

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный аграрный университет
имени Н.И. Вавилова»**

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

**Методические указания
к лабораторным работам**

Саратов 2018

УДК 621
ББК 31+32
Ч93

Электротехника: Методические указания к выполнению лабораторных работ / Сост.: О.Н. Чурляева; ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ. Саратов, 2018.

ISBN.....

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
УКАЗАНИЯ ПО БЕЗОПАСНОСТИ.....	5
СОДЕРЖАНИЕ ПИСЬМЕННОГО ОТЧЕТА	5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. Разветвленная цепь постоянного тока, содержащая несколько ЭДС. Принцип наложения.....	6
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. Изучение свойств цепи однофазного синусоидального тока, содержащей последовательно соединенные активное, индуктивное и емкостное сопротивления.....	11
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. Изучение свойств трехфазной цепи при соединении токоприемников по схеме «звезда» с нулевым проводом и «звезда»	16
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. Испытание однофазного трансформатора	24
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5. Испытание трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.....	32
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6. Исследование выпрямителя	37
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7. Исследование транзистора	42
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8 Исследование логических элементов	47
ЛИТЕРАТУРА	55

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания к лабораторным занятиям предназначены для студентов Саратовского государственного аграрного университета им. Н.И. Вавилова, изучающих дисциплину «Электротехника».

Электротехника – область науки и техники, которая занимается изучением электрических и магнитных явлений и их использованием в практических целях.

Электроника – область науки, техники и производства, охватывающая исследование и разработку электронных устройств и принципов их использования. В основе развития электроники лежит непрерывное усложнение функций, выполняемых электронными устройствами.

В условиях научно-технической революции особенно отчетливо проявилась диалектическая связь науки, техники и производства. Наука стала непосредственной производительной силой, а научные достижения оказались в существенной степени зависящими от уровня развития и возможностей современных технологий.

Принцип постоянной связи теории и практики, обязательный для обучения в вузе, получает непосредственное осуществление на практических и лабораторных занятиях по электротехнике. На практических занятиях решаются задачи, конкретизирующие теоретические положения, изложенные на лекциях и в учебниках. На лабораторных занятиях студенты наблюдают и изучают явления в электрических цепях, а также конкретные электротехнические устройства, широко используемые в различных отраслях производства.

УКАЗАНИЯ ПО БЕЗОПАСНОСТИ

При эксплуатации лабораторных установок и стендов необходимо соблюдать следующие правила.

1. Лабораторные установки и стенды эксплуатировать только в помещении без повышенной опасности по степени поражения электрическим током.
2. Включение питания и выполнение работ производить только после разрешения преподавателя.
3. Сборку электрических схем для проведения лабораторных работ производить при отключенном питании.
4. Корпус стенда должен быть заземлен. Сопротивление контура заземления не более 4 Ом.
5. При замене предохранителя или перед вскрытием задней крышки необходимо отключить стенд от питающей сети.
6. Включение питания производить только после проверки собранной схемы преподавателем.

СОДЕРЖАНИЕ ПИСЬМЕННОГО ОТЧЕТА

1. Название работы
2. Цель работы
3. Электрическую схему работы, выполненную в соответствии с требованиями ЕСКД.
4. Расчетные формулы и примеры расчетов.
5. Графики зависимостей, векторные диаграммы в соответствии с заданием по работе.
6. Таблицы с экспериментальными и расчетными данными.
7. Выводы по работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

РАЗВЕТВЛЕННАЯ ЦЕПЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА, СОДЕРЖАЩАЯ НЕСКОЛЬКО ЭДС. ПРИНЦИП НАЛОЖЕНИЯ

1. Цель работы: Исследовать распределение токов и напряжений в разветвленных цепях постоянного тока, содержащих несколько ЭДС. Проверить экспериментально принцип наложения.

2. Основные положения

При расчете разветвленных линейных электрических цепей, в которых одновременно действуют несколько ЭДС, может применяться **метод наложения** основанный на независимости действия отдельных ЭДС в цепи, т.е. на принципе наложения.

Принцип наложения. Каждая ЭДС, находящаяся в сложной цепи, создает свои токи, независимо от действия остальных ЭДС этой же цепи.

В соответствии с принципом наложения, ток на любом участке цепи находится как алгебраическая сумма всех токов, которые имели бы место на этом участке, если бы в системе действовала каждая ЭДС отдельно.

2.1. Порядок расчета цепей методом наложения

1. Поочередно в схеме оставляют только одну ЭДС, считая все остальные ЭДС равными нулю и оставляя их внутренние сопротивления R_v , произвольно задаются направлениями токов в ветвях схемы.
2. Рассчитывают токи в ветвях от действия одной ЭДС, при этом пользуются методами эквивалентных преобразований схемы и законами Ома.
3. Находят действительные токи ветвей, суммируя, с учетом знаков и направлений, токи, вызываемые в ветви каждой из ЭДС в отдельности.

2.2. Пример расчета разветвленной цепи методом наложения.

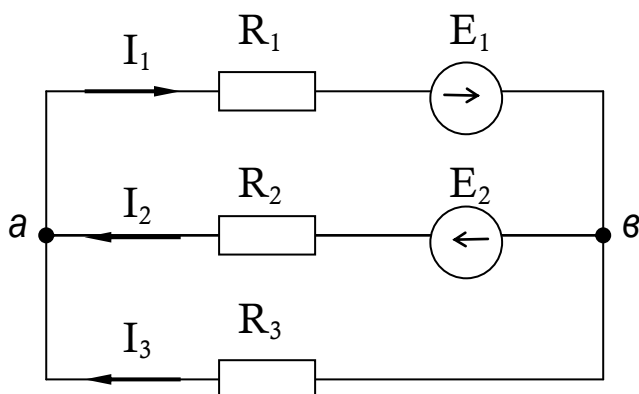


Рис. 1. Разветвленная цепь постоянного тока, содержащая несколько ЭДС

Необходимо определить токи I_1 , I_2 , I_3 , действующие в схеме (рис.1) .

1. Полагаем, что ЭДС $E_2=0$, а внутреннее сопротивление источника равно $R_{в2}$, при этом получается схема, изображенная на рис. 2а

Наносим на эту схему направления токов I'_1, I'_2, I'_3 в ветвях.

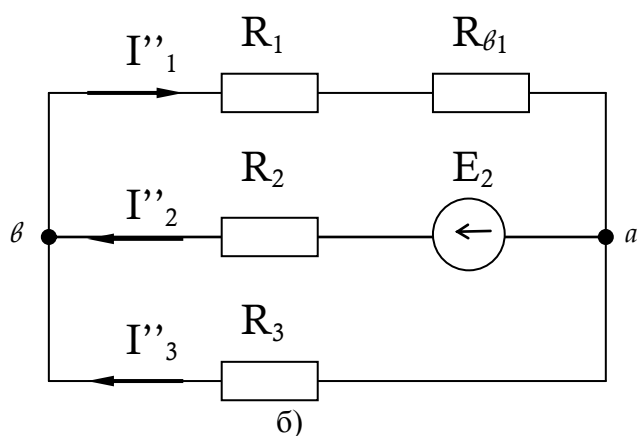
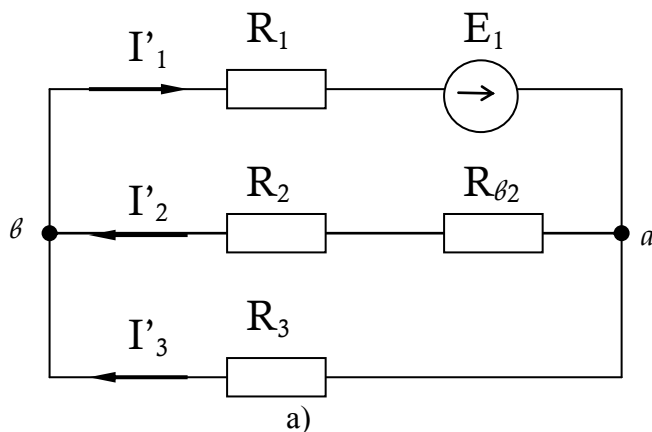


Рис. 2. Расчет цепи методом наложения.

2. Вычисляем эквивалентное сопротивление цепи:

$$R_{\text{экв.}} = R_1 + \frac{(R_2 + R_{\text{в2}}) * R_3}{(R_2 + R_{\text{в2}}) + R_3}$$

Токи в ветвях I'_1, I'_2, I'_3 , вызываемые ЭДС E_1 , определяются из соотношений:

$$I'_1 = \frac{E_1}{R_{\text{экв.}}} ;$$

$$I'_2 = \frac{U_{ab}}{(R_2 + R_{B2})} ;$$

где U_{ab} – напряжение между точками **a** и **b** (рис. 2), В.

$$U_{ab} = E_1 - I'_1 \cdot R_1 ;$$

$$I'_3 = I'_1 - I'_2 ;$$

Аналогично полагая, что ЭДС $E_1=0$, а внутреннее сопротивление источника равно R_{B1} , получаем схему изображенную на рис. 2б.

При этом эквивалентное сопротивление цепи будет равно:

$$R_{\text{экв.}} = R_2 + \frac{(R_1 + R_{B1}) * R_3}{(R_1 + R_{B1}) + R_3} .$$

Токи в ветвях I''_1, I''_2, I''_3 , вызываемые ЭДС E_2 определяются из соотношений:

$$I''_2 = \frac{E_2}{R_{\text{экв.}}}$$

$$I''_1 = \frac{-U_{ab}}{(R_1 + R_{B1})} ; \text{ где}$$

$$U_{ab} = -E_2 + I''_2 \cdot R_2$$

$$I''_3 = I''_1 - I''_2$$

Учитывая направление действительных токов ветвей и токов, создаваемых каждой ЭДС в отдельности, находим действительные токи.

$$I_1 = I'_1 + I''_1 ;$$

$$I_2 = I'_2 + I''_2 ;$$

$$I_3 = I'_3 + I''_3 .$$

3. Задание по работе

3.1. Произвести расчет схемы (Рис. 1) методом наложения. По результатам предварительных расчетов выбрать необходимые измерительные приборы.

3.2. Собрать схему (Рис. 3.), включить ее. Измерить величины ЭДС источников E_1 и E_2 . Измерить токи I_1, I_2, I_3 в ветвях схемы, возникающие под действием обоих источников ЭДС.

- 3.3. Определить токи I_1', I_2', I_3' при наличии лишь источника питания E_1 .
- 3.4. Определить токи I_1'', I_2'', I_3'' при наличии лишь источника питания E_2 .
- 3.5. Вычислить, используя метод наложения, суммарные токи в ветвях, зная токи, возникающие от действия каждой ЭДС в отдельности.
- 3.6. Сравнить результаты расчета и эксперимента. Сделать выводы относительно:
- экспериментального подтверждения принципа наложения токов;
 - причин неполного совпадения расчетных и опытных результатов.

4. Принципиальная электрическая схема лабораторной установки

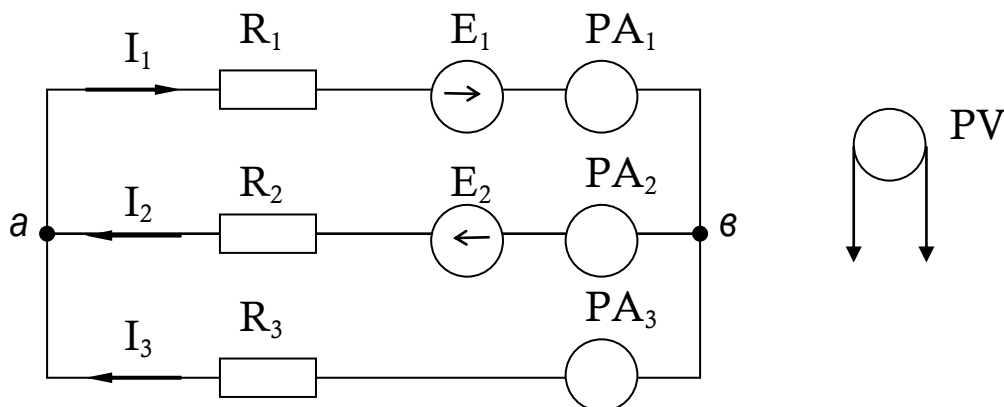


Рис. 3. Электрическая схема лабораторной установки

5. Порядок выполнения работы

5.1 По заданным значениям ЭДС E_1, E_2 и сопротивлений R_1, R_2, R_3 рассчитать токи в ветвях схемы (рис.1) методом наложения. По результатам предварительных расчетов выбрать необходимые измерительные приборы.

5.2 Собрать цепь, изображенную на рис. 3, включить ее. Измерить ЭДС источников E_1 и E_2 , токи I_1, I_2, I_3 ветвях схемы.

При этом необходимо учитывать направления токов. Ток считается положительным, если стрелка прибора магнитоэлектрической системы отклоняется вправо от нулевой отметки. Если стрелка прибора отклонилась влево, то ток считается отрицательным и для его измерения необходимо поменять местами выводы амперметра (результат записывается со знаком «минус»).

5.3 Отсоединить ЭДС E_2 , при этом считать внутреннее сопротивление источника $R_{в2}=0$, измерить токи I_1', I_2', I_3' в ветвях, возникающие под действием только ЭДС E_1 .

5.4 Отсоединить ЭДС E_1 , при этом считать внутреннее сопротивление источника $R_{в1}=0$, измерить токи I_1'', I_2'', I_3'' в ветвях, возникающие под действием только ЭДС E_2 .

5.5 Вычислить действующие токи в ветвях, сложив (с учетом знаков) частичные токи, возникающие в цепи от действия каждой ЭДС в отдельности. Сравнить полученный результат с токами, измеренными в п. 4.2 и расчетными данными из п.4.1.

5.6 Результат расчетов и опытные данные занести в таблицу 1.

Таблица 1.

Исследование разветвленных цепей методом наложения

Определяемые величины	E_1	E_2	I_1'	I_2'	I_3'	I_1''	I_2''	I_3''	I_1	I_2	I_3
	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>mA</i>	<i>mA</i>	<i>mA</i>	<i>mA</i>	<i>mA</i>	<i>mA</i>	<i>mA</i>	<i>mA</i>	<i>mA</i>
Расчетные данные											
Экспериментальные данные											
Сложение измеренных токов											

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте принцип наложения.
2. Порядок расчета электрических цепей методом наложения.
3. Для расчета каких электрических цепей справедлив метод наложения?
4. Можно ли пользоваться методом наложения при вычислении мощностей и энергии ?
5. Перечислите известные Вам методы анализа цепей постоянного тока.
6. В чем заключается сущность метода контурных токов? Напишите уравнения для заданной схемы.
7. В чем заключается сущность метода узловых потенциалов? Напишите уравнения для заданной схемы.
8. Как проверить правильность расчета электрической цепи?
9. Написать выражение закона Ома для участка последовательной цепи при наличии в этом участке ЭДС.
10. Что такое узел в электрической цепи ?
11. Дайте определение ветви электрической цепи ?
12. Что называется контуром электрической цепи ?
13. Можно ли применять метод наложения для расчета токов в нелинейных цепях?

Литература

1. Иванов И.И., Равдоник В.С. Электротехника, М.: Висш. шк., 1985.
2. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. М.: Энергоатомиздат, 1983.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ЦЕПИ ОДНОФАЗНОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА, СОДЕРЖАЩЕЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО СОЕДИНЕННЫЕ АКТИВНОЕ, ИНДУКТИВНОЕ И ЕМКОСТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

- 1. Цель работы:** Ознакомиться со свойствами цепи, содержащей последовательно соединенные активное, индуктивное и емкостное сопротивления, и научиться выполнять элементарные расчеты в цепях синусоидального тока.

2. Основные положения

Свойства цепи синусоидального тока, состоящей из последовательно соединенных резистора, индуктивности и конденсатора, зависят от соотношения величин сопротивлений этих элементов.

