

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).

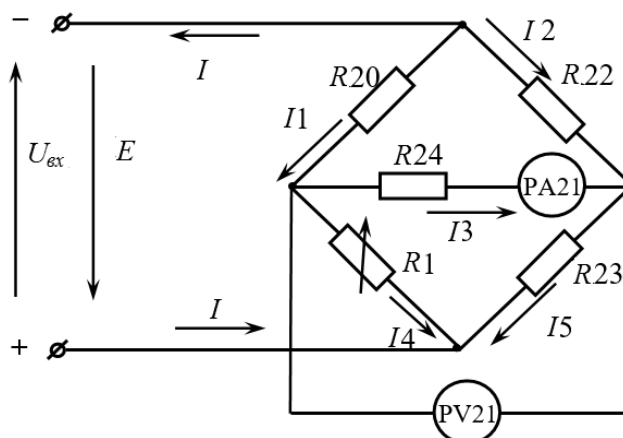


Рисунок 2.1 – Мост постоянного тока

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.

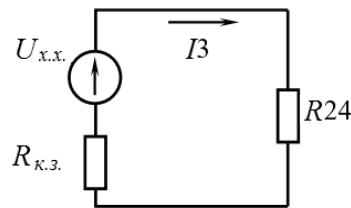


Рисунок 2.2 – Эквивалентная схема электрической цепи для расчёта тока  $I3$

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.

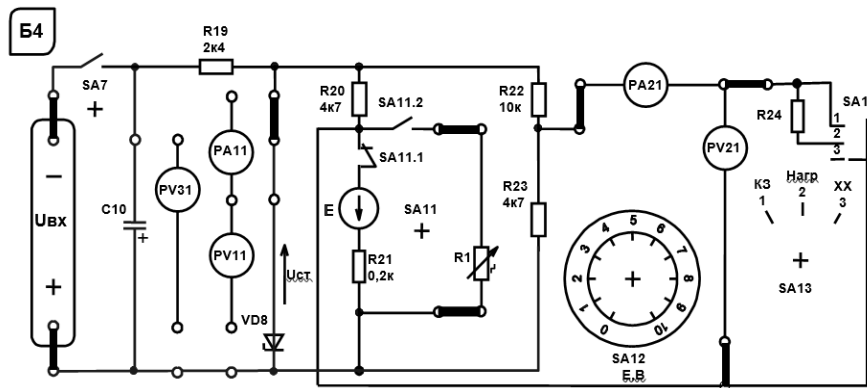


Рисунок 2.3 – Схема для экспериментального исследования электрической цепи постоянного тока с одним источником питания

### 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  $U_{\text{вых}} = f(R1)$ .

2.3.3 При максимальном  $U_{\text{вых}}$  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  $I_{\text{к.з.}}$  и рассчитать сопротивление  $R_{\text{к.з.}}$ .

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.

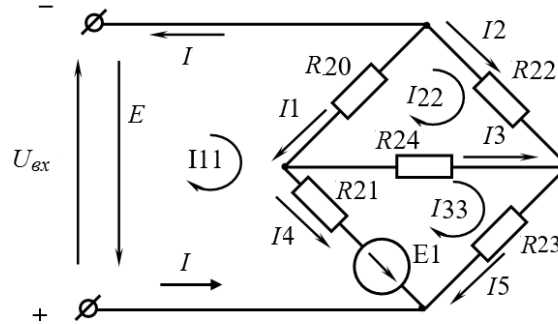


Рисунок 3.1 – Электрическая цепь постоянного тока с двумя источниками питания

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).

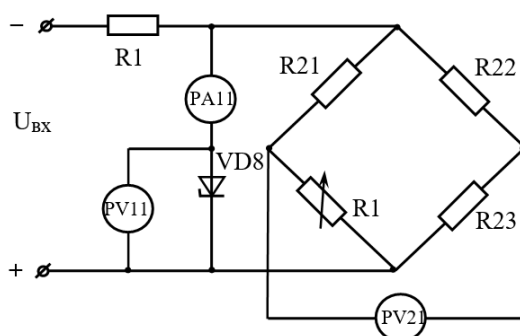


Рисунок 4.1 – Нелинейная электрическая цепь постоянного тока

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).

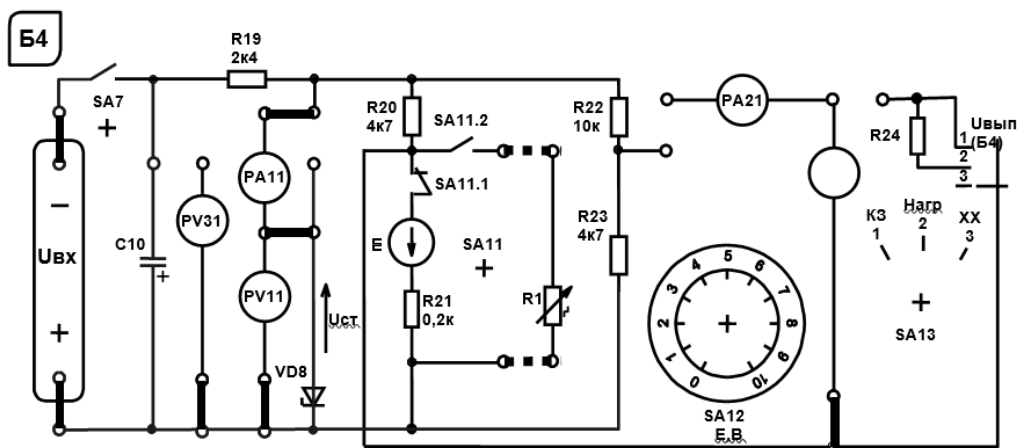


Рисунок 4.2 – Схема для экспериментального исследования нелинейной цепи постоянного тока

## 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) сопротивления.

### 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.

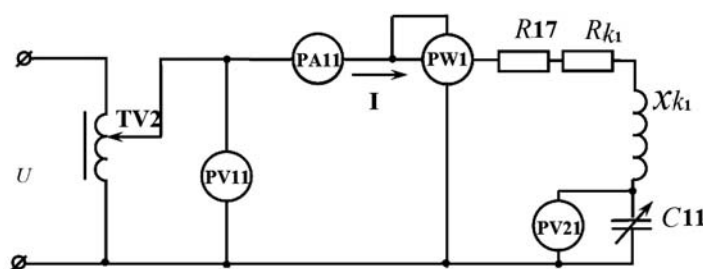


Рисунок 5.1 – Электрическая цепь переменного тока с последовательно соединёнными  $R$ -,  $L$ -,  $C$ -элементами

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.

