

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Физические методы контроля»

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов специальности
1-36 11 01 «Подъемно-транспортные, строительные,
дорожные машины и оборудование»
очной и заочной форм обучения*



Могилев 2020

УДК 621.3
ББК 31.2:32.85
Э 45

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Физические методы контроля» «22» мая 2020 г.,
протокол № 8

Составители: канд. техн. наук, доц. С. В. Болотов;
ст. преподаватель В. В. Писарик;
ст. преподаватель И. А. Черкасова

Рецензент канд. техн. наук, доц. И. В. Лесковец

Методические рекомендации предназначены для использования студентами технических специальностей очной и заочной форм обучения при выполнении лабораторных работ.

Учебно-методическое издание

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Ответственный за выпуск	С. С. Сергеев
Корректор	Т. А. Рыжикова
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 36 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2020

Содержание

Введение.....	4
1 Лабораторная работа № 1. Инструктаж по технике безопасности в лаборатории электротехники. Изучение лабораторного стенда, измерительных приборов и требований к проведению лабораторных исследований.....	5
2 Лабораторная работа № 2. Исследование режимов работы и методов расчета линейных цепей постоянного тока с одним источником питания...	6
3 Лабораторная работа № 3. Исследование режимов работы и методов расчета линейных цепей постоянного тока с двумя источниками питания...	8
4 Лабораторная работа № 4. Исследование режимов работы и методов расчета нелинейных цепей постоянного тока.....	10
5 Лабораторная работа № 5. Определение параметров и исследование режимов работы электрической цепи переменного тока с последовательным соединением катушки индуктивности, резистора и конденсатора.....	12
6 Лабораторная работа № 6. Исследование режимов работы линии электропередачи переменного тока при изменении коэффициента мощности нагрузки.....	15
7 Лабораторная работа № 7. Определение параметров и исследование режимов работы трехфазной цепи при соединении потребителей звездой...	18
8 Лабораторная работа № 8. Определение параметров и исследование режимов работы трехфазной цепи при соединении потребителей треугольником.....	21
9 Лабораторная работа № 9. Исследование линейных цепей несинусоидального периодического тока, содержащих катушку индуктивности.....	23
10 Лабораторная работа № 10. Исследование процесса зарядки конденсатора от источника постоянного напряжения при ограничении тока с помощью резистора.....	26
11 Лабораторная работа № 11. Исследование параметров схемы замещения катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом и при наличии воздушного зазора.....	29
12 Лабораторная работа № 12. Определение параметров и основных характеристик однофазного трансформатора.....	30
13 Лабораторная работа № 13. Исследование асинхронного трехфазного двигателя с короткозамкнутым ротором.....	34
14 Лабораторная работа № 14. Определение параметров и основных характеристик ДПТ с параллельным возбуждением.....	38
15 Лабораторная работа № 15. Определение параметров и основных характеристик генератора постоянного тока с независимым возбуждением.....	44
16 Лабораторная работа № 16. Исследование транзисторного усилителя...	45
17 Лабораторная работа № 17. Исследование логических элементов.....	46
Список литературы.....	48

Введение

В учебные планы подготовки инженеров неэлектротехнических специальностей входит ряд общеобразовательных дисциплин, к которым относится и курс «Электротехника и электроника».

Необходимость в усвоении базовой системы знаний, умений и навыков в данной области обусловлена широким использованием электромагнитных явлений, электрических аппаратов и электрических методов измерений.

В формировании этой системы знаний, умений и навыков большое значение имеют лабораторные занятия.

Целью электротехнических дисциплин является теоретическая и практическая подготовка инженеров неэлектротехнических специальностей в области электротехники и электроники в такой степени, чтобы они могли выбирать необходимые электротехнические устройства, электронные и электроизмерительные приборы, уметь их правильно эксплуатировать и составлять совместно с инженерами-электриками технические задания на разработку электрических частей автоматизированных установок для управления производственными процессами.

Лабораторные занятия по электротехнике и электронике имеют целью:

- закрепить теоретический материал;
- дать возможность подробно ознакомиться с устройствами и характеристиками наиболее важных электротехнических приборов, аппаратов, составляющих предмет лабораторной практики;
- помочь овладеть практическими способами управления электротехническими устройствами и настройки их на заданный режим;
- научить технике проведения экспериментального исследования физических моделей;
- научить выполнять определенные расчеты с использованием компьютерных программ;
- выработать умение выносить суждения о рабочих свойствах и степени пригодности исследованных и исследуемых устройств для решения тех или иных практических задач.

1 Лабораторная работа № 1. Инструктаж по технике безопасности в лаборатории электротехники. Изучение лабораторного стенда, измерительных приборов и требований к проведению лабораторных исследований

Цель работы: ознакомление с основными требованиями при проведении лабораторных работ; изучение оборудования, используемого при проведении лабораторных работ.

Работа в лаборатории электротехники, связанная с эксплуатацией электрооборудования, находящегося под напряжением, требует организации и строгого соблюдения мер безопасности. Вопросы безопасности отражаются в инструкциях по эксплуатации, которыми снабжено поставляемое оборудование. Характерным видом поражения, которым может подвергаться работник, является поражение электрическим током. Во избежание возможности поражения электрическим током при работе с электрооборудованием необходимо соблюдать следующие меры безопасности.

1 К выполнению лабораторной работы допускаются студенты, прошедшие обучение мерам безопасности с последующей проверкой знаний и зарегистрированные в соответствующем протоколе.

2 Студенту разрешается выполнение только той лабораторной работы, задание на которую выдал преподаватель.

3 Приступая к работе, студент обязан ознакомиться с методикой ее выполнения.

4 Сборка электрической схемы лабораторной работы, изменение в схеме, производятся при отключенном напряжении питания лабораторной работы и перевода всех выключателей в положение «отключено».

5 Переносное оборудование, необходимое для выполнения данной лабораторной работы (осциллографы, компьютеры, электроизмерительные приборы), обязательно заземляются согласно требованиям завода-изготовителя, что проверяется преподавателем в обязательном порядке.

6 Включение питания оборудования для выполнения лабораторной работы производится только после разрешения преподавателя.

7 Включение измерительных приборов в цепь следует производить только одной рукой, не касаясь металлических частей.

8 При выполнении лабораторных работ в лаборатории запрещается:

– без разрешения преподавателя перемещать приборы и аппаратуру, выносить их из лаборатории;

– производить какие-либо работы по устранению неисправностей лабораторного оборудования;

– оставлять без присмотра электроприборы, включенные в сеть;

– загромождать посторонними предметами рабочие места, находиться в лаборатории в верхней одежде.

9 При возникновении любой неисправности лабораторного оборудования студент обязан немедленно отключить его от электросети и сообщить об этом преподавателю.

Экспериментальная часть лабораторных работ выполняется на лабораторном стенде НТЦ-01.100. В корпусе стенда размещены: блок питания +24 В 0,5 А, +5 В 0,5 А; плата резистивного моста с регулируемым источником ЭДС; плата секундомера с разрешающей способностью 0,1 с; плата транзисторного реле времени; плата транзисторных усилителей; плата измерителя частоты вращения электродвигателей; плата тиристорного управляемого выпрямителя и широтно-импульсного преобразователя; автотрансформатор 0,16 кВт; асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором и электродвигатель постоянного тока независимого возбуждения.

На лицевой панели изображены электрические схемы объектов исследования. Там же установлены коммутационные гнёзда, индикаторы цифровых приборов, а также органы управления, позволяющие изменять параметры элементов при проведении лабораторной работы.

2 Лабораторная работа № 2. Исследование режимов работы и методов расчета линейных цепей постоянного тока с одним источником питания

Цель работы: закрепление навыков расчета линейных электрических цепей с одним источником питания; исследование мостовой цепи постоянного тока.

2.1 Основные теоретические сведения

2.1.1 Мост постоянного тока – это сложная электрическая цепь, в которой четыре резистора R_{20} , R_{22} , R_{23} , R_1 , называемых плечами, образуют замкнутый четырехугольник, в одну диагональ которого включается нагрузка R_{24} , а в другую – источник постоянного тока (рисунок 2.1).

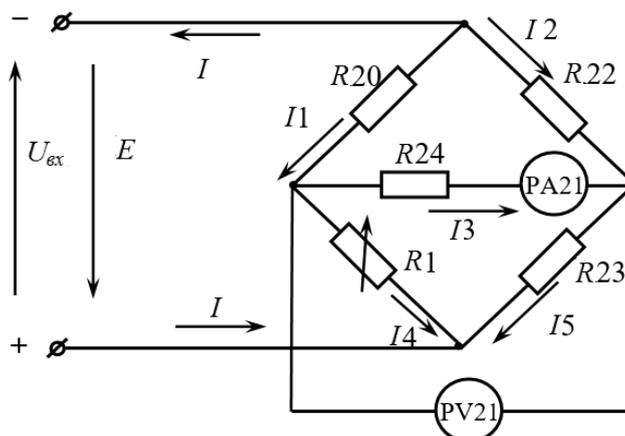


Рисунок 2.1 – Мост постоянного тока

2.1.2 Условие равновесия моста постоянного тока:

$$R_1 \cdot R_{22} = R_{20} \cdot R_{23}.$$

Откуда

$$R1 = \frac{R20 \cdot R23}{R22}$$

при значении тока $I3 = 0$.

2.1.3 Величина сопротивления резистора $R24$ определяется по закону Ома:

$$R24 = \frac{U_{PV21}}{I3}.$$

2.1.4 Рассчитать значение выходного напряжения $U_{вых}$ моста постоянного тока можно, используя метод эквивалентного генератора (рисунок 2.2):

$$U_{вых} = I3 \cdot R24,$$

где

$$I3 = \frac{U_{x.x.}}{R24 + R_{к.з.}},$$

здесь $U_{x.x.}$ – напряжение холостого хода при разомкнутом резисторе $R24$ (SA13 в положении «3» (рисунок 2.2));

$R_{к.з.}$ – сопротивление относительно точек разрыва моста при замкнутом источнике входного напряжения.

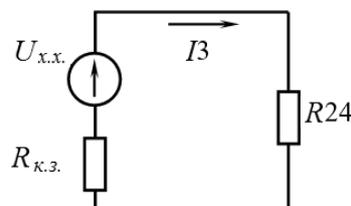


Рисунок 2.2 – Эквивалентная схема электрической цепи для расчёта тока $I3$

2.1.5 Сопротивление $R_{к.з.}$ можно определить экспериментально.

$$R_{к.з.} = \frac{U_{x.x.}}{I_{к.з.}}.$$

2.2 Исследуемые схемы

Для выполнения лабораторной работы собирается исследуемая мостовая схема (рисунок 2.3).

Измерительный мост включается тумблером SA7.

Технические данные измерительного моста указаны на стенде.

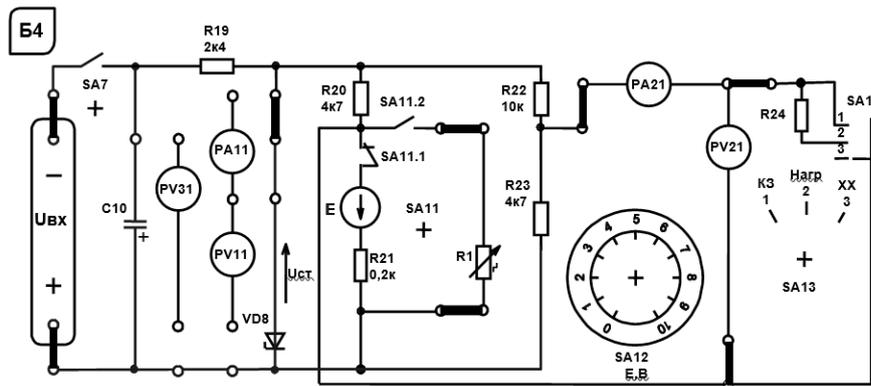


Рисунок 2.3 – Схема для экспериментального исследования электрической цепи постоянного тока с одним источником питания

2.3 Порядок выполнения лабораторной работы

2.3.1 Изучить схему измерительного моста. Рассчитать величину сопротивления резистора $R1$ из условия равновесия моста постоянного тока.

2.3.2 Построить зависимость $U_{вых} = f(R1)$.

2.3.3 При максимальном $U_{вых}$ рассчитать сопротивление резистора $R24$.

2.3.4 Методом эквивалентного генератора рассчитать величину выходного напряжения моста при значении сопротивления $R1$, заданном преподавателем.

2.3.4.1 Экспериментально измерить ток $I_{к.з.}$ и рассчитать сопротивление $R_{к.з.}$.

2.3.4.2 Провести моделирование работы схемы (см. рисунок 2.1) в среде Multisim.

2.3.4.3 Сделать выводы по результатам работы.

2.4 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать цель работы, схему моста постоянного тока, основные расчётные формулы, результаты эксперимента и моделирования, выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Охарактеризуйте мостовую схему постоянного тока.
- 2 Порядок расчёта электрических цепей методом эквивалентного генератора напряжения.

3 Лабораторная работа № 3. Исследование режимов работы и методов расчета линейных цепей постоянного тока с двумя источниками питания

Цель работы: закрепление на практике основных методов расчета цепей постоянного тока с несколькими источниками постоянного напряжения; исследование моста постоянного тока с генераторным датчиком.

3.1 Основные теоретические сведения

3.1.1 Для расчёта цепей постоянного тока с несколькими источниками напряжения широко используют метод контурных токов. Этот метод заключается в том, что вместо токов в ветвях определяются на основании второго закона Кирхгофа так называемые контурные токи (рисунок 3.1), замыкающиеся в контурах. Число уравнений, записываемых для контурных токов по второму закону Кирхгофа, равно числу независимых контуров.

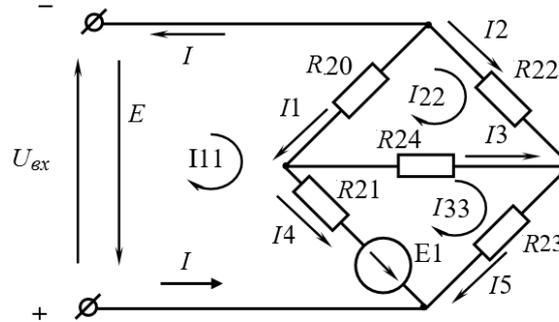


Рисунок 3.1 – Электрическая цепь постоянного тока с двумя источниками питания

Система уравнений для расчета контурных токов:

$$\begin{aligned} I_{11} \cdot (R_{20} + R_{21}) - I_{22} \cdot R_{20} - I_{33} \cdot R_{21} &= E_1 - E; \\ - I_{11} \cdot R_{20} + I_{22} \cdot (R_{20} + R_{24} + R_{22}) - I_{33} \cdot R_{24} &= 0; \\ - I_{11} \cdot R_{21} - I_{22} \cdot R_{24} + I_{33} \cdot (R_{21} + R_{23} + R_{24}) &= - E_1. \end{aligned}$$

I_{11} , I_{22} , I_{33} – контурные токи, I_1 , I_2 , I_3 , I_4 , I_5 , I – токи ветвей.