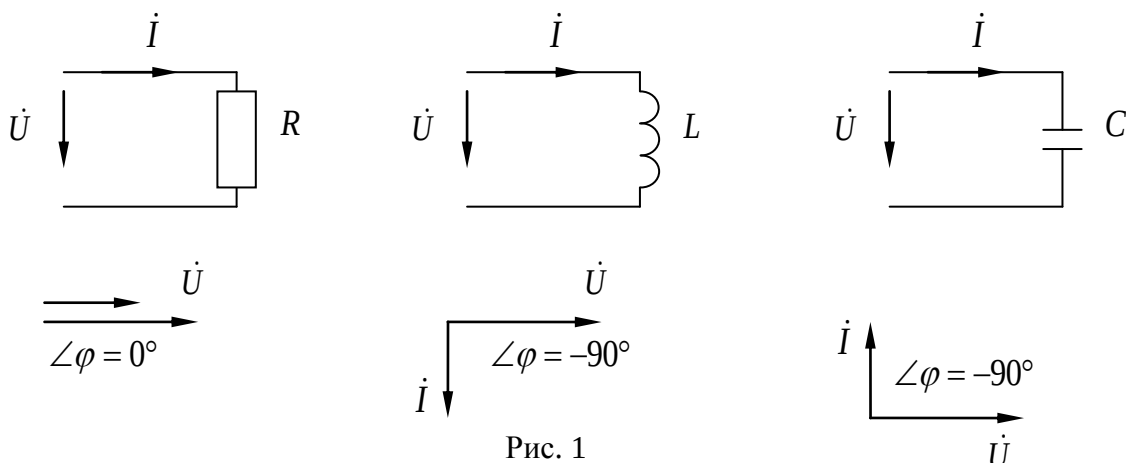
Известно, что в активном сопротивлении R ток $\dot{I}$ совпадает по фазе с напряжением $\dot{U}$, в индуктивности L ток отстает от напряжения на угол 90° , а в емкости C ток опережает напряжение на 90° (рис. 1).

В схеме (рис. 2) включены последовательно R , L и C элементы на общее напряжение $\dot{U}$. Ток $\dot{I}$, протекающий по цепи, одинаков в каждом из этих элементов. Он создает падения напряжения: $\dot{U}_R$ - на активном сопротивлении; $\dot{U}_L$ - на индуктивном; $\dot{U}_C$ - на емкостном.

Величины сопротивлений определяются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} R &= \rho \frac{l}{S} \text{ или } R = \frac{l}{\gamma S} \\ X_L &= 2\pi f L; X_C = \frac{1}{2\pi f C} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где ρ - удельное сопротивление, $\gamma = \frac{1}{\rho}$; l - длина проводника; S - площадь поперечного сечения проводника; f - частота протекающего тока; L - индуктивность; C - емкость.



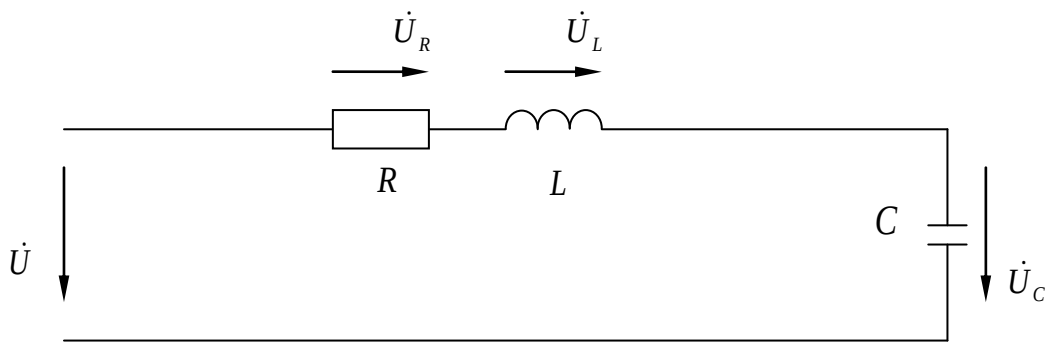


Рис. 2

На основании второго закона Кирхгофа можно записать для данной схемы что:

$$\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_L + \dot{U}_C \quad (2)$$

$$\text{где } U_R = I \cdot R, \quad U_L = I \cdot X_L, \quad U_C = I \cdot X_C. \quad (3)$$

С помощью векторных диаграмм (рис. 3) свойства этой схемы описываются следующим образом:

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}$$

Модуль полного сопротивления цепи, изображенной на рис. 2, равен:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (4)$$

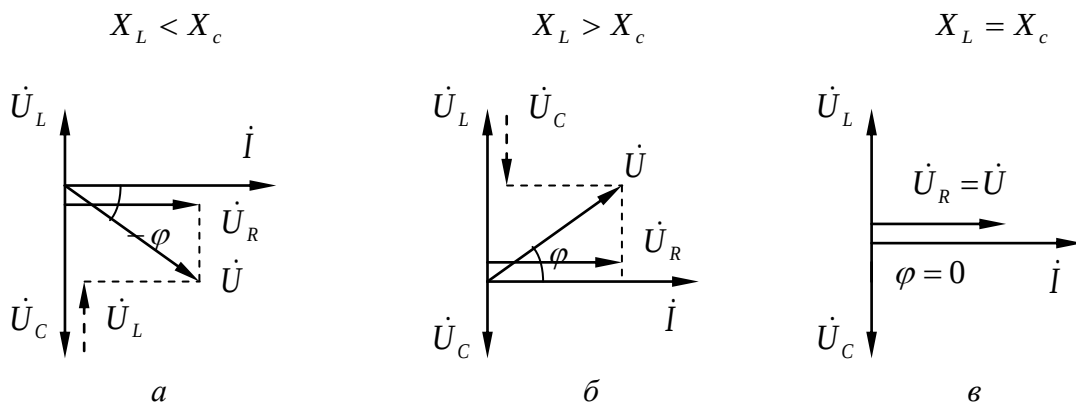


Рис. 3

Из выражения (4) и рис. 3 в следует, что при $X_L = X_C$ $Z = R$ и ток I в цепи будет совпадать по фазе с напряжением, а величина его будет наибольшей, чем при иных соотношениях X_L и X_C . Такой режим работы цепи с последовательно соединенными R , L и C элементами называется резонансом напряжения.

3. Электрическая схема лабораторной установки

Электрическая схема лабораторной установки приведена на рис. 4.

Питание схемы осуществляется от лабораторного автотрансформатора. Измерительные приборы выбираются на следующие пределы измерений:

вольтметр pV1 - 0...75 В (150 В);

вольтметр pV2 - 0...250 В;

амперметр pA - 0...2 А (3 А).

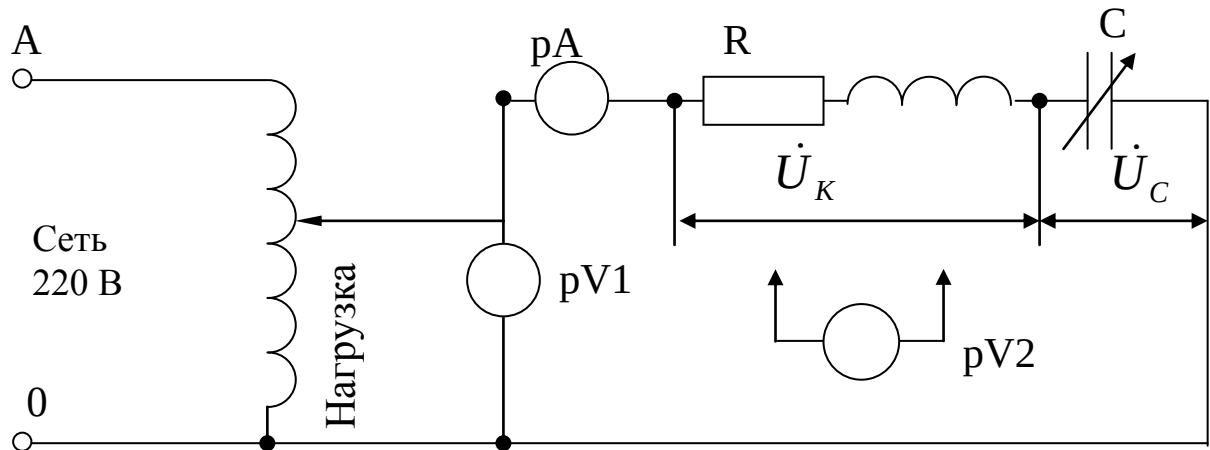


Рис 4

На стенде установлен набор емкостей, которые включаются в схему соответствующими выключателями. Отдельно активного сопротивления R на стенде нет. Под сопротивлением R понимается активнее сопротивление провода, из которого выполнена катушка индуктивности L .

4. Задания по работе

4.1. В последовательной цепи однофазного синусоидального тока (рис 4) установить ряд значений емкости конденсатора C и для каждого значения емкости замерить:

- а) напряжение питания - U_1 ;
- б) ток - I ;
- в) напряжение на катушке индуктивности - U_K ;
- г) напряжение на конденсаторе - U_C .

4.2. По результатам замеров п. 4.1. необходимо рассчитать:

- а) полное сопротивление цепи - Z ;
- б) емкостное сопротивление - X_C ;
- в) индуктивное сопротивление - X_L ;
- г) активное сопротивление - R ;
- д) полное сопротивление катушки индуктивности - Z_K ;

- е) активную мощность цепи - P ;
 ж) коэффициент мощности цепи - $\cos \varphi$.

4.3. По результатам опытов и расчетов (п. 4.1. и 4.2.) построить в одной системе координат графики зависимостей:

$$I; U_K; U_C; \cos \varphi = f(C)$$

4.4. Сделать выводы по работе.

5. Порядок выполнения лабораторной работы

5.1. Изучить устройство лабораторного стенда и записать паспортные данные приборов и оборудования;

5.2. Собрать электрическую схему работы (рис. 4)

5.3. С помощью автотрансформатора установить напряжение $U_1 = 50$ В и поддерживать его неизменным в течение всей работы;

5.4. Выключателями присоединять емкости, начиная от 14 мкФ и до 36 мкФ через каждые 2 мкФ и для каждого значения емкости C производить замеры и запись в таблицу 1 значений тока I и падений напряжений U_K и U_C .

Таблица 1

Измерено						Вычислено						
№	C	U_1	I	U_K	U_C	Z	X_C	X_L	R	Z_K	P	$\cos \varphi$

6 Последовательность расчетов

6.1. Расчеты выполняются в такой последовательности: модуль полного сопротивления цепи

$$Z = \frac{U_1}{I} \text{ Ом};$$

6.2. Модуль емкостного сопротивления

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \cdot 10^6 \text{ Ом}; \text{ где } f = 50 \text{ Гц};$$

6.3. Модуль индуктивного сопротивления

$$X_L = 2\pi f L \text{ Ом (см. примечание)}$$

6.4. Величина активного сопротивления

$$R = \frac{U_1}{I_{\max}} \text{ Ом (см. примечание)}$$

6.5. Модуль полного сопротивления катушки

$$Z_K = \sqrt{R^2 + X_L^2} \text{ Ом (см. примечание)}$$

6.5. Активная мощность

$$P = I^2 R, \text{ Вт}$$

6.6. Коэффициент мощности

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

Примечание: величины X_L , R , Z_K следует определить только для случая, где ток достигает максимального значения.

Контрольные вопросы

1. Какой ток называется синусоидальным переменным? Напишите формулу.
2. Какими величинами характеризуются синусоидальный ток (напряжение). Покажите на графике.
3. Что называется действующим значением синусоидального тока?
4. В чем принципиальное отличие активного сопротивления от реактивного?
5. Что такое активное сопротивление и каковы его свойства?
6. Что такое индуктивное сопротивление и каковы его свойства?
7. Что такое емкостное сопротивление и каковы его свойства?
8. Что такое комплексное сопротивление и от чего зависят его свойства?
9. Какой режим работы цепи, содержащей R , L и C элементы, называется резонансом напряжения и при каких условиях он наступает?
10. Подсчитать, пользуясь опытными и расчетными данными, величину потребляемой полной мощности.
11. Подсчитать, пользуясь опытными и расчетными данными, величину реактивной мощности.
12. Сравните, пользуясь законом Ома для участка цепи, на сколько соответствует величина сопротивления X_C , X_L , Z_K полученной в таблице 1.
13. Постройте векторную диаграмму тока и падений напряжения по полученным в опыте данным при $X_C \neq X_L$ и $X_C = X_L$.

Литература

1. Иванов И.И., Равдоник В.С. Электротехника, М.: Висш. шк., 1985.
2. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. М.: Энергоатомиздат, 1983.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ТОКОПРИЕМНИКОВ ПО СХЕМЕ «ЗВЕЗДА» С НУЛЕВЫМ ПРОВОДОМ И «ЗВЕЗДА»

1. Цель работы: Изучить основные свойства трехфазной цепи при соединении источника и приемника электрической энергии по схеме "звезда" с нулевым проводом и "звезда". Выяснить роль нулевого провода в трехфазной цепи и научиться выполнять простейшие расчеты для трехфазных цепей.

2. Основные положения

На рис. 1 показана электрическая схема соединения трехфазного токоприемника, соединенного "звездой", с трехфазным источником электрической энергии.

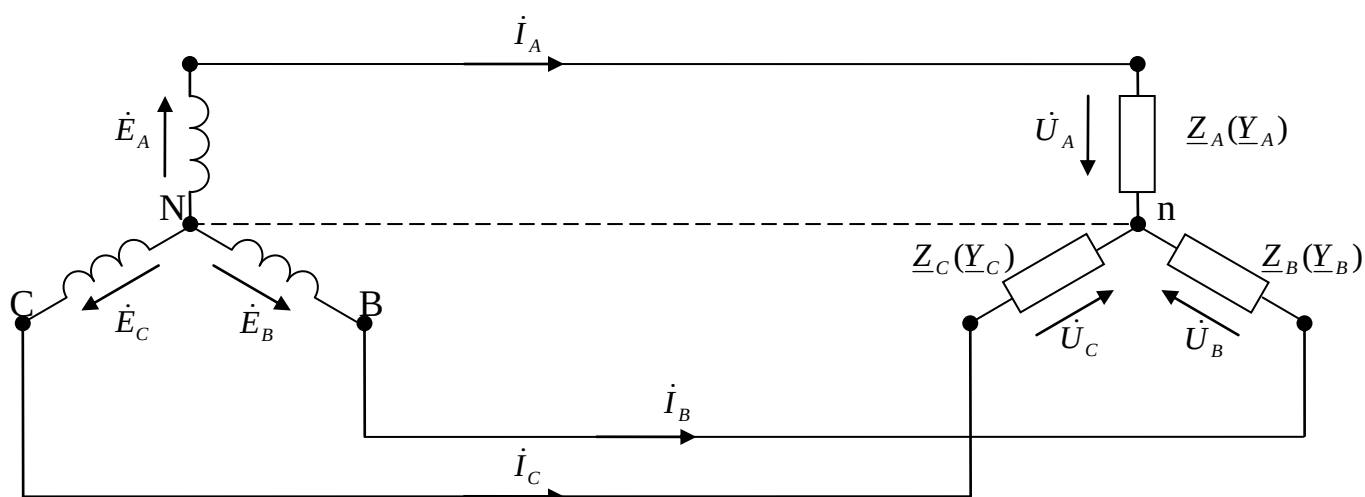


Рис 1. Электрическая схема соединения трехфазного токоприемника

На основании метода двух узлов напряжение между нейтральной точкой (N) источника электрической энергии и нейтральной точкой (n) токоприемника будет равно:

$$\dot{U}_{Nn} = \frac{\dot{E}_A \underline{Y}_A + \dot{E}_B \underline{Y}_B + \dot{E}_C \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C + \underline{Y}_{Nn}} \quad (1)$$

В формуле (1) - $\underline{Y}_A = \frac{1}{\underline{Z}_A}$; $\underline{Y}_B = \frac{1}{\underline{Z}_B}$; $\underline{Y}_C = \frac{1}{\underline{Z}_C}$ - комплексные проводимости фаз токоприемника; $\underline{Y}_{Nn}$ - комплексная проводимость между нейтральными точками источника и приемника; $\dot{E}_A$; $\dot{E}_B$; $\dot{E}_C$ - комплексы действующих значений фазных ЭДС источника электрической энергии. Причем:

$$E_A = E_m \sin \omega t; E_B = E_m \sin(\omega t - 120^\circ);$$

$$E_C = E_m \sin(\omega t - 240^\circ)$$

Фазные напряжения токоприемника можно определить по второму закону Кирхгофа:

$$\begin{aligned}\dot{U}_A &= \dot{E}_A - \dot{U}_{Nn}; \\ \dot{U}_B &= \dot{E}_B - \dot{U}_{Nn}; \\ \dot{U}_C &= \dot{E}_C - \dot{U}_{Nn};\end{aligned}\tag{2}$$

Используя выражения (1) и (2), выясним какими будут фазные напряжения токоприемника при симметрии и несимметрии его фазных сопротивлений (симметричная и несимметричная нагрузка), а также при отсутствии и наличии нулевого провода.