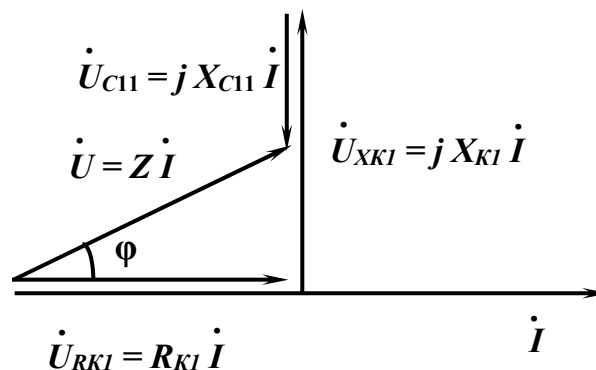


Рисунок 5.2 – Векторная диаграмма

## 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.

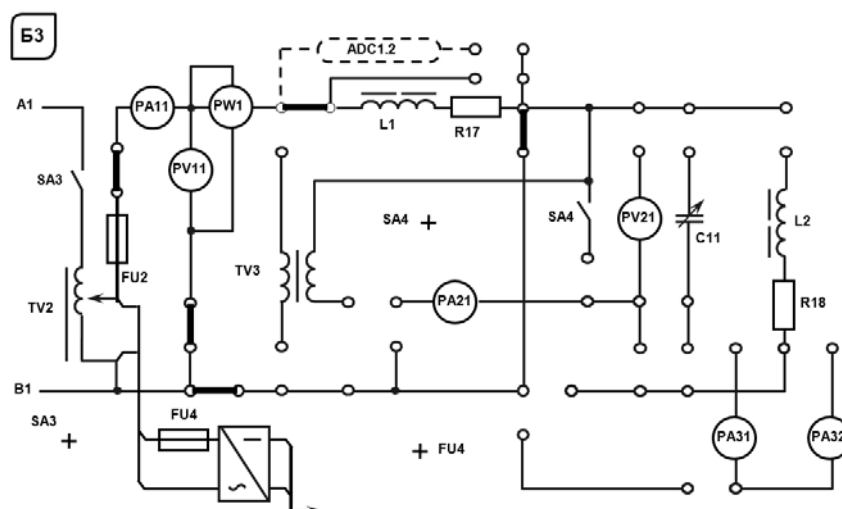


Рисунок 5.3 – Схема для экспериментального исследования параметров схемы замещения катушки индуктивности

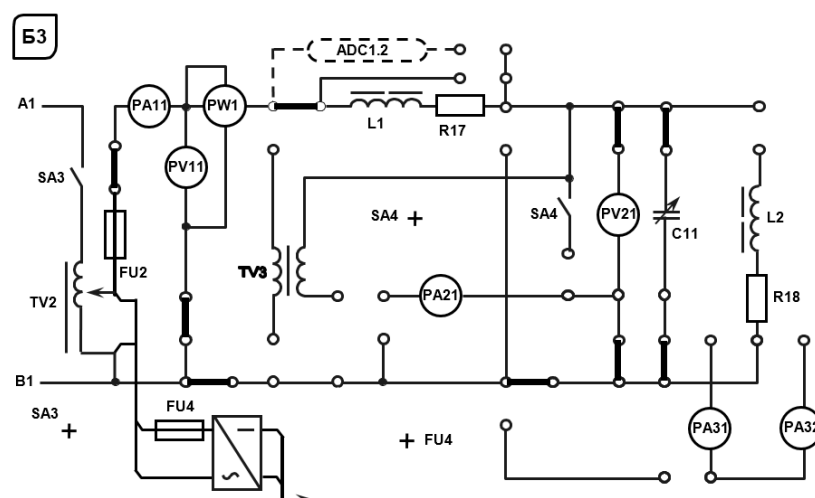


Рисунок 5.4 – Схема для экспериментального исследования резонанса напряжений

#### 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.

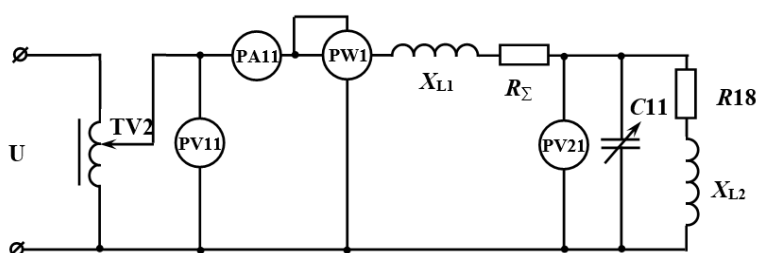


Рисунок 6.1 – Электрическая схема ЛЭП переменного тока с параллельно соединёнными  $R$ -,  $L$ - и  $C$ -элементами в качестве нагрузки

Закоротив условно представленную ЛЭП ( $L_{K1}$ ,  $R17$ ), определяют параметры катушки  $L_{K2}$ , сопротивление  $R18$  и  $\cos\phi$  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).

