

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Комп'ютерні технології і системи»

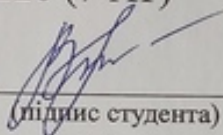
Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

Пояснювальна записка

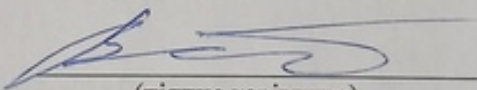
до кваліфікаційної роботи
на здобуття освітнього ступеня магістр

на тему: Дослідження роботи випрямлячів залізничної автоматики
за освітньою програмою «Автоматика та автоматизація на транспорті»
зі спеціальності: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Виконав: студент групи АТ2226 (7-АТ)


/ Ангеліна ПОЛНОВСЬКА /
(підпис студента)

Керівник: доцент кафедри АТ


/ Володимир ПРОФАТИЛОВ /
(підпис керівника)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень
з праць інших авторів без відповідних
посилань.

Студент


(підпис студента)

Дніпро – 2024 рік

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technology
Faculty of Computer Technologies and Systems
Department of Automation and Telecommunication

Explanatory Note
to Master's Thesis
master
(higher education degree)

Research of the operation of railway automation rectifiers

in the Specialty: 151 Automation and computer-integrated technologies

Dnipro – 2024

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Комп'ютерних технологій і систем
Кафедра: Автоматика та телекомунікації
Рівень вищої освіти: Магістр
Освітня програма: Автоматика та автоматизація на транспорті
Спеціальність: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АТ

_____ **Володимир ГАВРИЛЮК**

(підпис)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

« _____ » _____ 2024 р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу _____ магістра
(ступінь вищої освіти)

студенту _____ Поліновська, Ангеліна Вікторівна
(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: _____ Дослідження роботи випрямлячів залізничної автоматики

Керівник роботи: _____ Профатилів Володимир Іванович, к.т.н., доцент
(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від _____ " 21 " 11 2022 р. № 1151 ст

2. Строк подання студентом роботи: 15.12.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: _____ Потужність, напруга і струм однофазних випрямлячів $P_d=3...5$ Вт Вт; $U_d=28$ В; $I_d=0.1$ А; трифазних випрямлячів $P_d=12...15$ Вт Вт; $U_d=30$ В; $I_d=0.1$ А; коефіцієнт фільтрації $K_f = 7; 49; 100$. Первинна напруга живлення $U_1=220$ В

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1. Аналіз літературних джерел за темою досліджень

4.2. Розробка лабораторного стенду для дослідження роботи пристроїв електроживлення систем автоматики

4.3. Моделювання вторинних джерел живлення

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Випрямлячі залізничної автоматики. Перетворювачі залізничної автоматики. Дослідження роботи схем випрямлення і перетворення.

Результати моделювання.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)
Аналітична частина			
Основна частина			

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ (Актуальність. Мета роботи. Методи дослідження. Практична значення отриманих результатів)	15.09.2023	10%
2	Розділ 1. Аналіз літературних джерел за темою досліджень	01.10.2023	20%
3	Розділ 2. Розробка лабораторного стенду для дослідження роботи пристроїв електроживлення систем автоматики	05.11.2023	25%
4	Розділ 3. Моделювання вторинних джерел живлення	15.12.2023	25%
5	Висновки	15.12.2023	20%
6	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	15.01.2024	
7	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії		

Студент

_____ (підпис)

Ангеліна ПОЛІНОВСЬКА

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Володимир ПРОФАТИЛОВ

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:

78 сторінок, 25 рисунок, 14 таблиць, 13 джерел літератури.

Об'єкт розробки – вторинні джерела живлення.

Мета роботи – розробити фізичний і віртуальний лабораторний стенд для дослідження роботи випрямлячів і перетворювачів залізничної автоматики.

Методи дослідження – закони електротехніки та теорії лінійних електричних кіл, математична статистика і матаналіз.

У першому розділі приведений аналіз схем випрямлення і перетворювачів залізничної автоматики.

У другому розділі розроблено лабораторний стенд для дослідження роботи випрямлячів, згладжуючих фільтрів та перетворювачів.

В третьому розділі виконати дослідження із застосування програмних пакетів для моделювання вторинних джерел живлення.

Висновок. У результаті моделювання за допомогою Workbench і MatLab Simulink з'ясовано, що найкращим програмним пакетом для моделювання вторинних джерел живлення є MatLab Simulink.

Ключові слова: ВИПРЯМЛЯЧ, ПЕРЕТВОРЮВАЧ, ЗГЛАДЖУЮЧИЙ ФІЛЬТР, ВТОРИННІ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ, МОДЕЛЮВАННЯ.

ЗМІСТ

В

С А

Т Н

У А

В Л

РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ПРИСТРОЇВ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ СИСТЕМ

Н.

О. Л

Д. І

Е. Т

Дослідження тиристорного перетворювача напруги 58

Висновки за розділом..... 42

Ф. М

Е. О

DesignLab..... 67

iOrCAD 9.2 – 10..... 69

3.4. Micro-Cap 70

3.5. Matlab Simulink..... 73

3.6. Висновки за розділом..... 74

В. А

Н. Д

Е. Ж

Н. Я

Ю. Р

Н. В

Ю. Л

К. О

Ф. В

Н. Н

Ю. Н

ВСТУП

Актуальність. Для забезпечення роботи систем залізничної автоматики та телемеханіки необхідно на входи кожного окремого приладу (елемента, пристрої) подавати електроенергію з певними параметрами (кількість фаз, напруга, сила струму, частота), встановленими відповідними технічними умовами. З метою отримання необхідних номінальних значень параметрів електроенергії до складу апаратури входять спеціальні пристрої, що здійснюють необхідні перетворення [1-3].

Перетворення змінної напруги (струму) на постійну напругу (струм) називається випрямленням. Основними елементами випрямних пристроїв є: трансформатор, що виконує узгодження за рівнем (зниження або підвищення) значень вхідної та вихідної напруги; схема випрямлення, що здійснює безпосереднє перетворення змінної напруги в постійне; згладжуючий фільтр, призначений для згладжування пульсацій випрямленої напруги і покращення якості електричної енергії; стабілізатор напруги, що забезпечує підтримку напруги на навантаженні в межах заданих значень при дії різних дестабілізуючих факторів (зміна напруги мережі живлення, опору навантаження, температури навколишнього середовища та ін.). У складі будь-якого випрямного пристрою є схема випрямлення є обов'язковим елементом, інші елементи включаються за мірою необхідності [1, 2]. Від якісної електроенергії і надійної роботи пристроїв електроживлення залежить їх функціонування систем і пристроїв залізничної автоматики, які є електроспоживачами першої особливо важливої категорії. Отже тема магістерської роботи, пов'язана із дослідженням роботи випрямних пристроїв залізничної автоматики і функціонуванням є своєчасною і актуальною.

Мета роботи – наукове дослідження та творча інноваційна діяльність у галузі електроживлення систем залізничної автоматики для покращення

функціональної надійності галузі сигналізації, централізації та зв'язку Укрзалізниці.

Завдання: дослідження роботи випрямних та перетворювальних пристроїв залізничної автоматики, пристрої забезпечення параметрів якості електричної енергії.

Методи дослідження – закони електротехніки, електродинаміки і теорії лінійних електричних кіл, математичної статистики.

Практична значимість – описані результати і методи дослідження застосовуються для здійснення аналізу функціонування систем залізничної автоматики, з метою їх модернізації і оптимізації.

Елементи роботи подаються як приклад в дисциплінах «Електроживлення систем залізничної автоматики і зв'язку», «Електричні кола і лінії залізничної автоматики», «Станційні системи автоматики», «Системи автоматики на перегоні».

1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Випрямлячі залізничної автоматики та зв'язку

Відомо, що зараз електростанції виробляють та передають споживачам змінний струм частотою 50 Гц. Однак для приведення в дію апаратури залізничної автоматики частіше за все необхідним є постійним струм. Звідси витікає необхідність спрямлення змінного струму [1-3].

Взагалі будь-який випрямляч складається з трьох основних вузлів: трансформатор, схема випрямлення та фільтр. Трансформатор необхідний для перетворення стандартної змінної напруги в змінну напругу такої величини, при якій на виході випрямляча виникає задана постійна напруга, необхідна для живлення апаратури автоматики та зв'язку. Випрямляч складається з вентилів, які пропускають змінний струм в одному напрямку. Але спрямлений струм на виході схеми є пульсуючим, тобто змінюється за величиною. Для згладжування пульсуючої складової використовуються фільтри. В результаті напруга на виході випрямляча є постійною [3-5].

Усі схеми випрямлення можна класифікувати за такими ознаками. За числом фаз напруги живлення їх поділяють на одно- та трьохфазні. За видом вентилів, які застосовані в схемах, випрямлячі бувають керованими та некерованими. Керовані випрямлячі будуються на тиристорах, а некеровані – на діодах. За способом з'єднання вентилів можна виділити схеми з загальним анодом або катодом. Також за видом напруги живлення та числом вентилів, які одночасно є відкритими, схеми випрямлення бувають нульовими, коли в кожний момент часу випрямляється лінійна напруга та працює один вентиль, і мостовими, коли випрямляється фазна напруга і працюють два діоди.

При невеликих потужностях (до 1кВт) для електроживлення пристроїв автоматики, телемеханіки та зв'язку на залізничному транспорті використовуються однофазні схеми випрямлення: однонапівперіодна, із середньою точкою трансформатора й мостова. Для живлення більш потужних споживачів (більше

ніж 1 кВт) використовуються трьохфазні схеми. З них найбільш широкого розповсюдження в системах електроживлення пристроїв СЦБ набула трьохфазна мостова схема [5-7].

Для аналізу схем випрямлення приймається ряд допущень. По-перше, припускається, що схема містить ідеальні напівпровідникові прилади. Так, ідеальний діод – це діод, у якого прямий опір наближається до нуля, а зворотній до нескінченності. Ідеальний тиристор - це тиристор, у якого прямий опір у відкритому стані наближається до нуля, а прямий опір в закритому стані – до нескінченності. По-друге, вважають, що в схемах застосовано ідеальний трансформатор, тобто такий трансформатор, у якого індуктивний опір розсіювання і активний опір обмоток наближаються до нуля, а індуктивний опір намагнічування – до нескінченності [5-7].

Випрямлячі, що застосовуються у пристроях автоматики та телемеханіки

Випрямлячі типу ВАК (випрямляч акумуляторний купроксний) призначені для заряджання акумуляторних батарей за буферною системою, а також безпосереднього електроживлення кіл залізничної автоматики [1, 2].

Купроксні випрямлячі складаються з кількох купроксних вентилів, які в порівнянні з селеновими мають найгірші електричні характеристики, але відрізняються більшим терміном служби. Ці випрямлячі застосовують у пристроях автоматики та телемеханіки.

Випрямляч типу ВАК складається з трансформатора та випрямляючих елементів, зібраних у стовпчик за бруківкою. Первинна обмотка I трансформатора Т виконана з обмоток, розташованих на середньому стрижні Ш-подібного магнітопроводу 1.

Електроживлення випрямлячів ВАК здійснюється від мережі змінного струму напругою, 127 або 220 В, частотою 50 Гц. Мережа змінного струму підключається відповідно до висновків первинної обмотки.

О-ПО, 0-127 або 0-220 В. Вторинна обмотка II розташована на бічному стрижні магнітопроводу. Трансформатор має магнітний шунт 2, яким можна

регулювати напругу на вторинній обмотці, а отже, і випрямлений струм. При крайньому лівому положенні шунта через шунт проходить найбільший магнітний потік, а через осердя вторинної обмотки 3 - найменший. В цьому випадку випрямлений струм буде мінімальним.

Для електропостачання пристроїв автоматики та телемеханіки застосовують кілька різних типів купроксних випрямлячів типу ВАК.

Основні характеристики купроксних випрямлячів типу ВАК з індексом А наведено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні характеристики купроксних випрямлячів типу ВАК

Характеристики	ВАК-11А	ВАК-13А	ВАК-16А	ВАК-14А
Напруга акумуляторної батареї з підключеним випрямлячем, В	13,2	13,2	13,2	2,2
Струм навантаження при введеному шунті, А, не більше	0,1	0,2	0,15	0,2
Струм навантаження при введеному шунті, А, не більше	0,6	2,4	1,2	2,2
Напруга на зажимах випрямлячів при активному навантаженні і введеному шунті, В, не менше	11,8	11,8	11,8	11,9

Випрямлячі типів ВАК-11А, ВАК-13А, ВАК-16А використовують автономно або для буферної роботи з акумуляторною напругою 12 В. Випрямлячі типу ВАК-14А служать для безперервного підзаряду акумулятора напругою 2 В.

У випрямлячі типу ВАК з індексом Б застосовують кремнієві діоди, які при ступінчастому регулюванні приєднують до відповідної секції трансформатора Т. Випрямлячі типу ВАК-Б випускали з 1969 по 1974 рік. Тобто вони вже застарілі.

Кремнієві випрямлячі можуть працювати з акумуляторними батареями та самостійно, як джерела випрямленої напруги. Випрямлена напруга при цьому залежить від навантаження, особливо активного.

Електричні характеристики кремнієвих випрямлячів при роботі з акумуляторною батареєю наведені в табл. 1.2, а при роботі з активним навантаженням – у табл. 1.3 [3].

У наступні роки у випрямлячах типів ВАК-13Б, ВАК-14Б та ВАК-16Б кремнієві діоди замінили на селенові. Випрямлячі стали позначати відповідно ВАК-13, ВАК-14 та ВАК-16. Їхні електричні характеристики не змінилися. Отже, випрямлячі акумуляторні (ВАК) використовуються для заряджання акумуляторних батарей при буферному включенні, а також для безпосереднього живлення релейних схем. У випрямлячах ВАК-11 А, ВАК-13А, ВАК-14Аі ВАК-16А використовуються купруксні випрямляючі елементи (мідні пластини, вкриті тонким шаром оксиду міді), у випрямлячах ВАК-13Б, ВАК-14Б та ВАК-16Б - кремнієві діоди, у випрямлячах ВАК-13, ВАК-14 та ВАК-16 - селенові випрямляючі елементи.

Випрямляч стабілізований напівпровідниковий ВСП-12/10х2 має два незалежні виходи, кожен з яких забезпечує номінальну напругу 12 В при максимальному струмі навантаження 10 А. При послідовному з'єднанні виходів випрямляча можна отримати напругу 24 В, при паралельному з'єднанні струм навантаження може досягати 20 А [2,3].

Таблиця 1.2 – Параметри випрямлячів залізничної автоматики типу ВАК

Тип випрямляча	Напруга батареї, В	Струм на виводах Тс 1	Струм заряду, А	Перевантаження, ±20%	Три ступені регулювання, А		
					0,7	1,0	2,4
ВАК-13Б	13,2	0,1	0,25	0,45	0,7	1,0	2,4
ВАК-14Б	2,2	0,15	0,35	0,8	1,2	1,6	2,2
ВАК-16Б	13,2	0,07	0,13	0,25	0,38	0,6	1,2

Таблиця 1.3 – Електричні характеристики випрямлячів типу
ВАК-13, ВАК-14, ВАК-16

Тип випрямляча	Випрямлений струм, А	Випрямлена напруга, В	Напруга 2, В	Напруга 3, В	Три ступені регулювання, В		
ВАК-13Б	2,4	6,5+0,5	7+0,6	7+0,7	8,3+0,7	9+0,8	12,2+0,8
ВАК-14Б	2,2	0,4+0,15	0,57+0,15	0,95+0,15	1,45+0,15	1,8+0,2	2,3+0,2
ВАК-16Б	1,2	6,6+0,5	7±0,6	7,5+0,7	8,4+0,7	9+0,8	12+0,8

Випрямлячі типу ВСА (випрямляч селеновий акумуляторний) раніше широко використовували пристрої електричної централізації для заряду акумуляторних батарей. Вони розраховані на підключення до мережі змінного струму частотою 50 Гц, напругою 220, 127 або 110 В. Хоча ВСА в даний час не застосовують, але в експлуатації вони є.

Випрямляч ВСА-6М є однофазним двонапівперіодним селеновим випрямляючим пристроєм. Він не має спеціальних пристроїв для регулювання напруги; під час заряду струм автоматично знижується внаслідок зростання напруги батареї.

Зарядно-буферний пристрій типу ЗБУ-12/10 призначений для заряду акумуляторної батареї напругою 12-14 В. У пристрої застосована двонапівперіодна схема випрямлення із середньою точкою та кремнієвими діодами. Випрямляч випускають із заводу включеним та відрегульованим на живлення від мережі змінного струму частотою 50 Гц, напругою або 220 В; випрямлену напругу 12 В; максимальний струм при нормальній напрузі мережі живлення 10 А.

Блок типу ЗБУ-12/10 складається з трансформатора Т спеціальної конструкції, що складається з трьох стрижнів та розрахованого на живлення від однофазної мережі змінного струму (обмотка на стрижні 3 служить для регулювання зарядного струму); двонапівперіодних випрямлячів на силових

кремнієвих діодах У2 і У3 із середнім висновком; приладів автоматики для виміру режимів роботи. Блок має перемикач П для перемикання пристрою з автоматичним регулюванням режимів роботи на ручну.

Зарядно-буферний пристрій типу ЗБУ-12/10. Автоматика блоку, призначена для зміни режимів його роботи, складається з моста, три плечі якого утворені резисторами В.1, Я3, Я4 і Я6 і одне плече - стабілітроном VI, і реле поляризованого ЯП з повторювачем Р. Реле РП включено в діагональ моста через два регульовані резистори Я'2 і Я5. Резистором Я2 встановлюють межі напруги батареї (максимальної або мінімальної), при яких зміна напрямку струму в реле РП викликає перекидання поляризованого якоря. Резистором Я5 встановлюють необхідний струм спрацьовування реле РП [2,3].

При необхідності включення ЗБУ-12/10 для роботи з акумуляторною батареєю напругою 14,5 (сім акумуляторів) діоди У2 і У3 слід переключити з висновків 20 і 26 силового трансформатора Т відповідно на висновки 19 і 27.

Зарядно-буферний пристрій може працювати разом з акумулятором у буферному режимі або в режимі форсованого заряду. Перехід із буферного режиму в режим форсованого заряду відбувається автоматично при зниженні напруги на акумуляторі до 2,1 В. З підвищенням напруги на акумуляторі до 2,5 В пристрій автоматично переводиться в буферний режим.

У режимі ручного регулювання зарядний буферний пристрій можна використовувати для безпосереднього живлення навантаження без акумуляторної батареї. У цьому випадку вихідна напруга та струм підбирають перестановкою штепселя. Випрямлену напругу може бути від 9 до 18 В. Конструктивно зарядно-буферний пристрій типу ЗБУ-12/10 виконують у вигляді блоку, який пристосований для встановлення в релейних шафах або закритих приміщеннях [2,3].

