне з вікон редагування, приведених на рисунках 1.9 – 1.11.

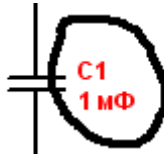


Рисунок 1.8 – Редагування параметрів елемента

Лабораторний макет дозволяє редагувати наступні елементи:

- а) джерело синусоїдальної напруги $U1$ (вихідна напруга, внутрішній опір, частота). Вікно редагування зображено на рисунку 1.9;
- б) дросель $L1$ (індуктивність). Вікно редагування зображено на рисунку 1.10;
- в) конденсатори $C1$, $C2$ (ємність). Вікно редагування зображено на рисунку 1.11.

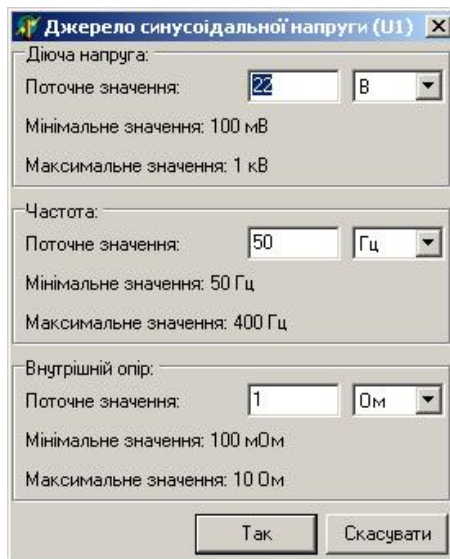


Рисунок 1.9 – Редагування параметрів джерела синусоїдальної напруги

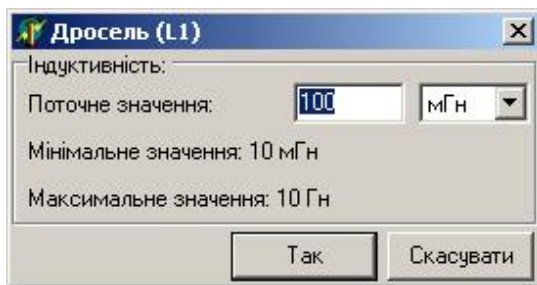


Рисунок 1.10 – Вікно редагування параметрів дроселя

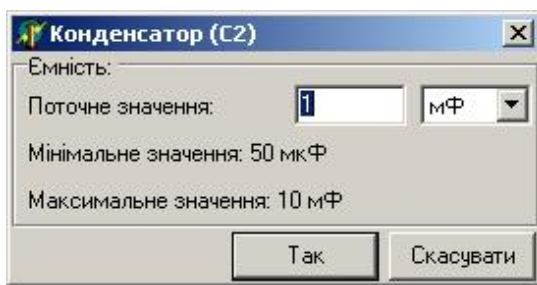


Рисунок 1.11 – Вікно редагування параметрів конденсатора

1.6.4 Осцилограф лабораторного макета.

1.6.4.1 Основні характеристики.

Лабораторний макет містить двохпроменевий осцилограф, для відображення якого необхідно підвести курсор миші до вкладки «Осцилограф» (рисунок 1.2) і натиснути ліву кнопку миші. Панель осцилографа зображена на рисунку 1.12.

Осцилограф забезпечує:

- а) зміну тривалості розгортки по горизонталі від 1 мкс / клітину до 0,5 с / клітину;
- б) зміщення зображення по горизонтальній осі на 5 клітин ліворуч або праворуч з інтервалом 0,1 клітин;
- в) зміна кольору фону екрану;
- г) зміна кольору кожного з променів;
- д) вимкнення кожного з променів;

- е) зміна масштабу кожного з променів в межах від 1 мВ (мА) / клітину до 0,5 кВ (кА) / клітину;
- є) зміщення по вертикалі кожного з променів на 5 клітин вгору або вниз з інтервалом 0,1 клітин;
- ж) індикацію зміщення кожного з променів;
- з) підключення кожного променя до будь-якої з дозволених точок схеми;
- и) збереження в пам'яті останнього періоду відображених значень.

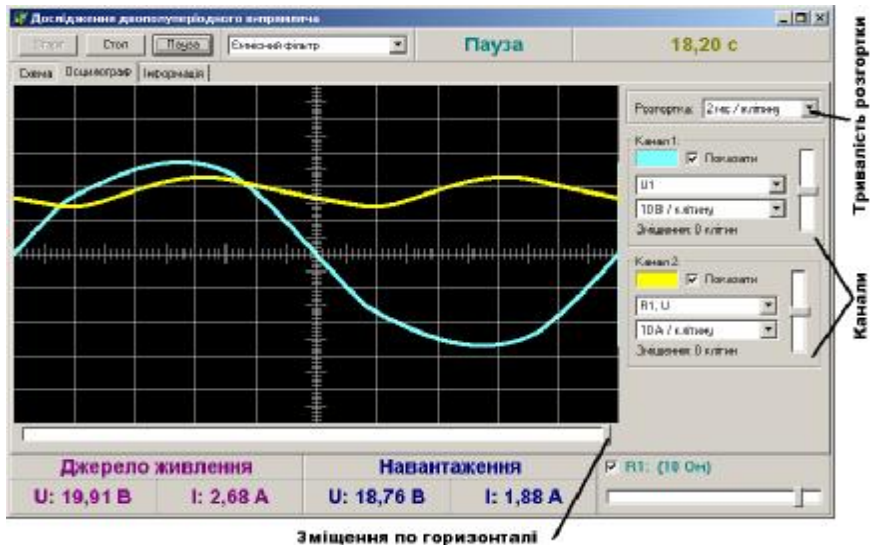


Рисунок 1.12 – Панель осцилографа

1.6.4.2 Зміна кольору екрану.

Для зміни кольору екрану осцилографа необхідно підвести курсор миші до будь-якого місця екрану і двічі натиснути ліву кнопку. При цьому з'явиться вікно вибору кольору, зображене на рисунку 1.13.



Рисунок 1.13 – Вікно вибору кольору

1.6.4.3 Зміна масштабу по горизонталі.

Масштаб по горизонталі вибирається із списку (рисунок 1.12). При зміні масштабу відбудеться зупинка розрахунку на період не більше двох секунд.

1.6.4.4 Зміна настройок каналу.

Настройки каналу осцилографа зображені на рисунку 1.14. Для зміни кольору променя необхідно підвести курсор миші до колірної панелі і двічі натиснути ліву кнопку. При цьому з'явиться вікно редагування кольору, зображене на рисунку 1.13. Скорочене позначення точок підключення каналу до схеми відповідає таблиці 1.1.

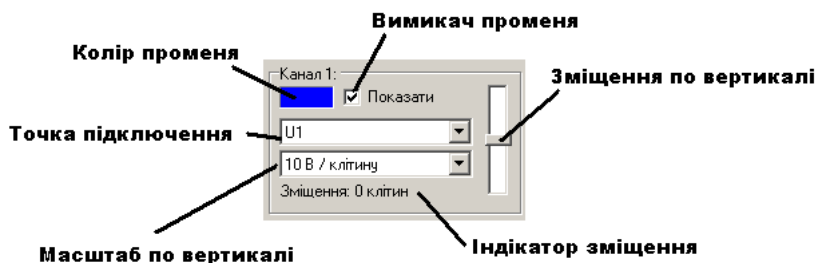


Рисунок 1.14 – Настройки каналу осцилографа

Таблиця 1.1

Позначення	Точка підключення
U1	Напруга джерела синусоїдальної напруги <i>U1</i>
I1	Струм джерела синусоїдальної напруги <i>U1</i>
VD1, U	Напруга на діоді <i>VD1</i>
VD1, I	Струм діода <i>VD1</i>
VD2, U	Напруга на діоді <i>VD2</i>
VD2, I	Струм діода <i>VD2</i>
VD3, U	Напруга на діоді <i>VD3</i>
VD3, I	Струм діода <i>VD3</i>
VD4, U	Напруга на діоді <i>VD4</i>
VD4, I	Струм діода <i>VD4</i>
R1, U	Напруга на навантаженні
R1, I	Струм навантаження
Po, U	Напруга на виході випрямляча
Po, I	Вихідний струм випрямляча
C1, U	Напруга на конденсаторі <i>C1</i>
C1, I	Струм конденсатора <i>C1</i>
C2, U	Напруга на конденсаторі <i>C2</i>
C2, I	Струм конденсатора <i>C2</i>
L1, U	Напруга на дроселі <i>L1</i>
L1, I	Струм дроселя <i>L1</i>

1.6.5 Опір навантаження.

Зміна опору навантаження відбувається за допомогою повзунка (рисунок 1.2). Для зміни опору навантаження необхідно підвести курсор миші до повзунка, натиснути ліву кнопку і, не відпускаючи її, пересунути мишу управо або вліво. Зміна опору буде відображена на екрані. При відключенні навантаження відбудеться зміна досліджуваної схеми (рисунок 1.15). Зміна опору навантаження при цьому стане неможливою.



Рисунок 1.15 – Відключення навантаження

1.6.6 Виконання моделювання.

Для початку моделювання необхідно підвести курсор до кнопки «Старт» і натиснути ліву кнопку миші. При цьому на панелі стану моделювання відобразиться напис «Моделювання», а на панелі часу відобразиться поточний час моделювання (рисунок 1.2). Для припинення моделювання необхідно підвести курсор до кнопки «Пауза» і натиснути ліву кнопку миші. На панелі стану при цьому відобразиться «Пауза». Повторне натиснення на кнопці «Пауза» відновить моделювання. Зупинка моделювання здійснюється натисненням на кнопку «Стоп».

1.7 Методика виконання лабораторної роботи

1.7.1 Дослідження роботи мостового випрямляча на активне навантаження.

1.7.1.1 Виберіть перемикачем схеми дослідження активне навантаження (рисунок 1.3).

1.7.1.2 Відключіть навантаження.

1.7.1.3 Почніть моделювання, натиснувши на кнопку «Старт».

1.7.1.4 Зніміть показання вихідної напруги у режимі холостого ходу, результат занесіть у таблицю 1.1

1.7.1.5 Підключіть навантаження.

1.7.1.6 Змінюючи опір навантаження від максимум до мінімуму, зніміть показання вихідної напруги та струму навантаження. Виміри занесіть у таблицю 1.2.

1.7.1.7 Установіть опір навантаження близько 30 Ом і замалюйте осцилограми напруги генератора, струму генератора, струмів діодів, вихідного струму випрямляча, а також напругу на навантаженні. При малюванні осцилограм потрібно витримати однаковий масштаб по осі часу, початки координат кожного графіку повинні знаходитися на одній вертикальній лінії.

Таблиця 1.2

$R1$, Ом	∞	100	50	25	15	10	5	3	1
U , В									
I , мА									

1.7.2 Дослідження роботи мостового випрямляча на індуктивне навантаження.

1.7.2.1 Виберіть перемикачем схеми дослідження індуктивне навантаження (рисунок 1.4).

1.7.2.2 Відключіть навантаження.

1.7.2.3 Почніть моделювання, натиснувши на кнопку “Старт”.

1.7.2.4 Зніміть показання вихідної напруги у режимі холостого ходу, результат занесіть у таблицю 1.3.

1.7.2.5 Підключіть навантаження.

1.7.2.6 Змінюючи опір навантаження від максимум до мінімуму, зніміть показання вихідної напруги та струму навантаження. Виміри занесіть у таблицю 1.3.

1.7.2.7 Установіть опір навантаження близько 30 Ом і замалюйте осцилограми напруги генератора, струму генератора, струмів діодів, вихідного струму випрямляча, а також напругу на навантаженні. При малюванні осцилограм потрібно витримати однаковий масштаб по осі часу, початки координат кожного графіку повинні знаходитися на одній вертикальній лінії.

Таблиця 1.3

$R1$, Ом	∞	100	50	25	15	10	5	3	1
U , В									
I , мА									

1.7.3 Дослідження роботи мостового випрямляча на ємнісне навантаження.

1.7.3.1 Виберіть перемикачем схеми дослідження ємнісне навантаження (рисунок 1.5).

1.7.3.2 Відключіть навантаження.

1.7.3.3 Почніть моделювання, натиснувши на кнопку “Старт”.

1.7.3.4 Зніміть показання вихідної напруги у режимі холостого ходу, результат занесіть у таблицю 1.4.

1.7.3.5 Підключіть навантаження.

1.7.3.6 Змінюючи опір навантаження від максимум до мінімуму, зніміть показання вихідної напруги та струму навантаження. Виміри занесіть у таблицю 1.4.