2.1. Нулевой провод отсутствует

2.1.1. Нагрузка симметричная. При данных условиях имеем:

$$\underline{Y}_{N_0} = 0, \underline{Y}_A = \underline{Y}_B = \underline{Y}_C\tag{3}$$

Если выражение (3) подставить в формулу (1), то в данном случае напряжение между нулевыми точками источника и токоприемника будет равно 0 ($U_{Nn}=0$). Следовательно:

$$\begin{aligned}\dot{U}_A &= \dot{E}_A; \\ \dot{U}_B &= \dot{E}_B; \\ \dot{U}_C &= \dot{E}_C;\end{aligned}\tag{4}$$

Таким образом, фазные напряжения токоприемника будут равны фазным ЭДС источника и будут представлять симметричную трехфазную систему.

Векторная диаграмма, соответствующая данным условиям и активно-индуктивной нагрузке, показала на рис. 2, а.

2.1.2. Нагрузка несимметричная. При данных условиях имеем:

$$\underline{Y}_{Nn} = 0; \underline{Y}_A \neq \underline{Y}_B \neq \underline{Y}_C.\tag{5}$$

Из формулы (1) следует, что $\dot{U}_{Nn} \neq 0$. Фазные напряжения токоприемника можно найти по выражениям (2), и они будут представлять из себя несимметричную трехфазную систему.

Векторная диаграмма, соответствующая данным условиям и активно-индуктивной нагрузке, показана на рис. 2, б.

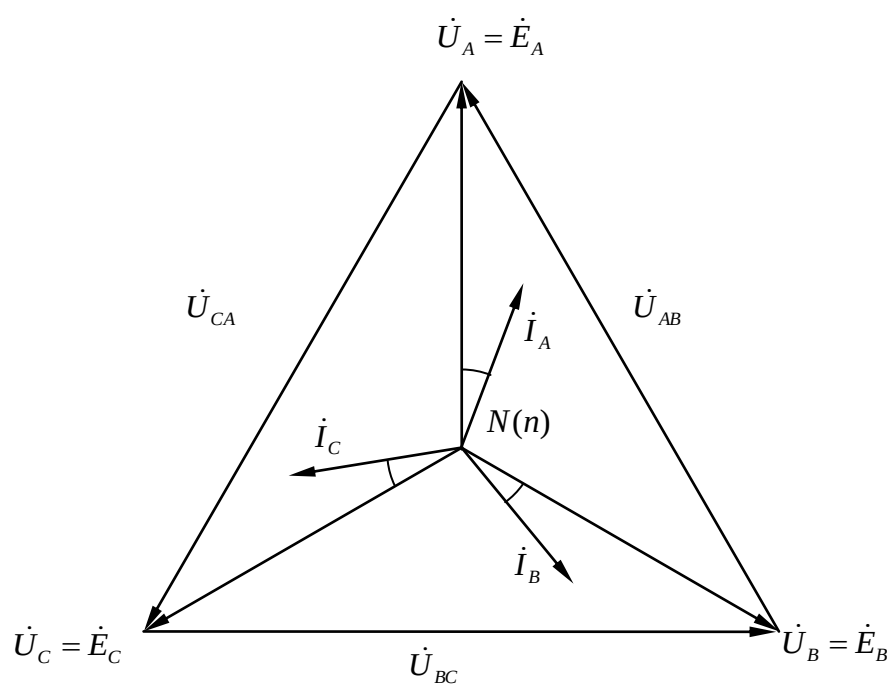


Рис. 2, а

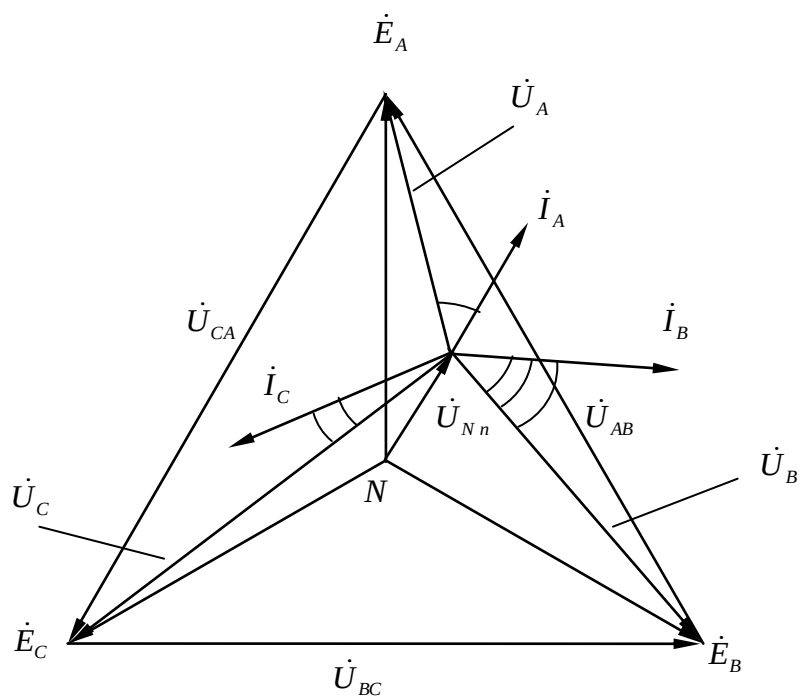


Рис. 2, б

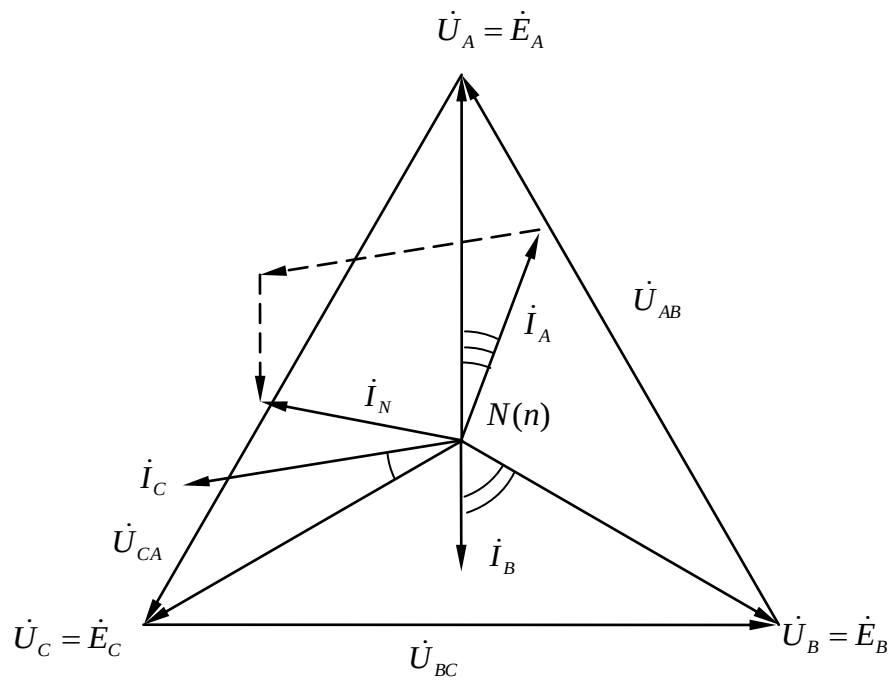


Рис. 2, в

2.2. В схеме имеется нулевой провод

Следует отметить, что проводимость нулевого провода Y_{Nn} много больше проводимостей фаз токоприемника. Поэтому с достаточной точностью можно считать, что $\underline{Y}_{Nn} = \infty$.

Если теперь обратиться к формуле (1), то можно сделать вывод, что независимо от того, будет ли нагрузка симметричной или несимметричной, напряжение $\underline{U}_{Nn}$ равно 0. Значит, фазные напряжения токоприемника будут равны фазным ЭДС источника и образуют симметричную трехфазную систему (выражения 4).

Ток в нулевом проводе можно определить, используя 1-й закон Кирхгофа:

$$\underline{I}_{Nn} = \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C \quad (6)$$

2.2.1. При симметричной нагрузке ток в нулевом проводе равен 0, а векторная диаграмма будет иметь вид, показанный на рис. 2, а.

2.2.2. При несимметричной нагрузке величина тока в нулевом проводе будет определяться выражением (6), а векторная диаграмма иметь вид, показанный на рис. 2, в.

3. Электрическая схема лабораторной установки

Электрическая схема лабораторной установки приведена на рис. 3.

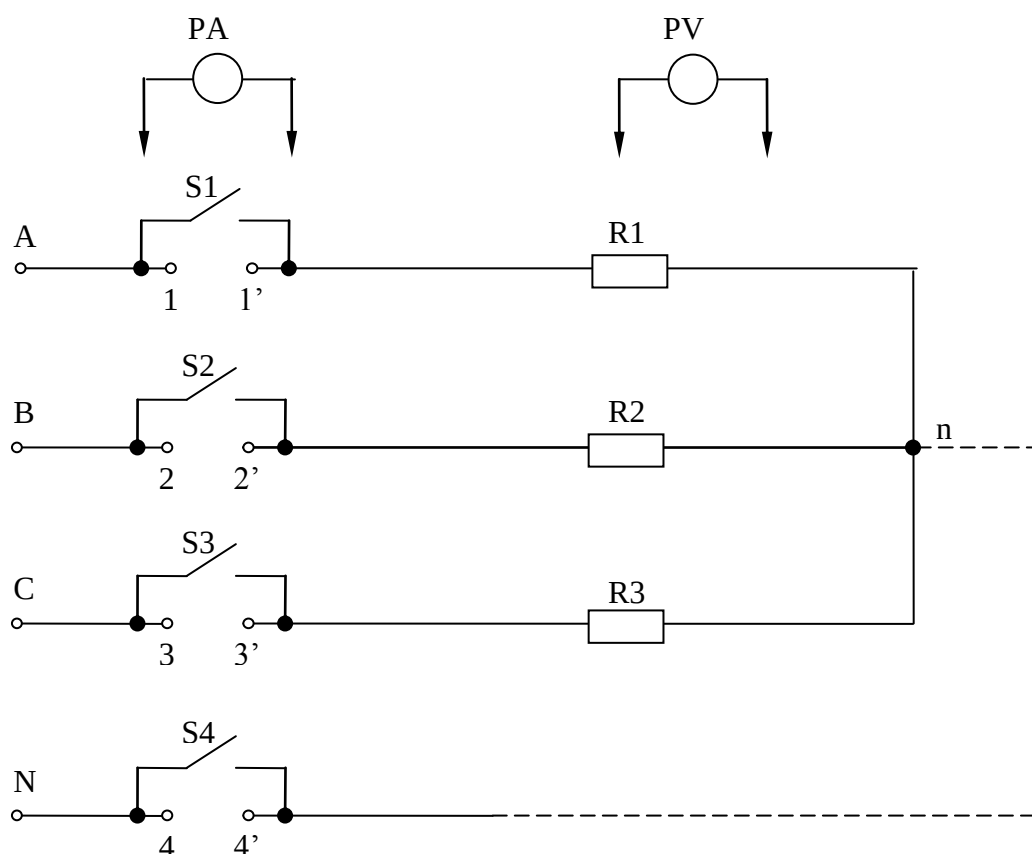


Рис. 3. Электрическая схема лабораторной установки.

В каждой фазе включены активные сопротивления, величину которых можно изменять.

Для измерения фазных токов I_A , I_B , I_C и тока в нулевом проводе I_{Nn} служит амперметр PA, выводы которого подключаются к соответствующим клеммам 1-1'; 2-2'; 3-3'; 4-4'; при этом должен размыкаться соответствующий ключ S_1 , S_2 , S_3 , S_4 . Для замера фазных напряжений U_A , U_B , U_C линейного напряжения U_L и напряжения между нейтральными точками источника и потребителя U_{Nn} служит вольтметр PV.

4. Задание по работе

4.1. Для различных режимов работы активной нагрузки замерить фазные токи и ток в нулевом проводе, Линейные и фазные напряжения и напряжение между нулевыми точками источника и нагрузки:

- | | |
|--|-------------------------|
| 1. симметричная нагрузка без нулевого провода; | $R_A = R_B = R_C = R_1$ |
| 2. симметричная нагрузка с нулевым проводом; | $R_A = R_B = R_C = R_1$ |

- | | |
|--|---------------------------------|
| 3. несимметричная нагрузка без нулевого провода; | $R_A = R_B = R_1; R_C = R_2$ |
| 4. несимметричная нагрузка с нулевым проводом; | $R_A = R_B = R_1; R_C = R_2$ |
| 5. обрыв фазы без нулевого провода; | $R_A = R_B = R_1; R_C = \infty$ |
| 6. обрыв фазы с нулевым проводом; | $R_A = R_B = R_1; R_C = \infty$ |
| 7. короткое замыкание без нулевого провода; | $R_A = R_B = R_1; R_C = 0$ |

4.2. По результатам замеров пункта 4.1. для каждого опыта необходимо:

- 1) Рассчитать активные сопротивления в фазах нагрузки;
- 2) Рассчитать активную мощность нагрузки;
- 3) Построить векторные диаграммы.

4.3. Сделать выводы по работе.

5. Порядок выполнения лабораторной работы

Для выполнения лабораторной работы необходимо:

5.1. изучить устройство лабораторного стенда и записать паспортные данные приборов и оборудования;

5.2. собрать электрическую схему "звезда" без нулевого провода, включив в каждую фазу по два последовательно включенных активных сопротивления (симметричная нагрузка) - рис. 3;

5.3. при симметричной нагрузке выполнить замеры всех величин, указанных в таблице 1, и записать в нее показания приборов;

5.4. к симметричной нагрузке присоединить нулевой провод, выполнить замеры всех величин и записать в таблицу показания приборов;

5.5. отсоединить нулевой провод, в одной из фаз отключить одно из двух сопротивлений (нагрузка стала несимметричной), произвести замеры всех величин и записать показания приборов в табл. 1;

5.6. к несимметричной нагрузке присоединить нулевой провод, выполнить замеры всех величин и записать показания приборов в табл. 1;

5.7. сопротивление потребителей в фазе С увеличить до бесконечности (обрыв фазы), для чего разомкнуть выключатель S3, а в фазах А и В включить последовательно по два сопротивления; отсоединить нулевой провод, произвести замеры всех величин и записать показания приборов в табл. 1;

5.8. к предыдущей схеме присоединить нулевой провод, произвести за-

меры всех величин и записать показания приборов в табл. 1;

5.9.отсоединить нулевой провод, замкнуть накоротко одну из фаз, для чего присоединить провод фазы А непосредственно к точке n, оставить сопротивления в фазах В и С одинаковыми. Произвести замеры всех величин и записать показания приборов в табл. 1.

