

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ И КАДРОВ

БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ
АКАДЕМИЯ

Кафедра механизации животноводства
и электрификации сельскохозяйственного производства

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ»

Для студентов специальностей
С.03.01.00 – механизация сельского хозяйства,
С.03.03.00 – механизация мелиоративных и водохозяйственных
работ

Горки 2001

Составили А.И. БЕЛОВ, С.И. КОЗЛОВ, И.В. ДУБЕНЬ.

УДК 631.171 : 636 (072)

Электротехника и электроника: Методические указания
/Белорусская государственная сельскохозяйственная академия; Сост.
А.И. Белов, С.И. Козлов, И.В. Дубень. Горки, 2001. 52 с.

Приведены порядок подготовки к лабораторным занятиям и оформления отчетов.
методика проведения экспериментов и обработки опытных данных.

Для студентов специальностей С.03.01.00 – механизация сельского хозяйства, и
С.03.03.00 – механизация мелиоративных и водохозяйственных работ.

Рисунков 13. Библиогр. 4.
Рецензент И.А. ГАЙШУН.

©Составление. А.И. Белов, С.И. Козлов, И.В. Дубень, 2001
©Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2001

Работа 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы: 1. Изучить основные соотношения между физическими величинами (токи, электродвижущие силы, напряжения, сопротивления) в неразветвленной цепи постоянного тока с одним источником питания и в разветвленной цепи с двумя источниками питания;

2. Экспериментально определить внутреннее сопротивление и электродвижущую силу источников питания;

3. Экспериментально определить напряжение между двумя узлами неразветвленной цепи и токи в ее ветвях; сравнить эти величины с их расчетными значениями;

4. Получить внешнюю характеристику источника питания.

1.1. Объекты и средства исследования

На рабочем месте смонтирована лабораторная установка, состоящая из двух стандартных источников постоянного тока типа 13УН-1, блока нагрузочных реостатов типа РПШ-5 и измерительных приборов.

Источник постоянного тока типа 13УН-1 (рис. 1.1) состоит из одного блока, на лицевой панели которого расположены органы управления и контроля, клеммы и гнезда для подсоединения различных приемников. Напряжение питания на блок подается включением однополюсного выключателя QF1. В первичной цепи блока установлен автотрансформатор TV1 типа ЛАТР-2М на номинальный ток $I_H = 2,5$ А, напряжение $U_H = 220$ В, частоту $f_H = 50$ Гц. В зависимости от положения ручки автотрансформатора на первичную обмотку силового понижающего трансформатора TV2 может подаваться напряжение от 0 до 250 В, которое контролируется вольтметром PV1.

Измерение силы постоянного тока и напряжения производится с помощью амперметра PA2 с переключателем SA1 на три положения. В нейтральном положении переключателя прибор PA2 используется как милливольтметр.

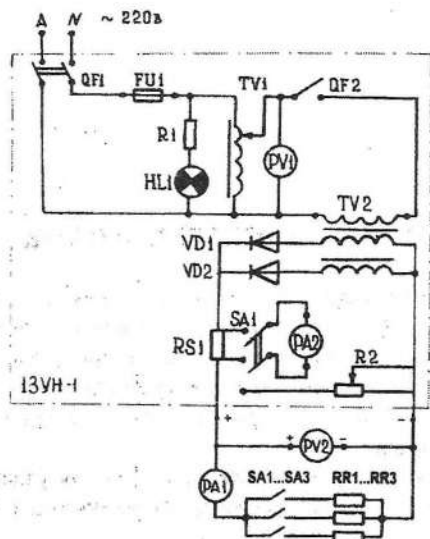


Рис. 1.1. Принципиальная электрическая схема источника постоянного тока типа 13УН-1.

В качестве нагрузки использован блок реостатов RR1...RR3 типа РПШ-1, номинальный ток каждого из них $I_H = 5$ А, сопротивление $R_H = 15$ Ом. С помощью однополюсных выключателей SA2...SA4 реостатами можно изменять ток нагрузки источников постоянного тока.

Для измерения тока нагрузки служит амперметр магнитоэлектрической системы PA1 типа М1104 с током $I_H = 0...30$ А, для измерения напряжения нагрузки – вольтметр магнитоэлектрической системы PV2 типа М45М на номинальное напряжение $U_H = 3...300$ В.

1.2. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с принципиальной электрической схемой источника постоянного тока типа 13УН-1 и таблицами 1.1...1.3 (см. журнал наблюдений) для записи результатов измерений и вычислений. Записать паспортные величины и характеристики объекта и средств исследований.

2. Собрать простую неразветвленную цепь постоянного тока (рис. 1.2), используя для этой цели первый источник питания 13УН-1, блок реостатов RR1...RR3, измерительные приборы PA1 и PV2. После разрешения преподавателя включить источник питания выключателем QF1 и установить ручкой автотрансформатора TV1 напряжение $U_C = 200...240$ В (по указанию преподавателя).

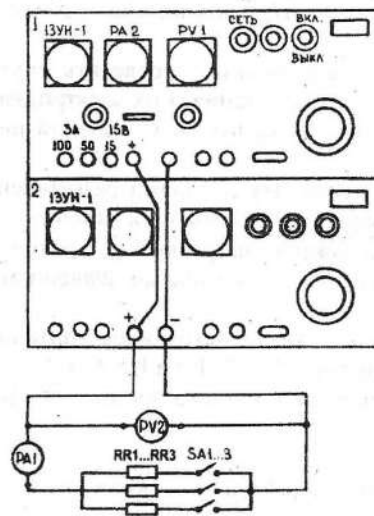


Рис. 1.2. Принципиальная электрическая схема испытания двух источников постоянного тока, включенных параллельно на общую нагрузку.

Записать численные значения тока I_H и напряжения U_H , измеренные приборами PA1 и PV2, в табл. 1.1 для двух значений R_H , равных соответственно 7,5 и 5 Ом. Выключить первый источник питания 13УН-1, но ручку автотрансформатора TV1 оставить в прежнем положении.

3. Собрать простую неразветвленную цепь постоянного тока, используя для этой цели второй источник питания типа 13УН-1, блок реостатов RR1...RR3, измерительные приборы PA1 и PV2.

По аналогии с п. 2 получить и записать значения напряжения U_H и тока I_H в табл. 1.2 для тех же значений сопротивлений реостата R_H . Выключить второй источник питания 13УН-1, но ручку автотрансформатора TV2 также оставить в прежнем положении.

4. Собрать разветвленную цепь постоянного тока, используя для этой цели оба источника питания типа 13УН-1, соединив их параллельно с общей нагрузкой – блоком реостатов RR1...RR3. Включить оба источника питания и провести четыре опыта при различных фиксированных значениях сопротивлений $R_H = \infty; 15; 7,5$ и 5 Ом, устанавливая их с помощью однополюсных выключателей SA2...SA4.

В табл. 1.3 записать численные значения токов источников питания I_1 и I_2 , тока нагрузки I_H и напряжения нагрузки U_H . Токи I_1 и I_2 измеряются встроенными внутрь источников питания амперметрами PA2 при установке переключателей SA1 в положение «30 А». Выключить ис-

точники питания и обесточить установку, отключив питание сетевого распределительного щитка.

5. Используя результаты проведенных опытов, определить внутренние сопротивления R_{01} и R_{02} источников питания и их электродвижущие силы E_1 и E_2 для фиксированных и одинаковых значений питающего первичного напряжения U_C .

Используя формулу напряжения между двумя узлами разветвленной цепи с двумя источниками питания, вычислить токи источников питания I_1 и I_2 , ток нагрузки I_H и напряжение нагрузки U_H . Сравнить вычисленные значения этих величин с их измеренными значениями (табл. 1.3).

6. Построить внешнюю характеристику источников питания $U_H = f_1(I_H)$, их нагрузочные характеристики: $I_1 = f_2(I_H)$ и $I_2 = f_3(I_H)$.

7. Провести графический анализ работы источника постоянного тока.

1.3. Подготовка к выполнению рабочего задания

1. Изучить необходимые разделы в рекомендуемой литературе [1, § 1.3; 1.4; 1.6], [2, § 1.9; 1.10; 1.12], [3, № 1.31; 1.32; 1.35]. Особое внимание следует уделить законам Кирхгофа и Ома, их применению для анализа электрических цепей постоянного тока.

2. Начертить принципиальные электрические схемы неразветвленной и разветвленной цепей с соответствующими измерительными приборами и обозначениями физических величин (токов, напряжений, электродвижущих сил).

3. Рассмотреть решение задач в учебном пособии [3], обратив внимание на применение метода двух узлов.

1.4. Выполнение рабочего задания и обработка результатов эксперимента

1. При эксплуатации источников питания типа 13УН-1 необходимо соблюдать порядок выполнения работ, установленный в «Правилах технической эксплуатации электроустановок потребителей и техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

Запрещается работать при снятом металлическом кожухе и без заземления корпуса.

2. При измерении электрических величин необходимо внимательно следить за показаниями приборов и не перегружать их.

3. Для вычисления внутреннего сопротивления R_0 источника питания постоянного тока и его электродвижущей силы E необходимо воспользоваться следующими формулами:

$$R_0 = \frac{R_{H2} - R_{H1} \frac{I_{H1}}{I_{H2}}}{\frac{I_{H1}}{I_{H2}} - 1}; \quad (1.1)$$

$$E = I_{H2} \cdot R_0 + I_{H2} \cdot R_{H2}. \quad (1.2)$$

Индекс «1» относится к опыту, при котором $R_{H1} = 7,5$ Ом, индекс «2» – при $R_{H2} = 5$ Ом.

4. Для вычисления силы тока источников питания I_1 , I_2 и тока нагрузки I_H , а также напряжения нагрузки U_H следует применять следующие формулы:

$$U_H = \frac{E_1 g_{01} + E_2 g_{02}}{g_{01} + g_{02} + g_H}; \quad (1.3)$$

$$I_1 = \frac{E_1 - U_H}{R_{01}}; \quad I_2 = \frac{E_2 - U_H}{R_{02}}; \quad I_H = \frac{U_H}{R_H}, \quad (1.4)$$

где R_{01} , R_{02} – внутренние сопротивления источников постоянного тока; g_{01} , g_{02} , g_H – проводимости источников и реостатов нагрузки.

$$g_{01} = \frac{1}{R_{01}}; \quad g_{02} = \frac{1}{R_{02}}; \quad g_H = \frac{1}{R_H}. \quad (1.5)$$

5. Графический анализ источника постоянного тока проводится методом пересечения характеристик (м. п. х.). Для этого по оси ординат в декартовой системе координат в масштабе нужно отложить напряжение U , а по оси абсцисс в соответствующем масштабе – ток I . В этой же системе координат необходимо построить внешнюю характеристику источника питания. Для этой цели мысленно проводят два опыта с простейшей цепью постоянного тока. Если сопротивление нагрузки $R_H = \infty$, то напряжение на клеммах источника равно э.д.с. E , а ток $I_H = 0$; если сопротивление нагрузки $R_H = 0$, то напряжение на клеммах источника равно нулю, а ток короткого замыкания I_{HK} вычисляется по формуле

$$I_{HK} = E / R_0. \quad (1.6)$$

Таким образом получают крайние точки внешней характеристики источника постоянного тока: на оси ординат ($U = E, I = 0$) и на оси абсцисс ($U = 0, I = I_{HK}$). Прямая, соединяющая эти точки, представляет собой искомую внешнюю характеристику источника постоянного тока, удовлетворяющую любому режиму его работы: от холостого хода до короткого замыкания.

Линия нагрузки строится следующим образом. Из начала системы координат нужно провести отрезок прямой до пересечения с внешней характеристикой источника постоянного тока в точке с координатами (U_H, I_H) . Координаты точки пересечения определяют установившийся режим в цепи постоянного тока. При равных масштабах M_I тока и M_U напряжения угол α наклона линии нагрузки к оси абсцисс определяется по формуле

$$\alpha = \arctg R_{II} \quad (1.7)$$

1.5. Контрольные вопросы

1. Объяснить физический смысл внутреннего сопротивления и электродвижущей силы E источника питания.
2. Назвать основные режимы работы источника постоянного тока.
3. Влияет ли соотношение между сопротивлениями R_0 и R_H на режим работы источника постоянного тока?
4. Провести графический анализ одного из источников постоянного тока, используемого в лабораторной работе.
5. Как применить первый и второй законы Кирхгофа для анализа разветвленной цепи постоянного тока с двумя источниками питания?
6. Если в разветвленной цепи с двумя источниками питания изменять внутреннее сопротивление или э.д.с. одного из них, то будет ли это влиять на ток второго источника питания и ток нагрузки?

Работа 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ДРОССЕЛЯ И КОНДЕНСАТОРА

Цель работы: 1. Изучить основные соотношения между токами в ветвях цепи с дросселем и конденсатором и током неразветвленного участка цепи;

2. Изучить метод амперметра-вольтметра-ваттметра для определения активного, реактивного и полного сопротивлений дросселя и конденсатора;

3. Экспериментально определить сопротивления дросселя и конденсатора.