1.7.3.7 Установіть опір навантаження близько 30 Ом і замалюйте осцилограми напруги генератора, струму генератора, струмів діодів, вихідного струму випрямляча, а також напругу на навантаженні. При малюванні осцилограм потрібно витримати однаковий масштаб по осі часу, початки координат кожного графіку повинні знаходитися на одній вертикальній лінії.

Таблиця 1.4

R_L , Ом	∞	100	50	25	15	10	5	3	1
U , В									
I , мА									

1.7.4 Дослідження роботи мостового випрямляча на Г-образний фільтр

1.7.4.1 Виберіть перемикачем схеми дослідження Г-образного фільтра (рисунок 1.6).

1.7.4.2 Відключіть навантаження.

1.7.4.3 Почніть моделювання, натиснувши на кнопку “Старт”.

1.7.4.4 Зніміть показання вихідної напруги у режимі холостого ходу, результат занесіть у таблицю 1.5.

1.7.4.5 Підключіть навантаження.

1.7.4.6 Змінюючи опір навантаження від максимум до мінімуму, зніміть показання вихідної напруги та струму навантаження. Виміри занесіть у таблицю 1.5.

Таблиця 1.5

$R1, \text{ Ом}$	∞	100	50	25	15	10	5	3	1
$U, \text{ В}$									
$I, \text{ мА}$									

1.7.5 Дослідження роботи мостового випрямляча на П-образний фільтр.

1.7.5.1 Виберіть перемикачем схеми дослідження П-образного фільтра (рисунок 1.7).

1.7.5.2 Відключіть навантаження.

1.7.5.3 Почніть моделювання, натиснувши на кнопку “Старт”.

1.7.5.4 Зніміть показання вихідної напруги у режимі холостого ходу, результат занесіть у таблицю 1.6.

1.7.5.5 Підключіть навантаження.

1.7.5.6 Змінюючи опір навантаження від максимум до мінімуму, зніміть показання вихідної напруги та струму навантаження. Виміри занесіть у таблицю 1.6.

Таблиця 1.6

$R1, \text{ Ом}$	∞	100	50	25	15	10	5	3	1
$U, \text{ В}$									
$I, \text{ мА}$									

1.8 Зміст протоколу

1.8.1 Схеми та діаграми роботи однофазного мостового випрямляча на активне, індуктивне та ємнісне навантаження.

1.8.2 Результати досліджень (таблиці та графіки).

1.8.3 Виводи по виконаній роботі.

2 Лабораторна робота №2

Дослідження трифазних схем випрямлячів

Мета роботи: практичне знайомство з роботою трифазних схем випрямлячів. Експериментальне визначення деяких співвідношень та параметрів схем випрямлення і порівняння їх з теоретичними.

2.1 Теоретичні відомості

2.1.1 Кут перекриття фаз

При роботі реального випрямляча на індуктивне навантаження на його роботу значно впливає індуктивність розсіювання обмоток трансформатора. Схема трифазного випрямляча з урахуванням індуктивності розсіювання обмоток трансформатора зображена на рисунку 2.1. Оскільки у колі навантаження знаходиться велика індуктивність L , то у цьому колі протікає постійний струм. Цей струм складається із струмів фаз випрямляча, які діють по черзі. Оскільки у колі кожної фази знаходиться індуктивність розсіювання, то струм у колі фази не може змінитися стрибком. Отже, струм однієї фази починає плавно зменшуватися до нуля, а струм другої фази плавно збільшуватися до номінального значення, тобто обидві фази діють разом (рисунок 2.2)

Час, виражений у кутових одиницях, в перебігу якого діють обидві фази називається кутом перекриття фаз γ (див. рисунок 2.2).

Кут перекриття фаз визначається за формулою:

$$\cos \gamma = 1 - \frac{I_0 m \omega L_b}{\pi U_{ox}},$$

де I_0 – струм у колі навантаження, m – кратність випрямлення схеми випрямляча, $\omega = 2\pi f$ – кругова частота, f – частота мережі живлення, U_{ox} – напруга на виході випрямляча у режимі холостого ходу, $L_b = L_{b2} + L'_{b1}$ – приведена індуктивність розсіювання первинної обмотки до вторинної.

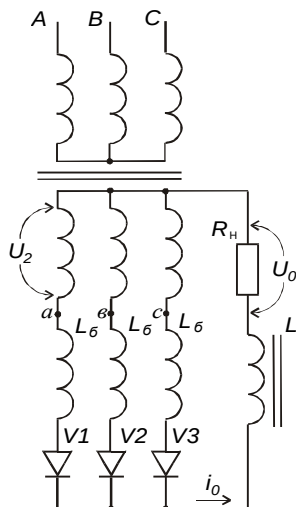


Рисунок 2.1

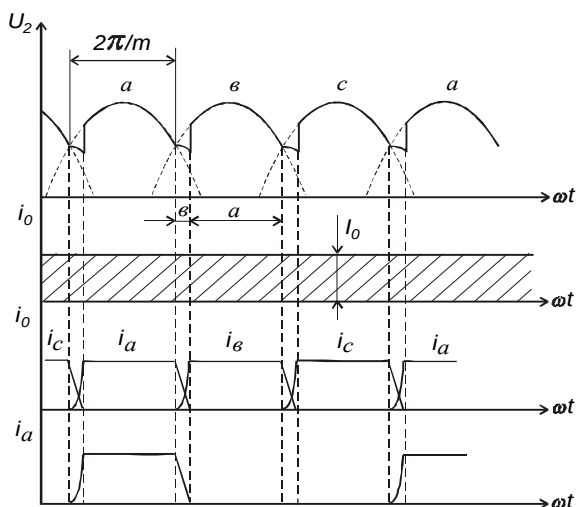


Рисунок 2.2

2.1.2 Основні розрахункові співвідношення випрямлячів, працюючих на індуктивне навантаження приведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Співвідношення	Трифазна схема	Трифазна мостова схема
1	2	3
Кратність випрямлення	$m = 3$	$m = 6$
Напруга вторинної обмотки, в	$U_2 = 0,855U_{ox}$	$U_2 = 0,43U_{ox}$
Струм вторинної обмотки, А	$I_2 = 0,58I_0$	$I_2 = 0,815I_0$
Струм первинної обмотки, А	$I_1 = 0,47I_0 \frac{U_2}{U_1}$	$I_1 = 0,815I_0 \frac{U_2}{U_1}$
Частота пульсацій, Гц	$f_{п1} = mf_1$	$f_{п1} = mf_1$
Коефіцієнт пульсацій при $\gamma = 0$	$k_{п1} = \frac{2}{m^2 - 1}$	$k_{п1} = \frac{2}{m^2 - 1}$
1	2	3

Габаритна потужність первинної обмотки, ВА вторинної обмотки, ВА трансформатора, ВА	$S_1 = m_1 U_1 I_1$ $S_2 = m_2 U_2 I_2$ $S_{tp} = 0,5(S_1 + S_2)$	$S_1 = m_1 U_1 I_1$ $S_2 = m_2 U_2 I_2$ $S_{tp} = 0,5(S_1 + S_2)$
Корисна потужність на навантаженні, Вт	$P_0 = U_{ox} I_0$	$P_0 = U_{ox} I_0$
Коефіцієнт використання первинної обмотки вторинної обмотки трансформатора	$k_{B1} = P_0 / S_1$ $k_{B2} = P_0 / S_2$ $k_B = P_0 / S_{TP}$	$k_{ИСП1} = P_0 / S_1$ $k_{BCG2} = P_0 / S_2$ $k_{ИСП} = P_0 / S_{TP}$

2.1.3 На рисунку 2.3 приведені принципові схеми випрямлячів.

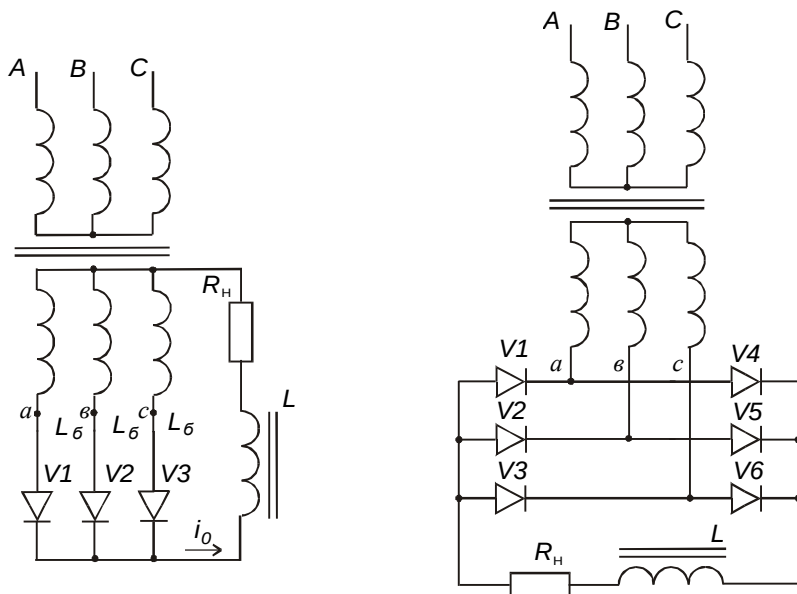


Рисунок 2.3 – Принципові схеми трифазних випрямлячів

2.2 Література

1. Китаев В.Е. Электропитание устройств связи / Китаев В.Е., Бокуняев А.А., Колканов М.Ф. – М: Связь, 1975.
2. Иванов-Цыганов А.И. Электротехнические устройства радиосистем. / Иванов-Цыганов А.И. – М.: Высшая школа, 1973.

2.3 Домашнє завдання

- 2.3.1 Накреслити схеми трифазних випрямлячів (рис 2.3).
- 2.3.2 Вивчити принципи роботи трифазних випрямлячів.
- 2.3.3 Дати відповіді на контрольні запитання 1 – 6 у розділі 2.4.
- 2.3.4 Ознайомитися з методикою виконання роботи, приведеної у розділі 2.7.
- 2.3.5 Підготувати бланк звіту, у якому привести інформацію, потрібну (на думку студента) для виконання лабораторної роботи.

2.4 Контрольні запитання

- 2.4.1 Покажіть, як протікає постійна складова струму навантаження для кожної з приведених схем на рисунку 2.3.
- 2.4.2 Які недоліки та переваги мають кожна з приведених схем?
- 2.4.3 Що таке кут перекриття фаз?
- 2.4.4 Від яких параметрів залежить кут перекриття фаз?
- 2.4.5 Як визначити величину зворотної напруги на діодах випрямляча?
- 2.4.6 Що таке зовнішня характеристика випрямляча?

2.5 Лабораторне завдання

- 2.5.1 Ознайомтеся із описом лабораторного макету, наданому у розділі 2.6.
- 2.5.2 Зняти та накреслити зовнішні характеристики випрямлячів згідно п. 2.7.1.
- 2.5.3 Визначити амплітуду пульсацій на виході випрямляча згідно п. 2.7.2.

2.5.4 Визначити частоту пульсацій згідно п. 2.7.3.

2.5.5 Визначити кут перекриття фаз згідно п. 2.7.4

2.6 Опис лабораторного макету

2.6.1 Склад і можливості лабораторного макета

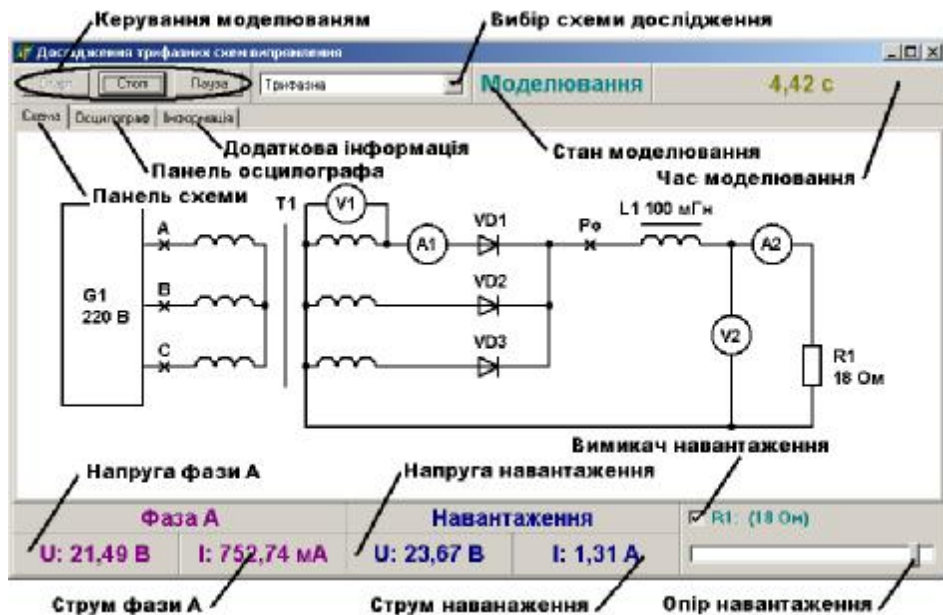


Рисунок 2.4 – Лабораторний макет

Лабораторний макет зображено на рисунку 2.4. Він містить:

- джерело трифазної синусоїдальної напруги $G1$;
- трифазний трансформатор $T1$;
- трифазний випрямляч, утворений діодами $VD1 - VD3$ (трифазна схема) або $VD1 - VD6$ (трифазна мостова схема);
- фільтр, який згладжує, утворений дроселем $L1$;
- опір навантаження $R1$;
- вимикач навантаження;
- чотирьохпроменевий осцилограф;
- вольтметр напруги фази А, $V1$;

- з) амперметр струму фази А, $A1$;
- и) вольтметр вихідної напруги, $V2$;
- ї) амперметр струму навантаження, $A2$.

