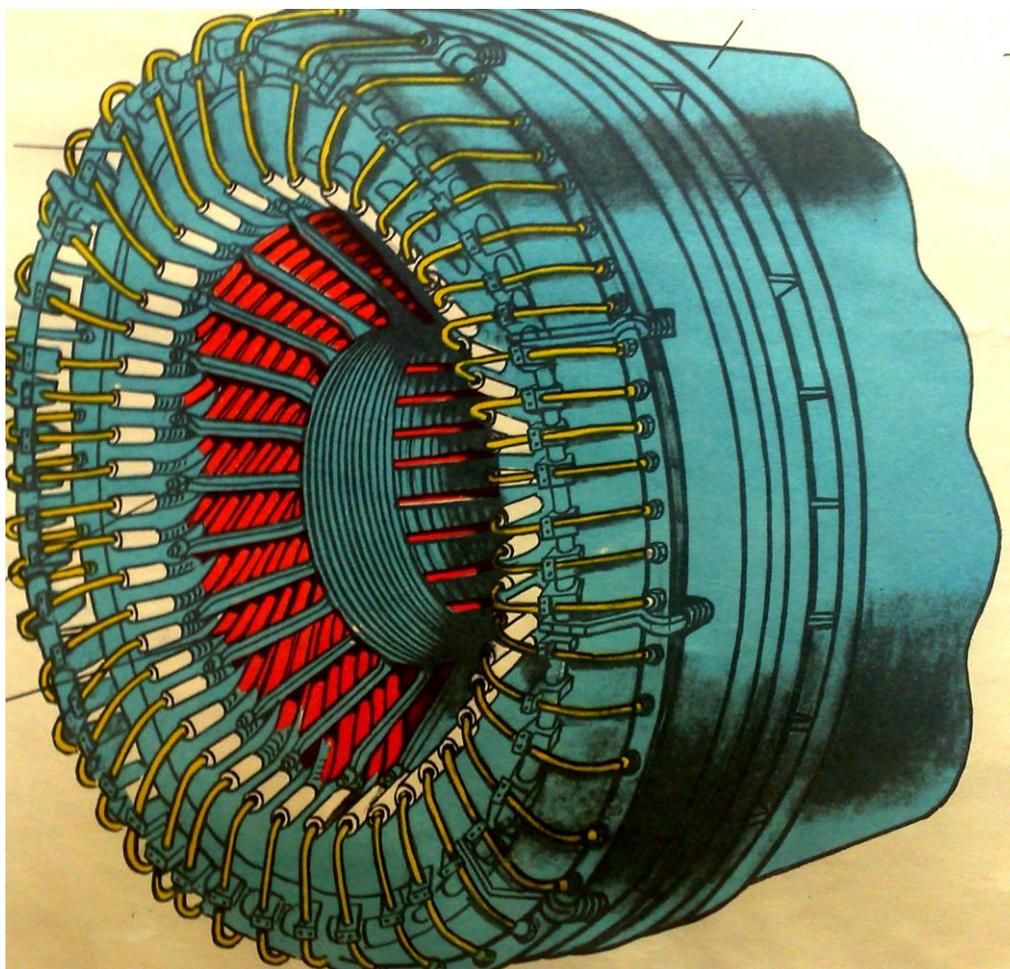


Серия Модульные программы

Электрический ток. Электротехнические устройства.

Теоретические основы профессиональной деятельности

Учебное пособие



**МОДУЛЬНАЯ ПРОГРАММА:
«ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА».**

Модульная программа. Электрический ток. Электротехнические средства.				
Результат 1	Результат 2	Результат 3	Результат 4	Результат 5
Обучающиеся смогут объяснять процесс прохождения тока через проводники при различных способах соединений.	Обучающиеся смогут объяснять магнитные и электромагнитные явления.	Обучающиеся смогут объяснять получение переменного тока и процессы прохождения его через различные элементы.	Обучающиеся смогут объяснять устройство и принцип работы трансформаторов.	Обучающиеся смогут объяснять устройство и принцип работы электрических машин.



Критерии оценки деятельности	Критерии оценки деятельности	Критерии оценки деятельности	Критерии оценки деятельности	Критерии оценки деятельности
<ol style="list-style-type: none"> 1. Определения электрического тока, силы тока, сопротивления, способов соединения проводников даны верно. 2. Процесс прохождения тока через проводники описан верно. 3. Электрическая схема собрана правильно. 4. Показания приборов сняты верно. 5. Проверка формул проведена верно. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Определения магнитного поля проводника с током, электромагнитной индукции даны верно. 2. Правило буравчика и правой руки применяется правильно. 3. Правило Ленца для определения направления индукционного тока применяется правильно. 4. Электрическая схема собрана правильно. 5. Показания приборов сняты верно. 4.3. Значение индуктивности определено верно. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Определения однофазного переменного тока и его параметров даны верно. 2. Определения сопротивлений в цепи переменного тока даны верно. 3. Определения трехфазного переменного тока и его параметров даны верно. 4. Способы соединений обмоток генератора трехфазного тока объяснены верно. 5. Определения мощностей переменного тока даны верно. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Определения трансформаторов, обмоток трансформатора даны верно. 2. Принцип действия трансформатора описан верно. 3. Схема получения трехфазного трансформатора и способы соединений обмоток приведены и описаны верно. 4. Конструктивные особенности автотрансформатора, преимущества и недостатки приведены в полном объеме. 5. Назначение измерительных трансформаторов описано в полном объеме. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Определения электрических машин и основных элементов даны верно. 2. Принцип действия электрических машин описан верно. 3. Способы пуска в ход асинхронного двигателя и способы улучшения пусковых свойств описаны верно. 4. Устройство генераторов переменного и постоянного тока описаны верно. 5. Принцип действия генераторов объяснено верно.

Серия Модульные программы

Р.Н Нуруллин

Электрический ток. Электротехнические устройства.

Теоретические основы профессиональной деятельности

Учебное пособие

Набережные Челны
2010

ББК 31.2

Консультант и научный редактор

директор НОУ «Центр инновационных технологий» кандидат экономических наук Соколова С.В.

Рецензенты:

Степанова Н.П. кандидат педагогических наук, преподаватель высшей квалификационной категории Набережночелнинского политехнического колледжа.

Шалак А.А. преподаватель высшей квалификационной категории. Заведующая отделением ДПО Камского государственного автомеханического техникума.

Аннотация.

Нуруллин Р.Н. «Электрический ток. Электротехнические устройства».

Теоретические основы профессиональной деятельности.

Учебное пособие / Р.Н. Нуруллин. под редакцией С.В.Соколовой

Учебное пособие является составной частью модульной программы подготовки рабочих и специалистов на производстве и соответствует государственному образовательному стандарту.

К учебному пособию прилагается: структура модуля по предмету, терминологический словарь, учебный и закрепляющий материалы, материал по проверке степени усвоения, материал оценки компетентности, что позволяет обучающимся самостоятельно изучать предмет, а также осуществлять самоконтроль.

Учебное пособие «Электрический ток. Электротехнические устройства.» предназначено для подготовки специалистов в учреждениях начального профессионального образования, в учебно - производственных комбинатах, на курсах повышения квалификации, а также для переподготовки кадров службой занятости.

Оглавление:

	стр.
Введение	6
Словарь терминов	8
Результат 1. Обучаемый сможет объяснять процесс прохождения электрического тока через проводники при различных способах соединений.	11
Результат 2. Обучающиеся смогут объяснять магнитные и электромагнитные явления.	21
Результат 3. Обучающийся сможет объяснять получение переменного тока и процессы прохождения его через различные сопротивления.	29
Результат 4. Обучающийся сможет объяснять устройство и принцип работы трансформаторов.	40
Результат 5. Обучающийся сможет объяснять устройство и принцип работы электрических машин	50
Использованная литература	73

Введение

Стремительные изменения в современном производстве требуют новых подходов к подготовке квалифицированных рабочих. Одним из таких подходов является модульное обучение, которое возникло как альтернатива традиционному обучению, интегрируя в себе все то прогрессивное, что накоплено в педагогической практике.

Модуль «Электрический ток . Электротехнические устройства» разработан на основе Государственного образовательного стандарта начального профессионального образования РФ по предмету «Электротехника» и предназначен для начальных профессиональных учебных заведений, подготавливающих квалифицированных рабочих машиностроительного производства.

Модульная программа обучения является инструментом и средством развития самообразования и самооценки учащихся, благодаря многократно повторяющейся диагностики уровня знаний и профессиональных навыков.

Данный модуль представляет собой отдельную дисциплину и является относительно самостоятельной и завершенной единицей образовательной программы, направленной на формирование определенной профессиональной компетенции. Основными целями данной программы являются:

обучающая:

1. Формирование знаний по предмету;
2. Формирование навыков использования знаний при выполнении практических заданий
3. Формирование творческих способностей учащихся;

воспитывающая:

1. Воспитание любви к профессии и окружающему миру;
2. Воспитание самостоятельности при выполнении работы;
3. Воспитание чувства сотрудничества, взаимовыручки и умения работать коллективно.

Модуль содержит пять результатов деятельности, которые пошагово описывают программу достижения компетентности от простого к более сложному.

Каждый результат имеет свои критерии оценки деятельности (КОД), которые излагают шаги деятельности учащегося, необходимые для достижения результата, а также определяют ее качество и стандарты выполнения.

Для подтверждения компетентности учащиеся должны выполнить требования к доказательству компетентности. Содержание и вид оценочных материалов (оценки) должны соответствовать результату и критериям оценки деятельности и обязательно охватывать все уровни компетентности. Оценка компетентности проводится по окончании изучения результата, на что обязательно должно выделяться учебное время.

При проведении уроков в конце каждого занятия необходима проверка степени усвоения нового материала (без выставления оценок) и заполнение дневника урока. Для проверки и оценки знания и понимания изучаемого материала в начале каждого урока должна проводиться актуализация опорных знаний с выставлением оценок.

На теоретических занятиях наряду с основной формой обучения - уроком рекомендуется практиковать и другие формы и методы обучения: лекции, семинарские занятия, практикумы, лабораторные работы, консультации, а также в отдельных случаях проводить деловые игры, викторины, конкурсы и т.д.

Кроме этого следует вырабатывать у учащихся умение работать с технической литературой, документацией, справочниками, схемами и чертежами; разговаривать грамотным техническим языком; пользоваться компьютерными и интерактивными средствами, лабораторным оборудованием.

К учебному пособию прилагается: структура модуля по предмету, терминологический словарь, учебный и закрепляющий материалы, материал по проверке степени усвоения, материал оценки компетентности.

Словарь терминов.

В этом разделе в краткой форме объясняется значение основных определений и понятий, которые встречаются при изучении электрических и магнитных цепей постоянного и переменного тока.

Ветвь электрической цепи (схемы)

участок цепи с одним и тем же током.

Действующие значения периодических переменных тока, напряжения и ЭДС

это среднеквадратичные значения этих величин за время, равное одному периоду.

Ёмкостный элемент (идеальный конденсатор и др.) с ёмкостью C

элемент электрической цепи, учитывающий энергию $W_э = C u^2 / 2$ электрического поля. Характеризуется реактивным емкостным сопротивлением $X_C = 1 / \omega C$, Ом или реактивной емкостной проводимостью $b_C = 1 / X_C = \omega C$, См, где ω – угловая частота.

«Звезда»

схема соединения фаз генератора или потребителя, в которой вместе соединяются концы фаз.

Индуктивный элемент (идеальная индуктивная катушка и др.) с

индуктивностью L

элемент электрической цепи, учитывающий энергию $W_м = L i^2 / 2$ магнитного поля и явление самоиндукции. Характеризуется реактивным индуктивным сопротивлением $X_L = \omega L$, Ом или реактивной индуктивной проводимостью $b_L = 1 / X_L = 1 / \omega L$, См, где ω - угловая частота.

Коммутация

любые изменения в электрической цепи. Обычно считают, что коммутация происходит мгновенно.

Контур

любой замкнутый путь, проходящий по нескольким ветвям.

Линейный элемент

элемент электрической цепи, параметры которого (сопротивления и др.) не зависят от тока в нем.

Линейная электрическая цепь

цепь, все элементы которой являются линейными.

Линейные провода

провода, соединяющие начала фаз генератора и потребителя.

Линейные токи

токи, возникающие в линейных проводах.

Линейные напряжения

напряжения, возникающие между линейными проводами.

Магнитная цепь

совокупность устройств, содержащих ферромагнитные тела, электромагнитные процессы в которых могут быть описаны при помощи магнитодвижущей силы, магнитного потока.

Независимый контур

контур, в состав которого входит хотя бы одна ветвь, не принадлежащая другим контурам.

Нейтральный провод

провод соединяющий нейтральные точки генератора и потребителя в схеме «звезда».

Нейтральная точка N

общая точка фаз генератора в схеме соединения «звезда».

Нелинейный элемент

элемент электрической цепи, параметры которого (сопротивление и др.) изменяются при изменении величины тока, возникающего в данном элементе.

Нелинейная электрическая цепь

цепь, содержащая хотя бы один нелинейный элемент.

Несимметричная трехфазная цепь

электрическая цепь, в которой комплексное сопротивление хотя бы одной фазы отличается от сопротивлений других фаз по величине или характеру нагрузки.

Переходный ток (напряжение)

действительный ток (напряжение) в электрической цепи во время переходного процесса.

Принужденный (установившийся) режим

режим, который создается источником питания (постоянного или переменного напряжения).

Резистивный элемент с активным сопротивлением R

элемент, учитывающий необратимое преобразование электрической энергии в другие виды энергии (тепловую, лучистую и др.). Характеризуется активным сопротивлением R Ом или активной проводимостью $g = 1 / R$, См (Сименс).

Ротор

подвижная часть электрической машины

Сила тока

заряд проходящий через поперечное сечение проводника за 1 секунду

Симметричная трехфазная цепь

электрическая цепь, в которой комплексные сопротивления каждой её фазы одинаковы.

Сопротивление

величина противодействия прохождению тока

Статор

неподвижная часть электрической машины

Схема замещения

расчетная схема реальной электрической цепи, составленная из элементов R , L и C , каждый из которых учитывает одно из явлений, происходящих в реальных элементах электрической цепи.

«Треугольник»

схема соединения фаз генератора или потребителя, в которой вместе соединяются начало одной фазы с концом другой фазы.

Трёхфазная электрическая цепь

совокупность электрических цепей, в которой действуют три синусоидальные ЭДС одной и той же частоты и амплитуды, сдвинутые друг относительно друга по фазе на 120° и создаваемые общим источником.

Узел

место соединения трех и более ветвей.

Фаза

отдельная электрическая цепь, входящая в состав трехфазной цепи.

Фазные токи

токи, возникающие в фазах генератора или потребителя.

Фазные напряжения

напряжения, возникающие в фазах генератора или потребителя.

Электрическая схема

графическое изображение электрической цепи, содержащее условные обозначения её элементов и способы их соединения.

Электрическая цепь

совокупность устройств и объектов, образующих путь для электрического тока, электромагнитные процессы в которых могут быть описаны с помощью понятий об ЭДС, токе и напряжении.

Якорь

подвижная часть электрической машины

Результат 1.

Обучаемый сможет объяснять процесс прохождения электрического тока через проводники при различных способах соединений.

1. Постоянный ток. Сила тока.
2. Лабораторная работа №1: «Определение удельного сопротивления и материала проводника».
3. Лабораторная работа №2: «Исследование последовательного соединения проводников».
4. Лабораторная работа № 3: «Изучение параллельного соединения проводников»

Тема №1.

ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК.

При движении заряженных частиц происходит перенос электрического заряда из одного места в другое. Однако если заряженные частицы совершают беспорядочное тепловое движение, как, например, свободные электроны в металле, то переноса заряда не будет. Электрический заряд перемещается через сечение проводника лишь в том случае, если наряду с хаотическим движением электроны участвуют в упорядоченном движении. В этом случае говорят, что в проводнике устанавливается электрический ток.

Электрическим током называют упорядоченное (направленное) движение свободных заряженных частиц. Электрический ток возникает при упорядоченном перемещении свободных электронов или ионов.

Однако если перемещать нейтральное в целом тело, то, несмотря на упорядоченное движение огромного числа электронов и атомных ядер, электрический ток не возникает. Полный заряд, переносимый через любое сечение проводника, будет при этом равным нулю, так как заряды разных знаков перемещаются с одинаковой средней скоростью. Ток в проводнике возникнет лишь в том случае, когда при движении зарядов в одном направлении положительный заряд, переносимый через сечение, не равен по модулю отрицательному.

Электрический ток имеет определенное направление. **За направление тока принимают направление движения положительно заряженных частиц.** Если ток образован движением отрицательно заряженных частиц, то направление тока считают противоположным к направлению движения частиц.

Такой выбор направления тока не очень удачен, так как в большинстве случаев ток представляет собой движение электронов - отрицательно заряженных частиц. Выбор направления тока был сделан в то время, когда о свободных электронах в металлах еще ничего не знали. Электрический ток всегда течет по электрической цепи от плюса источника тока к минусу, а внутри источника тока он течет от минуса к плюсу.

ДЕЙСТВИЯ ТОКА.

Движение частиц в проводнике мы непосредственно не наблюдаем. Однако о наличии электрического тока можно судить по тем действиям или явлениям, которыми он сопровождается.

Во-первых, *проводник, по которому течет ток, нагревается.*

Во-вторых, *электрический ток может изменять химический состав проводника, например, выделять его химические составные части (медь из раствора медного купороса и т.д.).* Такого рода процессы наблюдаются не у всех проводников, а только у растворов (или расплавов) электролитов.