Таблица 1

Режим работы	Измерено											Вычислено			
	$I_A,$ А	$I_B,$ А	$I_C,$ А	$I_{Nn},$ А	U_A B, B	U_B C, B	U_C A, B	$U_A,$ В	$U_B,$ В	$U_C,$ В	$U_{Nn},$ В	$r_A,$ Ом	$r_B,$ Ом	$r_C,$ Ом	$P,$ Вт
Симметричная нагрузка:															
без нулевого провода															
с нулевым проводом															
Несимметричная нагрузка:															
без нулевого провода															
с нулевым проводом															
Обрыв фазы:															
без нулевого провода															
с нулевым проводом															
Короткое замыкание:															
без нулевого провода															

6. Расчеты и построение векторных диаграмм

Расчеты выполняются в такой последовательности:

активное сопротивление фазы нагрузки

$$r_{A;B;C} = \frac{U_{A;B;C}}{I_{A;B;C}} \cdot \cos \varphi_{A;B;C} \quad \text{Ом}$$

активная мощность нагрузки

$$P = P_A + P_B + P_C = U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C = I_A^2 r_A + I_B^2 r_B + I_C^2 r_C \quad \text{Вт}$$

Примечание: $\cos \varphi_A = \cos \varphi_B = \cos \varphi_C = 1$ так как во всех опытах нагрузка активная.

По результатам опытов для всех режимов работы схемы необходимо построить в масштабе векторные диаграммы напряжений и токов,

Рекомендуемые масштабы: ток - 0,1 А/см; напряжение - 5 В/см.

Контрольные вопросы

- 1 Какая система ЭДС (напряжений) называется трехфазной, симметричной и синусоидальной?
- 2 Какое напряжение называется фазным?
- 3 Какое напряжение называется линейным?
- 4 Какой ток называется фазным, а какой линейным?
- 5 Каким образом трехфазный источник или потребитель может быть включен по схеме "звезда"?
- 6 Какое соотношение между фазными и линейными токами и напряжениями при схеме "звезда"?
- 7 Какова роль нулевого провода в трехфазной системе?
- 8 Какие преимущества имеют соединение системы источник-потребитель по схеме "звезда с нулевым проводом" по сравнению со схемой "звезда"?
- 9 Чем отличается фазное напряжение от линейного при симметричной нагрузке?
- 10 К каким точкам схемы надо присоединить вольтметр, чтобы измерить Фазное напряжение?
- 11 К каким точкам схемы надо присоединить вольтметр, чтобы измерить линейное напряжение?
- 12 Как изменяется ток в фазах, если в n раз увеличить или уменьшить подведенные линейные напряжения при неизменных сопротивлениях фаз потребителя?
- 13 Как изменится суммарная мощность всех фаз, если в n раз увеличить или уменьшить линейные напряжения при неизменных сопротивлениях фаз потребителя?
- 14 Для какой цели нужны векторные диаграммы токов и напряжений? Обосновать результатами лабораторной работы.
- 15 К каким нежелательным для потребителя последствиям приводит обрыв нулевого провода?
- 16 Как строится векторная диаграмма?

Литература

1. Иванов И.И., Равдоник В.С. Электротехника, М.: Высшая школа, 1985.
2. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. М.: Энергоатомиздат, 1983.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ИСПЫТАНИЕ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

1. Цель работы

Изучить устройство однофазного трансформатора и зависимость вторичного его напряжения и КПД от нагрузки.

Задание.

1. Изучить устройство и принцип действия трансформатора.
2. Прodelать опыт холостого хода трансформатора.
3. Прodelать опыт короткого замыкания трансформатора.
4. Получить внешнюю характеристику трансформатора и зависимости его КПД от загрузки.
5. Составить письменный отчет по лабораторной работе.

2. Основные положения

Трансформатор - это электромагнитный статический аппарат, предназначенный для преобразования электрической энергии одного напряжения в энергию другого напряжения при неизменной частоте.

В зависимости от своих параметров трансформатор позволяет получать напряжение выше подведенного к нему (повышающий трансформатор) или ниже подведенного (понижающий трансформатор).

Эксплуатационные параметры трансформатора задаются в его паспорте. Параметры задаются для номинального режима, т.е. того режима, на который рассчитан трансформатор заводом изготовителем. Параметры можно разделить на основные и производные.

К основным параметрам можно отнести: коэффициент трансформации, номинальную полную мощность, которую может передать трансформатор нагрузке; номинальные напряжения первичной и вторичной обмоток; номинальные токи первичной и вторичной обмоток, КПД, $\cos \varphi$.

К производным: ток холостого тока; напряжение короткого замыкания в процентах номинального напряжения; потери холостого хода при номинальном первичном напряжении.

Под действием первичного переменного напряжения U_1 по первичной обмотке трансформатора протекает переменный ток I_1 , который создает в трансформаторе магнитный поток Φ . В соответствии с законом электромагнитной индукции переменный магнитный поток наводит в первичной и во вторичной обмотках трансформатора ЭДС, действующие значения которых равны:

$$E_1 = 4.44 W_1 f \Phi_M. \quad (1)$$

$$E_2 = 4.44W_2 f\Phi_M. \quad (1)$$

где W_1 и W_2 - число витков, соответственно, в первичной и вторичной обмотках;

f - частота изменения тока в первичной обмотке;

Φ_M - амплитуда магнитного потока, пронизывающего обмотки.

Отношение $K = E_1 / E_2 = W_1 / W_2$ называется коэффициентом трансформации. Величину коэффициента трансформации можно достаточно точно определить из опыта холостого хода.

Подведенное к трансформатору напряжение U_1 уравнивается электродвижущей силой E_1 и падениями напряжения $j\dot{I}_1 X_1$ и $\dot{I}_1 R_1$ в первичной обмотке. На основании второго закона Кирхгофа это равновесие описывается уравнением

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + j\dot{I}_1 X_1 + \dot{I}_1 R_1 \quad (3)$$

где $\dot{I}_1$ - ток в первичной обмотке трансформатора;

X_1 - индуктивное сопротивление рассеяния первичной обмотки; R_1 - активное сопротивление первичной обмотки.

При подключении нагрузки ко вторичной обмотке по ней начинает протекать ток $\dot{I}_2$, создающий падения напряжения $j\dot{I}_2 X_2$ и $\dot{I}_2 R_2$, на вторичной обмотке создается напряжение U_2 .

На основании второго закона Кирхгофа для вторичной обмотки можно записать уравнение:

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - j\dot{I}_2 X_2 - \dot{I}_2 R_2 \quad (4)$$

где $\dot{I}_2$ - ток во вторичной обмотке;

X_2 - индуктивное сопротивление вторичной обмотки;

R_2 - активное сопротивление вторичной обмотки.

Зависимость вторичного напряжения U_2 от силы тока во вторичной обмотке I_2 при $U_1 = U_{1\text{ном}}$ называется внешней характеристикой трансформатора. С увеличением тока I_2 увеличивается падение напряжения во вторичной обмотке трансформатора $Z_2 I_2$, а напряжение U_2 уменьшается, однако уменьшается незначительно (на 2-3 % от $U_{\text{ном}}$ при изменении тока I_2 от нуля до номинального значения). Процентное изменение напряжения можно определить непосредственно по внешней характеристике трансформатора, а также по результатам опыта короткого замыкания: $\Delta U\% = U_a \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2$

$U_a = r_k I_{1\text{н}} / U_{1\text{н}} \times 100$, $U_p = X_k I_{1\text{н}} / U_{1\text{н}} \times 100$, а

φ_2 - угол сдвига между напряжением и током нагрузки трансформатора.

При нагрузках отличных от номинальной, определяется по формуле:

$\Delta U\% = \beta (U_a \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2)$,

Где $\beta = I_2 / I_{2\text{н}}$ Коэффициент загрузки трансформатора.

В целом величина напряжения $\dot{U}_2$ зависит от значения коэффициента трансформации K , тока $\dot{I}_2$ его характера, а также от величин сопротивлений первичной и вторичной обмоток, которые образуют полное сопротивление

трансформатора

$$Z_K = \sqrt{(R_1 + R_2')^2 + (X_1 + X_2')^2} \quad (5)$$

Величину сопротивления Z_K можно определить из опыта короткого замыкания. Номинальная мощность S_H трансформатора определяется с помощью формулы:

$$S_H = U_{1H} I_{1H} = U_{2H} I_{2H} \quad (6)$$

В процессе преобразования энергии в трансформаторе часть ее теряется внутри самого трансформатора. Отношение полезной активной мощности отданной нагрузке к мощности, подведенной к первичной обмотке трансформатора называется коэффициентом полезного действия. Коэффициент полезного действия можно определить по формулам

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (7)$$

$$\eta \% = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% \quad (8)$$

Величина номинального коэффициента полезного действия является важной технико-экономической характеристикой.

3. Электрические схемы лабораторной установки

Схемы для определения свойств трансформатора приведены на рис. 2, 3, 4. Испытуемый трансформатор TP получает питание от автотрансформатора AT , присоединенного к сети 220 В частотой 50 Гц. Нормальные данные трансформатора указаны в его паспорте.

Измерительные приборы должны быть выбраны со следующими пределами измерений.

	<i>PV1</i>	<i>PV2</i>	<i>PA1</i>	<i>PA2</i>	<i>PW</i>
Опыт холостого хода	0...250 В	0...75 В	0...1 А	-	2,5 А, 300 В
Опыт короткого замыкания	0...75 В	-	0...2 А	0...7 А	2,5 А, 30 В
Снятие внешней характеристики	0...250 В	0...75 В	0...2 А	0...2 А	2,5 А, 300 В

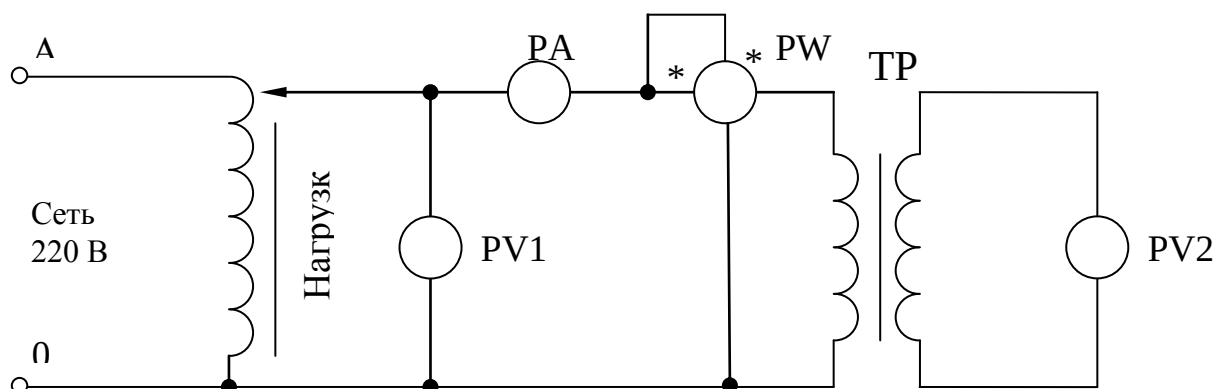


Рис.2. Электрическая схема опыта холостого хода трансформатора

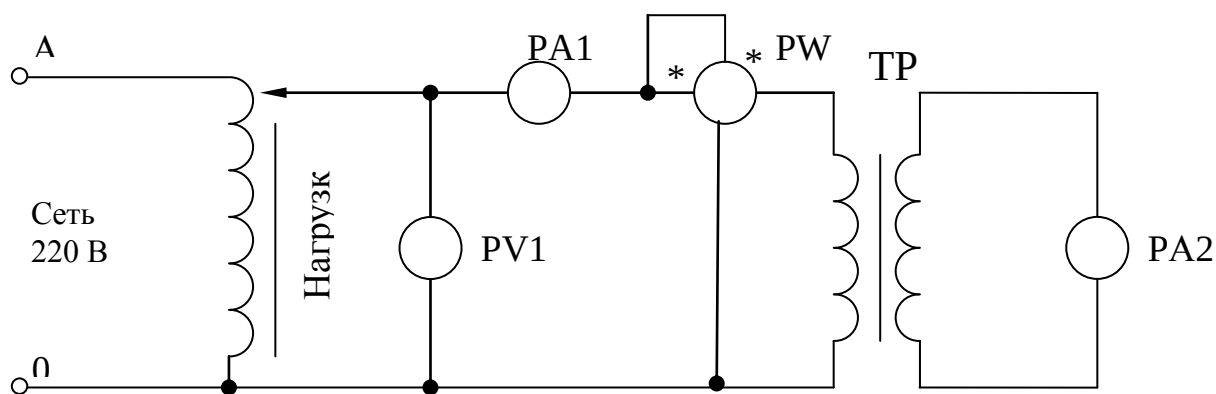


Рис.3. Электрическая схема опыта короткого замыкания трансформатора

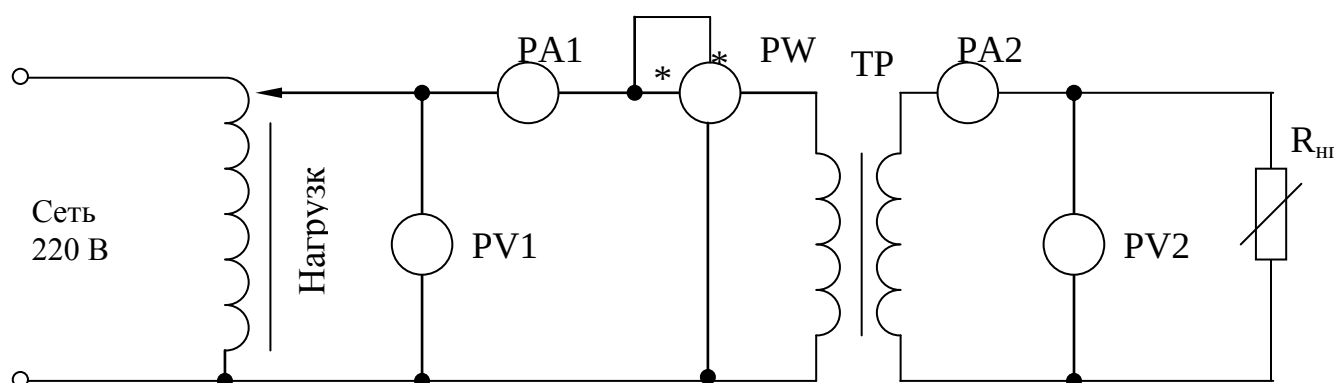


Рис.4. Электрическая схема снятия внешней характеристики трансформатора

В качестве нагрузки $R_{нг}$ в схеме, представленной на рис. 4, принимается реостат сопротивления, рассчитанный на номинальный ток 5 А. Коэффициент мощности нагрузки в этом случае будет равен единице.

4. Порядок выполнения лабораторной работы

4.1. Описание экспериментальной установки

В установку (рис. 4) входят:

регулируемый источник питания АТ,

испытуемый трансформатор ТР,

нагрузочный реостат сопротивления (30 Ом, 5 А).

вольтметр (0...250 В, 0...60 (75 В)),

амперметры (0...1 А и 0...2 А, 0...7 А),

ваттметр (2,5 А, 300 В).

4.2. Подготовка к проведению опытов

Для выполнения лабораторной работы надо изучить устройство испытуемого трансформатора, его паспортные данные, а также устройство

лабораторного стенда. Паспортные данные трансформатора и измерительных приборов следует занести в отчет.