Лабораторний макет забезпечує:

- а) дослідження 2 варіантів схем випрямляча;
- б) зміну опору навантаження $R1$ в межах 5 ... 200 Ом з інтервалом 1 Ом;
- в) повне відключення опору навантаження;
- г) контроль діючого значення напруги фази А;
- д) контроль діючого значення струму фази А;
- е) контроль діючого значення вихідної напруги;
- є) контроль діючого значення струму навантаження;
- ж) контроль діаграм напруг і струмів всіх елементів досліджуваної схеми, а також напруги на виході випрямляча і вихідного струму випрямляча (контрольна точка P_0);
- з) збереження в пам'яті осцилографа останнього періоду моделювання;
- и) режим паузи моделювання;
- ї) контроль загального часу моделювання;

2.6.2 Вибір досліджуваної схеми

Вибір досліджуваної схеми здійснюється за допомогою перемикача схеми дослідження (рисунок 2.4). Лабораторний макет дозволяє досліджувати наступні схеми випрямлення:

- а) трифазна схема (схема Міткевича) (рисунок 2.5);
- б) трифазна мостова (схема Ларіонова) (рисунок 2.6).

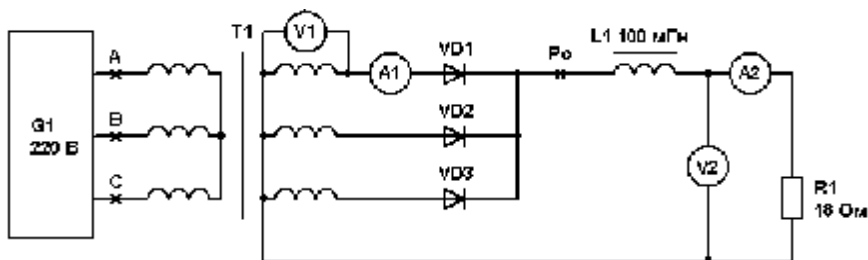


Рисунок 2.5 – Трифазна схема

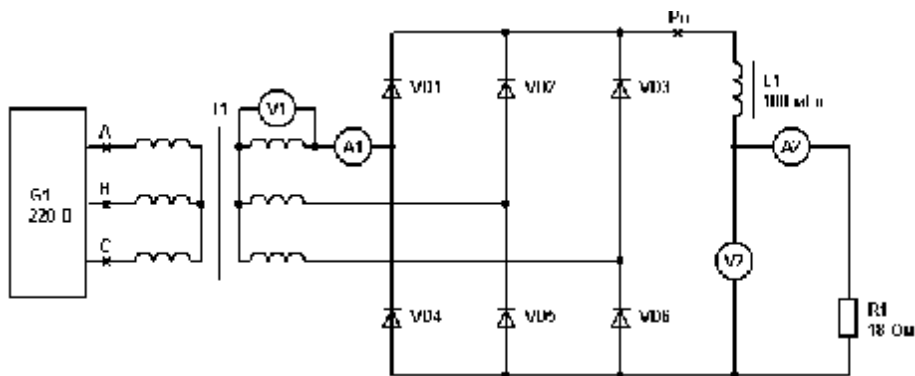


Рисунок 2.6 – Трифазна мостова схема

2.7 Методика виконання лабораторної роботи

2.7.1 Побудова зовнішніх характеристик.

Зовнішня характеристика – це залежність напруги на навантаженні від струму, який проходить через нього $U_n = f(I_n)$. У даній роботі потрібно побудувати дві зовнішні характеристики для трифазної та трифазної мостової схеми випрямлення. Для зняття зовнішньої характеристики потрібно:

- а) за допомогою перемикача схем (рисунок 2.4) вибрати потрібну схему;
- б) відключити навантаження;
- в) розпочати моделювання, натиснувши кнопку “Старт”;
- г) зняти напругу холостого ходу випрямляча. Результат занести до таблиці 2.2;
- д) підключити опір навантаження;
- е) змінюючи опір навантаження від максимуму до мінімуму зняти зовнішню характеристику. Результати занести до таблиці 2.2;
- є) подібним чином зняти зовнішню характеристику для іншої схеми випрямлення;
- ж) по результатам дослідження побудувати в одній системі координат дві зовнішні характеристики.

Таблиця 2.2

$R1, \text{ Ом}$	∞	200	150	100	50	25	10	7	5
$U_n, \text{ В}$									
$I_n, \text{ мА}$	0								

2.7.2 Визначення амплітуди пульсацій.

Амплітуда пульсацій визначається у режимі холостого ходу методом порівняння напруги пульсацій із синусоїдальною напругою мережі. Для цього потрібно:

- а) відключити опір навантаження;
- б) підключити один з каналів осцилографа на вхід трансформатора;
- в) вибрати масштаб таким, щоб синусоїда не виходила за межі екрану;
- г) визначити по екрану осцилографа значення l_1 – розмах синусоїди і α_1 – масштаб осцилографа по вертикальній осі;
- д) переключити осцилограф на вихід випрямляча;
- е) визначити розмах пульсації l_2 і масштаб α_2 ;
- є) визначити амплітуду обвідної за формулою

$$U_{m\grave{a}} = \frac{U_2 l_2 \alpha_2}{l_1 \alpha_1};$$

- ж) визначити амплітуду пульсації першої гармоніки

$$U_{m1} = 2\sqrt{2}U_{m\text{об}}\alpha_1,$$

де α_1 – коефіцієнт першої гармоніки,

для трифазної схеми $m = 3$; $\alpha_1 = 0,536$;

для трифазної мостової $m = 6$; $\alpha_1 = 0,391$.

2.7.3 Визначення частоти пульсацій

Частота пульсацій визначається методом порівняння частоти пульсацій на вході випрямляча з частотою пульсацій на виході при холостому ході випрямляча.

$$f_{n1} = N f_1.$$

де N – кількість періодів пульсації вихідної напруги у одному періоді напруги мережі.

2.7.4 Визначення кута перекриття фаз

Кут перекриття фаз визначається за допомогою осцилографу. Для зняття куту перекриття фаз потрібно виконати наступні дії:

- а) розпочати моделювання;
- б) встановити необхідний струм навантаження;
- в) підключити осцилограф на вихід випрямляча;
- г) обрахувати величину куту перекриття фаз за допомогою формули

$$g = \frac{360 \cdot b}{m \cdot a},$$

де a – тривалість часу дії фаз ідеального випрямляча відповідно до інтервалу $2\pi / m$, b – довжина кута перекриття фаз. Значення a і b у формулу потрібно підставляти у міліметрах або у числах клітин вимірювальної сітки осцилографа (рисунок 2.7).

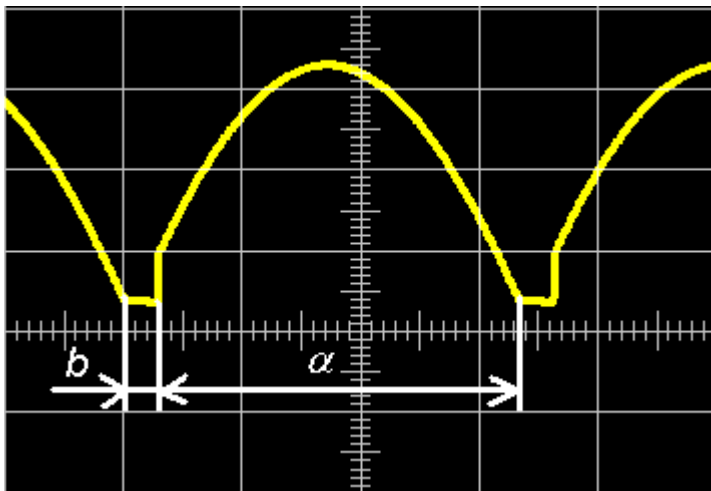


Рисунок 2.7 – Визначення куту перекриття фаз

2.8 Зміст протоколу

2.8.1 Схеми досліджуваних випрямлячів.

2.8.2 Результати досліджень, згідно п. 2.5.2. – 2.5.5.

2.8.3 Висновки по результатам досліджень.

3 Лабораторна робота №3

Дослідження трифазного тиристорного випрямляча

Мета роботи: проведення дослідження трифазного тиристорного випрямляча, виконуючого функцію регулятора та випрямляча напруги на різні характери навантаження і порівняння розрахункових та експериментальних даних.

3.1 Теоретичні відомості

Схема трифазного тиристорного випрямляча з нульовою точкою (рисунок 3.1) складається з трифазного трансформатора, трьох тиристорів, аноди яких підключені до відповідних фаз вторинної обмотки, а катоди об'єднані в єдину точку.

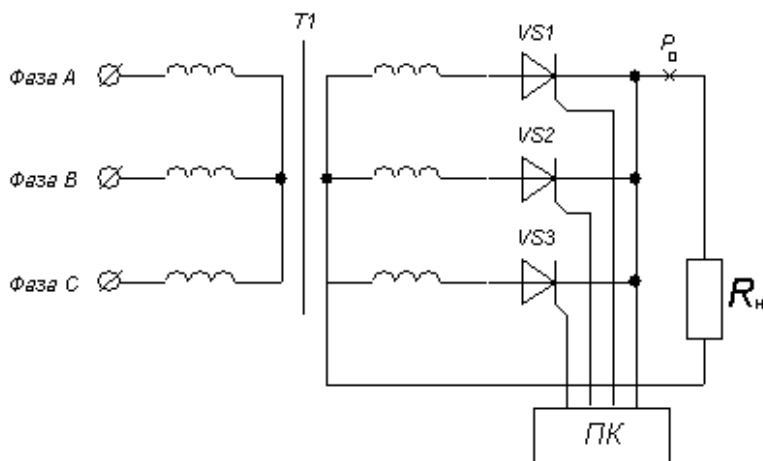


Рисунок 3.1 – Схема тиристорного випрямляча

Навантаження випрямляча вмикається поміж нульовою точкою трансформатора та катодами тиристорів. Керування тиристорами

проводиться імпульсами від пристрою керування, які зміщують кут регулювання відносно моментів природного відкривання клапанів в некерованому випрямлячі (точки t_1, t_2, t_5).

Розглянемо принцип дії схеми на активний характер навантаження при двох різних кутах регулювання α . На рисунку 3.2 показані криві напруги та струм для кута регулювання $\alpha = 30^\circ$. В момент часу t_1 напруга фази А перевищує напругу фази С, але тиристор VS3 залишається у відкритому стані, оскільки тиристор VS1 закритий. В момент часу t_2 на керуючий електрод тиристора VS1 подається імпульс керування – і він відпирається. Тиристор VS3 закривається, оскільки до нього прикладається зворотна напруга. Напруга на виході випрямляча стрибком зростає до напруги фази А. В інтервалі часу $t_2 \dots t_4$ напруга на виході випрямляча U_0 дорівнює напрузі фази А (U_A).

