

Министерство общего и профессионального образования Ростовской области
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ
«ТАГАНРОГСКИЙ МЕХАНИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ»



Методические указания обучающимся
по выполнению практических и лабораторных работ
по дисциплине
ОП.02 Основы электротехники
09.02.01 Компьютерные системы и комплексы

Рассмотрено и одобрено
на заседании методической комиссии
общепрофессиональных дисциплин
Протокол от 02.09.2016 № 1
Председатель НКМ


К. И. Токарева

Утверждаю
Заместитель директора по учебной
работе ГБПОУ РО «ТМехК»


« 02 »  2016 г



Методические указания обучающимся по выполнению практических и лабораторных работ по учебной дисциплины ОП.02 Основы электротехники разработана на основе Федерального государственного образовательного стандарта по специальности среднего профессионального образования: 09.02.01 Компьютерные системы и комплексы, входящей в укрупнённую группу 09.00.00 Информатика и вычислительная техника, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 849, от 28.07.2014 г. зарегистрированного в Минюсте РФ 25 августа 2014 г. регистрационный № 33748

Организация-разработчик: Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение Ростовской области «Таганрогский механический колледж»

Разработчик: Д. А. Лаухин преподаватель ГБПОУ РО «ТМехК»

Рецензенты:

Преподаватель общепрофессиональных и специальных дисциплин ГБПОУ РО Таганрогского авиационного колледжа им. В.М. Петлякова Сидоренко С.А.;

преподаватель общеобразовательных дисциплин ГБПОУ РО «ТМехК» Шипшина О.В.

РЕЦЕНЗИЯ

на методические указания обучающимся по выполнению практических работ по дисциплине ОП.02 Основы электротехники 09.02.01 Компьютерные системы и комплексы.

Данная разработка содержит в себе методические указания к выполнению практических работ по ОП.02 Основы электротехники для специальности среднего профессионального образования 09.02.01 Компьютерные системы и комплексы, в которых указана методика выполнения практических работ, алгоритмы и последовательность выполнения задания и требования по оформлению отчетов по уже выполненным работам, а так же приведены основные и необходимые для выполнения заданий теоретические сведения, справочные материалы, графики, зависимости. Данные методические указания к выполнению практических работ позволят студентам более глубоко и эффективно осваивать изученный материал, закрепляя приобретённые знания и умения при выполнении курса практических работ по данной дисциплине.

Считаю применение данной разработки в учебном процессе вполне целесообразной и оправданным.

Рецензент: преподаватель Таганрогского
механического колледжа
высшей категории Шипшина О.В.



(Шипшина О.В.)

РЕЦЕНЗИЯ

на методические указания обучающимся по выполнению практических работ по дисциплине ОП.02 Основы электротехники 09.02.01 Компьютерные системы и комплексы.

Методические указания обучающимся по выполнению практических работ по дисциплине ОП.02 Основы электротехники предназначен для студентов второго курса, обучающихся по не электротехническим специальностям. Он полностью соответствует ФГОС по дисциплине Основы электротехники. Пособие охватывает основные модули первой части этой дисциплины: «Цепи постоянного тока», «Цепи гармонического тока», «Цепи трехфазного тока» и «Магнитные цепи»

В методических указаниях обучающимся по выполнению практических работ конкретизированы цели в виде конкретно решаемых задач, приведены расчетные формулы ко всем рубрикам, теоретические сведения по всем темам практических и лабораторных занятий. Все это, несомненно, будет способствовать лучшему формированию навыков лабораторных и практических исследований студентами. В результате выполнения каждой лабораторной и практической работы студенты получают необходимый объем практических навыков самостоятельной работы и работы с измерительными приборами.

Методические указания обучающимся по выполнению практических работ по дисциплине ОП.02 Основы электротехники в полной мере отражают требования к содержанию материала по дисциплине Основы электротехники, обеспечивает овладение студентами необходимым уровнем подготовки и рекомендуется для использования в учебном процессе для студентов, обучающихся по не электротехническим специальностям.

Рецензент:

Старший преподаватель Таганрогского государственного технического университета – филиала ДГТУ



Сидоренко С.А.

Пояснительная записка

В образовательном процессе по дисциплине Основы электротехники наряду с теоретическим обучением значительное место отводится лабораторным и практическим работам. Правильное сочетание теоретических знаний с практикой выполнения лабораторных и практических работ обеспечивает высокое качество подготовки специалистов.

Настоящие методические указания представляют собой руководство по выполнению лабораторных и практических работ, составленное в соответствии с программой дисциплины Основы электротехники для основной профессиональной образовательной программы специальности 09.02.01 Компьютерные системы и комплексы.

Методические указания содержат общие указания по сборке электрических схем, методике измерений и обработке результатов экспериментов. В каждом описании лабораторной работы значительное внимание уделено четкой формулировке программы лабораторной работы, порядку ее выполнения. Кроме того, описания лабораторных работ содержат контрольные вопросы, необходимые для подготовки к защите.

Методические указания предназначены для обучающихся по специальности 09.02.01 Компьютерные системы и комплексы на базе основного и полного среднего общего образования.

Общие рекомендации к выполнению практических заданий.

Порядок выполнения работ

Перед выполнением работ все студенты должны изучить правила техники безопасности применительно к лаборатории электротехники, для чего преподавателем проводится инструктаж. Краткий инструктаж проводится также на каждом занятии.

При подготовке к практической работе необходимо:

- 1) ознакомиться с ее содержанием и, пользуясь рекомендованной литературой и конспектом лекций, изучить теоретические положения, на которых базируется работа;
- 2) выполнить предварительные расчеты и построения, указанные в задании;
- 3) изучить схему лабораторной установки и продумать методику выполнения практической работы;
- 4) ответить на контрольные вопросы.

Оформление отчетов по лабораторным работам

В отчете должна быть сформулирована цель проведенной работы и представлены следующие материалы:

- 1) схемы экспериментов;
- 2) расчет заданного варианта;
- 3) рассчитанные характеристики и подтверждающие их экспериментальные характеристики, построенные в одних осях координат;
- 4) сравнительные таблицы экспериментальных и расчетных данных;
- 5) все остальные экспериментальные характеристики;
- 6) обработанные осциллограммы;
- 7) выводы (анализ экспериментальных данных, вида кривых, причин погрешностей и т.д.).

Отчет оформляется чернилами или шариковой ручкой. Схемы вычерчиваются карандашом. Отчет может быть напечатан на принтере.

Опытные точки могут иметь разброс. Экспериментальные кривые проводят плавно, максимально приближая к экспериментальным точкам. На графиках приводят название, обозначают, к какому опыту они относятся, и указывают постоянные величины, определяющие условия опыта. На осях координат надо обязательно указать, какая величина по ним отложена, в каких единицах она измеряется, и нанести деления. Цена деления должна быть удобной для работы.

Тематический план
учебной дисциплины ОП 02. Основы электротехники

№П/П	Виды работ	Название темы работ	Кол-во часов
1	Практическая работа 1	Расчет электрических цепей при последовательном, параллельном и смешанном соединении конденсаторов.	2
2	Лабораторная работа 1	Проверка свойств электрической цепи с последовательным и параллельным соединением резисторов.	2
3	Практическая работа 2	Расчет эквивалентных параметров соединений элементов (R, L, C).	2
4	Практическая работа 3	Определение потери напряжения в проводах и КПД линии электропередачи.	2
5	Практическая работа 4	Исследование гистерезиса ферромагнетиков.	2
6	Практическая работа 5	Расчет магнитной цепи.	2
7	Практическая работа 6	Исследование цепи переменного тока с последовательным соединением резистора, катушки индуктивности и конденсатора.	2
8	Лабораторная работа 2	Исследование цепи переменного тока с параллельным соединением катушки индуктивности и конденсатора.	2
9	Практическая работа 7	Исследование трехфазной цепи при соединении приемников энергии «звездой».	2
10	Практическая работа 8	Исследование трехфазной цепи при соединении приемников энергии «треугольником».	2
11	Практическая работа 9	Расчет параметров трёхфазной цепи при трансформации её из соединения «звезда» в соединение «треугольник».	2
12	Лабораторная работа 2	Испытание однофазного трансформатора.	2
13	Практическая работа 10	Расчет технических параметров трансформатора.	2
14	Практическая работа 11	Расчет технических параметров автотрансформатора.	2
15	Лабораторная работа 3	Измерение различных электрических параметров прямыми и косвенными методами.	2
16	Лабораторная работа 4	Расширение пределов измерения вольтметра и амперметра.	2
17	Практическая работа 12	Практический расчёт параметров шунтов и добавочных сопротивлений.	2
18	Практическая работа 13	Исследование устройства, конструкции и принципа действия двигателей постоянного тока.	2
19	Практическая работа 14	Исследование устройства, конструкции и принципа действия генераторов постоянного тока.	2
20	Практическая работа 15	Исследование выходных характеристик	2

		коллекторов МПТ.	
21	Практическая работа 16	Исследование устройства, конструкции и принципа действия асинхронных двигателей.	2
22	Практическая работа 17	Исследование специфики применения в АМПТ фазных и короткозамкнутых роторов.	2
23	Практическая работа 18	Исследование рабочих характеристик синхронного генератора переменного тока.	2
24	Практическая работа 19	Исследование устройства, конструкции и принципа действия синхронных генераторов переменного тока.	2
25	Практическая работа 20	Исследование специфики применения в СМПТ явно- и неявно- полюсных роторов.	2
26	Практическая работа 21	Проектирование фильтров на базе LC-элементов.	2
27	Практическая работа 22	Проектирование фильтров на базе RC-элементов.	2
28	Практическая работа 23	Экспериментальный расчет потерь электрической энергии заданной цепи.	2
29	Практическая работа 24	Расчёт и выбор электрической проводки.	2
30	Практическая работа 25	Расчет проводки для СВТ	2
31	Практическая работа 26	Выбор двигателя электропривода.	2
32	Практическая работа 27	Алгоритм выбора электропривода.	2
Итого:			64

Тема:Расчет электрических цепей при последовательном, параллельном и смешанном соединении конденсаторов.

Цель работы:Научиться определять эквивалентную электрическую емкость при различных способах соединения конденсаторов.

Методическое обеспечение

- 1.Гальперин М. В. Электротехника и электроника. Учебник.- М.: "Профессиональное образование" – 2012г. 408стр.;
- 2.Методические указания по выполнению практических работ.

Условия и исходные данные

1. Изучить свойства конденсаторов.
2. Выполнить расчеты различных соединений конденсаторов.
3. Сопоставить расчетные данные с практическим результатом.
4. Проанализировать выполненную работу.

Методические указания

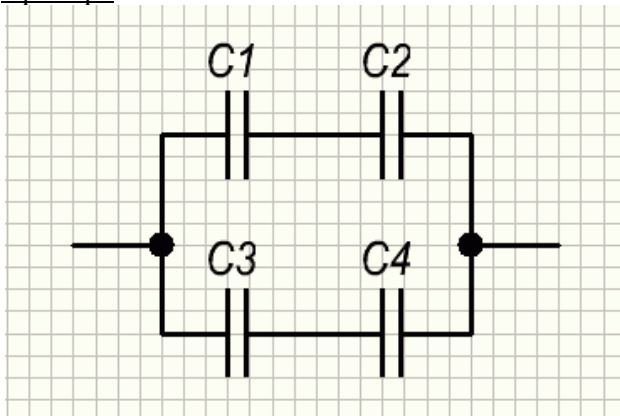
1. Ознакомиться с теоретическими данными.

Смешанным соединением конденсаторов называется такое соединение их, при котором имеется и параллельное и последовательное соединение

При смешанном соединении конденсаторов для участков с параллельным соединением применяются свойства параллельного соединения конденсаторов, а для участков с последовательным соединением - все свойства последовательного соединения конденсаторов.

Всякое смешанное соединение конденсаторов путем упрощений может быть сведено либо к параллельному соединению, либо к последовательному.

Пример1



Эквивалентная емкость верхней ветви

$$C_{1,2} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

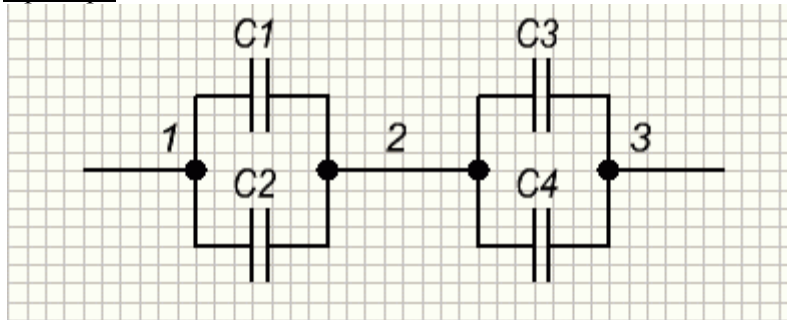
Эквивалентная емкость нижней цепи

$$C_{3,4} = \frac{C_3 \cdot C_4}{C_3 + C_4}$$

Теперь это смешанное соединение конденсаторов может быть приведено к параллельному соединению. Эквивалентная емкость всей батареи конденсаторов

$$C = C_{1,2} + C_{3,4} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} + \frac{C_3 \cdot C_4}{C_3 + C_4}$$

Пример2



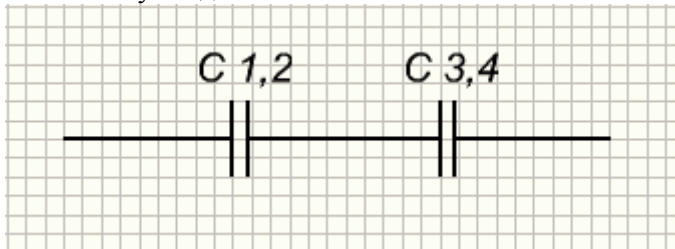
Эквивалентная емкость между точками 1 и 2:

$$C_{1,2} = C_1 + C_2$$

Эквивалентная емкость между точками 2 и 3

$$C_{3,4} = C_3 + C_4$$

Теперь это смешанное соединение конденсаторов может быть приведено к последовательному соединению



Эквивалентная емкость батареи конденсаторов

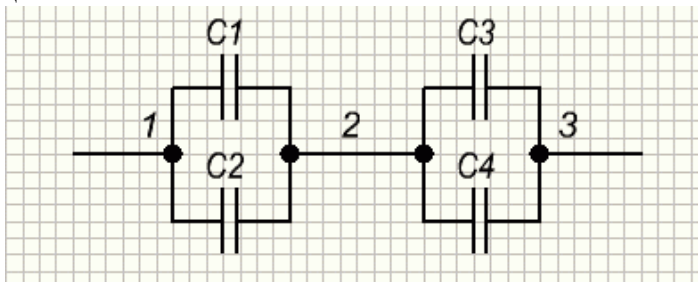
$$C = \frac{C_{1,2} \cdot C_{3,4}}{C_{1,2} + C_{3,4}}$$

2. Расчет эквивалентной емкости электрических цепей 1 и 2 с использованием исходных данных номиналов конденсаторов (таблица 1.)

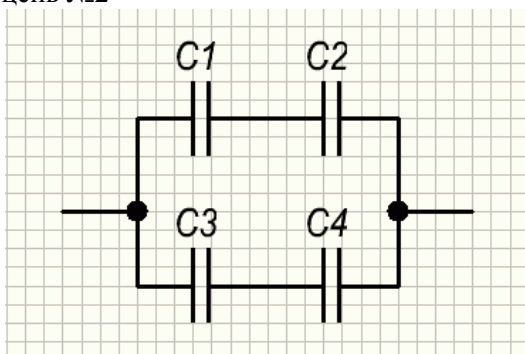
Таблица 1. Номинальные значения ёмкости конденсаторов.

	Емкость конденсаторов (мкФ)			
	1 вариант	2 вариант	3 вариант	4 вариант
C1	100	200	150	400
C2	200	100	400	50
C3	150	150	50	50
C4	400	50	200	100

цепь №1



цепь №2



3. Собрать цепь 1 и цепь 2 из конденсаторов соответствующих номиналов и с помощью Мультиметра измерить их ёмкости.
4. Сравнить полученные результаты и сделать соответствующие выводы.

Контрольные вопросы.

1. Опишите устройство и принцип действия простейшего конденсатора.
2. Как определяется эквивалентная емкость конденсаторов, соединенных последовательно и параллельно?
3. Как необходимо соединять конденсаторы, чтобы получить большую емкость?
4. Приведите классификацию конденсаторов.

Критерии оценивания.

Отметка «5»: работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности действий:

- проводит работу в условиях, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов;
- правильно рассчитывает эквивалентную емкость нескольких конденсаторов, соединенных смешанным способом;
- соблюдает правила техники безопасности;
- в ответе правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления;
- правильно выполняет анализ ошибок.

Отметка «4»: работа выполнена правильно с учетом 1-2 мелких погрешностей или 2-3 недочетов, исправленных самостоятельно по требованию учителя.

Отметка «3»: работа выполнена правильно не менее чем наполовину, допущены 1-2 погрешности или одна грубая ошибка.

Отметка «2»: допущены две (и более) грубые ошибки в ходе работы, которые учащийся не может исправить даже по требованию учителя.

Лабораторная работа №1

Тема: Проверка свойств электрической цепи с последовательным и параллельным соединением резисторов.

Цель работы: Научиться определять эквивалентное сопротивление резисторов при различных способах их соединения.

Методическое обеспечение

1. Гальперин М. В. Электротехника и электроника. Учебник.- М.: "Профессиональное образование" – 2012г. 408стр.;
2. Методические указания по выполнению практических работ.

Условия и исходные данные

1. Изучить свойства резисторов.
2. Выполнить расчеты различных соединений резисторов.
3. Сопоставить расчетные данные с практическим результатом.
4. Проанализировать выполненную работу.

Методические указания

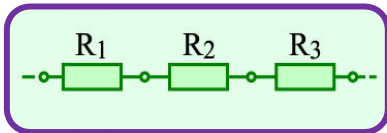
1. Ознакомиться с теоретическими сведениями.

Резистор-это пассивный элемент электрической цепи (англ. resistor, от лат. resisto — сопротивляюсь), структурный элемент электрической цепи (в виде законченного изделия), основное функциональное назначение которого оказывать известное (номинальное) сопротивление электрическому току с целью регулирования тока и напряжения в цепи. Например, для ограничения тока на другие рабочие элементы цепей, которые высокий ток может вывести из строя.

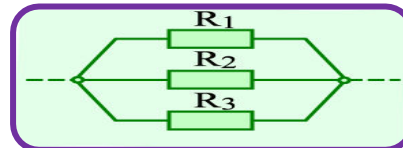
Основным параметром резистора является его сопротивление, измеряемая в омах. Сопротивление резистора маркируется на его корпусе в основном в виде четырех или пяти цветных полосок, так же у любого резистора имеется погрешность 5-10%, которая так же маркируется на корпусе. Другим, не менее важным параметром резистора является его мощность, которая варьируется от 0,125Вт до 20 и более Вт. Резисторы по мощности отличаются ценой и габаритами, чем больше мощность, больше и дороже резистор. Так же резисторы ограничены по их рабочему напряжению, бывают низковольтные и специальные высоковольтные. Так же любой резистор обладает побочной емкостью и индуктивностью, которые могут сказаться на работе высокочастотных аппаратов, для таких целей выпускаются специальные резисторы. Конечно, существуют резисторы мощностью намного более 20Вт, но они в бытовой аппаратуре и вычислительной технике не применяются. Помимо классических резисторов существуют и SMD резисторы - «Резисторы» нулевого сопротивления (перемычки на плате), а так же фоторезисторы, сопротивление которых изменяется в зависимости от освещения его светочувствительного слоя.

Резисторы могут обладать переменным сопротивлением (потенциометры, переменные резисторы), изменяющимся с помощью подвижного контакта.

В зависимости от способа включения в электрические цепи резисторы одного и того же номинала могут выдавать не одинаковое эквивалентное сопротивление, что обусловлено 1 и 2 законами Кирхгофа. При последовательном соединении эквивалентное сопротивление резисторов определяется как сумма всех входящих с данное соединение резисторов, а при параллельном соединении резисторов эквивалентное сопротивление складывается из суммы значений, обратно пропорциональных значениям сопротивлений, входящих в это соединение (сумме проводимостей).



$$R = R_1 + R_2 + R_3$$



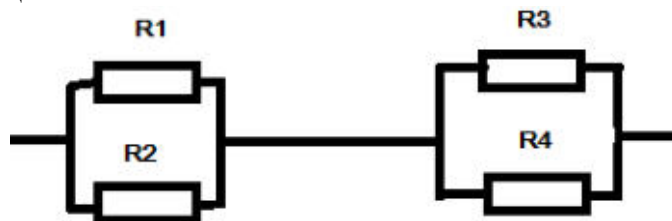
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

2. Расчет эквивалентного сопротивления электрических цепей 1 и 2 с использованием исходных данных номиналов резисторов(таблица 1.)

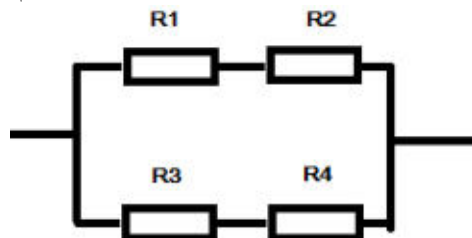
Таблица 1. Номинальные значения ёмкости конденсаторов.

	Сопротивление резистора (КОм)			
	1 вариант	2 вариант	3 вариант	4 вариант
R1	1	4	10	40
R2	2	10	23	5
R3	4	15	50	5
R4	10	230	4	10

цепь №1



цепь №2



3. Собрать цепь 1 и цепь 2 из резисторов соответствующих номиналов и с помощью Мультиметра измерить сопротивление цепи.

4. Сравнить полученные результаты и сделать соответствующие выводы.

Контрольные вопросы.

1. Расскажите устройство и принцип действия основных типов резисторов.
2. Приведите классификацию резисторов.
3. Расскажите 1 и 2 Законы Кирхгофа.
4. Расскажите закон Ома для участка цепи и полной цепи.

Критерии оценивания:

Отметка «5»: работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности действий:

- проводит работу в условиях, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов;
- практически умеет применять свойства электрических цепей при смешанном способе соединения элементов в них;
- соблюдает правила техники безопасности;

- в ответе правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления;
- правильно выполняет анализ ошибок.

Отметка «4»: работа выполнена правильно с учетом 1-2 мелких погрешностей или 2-3 недочетов, исправленных самостоятельно по требованию учителя.

Отметка «3»: работа выполнена правильно не менее чем наполовину, допущены 1-2 погрешности или одна грубая ошибка.

Отметка «2»: допущены две (и более) грубые ошибки в ходе работы, которые учащийся не может исправить даже по требованию учителя.

Практическая работа №2

Тема: Расчет эквивалентных параметров соединений элементов (R, L, C).

Цель работы: Научиться рассчитывать эквивалентные параметры RLC – цепей.

Методическое обеспечение

1. Гальперин М. В. Электротехника и электроника. Учебник.- М.: "Профессиональное образование" – 2012г. 408стр.;
2. Методические указания по выполнению практических работ.

Условия и исходные данные

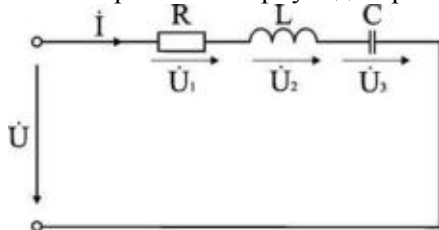
1. Ознакомиться со свойствами и параметрами RLC – цепей.
2. Выполнить расчет заданной цепи.
3. Сопоставить расчетные данные с практическим результатом.
4. Проанализировать выполненную работу.

Методические указания

1. Рассмотреть пример решения RLC – цепи.

Электрическая цепь, показанная на рис., питается от источника синусоидального тока с частотой 200 Гц и напряжением 120 В. Дано: $R = 4 \text{ Ом}$, $L = 6,37 \text{ мГн}$, $C = 159 \text{ мкФ}$.

Вычислить ток в цепи, напряжения на всех участках, активную, реактивную, и полную мощности. Построить векторную диаграмму, треугольники сопротивлений и мощностей.



1. Вычисление сопротивлений участков и всей цепи

Индуктивное реактивное сопротивление

$$X_L = 2\pi f L = 2 \times 3,14 \times 200 \times 6,37 \cdot 10^{-3} \text{ Ом.}$$

Емкостное реактивное сопротивление

$$X_C = 1 / (2\pi f C) = 1 / (2 \times 3,14 \times 200 \times 159 \cdot 10^{-6}) \text{ Ом.}$$

Реактивное и полное сопротивления всей цепи:

$$X = X_L - X_C = 3 \text{ Ом}; \quad Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5 \text{ Ом.}$$

2. Вычисление тока и напряжений на участках цепи

Ток в цепи

$$I = U / Z = 120 / 5 \text{ А.}$$

Напряжения на участках:

$$U_1 = RI = 96 \text{ В}; \quad U_2 = X_L I = 192 \text{ В}; \quad U_3 = X_C I = 120 \text{ В.}$$

3. Вычисление мощностей

Активная мощность

$$P = R I^2 = U_1 I = 2304 \text{ Вт.}$$

Реактивные мощности:

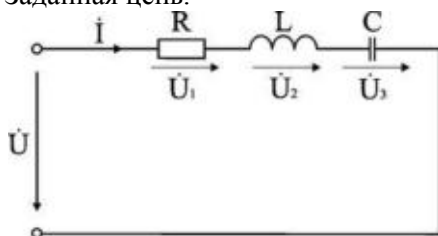
$$Q_L = X_L I^2 = U_2 I = 4608 \text{ ВАр}; \quad Q_C = X_C I^2 = U_3 I = 2880 \text{ ВАр.}$$

Полная мощность цепи

$$S = UI = \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2} = 2880 \text{ ВА.}$$

2. Расчет RLC – цепи, которая питается от источника синусоидального тока с частотой 50 Гц и напряжением 220 В, используя исходные данные(таблица 1.)

Заданная цепь.



	1 вариант	2 вариант	3 вариант	4 вариант
R, Ом	4	2	8	1
L, мГн	5,44	6,73	4,56	7,12
C, мкФ	150	132	98	46

3. Проанализировать полученные результаты и сделать соответствующие выводы.

Контрольные вопросы.

1. Какими параметрами характеризуются синусоидальный ток или напряжение?
2. Каково соотношение между амплитудным и действующим значениями величин, изменяющихся во времени по синусоидальному закону?
3. С какими физическими процессами связаны понятия активного сопротивления, активной мощности? Построить векторную диаграмму напряжения и тока для участка цепи.
4. С какими физическими процессами связаны понятия реактивного сопротивления, реактивной мощности? Как величина индуктивного и емкостного реактивных сопротивлений зависит от частоты питающего напряжения?
5. Построить векторные диаграммы для участков цепи с идеальной индуктивностью и идеальной емкостью.
6. Как определяют активное, реактивное и полное сопротивления цепи, содержащей несколько последовательно включенных элементов?
7. Привести формулы для расчета активной, реактивной и полной мощностей цепи.

Критерии оценивания:

Отметка «5»: работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности действий:

- проводит работу в условиях, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов;
- правильно рассчитывает эквивалентные сопротивления, индуктивность и емкость в цепях, соединенных смешанным способом;
- соблюдает правила техники безопасности;
- в ответе правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления;
- правильно выполняет анализ ошибок.

Отметка «4»: работа выполнена правильно с учетом 1-2 мелких погрешностей или 2-3 недочетов, исправленных самостоятельно по требованию учителя.