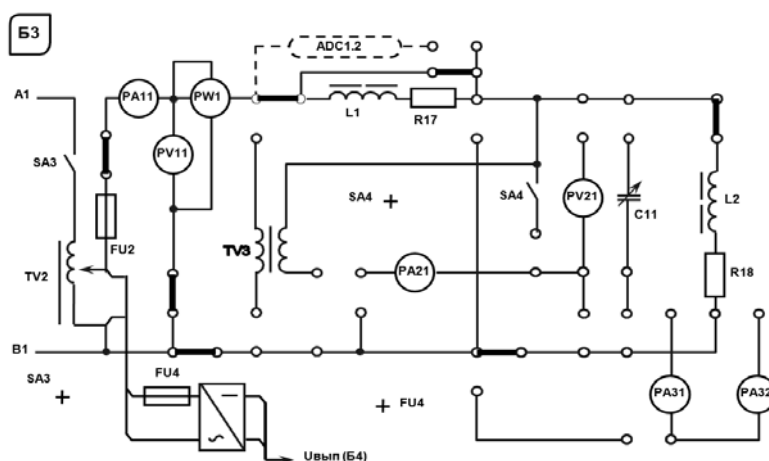


Рисунок 6.2 – Схема для экспериментального исследования параметров схемы замещения катушки индуктивности

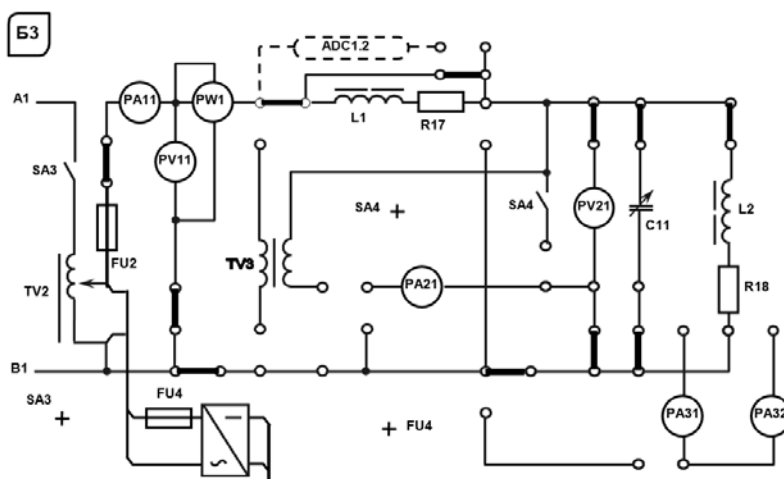


Рисунок 6.3 – Схема для экспериментального исследования резонанса токов

## 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  $\eta$  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;  $\frac{X_{L2}}{Z_{L2}^2} = b_L$ ;

$\omega C_2$  – 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**

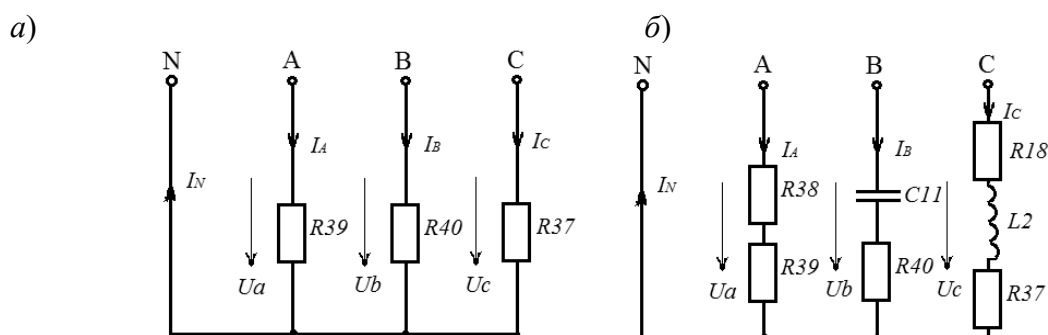
- 1 В какой цепи и при каких условиях возникает резонанс токов?
- 2 От каких параметров цепи зависит резонансная частота?

## 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:

$$Z_a = R38 + R39;$$

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

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

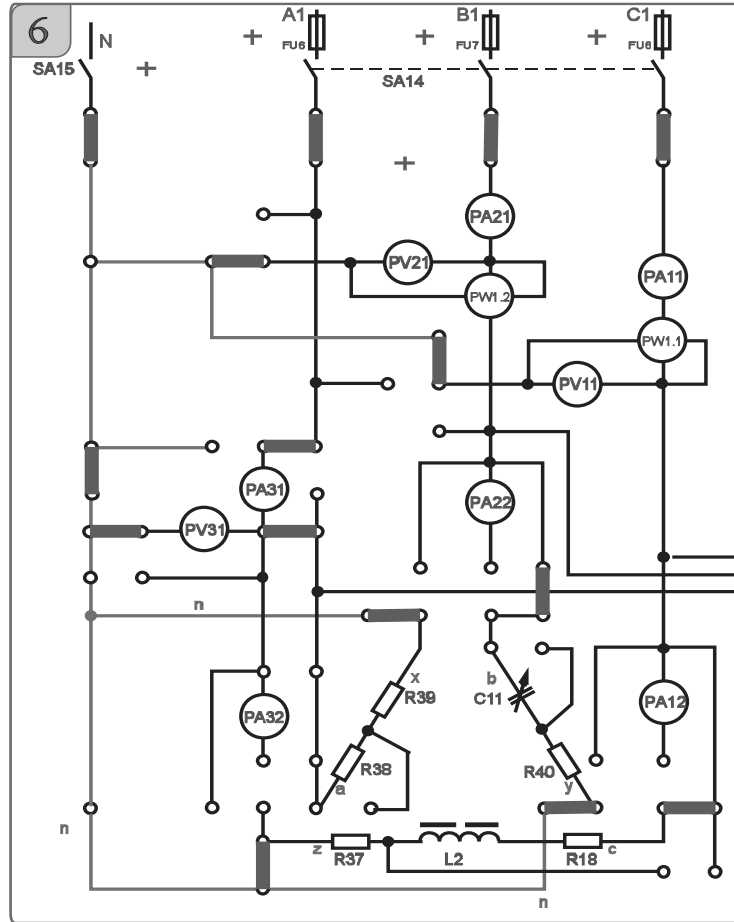


Рисунок 7.2 – Схема для экспериментального исследования трехфазной электрической цепи при соединении нагрузки звездой

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).