В момент часу t_4 відкривається тиристор VS2, а тиристор VS1 закривається зворотною напругою. Крива струму i_0 повторює форму кривої випрямленої напруги (рисунк 3.2). Зміна фази керуючих імпульсів веде до зміни кута регулювання α , а також до зміни середнього значення випрямленої напруги U_0 та середнього значення струму навантаження I_0 . З рисунка 3.2 видно, що при куті регулювання $\alpha \leq 30^\circ$ випрямлений струм має неперервний характер. При куті регулювання $\alpha > 30^\circ$ в кривій випрямленої напруги виникають паузи, впродовж яких $i_0 = 0$. На рисунку 3.2 приведено діаграми напруги та струмів для $\alpha = 60^\circ$. В процесі дослідження випрямляча необхідно зняти регулювальні характеристики – залежності $U_0 = j(\alpha)$. При $\alpha \leq 30^\circ$ залежність визначається:

$$U_0 = U_{0 \max} \cos(\alpha)$$

При $\alpha > 30^\circ$

$$U_0 = U_{0 \max} \frac{\sqrt{3}}{3} [1 + \cos(30 + \alpha)]$$

де $U_{0 \max} = 1,17U_2$ при $\alpha = 0^\circ$, U_2 – діюче значення напруги фази вторинної обмотки.

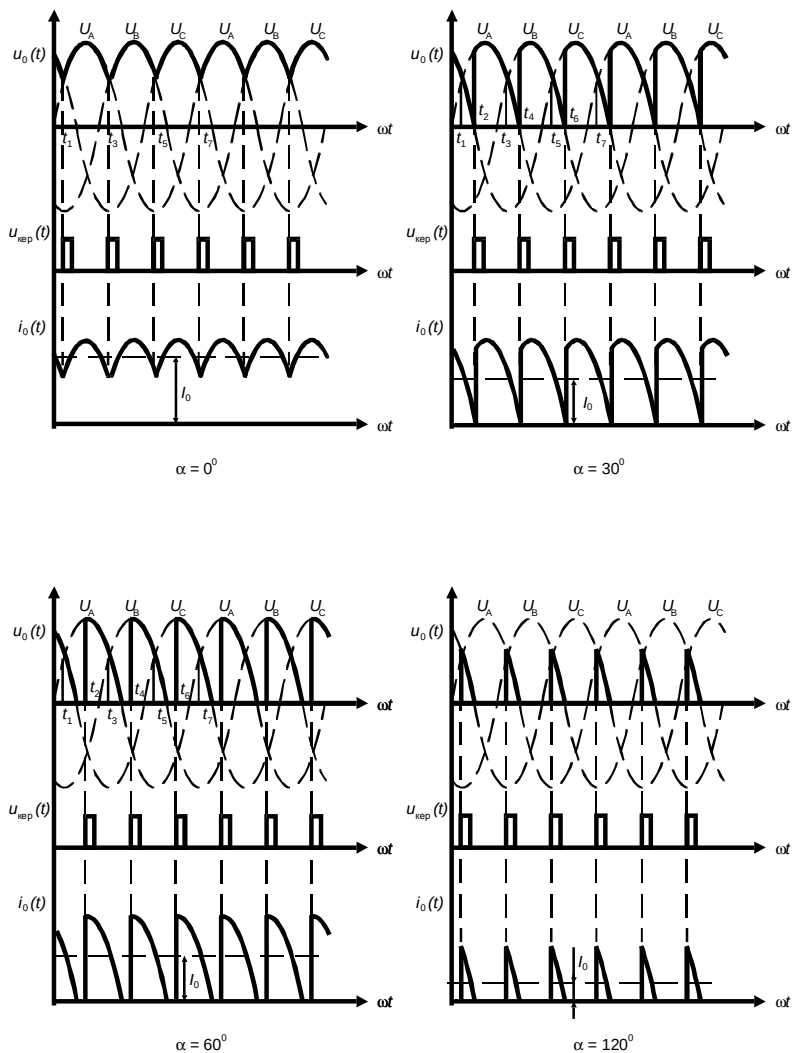


Рисунок 3.2 – Діаграми роботи на активне навантаження

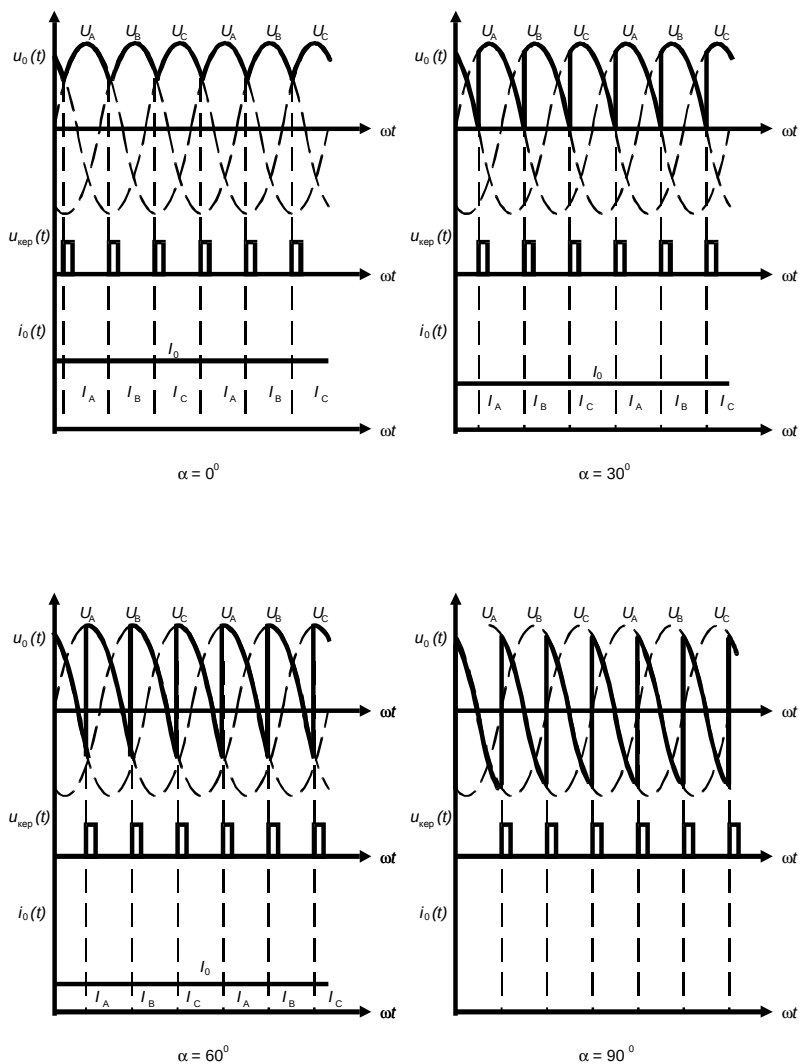


Рисунок 3.3 – Діаграми роботи на індуктивне навантаження

При роботі трифазної схеми на навантаження індуктивного типу, струм через кожен тиристор тече одну третю частину періоду. Крива випрямленої напруги при кутах регулювання $\alpha \leq 30^\circ$ така сама, як і у випадку роботи даної схеми на активне навантаження (рисунок 3.3). При $\alpha > 30^\circ$ в кривій випрямленої напруги виникає інтервал, коли випрямлена напруга U_0 набирає негативного значення (рисунок 3.3). Оскільки індуктивність дроселя $L = \infty$, то в навантаженні випрямляча тече постійний струм i_0 (рисунок 3.3). У зв'язку з тим, що ЕРС самоіндукції діє в обмотці дроселя. Значення випрямленої напруги в такому разі визначається з рисунка 3.3, а кут регулювання α змінюється від 0° до 90° .

З метою зменшення пульсації випрямленої напруги та зменшення реактивної потужності, що споживається від мережі, в схему вводиться нульовий діод VD1, який шунтує навантаження. Він відкривається при зміні полярності випрямленої напруги.

3.2 Література

Берткович Е.И., Полупроводниковые выпрямители / Е.И. Берткович, В.Н. Ковалев, Г.П. Мосткова - М.: Энергия, 1978.- 448 с.

3.3 Домашнє завдання

3.3.1 Накреслити схему трифазного тиристорного випрямляча (рисунок 3.1).

3.3.2 Вивчити принципи роботи трифазного тиристорного випрямляча по літературі.

3.3.3 Дати відповіді на контрольні запитання згідно з п. 1 – 9 розділу 3.4.

3.3.4 Ознайомитися з методикою виконання роботи, приведеної у розділі 3.7.

3.3.5 Підготувати бланк звіту, у якому привести інформацію, потрібну (на думку студента) для виконання лабораторної роботи.

3.4 Контрольні запитання

3.4.1 Що таке тиристор: які його структура, принцип дії, параметри та характеристики?

3.4.2 Який принцип покладено в основу регулювання вихідної напруги випрямляча на тиристорах?

3.4.3 Які відміни у діаграмах роботи вихідної напруги регулюючого випрямляча при активному навантаженні та навантаженні з індуктивною реакцією для різних значень кута регулювання α ?

3.4.4 Чому дорівнює максимальний кут регулювання $\alpha_{\max}$ при активному навантаженні та навантаженні з індуктивною реакцією у трифазному тиристорному випрямлячі?

3.4.5 За якого характеру навантаженні $\alpha_{\max}$ більше і чому має місце це збільшення?

3.4.6 Як залежить коефіцієнт пульсації κ_n від величини кута регулювання α і чому ця залежність має місце?

3.4.7 Дайте оцінку такому способу регулювання. Чим пояснити наявність позитивних та негативних сторін способу регулювання вихідної напруги тиристорного випрямляча?

3.4.8 Яке призначення має нульовий діод $VD1$ у схемі випрямляча?

3.4.9 Як змінюється коефіцієнт потужності $\cos \varphi$ при збільшенні кута регулювання α ?

3.5 Лабораторне завдання

3.5.1 Ознайомтеся із описом лабораторного макету, наданому у розділі 3.6.

3.5.2 Зняти та накреслити регульовальні характеристики випрямляча згідно з п. 3.7.1.

3.5.3 Зняти та накреслити зовнішні характеристики випрямляча згідно з п. 3.7.2.

3.5.4 Зняти та накреслити діаграми роботи випрямляча згідно з п. 3.7.3.

3.6 Опис лабораторного макету

3.6.1 Склад і можливості лабораторного макета.

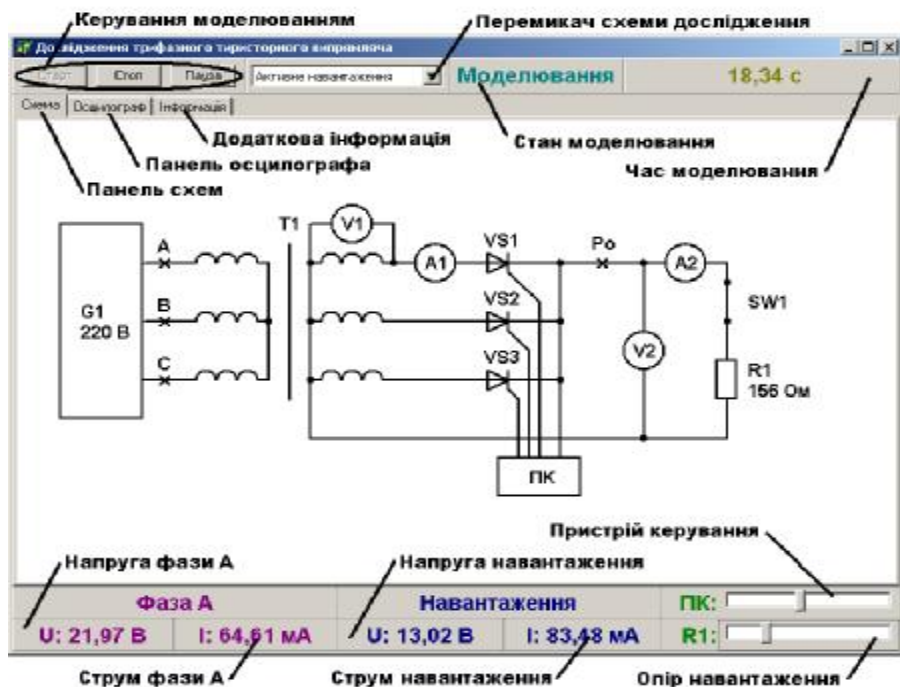


Рисунок 3.4 – Лабораторний макет

Лабораторний макет зображено на рисунку 3.4. Він містить:

- джерело трифазної синусоїдальної напруги $G1$;
- трифазний трансформатор $T1$;
- трифазний випрямляч, утворений тиристорами $VS1 - VS3$;
- згладжуючий фільтр, утворений дроселем $L1$;
- нульовий діод $VD1$ (з можливістю його відключення вимикачем $SW2$);
- опір навантаження $R1$ (з можливістю його відключення вимикачем $SW1$);
- чотирьохпроменевий осцилограф;
- вольтметр напруги фази A, $V1$;

- з) амперметр струму фази А, $A1$;
- и) вольтметр вихідної напруги, $V2$;
- ї) амперметр струму навантаження, $A2$;
- і) пристрій керування тиристорами випрямляча $ПК$.

