

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Физические методы контроля»

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов специальности 6-05-0715-03 «Автомобили,
тракторы, мобильные и технологические комплексы»
дневной и заочной форм обучения*



Могилев 2025

УДК 621.3
ББК 31.2:32.85
Э45

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Физические методы контроля» «16» апреля 2025 г.,
протокол № 8

Составитель ст. преподаватель И. А. Черкасова

Рецензент канд. техн. наук, доц. Н. В. Герасименко

Методические рекомендации к лабораторным работам предназначены для
студентов специальности 6-05-0715-03 «Автомобили, тракторы, мобильные
и технологические комплексы» дневной и заочной форм обучения.

Учебное издание

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Ответственный за выпуск	А. В. Хомченко
Корректор	А. А. Подошевки
Компьютерная верстка	Е. В. Ковалевская

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, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2025

Содержание

Введение.....	4
1 Лабораторная работа № 1. Техника безопасности при прохождении лабораторных работ. Изучение лабораторного оборудования	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...	9
4 Лабораторная работа № 4. Определение параметров и исследование режимов работы электрической цепи переменного тока с последовательным соединением катушки индуктивности, резистора и конденсатора.....	10
5 Лабораторная работа № 5. Исследование режимов работы линии электропередачи переменного тока при изменении коэффициента мощности нагрузки.....	13
6 Лабораторная работа № 6. Определение параметров и исследование режимов работы трехфазной цепи при соединении потребителей звездой...	17
7 Лабораторная работа № 7. Определение параметров и исследование режимов работы трехфазной цепи при соединении потребителей треугольником.....	21
8 Лабораторная работа № 8. Исследование процесса зарядки конденсатора от источника постоянного напряжения при ограничении тока с помощью резистора.....	23
9 Лабораторная работа № 9. Определение параметров и основных характеристик однофазного трансформатора.....	26
10 Лабораторная работа № 10. Исследование асинхронного трехфазного двигателя с короткозамкнутым ротором.....	31
11 Лабораторная работа № 11. Снятие характеристик полупроводникового диода и стабилитрона.....	37
12 Лабораторная работа № 12. Исследование работы логических элементов и триггеров.....	41
Список литературы.....	47

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. Техника безопасности при прохождении лабораторных работ. Изучение лабораторного оборудования

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 переключения 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 гнезда, 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).

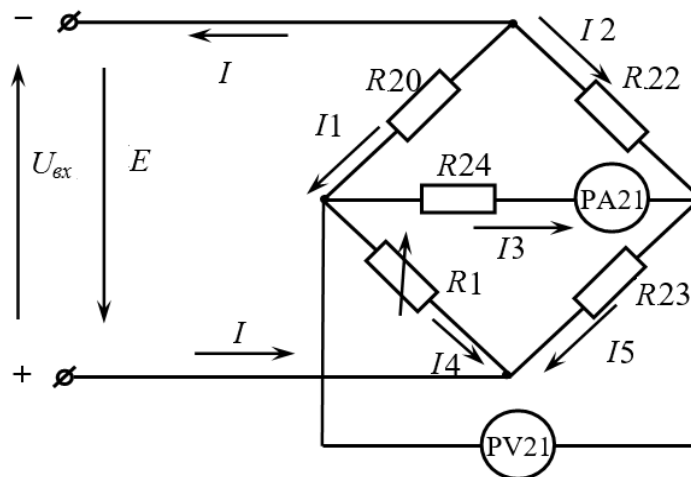


Рисунок 2.1 – Мост постоянного тока

2.1.2 Условие равновесия моста постоянного тока:

$$R1 \cdot R22 = R20 \cdot R23.$$

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
$$I3 = \frac{U_{х.х.}}{R24 + R_{к.з.}};$$

$U_{х.х.}$ – 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.

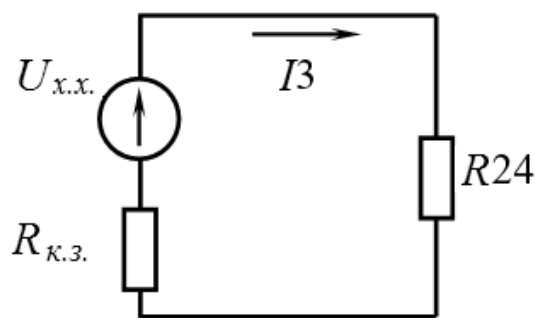


Рисунок 2.2 – Эквивалентная схема электрической цепи для расчета тока $I3$

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

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

2.2 Исследуемые схемы

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

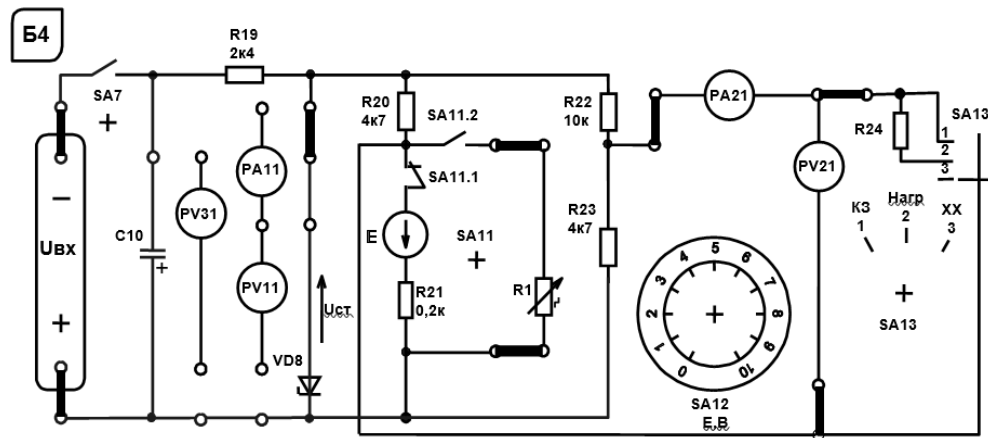


Рисунок 2.3 – Схема для экспериментального исследования электрической цепи постоянного тока с одним источником питания

Измерительный мост включается тумблером SA7.

Технические данные измерительного моста указаны на стенде.

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 $U_{блх} = f(R1)$.

2.3.3 При максимальном $U_{блх}$ 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.

Содержание отчета

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

Контрольные вопросы

1 Охарактеризуйте мостовую схему постоянного тока.

2 Порядок расчета 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 расчета 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.

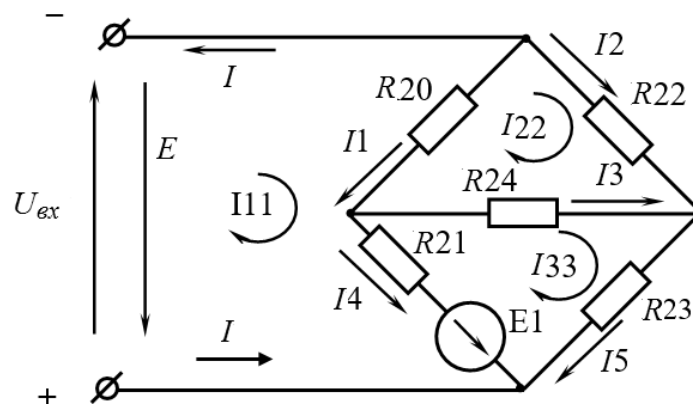


Рисунок 3.1 – Электрическая цепь постоянного тока с двумя источниками питания

Система уравнений для расчета контурных токов:

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

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 $R1$ включается источник $E1$ (тумблер SA11 выключен). Схема включается тумблером SA7. Величину ЭДС источника $E1$ устанавливают с помощью переключателя $E1$. Технические данные измерительного моста указаны на стенде.

3.3 Порядок выполнения лабораторной работы

3.3.1 Методом контурных токов рассчитать токи в ветвях $I1, I2, I3, I4, I5$ и величину выходного напряжения моста $U_{вых}$ при заданном ЭДС $E1$.

3.3.2 Снять экспериментально зависимость $U_{вых} = f(E1)$, изменяя $E1$ от 1 до 10 В. Сопоставить $U_{вых}$ для заданного значения $E1$ с расчетным.

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

3.3.4 Сделать выводы по результатам работы.

Содержание отчета

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

Контрольные вопросы

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

4 Лабораторная работа № 4. 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, расчетов электрической цепи переменного тока при последовательном соединении R -, L -, C - элементов.

4.1 Основные теоретические сведения

4.1.1 Схема для изучения цепи переменного тока с последовательно соединенными резистивным, индуктивным и емкостным элементами приведена на рисунке 4.1.

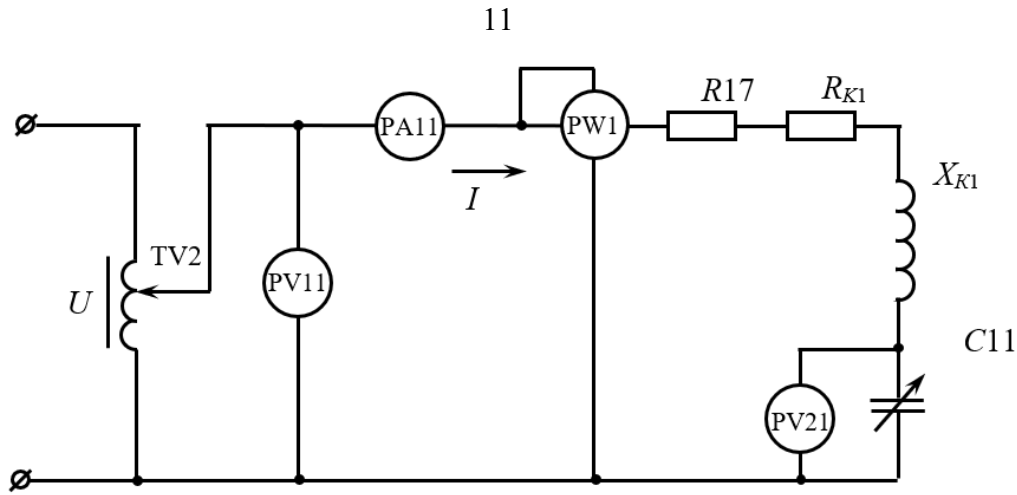


Рисунок 4.1 – Электрическая цепь переменного тока с последовательно соединенными R -, L -, C -элементами

Для определения параметров схемы замещения катушки индуктивности с магнитопроводом L_{K1} и R_{K1} в номинальном режиме $I_H = 1,0$ А снимают показания приборов: PA11 – ток I_H через катушку; PW1 – активную мощность P , потребляемую катушкой; PV11 – напряжение U на катушке.

Зная показания приборов, определяют значение параметров схемы замещения катушки:

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

$$R_{K1} = R_{\Sigma} - R_{17}; \quad Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2},$$

где $R_{17} = 17$ Ом; $f = 50$ Гц.

4.1.2 Определение величины емкости C_{11} , при которой в цепи наступает резонанс напряжений. Значение C_{11} определяется исходя из условия возникновения резонанса напряжений:

$$C_{11} = \frac{1}{2\pi f X_{K1}}.$$

4.1.3 Коэффициент мощности цепи

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

Пример построения векторной диаграммы цепи при активно-индуктивном характере цепи дан на рисунке 4.2.

4.2 Исследуемые схемы

[illegible]

4.3 Порядок выполнения лабораторной работы

4.3.3 Собрать на стенде схему (см. рисунок 4.4) для исследования схемы.