Випрямні пристрої ВУДК використовуються для живлення пристроїв частотного диспетчерського контролю.

Блок живлення типу БПШ служить для живлення постійним струмом лінійних кіл цифрового кодового автоблокування. Блок складається з трансформатора з секційованою вторинною обмоткою, двополу-періодного випрямляча з чотирьох діодів і конденсатора, що згладжує. Деталі блоку розміщені у корпусі малогабаритного штепсельного реле.

Первинна обмотка трансформатора Т може живитися змінним струмом частотою 50 Гц, напругою 110 і 220 В. Напругу 220 В підключають до виводів 13-31, а між висновками 11-33 встановлюють перемичку. При нарузі ПЗ перемичками з'єднують висновки 11-13 і 31-33 і напруга підводять до виводів 13-31. Одночасно від блоку може бути отримано тільки одне з випрямлених напруг: 16, 20 або 60; максимальний випрямлений струм навантаження 100 мА.

Випрямляючий пристрій типу ВУС-1,3 служить випрямлення однофазного змінного струму частотою 50-400 Гц. Цей пристрій застосовують на малих станціях для живлення електроприводів стрілочних з електродвигунами постійного струму на номінальну напругу 160 В.

Випрямляючий пристрій типу ВУС-1,3 має такі характеристики:

Номінальна напруга мережі живлення 220 В

Випрямлена напруга, не менше 190 В

Номінальна потужність на виході, $P=1,3$ кВт

Пристрій є випрямлячем мостового типу з двома кремнієвими діодами в кожному плечі, паралельно кожному діоду включені резистор і конденсатор для вирівнювання зворотних напруг.

Блок живлення типу БПСН призначений для живлення ланцюга зміни напрямки одноколійного автоблокування. У блоці типу БПСН є малогабаритний шляховий трансформатор типу РТМ. Як випрямляючі елементи використовують діоди, включені за мостовою схемою. Блок типу БПСН служить до роботи у закритому приміщенні.

Електричні характеристики блоку типу БПСМ:

Напруга на вході 3,5 В

Випрямлена напруга, при навантаженні:

200 Ом 33±6

1500 Ом 85±15

Автоматичний регулятор струму типу РТА застосовують для постійного підзаряду батареї, що містить шість або сім кислотних акумуляторів, та форсованого заряду її максимальним струмом випрямляча. У режимі постійного заряджання напруга на батареї підтримується стабільним, чим забезпечується мінімальний знос акумуляторів. Зарядний струм повністю компенсує струм саморозряду акумуляторів і струм навантаження, що змінюється.

Регулятор струму призначений для заряду акумуляторів типів АБН-72 та АБН-80 сигнальних точок автоблокування постійного струму пристроїв автоматичної переїзної сигналізації, постів релейного напівавтоматичного блокування та інших пристроїв автоматики і телемеханіки. Його використовують спільно з випрямлячами типу ВАК-13 або з трансформаторами типу ПОБС-2А, встановлюють у релейних підлогових шафах.

У регуляторі РТА напруга від мережі змінного струму через трансформатор Т подається на керований випрямляч, який навантажений на акумуляторну батарею СВ. Керований випрямляч У складається з мостового випрямляча на діодах і тиристора, включеного в ланцюги постійного струму. Залежно від напруги батареї режимний пристрій РУ перемикає регулятор струму РТА з постійного режиму заряду в режим форсованого заряду і навпаки.

У режимі форсованого заряду режимний пристрій РУ подає безперервний сигнал формувач імпульсів ФІ, що є підсилювачем постійного струму. Тиристор повністю відкритий і випрямляч забезпечує заряд батареї максимальним струмом.

У режимі постійного підзаряду сигнал на виході РУ відсутній і формувач імпульсів ФІ отримує імпульси з широтно-імпульсного модулятора ШІМ, який має формувач пилкоподібної напруги ФПН та генератор імпульсів ГІ.

Потенціометром встановлюють напругу постійного підзаряду батареї при конкретних параметрах джерел (число акумуляторів, опір дротів живлення, типи випрямляча ВАК і трансформатора). Потенціометром Аш регулюють струм заряду I , акумуляторної батареї.

Автоматичний зарядний пристрій типу УЗА-24-10 служить для заряду кислотної акумуляторної батареї з номінальною напругою 24 В. Його можна використовувати як самостійний стабілізований випрямляч. При роботі в буферному режимі з батареєю пристрій розрахований на два режими - стаціонарний і форсований заряд.

Пристрій типу УЗА-24-10 випускають у відкритому виконанні. Воно призначене для встановлення в панелях, закритих шафах та місцях, захищених від попадання вологи та сторонніх предметів. Живлення від мережі змінного струму через трансформатор Т подається на двонапівперіодний керований тиристорний випрямляч ВПУ, який навантажений на акумуляторну батарею СВ і керується регулятором кута відсічення струму випрямляча. Режим роботи зарядного пристрою УЗА управляють за допомогою контактів реле форсованого заряду ФЗ. Якщо реле без струму, то форсований заряд акумуляторної батареї, а якщо під струмом, то постійний підзаряд. Регулятором роботи пристрою є широтно-імпульсний модулятор ШІМ, який виробляє імпульси керування тиристорами ВПУ. На вході ШІМ включений некерований двонапівперіодний випрямляч Вп, що живиться від напруги мережі через трансформатор Т. Випрямлена напруга з виходу Вп подається на вхід формувача стабілізованої пилкоподібної напруги ФП. З виходу ФП ця напруга подається на вхід генератора імпульсів ГІ, який спрацьовує, коли миттєве значення вхідної напруги стає більше напруги чутливості генератора, і повертається у вихідне положення у провалі пилкоподібної напруги. Від передніх фронтів, що виробляються ГІ імпульсів напруги, спрацьовує формувач імпульсів ФІ. У режимі форсованого заряду на вхід ГІ подаються сигнали, пропорційні струму заряду та напруги мережі. На потенціометрі до напруга 2 стабілізована. Датчик

максимального струму ДМТ пов'язаний із шунтом /шв і спрацьовує при підвищенні допустимого струму заряду.

Основні характеристики пристрою типу УЗА-24:

Номинальна напруга живильної мережі 220+22 В

Струм заряду батареї ... регулюється від 0 до 12 А

Напруга кислотної акумуляторної батареї, в режимі постійного підзаряду при зміні струму навантаження від 2 до 10 А..... 26,4+0,6 В

Пристрій типу УЗА-24-10, так само як і РТА, є керованим випрямлячем, що забезпечує безперервне стеження та плавне регулювання вихідних параметрів: напруги та струму.

Випрямляч типу ВСП-24/10 (випрямляч стабілізований напівпровідниковий) може працювати у двох автоматичних режимах: стабілізації напруги (при буферній роботі з акумуляторними батареями за способом постійного підзаряду) та стабілізації струму (при заряді акумуляторних батарей). Для безакумуляторного живлення випускають випрямляч ВСП1 спеціального типу. Випрямляч має стабілізатори напруги, робота яких ґрунтується на наступному принципі.

Випрямляч типу ВСП-24/10 може віддавати струм до 10 А при напрузі 24 В. Напруга мережі змінного струму 220 В, максимальний струм, що споживається від мережі, 3А.

Випрямляч стабілізований напівпровідниковий ВСП-12/10х2 має два незалежні виходи, кожен з яких забезпечує номінальну напругу 12 В при максимальному струмі навантаження 10 А. При послідовному з'єднанні виходів випрямляча можна отримати напругу 24 В, при паралельному з'єднанні струм навантаження може досягати 20 А

Випрямні пристрої ВУДК використовуються для живлення пристроїв частотного диспетчерського контролю.

Блок живлення штепсельний БПШ призначений для живлення лінійних ланцюгів числового кодового автоблокування, блок живлення БПСН - ланцюгів зміни напрямки одноколісного автоблокування.

Блок прямий селеновий БВС, блок діодно-резисторний БДР і блок діодів БД використовуються в схемах управління стрілками.

Для заряду акумуляторних батарей в режимах безперервного підзаряду і форсованого заряду використовуються зарядно-буферний пристрій ЗБУ12/20 30 та ЗБВ 220/3, регулятори струму автоматичні РТА та РТА1, пристрої зарядні автоматичні УЗА-24-10 та УЗА-24-20, пристрої зарядні автоматичні трифазні УЗАТ-24-30.

1.2. Перетворювачі залізничної автоматики

При резервному живленні від акумуляторної батареї для включення стрілочних електродвигунів постійного струму застосовуються перетворювачі напівпровідникові стрілочні ППС-1 потужністю 1 кВт та ППС-1,7 потужністю 1,7 кВт (працюють спільно з приладами випрямлення ВУС-1,3), для включення стрілочних електродвигунів трифазного змінного струму - перетворювач напівпровідниковий стрілочний трифазний ППСТ-1,5М потужністю 1,5 кВт.

Напівпровідниковий перетворювач типу ППС-1,7 служить для резервування живлення стрілочних електроприводів з двигунами постійного струму на номінальну напругу 160 В від низьковольтної акумуляторної батареї. Перетворювач застосовується разом з випрямним пристроєм типу ВУС-1,3 і розрахований на переведення однієї стрілки з будь-якою маркою хрестовини. Залежно від напруги живлення інвертора 24 або 48 В випускаються два типи перетворювачів: ППС-1,7-24 і ППС-1,7-48. Перетворювач можна перемикаєти з одного типу в іншій за допомогою перемичок на трансформаторі, дроселі і конденсаторів.

Основні технічні характеристики перетворювачів ППС-1,7 приведені в табл.1.4. Схема перетворювача ППС-1,7 дана на рис.1.1.

Джерелом вхідної напруги перетворювачів напівпровідникових ПП-0,3 та ПП-0,3М потужністю 0,3 кВт можуть бути акумуляторна батарея або трифазний випрямляч (з бруківкою схемою випрямлення).

Напівпровідниковий перетворювач ПП-0,3М потужністю 0,3 кВт модернізований призначений для резервування електроживлення пристроїв залізничної автоматики при вимиканні мережі однофазного змінного струму й для електроживлення рейкових кіл однофазним змінним струмом, частотою, відмінної від частоти мережі.

Перетворювач встановлюється в приміщеннях постів ЕЦ в металевих утеплених контейнерах або модулях. За кліматичними впливами він призначений для роботи при температурах від - 25 до + 50 °С.

Перетворювач ПП-0,3М має наступні достоїнства у порівнянні із ПП-0,3: м'який, більш стійкий пуск без використання освітлювальної лампи в навантаженні; робота на частоті 50 Гц замість 60 Гц; можливість роботи в автономному режимі із частотою 75 Гц; зменшена кількість трансформаторів; зменшений розмір силового дроселя, замість реле КДР-5М застосовано реле менших розмірів РЭМ-3М. Технічні характеристики перетворювача наведені в табл.1.5 –1.7. Схема перетворювача і схема його підключення в автономном режимі дано на рис. 1.2, 1.3.

Перетворювач напівпровідниковий штепсельний ППШ-3 може працювати в одному з двох режимів – випрямлення змінного струму або перетворення постійного струму. Налаштування перетворювача на один із трьох режимів живлення (змінним струмом; постійним струмом; нормально - від джерела змінного струму, а при його вимкненні - від джерела постійного струму) здійснюється встановленням перемичок на штепсельній розетці.

Напівпровідникові перетворювачі-випрямлячі ППВ-0,5М потужністю 0,5 кВт та ППВ-1 потужністю 1,0 кВт служать для заряду акумуляторної батареї (режим випрямлення) та резервного живлення апаратури СЦБ змінним струмом при відключенні мережі (режим перетворення постійного струму батареї).

Таблиця 1.5 – Характеристики напівпровідникового перетворювача ПП-0,3М

Характеристики	Значення
Напруга на виході перетворювача, В:	
при номінальному навантаженні	220±10
при холостому ході (не більше)	260
Номінальна напруга акумуляторної батареї, В	24
Частота вихідної напруги перетворювача в автономному режимі, Гц	60±1
Номінальна потужність навантаження, Вт, (при $\cos\varphi = 0,9$)	300
Коефіцієнт корисної дії, % (не менше)	80
Струм холостого ходу, А (не більше)	4
Маса, кг	36

Таблиця 1.6 – Характеристики перетворювача ПП-0,3М

Режим	Вихідна частота, Гц	Перемички на колодках ХР
Автономний	50	1–5, 4–8
	75	1–5, 3–7
Із зовнішнім сигналом управління	50	2–6, 4–8
	75	2–6, 3–7

Таблиця 1.7 – Характеристики перетворювача ПП-0,3М при роботі в автономному режимі

Параметр	Напруга на контактах виходів ХТ перетворювача, В		
	12–18	12–17	12–16
Потужність навантаження, 300 Вт	210–230, але не більше 250	14...15	7...8

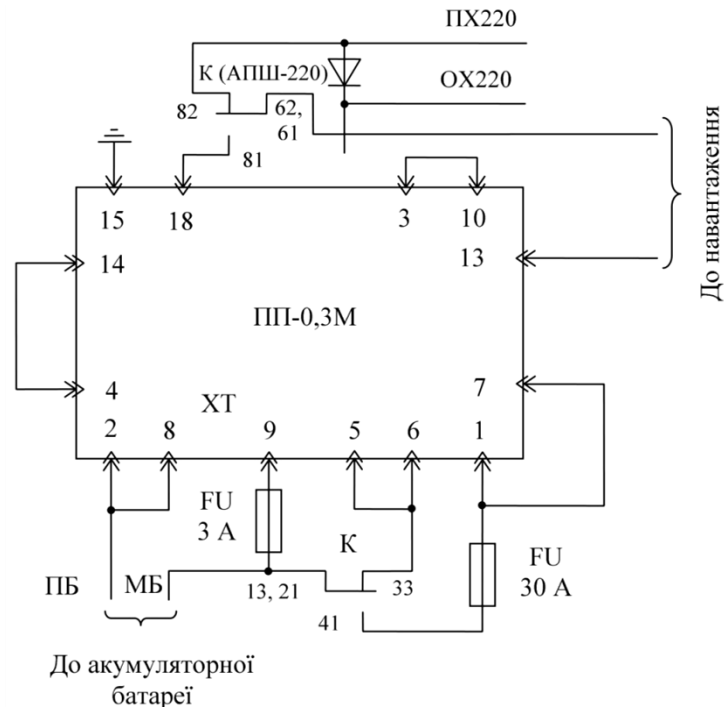


Рисунок 1.2 – Схема підключення перетворювача ПП-0,3М в автономному режимі

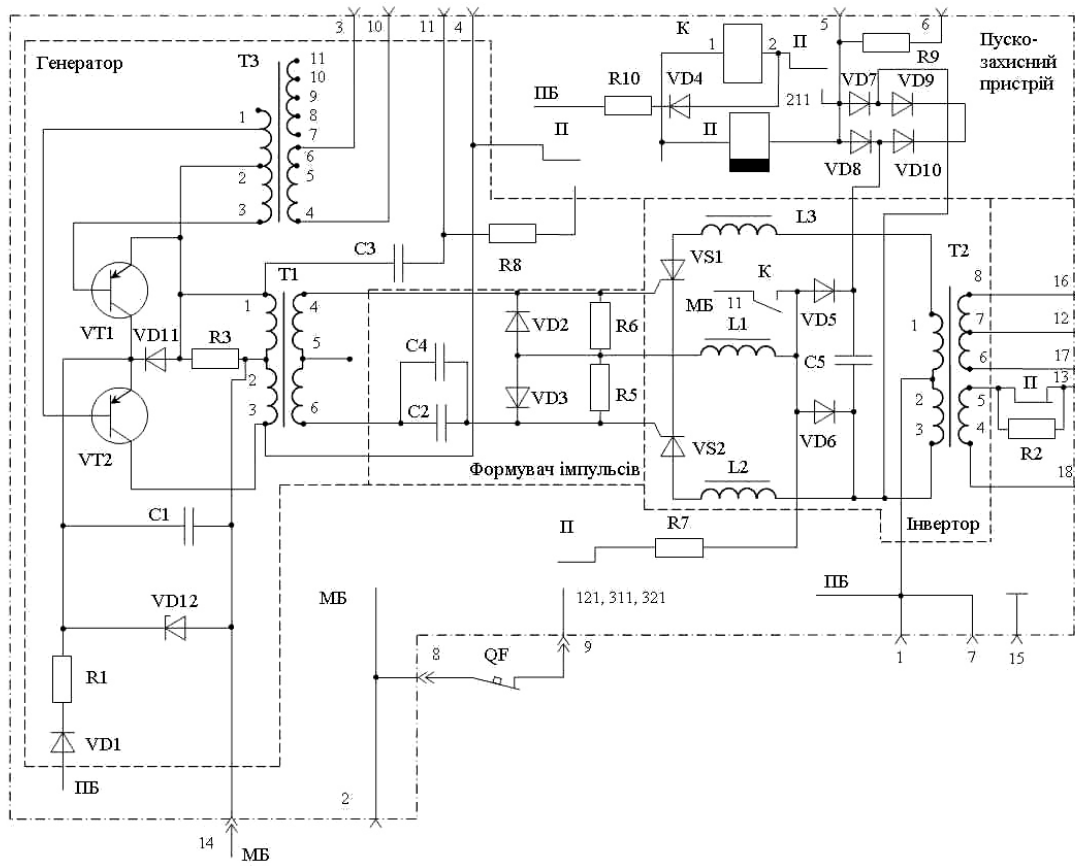


Рисунок 1.3 – Схема перетворювач ПП-0,3

Перетворювач-випрямляч типу ППВ-1 служить для заряду кислотної акумуляторної батареї від мережі змінного струму (режим випрямлення) і перетворення енергії постійного струму акумуляторної батареї в змінний при відключенні мережі (режим перетворення). Разом з напівпровідниковими реле напруги РПН перетворювач забезпечує оптимальне утримання акумуляторної батареї в буферному режимі й форсований заряд після вмикання мережі змінного струму.

Перетворювач виконано у вигляді блоку, що не має кожуха, і призначений для установки в закритих шафах і місцях, захищених від влучення вологи, пилу й сторонніх предметів. В основному його застосовують у панельних пристроях електроживлення постів ЕЦ проміжних станцій зі статичними перетворювачами. Основні технічні характеристики перетворювача ППВ наведено в табл. 1.8, 1.9.