Лабораторний макет забезпечує:

- а) дослідження 2 варіантів навантаження випрямляча;
- б) зміну опору навантаження $R1$ в межах 5 ... 200 Ом з інтервалом 1 Ом;
- в) зміну кута регулювання пристрою керування в межах $0^\circ \dots 150^\circ$ з інтервалом 1° ;
- г) повне відключення опору навантаження вимикачем $SW1$;
- д) відключення нульового діоду вимикачем $SW2$;
- е) контроль діючого значення напруги фази А;
- є) контроль діючого значення струму фази А;
- ж) контроль середнього значення вихідної напруги;
- з) контроль середнього значення струму навантаження;
- и) контроль діаграм напруг і струмів всіх елементів досліджуваної схеми, а також напруги на виході випрямляча і вихідного струму випрямляча (контрольна точка P_0);
- ї) збереження в пам'яті осцилографа останнього періоду моделювання;
- і) режим паузи моделювання;
- й) контроль загального часу моделювання.

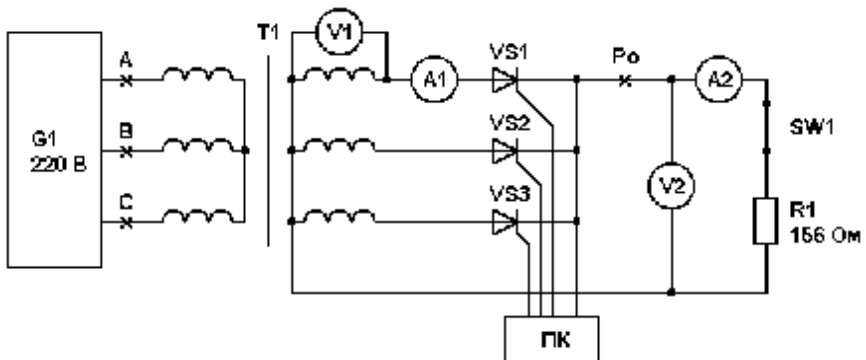


Рисунок 3.5 – Робота на активне навантаження

3.6.2 Вибір досліджуваної схеми

Вибір досліджуваної схеми здійснюється за допомогою перемикача схеми дослідження (рисунок 3.4). Лабораторний макет дозволяє досліджувати наступні схеми випрямлення:

- а) тиристорний випрямляч, який працює на активне навантаження (рисунок 3.5);
- б) тиристорний випрямляч, який працює на індуктивне навантаження (рисунок 3.6).

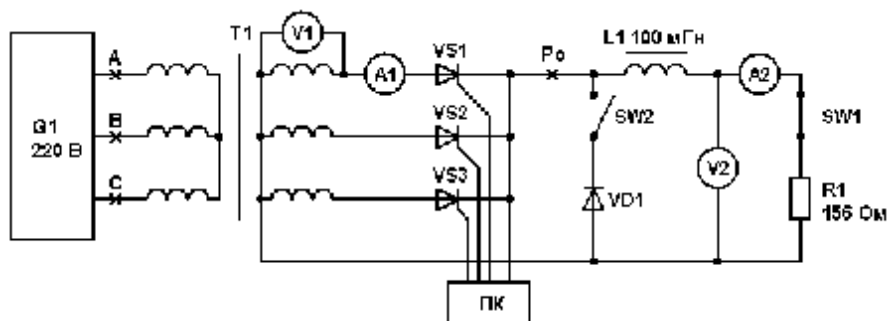


Рисунок 3.6 – Робота на індуктивне навантаження

3.7 Методика виконання лабораторної роботи

3.7.1 Побудова регулювальних характеристик згідно п. 3.5.2.

Регулювальна характеристика – залежність вихідної напруги від кута регулювання

$$\frac{U_0}{U_{0\max}} = j(\alpha)$$

При знятті характеристик струм навантаження при $\alpha = 0$ задає викладач. Для зняття регулювальних характеристик потрібно виконати наступні дії:

- а) за допомогою перемикача схем (рисунок 3.4) вибрати потрібну схему;
- б) підключити навантаження;
- в) встановити кут регулювання рівним 0 (крайнє ліве положення повзунка пристрою керування);
- г) розпочати моделювання, натиснувши кнопку “Старт”;
- д) змінюючи опір навантаження встановити потрібний струм навантаження;
- е) змінюючи кут регулювання зняти регульовальну характеристику. Результат занести до таблиці 3.1. Кут регулювання визначається за допомогою осцилографа;
- є) в одній системі координат накреслити регульовальні характеристики для активного та індуктивного характеру навантаження;
- ж) визначити максимальний кут регулювання для кожного виду навантаження.

Таблиця 3.1

α	0^0	20^0	40^0	60^0	80^0	100^0	120^0	140^0
U_0								
$U_0 / U_{0 \max}$	1							

3.7.2 Побудова зовнішніх характеристик згідно з п. 3.5.3.

Зовнішня характеристика – це залежність напруги на навантаженні від струму, який проходить через нього $U_0 = f(I_0)$. У даній роботі потрібно побудувати дві зовнішні характеристики для активного та індуктивного характеру навантаження. Для зняття зовнішньої характеристики потрібно:

- а) за допомогою перемикача схем (рисунок 3.4) вибрати потрібну схему;
- б) відключити навантаження;
- в) розпочати моделювання, натиснувши кнопку “Старт”;
- г) встановити необхідний кут регулювання (значення куту регулювання потрібно заздалегідь визначити у викладача);
- д) зняти напругу холостого ходу випрямляча. Результат занести до таблиці 3.2;

- е) підключити опір навантаження;
- є) змінюючи опір навантаження від максимуму до мінімуму зняти зовнішню характеристику. Результати занести до таблиці 3.2;
- ж) подібним чином зняти зовнішню характеристику для іншої схеми випрямлення;
- з) по результатам дослідження побудувати в одній системі координат дві зовнішні характеристики.

Таблиця 3.2

$R1$, Ом	∞	200	150	100	50	25	10	7	5
U , В									
I , мА	0								

3.7.3 Зняття діаграм роботи випрямляча згідно з п. 3.5.4.

Діаграми роботи випрямляча потрібно замальовати для двох типів навантаження – активного та індуктивного. Потрібно замальовати діаграми у на наступних контрольних точках схеми:

- а) напруга фази А;
- б) струм фази А;
- в) напруга на виході випрямляча (контрольна точка P_0);
- г) напруга на навантаженні;
- д) напруга на виході пристрою керування (фаза А).

Діаграми потрібно накреслити в одному масштабі по горизонталі.

3.8 Зміст протоколу

3.8.1 Схеми досліджуваних випрямлячів.

3.8.2 Результати досліджень, згідно з п. 3.5.2 – 3.5.4.

3.8.3 Висновки по результатам досліджень.

4 Лабораторна робота №4

Дослідження двотактного півмостового перетворювача постійної напруги

Мета роботи - Практичне знайомство з двотактним півмостовим перетворювачем постійної напруги. Дослідження зовнішніх та регулювальних характеристик перетворювача.

4.1 Теоретичні відомості

Схема двотактного півмостового перетворювача постійної напруги зображена на рисунку 4.1. Перетворювач складається з інвертора, утвореного елементами $C1$, $C2$, $VT1$, $VT2$, $T1$, мостового випрямляча ($VD1 - VD4$), Г-подібного фільтру який згладжує ($L1$, $C3$), а також пристрою керування транзисторами $VT1$, $VT2$ (ПК). Трансформатор $T1$ виконує також гальванічну розв'язку входних та вихідних кіл.

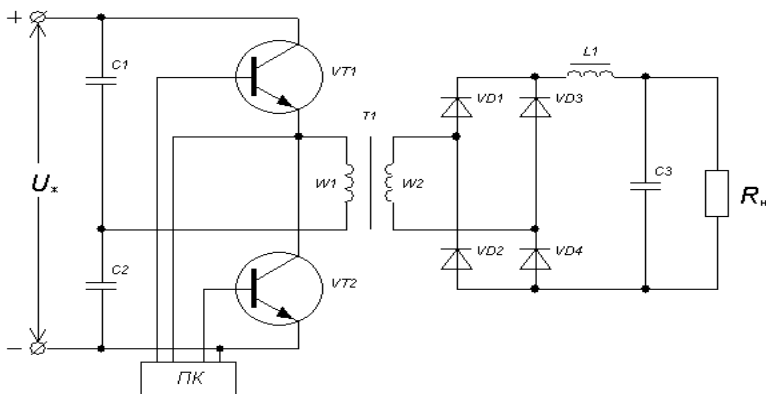


Рисунок 4.1- Півмостовий перетворювач

Подібна схема використовуються при напругах живлення $U_{жс}$ більш ніж 100 В та потужностях перетворення 100 – 500 Вт. Так, наприклад, на базі даної схеми побудовані джерела живлення персональних комп'ютерів формату АТ та АТХ. Напруга живлення в

них складає 310 В, вихідні напруги ± 5 , ± 12 В, потужність перетворення 150 – 350 Вт, пристрій керування побудований на базі спеціалізованої мікросхеми TL494.

Розглянемо роботу даної схеми. Напруга живлення подається на конденсатори C1, C2, які мають досить велику ємність і утворюють ємнісний подільник напруги. Транзистори VT1, VT2, керовані пристроєм керування, по черзі підключають верхній по схемі вивід первинної обмотки W1 трансформатора Т1 до різних полюсів джерела живлення. Другий вивід первинної обмотки підключений до точки з'єднання конденсаторів C1, C2. Таким чином, до первинної обмотки W1 трансформатора Т1 підводиться змінна напруга прямокутної форми з амплітудою, яка дорівнює половині напруги живлення $U_{ж}$. Це дає можливість використовувати в перетворювачі транзистори VT1, VT2 із меншим значення максимальної напруги між колектором та емітером ($U_{ке\ max}$), порівняно з іншими схемами двотактних перетворювачів (схема з виводом середньої точки трансформатора, мостова схема). Максимальна напруга між колектором та емітером транзисторів VT1, VT2 дорівнює напрузі живлення $U_{ж}$ (для порівняння, у схемах з виводом середньої точки трансформатора та в мостовій аналогічний параметр досягає значення $2U_{ж}$).

Форма напруги на вторинній обмотці W2 трансформатора Т1 повторює форму напруги на первинній, але відрізняється амплітудою, яка змінюється на величину коефіцієнта трансформації $k_{тр}$. Змінна напруги вторинної обмотки випрямляється діодами VD1 – VD4. Пульсації випрямленої напруги згладжуються фільтром, утвореним елементами L1, C3.

Середнє значення випрямленої напруги можна регулювати за допомогою пристрою керування, змінюючи коефіцієнт заповнення імпульсів керування k_3 . Коефіцієнт заповнення – це відносна тривалість відкритого стану ключів VT1 (t_{VT1}) та VT2 (t_{VT2}) по відношенню до періоду перетворення:

$$k_3 = \frac{t_{VT1} + t_{VT2}}{T}.$$

Форми струмів колекторних кіл транзисторів VT1, VT2, обмоток трансформатора W1, W2, діодів випрямляча VD1 – VD4, а

також струму, який споживають від джерела живлення залежать від режиму роботи дроселя фільтру $L1$, який згладжує. При цьому виділяють три режими роботи дроселя: безрозривний, критичний та розривний. Режим роботи дроселю визначається багатьма параметрами, до яких належать значення коефіцієнту заповнення та опору навантаження. Діаграми роботи перетворювача при різних режимах роботи дроселя зображені на рисунку 4.2 (розривний (а), критичний (б) та безперервний (в)).

