

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра электропривода и автоматизации

Составитель
В. А. Негадаев

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Методические материалы

Рекомендовано учебно-методической комиссией специальности
23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства
в качестве электронного издания
для использования в образовательном процессе

Кемерово 2019

Рецензенты

Григорьев А. В. – доцент кафедры электропривода и автоматизации

Гаргаев А. Н. – доцент кафедры электропривода и автоматизации

Негадаев Владислав Александрович

Электротехника и электроника: методические материалы [Электронный ресурс для обучающихся специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства всех форм обучения / сост.: В. А. Негадаев; КузГТУ. – Кемерово, 2019. – Систем. требования : Pentium IV; ОЗУ 8 Мб; Windows XP; мышь. – Загл. с экрана.

Методические материалы по дисциплине «Электротехника и электроника» предназначены для использования при выполнении лабораторных и практических работ, а также при самостоятельной подготовке к занятиям. Для занятий приведены цели работ, общие сведения об изучаемом материале, порядок выполнения работ, вопросы для самопроверки и список рекомендуемой литературы.

© КузГТУ, 2019

© Негадаев В. А.,

составление, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 Исследование простых электрических цепей постоянного тока	4
2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 Электрическая цепь переменного тока с последовательным соединением активных и реактивных элементов	9
3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 Исследование режимов работы трехфазных цепей соединенных по схеме «звезда» и «треугольник».....	16
4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 Исследование однофазного трансформатора	29
5. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1 Исследование выпрямителей	36
6. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2 Исследование транзисторов	44
7. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3 Исследование логических элементов	50
8. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	57
9. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА	58

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

Исследование простых электрических цепей постоянного тока

Цель работы

Экспериментальная проверка основных теоретических соотношений и зависимостей между токами, напряжениями, мощностями и сопротивлениями в простейших электрических цепях постоянного тока.

Основные теоретические положения

Закон Ома для резистивного участка цепи, не содержащего источников энергии:

$$I = \frac{U}{R}. \quad (1.1)$$

Активная мощность этого участка цепи:

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R}. \quad (1.2)$$

В последовательной цепи, приведенной на рис. 1.1, через все элементы протекает один и тот же ток. Напряжение источника равно арифметической сумме напряжений на всех резистивных участках цепи:

$$U = \sum_{k=1}^n U_k. \quad (1.3)$$

Эквивалентное (общее) сопротивление последовательной цепи равно сумме сопротивлений всех участков этой цепи:

$$R_{\Sigma} = \sum_{k=1}^n R_k. \quad (1.4)$$

Оно может быть найдено по экспериментальным значениям напряжения источника U и тока цепи I с помощью закона Ома:

$$R_{\Sigma} = \frac{U}{I}. \quad (1.5)$$

При изменении одного из сопротивлений последовательной цепи максимальная мощность выделяется на данном участке при равенстве данного сопротивления сумме всех остальных сопротивлений цепи.

В параллельной цепи, приведенной на рис. 1.2, все ветви находятся под одним и тем же напряжением U , а токи в ветвях обратно пропорциональны их сопротивлениям.

Общий ток равен арифметической сумме токов ветвей:

$$I = \sum_{k=1}^n I_k. \quad (1.6)$$

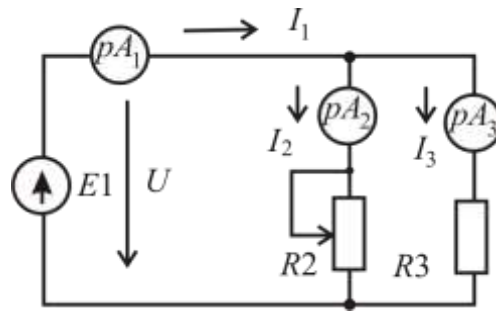


Рис. 1.1

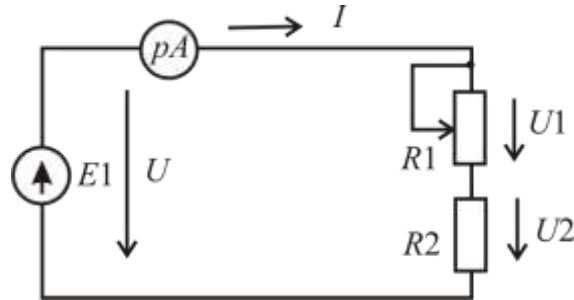


Рис. 1.2

Эквивалентная резистивная проводимость параллельной цепи равна сумме проводимостей всех ветвей цепи:

$$g_{\mathcal{D}} = \sum_{k=1}^n g_k = \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}. \quad (1.7)$$

Эквивалентное резистивное сопротивление параллельной цепи

$$R_{\mathcal{D}} = \frac{1}{g_{\mathcal{D}}} = \frac{U}{I}, \quad (1.8)$$

где U и I – напряжение и ток источника.

Последовательно-параллельная цепь, приведенная на рис. 1.3, является комбинацией участков, соединенных последовательно и параллельно. К отдельным участкам такой цепи применимы соотношения между напряжениями, токами и сопротивлениями, имеющими место в последовательной и параллельной цепях.

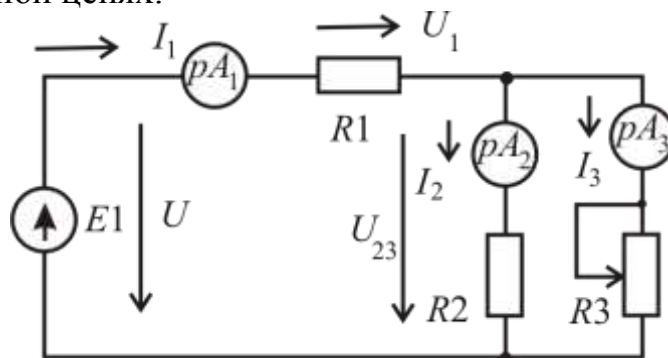


Рис. 1.3

Ток в каждой из параллельных ветвей может быть найден по формуле разброса токов в параллельных ветвях, например, для схемы рис. 1.3:

$$I_2 = I_1 \frac{R_3}{R_2 + R_3}, \quad (1.9)$$

$$I_3 = I_1 \frac{R_2}{R_2 + R_3}. \quad (1.10)$$

Задание для самостоятельной подготовки

1. Для схемы на рис. 1.1 запишите формулы зависимостей $I=f(R1)$, $P_1=f(R1)$, по полученным формулам постройте графики.
2. Для схемы на рис. 1.2 получите зависимости $I_2=f(R2)$, $P_2=f(R2)$ и постройте их графики.
3. Для схемы на рис. 1.3 запишите формулы зависимостей $I_1=f(R3)$, $I_2=f(R3)$, $I_3=f(R3)$, $P_3=f(R3)$. Постройте по этим формулам графики.

Порядок выполнения работы

1. Открыв файл 2.4, включите электрическую цепь по схеме рис. 1.4.
 2. При неизменном напряжении источника исследуйте влияние на изменение тока и напряжений на элементах цепи величины сопротивления $R1$. Результаты измерений занесите в табл. 1.1.
- Постройте совмещенные графики зависимостей I , U_1 , U_2 , P_1 , $P=f(R1)$. Проанализируйте полученные зависимости.

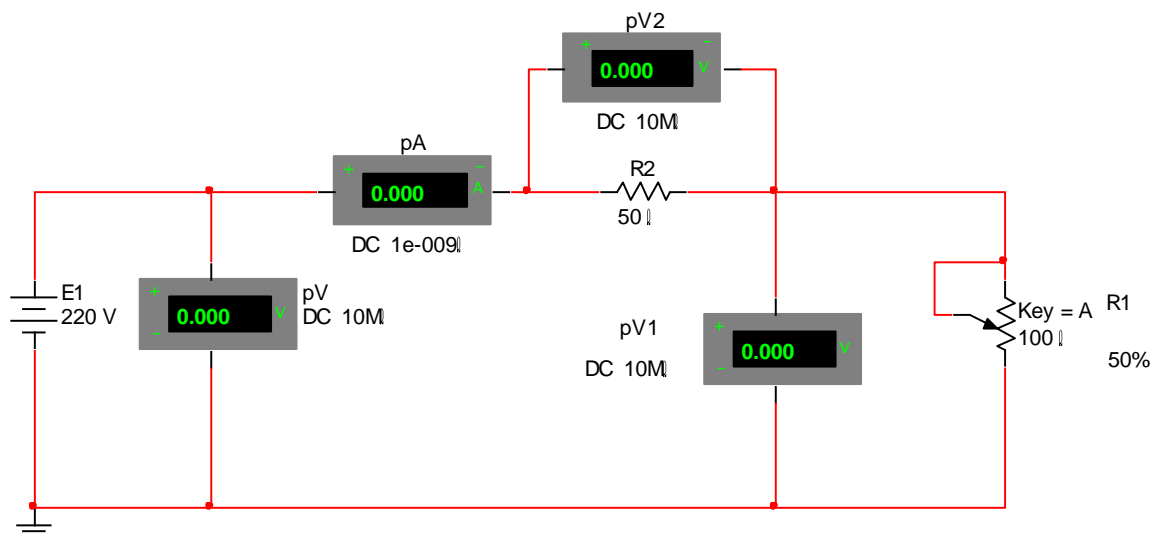


Рис. 1.4

Таблица 1.1

№	Измерено				Вычислено					
	I А	U_1 В	U_2 В	U В	R_1 Ом	R_2 Ом	R_3 Ом	P_1 Вт	P_2 Вт	P Вт
1										
2										
3										

3. Открыв файл 2.5, включите электрическую цепь по схеме рис. 1.5.

При неизменном напряжении источника исследуйте зависимость тока источника (общего тока) и токов в параллельных ветвях от величины сопротивления R_2 . Результаты измерений занесите в табл. 1.2.

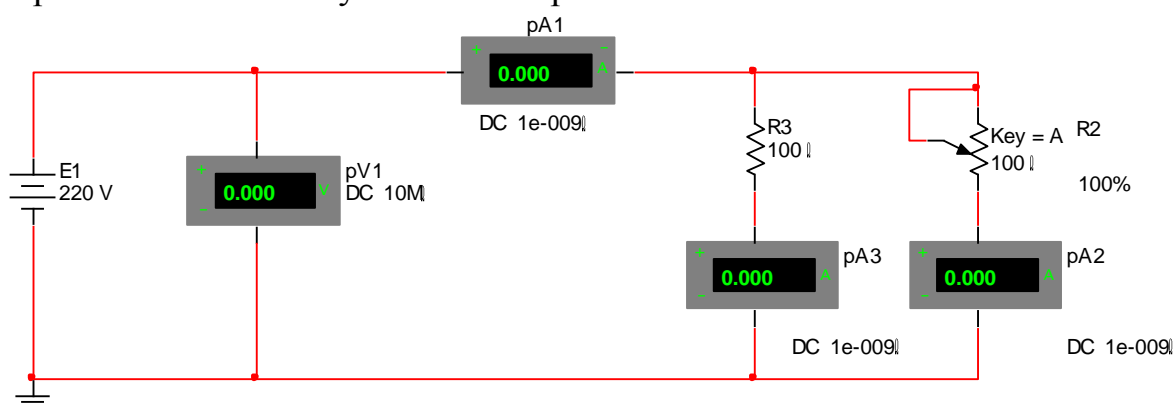


Рис. 1.5

Таблица 1.2

№	Измерено				Вычислено					
	U В	I_1 А	I_2 А	I_3 А	R_2 Ом	R_3 Ом	R_3 Ом	P_2 Вт	P_3 Вт	P Вт
1										
2										
3										

Постройте совмещенные графики зависимостей $I_1, I_2, I_3, P_3, P=f(R_2)$. Проанализируйте полученные зависимости.

4. Открыв файл 2.6, включите электрическую цепь по схеме рис. 1.6.

При неизменном напряжении источника исследуйте влияние величины сопротивления R_3 на ток источника, токи в параллельных ветвях и напряжения на участках цепи. Результаты измерений занесите в табл. 1.3.

Постройте совмещенные графики зависимостей $I_1, I_2, I_3, U_1, U_{23}, P_1, P_2=f(R_3)$. Проанализируйте полученные зависимости.

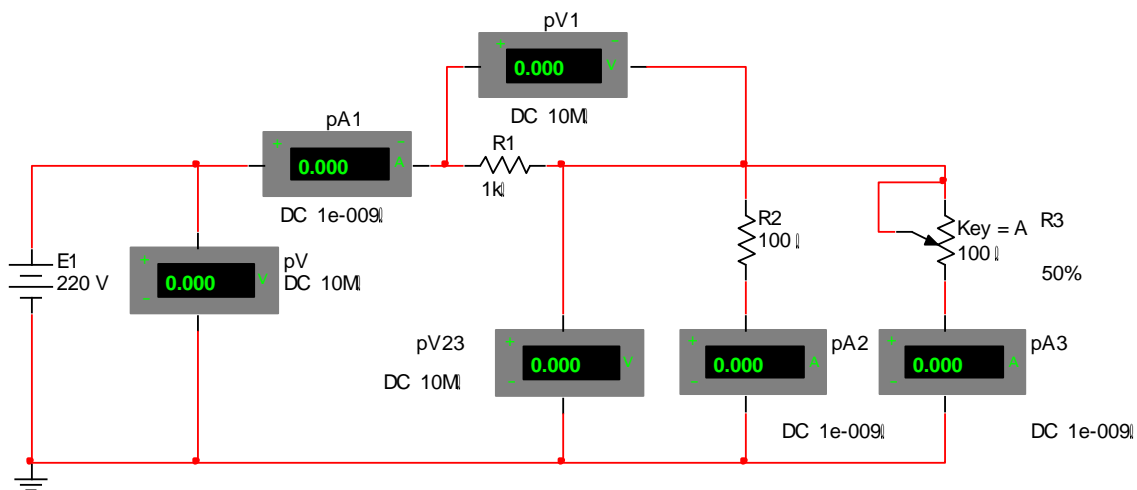


Рис. 1.6

Таблица 1.3

№	Измерено						Вычислено							
	U В	U_1 В	U_{23} В	I_1 А	I_2 А	I_3 А	R_1 Ом	R_2 Ом	R_3 Ом	R_{Σ} Ом	P_1 Вт	P_2 Вт	P_3 Вт	P Вт
1														
2														
3														

Контрольные вопросы

1. Назовите основные законы, описывающие состояние электрических цепей, и объясните их содержание.
2. Дайте определение узла, ветви, контура электрической цепи и назовите их основные свойства.
3. Назовите основные свойства последовательного и параллельного соединений. Дайте определение эквивалентного элемента, заменяющего собой несколько элементов.
4. Как составляется уравнение баланса мощностей электрической цепи? Что оно означает?
5. Рассмотрите и дайте объяснение графикам изменения токов, напряжений и мощностей для различных схем соединения элементов.

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Электрическая цепь переменного тока с последовательным соединением активных и реактивных элементов

Цель работы

Экспериментальная проверка основных теоретических соотношений между током, напряжениями и мощностями на участках цепи, сдвига фаз между приложенным напряжением и током при изменении одного из сопротивлений элементов цепи.

Основные теоретические положения

На рис. 2.1 приведена схема с последовательным соединением реальной катушки индуктивности и активного сопротивления. В реальной катушке индуктивности выделяются индуктивное сопротивление $X_L = \omega L$ и собственное активное сопротивление R_k , обусловленное сопротивлением проводов обмотки.

Модуль полного сопротивления катушки Z_k определяется по треугольнику сопротивлений индуктивного элемента, приведенному на рис. 2.2:

$$Z_k = \sqrt{R_k^2 + X_L^2}. \quad (2.1)$$

Полное сопротивление последовательной цепи, состоящей из резистора R и катушки, можно определить по закону Ома:

$$Z = \frac{U}{I} = \sqrt{(R + R_k)^2 + X_L^2}. \quad (2.2)$$

Действующие значения напряжений на элементах схемы равны:

$$U_R = R \cdot I, \quad (2.3)$$

$$U_k = Z_k \cdot I. \quad (2.4)$$

Приложенное к цепи напряжение источника опережает ток на угол φ :

$$\varphi = \arctg \frac{X_L}{R + R_k}. \quad (2.5)$$

Активная мощность катушки P_k и активная мощность цепи P равны:

$$P_k = R_k \cdot I^2 = U_{ak} \cdot I, \quad (2.6)$$

$$P = (R + R_k) \cdot I^2 = U \cdot I \cdot \cos \varphi. \quad (2.7)$$

При изменении сопротивления резистора от 0 до ∞ активная мощность достигает максимума при $(R + R_k) = X_L$:

$$P_M = \frac{U^2}{2(R + R_K)}. \quad (2.8)$$

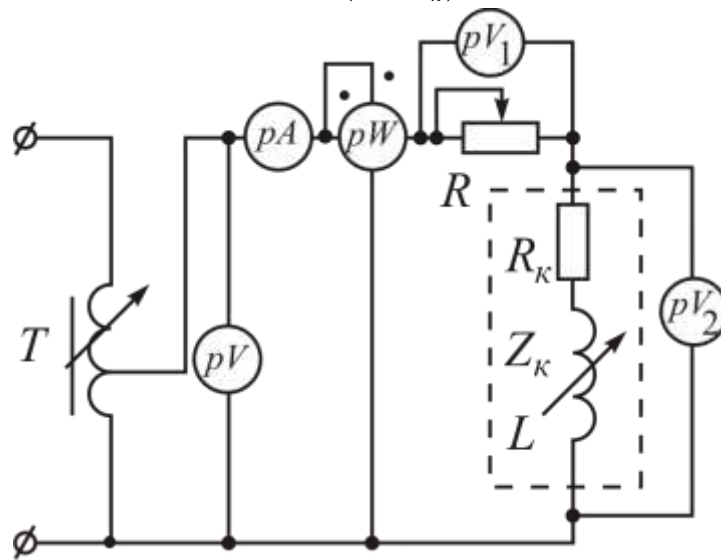


Рис. 2.1

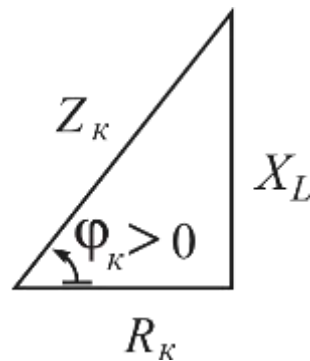


Рис. 2.2

Реактивная мощность индуктивной катушки равна

$$Q_L = U I \sin \varphi = X_L I^2 = U_{pK} I. \quad (2.9)$$

При изменении X_L от 0 до ∞ реактивная мощность максимальна при $X_L = (R + R_K)$:

$$Q_{L_M} = \frac{U^2}{2X_L}. \quad (2.10)$$

Полная мощность цепи определяется по формуле:

$$S = U I = \sqrt{P^2 + Q^2} = Z I^2. \quad (2.11)$$

На рис. 2.3 приведена схема с последовательным соединением конденсатора и активного сопротивления.