2.1. Объект и средства исследования

На рабочем месте смонтирована лабораторная установка, в которой объектами исследования являются дроссель и конденсатор, соединенные параллельно. Номинальное напряжение дросселя $U_H = 40$ В, конденсатора – 60 В.

Средства исследования представлены малокосинусным ваттметром электродинамической системы типа Д522 с напряжением $U_H = 5 \dots 600$ В; амперметром электромагнитной системы типа Э59 с током $I_H = 0,25; 0,5$ и 1 А; амперметрами электродинамической системы типа Д533 с током $I_H = 2,5$ и 5 А; вольтметром электродинамической системы с напряжением $U_H = 75$ и 150 В.

В состав установки входят трансформатор понижающий типа ОС с напряжением $U_{1H} / U_{2H} = 220 / 36$ В и автотрансформатор типа ЛАТР-2М с напряжением $U_{1H} / U_{2H} = 220 / 0 \dots 250$ В.

2.2. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с принципиальной электрической схемой лабораторной установки (рис.2.1) и таблицами 2.1...2.3 для записи результатов наблюдений (см. журнал наблюдений).

2. Собрать цепь в соответствии с рис. 2.1 и после разрешения преподавателя включить ее в сеть. Выключателем SA1 подключить дроссель LR, установить по указанию преподавателя значения напряжения на его катушке U_K (рукояткой автотрансформатора) и силы тока I_K (подвижным стержнем его магнитопровода). Записать в табл. 2.1 напряжение U_K по вольтметру PV1, силу тока катушки I_K по амперметру PA2 и активную мощность P_K по ваттметру PW1. Вычислить полное

Z_K , активное R_K и индуктивное X_K сопротивления дросселя, коэффициент активной мощности $\cos \varphi_K$ и угол φ_K между векторами напряжения \vec{U}_K и тока \vec{I}_K .

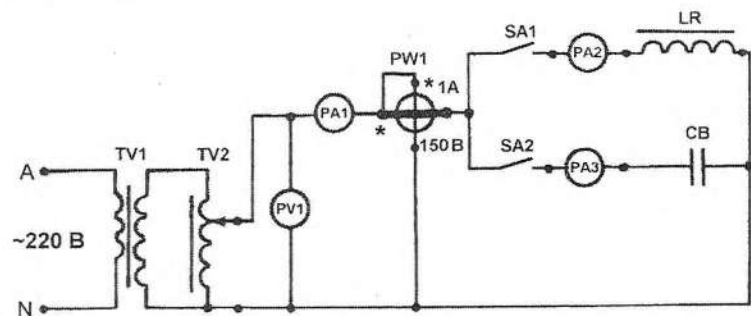


Рис. 3.1. Принципиальная электрическая схема испытания однофазной цепи с параллельным соединением дросселя и конденсатора.

3. Отключить дроссель, затем выключателем SA2 подключить конденсатор CB, установить по указанию преподавателя напряжение на конденсаторе U_C по вольтметру PV1. Записать в табл. 2.2 значения тока конденсатора I_C по амперметру PA3, напряжение U_C по вольтметру PV1 и активную мощность P_C по ваттметру PW1.

Вычислить полное Z_C , активное R_C и емкостное X_C сопротивления конденсатора, коэффициент его активной мощности $\cos \varphi_C$ и угол φ_C между векторами напряжения \vec{U}_C и тока \vec{I}_C .

4. Включить одновременно дроссель LR и конденсатор CB выключателями SA1 и SA2, установить по указанию преподавателя напряжение U по вольтметру PV1 и силу тока дросселя I_K по амперметру PA2.

Записать в табл. 2.3 значения тока дросселя I_K , конденсатора I_C , активной мощности P цепи, общего тока I и напряжения U .

По результатам опыта вычислить полную y , активную g и реактивную b проводимости цепи. Вычислить коэффициент активной мощности цепи $\cos \varphi$ и угол φ между векторами напряжения \vec{U} и общего тока \vec{I} .

5. Построить векторные диаграммы напряжения и тока для дросселя и конденсатора, а также диаграмму напряжений и токов для всей цепи. Сравнить между собой эти векторные диаграммы. По данным табл. 2.1 и 2.2 рассчитать силу тока в неразветвленном участке цепи и сравнить расчетное значение тока I с опытным значением из табл. 2.3.

2.3. Подготовка к выполнению рабочего задания

1. Изучить необходимые разделы в рекомендуемой литературе [1, § 2.13, 12.3], [2, § 2.10, 2.13, 2.14], [3, № 2.37].

2. Изучить методику измерения параметров дросселя и конденсатора с помощью измерительных приборов – амперметра, вольтметра, ваттметра.

3. Изучить методику построения векторных диаграмм тока и их применение для анализа цепей.

2.4. Выполнение рабочего задания и обработка результатов эксперимента

1. Полные сопротивления катушки дросселя Z_K и конденсатора Z_C вычисляются по формулам

$$Z_K = \frac{U_K}{I_K}; \quad Z_C = \frac{U_C}{I_C}. \quad (2.1)$$

Активные сопротивления дросселя R_K и конденсатора R_C вычисляются по формулам

$$R_K = \frac{P_K}{I_K^2}; \quad R_C = \frac{P_C}{I_C^2}. \quad (2.2)$$

Индуктивное сопротивление дросселя X_K и емкостное сопротивление X_C конденсатора вычисляются следующим образом:

$$X_K = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2}; \quad X_C = \sqrt{Z_C^2 - R_C^2}. \quad (2.3)$$

2. Коэффициенты активной мощности дросселя $\cos \varphi_K$ и $\cos \varphi_C$ вычисляются по формулам

$$\cos \varphi_K = \frac{P_K}{U_K \cdot I_K}; \quad \cos \varphi_C = \frac{P_C}{U_C \cdot I_C}, \quad (2.4)$$

откуда

$$\varphi_K = \arccos \frac{P_K}{U_K \cdot I_K}; \quad \varphi_C = \arccos \frac{P_C}{U_C \cdot I_C}. \quad (2.5)$$

3. Полная y , активная g и реактивная b проводимости всей цепи вычисляются по формулам

$$y = \frac{I}{U}; \quad g = \frac{P}{U^2}; \quad b = \sqrt{y^2 - g^2}. \quad (2.6)$$

4. Коэффициент активной мощности $\cos \varphi$ всей цепи и фазовый угол φ между векторами напряжения \vec{U} и общего тока \vec{I} определяются по формулам

$$\cos \varphi = \frac{P}{U \cdot I}; \quad \varphi = \frac{\arccos P}{U \cdot I}. \quad (2.7)$$

5. Расчетное значение силы тока I в цепи вычисляется по формуле

$$I = \sqrt{(I_K \cdot \cos \varphi_K + I_C \cdot \cos \varphi_C)^2 + (I_K \cdot \sin \varphi_K - I_C \cdot \sin \varphi_C)^2}. \quad (2.8)$$

6. При построении векторной диаграммы напряжения и токов для дросселя и конденсатора необходимо учитывать знак фазового угла φ_K между векторами \vec{U}_K и \vec{I}_K , и знак угла φ_C между векторами \vec{U}_C и \vec{I}_C . Вектор тока \vec{I}_K отстает от вектора \vec{U}_K ($\varphi_K > 0$), а вектор тока \vec{I}_C , наоборот, опережает вектор \vec{U}_C ($\varphi_C < 0$). Вектор напряжения \vec{U}_K необходимо считать базовым и откладывать его в соответствующем масштабе горизонтально, векторы токов строятся относительно него в соответствии со значениями фазовых углов φ_K и φ_C , а также векторного уравнения

$$\vec{I} = \vec{I}_K + \vec{I}_C. \quad (2.9)$$

2.5. Контрольные вопросы

1. Почему в цепи с параллельным соединением элементов ток любой из ветвей I_K или I_C превышает значение тока I всей цепи?

2. Почему коэффициент активной мощности всей цепи $\cos \varphi$ больше коэффициентов активной мощности дросселя $\cos \varphi_K$ и конденсатора $\cos \varphi_C$?

3. Какое резонансное явление возможно в данной цепи и каковы условия его появления? Объяснить физический смысл этого явления.

4. Почему и каким образом необходимо увеличивать коэффициент активной мощности цепей, которые содержат дроссели и конденсаторы?

5. Как определить знак фазового угла φ в цепи с параллельным соединением элементов?

Работа 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ С ОДНОФАЗНЫМИ ПРИЕМНИКАМИ, СОЕДИНЕННЫМИ СПОСОБОМ «ЗВЕЗДА»

Цель работы: 1. Изучить соединение однофазных приемников (ламп накаливания) способом «звезда», особенности этого способа и основные соотношения между линейными и фазными величинами (напряжениями и токами);

2. Исследовать четырехпроводную и трехпроводную схемы соединения однофазных приемников при симметричных и несимметричных режимах работы.

3.1. Объект и средства исследования

На рабочем месте смонтирована лабораторная установка, в которой объектом исследования являются лампы накаливания EL1...EL6, соединенные способом «звезда» монтажными проводами. Номинальные величины лампы накаливания: мощность $P_H = 100$ Вт, напряжение $U_H = 220$ В.

Средствами исследования служат электроизмерительные приборы: вольтметры PV1, PV2, PV3, PV4, амперметр PA1 (рис. 3.1). Вольтметры – электромагнитной системы, номинальное напряжение каждого из них $U_H = 75...600$ В. Амперметр – электромагнитной системы типа Э59 с пределами измерений по току $I_H = 0,25; 0,5; 1$ А. Комплект измерительный типа К505 имеет встроенные приборы: вольтметр PV, амперметр PA, ваттметр PW, которые имеют следующие пределы измерения: по току $I_H = 0,5...10$ А, по напряжению $U_H = 60...600$ В, по активной мощности $P_H = 0,015...6$ кВт.

Для получения требуемых режимов исследования на лабораторной установке имеются три однофазных однополюсных выключателя: SA1, SA2 и SA3.

Выключатель SA1 служит для отключения одной из ламп накаливания в фазе А (несимметричный режим), выключатель SA2 – для раз-

мыкания линейного провода А (обрыв фазы А), выключатель SA3 – для размыкания нейтрального провода NN₁ (трехпроводная цепь).

На панели измерительного комплекта K505 имеются следующие переключатели: фаз ВЗ для проведения измерений в соответствующей фазе (А, В или С), пределов номинального тока В1 и пределов номинального напряжения В4.

3.2. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с принципиальной электрической схемой лабораторной установки (рис.3.1) и табл. 3.1 (см. журнал наблюдений) для записи результатов исследования трехфазной цепи.

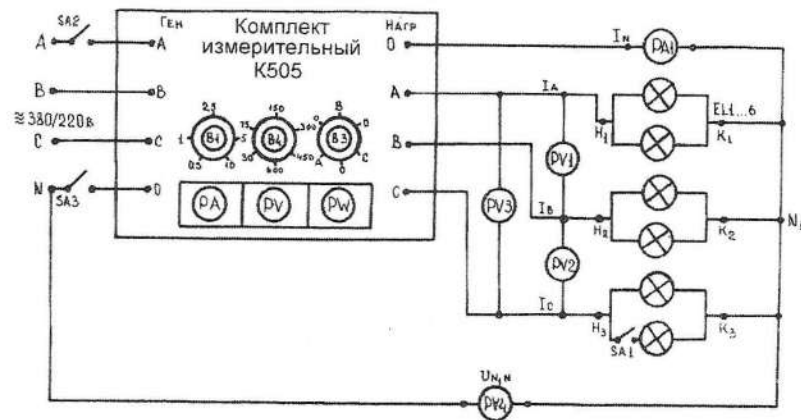


Рис. 3.1. Принципиальная электрическая схема испытания трехфазной цепи с однофазными потребителями, соединенными способом «звезда».

2. Собрать цепь с помощью монтажных проводов и подсоединить ее к силовому настенному щитку с напряжениями $U_{1\Phi} / U_{1\Phi} = 380/220$ В, 50 Гц. На измерительном комплекте K505 установить переключатель фаз в положение «0», переключатель токов В1 – в положение «1А», переключатель вольтметра В4 – в положение «300 В», переключатель В2 – в положение «Без тр. 2». Клемму заземления комплекта K505 необходимо соединить с клеммой «N» настенного щитка.

3. Для проведения исследования первого режима работы четырехпроводной трехфазной цепи (симметричная нагрузка) выключатели SA1, SA2, SA3 установить в положение «Вкл.». Получив разрешение

преподавателя, включить установку в сеть и произвести необходимые измерения. Линейные напряжения U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} измеряются вольтметрами PV1, PV2, PV3 соответственно, ток нейтрального провода I_N – амперметром PA1, напряжение смещения нейтрали $U_{N,N1}$ – вольтметром PV4. Фазные величины – напряжение U_A , ток I_A и активную мощность P_A – измеряют приборами PV, PA, PW комплекта K505 в положении «А» переключателя ВЗ; напряжение U_B , активную мощность P_B , ток I_B – в положении «В» переключателя ВЗ; напряжение U_C , ток I_C , активную мощность P_C , – в положении «С» переключателя ВЗ. Результаты измерений занести в табл. 3.1, режим 1.