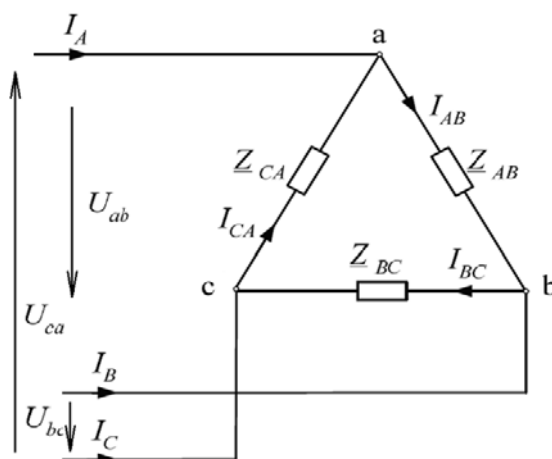


Рисунок 8.1 – Исследуемая трёхфазная схема при соединении потребителей треугольником

## 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.

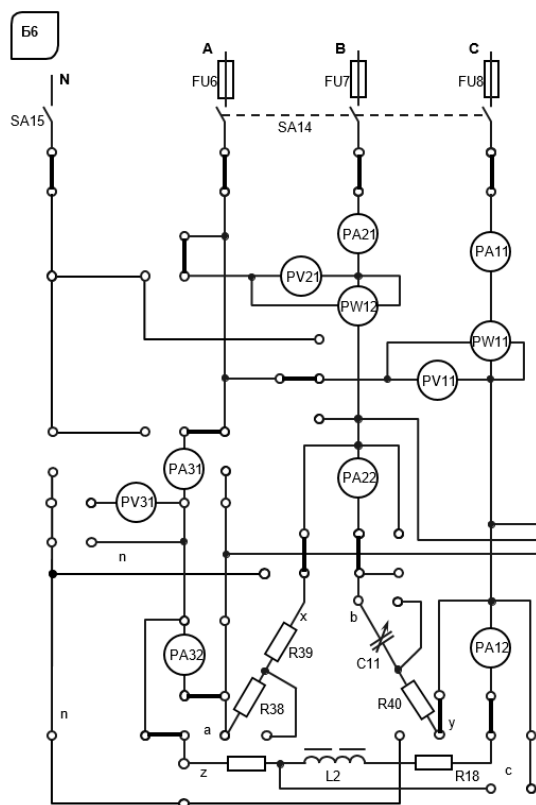


Рисунок 8.2 – Трехфазная электрическая цепь при соединении нагрузки треугольником

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  $\alpha$  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

$\alpha$	$U_0$	$U_{1M}$	$U_{2M}$	$U_{3M}$	$\varphi_1$	$\varphi_2$	$\varphi_3$
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  $R14//R15$ .

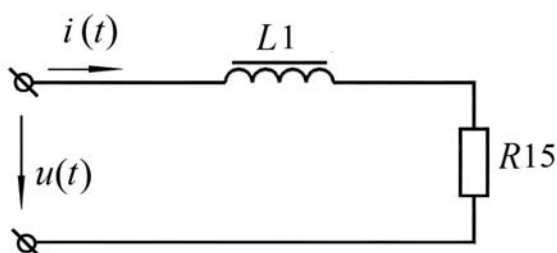


Рисунок 9.1 – Электрическая цепь несинусоидального периодического тока

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.

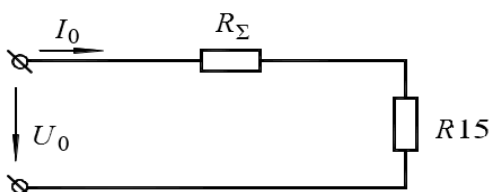


Рисунок 9.2 – Схема для определения постоянной составляющей тока

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

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).



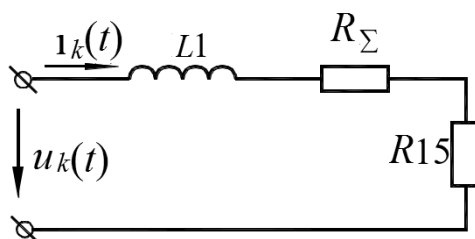


Рисунок 9.3 – Схема для определения гармонических составляющих тока

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.

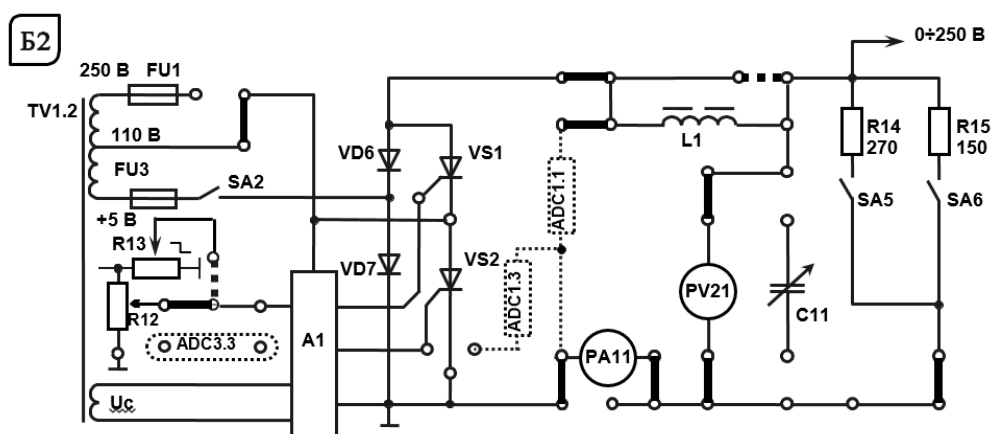


Рисунок 9.4 – Электрическая цепь несинусоидального периодического тока

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.