Полное сопротивление цепи, состоящей из последовательно соединенных резистора R и конденсатора с емкостным сопротивлением

$X_C = \frac{1}{\omega C}$, можно найти по треугольнику сопротивлений, изображенному на рис. 2.4:

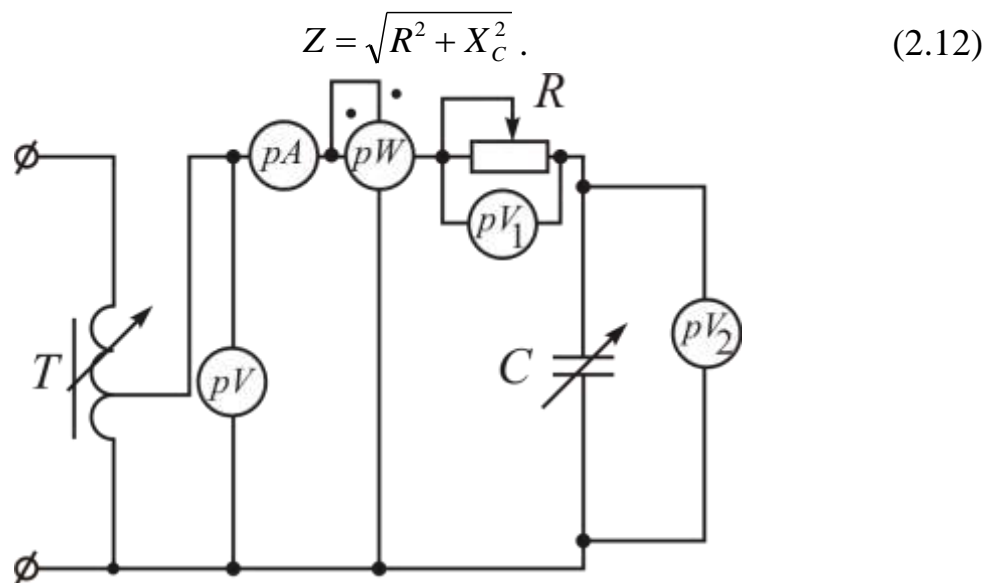


Рис. 2.3

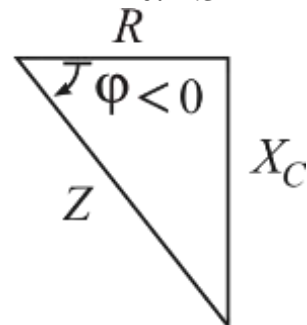


Рис. 2.4

Действующее значение напряжения на конденсаторе U_C равно

$$U_C = X_C \cdot I. \quad (2.13)$$

Активная и полная мощности цепи определяются по формулам:

$$P = U I \cos \varphi = R I^2; \quad (2.14)$$

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2} = Z I^2. \quad (2.15)$$

Реактивная мощность конденсатора

$$Q_C = U I \cdot \sin \varphi = X_C \cdot I^2 = U_C I. \quad (2.16)$$

Задание для самостоятельной подготовки

1. Для электрической цепи, схема которой показана на рис. 2.1, на основе анализа приведенных в методических указаниях формул постройте качественно:

а) графики $I = f_1(R)$, $P = f_2(R)$, $Q = f_3(R)$;

б) топографические диаграммы для случаев:

$$X_L > R > R_k \text{ и } R > X_L > R_k;$$

в) треугольник мощностей.

2. Для электрической цепи, схема которой показана на рис. 2.2, постройте качественно:

а) графики $I = f_4(R)$, $P = f_5(R)$, $Q = f_6(R)$;

б) топографические диаграммы для случаев:

$$R < X_C, R = X_C, R > X_C;$$

в) треугольник мощностей.

Порядок выполнения работы

1. Откройте файл 5.1 и включите цепь по схеме рис. 2.5. При полностью выведенном сопротивлении резистора $R1$ ($R1=0$) измерьте показания приборов и рассчитайте параметры катушки индуктивности. Результаты занесите в первую строку табл. 2.1.

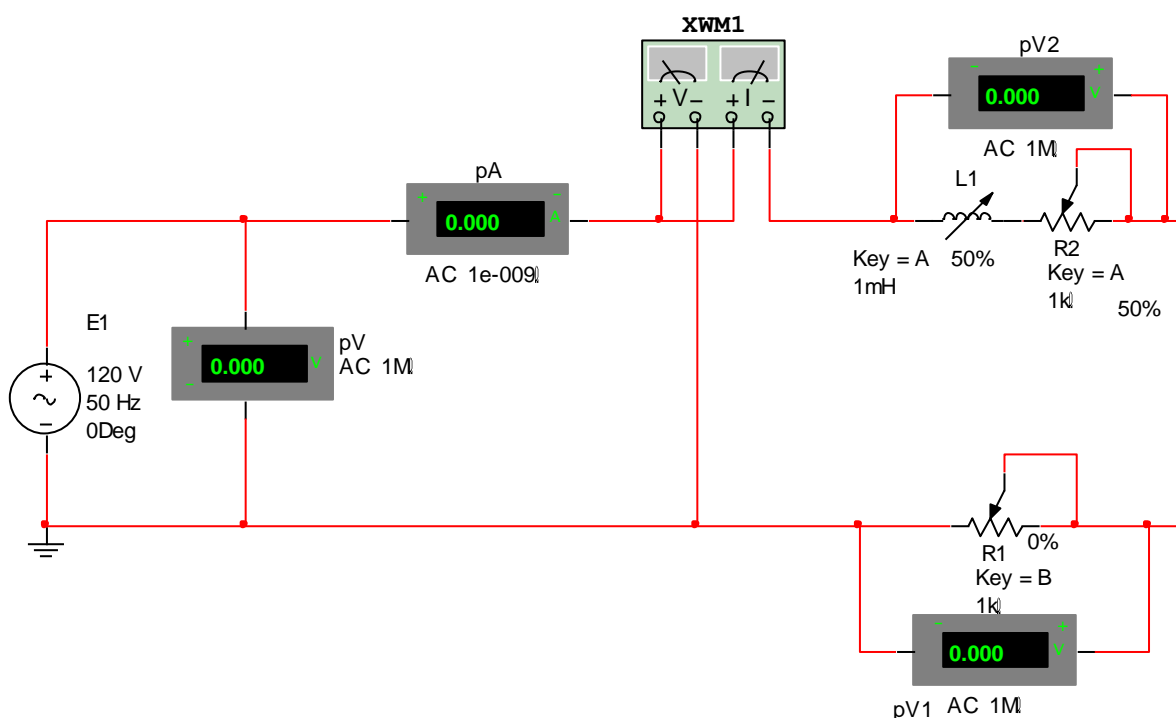


Рис. 2.5

Таблица 2.1

[illegible]

2. При неизменном напряжении на входе цепи исследуйте зависимость тока, напряжений на участках цепи и активной мощности от величины R_1 , изменяя ее от 0 до ∞ (режим холостого хода). Результаты опытов занесите в табл. 2.1.

3. При неизменном напряжении на входе цепи исследуйте зависимость тока, напряжений на участках цепи и активной мощности от сопротивления катушки Z_k . Результаты опытов занесите в табл. 2.2.

Таблица 2.2

[illegible]

4. Откройте файл 5.2 и включите цепь по схеме рис. 2.6. При неизменном напряжении на входе цепи исследуйте зависимость тока, напряжений на элементах цепи и активной мощности от величины $R1$. Результаты опытов занесите в табл. 2.3.

5. При неизменном напряжении на входе цепи исследуйте зависимость тока, напряжений на элементах цепи и активной мощности от сопротивления конденсатора X_C . Результаты занесите в табл. 2.4.

Таблица 2.3

[illegible]

7. Постройте графики зависимостей I , U_1 , P , Q , $\cos \varphi$ от величины $(R1+R2)$ по данным табл. 2.1; I , U_2 , P , Q , $\cos \varphi$ от величины X_L по данным табл. 2.2; I , U_1 , P , Q , $\cos \varphi$ от величины $R1$ по данным табл. 2.3; I , U_2 , P , Q , $\cos \varphi$ от величины X_C по данным табл. 2.4.

9. Постройте треугольники мощностей для одного из опытов по данным табл. 2.1 и табл. 2.2 или табл. 2.3 и табл. 2.4. Найдите по ним полную мощность и сравните ее с расчетной.

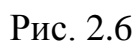


Таблица 2.4

[illegible]

Контрольные вопросы

1. Что такое активное сопротивление?
2. Что такое индуктивность?
3. Как определить угол сдвига фаз тока по отношению к напряжению?
4. Показаний каких приборов достаточно, чтобы определить полное, активное сопротивление цепи?
5. Напишите векторное уравнение для действующих значений напряжений на отдельных участках последовательной цепи при синусоидальном переменном токе. Постройте треугольник напряжений для цепи с r , C , L .
6. Начертите треугольник сопротивлений и, руководствуясь им, напишите формулы, выражающие:
 - а) полное сопротивление цепи;
 - б) активное и реактивное сопротивления цепи;
 - в) угол сдвига фаз ϕ тока по отношению к напряжению.
7. Что такое коэффициент мощности? Чему равен коэффициент мощности при резонансе?
8. Что такое резонанс напряжений? В чем состоит условие резонанса?
9. Почему при резонансе напряжений ток в цепи будет максимальным?
10. Почему напряжение на зажимах индуктивной катушки при резонансе не равно напряжению на зажимах конденсатора?
11. При каком условии напряжения U_L и U_C по действующему значению будут больше напряжения, приложенного к зажимам цепи?

3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

Исследование режимов работы трехфазных цепей, соединенных по схеме «звезда» и «треугольник»

Цель работы

Анализ режимов работы трехфазной цепи при соединении нагрузки по схеме «звезда» с нейтральным и без нейтрального провода и при соединении нагрузки по схеме «треугольник».

Основные теоретические положения

На рис. 3.1 трехфазный источник (вторичная обмотка трансформатора T_2) включен по схеме «звезда» и трехфазный приемник соединен по схеме «звезда».

Выводы, к которым присоединены зажимы ЭДС с высоким потенциалом, обозначаются точками A , B и C , высокие потенциалы нагрузки – точками a , b и c . Узловые точки источника N и приемника n называются нейтральными (нулевыми) точками, а соединяющий их провод (в четырехпроводной схеме) – нейтральным проводом. Остальные провода, соединяющие источник с приемником, называются линейными. Лучи звезд источника и приемника называются фазами.

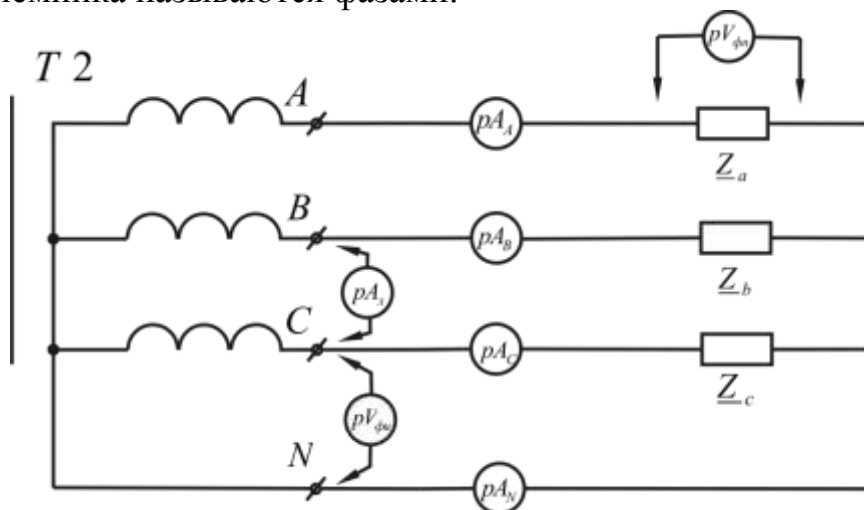


Рис. 3.1

При соединении по схеме «звезда» линейные токи равны фазным.

Напряжения между линейными проводами называются линейными, напряжения между точками A , B и C и нейтральной точкой источника N – фазными напряжениями источника, напряжения между точками a , b и c и нейтральной точкой приемника n – фазными напряжениями приемника.

При симметричном режиме работы цепи между линейными U_L и фазными U_ϕ напряжениями существует соотношение

$$U_L = \sqrt{3}U_\phi. \quad (3.1)$$

Анализ режимов работы трехфазной цепи удобно производить с помощью векторной диаграммы, пример которой показан на рис. 3.2.

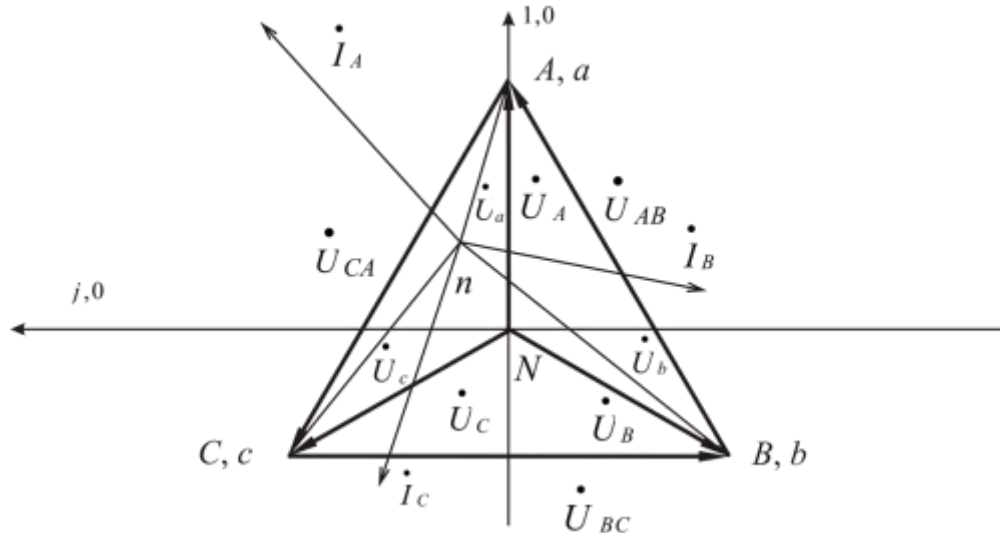


Рис. 3.2

Принято векторную диаграмму трехфазной цепи строить на комплексной плоскости, вещественная ось которой вертикальна.

Порядок построения векторной диаграммы следующий.

Первоначально на комплексной плоскости откладываются фазные напряжения симметричного источника, имеющие выражения:

$$\begin{cases} \dot{U}_A = U_\phi \cdot e^{j0^\circ}; \\ \dot{U}_B = U_\phi \cdot e^{-j120^\circ}; \\ \dot{U}_C = U_\phi \cdot e^{j120^\circ}. \end{cases} \quad (3.2)$$

Тем самым определяется положение на плоскости точек A , B и C . Нейтральная точка источника N располагается в центре координат. Соединив между собой точки A , B и C , можно получить линейные напряжения:

$$\begin{cases} \dot{U}_{AB} = U_L \cdot e^{j30^\circ}; \\ \dot{U}_{BC} = U_L \cdot e^{-j90^\circ}; \\ \dot{U}_{CA} = U_L \cdot e^{j150^\circ}. \end{cases} \quad (3.3)$$

Затем откладываются фазные напряжения приёмника при условии идеальности линейных проводов (сопротивления проводов между источником и приёмником равны нулю), т. е. $\dot{\varphi}_A = \dot{\varphi}_a$, $\dot{\varphi}_B = \dot{\varphi}_b$, $\dot{\varphi}_C = \dot{\varphi}_c$.

Замеренные вольтметром на лучах звезды приёмника величины этих напряжений \dot{U}_a , \dot{U}_b и \dot{U}_c в масштабе откладываются из соответствующих точек диаграммы A , B и C с помощью циркуля. Точка пересечения дуг окружностей, радиусы которых равны фазным напряжениям приёмника, является нейтральной точкой приёмника n .

Положение точки n определяется сопротивлением и наличием или отсутствием нейтрального провода. При симметричной нагрузке точки N и n совпадают на диаграмме независимо от того, включен нейтральный провод или нет, при включенном нейтральном проводе точки N и n совпадают всегда, даже при несимметричной нагрузке.

При отсутствии нейтрального провода и несимметричной нагрузке нулевая точка приёмника может находиться как в площади треугольника ABC , так и вне её. В случае аварийных режимов – обрыва или короткого замыкания фазы точка n перемещается соответственно либо по сторонам треугольника ABC , либо занимает положение точек A , B или C (при отключенном нейтральном проводе).