4. Выключатель SA1 установить в положение «Выкл.», создавая тем самым несимметричный режим работы трехфазной цепи (в фазе С включенной остается одна лампа накаливания). Данные измерений записать в табл.3.1, режим 2.

5. Выключатель SA1 установить в положение «Вкл.», выключатель SA2 – в положение «Выкл.», создавая тем самым режим обрыва линейного провода А. Данные измерений записать в табл. 3.1, режим 3.

6. Выключатели SA1 и SA2 установить в положение «Вкл.», выключатель SA3 нейтрального провода – в положение «Выкл.», создавая тем самым трехпроводную трехфазную цепь. Повторить измерения для режимов, аналогично выполненным в п.п. 3, 4 и 5. Занести полученные данные в табл. 3.1, режимы 4, 5 и 6 соответственно.

7. По данным опытов для каждого из режимов построить топографические векторные диаграммы напряжений и векторные диаграммы токов для каждого из исследованных режимов. Рассчитать суммарную активную мощность трех фаз во всех режимах.

3.3. Подготовка к выполнению рабочего задания

1. Изучить необходимые разделы в рекомендуемой литературе [1, § 3.5], [2, с. 37...39; 52...55], [3, № 3.13...3.15].

2. Ознакомиться со схемами соединения однофазных приемников способом «звезда» с соответствующими измерительными приборами.

Записать формулы, необходимые для расчета суммарной активной мощности.

3. Рассмотреть решение задач в [3], обратив особое внимание на построение векторных топографических диаграмм напряжений и векторных диаграмм токов.

3.4. Выполнение рабочего задания и обработка результатов эксперимента

1. Действительные значения измеряемого тока I в амперах, напряжения U в вольтах, мощности P в ваттах необходимо определять по следующим формулам:

$$I = c_I \cdot m_I; \quad U = c_U \cdot m_U; \quad P = c_P \cdot m_P, \quad (3.1)$$

где c_I, c_U, c_P – цены делений измерительных приборов амперметра, вольтметра, ваттметра;

m_I, m_U, m_P – отсчет по шкале в делениях соответствующего прибора.

2. Активная мощность в трехфазной цепи определяется по формуле

$$P = P_A + P_B + P_C = \sum_1^3 P_{\phi}, \quad (3.2)$$

где P_A, P_B, P_C – активные мощности фаз А, В, С соответственно, измеренные ваттметром РW измерительного комплекта К505.

3. При построении топографической векторной диаграммы напряжений и векторной диаграммы токов необходимо руководствоваться следующими правилами.

Сначала необходимо записать для данной трехфазной цепи векторное уравнение токов (по первому закону Кирхгофа) и три векторных уравнения напряжений (по второму закону Кирхгофа):

$$\vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C = \vec{I}_N; \quad (3.3)$$

$$\begin{cases} \vec{U}_{AB} = \vec{U}_{AN} - \vec{U}_{BN}, \\ \vec{U}_{BC} = \vec{U}_{BN} - \vec{U}_{CN}, \\ \vec{U}_{CA} = \vec{U}_{CN} - \vec{U}_{AN}, \end{cases} \quad (3.4)$$

где А, В, С, N – буквы, обозначающие вершины и центр треугольника, образуемых векторами напряжений.

Построение диаграммы напряжений нужно начинать с построения в соответствующем масштабе симметричной трехлучевой звезды векторов фазных напряжений $\vec{U}_{AN}, \vec{U}_{BN}, \vec{U}_{CN}$. Фазовые углы между векторами равны между собой и составляют по 120° , начала всех векто-

ров находятся в точке N. Линейные напряжения $\vec{U}_{AB}, \vec{U}_{BC}, \vec{U}_{CA}$ строятся на основании формулы (3.4) как векторные разности соответствующих фазных напряжений.

Векторы линейных (фазных) токов $\vec{I}_A, \vec{I}_B, \vec{I}_C$ откладываются относительно векторов одноименных фазных напряжений под соответствующими фазовыми углами.

Для исследуемых в работе ламп накаливания векторы токов параллельны (соответствующий фазовый угол равен нулю) одноименным векторам фазных напряжений. Вектор тока \vec{I}_N в нейтральном проводе определяется по формуле (3.3) как геометрическая сумма векторов фазных токов.

4. Для наиболее подготовленных студентов определить коэффициент неравномерности нагрузки фаз при несимметричном режиме работы цепи (табл. 3.1, режим 2):

$$K_H = \frac{3 \cdot (I_A^2 + I_B^2 + I_C^2)}{(I_A + I_B + I_C)^2} \cdot \left(1 + \frac{1,5R_N}{R_{\phi}} \right) - \frac{1,5R_N}{R_{\phi}}, \quad (3.5)$$

где R_N – сопротивление нейтрального провода;

R_{ϕ} – сопротивление фазного провода цепи. Можно принять соотношение $R_N / R_{\phi} = 2$.

3.5. Контрольные вопросы

1. Указать недостатки трехпроводной трехфазной цепи и преимущества четырехпроводной цепи.

2. Каково назначение нейтрального провода? Можно ли обойтись без этого провода при работе однофазных потребителей (трехфазных потребителей)?

3. Каковы соотношения между линейными и фазными напряжениями при соединении однофазных потребителей способом «звезда»? Как изменяются эти соотношения в зависимости от режима работы цепи?

4. Что такое напряжение смещения нейтрали U_{NIN} и как можно его определить? Может ли это напряжение являться причиной электротравматизма человека или животных?

Работа 4. Измерение электрической энергии в цепях переменного однофазного и трехфазного тока

Цель работы: 1. Изучить назначение, технические характеристики, устройство и принцип действия однофазного счетчика активной энергии и трехфазных счетчиков активной и реактивной энергии;

2. Определить относительную систематическую погрешность однофазного счетчика;

3. Определить стоимость потребляемой электрической энергии до и после установки компенсирующих конденсаторов.

4.1. Объект и средства исследования

На рабочем месте смонтирована лабораторная установка, в состав которой входят однофазный бытовой счетчик электрической энергии и трехфазные счетчики активной и реактивной энергии.

Технические характеристики однофазного счетчика PI2 следующие: тип СО-2, напряжение $U_H = 220$ В, ток $I_H = 5$ А, номинальная постоянная счетчика $C_H = 2880$ Вт·с/об., класс точности 2,5 %.

Технические характеристики трехфазного четырехпроводного счетчика PI1 активной энергии следующие: тип СА4У-И672М, напряжение $U_{1Л}/U_{1Ф} = 380/220$ В, ток $I_H = 3 \times 5$ А, частота $f_H = 50$ Гц, номинальная постоянная счетчика $C_H = 8000$ Вт·с/об., класс точности 2,0 %.

Технические характеристики трехфазного четырехпроводного счетчика PK1 реактивной энергии следующие: тип СР4У-И673М, напряжение $U_{1Л}/U_{1Ф} = 380/220$ В, ток $I_H = 3 \times 5$ А, частота $f_H = 50$ Гц, номинальная постоянная счетчика $C_H = 8000$ вар·с/об., класс точности 2,0 %.

Средствами исследования также являются: ваттметры PW1 и PW2 типа АСТД электродинамической системы для измерения активной мощности (напряжение $U_H = 300$ В, ток $I_H = 5$ А); варметр PQ1 типа Д539 электродинамической системы для измерения реактивной мощности (напряжение $U_H = 600$ В, ток $I_H = 5$ А).

Потребителями электрической энергии в лабораторной установке являются: лампы накаливания (мощность $P_H = 100$ Вт, напряжение $U_H = 220$ В); электродвигатель M1 трехфазный асинхронный типа АИР (мощность на валу $P_H = 1,5$ кВт, напряжение $U_{1Л}/U_{1Ф} = 380/220$ В); батарея конденсаторов СВ типа МБГЧ-1 (напряжение $U_H = 400$ В, емкость $C_H = 3 \times 10$ мкФ).

Для создания необходимых режимов исследования в состав лабораторной установки входят: однополюсные однофазные выключате-

ли SA1...SA5, служащие для подключения ламп EL1...EL5 в однофазную цепь, и трехполюсный трехфазный выключатель QF1 типа ПНВ1, предназначенный для подключения батареи конденсаторов СВ параллельно обмоткам электродвигателя M1.

4.2. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с принципиальными электрическими схемами лабораторной установки (рис. 4.1, 4.2) и таблицами 4.1...4.3 (см. журнал наблюдений) для записи результатов опытов и вычислений. Записать паспортные данные объекта и средств исследования.

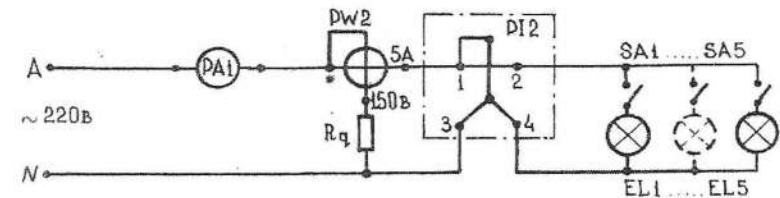


Рис. 4.1. Принципиальная электрическая схема испытания однофазного счетчика электрической энергии.

2. Собрать цепь для исследования однофазного счетчика PI2 в соответствии с рис. 4.1. После разрешения преподавателя включить лабораторную установку в сеть с напряжением $U_H = 220$ В и выключателями SA1...SA5 установить ток ламп накаливания EL1...EL5, приблизительно равный номинальному току счетчика ($I_H = 5$ А). В течение промежутка времени $t = 180...240$ с подсчитать целое число оборотов диска счетчика N и записать результаты в табл. 4.1. Записать также значения тока ламп I по амперметру PA1 и активной мощности P по ваттметру PW2.

3. Собрать цепь для исследования трехфазных счетчиков PI1 и PK1 в соответствии с рис. 4.2. Для подсчета расхода энергии электродвигателем M1 без конденсаторов выключатель QF1 установить в положение «Выкл.». После разрешения преподавателя включить цепь на напряжение $U_{1Л}/U_{1Ф} = 380/220$ В, и по методике, изложенной в п. 2, произвести подсчет числа оборотов N_a и N_p дисков счетчиков активной и реактивной энергии. Записать в табл. 4.2 значения активной мощности одной фазы электродвигателя P_ϕ по ваттметру PW1 и реактивной мощности Q_ϕ – по варметру PQ1.

4. Установить выключатель QF1 в положение «Вкл.», таким образом будет подсчитываться электрическая энергия электродвигателя M1 с подключенными параллельно его обмоткам компенсирующими конденсаторами СВ. За промежуток времени t подсчитать число оборотов N_{a1} и N_{p1} дисков счетчиков активной и реактивной энергии и записать их в табл. 4.3. Записать также значения активной мощности $P_{\phi 1}$ по ваттметру PW1 и реактивной мощности $Q_{\phi 1}$ – по варметру PQ1.

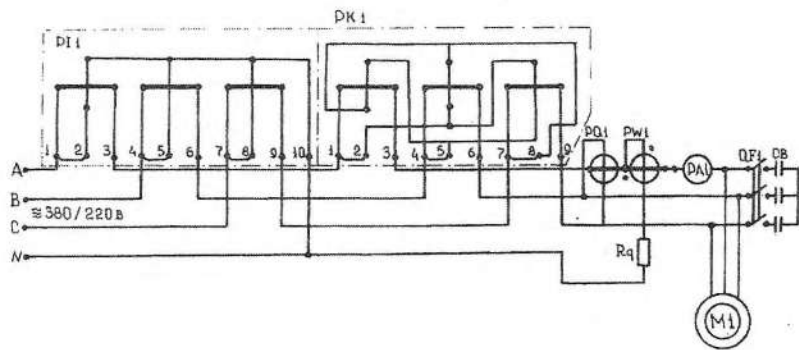


Рис. 4.2. Принципиальная электрическая схема испытания трехфазных счетчиков активной и реактивной электрической энергии.

5. Используя результаты опыта, рассчитать для однофазного счетчика значения номинального W_H и действительного W_D расхода энергии. Вычислить также значение относительной систематической погрешности счетчика γ и установить его класс точности.

Для трехфазных счетчиков рассчитать номинальные значения активной W_a и W_{a1} и реактивной W_p и W_{p1} энергии. Рассчитать также полную энергию W и W_1 , мгновенные и средние значения коэффициентов активной мощности $\cos \phi$, $\cos \phi_1$, $\cos \phi_{cp}$ и $\cos \phi_{cp1}$.

Рассчитать за заданный промежуток времени стоимость активной S_a и S_{a1} , а также реактивной S_p и S_{p1} энергий.