Решив систему уравнений, определяют значение тока I_3 :

$$I_3 = I_{33} - I_{22}.$$

Выходное напряжение моста

$$U_{\text{вых}} = I_3 \cdot R_{24}.$$

3.2 Исследуемые схемы

Для выполнения лабораторной работы используется схема, в которой вместо резистора R_1 включается источник E_1 (тумблер SA11 выключен). Схема включается тумблером SA7. Величину ЭДС источника E_1 устанавливают с помощью переключателя E_1 . Технические данные измерительного моста указаны на стенде.

3.3 Порядок выполнения лабораторной работы

3.3.1 Методом контурных токов рассчитать токи в ветвях I_1 , I_2 , I_3 , I_4 , I_5 и величину выходного напряжения моста $U_{\text{вых}}$ при заданном ЭДС E_1 .

3.3.2 Снять экспериментально зависимость $U_{\text{вых}} = f(E_1)$, изменяя E_1 от 1 до 10 В. Сопоставить $U_{\text{вых}}$ для заданного значения E_1 с расчетным.

3.3.3 Провести моделирование работы схемы (см. рисунок 3.1) в среде Multisim.

3.3.4 Сделать выводы по результатам работы.

3.4 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать цель работы, схему электрической цепи постоянного тока с двумя источниками питания, систему уравнений для расчёта контурных токов, результаты расчёта, моделирования и эксперимента, зависимость $U_{вых} = f(E1)$, выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Опишите метод расчёта цепей постоянного тока с двумя источниками питания.
- 2 Порядок расчёта методом контурных токов.

4 Лабораторная работа № 4. Исследование режимов работы и методов расчета нелинейных цепей постоянного тока

Цель работы: ознакомление со свойствами и характеристиками стабилитронов; изучение методов расчета нелинейных электрических цепей постоянного тока.

4.1 Исследуемые схемы

Для выполнения лабораторной работы используется схема, приведенная на рисунке 4.1. Исследуемым нелинейным элементом является стабилитрон VD8. Собирается схема питания лабораторного автотрансформатора (ЛАТР) TV2 (тумблер SA3 устанавливается в верхнее положение, тумблер переключения пределов регулирования напряжения ЛАТРа – в положение «0–100 В»). Тумблер SA11 должен находиться в верхнем положении (рисунок 4.2).

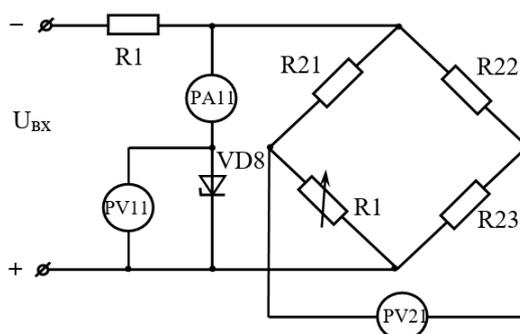


Рисунок 4.1 – Нелинейная электрическая цепь постоянного тока

Напряжение на выходе ЛАТРа регулируется двумя переключателями: левый – с шагом 10В, правый – с шагом 1В. Исследуемая схема включается тумблером SA7.

Нагрузкой стабилитрона является измерительный мост постоянного тока, и изменяется она путем изменения величины сопротивления переменного резистора R1 (ключ SA11 устанавливается в верхнее положение).

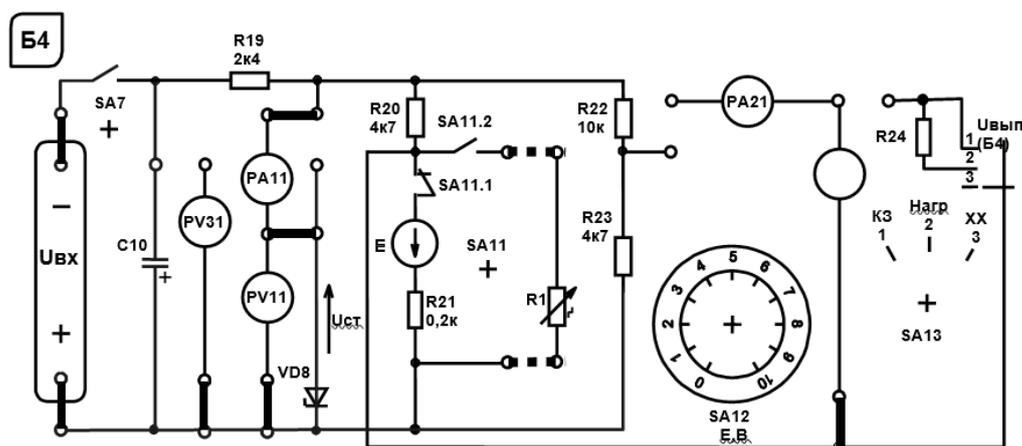


Рисунок 4.2 – Схема для экспериментального исследования нелинейной цепи постоянного тока

4.2 Основные теоретические сведения

4.2.1 При расчете сопротивления $R_{н экв}$ сопротивление резистивного датчика $R1$ выбирается по усмотрению преподавателя в пределах от 0 до 10 кОм.

Значение сопротивления нагрузки $R_{н экв}$ определяют по формуле

$$R_{н экв} = \frac{(R20 + R1) \cdot (R22 + R23)}{R20 + R1 + R22 + R23}$$

при отключенном резисторе $R24$.

4.2.2 Расчет динамического сопротивления R_D стабилитрона:

$$R_D = \frac{U_{ст. max} - U_{ст. min}}{I_{ст. max} - I_{ст. min}},$$

где значения $U_{ст. max} = 8,5$ В, $U_{ст. min} = 7$ В, $I_{ст. max} = 3$ мА, $I_{ст. min} = 40$ мА.

4.2.3 Балластное сопротивление параметрического стабилизатора определяют из соотношения

$$R_б = R19 = \frac{U_{вх. max} - U_{ст.}}{I_{ст. max} + I_n}.$$

4.3 Порядок выполнения лабораторной работы

4.3.1 Изучить принцип действия параметрического стабилизатора напряжения.

4.3.2 Рассчитать $U_{вх min}$ с заданными $R_б = R19 = 15$ кОм и $R_{н min}$, при котором параметрический стабилизатор не выходит из режима стабилизации. Определить $U_{вх. min}$ экспериментально и $U_{ст. экпер}$; напряжение $U_{вх}$ измерить тестером.

4.3.3 Снять экспериментально зависимость $U_{вых} = f(U_{вх})$ и $I_{ст} = f(U_{вх})$ при $R_{н} = const$. Определить $I_{ст. min}$ экспериментально. Рассчитать $U_{вх min}$ для $I_{ст. min экпер}$ и сопоставить с измеренным. Снять экспериментально зависимость $U_{вых} = f(R_{н})$ при $U_{вх min}$.

4.3.4 Провести моделирование работы схемы (рисунок 4.1) в среде Multisim.

4.3.5 Сделать выводы по результатам работы.

4.4 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать цель работы, схему нелинейной электрической цепи постоянного тока, результаты расчета, моделирования и эксперимента, зависимости $U_{вых} = f(U_{вх})$ и $I_{см} = f(U_{вх})$, выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Какие методы используют для анализа нелинейных цепей постоянного тока?
- 2 Дайте определение статического и динамического (дифференциального) сопротивлений.

5 Лабораторная работа № 5. Определение параметров и исследование режимов работы электрической цепи переменного тока с последовательным соединением катушки индуктивности, резистора и конденсатора

Цель работы: определение параметров схемы замещения катушки индуктивности с магнитопроводом; изучение основных режимов работы, расчётов электрической цепи переменного тока при последовательном соединении R -, L -, C -элементов.

5.1 Основные теоретические сведения

5.1.1 Схема для изучения цепи переменного тока с последовательно соединёнными резистивным, индуктивным и ёмкостным элементами приведена на рисунке 5.1.

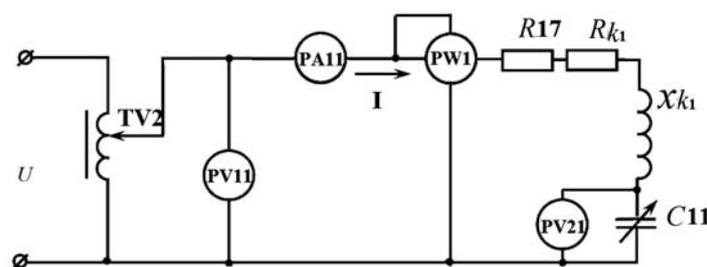


Рисунок 5.1 – Электрическая цепь переменного тока с последовательно соединёнными R -, L -, C -элементами

Для определения параметров схемы замещения катушки индуктивности с магнитопроводом L_{k1} и R_{k1} в номинальном режиме $I_n = 1,0$ А снимают показания приборов: PA11 – ток I_n через катушку; PW1 – активную мощность P , потребляемую катушкой; PV11 – напряжение U на катушке.

Зная показания приборов, определяют значение параметров схемы замещения катушки:

$$R_{\Sigma} = \frac{P}{I_n^2}; \quad Z_{\Sigma} = \frac{U}{I_n}; \quad L_{K1} = \frac{X_{K1}}{2\pi f}; \quad X_{K1} = \sqrt{Z_{\Sigma}^2 - R_{\Sigma}^2}; \quad R_{K1} = R_{\Sigma} - R17.$$

где $R17 = 17 \text{ Ом}$;

$f = 50 \text{ Гц}$.

5.1.2 Определение величины емкости $C11$, при которой в цепи наступает резонанс напряжений. Значение $C11$ определяется исходя из условия возникновения резонанса напряжений:

$$C11 = \frac{1}{2\pi f X_{K1}}.$$

5.1.3 Коэффициент мощности цепи

$$\cos \varphi = \frac{P}{U \cdot I}.$$

Пример построения векторной диаграммы цепи при активно-индуктивном характере цепи дан на рисунке 5.2.

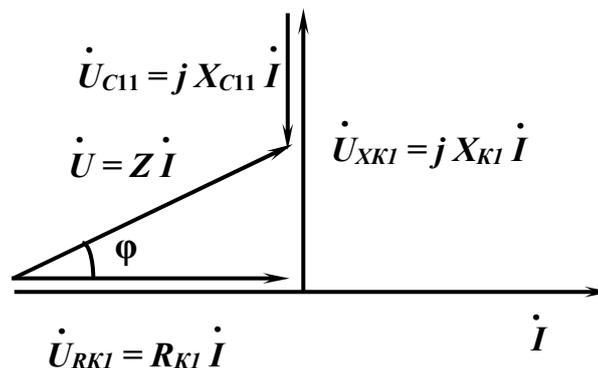


Рисунок 5.2 – Векторная диаграмма

5.2 Исследуемые схемы

Для определения параметров схемы замещения катушки индуктивности собирают схему, приведенную на рисунке 5.3. Номинальный ток $I_n = 1,0 \text{ А}$ выставляют с помощью лабораторного автотрансформатора TV2. Для исследования резонанса напряжения собирают схему, приведенную на рисунке 5.4.

5.3 Порядок выполнения лабораторной работы

5.3.1 Собрать на стенде схему (см. рисунок 5.3) для расчета параметров схемы замещения катушки индуктивности L_{K1} и R_{K1} для номинального режима работы $I_n = 1,0 \text{ А}$, определить значения этих параметров.

5.3.2 Определить величину емкости $C11$ конденсатора, при которой в цепи наступает резонанс напряжений.

5.3.3 Снять зависимости $I = f(C11)$ и $\cos \varphi = f(C11)$ при U_{\min} .

5.3.4 Построить векторную диаграмму напряжений и тока.

5.3.5 Провести моделирование работы схемы (см. рисунок 5.1) в среде Multisim.

5.3.6 Сделать выводы по результатам работы.

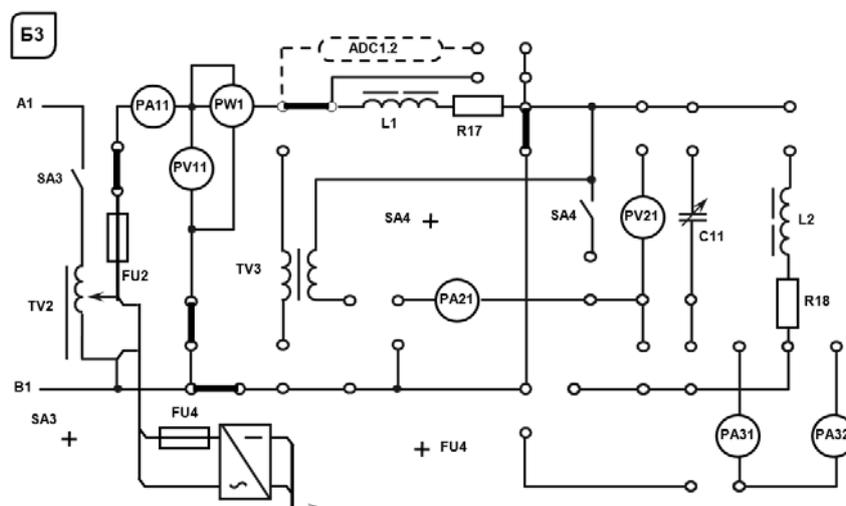


Рисунок 5.3 – Схема для экспериментального исследования параметров схемы замещения катушки индуктивности

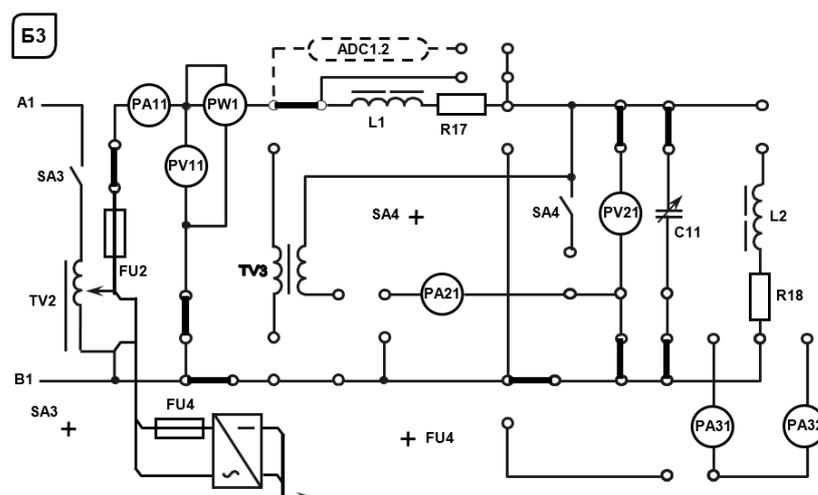


Рисунок 5.4 – Схема для экспериментального исследования резонанса напряжений

5.4 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать цель работы, схему исследуемой цепи переменного тока с последовательно соединёнными R -, L -, C -элементами, основные расчётные формулы, результаты эксперимента и моделирования, зависимости $I = f(C11)$ и $\cos\varphi = f(C11)$, векторную диаграмму напряжений и тока, выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Каково условие резонанса напряжений?
- 2 Чему равен коэффициент мощности цепи в режиме резонанса, почему?