Схема для изучения ЛЭП с нагрузкой в виде параллельно соединенных резистивным, индуктивным и емкостным элементами приведена на рисунке 5.1.

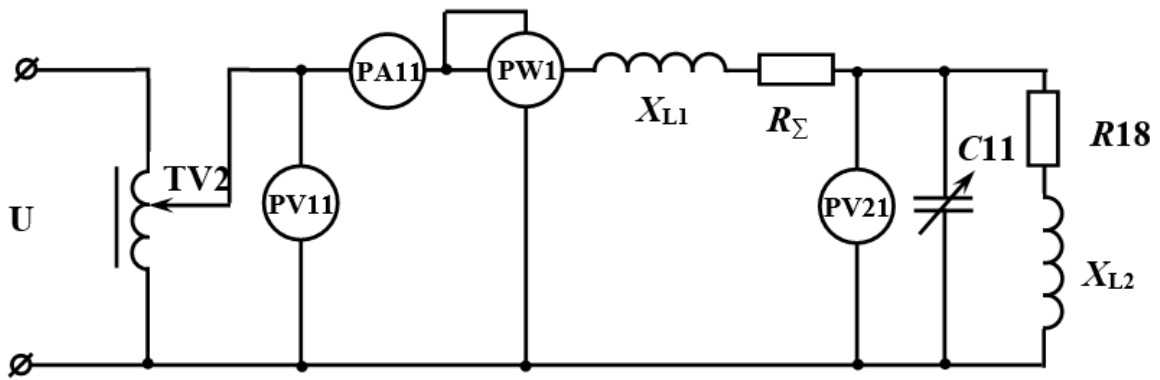


Рисунок 5.1 – Электрическая схема ЛЭП переменного тока с параллельно соединенными R -, L - и C -элементами в качестве нагрузки

Закоротив условно представленную ЛЭП (L_{K1} , R_{17}), определяют параметры катушки L_{K2} , сопротивление R_{18} и $\cos\varphi$ при $U_{2H} = 110$ В (схема дана на рисунке 5.2).

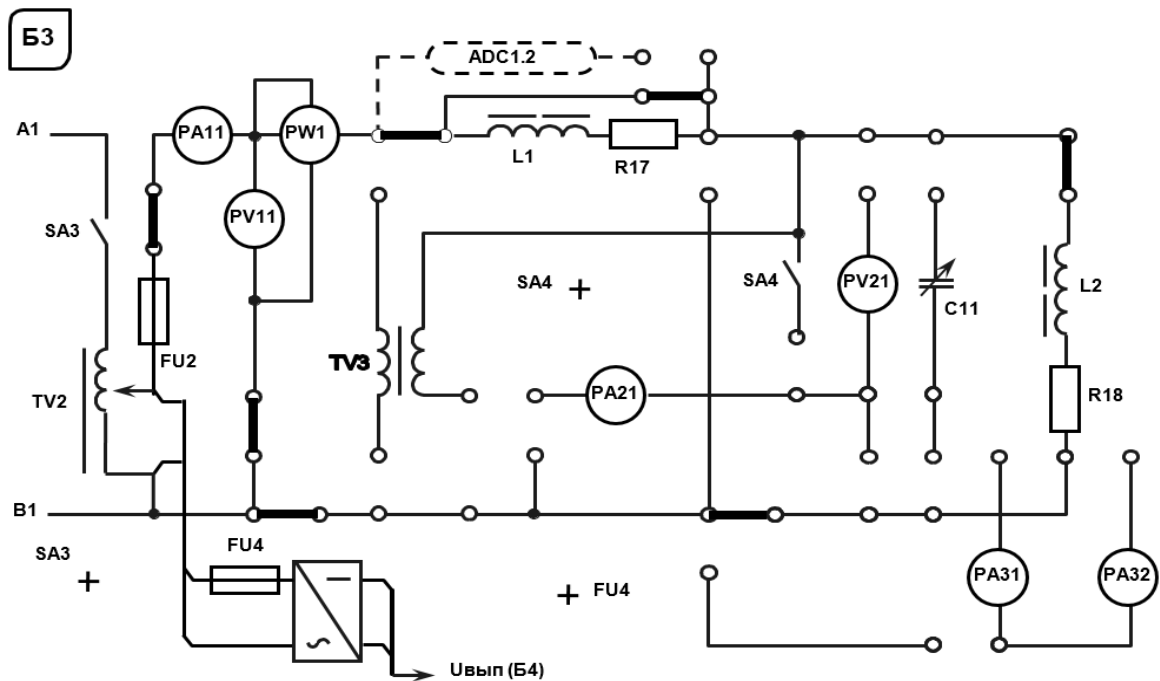


Рисунок 5.2 – Схема для экспериментального исследования параметров схемы замещения катушки индуктивности

Рассчитывают величину емкости C_{11} для повышения коэффициента мощности нагрузки, а также для выполнения условия резонанса токов и проверяют значение тока I экспериментально (схема дана на рисунке 5.3).

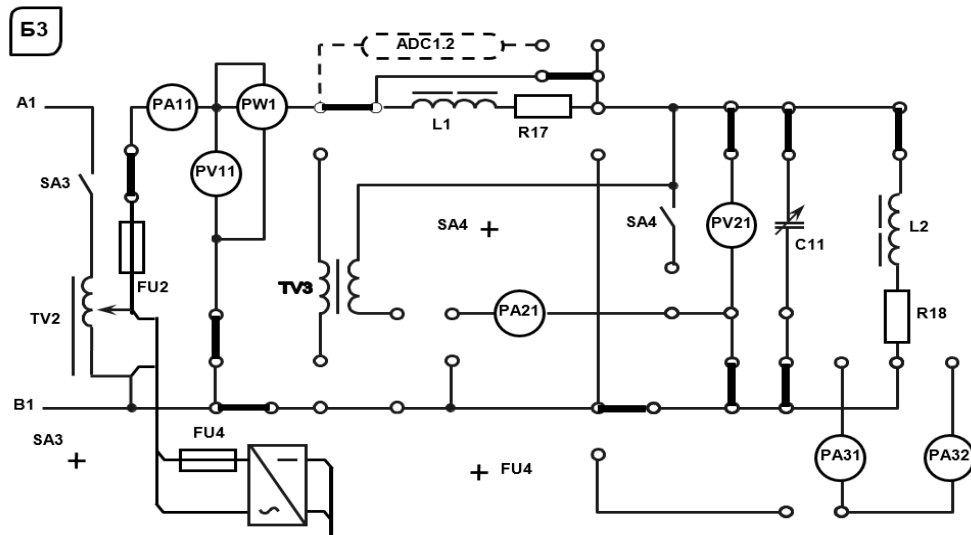


Рисунок 5.3 – Схема для экспериментального исследования резонанса токов

5.2 Основные теоретические сведения

5.2.1 Определение сопротивлений нагрузки для ЛЭП.

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

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

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

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

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

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

5.2.4 Расчет значения емкости C11, при котором в цепи наступит резонанс ТОКОВ:

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

где b_L – реактивная проводимость катушки индуктивности, См,

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

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

5.2.5 Построение графика зависимости $\eta = f(C11)$. Расчет η при различных значениях $C11$ необходимо осуществлять по формуле

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

где

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

q – активная проводимость нагрузки, См,

$$q = \frac{R_{18}}{Z_{L2}^2};$$

y – полная проводимость нагрузки, См,

$$y = \sqrt{\left(\frac{R_{18}}{Z_{L2}^2}\right)^2 + \left(\frac{X_{L2}}{Z_{L2}^2} - \omega \cdot C_2\right)^2};$$

P_2 – активная мощность, потребляемая нагрузкой, Вт,

$$P_2 = P - P_1 = P - I^2 \cdot (R_{17} + R_{K1});$$

P – показания ваттметра PW2, Вт.

5.3 Порядок выполнения лабораторной работы

5.3.1 Определить параметры схемы замещения катушки индуктивности. Зашунтировав ЛЭП и установив $U_{2н} = 110$ В, определить значения сопротивлений нагрузки X_{L2} , R_{18} , а также коэффициент мощности нагрузки $\cos \varphi_{2н}$.

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

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

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

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

5.3.6 Сделать выводы по результатам работы.

Содержание отчета

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

Контрольные вопросы

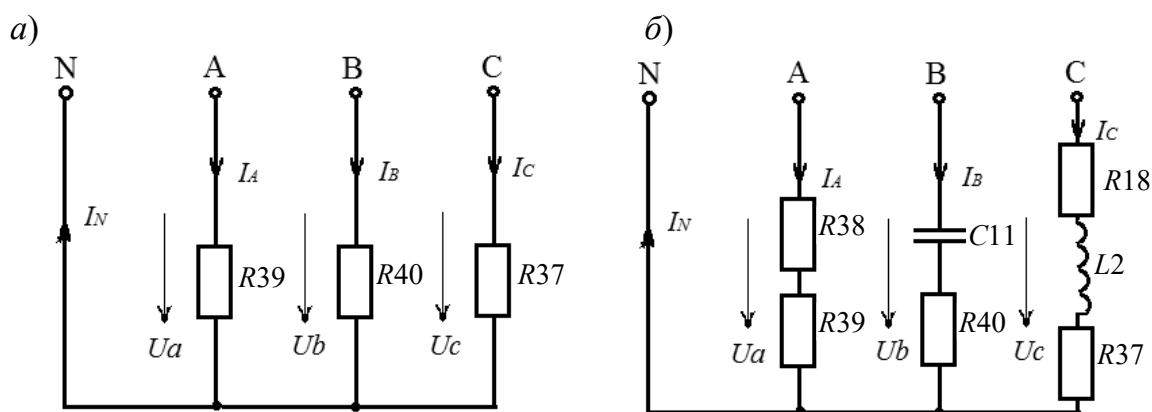
- 1 В какой цепи и при каких условиях возникает резонанс токов?
- 2 От каких параметров цепи зависит резонансная частота?

6 Лабораторная работа № 6. 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.

6.1 Исследуемые схемы

В лабораторной работе исследуются трехфазные схемы с симметричной (рисунок 6.1, а) и несимметричной (рисунок 6.1, б) нагрузками при наличии нейтрального провода и без него.



а – нагрузка симметричная; б – нагрузка несимметричная

Рисунок 6.1 – Исследуемые трехфазные схемы

6.2 Основные теоретические сведения

6.2.1 Исследование симметричной резистивной нагрузки при наличии нейтрального провода.

Для получения симметричной нагрузки $R37 = R39 = R40$ необходимо перемычками замкнуть следующие элементы: $R38$, $C11$, $L2$ и $R18$ (рисунок 6.2).