После нахождения положения точки n от нее под углом φ_i к соответствующим фазным напряжениям приёмника откладываются фазные токи. В случае четырехпроводной схемы ток нейтрального провода определяется векторным суммированием фазных токов.

На рис. 3.3 трехфазный источник включен по схеме «звезда», а приёмник – по схеме «треугольник», при этом фазами приёмника являются ветви треугольника.

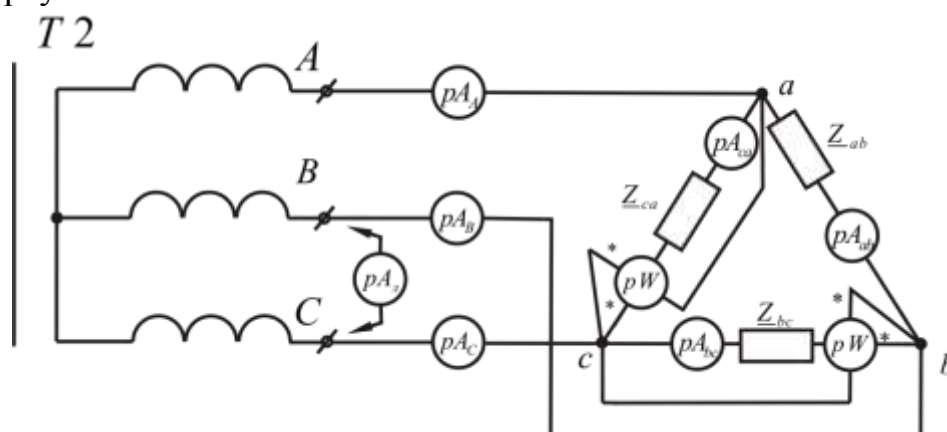


Рис. 3.3

Линейное напряжение равно фазному напряжению на приемнике, а между линейным I_l и фазным I_ϕ токами при симметричном режиме существует соотношение

$$I_{\text{л}} = \sqrt{3} \cdot I_{\phi}. \quad (3.4)$$

Построение векторной диаграммы начинается со звезды фазных напряжений и треугольника линейных напряжений источника

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{U}_{AB} = U_{\text{л}} \cdot e^{j30^\circ}; \\ \dot{U}_{BC} = U_{\text{л}} \cdot e^{-j90^\circ}; \\ \dot{U}_{CA} = U_{\text{л}} \cdot e^{j150^\circ}. \end{array} \right. \quad (3.5)$$

Затем под углами φ_i к соответствующим напряжениям приёмника

откладываются фазные токи $\overset{\bullet}{I}_{ab}, \overset{\bullet}{I}_{bc}, \overset{\bullet}{I}_{ca}$.

На рис. 3.4 построена векторная диаграмма для случая, когда в фазе ab включена активная нагрузка, в фазе bc – индуктивная и в фазе ca – емкостная нагрузка.

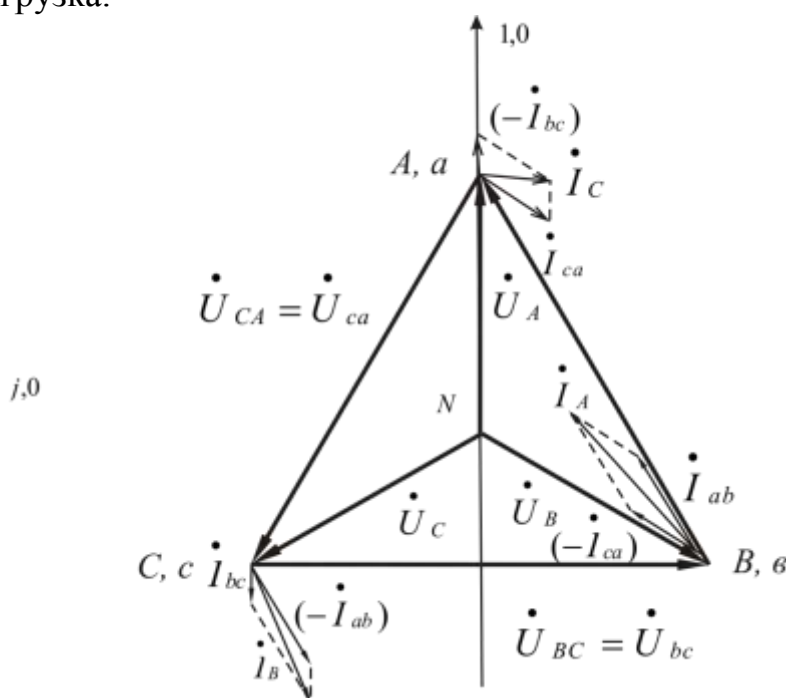


Рис. 3.4

В общем случае линейные токи определяются по первому закону Кирхгофа:

$$\left\{ \begin{array}{l} \overset{\bullet}{I_A} = \overset{\bullet}{I_{ab}} - \overset{\bullet}{I_{ca}}; \\ \overset{\bullet}{I_B} = \overset{\bullet}{I_{bc}} - \overset{\bullet}{I_{ab}}; \\ \overset{\bullet}{I_C} = \overset{\bullet}{I_{ca}} - \overset{\bullet}{I_{bc}}. \end{array} \right. \quad (3.6)$$

При обрыве фазы изменяются лишь два линейных тока, при обрыве линии цепь становится однофазной.

Задание для самостоятельной подготовки

1. Постройте качественные векторные диаграммы для трех- и четырехпроводных трехфазных цепей для однородной активной нагрузки и равномерной (элементы L , C , R в любых фазах) нагрузки, соединенной «звездой».

2. Постройте качественную векторную диаграмму при учёте сопротивления нейтрального провода для несимметричного приемника, соединенного «звездой».

3. Постройте качественные векторные диаграммы для однородной и равномерной нагрузки, соединенной «треугольником».

Порядок выполнения работы

1. Откройте файл 10.1 и включите цепь по схеме рис. 3.5.

Произведите замеры показаний приборов при симметричной и несимметричной резистивной нагрузке в четырехпроводной цепи. Данные опытов занесите в табл. 3.1 (опыты 1 и 2).

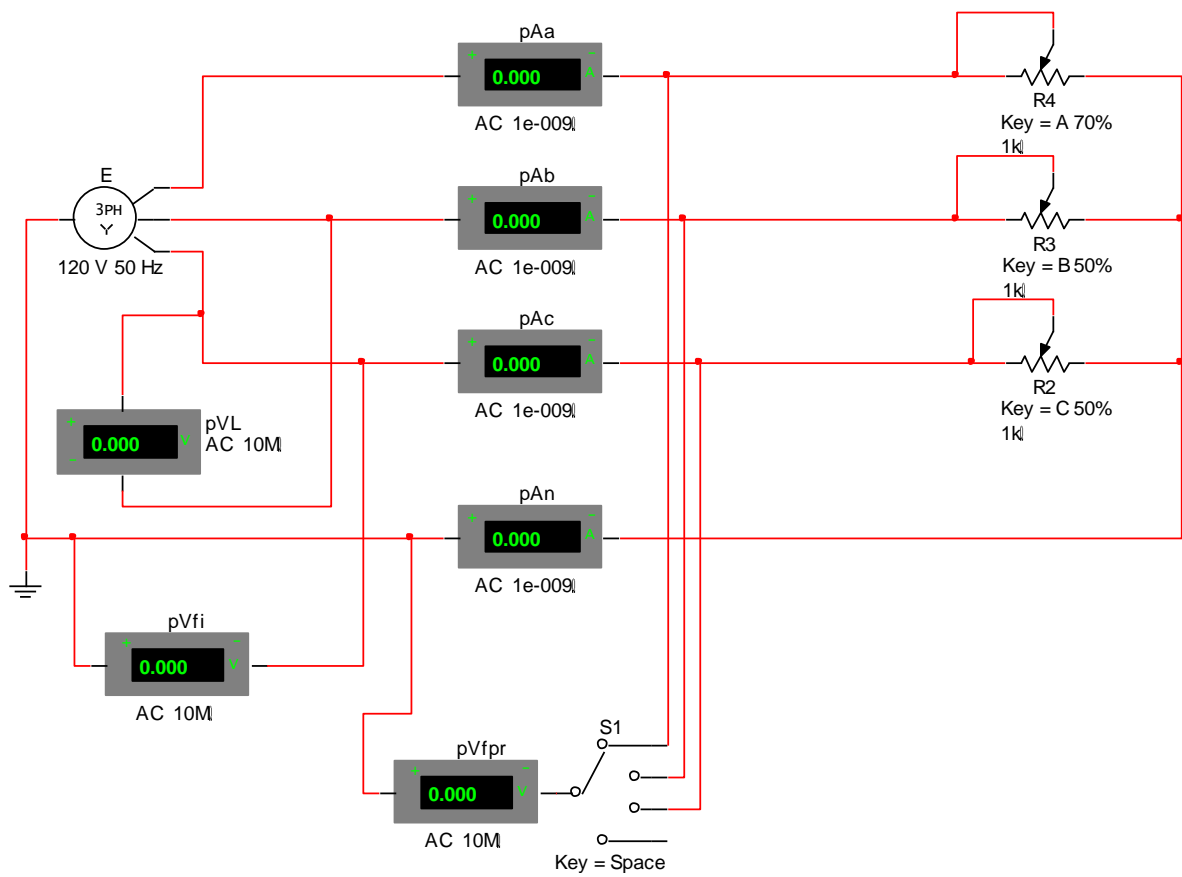


Рис. 3.5

2. Откройте файл 10.2 и включите цепь по схеме рис. 3.6.

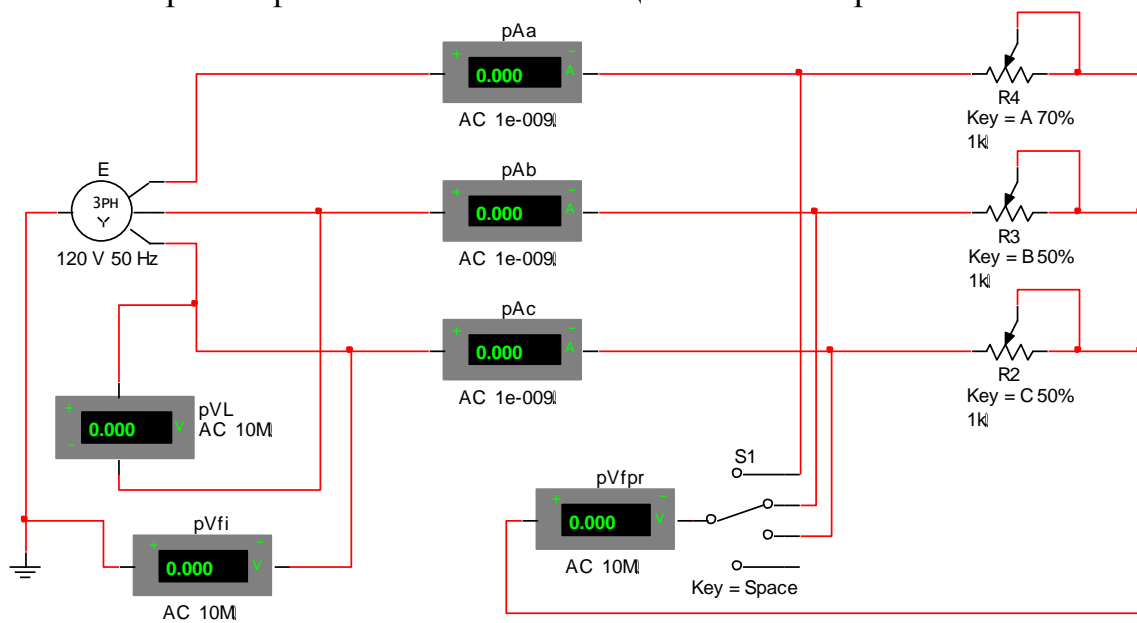


Рис. 3.6

№	Измерено									Из вектор- ной диа- граммы		Состояние при- емника
	$U_{\text{л}}$ В	U_a В	U_b В	U_c В	U_{nN} В	I_A А	I_B А	I_C А	I_N А	U_{nN} В	I_N А	
												активная нагрузка
3												Симметричная активная нагрузка
4												Несимметричная активная нагрузка
5												Обрыв фазы A , в других фазах – активная нагрузка
6												— // —
7												Короткое замы- кание фазы A , в других фазах – активная нагрузка
8												Равномерная нагрузка $\underline{Z}_a = R_1, \underline{Z}_b = X_c$ ($\varphi_c < 0$) , $\underline{Z}_c = \underline{Z}_k$ ($\varphi_k > 0$)
9												— // —

5. Откройте файл 10.2 и включите цепь по схеме рис. 3.6.

Установите в фазе A сопротивление нагрузки, равное нулю. Произведите замеры показаний приборов при коротком замыкании в трехпроводной цепи. Данные опыта 7 занесите в табл. 3.1.

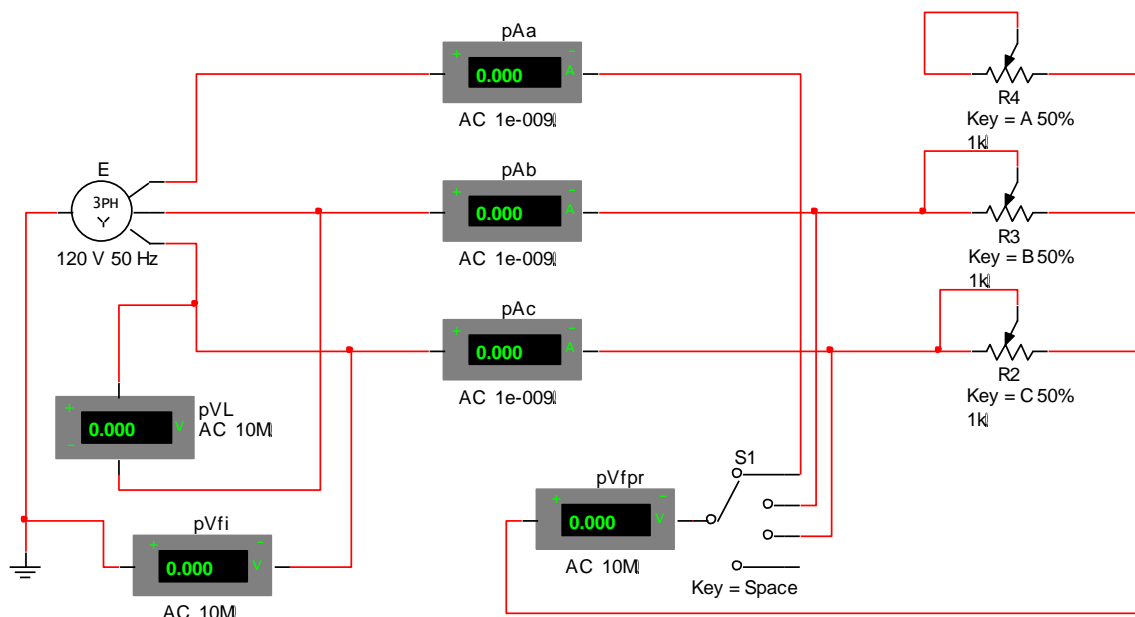


Рис. 3.8

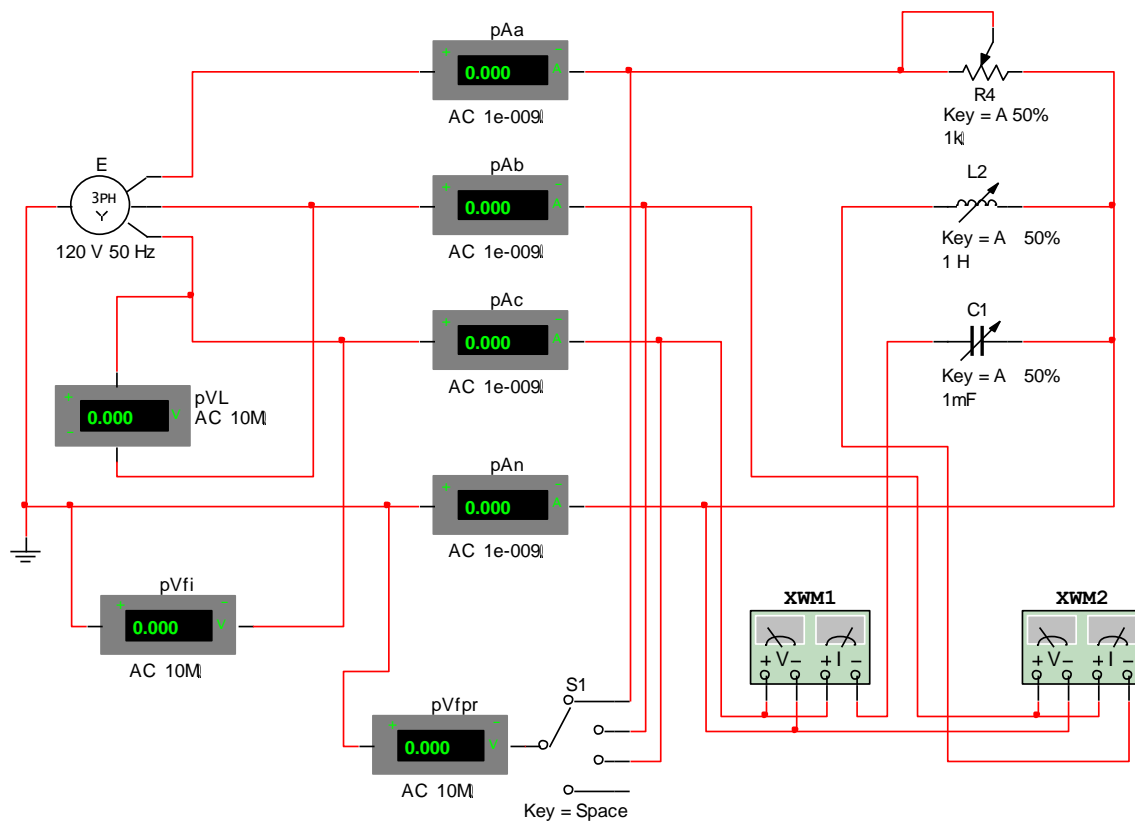


Рис. 3.9

6. Откройте файл 10.5 и включите цепь по схеме рис. 3.9.