6 Лабораторная работа № 6. Исследование режимов работы линии электропередачи переменного тока при изменении коэффициента мощности нагрузки

Цель работы: изучение эксплуатационных характеристик линии электропередачи (ЛЭП) переменного тока; определение параметров нагрузки; исследование режимов работы ЛЭП при изменении коэффициента мощности нагрузки.

6.1 Исследуемые схемы

Схема для изучения ЛЭП с нагрузкой в виде параллельно соединённых резистивным, индуктивным и ёмкостным элементами приведена на рисунке 6.1.

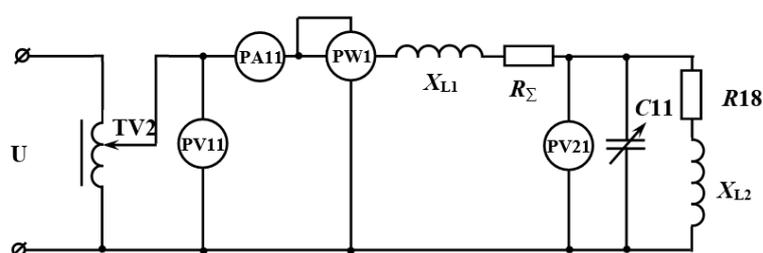


Рисунок 6.1 – Электрическая схема ЛЭП переменного тока с параллельно соединёнными R -, L - и C -элементами в качестве нагрузки

Закоротив условно представленную ЛЭП (L_{K1} , $R17$), определяют параметры катушки L_{K2} , сопротивление $R18$ и $\cos\varphi$ при $U_{2н} = 110$ В (схема дана на рисунке 6.2). Рассчитывают величину емкости $C11$ для повышения коэффициента мощности нагрузки, а также для выполнения условия резонанса токов и проверяют значение тока I экспериментально (схема дана на рисунке 6.3).

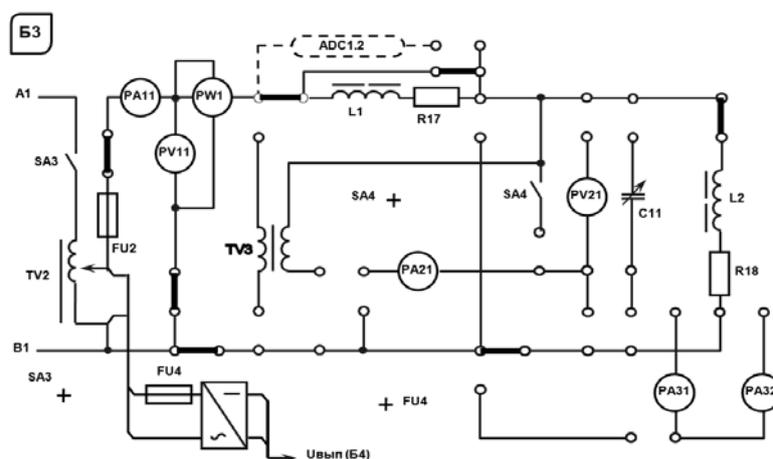


Рисунок 6.2 – Схема для экспериментального исследования параметров схемы замещения катушки индуктивности

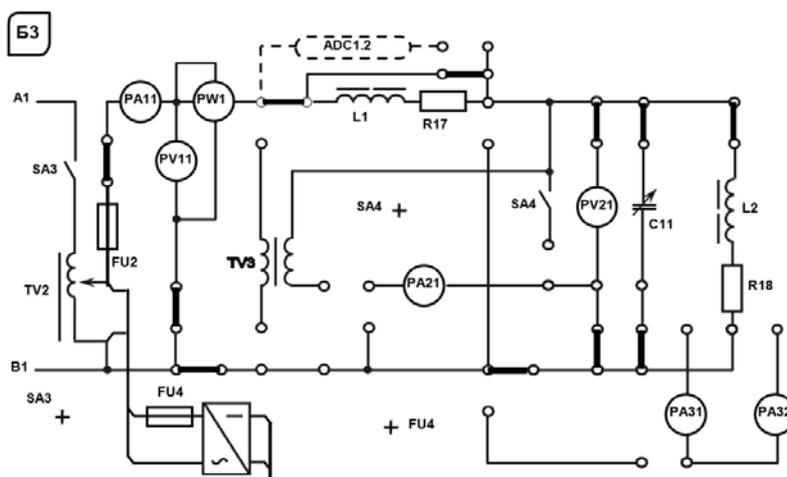


Рисунок 6.3 – Схема для экспериментального исследования резонанса токов

6.2 Основные теоретические сведения

6.2.1 Определение сопротивлений нагрузки для ЛЭП.

При расчете сопротивлений нагрузки (R_{18} , X_{L2}) необходимо зашунтировать переключкой ЛЭП $/L_{K1}$, $R_{17}/$, установить автотрансформатором TV2 номинальное напряжение $U_n = 110$ В и снять показания приборов PW1 и PA11.

$$R_{18} = \frac{P}{I^2}; \quad Z_{L2} = \frac{U_{2H}}{I}; \quad L = \frac{X_{L2}}{2\pi f}; \quad X_{L2} = \sqrt{Z_{L2}^2 - R_{18}^2}.$$

6.2.2 Определение коэффициента мощности $\cos \varphi_{2H}$ нагрузки:

$$\cos \varphi_{2H} = \frac{R_{18}}{Z_{L2}}.$$

6.2.3 Расчет значения емкости C11 для повышения $\cos \varphi_{2H}$ до значения $\cos \varphi_{2TP}$:

$$C_{11} = \frac{P_2}{\omega U_{11}^2} (\operatorname{tg} \varphi_{2H} - \operatorname{tg} \varphi_{2TP}).$$

6.2.4 Расчет значения емкости C11, при котором в цепи наступит резонанс токов:

$$b_L = b_C; \quad \omega \cdot C_{11} = \frac{X_{L2}}{Z_{L2}^2}; \quad C_{11} = \frac{X_{L2}}{\omega \cdot Z_{L2}^2}.$$

6.2.5 Построение графика зависимости $\eta = f(C_{11})$. Расчет η при различных значениях C11 необходимо осуществлять по формуле

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{P_2 \cdot R_{\Sigma}}{U_{2H}^2 \cdot \cos^2 \varphi_2}}.$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{q}{y},$$

где q – активная проводимость нагрузки, См; $q = \frac{R18}{Z_{L2}^2}$;

y – полная проводимость нагрузки, См;

$$y = \sqrt{\left(\frac{R18}{Z_{L2}^2}\right)^2 + \left(\frac{X_{L2}}{Z_{L2}^2} - \omega \cdot C_2\right)^2};$$

$\frac{X_{L2}}{Z_{L2}^2}$ – реактивная проводимость катушки индуктивности, См; $\frac{X_{L2}}{Z_{L2}^2} = b_L$;

ωC_2 – реактивная проводимость конденсатора, См; $\omega C_2 = b_C$;

P_2 – активная мощность, потребляемая нагрузкой, Вт;

$$P_2 = P - P_1 = P - I^2 \cdot (R17 + R_{K1});$$

P – показания ваттметра PW2, Вт.

6.3 Порядок выполнения лабораторной работы

6.3.1 Определить параметры схемы замещения катушки индуктивности. Зашунтировав ЛЭП и установив $U_{2H} = 110$ В определить значения сопротивлений нагрузки X_{L2} , $R18$, а также коэффициент мощности нагрузки $\cos \varphi_{2H}$.

6.3.2 Рассчитать значение емкости конденсатора $C11$ для повышения коэффициента мощности нагрузки до значения $\cos \varphi_{2TP}$, заданного преподавателем.

6.3.3 Изменяя емкость $C11$ снять в зависимость $\eta = f(C11)$.

6.3.4 Рассчитать значение емкости $C11$, при котором в цепи наступит резонанс токов, и проверить на стенде.

6.3.5 Провести моделирование работы схемы (рисунок 6.1) в среде Multisim.

6.3.6 Сделать выводы по результатам работы.

6.4 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать цель работы, схему исследуемой цепи переменного тока с параллельно соединёнными R -, L -, C -элементами, основные расчётные формулы, результаты эксперимента и моделирования, зависимости $I = f(C11)$ и $\cos \varphi = f(C11)$, выводы по работе.

Контрольные вопросы

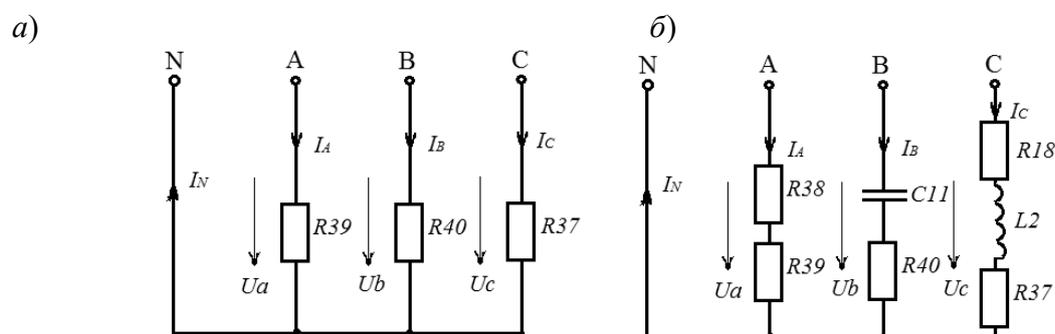
- 1 В какой цепи и при каких условиях возникает резонанс токов?
- 2 От каких параметров цепи зависит резонансная частота?

7 Лабораторная работа № 7. Определение параметров и исследование режимов работы трехфазной цепи при соединении потребителей звездой

Цель работы: исследование трехфазной цепи при соединении потребителей звездой; изучение методов расчета трехфазных цепей при соединении потребителей звездой.

7.1 Исследуемые схемы

В лабораторной работе исследуются трехфазные схемы с симметричной (рисунок 7.1, а) и несимметричной (рисунок 7.1, б) нагрузками при наличии нейтрального провода и без него.



а – нагрузка симметричная, б – нагрузка несимметричная

Рисунок 7.1 – Исследуемые трёхфазные схемы

7.2 Основные теоретические сведения

7.2.1 Исследование симметричной резистивной нагрузки при наличии нейтрального провода.

Для получения симметричной нагрузки $R37 = R39 = R40$ необходимо перемычками замкнуть следующие элементы: $R38$, $C11$, L_{K2} и $R18$ (рисунок 7.2).

Измерить фазные напряжения U_b и U_c при помощи вольтметров PV21, PV11 и фазные токи в фазах «В» и «С» при помощи амперметра PA21 и PA11.

Убедиться в отсутствии тока в нейтральном проводе $I_N = 0$ (PA31).

Определить значения сопротивлений резисторов по закону Ома:

$$R37 = \frac{U_c}{I_c}.$$

Мощность, потребляемую симметричной нагрузкой, найти по формуле

$$P = 3 \cdot I_c^2 \cdot R37.$$

7.2.2 Расчет значения емкости $C11$ для получения равномерной нагрузки:

$$Z_a = R38 + R39;$$

$$Z_b = \sqrt{R40^2 + X_{C11}^2};$$

$$Z_c = \sqrt{(R37 + R18)^2 + X_{L2}^2}.$$

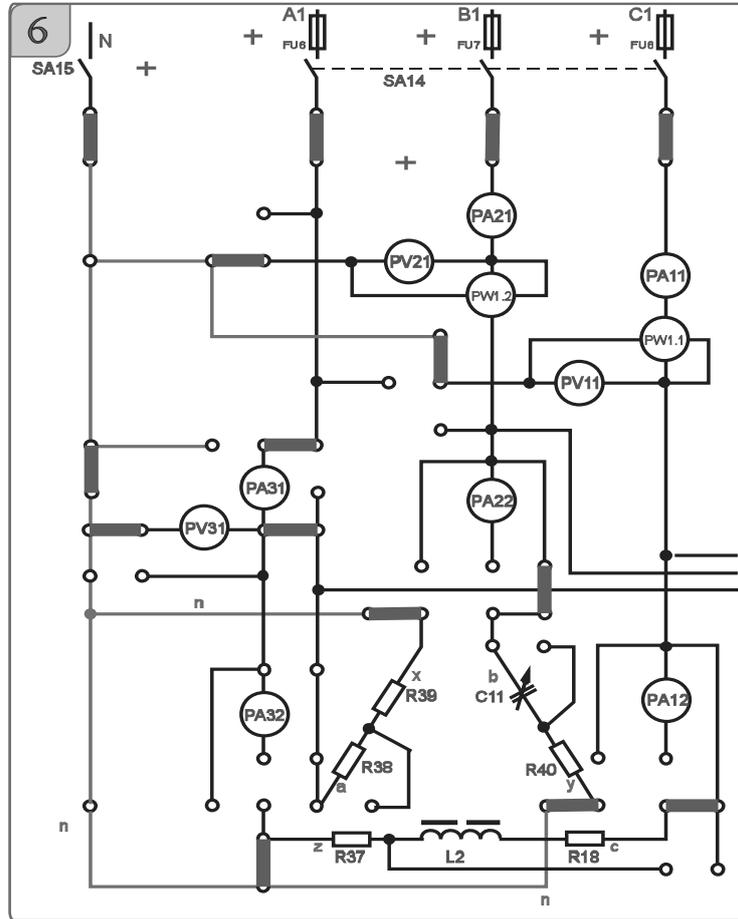


Рисунок 7.2 – Схема для экспериментального исследования трехфазной электрической цепи при соединении нагрузки звездой

Приняв $Z_a = Z_b = Z_c$, определяют значение $C11$ для получения равномерной нагрузки:

$$R40^2 + X_{C11}^2 = (R37 + R18)^2 + X_{L2}^2,$$

где значения $R18 = 59$ Ом и $X_{L2} = 140$ Ом,

$$X_{C11} = \sqrt{(R37 + R18)^2 + X_{L2}^2 - R40^2}.$$

Откуда

$$C11 = \frac{1}{\omega \cdot X_{C11}}.$$

Значение сопротивления резистора $R38$ определяется из соотношения

7.3.5 Построить векторную диаграмму токов и напряжений для равномерной нагрузки с нейтральным проводом.