В-третьих, *ток оказывает силовое воздействие на соседние токи и намагниченные тела.* Это действие тока называется магнитным. Так, магнитная стрелка вблизи проводника с током поворачивается. Магнитное действие тока в отличие от химического и теплового является основным, так как проявляется у всех без исключения проводников. Химическое действие тока наблюдается лишь у растворов и расплавов электролитов, а нагревание отсутствует у сверхпроводников.

СИЛА ТОКА.

Если в цепи устанавливается электрический ток, то это означает, что через поперечное сечение проводника все время переносится электрический заряд.

Заряд, перенесенный в единицу времени, служит основной количественной характеристикой тока, называемой силой тока. Если через поперечное сечение проводника за время t переносится заряд q , то сила тока равна.

$$I = q/t \quad (1.1)$$

Таким образом, сила тока равна отношению заряда q , переносимого через поперечное сечение проводника за интервал времени t , к этому интервалу времени. Если сила тока со временем не меняется, то ток называют постоянным.

Сила тока, подобно заряду, величина скалярная. Она может быть как положительной, так и отрицательной. Знак силы тока зависит от того, какое из направлений вдоль проводника принять за положительное. Сила тока $I > 0$, если направление тока совпадает с условно выбранным положительным направлением вдоль проводника. В противном случае $I < 0$.

Сила тока зависит от заряда, переносимого каждой частицей, концентрации частиц, скорости их направленного движения и площади поперечного сечения проводника.

$$I = q_e n v S \quad (1.2)$$

Где:

$q_e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл - заряд электрона;

n - концентрация электронов проводимости;

v - скорость упорядоченного движения электронов проводимости;

S - площадь поперечного сечения проводника.

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ. (письменно в тетради)

1. Что называется электрическим током?
2. С направлением движения каких частиц совпадает направление электрического тока?
3. Как направлен электрический ток в электрической цепи?
4. Как направлен электрический ток внутри источника тока?
5. Какие действия электрического тока вы знаете?
6. Что такое сила электрического тока?

РЕШИТЕ ЗАДАЧИ.

1. Какова сила тока, если за 1 час при постоянном токе через поперечное сечение провода был перенесен заряд в 180 Кл?
2. Определите заряд, прошедший через проводник за 50 минут при силе тока 100 мА.
3. Сколько электронов проходит через поперечное сечение проводника за 1нс при силе тока 32 мкА?

Проверка степени усвоения материала

Ответьте на вопросы.

1. Что называется электрическим током?
 - А) тепловое движение заряженных частиц;
 - Б) называют упорядоченное (направленное) движение заряженных частиц;
 - В) движение заряженных частиц;
2. Какое действие электрического тока применяется в нагревательных приборах?
 - А) магнитное;
 - Б) химическое;
 - В) тепловое.
3. Как называется отношение заряда q , переносимого через поперечное сечение проводника за интервал времени t , к этому интервалу времени ?
 - А) силой тока;
 - Б) напряжением;
 - В) сопротивлением.
4. Каково направление электрического тока?
 - А) За направление тока принимают направление движения отрицательно заряженных частиц.
 - Б) За направление тока принимают направление движения нейтральных частиц.
 - В) За направление тока принимают направление движения положительно заряженных частиц.
4. Какое действие электрического тока применяется в электродвигателях?
 - А) магнитное;
 - Б) химическое;
 - В) тепловое.

Тема №2.

Лабораторная работа №1:

Определение удельного сопротивления и материала проводника.

Цели работы:

1. Определить удельное сопротивление проводника.
2. Определить материал проводника.

Направленному движению электрических зарядов в любом проводнике препятствуют его молекулы и атомы. Поэтому как внешняя цепь, так и сам источник энергии оказывают препятствие прохождению тока.

Противодействие электрической цепи прохождению электрического тока называется электрическим сопротивлением (или, короче, сопротивлением).

Электрическое сопротивление обозначается буквой R . Устройства, включаемые в электрическую цепь и обладающие сопротивлением, называются **резисторами**.

Единицей измерения сопротивления является Ом. Электрическое сопротив-

ление линейного проводника, в котором при неизменяющейся разности потенциалов в 1 В проходит ток в 1 А, равно 1 Ом, т. е. $1 \text{ Ом} = 1 \text{ В}/1 \text{ А}$. При измерении больших сопротивлений используют единицы в тысячу и в миллион раз больше Ома. Они называются килоомом (кОм) и мегаомом (МОм); $1 \text{ кОм} = 1000 \text{ Ом}$;

$$1 \text{ МОм} = 1\,000\,000 \text{ Ом}.$$

Сопротивление проводников электрическому току зависит от материала, из которого они изготовлены, а также от длины и площади поперечного сечения проводника. Если сравнить два проводника, изготовленных из одного и того же материала, то более длинный проводник имеет большее сопротивление при равных площадях поперечных сечений, а проводник с большим поперечным сечением имеет меньшее сопротивление при равных длинах и определяется по формуле:

$$R = \rho \cdot \ell / S \quad (2.1)$$

Для оценки электрических свойств материала проводника служит удельное сопротивление (ρ) это сопротивление проводника длиной в 1 м и площадью поперечного сечения в 1 м^2 .

При прохождении электрического тока по цепи выполняется закон Ома для участка цепи. Согласно которому сила тока на участке цепи прямопропорциональна напряжению на этом участке и обратнопропорциональна сопротивлению этого участка.

$$I = U/R \quad (2.2)$$

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ (письменно в тетради).

1. Что такое сопротивление проводника?
2. Что называется резистором?
3. В каких единицах измеряют сопротивление?
4. По какой формуле определяют сопротивление проводника?
5. Какое сопротивление называют удельным?
6. Запишите формулировку закона Ома для участка цепи.

Приборы и материалы:

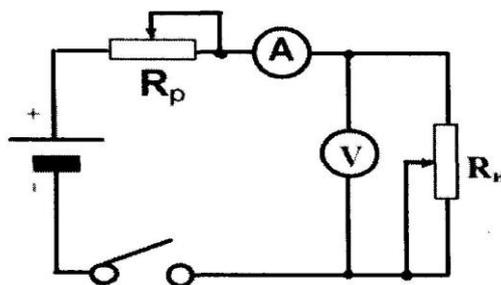
1. Источник питания (универсальный);
2. Реостат регулировочный;
3. Резистор исследуемый;
4. Измерительный прибор (универсальный);
5. Ключ;
6. Провода соединительные.

Выполнение работы:

1. Подготовьте в тетради таблицу:

№ п\п	ℓ (м)	U (в)	I (А)	R (Ом)	ρ (Ом'м)
1	0,15				
2	0,30				
3	0,45				

2. Соберите электрическую цепь по схеме:



3. Замкните ключ и изменяя длину исследуемого резистора снимите показания приборов. Результаты измерений занесите в таблицу.

4. Используя формулу (2.2) выразите сопротивление проводника и подставив значения напряжения и силы тока для каждого опыта определите сопротивление.

Полученные результаты занесите в таблицу.

5. Используя формулу (2.1) выразите удельное сопротивление проводника. Определите его величину, подставив в полученную формулу значения сопротивления и длины проводника в каждом опыте, а площадь поперечного сечения проводника примите равным $S = 1,95 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$.

6. Для нахождения более точного результата определите среднее значение удельного сопротивления проводника.

7. Используя справочные данные определите материал проводника.

8. Сделайте вывод.

Решите задачу:

Определить удельное сопротивление проводника, если при длине 10 м. и площади поперечного сечения 1 мм^2 его сопротивление равно 4,2 Ом.

Тема №3.

Лабораторная работа №2:

Исследование последовательного соединения проводников.

Цели работы:

1. Проверить справедливость формулы для напряжения при последовательном соединении.
2. Определить общее сопротивление последовательно соединенных проводников.

При последовательном соединении приемников энергии условный конец первого приемника соединяется с условным началом второго, конец второго с началом третьего и т.д.

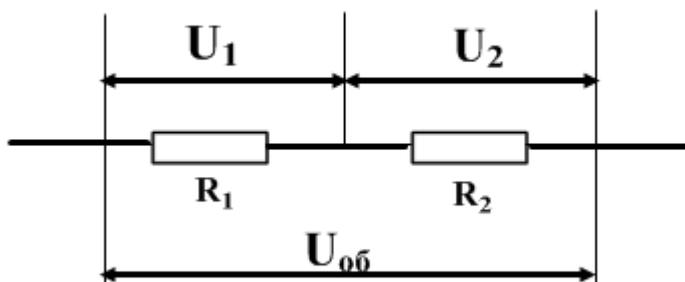


Рисунок 1. Схема последовательно соединенных приемников. На рисунке 1 приемники энергии с резисторами R_1 и R_2 , соединены последовательно и подключены к источнику энергии с напряжением $U_{об}$.

По всем участкам последовательной цепи проходит один и тот же ток I . По закону Ома напряжения на отдельных сопротивлениях равны:

$$U_1 = IR_1; U_2 = IR_2 \quad (3.1)$$

Таким образом, падения напряжения на последовательно соединенных сопротивлениях пропорциональны значениям сопротивлений. При $R_1 > R_2$ напряжение $U_1 > U_2$. Напряжения U_1 ; U_2 ; равны только при одинаковых сопротивлениях R_1 и R_2 .

При последовательном соединении приемников сумма напряжений на отдельных приемниках равна напряжению на зажимах цепи:

$$U_1 + U_2 = U_{об}. \quad (3.2)$$

Ряд последовательно соединенных приемников можно заменить эквивалентным (общим) сопротивлением R . Значение этого сопротивления должно быть таким, чтобы эта замена при неизменном напряжении на зажимах U не вызывала изменения тока I в цепи. Для приведенной схемы

$$U = IR_{об}. \quad (3.3)$$

Напряжения на отдельных участках цепи (3.1) и полученное напряжение источника (3.3) подставим в формулу (3.2). Получим:

$$IR_1 + IR_2 = IR_{об}.$$

После сокращения на I получим:

$$R_{об} = R_1 + R_2 \quad (3.4)$$

Таким образом, при последовательном соединении эквивалентное сопротивление цепи равно сумме сопротивлений отдельных ее участков.

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ. (письменно в тетради).

1. Какое соединение проводников называется последовательным?
2. Как распределяется сила тока при последовательном соединении проводников?
3. Как распределяется напряжение при последовательном соединении проводников?
4. Как находят общее сопротивление при последовательном соединении

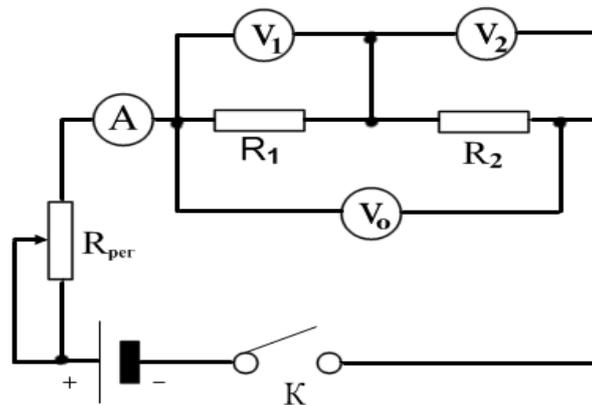
проводников?

Приборы и материалы:

- 1.Источник питания (универсальный);
- 2.Реостат регулировочный;
- 3.Резисторы исследуемые;
- 4.Измерительный прибор (универсальный);
- 5.Ключ;
- 6.Провода соединительные.

Выполнение работы:

- 1.Соберите электрическую цепь по схеме.



2. Регулировочным резистором установите общий ток в цепи 500 мА.
3. Измерьте напряжение на резисторах R_1 , R_2 и $R_{об}$ и запишите в тетради.
4. Проверьте правильность уравнения (3.2) для напряжения при последовательном соединении.
- 5.Используя формулу закона Ома для участка цепи найдите сопротивления R_1 , R_2 и $R_{об}$. Сделайте вывод.
6. Проверьте правильность уравнения (3.4) для общего сопротивления при последовательном соединении проводников. Сделайте вывод.
7. Напишите общий вывод.

Решите задачу:

Сопротивление приемников $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 20$ Ом и $R_3 = 30$ Ом. Напряжение на зажимах цепи $U = 120$ В. Определить эквивалентное сопротивление цепи R при последовательном соединении проводников, напряжения U_1 ; U_2 ; U_3 и силу тока в цепи.

Тема №4.

Лабораторная работа № 3

Изучение параллельного соединения проводников

Цели работы:

1. Исследовать распределение силы тока в электрической цепи с параллельным соединением проводников.
2. Вычислить общее сопротивление параллельно соединенных проводников.

От источника тока энергия может быть передана по проводам к устройствам, потребляющим энергию: электрической лампе, электродвигателю, радиоприемнику и т.д. Для этого составляют электрические цепи различной сложности. Электрическая цепь состоит из источника энергии, устройств, потребляющих электрическую энергию, соединительных проводов и выключателей для замыкания цепи. Часто в электрическую цепь включают приборы, контролирующие силу тока и напряжение на различных участках цепи - амперметры и вольтметры.

При параллельном соединении приемников энергии условное начало первого приемника соединяется с условным началом второго, конец второго с концом первого и т.д.

На рисунке 2 показано параллельное соединение двух проводников 1 и 2 с сопротивлениями R_1 и R_2 . В этом случае электрический ток I разветвляется на две части. Силу тока в первом и втором проводниках обозначим через I_1 и I_2 . Так как в точке а - разветвлении проводников (такую точку называют узлом) - электрический заряд не накапливается, то заряд, поступающий в единицу времени в узел, равен заряду, уходящему из узла за это же время.

$$I_{06} = I_1 + I_2 \quad (4.1)$$

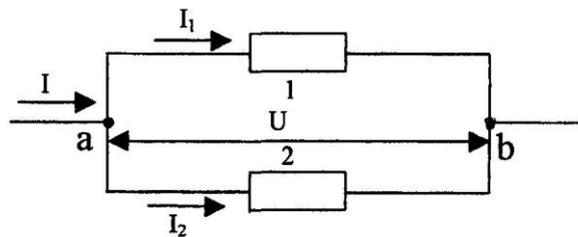


Рисунок 2. Параллельное соединение двух проводников.

Следовательно, напряжение U на проводниках, соединенных параллельно, одно и то же.

В осветительной сети поддерживается напряжение 220 или 127 В. На это напряжение рассчитаны приборы, потребляющие электрическую энергию. Поэтому параллельное соединение - самый распространенный способ соединения различных потребителей. В этом случае выход из строя одного прибора не отражается на работе остальных, тогда как при последовательном соединении выход из строя одного прибора размыкает всю цепь.

Применяя закон Ома для участков с сопротивлением R_1 и R_2 , можно доказать, что величина, обратная полному сопротивлению участка а b, равна сумме величин, обратных сопротивлениям отдельных проводников:

$$1/R_{06} = 1/R_1 + 1/R_2$$

Отсюда следует, что

$$R_{06} = R_1 \cdot R_2 / R_1 + R_2 \quad (4.2)$$

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ. (письменно в тетради).

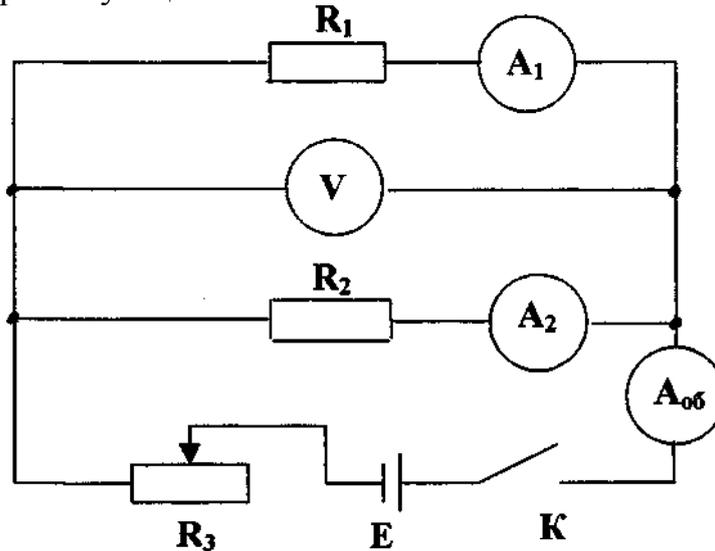
1. Какое соединение проводников называется параллельным?
2. Как распределяется сила тока при параллельном соединении проводников?
3. Как распределяется напряжение при параллельном соединении проводников?
4. Как находят общее сопротивление при параллельном соединении проводников?

Приборы и материалы:

1. Источник электропитания
2. Амперметр
3. Реостат ползунковый
4. Набор сопротивлений
5. Ключ
6. Провода соединительные

Выполнение работы:

1. Соберите электрическую цепь по схеме:



2. Замкнуть ключ К.
3. Резистором R_3 установить в цепи ток $0,5\text{ A}$ и поддерживая его измерить силу тока в резисторах R_1 и R_2 , а также напряжение на этих резисторах. Результаты измерений записать в тетради.
4. Сравнить токи I_1, I_2 и I_{06} , проверить правильность формулы.
5. Используя результаты измерений полученные при выполнении задания № 3 и закон Ома для участка цепи, вычислите величины R_1, R_2 и R_{06} .
6. Сравните величины сопротивлений R_1, R_2 и R_{06} и проверьте правильность формулы
(4.2)

Вывод записать в тетради.

Контрольные вопросы:

1. Какие участки цепи соединены параллельно?
2. Какие точки цепи являются точками разветвления?
3. Какой ток будет показывать амперметр при замыкании цепи?

Решить задачу.

Кабель состоит из двух стальных жил сечением $0,6\text{ мм}$ каждая и четырех медных жил сечением $0,85\text{ мм}^2$ каждая. Каково падение напряжения на каждом

километре кабеля при силе тока $0,1\text{A}$?