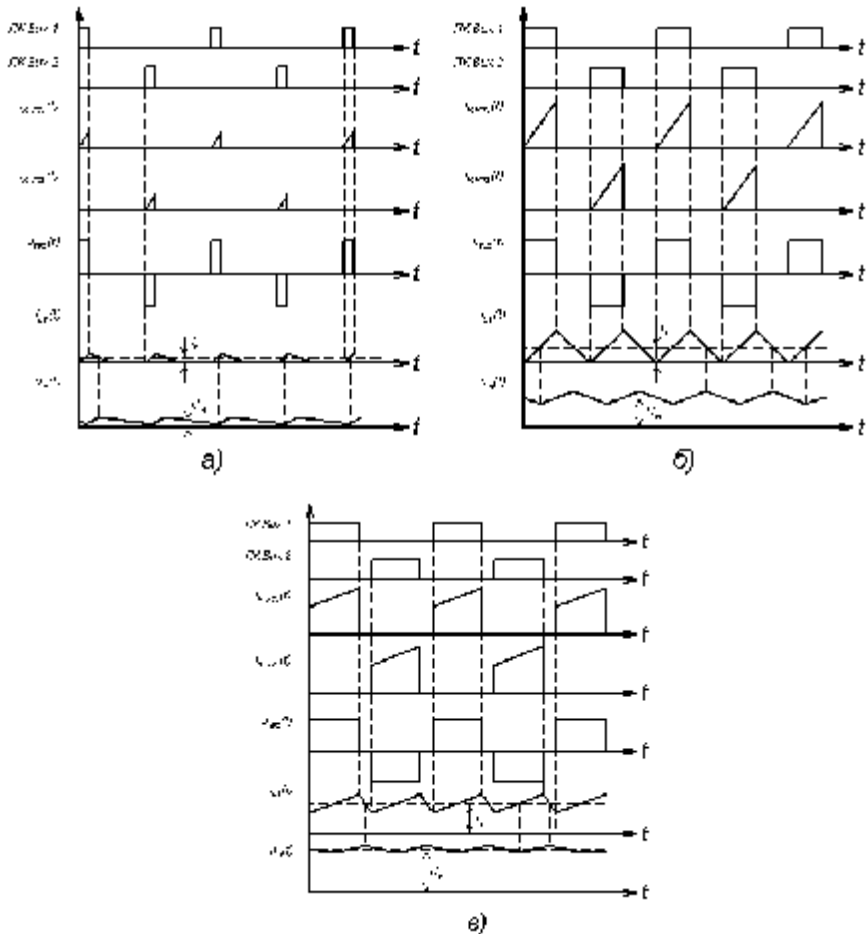


Рисунок 4.2 - Діаграми роботи перетворювача

Пристрій керування повинен забезпечити надійне відкривання та закривання електронних ключів VT1, VT2, а також повинен мати можливість регулювання коефіцієнту заповнення. Як правило, пристрій керування виконується на базі спеціалізованих мікросхем. Частота перетворення сучасних перетворювачів досягає 3 МГц. Типове значення частоти перетворення найбільш поширених перетворювачів знаходиться в межах 25 – 150 кГц.

В якості електронних ключів VT1, VT2 використовують біполярні транзистори, польові транзистори с ізольованим затвором (MOSFET), а також біполярні транзистори с ізольованим затвором (IGBT). В якості діодів VD1 – VD4 при великих частотах перетворення (більш ніж 10 кГц) використовують діоди з бар'єром Шоткі. При низьких вихідних напругах випрямляч може бути побудований по двополуперіодній схемі.

4.2 Література

Китаев В.Е., Электропитание устройств связи./ В.Е. Китаев, А.А. Бокуняев, М.Ф. Горбачев - М.: Радио и связь, 1988. – 280с.

4.3 Домашнє завдання

- 4.3.1 Накреслити принципову схему (рисунок 1.1).
- 4.3.2 Вивчити принципи роботи перетворювача по літературі.
- 4.3.3 Дати відповіді на контрольні запитання.
- 4.3.4 Ознайомитися з методикою виконання роботи.
- 4.3.5 Підготувати бланк звіту, у якому привести інформацію, потрібну (на думку студента) для виконання лабораторної роботи.

4.4 Контрольні запитання

4.4.1 Які радіоелементи можна використовувати в якості електронних ключів VT1, VT2? Які недоліки та переваги мають ці радіоелементи?

4.4.2 Що таке діод з бар'єром Шоткі? У чому він відрізняється від звичайного діода? Які недоліки та переваги мають ці діоди у порівнянні із звичайними діодами.?

4.4.3 Як впливає частота перетворення на малогабаритні показники та ККД перетворювача?

4.4.4 Покажіть на схемі кола протікання постійної складової струмів колекторних кіл транзисторів VT1, VT2, а також струму навантаження.

4.4.5 Які ви знаєте інші схеми двотактних перетворювачів? У чому їх недоліки та переваги у порівнянні з двотактним півмостовим перетворювачем?

4.4.6 Визначить сферу використання півмостового перетворювача. Які ви знаєте практичні приклади використання даної схеми?

4.4.7 Яку роль у схемі перетворювача виконує пристрій керування? Чи можливо побудувати півмостовий перетворювач без пристрою керування?

4.5 Лабораторне завдання

4.5.1. Ознайомтеся із описом лабораторного макету.

4.5.2. Зняти та накреслити регульовальну характеристику перетворювача.

4.5.3. Зняти та накреслити зовнішню характеристику перетворювача.

4.5.4. Зняти та накреслити діаграми роботи перетворювача.

4.6 Опис лабораторного макету

4.6.1 Склад і можливості лабораторного макета.

Лабораторний макет зображено на рисунку 4.3. Він містить:

- а) джерело постійної напруги G1;
- б) перетворювач постійної напруги, утворений елементами C1, C2, VT1, VT2, VD1 – VD4, L1, C3;
- в) опір навантаження R1;
- г) чотирьохпроменевий осцилограф;
- д) вольтметр напруги живлення V1;
- е) амперметр струму, який споживають від джерела живлення A1;

- є) вольтметр вихідної напруги V2;
- ж) амперметр струму навантаження A2;
- з) пристрій керування перетворювачем ПК.



Рисунок 4.3 – Лабораторний макет

Лабораторний макет забезпечує:

- а) дослідження півмостового перетворювача постійної напруги
- б) зміну опору навантаження R1 в межах 1 ... 100 Ом з інтервалом 1 Ом;
- в) зміну коефіцієнту заповнення імпульсів пристрою керування в межах 0,01 ... 0,99 з інтервалом 0,01;
- г) контроль середнього значення напруги живлення;
- д) контроль середнього значення струму, який споживають від джерела живлення;
- е) контроль середнього значення вихідної напруги;
- є) контроль середнього значення струму навантаження;

- ж) контроль діаграм напруг і струмів більшості елементів досліджуваної схеми, а також напруги на виході пристрою керування;
 з) збереження в пам'яті осцилографа останнього періоду моделювання;

4.7 Методика виконання лабораторної роботи

4.7.1 Побудова регульовальної характеристики.

Регульовальна характеристика – залежність вихідної напруги від коефіцієнту заповнення пристрою керування $U_n = f(\kappa_3)$. При знятті характеристик опір навантаження задає викладач. Для зняття регульовальних характеристик потрібно виконати наступні дії:

- встановити необхідний опір навантаження;
- встановити мінімальне значення коефіцієнту заповнення;
- розпочати моделювання, натиснувши кнопку “Старт”;
- змінюючи коефіцієнт заповнення, зняти регульовальну характеристику.

Результати вимірювань занести до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

κ_3	0,01	0,1	0,25	0,5	0,75	0,9	0,99
U_n , В							

4.7.2 Побудова зовнішньої характеристики .

Зовнішня характеристика – це залежність напруги на навантаженні від струму, який проходить через нього $U_n = f(I_n)$. При знятті зовнішньої характеристики значення коефіцієнту заповнення пристрою керування задає викладач. Для зняття зовнішньої характеристики потрібно виконати наступні дії:

- встановити необхідне значення коефіцієнту заповнення пристрою керування;
- встановити максимальний опір навантаження (крайнє праве положення повзунка пристрою керування);
- розпочати моделювання, натиснувши кнопку “Старт”;
- змінюючи опір навантаження, зняти регульовальну характеристику.

Результати вимірювань занести до таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

R_n , Ом	100	50	25	10	5	2	1
I_n , мА							
U_n , В							

4.7.3 Зняття діаграм роботи перетворювача.

Діаграми роботи випрямляча потрібно замалювати у наступних контрольних точках схеми:

- а) напруги на виходах 1 та 2 пристрою керування;
- б) змінну складову напруги на конденсаторі С2;
- в) струм колектору транзистора VT1;
- г) струм колектору транзистора VT2;
- д) напругу обмотки W2 трансформатора Т1;
- е) струм дроселя L1;
- є) змінну складову напруги на навантаженні.

Діаграми потрібно накреслити в одному масштабі по горизонталі.

4.8 Зміст протоколу

4.8.1 Схема перетворювача.

4.8.2 Результати досліджень.

4.8.3 Висновки по результатам досліджень.

5 Лабораторна робота №5

Дослідження тиристорного інвертора

Мета роботи - Практичне знайомство зі схемою тиристорного інвертора. Дослідження зовнішньої характеристики інвертора.

5.1 Теоретичні відомості

Інвертуванням струму називається перетворення енергії постійного струму в енергію змінного струму. Бувають інвертори струму та напруги.

Схема інвертора струму зображена на рисунку 5.1. Схема складається з силового трансформатора Т1, двох тиристорів VS1, VS2, двох зворотних діодів VD1, VD4, двох відсічних діодів VD2, VD3, дроселя L1, та комутаційного конденсатора. Тиристори VS1, VS2 відкриваються по черзі через половину періоду за допомогою пристрою керування (ПК). Коли відкритий тиристор VS1 від первинного джерела електроживлення (наприклад акумуляторна батарея) тече струм по колу $+U_{ж}$, середня точка трансформатора, обмотка W1, діод VD2, тиристор VS1 дросель L1, $-U_{ж}$.

Струм обмотки W1 створює магнітний потік, який наведе ЕРС у всіх обмотках полярності, вказаної в дужках. При такій полярності конденсатор C1 заряджається по колу: $+U_{ж}$, середня точка трансформатора, обмотка W2, діод VD3, конденсатор C1, тиристор VS1, дросель L1, $-U_{ж}$.

Через половину періоду пристрій керування (ПК) відкриває тиристор VS2. Комутаційний конденсатор C1 починає розряджатися через відкритий тиристор VS2 і ще не закритий VS1. Через те, що струм розряду конденсатора тече назустріч струму тиристора VS1, останній швидко закривається. Від джерела електроживлення протікає струм по колу: $+U_{ж}$, середня точка трансформатора, обмотка W2, діод VD3, тиристор VS2, дросель L1, $-U_{ж}$. Струм обмотки W2 створює магнітний потік, який наведе ЕРС у всіх обмотках полярності, вказаної без дужок. При такій полярності комутаційний конденсатор перезаряджається по колу: $+U_{ж}$, середня точка трансформатора,

обмотка W1, діод VD2, конденсатор C1, тиристор VS2, дросель L1, – $U_{ж}$.

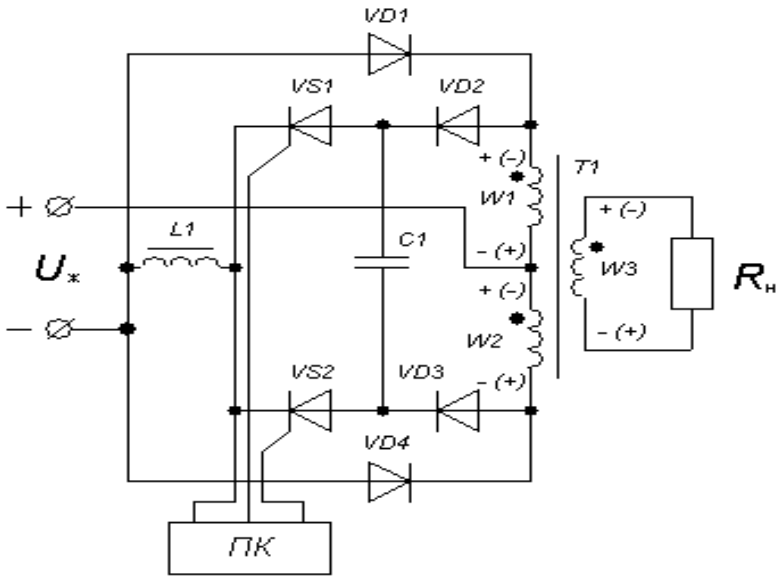


Рисунок 5.1 – Тиристорний інвертор

Через половину періоду пристрій керування знову відкриває тиристор VS1. Перезарядження конденсатора C1 через VS1 та VS2 швидко закриває тиристор VS2 і процес повторюється.

Дросель L1 перешкоджає швидкому наростанню струму через комутаційний конденсатор C1, а також перешкоджає перевертання інвертора.