7.3.6 Провести моделирование работы схемы (см. рисунок 7.1) в среде Multisim.

7.3.7 Сделать выводы по результатам работы.

7.4 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать цель работы, схемы трёхфазной цепи при симметричной и несимметричной нагрузках, основные расчётные формулы, результаты эксперимента, моделирования и расчёта (см. таблицу 7.1), векторную диаграмму напряжений и токов, выводы по работе.

Контрольные вопросы

1 Каково назначение нулевого провода?

2 Как вычислять мощность, потребляемую трёхфазной цепью при соединении приёмников звездой?

8 Лабораторная работа № 8. Определение параметров и исследование режимов работы трёхфазной цепи при соединении потребителей треугольником

Цель работы: исследование трёхфазной цепи при соединении потребителей треугольником; изучение методов расчета работы трёхфазных цепей при соединении потребителей треугольником.

8.1 Исследуемые схемы

В лабораторной работе исследуются трёхфазные схемы с симметричной, несимметричной и равномерной нагрузками при соединении потребителей треугольником (рисунок 8.1).

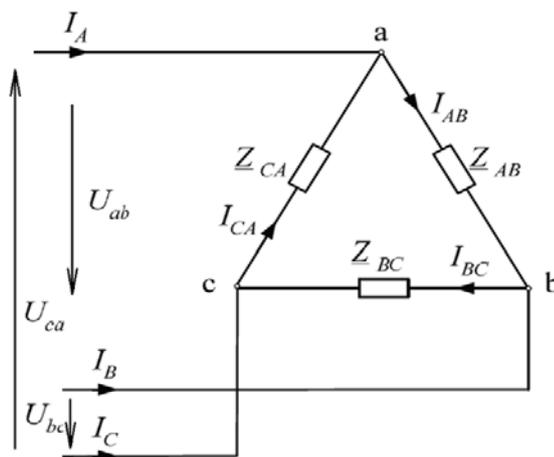


Рисунок 8.1 – Исследуемая трёхфазная схема при соединении потребителей треугольником

8.2 Порядок выполнения лабораторной работы

8.2.1 Установить равномерную нагрузку во всех трех фазах (рисунок 8.2). Определить в активную мощность нагрузки и линейный ток в линии С нагрузки. Напряжение U_{ab} измерить прибором PV21, напряжение U_{bc} , U_{ac} измерить прибором PV11.

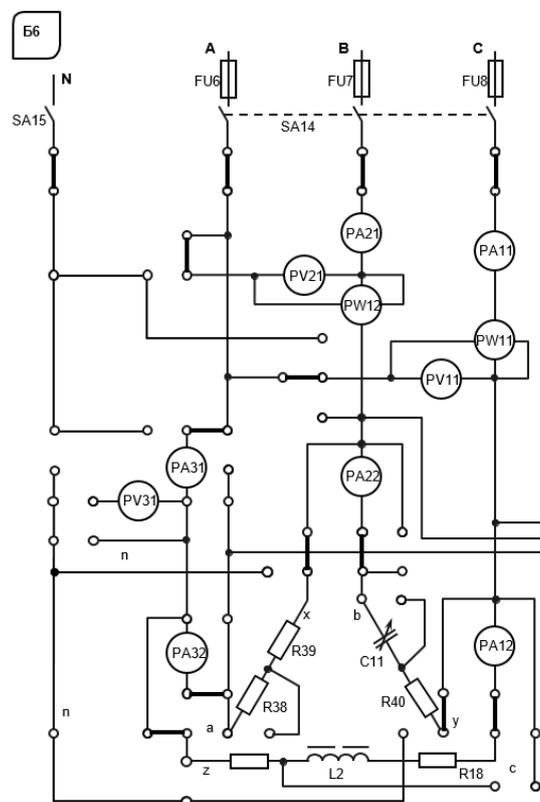


Рисунок 8.2 – Трехфазная электрическая цепь при соединении нагрузки треугольником

8.2.2 Рассчитать комплексные значения фазных токов и определить линейный ток в линии С. Рассчитать активную мощность потребителя. Результаты вычислений сравнить с экспериментальными данными.

Ток в фазах определяют по закону Ома для каждой фазы:

$$\dot{I}_{ab} = \frac{\dot{U}_{ab}}{\underline{Z}_{ab}}; \dot{I}_{bc} = \frac{\dot{U}_{bc}}{\underline{Z}_{bc}}; \dot{I}_{ca} = \frac{\dot{U}_{ca}}{\underline{Z}_{ca}}.$$

Линейные токи определяют по первому закону Кирхгофа:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA}; \dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB}; \dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC}; \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0.$$

8.2.3 Построить векторную диаграмму токов и напряжений.

8.2.5 Провести моделирование работы схемы (см. рисунок 8.1) в среде Multisim.

8.2.6 Сделать выводы по результатам работы.

8.3 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать цель работы, схему трёхфазной цепи, основные расчётные формулы, результаты эксперимента, моделирования и расчёта, векторную диаграмму напряжений и токов, выводы по работе.

Контрольные вопросы

1 Расчёт трёхфазной цепи переменного тока при соединении треугольником с симметричной нагрузкой.

2 Как изменятся фазные токи при отключении одного из линейных проводов в симметричном приемнике?

9 Лабораторная работа № 9. Исследование линейных цепей несинусоидального периодического тока, содержащих катушку индуктивности

Цель работы: изучение методов расчета линейных электрических цепей несинусоидального периодического тока; изучение влияния индуктивного и емкостного элементов на величину тока при несинусоидальном напряжении источника; изучение принципа действия сглаживающих L -фильтров и методов расчета их параметров.

9.1 Основные теоретические сведения

Действующие значения несинусоидальных напряжений и тока определяются как

$$U = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots}; \quad I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots},$$

где U_0 и I_0 – постоянные составляющие несинусоидальных напряжения и тока;

$U_1, U_2, \dots, I_1, I_2, \dots$ – действующие значения отдельных гармонических составляющих напряжения и тока соответственно.

$$U_1 = \frac{U_{1M}}{\sqrt{2}}; \quad U_2 = \frac{U_{2M}}{\sqrt{2}}; \quad I_1 = \frac{I_{1M}}{\sqrt{2}}; \quad I_2 = \frac{I_{2M}}{\sqrt{2}},$$

где $U_{1M}, U_{2M}, \dots, I_{1M}, I_{2M}, \dots$ – амплитудные значения отдельных составляющих напряжения и тока соответственно.

Угол включения тиристоров α регулируется за счет изменения напряжения управления с помощью $R13$.

Гармонический состав напряжения управляемого выпрямителя описывается рядом Фурье:

$$U = U_0 + U_{1M} \cdot \sin(2\omega t + \varphi_1) + U_{2M} \cdot \sin(4\omega t + \varphi_2) + U_{3M} \cdot \sin(6\omega t + \varphi_3) \dots$$

Численные значения отдельных гармонических составляющих в долях амплитудного значения напряжения и их начальные фазы приведены в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Численные значения гармонических составляющих по напряжению ряда Фурье

α	U_0	U_{1M}	U_{2M}	U_{3M}	φ_1	φ_2	φ_3
30	0,594	0,491	0,123	0,0546	83,8	52,7	2,56
45	0,543	0,543	0,121	0,06	73,7	5,91	77,7
60	0,477	0,551	0,110	0,098	60,0	-60,0	-16,1

В качестве нагрузки в работе используется цепь (рисунок 9.1). Активное сопротивление R_H задается преподавателем: $R14$ или $R15$ или $R14//R15$.

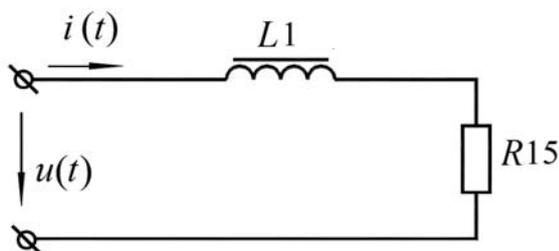


Рисунок 9.1 – Электрическая цепь несинусоидального периодического тока

Данную цепь для расчета постоянной и гармонических составляющих ряда Фурье для несинусоидального тока можно представить в виде схем замещения.

9.1.1 Для расчета постоянной составляющей тока схема представлена на рисунке 9.2.

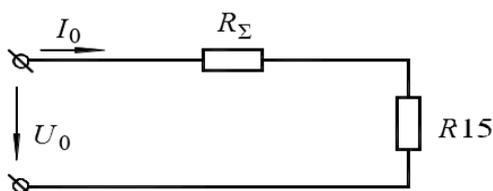


Рисунок 9.2 – Схема для определения постоянной составляющей тока

$$I_0 = \frac{U_0}{R15 + R_\Sigma},$$

где $R_\Sigma = R_{K1} + R17$ (см. лабораторную работу № 5), $R15 = 270$ Ом или 150 Ом.

Действующее значение токов гармонических составляющих можно определить из выражения вида

$$I_k = \frac{U_k}{\sqrt{(R15 + R_\Sigma)^2 + (k\omega L1)^2}},$$

где $k = 2; 4; 6 \dots$

9.1.2 Для расчета гармонических составляющих тока используется схема (рисунок 9.3).

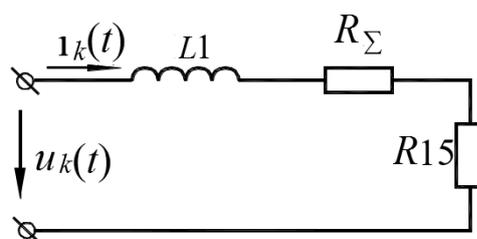


Рисунок 9.3 – Схема для определения гармонических составляющих тока Действующее значение несинусоидального тока

$$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_k^2 + \dots}$$

9.2 Исследуемая схема

Для выполнения лабораторной работы собирается схема, приведенная на рисунке 9.4.

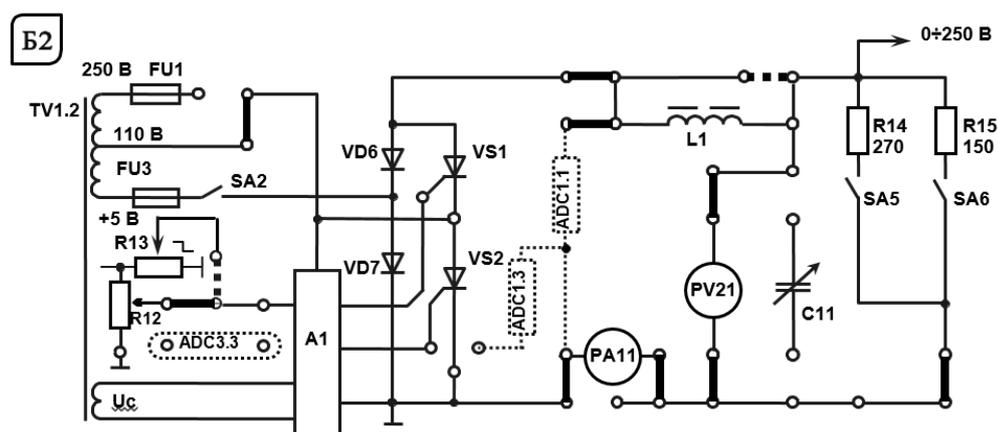


Рисунок 9.4 – Электрическая цепь несинусоидального периодического тока

С помощью резистора R13 устанавливается заданный угол отпирания тиристора. Исследуется форма напряжения при наличии L-фильтра и без него. По результатам измерения производится запись напряжения в виде ряда Фурье.

9.3 Порядок выполнения лабораторной работы

9.3.1 Изучить схему управляемого выпрямителя на стенде.

9.3.2 Установить значение угла управления тиристорным выпрямителем, заданное преподавателем, с помощью резистора R13.

9.3.3 Собрать схему на рисунке 9.4; катушка L1 зашунтирована. Сопротивление нагрузки установить по заданию преподавателя. Измерить среднее значение напряжения на выходе управляемого выпрямителя (УВ).

9.3.4 Считая, что измеренное в п. 9.2.3 напряжение равно U_0 для заданного угла, воспользовавшись таблицей 9.1, определить U_M на входе УВ и действующую

щие значения гармонических составляющих выходного напряжения УВ.

9.3.5 Используя данные п. 9.3.4 и лабораторной работы № 5, рассчитать действующее значение тока для схемы на рисунке 9.3. R_H задается преподавателем.

9.3.6 Собрать схему на рисунке 9.4 (перемычка п. 1 – отсутствует) и при заданных в пп. 9.3.2.–9.3.5 R_H и угле управления измерить действующее значение тока (амперметр РА11). Сравнить результаты расчета и эксперимента.

9.3.7 Сделать выводы по результатам работы.

9.4 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать цель работы, схему электрической цепи несинусоидального периодического тока, основные расчётные формулы, результаты эксперимента и расчёта, выводы по работе.

Контрольные вопросы

1 Что является причиной появления несинусоидальных токов и напряжений в электрических цепях?

2 Для каких цепей справедлива методика расчета цепей несинусоидального тока, основанная на разложении ЭДС и токов источников в ряды Фурье?

10 Лабораторная работа № 10. Исследование процесса зарядки конденсатора от источника постоянного напряжения при ограничении тока с помощью резистора

Цель работы: изучение процесса изменения напряжения на конденсаторе при зарядке его от источника постоянного напряжения; закрепление навыков измерения напряжения компенсационным методом.

10.1 Основные теоретические сведения

Схема для исследования переходного процесса зарядки конденсатора $C12$ при ограничении тока с помощью сопротивления $R1$ приведена на рисунке 10.1.

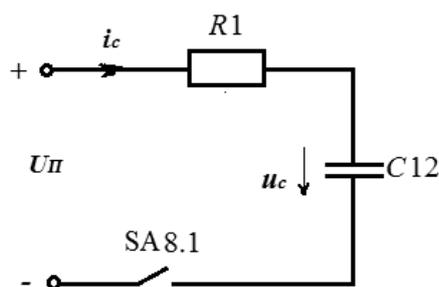


Рисунок 10.1 – Исследуемая схема зарядки конденсатора

При подключении конденсатора $C12$ к источнику питания $U_{ПИТ} = 24$ В закон изменения напряжения на $C12$ получают, решая дифференциальное уравнение вида

$$U_{ПИТ} = R \cdot C \cdot \frac{du_C}{dt} + U_C.$$

Решение имеет свободную $A = e^{-t/\tau}$ и вынужденную $U_C = U_{ПИТ}$ составляющие. Окончательно

$$U_C = U_{ПИТ} \cdot (1 - e^{-t/\tau}),$$

где $\tau = R1 \cdot C12$.