Отметка «3»: работа выполнена правильно не менее чем наполовину, допущены 1-2 погрешности или одна грубая ошибка.

Отметка «2»: допущены две (и более) грубые ошибки в ходе работы, которые учащийся не может исправить даже по требованию учителя.

Практическая работа №3.

Тема: Определение потери напряжения в проводах и КПД линии электропередачи.

Цель работы: Научиться определять потери напряжения в линиях электропередачи и осуществлять выбор провода линии.

Методическое обеспечение

1. Гальперин М. В. Электротехника и электроника. Учебник.- М.: "Профессиональное образование" – 2012г. 408стр.;
2. Методические указания по выполнению практических работ.

Условия и исходные данные

1. Ознакомиться с расчетом потерь напряжения в ЛЭП, КПД ЛЭП, а так же методикой выбора провода для реализации ЛЭП.
2. Выполнить расчет провода для ЛЭП исходя из условий потерь напряжения.
3. Проанализировать выполненную работу.

Методические указания

1. Ознакомится с методикой расчета потерь напряжения и выбора провода ЛЭП. Методика выполнения расчета.

1. Определение токовой нагрузки провода (расчетного тока линии):

$$I = \frac{P}{U}$$

, после чего по таблице допустимых длительных токовых (см. приложение 1) нагрузок выполняется предварительный выбор провода (сечение провода, тип изоляции).

2. Проверка выбранного провода по потере напряжения:

$$\Delta U \% = \frac{200Pl}{jSU^2}$$

, где j удельная проводимость материала, из которого изготовлен провод (см. приложение 2).

Если потери составляют более 2,5,% то необходимо выбрать провод другого сечения, большего чем выбранный ранее.

3. Выбор сечения провода исходя из допустимых потерь напряжения в 2,5%:

$$S = \frac{200Pl}{j\Delta U \% U^2}$$

, после чего осуществляется выбор провода со стандартным сечением, наиболее близким к рассчитанному.

2. Расчет и выбор провода для ЛЭП, согласно исходных данных и справочных материалов:

Рассчитать электрическую линию постоянного тока, питающую нагрузку мощностью 2 КВт, длиной 70 метров при номинальном напряжении 110 В. Выбрать провод, необходимый для данной линии с алюминиевыми и медными жилами при допустимых потерях напряжения 2,5%.

Контрольные вопросы

1. Расскажите 1 и 2 законы Кирхгофа.
2. Какие максимальные потери допускаются в ЛЭП постоянного и переменного тока.
3. Какой из проводников чаще всего применяется для реализации ЛЭП?, почему?
4. Приведите экономическое обоснование применения проводов с медными и алюминиевыми жилами.

Допустимые длительные токовые нагрузки на провода, шнуры и кабели с резиновой или пластмассовой изоляцией

1. Провода и шнуры с резиновой и полихлорвиниловой изоляцией с медными жилами.

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Токовые нагрузки, А					
	Провода, проложенные открыто	Провода, проложенные в одной трубе				
		два одно-жильных	три одно-жильных	четыре одно-жильных	одни двух-жильный	одни трех-жильный
0,5	11	—	—	—	—	—
0,75	15	—	—	—	—	—
1	17	16	15	14	15	14
1,5	23	19	17	16	18	15
2,5	30	27	25	25	25	21
4	41	38	35	30	32	27
6	50	46	42	40	40	34
10	80	70	60	50	55	50
16	100	85	80	75	80	70
25	140	115	100	90	100	85
35	170	135	125	115	125	100
50	215	185	170	150	160	135
70	270	225	210	185	195	175
95	330	275	255	225	245	215
120	385	315	290	260	295	250
150	440	360	330	—	—	—
185	512	—	—	—	—	—
240	605	—	—	—	—	—
300	695	—	—	—	—	—
400	830	—	—	—	—	—

2. Провода с резиновой и полихлорвиниловой изоляцией с алюминиевыми жилами.

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Токовые нагрузки, А					
	Провода, проложенные открыто	Провода, проложенные в одной трубе				
		два одно-жильных	три одно-жильных	четыре одно-жильных	одни двух-жильный	одни трех-жильный
2,5	24	20	19	19	19	16
4	32	28	28	23	25	21
6	39	36	32	30	31	26
10	60	50	47	39	42	38
16	75	60	60	55	60	55
25	105	85	80	70	75	65
50 ^а	165	140	130	120	125	105
70	210	175	165	140	150	135
95	255	215	200	175	190	165
120	295	245	220	200	230	190
150	340	245	255	—	—	—
185	390	—	—	—	—	—
240	465	—	—	—	—	—
300	535	—	—	—	—	—
400	645	—	—	—	—	—

3. Провода с медными жилами, резиновой изоляцией в металлических защитных оболочках и кабели с медными жилами, резиновой изоляцией в свинцовой, полихлорвиниловой, резиновой оболочках, бронированные и небронированные.

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Токовые нагрузки, А				
	Провода и кабели				
	одножильные	двухжильные		трехжильные	
	При прокладке				
	в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
1,5	23	19	33	19	27
2,5	30	27	44	25	38
4	41	38	55	35	49
6	50	50	70	42	60
10	80	70	105	55	90
16	100	90	135	75	115
25	140	115	175	95	150
35	170	140	210	120	180
50	215	175	265	154	225 ^б
70	270	115	320	180	275
120	385	300	445	260	385
150	440	350	505	305	435
185	510	405	570	350	500
240	605	—	—	—	—

4. Кабели с алюминиевыми жилами, резиновой или пластмассовой изоляцией в свинцовой, полихлорвиниловой и резиновой оболочках, бронированные и небронированные.

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Токовые нагрузки, А				
	Провода и кабели				
	одножильные	двухжильные	трехжильные		
	При прокладке				
	в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
2,5	23	21	34	19	29
4	31	29	42	27	38
6	38	38	55	32	46
10	60	55	80	42	70
16	75	70	105	60	90
25	105	90	135	75	115
35	130	105	160	90	140
50	165	135	205	110	175
95	250	200	295	170	255
120	295	230	390	200	295
150	340	270	390	235	335
185	390	310	440	270	385
240	465	—	—	—	—

Свойства проводниковых материалов при температуре 20 °С

Материал	Удельное сопротивление, ρ, Ом·мм ² /м	Удельная проводимость, γ, М/Ом·мм ²	Среднее значение температурного коэффициента сопротивления, α, град ⁻¹
Серебро	0,0165	60,6	0,004
Медь	0,0175	57,2	0,0175
Золото	0,023	43,5	0,004
Алюминий	0,028-0,029	35,7-34,0	0,004
Вольфрам	0,055	18,2	0,005
Молибден	0,058	17,3	0,0045
Цинк	0,061	16,4	0,0037
Никель	0,08	12,5	0,005
Железо	0,1	10	0,0065
Платина	0,117	8,5	0,0037
Олово	0,12	8,3	0,0045
Свинец	0,21	4,8	0,004
Манган	0,48	2,1	0,00001
Константан	0,5	2	0,00005
Нихром	1	1	0,00017

Критерии оценивания.

Отметка «5»: работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности действий:

- проводит работу в условиях, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов;
- умеет корректно рассчитывать основные параметры электрических цепей;
- умеет осуществлять выпор провода для ЛЭП.
- соблюдает правила техники безопасности;
- в ответе правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления;
- правильно выполняет анализ ошибок.

Отметка «4»: работа выполнена правильно с учетом 1-2 мелких погрешностей или 2-3 недочетов, исправленных самостоятельно по требованию учителя.

Отметка «3»: работа выполнена правильно не менее чем наполовину, допущены 1-2 погрешности или одна грубая ошибка.

Отметка «2»: допущены две (и более) грубые ошибки в ходе работы, которые учащийся не может исправить даже по требованию учителя.

Практическая работа №4.

Тема: Исследование гистерезиса ферромагнетиков.

Цель работы: практическое изучение магнитных характеристик ферромагнетиков в переменных полях и приобретении экспериментальных навыков исследования процесса намагничивания ферромагнетиков с помощью электронного осциллографа и статическим методом (методом Столетова).

Методическое обеспечение

1. Гальперин М. В. Электротехника и электроника. Учебник.- М.: "Профессиональное образование" – 2012г. 408стр.;
2. Методические указания по выполнению практических работ.

Условия и исходные данные

1. Ознакомиться с методическими указаниями по выполнению работы.
2. Выполнить исследование гистерезиса ферромагнитного сердечникатрансформатора.
3. Проанализировать выполненную работы и сделать соответствующие выводы.

Методические указания

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

Согласно современной физической теории, атомы обладают магнитными свойствами, являясь как бы элементарными магнитами. Количественно магнитные свойства таких элементарных магнитов (а также и больших тел) оцениваются по тому механическому моменту M , который на них действует при нахождении их во внешнем магнитном поле, при этом

$$\vec{M} = [\vec{p} \times \vec{B}] = \mu_0 [\vec{p} \times \vec{H}], \quad (1)$$

где \vec{p} – магнитный момент элементарного магнита;

\vec{B} – вектор магнитной индукции;

μ_0 – магнитная постоянная;

\vec{H} – напряженность внешнего магнитного поля.

В веществе ориентировка векторов магнитных моментов элементарных магнитов беспорядочна. Поэтому, если взять единицу объема и вычислить для нее сумму всех векторов, т.е. суммарный магнитный момент единицы объема

$$\vec{I} = \sum \vec{p}, \quad (2)$$

то эта величина чаще всего оказывается равной нулю.

Если же поместить тело во внешнее магнитное поле, последнее наводит «некоторый порядок» в расположение элементарных магнитов и делает величину I отличной от нуля, т.е. намагничивает тело.

В связи со сказанным, принято характеризовать магнитные свойства тел, а также их намагничивание во внешнем поле по суммарному магнитному моменту (2) единицы объема вещества, называемому *вектором намагниченности* \vec{I} .

Вектор намагниченности пропорционален величине напряженности внешнего магнитного поля H :

$$\vec{I} = \chi \vec{H}. \quad (3)$$

Коэффициент пропорциональности χ называется *магнитной восприимчивостью*. Вещества, для которых магнитная восприимчивость отрицательна ($\chi < 0$), называются

диамагнетиками (инертные газы, многие органические соединения, некоторые металлы). Для диамагнетиков восприимчивость, как правило, очень мала ($\sim 10^{-6}$).

Вещества с положительной восприимчивостью ($\chi > 0$) называются *парамагнетиками*. Для них магнитная восприимчивость $\chi \sim 10^{-3} \div 10^{-6}$.

Магнитное поле в веществе складывается из внешнего магнитного поля $\vec{B}_0 = \mu_0 \vec{H}$ и магнитного поля, создаваемого веществом вследствие его намагничивания \vec{B}' . Векторную сумму этих величин и называют магнитной индукцией:

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}' \quad (4)$$

Для однородного намагниченного стержня бесконечной длины

$$\vec{B}' = \mu_0 \vec{I} = \mu_0 \chi \vec{H}$$

тогда
$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{I} \quad (5)$$

или
$$\vec{B} = \mu_0 (1 + \chi) \vec{H} \quad (6)$$

где величина $\mu = 1 + \chi$ называется *магнитной проницаемостью*.

В диамагнетиках $\mu < 1$, а в парамагнетиках $\mu > 1$.

Наряду с диа- и парамагнетиками, у которых μ мало отличается от 1, существует целый ряд веществ (железо, никель, кобальт, гадолиний, их соединения и сплавы), обладающих значительной магнитной проницаемостью ($\mu \gg 1$). Такие вещества называются *ферромагнетиками*.

Соотношение (3) для ферромагнетиков имеет место только при определенных условиях. У них связь между намагничиванием и внешним полем более сложная – нелинейная и неоднозначная. Эта связь графически изображается так называемой кривой намагничивания (рис. 1).

Магнитная проницаемость μ ферромагнетиков зависит от напряженности создаваемого в нем магнитного поля. Магнитные свойства ферромагнетиков связаны с тем, что последние состоят из большого количества макроскопических областей (доменов), каждая из которых самопроизвольно намагничена до насыщения. В ненамагниченном веществе магнитные моменты отдельных доменов компенсируют друг друга, и общий магнитный момент образца равен нулю. Внешнее магнитное поле в ферромагнетиках переориентирует магнитные моменты доменов, вследствие чего появляется результирующее намагничивание, отличное от нуля.

При намагничивании ферромагнитных тел конечных размеров их поверхности приобретают сильные магнитные свойства. Магнитное поле, которое создается поверхностью тела, действует на внутренние элементарные магниты размагничивающим образом, т.е. ориентирует против внешнего поля. Напряженность этого размагничивающего поля пропорциональна вектору намагничивания и определяется как

$$\vec{H}_{\square} = -\beta \cdot \vec{I} \quad (7)$$

где β – размагничивающий фактор, величина которого зависит от формы образца и от его размеров.

Вследствие этого, в отличие от (5), выражение для суммарного поля внутри ферромагнетиков имеет вид

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{I} + \beta \mu_0 \vec{I} \quad (8)$$

Истинная напряженность магнитного поля в магнетике (образце) будет равна

$$H_i = H - \beta I \quad (9)$$

Таким образом, для ферромагнитных тел конечных размеров, в отличие от выражения (6), между индукцией и напряженностью истинного поля существует следующая связь:

$$\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}_i, \quad (10)$$

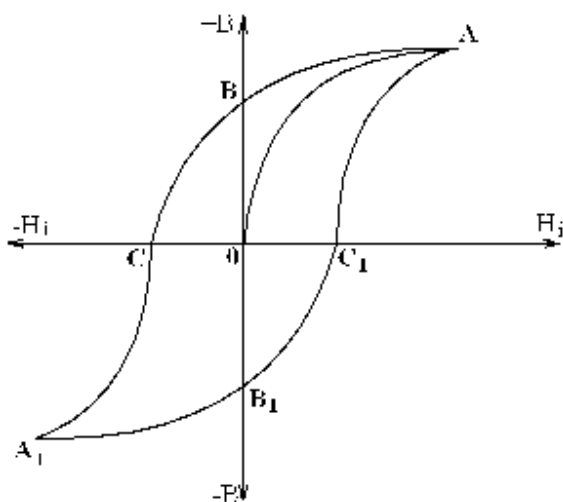
где μ – магнитная проницаемость вещества не является постоянной величиной.

Кривая, выражающая зависимость намагниченности I от напряженности истинного поля H_i , называется кривой намагничивания вещества, а кривая, выражающая зависимость магнитной индукции B от H_i – кривой индукции поля в веществе.

Если поместить размагниченный ферромагнитный образец в соленоид и создать в нем магнитное поле, увеличивая напряженность от нуля до некоторого значения H , то изменение магнитной индукции B представится кривой ОА, называемой *начальной кривой намагничивания* (рис. 1). Впервые эту способность ферромагнитных тел установил в 1872 г. русский физик А.Г. Столетов.

Рис. 1

Начиная с некоторого значения $H=H_s$, дальнейшее увеличение поля не дает увеличения индукции



B , что соответствует горизонтальному участку на графике. Это явление носит название *магнитного насыщения*. Такой характер зависимости $B(H)$ можно объяснить тем, что первоначально под действием возрастающего намагничивающего поля увеличивается степень ориентации магнитных моментов вдоль направления поля, процесс ориентации замедляется по мере того, как все меньше и меньше

остается неориентированных моментов. Когда же все магнитные моменты ориентируются по полю, дальнейшее увеличение B прекращается, т.е. проявляется явление насыщения.

При уменьшении напряженности поля H до нуля магнитная индукция изменяется по кривой АВ, которая не совпадает с кривой ОА. Отрезку ОВ соответствует некоторая остаточная индукция. Чтобы свести эту индукцию к нулю, потребуется приложить поле обратного направления. Напряженность поля ОС, при которой индукция обратится в нуль, называется *коэрцитивной силой*. При изменении поля до $-H_s$ изменение индукции представляется кривой ВСА₁, при изменении поля от $-H$ до нуля – кривой А₁В₁, симметричной по отношению к АВ, и при завершении цикла, т.е. при увеличении поля от нуля до $+H_s$, – кривой В₁С₁А. Вся кривая АВСА₁В₁С₁А носит название *петли гистерезиса*.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Принципиальная электрическая схема установки представлена на рис. 2. Вся установка смонтирована на вертикальной панели лабораторного стенда и включает в себя следующие узлы: осциллограф С1-83; соленоид L_1 , имеющий длину $l=100$ мм, с числом витков N ; силовой трансформатор Тр1 с двумя обмотками, изготовленный на тороидальном сердечнике. На трансформаторе одна обмотка – сетевая многослойная, занимающая часть кольца, другая – однослойная, по которой может скользить угольный токосъемник СК, позволяющий снять напряжение от 0 до 30 В.

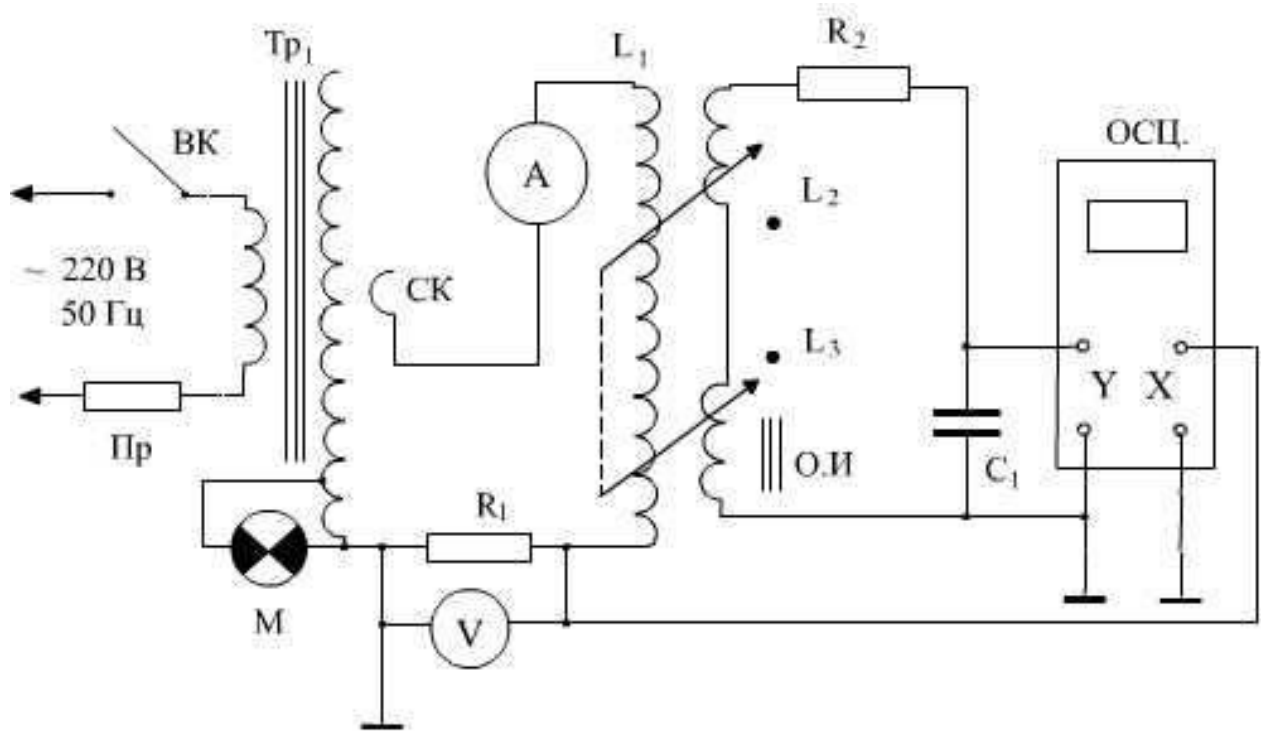


Рис. 2

Это напряжение прикладывается к катушке L_1 соленоида. Внутри соленоида во всю его длину помещена изоляционная трубка, на которой намотаны две одинаковые (по числу витков) соединенные катушки L_2 и L_3 . В одну из катушек (L_3) может помещаться ферромагнитный образец. В отсутствие образца суммарная ЭДС, наводимая в катушках, равна нулю благодаря тому, что они включены навстречу друг другу. При помещении образца в L_3 в катушках возникает результирующая ЭДС, пропорциональная намагниченности образца. В цепь питания катушки L_1 включен резистор $R_1=1$ Ом, напряжение с которого подается на вход «X» осциллографа. Это напряжение пропорционально напряженности магнитного поля H в соленоиде, контролируется вольтметром переменного тока V . Концы индукторных катушек L_2 и L_3 , на которых возникает ЭДС индукции, подключаются через интегрирующую цепь R_2C_1 к входу «Y» осциллографа.

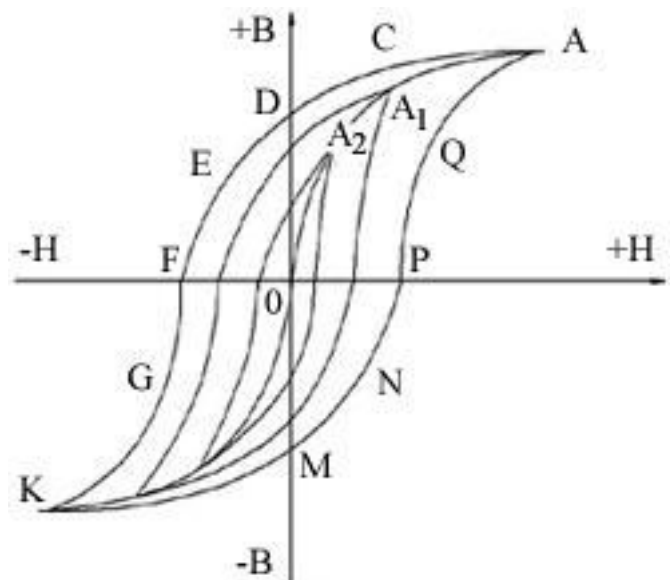
Числовые данные схемы таковы: $N_2=N_3=0,1N_1$ ($N_1=1000$ витков), $R_1=250$ кОм, $C_1=0,1$ мкФ, постоянная цепочки $\tau=0,025$ с.

В схеме допускается замена вольтметра, включенного параллельно R_1 , на амперметр, включенный последовательно с R_1 .

Зависимость магнитной индукции в ферромагнетиках от напряженности намагничивающего поля $B=f(H)$ не является однозначной и характеризуется петлей гистерезиса (рис. 3). Если намагничивание образца не доводить до насыщения, а затем уменьшать напряженность магнитного поля, то можно получить частную петлю гистерезиса. Вершины частных петель лежат на начальной кривой намагничивания.

Рис. 3

Зависимость B от H , полученная по начальной кривой намагничивания, позволяет определить зависимость магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля $\mu(H)$. Кривые гистерезиса, начальная кривая намагничивания и магнитная проницаемость являются важнейшими



характеристиками ферромагнетиков. С помощью кривой магнитного гистерезиса можно определить гистерезисные потери, связанные с выделением тепла при перемагничивании образца.

Чтобы получить на экране осциллографа петлю гистерезиса, нужно на горизонтально отклоняющие пластины «Х» подать напряжение, пропорциональное напряженности магнитного поля в образце, а на вертикально отклоняющие пластины «Y» – напряжение, пропорциональное магнитной индукции.

В схеме, изображенной на рис. 2, на горизонтально отклоняющие пластины осциллографа подается напряжение с резистора $R_1=1$ Ом. Это напряжение, пропорциональное напряженности H магнитного поля, можно обозначить через U_X .

Во вторичных обмотках L_2 и L_3 возникает ЭДС индукции. Для того чтобы получить сигнал, пропорциональный индукции магнитного поля, между вторичной обмоткой и осциллографом ставят интегрирующую цепь с постоянной времени $R_2C_1 > T$ ($T=0,02$ с – период переменного тока). После этого напряжение, снимаемое с конденсатора, будет пропорционально индукции магнитного поля.

Таким образом, на одни пластины осциллографа подается напряжение, пропорциональное H , а на другие – пропорциональное B .

За один период синусоидального изменения тока след электронного луча на экране опишет полную петлю гистерезиса, а за каждый последующий период в точности ее повторит. Поэтому на экране будет видна неподвижная петля гистерезиса.

Изменяя ток в соленоиде, можно получить на экране последовательно ряд различных по своей площади петель гистерезиса (рис. 3). Верхняя точка каждой петли (точка А) лежит на начальной кривой намагничивания. Следовательно, для построения начальной кривой намагничивания необходимо снять с осциллограммы координаты B и H вершин петель гистерезиса. Координаты B и H можно определить из соотношений:

$$H = \alpha X \quad \text{и} \quad B = \beta Y,$$

где X и Y – координаты точек A_i петли;

α и β – соответствующие значения цены деления по координатам X и Y . Эти значения возможно рассчитать, исходя из параметров лабораторной схемы:

$$\alpha = 94,5 \quad \text{и} \quad \beta = 0,086 \quad (\text{размерность в СИ}).$$

Работа перемагничивания образца (при совершении полного цикла, отображаемого петлей гистерезиса) равна:

$$A = \oint HdB \quad (11)$$

Эта работа (гистерезисные потери) связана с выделением тепла при перемагничивании образца, и в системе СИ определяется площадью петли гистерезиса. Таким образом, площадь петли гистерезиса есть мера потерь энергии в единице объема за один цикл перемагничивания. При частоте перемагничивания ν потери в единице объема за единицу времени равны

$$W = \Phi \cdot \nu, \quad (12)$$

где Φ – поток вектора магнитной индукции.

Цена деления масштабной шкалы осциллографа в направлении H равна α , в направлении оси B – β . Тогда площадь одной клетки в энергетических единицах будет $\alpha\beta$. Если петля гистерезиса содержит γ клеток, то площадь ее равна

$$\Gamma = \gamma\alpha\beta \quad (13)$$

Таким образом, потери энергии

$$W = \gamma\alpha\beta\nu \quad (14)$$

Значение W выражается в Дж/м³с.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Упражнение 1. ПОЛУЧЕНИЕ ПЕТЛИ ГИСТЕРЕЗИСА ФЕРРОМАГНЕТИКА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ НА ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЕ

1. Перед включением установки проверить ее готовность к работе. Для этого ручка регулятора «НАПРЯЖЕННОСТЬ» должна быть повернута против часовой стрелки до упора.
2. Соединить вход канала I с выходом «X», а вход канала II с выходом «Y».
3. На панели осциллографа из всех кнопок-переключателей должны быть нажаты только две: «II-X-Y» и «X-Y».
4. Переключатели рода работы поставить в положение «~» (на обоих каналах).
5. Переключатели «УСИЛЕНИЕ» поставить на канале I в положение «0,1 V/дел», на канале II – «2 mV/дел».
6. Включить установку: стенд, осциллограф.
7. Ручками «←→» и «↑↓» установить светящуюся точку в центр экрана, предварительно сфокусировав ее и установив желаемую яркость.
8. Вращая ручку «НАПРЯЖЕННОСТЬ», добиться того, чтобы петля гистерезиса на экране осциллографа имела участок насыщения и занимала большую часть экрана.
9. Записать значения координат X и Y в делениях сетки экрана осциллографа для точек A, C, D, E, F, G, K, L, M, N, P, Q петли гистерезиса (рис. 3) и вычислить для них значения B и H.
10. Начертить на миллиметровой бумаге петлю гистерезиса. Подсчитать число клеток, охватываемых петлей гистерезиса.
11. Вычислить по формуле (14) тепловые потери на перемагничивание.
12. Рассчитать относительную погрешность определения тепловых потерь по приближенной формуле

$$\frac{\Delta W}{W} = \frac{\Delta \nu}{\nu} \cdot 100 \%$$

где ν и $\Delta \nu$ – частота перемагничивания и ее абсолютная погрешность, соответственно.