Произведите замеры показаний приборов при равномерной нагрузке в четырехпроводной цепи. Данные опыта 8 занесите в табл. 3.1.

Для определения угла сдвига фаз между напряжением и током в фазы *B* и *C* включите ваттметры.

7. Откройте файл 10.6 и включите цепь по схеме рис. 3.10.

Произведите замеры показаний приборов при равномерной нагрузке в трехпроводной цепи. Данные опыт 9 занесите в табл. 3.1.

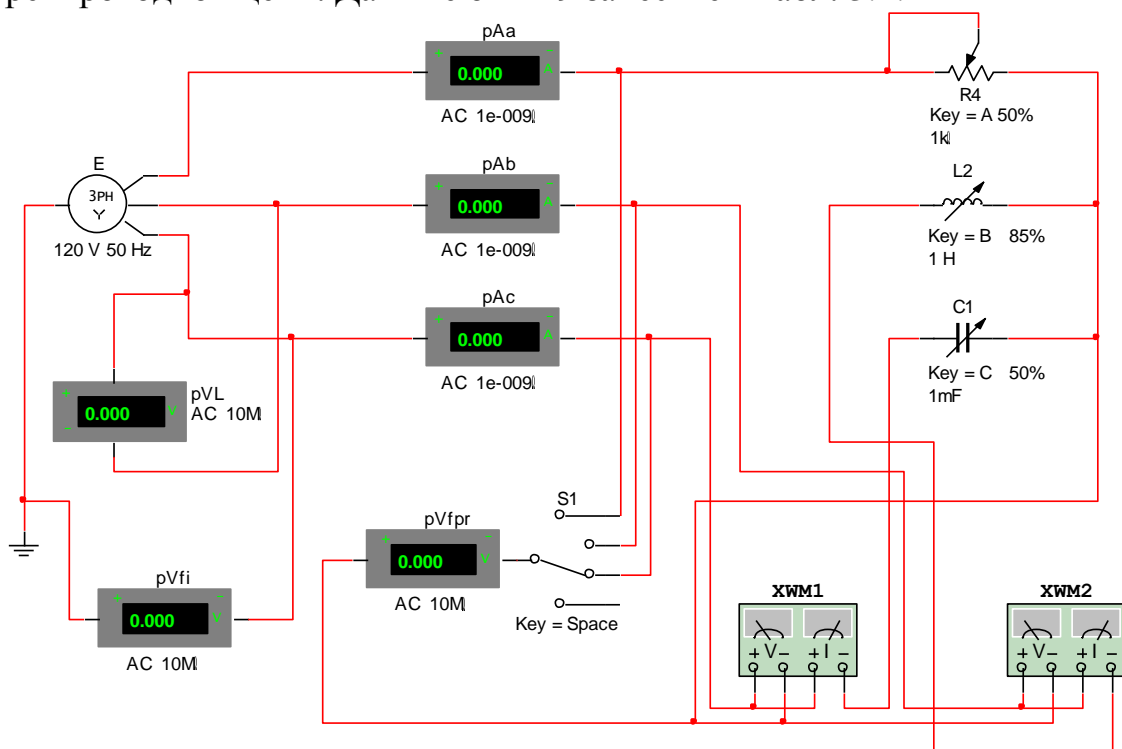


Рис. 3.10

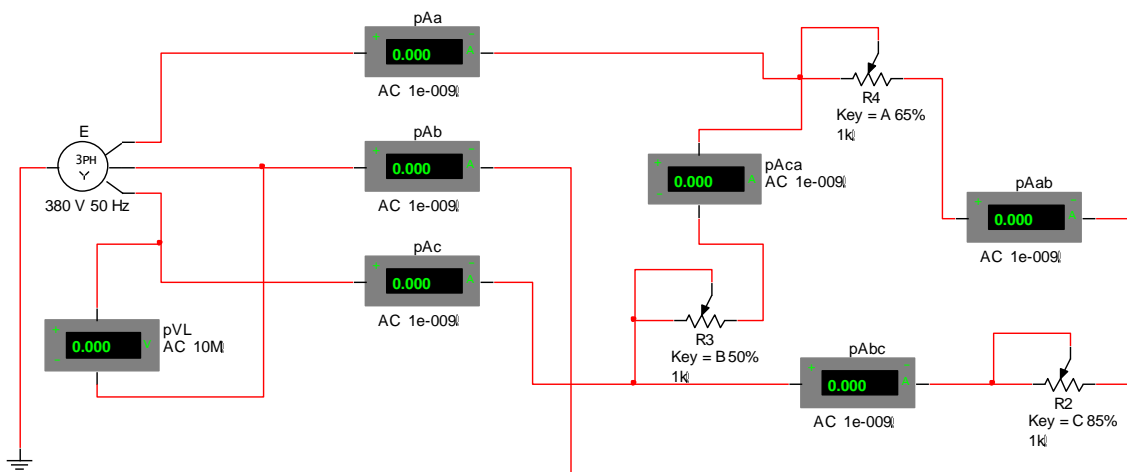


Рис. 3.11

8. Для каждого опыта постройте в масштабе векторные диаграммы напряжений и токов. Из построенных диаграмм определите для каждого опыта напряжение между нейтральными точками U_{nN} и ток в нейтральном проводе I_N . Данные расчетов запишите в табл. 3.1 и сравните их с опытными данными.

9. Откройте файл 8.1 и включите цепь по схеме рис. 3.11.

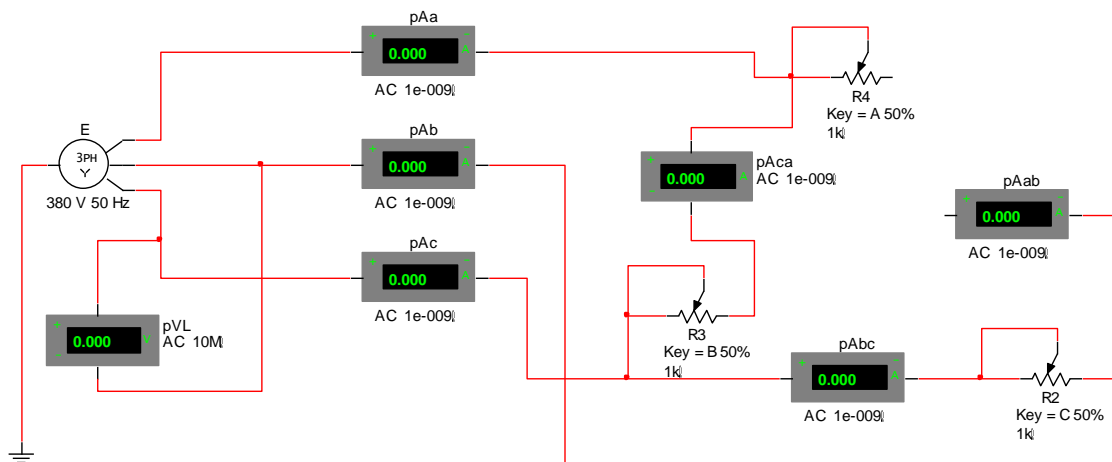


Рис. 3.12

Таблица 3.2

№	Измерено							Из векторной диаграммы			Состояние приёмника
	$U_{\text{л}}$ В	I_A А	I_B А	I_C А	I_{ab} А	I_{bc} А	I_{ca} А	I_A А	I_B А	I_C А	
1											Симметричная активная нагрузка $Z_{ab} = R1$, $Z_{bc} = R2$, $Z_{ca} = R3$
2											Несимметричная активная нагрузка
3											Обрыв фазы ab , в других фазах – активная нагрузка
4											Обрыв линии, несимметричная активная нагрузка
5											Равномерная нагрузка, $Z_{ab} = R1$, $Z_{bc} = X_c, (\varphi_c < 0)$, $Z_{ca} = Z_k, (\varphi_k > 0)$

Произведите замеры показаний приборов при симметричной и несимметричной резистивной нагрузке. Данные опытов занесите в табл. 3.2.

10. Откройте файл 8.2 и включите цепь по схеме рис. 3.12.

Произведите замеры показаний приборов при обрыве фазы *ab*. Данные опыта занесите в табл. 3.2.

11. Откройте файл 8.3 и включите цепь по схеме рис. 3.13.

Произведите замеры показаний приборов при обрыве линии. Данные опыта занесите в табл. 3.2.

12. Откройте файл 8.4 и включите цепь по схеме рис. 3.14.

Произведите замеры показаний приборов при равномерной нагрузке. Данные опыта занесите в табл. 3.2.

Для определения угла сдвига фаз между напряжением и током в фазы *bc* и *ca* включите ваттметры.

13. Для каждого опыта постройте в масштабе векторные диаграммы напряжений и токов. Из построенных диаграмм определите для каждого опыта линейные токи. Данные расчетов занесите в табл. 3.2 и сравните их с опытными данными.

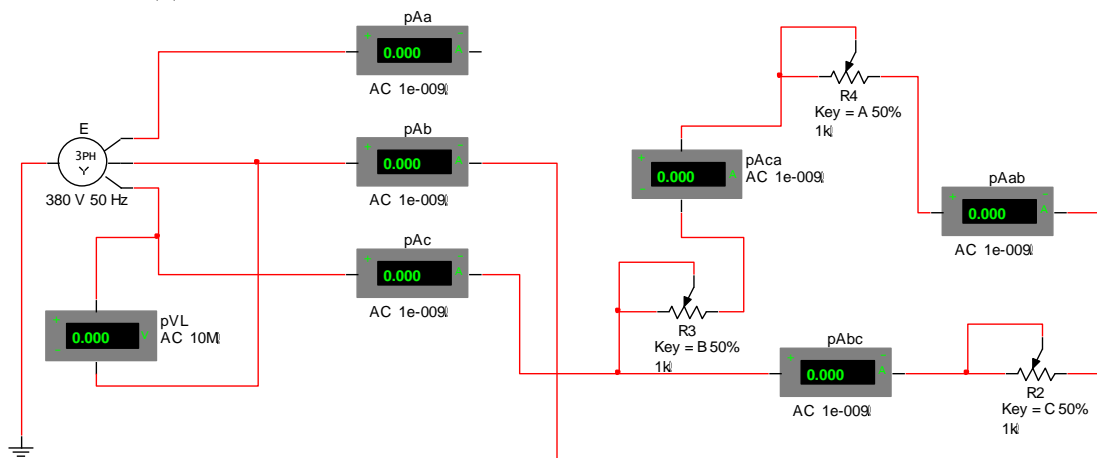


Рис. 3.13

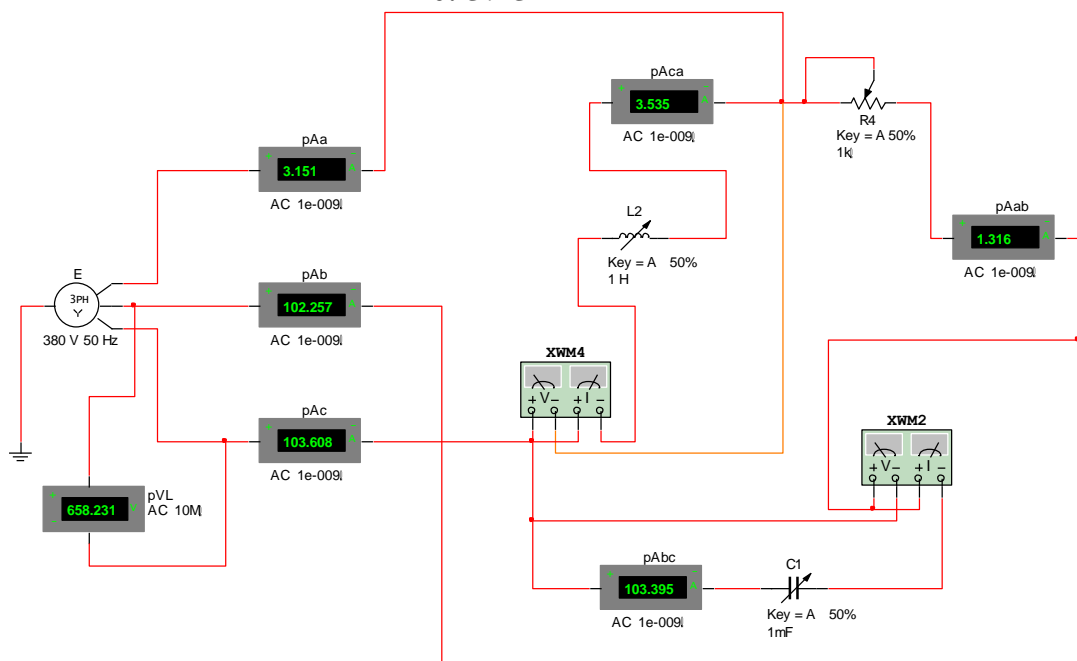


Рис. 3.14

Контрольные вопросы

1. Дать определение трехфазной цепи.
2. Объясните принцип действия трехфазного генератора.
3. Что понимается под симметричной и несимметричной нагрузкой?
4. Какое соединение называется звездой?
5. Как относятся фазные и линейные напряжения и токи при соединении приемника по схеме звезда?
6. От чего зависит величина напряжения между нейтральными точками источника и приемника?
7. Объясните назначение нейтрального провода.
8. От чего зависит величина тока в нейтральном проводе?
9. Почему при «обрыве фазы» напряжение в данной фазе больше, чем в других?
10. Объясните назначение и порядок построения топографических векторных диаграмм напряжений.
11. Какое соединение называется треугольником?
12. Основные соотношения между линейными и фазными токами и напряжениями при симметричной и несимметричной нагрузках при соединении треугольником.
13. Почему при обрыве фазы треугольника фазное напряжение остается неизменным?
14. Объясните порядок построения топографических векторных диаграмм для каждого опыта?
15. Как изменятся линейные токи при изменении нагрузки одной из фаз?

4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

Исследование однофазного трансформатора

Цель работы

Экспериментальное исследование воздушного трансформатора для получения данных, необходимых для вычисления параметров схемы замещения трансформатора и для построения векторных диаграмм при различных нагрузках. Исследование резонансных режимов в трансформаторе.

Основные теоретические положения

Трансформатор, служащий для преобразования напряжения переменного тока, обычно состоит из двух катушек с сердечником.

При высоких частотах и в некоторых электроизмерительных цепях применяются трансформаторы без ферромагнитного сердечника – так называемые воздушные трансформаторы. Исследование воздушного трансформатора представляет интерес, так как дает возможность анализировать работу трансформатора без учета явлений, вносимых в трансформатор наличием стального сердечника.

Уравнения электрического состояния в комплексной форме для первичной и вторичной обмоток трансформатора имеют вид:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \underline{Z}_1 \dot{I}_1 + \underline{Z}_M \dot{I}_2; \\ \dot{U}_2 = \underline{Z}_2 \dot{I}_2 + \underline{Z}_M \dot{I}_1. \end{cases} \quad (4.1)$$

После решения этих уравнений получим:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_1}{\underline{Z}_1 - \frac{\underline{Z}_M^2}{\underline{Z}_2} + \underline{Z}_H}; \quad (4.2)$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\underline{Z}_M}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_H} \dot{I}_1. \quad (4.3)$$

Степень индуктивной связи между обмотками трансформатора характеризует коэффициент связи k :

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} = \frac{X_M}{\sqrt{X_{L_1} X_{L_2}}}. \quad (4.4)$$

Во многих случаях оказывается целесообразным заменить трансформатор эквивалентной схемой. Схеме воздушного трансформатора на рис. 4.1 соответствует схема, изображенная на рис. 4.2.

В этих схемах L_1 и L_2 – индуктивности первичной и вторичной катушек, R_1 , R_2 – их активные сопротивления, M – взаимная индуктивность катушек.

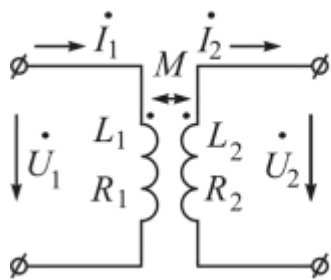


Рис. 4.1

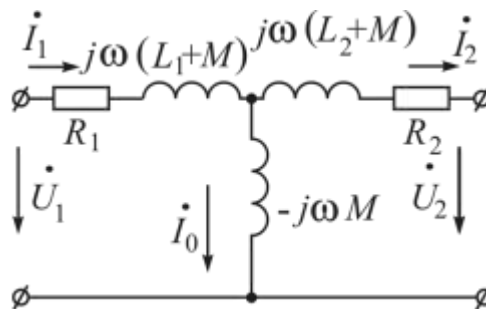


Рис. 4.2

Для исследования резонансных режимов в первичную и вторичную обмотки трансформатора включаются конденсаторы, как это показано на рис. 4.3.