A – постоянная интегрирования, определяется из начальных условий, $A = -U_{ПИТ}$.

10.2 Исследуемые схемы

Схема для экспериментального исследования процесса заряда конденсатора представлена на рисунке 10.2.

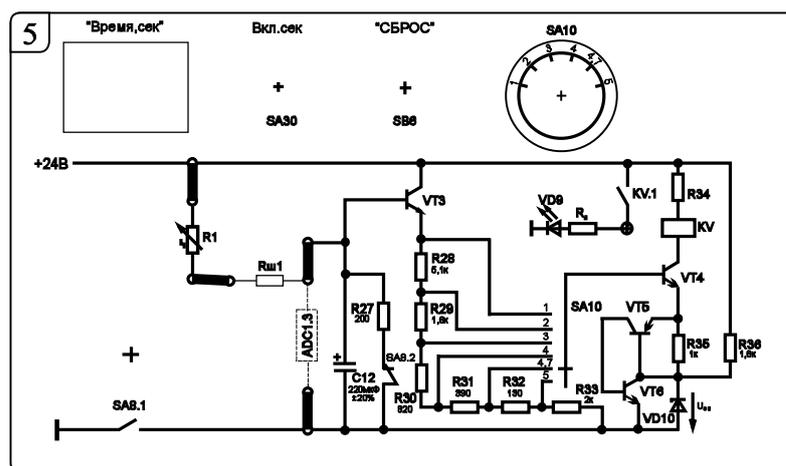


Рисунок 10.2 – Схема для экспериментального исследования процесса заряда конденсатора

Делитель $R28$ – $R33$ рассчитан таким образом, что реле, включенное в цепь коллектора транзистора $VT4$, срабатывает в зависимости от положения переключателя $SA10$ при $1 \cdot U_{оп}$, $2 \cdot U_{оп}$, $3 \cdot U_{оп}$, $4 \cdot U_{оп}$, $4,7 \cdot U_{оп}$, $5 \cdot U_{оп}$ в вольтах. Таким образом, напряжение на емкости определяют как

$$U_C = N \cdot U_{оп} + 0,6,$$

где N – номер положения переключателя $SA10$, $N = 1; 2; 3; 4; 4,7; 5$;
 $U_{оп} = 4$ В.

Транзисторы $VT5$, $VT6$ выполняют роль тиристора, который открывается, когда на базе $VT4$ $U_{оп} = U_{ст} + 1,2$ В, и шунтирует стабилитрон, в результате ток эмиттера $VT4$ скачком возрастает – срабатывает реле KV .

Напряжение на эмиттере транзистора $VT3$ определяют как

$$U_{ЭВТЗ} = U_C - U_{БЭВТЗ} = U_C - 0,6.$$

10.3 Порядок выполнения лабораторной работы

Для заданного преподавателем значения постоянной времени τ цепи снять зависимость напряжения от времени заряда конденсатора.

10.3.1 Собрать схему, приведенную на рисунке 10.2.

10.3.2 Установить заданное преподавателем сопротивление R_1 в блоке 8.

10.3.3 Тумблером SA30 включить секундомер.

10.3.4 Сбросить значение секундомера в нулевые показания кнопкой SB6.

10.3.5 Провести первый опыт заряда конденсатора при положении «1» переключателя SA10 блока 5. Для этого переключить тумблер SA8.1 в верхнее положение. Когда засветится светодиод VD9 в блоке 5, записать показания секундомера в таблицу 10.1.

Таблица 10.1 – Результаты измерений

Положение переключателя SA10	t , с	Эксперимент U_c , В	Расчёт U_c , В

10.3.6 Выключить тумблер SA8.1.

10.3.7 Сбросить показания секундомера кнопкой SB6.

10.3.8 Провести остальные опыты аналогично (пп. 10.3.5–10.3.7) для всех остальных положений тумблера SA10.

10.3.9 Для полученных значений t рассчитать напряжения на конденсаторе и сравнить с экспериментальными. Данные расчетов занести в таблицу 10.1.

10.3.10 По результатам измерений и расчетов построить график изменения напряжения на конденсаторе $U_c = f(t)$.

10.3.11 Воспользовавшись полученной при эксперименте кривой заряда C12, определить постоянные времени τ и сравнить с расчетным.

10.3.12 Провести моделирование работы схемы (см. рисунок 10.1) в среде Multisim.

10.3.13 Сделать выводы по результатам работы.

10.4 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать цель работы, схему исследования процесса заряда конденсатора, основные расчётные формулы, результаты эксперимента, моделирования и расчёта (см. таблицу 10.1), графики заряда конденсатора с определённой постоянной времени, выводы по работе.

Контрольные вопросы

1 Расчёт переходного процесса зарядки конденсатора от источника постоянного напряжения.

2 Порядок измерения напряжения при зарядке конденсатора компенсационным методом.

11 Лабораторная работа № 11. Исследование параметров схемы замещения катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом и при наличии воздушного зазора

Цель работы: изучение методов определения параметров схемы замещения катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом; построение вольт-амперной характеристики (ВАХ) катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом; построение ВАХ катушки индуктивности с воздушным зазором в магнитопроводе.

11.1 Основные теоретические сведения

Схема замещения катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом дана на рисунке 11.1.

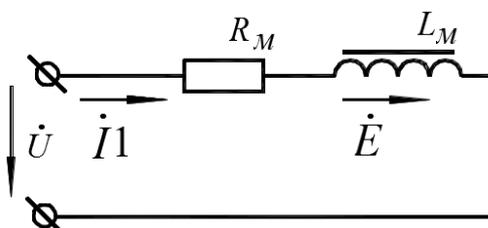


Рисунок 11.1 – Схема замещения катушки индуктивности с магнитопроводом

$$R_M = \frac{P}{I^2}; \quad Z_M = \frac{U}{I}; \quad X_M = \sqrt{(Z_M^2 - R_M^2)};$$

ВАХ катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом имеет нелинейный характер. Методы определения параметров схемы замещения катушки индуктивности с разомкнутым магнитопроводом даны в лабораторной работе № 5 и в лабораторной работе № 6.

11.2 Исследуемые схемы

Для выполнения лабораторной работы по исследованию катушки с замкнутым магнитопроводом собирается схема, приведенная на рисунке 11.2.

Для исследования катушки с разомкнутым магнитопроводом используется схема, приведенная на рисунке 5.3.

11.3 Порядок выполнения лабораторной работы

12.3.1 Собрать схему для расчета параметров R_M и X_M катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом (см. рисунок 11.2).

11.3.2 Построить ВАХ катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом $I = f(U)$.

11.3.3 Определить параметры схемы замещения на линейном участке ВАХ и в области насыщения. Для измерения тока в первичной обмотке трансформатора

тора использовать амперметр переменного тока с пределом измерения 200 мА.

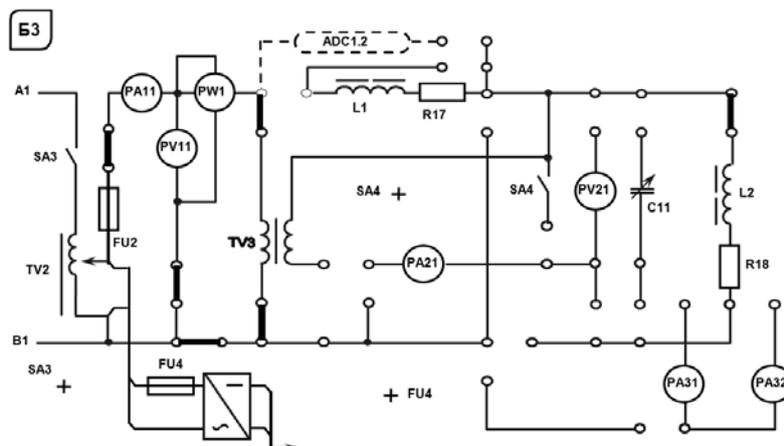


Рисунок 11.2 – Схема для исследования катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом

11.3.4 Собрать схему (см. рисунок 5.3) для расчета параметров схемы замещения катушки индуктивности с зазором в магнитопроводе.

11.3.5 Определить параметры схемы замещения катушки индуктивности с воздушным зазором в магнитопроводе.

11.3.6 Снять ВАХ катушки индуктивности с зазором. Сравнить характеристики с характеристиками, полученными в п. 11.3.2.

11.3.7 Сделать выводы по результатам работы.

11.4 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать цель работы, схему замещения катушки индуктивности с магнитопроводом, основные расчётные формулы, результаты эксперимента и расчёта, ВАХ катушки индуктивности, выводы по работе.

Контрольные вопросы.

- 1 Запишите закон Ома для магнитных цепей.
- 2 Какие потери мощности существуют в магнитопроводе?

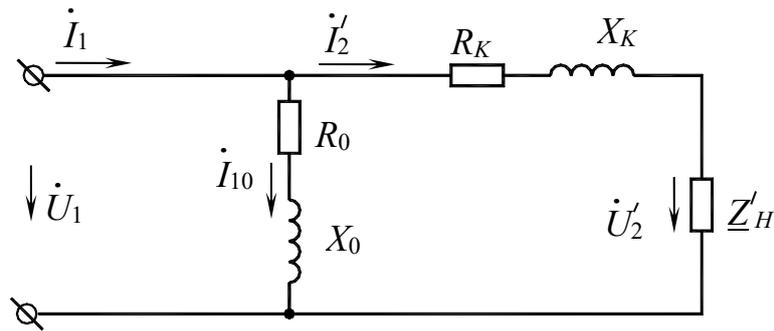
12 Лабораторная работа № 12. Определение параметров и основных характеристик однофазного трансформатора

Цель работы: изучение устройства и принципа действия однофазного трансформатора; изучение схем замещения трансформатора и определение их параметров.

12.1 Основные теоретические сведения

Для определения коэффициента трансформации n , а также параметров схемы замещения и потерь мощности в трансформаторе проводят опыт холостого хода (опыт ХХ) и опыт короткого замыкания (КЗ) трансформатора.

Схема замещения трансформатора представлена на рисунке 12.1.



R_0 , X_0 – параметры намагничивающей цепи трансформатора в схеме замещения трансформатора, определяемые из опыта холостого хода трансформатора; R_0 – активное сопротивление намагничивающей цепи, обусловленное потерями мощности в стальном магнитопроводе; X_0 – индуктивное сопротивление намагничивающей цепи, обусловленное основным магнитным потоком; R_K , X_K – параметры схемы замещения, определяемые из опыта короткого замыкания трансформатора

Рисунок 12.1 – Схема замещения однофазного трансформатора

Схема опыта холостого хода представлена на рисунке 12.2.

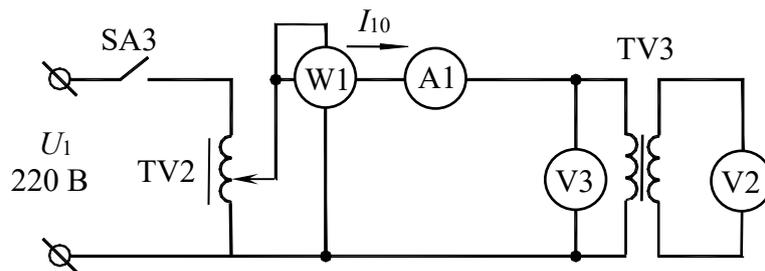


Рисунок 12.2 – Опыт холостого хода трансформатора

Показания приборов P_{W1} , P_{A1} , P_{V3} , P_{V2} дают возможность определить параметры схемы замещения трансформатора в режиме холостого хода:

$$R_0 = \frac{P_0}{I_{10}^2}; \quad Z_0 = \frac{U_{1H}}{I_{10}}; \quad X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2}; \quad n = \frac{U_{1H}}{U_{20}},$$

где n – коэффициент трансформации трансформатора.

Схема опыта короткого замыкания представлена на рисунке 12.3.

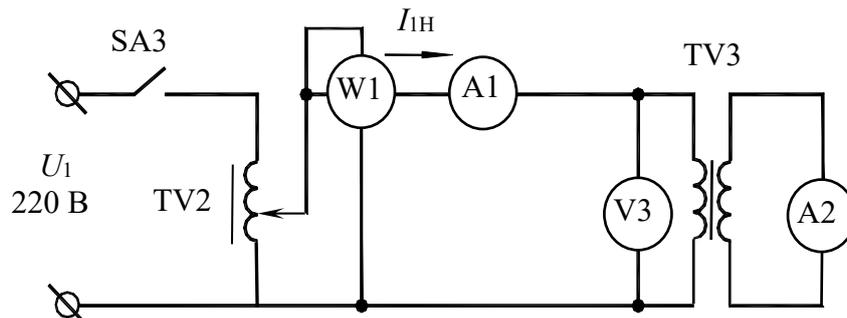


Рисунок 12.3 – Опыт короткого замыкания трансформатора

Показания приборов PW1, PV3, PA1, PA2 дают возможность определить параметры схемы замещения в режиме короткого замыкания:

$$R_K = \frac{P_K}{I_{1H}^2}; \quad Z_K = \frac{U_{1K}}{I_{1H}}; \quad X_K = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2},$$

а также активные и реактивные сопротивления первичной и вторичной обмотки трансформатора R_1, R_2, X_1, X_2 :

$$R_1 = R_2' = \frac{R_K}{2}; \quad X_1 = X_2' = \frac{X_K}{2}; \quad R_2 = \frac{R_2'}{n^2}; \quad X_2 = \frac{X_2'}{n^2}.$$

КПД трансформатора

$$\eta = \frac{\beta \cdot S_H \cdot \cos \varphi_{2H}}{\beta \cdot S_H \cdot \cos \varphi_{2H} + P_0 + \beta^2 \cdot P_K},$$

где β – коэффициент загрузки трансформатора, $\beta = \frac{I_1}{I_{1H}} = \frac{I_2}{I_{2H}}$;

S_H – полная мощность трансформатора, $S_H = U_{1H} \cdot I_{1H} = U_{2H} \cdot I_{2H}$.