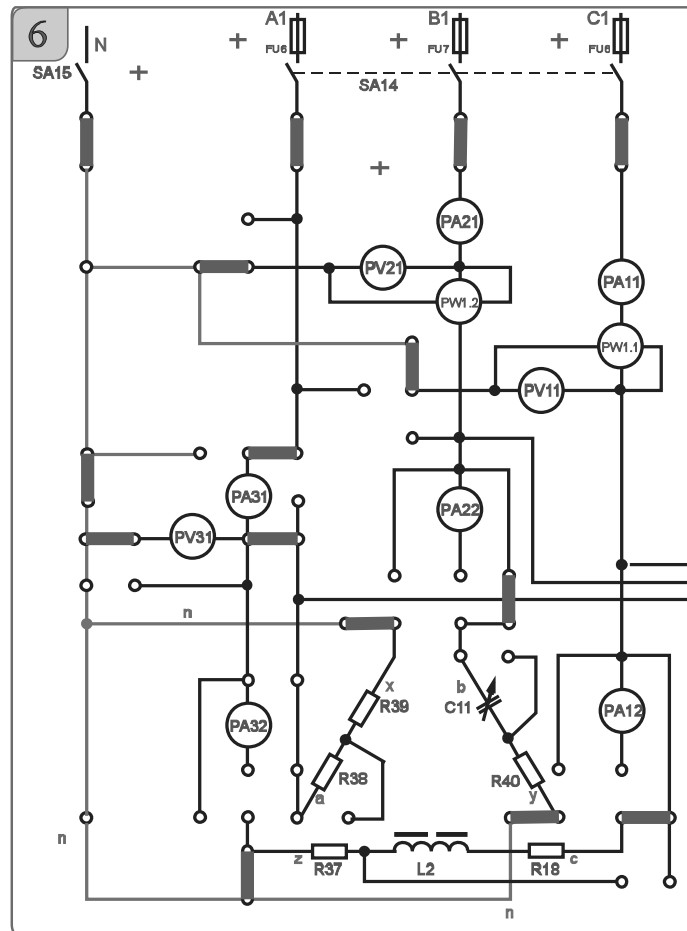


Рисунок 6.2 – Схема для экспериментального исследования трехфазной электрической цепи при соединении нагрузки звездой

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

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

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

$$Z_a = R38 + R39;$$

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

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

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 $R18=59$ Ом;

$X_{L2}=140$ 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

$$R38 = Z_c - R39.$$

6.2.3 Исследование несимметричной равномерной нагрузки с нейтральным проводом (общая точка ваттметров соединена с нейтралью).

В этом случае

$$\dot{U}_a = \dot{U}_b = \dot{U}_c; \quad \dot{I}_A = \frac{\dot{U}_a}{Z_a}; \quad \dot{I}_B = \frac{\dot{U}_b}{Z_b}; \quad \dot{I}_C = \frac{\dot{U}_c}{Z_c},$$

где $\dot{U}_a, \dot{U}_b, \dot{U}_c$ – фазные напряжения нагрузок,

$$\dot{U}_a = \dot{U}_A; \quad \dot{U}_b = \dot{U}_B; \quad \dot{U}_c = \dot{U}_C; \quad \dot{I}_a = \dot{I}_b = \dot{I}_c.$$

Ток в нейтральном проводе

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C.$$

6.3 Порядок выполнения лабораторной работы

6.3.1 Исследовать экспериментально симметричную нагрузку с нейтральным проводом, измерив фазные токи I_A , I_B , I_C , напряжения U_a, U_b, U_c , и мощность нагрузки P , а также ток в нейтральном проводе I_N . Заполнить таблицу 6.1 (симметричная нагрузка).

6.3.2 Рассчитать сопротивления фаз симметричной нагрузки (п. 6.2.1).

6.3.3 Рассчитать значения емкости C_{11} и сопротивления резистора R_{38} для обеспечения равномерной нагрузки (п. 6.2.2).

6.3.4 Исследовать равномерную нагрузку с нейтральным проводом, измерив фазные напряжения, мощность и ток в нейтральном проводе, подключив его тумблером SA15. Рассчитать комплексные значения токов в фазах А, В, С и определить ток в нейтральном проводе. Сравнить расчетные значения тока с экспериментальными. Заполнить таблицу 6.1 (равномерная нагрузка).

Таблица 6.1 – Результаты измерений

U_a , В	U_b (PV21), В	U_c (PV11), В	I_A , А	I_B (PA21), А	I_C (PA11), А	I_N (PA31), А	P , Вт
Симметричная нагрузка (эксперимент)							
Моделирование							
Равномерная нагрузка (эксперимент)							
Расчет							
Моделирование							

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

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

6.3.7 Сделать выводы по результатам работы.

Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать цель работы, схемы трехфазной цепи при симметричной и несимметричной нагрузках, основные расчетные формулы, результаты эксперимента, моделирования и расчета (см. таблицу 6.1), векторную диаграмму напряжений и токов, выводы по работе.

Контрольные вопросы

1 Каково назначение нулевого провода?

2 Как вычислять мощность, потребляемую трехфазной цепью при соединении приемников звездой?

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

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

7.1 Исследуемые схемы

В лабораторной работе исследуются трехфазные схемы с симметричной, несимметричной и равномерной нагрузками при соединении потребителей треугольником (рисунок 7.1).

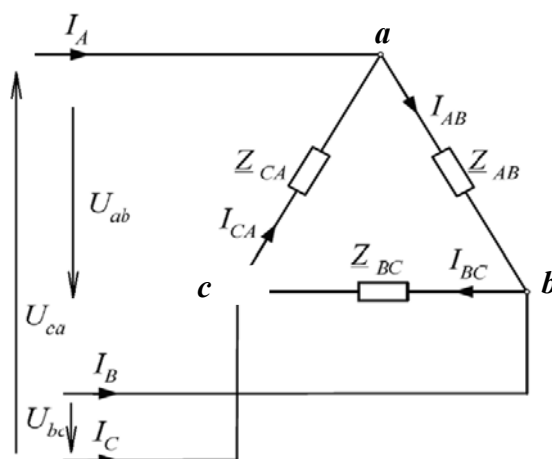


Рисунок 7.1 – Исследуемая трехфазная схема при соединении потребителей треугольником

7.2 Порядок выполнения лабораторной работы

7.2.1 Установить равномерную нагрузку во всех трех фазах (рисунок 7.2). Определить в активную мощность нагрузки и линейный ток в линии С нагрузки. Напряжение U_{ab} измерить прибором PV21, напряжение U_{bc} , U_{ac} – прибором PV11.

7.2.2 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:

$$\dot{I}_{AB} = \frac{\dot{U}_{AB}}{Z_{AB}}; \dot{I}_{BC} = \frac{\dot{U}_{BC}}{Z_{BC}}; \dot{I}_{CA} = \frac{\dot{U}_{CA}}{Z_{CA}}.$$

Линейные токи определяют по первому закону Кирхгофа:

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

Рисунок 7.2 – Трехфазная электрическая цепь при соединении нагрузки треугольником

Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать цель работы, схему трехфазной цепи, основные расчетные формулы, результаты эксперимента, моделирования и расчета, векторную диаграмму напряжений и токов, выводы по работе.

Контрольные вопросы

1 Расчет трехфазной цепи переменного тока при соединении треугольником с симметричной нагрузкой.

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

8 Лабораторная работа № 8. 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.

8.1 Основные теоретические сведения

Схема для исследования переходного процесса зарядки конденсатора $C12$ при ограничении тока с помощью сопротивления $R1$ приведена на рисунке 8.1.

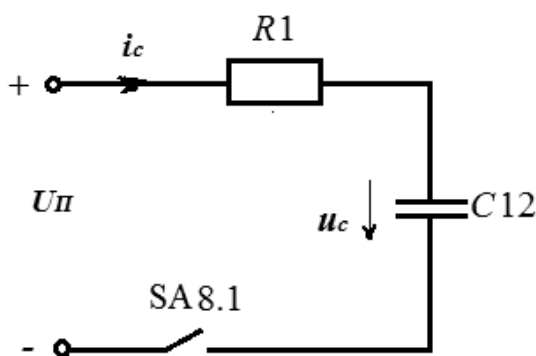


Рисунок 8.1 – Исследуемая схема зарядки конденсатора

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

$$U_{\text{пит}} = R \cdot C \cdot \frac{du_c}{dt} + U_c.$$

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

$$U_c = U_{\text{пит}} \cdot (1 - e^{-t/\tau}),$$

где $\tau = R1 \cdot C12$;

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

8.2 Исследуемые схемы

Схема для экспериментального исследования процесса заряда конденсатора представлена на рисунке 8.2.

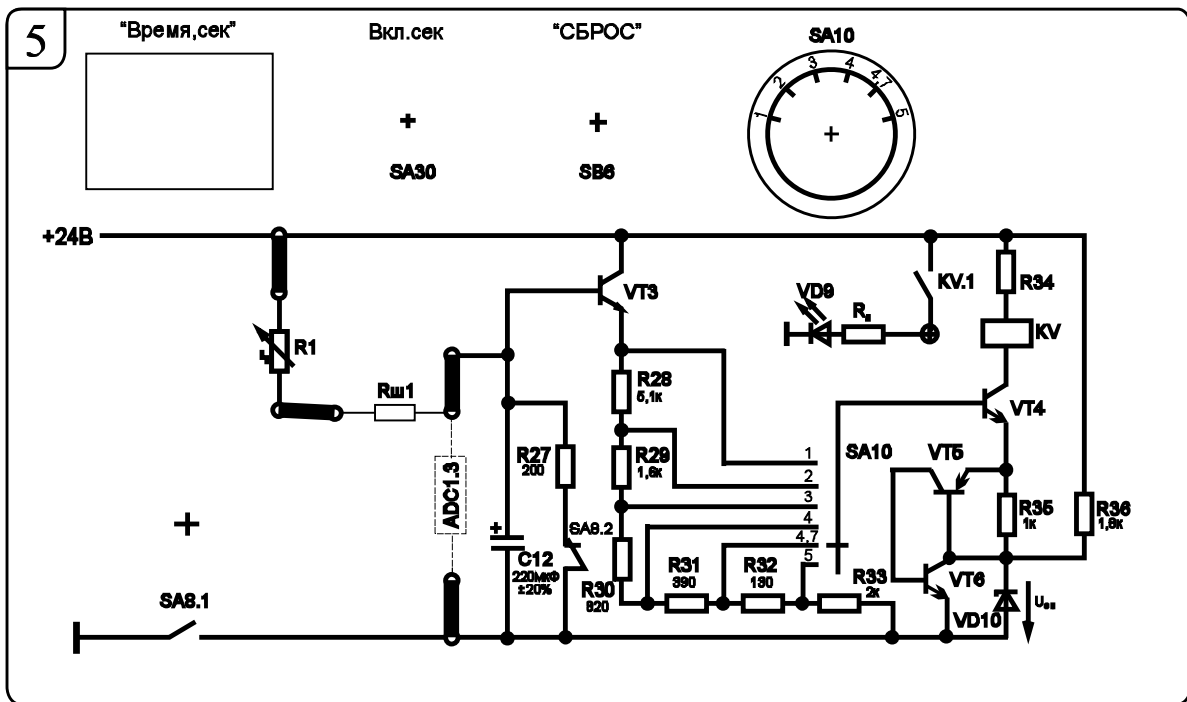


Рисунок 8.2 – Схема для экспериментального исследования процесса заряда конденсатора

Схема представляет собой компаратор, который фиксирует момент достижения конденсатором определенного напряжения и срабатывает в зависимости от положения переключателя SA10 при $1 \cdot U_{on}$, $2 \cdot U_{on}$, $3 \cdot U_{on}$, $4 \cdot U_{on}$, $4,7 \cdot U_{on}$, $5 \cdot U_{on}$ в вольтах. Таким образом, напряжение на емкости определяют как

$$U_C = N \cdot U_{on} + 0,6,$$

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

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

Напряжение на эмиттере транзистора VT3 определяют как

$$U_{ЭVT3} = U_C - U_{БЭVT3} = U_C - 0,6.$$

8.3 Порядок выполнения лабораторной работы

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

8.3.1 Собрать схему, приведенную на рисунке 8.2.

8.3.2 Установить заданное преподавателем сопротивление $R1$ в блоке 8.

8.3.3 Тумблером SA30 включить секундомер.