Таблиця 1.8 – Характеристики перетворювачів-випрямлячів типу ППВ

Характеристика	Тип перетворювача		
	ППВ-0,5М	ППВ-0,6	ППВ-1
Номінальна напруга акумуляторної батареї, В	24	24	24
Напруга на виході перетворювача, В:			
при номінальному навантаженні	220_{-5}^{+10}	220_{-5}^{+10}	220_{-5}^{+10}
при холостому ході (не більше)	260	260	270
Частота вихідної напруги перетворювача в автономному режимі, Гц	60 ± 1	$25 \pm 0,5$	$50 \pm 0,5$
Номінальна потужність навантаження, Вт (при $\cos \varphi = 0,9$)	500	600	1000
Коефіцієнт корисної дії, % (не менше)	80	80	80
Струм холостого ходу, А (не більше)	5	5,5	6
Маса, кг	60	80	80

Таблиця 1.9 – Характеристики напівпровідникових перетворювачів типу ППВ в режимі випрямлення

Характеристика	Тип перетворювача		
	ППВ-0,5М	ППВ-0,6	ППВ-1
Номинальна напруга в мережі змінного струму, В	220	220	220
Струм заряду акумуляторної батареї, А	0–12	0–12	0–20
Струм, що споживається від мережі змінного струму при максимальному струмі заряду, А, не більше	–	–	7
Зміна усталеного струму заряду, %, при зміні напруги мережі від 180 (для ППВ-0,6 для 187 В) до 250 В, не більше	±25	±25	±25
Напруга акумуляторної батареї:			
номинальна	24	24	24
в режимі включення форсованого заряду	24	24	24
в режимі виключення форсованого заряду	31,4	31	31
в режимі постійного підзаряду	25,2–27,6	25,8–27	25,8–27
Коефіцієнт корисної дії, %	60	60	65

Перетворювач ППВ-1 (рис. 1.4) складається із підсилювача-генератора Г, Формувача імпульсів ФІ, інвертора (керованого випрямляча) І, фазорегулятора ФР, режимного пристрою РП та пускозахисного пристрою ПЗУ. Функції режимного пристрою РП виконують два напівпровідникових реле напруги РНП, установлених поза перетворювачем ППВ-1. Реле РНП разом із включеними на виході реле ФЗ й З перемикають струми заряду акумуляторної батареї. Релейний блок виконаний в окремому кожусі.

З режиму випрямлення в режим перетворення й навпаки перетворювач перемикається контактами аварійного реле А, розташованих поза

перетворювачем, і їхнього повторювача АП, встановленого в релейному блоці перетворювача.

У режимі перетворення, коли реле А і АП знеструмлені, автогенератором Г задається частота посилення імпульсів на тиристорі і тим самим частота перетвореної напруги.

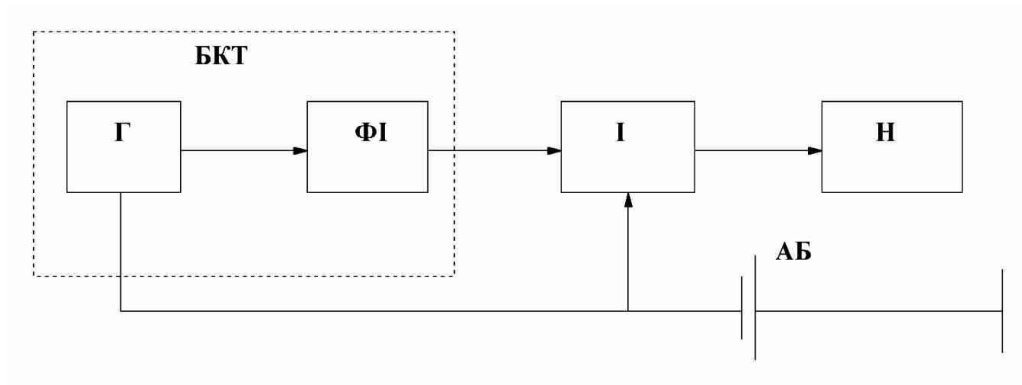


Рисунок 1.4 – Структурна схема перетворювача ППВ-1

За допомогою формувача імпульсів ФІ прямокутна вихідна напруга, що виробляється генератором перетворюється на імпульси, які управляють роботою інвертора І. Інвертор перетворює постійний струм акумуляторної батареї АБ у змінний.

У режимі випрямлення реле А і АП під струмом і змінна напруга подається на керований випрямляч І, зібраний за двохнапівперіодною мостовою схемою. Випрямний міст навантажений на акумуляторну батарею. Регулювання струму заряду досягається зміною фази керуючих імпульсів, що подаються на тиристори випрямляча, щодо фази змінної напруги. Зрушення фази змінної напруги виконується фазорегулятором ФР. Роботою фазорегулятора управляє режимний пристрій РП, що залежно від напруги акумуляторної батареї підключає до фазорегулятора ФР один із трьох резисторів, які і задають оптимальний струм випрямляча. Підсилювач-генератор Г перетворює синусоїдальну напругу, що надходить із виходу фазорегулятора, у прямокутну. Формувач імпульсу ФІ

виробляє короткі імпульси, синфазні із цією напругою. Імпульси надходять на керуючі електроди тиристорів інвертору-випрямляча І.

1.3. Висновки за розділом

З виконаного огляду літературних джерел з'ясовано, що необхідно дослідити роботу вторинних джерел живлення, зокрема випрямлячів і перетворювачів, з використанням фільтрів і без них. Розробити фізичний і віртуальний лабораторний стенд для дослідження роботи випрямлячів залізничної автоматики.

2. РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ПРИСТРОЇВ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ

При виконанні лабораторних робіт студенти повинні дотримуватись правил техніки безпеки.

1. До виконання лабораторних робіт допускаються лише ті, хто пройшов інструктаж з питань техніки безпеки безпосередньо на робочих місцях.

2. Приступати до зборки схеми можливо лише після ознайомлення з принципами її роботи та порядку виконання.

3. Подавати напругу на зібрану схему можна, лише після перевірки її викладачем чи лаборантом, закріпленим за лабораторією, залучившись відповідним дозволом.

4. Перед вмиканням схеми відповідальна персона повинен сповістити присутніх: «Обережно! Вмикаю!» Аналогічно, після виконання вказаного в лабораторній роботі переліку дій з дослідження роботи схеми, перед вимиканням вона повинна голосно вимовляти: «Обережно! Вимикаю!»

5. Забороняється доторкатися до струмоведучих частин стенду, гнізд контролю напруги та струму в схемі.

6. Забороняється виконувати зборку схеми під напругою.

7. Забороняється самостійно проникати за лицеву панель стенду з метою огляду чи ремонту.

8. Забороняється використовувати для зборки схеми проводи з ушкодженою ізоляцією. Також слід застосовувати проводи нормалізованої довжини так, щоб вони не були включені в натяжку.

9. Забороняється подавати напругу, вищу, ніж зазначено в даній лабораторній роботі.

10. При з'ясуванні будь-яких несправностей стенду чи вимірювальних приладів студент зобов'язаний негайно відключити стенд від живлячої мережі та сповістити про це керівнику занять [9,10].

2.1. Однофазні схеми випрямлення

Мета роботи. Вивчити принцип дії напівпровідникових випрямлячів й ознайомитися з методикою виміру основних параметрів схем випрямлення.

Програма роботи.

Зняти зовнішні характеристики випрямляча при роботі на активне навантаження. Визначити коефіцієнт пульсації за результатами вимірів постійної та змінної складової спрямленої напруги. Провести порівняльний аналіз теоретичних даних з результатами експерименту, оцінити осцилограми напруги й основні параметри, що характеризують експлуатаційні властивості випрямлячів.

При невеликих потужностях випрямного струму (до 1кВт) для електроживлення пристроїв автоматики, телемеханіки й зв'язки на залізничному транспорті використовуються однофазні схеми випрямлення: однонапівперіодна, із середньою точкою трансформатора й двохнапівперіодна мостова. Розглянемо роботу схем випрямлення при деяких спрощеннях. Нехай в схемах включено ідеальний вентиль, тобто його прями́й опір дорівнює нулю, а зворотній – нескінченності. Зневажимо активним опором й індуктивністю розсіювання обмоток трансформатора, припустимо, що опір навантаження є чисто активним.

Однофазна однонапівперіодна схема випрямлення (рис.2.1) містить силовий трансформатор T_r , вентиль VD , навантажувальний опір R_n . До первинної обмотки трансформатора підводена змінна синусоїдальна напруга живильної мережі, а вторинна обмотка трансформатора включається послідовно з діодом і навантаженням [3-7].

На часових діаграмах показано, що синусоїдальна напруга мережі (первинна) і вторинна u_2 зміщенні одна від одної на 180° , при чому

$$u_2(t) = U_{2m} \sin(\omega t), \quad (2.1)$$

де U_{2m} – амплітудне значення напруги, В.

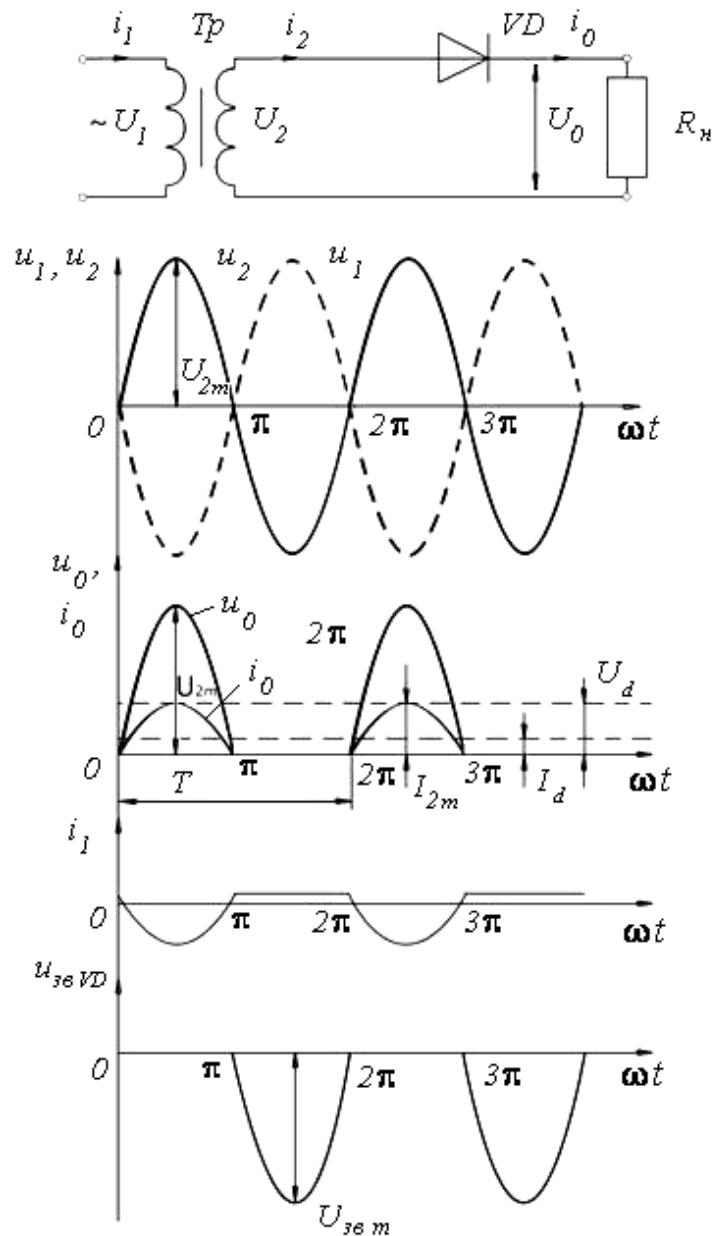


Рисунок 2.1 – Однофазна однонапівперіодна схема випрямлення. Часові діаграми напруги та струму

Струм у навантаженні i_0 може протікати в тому випадку, якщо анод вентиля перебуває під позитивним потенціалом, тобто при позитивному

напівперіоді напруга u_2 (ділянки $0 \dots \pi$, $2\pi \dots 3\pi$). При негативному напівперіоді ($\pi \dots 2\pi$, $3\pi \dots 4\pi$) струм у навантаженні дорівнює нулю. Тому що струм через навантаження протікає тільки в одному напрямку, то він є спрямленим за напрямком, а за величиною залишається пульсуючий.

Форма й величина напруги на навантаженні u_0 на ділянці $0 \dots \pi$ повторює напруга u_2 , а на ділянці $\pi \dots 2\pi$ напруга u_0 дорівнює нулю, тому що вентиль не проводить струм.

На часових діаграмах (див. рис.2.1) показана форма струму в первинній обмотці трансформатора i_0 й зворотна напруга на вентилі u_{VD} .

Однофазна двонапівперіодна схема із середньою точкою дана на рис. 2.2. Схема являє собою сполучення двох однонапівперіодних схем випрямлення, що працюють на загальне навантаження.

При подачі синусоїдальної напруги в первинну обмотку трансформатора на вторинній обмотці між середньою точкою й кінцями a й b фазних обмоток утворюються рівні за величиною, але протифазні синусоїдальні напруги u_2' й u_2'' . Коли потенціал точки a позитивний, а точки b – негативний (ділянка $0 \dots \pi$), вентиль VD1 відкритий, через нього й через навантаження протікає струм i_0' . Вентиль VD2 у цей час не пропускає струм, тому що перебуває під зворотною напругою, яка дорівнює різниці потенціалів між кінцями вторинної обмотки трансформатора. Максимальне значення цієї різниці дорівнює подвоєному амплітудному значенню напруги на одній половині вторинної обмотки трансформатора $U_{зв} = 2U_{2m}$ [5 - 7].

У другий напівперіод $\pi \dots 2\pi$ струм i_0'' проходить через вентиль VD2 і навантаження, вентиль VD1 не проводить струм.

Таким чином, вентиля працюють по черзі, тому струм через навантаження проходить протягом обох напівперіодів, тобто має місце двонапівперіодне випрямлення.

На відміну від однонапівперіодної схеми в двохнапівперіодній відсутнє змушене намагнічування осереддя трансформатора, тому що трансформатор завжди знаходиться під навантаженням, пропускаючи вторинний струм через діод VD1 або VD2. А трансформатор однофазної однонапівперіодної схеми працює під навантаженням, коли клапан пропускає струм і в режимі холостого ходу, коли клапан зачинено [5].

На рис. 1.2 показані криві випрямленого струму i_0 й напруги u_0 , форма струму в первинній обмотці трансформатора i_1 , крива зворотної напруги $u_{звVD2}$ на клапані VD2.

Мостова схема Греца зображена на рис. 2.3. До однієї діагоналі моста підводиться змінна напруга, а до іншої підключається навантаження й знімається випрямлена напруга.

У перший напівперіод $0 \dots \pi$ струм проходить через клапани VD1, VD3 й навантаження R_H по колу: точка a , VD1, R_H , VD3, точка b . Клапани VD2, VD4 перебувають під зворотною напругою. У другий напівперіод $\pi \dots 2\pi$ струм протікає від точки b через клапан VD2, навантаження R_H , діод VD4 до точки a [5, 6].

Таким чином, струм у навантаженні тече обидва напівперіоди в одному напрямку. Отже, має місце двохнапівперіодне випрямлення. Оскільки во вторинній обмотці трансформатора струми мають протилежний напрямок, відсутнє змушене намагнічування трансформатора.

На рис. 2.3 показані часові діаграми напруги на вторинній обмотці трансформатора u_2 , струмів через клапани VD1–VD4, діаграми випрямленого струму i_0 й випрямленої напруги u_0 , діаграми струму i_1 в первинній обмотці трансформатора й зворотної напруги $u_{звVD1, VD3}$ на клапанах VD1, VD3.

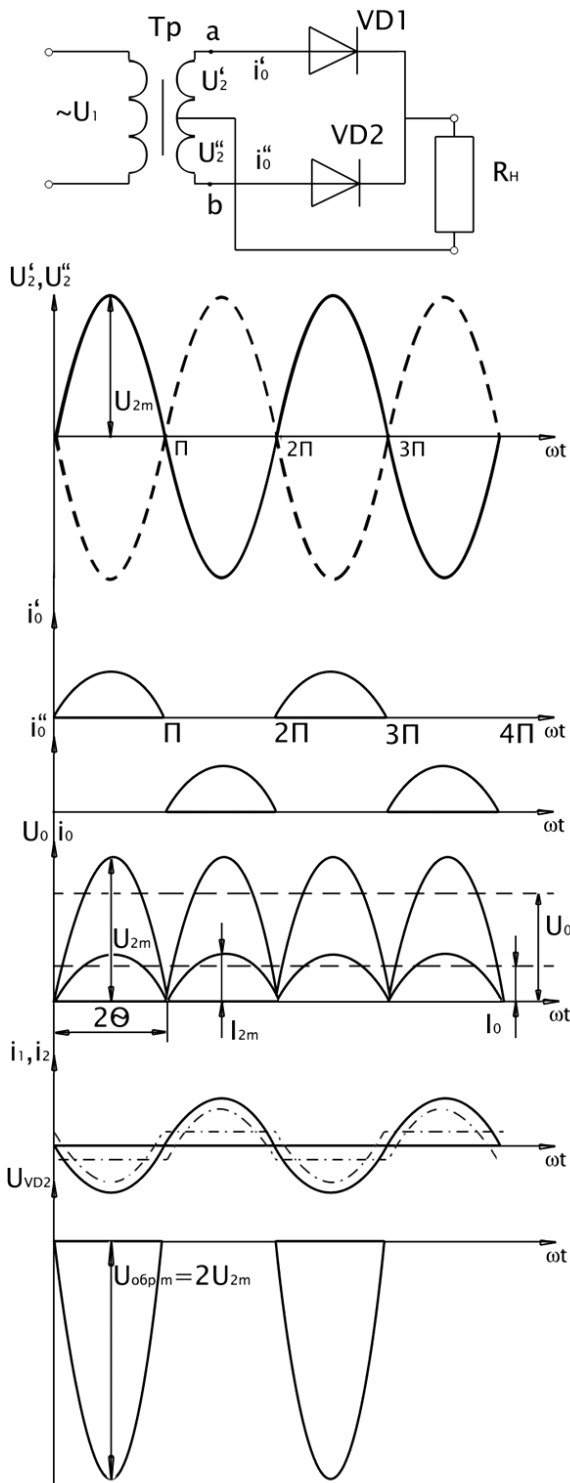


Рисунок 2.2 – Однофазна двохнапівперіодна схема випрямлення. Часові діаграми напруги та струму