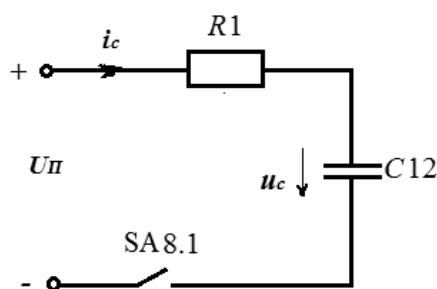


Рисунок 10.1 – Исследуемая схема зарядки конденсатора

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.

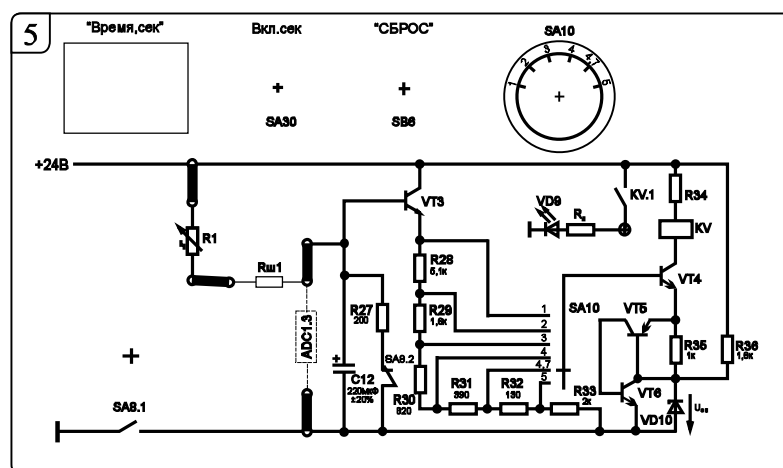


Рисунок 10.2 – Схема для экспериментального исследования процесса заряда конденсатора

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  $\tau$  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  $\tau$  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.

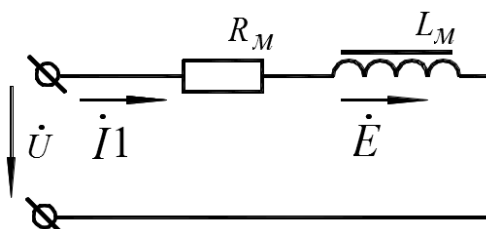


Рисунок 11.1 – Схема замещения катушки индуктивности с магнитопроводом

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

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.

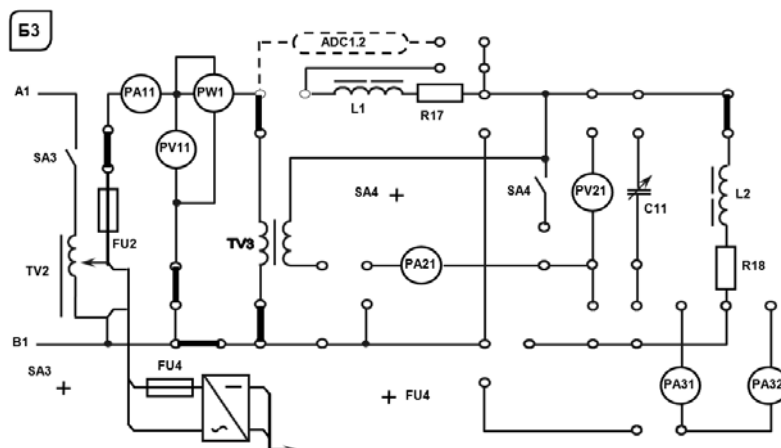


Рисунок 11.2 – Схема для исследования катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом

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?

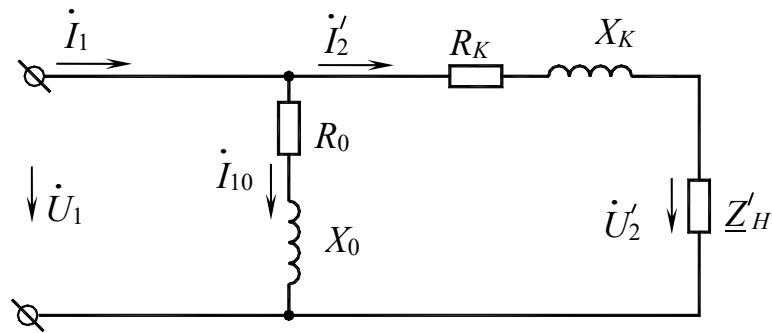
## 12 Лабораторная работа № 12. Определение параметров и основных характеристик однофазного трансформатора

**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.

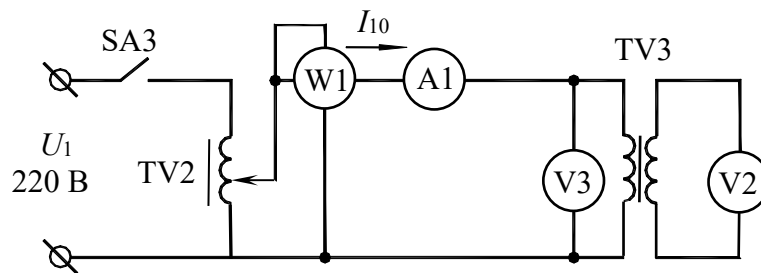


Рисунок 12.2 – Опыт холостого хода трансформатора

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.

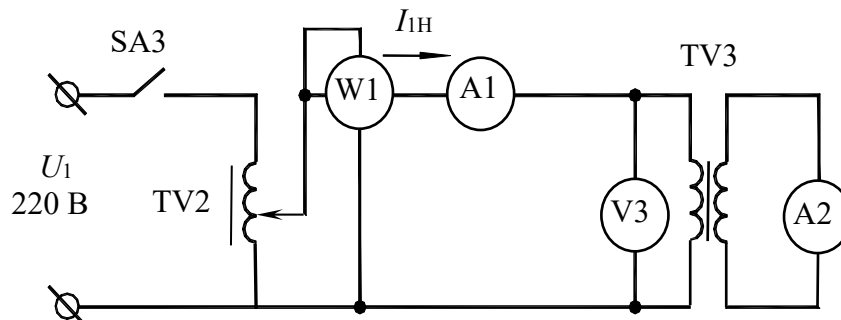


Рисунок 12.3 – Опыт короткого замыкания трансформатора

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  $\beta$  – 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).