Результат 2.

Обучаемый сможет объяснять магнитные и электромагнитные явления.

5. Магнитное поле прямого проводника и катушки. Электромагнитная индукция. Правило Ленца для определения направления индукционного тока.
6. Лабораторная работа №4. «Определение индуктивности катушки».

Тема №5.

Магнитное поле проводника с током. Электромагнитная индукция.

Между неподвижными электрическими зарядами действуют силы, определяемые законом Кулона. Согласно теории близкодействия это взаимодействие осуществляется так: каждый из зарядов создает электрическое поле, поле одного заряда действует на другой заряд и наоборот.

Однако между электрическими зарядами могут существовать силы и иной природы. Их можно обнаружить с помощью следующего опыта. Возьмем два гибких проводника, укрепим их вертикально и присоединим нижними концами к полюсам источника тока (рисунке 3-1).

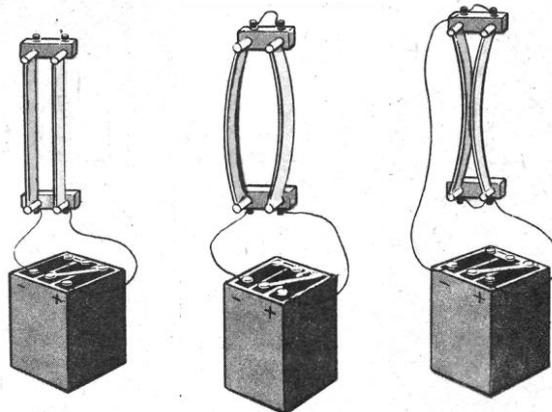


Рисунок 3-1 Рисунок 3-2 Рисунок 3-3
Взаимодействие проводников с током.

Притяжения или отталкивания проводников при этом, не обнаружится. Но если другие концы проводников замкнуть проволокой так, чтобы в проводниках возникли токи противоположного направления (рисунке 3-2), то проводники начнут отталкиваться друг от друга. В случае токов одного направления проводники притягиваются (рисунке 3-3).

Взаимодействия между проводниками с током, т. е. взаимодействия между движущимися электрическими зарядами, называют магнитными. Силы, с которыми проводники с током действуют друг на друга, называют магнитными силами. Согласно теории близкодействия ток в одном из проводников не может непосредственно действовать на другой ток.

Подобно тому как в пространстве, окружающем неподвижные электрические заряды, возникает электрическое поле, в пространстве, окружающем токи, возникает поле, называемое магнитным.

Электрический ток в одном из проводников создает вокруг себя магнитное поле, которое действует на ток во втором проводнике. А поле, созданное вторым током, действует на первый.

Магнитное поле представляет собой особую форму материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между движущимися электрически заряженными частицами.

Основные свойства магнитного поля таковы:

1. *Магнитное поле порождается электрическим током (движущимися зарядами).*

2. *Магнитное поле обнаруживается по действию на ток (движущиеся заряды).*
3. *Магнитное поле имеет два полюса (южный и северный).*
4. *Магнитное поле пронизывает различные среды.*
5. *Магнитное поле не имеет границ.*

Подобно электрическому полю, *магнитное поле существует реально, независимо от нас, от наших знаний о нем.* Экспериментальным доказательством реальности магнитного поля, как и реальности электрического поля, является факт существования электромагнитных волн.

Вокруг проводника с током образуется магнитное поле, так что свободно вращающаяся магнитная стрелка, помещенная вблизи проводника, будет стремиться занять положение, перпендикулярное плоскости, проходящей вдоль проводника. При изменении направления тока в проводнике магнитная стрелка повернется на угол 180° , оставаясь в положении, перпендикулярном плоскости, проходящей вдоль проводника. В зависимости от направления тока в проводнике направление магнитных линий образуемого им магнитного поля определяется правилом буравчика, которое формулируется следующим образом: *если поступательное движение буравчика совпадает с направлением тока в проводнике, то вращательное движение его рукоятки указывает направление магнитных линий поля, образуемого вокруг этого проводника.*

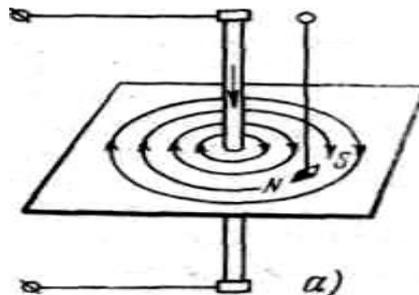


Рисунок 4. Линии индукции прямолинейного проводника с током.

Магнитное поле часто создается с помощью электрического тока протекающего по обмотке с сердечником, называемого соленоидом (рисунке 5).

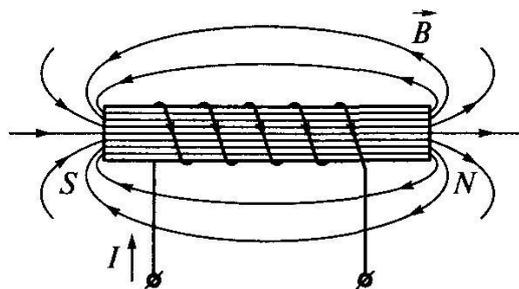


Рисунок 5. Линии индукции катушки с током.

Направление линий индукции поля в соленоиде проще определить с помощью правила правой руки. Для этого нужно расположить пальцы правой руки по направлению тока в витках соленоида, тогда большой палец укажет направление линий магнитного поля (рисунке 6).

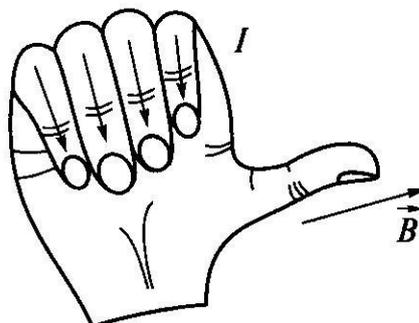


Рисунок 6. Правило правой руки.

Электромагнитная индукция.

Электрический ток, рассуждал Фарадей, способен намагнитить кусок железа. Не может ли магнит, в свою очередь, вызвать появление электрического тока?

Долгое время эту связь обнаружить не удавалось. Трудно было додуматься до главного, а именно: только движущийся магнит или меняющееся во времени магнитное поле может возбудить электрический ток в катушке.

Явление электромагнитной индукции заключается в возникновении электрического тока в проводящем контуре, который либо покоится в переменном во времени магнитном поле, либо движется в постоянном магнитном поле таким образом, что число линий магнитной индукции, пронизывающих контур, меняется. Оно было открыто 29 августа 1831 г. Редкий случай, когда дата нового замечательного открытия известна так точно.

Первоначально была открыта индукция в неподвижных друг относительно друга проводниках при замыкании и размыкании цепи. Затем, ясно понимая, что сближение или удаление проводников с током должно приводить к тому же результату, что и замыкание и размыкание цепи, Фарадей с помощью опытов доказал, что ток возникает при перемещении катушек друг относительно друга. Знакомый с трудами Ампера, Фарадей понимал, что магнит это совокупность маленьких токов, циркулирующих в молекулах.

17 октября, как зарегистрировано в его лабораторном журнале, был обнаружен индукционный ток в катушке во время вдвигания (или выдвигания) магнита. В течение одного месяца Фарадей опытным путем открыл все существенные особенности явлений электромагнитной индукции.

Правило Ленца.

Согласно правилу Ленца возникающий в замкнутом контуре индукционный ток противодействует тому изменению магнитного потока, которым вызван данный ток.

Применять правило Ленца для нахождения направления индукционного тока в контуре надо так:

1. Установить направление линий магнитной индукции B внешнего магнитного поля.

2. Выяснить, увеличивается ли поток магнитной индукции этого поля через площадь контура или уменьшается.

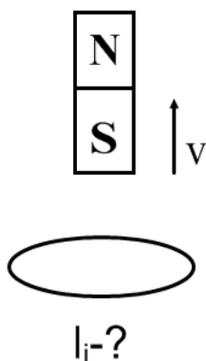
3. Установить направление линий магнитной индукции B' магнитного поля индукционного тока I_i . Эти линии должны быть согласно правилу Ленца направлены противоположно линиям B при увеличении магнитного потока и иметь одинаковое с ними направление при уменьшении магнитного потока.

4. Зная направление линий магнитной индукции B' , найти направление индукционного тока I_i , пользуясь правилом буравчика.

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ. (письменно в тетради).

1. Что называется магнитным полем?
2. Перечислите основные свойства магнитного поля.
3. Объясните взаимодействие проводников с током.
4. Запишите правила определения линий индукции магнитного поля.
5. Что называется электромагнитной индукцией?
6. Запишите правило определения направления индукционного тока.

Пример: Определите направление индукционного тока в замкнутом проводнике в случае.



1. Устанавливаем направление линии магнитной индукции внешнего поля. Они всегда выходят из северного полюса и заходят в южный.

В нашем примере у витка расположен южный полюс – следовательно линии магнитной индукции B направлены вверх.

2. Устанавливаем как меняется внешнее магнитное поле - при удалении от витка оно уменьшается, а при приближении увеличивается.

По рисунку магнит удаляется от витка - следовательно оно уменьшается.

3. Определяем направление линий индукции возникшего поля – они при уменьшении поля одинаково направлены с внешним полем, а при увеличении против.

В нашем случае магнитное поле уменьшается - следовательно линии индукции возникшего поля направлены вверх.

4. Используя правило буравчика определяем направление индукционного тока. Для этого буравчик располагаем вдоль линий индукции возникшего поля и вращаем его так чтобы он двигался по направлению линий индукции возникшего поля. Направление вращения укажет направление индукционного тока.

По заданию линии индукции возникшего поля направлены вверх следовательно-но буравчик необходимо вращать против часовой стрелки и также будет направлен индукционный ток.

Проверка степени усвоения материала

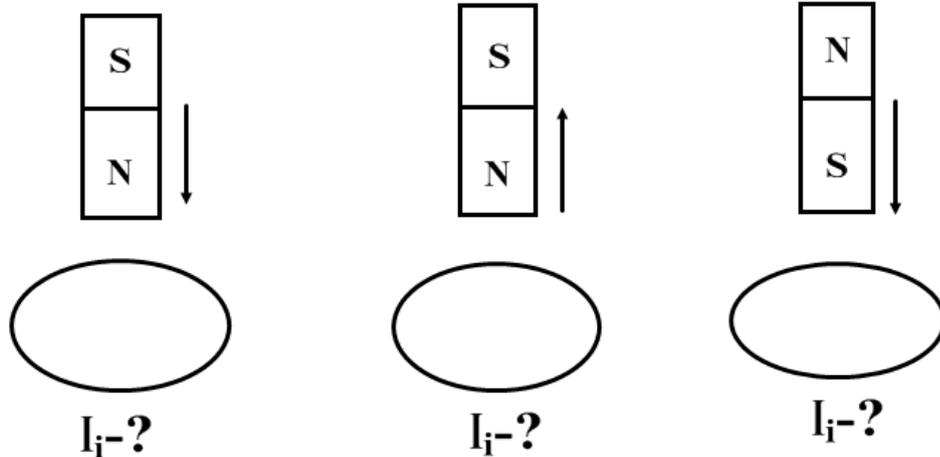
Самостоятельная работа:

Определите направление индукционного тока в замкнутом проводнике в случаях:

1-вариант

2-вариант

3-вариант



Тема № 6

Лабораторная работа №4.

Определение индуктивности катушки.

Цели работы:

1. Исследование зависимости индуктивности от материала сердечника.
2. Исследование зависимости индуктивности от числа витков.

Способность различных проводников и катушек индуцировать э.д.с. самоиндукции оценивается индуктивностью L . Она показывает, какая э.д.с. самоиндукции возникает в данном проводнике или катушке при изменении тока на 1А в течение 1с. Индуктивность измеряется в генри (Гн). На практике индуктивность часто измеряют в тысячных долях генри - миллигенри (мГн) и в миллионных долях генри - микрогенри (мкГн).

Если магнитный поток Φ , созданный током, проходящим по данному проводнику или катушке с числом витков ω , пропорционален силе тока I , то индуктивность определяют по формуле

$$L = \Phi / I \quad (6.1)$$

Подставляя значение потока Φ согласно формуле, получим:

$$L = \omega^2 \mu \ell / S \quad (6.2)$$

Как следует из формулы, индуктивность зависит от числа витков катушки ω , геометрических размеров ℓ и S ее магнитопровода и от магнитной проницаемости μ материала магнитопровода. Если в катушку внести стальной сердечник, то ее индуктивность резко возрастет за счет усиления магнитного поля катушки. Такую катушку называют дросселем.

Один из способов определения индуктивности катушки основан на том, что проволочная катушка, включенная в цепь переменного тока, кроме активного сопротивления R , определяемого материалом, размерами и температурой проволоки, создает дополнительное сопротивление X_L , называемое индуктивным. Значение этого сопротивления пропорционально индуктивности L и частоте колебаний, т.е.

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot \nu \cdot L \quad (6.3)$$

При этом полное сопротивление катушки Z переменному току определяется по формуле

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad (6.4)$$

Из этих двух уравнений можно найти индуктивность:

$$L = \frac{1}{2\pi\nu} \sqrt{Z^2 - R^2} \quad (6.5)$$

Следовательно, чтобы определить индуктивность катушки, необходимо знать частоту переменного тока, полное и активное сопротивление. Активное сопротивление определяют омметром. Полное сопротивление находят, пользуясь

законом Ома для цепи переменного тока: $Z = \frac{U}{I}$. Частота ν равна частоте сети переменного тока, т.е. 50 Гц.

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ. (письменно в тетради).

1. Что называется индуктивностью катушки?
2. В каких единицах измеряется индуктивность катушки?
3. От каких параметров зависит индуктивность катушки?
4. Каким способом можно определить индуктивность катушки?

Оборудование:

1. Катушка дроссельная.
2. Источник электропитания.

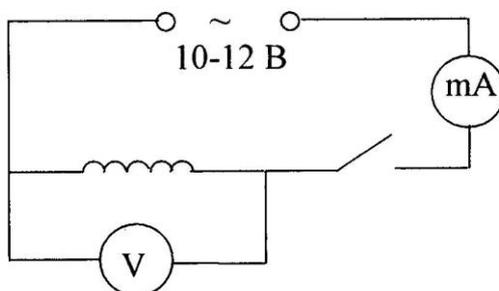
3. Ампервольтметр.
4. Миллиамперметр переменного тока на 50 мА.
5. Ключ замыкания тока.
6. Комплект проводов соединительных.

Выполнение работы

1. Подготовьте в тетради таблицу для записи результатов измерений и вычислений.

U (В)					
I (мА)					

2. Определите с помощью ампервольтметра активное сопротивление дроссельной катушки.
3. Соберите электрическую цепь по схеме, приведенной на рисунке. Последовательно соедините катушку, миллиамперметр, ключ и источник переменного тока (зажимы источника электропитания с обозначением «~»). Параллельно катушке подключите вольтметр (ампервольтметр с пределом 50В переменного тока).



- Замкнув ключ, установите с помощью регулятора выпрямителя напряжение, например, 10В и определите силу тока I . Повторите измерения при других значениях напряжения, например: 5, 12 В. Результаты измерений запишите в таблицу.
4. Определите полное сопротивление цепи и убедитесь, что оно не зависит от напряжения.
 5. Вычислите индуктивность катушки. В случаях, когда R мало в сравнении с Z , то значением R можно пренебречь. Тогда L будет приближенно равно

$$L = Z / 2 \cdot \pi \cdot \nu \quad (6.6)$$

Дополнительное задание

1. Внесите в катушку железный сердечник и повторите опыт. Сравните индуктивность катушки без сердечника и с сердечником, сделайте вывод.
2. Измените число витков катушки и определите ее индуктивность.

Результат 3.

Обучающийся сможет объяснять получение переменного тока и процессы прохождения его через различные сопротивления.

7. Однофазный переменный ток и его параметры. Сопротивления в цепи переменного тока. Устройство генератора трехфазного переменного тока. Способы соединений обмоток генератора трехфазного переменного тока.
8. Мощности в цепи переменного тока.

Тема №7. Переменный ток.

Постоянный ток, как известно, в металлах представляет собой установившееся поступательное движение свободных электронов. Если же эти электроны вместо поступательного совершают колебательное движение, то **ток периодически, через равные промежутки времени, изменяется как по значению, так и по направлению и называется переменным**.

Переменный ток обладает способностью трансформироваться (изменять напряжение с помощью трансформаторов), что обеспечивает экономную передачу электрической энергии на большие расстояния. Кроме того, двигатели переменного тока отличаются простотой устройства и малыми габаритами. Поэтому переменный ток применяется очень широко и почти вся электрическая энергия вырабатывается генераторами переменного тока.

Схема устройства простейшего генератора переменного тока изображена на рисунке 7. В магнитном поле электромагнита N5, возбуждаемом постоянным током в его обмотке, помещен виток из проводников 1 и 2. Концы витка соединены с металлическими кольцами, изолированными друг от друга и от корпуса и вращающимися вместе с витком. На кольцах установлены неподвижные щетки 3, посредством которых виток может быть замкнут на сопротивление нагрузки.

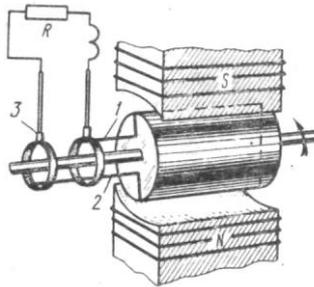


Рисунок 7. Схема устройства простейшего генератора переменного тока.