4.3. Опыт холостого хода

Под опытом холостого хода понимается такой режим работы трансформатора, при котором к его первичной обмотке подведено номинальное напряжение, а ток во вторичной обмотке равен нулю, т. е. нагрузка отсутствует. В этом режиме активная мощность, потребляемая трансформатором из сети, представляет собой мощность потерь в магнитопроводе.

Порядок выполнения опыта следующий. Собрать схему опыта холостого хода, показанную на рис. 2. Повернуть рукоятку автотрансформатора АТ против часовой стрелки до отказа. Подать напряжение сети к автотрансформатору. С помощью автотрансформатора подвести к обмотке высшего напряжения трансформатора ТР напряжение U_{10} , равное номинальному. Произвести измерения тока I_0 в первичной обмотке, мощности P_0 , подводимой к трансформатору, и напряжения U_2 на зажимах вторичной обмотки. Показания приборов записать в табл. I.

Таблица 1

Измерено					Вычислено	
№	U_{1XX}	U_{2XX}	I_{XX}	P_{XX}	K	$\cos \varphi$

4.4. Опыт короткого замыкания

Под опытом короткого замыкания понимается такой режим работы трансформатора, когда выводы его вторичной обмотки замкнуты накоротко, а к первичной обмотке подведено напряжение, при котором токи в обмотках будут протекать номинальные. Активная мощность, потребляемая из сети трансформатором, в этом случае почти полностью расходуется на потери в обмотках.

Опыт выполняется следующим образом. Собрать схему опыта короткого замыкания, приведенную на рис. 3. Вычислить величину номинального тока в первичной обмотке трансформатора по формуле (6). Повернуть рукоятку автотрансформатора против часовой стрелки до отказа. Подать напряжение сети к автотрансформатору. Автотрансформатором подать к первичной обмотке такое напряжение U_1 чтобы в ней установился ток $I_1=I_{1H}$, и измерить при этом условии напряжение $U_K=U_1$ и мощность P_K подводимую к трансформатору. Показания приборов записать в табл. 2.

Таблица 2

Измерено				Вычислено				
№	$I_1=I_{1H}$	$U_1=U_{K3}$	P_{K3}	U_{K3}	Z_{K3}	R_{K3}	$\cos \varphi$	X_{K3}

4.5. Внешняя характеристика трансформатора

Под внешней характеристикой понимается зависимость величины вторичного напряжения U_2 от тока I_2 при условии, что U_1 , f , $\cos \varphi_2$ - const. В режиме внешней характеристики в трансформаторе мощность потерь представляет сумму всех потерь (холостого хода, короткого замыкания и дополнительных потерь).

Характеристику получают следующим образом. Собирают схему, показанную на рис. 4, размыкают цепь реостата $R_{НГ}$, подают напряжение от сети к автотрансформатору. Автотрансформатором устанавливают на зажимах высшего напряжения $U_1=U_{1H}$ и поддерживают неизменным при снятии всей характеристики. Затем измеряют ток I_1 в первичной обмотке, мощность P_1 и записывают данные в табл. 3. Замыкают цепь реостата $R_{НГ}$, и устанавливают ток I_2 , равный, последовательно, 2, 3, 4, 5, 6 и 7 А, измеряют величины I_1 , U_2 , P_1 и записывают результаты в таблицу 3. Величину $\cos \varphi_2$ принимают, исходя из характера сопротивления нагрузки R_H .

Таблица 3

Измерено						Вычислено				
№	I_2	I_1	U_1	U_2	P_1	P_2	η	$\cos \varphi_1$	$\Delta U_2, B$	$\Delta U_2, \%$

5. Обработка полученных данных

5.1. Расчеты по данным опыта холостого хода

Коэффициент трансформации

$$K = \frac{U_{1xx}}{U_{2xx}}$$

Коэффициент мощности

$$\cos \varphi_{xx} = \frac{P_{xx}}{U_{1xx} I_{1xx}}$$

5.2. Расчеты по данным опыта короткого замыкания

Относительная величина напряжения короткого замыкания

$$U_{K\%} = \frac{U_K}{U_{1H}} \cdot 100\%$$

Полное сопротивление трансформатора

$$Z_K = \frac{U_K}{I_{1H}}$$

Активная составляющая полного сопротивления трансформатора

$$R_K = \frac{P_K}{I_{1H}^2} \text{ (Ом)}$$

Коэффициент мощности

$$\cos \varphi_{K3} = \frac{P_{K3}}{U_{K3} \cdot I_{1H}}$$

Реактивная составляющая полного сопротивления трансформатора

$$X_{K3} = Z_{K3} \cdot \sin \varphi_{K3} \text{ (Ом)}$$

5.3. Расчета по данным внешней характеристики и построение графиков.

Полезная мощность

$$P_2 = U_2 I_2 \cdot \cos \varphi_2 \text{ (Вт)}$$

Коэффициент полезного действия

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

Коэффициент мощности

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{U_1 I_1}$$

Изменение напряжения

$$\Delta U_2 = U_{20} - U_2 \text{ (В)}$$

где U_{20} – величина вторичного напряжения при $I_2=0$.

Относительная величина изменения вторичного напряжения

$$\Delta U_{2\%} = \frac{U_2}{U_{2XX}} \cdot 100\%$$

Расчетная величина изменения напряжения при нормальной нагрузке

$$U_{2\%} = \frac{I_{1H} P_K}{U_{1H}} \cdot \cos \varphi_2 + \frac{I_{1H} X_K}{U_{1H}} \cdot \sin \varphi_2$$

До данным табл. 3 строится график внешней характеристики $U_2 = f(I_2)$ при условии, что U_1 , f , $\cos \varphi_2$ - const. Рекомендуемые масштабы: $M_U = 4 \text{ В/см}$; $M_I = 1 \text{ А/см}$.

В тех же осях строятся по данным табл. 3 графики $\cos \varphi_1 = f(I_2)$ и $\eta = f(I_2)$

Контрольные вопросы

1. Каково назначение, устройство и принцип действия однофазного трансформатора?
2. Перечислить основные узлы трансформатора и объяснить их назначение.

3. Особенности устройства магнитопровода трансформатора и из чего он выполнен?
4. Что следует понимать под номинальной мощностью трансформатора?
5. Что такое номинальный ток трансформатора и как его можно определить?
6. Какие факторы и как влияют на величину вторичного напряжения трансформатора?
7. Как определить и что такое коэффициент трансформации и от чего зависит его величина?
8. На что расходуется активная мощность P_0 при холостом ходе трансформатора?
9. На что расходуется активная мощность P_K при коротком замыкании трансформатора?
10. Объяснить какие величины определяются в опыте холостого хода трансформатора?
11. Как определяется напряжение короткого замыкания трансформатора и что понимается под напряжением короткого замыкания трансформатора? Назовите его значение.
12. От каких факторов и как зависит коэффициент полезного действия трансформатора?
13. Вычислить величину вторичного напряжения испытанного трансформатора при холостом ходе, если к первичной обмотке подвести напряжение $U_1=110$ В.
14. Вычислять по данным опытов величину потерь мощности испытанного трансформатора при заданной величине вторичного тока. Какие потери мощности в трансформаторе имеют место?
15. Что понимается под изменением напряжения трансформатора и от чего оно зависит? Показать на графике внешней характеристики изменение напряжения трансформатора.

Литература

1. Иванов И.И., Равдоник В.С. Электротехника. - М.: Высшая школа, 1985.
2. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. - М.: Энергоатомиздат, 1983.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

ИСПЫТАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

Цель работы

Изучить схемы включения электродвигателей, способы изменения направления вращения, режимы работы и рабочие характеристики электродвигателя с короткозамкнутым ротором.

Основные положения

Рабочий процесс асинхронного двигателя можно условно разделить на 3 стадии.

1) Подведение первичной энергии к статору. На трехфазную обмотку статора подается трехфазный переменный ток. Создается вращающееся магнитное поле статора. В коротко замкнутой обмотке ротора под действием вращающегося магнитного поля наводится ЭДС, которая создает ток в стержнях обмотки ротора.

2) Преобразование энергии. В результате взаимодействия тока, протекающего по обмотке ротора, с магнитным полем статора возникает вращающий момент, который приводит во вращение ротор. Скорость вращения ротора двигателя всегда меньше скорости вращения магнитного поля статора, поскольку только в этом случае обеспечивается пересечение обмотки ротора магнитным полем статора и индуктирование в ней ЭДС и тока.

3) Передача энергии нагрузке. К валу двигателя подсоединяется нагрузка, которая создает тормозной момент, в результате скорость вращения ротора уменьшается, а токи ротора и статора возрастают. Двигатель начинает потреблять из сети больший ток, его вращающий момент увеличивается и преодолевает момент сопротивления нагрузки.

Включение электродвигателя в сеть.

Схема включения электродвигателя в сеть с помощью автоматического выключателя и магнитного пускателя показана на рис.1.

Автоматический выключатель QF предназначен для общего включения отключения электродвигателя, а так же для защиты электродвигателя от короткого замыкания.

Магнитный пускатель КМ1 предназначен для непосредственного пуска и остановки электродвигателя. Пускатель состоит из электромагнитной катушки К, которая управляет работой силовых контактов КМ1...3 и вспомогательного контакта КМ4.

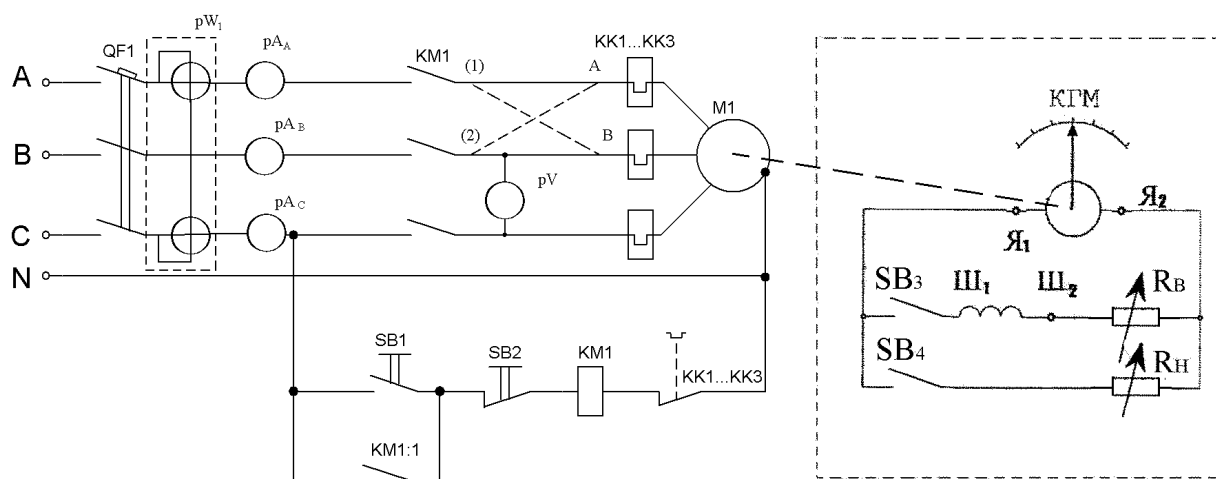


Рис.1. Схема управления работой электродвигателя

Пуск электродвигателя: при нажатии кнопки SB1 втягивается якорь катушки магнитного пускателя KM и контактами KM1...3 подключает электродвигатель к сети. Одновременно контакт KM4 шунтирует кнопку SB1.

Остановка двигателя: при нажатии кнопки SB2 прерывается питание KM и магнитный пускатель отключит электродвигатель от сети.

Защита электродвигателя от перегрузки осуществляется с помощью электротеплового реле KK. Тепловые расцепители этого реле KK1...3 включены в каждую фазу электродвигателя. Если ток электродвигателя превышает допустимые значения, тепловой расцепитель любой фазы размыкает контакт KK. Катушка магнитного пускателя KM обесточивается контактами KM1...3, отключает электродвигатель от сети.

Режимы работы двигателя. Различают 3 режима работы электродвигателя: холостой ход, короткое замыкание, работа под нагрузкой.

Холостым ходом электродвигателя называется такой предельный режим его работы, когда к обмоткам статора подводится номинальное напряжение, а вал двигателя вращается свободно без нагрузки.

Режимом короткого замыкания называется такой предельный режим, когда вал двигателя заторможен и не вращается, а к обмоткам подводится напряжение.

Различают два вида короткого замыкания: аварийное и опытное. При аварийном коротком замыкании на клеммы двигателя подается номинальное напряжение. В этом случае по обмоткам течет очень большой ток $7 \cdot I_N$ и они быстро сгорают.

В опыте короткого замыкания к обмоткам электродвигателя подводится пониженное напряжение такой величины, при котором по обмоткам протекает номинальный ток.

Опыт короткого замыкания позволяет определить исправность обмоток ротора и статора.

В режиме аварийного короткого замыкания двигатель находится в момент пуска, когда на обмотки подано номинальное напряжение, а ротор еще

неподвижен, в этот момент пусковой ток достигает величины $(4-7) \cdot I_H$. Затем по мере разгона ротора пусковой ток уменьшается.

Работа двигателя под нагрузкой оценивается по рабочим характеристикам.

Рабочие характеристики – это зависимость скорости вращения ротора n_2 , КПД - η , тока статора – I , первичной мощности – P , момента вращения – M , скольжения – s , коэффициента мощности $\cos \varphi$ от полезной мощности P_2 . Характеристики показаны на рис.2.

2. Задание и порядок выполнения работы

2.1. Произвести пуск электродвигателя в режиме холостого хода.

Для этого собрать схему рис.1. После проверки схемы преподавателем, запустить электродвигатель. Обратить внимание на броски тока при запуске, записать показания приборов, рассчитать несимметрию токов по фазам и значение тока холостого хода относительно номинального.

Результаты измерений и расчетов свести в таблицу 1.

Таблица 1.

Направление	Из опыта						Рассчитать								
	U, В	P, Вт	I _{XXA} , А	I _{XXB} , А	I _{XXC} , А	n, об/мин	I _{XXср} , А	Δ I _{XXA} %	Δ I _{XXB} %	Δ I _{XXC} %	I_{XXcp}/I_H	S _O , ВА	cos φ	s, %	
прямое															
обратное															

2.2. Изменить направление вращения двигателя на противоположное (реверсирование). Для изменения направления вращения электродвигателя необходимо поменять местами две любых фазы питания двигателя. Например проводник (А) отсоединить от клеммы (1) и присоединить к клемме (2) (на рисунке показано пунктиром), а проводник (В) отсоединить от клеммы (2) и присоединить к клемме (1).

Произвести пробный пуск электродвигателя, записать показатели приборов и выполнить необходимые расчеты.

2.3. Снять рабочие характеристики электродвигателя.

В качестве нагрузки испытуемого асинхронного двигателя используется генератор постоянного тока – ГПТ параллельного возбуждения, который оснащен механизмом для измерения момента вращения. Величина тормозного момента нагрузки генератора регулируется током возбуждения, значение которого устанавливается резистором R_B .

Работа производится следующим образом. Асинхронный электродвигатель запускается на холостом ходу, затем переключателями SB3 и

SB4 включают ток возбуждения и нагрузку генератора R_H . Уменьшая величину R_B , постепенно увеличивают нагрузку двигателя в пределах его номинального тока. Необходимо снять 5-6 точек, результаты опытов записываются в таблицу 2.

Таблица 2.

Рабочие характеристики электродвигателя										
Из опыта					Из подсчета					
U, В	I, А	P, Вт	n, об/мин	M, нм	$\cos \varphi$	P ₂ , Вт	P ₁ , Вт	η	S, ВА	s, %

3. Обработка результатов экспериментов.

