

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ГАГАРИНА Ю.А.»  
(СГТУ имени Гагарина Ю.А.)  
САРАТОВСКИЙ КОЛЛЕДЖ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ЭНЕРГЕТИКИ**

«СОГЛАСОВАНО»  
Решением П(Ц)МК  
Протокол № \_\_\_\_\_  
от «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

«УТВЕРЖДАЮ»  
Заместитель директора по УР  
\_\_\_\_\_ С.В. Ключкина  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

***Методические рекомендации для студентов по  
проведению практических работ  
по дисциплине «Электрические машины»  
для специальности***

***15.02.14 Оснащение средствами автоматизации технологических  
процессов и производств (по отраслям)***

Саратов, 2021

Разработал преподаватель СКМ и Э ФГБОУ ВО «СГТУ имени Гагарина Ю.А» **Акимов В.В.**

Данные методические рекомендации предназначены для студентов 3 курса, специальности **15.02.14** Оснащение средствами автоматизации технологических процессов и производств (по отраслям).

## **Введение**

Практические занятия, как виды учебных занятий, направлены на экспериментальное подтверждение теоретических положений и формирование учебных и профессиональных практических умений и составляют важную часть теоретической и профессиональной практической подготовки. Семинар является видом практических занятий.

В процессе практического занятия обучающиеся выполняют одно или несколько практических заданий под руководством преподавателя в соответствии с изучаемым содержанием учебного материала.

Выполнение обучающимися практических занятий проводится с целью:

- формирования практических умений в соответствии с требованиями к уровню подготовки обучающихся, установленными рабочей программой дисциплины по конкретным разделам/ темам дисциплины;
- обобщения, систематизации, углубления, закрепления полученных теоретических знаний;
- совершенствования умений применять полученные знания на практике, реализации единства интеллектуальной и практической деятельности;
- развития интеллектуальных умений у будущих специалистов: аналитических, проектировочных, конструктивных и др.;
- выработки таких профессионально значимых качеств, как самостоятельность, ответственность, точность, творческая инициатива при решении поставленных задач при освоении общих компетенций.

### **Цель практических занятий**

В результате освоения учебной дисциплины «Электрические машины» обучающийся должен **знать:**

- основные типы электрических машин и трансформаторов, их устройства, принципа работы, рабочих свойств и характеристик;
- методы анализа установившихся и переходных процессов в устройствах и цепях, содержащих электрические машины и трансформаторы;
- методы расчета основных характеристик электрических машин и трансформаторов.

Содержание практических работ ориентировано на подготовку студентов к освоению дисциплины «Электрические машины» основной профессиональной образовательной программы по специальности и овладению профессиональными компетенциями:

ПК 2.2. Осуществлять монтаж и наладку модели элементов систем автоматизации на основе разработанной технической документации.

ПК 2.3. Проводить испытания модели элементов систем автоматизации в реальных условиях с целью подтверждения работоспособности и возможной оптимизации.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать: - технические параметры, характеристики и особенности различных видов электрических машин.

А также формированию общих компетенций:

ОК 1 Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности, применительно к различным контекстам.

ОК 2 Осуществлять поиск, анализ и интерпретацию информации, необходимой для выполнения задач профессиональной деятельности.

ОК 3 Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие.

ОК 4 Работать в коллективе и команде, эффективно взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами.

ОК 5 Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке с учетом особенностей социального и культурного контекста.

ОК 6 Проявлять гражданско-патриотическую позицию, демонстрировать осознанное поведение на основе традиционных общечеловеческих ценностей.

ОК 7 Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях.

ОК 8 Использовать средства физической культуры для сохранения и укрепления здоровья в процессе профессиональной деятельности и поддержания необходимого уровня физической подготовленности.

ОК 9 Использовать информационные технологии в профессиональной деятельности.

ОК 10 Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках.

ОК 11 Планировать предпринимательскую деятельность в профессиональной сфере.