Упражнение 2. ПОЛУЧЕНИЕ НАЧАЛЬНОЙ КРИВОЙ НАМАГНИЧИВАНИЯ ФЕРРОМАГНЕТИКА

1. Последовательно уменьшая напряжение трансформатора, стянуть петлю так, чтобы точка A перешла в положение A_1 (рис. 3). Записать координаты X и Y для этой точки. При этом все параметры режима работы осциллографа остаются неизменными.
2. Определить аналогичным образом координаты точек A_2, A_3 .
3. Вычислить для точек A_1, A_2, A_3 значения B и H.
4. Построить на графике петли гистерезиса начальную кривую намагничивания, проходящую через точки, A_1, A_2, A_3, O .
5. Построить график зависимости магнитной проницаемости μ от напряженности магнитного поля H, используя формулу (6).

Контрольные вопросы

1. Какие вещества называются магнитными?
2. Что такое магнитный момент системы, намагниченность?
3. Дайте определение магнитной индукции и напряженности магнитного поля.
4. Что такое диамагнетики? Приведите примеры.
5. Что такое парамагнетики? Приведите примеры.
6. Что такое ферромагнетики? Приведите примеры.
7. Как определяется магнитная восприимчивость вещества, какова ее величина, и какова ее связь с магнитной проницаемостью?
8. Как изменяется намагниченность диа-, пара- и ферромагнетиков от напряженности внешнего магнитного поля?
9. Что такое магнитный гистерезис?
10. Петля гистерезиса. От чего зависит вид петли гистерезиса?

Критерии оценивания.

Отметка «5»: работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности действий:

- проводит работу в условиях, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов;
- умеет корректно рассчитывать основные параметры гистерезиса ферромагнитного материала;
- умеет графически изображать петлю гистерезиса, исходя из полученных расчетных данных;
- соблюдает правила техники безопасности;
- в ответе правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления;
- правильно выполняет анализ ошибок.

Отметка «4»: работа выполнена правильно с учетом 1-2 мелких погрешностей или 2-3 недочетов, исправленных самостоятельно по требованию учителя.

Отметка «3»: работа выполнена правильно не менее чем наполовину, допущены 1-2 погрешности или одна грубая ошибка.

Отметка «2»: допущены две (и более) грубые ошибки в ходе работы, которые учащийся не может исправить даже по требованию учителя.

Практическая работа №5

Тема: Расчет магнитной цепи.

Цель работы: 1. Ознакомиться с основами методики расчета магнитных цепей. 2. Изучить распределение магнитных потоков в разветвленной магнитной цепи. 3. Научиться использовать законы магнитной цепи.

Методическое обеспечение

1. Гальперин М. В. Электротехника и электроника. Учебник.- М.: "Профессиональное образование" – 2012г. 408стр.;
2. Методические указания по выполнению практических работ.

Условия и исходные данные

1. Ознакомиться с теоретическими сведениями.
2. Выполнить исследование и расчет магнитной цепи ш-образного трансформаторного сердечника.
3. Проанализировать полученные результаты и сделать соответствующие выводы.

Методические указания

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Магнитные величины B в магнитном поле распределение энергии обусловлено движением электрических зарядов или изменением электрического поля, т. е. электрическим током. Направление магнитного потока определяют по направлению магнитной стрелки, помещенной в это поле. Магнитное поле представляется в виде направленного магнитного потока Φ , линии которого всегда замкнуты. Физическая величина, характеризующая интенсивность магнитного потока Φ , служит вектор магнитной индукции B , направление которого совпадает с направлением магнитного потока. Единицей магнитного потока в системе СИ является вебер (Вб); $1 \text{ Вб} = 1 \text{ В}\cdot\text{с}$. За единицу магнитной индукции принимают индукцию, при которой через площадь s в 1 м^2 , расположенную перпендикулярно направлению магнитного потока, проходит поток в 1 Вб . Магнитную индукцию выражают в теслах (Тл): $1 \text{ Тл} = 1 \text{ Вб}/\text{м}^2 = 1 \text{ В}\cdot\text{с}/\text{м}^2$. Способность источника магнитного поля (электрического тока) создавать магнитный поток характеризуется напряженностью магнитного поля H , выражаемой в А/м. Рис.1

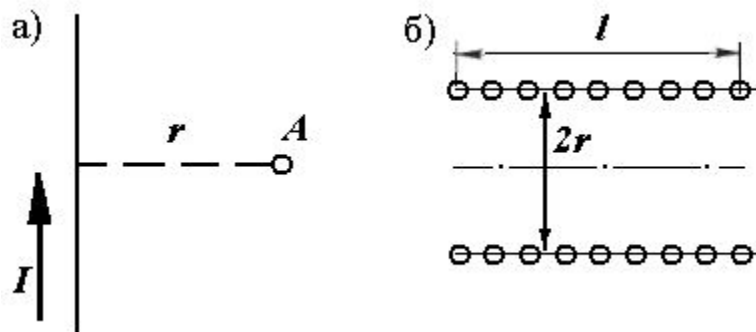


Рисунок 1.

В воздухе направление векторов магнитной индукции и напряженности магнитного поля совпадают и связаны соотношением $H = B/\mu_0$, где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн}/\text{м}$ - магнитная постоянная. Количественные соотношения, характеризующие магнитное поле, основаны на законе полного тока. Этот закон устанавливает связь между напряженностью магнитного поля H в любой точке замкнутого контура вокруг проводника с током I . Например, напряженность в точке А (рис. 1, а) равна где $2\pi r$ - длина контура, охватывающего проводник, r - радиус контура. Если действует n проводников с током I , то напряженность в точке А равна: $H = nI/(2\pi r)$. Напряженность поля в центре однослойной катушки (когда $l \gg r$) (рис. 1, б) с числом витков ω равна $H = \omega I/l$. Произведение ωI называют магнитодвижущей силой (мдс) и выражают в амперах. Потокосцепление катушки: $\psi = \omega \Phi$. В линейной катушке индуктивности потокосцепление

пропорционально току. Коэффициент пропорциональности $L = \psi/I$ называют индуктивностью. Единица индуктивности - генри (Гн). На практике применяют доли; милли- и микрогенри: $1 \text{ мГн} = 10^{-3} \text{ Гн}$; $1 \text{ мкГн} = 10^{-6} \text{ Гн}$. Энергия магнитного поля катушки индуктивности (Дж) определяется работой, совершаемой электрическим током в процессе создания магнитного поля. Магнитные цепи Классификация магнитных цепей. Элементы магнитной цепи. Магнитная система является одним из основных элементов электрических машин и ряда электротехнических устройств. В магнитную систему входят источники магнитного поля (обмотка с током, возбуждающая магнитное поле, постоянный магнит) и система магнитопроводов из ферромагнитного материала, по которым замыкается магнитный поток. При анализе магнитных цепей магнитную систему электротехнического устройства представляют, как и в электрических цепях, эквивалентной схемой. Магнитные цепи бывают неразветвленные и разветвленные, однородные и неоднородные, симметричные и несимметричные. Неразветвленной магнитной цепью называют цепь, через элементы которой замыкается один и тот же магнитный поток. В разветвленной магнитной цепи содержатся ветви, в каждой из которых замыкаются свои магнитные потоки. В однородной магнитной цепи, образованной замкнутым магнитопроводом, магнитный поток находится в однородной среде. Неоднородной называют магнитную цепь, состоящую из участков, имеющих разные сечения, воздушные зазоры, ферромагнитные тела с различными магнитными свойствами. Способность вещества под воздействием напряженности внешнего магнитного поля H создавать собственное поле, называемое намагниченностью M , которая характеризуется магнитной восприимчивостью χ . При этом магнитная индукция в веществе где B_0 - относительная и абсолютная магнитные проницаемости, соответственно. Вещества, имеющие высокое значение магнитной восприимчивости, называют ферромагнитными, или магнитными. К ним относятся железо (Fe), кобальт (Co), никель (Ni), редкоземельные элементы: гадолиний (Gd), диспрозий (Dy) и др., а также сплавы на базе этих элементов. Зависимость магнитной индукции в веществе (материале) от напряженности внешнего магнитного поля $B(H)$ носит нелинейный характер: по мере увеличения H индукция B сначала возрастает резко, а затем, приближаясь к области насыщения, процесс намагничивания материала замедляется и прекращается (Рис.2.).

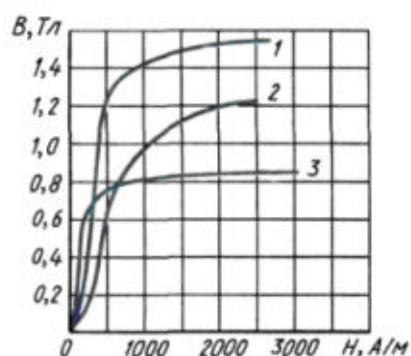


Рисунок 2.

Ход работы.

Необходимые приборы и оборудование:

1. Трехсердечевой магнитопровод (Ш-образный) с тремя обмотками L_1, L_2, L_3 (рисунок 1).
2. Регулируемый источник напряжения переменного тока (клеммы $A' B'$ стенда).
3. Вольтметр.
4. Монтажные провода - 3 шт., провода для подключения вольтметра – 2 шт.

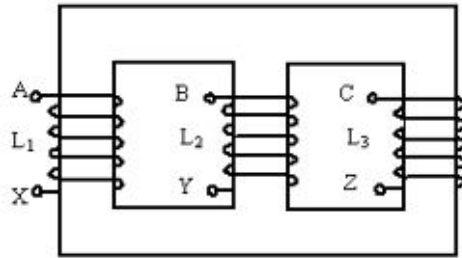


Рисунок 1.

Программа работы и указания к ее выполнению:

1. Перед выполнением работы необходимо определить расположение источника питания с регулятором напряжения, выводов обмоток магнитопровода, вольтметра. **ВКЛЮЧАТЬ СТЕНД ТОЛЬКО С РАЗРЕШЕНИЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ!**

2. Начертить схемы магнитных цепей для проведения пяти опытов; цепи отличаются друг от друга способом подключения обмоток к источнику питания, при этом верхние клеммы обмоток L1, L2, L3 принять за их начала A, B, C, а нижние – за их концы X, Y, Z соответственно:

а) обмотка L1 (выводы A, X);

б) обмотка L2 (выводы B, Y); в) обмотка L3 (выводы C, Z);

г) последовательно - согласно соединенные обмотки L1 и L3 – конец X обмотки L1 соединен с началом C обмотки L3, начало A обмотки L1 и конец Z обмотки L3 подключены к источнику напряжения; д) последовательно - встречно соединенные обмотки L1 и L3 – конец X обмотки L1 соединен с концом Z обмотки L3, начала A, с обеих обмоток подключены к источнику питания.

3. В соответствии со схемами собрать для каждого опыта соответствующую цепь и, после проверки цепи преподавателем, включить стенд и источник напряжения и регулятором по вольтметру источника питания установить напряжение 100 В. Далее с помощью вольтметра по п.1 произвести измерение э.д.с. на клеммах последовательно всех трех обмоток. Аналогично выполнить измерения для всех пяти опытов, и результаты измерений внести в таблицу 1.

Внимание! В конце каждого опыта Выключать источник напряжения.

Таблица 1

Обмотки	A - X	B - Y	C - Z
№№ опытов	E ₁ , В	E ₂ , В	E ₃ , В
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			

4. После окончания всех опытов регулятор напряжения установить на нуль и выключить источник напряжения и стенд.

5. Результаты измерений показать преподавателю и, в случае их достоверности, разобрать исследуемую цепь.

6. Рассчитать для всех выполненных опытов амплитудные значения соответствующих магнитных потоков Φ_{m1} , Φ_{m2} , Φ_{m3} , используя выражение где: $f=50$ Гц, частота напряжения питания, $w=420$, количество витков в обмотках. Результаты расчета внести в таблицу 2.

7. Для каждого опыта составить уравнение магнитных потоков по первому закону Кирхгофа для магнитной цепи и вычислить остаточный поток $\Delta\Phi_m$. Например, для первого опыта в идеальном случае должны бы иметь $\Phi_{m1} - \Phi_{m2} - \Phi_{m3} = 0$, однако практически имеем $\Phi_{m1} - \Phi_{m2} - \Phi_{m3} = \Delta\Phi_m$, причиной чего является наличие в магнитной цепи потоков рассеяния. Аналогично составить уравнения и рассчитать $\Delta\Phi_m$ для остальных четырех опытов с учетом распределения и направления магнитных потоков в ветвях магнитной цепи. Результаты расчета остаточных потоков $\Delta\Phi_m$ внести в таблицу 2.

Таблица 2

№№ опыта	$\Phi_{m1} \cdot B \cdot 10^4$ $B \cdot 10^4$	$\Phi_{m2} \cdot B \cdot 10^4$ $B \cdot 10^4$	$\Phi_{m3} \cdot B \cdot 10^4$ $B \cdot 10^4$	$\Delta \Phi_{m1} \cdot B \cdot 10^4$ $B \cdot 10^4$
1				
2				
3				
4				
5				

8. В соответствии с уравнениями п.7 на схемах магнитных цепей проставить направление магнитных потоков.

Контрольные вопросы

1. Что называется магнитной цепью?
2. Параметры, характеризующие магнитное поле. 3. Почему магнитопровод (сердечник) магнитной цепи изготавливается из ферромагнитных материалов?
4. Почему магнитное сопротивление магнитопровода является нелинейным?
5. Как рассчитываются простейшие магнитные цепи с постоянными намагничивающими силами?
6. Что называется разветвленной магнитной цепью?
7. Назовите и поясните основные законы магнитной цепи.

Критерии оценивания.

Отметка «5»: работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности действий:

- проводит работу в условиях, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов;
- умеет корректно рассчитывать основные параметры магнитной цепи;
- соблюдает правила техники безопасности;
- в ответе правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления;
- правильно выполняет анализ ошибок.

Отметка «4»: работа выполнена правильно с учетом 1-2 мелких погрешностей или 2-3 недочетов, исправленных самостоятельно по требованию учителя.

Отметка «3»: работа выполнена правильно не менее чем наполовину, допущены 1-2 погрешности или одна грубая ошибка.

Отметка «2»: допущены две (и более) грубые ошибки в ходе работы, которые учащийся не может исправить даже по требованию учителя.

Практическая работа №6

Тема: Исследование цепи переменного тока с последовательным соединением резистора, катушки индуктивности и конденсатора.

Цель работы: Практически проверить физические явления происходящие в цепи переменного тока при последовательном соединении катушки индуктивности, резистора и конденсатора при резонансе напряжений.

Методическое обеспечение

1. Гальперин М. В. Электротехника и электроника. Учебник.- М.: "Профессиональное образование" – 2012г. 408стр.;
2. Методические указания по выполнению практических работ.

Условия и исходные данные

1. Рассмотреть теоретические данные и методику расчета цепи переменного тока с последовательным соединением катушки индуктивности, резистора и конденсатора.
2. Выполнить расчет параметров заданной цепи переменного тока.
3. Проанализировать полученные результаты и сделать соответствующие выводы.

Методические указания

Пояснения к выполнению практической работы.

Данная цепь вводится в резонанс, при этом измеряются напряжения на индуктивности и емкости, а так же ток и напряжение всей цепи, при этом известен номинал резистора и активное сопротивление катушки индуктивности.

При известном токе и напряжении всей цепи, по закону Ома можно найти полное сопротивление данной цепи ($I=U/z$).

Емкостное и индуктивное сопротивления (x_c , x_L) также можно найти по закону Ома ($I=U_c/x_c$; $I=U_L/x_L$).

Полное сопротивление катушки индуктивности ($z_{ки}$) находится с учетом её емкостного и активного сопротивления.

Напряжения(падения напряжения) на каждом из элементов это произведение тока цепи на те или иные сопротивления элементов, входящих в цепь.

Для определения коэффициента мощности заданной цепи необходимо найти отношение активной мощности к полной $\cos\varphi=P/S$. Значение активной мощности определяется как произведение напряжения резистора(активного падения напряжения) на ток в цепи, а полной мощности как произведение общего напряжения цепи к её току. Если из значения коэффициента мощности извлечь \arccos то можно найти и сам угол φ .

Задание.

Согласно результатам измерений в схеме, представленной на рисунке 1, найти все недостающие параметры, а результаты измерений и вычислений занести в таблицу 1. Построить векторную диаграмму напряжений.

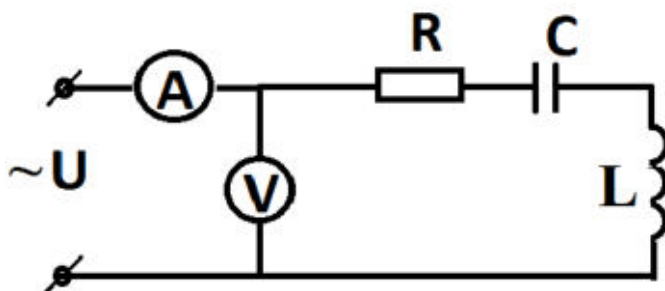


Рисунок 1.

Активное сопротивление катушки индуктивности $r_{aL}=43$ Ом, сопротивление резистора $r=470$ Ом

Таблица 1.

U	I	z	x_c	x_L	$z_{ки}$	P	S	$\cos\varphi$	φ	U_a	U_L	U_c	U_{LK}
В	А	Ом	Ом	Ом	Ом	Вт	Вт		°	В	В	В	В
4,73	7,5										2,16	2,16	

Контрольные вопросы

1. Описать явление ЭМИ.
2. Что такое резонанс напряжений электрических цепей переменного тока?
3. Правило правой руки.
4. Правило левой руки.
5. Чем отличается активная нагрузка от реактивной?

Критерии оценивания:

Отметка «5»: работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности действий:

- проводит работу в условиях, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов;
- правильно выполняет расчет токов, напряжений и нагрузок в цепи переменного тока;
- соблюдает правила техники безопасности;
- в ответе правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления;
- правильно выполняет анализ ошибок.

Отметка «4»: работа выполнена правильно с учетом 1-2 мелких погрешностей или 2-3 недочетов, исправленных самостоятельно по требованию учителя.

Отметка «3»: работа выполнена правильно не менее чем наполовину, допущены 1-2 погрешности или одна грубая ошибка.

Отметка «2»: допущены две (и более) грубые ошибки в ходе работы, которые учащийся не может исправить даже по требованию учителя.

Лабораторная работа №2

Тема: Исследование цепи переменного тока с последовательным соединением резистора, катушки индуктивности и конденсатора.

Цель работы: Практически проверить физические явления происходящие в цепи переменного тока при последовательном соединении катушки индуктивности, резистора и конденсатора при резонансе напряжений.

Методическое обеспечение

1. Гальперин М. В. Электротехника и электроника. Учебник.- М.: "Профессиональное образование" – 2012г. 408стр.;
2. Методические указания по выполнению практических работ.

Условия и исходные данные

1. Рассмотреть теоретические данные и методику расчета цепи переменного тока с последовательным соединением катушки индуктивности, резистора и конденсатора.
2. Выполнить расчет параметров заданной цепи переменного тока.
3. Проанализировать полученные результаты и сделать соответствующие выводы.

Методические указания

Пояснения к выполнению практической работы.

Данная цепь вводится в резонанс, при этом измеряются напряжения на индуктивности и емкости, а так же ток и напряжение всей цепи, при этом известен номинал резистора и активное сопротивление катушки индуктивности.

При известном токе и напряжении всей цепи, по закону Ома можно найти полное сопротивление данной цепи ($I=U/z$).

Емкостное и индуктивное сопротивления (x_c, x_L) также можно найти по закону Ома ($I=U_c/x_c; I=U_L/x_L$).

Полное сопротивление катушки индуктивности ($z_{ки}$) находится с учетом её емкостного и активного сопротивления.

Напряжения(падения напряжения) на каждом из элементов это произведение тока цепи на те или иные сопротивления элементов, входящих в цепь.

Для определения коэффициента мощности заданной цепи необходимо найти отношение активной мощности к полной $\cos\varphi=P/S$. Значение активной мощности определяется как произведение напряжения резистора(активного падения напряжения) на ток в цепи, а полной мощности как произведение общего напряжения цепи к её току. Если из значения коэффициента мощности извлечь \arccos то можно найти и сам угол φ .

Задание.

Согласно результатам измерений в схеме, представленной на рисунке 1, найти все недостающие параметры, а результаты измерений и вычислений занести в таблицу 1. Построить векторную диаграмму напряжений.

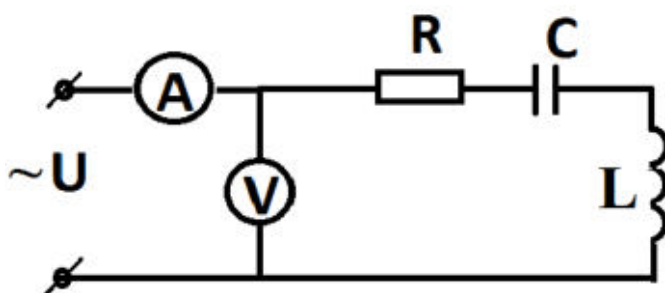


Рисунок 1.

Активное сопротивление катушки индуктивности $r_{aL}=43$ Ом, сопротивление резистора $r=470$ Ом

Таблица 1.

U	I	z	x_c	x_L	$z_{ки}$	P	S	$\cos\phi$	ϕ	U_a	U_L	U_c	U_{LK}
В	А	Ом	Ом	Ом	Ом	Вт	Вт		°	В	В	В	В

Контрольные вопросы

1. Описать явление ЭМИ.
2. Что такое резонанс напряжений электрических цепей переменного тока?
3. Правило правой руки.
4. Правило левой руки.
5. Чем отличается активная нагрузка от реактивной?

Критерии оценивания:

Отметка «5»: работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности действий:

- проводит работу в условиях, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов;
- правильно выполняет расчет токов, напряжений и нагрузок в цепи переменного тока;
- соблюдает правила техники безопасности;
- в ответе правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления;
- правильно выполняет анализ ошибок.

Отметка «4»: работа выполнена правильно с учетом 1-2 мелких погрешностей или 2-3 недочетов, исправленных самостоятельно по требованию учителя.

Отметка «3»: работа выполнена правильно не менее чем наполовину, допущены 1-2 погрешности или одна грубая ошибка.

Отметка «2»: допущены две (и более) грубые ошибки в ходе работы, которые учащийся не может исправить даже по требованию учителя.

Практическая работа №7

Тема: Исследование трехфазной цепи при соединении приемников энергии «звездой».

Цель работы: исследование трехфазной системы при соединении приемников звездой, опытное определение соотношений между линейными и фазными напряжениями и токами при различных практически возможных комбинациях нагрузки отдельных фаз.

Методическое обеспечение

1. Гальперин М. В. Электротехника и электроника. Учебник.- М.: "Профессиональное образование" – 2012г. 408стр.;
2. Методические указания по выполнению практических работ.

Условия и исходные данные

1. Ознакомится с теоретическими данными.
2. Выполнить расчет активной мощности электрического приемника, соединенного звездой.
3. Сделать соответствующий вывод по работе.

Методические указания

Теоретические сведения.

Трехфазная симметричная система ЭДС состоит из трех ЭДС, одинаковых по амплитуде и частоте, но сдвинутых друг относительно друга по фазе (во времени) на 120° (одну треть периода).

При соединении приемников трехфазной системы звездой к началам фаз приемников подводятся линейные провода, а концы фаз приемников соединяются в общую нулевую точку (рисунок 1а). Таким образом получается трехфазная трехпроводная система.

В трехфазных системах различают линейные напряжения между любой парой линейных проводов и фазные напряжения на фазе приемника. При соединении звездой каждое фазное напряжение будет, очевидно, равно напряжению между одним из линейных проводов и нулевой точкой.

Задавшись общепринятыми условными (для трехфазного тока) направлениями и обозначениями линейных и фазных напряжений (рисунок 1), получаем

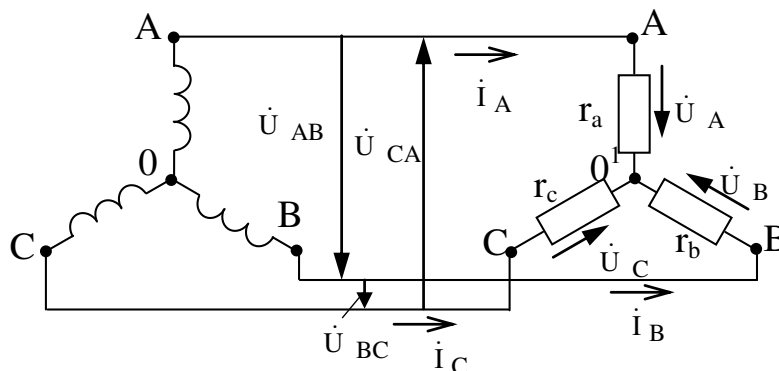


Рисунок 1.

$$\begin{aligned}\dot{U}_{AB} &= \dot{U}_A - \dot{U}_B, \\ \dot{U}_{BC} &= \dot{U}_B - \dot{U}_C, \\ \dot{U}_{CA} &= \dot{U}_C - \dot{U}_A.\end{aligned}\quad (1)$$

Легко показать, что в частном случае симметричной системы ЭДС линейные и фазные напряжения связаны равенством

$$U_{л} = \sqrt{3}U_{ф}.\quad (2)$$

Различают также линейные токи – в линейных проводах и фазные токи в фазах приемника. При соединении приемников звездой никаких разветвлений на входе линейных проводов в фазы

приемника нет, так что в этом случае для каждой линии и для фазы, к которой эта линия присоединена,

$$I_{\text{л}} = I_{\text{ф}} \quad (3)$$

Если активные и реактивные сопротивления всех фаз приемника одинаковы ($r_A=r_B=r_C$ и $x_A=x_B=x_C$), то и токи во всех фазах будут одинаковы и сдвинуты относительно напряжений своих фаз на одинаковый угол. Тогда при симметричной системе ЭДС получится также симметричная система токов. Из векторной диаграммы видно, что геометрическая сумма фазных токов, сходящихся к нулевой точке, получается равной нулю, что и должно быть по первому закону Кирхгофа:

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0 \quad (4)$$

Если же равномерность нагрузки нарушится, то трехпроводная трехфазная система уже не будет симметричной, так как сумма трех неравных по величине токов перестает быть равной нулю, если эти токи будут по-прежнему составлять друг с другом углы 120° . Нулевая точка на векторной диаграмме при неравномерной нагрузке фаз сместится в такое положение, при котором геометрическая сумма трех фазных токов снова станет равной нулю (см. рисунок 1в). При этом

фазные напряжения перестанут быть одинаковыми и равными $\frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}}$. На перегруженной фазе напряжение понизится, а на фазах с меньшей нагрузкой, наоборот, повысится. Величина смещения нулевой точки из среднего положения U_0 называется смещением нейтрали.

При обрыве одной из фаз (разрыв внутри приемника или обрыв линейного провода) в трехпроводной системе, например, фазы А, две другие фазы оказываются включенными последовательно на линейное напряжение U_{BC} . При одинаковом сопротивлении этих фаз на

каждую из них вместо фазного напряжения $U_{\text{ф}} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}}$ придется половина линейного напряжения

$\frac{U_{\text{л}}}{2}$, что составляет $\frac{U_{\text{л}}}{2} : \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} = 0,87$ от напряжения при нормальном режиме. Нулевая точка при этом сместится из центра треугольника линейных напряжений на середину одной из сторон, смещение нейтрали составит $U_0=0,5U_{\text{ф}}$.