8.3.4 Сбросить значение секундомера в нулевые показания кнопкой SB6.

8.3.5 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 8.1.

Таблица 8.1 – Результаты измерений

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

8.3.6 Выключить тумблер SA8.1.

8.3.7 Сбросить показания секундомера кнопкой SB6.

8.3.8 Провести остальные опыты аналогично (пп. 8.3.5–8.3.7) для всех остальных положений тумблера SA10.

8.3.9 Для полученных значений t рассчитать напряжения на конденсаторе и сравнить с экспериментальными. Данные расчетов занести в таблицу 8.1.

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

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

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

8.3.13 Сделать выводы по результатам работы.

Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать цель работы, схему исследования процесса заряда конденсатора, основные расчетные формулы, результаты эксперимента, моделирования и расчета (см. таблицу 8.1), графики заряда конденсатора с определенной постоянной времени, выводы по работе.

Контрольные вопросы

1 Расчет переходного процесса зарядки конденсатора от источника постоянного напряжения.

2 Порядок измерения напряжения при зарядке конденсатора компенсационным методом.

9 Лабораторная работа № 9. Определение параметров и основных характеристик однофазного трансформатора

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

9.1 Основные теоретические сведения

Трансформатор – это статический (неподвижный) электромагнитный аппарат, предназначенный для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения той же частоты (рисунок 9.1).

На замкнутом сердечнике, собранном из листовой стали, расположены две изолированные обмотки. К одной из них с числом витков W_1 подводится электрическая энергия от источника переменного тока. Эта обмотка носит название первичной. От другой, вторичной, обмотки с числом витков W_2 , энергия отводится к нагрузке.

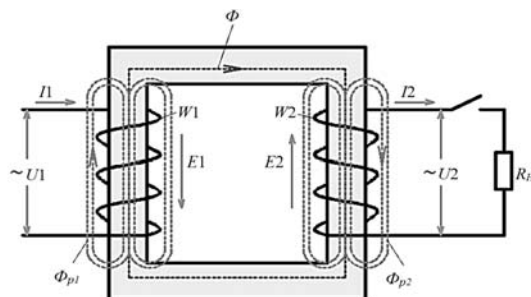


Рисунок 9.1 – Схема трансформатора

Действие трансформатора основано на явлении электромагнитной индукции. При подключении первичной обмотки к источнику переменного тока в витках этой обмотки протекает переменный ток i_1 , который создает в магнитопроводе переменный магнитный поток Φ . Замыкаясь в магнитопроводе, этот поток пронизывает обе обмотки, индуцируя в них ЭДС:

$$e_1 = -W_1 \frac{d\Phi}{dt}; \quad e_2 = -W_2 \frac{d\Phi}{dt}.$$

Значения ЭДС e_1 и e_2 могут отличаться друг от друга в зависимости от числа витков в обмотках. Применяя обмотки с различным соотношением витков, можно изготовить трансформатор на любое отношение напряжений.

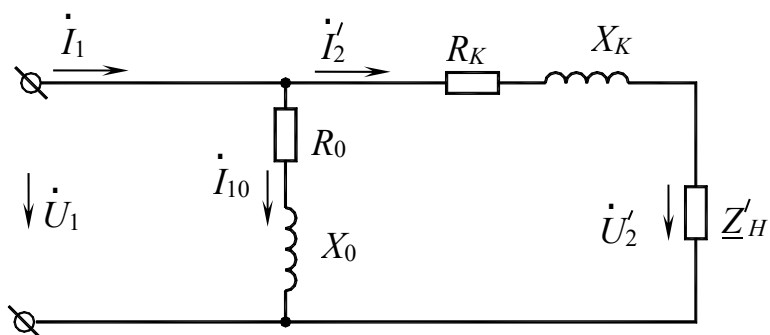
Отношение ЭДС первичной обмотки трансформатора к ЭДС вторичной его обмотки, равное отношению соответствующих чисел витков обмоток, называют коэффициентом трансформации трансформатора:

$$n = E_1 / E_2 = W_1 / W_2.$$

При подключении ко вторичной обмотке нагрузки Z_H в цепи потечет ток i_2 и на выводах вторичной обмотки установится напряжение u_2 .

Схема замещения трансформатора представлена на рисунке 9.2.

Схема опыта холостого хода представлена на рисунке 9.3.



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 9.2 – Схема замещения однофазного трансформатора

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

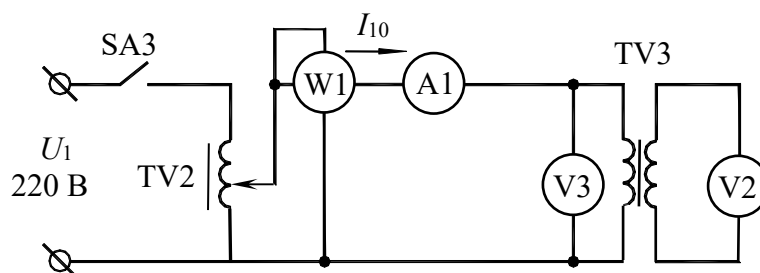


Рисунок 9.3 – Опыт холостого хода трансформатора

Показания приборов PW1, PA1, PV3, PV2 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 9.4.

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):

$$R_1 = R'_2 = \frac{R_K}{2}; \quad X_1 = X'_2 = \frac{X_K}{2}; \quad R_2 = \frac{R'_2}{n^2}; \quad X_2 = \frac{X'_2}{n^2}.$$

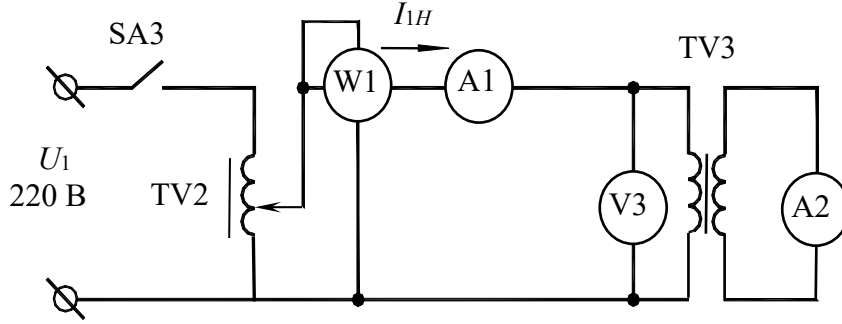


Рисунок 9.4 – Опыт короткого замыкания трансформатора

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, $U_{к.р.} \% = \frac{I_{1H} X_K}{U_{1H}} 100 \%$.

9.2 Исследуемые схемы

Для определения параметров схемы замещения трансформатора $U_2 = f(\beta)$ проводят опыты холостого хода (SA4 выключен) и короткого замыкания (SA4 включен) (рисунок 9.5).

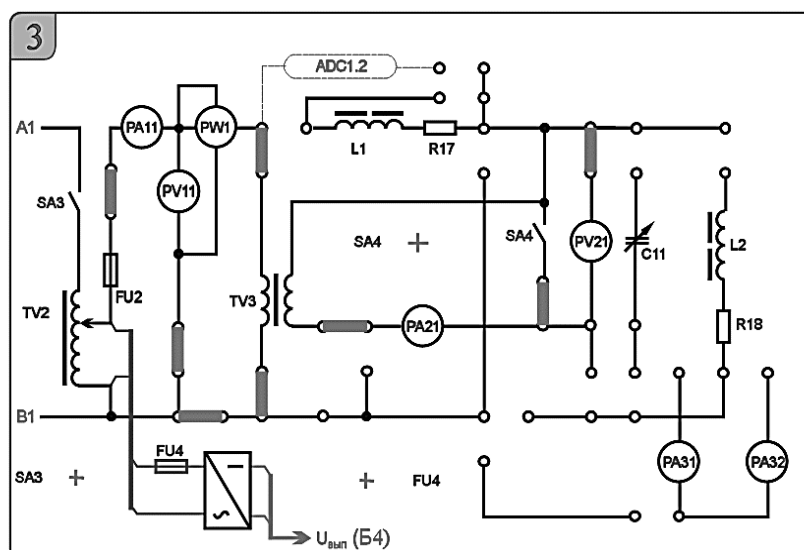


Рисунок 9.5 – Схема исследования трансформатора в режиме холостого хода и короткого замыкания

Исследование однофазного трансформатора производится по схеме, представленной на рисунке 9.6.

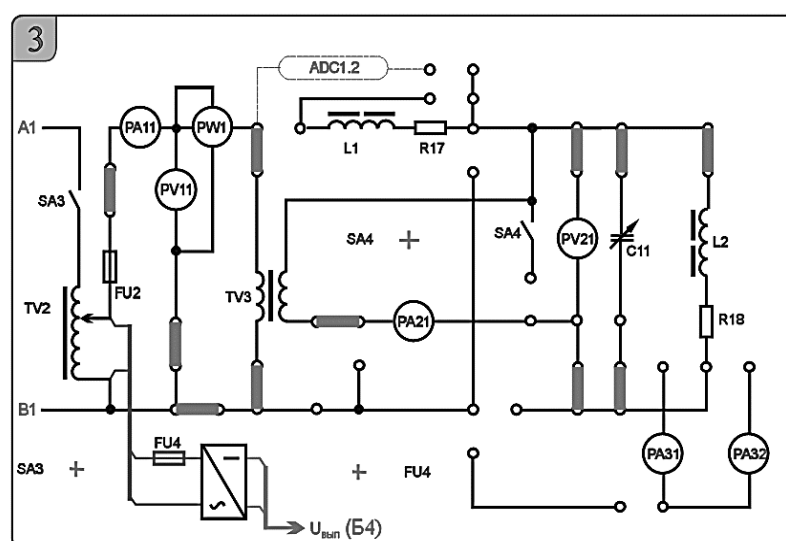


Рисунок 9.6 – Схема исследования однофазного трансформатора

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

Исследуется и строится внешняя характеристика трансформатора при различном характере и величине нагрузки. Характер нагрузки изменяется при различных значениях емкости конденсатора C11.

Изучаются методы повышения коэффициента мощности нагрузки и КПД трансформатора.

9.3 Порядок выполнения лабораторной работы

9.3.1 Собрать схему, приведенную на рисунке 9.5, для проведения опыта холостого хода.

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

9.3.3 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}) и занести их в таблицу 9.1.

Таблица 9.1 – Показания приборов в опыте холостого хода трансформатора

Экспериментальные данные				Расчетное значение					
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									

9.3.4 Рассчитать параметры трансформатора в режиме холостого хода и занести их в таблицу 9.1.

9.3.5 Собрать схему, приведенную на рисунке 9.5, для проведения опыта короткого замыкания.

9.3.6 Снять параметры короткого замыкания, для чего включить тумблеры SA4 и SA3, установив во вторичной обмотке трансформатора TV3 ток 0,8 А (по прибору PA21). Снять показания приборов PA11 (I_{1H}), PV11 (U_{1K}), PW1 (P_K) и занести их в таблицу 9.2.

Таблица 9.2 – Показания приборов в опыте короткого замыкания

Экспериментальные данные				Расчетное значение					
U_{1K} , В (PV11)	I_{1H} , А (PA11)	P_K , Вт (PW1)	U_2 , В (PV21)	S , В·А	Z_K , Ом	X_K , Ом	R_K , Ом	$\cos \varphi$	φ , град
	0,8								

9.3.7 Рассчитать параметры трансформатора в режиме короткого замыкания и холостого хода и занести их в таблицу 9.2.