Среднее значение тока холостого хода фаз определяется по формуле:

$$I_{XXcp} = \frac{I_{XXA} + I_{XXB} + I_{XXC}}{3}$$

Отклонение тока каждой фазы от среднего:

$$\Delta I_{XXi} = \frac{I_{XXi} - I_{XXcp}}{I_{XXcp}} \cdot 100\%$$

Относительное значение тока холостого хода:

$$I_{XX}^* = \frac{I_{XXcp}}{I_H}$$

Полная мощность двигателя:

$$S = U \cdot I_{XXcp} [BA]$$

Скольжение ротора:

$$S = \frac{n_1 - n}{n_1},$$

где $n_1 = \frac{60 \cdot f}{p}$

p - число пар полюсов, находится по паспорту двигателя.

Коэффициент мощности $\cos \varphi$ находится из формулы:

$$P_1 = 3 \cdot U \cdot I_{XXcp} \cdot \cos \varphi$$

Вторичная мощность P_2 :
$$P_2 = \frac{M \cdot n}{9,55} (Bm)$$

КПД двигателя:
$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

Контрольные вопросы

1. Конструкция и принцип действия асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.
2. В чем заключаются достоинства и недостатки двигателя с к.з. ротором по сравнению с двигателем с фазным ротором?
3. Какова цель опыта холостого хода и порядок проведения его?

4. Как снимаются рабочие характеристики двигателя с к.з.р. при помощи тормозного тарированного генератора? Как объяснить особенности полученных характеристик?
5. Прочестъ и объяснить паспорт испытуемого двигателя.
6. Как изменить направление вращения асинхронного двигателя? Нарисовать схему.

Литература

1. Иванов И.И., Равдоник В.С. Электротехника. - М.: Высшая школа, 1985.
2. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. - М.: Энергоатомиздат, 1983.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫПРЯМИТЕЛЯ

1. Цель работы

Изучить принцип работы однополупериодной и мостовой однофазных схем выпрямителей; исследовать основные характеристики выпрямителей.

2. Основные положения

Выпрямителем называется устройство, преобразующее переменное напряжение, полярность которого изменяется, в пульсирующее, полярность которого остается постоянной. Для получения постоянного напряжения из пульсирующего на выходе выпрямителя ставят сглаживающие фильтры. Таким образом, выпрямитель совместно с фильтром является устройством, преобразующим переменное напряжение в постоянное. При питании от однофазной сети применяются следующие схемы выпрямителей:

- однополупериодные;
- двухполупериодные.

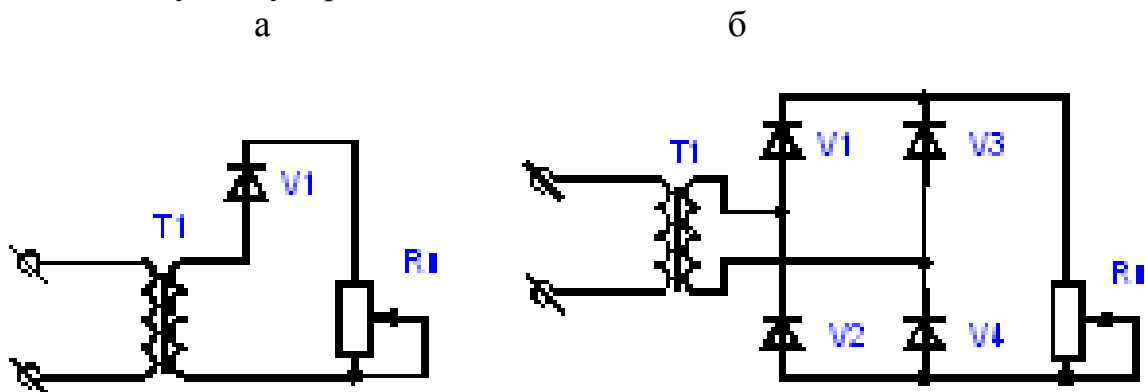


Рис. 1. Схемы выпрямителей

Однополупериодная схема наиболее проста и содержит всего один диод V1 (рис. 1.а.). В положительный полупериод напряжения на вторичной обмотке трансформатора диод V1 находится в проводящем состоянии и через него протекает ток в нагрузку; а в отрицательный - диод закрыт и тока в нагрузке нет. Следовательно, ток в нагрузке протекает в одном направлении и только в один положительный полупериод напряжения вторичной обмотки трансформатора T1.

Мостовая схема выпрямителя (рис. 1.б.) содержит четыре вентиля V1 - V4; в положительный полупериод напряжения на вторичной обмотке трансформатора T1 пропускает ток вентили V1, V4, а в отрицательный - вентили V2, V3. При этом ток в нагрузке протекает в одном направлении. К закрытому вентилю прикладывается обратное напряжение, повторяющее по форме напряжение вторичной обмотки трансформатора.

Максимальное значение обратного напряжения на вентиле равно амплитуде напряжения вторичной обмотки трансформатора U_{2m} .

При идеальном трансформаторе постоянная составляющая тока нагрузки

$$I_0 = \frac{2}{\pi} I_m \approx 0,64 I_m$$

и его действующее значение

$$I = \sqrt{\frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} i_n^2 dt} = \sqrt{\frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} I_m^2 \sin^2 \omega t dt} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

равны значениям соответствующих величин синусоидального тока с той же амплитудой.

Данная схема характеризуется хорошим использованием элементов выпрямителя и трансформатора. Поэтому в настоящее время она находит наибольшее применение для выпрямления однофазного тока.

Так как выпрямленное напряжение – пульсирующее, для получения постоянного напряжения на выходе выпрямителя обычно ставят сглаживающий фильтр. Сглаживающий фильтр – это устройство, предназначенное для уменьшения переменной составляющей выпрямленного напряжения. Степень пульсации выпрямленного напряжения характеризуется коэффициентом пульсаций, который равен отношению амплитуды первой (основной) гармоники пульсаций к среднему значению выходного напряжения.

$$K_n = \frac{\tilde{U}_{\max}}{U_{cp}},$$

где $\tilde{U}_{\max}$ - амплитуда переменной составляющей;

U_{cp} - среднее значение выпрямленного напряжения.

Сглаживающее действие фильтра характеризуется его коэффициентом сглаживания, который равен отношению коэффициента пульсации на входе фильтра к коэффициенту пульсации на выходе фильтра.

3. Подготовка к выполнению лабораторной работы

1. Изучить принцип работы однофазных выпрямителей.
2. Подготовить бланк отчета по лабораторной работе, нарисовать схемы исследуемых выпрямителей.
3. Ознакомиться с порядком выполнения работы и сборки схем на стенде.

4. Порядок выполнения лабораторной работы

Лабораторная работа выполняется на лабораторном стенде «Электроника» или на стенде по исследованию элементной базы полупроводниковых устройств .

4.1. При выполнении лабораторной работы на лабораторном стенде «Электроника»:

1. Собрать схему однополупериодного выпрямителя без фильтра в соответствии с рис. 2.

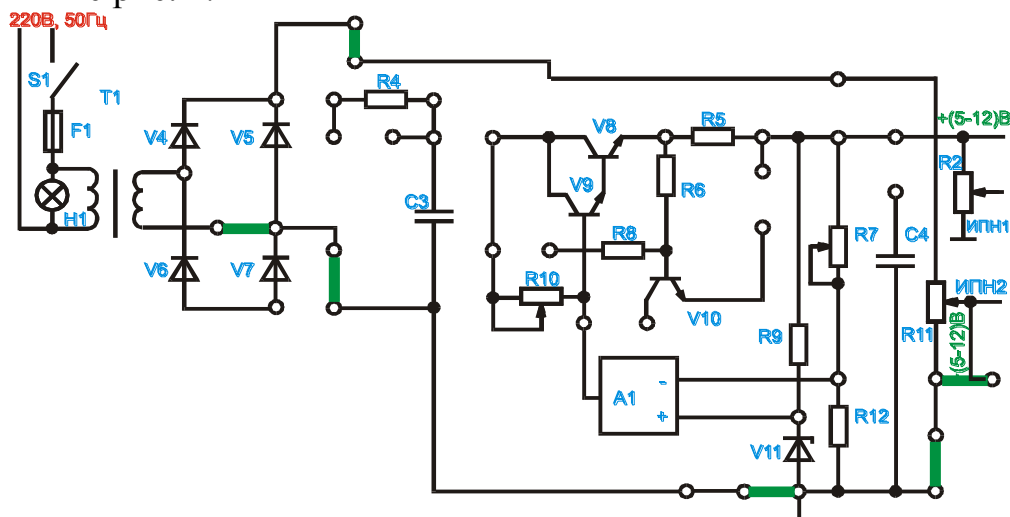


Рис. 2. Схема однополупериодного выпрямителя

2. Подать на схему напряжение, снять и зарисовать для номинального тока нагрузки ($I_n = 100mA$) осциллограммы выпрямленного напряжения, напряжения на диоде, анодного тока диода, тока на выходе выпрямителя, тока вторичной и первичной обмоток трансформатора.

Осциллограммы рисовать в соответствии с их временным положением друг относительно друга для номинального значения тока нагрузки.

3. Снять и построить внешнюю характеристику выпрямителя, изменяя величину нагрузки сопротивлением R11.

4. Определить внутреннее сопротивление выпрямителя в номинальном

$$U_{cp} = f(I_{cp})$$

режиме.
$$R_{\theta_{blx}} = \frac{\Delta U_{\theta_{blx}}}{\Delta I_{\theta_{blx}}}.$$

5. Собрать схему однополупериодного выпрямителя с фильтром, подключив параллельно нагрузке конденсатор C₃ в соответствии с рис. 2.2.

6. Измерить с помощью осциллографа амплитуду напряжения на нагрузке и его среднее значение с помощью вольтметра.

7. Рассчитать коэффициент пульсации и коэффициент сглаживания фильтра.

[illegible]

6. Провести исследования, аналогичные п.п.2- 7 ($I_n = 200mA$).

1. Собрать схему однополупериодного выпрямителя с активной нагрузкой в соответствии с рис. 4.а. Для питания схемы используется напряжение $6 \div 10\text{В}$.

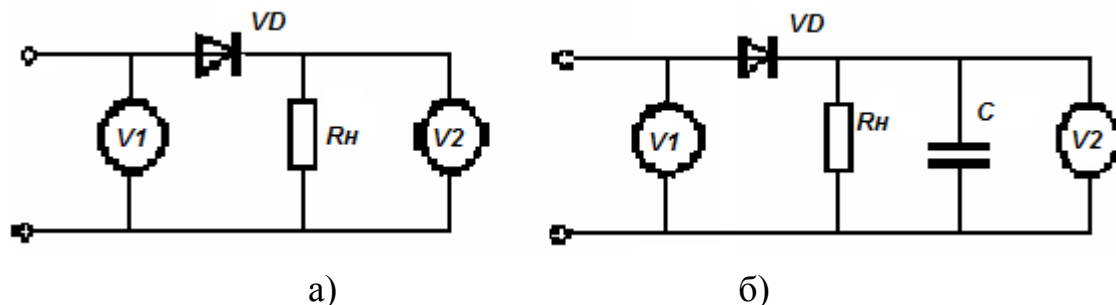


Рис. 4. Схема для исследования однополупериодного выпрямителя
а) без фильтра; б) с фильтром

6. Собрать схему двухполупериодного выпрямителя без фильтра в соответствии с рис. 5.а. Для питания схемы используется напряжение $6 \div 10\text{В}$.

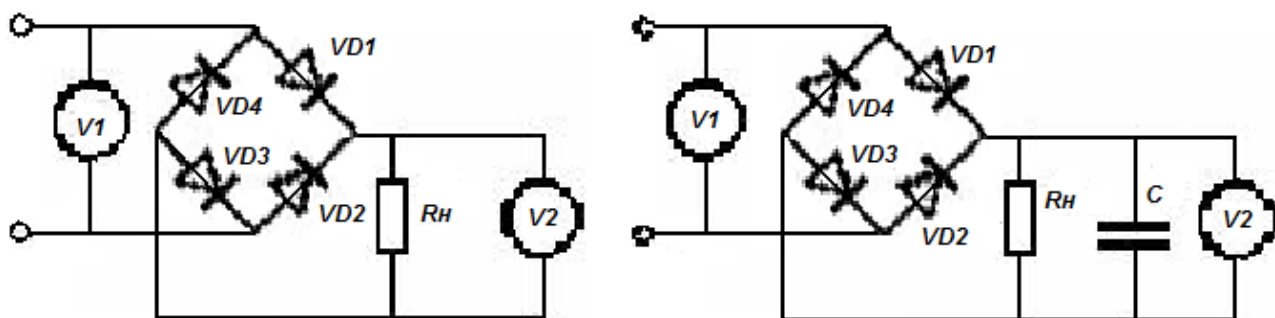


Рис. 5. Схема для исследования двухполупериодного выпрямителя
а) без фильтра; б) с фильтром

6. Замерить напряжение на входе схемы U_1 и на нагрузке U_2 . Снять осциллограммы напряжений U_1 и U_2 зарисовать их.

7. Собрать схему двухполупериодного выпрямителя с активно-емкостной нагрузкой (рис. 4.б). Для питания схемы используется напряжение $6 \div 10\text{В}$.

8. Замерить напряжение на входе схемы U_1 и на нагрузке U_2 . Снять осциллограммы напряжений U_1 и U_2 зарисовать их.

9. Собрать схему двухполупериодного выпрямителя с фильтром, подключив параллельно нагрузке конденсатор C , в соответствии с рис. 5.б.

10. Измерить среднее значение напряжение на нагрузке с помощью вольтметра.

11. Рассчитать коэффициент пульсации и коэффициент сглаживания фильтра.

Контрольные вопросы

1. Объясните принцип работы однофазной мостовой схемы выпрямителя и схемы со средней точкой.

2. Что такое внешняя характеристика выпрямителя? От чего зависит ее наклон?

3. От чего зависит к.п.д. выпрямителя?

Литература

1. Методические указания по выполнению лабораторных работ на стенде «Электроника». Научно-техническое предприятие «Центр». Могилев, 2005.
2. В.И. Лачин, Н.С. Савёлов. Электроника. Учеб. пособие. Ростов на Дону, «Феникс», 2002. – 576

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНЗИСТОРА

1. Цель работы

Изучить свойства транзистора, научиться снимать его входные и выходные характеристики.

2. Основные положения

Транзистор в своей основе содержит три слоя полупроводника (p - n - p или n - p - n) и два p - n перехода. Каждый слой полупроводника через контакт металл-полупроводник подсоединен к внешнему выводу. Средний слой и соответствующий вывод называют базой, один из крайних слоев и соответствующий вывод называют эмиттером, другой крайний слой и соответствующий вывод – коллектором. Транзистор называют биполярным, т.к. в процессе протекания электрического тока участвуют носители электричества двух знаков – электроны и дырки.

Работа биполярного транзистора основана на взаимодействии двух p - n - переходов. Это взаимодействие обеспечивается тем, что толщину средней области транзистора (базы), разделяющей переходы, выбирают меньше длины свободного пробега (диффузионной длины) носителей заряда в этой области.

Принцип работы биполярного транзистора рассмотрим на примере транзистора n - p - n - типа, для которого концентрация основных носителей в n - области существенно выше, чем в p - области. Приложим к эмиттерному переходу прямое ($U_{бэ}$), а к коллекторному - обратное напряжение ($U_{кб}$). В результате этого через эмиттерный переход в область базы будут инжектировать электроны, образуя эмиттерный ток транзистора $I_э$. Поток электронов, обеспечивающий ток $I_э$, показан на рис. 1.1. широкой стрелкой.