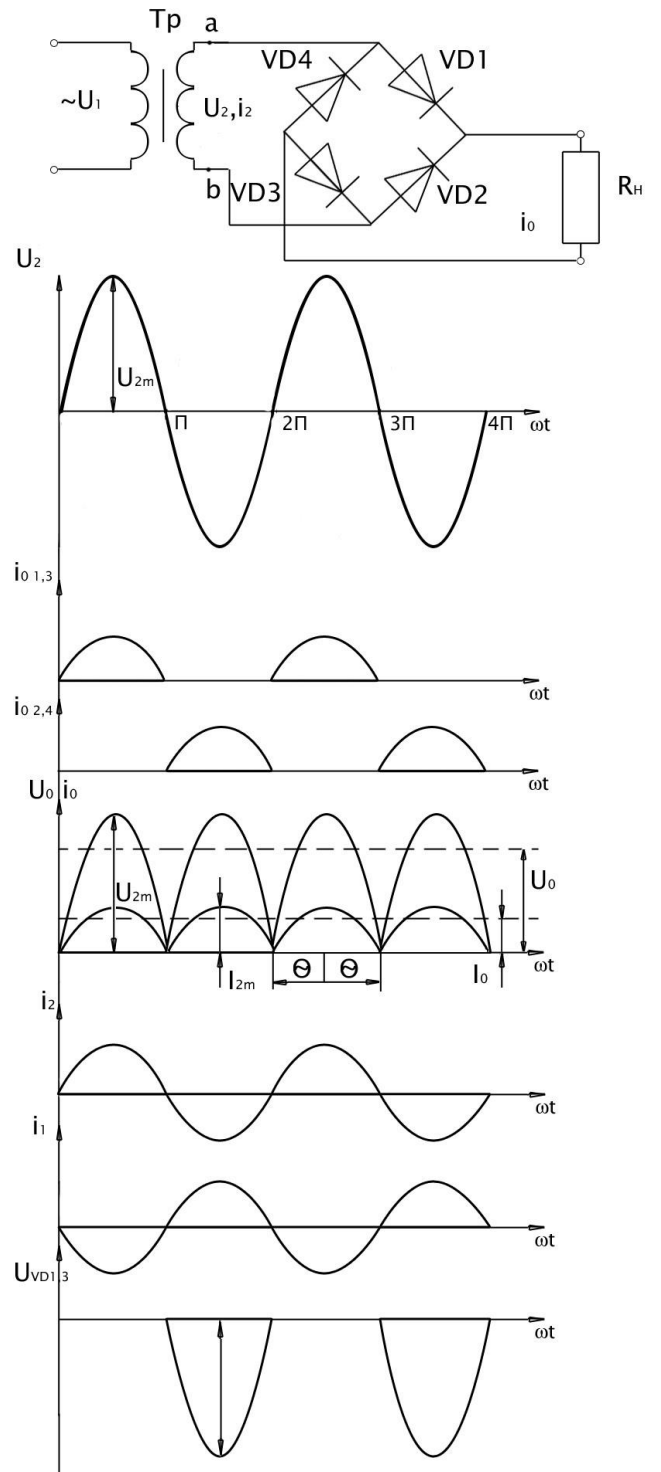


Рисунок 2.3 – Однофазна мостова схема випрямлення. Часові діаграми напруги та струму

Основні параметри схем випрямлення.

Експлуатаційні властивості випрямляча характеризуються основними параметрами, такими як, середнє значення випрямленого струму й напруги, типова потужність трансформатора, коефіцієнт пульсації, а також зовнішньою характеристикою випрямляча [5].

Постійна складова випрямленого струму I_0 (випрямленої напруги U_0) підраховується як середнє значення випрямленого струму $i_0(t)$ (напруги $u_0(t)$) за період за формулою

$$I_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_2(t) d\omega t = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_{2m} \sin \omega t d\omega t. \quad (2.2)$$

Діюче (або ефективне) значення струму (напруги) визначається як середньоквадратичне значення за період

$$I_2 = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i^2(t) d\omega t} = \sqrt{I_{2\sim}^2 + I_0^2}. \quad (2.3)$$

Для первинної обмотки трансформатора діюче значення струму I_1 й напруги U_1 може бути знайдене через діюче значення струму I_2 й напруги U_2 й коефіцієнт трансформації $n = \frac{U_1}{U_2}$.

$$I_1 = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \left(\frac{i_2 - I_0}{n} \right)^2 d\omega t}. \quad (2.4)$$

При чому миттєве значення струму первинної обмотки трансформатора дорівнює $i(t) = \frac{i_2 \sim}{n_T} = \frac{i_2 - I_0}{n_T}$.

Типова розрахункова потужність трансформатора P_T й коефіцієнт використання обмоток трансформатора K_T визначаються в такий спосіб.

$$P_T = \frac{1}{2}(P_1 + P_2), \quad K_T = \frac{P_0}{P_T}, \quad (2.5)$$

де P_1, P_2 – розрахункові потужності первинної й вторинної обмоток трансформатора, $P_1 = U_1 I_1$, $P_2 = U_2 I_2$; P_0 – потужність випрямленого струму (корисна потужність), $P_0 = U_0 I_0$, Вт.

Максимальна зворотна напруга на вентилі в непровідній частині періоду

$$U_{зв\max} = \sqrt{2}U_2. \quad (2.6)$$

Кут відсічення θ випрямленого струму $i_0(t)$ – час, протягом якого струм змінюється від значення рівного нулю до максимального.

Коефіцієнт пульсації K_{Π} уявляє собою відношення амплітуди першої (основний) гармоніки $U_{\sim 1}$ до величини постійної складової U_0 .

$$K_{\Pi} = \frac{U_{\sim 1}}{U_0}, \quad (2.7)$$

Частота основної гармоніки випрямленої напруги визначається як

$$f_{ог} = mf_c, \quad (2.8)$$

де m – число фаз випрямляча $m = pq$; p – фазність живлячої напруги мережі; q – число випрямлених напівперіодів; f – частота живлячої напруги.

Значення основних параметрів однофазних и трифазних випрямлячів, що характеризують їх експлуатаційні властивості наведено в табл. 2.1.

Порівняння однофазних схем показує, що переваги двохнапівперіодних схем випрямлення перед однонапівперіодною схемою полягають в наступному:

- збільшення постійна складова випрямленого струму й напруги;
- зменшення розміру й ваги трансформатора через краще використання його обмоток й відсутності змушеного намагнічування;
- зменшення розмірів й ваги згладжуючих фільтрів за рахунок збільшення частоти гармоніки й зменшення коефіцієнта пульсації;
- зменшення середнього значення струму через вентиль.

Зовнішня характеристика випрямляча.

У реальних умовах при роботі випрямляча під навантаженням варто враховувати втрати напруги на вентилях ΔU_{VD} , на активному опорі трансформатора ΔU_{TP} й на елементах фільтра, що ΔU_{CP} згладжує, якщо він є. Через зростання цих втрат з ростом струму навантаження випрямленої напруги зменшується. Залежність середньої випрямленої напруги від струму навантаження при незмінній напрузі на вході випрямляча називається зовнішньою (навантажувальною або вихідною) характеристикою, тобто $U_0 = f(I_0)$ при $U_1, U_2 = const$, $R_H = U_0$.

Зовнішня характеристика однофазного випрямляча при активному навантаженні зображена на рис.2.4, де U_{0XX} – вихідна напруга при струмі навантаження, рівній нулю; U_{0H}, I_{0H} – номінальна напруга й струм; $\Delta U_0 = \Delta U_{TP} + \Delta U_{VD} + \Delta U_{CP}$ – втрати у випрямлячі при чисто активному навантаженні.

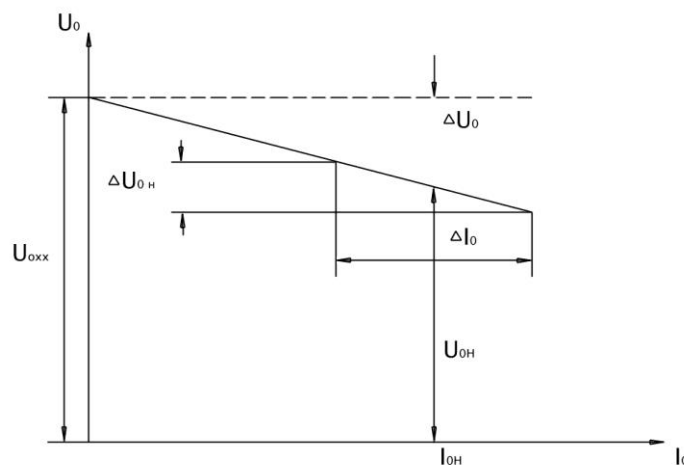


Рисунок 2.4 – Зовнішня характеристика випрямляча

Чим менше внутрішній опір випрямляча, тим стійкіше величина випрямленої напруги.

Коефіцієнт корисної дії випрямляча з урахуванням втрат у трансформаторі й фільтрі являє собою відношення потужностей

$$\eta = \frac{P_0}{P_0 + \Delta P} = \frac{U_{0H} I_{0H}}{U_{0H} I_{0H} + \Delta U_0 I_{0H}} = \frac{U_{0H}}{U_{0H} + \Delta U_0}, \quad (2.9)$$

Порядок виконання роботи

Перед включенням стенду під напругу варто ознайомитися з досліджуваною схемою випрямлення блоку I, рис.2.5, звернувши увагу на комутацію, і зі схемою навантаження блоку II, рис.2.6 [3-7].

Таблиця 2.1 – Експлуатаційні характеристики та параметри однофазних та трьохфазних випрямлячів

Параметри	Однофазні схеми випрямлення			Трифазні схеми випрямлення	
	Однонапів-періодна	Двохнапів-періодна	Мостова	Трьохпульсова (нульова)	Мостова
I_{VD}	I_0	$0,5I_0$	$0,5I_0$	$0,33I_0$	$0,33I_0$
U_{2m}	$3,14U_0$	$1,57U_0$	$1,57U_0$	$1,21U_0$	$1,045U_0$
I_2	$1,57I_0$	$0,785I_0$	$1,11I_0$	$0,53I_0$	$0,815I_0$
U_2	$2,22U_0$	$2 \times 1,11U_0$	$1,11U_0$	$0,855U_0$	$0,43U_0$
I_1	$\frac{1,21I_0}{n}$	$\frac{1,11I_0}{n}$	$\frac{1,11I_0}{n}$	$\frac{0,485I_0}{n}$	$\frac{0,815I_0}{n}$
$U_{зв\max}$	$3,14U_0$	$3,14U_0$	$1,57U_0$	$2,1U_0$	$1,045U_0$
P_T	$3,09P_0$	$1,48P_0$	$1,23P_0$	$1,33P_0$	$1,045P_0$
$f_1, \text{Гц}$	50	100	100	150	300
K_{II}	1,57	0,67	0,67	0,25	0,057
K_T	0,324	0,675	0,814	0,741	0,955
Змушене намагнічування осереддя трансформатора	є	немає	немає	є	немає
θ	90°	90°	90°	60°	90°

1. Підготувати стенд для дослідження схеми однофазного

однонапівперіодного випрямляча з активним навантаженням:

а) установити тумблер 3 у положення 1, 7 у верхнє положення, інші тумблери блоку I – у нижнє положення;

б) підключити вимірювальні прилади: амперметр А2 провідниками до гнізд Х3, Х4, вольтметр 2, (межа 100 В) до гнізд Х4, Х5 блоку I; амперметр A_H к гніздам Х3, Х4, вольтметр V_H до гнізд Х5, Х6 блоку II;

в) установити перемикач навантаження Пн у положення 1, що відповідає мінімальному навантаженню випрямляча ($R_H = \max$);

г) підключити навантаження до виходу випрямляча з'єднанням гнізд Х7, Х8 блоку I із гніздами Х1, Х2 блоку II;

д) увімкнути живлення осцилографа тумблером «мережа»;

е) показати керівникові заняття зібрану схему;

ж) подати живлячу напругу до стенда, увімкнувши на блоці I тумблери S_1 й S_2 , і встановити на первинній обмотці трансформатора Тр5 змінна напруга 100 В за допомогою ручки регулятора напруги мережі, розташованого на лівій стінці стенду.

2. Провести осцилографічні дослідження, замалювавши в одному обраному по осі часу й по осі амплітуд масштабі. Напруга $u_2(t)$ на вторинній обмотці трансформатора Тр3, з'єднавши вхід Y осцилографа із гніздами Х3, Х6 блока I.

3. Зняти зовнішню характеристику $u_0 = f(i_0)$, змінюючи опір навантаження перемикачем Пн. Значення випрямленої напруги U_0 знімати з вольтметра V_H , а випрямленого струму I_0 – з амперметра A_H , результати занести в табл. 2.2. Контролювати показання V3 вони повинні збігатися з показаннями V_H .

$$K_{\Pi} = \frac{\alpha_1(\theta)U_{2m}}{U_0}. \quad (2.11)$$

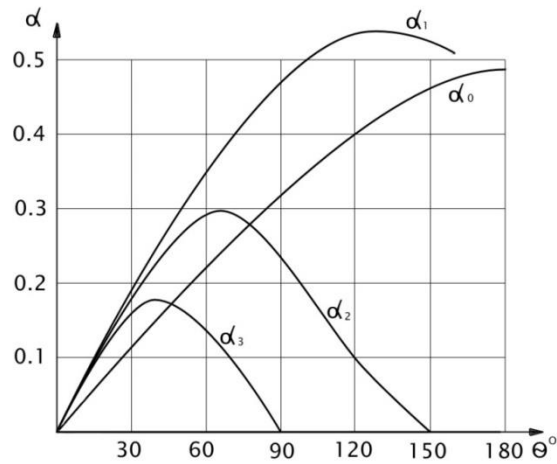


Рисунок 2.6 – Функція Берга

Для схеми випрямлення із середньою точкою й мостової схеми в розкладанні відсутня перша гармоніка, а амплітуда другої гармоніки подвоюється. Тому для двохнапівперіодних схем випрямлення маємо:

$$K_{\Pi} = \frac{2\alpha_2(\theta)U_{2m}}{U_0}. \quad (2.12)$$

Таблиця 2.2 – Результати вимірювань

Положення перемикача Пн		хх	1	3	6	9
Однонапівперіодна схема	$U_0, \text{В}$	7	6,8	6,6	6,5	6,4
	$I_0, \text{А}$	-	0,01	0,008	0,0065	0,005
Двохнапівперіодна схема із середньою точкою	$U_0, \text{В}$	14	13,7	13,5	13,3	13,2
	$I_0, \text{А}$	-	0,02	0,018	0,016	0,014
Мостова схема	$U_0, \text{В}$	28	27,5	27,2	26,6	26,2
	$I_0, \text{А}$	-	0,04	0,038	0,035	0,033

Порядок визначення коефіцієнта пульсації:

а) установити перемикач навантаження P_n в положення, зазначене викладачем;

б) визначити значення випрямленої напруги U_0 із табл. 2.2 або за допомогою вольтметра V_n ;

в) амплітудне значення напруги U_{2m} визначити за результатами осцилографування, попередньо відкалібровавши його;

г) результати вимірів занести в табл. 2.3.

5. Зібрати схему двохнапівперіодного випрямляча із середньою точкою на блоці I з використанням діодів VD4 й VD2:

а) відключити тумблер S_2 ;

б) установити тумблери S_7 й S_8 у верхнє положення, інші тумблери блоку I – у нижнє положення;

в) увімкнути тумблер S_2 ;

г) виконати роботу, починаючи з пунктів 2(б), 3, 4.

Таблиця 2.3 –Результати вимірювань постійної та змінної складових в спрямленій напрузі

Схема випрямлення	Положення P_n	$U_0, В$	$U_{2m}, В$	$U_{\sim 1}, В$	$K_{Прасч}$	$K_{Птеор}$
Однонапівперіод на схема	5	7	22	10,7	1,53	1,57
Двохнапівперіод на схема із середньою точкою	5	14	44	9,7	0,7	0,67
Мостова схема	5	28	44	20	0,71	0,67

6. Зібрати схему мостового випрямляча на блоці I:

а) відключити тумблер S_2 ;

б) установити тумблери S_5 , S_6 , S_7 у верхнє положення, а тумблер S_3 в положення 2;

в) увімкнути S_2 ;

г) виконати роботу, починаючи з пунктів 2(б), 3, 4.

7. Після виконання експериментальної частини роботи регулятором напруги мережі зменшити напругу живлення до нуля. Виключити тумблери S_1 й S_2 , результати показати викладачу. Вимкнути стенд із мережі. Виключити осцилограф. Розібрати схему.

2.2. Пасивні згладжуючі фільтри

Мета роботи. Ознайомитися із схемами і принципом дії згладжуючих фільтрів. Оцінити їх вплив на якість електроенергії.

Програма роботи. Дослідження впливу характеру навантаження на форму випрямленого струму й напруги. Дослідити вплив фільтра, що згладжує, на форму випрямленої напруги. Оцінити залежність коефіцієнтів пульсації й фільтрації від величини опору навантаження.

При розгляді різних схем випрямлення було встановлено, що випрямлена напруга є пульсуючою, тобто не міняє напрямку, але змінюється за величиною. Пульсації напруги на виході випрямляча залежать від схеми випрямлення й характеру навантаження. Для зниження пульсації випрямленої напруги застосовують фільтри, які згладжують і представляють собою пасивні чотириполюсники, вхідні клеми яких підключаються до виходу випрямляча, а вихідні – до навантаження [3-6].

Пульсуюча напруга містить постійну й змінну складову зі складним спектром синусоїдальної форми. Згладжуючий фільтр виділяє з пульсуючої напруги постійну складову й припиняє шлях протіканню змінної складової струму. Для цього в послідовне плечі фільтра (послідовно з R_H) включають дросель, який має невеликий активний опір $r_{\partial p}$ і значну індуктивність $L_{\partial p}$.

При цьому постійна складова випрямленого струму безперешкодно проходить через дросель до навантаження, а струмам частот змінної складової в дроселі здійснюється великий індуктивний опір $X_2 = m2\pi fL_{др}k$, де m – число фаз випрямлення, f – частота живлячої напруги, k – номер гармоніки пульсуючої напруги. В результаті їх величина значно зменшується на навантаженні.

У паралельне плечі фільтра включають конденсатори або акумуляторні батареї, які чинять невеликий опір змінним складовим і великий опір постійній складовій випрямленого струму, тому постійна складова випрямленого струму замикається через навантаження. На рис.2.1 представлена схема Г-подібного фільтра, що згладжує. Основними параметрами, за якими оцінюється згладжуюча дія фільтра є коефіцієнт фільтрації й коефіцієнт згладжування. Коефіцієнт фільтрації K_ϕ визначається як відношення амплітудного (діючого) значення n -ної гармоніки на вході фільтра до амплітудного (діючого) значення цієї ж гармоніки на виході фільтра й характеризує послаблення змінної складової при проходженні через фільтр

$$K_\phi = \frac{U_{\approx mex}}{U_{\approx mвих}}. \quad (2.13)$$

Коефіцієнт згладжування $K_{згл}$ визначається як відношення коефіцієнтів пульсацій на вході й виході фільтра й оцінює ослаблення при проході через фільтр не тільки змінної, але й постійної складової:

$$K_{згл} = \frac{K_{пвх}}{K_{пвих}} = \frac{U_{\approx mex} / U_{0вх}}{U_{\approx mвих} / U_{0вих}}. \quad (2.14)$$

Розрахунок фільтра ведеться за частоті основної гармоніки, що має саму більшу амплітуду й меншу частоту, тому «погасити» її важче за всі. На рис.2.8 випрямляч із пульсуючою вихідною напругою замінений двома генераторами: постійної напруги U_0 й змінної напруги основної гармоніки U_{\approx} .