9.3.8 Измерить вторичное напряжение при нагрузке R_{18} , L_2 (см. рисунок 9.6).

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

9.3.10 Осуществить моделирование работы трансформатора в среде Multisim (рисунок 9.7), используя параметры схемы замещения (см. таблицы 9.1 и 9.2). В режиме холостого хода разомкнуть ключ Q и S. В режиме короткого замыкания ключ Q замкнут (напряжение на первичной обмотке изменить на U_K).

Сравнить результаты моделирования с расчетными значениями и результатами эксперимента.

9.3.11 Сделать выводы по результатам работы.

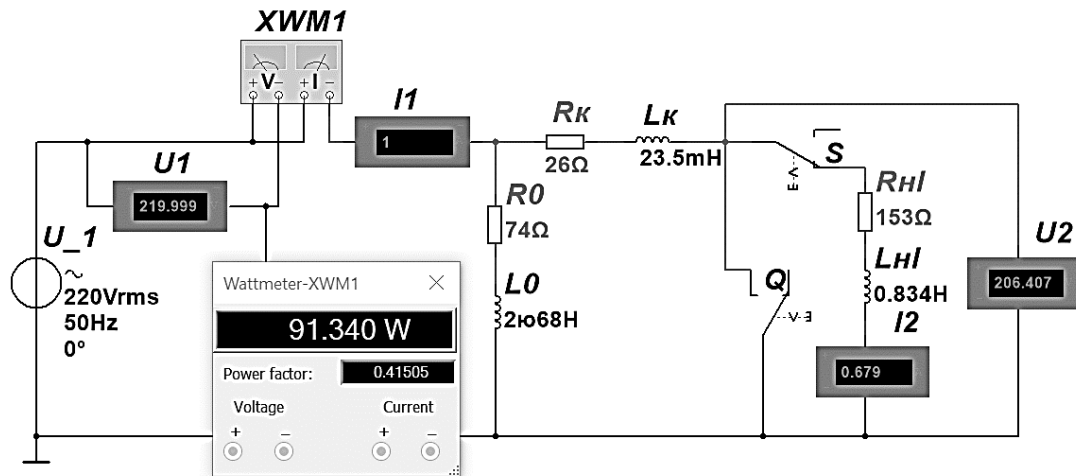


Рисунок 9.7 – Моделирование работы трансформатора в среде Multisim

Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать цель работы, схему трансформатора в режиме холостого хода и короткого замыкания, основные расчетные формулы, результаты эксперимента и расчета (см. таблицы 9.1 и 9.2), 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.
- 3 Опишите моделирование работы трансформатора в среде Multisim.

10 Лабораторная работа № 10. Исследование асинхронного трехфазного двигателя с короткозамкнутым ротором

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

10.1 Основные теоретические сведения

Наибольшее применение в промышленности получили трехфазные асинхронные двигатели.

Основными частями АД являются статор и ротор, отделенные друг от друга воздушным зазором (0,3...0,5 мм). Их сердечники собраны из листов электротехнической стали. На внутренней части поверхности статора и на внешней ротора выштампованы пазы, в которые уложены обмотки. Сердечник статора помещен в корпус, на котором закреплены клеммы статорной обмотки, состоящей из трех отдельных катушек, сдвинутых в пространстве на 120°. Сердечник

ротора укреплен непосредственно на валу двигателя или на ступице, надетой на вал.

Обмотка ротора чаще всего выполняется короткозамкнутой в виде «беличьего колеса», состоящего из стержней и замыкающих их на торцах колец.

Принцип действия АД основан на взаимодействии вращающегося магнитного поля статора (неподвижная часть машины) с токами, индуцируемыми в роторе (подвижная ее часть).

Частота вращающегося магнитного поля статора

$$n_0 = 60f / p,$$

где f – 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 $n_s = n_0 - n$, а ее отношение к частоте n_0 – скольжением S , т. е.

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

Диапазон изменения скольжения в асинхронном двигателе $1 \geq S \geq 0$; при пуске $S = 1$, при холостом ходе $S = 0,001 \dots 0,005$, при номинальной нагрузке $S = 0,03 \dots 0,07$.

Одной из основных характеристик АД является механическая характеристика. 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, $M_K = \lambda \cdot M_H$;

λ – коэффициент перегрузки двигателя, $\lambda = 1,5 \dots 2,5$;

M_H – 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, $S_H = \frac{n_0 - n_H}{n_0}$;

p – число пар полюсов двигателя.

Вращающий момент двигателя также можно определить через параметры схемы замещения:

$$M = \frac{3U_{1\phi}^2 R'_2}{\omega_0 S \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{S} \right)^2 + (X_1 + X'_2)^2 \right]},$$

где $U_{1\phi}$ – фазное напряжение двигателя;

ω_0 – угловая частота вращения магнитного поля статора двигателя,

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{p};$$

R_1 – активное сопротивление обмотки отдельной фазы статора двигателя;

R'_2 – приведенное активное сопротивление отдельной фазы обмотки ротора, $R'_2 = n^2 R_2$;

X_1 – индуктивное сопротивление отдельной фазы обмотки статора;

X'_2 – приведенное индуктивное сопротивление отдельной фазы обмотки ротора, $X'_2 = n^2 X_2$;

n – коэффициент трансформации асинхронного двигателя.

Приведенное значение тока ротора $I'_2 = I_1$ определяют из выражения вида

$$I_1 = I'_2 = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{S}\right)^2 + (X_1 + X'_2)^2}}.$$

Из последних двух выражений следует, что при снижении напряжения $U_{1\phi}$ момент двигателя изменяется пропорционально $U_{1\phi}^2$, а ток – $U_{1\phi}$.

Расчет КПД двигателя производится следующим образом:

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

где P_2 – мощность на валу двигателя,

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

M – текущее значение момента на валу двигателя;

n_2 – текущее значение частоты вращения двигателя;

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

Коэффициент мощности двигателя

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

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

10.2 Исследуемая схема

Для выполнения лабораторной работы собирается схема, представленная на рисунке 10.1.

Паспортные данные асинхронного двигателя.

Тип АИР56А4УЗ; $P_H = 0,12$ кВт; $\eta_H = 58 \%$; $\cos \varphi = 0,66$; $n_H = 1350$ мин⁻¹; $I_H = 0,44$ А; $U_H = 220$ В; $\lambda = M_K/M_H = 2,2$; $K_i = I_{\Pi}/I_H = 5$; $K_{\Pi} = M_{\Pi}/M_H = 1,2$.

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.

10.3 Порядок выполнения лабораторной работы

10.3.1 Рассчитать по паспортным данным номинальный ток двигателя и номинальный момент.

Номинальный момент двигателя

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

При номинальной частоте вращения и пониженном напряжении питания

$$M'_H = \frac{M_H}{3}; I'_H = \frac{I_H}{\sqrt{3}},$$

где M'_H – момент при снижении напряжения в $\sqrt{3}$ раз;

I'_H – ток в обмотке статора при снижении напряжения в $\sqrt{3}$ раз.

10.3.2 Собрать схему, приведенную на рисунке 10.1.

10.3.3 Установить тумблер SA17 в положение Y.

10.3.4 Резистор R43 установить в положение «min».

10.3.5 Тумблер SA21 должен находиться в положении «ВКЛ».

10.3.6 Включить стенд автоматическими выключателями QF1, QF2, QF3.

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

10.3.8 Включить измеритель скорости тумблером SA18.

10.3.9 Включить тумблер SA14. 10 Нажать на кнопку SB3 для подключения асинхронного двигателя к сети через пускатель KM2.

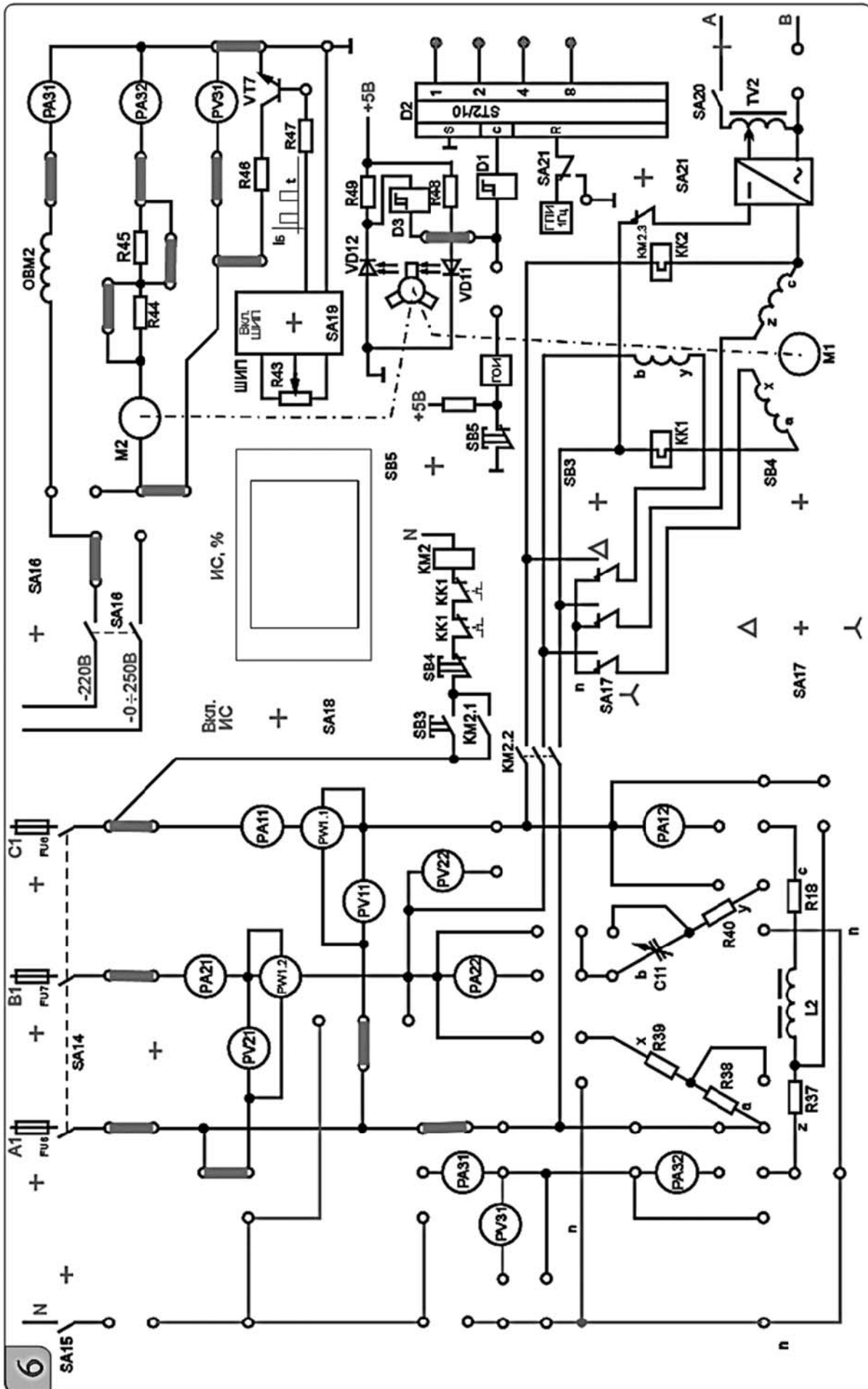


Рисунок 10.1 – Схема исследования трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

10.3.10 Для нагрузки используется генератор постоянного тока ПЛ-062.

10.3.11 Для подключения обмотки возбуждения включить тумблер SA16.