Задание: Рассчитать полную и активную мощность потребителя соединенного звездой, потребитель имеет не симметричную нагрузку, если линейное напряжение в цепи 380В.

Нагрузка цепи:

	1 вариант	2 вариант	3 вариант	4 вариант
r_1/x_{L1} , Ом	2 / 3	4 / 2	6 / 1	10 / 5
r_2/x_{L2} , Ом	6 / 4	8 / 3	2 / 2	12 / 6
r_3/x_{L3} , Ом	5 / 2	10 / 4	1 / 2	8 / 4

Контрольные вопросы

- 1 Что называется трехфазной симметричной системой ЭДС?
- 2 Как приемники трехфазной системы соединяются звездой?
- 3 Какие два вида напряжений и токов различают в трехфазных системах?
- 4 Каково соотношение между линейными и фазными напряжениями при соединении приемников звездой?
- 5 Каково соотношение между линейными и фазными токами при соединении приемников звездой?
- 6 При каком условии в трехфазной системе с симметричной системой ЭДС получается также симметричная система токов?
- 7 Что происходит в трехфазной трехпроводной системе при соединении приемников звездой в случае нарушения равномерности нагрузки фаз?

Критерии оценивания:

Отметка «5»: работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности действий:

- проводит работу в условиях, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов;
- правильно выполняет расчет токов, напряжений и нагрузок трехфазной цепи;
- соблюдает правила техники безопасности;
- в ответе правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления;
- правильно выполняет анализ ошибок.

Отметка «4»: работа выполнена правильно с учетом 1-2 мелких погрешностей или 2-3 недочетов, исправленных самостоятельно по требованию учителя.

Отметка «3»: работа выполнена правильно не менее чем наполовину, допущены 1-2 погрешности или одна грубая ошибка.

Отметка «2»: допущены две (и более) грубые ошибки в ходе работы, которые учащийся не может исправить даже по требованию учителя.

Практическая работа №8

Тема: Исследование трехфазной цепи при соединении приемников энергии «треугольником».

Цель работы: исследование трехфазной системы при соединении приемников треугольником, опытное определение соотношений между линейными и фазными напряжениями и токами при различных практически возможных комбинациях нагрузки отдельных фаз.

Методическое обеспечение

1. Гальперин М. В. Электротехника и электроника. Учебник.- М.: "Профессиональное образование" – 2012г. 408стр.;
2. Методические указания по выполнению практических работ.

Условия и исходные данные

1. Ознакомится с теоретическими данными.
2. Выполнить расчет активной мощности электрического приемника, соединенного треугольником.
3. Сделать соответствующий вывод по работе.

Методические указания

Теоретические сведения.

Трехфазной системой переменных токов называется совокупность трех однофазных электрических цепей, в которых действуют синусоидальные ЭДС одинаковой частоты, сдвинутые по фазе на $1/3$ периода и создаваемые общим источником электрической энергии. Обмотки фаз генератора имеют одинаковое число витков и выполняются из провода одинакового сечения, поэтому ЭДС, индуктированные в них, равны по величине. Если каждая из трех фаз генератора работает на автономную нагрузку, то такая трехфазная система называется несвязанной, в ней генератор соединен с потребителем шестью проводами (рис.1).

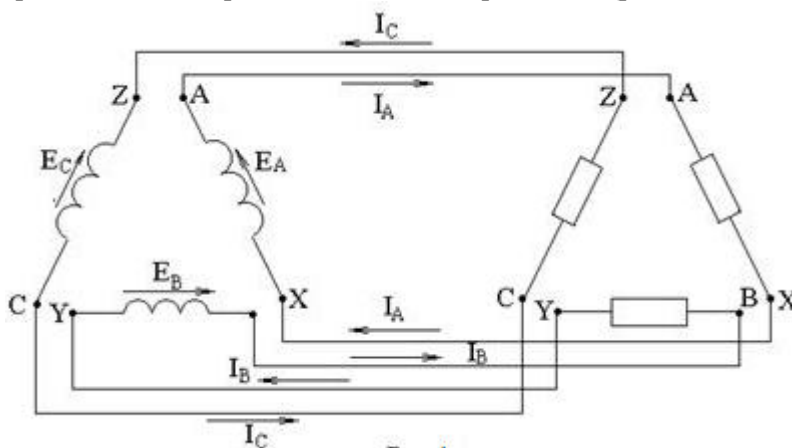


Рис 1 .

По закону Ома ток, протекающий в фазе

$$I_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{Z_{\phi}}$$

где U_{ϕ} - напряжение на зажимах фазы

Z_{ϕ} - полное сопротивление фазы.

Несвязанные системы неэкономичны и практического применения не имеют. Соединение фаз генератора и нагрузки может осуществляться по схемам "звезда" или "треугольник".

Как видно, соединение треугольником выполняется так, чтобы конец фазы "ав" был соединен с началом фазы "вс", конец фазы "вс" соединен с началом фазы "са", конец фазы "са" соединен с началом фазы "ав". К общим точкам соединения фаз подводятся линейные провода, соединяющие генератор с нагрузкой.

При соединении нагрузки по схеме "треугольник" линейное напряжение равно фазному:
 $U_{л} = U_{ф}$.

Соотношения между фазными и линейными токами устанавливаются на основании первого закона Кирхгофа из уравнений, составленных для узловых точек "а", "в", "с" нагрузки

$$I_A = I_{ав} - I_{са}$$

$$I_B = I_{вс} - I_{аб}$$

$$I_C = I_{са} - I_{вс}$$

Векторная диаграмма имеет вид рис.9. Эти фазы оказываются соединенными последовательно под напряжение фазы U_{вс}.

Следовательно, напряжение U_{вс} делится поровну между фазами "AB" и "CA". Активная мощность трехфазного тока при несимметричной нагрузке фаз равна сумме активных мощностей отдельных фаз:

$$P = P_{ав} + P_{вс} + P_{са},$$

$$\text{где: } P_{ав} = U_{ав} I_{ав} \cos\phi_{ав}$$

$$P_{вс} = U_{вс} I_{вс} \cos\phi_{вс}$$

$$P_{са} = U_{са} I_{са} \cos\phi_{са}$$

$$\text{При симметричной нагрузке фаз } P = 3P_{ф} = 3U_{ф}I_{ф}\cos\phi.$$

А так как при соединении нагрузки треугольником

$$U_{\neq} = U_{л}; \quad I_{\neq} = \frac{I_{л}}{\sqrt{3}}, \quad \text{то}$$

$$P = 3U_{\neq}I_{\neq} \cos\phi_{\neq} = 3U_{л} \frac{I_{л}}{\sqrt{3}} \cos\phi_{\neq},$$

$$\text{то есть, } P = \sqrt{3} U_{л} I_{л} \cos\phi.$$

$$\text{Соответственно реактивная мощность } Q = \sqrt{3} U_{л} I_{л} \sin\phi.$$

$$\text{Полная мощность } S = \sqrt{3} U_{л} I_{л}.$$

Задание: Рассчитать полную и активную мощность потребителя соединенного треугольником, потребитель имеет не симметричную нагрузку, если линейное напряжение в цепи 380В.

Нагрузка цепи:

	1 вариант	2 вариант	3 вариант	4 вариант
$r_1/x_{L1}, \text{ Ом}$	2 / 3	4 / 2	6 / 1	10 / 5
$r_2/x_{L2}, \text{ Ом}$	6 / 4	8 / 3	2 / 2	12 / 6
$r_3 /x_{L3}, \text{ Ом}$	5 / 2	10 / 4	1 / 2	8 / 4

Контрольные вопросы

1. Какое соединение фаз генератора или нагрузки называется треугольником?
2. Каковы соотношения между линейными и фазными напряжениями и токами при симметричной нагрузке фаз, соединенных треугольником?
3. Как определяются линейные токи?
4. Как определяется активная, реактивная и полная мощности трехфазной цепи при различных нагрузках?
5. Каковы будут напряжения на фазах приемников энергии, если перегорит предохранитель в одном из линейных проводов?

Критерии оценивания:

Отметка «5»: работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности действий:

- проводит работу в условиях, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов;
- правильно выполняет расчет токов, напряжений и нагрузок трехфазной цепи;
- соблюдает правила техники безопасности;
- в ответе правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления;

- правильно выполняет анализ ошибок.

Отметка «4»: работа выполнена правильно с учетом 1-2 мелких погрешностей или 2-3 недочетов, исправленных самостоятельно по требованию учителя.

Отметка «3»: работа выполнена правильно не менее чем наполовину, допущены 1-2 погрешности или одна грубая ошибка.

Отметка «2»: допущены две (и более) грубые ошибки в ходе работы, которые учащийся не может исправить даже по требованию учителя.

Практическая работа №9

Тема: Расчет параметров трёхфазной цепи при трансформации её из соединения «звезда» в соединение «треугольник».

Цель работы: опытная проверка критериев преобразования треугольника сопротивлений в эквивалентную звезду и метода эквивалентного генератора.

Методическое обеспечение

1. Гальперин М. В. Электротехника и электроника. Учебник. - М.: "Профессиональное образование" – 2012г. 408стр.;
2. Методические указания по выполнению практических работ.

Условия и исходные данные

1. Ознакомиться с теоретическими сведениями.
2. Выполнить расчет параметров трехфазной цепи при ее трансформации из звезды в треугольник.
3. Проанализировать выполненную работу и сделать соответствующие выводы по работе.

Методические указания

Общие сведения

В ряде случаев при расчете токов в линейных цепях производится преобразование соединения сопротивлений треугольником в соединение их эквивалентной звездой и наоборот. При этом для расчета величин сопротивлений эквивалентной звезды используются соотношения

$$R_1 = \frac{R_{12} \cdot R_{13}}{R_{12} + R_{13} + R_{23}}; \quad R_2 = \frac{R_{23} \cdot R_{12}}{R_{12} + R_{13} + R_{23}}; \quad R_3 = \frac{R_{31} \cdot R_{23}}{R_{12} + R_{13} + R_{23}} \quad (1)$$

где - R_{12} , R_{23} , R_{31} - величина сопротивлений, соединенных треугольником.

При расчетах пользуются также методом эквивалентного генератора, когда по отношению к некоторой выделенной ветви остальная часть схемы заменяется эквивалентным генератором с ЭДС $U_{авхх}$, равной напряжению холостого хода на зажимах а, в выделенной ветви, и некоторым внутренним сопротивлением $R_{вх}$. Тогда ток через выделенную ветвь можно найти по формуле

$$I = \frac{U_{авхх}}{R + R_{вх}}, \quad (2)$$

где R - сопротивление выделенной ветви.

Порядок выполнения работы.

Соединение сопротивлений в треугольник.

1. Собрать цепь по схеме рис. 1 и получить разрешение на включение.

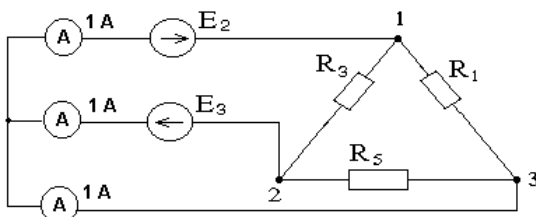


Рис. 1

2. Включить питание и измерить токи I_1 , I_2 и I_3 . Показания записать в табл. 1.

3. Вольтметром со свободными концами измерить напряжения U_{12} , U_{23} и U_{31} , соответствующие напряжениям на сопротивлениях R_1 , R_3 , R_5 . Для уменьшения величины погрешности, вызванной внутренним сопротивлением вольтметра, измерения рекомендуется производить на пределе 30 В.

Таблица 1.

Измерено						Вычислено
I_1, A	I_2, A	I_3, A	U_{12}, B	U_{23}, B	U_{31}, B	P, Bt

Соединение сопротивлений в эквивалентную звезду

1. Собрать цепь по схеме рис. 2 и получить разрешение на включение (R - реостат 30 Ом).

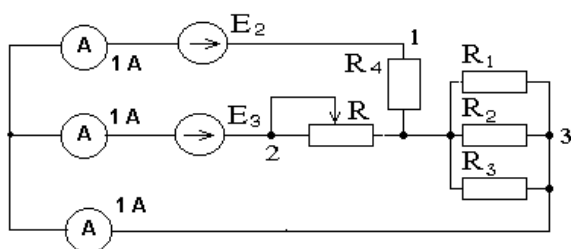


Рис. 2

2. Включить питание.

3. Изменяя величину сопротивления реостата R , добиться величины тока во второй ветви близкого к показанию в опыте по схеме рис. 1.

4. Измерить токи и записать в табл. 2.

Таблица 2.

Измерено									Вычислено
I_1, A	I_2, A	I_3, A	U_1, B	U_2, B	U_3, B	U_{12}, B	U_{23}, B	U_{31}, B	P, Bt

5. Вольтметром со свободными концами измерить напряжения на сопротивлениях R , R_4 и параллельной группе R_1 , R_2 , R_5 , а также между точками 1-3. Результаты записать в табл. 2.

6. По данным табл. 2 определить величины сопротивлений резисторов R , R_4 и группы R_1 , R_2 , R_5 и сравнить их с расчетными значениями.

7. По данным табл. 1, 2 сравнить напряжения между точками 1 и 2, 2 и 3, 3 и 1, а также токи I_1 , I_2 , I_3 для схем рис. 1, 2.

8. По данным табл. 1, 2 рассчитать значения суммарной мощности P , рассеиваемой в сопротивлениях схем рис. 1, 2 и сравнить их между собой.

Контрольные вопросы

1. Почему при включении звездой несимметричного приемника необходим нейтральный провод, а при включении симметричного - можно обойтись без него?
2. Как рассчитать ток в нейтральном проводе, если фазные токи известны?
3. Как измерить фазное напряжение приемника?

4. Как связаны фазные и линейные токи при включении приемника звездой с нейтральным проводом?
5. Как измерить линейное напряжение приемника?
6. Как связаны фазные и линейные напряжения приемника при включении его звездой с нейтральным проводом?

Критерии оценивания:

Отметка «5»: работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности действий:

- проводит работу в условиях, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов;
- правильно выполняет расчет токов, напряжений и нагрузок трехфазной цепи;
- соблюдает правила техники безопасности;
- в ответе правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления;
- правильно выполняет анализ ошибок.

Отметка «4»: работа выполнена правильно с учетом 1-2 мелких погрешностей или 2-3 недочетов, исправленных самостоятельно по требованию учителя.

Отметка «3»: работа выполнена правильно не менее чем наполовину, допущены 1-2 погрешности или одна грубая ошибка.

Отметка «2»: допущены две (и более) грубые ошибки в ходе работы, которые учащийся не может исправить даже по требованию учителя.

Лабораторная работа №2

Тема: Испытание однофазного трансформатора.

Цель работы: Ознакомиться с устройством и принципом действия трансформатора. Исследовать экспериментальным путем режимы его работы.

Методическое обеспечение

1. Гальперин М. В. Электротехника и электроника. Учебник.- М.: "Профессиональное образование" – 2012г. 408стр.;
2. Методические указания по выполнению практических работ.

Условия и исходные данные

1. Рассмотреть теоретические данные.
2. Выполнить исследование работы трансформатора при различных режимах его работы.
3. Рассчитать параметры работы трансформатора в различных его режимах работы.
4. Проанализировать проделанную работу и сделать соответствующие выводы.

Методические указания

Общие сведения

Трансформатором называется статический электромагнитный аппарат, служащий для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения без изменения частоты.

Трансформаторы получили распространение как устройства, позволяющие передавать электрическую энергию на большие расстояния без существенных энергетических потерь в линиях электропередач. С их помощью также осуществляется объединение источников электрической энергии переменного тока различных уровней напряжений в единую энергетическую систему.

Устройство трансформатора схематично показано на рис.1.

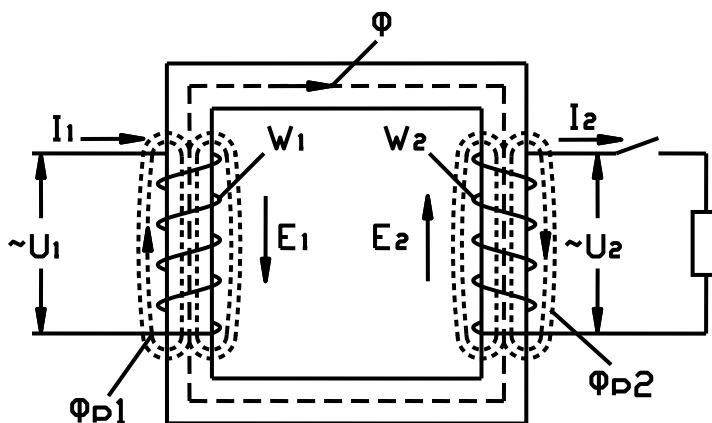


Рис.1

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

Передача электрической энергии от источника через трансформатор к нагрузке осуществляется посредством переменного магнитного потока Φ , основная часть которого замыкается в стальном сердечнике, другая же часть его, проходя по воздуху, образует магнитные потоки рассеяния ($\Phi_{р1}$, $\Phi_{р2}$).

При включении первичной обмотки в сеть переменного тока в ней возникает переменный ток, который образует переменное магнитное поле. Это поле усиливается сердечником, и передается на вторичную обмотку трансформатора.

Под воздействием переменного магнитного потока в обеих обмотках, согласно принципу электромагнитной индукции возникает переменная ЭДС. При этом ЭДС первичной обмотки называется ЭДС самоиндукции. Она ограничивает величину первичного тока трансформатора, так как направлена против приложенного напряжения. ЭДС вторичной обмотки называется ЭДС взаимной индукции. Она является источником тока вторичной обмотки (тока нагрузки). Действующие значения ЭДС обмоток определяют формулами:

$$E_1 = 4,44 \cdot W_1 \cdot f \cdot \Phi_m \quad (1)$$

$$\text{и } E_2 = 4,44 \cdot W_2 \cdot f \cdot \Phi_m \quad (2)$$

где Φ_m - амплитуда магнитного потока;

W_1, W_2 - число витков первичной и вторичной обмоток;

f - частота переменного тока.

Трансформатор может работать только на переменном токе, так как при постоянном токе ($f = 0$) ЭДС в его обмотках не возникает.

Отношение ЭДС первичной и вторичной обмоток называется коэффициентом трансформации. Оно практически равно отношению числа витков первичной и вторичной обмоток:

$$(3) \quad K_{1,2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2}$$

Для повышающих трансформаторов $W_1 < W_2$, - для понижающих трансформаторов $W_1 > W_2$

Преобразование электрической энергии в трансформаторе сопровождается малыми потерями энергии: величина к.п.д. (η) силовых трансформаторов при номинальной нагрузке составляет $\eta = 0,96 - 0,995$ в зависимости от мощности трансформатора.

Трансформатор был изобретен в 1876 году знаменитым русским электротехником П.Н. Яблочковым. Современные трансформаторы весьма разнообразны в своем исполнении и могут быть однофазными, трехфазными и специальными.

РЕЖИМЫ РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРА

Режим холостого хода

Режим холостого тока проводится при разомкнутой цепи вторичной обмотки ($I_{20} = 0$). Это условие приближенно соблюдается также при подключении к вторичной обмотке трансформатора вольтметра.

Уравнения электрического равновесия в исследуемом режиме могут быть записаны:

$$\vec{U}_{10} = (-\vec{E}_1) + \vec{I}_{10} \cdot Z_1 \quad \text{и} \quad \vec{U}_{20} = \vec{E}_2 - \vec{I}_{20} \cdot Z_2, \quad (4)$$

где I_{10} - ток первичной обмотки при холостом ходе, который не превышает 5-10% $I_{1н}$ ($I_{1н}$ - номинальное значение тока первичной обмотки).

Так как I_{10} мал, а $I_{20} = 0$, то можно считать, что $U_1 \approx E_1$ и $U_2 \approx E_2$.

Опыт позволяет определить коэффициент трансформации трансформатора как:

Важно отметить, что при режиме холостого хода значительно снижается $\cos \varphi$ электрических цепей, а, следовательно, этот режим является недопустимым при эксплуатации

$$K = \frac{U_{10}}{U_{20}} \approx \frac{E_1}{E_2}$$

трансформаторов.

Помимо определения коэффициента трансформации определяется мощность холостого хода, которая фактически равна магнитным потерям трансформатора, так как ток первичной обмотки очень мал, потерями энергии на нагревание обмотки можно пренебречь. Мощность магнитных потерь пропорциональна U_1^2 , а поскольку в опыте холостого хода $U_{10} = U_{1ном}$, значит магнитные потери, определяемые в этом опыте равны номинальным магнитным потерям $P_{маг}$.

Режим нагрузки трансформатора.

Данный режим работы определяется уравнениями электрического равновесия обмоток трансформатора, полученными на основе 1 закона Кирхгофа:

$$\vec{U}_1 = (-E_1) + \vec{I}_1 \cdot R_1 + I_1 \cdot X_1 \quad \text{для 1-ой обмотки,} \quad (5)$$

$$\vec{U}_2 = E_2 - I_2 \cdot R_2 - I_2 \cdot X_2 \quad \text{для 2-ой обмотки,} \quad (6)$$

где: R_1, R_2 – активные сопротивления обмоток;

X_1, X_2 – реактивные сопротивления обмоток.

В режиме нагрузки определяется внешняя характеристика трансформатора (рис.2):

$U_2 = f(I_2)$, при $U_1 = \text{const}$, $\cos\phi = \text{const}$, в основе которой лежит уравнение (6).

Процентное падение напряжения на вторичной обмотке:

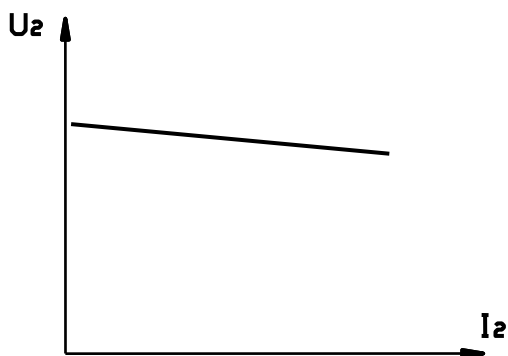


Рис.2

$$(5) \Delta U \% = \frac{U_{20} - U_2}{U_2} \cdot 100$$

где: $U_{20} \approx E_2$ при $I_2=0$.

При номинальной нагрузке оно обычно лежит в пределах 4-6%.

Связь между токами обмоток (I_1 и I_2) можно выявить из уравнения намагничивающих сил ($I \cdot W$) трансформатора:

$$\vec{I}_1 \cdot W_1 + \vec{I}_2 \cdot W_2 = \vec{I}_{10} \cdot W_1 \quad (7)$$

Из (7) можно получить уравнение токов, деля его почленно на W_1 , тогда:

$$\vec{I}_1 = (-I_2 \cdot W_2 / W_1) + I_{10} = I'_2 + I_{10} \quad (8)$$

где I_{10} - ток холостого хода 1-ой обмотки, а $I'_2 = (-I_2 \cdot W_2 / W_1)$ - называется приведенным током вторичной обмотки. Обычно I_{10} очень мал, и можно считать приближенно $I_1 \approx I'_2$. С увеличением I_2 , а, следовательно и $I_2 \cdot W_2$, возрастает и ток I_1 . При этом размагничивающее действие тока I_2 компенсируется намагничивающим действием тока I_1 , в результате чего магнитный поток трансформатора остается при его работе практически постоянным (при $U_1 = \text{const}$).

Режим короткого замыкания

Опыт короткого замыкания нельзя путать с режимом короткого замыкания, который возникает при номинальном напряжении первичной обмотки. Режим короткого замыкания – аварийный режим работы трансформатора. Опыт же короткого замыкания проводится при очень небольшом напряжении $U_{1к.з.}$, которое подбирается таким образом, чтобы токи первичной и вторичной обмоток соответствовали номинальным токам обмоток (в диапазоне 3 – 10 % от $U_{1ном.}$).

Опыт проводится при коротком замыкании вторичной обмотки (которая замыкается на амперметр, имеющий очень низкое сопротивление). Вся мощность, потребляемая трансформатором, практически идет на компенсацию электрических потерь при нагревании обмоток.

$$P_{к.з.} = P_{эл} = I_{1к.з.}^2 \cdot R_1 + I_{2к.з.}^2 \cdot R_2 \quad (9)$$

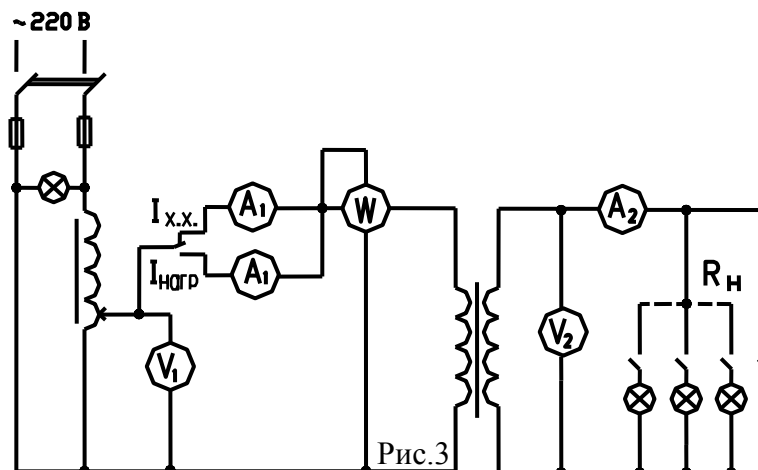
На основании опытов холостого хода и короткого замыкания определяется КПД трансформатора η :

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_{МАГ} + P_{ЭЛ}}$$

где $P_{ЭЛ}, P_{МАГ}$ - электрические и магнитные потери соответственно.

Ход работы.

1. Изучить электрическую схему согласно рис.3



2. Опыт холостого хода

1. Выбрать и подключить приборы согласно схеме рис.3.
2. Установить с помощью автотрансформатора напряжение на первичной обмотке поочередно 180, 190, 200 и 220 Вольт. По показаниям измерительных приборов определить U_1 , U_2 и I_1 .
2. Показания приборов и результаты измерений внести в таблицу 1.

Таблица 1

№ оп.	Данные измерений			Результаты вычислений
	U_1	U_2	I_1	К
	В	В	А	
1	180	358	1	
2	190	361	1,2	
3	200	398	1,3	
4	220	441	1,5	

3. Построить характеристику $U_2 = f(I_1)$ и определить К.

4. Опыт нагрузки

1. Выбрать амперметр для опыта согласно рис.3.
2. Включить первичную обмотку трансформатора на номинальное напряжение $U = 220В$ и поддерживать его постоянным в процессе всего опыта.
3. Включая ступенями нагрузку, постепенно увеличивать ток (снять 5 замеров).
4. Показания приборов и результаты вычислений записать в таблицу 2.
5. По данным опыта построить:
 - а) внешнюю характеристику трансформатора $U_2 = f(I_2)$;
 - б) зависимость $\cos\phi_1 = f(P_2)$, $\eta = f(P_2)$, $P_1 = f(P_2)$.

Таблица 2

	Данные измерений	Результаты вычислений

№ п/п	U ₁	I ₁	P ₁	U ₂	I ₂	cosφ	P ₂	η
	В	А	Вт	В	А		Вт	
1	220	1	216	441	0,48			
2	220	2,5	545	440	1,22			
3	220	4	869	438	1,93			
4	220	6	1301	440	2,9			

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{U_1 \cdot I_1}, \quad P_2 = U_2 \cdot I_2, \quad \eta = \frac{P_2}{P_1}$$

3. Опыт короткого замыкания

Опыт короткого замыкания проводится при пониженном напряжении на первичной обмотке и замкнутых на амперметр концах вторичной обмотки.