Внешняя характеристика трансформатора $U_2 = f(\beta)$ строится по следующему уравнению:

$$U_2 = U_{2H} \left(1 - \frac{\Delta U_2 \%}{100 \%} \right),$$

где $\Delta U_2 \% = \beta(U_{к.а.} \cos \varphi_2 + U_{к.р.} \sin \varphi_2)$;

$U_{к.а.}$ – активная составляющая напряжения короткого замыкания трансформатора, $U_{к.а.} \% = \frac{I_{1H} R_K}{U_{1H}} 100 \% = \frac{P_K}{S_H} 100 \%$;

$U_{к.р.}$ – реактивная составляющая напряжения короткого замыкания трансформатора, $U_{к.р.} \% = \frac{I_{1H} X_K}{U_{1H}} 100 \%$.

12.2 Исследуемые схемы

Исследование однофазного трансформатора производится по схеме, представленной на рисунке 12.4.

Для определения параметров схемы замещения трансформатора $U_2 = f(\beta)$ проводят опыты холостого хода (SA4 выключен) и короткого замыкания (SA4 включен) (рисунок 12.5).

Опыт короткого замыкания производят при пониженном напряжении на первичной обмотке трансформатора (выключатель SA4 включен).

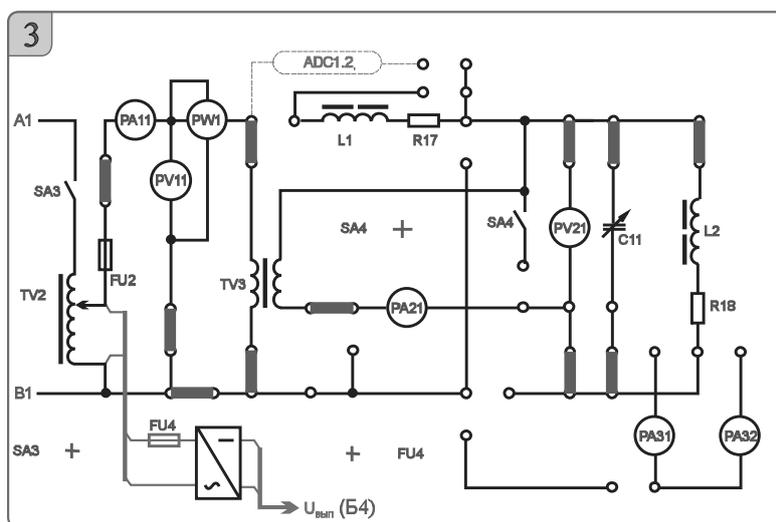


Рисунок 12.4 – Схема исследования однофазного трансформатора

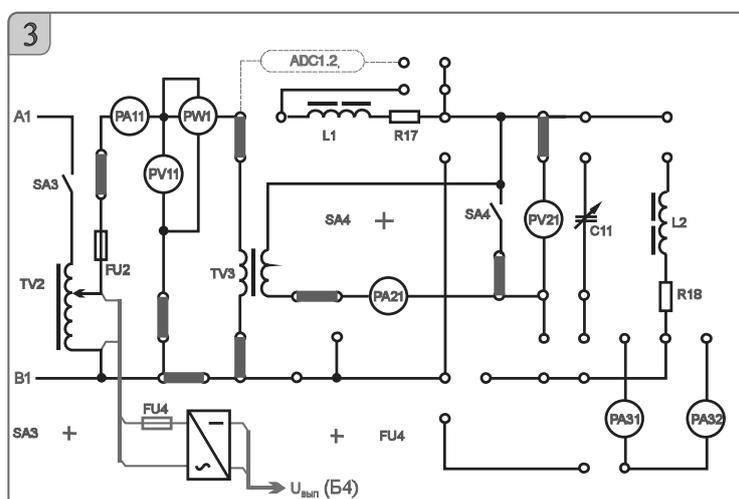


Рисунок 12.5 – Схема исследования трансформатора в режиме холостого хода и короткого замыкания

12.3 Порядок выполнения лабораторной работы

12.3.1 Собрать схему, приведенную на рисунке 12.5, для проведения опыта холостого хода.

12.3.2 Подключить питание ЛАТРа TV2 (тумблер переключения пределов регулирования напряжения ЛАТРа SA70 в блоке 10 в положение «100 ← 0 В», тумблер SA3 в блоке 3 устанавливается в положение «включено»).

12.3.3 Снять параметры холостого хода трансформатора TV3 при напряжении питания 220 В (по прибору PV11). Снять показания приборов PA11 (I_{10}), PV11 ($U_{1x.x}$), PW1 (P_0), PV21 (U_{20}), рассчитать параметры трансформатора в режиме холостого хода и занести их в таблицу 12.1.

12.3.4 Собрать схему, приведенную на рисунке 12.5, для проведения опыта короткого замыкания.

12.3.5 Снять параметры короткого замыкания, для чего включить тумблеры SA4 и SA3, установив во вторичной обмотке трансформатора TV3 ток 0,8 А

(по прибору PA21). Рассчитать параметры трансформатора в режиме короткого замыкания и занести их в таблицу 12.2.

Таблица 12.1 – Показания приборов в опыте холостого хода трансформатора

Экспериментальные данные				Расчетные значения					
U_{1H} , В (PV11)	I_{10} , А (PA11),	P_0 , Вт (PW1)	U_{20} , В (PV21)	S , В·А	Z_0 , Ом	X_0 , Ом	R_0 , Ом	$\cos \varphi$	φ , град
220									

Таблица 12.2 – Показания приборов в опыте короткого замыкания

Экспериментальные данные				Расчетные значения					
U_{1K} , В (PV11)	I_{1H} , А (PA11),	P_K , Вт (PW1)	I_2 , В (PA21)	S , В·А	Z_K , Ом	X_K , Ом	R_K , Ом	$\cos \varphi$	φ , град
	0,8								

12.3.6 Измерить вторичное напряжение при нагрузке R_{18} , L_2 (см. рисунок 12.5).

12.3.7 Построить внешнюю характеристику трансформатора $U_2 = f(\beta)$.

12.3.8 Провести моделирование работы трансформатора в среде Multisim.

12.3.9 Сделать выводы по результатам работы.

12.4 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать цель работы, схему трансформатора в режиме холостого хода и короткого замыкания, основные расчётные формулы, результаты эксперимента, моделирования и расчёта (см. таблицы 12.1 и 12.2), внешнюю характеристику трансформатора, выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Опишите принцип работы однофазного трансформатора.
- 2 Определение параметров схемы замещения трансформатора с помощью опытов холостого хода и короткого замыкания.

13 Лабораторная работа № 13. Исследование асинхронного трехфазного двигателя с короткозамкнутым ротором

Цель работы: изучение принципа действия трехфазного асинхронного двигателя (АД) с короткозамкнутым ротором; построение механической характеристики двигателя $M = f(S)$; построение рабочих характеристик двигателя.

13.1 Основные теоретические сведения

Частота вращающегося магнитного поля статора АД

$$n_0 = 60f_1/p,$$

где f_1 – частота напряжения сети;

p – число пар полюсов машины (в частности, три обмотки статора создают одну пару полюсов, шесть обмоток – две пары и т. д.).

Разность частот вращения поля статора и ротора называют частотой скольжения, а её отношение к частоте n_0 – *скольжением* S :

$$S = \frac{n_0 - n}{n_0}.$$

Уравнение механической характеристики $M = f(S)$ (формула Клосса)

$$M = \frac{2 \cdot M_K}{\frac{S}{S_K} + \frac{S_K}{S}},$$

где M_K – максимальный момент, развиваемый двигателем, $M_K = \lambda \cdot M_H$ (здесь λ – коэффициент перегрузки двигателя, $\lambda = 1,5 \dots 2,5$);

M_K – номинальный момент двигателя, $M_H = 9,55 P_H / n_H$;

S_K – критическое скольжение, $S_K = S_H (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1})$;

S_H – номинальное скольжение, $S_H = \frac{n_0 - n_H}{n_0}$.

Расчет КПД двигателя

$$\eta = \frac{P_2}{P_1},$$

где P_2 – мощность на валу двигателя,

$$P_2 = \frac{\pi \cdot n_2}{30} \cdot M,$$

здесь M – текущее значение момента на валу двигателя;

n_2 – текущее значение частоты вращения двигателя;

P_1 – мощность, потребляемая двигателем из сети. P_1 определяется по показаниям ваттметров.

Коэффициент мощности двигателя

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{S_1},$$

где S_1 – полная мощность двигателя, $S_1 = 3 \cdot U_{1\phi} \cdot I_\phi$ (здесь $U_{1\phi}$ и I_ϕ – измеряются приборами PV11 и PA11 при соединении обмоток двигателя звездой).

13.2 Исследуемая схема

Для выполнения лабораторной работы собирается схема, представленная на рисунке 13.1.

Паспортные данные асинхронного двигателя:

Тип АИР56А4У3; $P_H = 0,12$ кВт; $\eta_H = 58$ %; $\cos \varphi = 0,66$; $n_H = 1350$ мин⁻¹;

$$I_H = 0,44 \text{ A}; U_H = 220 \text{ B}; \lambda = M_K / M_H = 2,2; K_i = I_{II} / I_H = 5; K_{II} = M_{II} / M_H = 1,2.$$

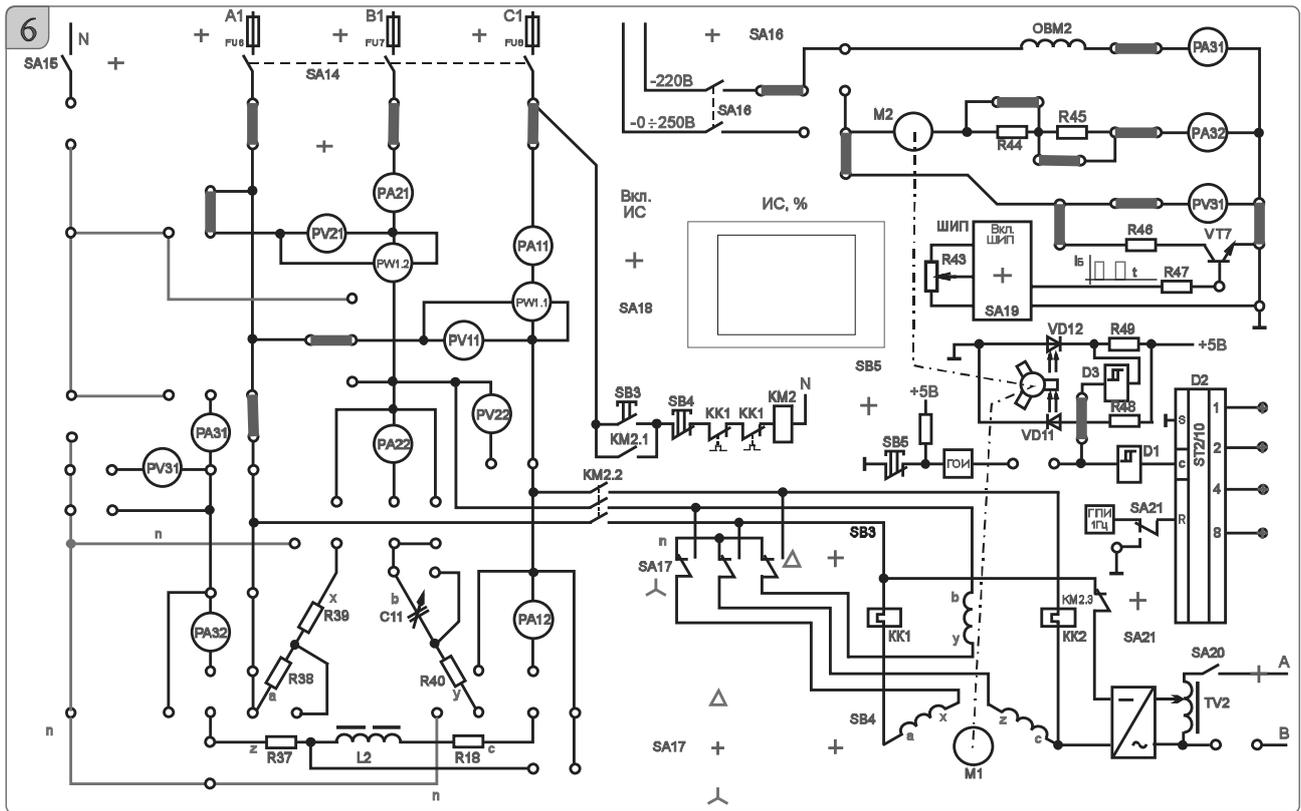


Рисунок 13.1 – Схема исследования трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

В работе исследуют и строят механическую характеристику $M = f(S)$ и рабочие характеристики $\eta = f(P_2)$ и $\cos\varphi = f(P_2)$ при включении обмоток статора звездой. Фазное напряжение при этом оказывается в $\sqrt{3}$ раз меньше номинального.

Частоту вращения вала двигателя n_2 измеряют цифровым измерителем (ИС) в относительных единицах. Для определения истинного значения нужно воспользоваться формулой

$$n_2 = \frac{N \cdot 3000}{100},$$

где N – текущее показание измерителя.

13.3 Порядок выполнения лабораторной работы

13.3.1 Рассчитать по паспортным данным номинальный ток двигателя и номинальный момент. Пересчитать полученные значения для фазного напряжения 127 В.

Номинальный момент двигателя

$$M_H = 9,55 \cdot \frac{P_H}{n_H}.$$

13.3.2 Собрать схему, приведенную на рисунке 13.1.

13.3.3 Установить тумблер SA17 в положение «Y», резистор R43 установить в положение «min».

13.3.4 Тумблер SA21 должен находиться в положении «ВКЛ».

13.3.5 Включить стенд автоматическими выключателями QF1, QF2, QF3, включить измеритель скорости тумблером SA18, включить тумблер SA14, нажать на кнопку SB3 для подключения асинхронного двигателя к сети через пускатель KM2.

13.3.6 Для нагрузки используется генератор постоянного тока ПЛ-062. Для подключения обмотки возбуждения включить тумблер SA16.

13.3.7 Включить ШИП при помощи тумблера SA19.

13.3.8 Установить номинальный ток для пониженного напряжения I'_H (контролировать по прибору PA11), увеличивая нагрузку резистором R43, плавно поворачивая его в сторону «max».

13.3.9 Снять показания приборов PA11 (I'_{1H}), PV11 ($U_{1Л}$), PW1 (P_1), PA31(I_B), PA32(I_A), ИС.

13.3.10 Вернуть рукоятку резистора R43 в начальное положение «min».

13.3.11 Считая M_0 независимым от частоты вращения и изменяя I_A (PA32), с помощью R43 снять показания приборов PA11 (I'_1), PV11 ($U_{1Л}$), PW1 (P_1), PA31(I_B), PA32(I_A), ИС с различной величиной нагрузки на валу. Данные опыта записать в таблицу 13.1.