10.3.12 Включить ШИП при помощи тумблера SA19.

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

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

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

10.3.16 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 10.1.

Таблица 10.1 – 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
1					
2					
3					
4					
5					

10.3.17 Считая, что к валу АД была приложена номинальная нагрузка для номинального режима, определить M_0 по экспериментальным данным п. 10.3.16.

$$M_0 = M'_H - M_{\Gamma} = M'_H - C_M \Phi \cdot I_{ЯГ},$$

где M_0 – статический момент нагрузки холостого хода;

M_{Γ} – момент генератора постоянного тока;

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

$C_M \Phi$ – магнитная постоянная нагрузочного генератора,

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

10.3.18 Рассчитать для каждой нагрузки момент на валу M , КПД, скольжение S , полную мощность двигателя S_1 , мощность на валу P_2 и $\cos \varphi$. Данные расчетов занести в таблицу 10.2.

10.3.19 По результатам измерений и расчетов построить:

– механическую характеристику $M = f(S)$;

– рабочие характеристики $\eta = f(P_2)$ и $\cos \varphi = f(P_2)$.

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

Таблица 10.2 – Результаты расчета

Номер опыта	S	M , Н·м	P_2 , Вт	η , %	S_1 , В·А	$\cos \varphi$
1						
2						
3						
4						
5						

10.3.21 Сделать выводы по результатам работы.

Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать цель работы, основные расчетные формулы асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, результаты эксперимента и расчета (см. таблицы 10.1 и 10.2), 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 трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

2 Механическая характеристика трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

3 Рабочие характеристики трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

11 Лабораторная работа № 11. Снятие характеристик полупроводникового диода и стабилитрона

Цель работы: изучение принципа функционирования, характеристик и параметров выпрямительных диодов и стабилитронов.

11.1 Основные теоретические сведения

Полупроводниковый прибор, который имеет два электрода и один p – n -переходов (или несколько), называется диодом.

На рисунке 11.1, *а* приведено условное графическое обозначение полупроводникового диода на электрических схемах, на рисунке 11.1, *б* – его структура. Электрод диода, подключенный к области p , называют анодом, а электрод, подключенный к области n , – катодом.

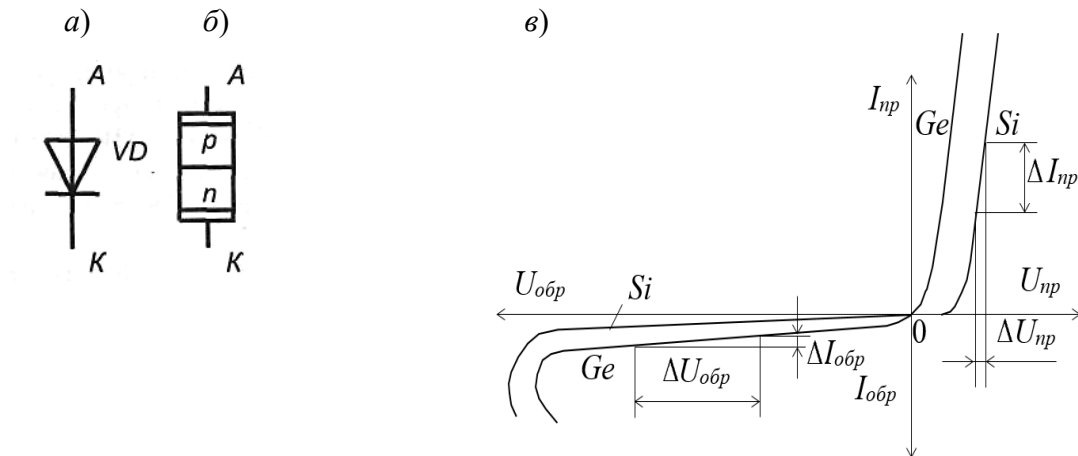


Рисунок 11.1 – Условное обозначение (а), структура (б) и статическая вольт-амперная характеристика (в) полупроводникового диода

Стабилитрон – это сильно легированный кремниевый диод, на котором напряжение сохраняется с определенной точностью при изменении протекающего через него тока в заданном диапазоне. Стабилитроны в основном используют в параметрических стабилизаторах напряжения (рисунок 11.2, а), в которых максимальное напряжение на нагрузке U_H ограничено некоторой заданной величиной.

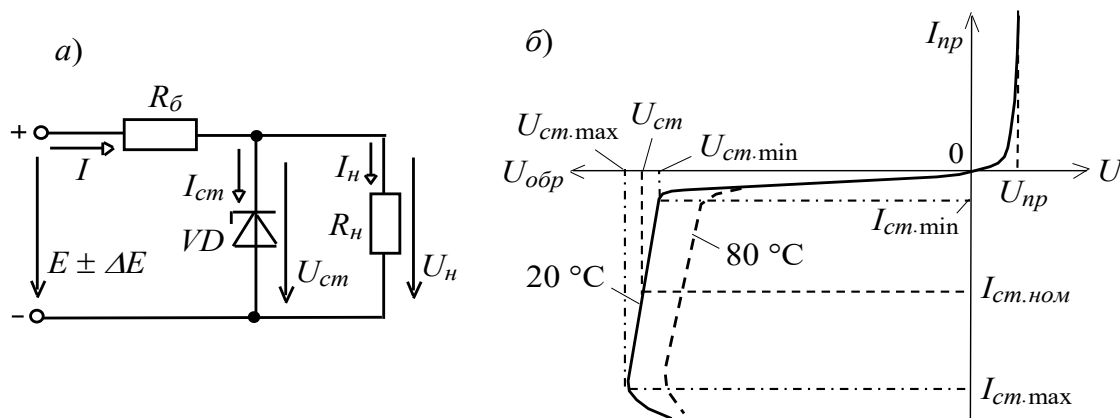


Рисунок 11.2 – Параметрический стабилизатор (а) и статическая вольт-амперная характеристика (б) стабилитрона

Сопротивление балластного резистора определяют по формуле

$$R_{\text{б}} = \frac{E_{\text{ср}} - U_{\text{см}}}{I_{\text{см.ср}} + I_H},$$

где $E_{\text{ср}}$, $I_{\text{см.ср}}$ – средние значения ЭДС входного источника напряжения и тока стабилизации соответственно.

11.2 Порядок выполнения работы

11.2.1 Для заданных преподавателем диодов выписать из справочника их основные параметры.

11.2.2 Для построения вольт-амперной характеристики (ВАХ) диода в программе Multisim собрать схему, указанную на рисунке 11.3. Осуществить моделирование ее работы, изменяя ЭДС источников питания.

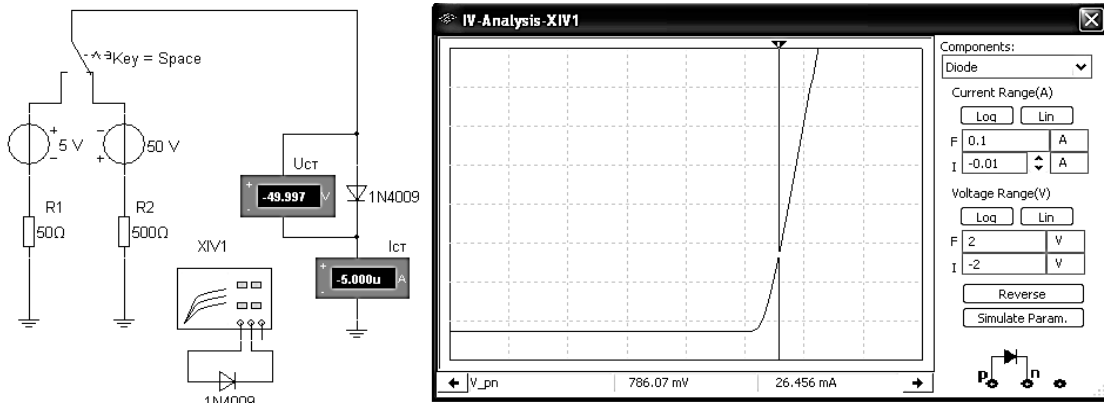


Рисунок 11.3 – Схема для снятия ВАХ в среде Multisim

Диод выбирается из библиотеки элементов согласно заданию и подключается к источнику постоянного напряжения. Для снятия обратной ветви ВАХ с помощью ключа меняется полярность источника ЭДС.

ВАХ можно получить с помощью характериографа XIV1.

11.2.3 По полученным ВАХ диода определить:

– прямое статическое сопротивление при токе, равном $0,5 I_{np \max}$,

$$R_{np} = \frac{U_{np}}{I_{np}};$$

– обратное статическое сопротивление при напряжении, равном половине от $U_{обр \max}$,

$$R_{обр} = \frac{U_{обр}}{I_{обр}};$$

– прямое дифференциальное сопротивление диода

$$R_{диф} = \frac{\Delta U_{np}}{\Delta I_{np}}.$$

Результаты занести в таблицу 11.1.

Таблица 11.1 – Результаты измерений и вычислений

Результат измерения						Результат вычисления		
U_{np} , В	I_{np} , мА	$U_{обр}$, В	$I_{обр}$, мА	ΔU_{np} , В	ΔI_{np} , мА	R_{np} , Ом	$R_{обр}$, Ом	$R_{диф}$, Ом

11.2.4 На основании заданного типа стабилитрона, параметров источника входного напряжения ($E_{\min}$, $E_{\max}$), параметров нагрузки (U_H , R_H) необходимо рассчитать сопротивление балластного резистора R_{δ} (см. рисунок 11.2). Заполнить таблицы 11.2 и 11.3.

Таблица 11.2 – Параметры стабилитрона

Данные	$U_{cm \text{ ном}}, \text{ В}$	$U_{cm \text{ min}}, \text{ В}$	$U_{cm \text{ max}}, \text{ В}$	$I_{cm \text{ min}}, \text{ мА}$	$I_{cm \text{ max}}, \text{ мА}$	$I_{cm \text{ ср}}, \text{ мА}$	$R_{\text{диф}}, \text{ Ом}$
Паспортные данные							
Моделирование							

Таблица 11.3 – Параметры параметрического стабилизатора

$E_{\min}, \text{ В}$	$E_{\max}, \text{ В}$	$E_{\text{ср}}, \text{ В}$	$R_H, \text{ Ом}$	$I_H, \text{ мА}$	$U_{cm}, \text{ В}$	$I_{cm}, \text{ мА}$	$R_{\delta}, \text{ Ом}$

11.2.5 Получить вольт-амперную характеристику стабилитрона (ВАХ) в программе Multisim с помощью характериографа XIV1 (рисунок 11.4). Стабилитрон выбирается из библиотеки элементов согласно заданию.