1. Выбрать приборы для опыта согласно рис.3.
 2. Установить регулятор автотрансформатора (ЛАТРа) на положение 0. Затем, включив автоматический выключатель, установить поочередно следующие напряжения на первичной обмотке: U_{к.з.} = 4, 5, 6, 7 Вольт и каждый раз определять по показаниям приборов I₁, I₂, P_{к.з.}.
 3. Определить напряжение короткого замыкания.
- Показания приборов и результаты вычислений внести в таблицу 3.

Таблица 3

№ п/п	Данные измерений				Результаты вычислений			
	U _{к.з.}	I ₁	P _{к.з.}	I ₂	Cosφ ₁	Z _к	r _к	X _к
	В	А	Вт	А		Ом	Ом	Ом
1	4	1	3,91	2				
2	5	1,22	5,9	3,4				
3	6	1,39	8,28	4,6				
4	7	1,61	11,19	5,9				

$$Z_k = \frac{U_{к.з.}}{I_{к.з.}} \quad (\text{полное сопротивление}), \quad (I_{к.з.} = I_1),$$

$$r_k = \frac{P_{к.з.}}{I_{к.з.}} \quad (\text{активное сопротивление}),$$

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - r_k^2} \quad (\text{реактивное сопротивление}).$$

4. Построить характеристики: U₁ = f(I₁), P_{к.з.} = f(I₂)

Контрольные вопросы

1. Разновидности электрических трансформаторов, краткое описание устройства и принципа работы, область применения (4-5 примеров).

Критерии оценивания:

Отметка «5»: работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности действий:

- проводит работу в условиях, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов;
- умеет правильно выполнять расчет емкостей и индуктивностей в цепях переменного тока;
- соблюдает правила техники безопасности;
- в ответе правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления;

- правильно выполняет анализ ошибок.

Отметка «4»: работа выполнена правильно с учетом 1-2 мелких погрешностей или 2-3 недочетов, исправленных самостоятельно по требованию учителя.

Отметка «3»: работа выполнена правильно не менее чем наполовину, допущены 1-2 погрешности или одна грубая ошибка.

Отметка «2»: допущены две (и более) грубые ошибки в ходе работы, которые учащийся не может исправить даже по требованию учителя.

Практическая работа №10

Тема: Расчет технических параметров трансформатора.

Цель работы: научиться определять основные параметры трансформатора, исходя из его паспортных данных и условий его работы.

Методическое обеспечение

1. Гальперин М. В. Электротехника и электроника. Учебник.- М.: "Профессиональное образование" – 2012г. 408стр.;
2. Методические указания по выполнению практических работ.

Условия и исходные данные

1. Ознакомится с примером расчета технических параметров трансформатора.
2. Выполнить по аналогии расчет технических параметров трансформаторов.
3. Проанализировать выполненную работу и сделать соответствующие выводы.

Методические указания

Общие сведения.

Каждый трансформатор рассчитывается на номинальный режим работы, который соответствует нагрузке 100 %. Величины, относящиеся к этому режиму, называются номинальными и указываются в паспорте и на специальной табличке на корпусе трансформатора. К таким величинам относятся:

$S_{ном}$ — номинальная мощность - это полная мощность, которую трансформатор, установленный на открытом воздухе, может непрерывно отдавать в течение всего срока службы (20-25 лет) при номинальном напряжении и при максимальной и среднегодовой температуре окружающего воздуха, равных соответственно 40 и 5°C.

$U_{1ном}$ - номинальное напряжение, на которое рассчитана первичная обмотка трансформатора.

$U_{2ном}$ - номинальное напряжение на вторичной обмотке трансформатора, это напряжение на выводах вторичной обмотки при холостом ходе и номинальном первичном напряжении

$I_{1ном}, I_{2ном}$ - первичный и вторичный токи. Это токи полученные по номинальной мощности и номинальным напряжениям

Определение номинальных токов для однофазного трансформатора

$$I_{1ном} = \frac{S_{ном}}{U_{1ном}}; I_{2ном} = \frac{S_{ном}}{U_{2ном}}$$

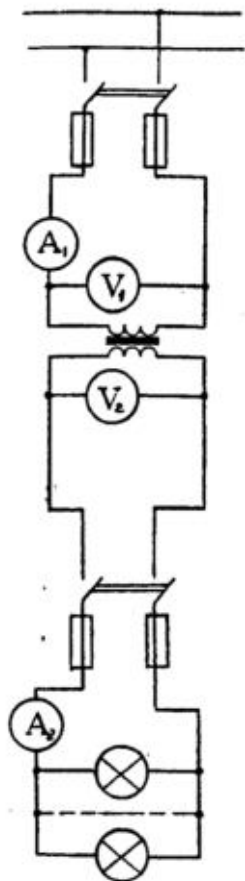
Трансформатор обычно работает с нагрузкой меньше номинальной, определяемой коэффициентом нагрузки $K_{нг}$. Если трансформатор с $S_{ном} = 400$ кВА отдает мощность $S_2 = 320$ кВА, то $K_{нг} = S_2/S_{ном} = 320/400 = 0,8$.

Значения отдаваемых трансформатором активной и реактивной мощностей зависят от коэффициента мощности потребителя $\cos\varphi_2$ например, при $S_{ном} = 400$ кВ А, $K_{нг} = 0,8$ и $\cos\varphi_2 = 0,85$ отдаваемая активная и реактивная мощности составят

$$P_2 = K_{нг} \cdot S_{ном} \cdot \cos\varphi_2 = 0,8 \cdot 400 \cdot 0,85 = 272 \text{ кВт},$$
$$Q_2 = K_{нг} \cdot S_{ном} \cdot \sin\varphi_2 = 0,8 \cdot 400 \cdot 0,53 = 169 \text{ кВАр}.$$

Пример расчета.

К электрической сети напряжением 220В необходимо подключить через понижающий однофазный трансформатор 5 ламп накаливания мощностью по 60 Вт каждая, рассчитанные на пониженное напряжение 24В. Коэффициент мощности ламп $\cos\varphi=1$. Используя таблицу 6, подобрать необходимый для работы трансформатор. Определить рабочие и номинальные токи обмоток трансформатора, коэффициент трансформации и коэффициент нагрузки. Потерями в трансформаторе пренебречь. Схема подключения ламп к трансформатору изображена на рисунке 1.



Рисунок

1.

1. ОСМ - 0,25 -трансформатор однофазный, сухой, многоцелевого назначения, номинальная мощность 0,250 кВ А. Номинальное первичное напряжение может быть 220, 380 или 660 В. Номинальное вторичное напряжение может быть 12, 24, 36, 42, 110 или 220 В.

2. Возможно сочетание любого первичного напряжения с любым вторичным.

Р е ш е н и е.

1. Активная мощность, отдаваемая трансформатором нагрузке (лампам накаливания)

$$P_2 = P_{\text{лампы}} \cdot n_{\text{лампы}} = 60 \cdot 5 = 300 \text{ Вт}$$

2. Так как нагрузка на трансформатор чисто активная ($\cos \varphi_2 = 1$), то поэтому полная мощность трансформатора должна быть не менее

$$S_2 = \frac{P_2}{\cos \varphi_2} = \frac{300}{1} = 300 \text{ ВА}$$

Пользуясь таблицей 8 выбираем трансформатор ОСМ-0,4, с номинальной мощностью 400ВА. Его технические данные:

Номинальная мощность $S_{\text{ном}} = 400 \text{ ВА}$

Номинальное первичное напряжение трансформатора $U_{1\text{ном}} = 220 \text{ В}$.

Номинальное вторичное напряжение $U_{2\text{ном}} = 24 \text{ В}$.

Ток холостого хода $I_0 = 20\%$ от $I_{1\text{ном}}$

Напряжение короткого замыкания $U_k = 4,5\%$ от $U_{1\text{ном}}$

3. Так как потерями в трансформаторе пренебрегаем, то коэффициент трансформатора

$$K = U_{1\text{ном}} / U_{2\text{ном}} = 220 / 24 = 9,17$$

4. Номинальный ток в первичной, обмотке трансформатора

$$I_{1\text{ном}} = S_{\text{ном}} / U_{1\text{ном}} = 400 / 220 = 1,82 \text{ А},$$

номинальный ток во вторичной обмотке трансформатора

$$I_{2\text{ном}} = S_{\text{ном}} / U_{2\text{ном}} = 400 / 24 = 16,7 \text{ А}$$

5. Коэффициент нагрузки

$$K_{\text{нз}} = S_2 / S_{\text{ном}} = \frac{S_2}{S_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi_2} = \frac{300}{400 \cdot 1} = 0,75$$

6. Рабочие токи в обмотках трансформатора при фактической нагрузке в первичной обмотке:

$$I_1 = K_{из} \cdot I_{ном} = 0,75 \cdot 1,82 = 1,36 \text{ А,}$$

во вторичной обмотке:

$$I_2 = K_{из} \cdot I_{2ном} = 0,75 \cdot 16,7 = 12,5 \text{ А.}$$

Задание. По аналогии с приведенным примером рассчитать основные параметры трансформатора. Выбор трансформатора и параметров для расчета осуществлять из таблицы 1 по вариантам.

Таблица 1.

Тип трансформатора	Номинальная мощность S, кВА	Номинальное напряжение		Ток холостого хода I ₀ , %	Напряжение короткого замыкания U _к , %
		первичное U _{1ном} , В	вторичное U _{2ном} , В		
ОСМ – 0,063 1 вариант	0,063	220, 360, 660	12, 24, 36, 42, 110, 220	24	12,0
ОСМ -0,100 2 вариант	0,100			24	9,0
ОСМ -0,160 3 вариант	0,160			23	7,0
ОСМ -0,250 4 вариант	0,250			22	5,5
ОСМ -0,400 5 вариант	0,400			20	4,5

Контрольные вопросы

1. Что такое трансформатор?
2. На каком законе физики основана работа трансформатора?
3. Каково назначение трансформатора?
4. Из каких частей состоит трансформатор?
5. Как связаны обмотки трансформатора между собой?
6. Каково назначение сердечника трансформатора?
7. Почему сердечник трансформатора изготавливается из отдельных изолированных листов электротехнической стали?
8. Почему сердечник трансформатора делается стальным?
9. Что такое коэффициент трансформации трансформатора?
10. Что такое номинальное напряжение обмотки?

Критерии оценивания:

Отметка «5»: работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности действий:

- проводит работу в условиях, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов;
- умеет правильно выполнять расчет основных параметров трансформатора;
- соблюдает правила техники безопасности;
- в ответе правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления;
- правильно выполняет анализ ошибок.

Отметка «4»: работа выполнена правильно с учетом 1-2 мелких погрешностей или 2-3 недочетов, исправленных самостоятельно по требованию учителя.

Отметка «3»: работа выполнена правильно не менее чем наполовину, допущены 1-2 погрешности или одна грубая ошибка.

Отметка «2»: допущены две (и более) грубые ошибки в ходе работы, которые учащийся не может исправить даже по требованию учителя.

Лабораторная работа №3

Тема: Измерение различных электрических параметров прямыми и косвенными методами.

Цель работы: по показаниям приборов научиться находить мощности и сопротивления электрических приборов и элементов.

Методическое обеспечение

1. Гальперин М. В. Электротехника и электроника. Учебник.- М.: "Профессиональное образование" – 2012г. 408стр.;
2. Методические указания по выполнению практических работ.

Условия и исходные данные

1. Выполнить измерения параметров заданной цепи.
2. По выполненным измерениям рассчитать производные параметры заданной электрической цепи.
3. Проанализировать выполненную работу и сделать соответствующие выводы.

Методические указания

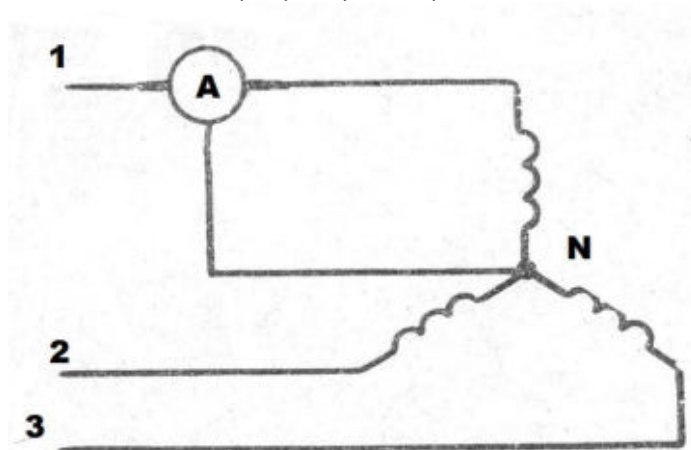
Задание: 1. По результатам измерений найти мощность, потребляемую трансформатором.
2. По результатам измерений найти сопротивления резисторов в приведенной схеме.

3. Ответить на контрольные вопросы:

- а) законы Кирхгофа;
 - б) закон Ома для участка цепи.
3. Сделать соответствующие выводы по работе.

Ход работы.

1. Найти мощность трехфазного трансформатора, соединенного звездой, с симметричной нагрузкой, если известно, что его КПД составляет 94%, а включен он в питающую сеть с номинальным напряжением 380 В. При различных режимах его работы, потребляемые им токи равны соответственно 150, 98, 102, 44 и 0, 5А.



т.к. известно, что трехфазная цепь нагружена симметрично, то достаточно измерить токи одной из фаз, вычислить по формуле потребляемую мощность:

$$P = \sqrt{3}UI \cos \varphi$$

2. Нахождение сопротивлений. На приведенных схемах (рис2,3) имеются ряд сопротивлений (R_x), которые посредством ключей коммутируются в измеряемую цепь. Амперметр и вольтметр, имеющиеся в цепи показывают некоторые значения токов и напряжений, которые, в зависимости от очередности включения приборов в цепь, согласно законов Кирхгофа, из-за своих внутренних сопротивлений не будут отражать действительные токи и напряжения на исследуемых сопротивлениях (R_x).

Найти сопротивления (R_{x1-5}) по показаниям амперметра и вольтметра, включенных различными способами (рис2,3). Ток, показанный амперметром I_x , напряжение, показанное вольтметром U_x , внутреннее сопротивление амперметра $r_a = 0,002$ Ом, а внутреннее сопротивление вольтметра $r_b = 2$ КОм.

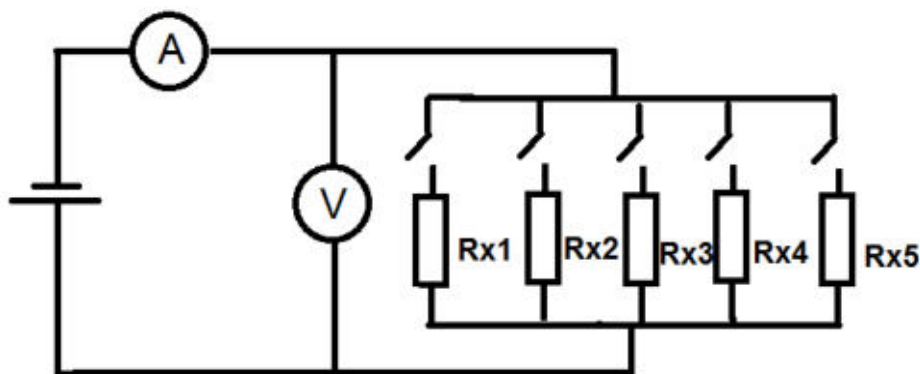


Рис.2.

Схема рис. 1 – ток, показанный амперметром будет равен току проходящему через измеряемые элементы: $I_x = I$.

Показания приборов:

$$I_{x1} = 1,2A, \quad I_{x2} = 0,7A, \quad I_{x3} = 0,4A, \quad I_{x4} = 2A, \quad I_{x5} = 1,4A.$$

$$U_{x1} = 12B, \quad U_{x1} = 4B, \quad U_{x1} = 1,5B, \quad U_{x1} = 24B, \quad U_{x1} = 16B.$$

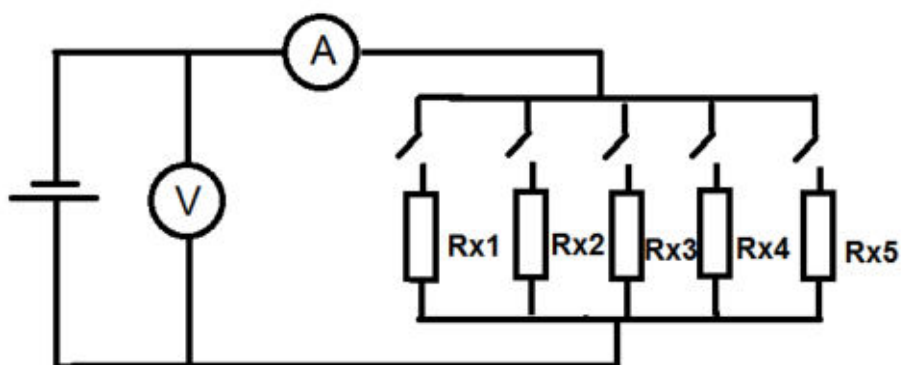


Рис.3.

Схема рис. 2 – напряжение показанное вольтметром будет соответствовать напряжению на измеряемых резисторах: $U_x = U$.

Показания приборов:

$$I_{x1} = 0,5A, \quad I_{x2} = 0,8A, \quad I_{x3} = 0,4A, \quad I_{x4} = 1,2A, \quad I_{x5} = 1,9A.$$

$$U_{x1} = 1,5B, \quad U_{x1} = 4B, \quad U_{x1} = 1,35B, \quad U_{x1} = 12B, \quad U_{x1} = 24B.$$

Критерии оценивания:

Отметка «5»: работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности действий:

- проводит работу в условиях, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов;
- умеет правильно выполнять расчет основных параметров трансформатора;
- соблюдает правила техники безопасности;
- в ответе правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления;
- правильно выполняет анализ ошибок.

Отметка «4»: работа выполнена правильно с учетом 1-2 мелких погрешностей или 2-3 недочетов, исправленных самостоятельно по требованию учителя.

Отметка «3»: работа выполнена правильно не менее чем наполовину, допущены 1-2 погрешности или одна грубая ошибка.

Отметка «2»: допущены две (и более) грубые ошибки в ходе работы, которые учащийся не может исправить даже по требованию учителя.

Лабораторная работа №4

Тема: Расширение пределов измерения вольтметра и амперметра.

Цель работы: научиться выбирать шунты и добавочные сопротивления для расширения пределов измерения при измерениях силы тока и напряжения, определять их параметры.

Методическое обеспечение

1. Гальперин М. В. Электротехника и электроника. Учебник.- М.: "Профессиональное образование" – 2012г. 408стр.;

2. Методические указания по выполнению практических работ.

Условия и исходные данные

Задание: определить параметры шунтов для измерения силы тока и добавочных сопротивлений для измерения напряжения, ответить на контрольные вопросы:

- способы расширения пределов измерения при измерении силы тока и напряжения;
- правила включения вольтметров и амперметров в измеряемые цепи;
- устройство и принцип действия магнитно-электрических измерительных приборов;

сделать соответствующий вывод по работе.

Ход работы:

1. Измерение силы тока.

-включая поочередно нагрузки, измеряем токи напрямую и с шунтом, по результатам измерений рассчитываем параметры шунта, результаты измерений и вычислений заносим в таблицу 1.

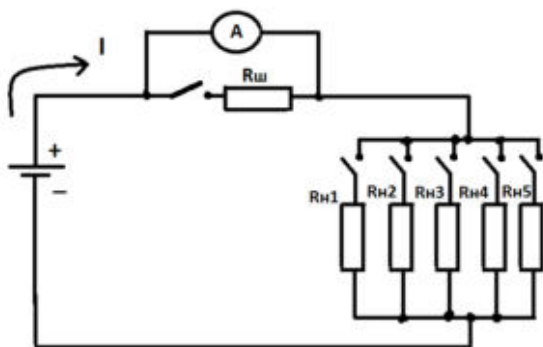


Таблица 1

п	№п/	I_a, A	$r_a, Ом$	n	I, A	$r_{ш}, Ом$
	1 ($R_{н1}$)	1,2	0,005		9,6	
	2 ($R_{н2}$)	0,8	0,005		6,4	
	3 ($R_{н3}$)	2,4	0,005		19,2	
	4 ($R_{н4}$)	0,5	0,005		4	
	5 ($R_{н5}$)	1,6	0,005		12,8	

2. Измерение напряжения.

-включая поочередно нагрузки, измеряем напряжения напрямую и с добавочными сопротивлениями, по результатам измерений рассчитываем параметры добавочных сопротивлений, результаты измерений и вычислений заносим в таблицу 2.

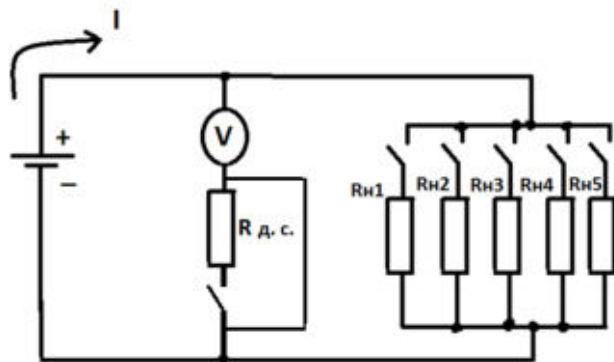


Таблица 2

п	№п/	$U_B, В$	$r_B, Ом$	n	$U, В$	$R_{д.с.}, Ом$
	1 ($R_{н1}$)	12	1000		48	
	2 ($R_{н2}$)	9	1000		36	
	3 ($R_{н3}$)	6	1000		24	
	4 ($R_{н4}$)	1,5	1000		6	
	5 ($R_{н5}$)	3	1000		12	

Контрольные вопросы

1. Как расширить пределы измерения магнитоэлектрических амперметров и вольтметров?
2. Как расширяют пределы измерения электромагнитных амперметров и вольтметров?
3. Как рассчитать сопротивление шунта?
4. Как рассчитать величину добавочного сопротивления?
5. Как рассчитать составляющие полной мощности при измерении методом трех приборов?

Критерии оценивания:

Отметка «5»: работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности действий:

- проводит работу в условиях, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов;
- умеет правильно выполнять измерения параметров электрических;
- умеет правильно выполнять расчет основных параметров электрических цепей;
- соблюдает правила техники безопасности;
- в ответе правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления;
- правильно выполняет анализ ошибок.

Отметка «4»: работа выполнена правильно с учетом 1-2 мелких погрешностей или 2-3 недочетов, исправленных самостоятельно по требованию учителя.

Отметка «3»: работа выполнена правильно не менее чем наполовину, допущены 1-2 погрешности или одна грубая ошибка.

Отметка «2»: допущены две (и более) грубые ошибки в ходе работы, которые учащийся не может исправить даже по требованию учителя.

Практическая работа №13.

Тема: Исследование устройства, конструкции и принципа действия двигателей постоянного тока.

Цель работы: рассмотреть устройство и принцип работы (ДПТ), их основные характеристики и параметры

Методическое обеспечение

1. Гальперин М. В. Электротехника и электроника. Учебник.- М.: "Профессиональное образование" – 2012г. 408стр.;

2. Методические указания по выполнению практических работ.

Условия и исходные данные

1. Рассмотреть теоретические данные.
2. Рассмотреть характеристики и параметры двигателей постоянного тока.
3. Письменно ответить на контрольные вопросы.

Методические указания

Задание:

1. Рассмотреть теоретические сведения.
2. Письменно ответить на следующие вопросы:
 - а) описание устройства и принципа работы ДПТ;
 - б) основные параметры ДПТ;
 - в) основные характеристики ДПТ.
3. Сделать соответствующий вывод по работе.

Теоретические сведения.

УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ ДПТ

Двигатели постоянного тока до сих пор находят широкое применение, хотя они значительно дороже и менее надёжны, чем асинхронные и синхронные. **Преимущество ДПТ** - возможность плавного и экономичного регулирования в широком диапазоне частоты вращения вала и создания большого пускового момента при относительно небольшом пусковом токе. Поэтому их широко используют в электротранспорте, для привода прокатных станков, металлорежущих станков и т. д. Двигатели небольшой мощности применяют во многих системах автоматики.

Недостаток ДПТ - наличие щёточно-коллекторного аппарата, который требует тщательного ухода в эксплуатации и снижает надёжность машины.

Основными частями двигателя постоянного тока являются **статор** и **якорь**, отдалённые друг от друга воздушным зазором (0,3...0,5 мм).

Статор - это стальной цилиндр 1, внутри которого крепятся **главные полюса** 2 с полюсными наконечниками 3, образуя вместе с корпусом магнитопровод машины (рис.1, а). На главных полюсах расположены последовательно соединённые катушки **обмотки возбуждения** 4, предназначенные для создания неподвижного магнитного потока $\Phi_{\text{в}}$ машины. Концы Ш1 и Ш2

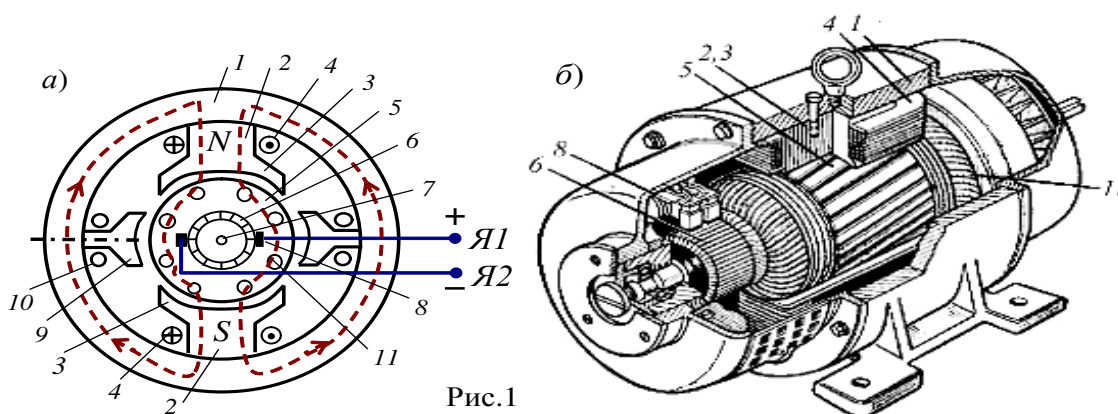


Рис.1

обмотки возбуждения (ОВ) выводят на клеммный щиток, расположенный на корпусе машины. Помимо основных полюсов внутри статора располагают **дополнительные полюса** с **обмотками** 10, которые служат для уменьшения искрения в скользящих контактах (между щётками и коллектором).

Якорь (подвижная часть машины)- это цилиндр 5, набранный из листов электротехнической стали, снаружи которого имеются пазы, в которые уложена **якорная обмотка** 11 (рис.1). Отводы обмотки якоря припаивают к пластинам коллектора 6, расположенного на вращающемся в подшипниках вала 7. **Коллектор** представляет собой цилиндр, набранный из медных пластин, изолированных друг от друга и от вала и закреплённых (по технологии "ласточкина хвоста") на стальной втулке. Коллектор играет роль механического выпрямителя переменной ЭДС, индуктируемой в обмотке якоря.

К коллектору с помощью пружин прижимаются неподвижные **медно-графитовые щётки** 8, соединённые с клеммами Я1 и Я2 щитка. Образовавшиеся скользящие контакты дают возможность соединить вращающуюся обмотку якоря (ОЯ) с электрической цепью (снять выпрямленное напряжение с коллектора (генераторный режим) или соединить якорную обмотку с источником постоянного напряжения и распределить токи в стержнях ОЯ таким образом, чтобы их направления под разноименными полюсами были бы противоположными (двигательный режим)).