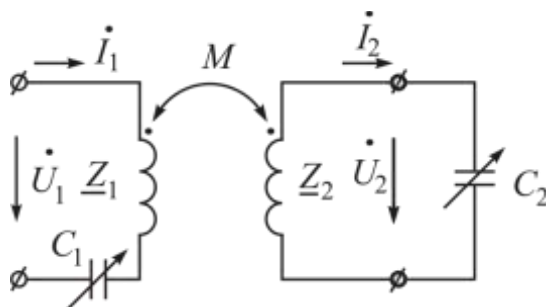


Рис. 4.3

Изменением емкостей конденсаторов можно добиться возникновения частичных резонансов. Условием первого частичного резонанса является равенство

$$X_1 = \frac{X_M^2 X_2}{Z_2^2}, \quad (4.5)$$

где

$$X_1 = \omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1}, \quad X_2 = \omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2}, \quad Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_2^2}.$$

Условие второго частичного резонанса

$$X_2 = 0. \quad (4.6)$$

При установлении оптимальной индуктивной связи между обмотками (изменением M) можно достичь сложного резонанса:

$$X_M = \sqrt{\frac{R_1}{R_2}} Z_2, \quad (4.7)$$

либо полного резонанса:

$$X_M = \sqrt{R_1 \cdot R_2}. \quad (4.8)$$

Задание для самостоятельной подготовки

1. Выведите формулы для определения величин Z_{10} , R_1 , L_1 и M из режима холостого хода трансформатора.
2. Напишите уравнения и постройте для этих случаев качественно топографическую диаграмму для воздушного трансформатора, нагруженного на резистор.
3. Выведите уравнения для токов трансформатора в режимах частичных резонансов.

Порядок выполнения работы

1. Откройте файл 9.1 и включите цепь по схеме рис. 4.4. Исследуйте режим холостого хода при прямом питании. Показания приборов занесите в табл. 4.1.

2. Откройте файл 9.4 и включите цепь по схеме рис. 4.5. Исследуйте режим холостого хода при обратном питании. Показания приборов занесите в табл. 4.1.

Обратите внимание, что в этом опыте напряжение, ток и мощность следует писать в колонках U_{20} , I_{20} и P_{20} табл. 4.1.

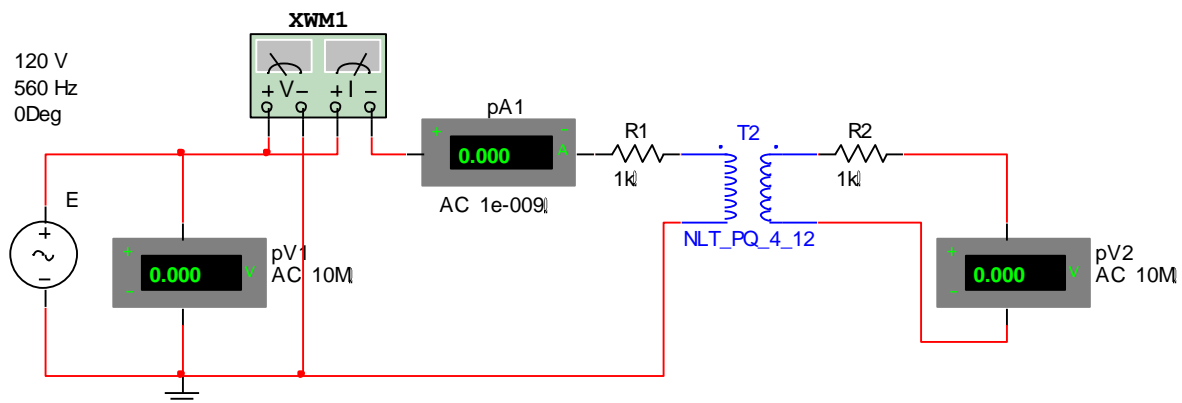


Рис. 4.4

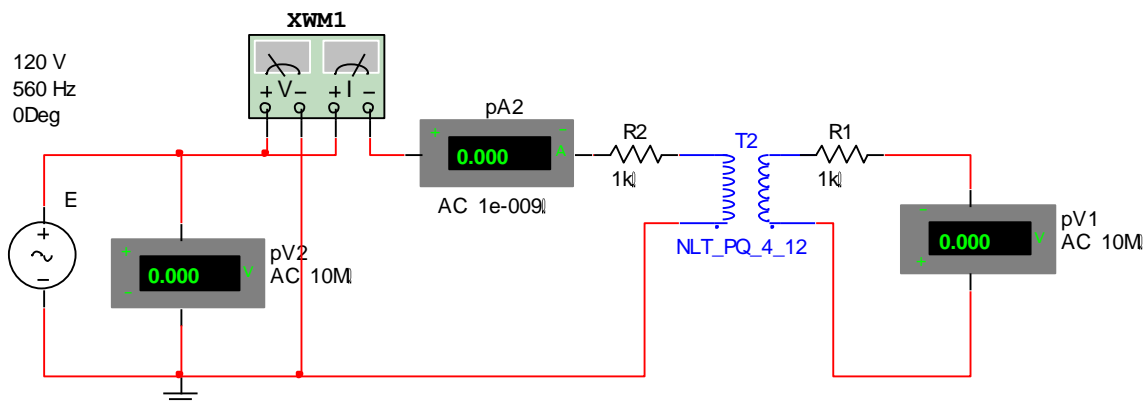


Рис. 4.5

Таблица 4.1

XX	Измерено						Вычислено								
	U_{10}	I_{10}	P_{10}	P_{20}	U_{20}	I_{20}	$\cos\varphi_{10}$	$\cos\varphi_{20}$	Z_{10}	R_1	L_1	Z_{20}	R_2	L_2	M
	В	А	Вт	Вт	В	А	-	-	Ом	Ом	Гн	Ом	Ом	Гн	Гн
Прямое питание				0		0									
Обратное питание		0	0												

3. Откройте файл 9.2 и включите цепь по схеме рис. 4.6.

Снимите показания приборов для шести различных значений $R_H=R_3$ и запишите данные опытов в табл. 4.2.

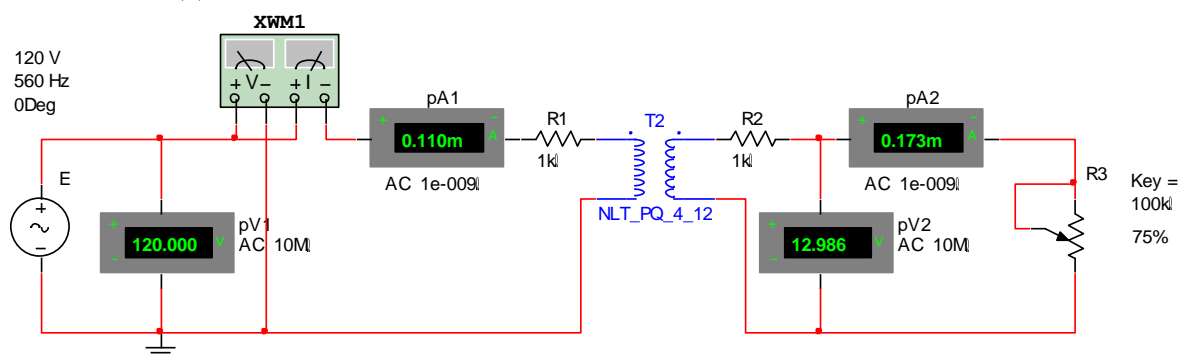


Рис. 4.6

4. Откройте файл 9.3 и включите цепь по схеме рис. 4.7. При изменении емкостной нагрузки снимите замеры для шести различных значений $C1$. Данные опыта занесите в табл. 4.2.

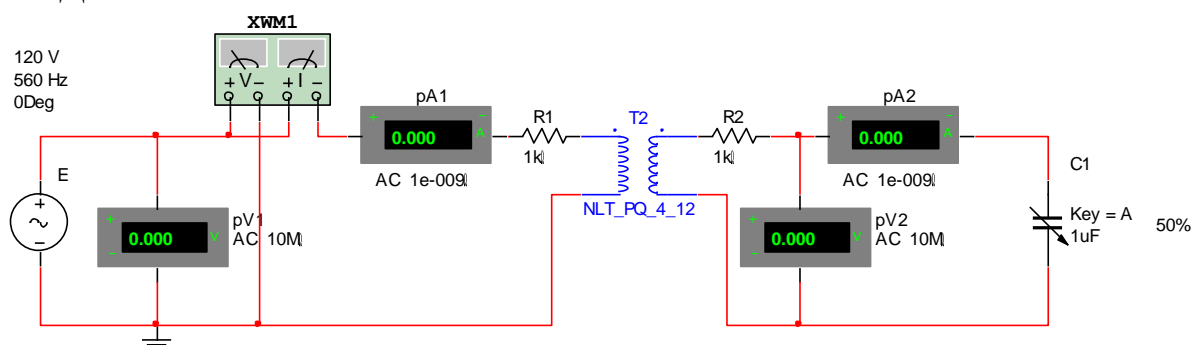


Рис. 4.7

5. Откройте файл 9.4 и включите цепь по схеме рис. 4.8. Данные опыта короткого замыкания занесите в табл. 4.2.

6. Откройте файл 9.5 и включите цепь по схеме рис. 4.9.

Последовательно изменяя величины емкостей C_1 и C_2 , добейтесь возникновения в схеме частичных резонансов. Данные опыта занесите в табл. 4.3. Наличие резонансных режимов определяется по максимальным значениям токов в первичной и вторичной обмотках трансформатора.

7. На основании опытных данных выполните необходимые расчеты и заполните все графы табл. 4.1–4.3.

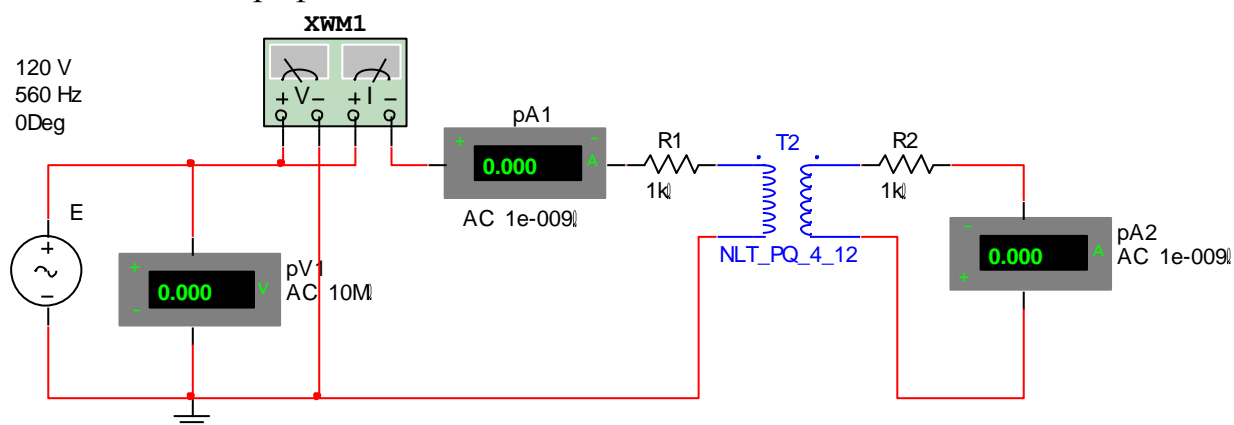


Рис. 4.8

Таблица 4.2

№	Характер нагрузки	Измерено					Вычислено	
		U_1	I_1	P_1	U_2	I_2	$\cos \varphi_1$	P_2
		В	А	Вт	В	А	—	Вт
1	Активная							
2								
3								
4								
5								
6								
7	Емкостная							
8	КЗ							

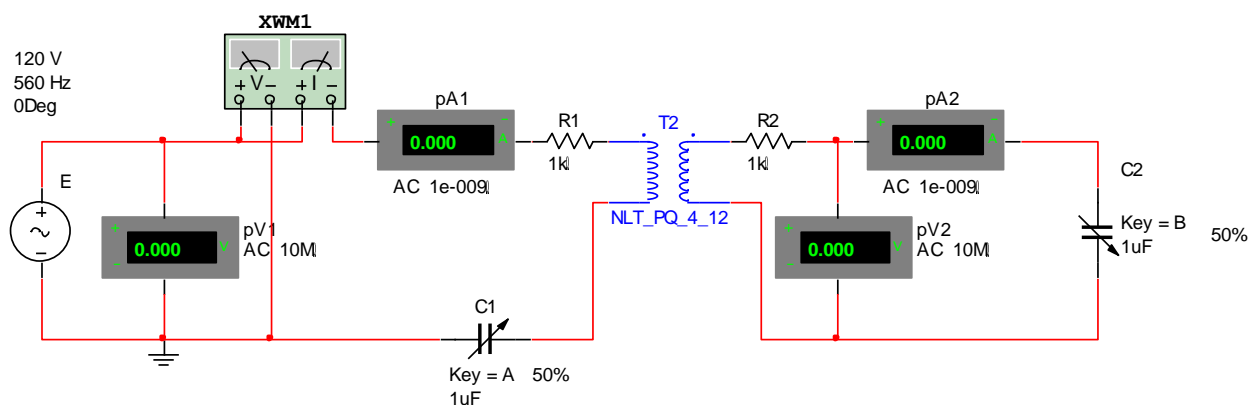


Рис. 4.9

Таблица 4.3

Измерено					Вычислено			
U_1	I_1	P_1	U_2	I_2	$\cos \varphi_1$	$Z_{\text{вх}}$	C_1	C_2
В	А	Вт	В	А	—	Ом	мкФ	мкФ

8. Постройте эквивалентную схему воздушного трансформатора по данным опытов холостого хода (табл. 4.1).

В табл. 4.1 величины Z_{10} и Z_{20} являются входными сопротивлениями в режиме холостого хода соответственно при прямом питании (вторичная обмотка разомкнута) и при обратном питании (первичная обмотка разомкнута).

9. Постройте графики зависимостей I_1 , P_1 , $\cos \varphi_1$, U_2 и P_2 от тока I_2 при работе трансформатора на активную нагрузку. При построении графиков использовать и данные опыта короткого замыкания.

10. Постройте топографические диаграммы напряжений и векторные диаграммы токов для:

- а) холостого хода трансформатора при прямом питании;
- б) одного из режимов работы трансформатора при активной нагрузке;
- в) режима работы трансформатора при емкостной нагрузке;
- г) режима короткого замыкания трансформатора.

11. Вычисление резонансных емкостей для табл. 4.3 производится по данным табл. 4.1 (параметры схемы замещения трансформатора) и табл. 4.3 (входное сопротивление трансформатора) с помощью формул (4.2), (4.4), (4.5).

Контрольные вопросы

1. Как устроен однофазный трансформатор?
2. От чего зависят ЭДС обмоток трансформатора?
3. Что называется коэффициентом трансформации?
4. Что называется внешней характеристикой трансформатора и как ее получить?
5. Как найти величину процентного изменения вторичного напряжения трансформатора при заданной нагрузке?
6. Какие потери энергии имеются в трансформаторе и от чего они зависят?
7. Что называют схемой замещения трансформатора и как определить ее параметры?
8. Как выполняют опыты короткого замыкания и холостого хода?

9. Какой закон электротехники положен в основу работы трансформатора?

10. Почему магнитный поток трансформатора постоянный и не зависит от нагрузки?

11. Запишите уравнения электрического состояния трансформатора при нагрузке.

12. Как влияет характер нагрузки на напряжение вторичной обмотки трансформатора?

13. При каких условиях коэффициент полезного действия трансформатора имеет максимальное значение?

5. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1

Исследование выпрямителей

Цель работы

Анализ процессов в схемах однополупериодного и двухполупериодного выпрямителей.

Приборы и элементы

Мультиметр, осциллограф, источник переменного напряжения 120 В, трансформатор на 6 В или два трансформатора 20:1, кремниевые диоды 1N4001GP, резисторы.

Краткие сведения из теории

Среднее значение выходного напряжения U_d (постоянная составляющая) однополупериодного выпрямителя (рис. 5.1) вычисляется по формуле

$$U_d = U_m / \pi. \quad (5.1)$$

Значение U_d двухполупериодного выпрямителя (рис. 5.2) вдвое больше:

$$U_d = 2U_m / \pi. \quad (5.2)$$

Частота выходного сигнала для схемы с однополупериодным или двухполупериодным выпрямителем вычисляется как величина, обратная периоду выходного сигнала по формуле $f = 1/T$.

При этом период сигнала на входе однополупериодного выпрямителя в 2 раза больше, чем у двухполупериодного. Максимальное обратное напряжение $U_{об. max}$ на диоде однополупериодного выпрямителя равно максимальному входному напряжению. Максимальное обратное напряжение на каждом диоде двухполупериодного выпрямителя с отводом от средней точки трансформатора равно разности удвоенного максимального значения напряжения на вторичной обмотке трансформатора U_{2m} и прямого падения напряжения на диоде $U_{пр}$:

$$U_{max} = U_{2m} - U_{пр}.$$

Коэффициент трансформации определяется отношением числа витков первичной обмотки к числу витков вторичной обмотки трансформатора и в схеме рис. 5.3 составляет 20:1. Среднее значение выходного напряжения U_d (постоянная составляющая) мостового выпрямителя (рис. 5.3) вычисляется по формуле (5.2), при этом максимальное значение напряже-

ния на вторичной полной обмотке трансформатора U_{2m} вычисляется по формуле

$$U_{2m} = U_{1m} \cdot W_2 / W_1 = U_{1m} / 20, \quad (5.3)$$

где U_{1m} – максимальное значение напряжения на первичной обмотке трансформатора.

Максимальное обратное напряжение $U_{об. max}$ на каждом диоде для схемы с выпрямительным мостом равно напряжению на вторичной обмотке U_{2m} .

Если включить на выход любого из выпрямителей, рассмотренных ранее, емкость (конденсатор), то переменная составляющая выходного напряжения будет ослаблена. Среднее значение выходного напряжения U_d выпрямителя с емкостным фильтром может быть приближенно оценено из соотношения

$$U_d = (U_{2max} + U_{2min}) / 2 = U_{2max} - \Delta U_2 / 2, \quad (5.4)$$

где U_{2max} и U_{2min} – максимальное и минимальное значение выходного напряжения;

$$\Delta U_2 = U_{2max} - U_{2min}. \quad (5.5)$$

Для оценки качества фильтра обычно используют коэффициент пульсаций q выходного напряжения, который вычисляется из соотношения

$$q = \Delta U_2 / U_d \cdot 100\%. \quad (5.6)$$

Домашнее задание

Изучите рекомендуемые разделы литературы. Рассмотрите схемы выпрямителей, принцип действия и особенности каждого выпрямителя. Обратите внимание на граничные режимы работы вентилей по напряжению и по току в каждой схеме выпрямителя. Рассмотрите порядок выбора вентилей по напряжению и току для каждого выпрямителя. Выпишите формулы для выполнения расчетов. Составьте бланк отчета. Ответьте на контрольные вопросы.