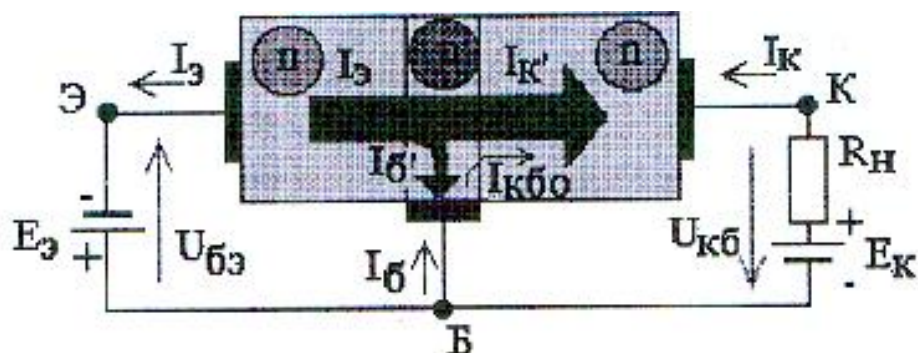


Рис. 1. Схема распределения токов в транзисторе n - p - n - типа

Часть инжектированных в область базы электронов рекомбинирует с основными для этой области носителями заряда - дырками, образуя ток базы $I_б'$. Другая часть инжектированных электронов, которая достигает

коллекторного перехода с помощью электрического поля, создаваемого напряжением $U_{КБ}$, экстрактируется в коллектор, образуя через коллекторный переход коллекторный ток I'_K . Уменьшение потока электронов через коллекторный переход (а, следовательно, и коллекторного тока) по сравнению с потоком дырок через эмиттерный переход можно учесть следующим соотношением:

$$I'_K = \alpha I_{\mathcal{E}}$$

где $\alpha = 0,95 \dots 0,99$ - коэффициент передачи тока эмиттера.

Через запертый коллекторный переход будет создаваться обратный ток $I_{КБ0}$, образованный потоком из n в p область неосновных для коллекторной носителей заряда – дырок, который совместно с током I'_K образует выходной ток транзистора $I_K = I'_K + I_{КБ0}$ и ток в базовом выводе $I_B = I'_B - I_{КБ0}$. Тогда $I_K = \alpha I_{\mathcal{E}} + I_{КБ0} \cong \alpha I_{\mathcal{E}}$. Учитывая, что $I_B = I_{\mathcal{E}} - I_K$, получим:

$$I_K = \frac{\alpha}{1-\alpha} I_B = \beta I_B,$$

где β - коэффициент передачи базового тока.

Коэффициент $\beta \gg 1$, следовательно, данный транзистор может применяться для усиления тока.

Малые значения входного напряжения (прямое смещение эмиттерного перехода, составляющее десятые доли вольт) и большие значения выходного напряжения (обратное смещение коллекторного перехода, составляющее десятки вольт) указывают на то, что этот управляемый нелинейный элемент может применяться для усиления напряжения.

Схемы с ОЭ, обеспечивают усиление как по току, так и по напряжению. Этим объясняется широкое применение указанной схемы включения транзистора.

Биполярный транзистор как усилительное устройство может быть представлен в виде четырехполюсника. У линейного четырехполюсника связь между входными и выходными токами и напряжениями выражается системой двух линейных уравнений. В электронике наибольшее распространение получила система h - параметров четырехполюсника, выражаемая уравнениями:

$$\begin{aligned} \Delta U_{\text{вх}} &= h_{11} \Delta I_{\text{вх}} + h_{12} \Delta U_{\text{вых}} \\ \Delta I_{\text{вых}} &= h_{21} \Delta I_{\text{вх}} + h_{22} \Delta U_{\text{вых}} \end{aligned},$$

где:

$$h_{11} = \left(\frac{\Delta U_{\text{вх}}}{\Delta I_{\text{вх}}} \right)_{\Delta U_{\text{вых}} = \text{const}} \quad - \quad \text{входное сопротивление};$$

$$h_{21} = \left(\frac{\Delta I_{\text{вых}}}{\Delta I_{\text{вх}}} \right)_{\Delta U_{\text{вых}} = \text{const}} \quad - \quad \text{коэффициент передачи тока};$$

$$h_{12} = \left(\frac{\Delta U_{\text{вх}}}{\Delta U_{\text{вых}}} \right)_{\Delta I_{\text{вх}} = \text{const}} \quad - \quad \text{коэффициент обратной связи по напряжению};$$

$$h_{22} = \left(\frac{\Delta I_{\text{вых}}}{\Delta U_{\text{вых}}} \right)_{\Delta I_{\text{вх}} = \text{const}} - \text{выходная проводимость.}$$

Основными параметрами, характеризующими транзистор как активный нелинейный четырехполюсник (при любой схеме включения), являются:

коэффициент усиления по току $K_I = \frac{\Delta I_{\text{вых}}}{\Delta I_{\text{вх}}};$

коэффициент усиления по напряжению $K_U = \frac{\Delta U_{\text{вых}}}{\Delta U_{\text{вх}}};$

коэффициент усиления по мощности $K_P = K_I K_U = \frac{\Delta P_{\text{вых}}}{\Delta P_{\text{вх}}};$

входное сопротивление $R_{\text{вх}} = \frac{U_{\text{вх}}}{I_{\text{вх}}};$

выходное сопротивление $R_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{вых}}}{I_{\text{вых}}}.$

Транзистор как четырехполюсник характеризуется входной и выходной статическими вольтамперными характеристиками (ВАХ), показывающими соответственно зависимость входного тока от входного напряжения (при постоянном значении выходного напряжения транзистора) и выходного тока от выходного напряжения (при постоянном входном токе транзистора). Статические входные и выходные ВАХ биполярного транзистора *n-p-n* - типа для схемы включения с ОЭ приведены на рис. 2.

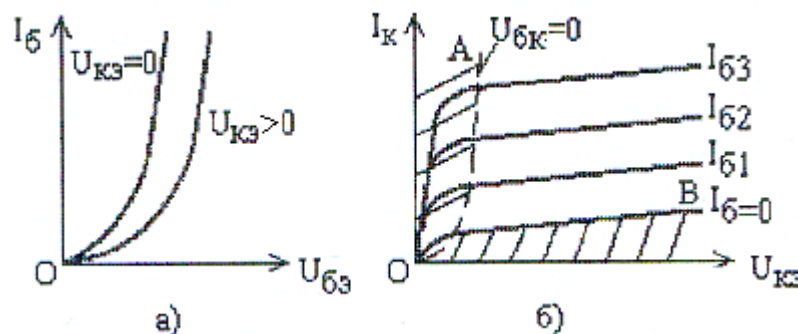


Рис. 2. Входные (а) и выходные (б) характеристики транзистора

Очевидно, что они имеют явно выраженный нелинейный характер. При этом входная ВАХ (рис. 2, а) подобна прямой ветви ВАХ диода, а выходная (рис. 2, б) характеризуется вначале резким возрастанием выходного тока I_K при возрастании выходного напряжения $U_{KЭ}$, а затем, по мере дальнейшего увеличения напряжения, незначительным изменением тока. Переход значений выходного тока на пологий участок соответствует режиму насыщения транзистора, когда оба перехода открыты ($U_{БЭ} > 0$; $U_{КЭ} > 0$).

На выходной характеристике транзистора можно выделить три области, отвечающие различным режимам работы транзистора: насыщения (заштрихованная область левее линии ОА); отсечки (заштрихованная область ниже линии ОВ), соответствующая закрытому состоянию транзистора, когда

$U_{БЭ} < 0$; $U_{КЭ} < 0$; усиления (незаштрихованная область между линиями ОА и ОВ), соответствующая активному состоянию транзистора, когда $U_{БЭ} > 0$; $U_{КЭ} < 0$.

Статические характеристики используются для расчета нелинейных цепей, содержащих транзистор.

3. Подготовка к выполнению лабораторной работы

1. Изучить принцип работы транзистора.
2. Подготовить бланк отчета по лабораторной работе, нарисовать схему исследования транзистора.
3. Ознакомиться с порядком выполнения работы и сборки схемы на стенде.

4. Порядок выполнения лабораторной работы

Лабораторная работа выполняется на стенде по исследованию элементной базы полупроводниковых устройств (рис. 3).

1. Собрать схему исследования транзистора в соответствии с рис. 3, обеспечив включение транзистора по схеме с общим эмиттером.

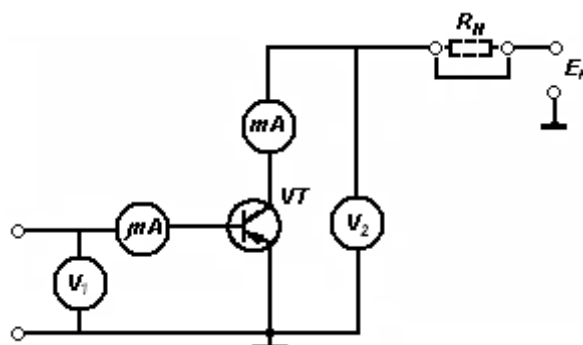


Рис. 3. Схема для снятия характеристик транзистора

2. Снять входные характеристики транзистора $U_{БЭ} = f(I_{БЭ})$ при $U_{КЭ} = 0$; 5; 8 В.

Изменяя на входе схемы ток в пределах $0 \div 150 \text{ мкА}$ измерять напряжение $U_{БЭ} = f(I_{БЭ})$, следить за тем, чтобы $I_{БЭ}$ не превышал 150 мкА . Результаты измерений занести в табл. 1.1. и построить графики.

Табл. 1.

$U_{КЭ} = 0 \text{ В}$	$I_{БЭ}, [\text{мкА}]$								
	$U_{БЭ}, [\text{В}]$								
$U_{КЭ} = 5 \text{ В}$	$I_{БЭ}, [\text{мкА}]$								
	$U_{БЭ}, [\text{В}]$								
$U_{КЭ} = 8 \text{ В}$	$I_{БЭ}, [\text{мкА}]$								
	$U_{БЭ}, [\text{В}]$								

3. Снять выходные характеристики транзистора $I_k = f(U_{кэ})$ при $I_б = 25; 50; 75; 100 \text{ мкА}$. Величину $U_{кэ}$ изменять в пределах $0 \div 9 \text{ В}$. Результаты измерений занести в табл. 1.2. и построить графики.

Табл. 2.

$I_б = 25 \text{ мкА}$	$U_{кэ}, [В]$								
	$I_k, [мА]$								
$I_б = 50 \text{ мкА}$	$U_{кэ}, [В]$								
	$I_k, [мА]$								
$I_б = 75 \text{ мкА}$	$U_{кэ}, [В]$								
	$I_k, [мА]$								
$I_б = 100 \text{ мкА}$	$U_{кэ}, [В]$								
	$I_k, [мА]$								

4. Снять линию нагрузки для $E_k = 9 \text{ В}$ и $R_k = 1,6 \text{ кОм}$. Изменяя ток базы, замерять напряжение на коллекторе и ток I_k . Результаты измерений занести в табл. 1.3. и построить график.

Табл. 3.

$U_{кэ}, [В]$								
$I_k, [мА]$								

Контрольные вопросы

1. В чем заключается принцип действия биполярного транзистора?
2. Какой из схем включения биполярного транзистора отдается предпочтение и почему?
3. Поясните характеристики транзистора.
4. Чем отличаются полупроводниковые интегральные микросхемы от гибридных?
5. Как построить нагрузочную линию транзистора по постоянному току?
6. Объясните влияние температуры на работу транзистора.

Литература

3. Методические указания по выполнению лабораторных работ на стенде «Электроника». Научно-техническое предприятие «Центр». Могилев, 2005.
4. В.И. Лачин, Н.С. Савёлов. Электроника. Учеб. пособие. Ростов на Дону, «Феникс», 2002. – 576

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

1. Цель работы

Изучение и исследование основных логических элементов, используемых в микропроцессорных средствах вычислительной техники.

2. Основные положения

Логические элементы предназначены для выполнения различных логических операций под дискретными сигналами при двоичном способе их представления.

Преимущественное распространение получили логические элементы потенциального типа. В них используется дискретные сигналы, нулевому значению которых соответствует уровень низкого потенциала, а единичному значению - уровень высокого потенциала. Связь потенциального логического элемента с предыдущим и последующим узлами в системе осуществляется непосредственно, без применения реактивных компонентов. Благодаря этому преимуществу именно потенциальные логические элементы нашли исключительное применение в интегральном исполнении в виде микросхем. С позиций использования логических микросхем потенциального типа и проводится далее рассмотрение логических элементов.

Алгоритм любой арифметической операции, выполняемой вычислительной техникой в двоичной системе счисления, может быть сведен к последовательности выполнения некоторых логических операций. Схемно логические операции реализуются на элементах, которые называются логическими.

Логика в общем смысле – это наука о наиболее общих законах и формах мышления, а математическая логика – это наука о применении математических методов для решения различных логических задач.

В вычислительной технике используется главным образом начальный раздел математической логики, называемый исчислением высказываний или алгеброй логики.

Под высказыванием понимают любое предложение, в отношении которого имеет смысл утверждение об его истинности или его ложности. Высказывание может быть либо истинным, либо ложным, но не может быть одновременно и тем, и другим.

В алгебре логики принято рассматривать не конкретное содержание высказывания, а лишь значение его истинности. Принято обозначение истинности высказываний: «1» – высказывание истинно, «0» – высказывание ложно. Такие высказывания чаще называют двоичными переменными.

Высказывания бывают простые и сложные. Функциональную зависимость сложного высказывания выражают через простые, т.е. $f(x_1, x_2, \dots)$

x_n), где x_i – исходные простые высказывания. Объединения простых высказываний в сложные производится с помощью логических связей.

Рассмотрим наиболее часто встречающиеся логические связи и соответствующие им сложные высказывания.

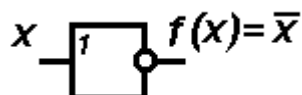
а) Логическая связь НЕ

Отрицание высказывания «х» называется такое сложное высказывание, которое истинно, когда х ложно, и ложно, когда х истинно.

Запись высказывания имеет вид: $f(x) = \bar{x}$

Условное обозначение схемы и таблица истинности имеют вид:

x	$\bar{x}$
0	1
1	0



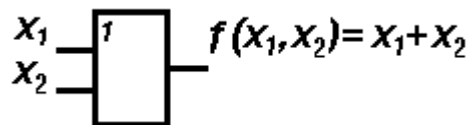
б) Логическая связь ИЛИ (дизъюнкция)

Дизъюнкцией нескольких простых высказываний называют такое сложное высказывание, которое ложно тогда, когда ложны все простые высказывания.

Запись высказывания имеет вид: $f(x_1, x_2) = x_1 + x_2 = x_1 \vee x_2$

Условное обозначение схемы и таблица истинности имеют вид:

x_1	x_2	$f(x_1, x_2)$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1



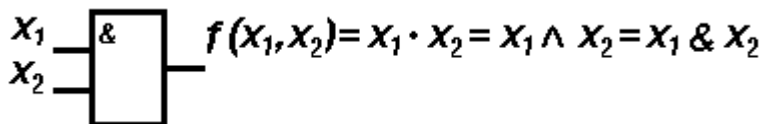
в) Логическая связь И (конъюнкция)

Конъюнкцией нескольких простых высказываний называют такое сложное высказывание, которое истинно только тогда, когда истинны все простые высказывания.

Математическая запись на примере двух простых высказываний имеет вид: $f(x_1, x_2) = x_1 \cdot x_2 = x_1 \wedge x_2 = x_1 \& x_2$

Условное обозначение схемы и таблица истинности имеют вид:

x_1	x_2	$f(x_1, x_2)$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



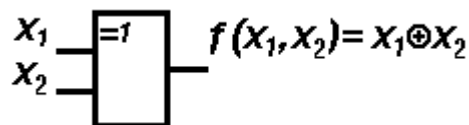
г) Логическая связь ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ (сумматор по модулю 2)

Суммированием по модулю 2 нескольких простых высказываний называют такое сложное высказывание, которое истинно только тогда, когда истинно нечетное число высказываний.