Таблица 13.1 – Результаты исследования

Номер опыта	$n, \%$	I_A (PA32), А	P_1 (PW1), Вт	$U_{1\phi} \left(\frac{PV11}{\sqrt{3}} \right), В$	I_ϕ (PA11), А

13.3.12 Считая, что к валу асинхронного двигателя (АД) был приложен номинальный момент, определить M_0 по экспериментальным данным п. 13.3.16.

$$M_0 = M'_H - M_G = M'_H - C_M \Phi \cdot I_A,$$

где M_0 – статический момент нагрузки холостого хода;

M_G – момент генератора постоянного тока;

$I_{яГ}$ – ток якоря генератора постоянного тока (прибор PA32);

$C_M \Phi$ – магнитная постоянная нагрузочного генератора,

$$C_M \Phi = \frac{M_{HG}}{I_{яГ}} = \frac{0,573}{0,76} = 0,753947.$$

13.3.18 Рассчитать для каждой нагрузки из п. 13.3.18 момент на валу M , КПД, скольжение S , полную мощность двигателя S_1 , мощность на валу P_2 и $\cos\phi$. Данные расчетов занести в таблицу 13.2.

Таблица 13.2 – Результаты расчета

Номер опыта	n , мин ⁻¹	s	M , Н·м	P_2 , Вт	η , %	S_l , В·А	$\cos\varphi$

13.3.19 По результатам измерений и расчетов построить:

- механическую характеристику $M = f(S)$;
- рабочие характеристики $\eta = f(P_2)$ и $\cos\varphi = f(P_2)$.

13.3.20 Рассчитать механическую характеристику по формуле Клосса для пониженного напряжения и сравнить с результатами эксперимента.

13.3.21 Сделать выводы по результатам работы.

13.4 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать цель работы, основные расчётные формулы асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, результаты эксперимента и расчёта (таблицы 13.1, 13.2), механическую характеристику $M = f(S)$, рабочие характеристики $\eta = f(P_2)$ и $\cos\varphi = f(P_2)$, выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Опишите принцип работы трёхфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.
- 2 Механическая характеристика трёхфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.
- 3 Рабочие характеристики трёхфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

14 Лабораторная работа № 14. Определение параметров и основных характеристик ДПТ с параллельным возбуждением

Цель работы: изучение конструкции и принципа действия ДПТ с независимым возбуждением; расчет и построение механических характеристик ДПТ.

14.1 Основные теоретические сведения

На рисунке 14.1 представлена схема включения двигателя постоянного тока.

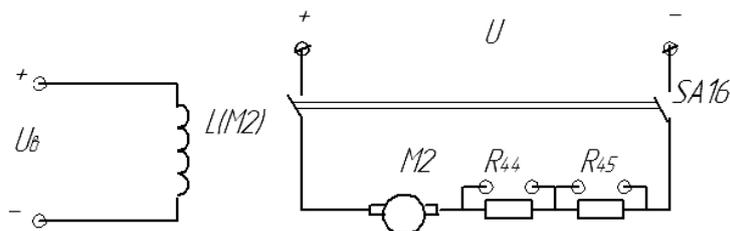


Рисунок 14.1 – Схема включения двигателя постоянного тока

Момент ДПТ рассчитывается по формуле

$$M = C_M \Phi \cdot I_{ЯН},$$

где C_M – моментная постоянная двигателя;

$I_{ЯН}$ – номинальный ток якоря;

$C_M \cdot \Phi$ – необходимо определять при номинальном токе возбуждения.

Важнейшей характеристикой ДПТ является механическая $n = f(M)$, представляющая зависимость частоты вращения n якоря от развиваемого ДПТ момента вращения M при условии постоянства напряжения и сопротивлений в цепи якоря и в цепи возбуждения. Уравнение механической характеристики ДПТ

$$n = \frac{U}{C_E \cdot \Phi_H} - \frac{R_{Я} + R_{ДОБ}}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi_H^2} \cdot M,$$

где U – напряжение источника питания двигателя;

Φ_H – номинальное значение магнитного потока двигателя;

$R_{Я}$ – сопротивление обмотки якоря;

$R_{ДОБ}$ – сопротивление добавочного резистора в цепи якоря;

M – момент на валу двигателя;

C_E – конструктивная постоянная двигателя, $C_E = 0,1 \cdot C_M$;

$$C_E \cdot \Phi_H = \frac{U_H - R_{Я} \cdot I_{ЯН}}{n_H} \cdot M.$$

КПД двигателя

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1},$$

где P_2 – мощность на валу двигателя,

P_1 – потребляемая двигателем мощность из сети,

$$P_1 = U \cdot I = U \cdot I_{Я} + U \cdot I_{В},$$

I – потребляемый двигателем ток;

ΔP – потери мощности в двигателе,

$$\Delta P = \Delta P_{Я} + \Delta P_{В} + \Delta P_{М};$$

$$\Delta P_{Я} = I_{Я}^2 R_{Я};$$

$$\Delta P_{В} = I_{В}^2 R_{В} = U_{В} I_{В};$$

$\Delta P_{М}$ – магнитные и механические потери, составляют несколько процентов от потребляемой мощности.

Сопrotивление обмотки якоря

$$R_{я} = 0,5 \cdot (1 - \eta_H) \cdot \frac{U_H}{I_H}.$$

14.2 Исследуемые схемы

Исследование двигателя постоянного тока (ДПТ) с независимым возбуждением производится по схеме, представленной на рисунке 14.2.

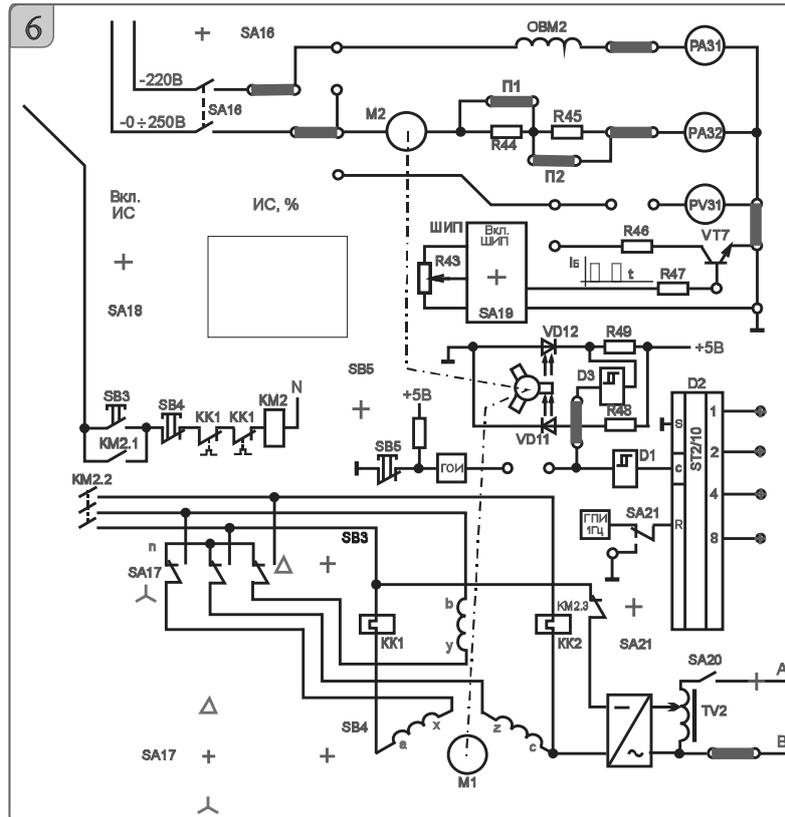


Рисунок 14.2 – Схема исследования ДПТ

Паспортные данные ДПТ: тип ПЛ-062; $P_H = 90$ Вт; $U_H = 220$ В; $I_{яH} = 0,76$ А; $I_{BH} = 0,16$ А; $M_H = 0,573$ Н·м; $\eta = 0,575$; $n_H = 1500$ мин⁻¹.

Измерение частоты вращения производится так же, как в лабораторной работе № 8.

Для построения естественной механической характеристики шунтируют добавочные резисторы в цепи якоря R_{44} и R_{45} и, изменяя нагрузку (SA20 включен) с помощью АД, включенного в режим динамического торможения (схема соединения обмоток – звезда), измеряют ток якоря ДПТ и частоту вращения для нескольких значений нагрузки. Частоту вращения ДПТ на холостом ходу устанавливают с помощью резистора R_{12} .

Величина нагрузки регулируется изменением напряжения, подаваемого на обмотки АД с трансформатора TV2.

Для построения реостатной механической характеристики включают доба-

вочные резисторы $R44$ и $R45$ в цепь якоря и при неизменном выходном напряжении управляемого выпрямителя повторяют процедуры, изложенные выше.

14.3 Порядок выполнения лабораторной работы

14.3.1 Собрать схемы, приведенные на рисунках 14.3 и 14.4. Переключки П1 и П2 должны быть установлены.

14.3.2 Установить тумблер SA17 в положение «У».

14.3.3 Тумблер SA21 должен находиться в положении «ВКЛ».

14.3.4 Подключить резистор $R14$ к управляемому выпрямителю тумблером SA5.

14.3.5 Включить стенд автоматическими выключателями QF1, QF2, QF3.

14.3.6 При помощи «Задатчика» выбрать профиль отображения приборов L8.

14.3.7 Для нагрузки используется асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором типа АИР56 в режиме динамического торможения.

Подключить обмотку возбуждения и якорь к цепям питания при помощи тумблера SA16.

Включить тумблер SA18 (положение «ВКЛ») для включения измерителя.

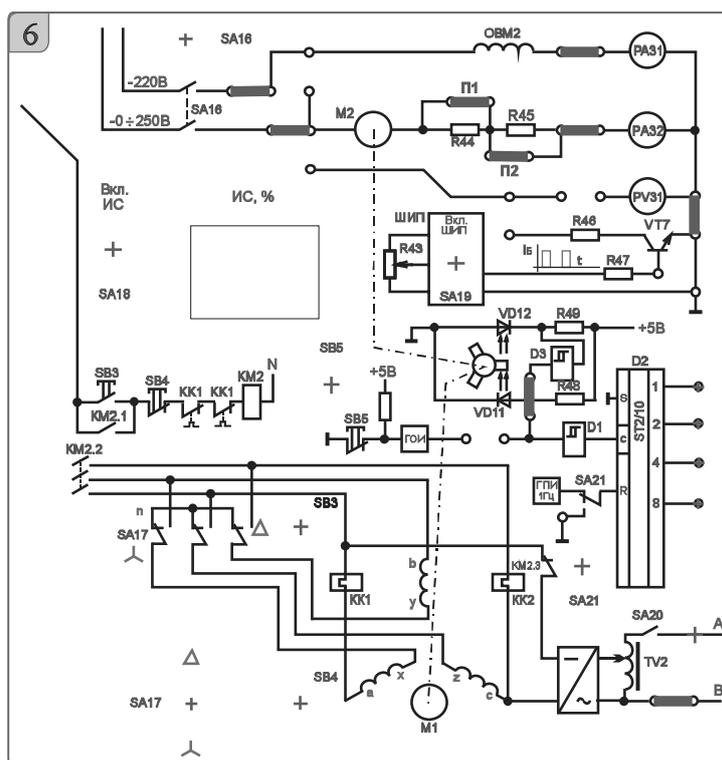


Рисунок 14.3 – Схема исследования ДПТ

14.3.8 Убедиться, что ток в обмотке возбуждения не превышает 200 мА (PA31).

14.3.9 Включить тумблер SA2.

14.3.10 Плавно вращая рукоятку резистора $R12$, установить частоту вращения двигателя 1500 мин^{-1} (по прибору ИС 50 %).

14.3.11 Для нагрузки необходимо подключить ЛАТР TV2 к статору асинхронного двигателя тумблером SA20.

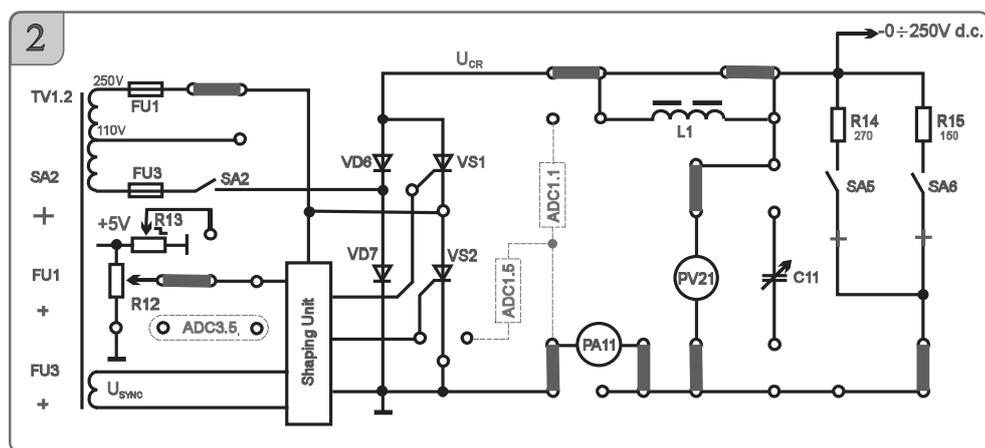


Рисунок 14. 4 – Схема источника питания обмотки возбуждения ДПТ

При подключении ЛАТРа TV2 к двигателю положения органов управления ЛАТРОм SA70, SA71 и SA72 должны находиться в начальном положении.

14.3.12 Для нагрузки двигателя постоянного тока необходимо увеличивать ток динамического торможения асинхронного двигателя. Для этого следует постепенно увеличивать напряжение на выходе ЛАТРа TV2 переключателями SA71 и SA72. При необходимости переключить тумблер SA70 в положение «110→260».

14.3.13 Измерить ток якоря ДПТ и частоту вращения для нескольких значений нагрузки. Значения занести в таблицу 14.1.

Таблица 14.1 – Естественная механическая характеристика ДПТ

Опыт		Расчет		
$n_2, \%$	I_α, A	$n_2, \text{мин}^{-1}$	$M, \text{Н}\cdot\text{м}$	$\eta, \%$

14.3.14 Выключить тумблер SA2, переключатели SA70, SA71 и SA72 вернуть в начальное положение (при этом положение рукоятки резистора R12 не менять!).

14.3.15 Выключить тумблер SA16.

14.3.16 Для снятия первой реостатной характеристики расшунтировать R44 (убрать перемычку П1).

14.3.17 Подключить обмотку возбуждения и якорь к цепям питания при помощи тумблера SA16.

14.3.18 Включить тумблер SA2.