Порядок выполнения работы

5.1. Исследование входного и выходного напряжения однополупериодного выпрямителя:

а) откройте файл с 10_031 (рис. 5.1). Включите схему. На вход A осциллографа подается выходной сигнал, а на вход B – входной. Зарисуйте осциллограммы в бланк отчета о выполнении работы (на листе из тетради в клетку, соблюдая масштаб). Измерьте и запишите максимальные входное и выходное напряжения в табл. 5.1;

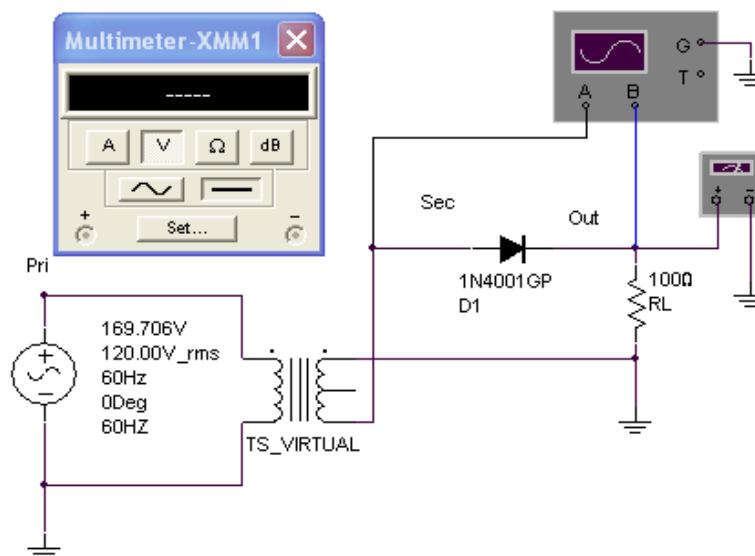


Рис. 5.1

Таблица 5.1

Максимальное входное напряжение $U_{\text{вх.max}}$, В	
Максимальное выходное напряжение $U_{\text{вых.max}}$, В	
Период выходного сигнала T , с	
Частота выходного сигнала, Гц	
Максимальное обратное напряжение диода $U_{\text{об.max}}$, В	
Коэффициент трансформации	
Постоянная составляющая напряжения на выходе расчетная величина U_d , В	
Постоянная составляющая напряжения на выходе, измеренная мультиметром U_d , В	

б) измерьте период T выходного напряжения по осциллограмме и запишите результат в табл. 5.1 и нарисуйте осциллограммы. Вычислите частоту выходного сигнала;

в) определите максимальное обратное напряжение $U_{\text{об.max}}$ на диоде и запишите в табл. 5.1;

г) вычислите коэффициент трансформации как отношение амплитуд напряжений на первичной и вторичной обмотке трансформатора в режиме, близком к холостому ходу. Запишите результат в табл. 5.1;

д) вычислите среднее значение выходного напряжения U_d (постоянная составляющая). Результат запишите в табл. 5.1. Запишите также постоянную составляющую напряжения на выходе, измеренную мультиметром.

5.2. Исследование входного и выходного напряжения двухполупериодного выпрямителя с отводом от средней точки трансформатора:

а) откройте файл c10_032 (рис. 5.2). На вход *A* осциллографа подается выходной сигнал, а на вход *B* – входной. Зарисуйте полученные осциллограммы в табл. 5.2. Измерьте и запишите максимальные входное и выходное напряжения;

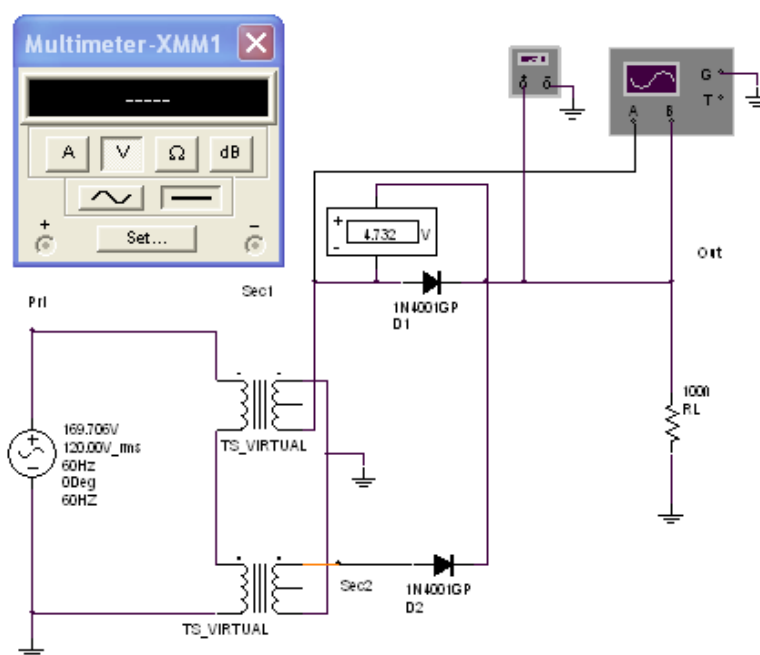


Рис. 5.2

б) измерьте период T по осциллограмме выходного напряжения и запишите результат в табл. 5.2. Вычислите частоту выходного сигнала;

в) по осциллограмме выходного напряжения определите максимальное обратное напряжение $U_{об.мах}$ на диоде. Запишите результат в табл. 5.2;

г) вычислите среднее значение U_d выходного напряжения (постоянная составляющая). Запишите результат в табл. 5.2. Запишите постоянную составляющую напряжения на выходе, измеренную мультиметром;

Таблица 5.2

Максимальное входное напряжение $U_{вх.мах}$, В	
Максимальное выходное напряжение $U_{вых.мах}$, В	
Период выходного сигнала T , с	
Частота выходного сигнала, Гц	
Максимальное обратное напряжение диода $U_{об.мах}$, В	
Коэффициент трансформации	
Постоянная составляющая напряжения на выходе расчетная величина U_d , В	
Постоянная составляющая напряжения на выходе, измеренная мультиметром U_d , В	

5.3. Исследование входного и выходного напряжений мостового выпрямителя:

а) откройте файл с 10_041 (рис. 5.3). На вход *A* осциллографа подается выходной сигнал, а на вход *B* – входной. Зарисуйте осциллограммы входного и выходного напряжений. Измерьте максимальные входное и выходное напряжение;

б) измерьте период T по осциллограмме выходного напряжения и запишите результат в табл. 5.3. Зная период, вычислите частоту выходного сигнала;

в) определите максимальное обратное напряжение $U_{об.маx}$ на диоде и запишите в табл. 5.3;

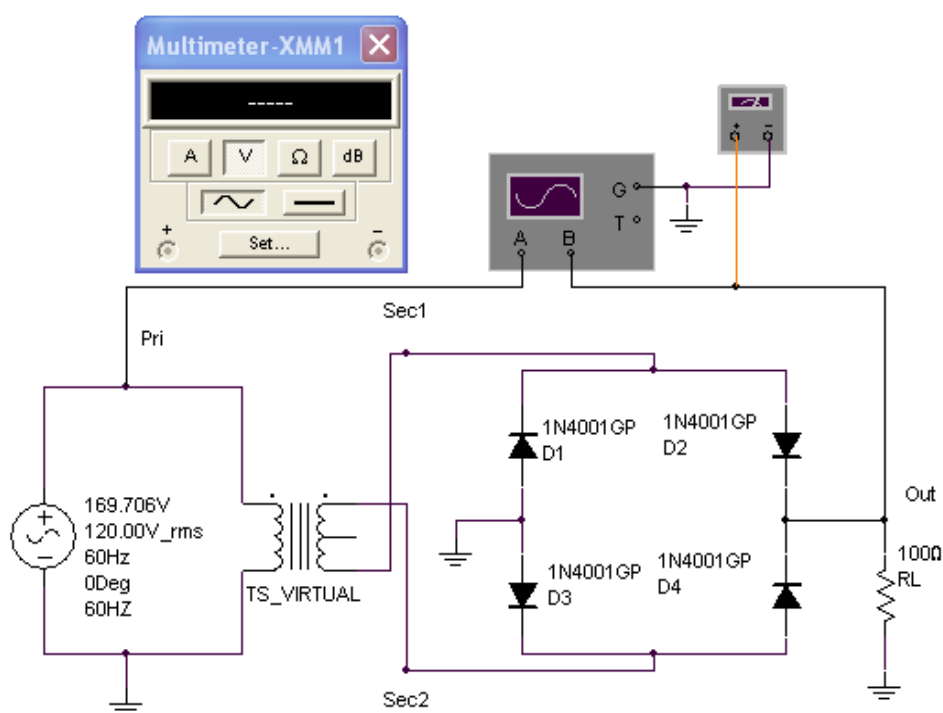


Рис. 5.3

Таблица 5.3

Максимальное входное напряжение $U_{вх.маx}$, В	
Максимальное выходное напряжение $U_{вых.маx}$, В	
Период выходного сигнала T , с	
Частота выходного сигнала, Гц	
Максимальное обратное напряжение диода $U_{об.маx}$, В	
Коэффициент трансформации	
Постоянная составляющая напряжения на выходе расчетная величина U_d , В	
Постоянная составляющая напряжения на выходе, измеренная мультиметром U_d , В	

г) вычислите коэффициент трансформации как отношение амплитуд напряжений на первичной и вторичной обмотках трансформатора в режиме, близком к холостому ходу. Запишите результат в табл. 5.3;

д) вычислите среднее значение выходного напряжения U_d (постоянная составляющая). Результат запишите в табл. 5.3. Запишите также постоянную составляющую напряжения на выходе, измеренную мультиметром.

5.4. Исследование влияния емкостного фильтра на выпрямленное напряжение

5.4.1. Определение коэффициента пульсаций однополупериодного выпрямителя:

а) откройте файл s10_051 (рис. 5.4). На вход А осциллографа подается входное напряжение, а на вход В – выходное. Измерьте максимум выходного напряжения $U_{2\max}$ и разность между максимумом и минимумом выходного напряжения ΔU_2 . Зарисуйте осциллограммы в бланк отчета о выполнении работы;

б) вычислите среднее значение выходного напряжения U_d по результатам измерений. Результат запишите в табл. 5.4;

в) запишите постоянную составляющую выходного напряжения по показаниям мультиметра в табл. 5.4. Сравните значения, полученные обоими методами;

г) вычислите коэффициент пульсаций выходного напряжения по формуле (5.6).

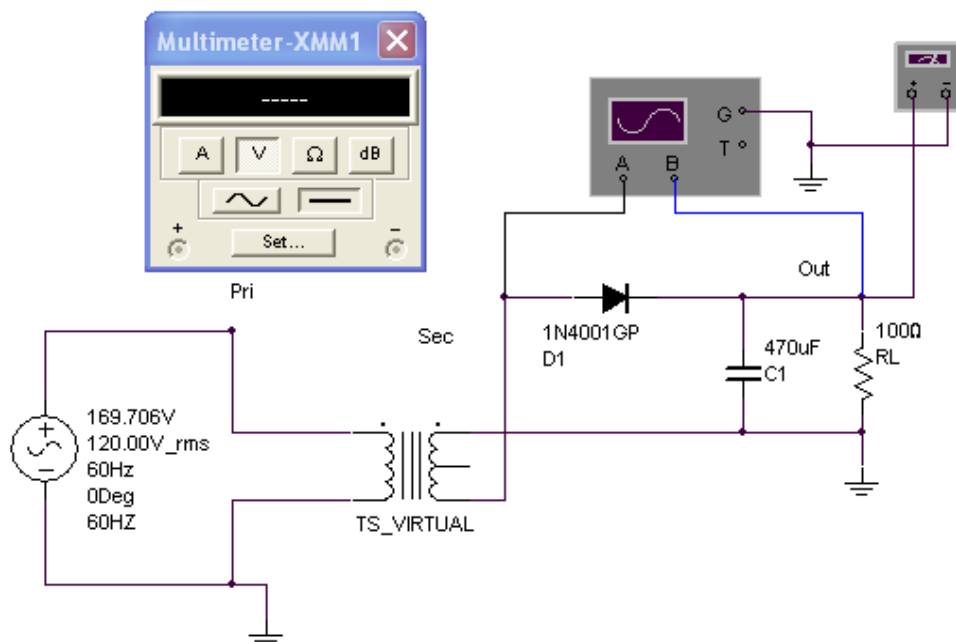


Рис. 5.4

5.4.2. Определение коэффициента пульсаций двухполупериодного выпрямителя:

а) откройте файл s10_052. На вход A осциллографа подается входное напряжение, а на вход B – выходное. Измерьте максимум выходного напряжения $U_{2\max}$ и разность между максимумом и минимумом выходного напряжения ΔU_2 . Зарисуйте осциллограммы в бланк отчета о выполнении работы;

б) вычислите среднее значение выходного напряжения U_d по результатам измерений. Результат запишите в табл. 5.4;

в) запишите постоянную составляющую выходного напряжения по показаниям мультиметра в табл. 5.4. Сравните значения, полученные обоими методами;

г) вычислите коэффициент пульсаций выходного сигнала по формуле (5.6).

Таблица 5.4

Измеренная или вычисленная величина	Выпрямитель	
	Однополупериодный	Двухполупериодный
Минимальное выходное напряжение $U_{\text{вых. min}}$, В		
Максимальное выходное напряжение $U_{\text{вых. max}}$, В		
Разность напряжений входного и выходного напряжений ΔU_2 , В		
Коэффициент пульсаций, q		
Постоянная составляющая напряжения на выходе расчетная величина U_d , В		
Постоянная составляющая напряжения на выходе, измеренная величина U_d , В		

Контрольные вопросы

1. Каковы различия между входным и выходным сигналами однополупериодного выпрямителя?

2. Одинаковы ли вычисленное и измеренное мультиметром среднее значение выходного напряжения U_d ?

3. Одинаковы ли частоты входного и выходного сигналов в схемах одно- и двухполупериодного выпрямителей?

4. Как влияет падение напряжения на диоде на выходное напряжение выпрямителя?

5. Зачем необходимы трансформаторы в схемах выпрямителей?

6. Чем отличается выходное напряжение в схемах однополупериодного и двухполупериодного выпрямителей?

7. Сравните максимальное обратное напряжение на диодах в однополупериодном и двухполупериодном выпрямителях.

8. Одинаковы ли частоты входного и выходного напряжения двухполупериодного выпрямителя? Как они соотносятся с частотами входного и выходного напряжения для однополупериодного выпрямителя?

9. Выведите формулу для расчета среднего значения выходного напряжения выпрямителя с емкостным фильтром на выходе.

10. В каком диапазоне напряжений может изменяться среднее значение выходного напряжения выпрямителя с емкостным фильтром на выходе?

11. Какие факторы влияют на значение коэффициента пульсаций выпрямителя с емкостным фильтром на выходе?

12. Сравните коэффициент пульсаций в однополупериодном и двухполупериодном выпрямителях с емкостным фильтром на выходе.

6. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2

Исследование транзисторов

Цель работы

Исследование зависимости тока коллектора от тока базы и напряжения база-эмиттер. Анализ зависимости коэффициента усиления по постоянному току от тока коллектора. Исследование работы биполярного транзистора в режиме отсечки.

Краткие сведения из теории

Исследуемая схема показана на рис. 6.1. Статический коэффициент передачи тока определится как отношение тока коллектора I_K к току базы I_B :

$$\beta_{DC} = I_K / I_B.$$

Динамический коэффициент передачи тока β_{AC} определяется отношением приращения ΔI_K коллекторного тока к вызывающему его приращению ΔI_B базового тока:

$$\beta_{AC} = \Delta I_K / \Delta I_B.$$

Дифференциальное входное сопротивление $R_{вх}$ транзистора в схеме с общим эмиттером (ОЭ) определяется при фиксированном значении напряжения коллектор-эмиттер. Оно может быть найдено как отношение приращения напряжения база-эмиттер к вызванному им приращению ΔI_B тока базы:

$$R_{вх} = \Delta U_{БЭ} / \Delta I_B = (U_{БЭ2} - U_{БЭ1}) / (I_{Б2} - I_{Б1}).$$

Дифференциальное входное сопротивление $R_{вх}$ транзистора в схеме с ОЭ через параметры транзистора определяется следующим выражением:

$$R_{вх} = R_B + \beta_{AC} \cdot R_{Э},$$

где R_B – распределенное сопротивление базовой области полупроводника; $R_{Э}$ – дифференциальное сопротивление перехода база-эмиттер, определяемое из выражения $R_{Э} = 25 / I_{Э}$; $I_{Э}$ – постоянный ток эмиттера в миллиамперах.