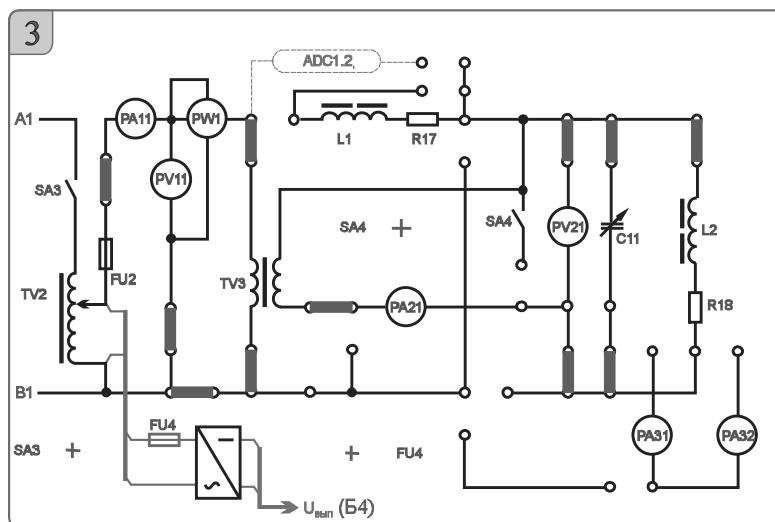


Рисунок 12.4 – Схема исследования однофазного трансформатора

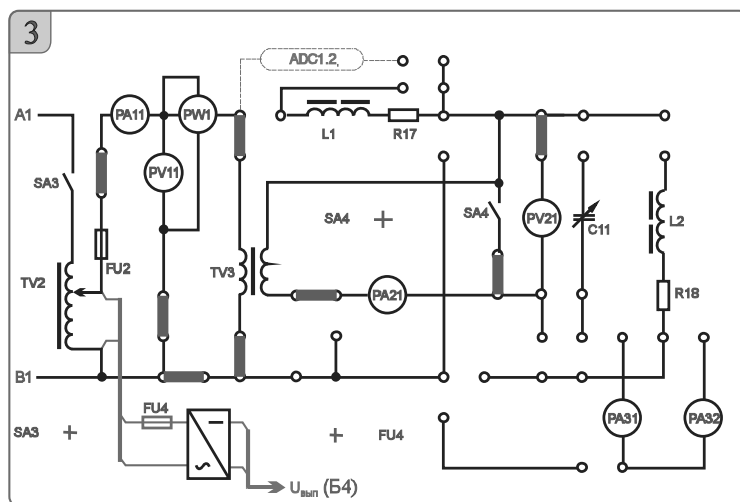


Рисунок 12.5 – Схема исследования трансформатора в режиме холостого хода и короткого замыкания

### 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	$\cos \varphi$	$\varphi$ , 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	$\cos \varphi$	$\varphi$ , 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  $\lambda$  – 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  $I_\phi$  – 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<sup>-1</sup>;