Суммарное сопротивление цепи якоря $R_{я} = 0,5 \dots 5$ Ом.

Часть машины, в которой индуктируется ЭДС, принято называть **якорем**, а часть машины, создающей основное магнитное поле (магнитный поток) – **индуктором**. В машинах постоянного тока якорем является ротор, а индуктором – статор.

В зависимости от того, как обмотка возбуждения включена относительно сети и якоря, различают МПТ **независимого** возбуждения (ОВ к якорю не подключена) и МПТ с **самовозбуждением**, которое подразделяется на параллельное, последовательное и смешанное. На рис. 2 приведены электрические схемы возбуждения указанных типов МПТ.

При подаче постоянного напряжения U_k зажимам ДПТ в обмотках возбуждения и якоря

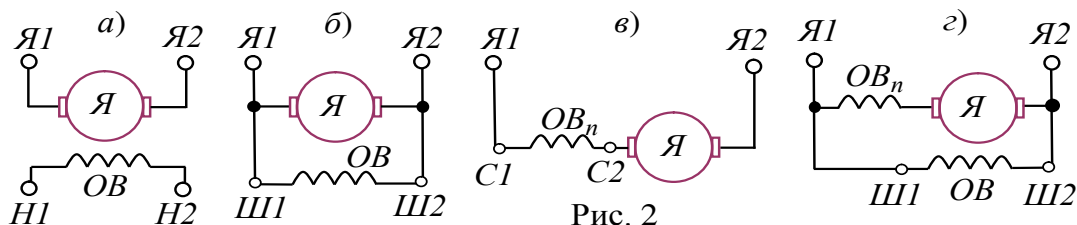


Рис. 2

протекают токи $I_{я}$ и I_{ϕ} (рис. 3). В результате взаимодействия тока якоря с магнитным потоком, созданным магнитодвижущей силой (МДС) обмотки возбуждения, возникает электромагнитный момент двигателя, под действием которого якорь приходит во вращение. Средний электромагнитный момент (в Нм), действующий на якорь ДПТ, по обмотке которого протекает ток $I_{я}$,

$$M = F_c d / 2, \quad (1) \text{ где } F_c - \text{среднее}$$

значение силы в ньютонах (Н), действующей на якорь, которая согласно закону Ампера возникает при взаимодействии тока якоря с магнитным потоком машины; d - диаметр якоря, м.

После преобразования выражения (1) получим

$$M = \frac{pN}{2\pi a} I_{я} \Phi_{\phi} = C_M I_{я} \Phi_{\phi}, \quad (2)$$

где p - число пар полюсов машины; a и N - число пар параллельных ветвей и число проводников обмотки якоря; Φ_{ϕ} - магнитный поток одного полюса статора, Вб; n - частота вращения якоря, об/мин; $C_M = pN/2\pi a$ - коэффициент момента, зависящий от конструктивных особенностей машины.

Из выражения (2) следует, что электромагнитный момент ДПТ прямо пропорционален произведению магнитного потока Φ_{ϕ} на ток якоря $I_{я}$.

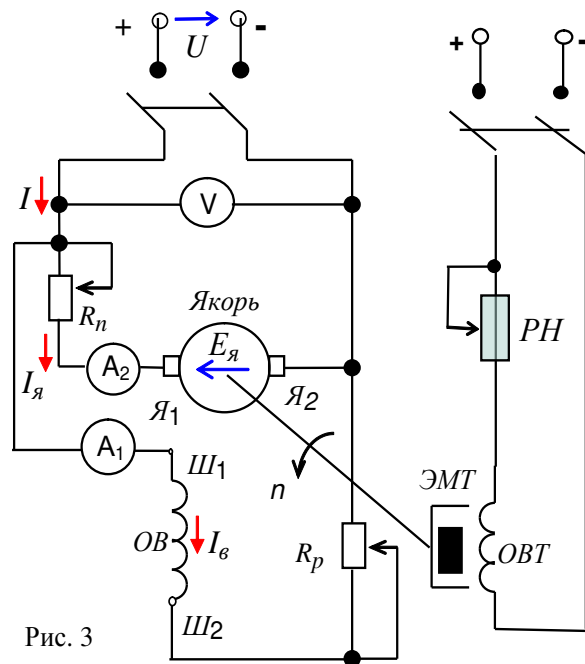


Рис. 3

При вращении якоря проводники якорной обмотки пересекают магнитные силовые линии потока Φ_{δ} , вследствие чего в проводниках индуцируется противоэлектродвижущая сила $E_{я} = C_E \Phi_{\delta} n$, где n - частота вращения якоря, об/мин; $C_E = \frac{pN}{60a}$ - конструктивный коэффициент противоЭДС. Для ДПТ параллельного возбуждения (рис. 20.1) ток якоря

$$I_{я} = \frac{U - E_{я}}{R_{я}} = \frac{U - C_E \Phi_{\delta} n}{R_{я}}, \quad (3)$$

где U - напряжение, подводимое к электродвигателю, В; $R_{я}$ - сопротивление обмотки якоря, Ом.

В начальный момент пуска ДПТ частота вращения якоря $n = 0$, поэтому противоэлектродвижущая сила в (3) $E_{я} = 0$.

Чтобы ограничить недопустимо большой пусковой ток $I_{ян}$ в обмотке якоря, последовательно с якорем включают **пусковой реостат** R_n .

В этом случае пусковой ток якоря

$$I_{ян} = \frac{U}{R_{я} + R_n}.$$

По мере разгона двигателя ЭДС якоря $E_{я}$ увеличивается и сопротивление пускового реостата необходимо уменьшить до нуля.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДПТ

Электромеханические свойства ДПТ определяются его **скоростной характеристикой** $n(I_{я})$, представляющей зависимость частоты вращения n от тока якоря $I_{я}$ при $U = const$ и $I_{\delta} = const$.

Уравнение естественной скоростной характеристики получают из выражения (3.3), решив его относительно частоты вращения

$$n = \frac{U - R_{я} I_{я}}{C_E \Phi_{\delta}} = \frac{U}{C_E \Phi_{\delta}} - \frac{R_{я}}{C_E \Phi_{\delta}} I_{я}. \quad (4)$$

С ростом нагрузки омическое падение напряжения $R_{я} I_{я}$ в цепи якоря возрастает, но при этом магнитный поток Φ_{δ} уменьшается вследствие реакции якоря, под которой понимают воздействие магнитного потока якоря $\Phi_{я}$ на магнитный поток Φ_{δ} , создаваемый током возбуждения. Так как падение напряжения в цепи якоря $R_{я} I_{я}$ обычно оказывает более сильное влияние на частоту вращения якоря n , чем реакция якоря, то скоростная характеристика $n = f(I_{я})$ имеет вид прямой падающей линии (см. рис. 5).

Важнейшей характеристикой ДПТ является **механическая характеристика** $n(M)$, представляющая зависимость частоты вращения якоря от развиваемого ДПТ момента при условии постоянства напряжения и сопротивлений в цепи якоря и в цепи возбуждения. Заменяв ток $I_{я}$ в (4) значением из выражения вращающего момента $M = C_M \Phi_{\delta} I_{я}$, получим уравнение естественной механической характеристики

$$n = \frac{U}{C_E \Phi_{\delta}} - M \frac{R_{я}}{C_E C_M \Phi_{\delta}^2} = n_0 - \Delta n, \quad (5)$$

Естественная механическая характеристика $n = f(M)$ двигателя постоянного тока параллельного возбуждения выведена при условии, что момент холостого

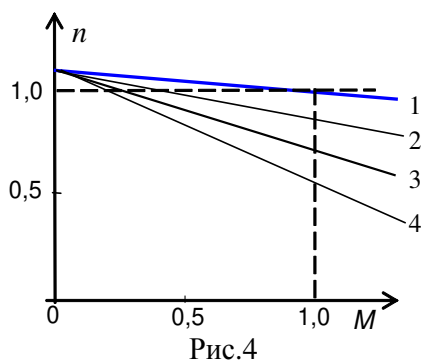


Рис.4

хода $M_0 = 0$, а электромагнитный момент примерно равен моменту на валу двигателя, т. е. $M_{эм} \approx M$, где n_0 - частота вращения якоря двигателя на холостом ходу при допущении, что омическое падение напряжения $R_я I_я$ в якоре отсутствует; Δn - уменьшение частоты вращения якоря двигателя при соответствующем увеличении момента вращения M ; C_E, C_M - конструктивные коэффициенты электродвигателя.

Если принять магнитный поток машины постоянным, т. е. $\Phi_в = const$ при токе возбуждения $I_{вн} = const$, то естественная механическая характеристика представляет собой прямую линию (см. кривую 1 на рис. 4), наклон которой по отношению к оси абсцисс определяется отношением $\Delta n / n_0 = R_я I_я / U$.

При переходе двигателя от режима холостого хода к номинальной нагрузке частота вращения якоря n снижается всего лишь на 2...8 %, т. е. двигатель постоянного тока параллельного возбуждения обладает **жесткой** скоростной характеристикой.

При введении пускового реостата в цепь якоря уменьшается жесткость механической характеристики (см. **реостатные** механические характеристики 2...4 на рис. 4), что приводит к снижению частоты вращения при определенном моменте сопротивления M_c на валу, создаваемом, например, определенным током электромагнитного тормоза ЭМТ (см. рис. 3).

Практическое значение имеют рабочие характеристики ДПТ.

Зависимость $M = f(I_я)$ называется **моментной характеристикой** двигателя. При установившемся режиме работы двигателя электромагнитный момент вращения M связан с током $I_я$ якоря уравнением

$$M_{эм} = C_M I_я \Phi_в = M_0 + M.$$

Момент холостого хода M_0 мало изменяется при нагрузке; он определяется мощностью P_0 , потребляемой двигателем из сети в режиме холостого хода. Так как отношение $M_0 / M_n \approx 3...8\%$, то,

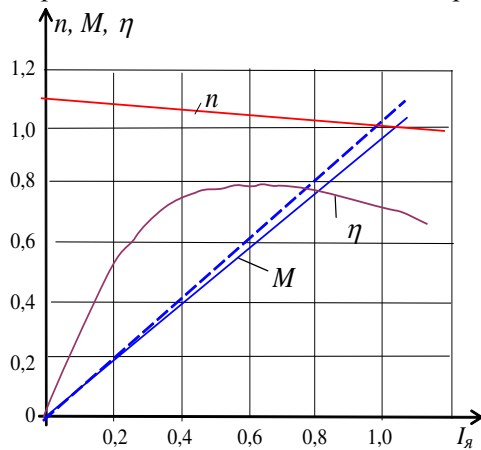


Рис. 5

пренебрегая моментом M_0 , можно принять $M_{эм} \approx M = C_M I_я \Phi_в$. При этом условии построение характеристики $M = f(I_я)$ начинают из начала координат (рис. 5). С увеличением тока $I_я$ в якорной обмотке магнитный поток $\Phi_в$ уменьшается за счет размагничивающего действия реакции якоря, а потому моментная характеристика растет медленнее, чем ток $I_я$, отклоняясь от прямой (пунктирной) линии (см. рис. 3).

Характеристика коэффициента полезного действия $\eta = f(I_я)$ нарастает очень быстро при росте нагрузки от нуля (режим холостого хода) до $0,5 I_{ян}$ и достигает наибольшего значения в пределах от 0,5 до 0,8 номинальной нагрузки, а затем медленно падает вследствие роста переменных потерь (см. рис. 5).

Критерии оценивания:

Отметка «5»: работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности действий:

- проводит работу в условиях, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов;
- знает устройство, конструкцию и принцип действия двигателей постоянного тока.
- соблюдает правила техники безопасности;
- в ответе правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления;
- правильно выполняет анализ ошибок.

Отметка «4»: работа выполнена правильно с учетом 1-2 мелких погрешностей или 2-3 недочетов, исправленных самостоятельно по требованию учителя.

Отметка «3»: работа выполнена правильно не менее чем наполовину, допущены 1-2 погрешности или одна грубая ошибка.

Отметка «2»: допущены две (и более) грубые ошибки в ходе работы, которые учащийся не может исправить даже по требованию учителя.

Практическая работа №14

Тема: Исследование устройства, конструкции и принципа действия генераторов постоянного тока.

Цель работы: ознакомиться с принципом действия генераторов постоянного тока и рассмотреть различные его основные характеристики.

Методическое обеспечение

1. Гальперин М. В. Электротехника и электроника. Учебник.- М.: "Профессиональное образование" – 2012г. 408стр.;
2. Методические указания по выполнению практических работ.

Условия и исходные данные

1. Рассмотреть теоретические сведения к работе.
2. Выполнить исследование ГПТ по соответствующим критериям.
3. Составить отчет по практической работе.
4. Письменно ответить на контрольные вопросы.

Методические указания

Теоритические сведения.

Принцип действия генератора основан на явлении электромагнитной индукции. Якорь генератора вращается каким-либо первичным двигателем. В обмотку возбуждения подается ток от возбудителя, создающий основное магнитное поле машины. При вращении якоря проводники его обмотки пересекают магнитное поле полюсов и, согласно закону электромагнитной индукции в якоре наводится ЭДС, действующее значение которой равно:

$$E = c \cdot n \cdot \Phi,$$

n - скорость вращения;

Φ - магнитный поток.

Напряжение на зажимах генератора определяется из уравнения электрического равновесия генератора:

$$U = E - I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}} \quad (2)$$

где $I_{\text{я}}$ - сила тока якоря;

E - ЭДС;

$R_{\text{я}}$ - сопротивление цепи якоря.

Работа генератора с самовозбуждением заключается в следующем: в магнитной системе машины (в полюсах, ярме) всегда имеется небольшой поток остаточного магнетизма ($\Phi_{\text{ост}}$), который при вращении якоря индуцирует в его обмотке небольшую ЭДС - $E_{\text{ост}}$. Под действием этой ЭДС в обмотке возбуждения возникает ток, который при согласованном присоединении обмотки возбуждения к обмотке якоря усиливает поток $\Phi_{\text{ост}}$, что в свою очередь повышает наводимую в якоре ЭДС и увеличивает ток возбуждения. Процесс возрастания ЭДС будет проходить до тех пор, пока напряжение U на клеммах обмотки якоря не достигнет вполне определенного значения, зависящего от параметров генератора.

Характеристики генератора постоянного тока

Работа генератора постоянного тока оценивается следующими основными характеристиками: - характеристикой холостого хода, внешней и регулировочной.

Характеристика холостого хода (рис.16): $E = f(I_{\text{в}})$, при $n = \text{const}$ и $I_{\text{н}} = 0$, т.е. нагрузка от генератора отключена.

Так как при холостом ходе генератора постоянного тока ЭДС создается магнитным потоком машины:

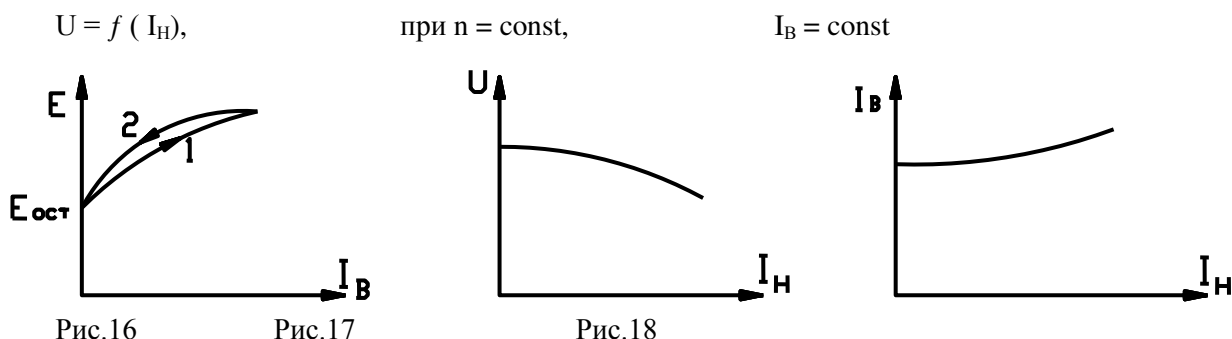
$$E = c \cdot n \cdot \Phi, \quad \text{при } n = \text{const}, \quad E = k \cdot \Phi,$$

кривая зависимости ЭДС от магнитного потока может рассматриваться как $\Phi = f(I_{\text{я}})$, т.е. кривая подобна кривой намагничивания магнитной цепи машины с характерными явлениями магнитного насыщения и остаточного магнетизма в сердечниках магнитной цепи. Характеристика генератора начинается от значения остаточной ЭДС - $E_{\text{ост}}$.

С увеличением тока возбуждения $I_{\text{в}}$, ЭДС генератора возрастает, т.к. возрастает магнитный поток. При приближении к состоянию магнитного насыщения полюсов рост ЭДС

замедляется. При обратном уменьшении тока возбуждения до 0 нисходящая ветвь кривой – 2 располагается несколько выше восходящей ветви – 1, что объясняется явлением гистерезиса магнитной цепи. С учетом этого явления изменять ток возбуждения в процессе снятия каждой ветви характеристики следует плавно в обоих направлениях.

Внешняя характеристика (рис.17). Внешняя характеристика генератора отражает зависимость напряжения на выходе (клеммах) генератора от тока нагрузки при неизменной скорости вращения и тока в цепи возбуждения (I_B):



В основе этой зависимости лежит уравнение электрического равновесия генератора (2). При увеличении нагрузки (R_H), а следовательно, и тока

якоря (I_A) напряжение на зажимах генератора постепенно уменьшается от трех причин: 1 - вследствие увеличения падения напряжения в цепи якоря;

2 - реакции якоря, оказывающей размагничивающее действие поля якоря на основное магнитное поле; 3 - при одновременном действии первых двух причин, что ведет к уменьшению тока возбуждения (I_B) (где $I_B = U/R_B$) и к

23

уменьшению E в якоре, а, следовательно, к дополнительному снижению напряжения.

Процентное снижение напряжения, возникающее при переходе от режима холостого хода генератора к режиму номинальной нагрузки, составляет 12-20%.

Регулировочная характеристика. Регулировочная характеристика устанавливает зависимость между током возбуждения и током нагрузки при неизменных оборотах и постоянном напряжении на зажимах генератора (рис.18): $I_B = f(I_H)$, при $U = \text{const}$, $n = \text{const}$,

где I_B – ток возбуждения;

I_H – ток нагрузки;

U – напряжение на клеммах генератора.

Регулировочная характеристика позволяет судить о том, каким образом и в каких пределах необходимо регулировать ток возбуждения, чтобы при изменении тока нагрузки напряжение на зажимах генератора оставалось неизменным.

Задание.

1. Ознакомится с теоритическими сведениями.
2. Составить отчет следующего содержания:
 - а) принцип действия генератора,
 - б) Характеристика холостого хода,
 - в) Внешняя характеристика,
 - г) Регулировочная характеристика.

Контрольные вопросы

1. Каково назначение статора генератора постоянного тока?
2. Почему якорь генератора постоянного тока выполнен из отдельных изолированных листов стали?
3. Какую роль в генераторе постоянного тока играет коллектор?
4. На каких законах физики основан принцип действия генератора?
5. Запишите основное уравнение генератора постоянного тока.
6. Запишите уравнение ЭДС, возникающей в генератора постоянного тока.
7. Запишите уравнение вращающего момента генератора постоянного тока.
8. Запишите скоростное уравнение генератора постоянного тока параллельного возбуждения.
9. С какой целью в цепь якоря генератора постоянного тока включают пусковой реостат?

10. Что такое кратность пускового тока?

Критерии оценивания:

Отметка «5»: работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности действий:

- проводит работу в условиях, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов;
- знает устройство, конструкцию и принцип действия генераторов постоянного тока;
- соблюдает правила техники безопасности;
- в ответе правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления;
- правильно выполняет анализ ошибок.

Отметка «4»: работа выполнена правильно с учетом 1-2 мелких погрешностей или 2-3 недочетов, исправленных самостоятельно по требованию учителя.

Отметка «3»: работа выполнена правильно не менее чем наполовину, допущены 1-2 погрешности или одна грубая ошибка.

Отметка «2»: допущены две (и более) грубые ошибки в ходе работы, которые учащийся не может исправить даже по требованию учителя.

Тема: Исследование устройства, конструкции и принципа действия асинхронных двигателей.

Цель работы: Рассмотреть устройство и принцип действия асинхронного двигателя, его основные характеристики.

Методическое обеспечение

1. Гальперин М. В. Электротехника и электроника. Учебник. - М.: "Профессиональное образование" – 2012г. 408стр.;

2. Методические указания по выполнению практических работ.

Условия и исходные данные

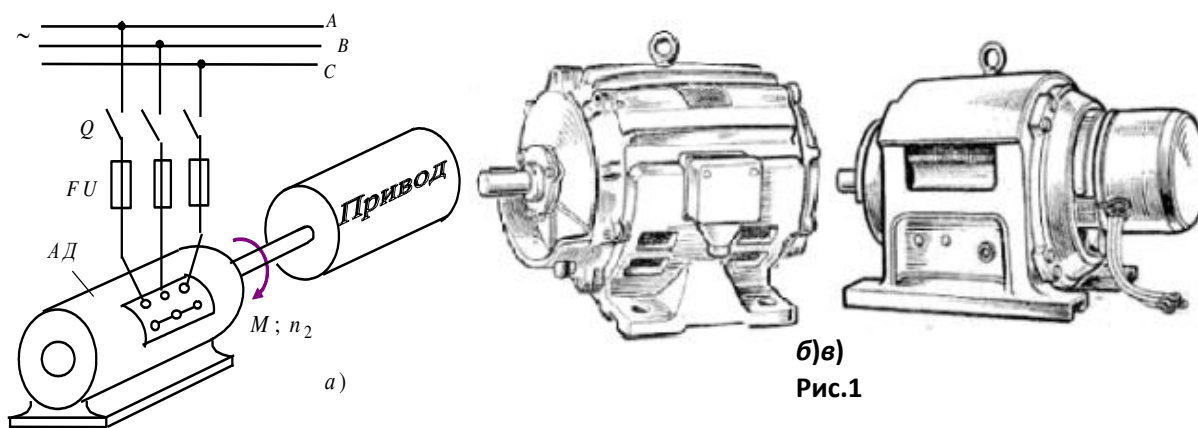
1. Рассмотреть теоретические сведения к работе.
2. Выполнить исследование АМПТ по соответствующим критериям.
3. Составить отчет по практической работе.
4. Письменно ответить на контрольные вопросы.

Методические указания

Теоритические данные.

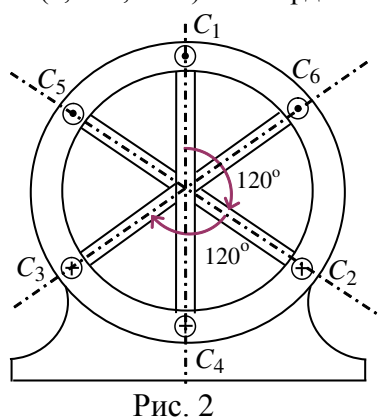
1. Устройство и принцип действия ад.

Наибольшее применение в промышленности получили трёхфазные асинхронные двигатели (рис. 1). Это объясняется тем, что они просты по конструкции, дешевы, надёжны в работе, имеют высокий КПД при номинальной нагрузке, выдерживают значительные перегрузки, не требуют сложных пусковых устройств.

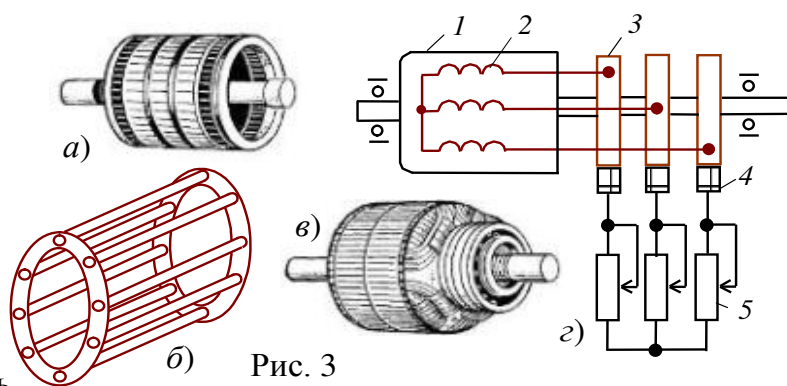


Наряду с преимуществами АД имеют ряд недостатков, основными из которых являются: низкий коэффициент мощности ($\cos\phi$) при неполной нагрузке (при холостом ходе $\cos\phi_0 = 0,2...0,3$); низкий КПД при малых нагрузках; малоудовлетворительные регулировочные характеристики.

Основными частями АД являются **статор** и **ротор**, отдалённые друг от друга воздушным зазором ($0,3...0,5$ мм). Их сердечники собраны из листов электротехнической стали. На внутренней части



поверхности статора и на внешней ротора выштампованы пазы, в которые уложены обмотки. Сердечник статора помещён в корпус, на котором закреплены клеммы статорной обмотки, состоящей из трёх самостоятельных обмоток, сдвинутых в пространстве на 120° (рис. 2). Сердечник ротора укреплён непосредственно на валу двигателя или на ступице, надетой на вал.



Обмотка ротора может быть

выполнена короткозамкнутой или трёхфазной аналогично обмотке статора. Короткозамкнутая обмотка ротора выполняется в виде "беличьего колеса", состоящего из стержней и замыкающих их на торцах колец (рис.3, а и б). У АД с фазным ротором (см. рис. 1, в) одни концы обмоток 2 ротора 1 соединяются с контактными кольцами 3, расположенными на валу двигателя, а другие - соединены в звезду (рис. 3, в и г). Контактные кольца 3 соединяются с контактами неподвижной части машины с помощью щёток 4 и щёткодержателей. К ним подключают **пусковой реостат 5**.

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

Рассмотрим принцип создания **магнитного поля** машины. Трёхфазная обмотка статора питается от трёхфазной системы напряжения (см. рис. 1, а) с фазными напряжениями $U_{1\phi}$. Так как три фазные обмотки (сдвинутые в пространстве одна относительно другой на 120° (рис. 2) и имеющие число витков w_1) замкнуты, то в них протекают токи i_1 , в результате создаются три МДС $F_1 = i_1 w_1$. Под действием этих трёх МДС образуется вращающееся магнитное поле, результирующий вектор магнитного потока которого $\Phi_p = 3/2 \Phi_m$, где Φ_m - магнитный поток, созданный фазной МДС F_1 .

Согласно закону электромагнитной индукции в обмотках статора и ротора наводятся ЭДС e_1 и e_2 . Цепь обмоток ротора всегда замкнута, поэтому в фазных обмотках ротора протекают токи i_2 , значения которых зависят от нагрузки. Согласно закону Ампера от взаимодействия токов ротора с вращающимся магнитным полем статора на валу двигателя возникает вращающий момент M , и, если он больше момента сопротивления M_c на валу, то ротор приходит во вращение. Согласно правилу Ленца токи ротора, как и создаваемое ими вращающееся магнитное поле, воздействуют на токи статорных обмоток и магнитный поток Φ_p машины, вызывая рост тока статора, чтобы скомпенсировать размагничивающее действие токов роторной обмотки.

Частота вращающегося магнитного поля статора (в об/мин) определяется по выражению:

$n_1 = 60 f / p$, где f_1 - частота питающего двигатель напряжения сети; p - число пар полюсов машины (в частности, три обмотки статора создают одну пару полюсов, шесть обмоток - две пары и т. д.).