Первое слагаемое R_B много меньше второго, поэтому им можно пренебречь:

$$R_{вх} = \beta_{AC} \cdot R_{Э}.$$

Дифференциальное сопротивление $R_{Э}$ перехода база-эмиттер для биполярного транзистора сравнимо с дифференциальным входным сопротивлением $R_{вхОБ}$ транзистора в схеме с общей базой, которое определяется

при фиксированном значении напряжения база-коллектор. Оно может быть найдено как отношение приращения напряжения $\Delta U_{БЭ}$ к вызванному им приращению $\Delta I_{Э}$ тока эмиттера:

$$R_{вхОБ} = \Delta U_{БЭ} / \Delta I_{Э} = (U_{БЭ2} - U_{БЭ1}) / (I_{Э2} - I_{Э1}).$$

Через параметры транзистора это сопротивление определяется выражением

$$R_{вхОБ} = R_{Б} / \beta_{AC} + R_{Э}.$$

Первым слагаемым в выражении можно пренебречь, поэтому можно считать, что дифференциальное сопротивление перехода база-эмиттер:

$$R_{вхОБ} = R_{Э}.$$

Домашнее задание

Изучите рекомендуемые разделы литературы. Рассмотрите работу транзистора, включенного по схеме с общей базой (ОБ), общим эмиттером (ОЭ) и общим коллектором (ОК). Обратите внимание на различие основных параметров транзистора (коэффициенты передачи тока, напряжения, а также статического и дифференциального сопротивлений) для указанных схем. Выпишите формулы для выполнения расчетов. Составьте бланк отчета. Ответьте на контрольные вопросы.

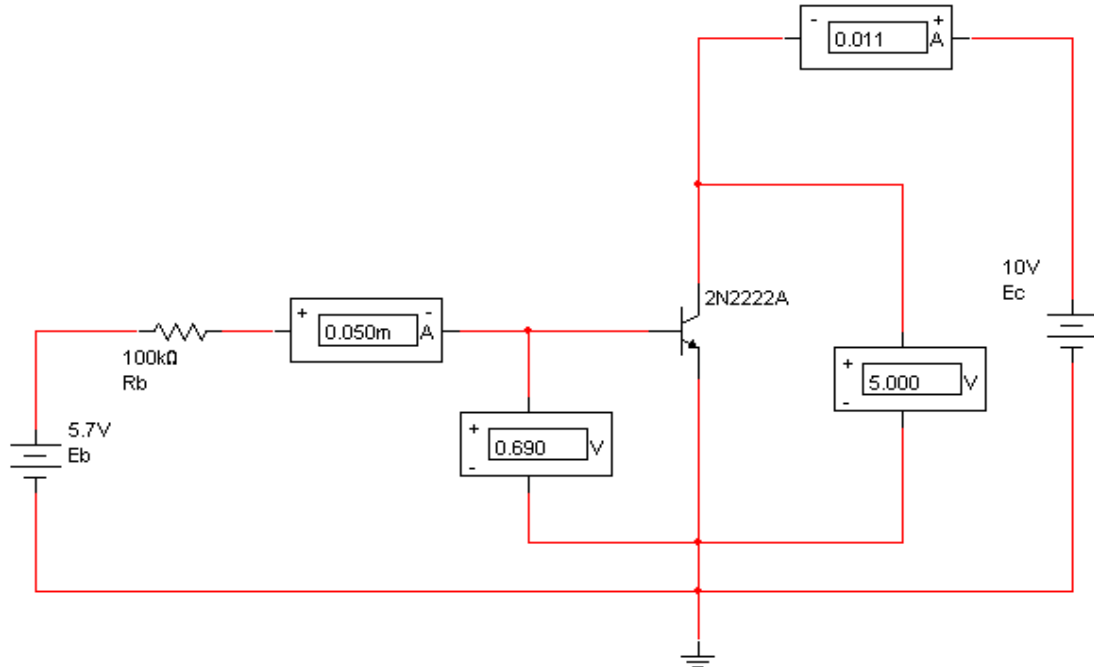


Рис. 6.1

Порядок выполнения работы

6.1. Определение статического коэффициента передачи тока транзистора:

а) открыть файл c11_001 со схемой, изображенной на рис. 6.1. Включить схему. Записать результаты измерения тока коллектора, тока базы и напряжения коллектор-эмиттер в табл. 6.1. По полученным результатам подсчитать статический коэффициент передачи тока транзистора β_{DC} . Результат записать в табл. 6.1;

б) изменить номинал источника ЭДС E_B до 2,68 В. Включить схему. Записать результаты измерения тока коллектора, тока базы и напряжения коллектор-эмиттер в табл. 6.1. По полученным результатам подсчитать коэффициент β_{DC} . Ответ записать в табл. 6.1;

Таблица 6.1

Величина ЭДС	$E_B, \text{В} =$		$E_K, \text{В} =$
	5,7	2,68	5
Ток базы I_B			
Ток коллектора I_K			
Напряжение коллектор-эмиттер $U_{КЭ}$			
Статический коэффициент передачи тока β_{DC}			

в) изменить номинал источника ЭДС E_K до 5 В. Включить схему. Записать результаты измерения тока коллектора, тока базы и напряжения коллектор-эмиттер в табл. 6.1. По полученным результатам измерений подсчитать статический коэффициент передачи тока транзистора β_{DC} . Результат записать в табл. 6.1. Затем установить номинал E_K равным 10 В.

6.2. Измерение обратного тока коллектора

На схеме рис. 6.1 изменить номинал источника ЭДС E_B до нуля. Включить схему. Записать результаты измерения тока коллектора, тока базы и напряжения коллектор-эмиттер в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Обратный ток коллектора I_{K0} , мкА	
Ток базы I_B , мкА	
Напряжение коллектор-эмиттер $U_{КЭ}$, В	

6.3. Получение выходной характеристики транзистора в схеме с ОЭ:

а) в схеме (рис. 6.1) провести измерения тока коллектора I_K для каждого значения E_K и E_B , приведенного в табл. 6.3. Заполнить таблицу. По полученным данным построить график зависимости I_K от E_K ;

б) открыть файл c11_002 со схемой, изображенной на рис. 6.2. Включить схему. Зарисовать осциллограмму выходной характеристики на миллиметровой бумаге или в тетради в клетку, соблюдая масштаб. Повторить измерения для каждого значения E_B из табл. 6.3. Осциллограммы выходных характеристик для разных токов базы изобразить на одном графике;

Таблица 6.3

E_B , В	I_K , мА	E_K , В					
		0,1	0,5	1,0	5	10	20
1,66							
2,68							
3,68							
4,68							
5,7							

в) по выходной характеристике найти коэффициент передачи тока β_{AC} при изменении базового тока с 10 до 30 мкА, $E_K = 10$ В. Результат записать в отчет о выполнении работы.

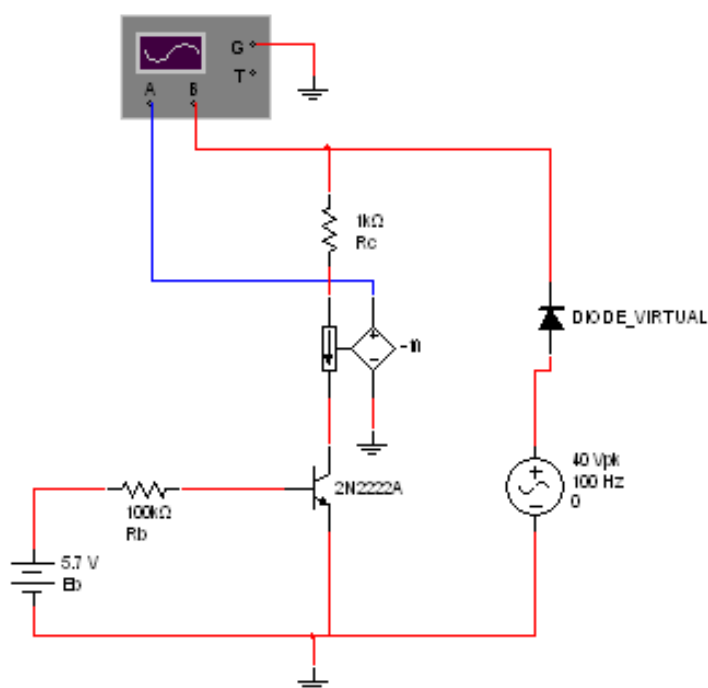


Рис. 6.2

6.4. Получение входной характеристики транзистора в схеме с ОЭ:

а) открыть файл с 11_001 (рис. 6.1). Установить значение напряжения источника E_K , равным 10 В и провести измерения тока базы I_B , напряжения база-эмиттер $U_{БЭ}$, тока эмиттера I_E для различных значений

напряжения источника E_B , в соответствии с табл. 6.4. Обратить внимание, что коллекторный ток примерно равен току в цепи эмиттера;

б) по данным таблицы построить график зависимости тока базы от напряжения база-эмиттер;

в) открыть файл c11_003 со схемой, изображенной на рис. 6.3. Включить схему. Зарисовать осциллограмму входной характеристики на миллиметровой бумаге или в тетради в клетку, соблюдая масштаб.

Таблица 6.4

E_B , В	I_B , мкА	$U_{БЭ}$, В	$I_Э$, мА
1,66			
2,68			
3,68			
4,68			
5,7			

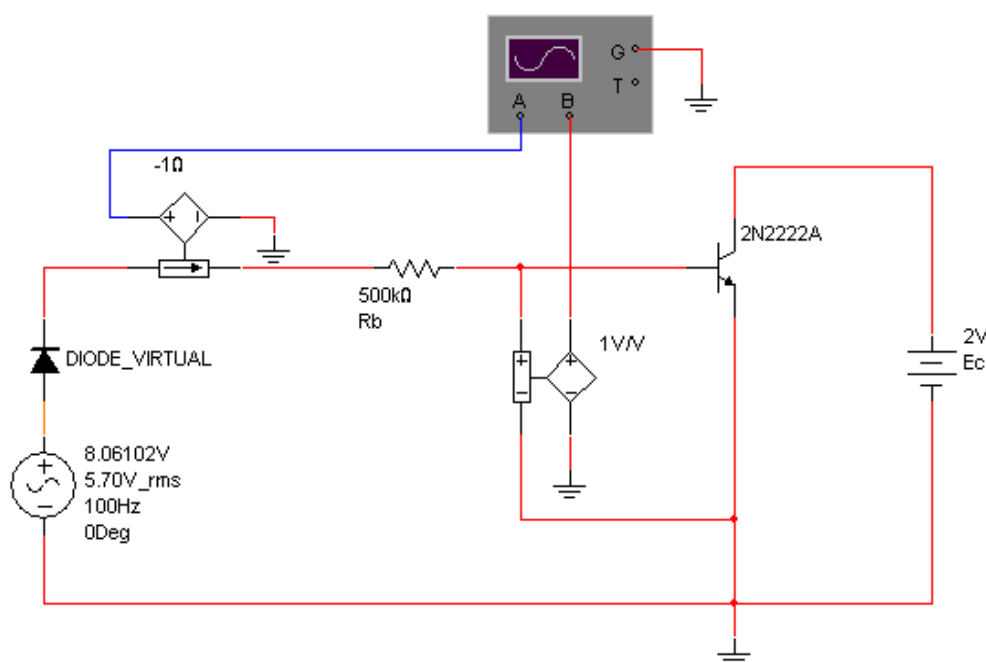


Рис. 6.3

г) по входной характеристике найти входное сопротивление $R_{вх}$ при изменении тока базы с 10 до 30 мкА. Результат записать в отчет о выполнении работы.

6.5. Получение входной характеристики транзистора в схеме с общей базой:

а) по данным табл. 6.4, полученным в предыдущем эксперименте, построить график зависимости тока эмиттера от напряжения база-эмиттер;

б) открыть файл c11_004 со схемой, изображенной на рис. 6.4. Включить схему. Зарисовать осциллограмму полученной характеристики на миллиметровой бумаге или в тетради в клетку, соблюдая масштаб.

в) по полученной характеристике найти сопротивление R_3 при изменении тока базы с 10 до 30 мкА. Результат записать в бланк отчета по лабораторной работе.

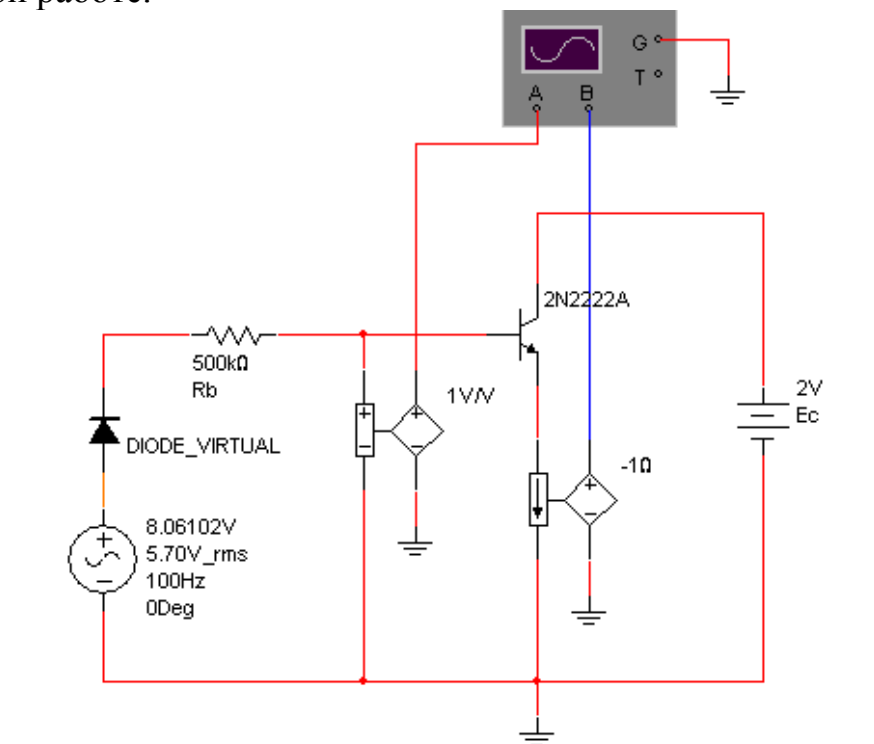


Рис. 6.4

г) найти сопротивление R_3 по формуле $R_3 = 25/I_3$, используя значение I_3 из табл. 6.4 при токе базы $I_B = 20$ мкА. Результат записать в отчет о выполнении работы.

Контрольные вопросы

1. От чего зависит ток коллектора биполярного транзистора?
2. Зависит ли коэффициент от тока коллектора? Если да, то в какой степени? Обосновать ответ.
3. Что можно сказать по выходным данным характеристикам о зависимости тока коллектора от тока базы и напряжения коллектор-эмиттер?
4. Что можно сказать по входной характеристике о различии между переходом база-эмиттер и диодом, смещенным в прямом направлении?
5. Одинаково ли значение в любой точке входной характеристики?
6. Одинаково ли значение при любом значении тока?
7. Как отличается практическое значение от вычисленного по формуле?

7. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3

Исследование логических элементов

Цель работы

Исследование логических схем. Реализация логических функций с помощью логических элементов.

Приборы и элементы

Источник напряжения +5 В, вольтметр, логические пробники, источник сигнала «логическая единица», двухпозиционные переключатели, двухвходовые элементы И, И–НЕ, ИЛИ, ИЛИ–НЕ (Misc, Digital, [TIL]), микросхемы серии 7400 (ТТЛ 7404N–7406N).

Краткие сведения из теории

Аксиомы алгебры логики

Переменные, рассматриваемые в алгебре логики, могут принимать только два значения – 0 или 1. В алгебре логики определены: отношение эквивалентности (обозначается знаком =) и операции сложения (дизъюнкции), обозначаемая знаком \vee , умножения (конъюнкции), обозначаемая знаком $\&$ или точкой, и отрицания (или инверсии), обозначаемая чертой сверху, тильдой (\sim) или апострофом ($'$).

Алгебра логики определяется следующей системой аксиом:

$$\begin{aligned} X = 0, \text{ если } X \neq 1, \quad \bar{0} = 1, \\ X = 1, \text{ если } X \neq 0, \quad \bar{1} = 0, \\ 1 \vee 1 = 1, \quad 0 \cdot 0 = 0, \\ 0 \vee 0 = 0, \quad 1 \vee 1 = 1, \\ 0 \vee 1 = 1, \quad 1 \vee 0 = 1, \quad 1 \cdot 0 = 0 \cdot 1 = 0. \end{aligned}$$

Логические выражения

Запись логических выражений обычно осуществляют в конъюнктивной или дизъюнктивной нормальных формах. В дизъюнктивной форме логические выражения записываются как логическая сумма логических произведений, в конъюнктивной форме – как логическое произведение логических сумм. Порядок действий такой же, как и в обычных алгебраических выражениях. Логические выражения связывают значение логической функции со значениями логических переменных.

Логические тождества

При преобразованиях логических выражений используются логические тождества:

$$\begin{aligned} \overline{\overline{X}} &= X; X \vee 1 = 1; X \vee 0 = X; X \cdot 1 = X, X \cdot 0 = 0, X \vee X = X; \\ X \cdot X &= X; X \vee X \cdot Y = X; XY \vee X\bar{Y} = X; (X \vee Y)(X \cdot \bar{Y}) = X; \\ X \vee \bar{X}Y &= X \vee Y; \bar{X}\bar{Y} = \bar{X} \vee \bar{Y}; \bar{X} \vee \bar{Y} = \overline{X \cdot Y}. \end{aligned}$$

Логические функции

Любое логическое выражение, составленное из n переменных x_n, x_{n-1}, \dots, x_1 с помощью конечного числа операций алгебры логики, можно рассматривать как некоторую функцию n переменных. Такую функцию называют логической. В соответствии с аксиомами алгебры логики функция может принимать в зависимости от значения переменных значение 0 или 1. Основные логические функции:

И, И – НЕ, ИЛИ, ИЛИ – НЕ.

Логические схемы

Физическое устройство, реализующее одну из операций алгебры логики или простейшую логическую функцию, называется логическим элементом. Схема, составленная из конечного числа логических элементов по определенным правилам, называется логической схемой. Основным логическим функциям соответствуют выполняющие их схемные элементы.