Построить треугольники энергий для электродвигателя с компенсирующими конденсаторами и без них.

4.3. Подготовка к выполнению рабочего задания

1. Изучить необходимые разделы в рекомендуемой литературе [1, § 12.2], [2, § 7.5], [3, № 10.28 - 10.30].

2. Ознакомиться с принципиальными электрическими схемами включения однофазного и трехфазных счетчиков активной и реактивной энергии.

3. Изучить схемы включения трехфазных счетчиков через измерительные трансформаторы тока.

4.4. Выполнение рабочего задания и обработка результатов эксперимента

1. При исследовании однофазного счетчика активной энергии действительное W_D и номинальное W_H значения активной энергии определяются по формулам

$$W_D = P \cdot t; \quad W_H = C_H \cdot N, \quad (4.1)$$

где P – мощность, измеренная ваттметром PW2, Вт;

N – число оборотов диска счетчика за промежуток времени t ;

C_H – постоянная счетчика, Вт·с / об.

Относительная систематическая погрешность γ счетчика определяется по формуле

$$\gamma = \frac{|W_H - W_D|}{W_H} \cdot 100\%. \quad (4.2)$$

Класс точности счетчика показывает наибольшую допустимую погрешность в процентах, определяемую в нормальных условиях. Установлены четыре класса точности однофазных счетчиков – 1,0; 2,0; 2,5 и 3,0. При установлении класса точности однофазного счетчика нужно сравнить значение, вычисленное по формуле (4.2), с численными значениями классов точности.

2. Для трехфазных счетчиков номинальные значения активной W_a , реактивной W_p и полной W энергии определяется по следующим формулам:

$$W_a = C_{ca} \cdot N_a; \quad W_p = C_{cp} \cdot N_p; \quad W = \sqrt{W_a^2 + W_p^2}, \quad (4.3)$$

Работа 5. ИСПЫТАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

где $C_{на}$, $C_{ср}$ – номинальные постоянные счетчиков активной и реактивной энергии, Вт·с / об.

3. Мгновенный и средний коэффициенты активной мощности $\cos \varphi$ и $\cos \varphi_{ср}$ определяются по формулам

$$\cos \varphi = \frac{3P_{\phi}}{\sqrt{9P_{\phi}^2 + 3Q_{\phi}^2}}; \quad \cos \varphi_{ср} = \frac{W_a}{\sqrt{W_a^2 + W_p^2}}. \quad (4.4)$$

4. Стоимость активной S_a и реактивной S_p энергии определяется по формулам

$$S_a = s_a \cdot W_a \cdot 3,6 \cdot 10^{-6}; \quad S_p = s_p \cdot W_p \cdot 3,6 \cdot 10^{-6},$$

где s_a – цена одного киловатт-часа активной энергии, руб/кВт·ч;

s_p – цена одного киловар-часа реактивной энергии, руб/квар·ч.

5. Треугольник энергий дает геометрическую интерпретацию всех энергий потребителя – активной W_a , реактивной W_p и полной W , он является прямоугольным и скалярным. В определенном масштабе активная энергия W_a представляет собой горизонтальный катет треугольника, реактивная энергия W_p – вертикальный катет, а полная энергия W – его гипотенузу.

4.5. Контрольные вопросы

1. Объяснить устройство и принцип действия однофазного счетчика активной энергии.
2. Почему число оборотов диска счетчика пропорционально расходу энергии потребителем?
3. Объяснить устройство и принцип действия трехфазного счетчика.
4. Чем принципиально отличается счетчик реактивной энергии от счетчика активной энергии?
5. Объяснить физический смысл номинальной постоянной счетчика.
6. Как подключают трехфазный счетчик в сеть через измерительные трансформаторы тока?
7. При каких условиях диск счетчика реактивной энергии может изменить направление вращения на противоположное?
8. Дать определение класса точности счетчика.

Цель работы: 1. Изучить назначение, паспортные данные, устройство, принцип действия и область применения трехфазного силового понижающего трансформатора;

2. Изучить основные схемы соединения первичных и вторичных обмоток трансформатора;

3. Экспериментально определить параметры трансформатора, а также величины, характеризующие его магнитную систему;

4. Построить векторные диаграммы напряжений и определить по ним группу соединения обмоток трансформатора.

5.1. Объект и средства исследования

На рабочем месте смонтирована лабораторная установка, объектом исследования в которой является трехфазный понижающий силовой трансформатор типа ТСЗИ-1,6 УХЛ2, сухой защищенный с естественным воздушным охлаждением. Номинальная мощность трансформатора $S_H = 1,6$ кВА, первичное напряжение $U_{1H} = 380/220$ В, вторичные напряжения $U_{2H} = 220/127$ В, частота $f_H = 50 \dots 60$ Гц, схема соединения первичных обмоток – «звезда-треугольник» (Y/Δ), вторичных – «звезда-треугольник» (Y/Δ). Число витков добавочной обмотки $W_d = 15$, площадь сечения стержня магнитопровода $s = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$, номинальный коэффициент полезного действия трансформатора $\eta = 94 \%$.

Средствами исследования служат следующие измерительные приборы: вольтметр электромагнитной системы типа Э59 (напряжение $U_H = 75 \dots 600$ В), вольтметр электромагнитной системы типа АСТВ (напряжение $U_H = 150 \dots 300$ В), вольтметр электромагнитной системы типа Э531 (напряжение $U_H = 1,5 \dots 15$ В), амперметр электромагнитной системы типа Э514 (ток $I_H = 5$ и 10 А), контрольная лампа накаливания (напряжение $U_H = 220$ В, мощность $P_H = 75$ Вт).

5.2. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с принципиальными электрическими схемами лабораторной установки (рис.5.1, 5.2) и табл. 5.1 (см. журнал наблюдений) для записи результатов испытания трансформатора. Записать паспортные величины трансформатора и измерительных приборов.

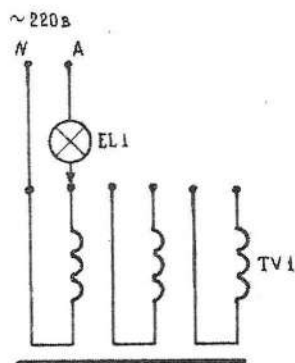


Рис. 5.1. Принципиальная электрическая схема поиска выводов обмоток трехфазного силового трансформатора.

2. Собрать цепь в соответствии с рис. 5.1 для поиска выводов, принадлежащих каждой из трех вторичных обмоток трансформатора. Для этой цели один из проводов контрольной лампы EL1 необходимо соединить с клеммой «А» распределительного щитка, а с клеммой «N» соединить один из шести выводов вторичных обмоток трансформатора. Затем с разрешения преподавателя включить сеть и, поочередно касаясь свободным проводом контрольной лампы каждого из оставшихся пяти выводов вторичных обмоток, наблюдать, когда загорится контрольная лампа. Отключить сеть, и присоединить два найденных вывода вторичной обмотки трансформатора на клеммную плату (например, на клеммы «а» и «х»). Таким же способом нужно определить выводы двух других вторичных обмоток трансформатора и так же присоединить их выводы соответственно на клеммы «б» и «у», «с» и «z».

3. Собрать цепь в соответствии с рис. 5.2. Для этого начала первичных обмоток «А», «В», «С» и нейтраль «N» трансформатора необходимо присоединить к соответствующим клеммам распределительного щитка. Вторичные обмотки трансформатора следует соединить способом «звезда», перемкнув клеммы «х», «у» и «z».

С разрешения преподавателя включить трансформатор в сеть. Вольтметром PV1 необходимо поочередно измерить и записать в соответствующие графы табл. 5.1 линейные $U_{1Л}$ (U_{AB} , U_{BC} , U_{CA}) и фазные $U_{1Ф}$ (U_{AN} , U_{BN} , U_{CN}) напряжения первичных обмоток трансформатора, линейные $U_{2Л}$ (U_{ab} , U_{bc} , U_{ca}) и фазные $U_{2Ф}$ (U_{ax} , U_{by} , U_{cz}) вторичных обмоток. Пользуясь вольтметром PV2 и амперметром PA1, следует измерить соответственно напряжение U_d на добавочной обмотке и ток I_{10} холостого хода первичной обмотки трансформатора.

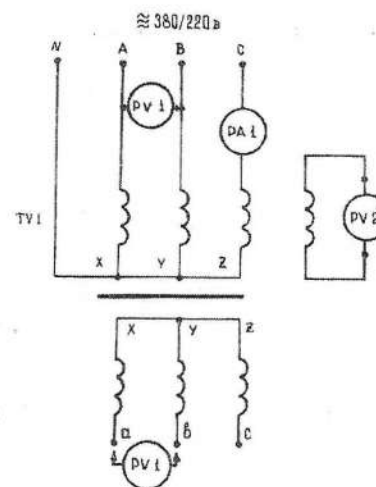


Рис. 5.2. Принципиальная электрическая схема испытания трехфазного силового трансформатора.

При измерении линейных напряжений $U_{2Л}$ необходимо обратить внимание на то, что одно из этих напряжений может быть больше двух других в $\sqrt{3}$ раз. Причина этого явления заключается в том, что при соединении их способом «звезда» одна из вторичных обмоток «опрокинута», т.е. были ошибочно приняты «конец» обмотки за ее «начало», или наоборот.

4. По результатам измерений необходимо вычислить линейные токи трансформатора $I_{1Л}$ и $I_{2Л}$, число витков первичной w_1 и вторичной w_2 обмоток, коэффициент трансформации K . Следует определить также магнитные величины холостого хода для одной обмотки трансформатора: магнитодвижущую силу первичной обмотки F_1 , магнитный поток Φ_1 и магнитную индукцию B_1 .

5. Нарисовать принципиальные схемы, векторные диаграммы напряжений для следующих типов трансформаторов: $Y/Y_N - 0$, $Y/\Delta - 11$ (символ «Y» обозначает способ соединения обмоток в «звезду», символ «Y_N» – в «звезду» с нейтральным проводом, символ «Δ» – в «треугольник»).

Нарисовать векторную диаграмму напряжений испытуемого трансформатора для случая, когда одна из вторичных обмоток «опрокинута».

5.3. Подготовка к выполнению рабочего задания

1. Изучить необходимые разделы в рекомендуемой литературе [1, § 10.1, 10.5, 10.6], [2, § 8.1, 8.7], [3, № 8.22, 8.23], [4, № 5].

2. Записать и пояснить основные паспортные данные силового трехфазного трансформатора.

3. Изучить принципиальные схемы основных способов соединения первичных и вторичных обмоток трехфазного трансформатора.

5.4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОЧЕГО ЗАДАНИЯ И ОБРАБОТКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТА

1. При соединении обмоток трехфазного трансформатора способом «звезда» для первичных и вторичных обмоток линейное U_L и фазное U_ϕ напряжения связаны формулой

$$U_L = \sqrt{3} \cdot U_\phi, \quad (5.1)$$

а линейный I_L и фазный I_ϕ токи равны между собой:

$$I_L = I_\phi. \quad (5.2)$$

При соединении обмоток трансформатора способом «треугольник» линейный I_L и фазный токи I_ϕ связаны формулой

$$I_L = \sqrt{3} \cdot I_\phi, \quad (5.3)$$

а линейное U_L и фазное напряжение U_ϕ равны между собой:

$$U_L = U_\phi. \quad (5.4)$$

2. Номинальная полная мощность S_H трансформатора независимо от способа соединения обмоток вычисляется по формуле

$$S_H = \sqrt{3} U_{1H} I_{1H} = \sqrt{3} U_{2H} I_{2H}, \quad (5.5)$$

где U_{1H} и U_{2H} – соответственно номинальные напряжения первичной и вторичной обмоток трансформатора, В;

I_{1H} и I_{2H} – номинальные токи первичной и вторичной обмоток трансформатора, А.

3. Число витков первичной w_1 и вторичной w_2 обмоток трансформатора можно приближенно вычислить по следующим формулам:

$$w_1 = w_D \cdot \frac{U_{1\phi}}{U_D}; \quad w_2 = w_D \cdot \frac{U_{2\phi}}{U_D}, \quad (5.6)$$

где w_D – число витков добавочной обмотки трансформатора.

Коэффициент трансформации K трансформатора определяется по формуле

$$K = w_1 / w_2. \quad (5.7)$$

При холостом режиме работы трансформатора коэффициент трансформации K можно найти по выражению

$$K = U_{1L} / U_{2L}. \quad (5.8)$$

4. Магнитодвижущая сила (м.д.с.) холостого хода трансформатора определяется по формуле

$$F_1 = w_1 \cdot I_1, \quad (5.9)$$

а магнитный поток, проходящий по сердечнику,

$$\Phi_1 = U_{1\phi} / 2\pi \cdot f \cdot w_1, \quad (5.10)$$

где f – промышленная частота сети ($f = 50$ Гц).