Рассматриваемая машина называется **асинхронной** потому, что в ней частота вращения ротора n_2 не равна частоте вращающегося магнитного поля статора n_1 . Если бы эти частоты были равны, то магнитный поток статора был бы неподвижен относительно вращающегося ротора, и в обмотках ротора не индуцировались бы ЭДС, не было бы в них токов и не возникал бы вращающий момент на валу.

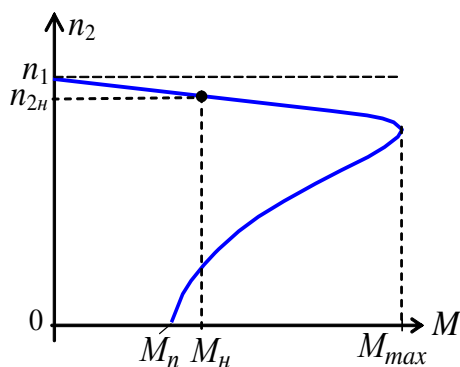
Разность частот вращения поля статора и ротора называют частотой скольжения $n_s = n_1 - n_2$, а её отношение к частоте n_1 - **скольжением** S , т. е.

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad \text{или (выраженное в процентах)} \quad S \% = \frac{n_1 - n_2}{n_1} 100 \%$$

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

2. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АД

Одной из основных характеристик АД является **механическая характеристика** $n_2 = f(M)$ - зависимость частоты вращения n_2 от момента M на валу двигателя (рис.4). Естественная механическая характеристика 1 (см. рис. 4 и рис. 5) асинхронного двигателя описывается уравнением



$$n_2 = n_1 (1 - S).$$

При увеличении нагрузки на валу скольжение S увеличивается, а частота вращения ротора снижается на 5...10%, т. е. механическая характеристика $n = f(M)$ АД является **жёсткой** (см. рис. 19.4);

Изменение направления вращения ротора АД - **реверсирование** - осуществляется переключением любых двух проводов трехфазной системы, питающей двигатель.

Вращающий момент АД пропорционален квадрату фазного напряжения $U_{1\phi}$ сети и зависит от скольжения S , т. е.

$$M = \frac{m_1 p}{2\pi f_1} \cdot \frac{U_{1\phi}^2 R_2' / S}{(R_1 + R_2' / S)^2 + X_K^2},$$

где m_1 - число фаз статора; $X_K = X_1 + X_2'$; R_1 , X_1 и R_2' , X_2' - активное, индуктивное сопротивление обмотки статора и приведенные сопротивления обмотки ротора.

При увеличении момента сопротивления M_c на валу увеличивается скольжение, что приводит к возрастанию вращающего момента до величины M_c . Скольжение, при котором момент достигает

максимального значения M_{\max} , называется критическим и находится по выражению $S_{\text{кр}} \approx R_2' / X_K$.

Величины критического скольжения $S_{\text{кр}}$ и пускового момента $M_{\text{п}}$ зависят от сопротивления цепи

ротора (см. кривые 2...4 на рис. 19.5), причем момент $M_{\text{п}}$ растёт с увеличением R_2' , достигая

M_{\max} при $R_2' + R_n' \approx X_K$, где R_n' - приведенное сопротивление пускового реостата, используемого в АД с фазным ротором для снижения пускового тока, увеличения пускового момента, обеспечения плавности пуска и регулирования частоты вращения ротора.

Контрольные вопросы

1. Каково назначение статора асинхронного двигателя?
2. Запишите формулу для расчета частоты вращения магнитного поля статора.
3. Почему ротор асинхронного двигателя набирается из отдельных изолированных листов стали?
4. В чем отличие короткозамкнутого ротора от фазного?
5. Что такое скольжение асинхронного двигателя?
6. При каком условии работа асинхронного двигателя устойчива?
7. Как рассчитать частоту тока в роторе?
8. Что понимают под номинальной мощностью двигателя?
9. Как рассчитать номинальную мощность двигателя?
10. Как конструктивно выполнена обмотка ротора короткозамкнутого асинхронного двигателя?

Критерии оценивания:

Отметка «5»: работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности действий:

- проводит работу в условиях, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов;
- знает устройство, принцип работы и особенности конструкции асинхронных двигателей;
- соблюдает правила техники безопасности;
- в ответе правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления;
- правильно выполняет анализ ошибок.

Отметка «4»: работа выполнена правильно с учетом 1-2 мелких погрешностей или 2-3 недочетов, исправленных самостоятельно по требованию учителя.

Отметка «3»: работа выполнена правильно не менее чем наполовину, допущены 1-2 погрешности или одна грубая ошибка.

Отметка «2»: допущены две (и более) грубые ошибки в ходе работы, которые учащийся не может исправить даже по требованию учителя.

Практическая работа №18

Тема: Исследование рабочих характеристик синхронного генератора переменного тока.

Цель работы: Научиться находить основные характеристики и рабочие параметры синхронного генератора.

Методическое обеспечение

1. Гальперин М. В. Электротехника и электроника. Учебник.- М.: "Профессиональное образование" – 2012г. 408стр.;
2. Методические указания по выполнению практических работ.

Условия и исходные данные

1. Ознакомиться с методикой расчета основных параметров и характеристик синхронного генератора переменного тока.
2. Выполнить расчет параметров и характеристик синхронного генератора переменного тока, согласно заданию.
3. Проанализировать проделанную работу и сделать соответствующие выводы.

Методические указания

Задание: Пользуясь исходными данными, определить основные рабочие характеристики и параметры заданного генератора, результаты вычислений занести в таблицу №1, ответить на контрольные вопросы, сделать соответствующий вывод по работе.

Параметры генератора: Синхронный генератор переменного тока вырабатывающий напряжение в 220В ($U_{ном.}=220В$), имеет сопротивление в обмотке статора 0,08Ом ($R_{ст.}=0,08Ом$), сопротивление обмотки ротора 55Ом ($R_{рот.}=55Ом$). Генератор нагружен на сопротивление $R=1,1$ Ом. КПД генератора $\eta=0,85$.

Определить:

1. Токи возбуждения, токи на роторе, токи на нагрузке ($I_{возб.}= U_{ном.}/ R_{ст.}$; $I_{рот.}= U_{ном.}/ R_{рот.}$; $I_{нагр.}= I_{возб.}+ I_{рот.}$);
2. ЭДС генератора ($E= U_{ном.}+ I_{нагр.} \cdot R_{ст.}$);
3. Полезную мощность генератора ($P_{пол.}= U_{ном.} \cdot I_{рот.}$);
4. Мощность привода, необходимую для вращения генератора ($P_{пр.}= P_{пол.}/ \eta$);
5. Электрические потери в обмотках ротора и статора ($P_{рот.}= I_{рот.}^2 \cdot R_{рот.}$; $P_{ст.}= I_{нагр.}^2 \cdot R_{ст.}$);
6. Суммарные потери в генераторе ($\Sigma P= P_{ст.}- P_{рот.}$);

Рисунок 1. Электрическая схема синхронного генератора переменного тока.

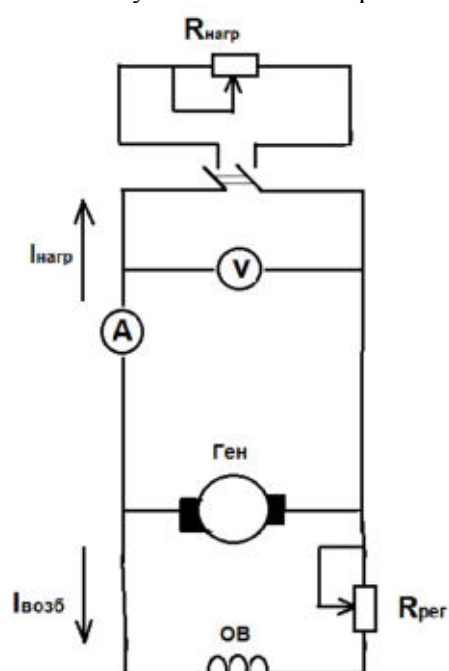


Таблица 1.

$U_{\text{ном.}}$	$R_{\text{ст.}}$	$R_{\text{рот.}}$	R	η	$I_{\text{возб.}}$	$I_{\text{рот.}}$	$I_{\text{нагр.}}$	E	$P_{\text{пол.}}$	$P_{\text{пр.}}$	$P_{\text{рот.}}$	$P_{\text{ст}}$	ΣP

Контрольные вопросы

1. Закон электромагнитной индукции.
2. Виды роторов синхронных машин переменного тока.
3. Способы возбуждения синхронных машин переменного тока.

Критерии оценивания:

Отметка «5»: работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности действий:

- проводит работу в условиях, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов;
- знает устройство, конструкцию и принцип действия СТПТ;
- соблюдает правила техники безопасности;
- в ответе правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления;
- правильно выполняет анализ ошибок.

Отметка «4»: работа выполнена правильно с учетом 1-2 мелких погрешностей или 2-3 недочетов, исправленных самостоятельно по требованию учителя.

Отметка «3»: работа выполнена правильно не менее чем наполовину, допущены 1-2 погрешности или одна грубая ошибка.

Отметка «2»: допущены две (и более) грубые ошибки в ходе работы, которые учащийся не может исправить даже по требованию учителя.

Практическая работа №19

Тема: Исследование устройства, конструкции и принципа действия синхронных генераторов переменного тока.

Цель работы: Знакомство с устройством, принципом действия и основными характеристиками синхронного генератора.

Методическое обеспечение

1. Гальперин М. В. Электротехника и электроника. Учебник.- М.: "Профессиональное образование" – 2012г. 408стр.;

2. Методические указания по выполнению практических работ.

Условия и исходные данные

1. Ознакомиться теоретическими данными и общими сведениями.
2. Составить отчет по работе, дав ответы на контрольные вопросы.
3. Проанализировать проделанную работу и сделать соответствующие выводы.

Методические указания

Задание: 1. Ознакомиться теоретическими данными и общими сведениями.

2. Составить отчет по работе, дав ответы на следующие вопросы:

- а) Определение синхронной машины;
 - б) Описать устройство и принцип действия синхронных генераторов (с наглядным схематическим изображением);
 - в) Разновидности роторов генераторов, краткое описание конструкции и назначения тех или иных роторов;
 - г) Формула действующего значения ЭДС генератора с её описанием;
 - д) Основные характеристики генераторов (их уравнения и графические зависимости).
3. Сделать соответствующий вывод о проделанной работе.

Общие сведения о синхронных машинах.

Синхронные машины - это машины переменного тока, частота вращения которых связана постоянным отношением с частотой сети, к которой они подключены. Синхронные машины могут работать в 3-х режимах - генераторами переменного тока на электрических станциях, двигателями, работающими при постоянной частоте вращения, компенсаторами - для регулируемого повышения $\cos\phi$ в сети.

Устройство и принцип действия синхронного генератора

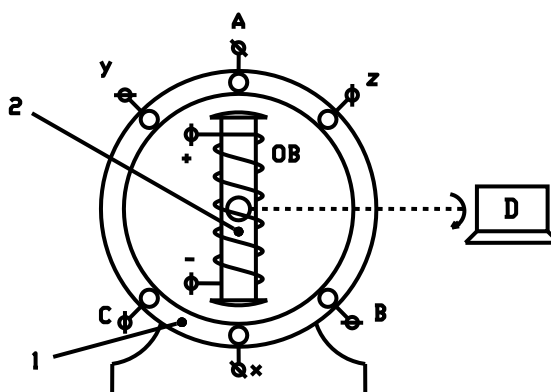


Рис. 1

Общие сведения

Синхронный генератор предназначен для преобразования механической энергии в энергию 3-х фазного переменного тока.

Синхронный генератор состоит (рис.1) из неподвижной части - статора (1), вращающейся части – ротора(2) и возбудителя. Статор носит название якоря, т.е. в его трехфазной обмотке наводится ЭДС. Эта обмотка укладывается в пазы стального цилиндрического сердечника, набранного из листовой электротехнической стали.

Ротор с обмоткой возбуждения является индуктором, в нем индуцируется основное магнитное поле машины. Он бывает двух типов: с явновыраженными полюсами (явнополюсный

ротор) и с неявновыраженными полюсами (неявнополюсный ротор). Явнополюсный ротор используется в тихоходных машинах и имеет большое число пар полюсов. Число пар полюсов определяется соотношением:

$$p = \frac{60 \cdot f}{n}$$

где f - частота сети (равна 50 Гц);

p - число пар полюсов.

Отсюда следует, что число пар полюсов обратно пропорционально скорости вращения ротора. Явнополюсный ротор представляет собой цилиндр, к которому крепятся магнитные полюса, с расположенной на них обмоткой возбуждения. Более простой неявнополюсный ротор представляет собой стальной цилиндр, в пазах которого расположена обмотка возбуждения.

Возбудитель – источник постоянного тока, чаще всего выпрямитель. Он служит для питания обмотки возбуждения, с которой он связан через контактные кольца и щетки, расположенные на валу ротора.

Принцип действия синхронного генератора

Если к обмотке ротора (обмотке возбуждения) синхронного генератора подвести постоянный ток от возбудителя и вращать ротор первичным двигателем, то в машине будет поддерживаться постоянное по величине вращающееся магнитное поле, которое, пересекая витки неподвижной 3-х фазной обмотки статора, будет наводить в них систему 3-х фазных ЭДС.

Скорость вращения магнитного поля и ротора одинаковы, поэтому машина называется синхронной.

Действующее значение ЭДС в каждой фазе статора синхронного генератора выражается формулой:

$$E = 4,44 \cdot k \cdot f \cdot \Phi_m \cdot W = c \cdot n \cdot \Phi,$$

где k - обмоточный коэффициент;

Φ - магнитный поток;

W - число витков;

c - константа;

n - скорость вращения.

При $(f, n) = \text{const}$ величина E согласно данному выражению определяется только величиной Φ , а следовательно, током возбуждения I_B .

В рабочем режиме синхронного генератора в отдельных фазах обмотки статора будут протекать фазные токи 3-х фазной системы.

В этих условиях система 3-х фазных токов статора создает вращающееся с постоянной скоростью $n = 60f/p$ магнитное поле. Это вторичное магнитное поле называется полем якоря.

Характеристики синхронного генератора

Характеристика холостого хода (рис. 2): $E = f(I_B)$, при разомкнутой внешней цепи т.е. $I_H = 0$, где E - ЭДС статора, I_B - ток возбуждения.

При холостом ходе синхронного генератора ЭДС создается магнитным потоком электромагнитов: $E = c \cdot n \cdot \Phi$. При $n = \text{const}$ ЭДС статора равна $E = k \cdot \Phi$, тогда кривая зависимости магнитного потока может рассматриваться как $\Phi = f(I_B)$, т.е. она подобна кривой намагничивания магнитной цепи машины с характерным отражением явления магнитного насыщения (рис. 2).

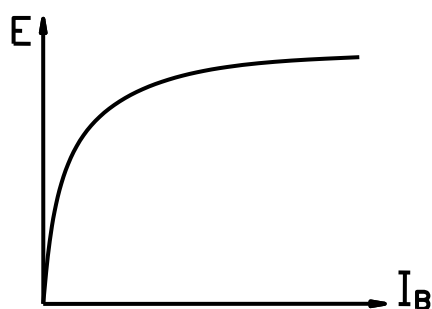


Рис. 2

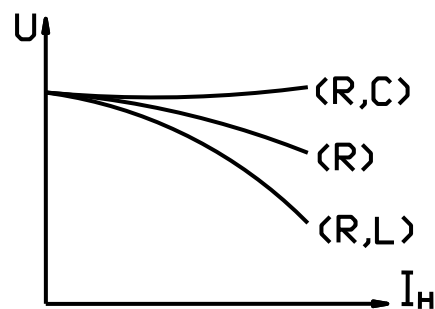


Рис. 3

Внешняя характеристика (рис.11): $U = f(I_{\text{я}})$ определяется основным уравнением генератора и снимается при изменении тока нагрузки (тока якоря), при постоянном токе возбуждения ($I_{\text{в}}$) и коэффициенте мощности нагрузки ($\cos\varphi_{\text{нагр}}$).

Внешняя характеристика описывается основным электрическим уравнением синхронного генератора

$$\vec{U} = E - I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}} - I_{\text{я}} \cdot X_{\text{я}},$$

где U – напряжение на обмотке якоря;
 E – ЭДС якоря;
 $I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}}$ и $I_{\text{я}} \cdot X_{\text{я}}$ соответственно активное и реактивное падение напряжения в якоря;
 $I_{\text{я}}$ – ток якоря, одновременно являющийся током нагрузки.

На внешнюю характеристику (рис.3), оказывает влияние реакция якоря. При возникновении токов в обмотке якоря возникает, помимо основного, дополнительное магнитное поле якоря (поле статора).

Реакцией якоря называется влияние магнитного поля статора на основное поле ротора. В генераторе эффект реакции якоря зависит не только от его величины, но и от характера нагрузки, т.е. от того, будет ли нагрузка генератора активной или реактивной (отстающей или опережающей).

Если нагрузка имеет активный характер (R), то основное магнитное поле машины под действием поля якоря почти не изменяется по величине. В случае активно-индуктивной нагрузки (R, L) поле якоря направлено против основного поля, при этом машина размагничивается, следовательно, уменьшается ЭДС якоря.

Если нагрузка имеет активно-емкостной (R, C) характер направление поля якоря совпадает с направлением основного поля, поле машины при этом усиливается, ЭДС возрастает.

Таким образом, по мере увеличения нагрузки, напряжение генератора будет существенно изменяться. Первой причиной изменения является падение напряжения в обмотке якоря ($I \cdot R$). Второй причиной является изменение значения ЭДС из-за реакции якоря. В случае емкостной нагрузки рост ЭДС за счет намагничивающей реакции якоря может быть значительнее, чем падение напряжения в якоря, в результате напряжение на обмотке якоря с увеличением тока нагрузки возрастает.

Регулировочная характеристика. Регулировочная характеристика представляет собой зависимость тока возбуждения от тока нагрузки при неизменных значениях напряжения на зажимах генератора, скорости вращения и $\cos\varphi$, т.е.:

$$I_{\text{в}} = f(I_{\text{н}}), \text{ при } U = \text{const}, \cos\varphi_{\text{нагр}} = \text{const} = \text{const},$$

где $I_{\text{в}}$ – ток возбуждения генератора, $I_{\text{н}}$ – ток нагрузки.

Практически при эксплуатации синхронных генераторов необходимо поддерживать на их зажимах неизменное напряжение независимо от величины и вида нагрузки.

Регулировочная характеристика показывает, как надо изменять ток в цепи возбуждения, чтобы с изменением нагрузки на генератор напряжение на его клеммах оставалось неизменным. Вид регулировочных кривых показан на рис. 4.

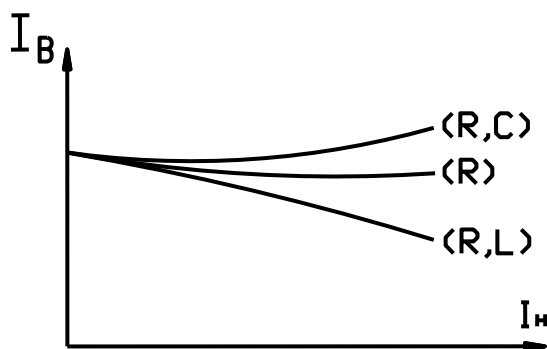


Рис. 4.

Контрольные вопросы

1. Описать устройство и принцип действия синхронных генераторов (с наглядным схематическим изображением);
2. Разновидности роторов генераторов, краткое описание конструкции и назначения тех или иных роторов;
3. Формула действующего значения ЭДС генератора с её описанием;
4. Основные характеристики генераторов (их уравнения и графические зависимости).

Критерии оценивания:

Отметка «5»: работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности действий:

- проводит работу в условиях, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов;
- знает устройство, конструкцию и принцип действия СДПТ;
- соблюдает правила техники безопасности;
- в ответе правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления;
- правильно выполняет анализ ошибок.

Отметка «4»: работа выполнена правильно с учетом 1-2 мелких погрешностей или 2-3 недочетов, исправленных самостоятельно по требованию учителя.

Отметка «3»: работа выполнена правильно не менее чем наполовину, допущены 1-2 погрешности или одна грубая ошибка.

Отметка «2»: допущены две (и более) грубые ошибки в ходе работы, которые учащийся не может исправить даже по требованию учителя.

Практическая работа №21

Тема: Проектирование фильтров на базе LC-элементов.

Цель работы: научиться проектировать простейшие электрические фильтры.

Методическое обеспечение

1. Гальперин М. В. Электротехника и электроника. Учебник.- М.: "Профессиональное образование" – 2012г. 408стр.;

2. Методические указания по выполнению практических работ.

Условия и исходные данные

1. Ознакомиться с теоретическими данными и методикой расчета элементов LC-фильтров.
2. Выполнить практически расчет элементов LC-фильтра, исходя из задания к работе.
3. Проанализировать полученные результаты и сделать соответствующие выводы.

Методические указания

1. Ознакомиться с теоретическими сведениями.
2. Выполнить следующие расчеты:

Рассчитать емкость и индуктивность LC - фильтра нижних и высоких частот, если частота среза должна быть $f_c=5,4$ кГц, активное характеристическое сопротивление фильтра $r=0,567$ кОм, характеристическое сопротивление фильтра $s=560$ кОм, начертить схемы фильтров.

3. Сделать соответствующие выводы по работе.

Теоретические сведения.

Фильтры электрических сигналов (далее – фильтры) предназначены для повышения помехоустойчивости различных электронных устройств и систем, в том числе и систем управления на их основе. Они широко применяются в автоматике, радиотехнике, измерительной технике, технике связи, электронной вычислительной технике и т.д. Фильтры обеспечивают выделения сигнала из помех при наличии отличий в их частотных спектрах.

Идеальные фильтры не ослабляют сигнал в полосе пропускания и полностью исключают прохождение сигнала в полосе задержания, обладая бесконечно большой крутизной амплитудно-частотной характеристики на частоте среза.

Аналогичные параметры реальных фильтров конечны и зависят как от применяемых электрорадиоэлементов (в дальнейшем – элементов схемы или просто - элементов), так и от схемотехнических решений.

Классифицируют фильтры в основном, учитывая:

- вид амплитудно-частотной характеристики (в зависимости от полосы пропускания и полосы задержания);
- структуру схемы (Г -, Т -, П - структуры и т.д.);
- применяемые элементы (RC - фильтры, LC - фильтры, кварцевые фильтры, электромеханические фильтры и т.д.);
- отсутствие или наличие в схеме фильтра источника энергии (пассивные и активные фильтры) и т.д.

По виду амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) фильтры подразделяются следующим образом:

- фильтры нижних частот (ФНЧ);
- фильтры верхних частот (ФВЧ);
- полосно-пропускающие фильтры (ППФ);
- полосно-заграждающие фильтры (ПЗФ).

Фильтры нижних частот пропускают сигналы с частотами ниже частоты среза и исключают прохождение сигналов с частотами выше частоты среза. (Частота среза – это частота, на которой происходит спад амплитуды выходного сигнала фильтра.)

Фильтры верхних частот пропускают сигналы с частотами выше частоты среза и исключают прохождение сигналов с частотами ниже частоты среза.

Полосно-пропускающие фильтры (полосовые фильтры, фильтры сосредоточенной селекции) пропускают сигналы с частотами в диапазоне между заданными частотами среза, исключая прохождение сигналов с частотами вне этого диапазона частот.

Полосно-заграждающие (режекторные) фильтры исключают прохождение сигналов с частотами в диапазоне между заданными частотами среза, пропуская сигналы с частотами вне этого диапазона частот.

Наиболее широкое применение нашли пассивные фильтры. Пассивные фильтры реализуются на основе пассивных элементов – резисторов, конденсаторов и катушек индуктивности. Такие фильтры просты в реализации, не требуют источников питания элементов фильтров, реализуются в широком диапазоне частот (от инфразвуковых частот до ультракоротковолнового диапазона радиочастот), обладают большим динамическим диапазоном.

Но при реализации пассивных фильтров следует учитывать, что на их элементах рассеивается энергия сигнала. Поэтому необходимо учитывать ослабление полезного сигнала в полосе пропускания пассивного фильтра, которое увеличивается при увеличении числа звеньев фильтра. При этом ослабление полезного сигнала в полосе пропускания больше у фильтров, реализованных на резисторах и конденсаторах, чем у фильтров, реализованных на катушках индуктивности и конденсаторах. Поэтому многозвенные пассивные фильтры реализуют в основном на катушках индуктивности и конденсаторах.

Структуры схем фильтров

По своей структуре схемы фильтры подразделяются на фильтры Г -, Т - и П - структур. Простейшим является фильтр Г - структуры (рисунок 1). Модель фильтра при этом состоит из двух схемных элементов Z_1 и Z_2 . Параметр Z обозначает сопротивление схемного элемента фильтра сигнальным токам.

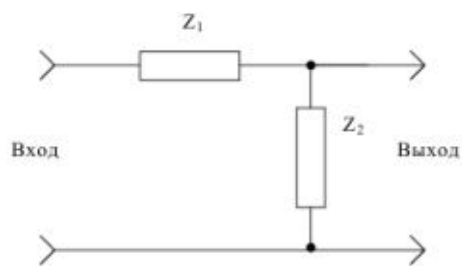


Рисунок 1 – Модель фильтра Г - структуры

Переход к другим структурам фильтров осуществляется за счет добавления в схему фильтра Г - структуры дополнительного элемента. Модель фильтра Т - структуры состоит из трех схемных элементов: двух элементов $Z_1/2$, и одного элемента Z_2 (рисунок 2).

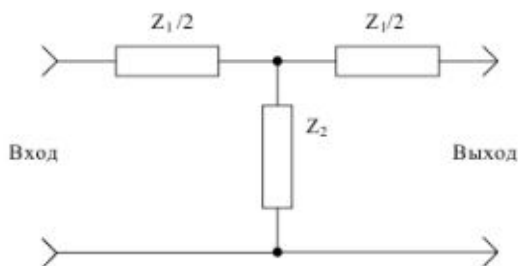


Рисунок 2 – Модель фильтра Т - структуры

При изменении схемы их соединения можно получить модель фильтра П - структуры (рисунок 3).

Модель фильтра П - структуры состоит из трех схемных элементов: одного элемента Z_1 и двух элементов $2Z_2$. Одно из отличий фильтров Т - и П - структур заключается в характере их входных и выходных сопротивлений и изменения их с частотой, что необходимо учитывать при проектировании конкретных электронных устройств.

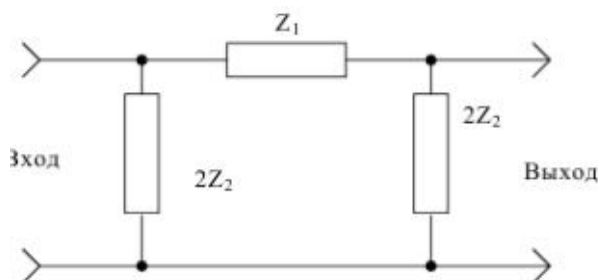


Рисунок 3 – Модель фильтра П - структуры

RC - фильтры нижних частот

Для реализации RC - фильтров нижних частот в качестве Z_1 используют резистор (R), а в качестве Z_2 используют конденсатор (C) (рисунок 1). Частота среза для фильтра рассчитывается по формуле:

$$(1) \quad f_c = \frac{1}{2pRC}, \text{ где } p - \text{называют активным характеристическим сопротивлением фильтра.}$$

Для ФНЧ Г - структуры номинальные величины параметров резистора и конденсатора получаются непосредственно из формулы (1). При реализации ФНЧ Т - и П - структур, номинальные величины параметров резисторов и конденсаторов в схеме определяют, учитывая коэффициенты номинальных величин схемных элементов относительно исходной Г - структуры для модели фильтра соответствующей структуры (рисунок 2, рисунок 3).