Амплитудой переменной величины называется наибольшее значение за период.

Мгновенное значение переменной величины это его величина в любой момент времени.

Период переменной величины это время за которое происходит полный цикл изменений. Период обозначается буквой T , а единицей измерения является секунда.

Частота переменной величины это число периодов за одну секунду. Частота обозначается буквой f , а единицей измерения является Герц.

АКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Рассмотрим явления, происходящие во внешней цепи с резистором. Если

сопротивление постоянному току цепи равно R_1 , то при протекании по этой цепи переменного тока сопротивление ее возрастает и станет равным некоторой величине R . Опыт показывает, что с увеличением частоты переменного тока сопротивление R возрастает. Сопротивление проводника (не обладающего ни индуктивностью, ни емкостью) переменному току называется **активным сопротивлением**. Так как активное сопротивление проводника возрастает с увеличением частоты, то это явление, возникающее в основном вследствие **поверхностного эффекта**, имеет существенное значение при высоких частотах.

Явление поверхностного эффекта как бы уменьшает полезное сечение провода и, следовательно, увеличивает сопротивление.

При частоте тока 50 Гц, применяющейся в промышленной электротехнике, и небольшом поперечном сечении проводника поверхностный эффект незначительно увеличивает сопротивление, а потому практически активное сопротивление проводников можно считать равным их сопротивлению постоянному току. При токах высоких частот разница между указанными сопротивлениями становится значительной.

На активном сопротивлении сила тока и напряжение изменяются одновременно, совпадают по фазе.

КАТУШКА ИНДУКТИВНОСТИ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Положим, что переменное напряжение с амплитудой U_m приложено к зажимам катушки с индуктивностью L и настолько малым активным сопротивлением R , что им можно пренебречь. Если бы вместо переменного напряжения мы приложили к той же катушке постоянное напряжение, то ввиду ничтожности активного сопротивления ток в цепи достиг бы очень большого значения. При переменном напряжении ток в катушке будет иметь меньшее значение. Это объясняется тем, что при переменном напряжении в катушке возникает также переменная эдс самоиндукции, которая складывается геометрически с приложенным напряжением и в результате оказывает влияние на ток.

На катушке сила тока отстает от напряжения по фазе на угол 90° . Сопротивление катушки в цепи переменного тока называется **индуктивным** и его величина зависит от частоты тока и индуктивности катушки (чем они больше тем больше индуктивное сопротивление). Величина индуктивного сопротивления определяется по формуле $X_L = 2 \cdot \pi \cdot \nu \cdot L$ (ν - частота переменного тока, а L - индуктивность катушки).

ЕМКОСТЬ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

При включении конденсатора емкостью C под постоянное напряжение U он заряжается и на его обкладках накапливаются равные, но противоположные по знаку количества электричества. Если заряженный конденсатор отключить от источника тока, то он, сохраняя заряд, будет обладать некоторым напряжением U_c . Соединив обкладки заряженного конденсатора между собой через какое-

либо сопротивление R , можно убедиться (при помощи измерительного прибора) в том, что конденсатор, разряжаясь, дает кратковременный ток через сопротивление R . Направление тока в цепи при разряде конденсатора противоположно направлению тока при заряде.

Если рассматривать процессы, происходящие в цепи, содержащей конденсатор и источник переменного тока с синусоидальным напряжением, то процесс прохождения тока сводится к периодическому заряду и разряду конденсатора.

На конденсаторе при этом сила тока опережает напряжение по фазе на угол 90° . Сопротивление конденсатора в цепи переменного тока называется емкостным и его величина зависит от частоты тока и емкости конденсатора (чем они больше тем меньше емкостное сопротивление). Величина емкостного сопротивления определяется по формуле $X_C = 1/2 \cdot \pi \cdot \nu \cdot C$ (ν - частота переменного тока, а C - емкость конденсатора).

ТРЕХФАЗНАЯ СИСТЕМА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Выше рассмотрены свойства однофазного переменного тока. Однако однофазная система неэкономична вследствие несовершенства однофазных электрических машин. Так, например, при одинаковых габаритах, массе активных материалов (стали и меди) и потерях энергии мощность однофазной машины в 1,5 раза меньше мощности трехфазной машины. Поэтому для электрификации используется трехфазная система переменного тока.

Трехфазной системой переменного тока или просто трехфазной системой называется цепь или сеть переменного тока, в которой действуют три эдс одинаковой частоты, но взаимно смещенные по фазе на одну треть периода. Отдельные цепи, составляющие трехфазную систему, называются фазами.

Если эдс во всех трех фазах имеют одинаковую амплитуду и сдвинуты по фазе на одинаковый угол, то такая трехфазная система называется симметричной.

Впервые в мире передача трехфазного тока была осуществлена русским ученым М. О. Доливо-Добровольским в 1891 г.

На рисунке 8 показана схема устройства простейшего двухполюсного трехфазного генератора. В пазах статора (неподвижная часть машины) расположены катушки $A-X$, $B-Y$ и $C-Z$, сдвинутые в пространстве на одну треть окружности (120°). Внутри статора помещается ротор (вращающаяся часть машины), представляющий собой двухполюсный электромагнит, питаемый постоянным током, возбуждающим магнитное поле. Ротор приводится во вращение каким-либо двигателем. Магнитные линии, вращаясь вместе с ротором, пересекают проводники катушек, заложенных в пазах статора, и индуцируют в этих катушках эдс, изменяющиеся синусоидально. Однако синусоиды эдс фаз e_A , e_B и e_C будут сдвинуты одна по отношению к другой на $1/3$ периода.

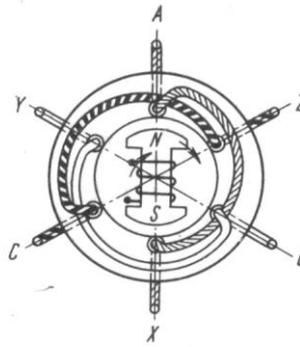


Рисунок 8. Схема устройства трехфазного генератора.

СОЕДИНЕНИЕ ОБМОТОК ГЕНЕРАТОРА

В трехфазном генераторе с тремя независимыми однофазными цепями их электродвижущие силы имеют одинаковые амплитуды и сдвинуты по фазе на $1/3$ периода. К каждой паре зажимов обмотки статора генератора можно подключить провода, подводящие ток к нагрузке, и получить несвязанную трехфазную систему. Однако все три фазы выгоднее объединить в одну общую трехфазную систему. Для этого обмотки генератора соединяют между собой в звезду или в треугольник.

При соединении обмоток генератора звездой концы всех трех фаз соединяют в общую (нулевую) точку 0 , а к началам подсоединяют провода, отводящие электрическую энергию в сеть. Эти три провода называются **линейными**, а напряжение между любыми двумя линейными проводами называется **линейным напряжением** (380 Вольт). Напряжение между любым из трех линейных проводов и нулевым проводом называется **фазным напряжением** (220 Вольт).

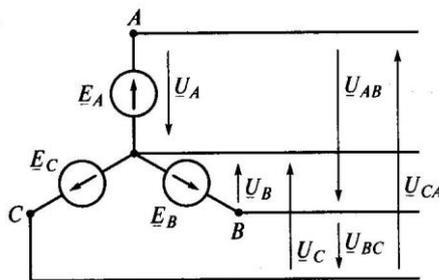


Рисунок 9. Схема соединений обмоток трехфазного генератора звездой.

При соединении обмоток генератора треугольником начало каждой фазы соединяется с концом другой фазы. Таким образом, три фазы генератора образуют замкнутый контур, в котором действует эдс, равная геометрической сумме эдс, индуцированных в фазах генератора. Так как эдс в фазах генератора равны и сдвинуты на $1/3$ периода по фазе, то геометрическая сумма их равна нулю и, следовательно, в замкнутом контуре трехфазной системы, соединенной треугольником, никакого тока при отсутствии внешней нагрузки не будет.

Линейные провода при соединении треугольником подключаются к точкам соединения начала одной фазы и конца другой. Напряжение между линейными проводами равно напряжению между началом и концом одной фазы.

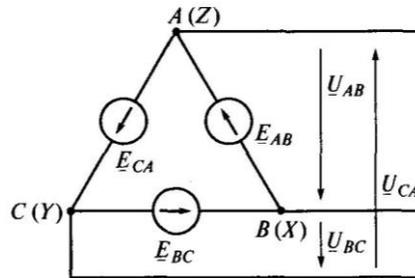


Рисунок 10. Схема соединений обмоток трехфазного генератора треугольником.

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ. (письменно в тетради).

1. Какой ток называется переменным и в чем его особенность?
2. Как устроен и работает простейший генератор?
3. Как протекает переменный ток через различные сопротивления?
4. Какой переменный ток называется трехфазным?
5. Как устроен и работает трехфазный генератор переменного тока?
6. Какими способами можно соединить обмотки трехфазного генератора?

Проверка степени усвоения материала:

Вставьте пропущенные слова.

1. Напряжение измеряется, который включается в цепь.....
 - А) вольтметром, параллельно;
 - Б) амперметром, последовательно;
 - В) вольтметром, последовательно;
2. Амплитудой..... величины называется его значение.
 - А) переменной, любой;
 - Б) переменной, максимальное;
 - В) постоянной, любой.
3. Соединение генератора при котором концы обмоток соединяют в одну общую (нулевую) точку, а к началам обмоток соединяют линейные провода называется.....
 - А) обмоток, треугольником;
 - Б) обмоток, независимой.
 - В) обмоток, звездой;
4. Сила тока измеряется, который включается в цепь.....
 - А) вольтметром, параллельно;
 - Б) амперметром, последовательно;
 - В) вольтметром, последовательно;

5. Мгновенным значением.....величины называется его значение в.....момент времени.
 А) переменной, любой;
 Б) переменной, максимальное;
 В) постоянной, любой.
6. Соединение генератора при котором конец одной обмотки соединяют с началом другой, а к точкам соединений подключают линейные провода называется.....
 А) обмоток, треугольником;
 Б) обмоток, независимой.
 В) обмоток, звездой;
7. Сопротивление конденсатора в цепи переменного тока называется.....
 А) активным;
 Б) индуктивным;
 В) емкостным.
8. Сопротивление катушки в цепи переменного тока называется.....
 А) активным;
 Б) индуктивным;
 В) емкостным.

Тема №8.

Мощность переменного тока. Оценка результатов 1,2,3.

Как известно, мощность постоянного тока определяется произведением напряжения и тока. При переменном токе как напряжение, так и ток периодически изменяются во времени. Следовательно, в любой момент времени мощность, равная произведению мгновенных значений напряжения и тока ($p=ui$) является также переменной величиной.

При активной нагрузке, когда сдвиг фаз между напряжением и током отсутствует, мощность представляет собой произведение действующих значений напряжения и тока и выражается в ваттах (или киловаттах, меговаттах и т. д.), т. е. $P=U \cdot I$.

В цепи, содержащей активное сопротивление и индуктивность, ток отстает по фазе от напряжения и мгновенное значение мощности оказывается как положительным, так и отрицательным, т. е. нагрузка потребляет энергию в одну часть периода и возвращает ее в сеть в другую часть.

Мощность переменного тока можно представить в виде активной и реактивной мощностей.

Активная мощность потребляется активным сопротивлением, где происходит процесс преобразования энергии электрической в энергию другого вида (механическую, световую, тепловую и другие). Активная мощность определяется по формуле $P=U \cdot I \cdot \cos\varphi$ где U и I действующие значения напряжения и тока.

Реактивная мощность накапливается индуктивностью при возрастании тока в

цепи в виде магнитного поля индуктивной катушки. При уменьшении тока в цепи энергия, накопленная в магнитном поле, преобразуется в электрическую и возвращается источнику энергии. Произведение действующих значений U и I называют реактивной мощностью: $Q=UI\sin\varphi$. Она выражается в варах или квартах. Реактивная мощность не потребляется приемником энергии и не участвует в процессе преобразования электрической энергии в энергию иного вида. Эта мощность циркулирует между источником и приемником энергии, нагружая провода линий, соединяющих приемник энергии с источником, а также увеличивая потери энергии в них.

Произведение действующих значений напряжения и тока называется полной мощностью S , выражаемой в вольт-амперах или киловатт-амперах ($V \cdot A$ или $kV \cdot A$) и определяется по формуле $S=UI$.

Отношение активной мощности к полной $P/S=\cos\varphi$ показывает, какая доля полной мощности потребляется цепью, и называется коэффициентом мощности, равным косинусу угла сдвига фаз между напряжением и током. При активной нагрузке $\cos\varphi =1$ и $S = P$, т. е. электрический аппарат или машина имеет наибольшую активную мощность.

Для измерения мощности переменного тока применяют специальные измерительные приборы - ваттметры.

Оценка результатов 1,2,3.

Вариант №1.

Ответьте на вопросы.

1. Что называется электрическим током ?
 - А) тепловое движение заряженных частиц;
 - Б) называют упорядоченное (направленное) движение заряженных частиц;
 - В) движение заряженных частиц;
2. Какое действие электрического тока применяется в нагревательных приборах?
 - А) магнитное;
 - Б) химическое;
 - В) тепловое.
3. Как называется отношение заряда q , переносимого через поперечное сечение проводника за интервал времени t , к этому интервалу времени ?
 - А) силой тока;
 - Б) напряжением;
 - В) сопротивлением.
4. Как взаимодействуют проводники по которым протекают токи одного направления?
 - А) отталкиваются;
 - Б) притягиваются;
 - В) не взаимодействуют.

Закончите предложения.

5. Соединение проводников друг за другом называется.....

- А) смешанным;
- Б) параллельным;
- В) последовательным.

6. Общее сопротивление при параллельном соединении.....

- А) увеличивается;
- Б) уменьшается;
- В) не меняется.

7. Направление линий индукции магнитного поля прямого проводника определяется по правилу.....

- А) буравчика.
- Б) левой руки;
- В) правой руки.

8. Сопротивление конденсатора в цепи переменного тока называется.....

- А) активным;
- Б) индуктивным;
- В) емкостным.

Вставьте пропущенные слова.

9. Напряжение измеряется, который включается в цепь.....

- А) вольтметром, параллельно;
- Б) амперметром, последовательно;
- В) вольтметром, последовательно;
- Г) амперметром, параллельно.

10. Амплитудой..... величины называется его значение.

- А) переменной, любой;
- Б) переменной, максимальное;
- В) постоянной, любой.

11. Мощность в другой вид энергии (световую, механическую, тепловую) называется мощностью.

- А) преобразуемая, реактивной;
- Б) преобразуемая, активной;
- В) не преобразуемая, реактивной.

12. Соединение генератора при котором концы обмоток соединяют в одну общую (нулевую) точку, а к началам обмоток соединяют линейные провода называется.....

- А) обмоток, треугольником;
- Б) обмоток, независимой.
- В) обмоток, звездой;

Вариант №2

Ответьте на вопросы.

1. Каково направление электрического тока?

- А) За направление тока принимают направление движения отрицательно заряженных частиц.

Б) За направление тока принимают направление движения нейтральных частиц.

В) За направление тока принимают направление движения положительно заряженных частиц.

2. Какое действие электрического тока применяется в электродвигателях?

А) магнитное;

Б) химическое;

В) тепловое.

3. Как называется противодействие электрической цепи прохождению электрического тока ?

А) силой тока;

Б) напряжением;

В) сопротивлением.

4. Как взаимодействуют проводники по которым протекают токи разного направления?

А) отталкиваются;

Б) притягиваются;

В) не взаимодействуют.

Закончите предложения.

5. Соединение проводников друг к другу называется.....

А) смешанным;

Б) параллельным;

В) последовательным.

6. Общее сопротивление при последовательном соединении.....

А) увеличивается;

Б) не меняется;

В) уменьшается.

7. Направление линий индукции магнитного поля катушки с током определяется по правилу.....

А) правой руки;

Б) левой руки;

В) буравчика.

8. Сопротивление катушки в цепи переменного тока называется.....

А) активным;

Б) индуктивным;

В) емкостным.

Вставьте пропущенные слова.

9. Сила тока измеряется, который включается в цепь.....

А) вольтметром, параллельно;

Б) амперметром, последовательно;

В) вольтметром, последовательно;

Г) амперметром, параллельно.

10. Мгновенным значением.....величины называется его значение в.....момент времени.

- А) переменной, любой;
- Б) переменной, максимальное;
- В) постоянной, любой.

11. Мощность в другой вид энергии, а циркулирующая от источника к приемнику называется мощностью.

- А) преобразуемая, реактивной;
- Б) преобразуемая, активной;
- В) не преобразуемая, реактивной.

12. Соединение генератора при котором конец одной обмотки соединяют с началом другой, а к точкам соединений подключают линейные провода называется.....

- А) обмоток, треугольником;
- Б) обмоток, независимой.
- В) обмоток, звездой;

Результат 4.

Обучающийся сможет объяснить устройство и принцип работы трансформаторов.

9. Общие сведения и принцип действия;

10. Виды трансформаторов;

11. Лабораторная работа № 4 «Изучение устройства и работы трансформатора».

Тема №9.

Общие сведения и принцип действия трансформатора.

Трансформатором называется статический электромагнитный аппарат, преобразующий переменный ток одного напряжения в переменный ток той же частоты, но другого напряжения.

Трансформаторы получили очень широкое практическое применение для передачи электрической энергии на большие расстояния, для распределения энергии между ее приемниками и в различных выпрямительных, сигнальных, усилительных и других устройствах.

При передаче электрической энергии от электростанций к ее потребителям большое значение имеет сила тока, проходящего по проводам. В зависимости от тока выбирается сечение проводов линии передачи энергии и, следовательно, определяется стоимость проводов, а также потери энергии в них.