Магнитная индукция сердечника трансформатора B_1 определяется по формуле

$$B_1 = \Phi_1 / s \cdot c, \quad (5.11)$$

где s – площадь сечения магнитопровода трансформатора, ($s = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$);

c – коэффициент заполнения магнитопровода сталью ($c = 0,85 \dots 0,95$).

5. При построении векторной диаграммы напряжений трансформатора сначала строится векторная диаграмма фазных $\vec{U}_{AN}, \vec{U}_{BN}, \vec{U}_{CN}$ и линейных $\vec{U}_{AB}, \vec{U}_{BC}, \vec{U}_{CA}$ напряжений первичных обмоток. При этом следует использовать следующие векторные уравнения (для схемы Y/Y):

$$\begin{cases} \bar{U}_{AB} = \bar{U}_{AN} - \bar{U}_{BN}; \\ \bar{U}_{BC} = \bar{U}_{BN} - \bar{U}_{CN}; \\ \bar{U}_{CA} = \bar{U}_{CN} - \bar{U}_{AN}. \end{cases} \quad (5.12)$$

Затем строится векторная диаграмма фазных \bar{U}_{ax} , \bar{U}_{by} , \bar{U}_{cz} и линейных \bar{U}_{ab} , \bar{U}_{bc} , \bar{U}_{ca} напряжений вторичных обмоток трансформатора. Векторы одноименных фазных напряжений первичных и вторичных обмоток трансформатора параллельны между собой:

$$\bar{U}_{AN} \parallel \bar{U}_{ax}; \quad \bar{U}_{BN} \parallel \bar{U}_{by}; \quad \bar{U}_{CN} \parallel \bar{U}_{cz}. \quad (5.13)$$

Для определения группы соединения обмоток трехфазного трансформатора по векторной диаграмме следует вычислить угол в градусах между одноименными векторами линейных напряжений первичных и вторичных обмоток, например, угол между векторами \bar{U}_{AB} и \bar{U}_{ab} . Число, полученное в результате деления значения этого угла на 30° , дает искомую группу соединения обмоток.

5.5. Контрольные вопросы

1. Объяснить устройство и принцип действия трехфазного трансформатора.
2. Назвать основные паспортные величины трехфазного трансформатора.
3. Перечислить основные схемы соединения обмоток трансформатора.
4. Какие группы соединения обмоток трансформатора вам известны?
5. Нарисовать векторную диаграмму вторичных напряжений трансформатора, если в одной из первичных обмоток произошел обрыв линейного провода.
6. Назвать известные вам причины перегрева трансформатора, причины ненормального гудения трансформатора.
7. Почему все металлические части трансформатора необходимо заземлять?

Работа 6. ИСПЫТАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

Цель работы: 1. Изучить назначение, паспортные данные, устройство, принцип действия и области применения асинхронного трехфазного двигателя с короткозамкнутым ротором;

2. Изучить основные рабочие характеристики электродвигателя и получить их экспериментально на лабораторной установке.

6.1. Объект и средства исследования

На рабочем месте смонтирована лабораторная установка, объектом исследования в которой является агрегат, состоящий из асинхронного трехфазного электродвигателя и генератора постоянного тока.

Электродвигатель – типа А02, его номинальная мощность $P_H = 2,2$ кВт, номинальная частота вращения $n_H = 1440$ мин⁻¹, номинальное напряжение $U_H = 220/380$ В, способ соединения обмоток двигателя «треугольник – звезда», номинальный ток $I_H = 4,37$ А, номинальный коэффициент мощности $\cos \varphi_H = 0,9$, номинальный коэффициент полезного действия $\eta_H = 85$ %.

Генератор постоянного тока с самовозбуждением служит нагрузкой для испытуемого двигателя. Генератор имеет следующие паспортные данные: $P_H = 1,5$ кВт, $U_H = 220$ В, $I_H = 8,6 \dots 9,0$ А, $n_H = 1500$ мин⁻¹, $\eta_H = 85$ %.

Средства исследования – вольтметр PV1 электромагнитной системы типа ЭП2 с номинальным напряжением $U_H = 600$ В, амперметр PA1 электромагнитной системы типа Э59 с током $I_H = 10$ А, ваттметр PW1 трехфазный двухэлементный ферродинамической системы типа Д571 с напряжением $U_H = 250$ В и током $I_H = 5$ А, амперметр PA2 электромагнитной системы типа Э59 с номинальным током $I_H = 5$ и 10 А, вольтметр PV2 астатический типа АСТВ с напряжением $U_H = 150$ и 300 В.

Для изменения нагрузки на двигатель к генератору через однополюсные однофазные выключатели SA1...SA5 могут подключаться лампы накаливания EL1...EL5. Активная мощность одной лампы накаливания $P_H = 300$ Вт, номинальное напряжение $U_H = 220$ В. Для измерения скорости вращения вала двигателя имеется электронный тахометр типа ТЧ10-РС с диапазоном измерения $n_H = 0 \dots 9999$ мин⁻¹.

6.2. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с принципиальной электрической схемой лабораторной установки (рис. 6.1) и табл. 6.1 (см. журнал наблюдений) для записи результатов испытания асинхронного двигателя. Записать паспортные данные двигателя, генератора и измерительных приборов.

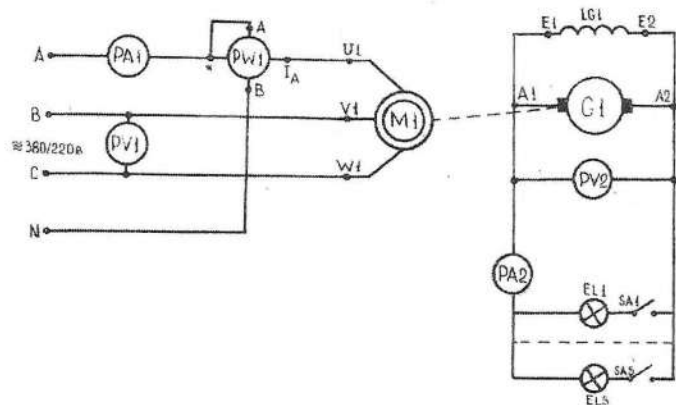


Рис. 6.1. Принципиальная электрическая схема испытания трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.

2. Собрать цепь в соответствии со схемой рис. 6.1 и после разрешения преподавателя включить ее в трехфазную сеть с номинальным напряжением $U_H = 220/380$ В и частотой $f_H = 50$ Гц. Затем приступить к непосредственному испытанию двигателя, проведя для этой цели шесть опытов.

3. В первом опыте все выключатели SA1...SA5 находятся в разомкнутом положении (холостой ход агрегата). В табл. 6.1 записать показания измерительных приборов – линейный ток двигателя I_1 по амперметру PA1, линейное напряжение двигателя по вольтметру PV1, активную мощность одной фазы двигателя по ваттметру PW1, напряжение генератора U_G по вольтметру PV2, ток генератора I_G по амперметру PA2, скорость вращения двигателя n_2 по тахометру.

Постепенно увеличивая нагрузку на двигатель выключателями SA1...SA5, провести остальные пять опытов и записать результаты в табл. 6.1.

4. По результатам проведенных опытов вычислить и записать в табл. 6.1 следующие величины: активную мощность двигателя P_1 ,

мощность генератора P_G , мощность активных потерь в агрегате ΔP , коэффициент активной мощности двигателя $\cos \varphi$, коэффициент полезного действия агрегата η , скольжение двигателя s .

Построить в соответствующих масштабах следующие рабочие характеристики агрегата и двигателя: $\eta = f_1(P_1/P_{1H})$, $\Delta P = f_2(P_1/P_{1H})$, $\cos \varphi = f_3(P_1/P_{1H})$, $I_1 = f_4(P_1/P_{1H})$, $s = f_5(P_1/P_{1H})$.

6.3. Подготовка к выполнению рабочего задания

1. Изучить необходимые разделы в рекомендуемой литературе [1, § 15.1, 15.5, 15.7]; [2, § 10.1...10.3, 10.13]; [3, № 12.1, 12.3]; [4, № 6].

2. Записать паспортные данные электродвигателя и проанализировать его номинальные параметры.

3. Изучить на лабораторном стенде устройство, основные узлы и детали трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

6.4. Методические указания по выполнению рабочего задания и обработке результатов эксперимента

1. Активная мощность двигателя P_1 определяется по формуле

$$P_1 = 3P_\phi. \quad (6.1)$$

Номинальная активная мощность двигателя P_{1H} может быть вычислена по формуле

$$P_{1H} = \sqrt{3} \cdot U_{1H} \cdot I_{1H} \cdot \cos \varphi_H, \quad (6.2)$$

где U_{1H} – номинальное линейное напряжение двигателя, В;

I_{1H} – номинальный линейный ток двигателя, А;

$\cos \varphi_H$ – номинальный коэффициент активной мощности двигателя.

2. Мощность генератора постоянного тока P_G определяется по формуле

$$P_G = U_G \cdot I_G, \quad (6.3)$$

где U_G – напряжение на клеммах генератора, В;

I_G – ток нагрузки генератора, А.

Мощность ΔP активных потерь в агрегате

$$\Delta P = P_1 - P_{гг} \quad (6.4)$$

3. Коэффициент активной мощности двигателя $\cos \varphi$ вычисляется по формуле

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1} \quad (6.5)$$

Коэффициент полезного действия агрегата (к.п.д.)

$$\eta = \frac{P_{гг}}{P_1} = \frac{P_{гг}}{P_{гг} + \Delta P} = \eta_{д} \cdot \eta_{гг}, \quad (6.6)$$

где $\eta_{д}$ – к.п.д. двигателя;

$\eta_{гг}$ – к.п.д. генератора.

4. Скольжение (относительное отставание ротора от вращающего его магнитного поля статора) определяется по формуле

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100, \% \quad (6.7)$$

где n_1 – частота вращения магнитного поля обмоток статора двигателя ($n_1 = 1500$ об/мин);

n_2 – частота вращения ротора, об/мин.

5. При построении рабочих характеристик агрегата по оси абсцисс откладывается относительная мощность генератора $P_{гг} / P_{гН}$, изменяющаяся в пределах $0 \leq P_{гг} / P_{гН} \leq 1$. По оси абсцисс необходимо откладывать значения $P_{гг} / P_{гН} = 0; 0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0$. Рабочие характеристики агрегата можно строить в одной системе координат, но обязательно с двумя осями ординат, каждая со своей величиной и масштабом.

При построении рабочих характеристик двигателя по оси абсцисс откладывается его относительная электрическая мощность $P_{гг} / P_{гН}$, изменяющаяся в пределах $0 \leq P_{гг} / P_{гН} \leq 1$. При совмещении рабочих характеристик двигателя на одном графике необходимо провести три оси ординат – для коэффициента мощности $\cos \varphi$, для тока I_1 и скольжения s .

6.5. Контрольные вопросы

1. Объяснить физический смысл рабочих характеристик (по графикам) двигателя и агрегата.
2. Устройство и принцип действия трехфазного асинхронного двигателя.
3. Что произойдет при работе нагруженного двигателя, если напряжение питающей сети уменьшится на 10 % (увеличится на 10 %)?
4. Будет ли продолжать нормально работать нагруженный двигатель при обрыве одного из трех проводов питающей сети?
5. Двигатель плохо идет в ход и сильно гудит, сила тока во всех трех фазах различна и при холостом ходе двигателя превышает номинальную. Поясните возможные причины данного явления.
6. От каких величин зависит частота вращения вала двигателя и его вращающий момент?
7. Какие вам известны положительные и отрицательные свойства трехфазного асинхронного двигателя?

Работа 7. ИСПЫТАНИЕ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

- Цель работы:** 1. Изучить назначение, паспортные данные, устройство, принцип действия и области применения синхронного генератора;
2. Изучить основные рабочие характеристики синхронного генератора и получить их экспериментально на лабораторной установке.

7.1. Объект и средства исследования

На рабочем месте смонтирована лабораторная установка, объектом исследования в которой является трехфазный синхронный генератор типа СГ. Номинальные напряжения генератора при соединении обмоток способом «звезда» $U_{л}/U_{ф} = 250 / 132$ В, номинальный ток $I_{н} = I_{л} = 11,2$ А, частота вращения $n = 1500$ об/мин, частота тока $f = 50$ Гц, коэффициент полезного действия $\eta_{н} = 80$ %, полная мощность $S_{н} = 4,5$ кВА, активная мощность $P_{н} = 3,6$ кВт, коэффициент активной мощности $\cos \varphi = 0,8$, масса $m = 124$ кг.

Питание обмотки возбуждения синхронного генератора осуществляется от дополнительного генератора постоянного тока с самовозбуждением (возбудителя), который смонтирован в одном корпусе с ос-

новым генератором. Напряжение постоянного тока возбудителя $U_H = 22$ В, ток возбудителя $I_H = 11,2$ А.