Критерии оценки выполнения практической и лабораторной работы:

| № | Критерии оценки                                                                                                                                                                  | Оценка              |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 1 | Студент выполнил работу полностью, проявил самостоятельность, активность, при защите работы ответил на все вопросы                                                               | Отлично             |
| 2 | Студент выполнил работу полностью, проявил самостоятельность, активность, при защите ответил не на все вопросы                                                                   | Хорошо              |
| 3 | Студент выполнил работу полностью, при выполнении работы проявил недостаточную самостоятельность, пользовался помощью преподавателя, при защите работы ответил не на все вопросы | Удовлетворительно   |
| 4 | Студент не закончил выполнение работы, самостоятельности при выполнении работы не проявил, на вопросы при защите не ответил                                                      | Неудовлетворительно |

### Организация практического занятия

Практическое занятие должно проводиться в учебных кабинетах или специально оборудованных помещениях (площадках, полигонах и т.п.) - кабинет (**В соответствии с УП**).

В соответствии с требованиями ФГОС СПО15.02.14 «Оснащение средствами автоматизации технологических процессов и производств» реализация ППССЗ должна обеспечивать выполнение обучающимися и практических занятий, включая как

обязательный компонент *практические занятия*. (с использованием персональных компьютеров).

Выполнению практических занятий предшествует проверка знаний обучающихся - их теоретической готовности к выполнению задания.

Практические занятия могут носить репродуктивный, частично-поисковый и поисковый характер.

Работы, носящие *репродуктивный характер*, отличаются тем, что при их проведении обучающиеся пользуются подробными инструкциями, в которых указаны: цель работы, пояснения (теория, основные характеристики), оборудование, аппаратура, материалы и их характеристики, порядок выполнения работы, таблицы, выводы (без формулировки), контрольные вопросы, учебная и специальная литература.

Работы, носящие *частично-поисковый характер*, отличаются тем, что при их проведении обучающиеся не пользуются подробными инструкциями, им не дан порядок выполнения необходимых действий, и они требуют от обучающихся самостоятельного подбора оборудования, выбора способов выполнения работы в инструктивной и справочной литературе и др.

Работы, носящие *поисковый характер*, характеризуются тем, что обучающиеся, опираясь на имеющиеся у них теоретические знания, должны решить новую для них проблему.

При планировании практических занятий необходимо находить оптимальное соотношение репродуктивных, частично-поисковых и поисковых работ, чтобы обеспечить высокий уровень интеллектуальной деятельности.

Формы организации обучающихся при проведении практических занятий - фронтальная, групповая и индивидуальная.

При *фронтальной форме* организации занятий все обучающиеся выполняют одновременно одну и ту же работу.

При *групповой форме* организации занятий одна и та же работа выполняется бригадами по 2 - 5 человек.

При *индивидуальной форме* организации занятий каждый обучающийся выполняет индивидуальное задание.

Для повышения эффективности проведения практических занятий рекомендуется:

- разработка сборников задач, заданий и упражнений;
- разработка контрольно-диагностических материалов для контроля за подготовленностью обучающихся к практическим занятиям, в том числе в форме педагогических тестовых материалов для автоматизированного контроля;
- подчинение методики проведения практических занятий ведущим дидактическим целям с соответствующими установками обучающимся;
- применение коллективных и групповых форм работы, максимальное использование индивидуальных форм с целью повышения ответственности каждого обучающегося за самостоятельное выполнение полного объема работ;
- проведение практических занятий на повышенном уровне трудности с включением в них заданий, связанных с выбором обучающимися условий выполнения работы, конкретизацией целей, самостоятельным отбором необходимого оборудования;
- подбор дополнительных задач и заданий для обучающихся, работающих в более быстром темпе, для эффективного использования времени, отводимого на практические занятия.

Методические рекомендации к практическим работам разработаны на основе рабочей программы дисциплины ««Электрические машины»».

Содержание практических работ ориентировано на подготовку студентов к освоению дисциплины ««Электрические машины»» основной профессиональной образовательной программы по специальности 15.02.14 «Оснащение средствами автоматизации технологических процессов и производств» и овладению профессиональными компетенциями.