Если при одной и той же передаваемой мощности увеличить напряжение, то ток в той же мере уменьшится, а это позволит применять провода с меньшим поперечным сечением для устройства линии передачи электрической энергии и уменьшит расход цветных металлов, а также уменьшит потери мощности в линии. Поперечное сечение провода и потери мощности в линии определяются следующими параметрами поперечное сечение провода, мм²; I - ток, А; U - напряжение в линии электропередачи, В; P - передаваемая мощность, Вт; R - сопротивление провода, Ом. Таким образом, при неизменной передаваемой мощности поперечное сечение провода и потери мощности в линии обратно пропорциональны напряжению.

Электрическая энергия вырабатывается на электростанциях синхронными генераторами при напряжении 11 - 18 кВ (в некоторых случаях при 30 - 35 кВ). Хотя это напряжение очень велико для непосредственного его использования потребителями, однако оно недостаточно для экономичной передачи электроэнергии на большие расстояния. Для увеличения напряжения применяют **п о в ы ш а ю щ и е т р а н с ф о р м а т о р ы**.

Приемники электрической энергии (лампы накаливания, электродвигатели и т. д.) из соображений безопасности для лиц, пользующихся этими приемниками, рассчитываются на более низкое напряжение (110 - 380 В). Кроме того, при высоком напряжении требуется усиленная изоляция токоведущих частей, что делает конструкцию аппаратов и приборов очень сложной. Поэтому высокое напряжение, при котором передается энергия, не может непосредственно использоваться для питания приемников, вследствие чего к потребителям энергия подводится через **п о н и ж а ю щ и е т р а н с ф о р м а т о р ы**.

Трансформатор имеет две изолированные обмотки, помещенные на стальном магнитопроводе. Обмотка включенная в сеть источника электрической энергии, называется **п е р в и ч н о й**; обмотка, от которой энергия подается к приемнику, - **в т о р и ч н о й**.

Обычно напряжения первичной и вторичной обмоток неодинаковы. Если первичное напряжение меньше вторичного, то трансформатор называется **повышающим**, если же первичное напряжение больше вторичного, то - **понижающим**. Любой трансформатор может быть использован и как повышающий, и как понижающий.

Действие трансформатора основано на явлении электромагнитной индукции. Если первичную обмотку трансформатора включить в сеть источника переменного тока, то по ней будет протекать переменный ток, который возбудит в сердечнике трансформатора переменный магнитный поток. Магнитный поток, пронизывая витки вторичной обмотки трансформатора, индуцирует в ней эдс. Под действием этой эдс по вторичной обмотке и через приемник энергии будет протекать ток. Таким образом, электрическая энергия, трансформируясь, передается из первичной цепи во вторичную, но при другом напряжении, на которое рассчитан приемник энергии, включенный во вторичную цепь.

Для улучшения магнитной связи между первичной и вторичной обмотками они помещаются на стальном магнитопроводе. Для уменьшения потерь от вихревых токов магнитопроводы трансформаторов собираются из тонких пластин (толщиной 0,5 и 0,35 мм) трансформаторной стали, покрытых изоляцией (жаростойким лаком). Трансформаторная сталь может быть горячекатаной и холоднокатаной.

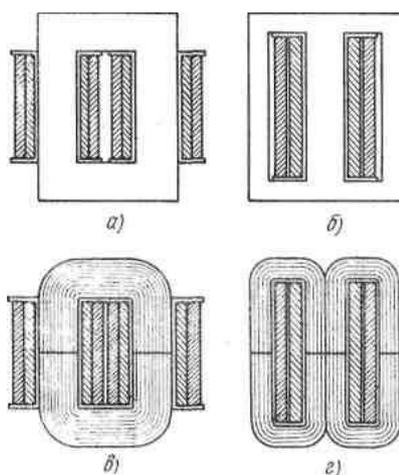


Рисунок 11.
Магнитопроводы однофазных трансформаторов:
а,в-стержневой, б,г- броневого

В зависимости от формы магнитопровода и расположения обмоток на нем трансформаторы могут быть стержневыми и броневыми. Магнитопровод стержневого однофазного трансформатора имеет два стержня, на которых помещены его обмотки. Эти стержни соединены ярмом с двух сторон так, что магнитный поток замыкается по стали. Магнитопровод броневого однофазного трансформатора имеет один стержень, на котором полностью помещены

обмотки трансформатора. Стержень с двух сторон охватывается (бронировается) ярмом так, что обмотка частично защищена магнитопроводом от механических повреждений.

Магнитопроводы из холоднокатаной стали как стержневые, так и броневые выполняются ленточными.

Трансформаторы большой мощности в настоящее время изготавливают исключительно стержневыми, так как у них проще изоляция обмоток высшего напряжения от магнитопровода, чем в броневых. В трансформаторах малой мощности напряжения обмоток малы, а поэтому изоляция их от магнитопровода значительно упрощается. Трансформаторы малой мощности часто изготавливают с броневым магнитопроводом, который имеет только один комплект с двумя обмотками, тогда как у стержневого - два комплекта.

Для измерительных и лабораторных трансформаторов, а также при повышенной частоте применяют тороидальные (кольцеобразные) магнитопроводы, достоинством которых является относительно малое магнитное сопротивление и почти полное отсутствие внешнего потока рассеяния. При равномерном распределении обмоток по окружности тороида такие трансформаторы не чувствительны к внешним магнитным полям независимо от их направления. Тороидальные магнитопроводы изготавливают из ленты холоднокатаной стали, а обмотки наматываются на специальном станке челночного типа.

Для лучшего охлаждения в магнитопроводах мощных трансформаторов устраивают охлаждающие каналы в плоскостях, параллельных и перпендикулярных плоскости стальных листов. Охлаждающие каналы устраивают и в обмотках.

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ. (письменно в тетради).

1. Что называют трансформатором и для чего его применяют?
2. Как устроен и как работает трансформатор?
3. Какими бывают трансформаторы?
4. Как устроены магнитопроводы трансформаторов и где их используют?
5. Что делается для улучшения охлаждения трансформатора?

Проверка степени усвоения материала:

Ответьте на вопросы.

1. Как называется обмотка трансформатора подключенная к сети?
 - А) промежуточной;
 - Б) вторичной;
 - В) первичной.
2. Как называется трансформатор у которого напряжение на первичной обмотке больше чем на вторичной?
 - А) повышающим;
 - Б) разделительным;
 - В) понижающим.

3. Какой магнитопровод чаще используется при изготовлении трансформаторов малой мощности?
 - А) броневой;
 - Б) тороидальный;
 - В) стержневой.
4. Как называется обмотка трансформатора к которой подключается нагрузка?
 - А) промежуточной;
 - Б) вторичной;
 - В) первичной.
5. Как называется трансформатор у которого напряжение на первичной обмотке меньше чем на вторичной?
 - А) повышающим;
 - Б) разделительным;
 - В) понижающим.
6. Какой магнитопровод чаще используется при изготовлении трансформаторов большой мощности?
 - А) броневой;
 - Б) тороидальный;
 - В) стержневой.

Тема №10.

Виды трансформаторов.

ТРЕХФАЗНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ.

В промышленности используют трехфазный переменный ток. Для уменьшения потерь электроэнергии при передаче её необходимо трансформировать. Осуществить это можно использовав три однофазных трансформатора, но при этом возникают большие затраты и потери.

Трехфазные трансформаторы изготавливают главным образом стержневыми. Рассмотрим схему построения магнитопровода трехфазного стержневого трансформатора показана на рисунке 12 а. Три одинаковых однофазных трансформатора выполнены так, что их первичные и вторичные обмотки размещены на одном стержне каждого магнитопровода, а другой стержень не имеет обмотки. Если эти три трансформатора расположить так, чтобы стержни, не имеющие обмоток, находились рядом, то эти три стержня можно объединить в один (рисунок 12 б). Через объединенный стержень 0 будет замыкаться магнитные потоки трех однофазных трансформаторов, которые равны по амплитуде и сдвинуты по фазе на $1/3$ периода. Так как сумма трех равных по амплитуде и сдвинутых по фазе на $1/3$ периода магнитных потоков равна нулю в любой момент времени ($\Phi_a + \Phi_b + \Phi_c = 0$), то в объединенном стержне магнитного потока нет и надобность в этом стержне отпадает. Таким образом, для магнитопровода достаточно иметь три стержня, которые по конструктивным соображениям располагаются в одной плоскости (рисункеи 12 в). На каждом стержне трехфазного трансформатора размещаются обмотки высшего и низшего напряжения одной фазы. Стержни соединяются между

собой ярмом сверху и снизу. Длина магнитных линий потока среднего стержня меньше, чем крайних стержней, так что магнитный поток среднего стержня встречает на своем пути меньшее магнитное сопротивление, чем магнитные потоки крайних стержней. Поэтому в фазе, обмотка которой помещена на среднем стержне, протекает меньший намагничивающий ток, чем в фазах, обмотки которых помещены на крайних стержнях.

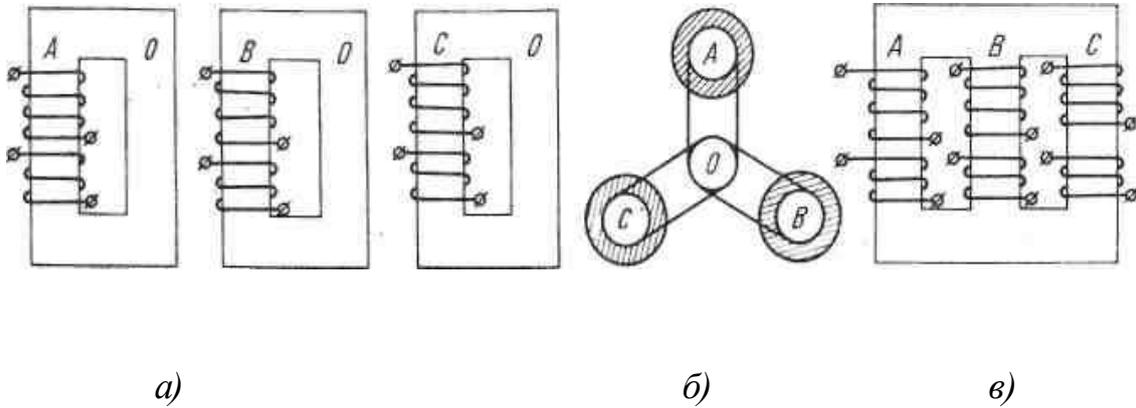


Рисунок 12 Схема построения трехфазного трансформатора:
а - три однофазных трансформатора, *б* - три однофазных трансформатора объединены в один магнитопровод, *в* - схема трехфазного стержневого.

Обмотки трехфазных трансформаторов могут быть соединены звездой и треугольником. При соединении обмоток звездой концы обмоток соединяют в одну общую или нулевую точку, а свободные зажимы начал трех фаз подключаются к трем проводам сети источника электрической энергии переменного тока. При соединении обмотки треугольником начало первой фазы соединяется с концом второй, начало второй фазы с концом третьей, начало третьей фазы с концом первой и к точкам соединений подключают линейные провода трехфазной сети.

АВТОТРАНСФОРМАТОРЫ

В конструктивном отношении автотрансформатор подобен трансформатору: на стальном магнитопроводе помещают две обмотки, выполненные из проводников различного поперечного сечения. Конец одной обмотки электрически соединяется с началом другой так, что две последовательно соединенные обмотки образуют общую обмотку высшего напряжения. Обмоткой низшего напряжения, являющейся частью обмотки высшего напряжения, служит одна из двух обмоток автотрансформатора. Таким образом, между обмотками высшего и низшего напряжения автотрансформатора имеется не только магнитная, но и электрическая связь.

Преимуществом автотрансформатора перед трансформатором той же полезной мощности является меньший расход активных материалов - обмоточного провода и стали, меньшие потери энергии, более высокий КПД, меньшее изменение напряжения при изменении нагрузки. Масса провода

обмоток автотрансформатора меньше массы провода обмоток трансформатора при одинаковых плотностях тока.

Поперечное сечение и масса стали магнитопровода автотрансформатора также меньше сечения и массы стали магнитопровода трансформатора. Это объясняется тем, что в трансформаторе энергия из первичной сети во вторичную передается магнитным путем в результате электромагнитной связи между обмотками. В автотрансформаторе энергия из первичной сети во вторичную частично передается путем электрического соединения первичной и вторичной сети, т. е. электрическим путем.

Наряду с преимуществами автотрансформаторов перед трансформаторами они имеют существенные недостатки: малое сопротивление короткого замыкания, что обуславливает большую кратность тока короткого замыкания; возможность попадания высшего напряжения в сеть низшего напряжения из-за электрической связи между этими сетями.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Измерительные трансформаторы делятся на трансформаторы напряжения и трансформаторы тока. Их применяют в цепях переменного тока для расширения пределов измерения измерительных приборов и для изоляции этих приборов от токопроводящих частей, находящихся под высоким напряжением. Трансформаторы напряжения конструктивно представляют собой обычные трансформаторы малой мощности. Первичная обмотка такого трансформатора включается в два линейных провода сети, напряжение которой измеряется или контролируется; во вторичную обмотку включают вольтметр или параллельную обмотку ваттметра, счетчика и т. п. Коэффициент трансформации трансформатора напряжения выбирают таким, чтобы при номинальном первичном напряжении, напряжение вторичной обмотки было 100 В.

Режим работы трансформатора напряжения подобен режиму холостого хода обычного трансформатора, так как сопротивление вольтметра или параллельной обмотки ваттметра, счетчика и т. п. велико и током во вторичной обмотке можно пренебречь.

Трансформаторы тока служат для преобразования переменного тока и изготавливаются таким образом, чтобы при большом номинальном токе первичной цепи во вторичной обмотке ток был 5 А. Первичная обмотка трансформатора тока включается в разрез линейного провода (последовательно с нагрузкой), ток в котором измеряется; вторичная обмотка замкнута на амперметр или на последовательную обмотку ваттметра, счетчика то есть на измерительный прибор с малым сопротивлением. Поэтому режим работы трансформатора тока подобен режиму короткого замыкания.

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ. (письменно в тетради).

1. Для чего используют трехфазный трансформатор и как его можно построить?
2. Какими способами соединяют обмотки трехфазного трансформатора?
3. Как устроен автотрансформатор?

4. Каковы преимущества и недостатки автотрансформатора?
5. Для чего используют измерительные трансформаторы и как их включают в цепь?
6. В каких режимах работают измерительные трансформаторы?

Проверка степени усвоения материала:

Ответьте на вопросы.

1. Какой трансформатор используется для измерения больших токов?
 - А) трансформатор тока;
 - Б) трансформатор частоты;
 - В) трансформатор напряжения.
2. Какой трансформатор используется для измерения высоких напряжений?
 - А) трансформатор тока;
 - Б) трансформатор частоты;
 - В) трансформатор напряжения.

Закончите предложения:

3. В простом трансформаторе между обмотками существует.....
 - А) только магнитная связь;
 - Б) магнитная и электрическая;
 - В) только электрическая связь.
4. Режим работы трансформатора тока подобен режиму.....
 - А) рабочему;
 - Б) короткого замыкания;
 - В) холостого хода.
5. В автотрансформаторе между обмотками существует.....
 - А) только магнитная связь;
 - Б) магнитная и электрическая;
 - В) только электрическая связь.
6. Режим работы трансформатора напряжения подобен режиму.....
 - А) рабочему;
 - Б) короткого замыкания;
 - В) холостого хода.

Тема №11.

Лабораторная работа № 5

Изучение устройства и работы трансформатора.

Цели работы:

1. *Ознакомиться с устройством трансформатора.*
2. *Определить коэффициент трансформации.*
3. *Вычислить КПД.*

Трансформатором называют электротехническое устройство, служащее для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения той же частоты.

Преобразование напряжения в трансформаторах осуществляется переменным магнитным потоком индуктивно-связанных между собой двух обмоток. Обмотка, подключаемая к источнику электрической энергии, называется первичной, другая обмотка, на которую включена нагрузка - вторичной. Если через трансформатор необходимо осуществить питание двух и более нагрузок с разным напряжением, то выполняется соответствующее число вторичных обмоток.

Для усиления (магнитной) связи между обмотками их помещают на ферромагнитный сердечник, называемый магнитопроводом.

Магнитопровод собирается из тонких изолированных друг от друга листов электрической стали. Часть магнитопровода, на которой располагаются обмотки, называют стержнями. Часть магнитопровода, замыкающие стержни, называют ярмом.

В данной работе надо ознакомиться с устройством трансформатора, определить его коэффициент трансформации и КПД.

Коэффициент трансформации рассчитывают по формуле:

$$K=U_1/U_2$$

где U_1 и U_2 - действующие значения напряжений в первичной и вторичной обмотках трансформатора. Напряжения измеряют с помощью ампер-вольтметра при разомкнутой вторичной обмотке (холостой ход).

Во время работы трансформатора под нагрузкой часть энергии расходуется на нагревание обмоток (потери в меди) и сердечника (потери в стали). Коэффициент полезного действия трансформатора

$$\text{КПД}=P_2/P_1$$

где P_1 - мощность, потребляемая первичной обмоткой из сети, а P_2 - мощность, выделяемая во вторичной обмотке.

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ. (письменно в тетради).