Приводным двигателем для синхронного генератора и возбудителя в лабораторной установке служит асинхронный трехфазный двигатель типа А2 мощность на валу которого $P_H = 5,5$ кВт, номинальный ток $I_H = 11,1$ А, напряжение $U_H/U_\phi = 380/220$ В, номинальная частота вращения $n = 1440$ об/мин, коэффициент полезного действия $\eta_H = 87$ %, коэффициент активной мощности $\cos \varphi = 0,86$.

Средствами исследования служат электроизмерительные приборы - вольтметры PV1 и PV2 электромагнитной системы типа Э59 (напряжение $U_H = 75 \dots 600$ В); амперметр PA1 электромагнитной системы типа Д566 (ток $I_H = 5$ и 10 А); регулировочный реостат RR1 (сопротивление $R = 50$ Ом).

Для измерения нагрузки на генератор в составе лабораторной установки имеются лампы накаливания EL...EL4, мощность каждой из них $P_H = 200$ Вт, напряжение $U_H = 220$ В, а также трехфазные трехполюсные выключатели SA1...SA4.

7.2. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с принципиальной электрической схемой лабораторной установки (рис. 7.1) и табл. 7.1...7.3 (см. журнал наблюдений) для записи результатов опытов и вычислений. Записать паспортные данные синхронного генератора G2, возбудителя G1 и приводного двигателя M1. Записать также паспортные данные измерительных приборов.

2. Собрать цепь для испытания генератора по схеме рис. 7.1 и после разрешения преподавателя включить ее сеть с напряжением 380 / 220 В. Приступить к проведению опыта холостого хода синхронного генератора. Для этого при токе нагрузки, равном нулю (выключатели SA1...SA4 разомкнуты), постепенно увеличивать ток возбуждения I_B от нуля до 10 А с шагом 2 А. По амперметру PA1 измерять значения тока I_B , а по вольтметру PV2 – соответствующие значения электродвижущей силы E_A фазы А синхронного генератора и записать их в верхнюю строку табл. 7.1. Затем необходимо уменьшать ток возбуждения I_B от 10 А до нуля с тем же шагом и записать значения э.д.с. E_A в нижнюю строку табл. 7.1.

По результатам проведения опыта построить характеристику холостого хода генератора $E_A = f(I_H)$ при токе нагрузки $I_A = 0$ и частоте вращения $n = \text{const}$.

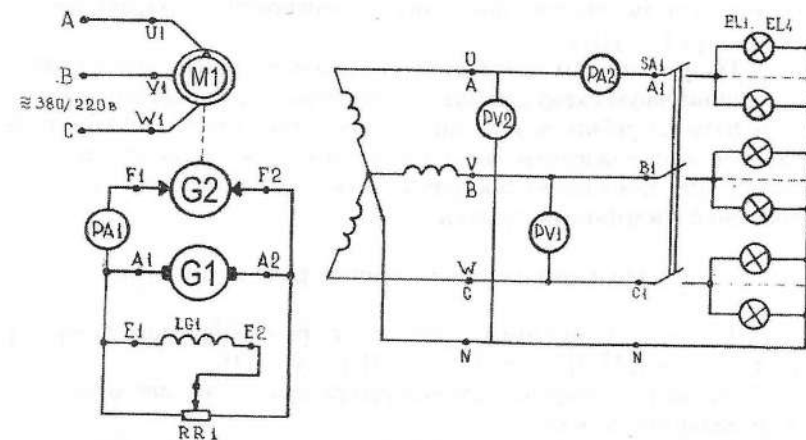


Рис. 7.1. Принципиальная электрическая схема испытания трехфазного синхронного генератора.

3. Для снятия внешней характеристики синхронного генератора необходимо провести пять опытов, обеспечивая при каждом из них $I_B = 8$ А и $n = \text{const}$, при этом увеличивая нагрузку генератора (ток I_A) выключателями SA1...SA4. В табл. 7.2 следует записать результаты измерений – линейное напряжение U_{BC} по вольтметру PV1, фазное напряжение генератора U_A по вольтметру PV2, ток возбуждения I_B по амперметру PA1, частоту вращения генератора n по тахометру.

По результатам опытов построить внешнюю (нагрузочную) характеристику генератора $U_A = f(I_A)$. Для одного из режимов генератора вычислить полное суммарное сопротивление фазы генератора и фазы потребителя Z_A , активное сопротивление фазы потребителя R_{HA} , индуктивное сопротивление фазы генератора X_A , угол ψ_A между вектором э. д. с. генератора \bar{E}_A и вектором тока \bar{I}_A .

Вычислить также электромагнитную мощность генератора $P_{ЭМ}$ и активную мощность P , которую генератор отдает потребителю.

4. Провести опыт для получения регулировочной характеристики синхронного генератора, для чего также необходимо выполнить пять опытов с постепенным увеличением нагрузки на генератор выключателями SA1...SA4. При каждом опыте необходимо поддерживать напряжение генератора $U_A = \text{const}$ (по указанию преподавателя) ползунком реостата RR1. Результаты измерений записать в табл. 7.3.

По результатам опытов построить регулировочную характеристику генератора $I_B = f(I_A)$.

5. По результатам испытаний синхронного генератора составить принципиальную схему замещения одной фазы синхронного генератора и фазы потребителя, с целью ее упрощения можно пренебречь активным сопротивлением фазы генератора. Для составленной схемы замещения необходимо построить векторную диаграмму токов, напряжений и магнитных потоков.

7.3. Подготовка к выполнению рабочего задания

1. Изучить необходимые разделы в рекомендуемой литературе [1, § 16.1, 16.2, 16.4]; [2, § 11.1 ... 11.5]; [3, № 13.7].

2. Записать паспортные данные генератора и приводного двигателя и проанализировать их.

3. Изучить на лабораторном стенде устройство, основные узлы и детали синхронного генератора.

7.4. Методические указания по выполнению рабочего задания и обработке результатов эксперимента

1. Полное сопротивление Z_A фазы генератора и потребителя определяется по формуле

$$Z_A = E_A / I_A, \quad (7.1)$$

где E_A – электродвижущая сила фазы генератора, В;

I_A – ток фазы А генератора, А.

Активное сопротивление R_{HA} фазы А потребителя (если пренебречь активным сопротивлением фазы генератора)

$$R_{HA} = U_A / I_A. \quad (7.2)$$

Индуктивное сопротивление X_A фазы генератора

$$X_A = \sqrt{Z_A^2 - R_{HA}^2}. \quad (7.3)$$

Угол ψ_A между вектором э.д.с. генератора \vec{E}_A и вектором тока \vec{I}_A

$$\psi_A = \arctg \frac{X_A}{R_{HA}}. \quad (7.4)$$

Электромагнитная мощность $P_{ЭМ}$, вырабатываемая генератором,

$$P_{ЭМ} = 3E_A \cdot I_A \cdot \cos \psi_A. \quad (7.5)$$

Активная мощность P , отдаваемая генератором потребителю,

$$P = 3U_A \cdot I_A \cdot \cos \varphi_A, \quad (7.6)$$

где φ_A – угол между вектором напряжения потребителя \vec{U}_A и вектором тока \vec{I}_A (если нагрузкой являются лампы накаливания, то угол $\varphi_A = 0^\circ$).

2. Схему замещения фазы генератора и потребителя можно представить в виде схемы простой цепи с последовательным соединением источника переменной синусоидальной э.д.с. с внутренним сопротивлением X_A и резистивного сопротивления ламповой нагрузки R_{HA} . Векторная диаграмма для схемы замещения строится на основании уравнения, составленного для этой схемы в соответствии со вторым законом Кирхгофа:

$$\vec{E}_A = \vec{I}_A R_{HA} + \vec{I}_A X_A = \vec{U}_A + \vec{I}_A X_A. \quad (7.7)$$

Вектор \vec{E}_A опережает вектор тока \vec{I}_A на угол ψ_A , а векторы тока \vec{I}_A и напряжения \vec{U}_A параллельны между собой. На векторной диаграмме необходимо построить векторы магнитного потока возбуждения $\vec{\Phi}_B$, реакции якоря $\vec{\Phi}_A$ и суммарного потока генератора $\vec{\Phi}$. Векторная диаграмма магнитных потоков строится на основании уравнения

$$\vec{\Phi} = \vec{\Phi}_A + \vec{\Phi}_B. \quad (7.8)$$

Вектор магнитного потока $\vec{\Phi}_B$ опережает вектор э.д.с. \vec{E}_A на угол 90° , вектор потока $\vec{\Phi}_A$ совпадает с направлением вектора тока \vec{I}_A .

7.5. Контрольные вопросы

1. Объяснить физический смысл построенных рабочих характеристик синхронного генератора.

2. Почему у синхронного генератора основной магнитный поток возбуждения создается обмотками вращающегося ротора генератора, а э.д.с. снимается с неподвижных обмоток якоря, а не наоборот?

3. Какие показатели качества электрической энергии, вырабатываемой синхронным генератором, вам известны?

4. Почему характеристика холостого хода генератора имеет две ветви – восходящую и нисходящую?

5. Какие способы регулирования электродвижущей силы генератора вам известны?

6. Изменяются ли рабочие характеристики синхронного генератора, если его нагрузка будет чисто индуктивной (или емкостной)?

Работа 8. ИСПЫТАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

Цель работы: 1. Изучить назначение, паспортные данные, устройство, принцип действия и области применения двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением;

2. Изучить основные рабочие характеристики двигателя постоянного тока и получить их экспериментально на лабораторной установке.

8.1. Объект и средства исследования

На рабочем месте смонтирована лабораторная установка, объектом исследования в которой является агрегат, состоящий из двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением, и генератора постоянного тока, смонтированного на одном валу с двигателем.

Двигатель постоянного тока типа ПН-2,8 имеет следующие характеристики: номинальное напряжение $U_H = 115$ В, номинальный ток $I_H = 17,4$ А, мощность на валу $P_H = 2$ кВт, частота вращения ротора $n_H = 1430$ об/мин, масса $m = 90$ кг.

Генератор постоянного тока типа ПЗ с номинальным напряжением $U_H = 220$ В, номинальным током $I_H = 8,6$ А, номинальной мощностью $P_H = 1,5$ кВт, частотой вращения якоря $n_H = 1500$ об/мин, массой $m = 53$ кг.

Пускорегулирующая аппаратура представлена реостатами: пусковой $RR1$ типа РП-2511 (напряжение $U_H = 220$ В, ток $I_H = 6,1$ А, сопротивление $R_H = 19$ Ом, мощность $P_H = 1$ кВт) и регулировочным $RR2$ типа РСР (сопротивление $R_H = 370$ Ом).

Измерительные приборы: вольтметр $PV1$ электромагнитной системы типа Э59/106 (напряжение $U_H = 150$ В); вольтметр $PV2$ электромагнитной системы типа АСТВ (напряжение $U_H = 150$ и 300 В); амперметр $PA1$ электромагнитной системы типа Э59 (ток $I_H = 5$ и 10А);

амперметр $PA2$ магнитоэлектрической системы типа ЛМ-2 (ток $I_H = 1,5$ А); амперметр $PA3$ электромагнитной системы типа Э59 (ток $I_H = 2,5$ и 5А); цифровой тахометр типа ЦАТ-2М с измеряемой частотой вращения $n_H = 0...9999$ об/мин.

В состав лабораторной установки входят лампы накаливания $EL1...EL4$ (напряжение $U_H = 220$ В, мощность $P_H = 200$ Вт), а также однополюсные выключатели $SA1...SA4$.

8.2. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с принципиальной электрической схемой лабораторной установки (рис. 8.1) и табл. 8.1, 8.2 (см. журнал наблюдений) для записи результатов опытов и вычислений. Записать паспортные данные двигателя, генератора и измерительных приборов.

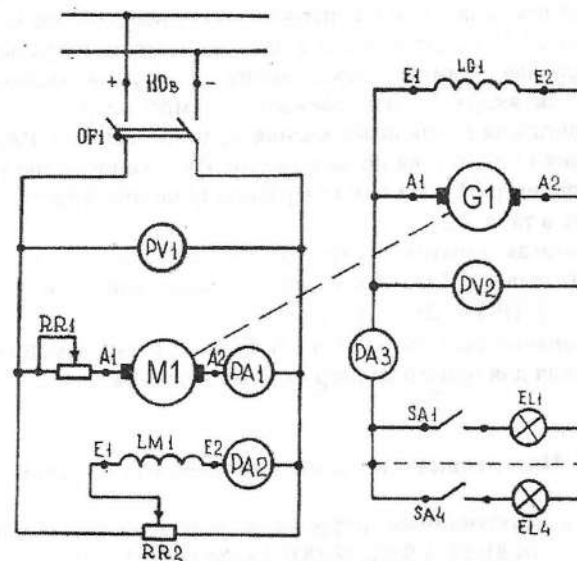


Рис. 8.1. Принципиальная схема испытания двигателя постоянного тока параллельного возбуждения.