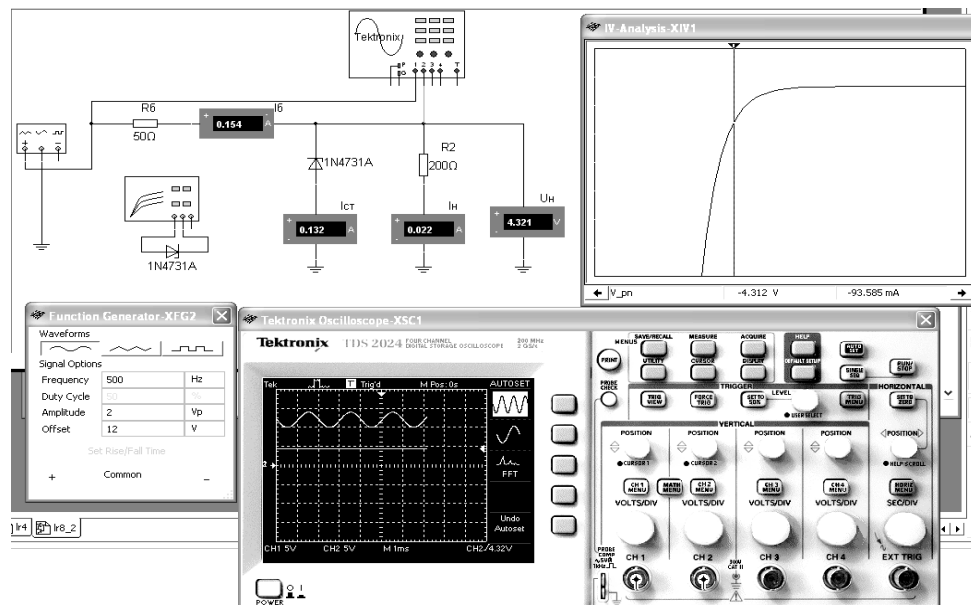


Рисунок 11.4 – Схема для снятия ВАХ стабилитрона и исследования параметрического стабилизатора напряжения в среде Multisim

11.2.6 По полученным ВАХ стабилитрона определить U_{cm} , I_{cm} , дифференциальное сопротивление стабилитрона на участке стабилизации $R_{\text{диф}}$.

11.2.7 На основании выбранных элементов схемы параметрического стабилизатора напряжения осуществить моделирование его работы (см. рисунок 11.4). Входное напряжение формируется функциональным генератором XFG2, напряжения и токи в схеме отображаются с помощью виртуальных вольтметров, амперметров и осциллографа Tektronix-XSC1.

11.2.8 Сделать выводы по результатам работы.

Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать цель работы, схемы для моделирования работы выпрямительного диода и параметрического стабилизатора напряжения в среде Multisim, вольт-амперные характеристики диодов и стабилитрона, полученные в результате моделирования, основные параметры диода, стабилитрона, параметрического стабилизатора в виде таблиц, выводы по работе.

Контрольные вопросы

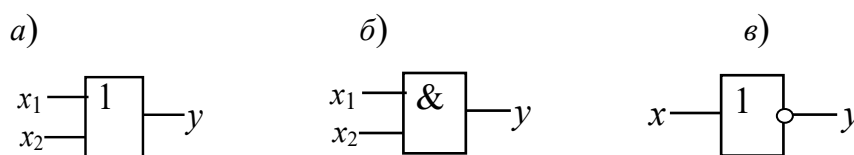
- 1 Приведите основные параметры выпрямительного диода и стабилитрона.
- 2 Опишите порядок получения ВАХ диода и стабилитрона по результатам моделирования и экспериментально.
- 3 Как по ВАХ определить статические и динамические сопротивления диода и стабилитрона?

12 Лабораторная работа № 12. Исследование работы логических элементов и триггеров

Цель работы: изучение принципа функционирования и характеристик логических элементов и триггеров.

12.1 Основные теоретические сведения

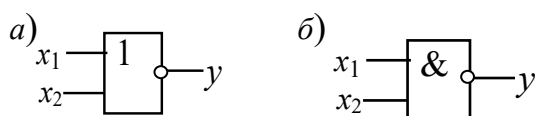
В ЭВМ, импульсных и других цифровых устройствах широко применяются логические элементы. Каждый логический элемент выполняет вполне определенную логическую операцию. Основными логическими операциями являются: логическое отрицание НЕ (инверсия), логическое сложение ИЛИ (дизъюнкция), логическое умножение И (конъюнкция) (рисунок 12.1).



a – элемент ИЛИ; *б* – элемент И; *в* – элемент НЕ

Рисунок 12.1 – Условное графическое обозначение логических элементов

К базовым логическим элементам относятся элементы Пирса и Шеффера (рисунок 12.2). На основе этих простых операций могут строиться и более сложные. Для описания логических операций используется алгебра логики. Алгебра логики широко применяется в теории цифровой техники, в которой используются устройства, имеющие два устойчивых состояния равновесия. При этом одно из состояний, соответствующее, например, высокому уровню напряжения, обозначается единицей, а соответствующее низкому уровню напряжения – нулем.



a – элемент ИЛИ-НЕ; b – элемент И-НЕ

Рисунок 12.2 – Условное графическое обозначение логических элементов

Триггер – это устройство последовательного типа с двумя устойчивыми состояниями равновесия, предназначенное для записи и хранения информации. Под действием входных сигналов триггер может переключаться из одного устойчивого состояния в другое. При этом напряжение на его выходе скачкообразно изменяется с низкого уровня на высокий или наоборот.

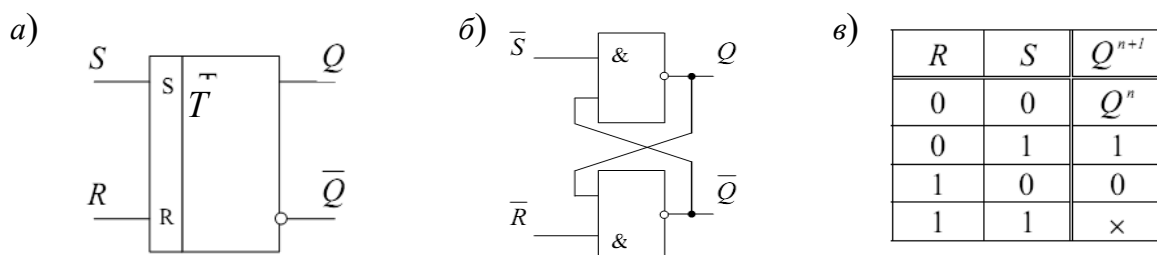
Как правило, триггер имеет два выхода: прямой Q и инверсный $\bar{Q}$. Число входов зависит от структуры и функций, выполняемых триггером. Например, асинхронные RS -триггеры имеют два входа: вход S установки в единичное состояние прямого выхода Q и вход R установки в нулевое состояние выхода Q . Синхронные триггеры для занесения в них информации, помимо информационных входов S (J) и R (K), имеют синхронизирующий C или счетный T вход, а триггеры задержки – информационный вход D .

Наибольшее распространение в цифровых устройствах получили триггеры RS (рисунок 12.3), D (рисунок 12.4), T (рисунок 12.5) и JK (рисунок 12.6).

Схемотехнически RS -триггер может быть реализован на элементах 2ИЛИ-НЕ (см. рисунок 12.3, b) и 2И-НЕ с использованием перекрестных положительных обратных связей. В триггере на элементах 2И-НЕ изменение состояния происходит при низких уровнях сигналов S и R .

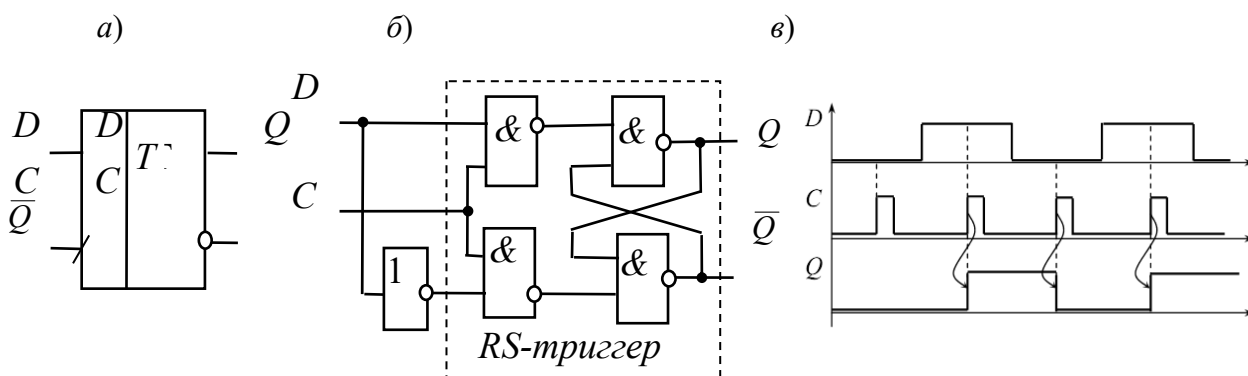
Отличительной особенностью D -триггера (триггера задержки) является то, что он сохраняет информацию, поступившую на D -вход в предыдущем такте работы до прихода синхроимпульса, т. е. его состояние может изменяться с задержкой на один такт. Условное обозначение D -триггера с синхронизацией по переднему фронту и диаграммы его работы показаны на рисунке 12.4.

T -триггеры иначе называются счетными и применяются для построения счетчиков и делителей частоты. Такой триггер имеет один тактовый вход и его состояние меняется каждый раз при подаче счетного импульса $T = 1$ и остается неизменным при $T = 0$. Таблица состояния триггера, его обозначение и диаграммы работы приведены на рисунке 12.5.



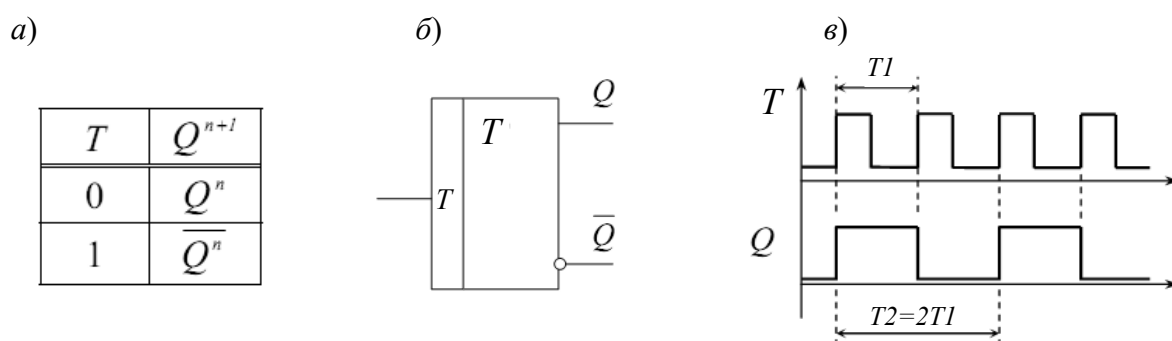
a – условное графическое изображение; b – схема реализации RS -триггера на базовых элементах И-НЕ; c – таблица истинности

Рисунок 12.3 – Асинхронный RS -триггер



a – условное графическое изображение; *б* – схема реализации *D*-триггера на базовых элементах И-НЕ; *в* – временная диаграмма, иллюстрирующая работу триггера

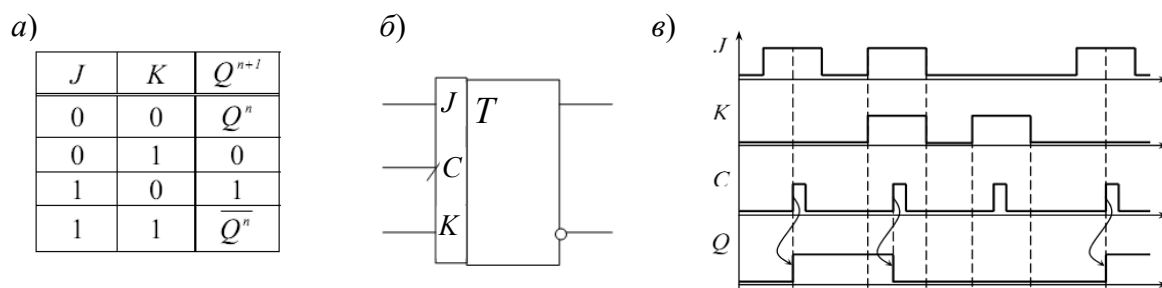
Рисунок 12.4 – *D*-триггер



a – таблица истинности; *б* – условное графическое изображение; *в* – временная диаграмма, иллюстрирующая работу триггера

Рисунок 12.5 – *T*-триггер

JK-триггер имеет два управляющих входа *J* (jump) и *K* (keep) и функционирует подобно *RS*-триггеру, но при этом не имеет запрещенных комбинаций управляющих сигналов. *J*-вход подобен *S*-входу, а *K*-вход подобен *R*-входу. При всех комбинациях сигналов на входе, кроме $J = K = 1$, он действует подобно *RS*-триггеру. При $J = K = 1$ в каждом такте происходит «опрокидывание» триггера и его состояние меняется на противоположное (см. рисунок 12.6, *a*). На рисунке 12.6, *б*, *в* показаны условное обозначение *JK*-триггера с синхронизацией по переднему фронту и его временные диаграммы работы.



a – таблица истинности; *б* – условное графическое изображение; *в* – временная диаграмма, иллюстрирующая работу триггера

Рисунок 12.6 – *JK*-триггер

12.2 Порядок выполнения работы

12.2.1 В программе Multisim собрать схему для испытания основных и базовых логических элементов (рисунок 12.7) 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. 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 12.1.