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

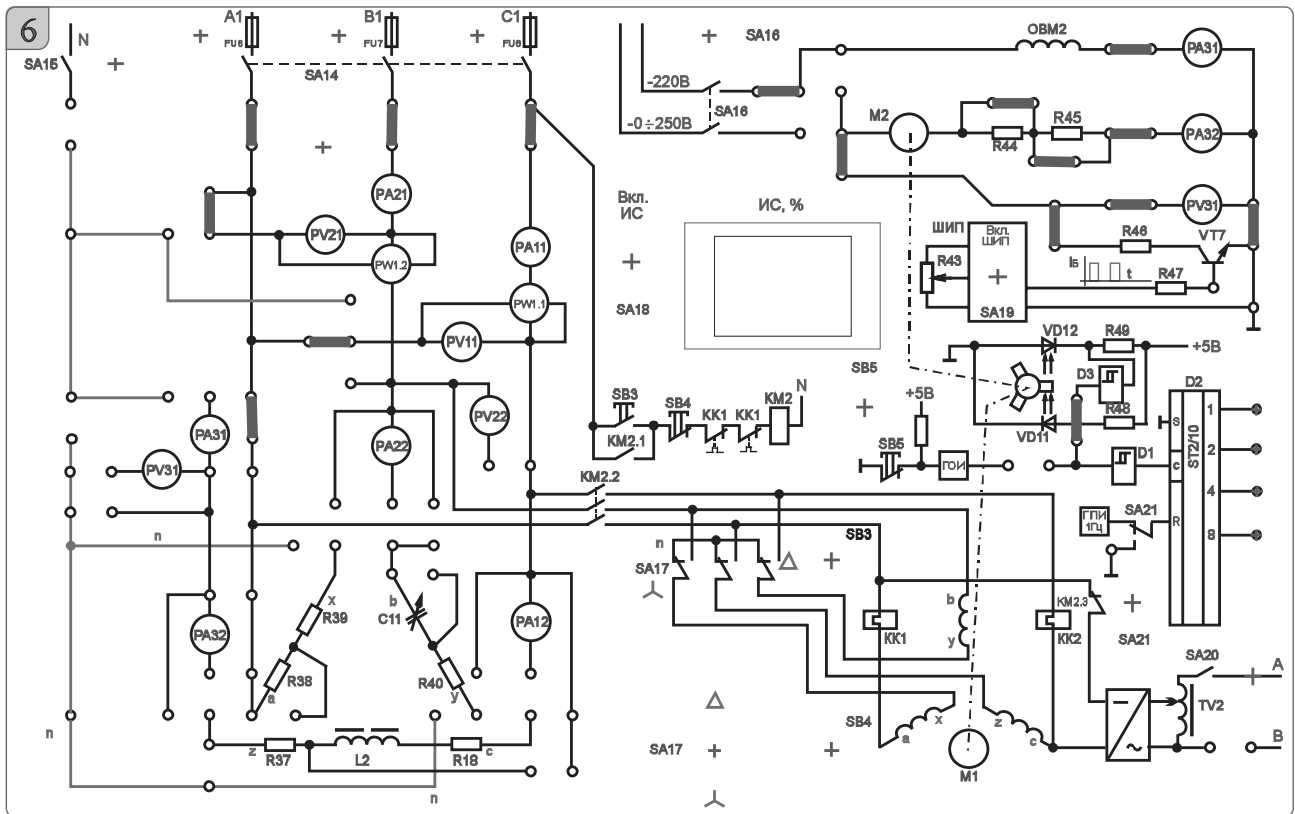


Рисунок 13.1 – Схема исследования трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

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	$U_{1\phi} \left( \frac{PV11}{\sqrt{3}} \right), В$	$I_\phi$ (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;

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

$C_M \Phi$  – магнитная постоянная нагрузочного генератора,

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

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 <sup>-1</sup>	$s$	$M$ , Н·м	$P_2$ , Вт	$\eta$ , %	$S_l$ , 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.

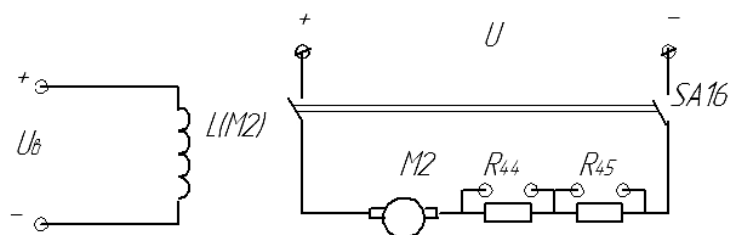


Рисунок 14.1 – Схема включения двигателя постоянного тока

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;

$\Phi_H$  – 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;

$\Delta P$  – 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.

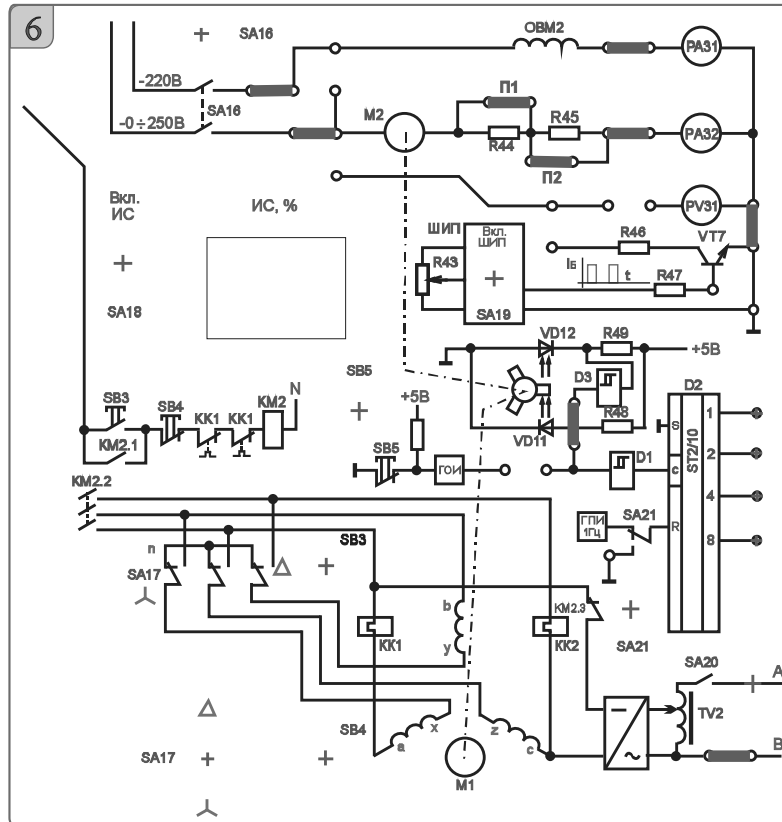


Рисунок 14.2 – Схема исследования ДПТ

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<sup>-1</sup>.

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.

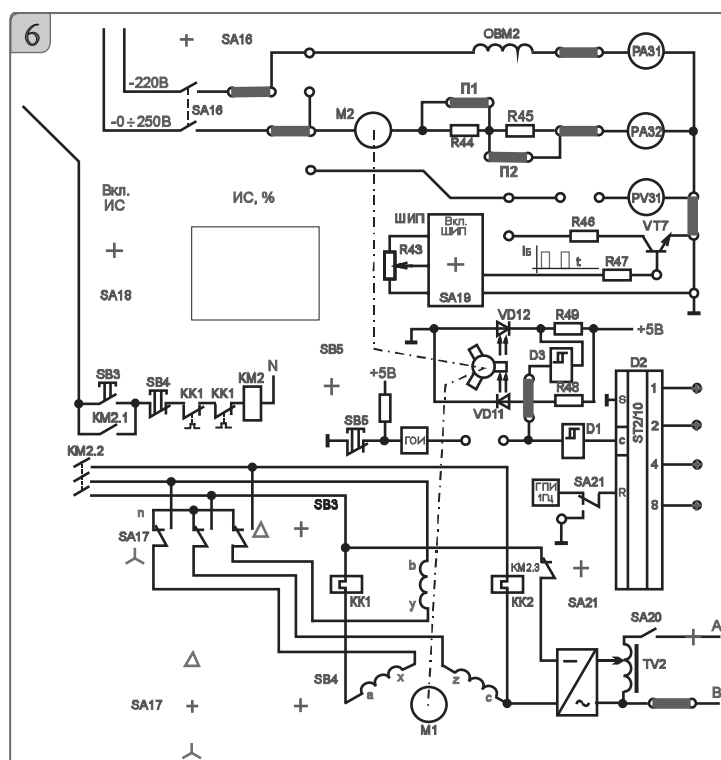


Рисунок 14.3 – Схема исследования ДПТ

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  $1500 \text{ мин}^{-1}$  (по прибору ИС 50 %).