2. Собрать цепь в соответствии со схемой рис. 8.1, и после разрешения преподавателя включить установку в сеть постоянного тока с напряжением $U_H = 115$ В. Для пуска двигателя необходимо плавно

перевести рукоятку пускового реостата RR1 по часовой стрелке до упора в положение «Ход».

Внимание! В дальнейшем при снятии рабочих характеристик двигателя рукоятку пускового реостата запрещается перемещать во избежание выхода его из строя!

Для получения характеристики холостого хода двигателя необходимо ползунком регулировочного реостата RR2 изменять ток возбуждения I_B в пределах от 1,0 А до 0,5 А с шагом 0,1 А, в табл. 8.1 записать ток возбуждения двигателя I_B по амперметру PA2, частоту вращения двигателя по цифровому тахометру, напряжение сети U по вольтметру PV1.

По результатам опыта построить характеристику холостого хода двигателя $n = f(I_B)$.

3. Для получения рабочих характеристик двигателя необходимо провести пять опытов, изменяя ток генератора лампами EL1...EL4 и поддерживая в каждом опыте постоянным ток возбуждения $I_B = \text{const}$ (по указанию преподавателя). В первом опыте необходимо установить ток генератора $I_G = 0$, затем постепенно увеличивать нагрузку генератора, подключая лампы накаливания EL1...EL4 выключателями SA1...SA4. Ток якоря I_A , измеряемый по амперметру PA1, частоту вращения двигателя n , ток возбуждения I_B по амперметру PA2, напряжение питания U двигателя по вольтметру PV1, напряжение генератора U_G по вольтметру PV2 и ток генератора I_G по амперметру PA3 следует записать в табл. 8.2.

По результатам опытов построить электромеханическую характеристику двигателя $n = f_2(I_A)$ и его рабочие характеристики: $I_A = f_3(P_G)$, $n = f_4(P_G)$, $\eta = f_5(P_G)$ и $\Delta P = f_6(P_G)$.

4. На основании опытных данных построить схему замещения цепи якоря двигателя для одного из нагрузочных режимов.

8.3. Подготовка к выполнению рабочего задания

1. Изучить необходимые разделы в рекомендуемой литературе [1, § 14.1, 14.7, 14.8]; [2, § 9.11...9.18], [3, № 11.7...11.10].

2. Записать паспортные данные двигателя и генератора и проанализировать их.

3. Изучить на лабораторном стенде устройство, основные узлы и детали двигателя постоянного тока.

8.4. Методические указания по выполнению рабочего задания и обработке результатов эксперимента

1. При построении электромеханической характеристики двигателя $n = f_2(I_A)$ необходимо дополнительно определить и указать на графике частоту вращения идеального холостого хода двигателя при токе якоря $I_A = 0$:

$$n_0 = n_H \frac{U_H}{U_H - I_H R_A}, \quad (8.1)$$

где n_H, U_H, I_H – паспортные данные двигателя;

R_A – сопротивление обмотки якоря двигателя, $R_A = 1 \text{ Ом}$.

Ток двигателя I_1 вычисляется на основании первого закона Кирхгофа:

$$I_1 = I_A + I_B, \quad (8.2)$$

где I_A – ток якоря двигателя, А;

I_B – ток обмотки возбуждения, А.

2. Электрическая мощность двигателя определяется по формуле

$$P_1 = U \cdot I_1. \quad (8.3)$$

Электрическая мощность генератора P_G определяется по формуле

$$P_G = P_f \cdot P_r. \quad (8.4)$$

Мощность потерь в установке «двигатель–генератор»

$$\Delta P = P_1 - P_G. \quad (8.5)$$

Коэффициент полезного действия установки

$$\eta = \frac{P_G}{P_1} \cdot 100, \%. \quad (8.6)$$

3. Схему замещения цепи якоря двигателя необходимо представить в виде цепи с последовательным соединением источника противо-э.д.с. E_A с внутренним сопротивлением R_0 , равным сопротивлению якоря R_A . На входе цепи подключен источник постоянного тока с напряжением U . Для схемы замещения справедливо уравнение, составленное на основании второго закона Кирхгофа:

$$U = E + I_A R_A. \quad (8.7)$$

8.5. Контрольные вопросы

1. Пояснить физический смысл электромеханической характеристики и характеристики холостого хода двигателя постоянного тока.
2. Пояснить физический смысл полученных рабочих характеристик двигателя постоянного тока.
3. От каких величин зависит численное значение электромагнитного момента двигателя и его направление?
4. Указать способы регулирования частоты вращения двигателя.
5. Объяснить сущность явления реакции якоря машины постоянного тока. Как она влияет на работу машины?
6. Объяснить порядок пуска двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением.

Работа 9. ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

Цель работы: 1. Изучить назначение, устройство, принцип действия и основные характеристики трехфазного выпрямителя двух основных типов – с нейтральным выводом и мостового по схеме А.Н. Ларионова;

2. Экспериментально определить основные характеристики трехфазного выпрямителя.

9.1. Объект и средства исследования

На рабочем месте смонтирована лабораторная установка, в состав которой входят учебный стенд выпрямителей типа ЭС5, вольтметр PV1 для измерения линейного напряжения $U_{1л}$ первичных обмоток трансформатора TV1, ваттметр PW1 для измерения активной мощности $P_{1ф}$ трансформатора TV1 (рис. 9.1).

На передней панели стенда ЭС5 размещены измерительные приборы, контрольные гнезда, выключатели и переключатели, предохранители и другие узлы и детали принципиальной электрической схемы выпрямителя. Внутри стенда расположены три однофазных силовых понижающих трансформатора TV1, первичные обмотки которых соединены способом «треугольник» на линейное напряжение $U_{1л} = 220$ В с частотой $f = 50$ Гц. Со вторичных обмоток трансформатора TV1, соединенных способом «звезда», напряжение (12,6 В) подается на выпрямительные диоды VD1...VD6 типа КД231 и далее через выключа-

тели SA1...SA16 – на нагрузку (резисторы R1...R14). Переключатель SA2 служит для выбора типа выпрямителя – с нейтральным выводом либо мостового по схеме А.Н. Ларионова.

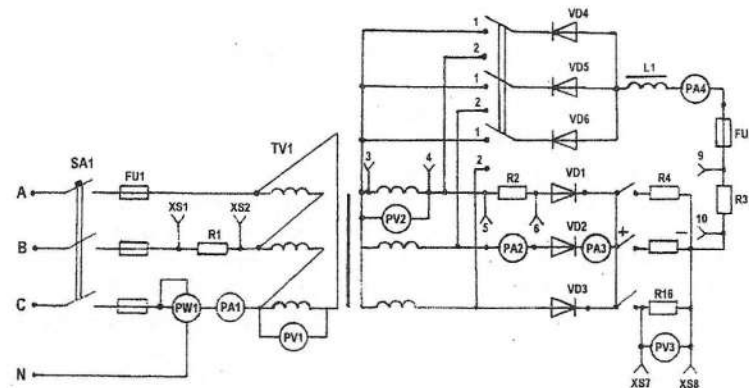


Рис. 9.1. Принципиальная электрическая схема испытания трехфазного выпрямителя.

На лицевую панель стенда вынесены контрольные гнезда XS1...XS10 для просмотра осциллограмм токов и напряжений в характерных точках выпрямителя и измерительные приборы: амперметр PA1 электромагнитной системы типа Э8021 (ток $I_H = 0...500$ mA) для измерения среднеквадратического (действующего) значения линейного тока $I_{1л}$ первичных обмоток трансформатора TV1; амперметр PA2 электромагнитной системы типа Э8021 (ток $I_H = 0...5$ A) для измерения среднеквадратического значения тока $I_{2л}$ вторичных обмоток трансформатора TV1; амперметр PA3 магнитоэлектрической системы типа М4200 (ток $I_H = 0...5$ A) для измерения среднего значения тока I_d фазы выпрямителя; амперметр PA4 магнитоэлектрической системы типа М4200 (ток $I_H = 0...10$ A) для измерения среднего значения тока I_d нагрузки выпрямителя; вольтметр PV2 выпрямительной системы типа Ц26М (напряжение $U_H = 0...30$ В) служит для измерения среднеквадратического (действующего) значения фазного напряжения $U_{2ф}$ на вторичной обмотке трансформатора TV1; вольтметр PV3 магнитоэлектрической системы М4200 (напряжение $U_H = 0...30$ В) для измерения среднего значения напряжения U_d на нагрузке выпрямителя.

Универсальный осциллограф типа С1-55 служит для исследования формы электрических сигналов путем визуального наблюдения и измерения их амплитудных и временных параметров. Диапазон частот

исследуемого сигнала находится в пределах $0 \dots 10$ МГц, допускаемая амплитуда исследуемого сигнала не должна превышать $U_H = 60$ В (при работе без выносного делителя). Длительность исследуемого сигнала – $35 \cdot 10^{-9} \dots 0,5$ с.

9.2. Порядок выполнения работы

1. Изучить электрическую принципиальную схему трехфазного выпрямителя. Записать паспортные данные стенда ЭС5, осциллографа С1-55, электроизмерительных приборов.

2. Подготовить лабораторную установку к работе. Для этого установить выключатели, переключатели, ручки объекта и средств исследования в положения, указанные преподавателем.

С разрешения преподавателя включить тумблеры «Сеть» стенда ЭС5 и осциллографа С1-55, затем подать исследуемый сигнал с помощью кабеля на вход гнезда усилителя $1M\Omega 40PF$ осциллографа. Получить и зарисовать осциллограммы токов и напряжений в характерных точках схемы (гнезда XS1...XS10 лицевой панели стенда).

3. Установить переключатель стенда SA2 в положение «Схема с нейтральным выводом» и провести исследование трехфазного выпрямителя, собранного по этой схеме. Для этого необходимо постепенно увеличивать нагрузку на выпрямитель переключателями SA3...SA16. Достаточно получить 5...6 точек, начиная с режима холостого хода выпрямителя при токе $I_d = 0$.

В табл. 9.1 следует записать значения активной мощности $P_{1\phi}$ первичной обмотки трансформатора TV1 по ваттметру PW1, линейного напряжения $U_{1л}$ первичной обмотки трансформатора TV1 по вольтметру PV1, линейного тока $I_{1л}$ первичной обмотки трансформатора по амперметру PA1 стенда, фазного напряжения $U_{1\phi}$ вторичной обмотки трансформатора TV1 по вольтметру PV2 стенда, выпрямленного напряжения U_d и тока I_d нагрузки выпрямителя по вольтметру PV3 и амперметру PA4 соответственно.

4. Установить переключатель SA2 стенда в положение «Схема Ларионова» и провести исследование трехфазного выпрямителя, собранного по схеме А.Н. Ларионова, в соответствии с методикой, изложенной в п. 3. Результаты испытаний записать в табл. 9.2.

5. Используя результаты опытов, вычислить активную мощность P_1 первичных обмоток трансформатора TV1 выпрямителя, вторичное линейное напряжение $U_{2л}$ трансформатора TV1, мощность P_d нагрузки выпрямителя и его коэффициент полезного действия η . Построить для

исследуемых схем выпрямителей внешние характеристики $U_d = f_1(I_d)$ и $\eta = f_2(I_d)$.

9.3. Подготовка к выполнению рабочего задания

1. Изучить необходимые разделы в рекомендуемой литературе [1, с. 233...235], [2, с. 208...213].

2. Записать и проанализировать паспортные данные стенда ЭС5 и осциллографа С1-55.

3. Сравнить соотношения между линейным напряжением $U_{2л}$ и током $I_{2л}$ на вторичной обмотке трансформатора и средним значением выпрямленного напряжения U_d и тока I_d на нагрузке выпрямителя (для двух схем).

9.4. Выполнение рабочего задания и обработка результатов эксперимента

1. Линейное $U_{2л}$ и фазное $U_{2\phi}$ напряжения вторичных обмоток трансформатора TV1 связаны соотношением

$$U_{2л} = \sqrt{3} \cdot U_{2\phi}. \quad (9.1)$$

2. Активная мощность P_1 первичных обмоток трансформатора TV1 вычисляется по формуле

$$P_1 = 3P_{\phi} \quad (9.2)$$

3. Мощность на нагрузке P_d трехфазного выпрямителя

$$P_d = U_d \cdot I_d. \quad (9.3)$$

4. Коэффициент полезного действия трехфазного выпрямителя

$$\eta = \frac{P_d}{P_1} \quad (9.4)$$

5. Линейное напряжение на вторичной обмотке трансформатора $U_{2л}$ и среднее значение выпрямленного напряжения U_d связаны следующими зависимостями: для схемы выпрямителя с нейтральным выводом

$$U_d = 0,67 U_{2л}, \quad (9.5)$$

для схемы мостового выпрямителя

$$U_d = 1,35 U_{2л}. \quad (9.6)$$

Линейный ток $I_{2л}$ вторичной обмотки трансформатора и выпрямленный ток I_d связаны соотношением

$$I_d = 1,22 I_{2л}. \quad (9.7)$$

6. Внешние характеристики выпрямителя $U_d = f_1(I_d)$ и $\eta = f_2(I_d)$ можно строить в одной системе координат, при этом ток I_d необходимо откладывать по оси абсцисс в соответствующем масштабе.