Зворотні діоди VD1, VD4 забезпечують повернення реактивної енергії, яка створюється в дроселі L1 при перезаряджанні комутаційного конденсатора C1.

За наявності зворотних діодів характеристика навантаження інвертора стає трохи пологою, а форма напруги наближається до прямокутної.

Відсічні діоди VD2, VD3 перешкоджають розряду конденсатору C1 через первинну обмотку трансформатора. Наявність цих діодів дозволяє зменшити ємність комутаційного конденсатора в чотири рази.

Частота змінного струму на навантаженні визначається частотою роботи пристрою керування, який виконується на інтегральних мікросхемах.

5.2 Література

Китаев В.Е., Электропитание устройств связи./ Китаев В.Е., Бокуняев А.А., Горбачев М.Ф. - М.: Радио и связь, 1988. – 280с.

5.3 Домашнє завдання

5.3.1 Вивчити принцип інвертування струму.

5.3.2 Привести в протоколі принципову електричну схему інвертора.

5.3.3 Дати відповіді на контрольні запитання.

5.3.4 Ознайомитися з методикою виконання роботи.

5.3.5 Підготувати бланк звіту, у якому привести інформацію, потрібну (на думку студента) для виконання лабораторної роботи.

5.4 Контрольні запитання

5.4.1 У чому полягає принцип інвертування струму?

5.4.2 У чому призначення зворотних та відсічних діодів?

5.4.3 Як змінити частоту напруги на навантаженні?

5.4.4 Поясніть призначення конденсатора та дроселя.

5.4.5 Поясніть роботу силової частини інвертора.

5.4.6 Що таке зовнішня характеристика інвертора?

5.5 Лабораторне завдання

5.5.1 Ознайомитись з описом лабораторного макету.

5.5.2 Зняти та накреслити зовнішню характеристику інвертора.

5.5.3 Зняти та накреслити вхідну характеристику інвертора .

5.5.4 Зняти та накреслити характеристику вхідного струму .

5.5.5 Зняти та накреслити діаграми роботи інвертора.

5.6 Опис лабораторного макету

5.6.1 Склад і можливості лабораторного макета

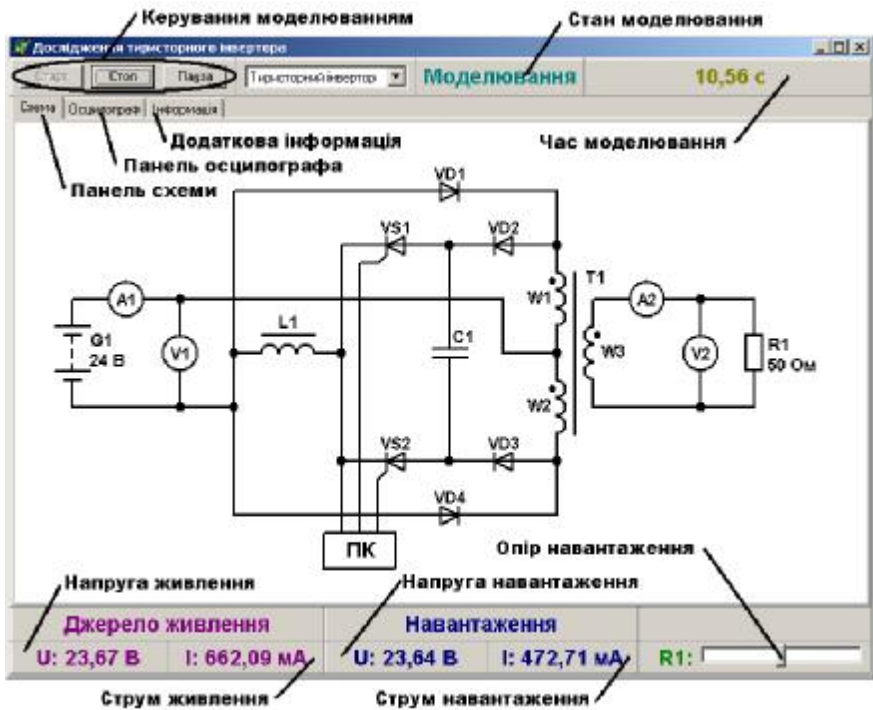


Рисунок 5.2 – Лабораторний макет

Лабораторний макет зображено на рисунку 5.2. Він містить:

- джерело постійної напруги G1;
- тиристорний інвертор, утворений елементами VS1, VS2, VD1 – VD4, L1, C1, T1;
- пристрій керування інвертором ПК
- опір навантаження R1;

- д) чотирьохпроменевий осцилограф;
- е) вольтметр напруги живлення V1;
- є) амперметр струму, споживаного від джерела живлення A1;
- ж) вольтметр вихідної напруги V2;
- з) амперметр струму навантаження A2.

Лабораторний макет забезпечує:

- а) зміну опору навантаження R1 в межах 1 ... 100 Ом з інтервалом 1 Ом;
- б) контроль середнього значення напруги живлення;
- в) контроль середнього значення струму, споживаного від джерела живлення;
- г) контроль діючого значення вихідної напруги;
- д) контроль діючого значення струму навантаження;
- е) контроль діаграм напруг і струмів елементів у контрольних точках схеми;
- є) режим паузи моделювання;
- ж) контроль загального часу моделювання.

5.7 Методика виконання лабораторної роботи

5.7.1 Побудова зовнішніх характеристик.

Зовнішня характеристика – це залежність напруги на навантаженні від струму, який проходить через нього $U_n = f(I_n)$. Для зняття зовнішньої характеристики потрібно:

- а) встановити максимальний опір навантаження;
- б) розпочати моделювання, натиснувши кнопку “Старт”;
- в) змінюючи опір навантаження від максимуму до мінімуму зняти зовнішню характеристику. Результати занести до таблиці 5.1;
- г) за результатами дослідження побудувати зовнішню характеристику.

Таблиця 5.1

R1, Ом	100	50	25	15	10	5	3	1
U _n , В								
I _n , мА								

5.7.2 Побудова вхідної характеристики.

Вхідна характеристика – це залежність напруги джерела живлення від струму, споживає мого від нього $U_0 = f(I_0)$.

Для зняття цієї характеристики потрібно:

- а) встановити максимальний опір навантаження;
- б) розпочати моделювання, натиснувши кнопку “Старт”;
- в) змінюючи опір навантаження від максимуму до мінімуму зняти вхідну характеристику. Результати занести до таблиці 5.2;
- г) за результатами дослідження побудувати вхідну характеристику.

Таблиця 5.2

R1, Ом	100	50	25	15	10	5	3	1
U_0 , В								
I_0 , мА								

5.7.3 Побудова характеристики вхідного струму.

Характеристика вхідного струму – це залежність струму, споживаного від джерела первинного електроживлення від струму навантаження $I_0 = f(I_n)$.

Для зняття даної характеристики потрібно:

- а) встановити максимальний опір навантаження;
- б) розпочати моделювання, натиснувши кнопку “Старт”;
- в) змінюючи опір навантаження від максимуму до мінімуму зняти характеристику вхідного струму. Результати занести до таблиці 5.3.

- г) за результатами дослідження побудувати характеристику вхідного струму.

Таблиця 5.3

R1, Ом	100	50	25	15	10	5	3	1
I_0 , мА								
I_n , мА								

5.7.4 Зняття діаграм роботи випрямляча.

Потрібно замалювати діаграми у наступних контрольних точках схеми:

- а) струм аноду VS1;
- б) струм аноду VS2;
- в) напруга на виході інвертора (напруга на обмотці W3 трансформатора T1).

Діаграми потрібно накреслити в одному масштабі по горизонталі.

5.8 Зміст протоколу

5.8.1 Схеми інвертора.

5.8.2 Результати досліджень.

5.8.3 Висновки по результатам досліджень.

6 Лабораторна робота №6

Дослідження транзисторного перетворювача постійної напруги

Мета роботи - Практичне знайомство з роботою транзисторного перетворювача постійної напруги. Дослідження зовнішніх характеристик перетворювача при різних видах навантаження.

6.1 Теоретичні відомості

Перетворювач постійної напруги складається з інвертора, перетворюючого вхідну постійну напругу в змінну, та випрямляча, перетворюючого змінну напругу в постійну.

Інвертор являє собою двотактний транзисторний генератор з самозбудженням при трансформаторному зв'язку (Схема Роєра). Випрямляч складено за однофазною мостовою схемою (рисунок 6.1).

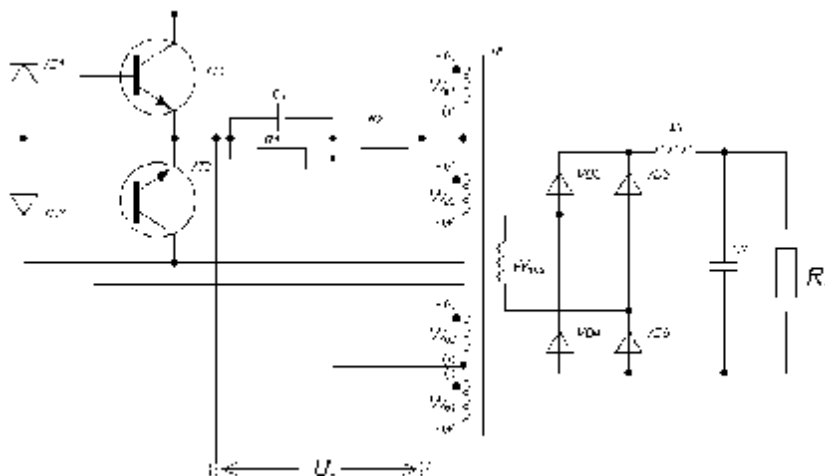


Рисунок 6.1 – Перетворювач постійної напруги

При ввімкненні джерела живлення через базові та колекторні кола потечуть струми транзисторів VT1 та VT2. Через асиметрію схеми один з колекторних струмів буде більшим. Нехай I_{k1} буде більшим за I_{k2} . За рахунок того, що магнітуючі сили обмоток W_{k1} та W_{k2} спрямовані назустріч, виникає різниця магнітуючої сили, $I_{k1}W_{k1} - I_{k2}W_{k2}$, яка утворює магнітний потік трансформатора. Цей магнітний потік наводить в обмотках ЕРС, полярність якої вказана на схемі в дужках. В цьому випадку від обмоток зворотного зв'язку W_{o1} , W_{o2} на базу транзистора VT1 подається позитивна напруга і транзистор VT1 відкривається більше, а на базу транзистора VT2 подається негативна напруга, забезпечуючи його закриття. Колекторний струм I_{k1} транзистора збільшується, а I_{k2} – зменшується. Магнітний потік збільшується, збільшується ЕРС в обмотках. Транзистор VT1 зовсім відкривається (насичується), а транзистор VT2 повністю закривається. Колекторний струм I_{k1} продовжує збільшуватися доти, поки відбувається насичення трансформатора Тр. При насиченні трансформатора його магнітний потік на змінюється, отже ЕРС, наведена в усіх обмотках, дорівнюватиме нулю. На бази транзисторів VT1 та VT2 подається нульовий потенціал. Струм I_{k1} починає зменшуватися. В обмотках виникає ЕРС протилежної полярності, вказаної без дужок, яка прагне запобігти зменшенню струму I_{k1} (дивись рисунок 6.1). При такій полярності ЕРС транзистор VT1 починає закриватися, а транзистор VT2 починає відкриватися. Процес проходить лавиноподібно, за рахунок позитивного зворотного зв'язку, доти, поки зовсім не закривається транзистор VT1 і повністю не відкривається транзистор VT2. Колекторний струм I_{k2} продовжує збільшуватися, спричиняє насичення трансформатора в протилежному напрямку. При досягненні насичення осердя знову відбудуться перемикання транзисторів.

На рисунку 6.2 приведені діаграми, які пояснюють роботу транзисторного перетворювача постійної напруги.