14.3.19 Не меняя положение рукоятки резистора R12, измерить ток якоря ДПТ и частоту вращения для нескольких значений нагрузки (пп. 14.3.12–14.3.13). Значения занести в таблицу 14.2.

14.3.20 Выключить тумблер SA2, переключатели SA70, SA71 и SA72 вернуть в начальное положение (при этом положение рукоятки резистора R12 не менять!).

Выключить тумблер SA16.

Таблица 14.2 – Реостатная механическая характеристика R44 ДПТ

Опыт		Расчет		
$n_2, \%$	$I_{я}, А$	$n_2, \text{мин}^{-1}$	$M, \text{Н}\cdot\text{м}$	$\eta, \%$

14.3.21 Для снятия второй реостатной характеристики расшунтировать R44 и R45 (убрать переключку П2 и П1).

14.3.22 Подключить обмотку возбуждения и якорь к цепям питания при помощи тумблера SA16.

14.3.23 Включить тумблер SA2.

14.3.24 Не меняя положение рукоятки резистора R12 измерить ток якоря ДПТ и частоту вращения для нескольких значений нагрузки. Значения занести в таблицу 14.3.

Таблица 14.3 – Реостатная механическая характеристика R44 +R45 ДПТ

Опыт		Расчет		
$n_2, \%$	$I_{я}, А$	$n_2, \text{мин}^{-1}$	$M, \text{Н}\cdot\text{м}$	$\eta, \%$

14.3.25 Выключить стенд в следующем порядке: выключить тумблеры SA2, SA20, SA16; вернуть органы управления SA70, SA71, SA72, SA5, SA21 в начальное положение; выключить измеритель скорости тумблером SA18; выключить стенд автоматическими выключателями QF1, QF2, QF3; вернуть рукоятку резистора R12 в начальное положение («min»); убрать переключки; убедиться, что все остальные переключатели в начальном состоянии.

14.3.26 Рассчитать момент на валу и КПД двигателя при различных нагрузках на валу двигателя. Расчеты занести в таблицы 14.1, 14.2, 14.3.

14.3.27 Построить механические характеристики двигателя по значениям, занесенным в таблицы 14.1, 14.2, 14.3.

14.3.28 Сделать выводы по результатам работы.

14.4 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать цель работы, схему включения двигателя постоянного тока, основные расчётные формулы, результаты эксперимента и расчёта (см. таблицы 14.1–14.3), механические характеристики двигателя, выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Опишите принцип работы двигателя постоянного тока.
- 2 Уравнение механической характеристики двигателя постоянного тока с независимым возбуждением.
- 3 Реостатные механические характеристики двигателя постоянного тока с независимым возбуждением.

15 Лабораторная работа № 15. Определение параметров и основных характеристик генератора постоянного тока с независимым возбуждением

Цель работы: изучение конструкции и принципа действия генератора постоянного тока с независимым возбуждением; построение характеристик холостого хода и внешней характеристики генератора постоянного тока с независимым возбуждением.

15.1 Исследуемые схемы

Ток возбуждения изменяют управляемым выпрямителем, тумблер SA14 замкнут. Нагрузкой генератора является широтно-импульсный преобразователь (ШИП), который регулируется резистором R43. Для вращения генератора используется асинхронный электродвигатель. Схема включения асинхронного двигателя – «Δ».

Для снятия характеристики холостого хода $E_{Я} = f(I_B)$ нагрузку генератора отключают и изменяют ток возбуждения. Внешнюю характеристику генератора $U_H = f(I_H)$ снимают при номинальном токе возбуждения.

15.2 Порядок выполнения лабораторной работы

Снятие характеристики холостого хода ГПТ.

15.2.1 Собрать схемы, приведенные на рисунках 14.3 и 14.4. При этом переключатель П1 не устанавливать, переключатель П2 установить.

15.2.2 Установить тумблер SA17 в положение «Δ». Тумблер SA21 должен находиться в положении «ВКЛ». Включить тумблер SA18 для включения измерителя скорости ИС.

15.2.3 Подключить резистор R14 к управляемому выпрямителю тумблером SA5.

15.2.4 Подключить обмотку возбуждения к цепям питания при помощи тумблера SA16. Включить тумблер SA14. Нажать на кнопку SB3 для подключения приводного асинхронного двигателя к сети через пускатель KM2. Включить тумблер SA2.

15.2.5 Плавно вращая рукоятку резистора R12, снять характеристику холостого хода, данные занести в таблицу 15.1. Вернуть рукоятку резистора R12 в начальное положение, выключить тумблер SA2. Выключить асинхронный двигатель, нажав на кнопку SB4. Выключить тумблер SA16.

Таблица 15.1 – Характеристика холостого хода ГПТ

Экспериментальные данные	
I_B, A	$E_{Я0}, B$

Снятие внешней характеристики ГПТ.

15.2.6 Убрать переключатель П2, установить переключатели П1 и П3.

15.2.7 Включить тумблер SA16. Нажать на кнопку SB3 для подключения приводного асинхронного двигателя к сети через пускатель КМ2. Включить в качестве нагрузки для генератора ШИП тумблером SA19.

15.2.8 Плавно вращая рукоятку резистора R43, снять зависимость напряжения на генераторе от тока нагрузки, данные занести в таблицу 15.2.

Таблица 15.2 – Внешняя характеристика ГПТ

I_B (PA31), А	I_A (PA32), А	U (PV31), В
0,15		

15.2.9 По результатам измерений вычислить значения КПД генератора. Построить характеристику холостого хода $E_{\gamma} = f(I_B)$. Построить внешнюю характеристику $U_H = f(I_H)$.

15.2.10 Сделать выводы по результатам работы.

15.3 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать цель работы, результаты эксперимента и расчёта (см. таблицы 15.1 и 15.2), характеристики генератора $E_{\gamma} = f(I_B)$, $U_H = f(I_H)$, выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Опишите принцип работы генератора постоянного тока.
- 2 Характеристика холостого хода генератора постоянного тока.
- 3 Внешняя характеристика генератора постоянного тока.

16 Лабораторная работа № 16. Исследование транзисторного усилителя

Цель работы: ознакомление с устройством биполярных транзисторов и их свойствами; исследование усилителя с общим эмиттером.

16.1 Исследуемые схемы

Для выполнения лабораторной работы собирается схема, представленная на рисунке 16.1. При исследовании схемы усилителя используется осциллограф и цифровой вольтметр.

16.2 Задание к лабораторной работе

16.2.1. С помощью резистора R6 при разомкнутой перемычке между R1 и R2 выставить на коллекторе VT1 половину напряжения питания.

16.2.2. Установить перемычку между R1 и R2 и, изменяя R1, снять зависимость $U_{вых} = f(U_{вх})$. Емкость C8 отсоединена. Входное напряжение измерять

мультиметром. Используя параметры схемы, рассчитать коэффициент усиления по напряжению и сравнить с экспериментальным.

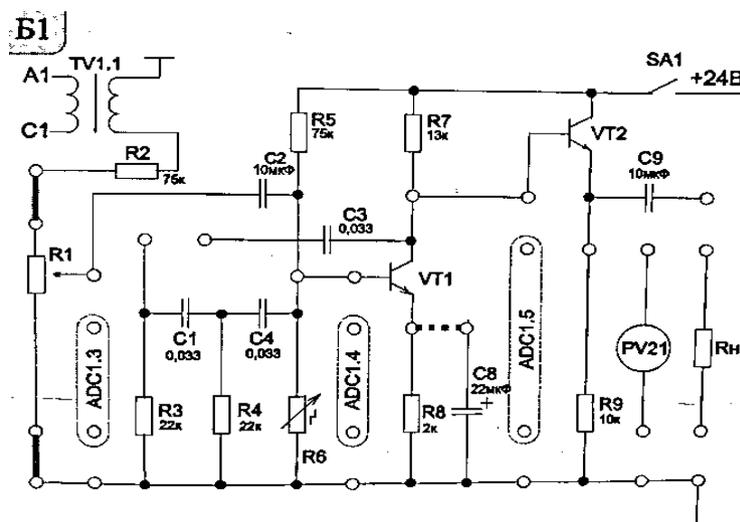


Рисунок 16.1 – Схема исследования однокаскадного транзисторного усилителя

16.2.3. Зашунтировать $R8$ конденсатором $C8$ и снять зависимость. Используя параметры схемы, рассчитать коэффициент усиления по напряжению и сравнить с экспериментальным.

16.2.4. Используя генератор синусоидальных колебаний, снять амплитудно-частотную характеристику при неизменном амплитудном значении $U_{вх}$.

16.2.5. Сделать выводы по результатам работы.

16.3 Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать цель работы, результат эксперимента и расчета, зависимости $U_{вых} = f(U_{вх})$, амплитудно-частотную характеристику выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Как влияет подключение нагрузки к выходу каскада?
- 2 Каково назначение элементов $R8$, $C8$?

Лабораторная работа № 17. Исследование логических элементов

Цель работы: изучение принципа функционирования и характеристик логических элементов.

17.1 Общие сведения

В ЭВМ, импульсных и других цифровых устройствах широко применяются *логические элементы*. Каждый логический элемент выполняет вполне определенную логическую операцию. Основными логическими операциями яв-

ляются: логическое отрицание НЕ (инверсия), логическое сложение ИЛИ (дизъюнкция), логическое умножение И (конъюнкция). К базовым логическим элементам относятся элементы Пирса и Шеффера. На основе этих простых операций могут строиться и более сложные. Для описания логических операций используется алгебра логики. При этом одно из состояний, соответствующее, например, высокому уровню напряжения, обозначается *единицей*, а соответствующее низкому уровню напряжения – *нулем*. Уровень выходного напряжения логического элемента зависит от уровня входного (или нескольких входных) напряжений. Эта связь отображается таблицей состояний (таблицей истинности).

17.2 Порядок выполнения работы

17.2.1 В программе Multisim собрать схему для испытания основных и базовых логических элементов OR (ИЛИ), AND (И), NOT (НЕ), NAND (И-НЕ) и XOR (ИЛИ-НЕ), расположенных в библиотеке Misc Digital/TIL с уровнем высокого напряжения 5 В (рисунок 17.1). В схему включены ключи SB1 и SB2, пробники X1, X2 и Y1...Y5 с пороговыми напряжениями 5 В. Если входной или выходной сигнал элемента равен логической единице, то включенный на выходе этого элемента пробник светится. Результаты моделирования занести в таблицу 17.1.

Таблица 17.1 – Результаты моделирования

Дизъюнктор [ИЛИ (OR)]			Конъюнктор [И (AND)]			Инвертор [НЕ (NOT)]		Штрих Шеффера [И-НЕ (NAND)]			Стрелка Пирса [ИЛИ-НЕ (NOR)]		
x ₁	x ₂	y	x ₁	x ₂	y	x	y	x ₁	x ₂	y	x ₁	x ₂	y
0	0		0	0		0		0	0		0	0	
0	1		0	1				0	1		0	1	
1	0		1	0		1		1	0		1	0	
1	1		1	1				1	1		1	1	

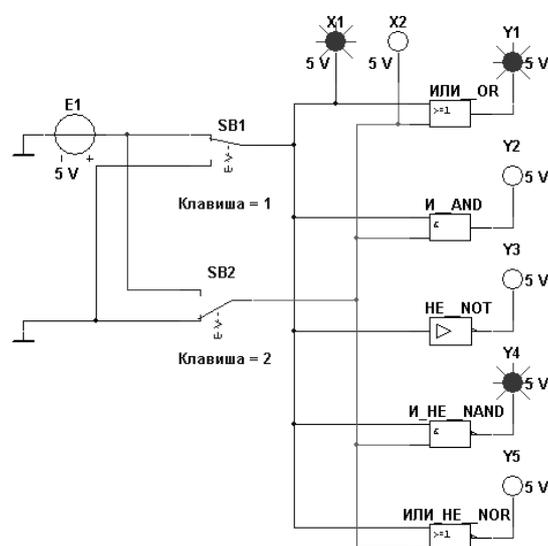


Рисунок 17.1 – Схема для исследования основных и базовых логических элементов

17.2.2 По заданию преподавателя исследовать работу трех логических элементов одной из серий интегральных микросхем (рисунок 17.2), предварительно выписав из справочника их параметры и условное обозначение. Составить таблицу истинности для данных элементов.

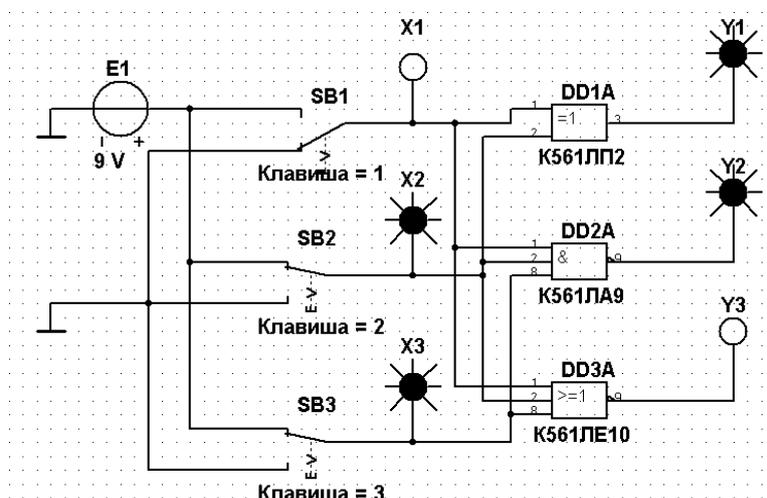


Рисунок 17.2 – Схема для исследования логических элементов серии K561

17.2.3 Сделать выводы по результатам работы.

17.3 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать цель работы, схемы для моделирования работы логических элементов в среде Multisim, таблицы истинности работы логических элементов, выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Перечислите основные параметры логических элементов.
- 2 Как составить таблицу истинности логического элемента?

Список литературы

- 1 **Марченко, А. Л.** Электротехника и электроника: учебник / А. Л. Марченко. – Москва: ИНФРА-М, 2015. – 574 с.
- 2 **Гальперин, М. В.** Электротехника и электроника: учебник / М. В. Гальперин. – 2-е изд. – Москва: ФОРУМ; ИНФРА-М, 2017. – 480 с.
- 3 **Жаворонков, М. А.** Электротехника и электроника: учебное пособие / М. А. Жаворонков, А. В. Кузин. – Москва: ИЦ Академия, 2013. – 400 с.
- 4 **Кузовкин, В. А.** Схемотехническое моделирование электрических устройств в Multisim: учебное пособие / В. А. Кузовкин, В. В. Филатов. – Старый Оскол: ТНТ, 2017. – 336 с.