9.5. Контрольные вопросы

1. Как устроен и работает трехфазный выпрямитель, собранный по схеме с нейтральным выводом?
2. Как устроен и работает трехфазный выпрямитель, собранный по мостовой схеме (схема Ларионова)?
3. Объяснить внешние характеристики трехфазного выпрямителя.
4. Как выбрать параметры полупроводникового вентиля (диода) для работы в схемах трехфазного выпрямителя?
5. Какие значения имеет коэффициент пульсации для основных схем трехфазного выпрямителя?

Работа 10. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО УСИЛИТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Цель работы: 1. Изучить назначение, устройство, принцип действия, основные характеристики полупроводникового усилителя с общим эмиттером;
2. Экспериментально определить основные характеристики усилителя.

10.1. Объект и средства исследования

На рабочем месте смонтирована лабораторная установка, состоящая из стенда ЭС4А, универсального осциллографа С1-73 и милливольтметра ВЗ-33. Стенд ЭС4А представляет собой одиночный транзисторный каскад усиления, собранный по схеме с общим эмиттером. На передней панели расположены (рис. 10.1): выключатель «Сеть»

(для включения стенда); переключатель «Частота, кГц» (для плавного изменения частоты генератора в пределах каждого диапазона); ручка «Выход» (для изменения значения входного напряжения генератора); ручка входного сигнала; ручки « $R_{д1}$ »; « $R_{д2}$ »; « $R_{д}$ »; « $R_{э}$ »; « $R_{к}$ »; « $R_{с}$ »; « $R_{и}$ »; « $R_{к}$ »; « $E_{с}$ » (для регулировки соответствующих параметров в исследуемой схеме усилителя).

На панели стенда расположены также измерительные приборы: « $I_{вх}$ » (для измерения переменного тока на входе исследуемой схемы усилителя), « $I_{н}$ » (для измерения переменного тока нагрузки), « $I_{д}$ » (для измерения постоянного тока в цепи базового делителя), « $I_{б}$ » (для измерения постоянного тока базы), « $I_{э}$ » (для измерения тока в цепи эмиттера). Кнопки « α_6/χ_1 » служат для переключения пределов измерения соответствующих измерительных приборов (в нажатом положении предел измерения соответствует значению, указанному на шкале прибора).

Переключатель «В1» с положениями «С1» и «С2» служит для подачи входного сигнала на вход усилителя через соответствующую емкость, переключатель «В2» – для подключения нагрузки через один из разделительных конденсаторов «С3» или «С4», переключатель «В3» – для изменения схемы базового делителя сопротивлений $R_{д1}$ и $R_{д2}$, переключатель « $E_{к} - E_{с}$ » – для переключения источников питания и измерительного вольтметра.

Гнезда XS3...XS12 служат для измерения напряжений и просмотра осциллограмм токов и напряжений в характерных точках схемы.

Осциллограф малогабаритный универсальный С1-73 предназначен для исследования формы электрических сигналов в диапазоне частот 0...5 МГц путем визуального наблюдения и измерения их амплитуд в диапазоне от 0,02 до 120 В, а также временных интервалов сигналов от $0,2 \cdot 10^{-6}$ до 0,5 с.

Милливольтметр ВЗ-33 предназначен для измерения среднеквадратического (действующего) значения синусоидального напряжения от 0,3 мВ до 300 В в интервале частот от 10 Гц до 1 МГц. Диапазон измерений разбит на поддиапазоны: 0,33; 1; 3; 10; 30; 100; 300 мВ и 1; 3; 10; 30; 100; 300 В.

10.2. Порядок выполнения работы

1. Зарисовать принципиальную схему полупроводникового усилителя. Записать паспортные данные стенда ЭС4А и осциллографа С1-73.

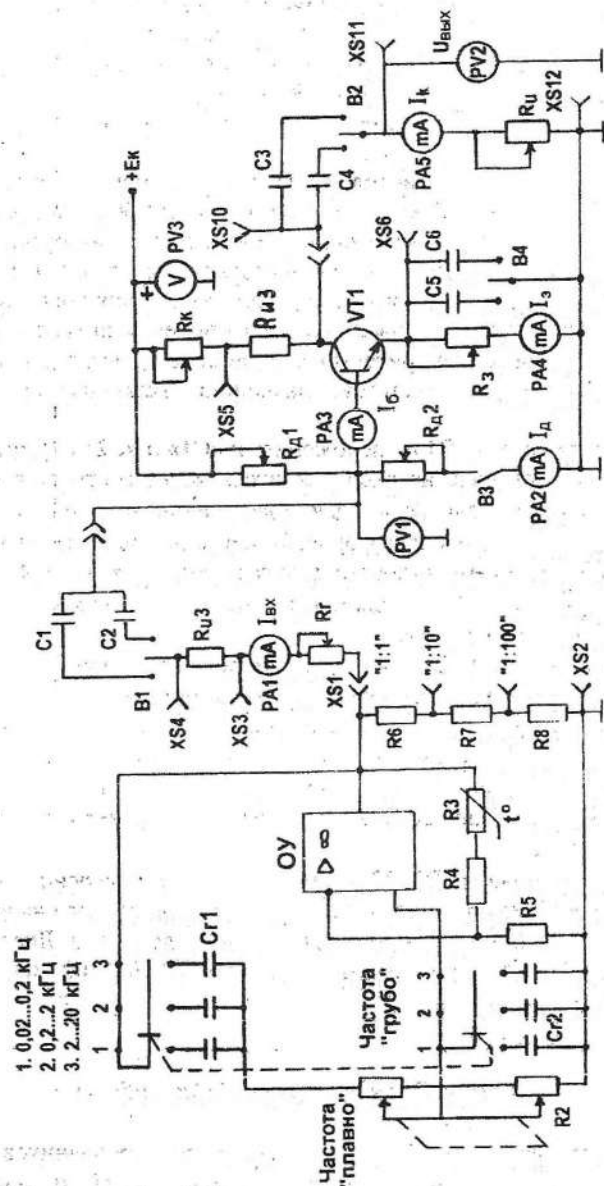


Рис. 10.1. Принципиальная электрическая схема испытания усилителя напряжения.

2. Подготовить лабораторную установку к работе. Для этого установить выключатели, переключатели и ручки стенда ЭС4А и осциллографа С1-73 в положения, указанные преподавателем. Подсоединить шнуры питания к сети переменного тока частотой 50 Гц, напряжением 220 В, а клемму заземления стенда ЭС4А соединить с общей нейтралью сети (клеммой «N»). Включить милливольтметры PV1 и PV2.

Включить тумблеры «Сеть» стенда ЭС4А и осциллографа С1-73. Установить необходимые яркость и четкость линии развертки на экране осциллографа ручками «Яркость» и «Фокус», а ручками «Вверх-вниз», и «Вправо-влево» установить линию развертки в центр экрана электронно-лучевой трубки осциллографа.

3. Подать исследуемый сигнал на гнездо 1MΩ35pF усилителя канала осциллографа с контрольных гнезд передней панели стенда ЭС4А. Просмотреть и зарисовать осциллограммы входного напряжения усилителя $U_{вх}$ (гнездо XS3) и выходного напряжения $U_{вых}$ (гнездо XS11) в функции угла ωt .

4. Установить переключатели B1 в положение «С2», B2 – в положение «С4», B3 – в положение «Откл.», рукоятки R_d – в положение «1», «Частота» – в положение «10», «Eк» – в положение «15 В», «Выход» – в положение «0», переключатель частоты генератора установить в положение «0,2 кГц». Затем необходимо снять семейство амплитудных характеристик усилителя $U_{вых,м} = f_i(U_{вх,м})$ при фиксированной частоте генератора, плавно изменяя при этом сопротивление нагрузки рукояткой «Выход» по часовой стрелке от положения «0» до положения «10». Показания измерительных приборов PV1 и PV2 следует записать в табл. 10.1.

Повторить опыт при положении переключателя частоты f генератора 2 и 20 кГц. Результаты опытов записывать в таблицу 10.1.

5. По результатам опытов определить коэффициент усиления усилителя по напряжению K_U . Построить семейство амплитудных характеристик усилителя на частотах $f_1 = 0,2$ кГц, $f_2 = 2$ кГц, $f_3 = 20$ кГц.

Используя семейство амплитудных характеристик усилителя, построить его амплитудно-частотную характеристику $K_U = f(f)$.

10.3. Подготовка к выполнению рабочего задания

1. Изучить необходимые разделы в рекомендуемой литературе [1, § 5.2...5.4], [2, с. 30...36].

2. Записать и проанализировать паспортные данные стенда ЭС4А и осциллографа С1-73, милливольтметра В3-33.

10.4. Выполнение рабочего задания и обработка результатов эксперимента

1. Амплитудные значения входного $U_{вх.м}$ и выходного $U_{вых.м}$ напряжений усилителя связаны с соответствующими среднеквадратическими (действующими) значениями $U_{вх}$ и $U_{вых}$ следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} U_{вых.м} &= \sqrt{2} \cdot U_{вых}, \\ U_{вх.м} &= \sqrt{2} \cdot U_{вх}. \end{aligned} \quad (10.1)$$

2. Коэффициент усиления по напряжению K_u усилителя с общим эмиттером

$$K_u = \frac{U_{вых.м}}{U_{вх.м}}. \quad (10.2)$$

3. Семейство амплитудных характеристик усилителя $U_{вых.м} = f_i(U_{вх.м})$ необходимо строить для трех различных частот $f = 0,2; 2; 20$ кГц в одной прямоугольной системе координат, по оси абсцисс откладывая напряжение $U_{вх.м}$, а по оси ординат – напряжение $U_{вых.м}$.

4. Амплитудно-частотную характеристику усилителя $K_u = f_i(f)$ необходимо строить для одного фиксированного значения напряжения $U_{вх.м}$, откладывая по оси абсцисс частоту $f = 0; 0,2; 2,0; 20$ кГц в логарифмическом масштабе, а по оси ординат – коэффициент усиления по напряжению K_u .

5. Сравнить амплитудную и амплитудно-частотную характеристики усилителя.

10.5. Контрольные вопросы

1. Назначение и принцип действия полупроводникового усилителя.
2. Как устроен полупроводниковый усилитель с общим эмиттером?
3. Пояснить назначение элементов в усилителе.
4. Что такое амплитудная и амплитудно-частотная характеристики усилителя, коэффициент усиления по напряжению?
5. Почему коэффициент усиления зависит от частоты усиливаемого сигнала?
6. Что такое обратная связь по току в усилителе? Как она влияет на качество усиления?

ЛИТЕРАТУРА

1. Электротехника / Под ред. проф. В.Г. Герасимова. М.: Высшая школа, 1985.
2. Борисов Ю.М. и др. Электротехника. М.: Энергоатомиздат, 1985.
3. Сборник задач по электротехнике и основам электроники / Под ред. проф. В.Г. Герасимова. М.: Высшая школа, 1987.
4. Контрольные задачи по курсу «Основы электротехники и электроники» и методические указания по их выполнению / Сост. А.И. Белов. Горки, БСХА, 1984.

СОДЕРЖАНИЕ

Работа 1. Исследование цепи постоянного тока	3
Работа 2. Исследование цепи переменного тока промышленной частоты с параллельным соединением дросселя и конденсатора	9
Работа 3. Исследование трехфазной цепи с однофазными приемниками, соединенными способом «звезда»	13
Работа 4. Измерение электрической энергии в цепях переменного однофазного и трехфазного тока	18
Работа 5. Испытание трехфазного силового трансформатора	23
Работа 6. Испытание трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором	29
Работа 7. Испытание синхронного генератора	33
Работа 8. Испытание двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением	38
Работа 9. Исследование трехфазного полупроводникового выпрямителя	42
Работа 10. Исследование полупроводникового усилителя напряжения	46
Литература	51

Учебно-методическое издание

**Белов Анатолий Иванович
Козлов Степан Иванович
Дубень Игорь Викторович**

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания к лабораторным работам
по дисциплине «Основы электротехники и электроники»

Редактор Е.Г. Бутова
Техн. редактор Н.К. Шапрунова
Корректор А. М. Павлова

Подписано в печать 14.12. 2001

Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага для множительных аппаратов.

Печать ризографическая. Гарнитура «Таймс».

Усл. печ. л. 3,02. Уч.-изд. л. 3,10.

Тираж 125 экз. Заказ 577. Цена 4080 руб.

Редакционно-издательский отдел БГСХА
213410, г. Горки Могилевской обл., ул. Студенческая, 2
Отпечатано на ризографе лаборатории множительных аппаратов
БГСХА, г. Горки, ул. Мичурина, 5