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

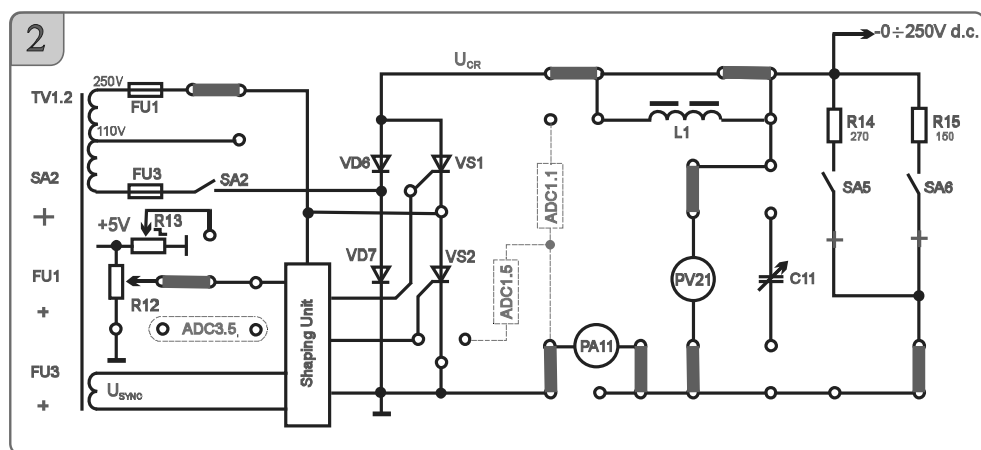


Рисунок 14. 4 – Схема источника питания обмотки возбуждения ДПТ

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		
$n_2, \%$	$I_\alpha, \text{A}$	$n_2, \text{мин}^{-1}$	$M, \text{Н}\cdot\text{м}$	$\eta, \%$

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.

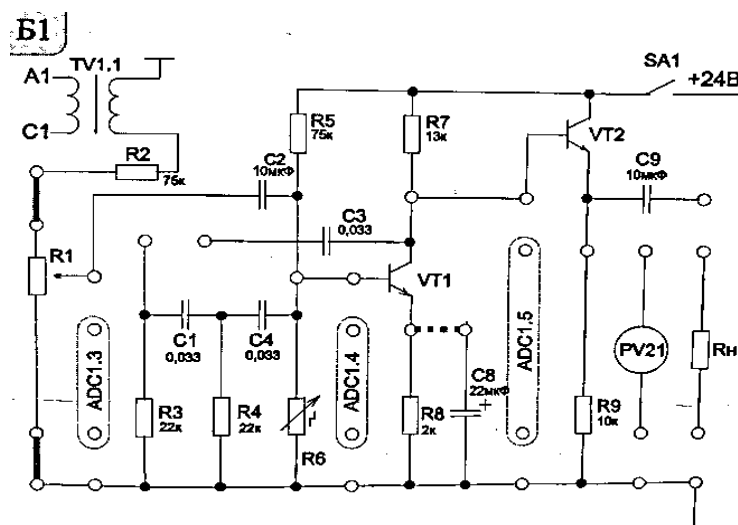


Рисунок 16.1 – Схема исследования однокаскадного транзисторного усилителя

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 <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	y	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	y	x	y	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	y	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	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	

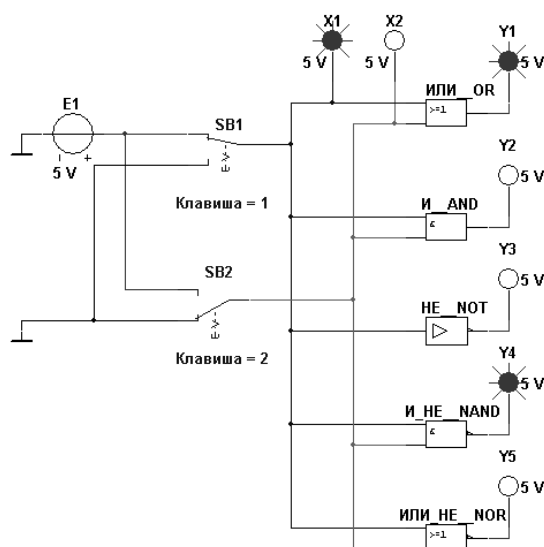


Рисунок 17.1 – Схема для исследования основных и базовых логических элементов

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.

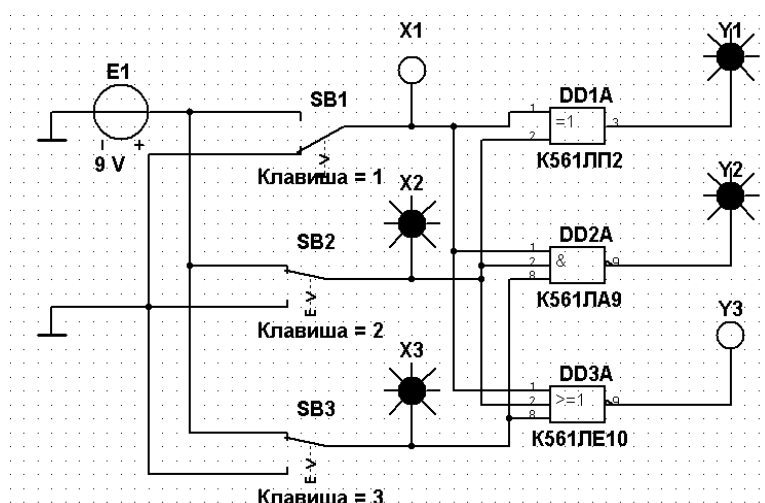


Рисунок 17.2 – Схема для исследования логических элементов серии K561

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.