1. Какое устройство называется трансформатором?
2. Для чего необходим магнитопровод в трансформаторе?
3. Что называется коэффициентом трансформации?
4. Что называется коэффициентом полезного действия трансформатора

Оборудование:

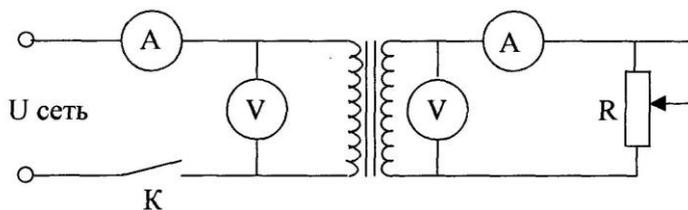
1. Трансформатор разборный школьный с двумя одинаковыми катушками на 127-220 В;
2. Выпрямитель селеновый ВС-4-12, имеющий вывод регулируемого переменного напряжения 8-20 В;
3. Ампервольтметр АВО-63;
4. Реостат ползунковый РПШ-0,4;
5. Ключ замыкания тока;
6. Комплект проводов соединительных.

Выполнение работы:

1. Ознакомьтесь с устройством трансформатора, разберитесь в соединении секций обмоток по схеме и подготовьте таблицу для записи результатов измерений и вычислений.

№ по/п	Первичная цепь			Вторичная цепь			КПД, %
	U_1 (В)	I_1 (А)	P_1 (Вт)	U_2 (В)	I_2 (А)	P_2 (Вт)	
1							
2							
3							
4							

2. Соберите цепь по схеме.



3. Замкните цепь, измерьте напряжения, а затем силу тока в первичной и вторичной обмотках. (Для измерения напряжения воспользуйтесь шкалой переменного напряжения ампервольтметра до 50 В, а силы тока - шкалой переменного тока до 500 мА.)

4. Вычислите потребляемую мощность P_1 полезную мощность P_2 и коэффициент полезного действия КПД.

5. Опыт повторите еще три раза, меняя с помощью реостата сопротивление нагрузки так, чтобы напряжение на вторичной обмотке каждый раз менялось примерно на 5 В. В каждом опыте измеряйте силы токов и напряжения в первичной и вторичной обмотках и вычисляйте коэффициент полезного действия.

Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу и по полученным данным постройте график зависимости КПД трансформатора от полезно расходуемой мощности.

Контрольные вопросы

1. Почему сердечники трансформаторов собирают из пластин электротехнической стали?

2. Почему при определении коэффициента трансформации напряжение измеряют при разомкнутой вторичной цепи?

Результат 5.

Обучающийся сможет объяснять устройство и принцип работы электрических машин.

12. Общие сведения и принцип действия и устройство асинхронного двигателя;
13. Пуск в ход асинхронных машин и улучшение пусковых свойств;
14. Генератор переменного тока (устройство и работа);
15. Генератор постоянного тока (устройство и работа)
16. Потери в электрических машинах.

Тема № 12.

Общие сведения об электрических машинах.

Принцип действия и устройство асинхронного двигателя.

Электрические машины широко применяют на электрических станциях, в промышленности, на транспорте, в авиации, в системах автоматического регулирования и управления, в быту. Они преобразуют механическую энергию в электрическую и, наоборот, электрическую энергию в механическую. **Машина, преобразующая механическую энергию в электрическую, называется генератором. Преобразование электрической энергии в механическую осуществляется двигателем.**

Любая электрическая машина может быть использована как в качестве генератора, так и в качестве двигателя. Это ее **свойство изменять направление преобразуемой ею энергии называется обратимостью машины**. Она может быть также использована для преобразования электрической энергии одного рода тока (частоты, числа фаз переменного тока, напряжения постоянного тока) в энергию другого рода тока. Такие электрические машины называются **преобразователями**.

Электрические машины в зависимости от рода тока электроустановки, в которой они должны работать, делятся на машины постоянного и машины переменного тока. Машины переменного тока могут быть однофазными и многофазными.

Наибольшее распространение получил трехфазный асинхронный двигатель сконструированный известным русским электриком И. О. Доливо-Добровольским. Асинхронный двигатель отличается простотой конструкции и несложностью обслуживания. Как и любая машина переменного тока, асинхронный двигатель состоит из двух основных частей: статора и ротора.

Статором называется неподвижная часть машины, в двигателях он создает вращающееся магнитное поле.

Ротором называется вращающаяся часть, он превращает вращение магнитного поля в механическое.

Асинхронная машина обладает свойством обратимости, то есть может быть использована как в режиме генератора, так и в режиме двигателя. Из-за ряда существенных недостатков асинхронные генераторы практически почти не применяются, тогда как асинхронные двигатели получили очень широкое распространение.

Многофазная система переменного тока создает вращающееся магнитное поле, частота вращения которого в минуту $n_1 = 60f_1/p$. Если ротор вращается с частотой, равной частоте вращения магнитного поля ($n_2 = n_1$), то такая частота называется **синхронной**. Если ротор вращается с частотой, не равной частоте вращения магнитного поля, то такая частота называется **асинхронной**.

В асинхронном двигателе рабочий процесс может протекать только при асинхронной частоте, т. е. при частоте вращения ротора, не равной частоте вращения магнитного поля. Частота вращения ротора может очень мало отличаться от частоты вращения поля, но при работе двигателя она будет

всегда меньше.

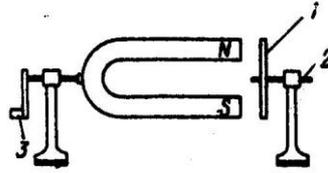


Рисунок 13. Схема поясняющая принцип действия асинхронного двигателя.

Работа асинхронного двигателя основана на явлении, названном «диск Араго - Ленца». Это явление заключается в следующем: если перед полюсами постоянного магнита поместить алюминиевый диск, свободно сидящий на оси 2, и начать вращать магнит вокруг его оси с помощью рукоятки 3, то медный диск будет вращаться в том же направлении. Это объясняется тем, что при вращении магнита его магнитное поле пронизывает диск и индуцирует в нем вихревые токи. В результате взаимодействия вихревых токов с магнитным полем магнита возникает сила, приводящая диск во вращение. На основании закона Ленца направление всякого индуцированного тока таково, что оно противодействует причине, его вызвавшей. Поэтому вихревые токи в теле диска стремятся задержать вращение магнита, но, не имея возможности сделать это, приводят диск во вращение так, что он следует за магнитом. При этом частота вращения диска всегда меньше, чем частота вращения магнита. Если бы эти частоты почему-либо стали одинаковыми, то магнитное поле не перемещалось бы относительно диска, и, следовательно, в нем не возникали бы вихревые токи, т. е. не было бы силы, под действием которой диск вращается.

В асинхронных двигателях постоянное магнитное поле заменено вращающимся магнитным полем, создаваемым трехфазной системой, при включении ее в сеть переменного тока.

УСТРОЙСТВО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

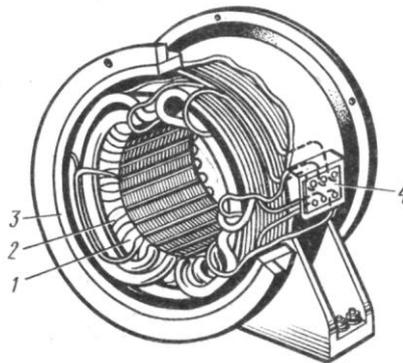


Рисунок 14. Устройство статора асинхронного двигателя.

Сердечник статора 1 набирается из стальных пластин толщиной 0,35 или 0,5 мм. Пластины штампуют с впадинами (пазами), изолируют лаком или окалиной для

уменьшения потерь на вихревые токи, собирают в отдельные пакеты и крепят в станине двигателя 3. К станине прикрепляют также боковые щиты с помещенными на них подшипниками, на которые опирается вал ротора. Станину устанавливают на фундаменте. В продольные пазы статора укладывают проводники его обмотки 2, которые соответствующим образом соединяют между собой так, что образуется трехфазная система. На щитке 4 машины имеется шесть зажимов, к которым присоединяются начала и концы обмоток каждой фазы. Для подключения обмоток статора к трехфазной сети они могут быть соединены звездой или треугольником, что дает возможность включать двигатель в сеть с двумя различными линейными напряжениями. Например, двигатель может работать от сети с напряжением 380 и 220 В. На щитке машины указаны оба напряжения сети, на которые рассчитан двигатель, т. е. 220/127 В или 380/220 В.

Для более низких напряжений, указанных на щитке, обмотка статора соединяется треугольником, более высоких звездой.

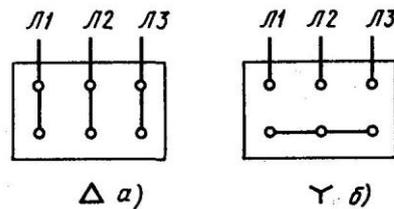


Рисунок 15. Схема соединений зажимов на щитке асинхронного двигателя.
а) – треугольником, б) – звездой.

Для соединения обмотки статора треугольником на щитке машины верхние зажимы соединяют переключками с нижними, а каждую пару соединенных вместе зажимов подключают к линейным проводам трехфазной сети рисунок 15 (а). Для включения звездой три нижних зажима на щитке соединяют переключками в общую точку, а верхние подключают к линейным проводам трехфазной сети рисунок 15 (б).

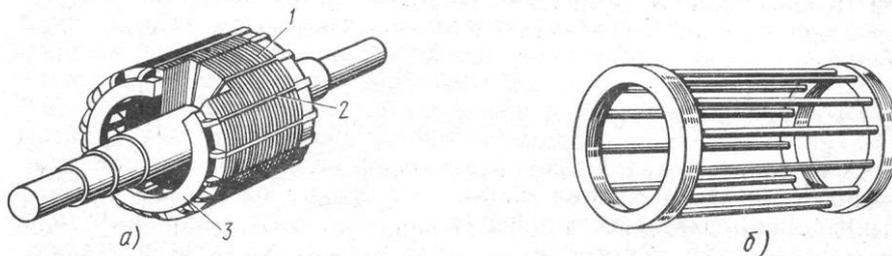


Рисунок 16. Короткозамкнутый ротор асинхронного двигателя.

Сердечник ротора также набирают из стальных пластин толщиной 0,5 мм, изолированных лаком или окалиной для уменьшения потерь на вихревые токи. Пластины штампуют с впадинами и собирают в пакеты, которые крепят на валу машины. Из пакетов образуется цилиндр с продольными пазами, в которых укладывают проводники обмотки ротора 2. В зависимости от типа обмотки асинхронные машины могут быть с фазным и короткозамкнутым роторами. Короткозамкнутая обмотка ротора выполняется по типу беличьего колеса. В

пазах ротора укладывают массивные стержни, соединенные на торцовых сторонах медными кольцами 3. Часто короткозамкнутую обмотку ротора изготавливают из алюминия. Алюминий в горячем состоянии заливают в пазы ротора под давлением. Такая обмотка всегда замкнута накоротко, и включение сопротивления в нее невозможно.

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ. (письменно в тетради).

1. Какими по назначению бывают электрические машины?
2. Как называются основные части электрических машин?
3. На каком явлении основана работа асинхронного двигателя? Опишите его.
4. Как устроен статор асинхронного двигателя?
5. Как устроен ротор асинхронного двигателя?
6. Для чего используют коробку зажимов?

Проверка степени усвоения материала:

Ответьте на вопросы.

1. Как называется подвижная часть асинхронного двигателя?
 - А) ротором;
 - Б) якорем;
 - В) статором.
2. Как называется электрическая машина преобразующая механическую энергию в электрическую?
 - А) преобразователем;
 - Б) генератором;
 - В) двигателем.
3. Как называется неподвижная часть асинхронного двигателя?
 - А) ротором;
 - Б) якорем;
 - В) статором.
4. Как называется электрическая машина преобразующая электрическую энергию в механическую?
 - А) преобразователем;
 - Б) генератором;
 - В) двигателем.

Вставьте пропущенные слова.

5. В промышленности чаще всего используются..... машины.....тока.
 - А) трехфазные, переменного;
 - Б) однофазные, переменного;
 - В) многофазные, переменного.
6. Электрическая машина называетсяесли частота вращения магнитного поля статора равна вращения ротора.
 - А) асинхронной, скорости;
 - Б) синхронной, частоте;
 - В) асинхронной, частоте.

7. В быту чаще всего используются..... машины.....тока.
 А) однофазные, переменного;
 Б) трехфазные, переменного;
 В) многофазные, переменного.
8. Электрическая машина называетсяесли частота вращения магнитного поля статора не равнавращения ротора.
 А) асинхронной, скорости;
 Б) синхронной, частоте;
 В) асинхронной, частоте.

Тема №13.

Пуск вход и улучшение пусковых свойств.

Однофазный асинхронный двигатель.

ПУСК В ХОД АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

При включении асинхронного двигателя в сеть переменного тока по обмоткам его/статора и ротора будут проходить токи, в несколько раз больше номинальных. Это объясняется тем, что при неподвижном роторе вращающееся магнитное поле пересекает его обмотку с большой частотой, равной частоте вращения магнитного поля в пространстве, и индуцирует в этой обмотке большую эдс.

Эта эдс создает большой ток в цепи ротора, что вызывает возникновение соответствующего тока и в обмотке статора.

При увеличении частоты вращения ротора скольжение уменьшается, что приводит к уменьшению эдс и тока в обмотке ротора. Это, в свою очередь, вызывает уменьшение тока в обмотке статора.

Большой пусковой ток нежелателен как для двигателя, так и для источника, от которого двигатель получает энергию. При частых пусках большой пусковой ток приводит к резкому повышению температуры обмоток двигателя, что может вызвать преждевременное старение его изоляции. В сети при больших токах понижается напряжение, что оказывает влияние на работу других приемников энергии, включенных в эту же сеть. Поэтому прямой пуск двигателя непосредственным включением его в сеть допускается только в том случае, когда мощность двигателя намного меньше мощности источника энергии, питающего сеть. Если мощность двигателя соизмерима с мощностью источника энергии, необходимо уменьшить ток, потребляемый этим двигателем при пуске в ход. Двигатели с фазным ротором обладают очень хорошими пусковыми свойствами. Для уменьшения пускового тока обмотку ротора замыкают на активное сопротивление, называемое пусковым реостатом. При включении такого сопротивления в цепь обмотки ротора ток в ней уменьшается, а следовательно, уменьшаются токи как в обмотке статора, так и потребляемый двигателем из сети. При этом увеличится активная составляющая тока ротора и, следовательно, вращающий момент, развиваемый двигателем при пуске в ход.

Пусковые реостаты имеют несколько контактов, поэтому можно постепенно

уменьшать сопротивление, введенное в цепь обмотки ротора. После достижения ротором нормальной частоты вращения реостат полностью выводится.

Пусковые реостаты работают непродолжительное время в процессе разгона двигателя и рассчитываются на кратковременное действие. Если оставить реостат включенным длительное время, то он выйдет из строя.

Двигатель с короткозамкнутым ротором при малой мощности его по сравнению с мощностью источника энергии пускают в ход непосредственным включением в сеть. При большой же мощности двигателя пусковой ток уменьшают, понижая приложенное напряжение. Для понижения напряжения на время пуска двигатель включают в сеть через понижающий автотрансформатор или реакторы. При вращении ротора с нормальной частотой двигатель переключают на полное напряжение сети.

Часто применяют пуск в ход двигателей посредством переключения обмотки статора со звезды на треугольник. В момент пуска обмотку статора соединяют звездой, а после того как двигатель разовьет частоту, близкую к нормальной, ее переключают треугольником. При таком способе пуска двигателя в ход пусковой ток в сети уменьшается в три раза по сравнению с пусковым током, который потреблялся бы двигателем, если бы при пуске обмотка статора была соединена треугольником. Этот способ пуска можно применять для двигателя, обмотка статора которого при питании от сети данного напряжения должна быть соединена треугольником.

ДВИГАТЕЛИ С УЛУЧШЕННЫМИ ПУСКОВЫМИ СВОЙСТВАМИ

Простота конструкции надежность в эксплуатации двигателей с короткозамкнутым ротором являются их существенным достоинством, благодаря чему они получили широкое применение в промышленности. Однако эти двигатели имеют плохие пусковые характеристики. Значительное улучшение пусковых характеристик асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором достигается изменением конструкции ротора: используют роторы с двойной короткозамкнутой обмоткой и с глубокими пазами. Ротор с двойной короткозамкнутой обмоткой был впервые предложен И. О. Доливо - Добровольским в 1889 году.

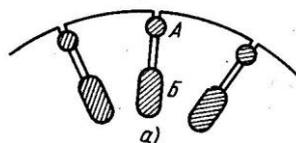


Рисунок 17. Схема устройства короткозамкнутого ротора с двойной обмоткой.

Он имеет две короткозамкнутые обмотки, выполненные в виде беличьих клеток. Число пазов верхней А и нижней Б обмоток может быть одинаково или различно. Наружная обмотка А выполнена из стержней малого поперечного

сечения, а внутренняя Б - из стержней большого поперечного сечения. Поэтому активное сопротивление обмотки А оказывается значительно большим, чем активное сопротивление обмотки Б ($R_A \gg R_B$). Вследствие того что стержни внутренней обмотки Б глубоко погружены в тело ротора и окружены сталью, индуктивное сопротивление внутренней обмотки значительно больше, чем внешней ($X_B \gg X_A$).

Принцип действия этого двигателя состоит в следующем. В момент включения двигателя в сеть ротор неподвижен и частота тока в роторе равна частоте тока сети. Ток в обмотках А и Б распределяется обратно пропорционально их полным сопротивлениям. Так как реактивные сопротивления обмоток асинхронных машин значительно больше их активных сопротивлений, то при пуске в ход распределение тока между обмотками А и Б примерно обратно пропорционально их индуктивным сопротивлениям. Поэтому при пуске в ход ток в основном протекает по проводникам внешней обмотки А, имеющей меньшее индуктивное и большее активное сопротивления. Эта обмотка называется пусковой.