Для одержання гарної фільтрації індуктивний опір дроселя X_L на частоті основної гармоніки повинний бути значно більшим за ємнісний опір X_C . Коефіцієнт фільтрації приблизно визначається як відношення

$$K_\phi = \frac{X_L}{X_C} = \frac{m\omega L_{\partial p}}{1/m\omega C} = m^2 \omega^2 L_{\partial p} C. \quad (2.15)$$

Ця формула дозволяє за відомим коефіцієнтом фільтрації, задаючись типовим значенням ємності фільтра, визначити необхідну індуктивність дроселя

$$L_{\partial p} C = \frac{K_\phi}{m^2 \omega^2}. \quad (2.16)$$

Із цієї формули видно, що добуток елементів фільтра $L_{\partial p} C$ тим менше, чим більше фазність випрямляча й частота мережі.

Іноді замість дроселя в послідовне плече включають резистори (див. рис.2.8). Недоліком такого RC - фільтра є втрата корисної постійної напруги на резисторі ($I_0 R$), тому такі RC - фільтри можна застосовувати тільки при невеликих струмах навантаження (менш 30мА), тобто в малопотужних пристроях.

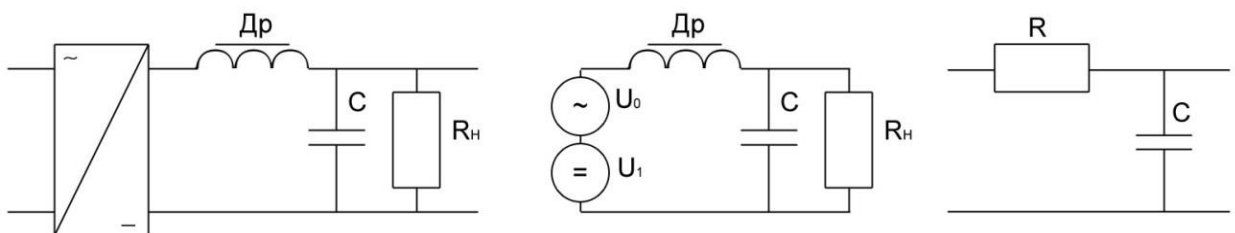


Рисунок 2.7 – Схеми згладжуючих П-фільтрів

Для кращого опору пульсацій застосовують П-, Т-подібні й багатоланкові LC - фільтри (рис. 2.8).

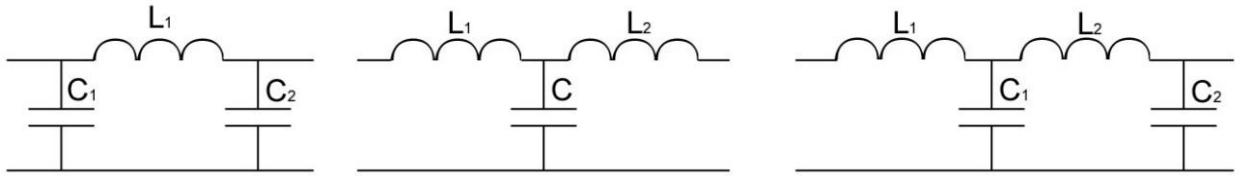


Рисунок 2.8 – Схеми згладжуючи фільтрів: П-, Т- подібний й багатоланковий

Для багатоланкових фільтрів, що складаються з декількох Г-подібних LC або RC -фільтрів, коефіцієнт фільтрації визначається як добуток коефіцієнтів фільтрації всіх ланок:

$$K_{\phi} = K_{\phi 1} \cdot K_{\phi 2} \dots K_{\phi n}. \quad (2.17)$$

Згладжуючи фільтри повинні відповідати наступним вимогам:

- забезпечити завданий коефіцієнт згладжування;
- мати мінімальне падіння постійної складової напруги й втрати потужності;
- власна частота фільтра повинна відрізнятися від частот змінних складових напруги, що згладжується, щоб уникнути резонансних явищ;
- мати малі габарити, масу, вартість, бути надійним у роботі.

Порядок виконання роботи

1. Підготувати стенд для дослідження пасивних фільтрів, що згладжують, підключити навантаження до випрямляча через блок фільтрів, що згладжують.

2. Дослідити роботу пасивних фільтрів, що згладжують, зазначених викладачем:

а) намалювати схеми фільтрів;

б) зібрати досліджувані схеми фільтрів за допомогою тумблерів на блоці 2, рис.2.9.

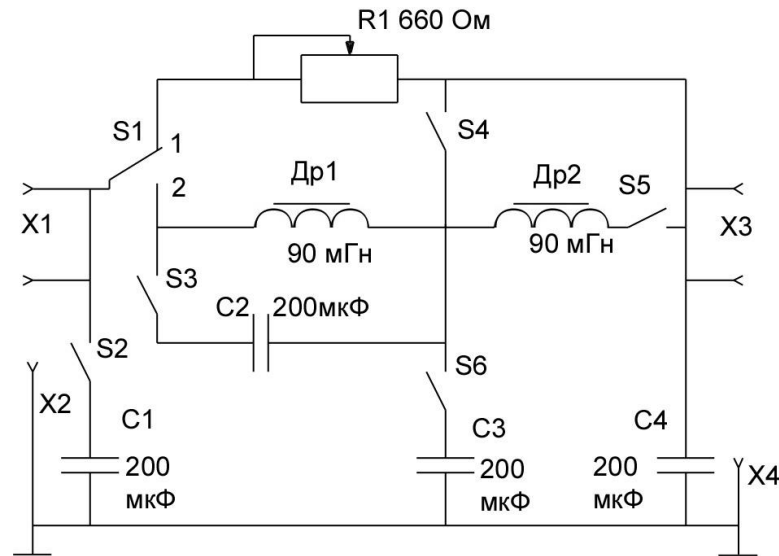


Рисунок 2.9 – Схема пасивних фільтрів

Після перевірки схеми викладачем установити регулятором автотрансформатора напругу живлення випрямляча $U_2 = 150V$ (вольтметр $V1$).

3. Провести осцилографічні дослідження, підключивши осцилограф до виходу фільтра. Замалювати в одному масштабі напругу на виході заданих фільтрів для середнього навантаження (перемикач навантаження P_n в положенні 6 або 9).

4. Зняти показання приладів для визначення коефіцієнтів пульсації й фільтрації:

а) виміряти значення постійної складової напруги на вході фільтра за допомогою вольтметра $V3$; виміряти значення $U_{0вих}$ й $I_{0вих}$ за допомогою вольтметра V_H й амперметра A_H ; дані занести в табл. 2.4.

б) виміряти амплітуду основної гармоніки U_{02} за допомогою осцилографа, попередньо відколібрував його. Амплітуду основної гармоніки прийняти приблизно рівній половині розмаху пульсуючої напруги на навантаженні. Дані занести в табл. 2.4;

Таблиця 2.4 – Результати експериментальних досліджень пасивних згладжуючи фільтрів

Схема досліджуваного фільтра Пн. 6 або 9		Г-подібний фільтр	Т-подібний фільтр	П-подібний фільтр	Дволанковий фільтр, що складається з Г-подібних ланок
Вимір	$U_{0вх}, В$	14	14	14	14
	$U_{0вих}, В$	12	11	11,5	11
	$U_{\approx вх}, В$	21	21	21	21
	$I_{0вих}, А$	0,02	0,016	0,017	0,014
	$U_{0г}, В$	3	0,7	0,5	0,4
Розрахунок	$K_{Пвих}$	0,1	0,063	0,034	0,00136
	$K_{фексп}$	7	30	42	52,5
	$K_{фр}$	7,1	-	-	50,41

в) розрахувати коефіцієнт пульсації на виході фільтра

$$K_{Пвих} = U_{0г} / U_{0вих}; \quad (2.18)$$

г) розрахувати коефіцієнт фільтрації за експериментальним даними

$$K_{фексп} = \frac{K_{Пвх}}{K_{Пвих}} \cdot \frac{U_{0г}}{U_{0вих}}; \quad (2.19)$$

де $K_{Пвх}$ – коефіцієнт пульсації на вході фільтра, якщо фільтр підключений до двонапівперіодної схеми випрямлення, $K_{Пвх} = 0,67$.

Розрахуємо коефіцієнт фільтрації за формулою (2.15) для Г-подібної ланки та дволанкового фільтра, що складається з Г-подібних ланок. Результати обчислень заносимо в табл. 2.4.

$$K_{\phi} = m^2 \omega^2 L_{\partial p} c = (2 \cdot \pi \cdot 100)^2 \cdot 90 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^{-6} = 7,1.$$

Для дволанкового фільтра, який складається з двох індуктивностей номіналом 90 мГн та двох ємностей 200 мкФ розрахунки виконаємо за формулою (2.17)

$$K_{\phi} = K_{\phi 1} \cdot K_{\phi 2} = 7,1^2 = 50,41.$$

Результати обчислень заносимо в табл. 2.4.

2.3. Трифазні схеми випрямлення

Мета роботи: Вивчити роботу трифазних схем випрямлення та ознайомитись з методикою виміру основних параметрів схем випрямлення.

Програма роботи

Дослідити роботу трифазних схем випрямлення при роботі на активне навантаження. Визначити коефіцієнт пульсації різних трифазних схем випрямлення. Провести порівняльний аналіз теоретичних даних з результатами експерименту, оцінити осцилограми напруги і основні параметри, які характеризують експлуатаційні властивості випрямлячів [3-5].

Для живлення пристроїв великої потужності (більше 1 кВт) використовують трифазні схеми випрямлення. В пристроях автоматики застосовується трифазна мостова схема випрямлення. Вона використовується на постах електричної централізації для живлення таких споживачів: реле, панелей живлення, табло, пультів та таке інше.

При розгляді трифазних схем випрямлення будемо використовувати такі припущення:

– схема має ідеальні напівпровідникові прилади. При чому прямий опір

ідеального діоду дорівнює нулю, а зворотній – нескінченності. У ідеального тиристора прямий опір у відкритому стані дорівнює нулю, а прямий опір в закритому стані та зворотній – нескінченності;

– схема містить ідеальний трансформатор, у якого індуктивний опір розсіювання і активний опір обмоток наближається до нуля, а індуктивний опір намагнічування до нескінченності.

Усі трифазні схеми будемо розглядати у роботі на великий індуктивний опір, тобто послідовно з навантаження увімкнемо індуктивний згладжувальний реактор L_p .

Трьохпульсова (нульова) схема випрямлення

Трьохпульсова схема приведена на рис. 2.10. Первинна і вторинна обмотки трансформатора з'єднані зірками. Таким чином кожен з діодів VD1 – VD3, включені в фази a, b, c вторинної обмотки трансформатора і живиться від лінійної напруги. Схема здобула назву нульової, бо катоди всіх діодів з'єднані в один спільний вузол, трьохпульсової – бо, за період 2π у випрямленій напрузі відбувається три пульсації. При розгляді роботи схем випрямлення слід ураховувати, що відкритим буде той діод, до якого буде прикладена найбільша позитивна напруга на аноді. Візьмемо період часу від 0 до $\frac{2\pi}{3}$ (рис.2.11). З усіх фаз найбільша напруга буде у фазі a, тому у цей термін відкритим буде діод VD1 і струм буде протікати з обмотки цієї фази, через діод VD1, навантаження, згладжувальний реактор L_p та спільну точку. Протягом від $\frac{2\pi}{3}$ до $\frac{4\pi}{3}$ напруга в фазі a стає меншою ніж у фазі b, тому діод VD1 закривається, а струм починає протікати через діод VD2 до тих пір, поки напруга у фазі c не стане більшою ніж у фазі b. Тоді відкриється діод VD3. Цей факт припадає на період часу від $\frac{4\pi}{3}$ до 2π . Таким чином кожен з діодів буде відкритий протягом 120° . Частота випрямленої напруги буде складати 150 Гц, оскільки за період 2π відбувається три пульсації.

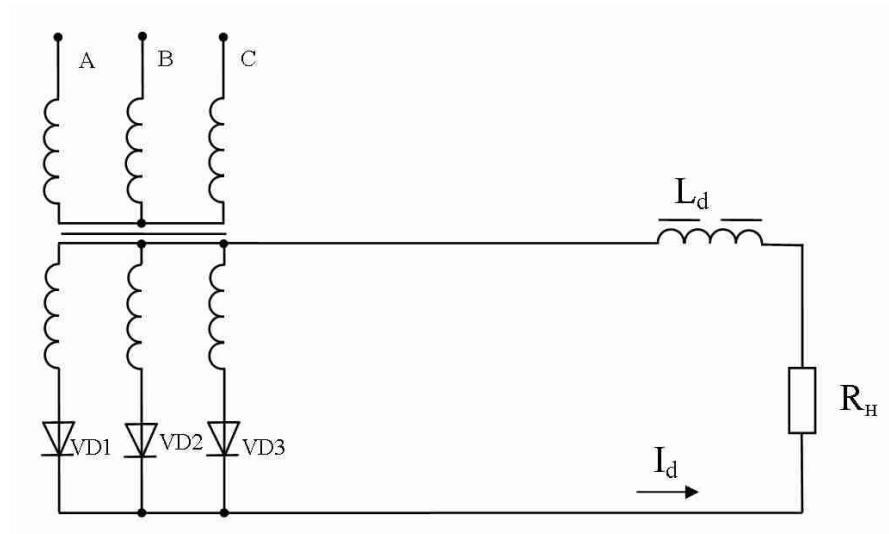


Рисунок 2.10 – Електрична схема трьохпульсової трифазної схеми випрямлення

Трьохпульсова схема випрямлення має такі недоліки як однофазна однонапівперіодна схема. Тобто низьку випрямлену напругу у порівнянні, низьку частоту пульсації, велику амплітуду змінної складової з іншими трифазними схемами випрямлення. Також ця схема має низький коефіцієнт корисної дії, що пов'язано з підмагнічуванням осереддя трансформатору струмами холостого ходу [3-5].

На рис. 2.11 показані часові діаграми напруги у вторинній обмотці трансформатору u_2 у фазах a, b, c , струму, який i_{VD1} протікає через діод VD1, струму навантаження i_d , струму i_1 , який протікає в первинній обмотці та зворотної напруги $u_{обр}$ трифазної нульової схеми випрямлення.

Схема характеризується наступними параметрами:

– середня випрямлена напруга

$$U_d = \frac{1}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{3}} \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} \cdot E_2 \cdot \cos(\omega t) d(\omega t) = \frac{\sqrt{6}E_2}{2\pi} \cdot \sin(\omega t) \Big|_{-\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{3}} =$$

$$= \frac{3\sqrt{2} \cdot E_2 \cdot 3\sqrt{2}}{2 \cdot 2\pi} = 1,17E_2, \quad (2.20)$$

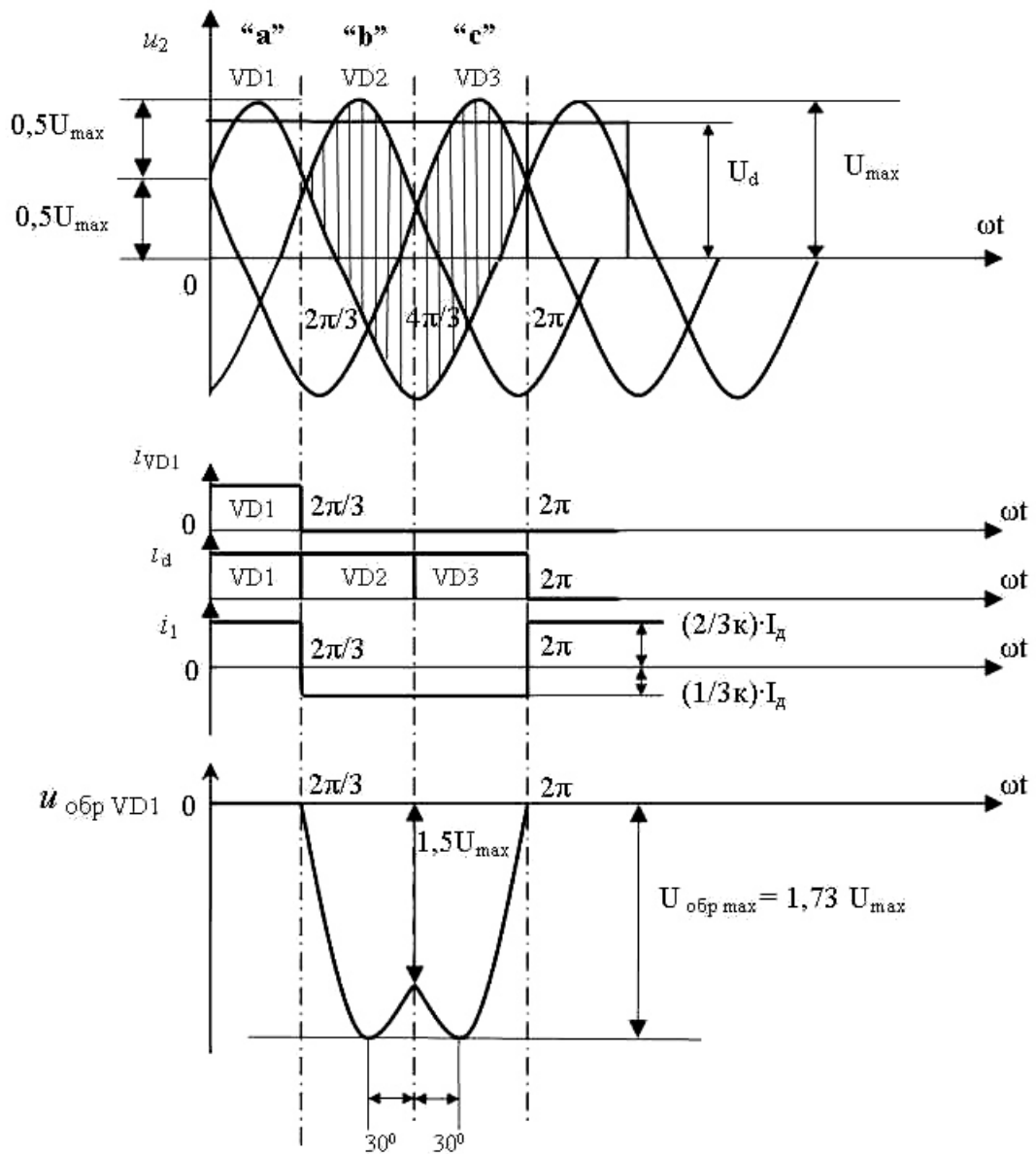


Рисунок 2.11 – Часові діаграми напруги і струмів трифазної нульової схеми випрямлення

– струм, який протікає через діод

$$I_V = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{\frac{2\pi}{3}} I_d d(\omega t) = \frac{I_d}{2\pi} (\omega t) \Big|_0^{\frac{2\pi}{3}} = \frac{I_d \cdot 2\pi}{2\pi \cdot 3} = \frac{I_d}{3}, \quad (2.21)$$

– діюче значення струму у вторинній обмотці (середньоквадратичне значення за період)

$$I_2 = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_d^2(\omega t) d(\omega t)} = \frac{I_d}{\sqrt{3}}, \quad (2.22)$$

– діюче значення струму в первинній обмотці

$$I_1 = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left[\int_0^{2\pi} \left(\frac{2I_d}{3\kappa} \right)^2 d(\omega t) + \int_0^{4\pi} \left(\frac{I_d}{3\kappa} \right)^2 d(\omega t) \right]} = \frac{I_d \sqrt{2}}{3\kappa}, \quad (2.23)$$

– максимальна зворотна напруга

$$U_{\max \text{обр}} = \sqrt{2} \sqrt{3} E_2 = \frac{\sqrt{6} U_d}{1,17} = 2,1 U_d, \quad (2.24)$$

– потужність вторинної обмотки трансформатора

$$S_2 = 3 E_2 I_2 = 3 \frac{U_d}{1,17} \cdot \frac{I_d}{\sqrt{3}} = 1,48 P_d, \quad (2.25)$$

– потужність первинної обмотки трансформатора

$$S_1 = 3 U_{1\phi} I_1 = 3 \frac{U_d}{1,17} \cdot \frac{I_d \sqrt{2}}{3\kappa} = 1,21 P_d, \quad (2.26)$$

– типова потужність трансформатора

$$P_T = \frac{S_1 + S_2}{2} = \frac{1,21 + 1,48}{2} P_d = 1,34 P_d. \quad (2.27)$$

Ці параметри використовуються при розрахунках схеми випрямлення й обиранні діодів та трансформатора для роботи на задане навантаження.