12.2.2 По заданию преподавателя исследовать работу трех логических элементов одной из серий интегральных микросхем (рисунок 12.8), предварительно выписав из справочника их параметры и условное обозначение. Составить таблицу истинности для данных элементов.

12.2.3 В программе Multisim собрать схему исследования RS-триггера на логических элементах И-НЕ заданной преподавателем серии (рисунок 12.9).

Таблица 12.1 – 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	

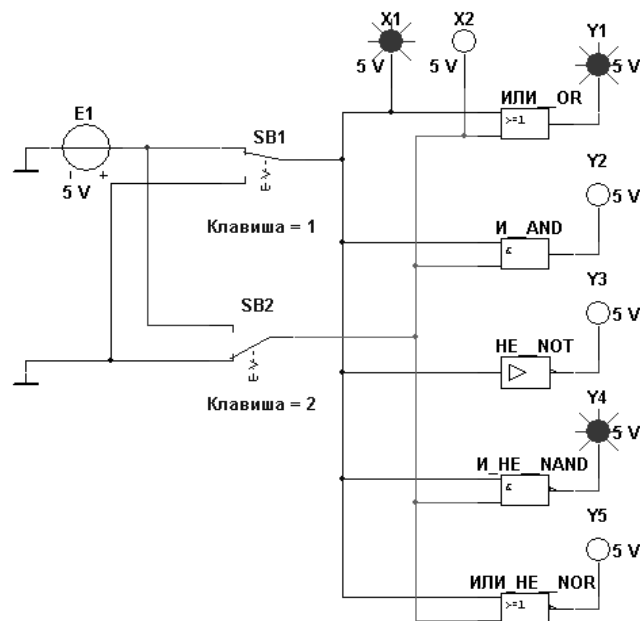


Рисунок 12.7 – Схема для исследования основных и базовых логических элементов

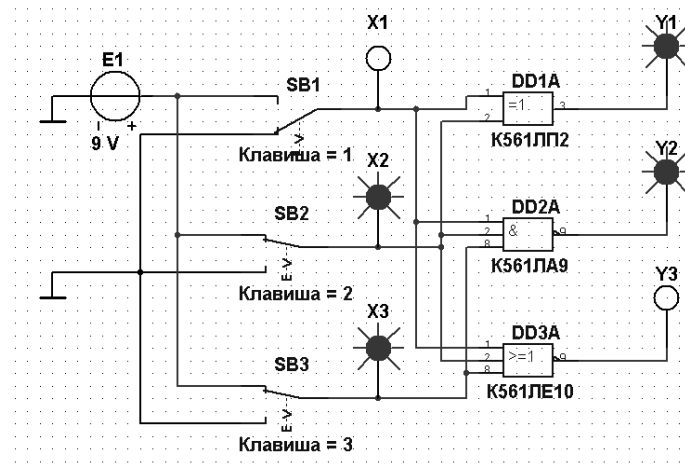


Рисунок 12.8 – Схема для исследования логических элементов серии K561

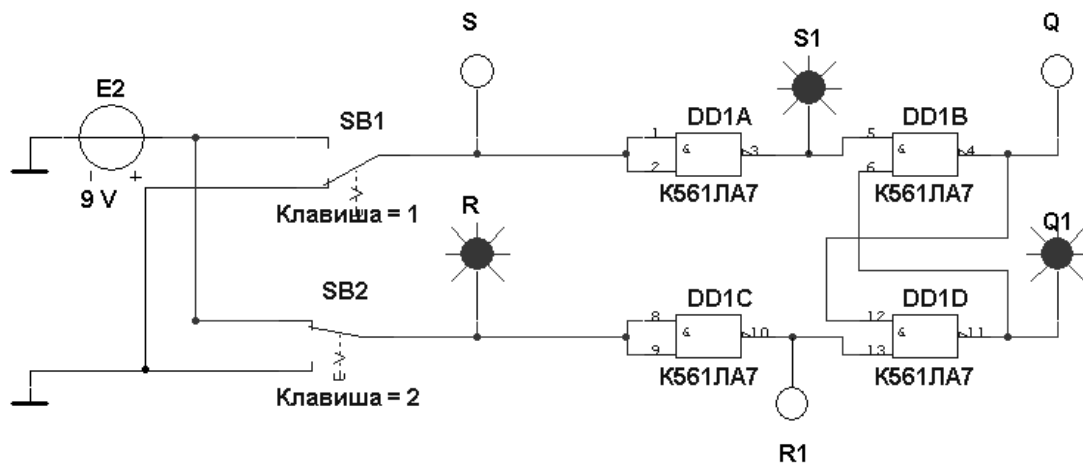


Рисунок 12.9 – Схема RS-триггера на логических элементах серии K561

Воспользовавшись порядком засвечивания пробников и задавая коды (00, 01, 10) состояния ключей SB1 и SB2 (входных сигналов), составить таблицу истинности RS-триггера.

12.2.4 В программе Multisim собрать схему испытания триггеров JK и D (рисунок 12.10) по заданию преподавателя. В схему включены: генератор XWG1 (частота $f_c = 500$ кГц); логический анализатор XLA1.

На $\overline{1CLR}$ - и $\overline{1PR}$ -входы триггеров подается постоянное напряжение 5 В (имитирующее сигнал 1) источника VCC, а на $\overline{1CLK}$ -входы триггеров и на вход 1 анализатора XLA1 поступают тактовые импульсы с амплитудой 5 В и частотой 500 кГц, сформированные генератором E1. С выходов 1 и 2 генератора XWG1 сигналы подаются на управляющие входы 1J и 1K JK-триггера, с выхода 3 – на вход 1D D-триггера.

В качестве примера введем в первые шесть ячеек памяти генератора трех-разрядные кодовые комбинации (рисунок 12.11): 010, 100, 111, 001, 100, 010.

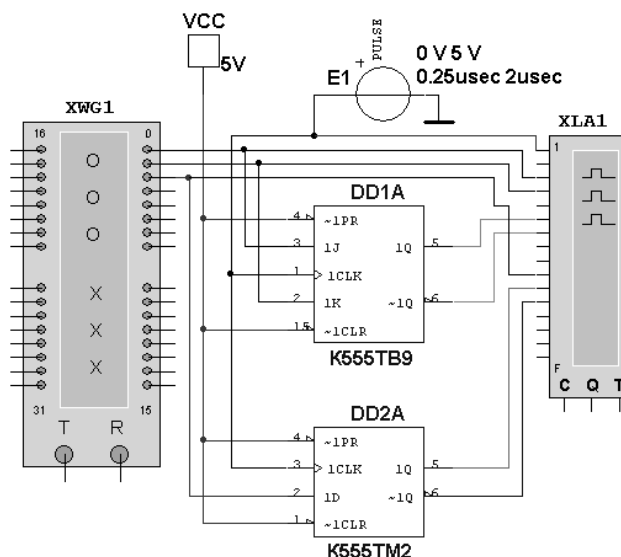


Рисунок 12.10 – Схема для исследования JK - и D -триггеров

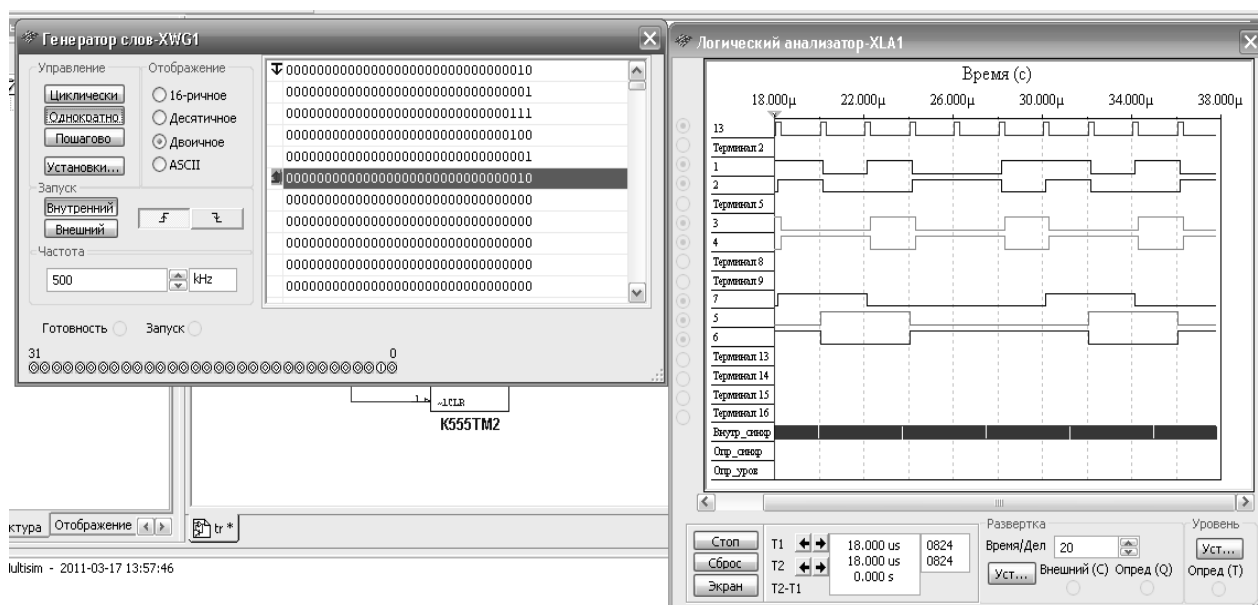


Рисунок 12.11 – Цифровые комбинации и временные диаграммы триггеров

12.2.5 Провести моделирование работы триггеров, по временным диаграммам составить и заполнить для них таблицы истинности.

12.2.6 Сделать выводы по результатам работы.

Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать цель работы, схемы для моделирования работы логических элементов и триггеров в среде Multisim, выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Назовите основные логические операции и приведите их таблицы истинности.
- 2 Что такое триггер?
- 3 Чем отличается синхронный триггер от несинхронного?
- 4 Что обозначают понятия «логический ноль» и «логическая единица»?

Список литературы

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