В рабочем режиме скольжение мало и, следовательно, частота тока в роторе также мала. Поэтому индуктивные сопротивления обмоток не имеют значения и токи в обмотках А и Б обратно пропорциональны их активным сопротивлениям. Таким образом, в рабочем режиме ток в основном проходит по проводникам внутренней обмотки Б, имеющим меньшее активное сопротивление. Эта обмотка называется рабочей. При такой конструкции ротора увеличивается активное сопротивление его обмотки в момент пуска в ход двигателя, что уменьшает пусковой ток и увеличивает пусковой момент так же, как включение пускового реостата в цепь фазного ротора.

ОДНОФАЗНЫЕ АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Однофазные асинхронные двигатели широко применяют при небольших мощностях (до 1—2 кВт). Такой двигатель отличается от обычного трехфазного тем, что на статоре его помещается однофазная обмотка. Ротор однофазного асинхронного двигателя имеет фазную или короткозамкнутую обмотку. Особенностью однофазного асинхронного двигателя является отсутствие начального или пускового момента, т. е. при включении такого двигателя в сеть ротор его будет оставаться неподвижным.

Если же под действием какой-либо внешней силы вывести ротор из состояния покоя, то двигатель будет развивать вращающий момент. Отсутствие начального момента является существенным недостатком однофазных асинхронных двигателей. Поэтому они всегда снабжаются пусковым устройством.

Наиболее простым пусковым устройством являются две обмотки, помещенные на статоре, сдвинутые одна относительно другой на половину полюсного деления. Эти обмотки питаются от симметричной двухфазной сети, т.е. напряжения, приложенные к обмоткам, равны между собой и сдвинуты на четверть периода по фазе. При таких напряжениях токи, проходящие по обмоткам, окажутся также сдвинутыми по фазе на четверть периода, что в

дополнение к пространственному сдвигу обмоток дает возможность получить вращающееся магнитное поле. При наличии вращающегося магнитного поля двигатель развивает пусковой момент.

В действительности двухфазная сеть обычно отсутствует, и пуск однофазного двигателя осуществляется включением двух обмоток в одну общую для них однофазную сеть.

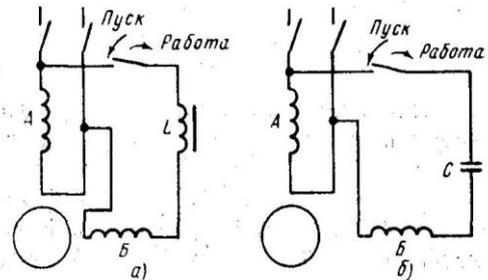


Рисунок 18. Схема пуска однофазного асинхронного двигателя.

Для получения угла сдвига фаз между токами в обмотках, примерно равного $\pm \pi/2$ (четверти периода), одну из обмоток (рабочую) включают в сеть непосредственно или с пусковым активным сопротивлением, а вторую обмотку (пусковую) последовательно с катушкой (рисунок 18 а) или конденсатором (рисунок б).

Пусковая обмотка включается только на период пуска в ход. В момент когда ротор приобретает определенную частоту вращения, пусковая обмотка отключается от сети центробежным выключателем или специальным реле и двигатель работает как однофазный. В качестве однофазного двигателя может быть использован любой трехфазный асинхронный двигатель. При работе трехфазного двигателя в качестве однофазного рабочая, или главная, обмотка, состоящая из двух последовательно соединенных фаз, включается непосредственно в однофазную сеть, третья фаза, являющаяся пусковой, или вспомогательной, обмоткой, включается в ту же сеть через пусковой элемент - резистор, катушку или конденсатор.

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ. (письменно в тетради).

1. Почему в момент пуска двигателя по обмоткам протекает большой ток?
2. Какие способы уменьшения пускового тока существуют?
3. Как устроен асинхронный двигатель с улучшенными пусковыми свойствами и как он работает?
4. Какова особенность однофазного асинхронного двигателя и как его запускают в ход?
5. Как можно трехфазный двигатель использовать в качестве однофазного?

**Проверка степени усвоения материала:
Ответьте на вопросы.**

1. Для чего используют пусковые устройства при пуске в ход асинхронного двигателя?
 - А) для увеличения пускового момента;
 - Б) для уменьшения пускового тока;
 - В) для увеличения пускового тока.
 2. Каково активное сопротивление пусковой обмотки?
 - А) больше чем у рабочей;
 - Б) меньше чем у рабочей;
 - В) равно сопротивлению рабочей.
 3. Каково активное сопротивление рабочей обмотки?
 - А) больше чем у пусковой;
 - Б) меньше чем у пусковой;
 - В) равно сопротивлению пусковой.
 4. Каково индуктивное сопротивление пусковой обмотки?
 - А) больше чем у рабочей;
 - Б) меньше чем у рабочей;
 - В) равно сопротивлению рабочей.
 5. Каково индуктивное сопротивление рабочей обмотки?
 - А) больше чем у пусковой;
 - Б) меньше чем у пусковой;
 - В) равно сопротивлению пусковой.
- Вставьте пропущенные слова.**
6. Однофазные двигатели широко применяют при мощностях.
 - А) асинхронные , больших;
 - Б) асинхронные , небольших;
 - В) синхронные , средних.
 7. Пусковая обмотка включается только на период в ход. В момент когда ротор приобретает определенную частоту вращения, пусковая обмотка от сети центробежным выключателем
 - А) пуска, включается;
 - Б) пуска, отключается;
 - В) работы, не отключается.

Тема № 14.

Общие сведения и принципы действия синхронных машин переменного тока.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И УСТРОЙСТВО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

В синхронных машинах частота вращения ротора равна частоте вращения магнитного поля статора и, следовательно, определяется частотой тока сети и числом пар полюсов,

Как и всякая электрическая машина, синхронная машина обратима, т. е. может работать как генератором, так и двигателем.

Электрическая энергия вырабатывается синхронным генератором, первичным двигателем которого является либо гидравлическая, либо паровая турбина, либо двигатель внутреннего сгорания.

Обычно обмотки возбуждения получают энергию от возбудителя, который представляет собой генератор постоянного тока. Возбудитель находится на одном валу с рабочей машиной, и мощность его составляет малую величину, порядка 1 - 5% мощности синхронной машины, возбуждаемой им. При небольшой мощности часто используются схемы питания обмоток возбуждения синхронных машин от сети переменного тока через полупроводниковые выпрямители.

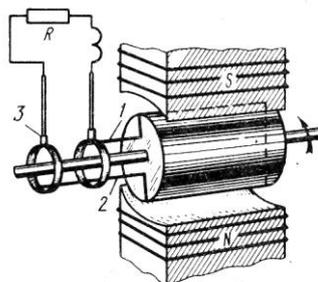


Рисунок 20. Схема устройства простейшего генератора переменного тока.

Простейшим генератором может быть виток из проводников 1 и 2, вращающийся в магнитном поле (рисунок 20). Магнитное поле возбуждается током обмотки возбуждения, помещенной на полюсах статора. При вращении витка проводники 1 и 2 пересекают магнитное поле полюсов N - S, вследствие чего в витке будет индуцироваться эдс. Концы витка соединены с кольцами 3, вращающимися вместе с витком. Если на кольцах поместить неподвижные щетки

и соединить их с приемником электрической энергии, то по замкнутой цепи, состоящей из витка, колец, щеток и приемника энергии, пойдет электрический ток под действием эдс. Полученная в таком простейшем генераторе эдс будет непрерывно изменяться в зависимости от положения витка в магнитном поле.

Возникновение эдс в проводниках возможно как при перемещении этих проводников в неподвижном магнитном поле, так и при перемещении магнитного поля относительно неподвижных проводников. В первом случае

полюсы, т. е. индуцирующая часть машины, возбуждающая магнитное поле, помещаются на неподвижной части машины (на статоре), а индуцируемая часть (якорь), т. е. проводники, в которых создается эдс, - на вращающейся части машины (на роторе). Во втором случае полюсы помещаются на роторе, а якорь - на статоре.

Выше мы рассмотрели принцип действия синхронного генератора с неподвижными полюсами и вращающимся якорем. В таком генераторе энергия, вырабатываемая им, передается приемнику энергии посредством скользящих контактов - контактных колец и щеток. Скользящий контакт в цепи большой мощности создает значительные потери энергии, а при высоких напряжениях наличие такого контакта крайне нежелательно. Поэтому генераторы с вращающимся якорем и неподвижными полюсами выполняют только при невысоких напряжениях (до 380/220 В) и небольших мощностях (до 15 кВ • А).

Наиболее широкое применение получили синхронные генераторы, в которых полюсы помещены на роторе, а якорь - на статоре. Ток возбуждения протекает по обмотке возбуждения, которая представляет собой последовательно соединенные катушки, помещенные на полюсы ротора. Концы обмотки возбуждения соединены с контактными кольцами, которые крепятся на валу машины.

На кольцах помещаются неподвижные щетки, посредством которых в обмотку возбуждения подводится постоянный ток от постороннего источника энергии генератора постоянного тока, называемого в о з б у д и т е л е м .

Устройство статора синхронного генератора аналогично устройству статора асинхронной машины. Ротор синхронных генераторов выполняют либо с явновыраженными (выступающими) полюсами, либо с неявновыраженными полюсами, т. е. без выступающих полюсов.

В машинах с относительно малой частотой вращения (при большом числе полюсов) ротор имеет явновыраженные полюсы (рисунок 21 а), равномерно расположенные по его окружности. Полюс состоит из сердечника 1, полюсного наконечника 2 и катушки обмотки возбуждения 3.

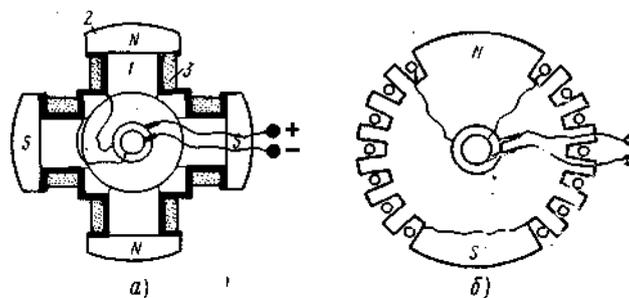


Рисунок 21. Ротор синхронной машины:

а — с явновыраженными полюсами, *б* — с неявновыраженными полюсами

Первичные двигатели синхронных генераторов с явновыраженными полюсами обычно представляют собой гидравлические турбины, являющиеся тихоходными машинами. При большой частоте вращения такое устройство ротора не может обеспечить нужной механической прочности и поэтому высокоскоростные машины снабжены роторами с неявновыраженными полюсами (рисунок 21 б). Сердечники роторов с неявновыраженными полюсами обычно изготавливают из цельных поковок, на поверхности которых фрезеруются пазы. После укладки обмоток возбуждения на роторе пазы его забиваются клиньями, а лобовые соединения обметки возбуждения укрепляются стальными бандажами, помещенными на торцевых частях ротора. При такой конструкции ротора допускаются большие частоты вращения.

Для генераторов с неявновыраженными полюсами первичными двигателями обычно являются паровые турбины, принадлежащие к числу быстроходных машин.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И УСТРОЙСТВО СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ.

Синхронный двигатель не имеет принципиальных конструктивных отличий от синхронного генератора. Так же как и в генераторе, на статоре синхронного двигателя помещается трехфазная обмотка, при включении которой в сеть трехфазного переменного тока будет создано вращающееся магнитное поле. На роторе двигателя помещена обмотка возбуждения, включаемая в сеть источника постоянного тока. Ток возбуждения создает магнитный поток полюсов. Вращающееся магнитное поле, полученное токами обмотки статора, увлекает за собой полюсы ротора. При этом ротор может вращаться только синхронно с полем, т. е. с частотой, равной частоте вращения поля статора. Таким образом, частота вращения синхронного двигателя строго постоянна, если неизменна частота тока питающей сети.

Основным достоинством синхронных двигателей является возможность их работы с потреблением опережающего тока, т. е. двигатель может представлять собой емкостную нагрузку для сети. Такой двигатель повышает коэффициент мощности всего предприятия, компенсируя реактивную мощность других приемников энергии.

Достоинством синхронных двигателей является также меньшая, чем у асинхронных, чувствительность к изменению напряжения питающей сети. У синхронных двигателей вращающий момент пропорционален напряжению сети в первой степени, тогда как у асинхронных квадрату напряжения.

Вращающий момент синхронного двигателя создается в результате взаимодействия магнитного поля статора с магнитным полем полюсов. От напряжения питающей сети зависит только магнитный поток поля статора.

Пуск в ход синхронного двигателя непосредственным включением его в сеть невозможен, так как при включении обмотки статора в сеть создается вращающееся магнитное поле, а ротор в момент включения неподвижен и, следовательно, взаимодействия магнитных полей статора и ротора нет, т. е. двигатель не развивает вращающего момента. Поэтому для пуска в ход

двигателя необходимо предварительно довести частоту вращения ротора до синхронной частоты или близкой к ней.

В настоящее время преимущественно применяется так называемый асинхронный пуск синхронных двигателей, сущность которого заключается в следующем. В полюсных наконечниках ротора синхронного двигателя уложена пусковая обмотка, выполненная в виде беличьего колеса, наподобие короткозамкнутой обмотки ротора асинхронной машины. Обмотка статора двигателя включается в трехфазную сеть, и пуск его производится так же, как и пуск асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. После того как двигатель разовьет частоту, близкую к синхронной (примерно 95%), обмотка возбуждения включается в сеть постоянного тока и двигатель входит в синхронизм, т. е. частота ротора увеличивается до синхронной.

При пуске в ход двигателя обмотка возбуждения замыкается на сопротивление, примерно в 10 - 12 раз больше сопротивления самой обмотки. Нельзя обмотку возбуждения при пуске в ход оставить разомкнутой или замкнуть накоротко. Если при пуске в ход обмотка возбуждения окажется разомкнутой, то в ней будет индуцироваться очень большая эдс, опасная как для изоляции обмотки, так и для обслуживающего персонала. Это объясняется тем, что при пуске в ход поле статора с большой частотой пересекает проводники обмотки возбуждения.

Если обмотку возбуждения замкнуть накоротко при пуске двигателя под нагрузкой в ход, то он может развить скорость, близкую к половине синхронной, и войти в синхронизм не сможет.

Основным недостатком синхронных двигателей является потребность в источнике как переменного, так и постоянного тока. Потребность в источнике постоянного тока для питания обмотки возбуждения синхронного двигателя делает его крайне неэкономичным при небольших мощностях. Поэтому синхронные двигатели малой мощности с возбуждением постоянным током не находят применения. В этих случаях широко используют реактивные синхронные двигатели. Ротор такого двигателя имеет явно выраженные полюсы. При очень малых мощностях ротор делают цилиндрическим из алюминия, в который при отливке закладываются стержни из мягкой стали, выполняющие функцию явно выраженных полюсов. Цилиндрическая форма ротора упрощает его обработку и балансировку, а также снижает потери на трение о воздух при работе машины, что существенно для двигателей очень малых мощностей.

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ. (письменно в тетради).

1. Как устроен простейший генератор и как он работает?
2. Как устроен статор генератора переменного тока?
3. Как устроены роторы генератора переменного тока?
4. Как осуществляется пуск синхронного двигателя?
5. Каковы преимущества и недостатки синхронного двигателя?
6. Как устроен статор синхронного двигателя?

**Проверка степени усвоения материала:
Ответьте на вопросы.**

1. Электрическая машина преобразующая электрическую энергию в механическую называется.....
 - А) преобразователем;
 - Б) генератором;
 - В) двигателем.
2. Электрическая машина преобразующая механическую энергию в электрическую называется.....
 - А) преобразователем;
 - Б) генератором;
 - В) двигателем.
3. Где размещают индуцирующую часть машины малой мощности?
 - А) на роторе;
 - Б) на статоре;
 - В) на валу.
4. Где размещают индуцируемую часть машины малой мощности?
 - А) на статоре;
 - Б) на роторе;
 - В) на станине.
5. Где размещают индуцирующую часть машины большой мощности?
 - А) на станине;
 - Б) на статоре;
 - В) на роторе.
6. Где размещают индуцируемую часть машины большой мощности?
 - А) на валу;
 - Б) на роторе;
 - В) на статоре.

Вставьте пропущенные слова.

7. На тепловых электростанциях используются генераторы переменного тока сполюсами так как они относятся кмашинам.
 - А) явновыраженными, тихоходным;
 - Б) явновыраженными, быстроходным;
 - В) неявновыраженными, быстроходным.

Тема № 15.

**Устройство и принцип действия машин постоянного тока.
ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И УСТРОЙСТВО ГЕНЕРАТОРА
ПОСТОЯННОГО ТОКА**

Простейшим генератором является виток, вращающийся в магнитном поле полюсов N и S (рисунок 20). В таком витке индуцируется переменная во

времени эдс. Поэтому при соединении концов витка с контактными кольцами, вращающимися вместе с витком, в нагрузке через неподвижные щётки протекает переменный ток, т. е. такая машина является генератором переменного тока.

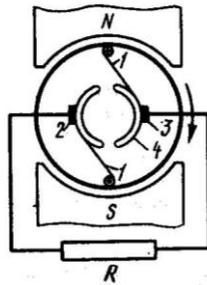


Рисунок 22. Схема работы коллектора генератора постоянного тока.

Для преобразования переменного тока в постоянный применяют коллектор, принцип действия которого состоит в следующем. Концы витка 1 (рисунок 22) присоединяются к двум медным полукольцам (сегментам), называемым коллекторными пластинами 4. Пластины жестко укрепляют на валу машины и изолируют как одну от другой, так и от вала. На пластинах помещают неподвижные щетки 2 и 3, электрически соединенные с приемником энергии.