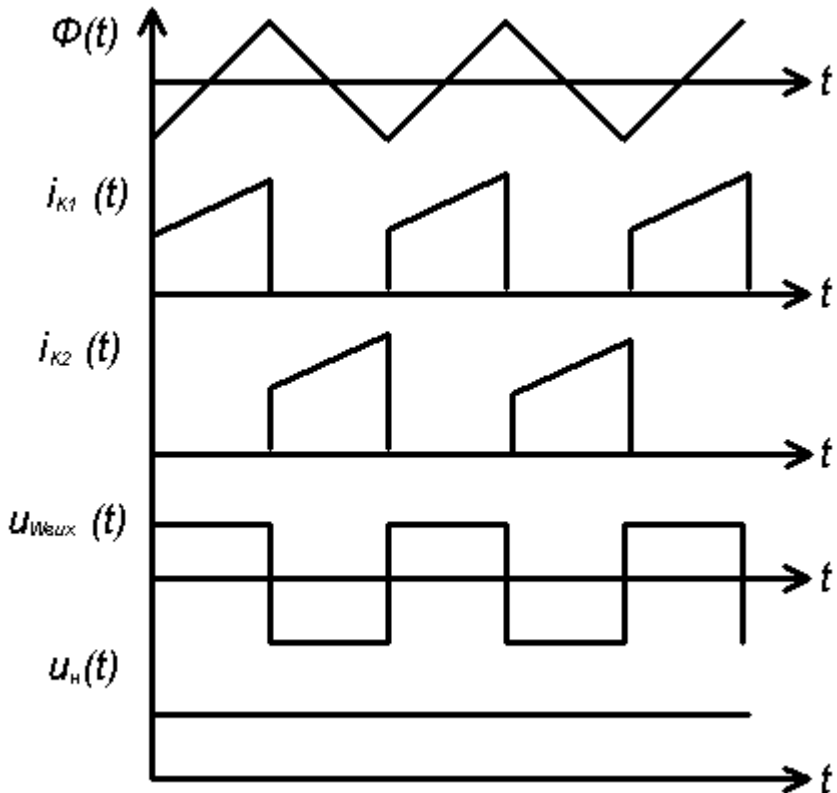


Рисунок 6.2 – Діаграми роботи перетворювача

6.2 Література

Китаев В.Е., Электропитание устройств связи./ Китаев В.Е., Бокуняев А.А., Горбачев М.Ф. - М.: Радио и связь, 1988. – 280с.

6.3 Домашнє завдання

6.3.1 Накреслити принципову схему перетворювача.

6.3.2 Вивчити принципи роботи перетворювача по літературі.

6.3.3 Дати відповіді на контрольні запитання.

6.3.4 Ознайомитися з методикою виконання роботи.

6.3.5 Підготувати бланк звіту, у якому привести інформацію, потрібну (на думку студента) для виконання лабораторної роботи.

6.4 Контрольні запитання

6.4.1 Покажіть кола, по яким протікають струми бази та колектора транзисторів VT1, VT2, а також постійної складової струму навантаження.

6.4.2 Які переваги та недоліки має перетворювач з самозбудженням?

6.4.3 Чим обмежується робоча частота перетворювача?

6.4.4 Чому двотактний перетворювач з самозбудженням не боїться короткого замикання?

6.4.5 Який вплив має індуктивність розсіювання на роботу перетворювача?

6.4.6 Що таке зовнішня характеристика перетворювача?

6.4.7 Поясніть зовнішню характеристику перетворювача.

6.4.8 Поясніть принцип роботи перетворювача.

6.5 Лабораторне завдання

6.5.1 Ознайомтеся із описом лабораторного макету.

6.5.2 Зняти та накреслити зовнішню характеристику перетворювача.

6.5.3 Визначити коефіцієнт корисної дії.

6.5.4 Зняти та накреслити діаграми роботи перетворювача.

6.6 Опис лабораторного макету

6.6.1 Склад і можливості лабораторного макета.

Лабораторний макет зображено на рисунку 6.3. Він містить:

а) джерело постійної напруги G1;

б) транзисторний інвертор, укладений елементами VT1, VT2, VD1, VD2, R1, R2, C1, T1;

- в) мостовий випрямляч, укладений елементами VD3 – VD6;
 г) фільтр, який згладжує, утворений елементами L1 та C2 з
 можливістю конфігурації його перемикачами SW1 та SW2;
 д) опір навантаження R3 (з можливістю його відключення
 вимикачем SW3);
 е) чотирьохпроменевий осцилограф;
 є) вольтметр напруги живлення V1;
 ж) амперметр струму, який споживають від джерела живлення
 A1;
 з) вольтметр вихідної напруги V2;
 и) амперметр струму навантаження A2.

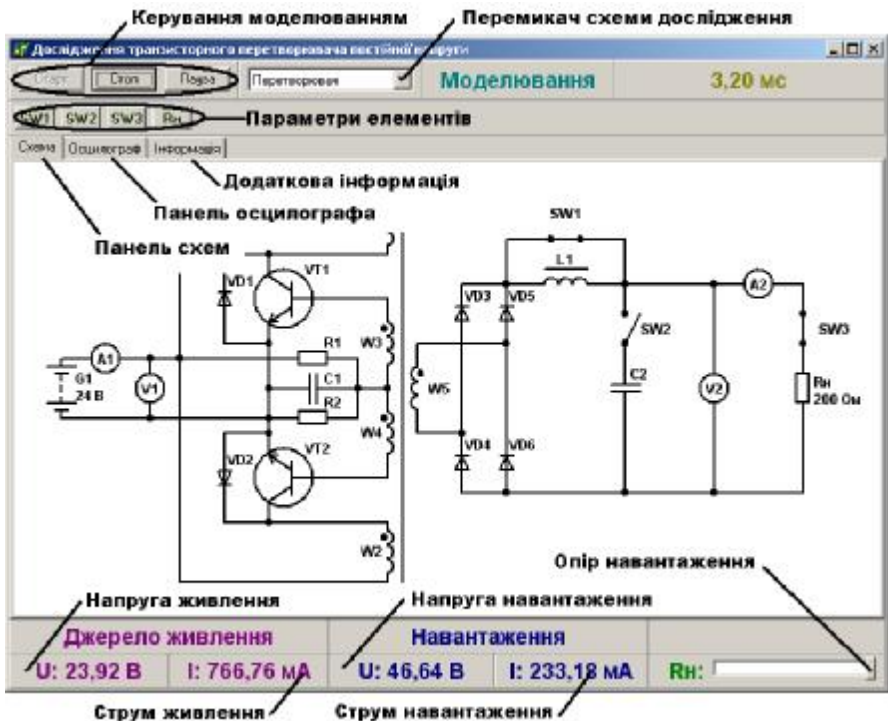


Рисунок 6.3 – Лабораторний макет

Лабораторний макет забезпечує:

- а) зміну опору навантаження R_3 в межах 1 ... 100 Ом з інтервалом 1 Ом;
- б) чотири варіанти навантаження перетворювача: без фільтру, з ємнісним фільтром, з індуктивним фільтром, Г-образним фільтром (рисунки 6.4 – 6.7);
- в) повне відключення опору навантаження вимикачем SW3;
- г) контроль середнього значення напруги живлення;
- д) контроль середнього значення струму, споживаного від джерела живлення;
- е) контроль середнього значення вихідної напруги;
- є) контроль середнього значення струму навантаження;
- ж) контроль діаграм напруг і струмів елементів у контрольних точках схеми;
- з) режим паузи моделювання;
- и) контроль загального часу моделювання.

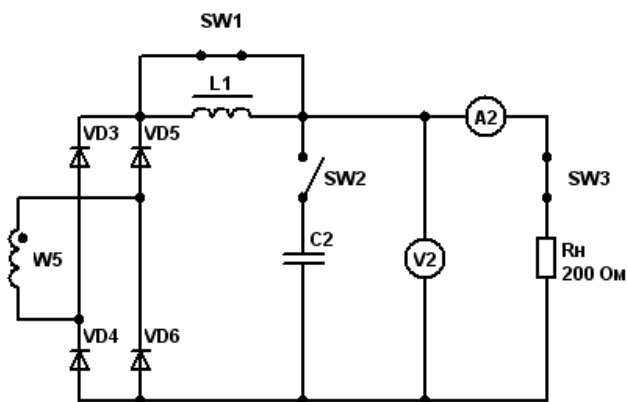


Рисунок 6.4 - Робота на активне навантаження (без фільтру)

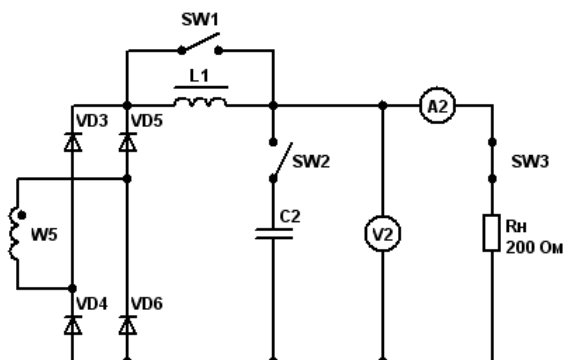


Рисунок 6.5 - Робота на індуктивне навантаження

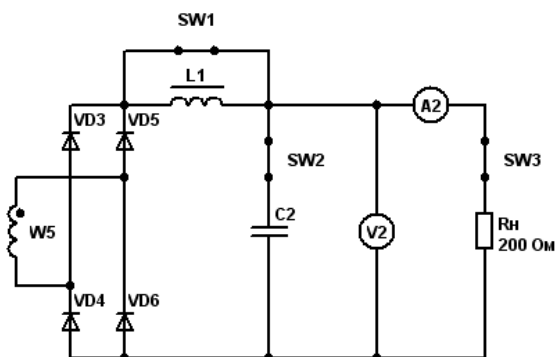


Рисунок 6.6 - Робота на ємнісне навантаження

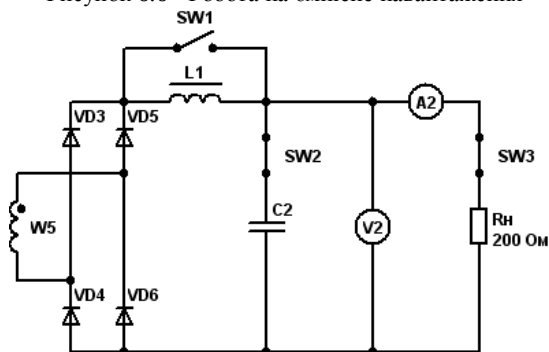


Рисунок 6.7 - Робота на Г-образний фільтр

6.7 Методика виконання лабораторної роботи

6.7.1 Побудова зовнішніх характеристик.

Зовнішня характеристика – це залежність напруги на навантаженні від струму, який проходить через нього $U_n = f(I_n)$. Зовнішні характеристики потрібно зняти для чотирьох типів навантаження перетворювача. Для зняття зовнішньої характеристики потрібно:

- а) відключити навантаження;
- б) зняти напругу холостого ходу перетворювача. Результат занести до таблиці 6.1;
- в) підключити опір навантаження;
- г) змінюючи опір навантаження від максимуму до мінімуму зняти зовнішню характеристику. Результати занести до таблиці 6.1;
- д) по результатам дослідження в одних осях координат побудувати зовнішні характеристики.

Таблиця 6.1.

	$R_n, \text{Ом}$								
	∞	100	20	25	15	10	5	3	1
Активне навантаження									
$U, \text{В}$									
$I, \text{мА}$	0								
Індуктивне навантаження									
$U, \text{В}$									
$I, \text{мА}$	0								
Ємнісне навантаження									
$U, \text{В}$									
$I, \text{мА}$	0								
Г-образний Фільтр									
$U, \text{В}$									
$I, \text{мА}$	0								

6.7.2 Визначення ККД.

ККД визначається за формулою:

$$h = \frac{U_{\text{н}} I_{\text{н}}}{U_{\text{ж}} I_{\text{ж}}},$$

де $U_{\text{ж}}, I_{\text{ж}}$ – відповідно напруга живлення та струм живлення.

ККД визначається при номінальному опорі навантаження, який задає викладач. Результати обчислень треба занести до таблиці 6.2.

Таблиця 6.2

	$I_{\text{ж}}, \text{мА}$	$U_{\text{ж}}, \text{В}$	$I_{\text{н}}, \text{мА}$	$U_{\text{н}}, \text{В}$	h
Активне навантаження					
Індуктивне навантаження					
Ємнісне навантаження					
Г-образний фільтр					

6.7.3 Зняття діаграм роботи випрямляча.

Потрібно замалювати діаграми у на наступних контрольних точках схеми:

- а) струм колектора $VT1$;
- б) струм колектора $VT2$;
- в) напруга на виході інвертора (напруга на обмотці $W5$ трансформатора $T1$).

Діаграми потрібно накреслити в одному масштабі по горизонталі.

6.8 Зміст протоколу

6.8.3 Схеми перетворювача.

6.8.2 Результати досліджень.

6.8.3 Висновки по результатам досліджень.