Таблица истинности

Так как область определения любой функции n переменных конечна (2^n значений), такая функция может быть задана таблицей значений $F(v_i)$, которые она принимает в точках v_i , где $i = 0, 1, \dots, 2^n - 1$. Такие таблицы называют таблицами истинности.

Таблица 7.1

Элементы											
И			И – НЕ			ИЛИ			ИЛИ – НЕ		
Входы		Выход	Входы		Выход	Входы		Выход	Входы		Выход
А	В	У	А	В	У	А	В	У	А	В	У
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0
1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0
1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0

Порядок выполнения работы

7.1. Исследование логической функции И

а) задание уровней логических сигналов. Откройте файл c13_01 со схемой, изображенной на рис. 7.1. В этой схеме два двухпозиционных переключателя А и В подают на входы логической схемы И уровни 0 (контакт переключателя в нижнем положении) или 1 (контакт переключателя в верхнем положении). Включите схему. Установите переключатель В в нижнее положение. Измерьте вольтметром напряжение на входе В и определите с помощью логического пробника уровень логического сигнала.

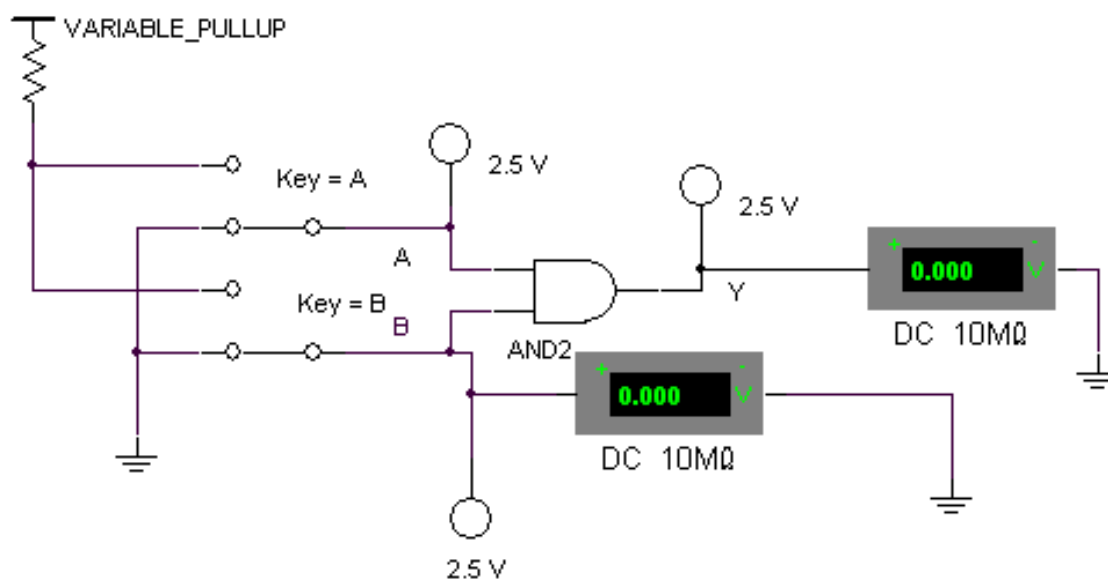


Рис. 7.1

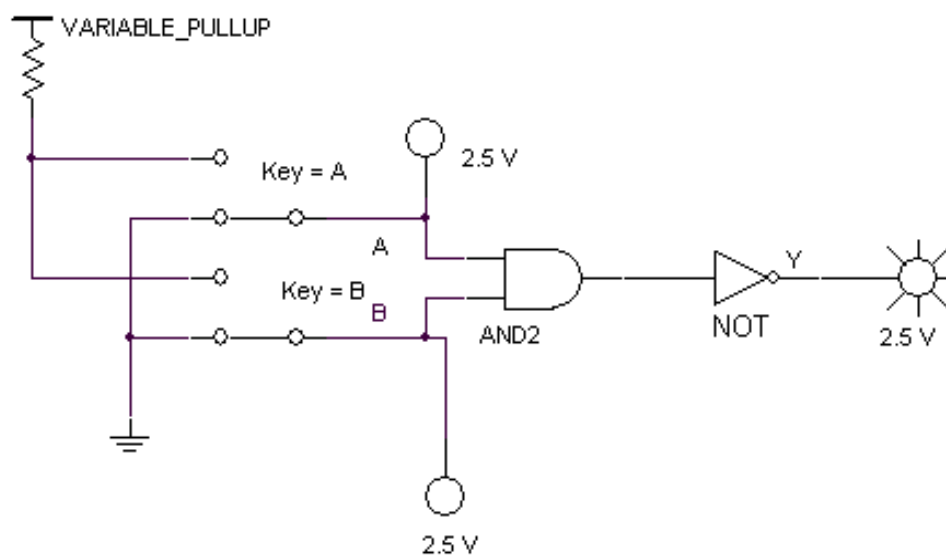


Рис. 7.2

Установите переключатель В в верхнее положение. Определите уровень логического сигнала и запишите показания вольтметра; укажите, какой логический сигнал формируется на выходе Y. Результаты занесите в табл. 7.2;

б) экспериментальное получение таблицы истинности элемента И. Подайте на входы схемы все возможные комбинации уровней сигналов А и В и для каждой комбинации зафиксируйте уровень выходного сигнала. Заполните таблицу истинности логической схемы И в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Элементы											
И			И – НЕ			ИЛИ			ИЛИ – НЕ		
Входы		Выход	Входы		Выход	Входы		Выход	Входы		Выход
А	В	Y	А	В	Y	А	В	Y	А	В	Y

7.2. Исследование логической функции И – НЕ

а) экспериментальное получение таблицы истинности логического элемента 2И – НЕ, составленного из элементов 2И и НЕ.

Соберите схему, изображенную на рис. 7.2 (копировать схему рис. 7.1, создать новый файл, вставить, модифицировать). Включите ее. Подайте на входы схемы все возможные комбинации уровней входных сигналов и, наблюдая уровни сигналов на входах и выходе с помощью логических пробников, заполните таблицу истинности логической схемы 2И – НЕ в табл. 7.2;

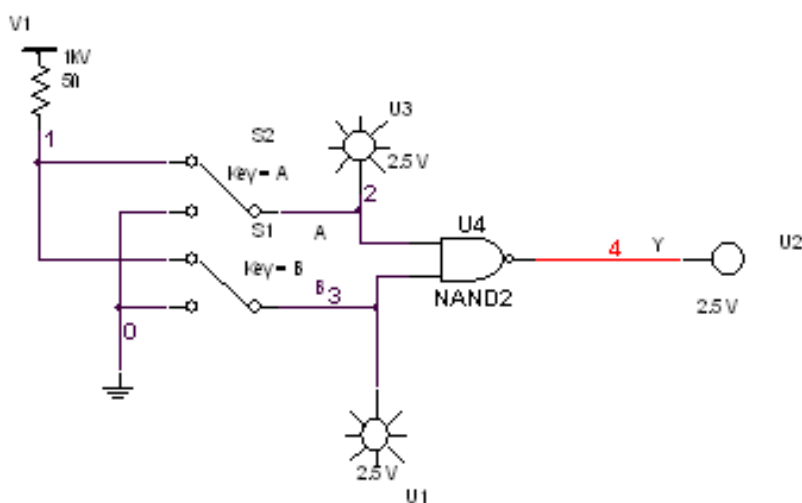


Рис. 7.3

б) экспериментальное получение таблицы истинности логического элемента 2И – НЕ. Соберите схему, изображенную на рис. 7.3 (копировать схему рис. 7.1, создать новый файл, вставить, модифицировать). Включите схему. Подайте на входы схемы все возможные комбинации уровней входных сигналов и, наблюдая уровни сигналов на входах и выходе с помощью логических пробников, заполните таблицу истинности логической схемы 2И – НЕ в табл. 7.2. Сравните результаты экспериментов в пунктах а) и б).

7.3. Исследование логической функции ИЛИ

а) экспериментальное получение таблицы истинности логического элемента ИЛИ. Соберите схему, изображенную на рис. 7.4.

Включите питание. Подайте на входы схемы все возможные комбинации уровней входных сигналов и, наблюдая уровни сигналов на входах и выходе с помощью логических пробников, заполните таблицу истинности логической схемы ИЛИ в табл. 7.2;

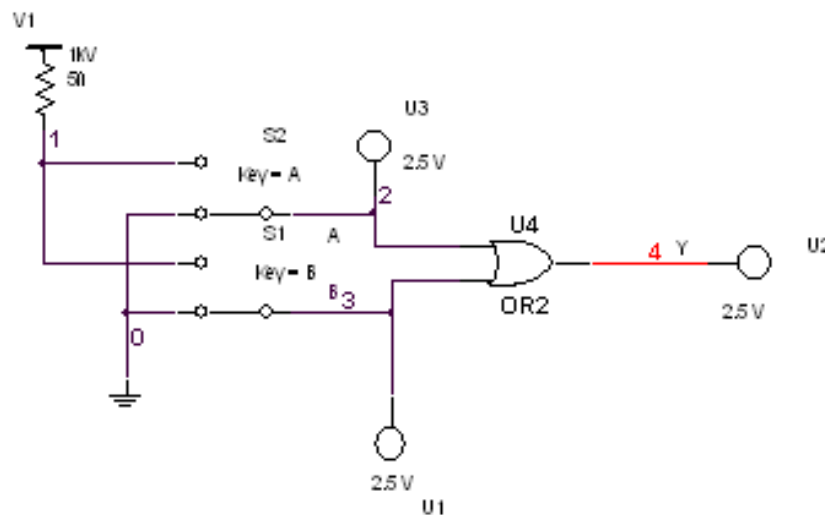


Рис. 7.4

7.4. Исследование логической функции ИЛИ – НЕ

а) экспериментальное получение таблицы истинности логического элемента 2ИЛИ – НЕ, составленного из элементов 2ИЛИ и НЕ. Соберите схему, изображенную на рис. 7.5. Включите ее. Подайте на входы схемы все возможные комбинации уровней входных сигналов и, наблюдая уровни сигналов на входах и выходе с помощью логических пробников, заполните таблицу истинности логической схемы 2ИЛИ – НЕ в табл. 7.2;

б) экспериментальное получение таблицы истинности логического элемента 2ИЛИ – НЕ. Соберите схему, изображенную на рис. 7.6. Включите ее. Подайте на входы схемы все возможные комбинации уровней входных сигналов и, наблюдая уровни сигналов на входах и выходе с помощью логических пробников, заполните таблицу истинности логической схемы 2ИЛИ – НЕ в табл. 7.2.

Сравните результаты экспериментов в пунктах а) и б).

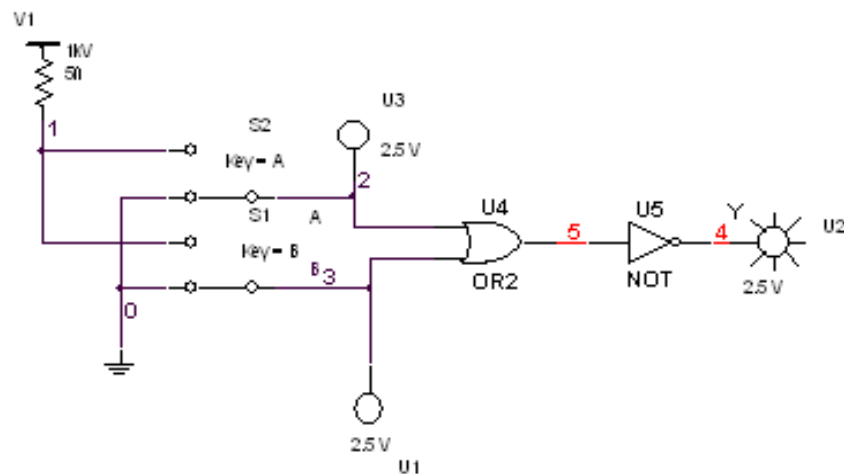


Рис. 7.5

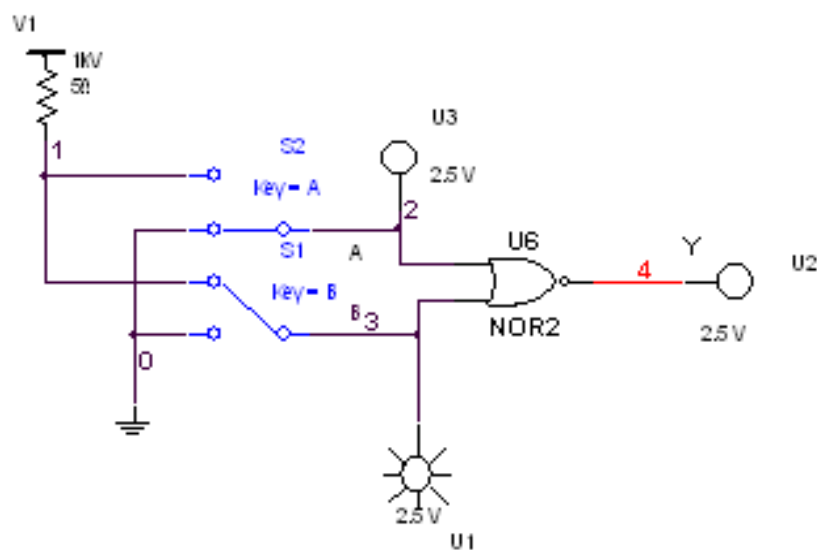


Рис. 7.6

Контрольные вопросы

1. Что такое логическая переменная и логический сигнал? Какие значения они могут принимать?
2. Что такое логическая функция?
3. Может ли быть логическим сигналом уровень напряжения? Состояние контакта? Свечение светодиода?
4. Какая логическая функция описывает поведение системы пуска трехфазного двигателя (двигатель может быть запущен, если три датчика подтверждают наличие фазных напряжений)?
5. В вашем распоряжении имеются логические элементы 2И – НЕ. Как на их основе сделать схему 3И? Достаточно ли четырех элементов 2И – НЕ для выполнения этой задачи?
6. Как будет вести себя схема И, если на одном из входов вследствие внутренней неисправности будет постоянно присутствовать логическая

единица? Логический нуль? Составьте таблицу истинности для неисправной схемы ЗИ. Определите поведение схемы И – НЕ при тех же условиях.

7. Как будет вести себя схема ИЛИ, если на одном из входов вследствие внутренней неисправности будет постоянно присутствовать логическая единица? Логический нуль? Составьте таблицу истинности для неисправностей схемы ЗИЛИ. Определите поведение схемы ИЛИ – НЕ при тех же условиях.

8. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Селиванова, З. М. Общая электротехника и электроника: лабораторный практикум [Электронный ресурс]. – Тамбов, 2012. – 70 с.
2. Чернышова, Т. И. Общая электротехника и электроника: учебное пособие, Ч. 2. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 84 с.
3. Белов, Н. В. Электротехника и основы электроники: учебное пособие / Н. В. Белов, Ю. С. Волков. – Санкт-Петербург: Лань, 2012. – 432 с.

Дополнительная литература

4. Зевеке, Г. В. Основы теории цепей. – Москва: Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.
5. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – Москва: Гардарики, 2000. – 638 с.
6. Касаткин, А. С. Электротехника / А. С. Касаткин, В. М. Немцов. – Москва: Издательский центр «Академия», 2005. – 544 с.
7. Электроника: учеб. для вузов / О. В. Миловзоров, И. Г. Панков. – Москва: Высш. шк., 2004. – 288 с.
8. Основы промышленной электроники: учеб. для вузов / В. Г. Герасимов, О. М. Князьков, А. Е. Краснопольский, В. В. Сухоруков; под ред. В. Г. Герасимова. – Москва: Высш. шк., 1986. – 336 с.

9. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Общие положения

Целью самостоятельной работы по дисциплине «Электротехника и электроника» является систематическое изучение дисциплины в течение семестра, закрепление и углубление полученных знаний и навыков, подготовка к предстоящим занятиям, формирование культуры умственного труда и самостоятельности в поиске и приобретении новых знаний и умений для углубления профессиональных компетенций. Самостоятельная работа обучающегося заключается в выполнении домашних заданий в форме конспектирования, составления обзоров.

Содержание самостоятельной работы

Содержание теоретического материала дисциплины для самостоятельного изучения представлено в табл. 9.1.

Таблица 9.1

№ недели	Вид самостоятельной работы
1	Подготовка к лабораторной работе №1
2-3	Подготовка к практической работе №1
4-5	Подготовка к лабораторной работе №2
6-7	Подготовка к практической работе №2
8-9	Подготовка к лабораторной работе №3
10-11	Подготовка к практической работе №3
12-13	Подготовка к лабораторной работе №4
14-16	Подготовка к экзамену

Самостоятельная работа заключается в подготовке по тематике курса с изучением основной и дополнительной литературы, подготовке к лабораторным и практическим занятиям.

Форма текущего контроля: собеседование.

По каждому разделу самостоятельного изучения теоретического материала обучающийся должен представить отчет в письменной форме в кратком изложении. Отчет должен содержать следующее:

- Название вопроса темы.
- Изложение основных вопросов с приведением необходимых формул, таблиц и графиков.

- Выводы.
- Список использованной литературы.

На титульном листе отчета по порядку сверху вниз необходимо расположить следующие данные:

- Кафедра электропривода и автоматизации.
- Название темы.
- Выполнил (ФИО студента, группа, дата, подпись).
- Проверил (ФИО преподавателя, оценка, подпись, дата).

Объем отчета должен составлять 2-4 страницы формата А4, шрифт Times New Roman, 14 пт, интервал – одинарный, абзацный отступ 1,25 см, выравнивание текста по ширине, расстановка переносов автоматическая.

Дополнительно к рекомендованному по дисциплине учебно-методическому и информационному обеспечению обучающийся может использовать для самостоятельной подготовки и другие учебные и научные книги, научные статьи, Internet ресурсы и др.