При вращении витка коллекторные пластины также вращаются вместе с валом машины и каждая из неподвижных щеток 2 и 3 соприкасается то с одной, то с другой пластиной. Щетки на коллекторе установлены так, чтобы они переходили с одной пластины на другую в тот момент, когда эдс, индуцируемая в витке, была равна нулю. В этом случае при вращении якоря в витке индуцируется переменная эдс, изменяющаяся синусоидально при равномерном распределении магнитного поля, но каждая из щеток соприкасается с той коллекторной пластиной и соответственно с тем из проводников, который в данный момент находится под полюсом определенной полярности.

Следовательно, эдс на щетках 2 и 3 знака не меняет, и ток по внешнему участку замкнутой электрической цепи проходит в одном направлении от щетки 2 через сопротивление R к щетке 3. Однако, несмотря на неизменность направления эдс во внешней цепи, величина ее меняется во времени, т. е. получена не постоянная, а пульсирующая эдс. Ток во внешней цепи будет также пульсирующим.

Если поместить на якоре два витка под углом 90° один к другому и концы этих витков соединить с четырьмя коллекторными пластинами, то пульсация эдс и тока во внешней цепи значительно уменьшится. При увеличении числа коллекторных пластин пульсация быстро уменьшается и при большом числе коллекторных пластин эдс и ток практически постоянны.

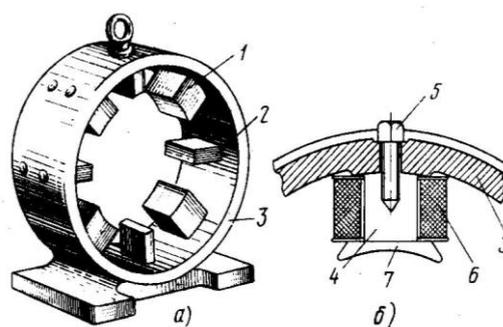


Рисунок 23. Устройство статора генератора постоянного тока.

Неподвижная часть машины (рисунок 23 а) состоит из главных полюсов 1, дополнительных полюсов 2 и станины 3. Главный полюс (рисунок 23 б) представляет собой электромагнит, создающий магнитный поток. Он состоит из сердечника 4, обмотки возбуждения 6 и полюсного наконечника 7. Полюс крепится на станине 3 с помощью болта 5. Сердечник полюса отливается из стали и имеет поперечное сечение овальной формы. На сердечнике полюса помещена катушка обмотки возбуждения, намотанная из изолированного медного провода.

Катушки всех полюсов соединяются последовательно, образуя обмотку возбуждения. Ток, протекающий по обмотке возбуждения, создает магнитный поток. Полюсный наконечник удерживает обмотку возбуждения на полюсе и обеспечивает равномерное распределение магнитного поля под полюсом. Полюсному наконечнику придают такую форму, при которой воздушный зазор между полюсами и якорем одинаков по всей длине полюсной дуги. Добавочные полюсы имеют также сердечник и обмотку.

Добавочные полюсы расположены между главными полюсами, и число их может быть либо равным числу главных полюсов, либо вдвое меньшим. Добавочные полюсы устанавливают в машинах больших мощностей; они служат для устранения искрения под щетками. В машинах малых мощностей добавочных полюсов обычно нет.

Станина отливается из стали; она является остовом машины. На станине крепят главные и добавочные полюсы, а также на торцовых сторонах боковые щиты с подшипниками, удерживающими вал машины. С помощью станины машина крепится на фундаменте.

Вращающаяся часть машины - якорь (рисунок 24) - состоит из сердечника 1, обмотки 2 и коллектора 3. Сердечник якоря представляет собой цилиндр, собранный из листов электротехнической стали. Листы изолируются друг от друга лаком или бумагой для уменьшения потерь на вихревые токи. Стальные листы штампуют на станках по шаблону; они имеют пазы, в которых укладываются проводники обмотки якоря. В теле якоря делают воздушные каналы для охлаждения обмотки и его сердечника.

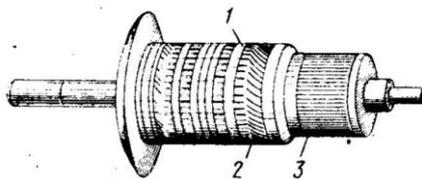


Рисунок 24. Якорь генератора постоянного тока.

Обмотка тщательно изолируется от сердечника и закрепляется в пазах немагнитными клиньями. Лобовые соединения укрепляются стальными бандажками. Все секции обмотки, помещенные на якоре, соединяются между собой последовательно, образуя замкнутую цепь, и присоединяются к коллекторным пластинам.

Коллектор представляет собой цилиндр, состоящий из отдельных пластин. Коллекторные пластины изготовляют из твердотянутой меди и изолируют между собой и от корпуса прокладками из миканита. Для крепления на втулке коллекторным пластинам придают форму «ласточкина хвоста», который зажимается между выступом на втулке и шайбой, имеющими форму, соответствующую форме пластины. Шайба крепится к втулке болтами.

Коллектор является наиболее сложной в конструктивном отношении и наиболее ответственной в работе частью машины. Поверхность коллектора должна быть строго цилиндрической во избежание биения и искрения щеток.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И УСТРОЙСТВО ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Конструкция двигателя постоянного тока аналогична конструкции генераторов постоянного тока. Статор с главными полюсами и обмоткой возбуждения создает магнитное поле индуктора. Обмотка возбуждения подключается к источнику постоянного напряжения. Якорь также содержит обмотку, по которой протекает ток, потребляемый из сети. Ток якоря взаимодействует с магнитным потоком индуктора, в результате образуется электромагнитный момент, который и вращает ротор двигателя.

Пуск двигателей сопровождается большим током, протекающим через обмотку якоря. Поэтому без пусковых реостатов (добавочных сопротивлений в цепи якоря) во избежание аварии пускают лишь двигатели мощностью до 1 кВт. Большой пусковой ток возникает потому, что сопротивление в цепи якоря невелико.

Сопротивление пускового реостата обычно соответствует нескольким ступеням, которые в первый момент вводят полностью и по мере запуска последовательно одну за другой отключают с таким расчетом, чтобы ток двигателя при пуске не превышал допустимого значения.

Среди всех электродвигателей двигатели постоянного тока имеют лучшие пусковые свойства. При относительно небольшом пусковом токе они могут создавать достаточно большой пусковой момент.

Реверс (изменение направления вращения) двигателя можно осуществить, изменив направление вращающего момента. Он изменится, если изменить либо направление тока в обмотке якоря, либо направление магнитного потока.

Обмотка возбуждения обладает значительной индуктивностью и переключение её нежелательно. Обычно для реверса изменяют полярность напряжения на обмотке якоря, т. е. направление тока в обмотке якоря.

Из характеристик двигателя наибольшее практическое значение имеет *механическая характеристика*, которая показывает, как меняется частота вращения ротора при изменении момента на валу.

Механическая характеристика, полученная при номинальных значениях напряжения питания и отсутствии добавочного сопротивления в цепи якоря, называется *естественной*.

Частоту вращения двигателя можно регулировать тремя способами; изменением напряжения, подаваемого на обмотку якоря, изменением магнитного потока и включением добавочного сопротивления в цепь якоря.

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ. (письменно в тетради).

1. Для чего служит коллектор в генераторе постоянного тока и как он действует?
2. Как устроен статор генератора постоянного тока?
3. Как устроен ротор генератора постоянного тока?
4. Каким образом пускают в ход двигатели постоянного тока?
5. Как меняют направление и частоту вращения двигатели постоянного тока?

Проверка степени усвоения материала:

Ответьте на вопросы.

1. Для чего служит коллектор в генераторе постоянного тока?
 - А) для изменения направления тока;
 - Б) для преобразования переменной эдс. в постоянную;
 - В) для преобразования постоянную эдс. в переменную.
2. Для чего используют главные полюса в генераторе постоянного тока?
 - А) для возбуждения эдс;
 - Б) для искрогашения;
 - В) для разгона.
3. Для чего используют добавочные полюса в генераторе постоянного тока?
 - А) для возбуждения эдс;
 - Б) для искрогашения;
 - В) для разгона.

Вставьте пропущенные слова.

4. Для создания магнитного поляискры, возникающие при работе генератора постоянного тока служатполюса.
 - А) индуцирующего, дополнительные;
 - Б) индуцирующего, главные;
 - В) гасящего, дополнительные.

5. Для создания магнитного поляток в обмотках якоря генератора постоянного тока служатполюса.
- А) индуцирующего, дополнительные;
 - Б) индуцирующего, главные;
 - В) гасящего, дополнительные.
6. Как осуществляют изменение направления вращения двигателя постоянного тока?
- А) изменяют направление тока в обмотке якоря;
 - Б) изменяют направление магнитного потока;
 - В) изменяют направление тока в обмотке возбуждения.

Тема №16.

Потери в электрических машинах. Оценка результатов 4 и 5.

В машинах при работе происходят потери энергии, которые складываются из трех составляющих.

Первой составляющей - являются потери в стали $P_{ст}$ на гистерезис и вихревые токи, возникающие в сердечнике якоря. При вращении якоря машины сталь его сердечника непрерывно перемагничивается. На ее перемагничивание затрачивается мощность, называемая потерями на гистерезис. Одновременно при вращении якоря в магнитном поле в сердечнике его индуцируются вихревые токи. Потери на гистерезис и вихревые токи, называемые потерями в стали, обращаются в теплоту и нагревают сердечник якоря.

Потери в стали зависят от магнитной индукции и частоты перемагничивания сердечника якоря. Магнитная индукция определяет эдс машины или, иначе, напряжение, а частота перемагничивания зависит от частоты вращения якоря. Поэтому при работе машины постоянного тока в режиме генератора или двигателя потери в стали будут постоянными, не зависящими от нагрузки, если напряжение на зажимах якоря и частота его вращения постоянны.

Ко второй составляющей - относятся потери энергии на нагревание проводов обмоток возбуждения и якоря проходящими по ним токами, называемые потерями в меди, - $P_{об}$.

Потери в обмотке якоря и в щеточных контактах зависят от тока в якоре, т. е. являются переменными - меняются при изменениях нагрузки.

Третья составляющая - механические потери $P_{мех}$, представляющие собой потери энергии на трение в подшипниках, трение вращающихся частей о воздух и щеток о коллектор. Эти потери зависят от частоты вращения якоря машины. Поэтому механические потери также постоянны и не зависят от нагрузки,

Оценка результатов 4,5.

Вариант №1.

Ответьте на вопросы.

1. Как называется обмотка трансформатора подключенная к сети?
- А) первичной.

- Б) промежуточной;
В) вторичной;
2. Как называется трансформатор у которого напряжение на первичной обмотке больше чем на вторичной?
А) повышающим;
Б) разделительным;
В) понижающим.
3. Какой магнитопровод чаще используется при изготовлении трансформаторов малой мощности?
А) броневой;
Б) стержневой.
В) тороидальный.
4. Какой трансформатор используется для измерения высоких напряжений?
А) трансформатор тока;
Б) трансформатор частоты;
В) трансформатор напряжения.

Закончите предложения:

5. В простом трансформаторе между обмотками существует.....
А) только магнитная связь;
Б) магнитная и электрическая;
В) только электрическая связь
6. Режим работы трансформатора тока подобен режиму.....
А) рабочему;
Б) короткого замыкания;
В) холостого хода.
7. неподвижная часть асинхронного двигателя называется.....
А) ротором;
Б) якорем;
В) статором.
8. Электрическая машина преобразующая электрическую энергию в механическую называется.....
А) преобразователем;
Б) генератором;
В) двигателем.

Вставьте пропущенные слова.

9. В промышленности чаще всего используются..... машины.....тока.
А) трехфазные, переменного;
Б) однофазные, переменного;
В) многофазные, переменного.
10. Электрическая машина называетсяесли частота вращения магнитного поля статора равна вращения ротора.
А) асинхронной, скорости;
Б) синхронной, частоте;
В) асинхронной, частоте.

11. На тепловых электростанциях используются генераторы переменного тока сполюсами так как они относятся кмашинам.
 А) явновыраженными, тихоходным;
 Б) явновыраженными, быстроходным;
 В) неявновыраженными, быстроходным.
12. Для создания магнитного поляискры, возникающие при работе генератора постоянного тока служатполюса.
 А) индуцирующего, дополнительные;
 Б) индуцирующего, главные;
 В) гасящего, дополнительные.

Вариант № 2.

Ответьте на вопросы.

- Как называется обмотка трансформатора к которой подключается нагрузка?
 А) промежуточной;
 Б) вторичной;
 В) первичной.
- Как называется трансформатор у которого напряжение на первичной обмотке меньше чем на вторичной?
 А) повышающим;
 Б) разделительным;
 В) понижающим.
- Какой магнитопровод чаще используется при изготовлении трансформаторов большой мощности?
 А) броневой;
 Б) тороидальный;
 В) стержневой.
- Какой трансформатор используется для измерения больших токов?
 А) трансформатор тока;
 Б) трансформатор частоты;
 В) трансформатор напряжения.

Закончите предложения:

- В автотрансформаторе между обмотками существует.....
 А) только магнитная связь;
 Б) магнитная и электрическая;
 В) только электрическая связь
- Режим работы трансформатора напряжения подобен режиму.....
 А) рабочему;
 Б) короткого замыкания;
 В) холостого хода.
- Подвижная часть асинхронного двигателя называется.....

- А) ротором;
- Б) якорем;
- В) статором.

8. Электрическая машина преобразующая механическую энергию в электрическую называется.....

- А) преобразователем;
- Б) генератором;
- В) двигателем.

Вставьте пропущенные слова.

9. В быту чаще всего используются..... машины.....тока.

- А) однофазные, переменного;
- Б) трехфазные, переменного;
- В) многофазные, переменного.

10. Электрическая машина называетсяесли частота вращения магнитного поля статора не равнавращения ротора.

- А) асинхронной, скорости;
- Б) синхронной, частоте;
- В) асинхронной, частоте.

11. На гидроэлектростанциях используются генераторы переменного тока сполюсами так как они относятся кмашинам.

- А) явновыраженными, тихоходным;
- Б) явновыраженными, быстроходным;
- В) неявновыраженными, быстроходным.

12. Для создания магнитного поляток в обмотках якоря генератора постоянного тока служатполюса.

- А) индуцирующего, дополнительные;
- Б) индуцирующего, главные;
- В) гасящего, дополнительные.

Использованная литература:

1. Бутырин П.А. Толчеев О.В. Шакирзянов Ф.Н. «Электротехника» М. Академия, 2007.-272с.
2. Буховцев Б.Б. Мякишев Г.Я. «Физика 9» М. Просвещение, 1988. 4-е издание 271с.
3. Данилов И.А. Иванов П.М. «Общая электротехника с основами промышленной электроники». М. Высшая школа, 1983. -287 с.
4. Евдокимов Ф.Е. «Теоретические основы электротехники» М. Академия, 2005.-560с.
5. Евсюков А.А. «Электротехника». М. Просвещение, 1979.-248 с.
6. Жаворонков М.А. «Электротехника и электроника». М. Академия, 2007.-400.с.
7. Касаткин А.С. «Основы электротехники». М. Высшая школа, 1982.-288 с.
8. Кацман М.М. «Электрические машины» М. Академия, 2006.-496.с.
9. Кацман М.М. «Справочник по электрическим машинам» М. Академия, 2005.-480.с.
10. Китаев В.Е. « Трансформаторы». М. Просвещение, 1974.-207 с.
11. Китаев В.Е. «Электротехника с основами промышленной электроники». М. Высшая школа, 1985.-224 с.
12. Кузнецов М.И. «Основы электротехники». М. Высшая школа, 1970.-368 с.
13. Морозова Н.Ю. «Электротехника и электроника». М. Академия, 2007.-256.с.
14. Полещук В.И. « Задачник по электротехнике и электронике». М.Академия, 2006.-224с. 2-е издание.
15. Поляков В.А. «Электротехника» М. Просвещение, 1982.-239 с.
16. Поляков Ю.Н. «Справочник электрика» М. Цитадель – трейд. 2007. -365с.
17. Шихин А.Я. «Электротехника» М. Высшая школа, 1989.-336 с.
18. Шишмарев В.Ю. «Автоматика» М. Академия, 2008.-288с.
19. Шишмарев В.Ю. «Типовые элементы системы автоматического управления» М. Академия, 2007.-304с.

Правильные ответы на результаты 1,2,3.:**1 Вариант****2 Вариант.**

Вопрос 1	Б	В
Вопрос 2	В	А
Вопрос 3	А	В
Вопрос 4	Б	А
Вопрос 5	В	Б
Вопрос 6	Б	А
Вопрос 7	А	А
Вопрос 8	В	Б
Вопрос 9	А	Б
Вопрос 10	Б	А
Вопрос 11	Б	В
Вопрос 12	В	А

Критерии компетентности:

10- 12 верных ответов ----- компетентен;

6 - 9 верных ответов ----- доказательств не достаточно для оценки компетентности;

Менее 6 верных ответов ----- не компетентен;

Правильные ответы на результаты 4,5.:**1 Вариант****2 Вариант.**

Вопрос 1	А	Б
Вопрос 2	В	А
Вопрос 3	А	В
Вопрос 4	В	А
Вопрос 5	А	Б
Вопрос 6	Б	В
Вопрос 7	В	А
Вопрос 8	Б	В
Вопрос 9	А	А
Вопрос 10	Б	В
Вопрос 11	В	А
Вопрос 12	В	Б

Критерии компетентности:

10- 12 верных ответов ----- компетентен;

6 - 9 верных ответов ----- доказательств недостаточно для оценки компетентности;

Менее 6 верных ответов ----- не компетентен;