Математическая запись на примере двух простых высказываний имеет вид: $f(x_1, x_2) = x_1 \oplus x_2$

Условное обозначение схемы и таблица истинности имеют вид:

x_1	x_2	$f(x_1, x_2)$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



На основе приведенных типовых логических связей (элементов) в цифровых ЭВМ широко применяются, серийно выпускаемые промышленностью элементы, обладающие функциональной полнотой на основе интегральных микросхем различных серий.

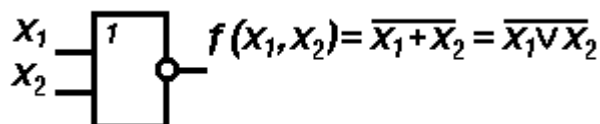
Используя свойство функциональной полноты, комбинированные логические элементы Пирса и Шеффера позволяют реализовать различные сложные высказывания (функции), как-то И, ИЛИ, НЕ.

д) Элемент Пирса – двоичный логический элемент, реализующий операцию (сложное высказывание) логического сложения с отрицанием (дизъюнкцию с отрицанием).

Математическая запись функции, реализуемой элементом Пирса, имеет вид: $f(x_1, x_2) = \overline{x_1 + x_2} = \overline{x_1} \vee \overline{x_2}$

Условное обозначение элемента и таблица истинности, на примере двух простых высказываний, имеет вид:

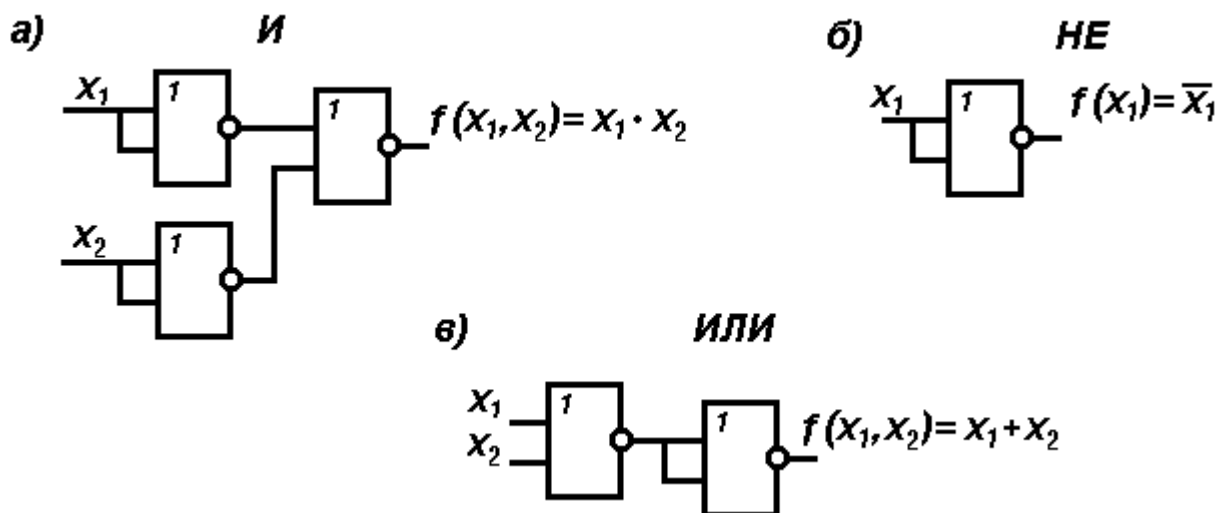
x_1	x_2	$f(x_1, x_2)$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0



На основе элементов Пирса можно реализовать:

а) логическую связь И; б) логическую связь НЕ; в) логическую связь ИЛИ.

Схемы реализации перечисленных логических связей, содержащих по два простых высказывания, имеют вид:



е) Элемент Шеффера – двоичный логический элемент, реализующий операцию логического умножения с отрицанием.

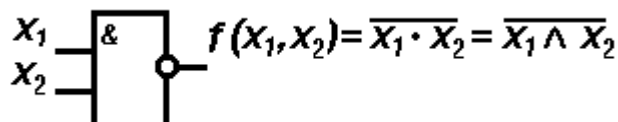
Сложное высказывание представляет собой «1» (истинно) на выходе элемента, которая имеет место всегда, кроме случая, когда простые высказывания имеют «1» на всех входах элемента.

Математическая запись функции, реализуемой элементом Шеффера, имеет вид:

$$f(x_1, x_2) = \overline{x_1 \cdot x_2} = \overline{x_1 \wedge x_2}$$

Условное обозначение элемента и таблица истинности на примере двух простых высказываний имеет вид:

x_1	x_2	$f(x_1, x_2)$
0	0	1
1	0	1
0	1	1
1	1	0



На основе элементов Шеффера можно реализовать логические связи НЕ, ИЛИ, И по аналогии реализации логических связей на элементах Пирса. По таблицам истинности сложных высказываний с помощью аппарата алгебры логики, можно составить совершенные нормальные логические функции.

Пусть $f(x_1, x_2 \dots x_n)$ – произвольная логическая функция n аргументов. Про моделируем все возможные наборы значений аргументов x . Таких наборов будет 2^n . Обозначим их через $A_0, A_1 \dots A_i$, тогда $f(x_1, x_2 \dots x_n) = f(A_i)$.

Функцию $\theta(x_1, x_2 \dots x_n) = \theta_i(A_i)$, такую, что она равна единице для набора A_i и нулю для всех остальных наборов, называют конstituентой единицы.

В алгебре логики доказывается, что любая функция $f(A_i)$ может быть представлена логической суммой конstituент единицы, составленных для тех наборов A_i , для которых $f(A_i) = 1$. Логическую сумму конstituент единицы, полученную по указанному правилу, называют совершенной дизъюнктивной нормальной формой функции (СДНФ).

Для получения конstituенты единицы некоторого набора необходимо логически перемножить все переменные данного набора, причем переменные, соответствующие нулям в наборе, в выражении конstituенты единицы входят с отрицанием.

Рассмотрим пример составления СДНФ:

Пусть функция $f(x_1, x_2)$ задана таблицей истинности

№ набора	x_1	x_2	$f(x_1, x_2)$
1	0	0	0
2	1	0	1
3	0	1	1
4	1	1	0

Случай сумматора по модулю два

$$f(x_1, x_2) = x_1 \oplus x_2$$

Функция $f(x_1, x_2) = 1$ для наборов 2 и 3. Конstituенты единицы для наборов $Q_2 = x_1 \bar{x}_2$, $Q_3 = \bar{x}_1 x_2$, тогда СДНФ будет: $f(x_1, x_2) = x_1 \bar{x}_2 + \bar{x}_1 x_2$.

В алгебре логики доказывается также, что любая логическая функция может быть представлена совершенной конъюнктивной нормальной формой (СКНФ), которая получается логическим умножением конstituент нуля для тех наборов A_i , для которых $f(x_1, x_2 \dots x_n) = 0$.

Для получения конstituенты нуля некоторого набора необходимо сложить все переменные набора, причем переменные, соответствующие единицам в наборе, в выражение конstituенты нуля входят с отрицанием.

По данным таблицы истинности предыдущего примера составим СКНФ.

Из таблицы видно, что $f(x_1, x_2) = 0$ для наборов 1 и 4. Конstituенты нуля для этих наборов $Q_1 = x_1 + x_2$, $Q_4 = \bar{x}_1 + \bar{x}_2$, тогда СКНФ функции:

$$f(x_1, x_2) = (x_1 + x_2)(\bar{x}_1 + \bar{x}_2).$$

Таким образом, любая логическая функция может быть представлена либо функцией СДНФ, либо функцией СКНФ. Для их получения требуется использование логических связей трех типов: НЕ, И, ИЛИ. Эти связи образуют функционально полную систему логических связей.

Количество конstituент, образующих совершенную нормальную функцию, определяет форму функциональной зависимости.

3. Подготовка к выполнению лабораторной работы

1. Изучить основы алгебры логики. Выписать основные логические функции двух переменных и основные законы алгебры логики.
2. Зарисовать условные графические обозначения изучаемых логических элементов.
3. Составить бланки таблиц состояний исследуемых схем.
4. Ознакомиться с порядком сборки и исследования схем на стенде.

4. Порядок выполнения лабораторной работы

Лабораторная работа выполняется на лабораторном стенде «Электроника» или на универсальном стенде по основам автоматики и электронно-вычислительной техники.

4.1. При выполнении лабораторной работы на лабораторном стенде «Электроника»:

1. Собрать схему в соответствии с рис. 1.

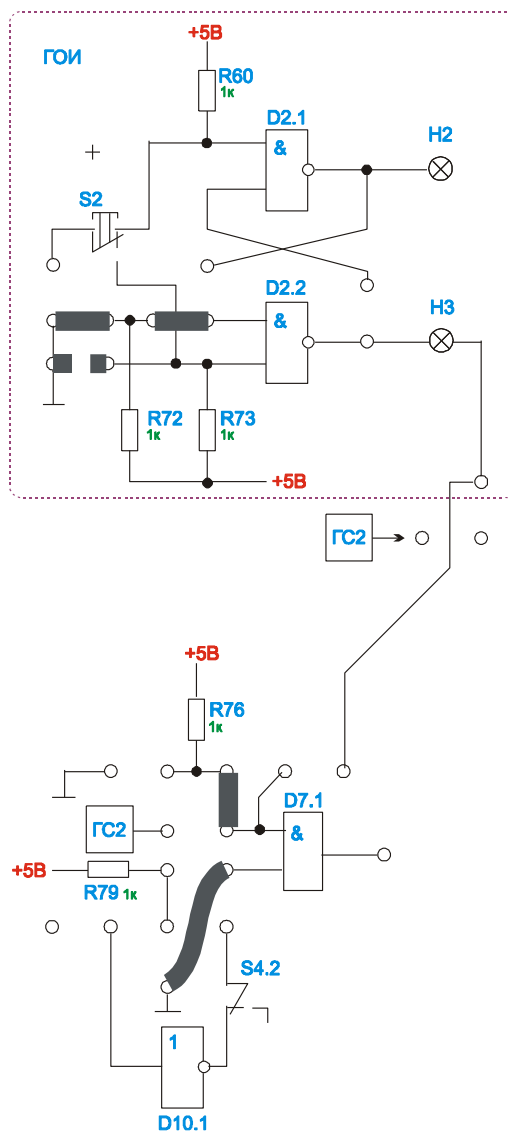


Рис. 1. Схема для исследования логических элементов

2. Для логических элементов НЕ, И, И-НЕ, схемы которых представлены на рис. 1, практически проверить правильность составленных ранее таблиц истинности и временных диаграмм. Для подачи на вход логического элемента уровня логической "1" необходимо подключить соответствующий вход через сопротивления R76, R79, R72 либо R73 к источнику питания "+5В". Для подачи на вход ЛЭ уровня логического "0" необходимо этот вход подключить к общему проводу. Выходной сигнал логического элемента регистрируется осциллографом.

3. Подав на один из входов логического элемента И, а затем на И-НЕ, прямоугольные импульсы от генератора ГС2 зарисовать осциллограммы на выходе при уровне на втором входе "0" и "1".

4. По результатам исследования составить таблицу истинности для каждого устройства.

5. Пояснить полученные осциллограммы.

4.2. При выполнении лабораторной работы на универсальном стенде по основам автоматики и электронно-вычислительной техники:

1. Установить на стенд плату П1, на которой размещены 3 микросхемы. Каждая из микросхем содержит в своем составе по 4 двухвходовых логических элемента.

2. В ходе лабораторной работы исследуются устройства, изображенные на картах 1.1 - 1.9. Для каждой карты исследовать работу изучаемых логических устройств. Для этого:

 задать возможные комбинации входных сигналов с помощью тумблеров SA1 – SA5;

 составить таблицы истинности исследуемых устройств;

 определить логическую функцию, описывающую работу каждого логического устройства, и записать ее через операции И, ИЛИ и НЕ;

 определить тип каждого логического элемента, входящего в исследуемое устройство.

Контрольные вопросы.

1. Перечислить все имеющиеся в микропроцессорной технике основные логические элементы.
2. Изобразить условные обозначения основных логических элементов и их таблицы истинности.
3. Показать, как правильно осуществлять наборы значений аргументов в логических функциях 3-х, 4-х, и 5-ти аргументов.
4. Объяснить правила составления СДНФ и СКНФ по имеющимся таблицам истинности.
5. Перечислить основные законы алгебры логики.
6. Привести примеры устройств, выполняющих логические функции ИЛИ, И, ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ в области электротехники.
7. Пользуясь законами алгебры логики, преобразовать заданную функцию в более простой вид:
 - а) $F = XYZ + X\bar{Y}\bar{Z} + \bar{X}YZ$
 - б) $F = X(\bar{Y} + XYZ) + ZX(XY + \bar{X})$
 - в) $F = XYZ + ZXY + \bar{X}\bar{Y}\bar{Z} + \bar{X}YZ$
8. Составить таблицы истинности для функций, указанных в п.7.
9. По заданным логическим функциям составить схему из основных логических элементов, реализующую уравнения:

$$F = X_1 \oplus \bar{X}_2(\bar{X}_3 + \bar{X}_1)(\bar{X}_1 + X_2) \oplus \bar{X}_1$$

$$F = X_2 \bar{X}_1 + (\bar{X}_3 \oplus X_1) \bar{X}_2$$

$$F = \bar{X}_2 \bar{X}_1 \oplus X_1 (\bar{X}_3 + X_1) \oplus X_1$$

$$F = \overline{X_2 + X_1} \oplus \bar{X}_3 (\overline{X_1 + X_2})$$

10. Используя элементы Шеффера, составить схемы, реализующие логические операции И, ИЛИ, НЕ.
11. Назвать основные параметры логических элементов.
12. Изобразить схему логического элемента ИЛИ на диодах и пояснить ее работу.
13. Изобразить схему логического элемента И на диодах и пояснить ее работу.
14. Пояснить минимизацию функции с помощью метода карт Карно.

Литература

5. Методические указания по выполнению лабораторных работ на стенде «Электроника». Научно-техническое предприятие «Центр». Могилев, 2005.
6. В.И. Лачин, Н.С. Савёлов. Электроника. Учеб. пособие. Ростов на Дону, «Феникс», 2002. – 576

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов, И.И. Электротехника [Комплект] : учебное пособие / И. И. Иванов, Г. И. Соловьев. - 6-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2009. - 496 с., 1 эл. опт. диск (CD-ROM) : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-0523-7
2. Иванов, И.И. Электротехника [Текст]: учебное пособие / И. И. Иванов, Г. И. Соловьев. - 6-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2009. - 496 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-0523-7.
3. Немцов, М.В. Электротехника и электроника [Текст]: учебник / М. В. Немцов. - М. : Высш. шк., 2007. - 560 с. : ил. - (Учебники для вузов. Электротехника). - ISBN 978-5-06-005607-5.
4. Электротехника и электроника. Метод. указ. к выполнению лабораторных работ. Ч. I, /Сост.: Ю.Н. Глубокий, С.П. Скворнюк, А.В. Шкуратов, О.Н. Чурляева, А.С. Дусаева., ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». Саратов, 2009. 49с.
5. Электротехника и электроника. Метод. указ. к выполнению лабораторных работ. Ч. II, /Сост.: Ю.Н. Глубокий, С.П. Скворнюк, А.В. Шкуратов, О.Н. Чурляева, А.С. Дусаева., ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». Саратов, 2009. 49с.
6. Электроника, микропроцессорная техника и средства связи. Метод. указ. к практическим занятиям./Сост.: А.В. Шкуратов, А.В. Бугарь, Гаманюк Д.Н.. ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». Саратов, 2010. 56с.
7. Электроника, микропроцессорная техника и средства связи. Метод. указ. к лабораторным работам./Сост.: Глубокий Ю.Н., А.В. Шкуратов, Гаманюк Д.Н.. ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». Саратов, 2010. 56с.

Составили:
Чурляева Оксана Николаевна

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Редактор.....
Технический редактор.....
Компьютерная верстка.....