В загалом, трифазна нульова схема використовується для пояснення роботи інших трифазних схем і розповсюдження не здобула через перелічені вище недоліки.

Трифазна мостова схема випрямлення

Трифазну мостову схему (рис. 2.12) можна розглядати як дві нульові схеми

сполучені послідовно. В такій схемі кожний діод залишатиметься в роботі також протягом 120° і струм в цьому діоді буде дорівнювати $\frac{I_d}{3}$.

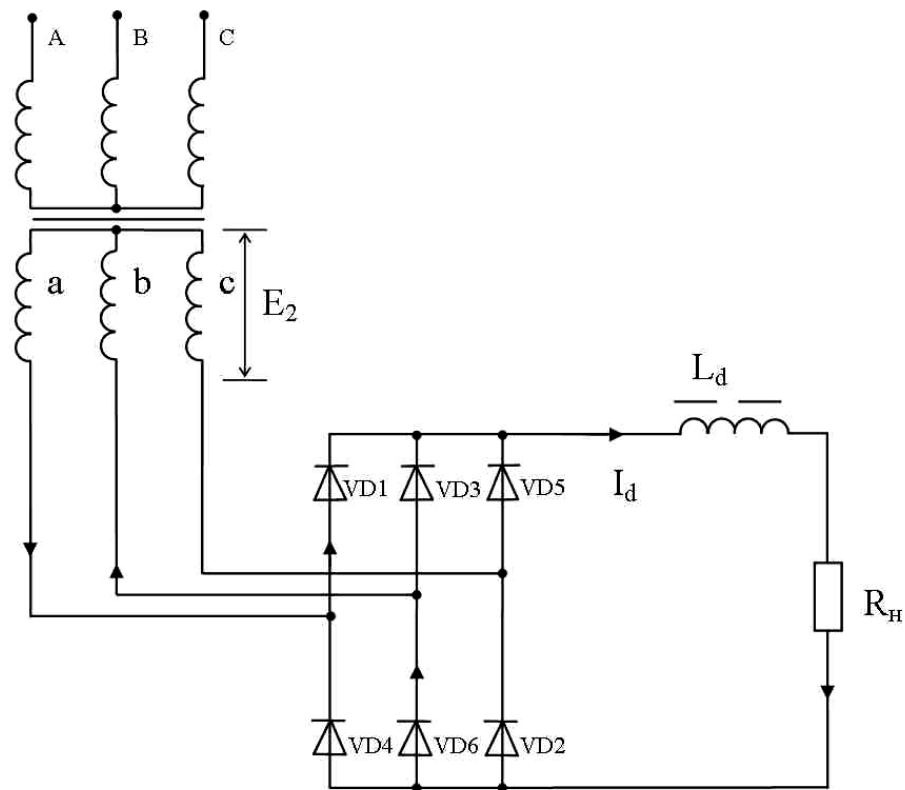


Рисунок 2.12– Трифазна мостова схема випрямлення

Форма випрямленого струму наближається до прямої лінії, бо струм добре згладжений, що пояснюється включенням реактору L_p . Взагалі, крива струму буде наближатися до прямої, коли відношення індуктивного опору до активного набагато більше п'яти ($\frac{\omega L}{R} \gg 5$). Частота пульсації випрямленої напруги в такій схемі буде дорівнювати 300 Гц, оскільки за період 2π відбувається 6 пульсацій.

На рис. 2.13 показані часові діаграми напруги у зірках вторинної обмотки трансформатору u_{d1}, u_{d2} у фазах a, b, c струму навантаження від зірок i_{d1}, i_{d2} , струму i_1 , який протікає в первинній обмотці та зворотної напруги $u_{обр}$

трифазної мостової схеми випрямлення.

Стисло пояснимо принцип роботи схеми. Схему можна розділити умовно на дві зірки. Перша включає діоди VD1, VD3 і VD5, а друга – VD2, VD4 і VD6. Розглянемо роботу схеми починаючи з фази a . У фазі a струм протікає через відкритий діод VD1, навантаження R_H і повертається через діод VD6. Кожний діод, як вже мовилося, буде відкритий протягом 120° електричних градусів. В період часу від 0 до $\frac{2\pi}{3}$ найбільша пряма напруга буде подана на діод VD1, включений у фазу a , тому струм в фазі a буде протікати через діод VD1, згладжувальний реактор L_p , навантаження R_H . Повертатися до вторинної обмотки трансформатору струм I_d буде через діод VD6 протягом часу від 0 до $\frac{\pi}{3}$ (оскільки з діодів другої зірки VD2, VD4 і VD6 на нього буде подана найбільша позитивна напруга). Після цього напруга на ньому стає менше ніж напруга на діоді VD2, тому протягом часу від $\frac{\pi}{3}$ до $\frac{2\pi}{3}$ струм протікатиме через діод VD2 (при відкритому діоді VD1). Коли напруга на діоді VD1 стає менше ніж на діоді VD3, він закривається, а VD3 починає пропускати струм I_d протягом часу від $\frac{2\pi}{3}$ до $\frac{4\pi}{3}$. При цьому струм буде повертатися спочатку через діод VD2, а потім через VD4 (при відкритому VD3). Аналогічно, коли напруга на діоді VD3 стає менше ніж на діоді VD5, він закривається, а VD5 починає пропускати струм I_d протягом часу від $\frac{4\pi}{3}$ до 2π . При цьому струм буде повертатися спочатку через діод VD4, а потім через VD6 (при відкритому VD5).

Схема характеризується такими параметрами:

– середня випрямлена напруга

$$U_{d0} = \frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} E_2 \sqrt{3} \sqrt{2} \cos(\omega t) d(\omega t) = \frac{3\sqrt{3}\sqrt{2}}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \right) E_2 = 2,34E_2, \quad (2.28)$$

– середнє значення струму діода

$$I_V = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_d d(\omega t) = \frac{I_d}{2\pi} \omega t \Big|_0^{2\pi} = \frac{I_d \cdot 2\pi}{2\pi \cdot 3} = \frac{I_d}{3}, \quad (2.29)$$

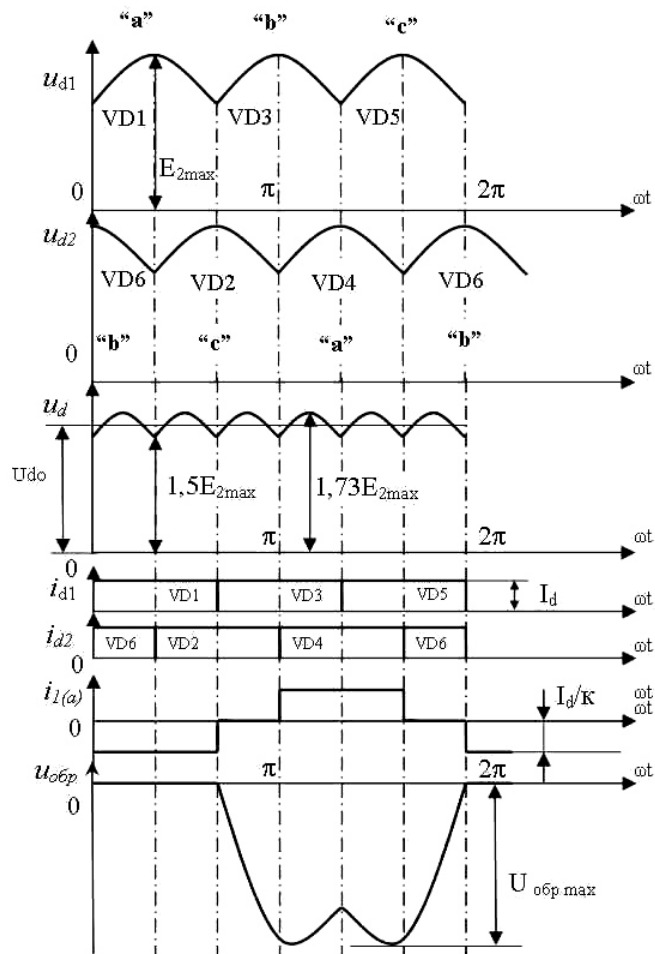


Рисунок 2.13 – Часові діаграми трифазної мостової схеми випрямлення

– діюче значення струму у вторинній обмотці трансформатора

$$I_2 = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{3}} 2I_d^2 d(\omega t)} = I_d \sqrt{\frac{2}{3}}, \quad (2.30)$$

– діюче значення струму в первинній обмотці трансформатора

$$I_1 = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{3}} \left(\frac{2I_d}{\kappa}\right)^2 d(\omega t)} = \frac{I_d \sqrt{2}}{\kappa \sqrt{3}} = \frac{I_d}{\kappa} \sqrt{\frac{2}{3}}, \quad (2.31)$$

– максимальна зворотна напруга діода

$$U_{max\ обр} = \sqrt{2} \sqrt{3} E_2 = \frac{\sqrt{6} U_d}{2,34} = 1,05 U_d, \quad (2.32)$$

– потужність у вторинній обмотці трансформатора

$$S_2 = 3 E_2 I_2 = 3 \frac{U_d}{2,34} \cdot \frac{I_d \sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 1,05 P_d, \quad (2.33)$$

– потужність в первинній обмотці трансформатора

$$S_1 = 3 U_{1\phi} I_1 = 3 \frac{U_d}{2,34} \cdot \kappa \cdot \frac{I_d \sqrt{2}}{\sqrt{3} \kappa} = 1,05 P_d, \quad (2.34)$$

– типова потужність трансформатора

$$P_T = \frac{S_1 + S_2}{2} = \frac{1,05 + 1,05}{2} P_d = 1,05 P_d. \quad (2.35)$$

2.4. Дослідження тиристорного перетворювача напруги

Мета роботи. Розробити схему генератора управляючих імпульсів, описати принцип дії тиристорного перетворювача напруги [5-10].

Для живлення пристроїв автоматики, телемеханіки в аварійному режимі при вимиканні мережі змінного струму знайшли широке застосування тиристорні перетворювачі напруги, інвертори типу ППВ-1, розглянутий в даному проекті.

Блок-схема тиристорного перетворювача має три основних вузли: автогенератор Г, формувач імпульсів ФІ та автономний паралельний інвертор І (рис. 2.14).

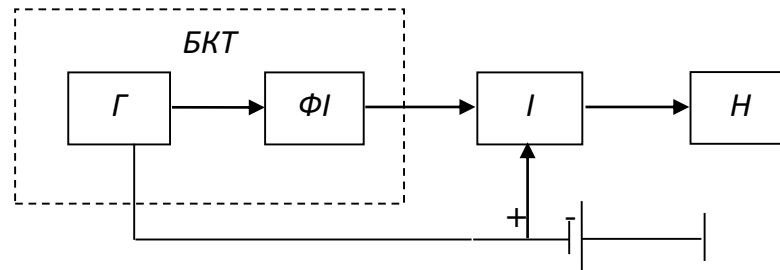


Рисунок 2.14 – Блок-схема тиристорного перетворювача напруги

Автогенератор і формувач імпульсів утворюють блок керування тиристорами БКТ.

На вхід інвертора подаються імпульси напруги, які виробляються формувачем імпульсів ФІ. Постійна напруга акумуляторної батареї АБ перетворюється інвертором І в змінну напругу прямокутної форми.

У схему інвертора (рис. 2.15) входять:

- керовані вентиля VS1, VS2 (КУ 202М);
- конденсатор С1 (4мкФ);
- конденсатори С2, С3 (4,7мкФх16В)
- конденсатори С4, С5 (330нФ)
- транзистори VT1, VT3 (КТ815Б);
- транзистори VT2, VT4 (КТ315Б);
- діоди VD3, VD4 (Д 223)
- резистори R1, R5 (100Ом)
- резистори R2, R6 (47Ом)
- резистори R3, R7 (2кОм)
- резистори R4, R8 (6,2кОм)

В якості автогенератору у схемі використовується симетричний мультівібратор з емітерними повторювачами VT1, VT3 в його вихідних колах.

Розглянемо комутацію потоку за допомогою конденсатора C1. Припустимо, що керуючий імпульс відкриває тиристор VS1. У результаті на верхню напівобмотку трансформатора Tr1 прикладається напруга джерела живлення, під дією якої струм проходить по колу: (+) джерела, верхня напівобмотка, тиристор VD1, дросель Др1, (-) джерела живлення. Струм i_1 дорівнює сумі струмів: i_H' - через наведений опір навантаження R_H' , i_{Tp} - струму намагнічування трансформатора й струму заряду i_c' конденсатора C', ємність якого перелічена до напівобмотки трансформатора Tr1 (див. пунктирні лінії рис. 2.15). Після заряду конденсатора практично вся напруга джерела живлення прикладається до первинної напівобмотки трансформатора й у вторинній його обмотці індукуються напруга. Напруга на конденсаторі C1 дорівнює подвоєній нарузі джерела живлення, тому що він підключений до всієї первинної обмотки Tr1.

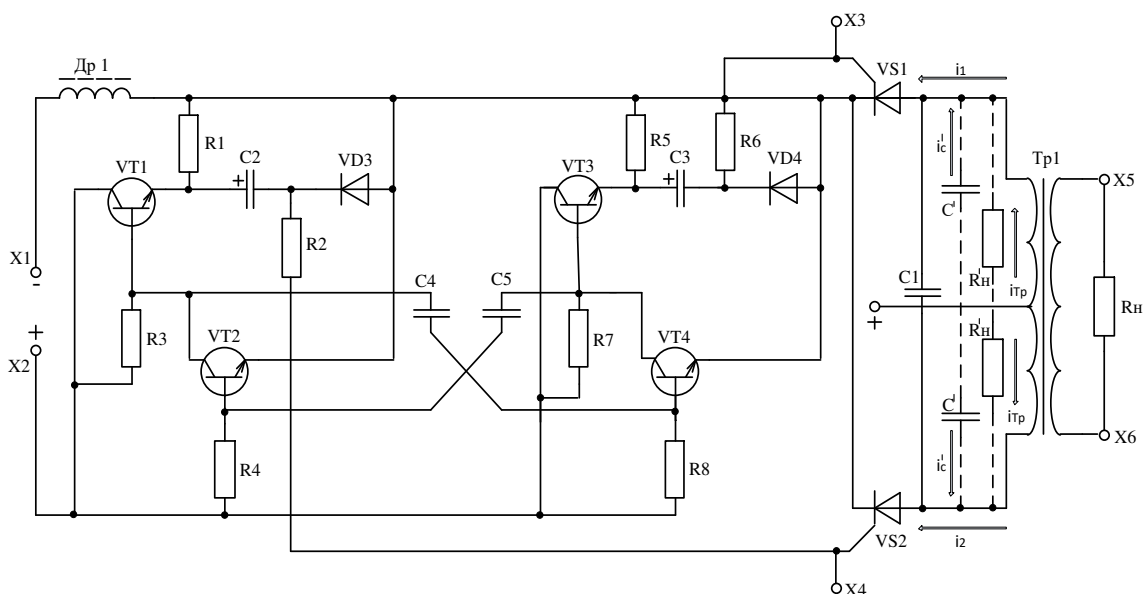


Рисунок 2.15 – Перетворювач напруги на тиристорах

При надходженні наступного керуючого імпульсу відкривається тиристор VS2 і конденсатор С розряджається в низькоомному контурі по колу: (+) нижньої обкладки конденсатора, тиристор VS2, тиристор VS1, (-) верхньої обкладки конденсатора. Крім того, конденсатор розряджається через опір навантаження R_n . Конденсатор С1 розряджається швидко через малі опори відкритих тиристорів VS1 й VS2. Струм розряду конденсатора збігається по напрямку зі струмом тиристора VS2, але спрямований назустріч току тиристора VS1. Внаслідок цього струм тиристора VS1 зменшується до струму вимикання й тиристор закривається, напруга конденсатора виявляється повністю прикладеною до VS1 у зворотному напрямку, що сприяє його вимиканню, а струм навантаження перемикається на тиристор VS2 і конденсатор С'. Конденсатор С' починає перезаряджатися до напруги протилежної полярності через тиристор, що відкрився, VS2 по колу: (+) джерела живлення, нижня напівобмотка трансформатора, конденсатор С', тиристор VS2, дросель Др1 та (-) джерела живлення.