RC - фильтры верхних частот.

Для реализации RC - фильтров верхних частот в качестве Z_1 используют конденсатор (C), а в качестве Z_2 используют резистор (R) (рисунок 1). Частота среза при этом рассчитывается по формуле (1).

Определение номинальных величин параметров резисторов и конденсаторов для ФВЧ различных структур производится аналогично ФНЧ. То есть при реализации ФВЧ Т - и П - структур, номинальные величины параметров резисторов и конденсаторов в схеме определяют, учитывая коэффициенты номинальных величин схемных элементов относительно исходной Г - структуры для схемы фильтра соответствующей структуры (рисунок 2, рисунок 3).

LC - фильтры нижних частот

Для реализации LC - фильтров нижних частот в качестве Z_1 используют катушку индуктивности (L), а в качестве Z_2 используют конденсатор (C) (Рисунок 1). Частота среза для фильтра рассчитывается по формуле:

$$f_c = \frac{1}{p\sqrt{LC}}$$

$$L = \frac{c}{pf_c},$$

Индуктивность катушки фильтра: $L = \frac{c}{pf_c}$, где c - характеристическое сопротивление фильтра и является для такого типа фильтра постоянной величиной.

Емкость конденсатора фильтра: $C = \frac{I}{pf_c e}$.

LC - фильтры верхних частот

Для реализации LC - фильтров верхних частот в качестве Z1 используют конденсатор (C), а в качестве Z2 используют катушку индуктивности (L) (Рисунок 1). Частота среза для фильтра рассчитывается по формуле:

$$f_c = \frac{1}{4p\sqrt{LC}}$$

-индуктивность катушки фильтра: $L = \frac{e}{4pf_c}$,

-емкость конденсатора фильтра: $C = \frac{I}{4pf_c e}$.

Контрольные вопросы

1. Начертите схему Г-образного L-C фильтра.
2. Начертите схему П-образного L-C фильтра.
3. Какую роль играет фильтр в выпрямителе?
4. Как изменится частота пульсаций выпрямленного напряжения при подключении емкостного фильтра?
5. Как изменится амплитуда пульсаций выпрямленного напряжения при подключении емкостного фильтра?

Критерии оценивания:

Отметка «5»: работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности действий:

- проводит работу в условиях, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов;
- умеет выполнять расчет и проектирование индуктивно-ёмкостных фильтров;
- соблюдает правила техники безопасности;
- в ответе правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления;
- правильно выполняет анализ ошибок.

Отметка «4»: работа выполнена правильно с учетом 1-2 мелких погрешностей или 2-3 недочетов, исправленных самостоятельно по требованию учителя.

Отметка «3»: работа выполнена правильно не менее чем наполовину, допущены 1-2 погрешности или одна грубая ошибка.

Отметка «2»: допущены две (и более) грубые ошибки в ходе работы, которые учащийся не может исправить даже по требованию учителя.

Практическая работа №22

Тема: Проектирование фильтров на базе RC-элементов.

Цель работы: научиться проектировать простейшие электрические фильтры.

Методическое обеспечение

1. Гальперин М. В. Электротехника и электроника. Учебник.- М.: "Профессиональное образование" – 2012г. 408стр.;
2. Методические указания по выполнению практических работ.

Условия и исходные данные

1. Ознакомиться с теоретическими данными и методикой расчета элементов RC-фильтров.
2. Выполнить практически расчет элементов RC-фильтра, исходя из задания к работе.
3. Проанализировать полученные результаты и сделать соответствующие выводы.

Методические указания

1. Ознакомиться с теоретическими сведениями.
2. Выполнить следующие расчеты:

Рассчитать емкость конденсатора для RC - фильтра нижних частот, если известно, что резистор имеет сопротивление $R=2,74$ кОм, частота среза должна быть $f_c=2,4$ кГц, активное характеристическое сопротивление фильтра $r=34,5$ мОм, начертить схему фильтра.

Теоретические сведения.

Фильтры электрических сигналов (далее – фильтры) предназначены для повышения помехоустойчивости различных электронных устройств и систем, в том числе и систем управления на их основе. Они широко применяются в автоматике, радиотехнике, измерительной технике, технике связи, электронной вычислительной технике и т.д. Фильтры обеспечивают выделения сигнала из помех при наличии отличий в их частотных спектрах.

Идеальные фильтры не ослабляют сигнал в полосе пропускания и полностью исключают прохождение сигнала в полосе задержания, обладая бесконечно большой крутизной амплитудно-частотной характеристики на частоте среза.

Аналогичные параметры реальных фильтров конечны и зависят как от применяемых электрорадиоэлементов (в дальнейшем – элементов схемы или просто - элементов), так и от схемотехнических решений.

Классифицируют фильтры в основном, учитывая:

- вид амплитудно-частотной характеристики (в зависимости от полосы пропускания и полосы задержания);
- структуру схемы (Г -, Т -, П - структуры и т.д.);
- применяемые элементы (RC - фильтры, LC - фильтры, кварцевые фильтры, электромеханические фильтры и т.д.);
- отсутствие или наличие в схеме фильтра источника энергии (пассивные и активные фильтры) и т.д.

По виду амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) фильтры подразделяются следующим образом:

- фильтры нижних частот (ФНЧ);
- фильтры верхних частот (ФВЧ);
- полосно-пропускающие фильтры (ППФ);
- полосно-заграждающие фильтры (ПЗФ).

Фильтры нижних частот пропускают сигналы с частотами ниже частоты среза и исключают прохождение сигналов с частотами выше частоты среза. (Частота среза – это частота, на которой происходит спад амплитуды выходного сигнала фильтра.)

Фильтры верхних частот пропускают сигналы с частотами выше частоты среза и исключают прохождение сигналов с частотами ниже частоты среза.

Полосно-пропускающие фильтры (полосовые фильтры, фильтры сосредоточенной селекции) пропускают сигналы с частотами в диапазоне между заданными частотами среза, исключая прохождение сигналов с частотами вне этого диапазона частот.

Полосно-заграждающие (режекторные) фильтры исключают прохождение сигналов с частотами в диапазоне между заданными частотами среза, пропуская сигналы с частотами вне этого диапазона частот.

Наиболее широкое применение нашли пассивные фильтры. Пассивные фильтры реализуются на основе пассивных элементов – резисторов, конденсаторов и катушек индуктивности. Такие фильтры просты в реализации, не требуют источников питания элементов фильтров, реализуются в широком диапазоне частот (от инфразвуковых частот до ультракоротковолнового диапазона радиочастот), обладают большим динамическим диапазоном.

Но при реализации пассивных фильтров следует учитывать, что на их элементах рассеивается энергия сигнала. Поэтому необходимо учитывать ослабление полезного сигнала в полосе пропускания пассивного фильтра, которое увеличивается при увеличении числа звеньев фильтра. При этом ослабление полезного сигнала в полосе пропускания больше у фильтров, реализованных на резисторах и конденсаторах, чем у фильтров, реализованных на катушках индуктивности и конденсаторах. Поэтому многозвенные пассивные фильтры реализуют в основном на катушках индуктивности и конденсаторах.

Структуры схем фильтров

По своей структуре схемы фильтры подразделяются на фильтры Г -, Т - и П - структур. Простейшим является фильтр Г - структуры (рисунок 1). Модель фильтра при этом состоит из двух схемных элементов Z_1 и Z_2 . Параметр Z обозначает сопротивление схемного элемента фильтра сигнальным токам.

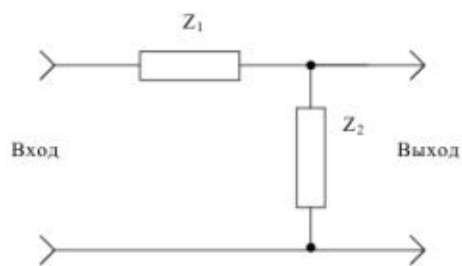


Рисунок 1 – Модель фильтра Г - структуры

Переход к другим структурам фильтров осуществляется за счет добавления в схему фильтра Г - структуры дополнительного элемента. Модель фильтра Т - структуры состоит из трех схемных элементов: двух элементов $Z_1/2$, и одного элемента Z_2 (рисунок 2).

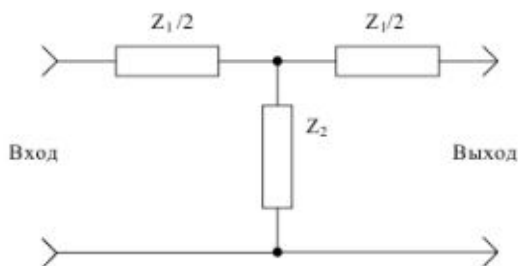


Рисунок 2 – Модель фильтра Т - структуры

При изменении схемы их соединения можно получить модель фильтра П - структуры (рисунок 3).

Модель фильтра П - структуры состоит из трех схемных элементов: одного элемента Z_1 и двух элементов $2Z_2$. Одно из отличий фильтров Т - и П - структур заключается в характере их входных и выходных сопротивлений и изменения их с частотой, что необходимо учитывать при проектировании конкретных электронных устройств.

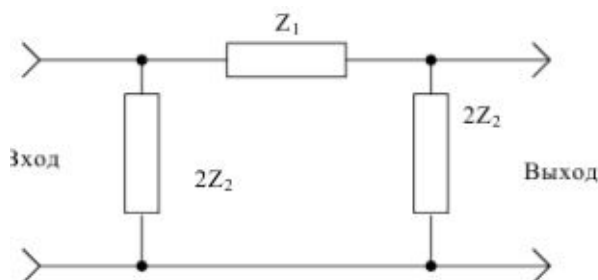


Рисунок 3 – Модель фильтра П - структуры

RC - фильтры нижних частот

Для реализации RC - фильтров нижних частот в качестве Z_1 используют резистор (R), а в качестве Z_2 используют конденсатор (C) (рисунок 1). Частота среза для фильтра рассчитывается по формуле:

$$f_c = \frac{1}{2pRC}, \text{ где } p - \text{ называют активным характеристическим сопротивлением фильтра.} \quad (1)$$

Для ФНЧ Г - структуры номинальные величины параметров резистора и конденсатора получаются непосредственно из формулы (1). При реализации ФНЧ Т - и П - структур, номинальные величины параметров резисторов и конденсаторов в схеме определяют, учитывая коэффициенты номинальных величин схемных элементов относительно исходной Г - структуры для модели фильтра соответствующей структуры (рисунок 2, рисунок 3).

RC - фильтры верхних частот.

Для реализации RC - фильтров верхних частот в качестве Z_1 используют конденсатор (C), а в качестве Z_2 используют резистор (R) (рисунок 1). Частота среза при этом рассчитывается по формуле (1).

Определение номинальных величин параметров резисторов и конденсаторов для ФВЧ различных структур производится аналогично ФНЧ. То есть при реализации ФВЧ Т - и П - структур, номинальные величины параметров резисторов и конденсаторов в схеме определяют, учитывая коэффициенты номинальных величин схемных элементов относительно исходной Г - структуры для схемы фильтра соответствующей структуры (рисунок 2, рисунок 3).

LC - фильтры нижних частот

Для реализации LC - фильтров нижних частот в качестве Z_1 используют катушку индуктивности (L), а в качестве Z_2 используют конденсатор (C) (Рисунок 1). Частота среза для фильтра рассчитывается по формуле:

$$f_c = \frac{1}{p\sqrt{LC}}$$

$$L = \frac{c}{pf_c},$$

Индуктивность катушки фильтра: $L = \frac{c}{pf_c}$, где c-характеристическое сопротивление фильтра и является для такого типа фильтра постоянной величиной.

Емкость конденсатора фильтра: $C = \frac{I}{pf_c c}$.

LC - фильтры верхних частот

Для реализации LC - фильтров верхних частот в качестве Z1 используют конденсатор (C), а в качестве Z2 используют катушку индуктивности (L) (Рисунок 1). Частота среза для фильтра рассчитывается по формуле:

$$f_c = \frac{1}{4p\sqrt{LC}}$$

-индуктивность катушки фильтра: $L = \frac{c}{4pf_c}$,

-емкость конденсатора фильтра: $C = \frac{I}{4pf_c c}$.

Контрольные вопросы

1. Начертите схему Г-образного R-C фильтра.
2. Начертите схему П-образного R-C фильтра.
3. Какую роль играет фильтр в выпрямителе?
4. Как изменится частота пульсаций выпрямленного напряжения при подключении емкостного фильтра?
5. Как изменится амплитуда пульсаций выпрямленного напряжения при подключении емкостного фильтра?

Критерии оценивания:

Отметка «5»: работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности действий:

- проводит работу в условиях, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов;
- умеет выполнять расчет и проектирование резистивно-ёмкостных фильтров;
- соблюдает правила техники безопасности;
- в ответе правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления;
- правильно выполняет анализ ошибок.

Отметка «4»: работа выполнена правильно с учетом 1-2 мелких погрешностей или 2-3 недочетов, исправленных самостоятельно по требованию учителя.

Отметка «3»: работа выполнена правильно не менее чем наполовину, допущены 1-2 погрешности или одна грубая ошибка.

Отметка «2»: допущены две (и более) грубые ошибки в ходе работы, которые учащийся не может исправить даже по требованию учителя.

Практическая работа №23

Тема: Экспериментальный расчет потерь электрической энергии заданной цепи.

Цель работы: научиться выполнять расчет потерь электрической энергии в проводах линии электропередачи.

Методическое обеспечение

1. Гальперин М. В. Электротехника и электроника. Учебник.- М.: "Профессиональное образование" – 2012г. 408стр.;

2. Методические указания по выполнению практических работ.

Условия и исходные данные

1. Ознакомиться с методикой расчета потерь электрической энергии и общими сведениями.
2. Согласно заданию и параметров цепи выполнить расчет потерь электроэнергии заданной цепи.

3. Проанализировать полученные результаты, сделать соответствующие выводы.

Методические указания

Задание: определить усредненный норматив потерь мощности и электроэнергии в электрических сетях 0,38 кВ.

Исходные данные:

- суммарное количество распределительных трансформаторов (РТ) 6(10) кВ по РФ – 16464 шт.;
- суммарная установленная мощность РТ 6(10) кВ по РФ – 4180 МВА;
- средняя загрузка одного РТ 6(10) кВ в максимум нагрузки – 0,4 о.е.;
- среднее число фидеров 0,38 кВ на 1 РТ 6(10) кВ – 2 шт.;
- среднее сечение магистрального провода 0,38 кВ АС-35 с $r_0=0,92$ Ом/км;
- число часов наибольших потерь 1200 ч.

Общие сведения.

Электрические сети 0,38 кВ являются последним звеном в цепи передачи и распределения электроэнергии от электростанций к потребителям. По России в целом они составляют около 40% от суммарной протяженности всех электрических сетей. От надежности работы сетей 0,38 кВ и их загрузки решающим образом зависят надежность, качество и экономичность электроснабжения потребителей, а от точности расчетов технических потерь в сетях 0,38 кВ – точность выявления коммерческих потерь в электрических сетях в целом. Расчет потерь электроэнергии в этих сетях является одним из наиболее трудоемких. Это связано со следующими особенностями распределительных сетей:

- большим объемом информации с одновременно низкой ее достоверностью;
- большой протяженностью и разветвленностью;
- динамикой изменения схемных и особенно режимных параметров;
 - различным исполнением участков: пятипроводные (три фазы, ноль и фонарный провод), четырехпроводные (три фазы и ноль), трехпроводные (две фазы и ноль), двухпроводные (одна фаза и ноль);
 - неравномерностью загрузки фаз;
 - неодинаковостью фазных напряжений на шинах питающей ТП.

Следует также отметить, что методы расчета режимов электрических сетей, уровней напряжения в узлах, потерь мощности и электроэнергии должны быть в максимальной степени адаптированы к имеющейся в условиях эксплуатации сетей схемных и режимных параметров.

Наиболее простой и в то же время наименее точной является оценочная методика расчета потерь электроэнергии по суммарной длине электрических сетей 0,38 кВ, средним удельным потерям электроэнергии на 1 км длины для средней загрузки характерных сетей:

$$\Delta W_{H0,38} = \Delta P_{HУ0,38} \cdot L_{\Sigma 0,38} \cdot \tau_{0,38}, \quad (1)$$

где $L_{\Sigma 0,38}$ – суммарная длина электрических сетей 0,38 кВ филиала ЭС по его отчетным данным;

$\tau_{0,38}$ – время потерь для электрических сетей 0,38 кВ;

$\Delta P_{НУ0,38}$ – средние по филиалу ЭС удельные нагрузочные потери мощности на 1 км линии 0,38 кВ в часы максимума нагрузки энергосистемы, рассчитываемые по формуле:

$$\Delta P_{НУ0,38} = 3 \cdot \left(\frac{S_{НОМ(ср)} \cdot k_{ЗГ(ср)}}{\sqrt{3} \cdot U} \cdot k_p \right)^2 \cdot R_0, \quad (2)$$

где $S_{НОМ(ср)}$ – средняя мощность трансформатора, характерного для распределительных сетей филиала ЭС;

$k_{ЗГ(ср)}$ – средняя загрузка трансформатора в максимум нагрузки по данным контрольных измерений;

k_p – коэффициент распределения нагрузки по длине сети;

R_0 – удельное сопротивление линии 0,38 кВ с маркой провода, принимаемой в расчетах средней для филиала ЭС.

Методика расчета:

1. Средняя установленная мощность РТ 6(10) кВ:

$$S_{ср} = \frac{S_{Т\Sigma} \cdot 10^3}{n_{Т\Sigma}} \text{ кВА}.$$

2. Средняя максимальная нагрузка одного РТ 6(10) кВ:

$$S_{МРТ} = S_{ср} \cdot k_p \text{ кВА}.$$

3. Средняя нагрузка на один фидер 0,38 кВ:

$$S_{МФ} = \frac{S_{МРТ}}{n_{\phi}} = \frac{100}{2} = 50 \text{ кВА}.$$

4. Средний ток нагрузки на один фидер 0,38 кВ:

$$I_{МФ} = \frac{S_{МФ}}{\sqrt{3} \cdot U} \text{ А}$$

5. Средний ток нагрузки на 1 км линий 0,38 кВ:

$$I_{МУ} = I_{МФ} \cdot k_p \cdot A,$$

где k_p – коэффициент распределения нагрузки по длине сети.

6. Средние максимальные потери мощности в фидере 0,38 кВ с маркой провода АС-35, длиной 1 км и нагрузкой 36,1 А:

$$\Delta P = 3 \cdot I^2 \cdot R_0, \text{ кВт / км}.$$

7. Средние годовые потери электроэнергии:

$$\Delta W = \Delta P \cdot \tau, \text{ тыс. кВт.ч}.$$

8. Средние относительные максимальные потери мощности:

$$\Delta P_* = \frac{\Delta P}{S_{МФ} \cdot 0,5 \cdot \cos \varphi} \text{ кВт}.$$

9. Средние относительные потери электроэнергии:

$$\Delta W_* = \Delta P_* \cdot \frac{\tau}{T_{\max}} \%$$

Контрольные вопросы

1. Опишите основные принципы реализации энергоснабжения.
2. Приведите технико-экономическое обоснование применения трехфазных цепей.
3. Какими способами коммутируются трехфазные электрические цепи.

Критерии оценивания:

Отметка «5»: работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности действий:

- проводит работу в условиях, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов;
- умеет корректно выполнять расчет потерь электрической энергии в электрической цепи;
- соблюдает правила техники безопасности;

- в ответе правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления;
- правильно выполняет анализ ошибок.

Отметка «4»: работа выполнена правильно с учетом 1-2 мелких погрешностей или 2-3 недочетов, исправленных самостоятельно по требованию учителя.

Отметка «3»: работа выполнена правильно не менее чем наполовину, допущены 1-2 погрешности или одна грубая ошибка.

Отметка «2»: допущены две (и более) грубые ошибки в ходе работы, которые учащийся не может исправить даже по требованию учителя.

Практическая работа №24.

Тема: Расчёт и выбор электрической проводки.

Цель работы: Научиться определять потери напряжения в линиях электропередачи и осуществлять выбор провода линии.

Методическое обеспечение

1. Гальперин М. В. Электротехника и электроника. Учебник.- М.: "Профессиональное образование" – 2012г. 408стр.;
2. Методические указания по выполнению практических работ.

Условия и исходные данные

1. Ознакомиться с расчетом потерь напряжения в ЛЭП, КПД ЛЭП, а так же методикой выбора провода для реализации ЛЭП.
2. Выполнить расчет провода для ЛЭП исходя из условий потерь напряжения.
3. Проанализировать выполненную работу.

Методические указания

1. Ознакомится с методикой расчета потерь напряжения и выбора провода ЛЭП. Методика выполнения расчета.
1. Определение токовой нагрузки провода (расчетного тока линии):

$$I = \frac{P}{U}$$

, после чего по таблице допустимых длительных токовых(см. приложение 1) нагрузок выполняется предварительный выбор провода (сечение провода, тип изоляции).

2. Проверка выбранного провода по потере напряжения:

$$\Delta U \% = \frac{200Pl}{jSU^2}$$

, где j удельная проводимость материала, из которого изготовлен провод (см. приложение 2).

Если потери составляют более 2,5,% то необходимо выбрать провод другого сечения, большего чем выбранный ранее.

3. Выбор сечения провода исходя из допустимых потерь напряжения в 2,5%:

$$S = \frac{200Pl}{j\Delta U \% U^2}$$

, после чего осуществляется выбор провода со стандартным сечением, наиболее близким к рассчитанному.

2. Расчет и выбор провода для ЛЭП, согласно исходных данных и справочных материалов:

Рассчитать электрическую линию постоянного тока, питающую нагрузку мощностью 2 КВт, длиной 70 метров при номинальном напряжении 110 В. Выбрать провод, необходимый для данной линии с алюминиевыми и медными жилами при допустимых потерях напряжения 2,5%.

Контрольные вопросы

1. Расскажите 1 и 2 законы Кирхгофа.
2. Какие максимальные потери допускаются в ЛЭП постоянного и переменного тока.
3. Какой из проводников чаще всего применяется для реализации ЛЭП?, почему?
4. Приведите экономическое обоснование применения проводов с медными и алюминиевыми жилами.

Допустимые длительные токовые нагрузки на провода, шнуры и кабели с резиновой или пластмассовой изоляцией

1. Провода и шнуры с резиновой и полихлорвиниловой изоляцией с медными жилами.

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Токовые нагрузки, А					
	Провода, проложенные открыто	Провода, проложенные в одной трубе				
		два одно-жильных	три одно-жильных	четыре одно-жильных	одни двух-жильный	одни трех-жильный
0,5	11	—	—	—	—	—
0,75	15	—	—	—	—	—
1	17	16	15	14	15	14
1,5	23	19	17	16	18	15
2,5	30	27	25	25	25	21
4	41	38	35	30	32	27
6	50	46	42	40	40	34
10	80	70	60	50	55	50
16	100	85	80	75	80	70
25	140	115	100	90	100	85
35	170	135	125	115	125	100
50	215	185	170	150	160	135
70	270	225	210	185	195	175
95	330	275	255	225	245	215
120	385	315	290	260	295	250
150	440	360	330	—	—	—
185	512	—	—	—	—	—
240	605	—	—	—	—	—
300	695	—	—	—	—	—
400	830	—	—	—	—	—

2. Провода с резиновой и полихлорвиниловой изоляцией с алюминиевыми жилами.

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Токовые нагрузки, А					
	Провода, проложенные открыто	Провода, проложенные в одной трубе				
		два одно-жильных	три одно-жильных	четыре одно-жильных	одни двух-жильный	одни трех-жильный
2,5	24	20	19	19	19	16
4	32	28	28	23	25	21
6	39	36	32	30	31	26
10	60	50	47	39	42	38
16	75	60	60	55	60	55
25	105	85	80	70	75	65
50 ^а	165	140	130	120	125	105
70	210	175	165	140	150	135
95	255	215	200	175	190	165
120	295	245	220	200	230	190
150	340	245	255	—	—	—
185	390	—	—	—	—	—
240	465	—	—	—	—	—
300	535	—	—	—	—	—
400	645	—	—	—	—	—

3. Провода с медными жилами, резиновой изоляцией в металлических защитных оболочках и кабели с медными жилами, резиновой изоляцией в свинцовой, полихлорвиниловой, резиновой оболочках, бронированные и небронированные.

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Токовые нагрузки, А				
	Провода и кабели				
	одножильные	двухжильные		трехжильные	
	При прокладке				
	в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
1,5	23	19	33	19	27
2,5	30	27	44	25	38
4	41	38	55	35	49
6	50	50	70	42	60
10	80	70	105	55	90
16	100	90	135	75	115
25	140	115	175	95	150
35	170	140	210	120	180
50	215	175	265	154	225 ^б
70	270	115	320	180	275
120	385	300	445	260	385
150	440	350	505	305	435
185	510	405	570	350	500
240	605	—	—	—	—

4. Кабели с алюминиевыми жилами, резиновой или пластмассовой изоляцией в свинцовой, полихлорвиниловой и резиновой оболочках, бронированные и небронированные.

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Токовые нагрузки, А				
	Провода и кабели				
	одножильные	двухжильные	трехжильные		
	При прокладке				
	в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
2,5	23	21	34	19	29
4	31	29	42	27	38
6	38	38	55	32	46
10	60	55	80	42	70
16	75	70	105	60	90
25	105	90	135	75	115
35	130	105	160	90	140
50	165	135	205	110	175
95	250	200	295	170	255
120	295	230	390	200	295
150	340	270	390	235	335
185	390	310	440	270	385
240	465	—	—	—	—

Свойства проводниковых материалов при температуре 20 °С

Материал	Удельное сопротивление, ρ, Ом·мм ² /м	Удельная проводимость, J, М/Ом·мм ²	Среднее значение температурного коэффициента сопротивления, α, град ⁻¹
Серебро	0,0165	60,6	0,004
Медь	0,0175	57,2	0,0175
Золото	0,023	43,5	0,004
Алюминий	0,028-0,029	35,7-34,0	0,004
Вольфрам	0,055	18,2	0,005
Молибден	0,058	17,3	0,0045
Цинк	0,061	16,4	0,0037
Никель	0,08	12,5	0,005
Железо	0,1	10	0,0065
Платина	0,117	8,5	0,0037
Олово	0,12	8,3	0,0045
Свинец	0,21	4,8	0,004
Манган	0,48	2,1	0,00001
Константан	0,5	2	0,00005
Нихром	1	1	0,00017

Критерии оценивания.

Отметка «5»: работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности действий:

- проводит работу в условиях, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов;
- умеет корректно рассчитывать основные параметры электрических цепей;
- умеет осуществлять выпор провода для ЛЭП.
- соблюдает правила техники безопасности;
- в ответе правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления;
- правильно выполняет анализ ошибок.

Отметка «4»: работа выполнена правильно с учетом 1-2 мелких погрешностей или 2-3 недочетов, исправленных самостоятельно по требованию учителя.

Отметка «3»: работа выполнена правильно не менее чем наполовину, допущены 1-2 погрешности или одна грубая ошибка.

Отметка «2»: допущены две (и более) грубые ошибки в ходе работы, которые учащийся не может исправить даже по требованию учителя.