Через тиристор VS2 протікає струм i_2 рівний по величині струму i_1 , але протилежно спрямований через навантаження R_n' , конденсатор С' і трансформатор.

Оскільки в первинних обмотках трансформатора Тр1 струм протікає в різних напрямках, то в його вихідній обмотці індукціюється змінна напруга майже прямокутної форми.

Цикл роботи інвертора повторюється із частотою керуючих імпульсів. Дросель Др1 зменшує крутість струму при відкритті тиристорів і забезпечує їхню нормальну роботу.

Інвертор чутливий до перевантажень і коротких замикань у навантаженні. Ця властивість інвертора паралельного типу порозумівається тим, що час розряду конденсатора С може виявитися менше часу запирання тиристора. Тому конденсатор, розрядившись на навантаження, не зможе

комутирувати струм вентилів VS1 й VS2, які залишаються у відкритому стані. Це явище називається перекиданням інвертора [5-10].

На рис. 2.16 наведено осцилограму вихідних параметрів перетворювача на тиристорах. Лабораторні випробування проводились на кафедрі АТЗ за допомогою осцилографа С1-76.

При цьому вхідна напруга ($U_{вх.}$) була встановлена на рівні 10,2 В. та протягом випробувань не змінювалась. Змінюючи опір навантаження (R_H) контролювались такі параметри: вхідний струм ($I_{вх.}$); напруга на виході ($U_{вих.}$); струм ($I_{вих.}$); частота (f) на виході перетворювача. Результати лабораторних випробувань перетворювача наведено у табл. 2.5.

Висновок: Форма й величина вихідної напруги залежать від співвідношення між величинами опору навантаження, ємності комутуючого конденсатора С1 й індуктивності дроселя Др1. Частота залежить від номіналів конденсаторів С4 і С5 при цьому чим більше номінал, тим менше частота перетворювання [5-10].

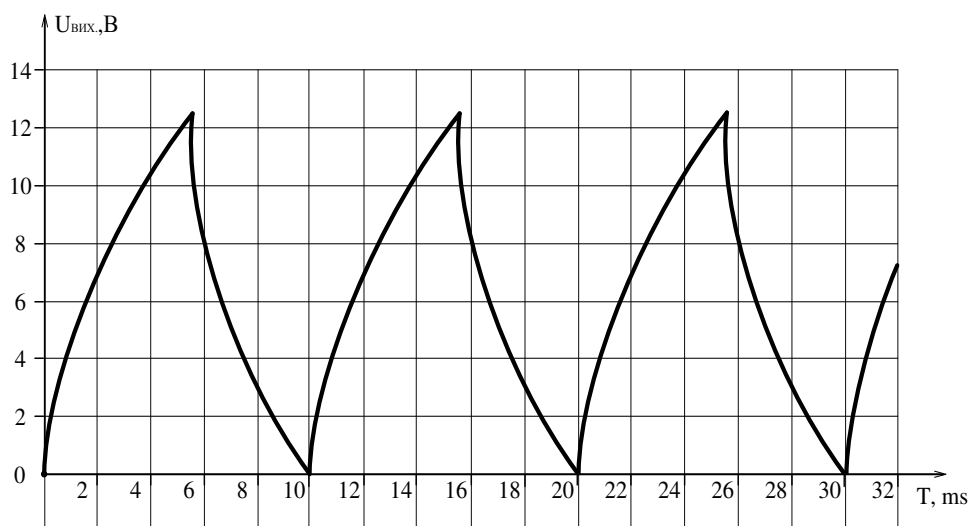


Рисунок 2.16 – Осцилограма вихідної напруги перетворювача

2.5. Висновки за розділом

Таким чином, лабораторний стенд для дослідження електроживлячих пристроїв СЦБ, зокрема випрямлячів, згладжуючих фільтрів та автономних

інверторів розроблено та виконано тестові випробування для перевірки правильності роботи схем.

Таблиця 2.5 – Результати вимірів лабораторних досліджень перетворювача

R_n , Ом	$U_{вх.}$, В	$I_{вх.}$, мА	$U_{вих.}$, В	$I_{вих.}$, мА	f , Гц
1	2	3	4	5	6
1000	10,2	900	12,6	12,5	100
840	10,2	900	11,8	14,0	100
720	10,2	900	11,0	15,2	100
640	10,2	900	10,4	16,2	100
490	10,2	900	8,8	18,0	100

3. МОДЕЛЮВАННЯ ВТОРИННИХ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

Комп'ютерне моделювання фізичних явищ, систем та пристроїв є найбільш зручним та ефективним способом організації лабораторного практикуму.

Порівняно з реальними лабораторними стендами, віртуальні стенди мають низку істотних переваг:

- відсутність громіздкої контрольно-вимірювальної апаратури та макетів досліджуваних схем;
- мала похибка вимірів;
- час, який витрачається на комп'ютерне моделювання, незрівнянно менше часу, що витрачається на виготовлення макета та виконання його експериментального дослідження.

Спеціально для вирішення завдань проектування електронних блоків нині розроблено значну кількість прикладних комп'ютерних пакетів. Розглянемо докладніше деякі з них [11-13].

Для дослідження та проектування електронних блоків добре зарекомендували себе прикладні пакети, в основі яких лежить програма Pspice, яка є найвідомішою модифікацією програми схемотехнічного моделювання SPICE, розробленої на початку 70-х років у Каліфорнійському університеті (м. Берклі). Вона дозволяє моделювати аналогові та змішані аналого-цифрові пристрої та забезпечує текстовий і графічне введення схем серед Windows [11].

До цих пакетів належать Workbench, DesignLab, Micro-Cap, OrCAD. Порівняння програмних засобів моделювання електричних схем наведено у табл. 3.1.

Ознаки порівняння включають такі пункти:

- моделювання аналогових пристроїв – створення моделей пристроїв на основі елементів аналогової електроніки (резистори, транзистори, діоди, конденсатори, тиристри тощо);

Таблиця 3.1 – Порівняння засобів моделювання електронних схем

Порівняння	Програмний пакет			
	Design Lab	MicroCap	Electronic WorkBench	Matlab+ Simulink
Моделювання аналогових пристроїв	+	+	+	+
Моделювання цифрових пристроїв	+	+	+	+
Проектування печатних плат	+	-	+	-
Наявність віртуальних контрольно-вимірювальних приладів	-	-	+	+
Моделювання електричних машин	-	-	+	+
Редакування структури моделей	-	-	+	+
Графічне відображення результатів моделювання	+	+	+	+
Зміна параметрів компонентів	+	+	+	+
Моделювання мультифізичних об'єктів	-	-	-	+

- моделювання цифрових пристроїв – створення моделей пристроїв на основі елементів цифрової електроніки (тригери, логічні елементи, інтегральні схеми дискретної логіки, ПЛІС);

- проектування друкованих плат (пластин із електроізоляційного матеріалу, на поверхні яких нанесені тонкі електропровідні смуги – друковані провідники – з контактними майданчиками для приєднання електро- та радіоелементів);

- моделювання електричних машин – можливість створення моделей трансформаторів, двигунів, генераторів;
- редагування структури моделей – зміна готової розробки віртуальної схеми пристрою (спрощення схеми за рахунок видалення деяких компонентів або додавання компонентів для розширення можливостей цього електронного пристрою);
- графічне відображення результатів моделювання – наявність засобів наочного уявлення процесів, що відбуваються в моделі (графіків перехідних процесів, залежностей характеристик компонентів від параметра, що варіюється);
- зміна параметрів компонентів – можливість зміни характеристик елементів моделі пристрою (величини напруги, струму, опору, індуктивності тощо);
- моделювання мультифізичних об'єктів – можливість створення моделей пристроїв, що працюють на основі взаємодії різних за природою явищ (перетворення теплової енергії на електричну, електричну на механічну та перетворення інших видів енергії).

3.1. Electronics Workbench (EWB)

Характерні риси програми Electronics Workbench:

- схема зображується у графічному вигляді звичним чином. З горизонтально розташованого меню вибирають бібліотеку компонентів, склад якої зображується зліва робочого екрана. Рухом миші символи компонентів переносять на схеми та виконують електричні з'єднання;
- передбачено виведення списку з'єднань у форматі програми OrCAD PCB (у файлах із розширенням імені .NET) для розробки друкованих плат;
- підтримується стандартний набір компонентів: резистори, конденсатори, індуктивності, керовані лінійні та нелінійні джерела, лінії затримки без втрат і з втратами, діоди, тиристори, різні транзистори, операційні підсилювачі, цифрові

інтегральні схеми та ін., а також світлодіоди, цифрові індикатори, резистивні матриці, плавкі запобіжники, лампочки розжарювання та ключі;

- передбачено можливість зміни параметрів компонентів натисканням клавіш. Існують кнопкові перемикачі, керовані з клавіатури.

Параметри моделі можна змінювати, не перериваючи моделювання;

- різні кола можна забарвлювати у різні кольори для покращення сприйняття схеми. При цьому часові діаграми на екрані двопробеневого осцилографа та багатоканального логічного аналізатора фарбуються у ті ж кольори;

- на периферійні пристрої можна вивести важливу схему, її текстовий опис, список компонентів;

- для вимірювальних інструментів малюється лицьова панель із зображенням характеристик та положенням органів управління, а для осцилографа зображуються також епюри напруг необмеженої довжини.

До складу пакету Electronics Workbench включено програму розробки друкованих плат Electronics Workbench Layout (EWB Layout).

На рис.3.1 як приклад показано модель для дослідження трифазного мостового випрямляча у пакеті Workbench.

Джерелом напруги служать три генератори синусоїдальних ЕРС величиною 12 і з фазами 0, 120 та 240В, відповідно. Трифазний міст зібраний на діодах типу 1N4002. Навантаженням служить опір 1 кОм.

Вихідну напругу кола можна дослідити за допомогою віртуального осцилографа (блок Oscilloscope).

Основні недоліки пакета впливають із його переваг. Дослідження режимів роботи та характеристик ланцюга обмежується номенклатурою вимірювальних приладів, вбудованих у програму. Такі параметри ланцюга, як, наприклад, коефіцієнт потужності для визначення, якого необхідно вимірювати активну та реактивну потужності та проводити обчислення з отриманими результатами знайти тут неможливо.

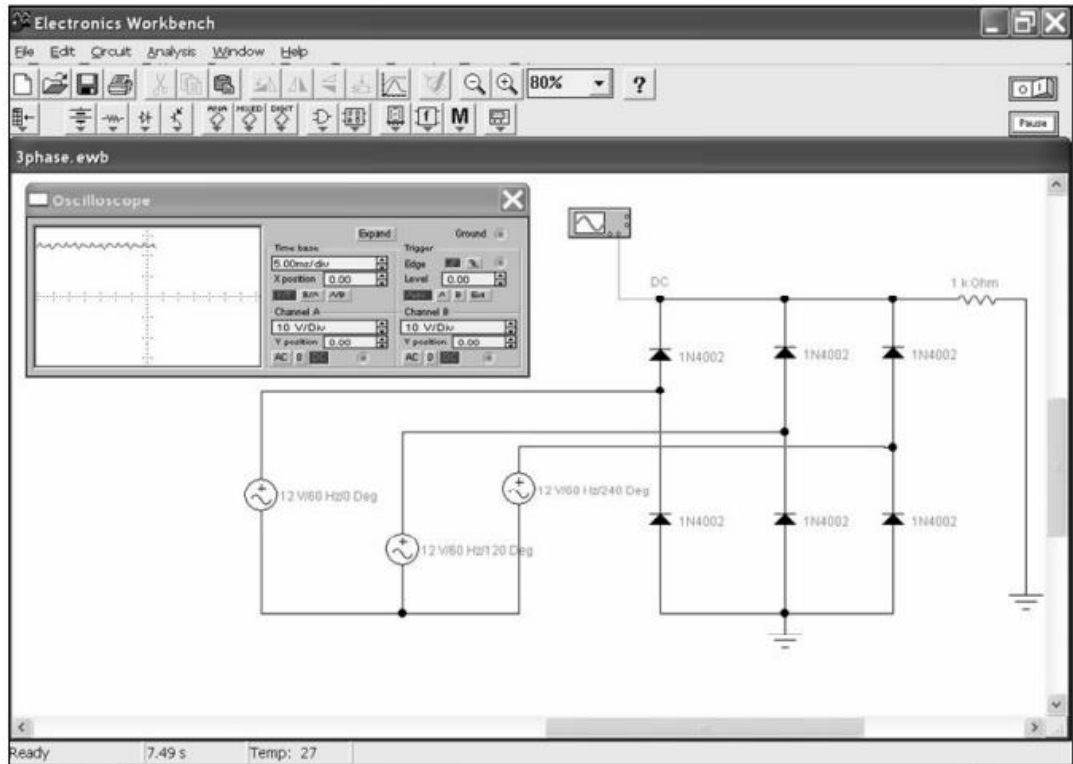


Рисунок 3.1 – Моделювання роботи трифазного мостового випрямляча без підключення фільтра

Для моделювання систем керування перетворювачами дуже зручно використовувати математичні та функціональні блоки, але їх кількість у програмі дуже обмежена та одночасна робота з електронними блоками не передбачена.

3.2. DesignLab

DesignLab 8.0 – інтегрований програмний комплекс корпорації MicroSim для наскрізного проектування аналогових, цифрових та аналогоцифрових пристроїв. Основу системи DesignLab складає програма PSpice.

Система DesignLab дозволяє проводити наскрізне проектування радіоелектронних пристроїв: від введення принципової схеми, її моделювання до створення файлів, що управляють, для програматорів, розробки друкованих

плат і керуючих програм для свердлильних верстатів та виведення даних на графобудівник.

До складу системи DesignLab входять такі програми:

- Schematics – графічний редактор принципів схем, який одночасно є керуючою оболонкою для запуску основних модулів системи на всіх стадіях роботи із проектом;

- PSpice A/D – моделювання змішаних аналого-цифрових пристроїв;

- PLSyn – синтез цифрових пристроїв на базі інтегральних схем (IC) з програмованою логікою PLD/CPLD;

- StmEd – редактор вхідних сигналів (аналогових та цифрових);

- Probe – графічне відображення, обробка та документування результатів;

- Parts – ідентифікація параметрів математичних моделей діодів,

- біполярних, польових та потужних МОП-транзисторів, біполярних статично індукованих транзисторів, операційних підсилювачів, компараторів напруги, регуляторів та стабілізаторів напруги та магнітних сердечників за паспортними даними;

- PCBoards та Autorouter – графічний редактор багатопланових друкованих плат та програма автотрасування SPECCTRA (розраховані на 6 сигнальних шарів);

- PSpice – моделювання аналогових пристроїв;

- PSpice Basics, PSpice A/D Basics+ – спрощені варіанти програм моделювання аналогових та змішаних аналого-цифрових пристроїв;

- PSpice Optimizer – параметрична оптимізація аналого-цифрових пристроїв за заданим критерієм за наявності нелінійних обмежень;

- Polaris – перевірка цілісності сигналу, тобто. проведення моделювання з урахуванням паразитних ємностей та індуктивностей, властивих друкованим платам;

- PLogic – моделювання цифрових пристроїв.

3.3. OrCAD 9.2 – 10

Уявлення про версію OrCAD 9.2 дає перелік її складу програмних модулів:

OrCAD Capture - графічний редактор схем;

OrCAD Capture CIS (Component Information System) – графічний редактор схем, доповнений засобом ведення баз даних компонентів;

PSpice Schematics - графічний редактор схем, запозичений з пакета DesignLab;

OrCAD PSpice A/D — програма моделювання аналогових та змішаних аналого-цифрових пристроїв, дані в яку передаються як із PSpice Schematics, і з OrCAD Capture;

OrCAD PSpice Optimizer - програма параметричної оптимізації;

OrCAD Layout – графічний редактор друкованих плат;

OrCAD Layout Plus - програма OrCAD Layout, доповнена безсіточним автотрасувальником SmartRoute;

OrCAD Layout Engineer's Edition - програма перегляду друкованих плат, створених за допомогою Layout або Layout Plus, засіб загального розміщення компонентів на платі та прокладання найбільш критичних ланцюгів, що виконуються інженером-схемотехніком перед видачею завдання на проектування друкованої плати конструктору;

OrCAD GerbTool - програма створення та доопрацювання керуючих файлів для фотоплотерів;

Visual CADD – графічний редактор фірми Numera Software (спрощений аналог AutoCAD).

Після припинення розвитку пакету DesignLab система OrCAD залишилася, мабуть, єдиним засобом наскрізного проектування цифрової, аналогової та аналого-цифрової апаратури на платформі Windows.

В останніх версіях програми модуль PSpice Schematics (запозичений з пакету DesignLab) був виключений, оскільки він дублював модуль OrCAD

Capture (власна розробка компанії власників OrCAD). Це з погляду значно знизило експлуатаційні властивості програми.

Програма Capture призначена для створення проекту, частина якого може бути задана у вигляді принципової електричної схеми, а інша частина може бути описана мовою VHDL. Крім того, з оболонки OrCAD Capture запускається модуль OrCAD Express для синтезу та моделювання ПЛІС, а також програми моделювання аналогових, цифрових та змішаних аналого-цифрових пристроїв PSpice та параметричної оптимізації PSpice Optimizer. У системі OrCAD проекти поділяються на декілька типів.

3.4. Micro-Cap

Micro-Cap – це програма схемотехнічного моделювання електричних кіл. Перший варіант Micro-Cap з'явився в 1981 році і швидко завоював популярність у нашій країні, тому що не висував високих вимог до комп'ютерів. У серпні 1995 року була випущена версія 2.0 програми п'ятого покоління Micro-Cap V, яка в деяких аспектах перевершує своїм можливостям програму моделювання для професіоналів PSpice, що входить до складу системи наскрізного проектування DesignLab 8.0.

Micro-CAP-7 - це універсальний пакет програм схемо технічного аналізу, призначений на вирішення кола завдань. Характерною особливістю цього пакета, втім, як і всіх програм сімейства MicroCAP (Micro-CAP-3. Micro-CAP-8) [8, 11], є наявність зручного та дружнього графічного інтерфейсу, що робить його особливо привабливим для непрофесійної студентської аудиторії. Незважаючи на досить скромні вимоги до програмно-апаратних засобів ПК (процесор не нижче Pentium II, ОС Windows 95/98/ME або Windows NT 4/2000/XP, пам'ять не менше 64 Мб, монітор не гірший за SVGA), його можливості достатньо великі. З його допомогою можна аналізувати не лише аналогові, а й цифрові пристрої. Можливе також і змішане моделювання

аналогоцифрових електронних пристроїв, що реалізується повною мірою досвідченим користувачем пакету, здатним у нестандартній ситуації створювати власні макромоделі, що полегшують імітаційне моделювання без втрати суттєвої інформації щодо поведінки системи.

Від молодших представників свого сімейства MicroCAP-7 відрізняється досконалішими моделями електронних компонентів різних рівнів.

(LEVEL) складності, а також наявністю моделі магнітного сердечника. Це наближає його за можливостями схемотехнічного моделювання до інтегрованих пакетів DESIGNLAB, ORCAD, PCAD2002 – професійним засобам аналізу та проектування електронних пристроїв, що вимагають великих комп'ютерних ресурсів та досить складних у використанні.

Перелічені переваги роблять пакет програм Micro-CAP-7 привабливим для моделювання електронних пристроїв середнього ступеня складності. Зручність у роботі, невибагливість до ресурсів комп'ютера та здатність аналізувати електронні пристрої з досить великою кількістю компонентів дозволяють успішно використовувати цей пакет у навчальному процесі.

Система Micro-Cap-7 складається з двох програм:

MC7.exe - основна програма;

MODEL.exe - програма розрахунку параметрів математичних моделей компонентів за паспортними даними.

Micro-CAP-7 (далі MC7) є програмою з багатовіконним графічним інтерфейсом, що дозволяє будувати та редагувати схеми, моделі та зображення компонентів, а також представляти результати розрахунків у зручному графічному вигляді. Для роботи з цією програмою необхідно використовувати маніпулятор "миша". За допомогою миші можна змінювати розташування та розмір вікон, а також вибирати команди меню. Одночасно можна редагувати кілька схемних файлів, які розміщені в різних вікнах.

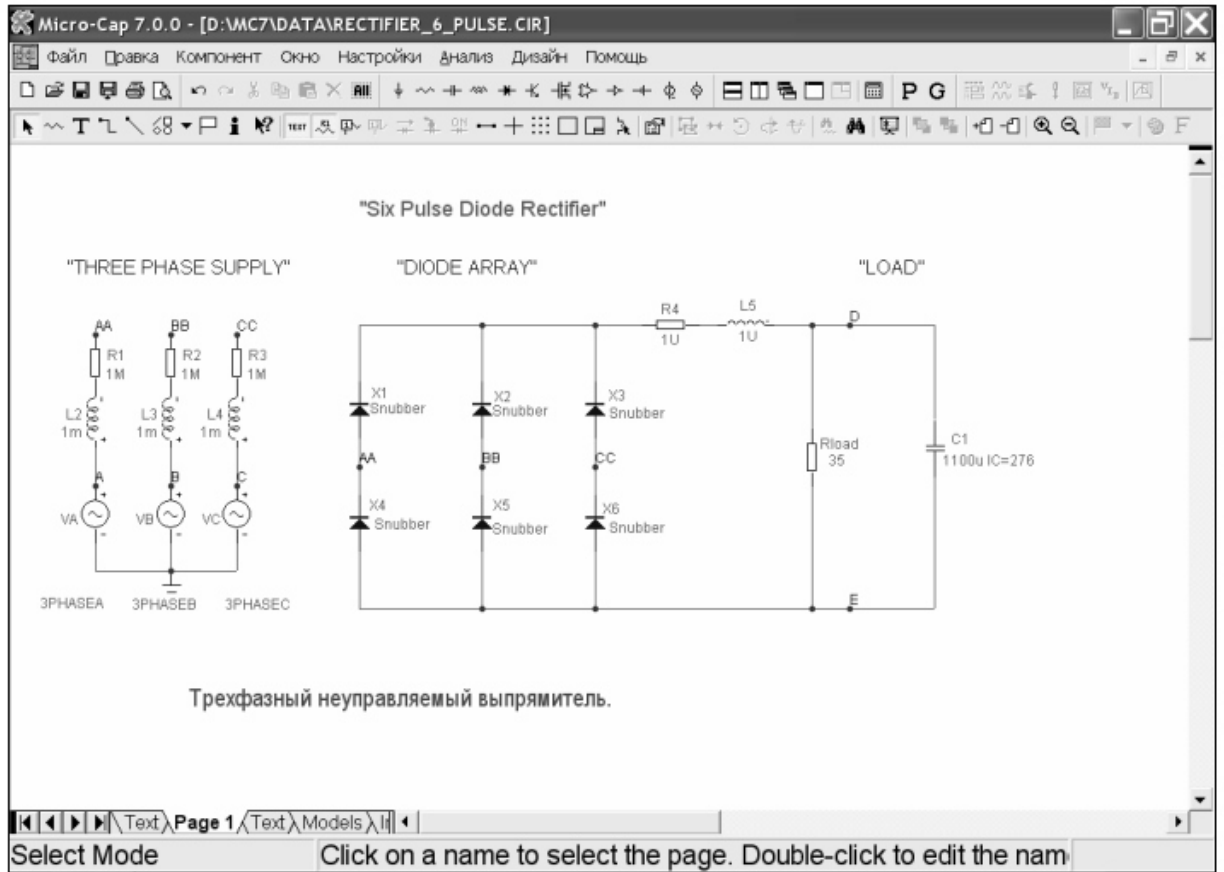


Рисунок 3.2 – Моделювання трифазного мостового некерованого випрямляча у MicroCap

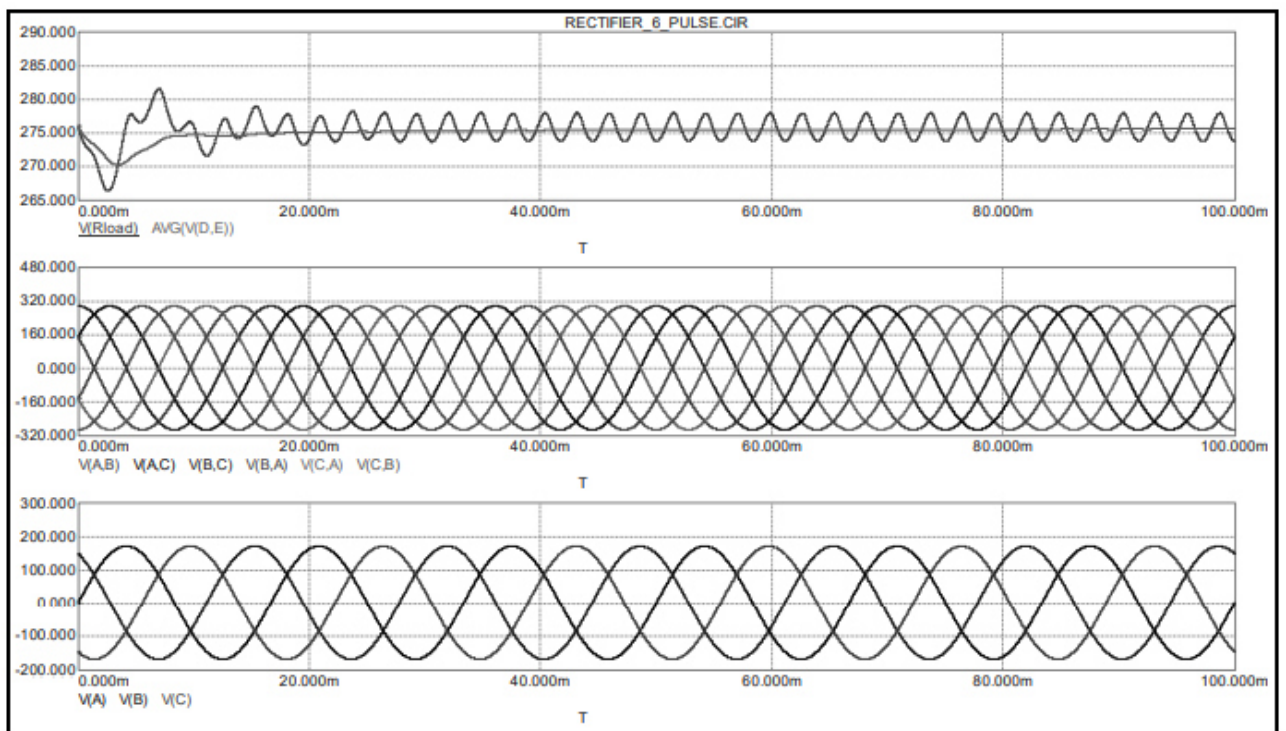


Рисунок 3.3 – Результати моделювання випрямної напруги

3.5. Matlab Simulink

Simulink надає досліднику різні можливості, починаючи від структурного (математичного) уявлення системи та закінчуючи генеруванням кодів для програмування мікропроцесора відповідно із структурною схемою моделі.

Користувач за допомогою миші переносить потрібні блоки з палітр на робочий стіл пакета Simulink і з'єднує лініями входи та виходи блоків. Таким чином, створюється блок-схема системи чи пристрої, тобто S-модель. Simulink автоматизує наступний, найбільш трудомісткий етап моделювання: він складає та вирішує складні системи алгебраїчних та диференціальних рівнянь, що описують задану функціональну схему (S-модель), забезпечуючи зручний та наочний візуальний контроль за поведінкою створеного користувачем віртуального пристрою. Засоби візуалізації результатів моделювання у пакеті Simulink настільки наочні, що часом створюється відчуття, що створена у вигляді блок-схеми S-модель працює «як жива». Simulink практично миттєво змінює математичний опис моделі у міру введення її нових блоків, навіть у тому випадку, коли цей процес супроводжується зміною порядку системи рівнянь та веде до суттєвої якісної зміни поведінки системи.

Таким чином, додаток Simulink є свого роду «віртуальною лабораторією» що дозволяє збирати та досліджувати роботу багатьох видів електричних ланцюгів, електричних машин та пристроїв електроприводу, схем силової електроніки.

На рис.3.4 показана модель однофазного мостового випрямляча, виконана у двох варіантах. Представлена на рис.3.3 модель (файл `ower_2rectifiers.md` з бібліотеки `SimPowerSystems Demos`) – два ідентичні випрямлячі, виконані з використанням моделей одиночних діодів (CIRCUIT 1) та моделі діодного мосту (CIRCUIT 2). Результати моделювання наведено рис.3.5.

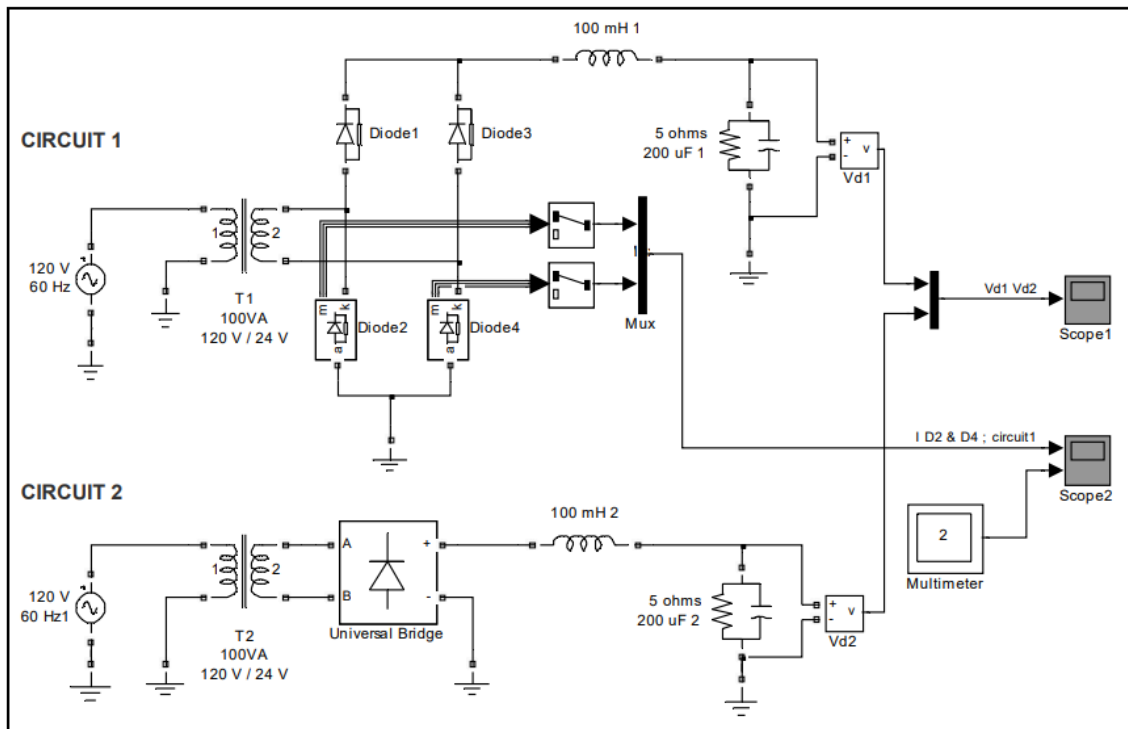


Рисунок 3.4 – Моделювання однофазного випрямляча

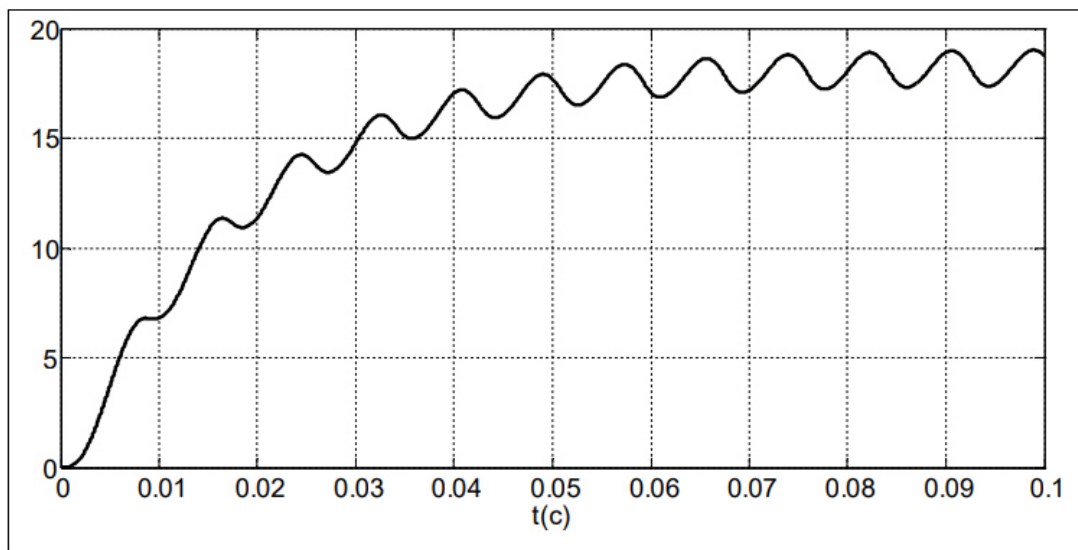


Рисунок 3.5 – Напряга на виході випрямляча з підключенням згладжую чоґо індуктивного фільтру

3.6. Висновки за розділом

Порівняно з іншими програмними системами моделювання електричних схем, можливості середовища MATLAB охоплюють завдання математичного

моделювання складних динамічних систем у фізиці, електро- та радіотехніці, біології та хімії — словом, у всіх галузях науки та техніки.

Можливість моделювання електричних машин та схем силової електроніки досить складних схем керування ними (пристроїв електроприводу) є головною відмінністю системи MATLAB від інших програмних засобів для моделювання електричних схем.

Виходячи з вищевикладеного, при розробці моделей дослідження електричних машин будемо використовувати пакет Simulink програмного середовища MATLAB.

Simulink надає досліднику різні можливості, починаючи від структурного (математичного) уявлення системи та закінчуючи генеруванням кодів для програмування мікропроцесора відповідно із структурною схемою моделі.

ВИСНОВОК

Виходячи з вищевикладеного, при розробці моделей дослідження електричних машин будемо використовувати пакет Simulink програмного середовища MATLAB.

Simulink надає досліднику різні можливості, починаючи від структурного (математичного) уявлення системи та закінчуючи генеруванням кодів для програмування мікропроцесора відповідно із структурною схемою моделі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Випрямлячі, що застосовуються у пристроях автоматики та телемеханіки
URL: <https://poezdvl.com/electropitaiuschie-ustroystva/vypryamiteli-primenyaemye-v-ustroistvakh-avtomatiki-i-telemekhaniki.html>

2. Перетворювачі та випрямлячі у пристроях електроживлення апаратури залізничної автоматики. URL: https://vuzlit.com/1019405/preobrazovateli_vypryamiteli_ustroystvah_elektropitaniya_apparatury

3. Гаврилюк, В. І. Електроживлення систем залізничної автоматики, телемеханіки та зв'язку [Текст]: монографія / В. І. Гаврилюк, В. Г. Сиченко, Т. М. Сердюк; за заг. ред. В. І. Гаврилюка; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2016. – 193 с.

4. Сиченко, В.Г. Електроживлення систем залізничної автоматики [Текст] / В.Г. Сиченко, В.І. Гаврилюк / Монографія, 2009. – 372 с.

5. Електроживлення систем автоматики [Текст]: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт. Частина 1 / уклад. Т. М. Сердюк, В. І. Гаврилюк, В.І. Профатилов; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д. : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2012. - 52 с.

6. Електроживлення систем автоматики [Текст]: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт. Частина 2 / уклад. Т. М. Сердюк, В. І. Гаврилюк, В.І. Профатилов; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д. : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2012. - 50 с.

7. Електроживлення систем автоматики [Текст]: методичні вказівки до виконання курсової роботи / уклад. Т. М. Сердюк, В. І. Гаврилюк; Дніпропетр.

нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д. : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2010. - 32 с.

8. Сердюк, Т. М. Електроживлення і захист пристроїв електричної централізації / Т. М. Сердюк, З. В. Тодоров, О. С. Грецько // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2015. – Ном. 9. – Дніпропетровськ: Вид-во ДНУЗТ, 2015. – С. 29–45.

9. Правила улаштування електроустановок [Текст]: вид. 3-те, перероб. і доп.– Мінпаливенерго України, 2010. – 736 с.

10. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕ). URL: <https://www.diagram.com.ua/list/44.shtml#pte>

11. Промислова електроніка: Моделювання пристроїв силової електроніки в MATLAB Simulink. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «системи електропостачання» / С.П. Денисюк, Д.Г. Дерев'янюк КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,9 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 95 с.

12. Петрова О. О. Моделювання схем в програмному середовищі Electronic Workbench : навч. посібник / О. О. Петрова ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 128 с

13. MATLAB і моделювання динамічних систем. URL: https://eprints.kname.edu.ua/48715/1/2018%2026%D0%9D%20%D0%9F%D0%9E%D0%A1%D0%86%D0%91%D0%9D%D0%98%D0%9A%20%20WORKBENCH_%D0%9F%D0%95%D0%A2%D0%A0%D0%9E%D0%92%D0%901.pdf