## Перечень

1. Практическое ознакомление с устройством трансформаторов напряжения
2. Практическое ознакомление с устройством трансформаторов тока
3. Изучить схемы и группы соединения обмоток трансформаторов
4. Изучение конструкции, схемы автотрансформатора
5. Изучение конструкции и устройства асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором
6. Пуск в ход асинхронного двигателя с кзр при переключении со «звезды» на «треугольник»
7. Изучение схем включения трехфазных двигателей от однофазной сети
8. Устройство коллекторной машины постоянного тока
9. Устройство и конструкция шагового двигателя



## Практическая работа №1

### ПРАКТИЧЕСКОЕ ОЗНАКОМЛЕНИЕ С УСТРОЙСТВОМ ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПЯЖЕНИЯ

*Цель работы:* Изучение конструкции и параметров трансформатора напряжения.

*План работы:*

Составить эскиз трансформатора. На эскизе указать габаритные и присоединительные размеры. Определить тип сердечника. При помощи комбинированного прибора определить количество обмоток, найти первичную обмотку. Составить электрическую схему трансформатора. Замерить выходные напряжения. Сделать вывод о проделанной работе.

*Основные теоретические сведения.*

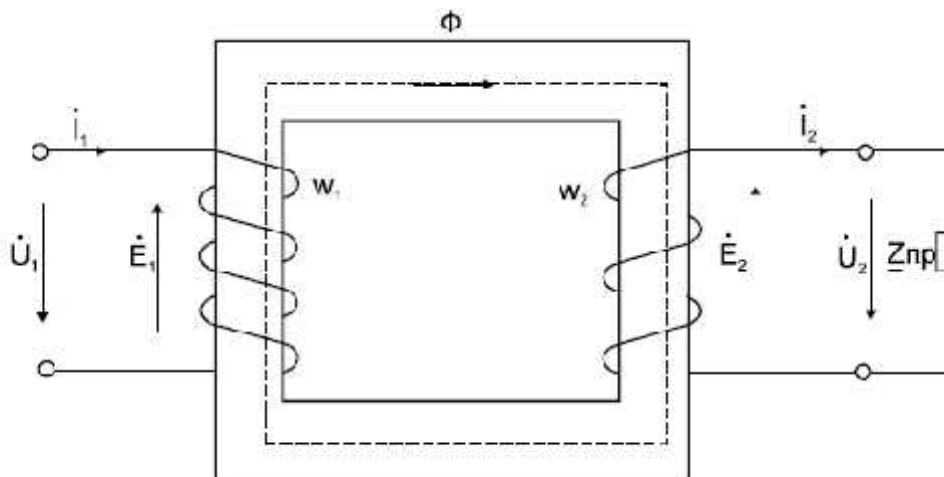


Рисунок 1.1 Устройство однофазного трансформатора

Трансформатор представляет собой статический электромагнитный аппарат, служащий для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения, без изменения частоты.

Основные части трансформатора: сердечник (магнитопровод) изготавливается из ферромагнитного материала – листовой электротехнической стали и две обмотки – первичная и вторичная, связанные индуктивно при помощи магнитного потока. Обмотки в трансформаторе электрически разделены, причем обмотка, подключаемая к сети, называется первичной, а обмотка, к которой подключен приемник нагрузка, – вторичной. Все величины, относящиеся к этим обмоткам токи, напряжения, ЭДС и т.п., соответственно обозначаются индексом 1 ( $I_1$ ,  $U_1$ ,  $E_1$ ) и 2 ( $I_2$ ,  $U_2$ ,  $E_2$ ) и называются первичными и вторичными. Под действием переменного

напряжения  $U_1$  в первичной обмотке протекает переменный ток  $I_1$ , который создает в магнитопроводе, переменный магнитный поток  $\Phi$ . Замыкаясь по магнитопроводу, этот поток пронизывает обмотки трансформатора и наводит в них ЭДС:

в первичной обмотке:

$$e_1 = W_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad (1.1)$$

во вторичной обмотке:

$$e_2 = W_2 \frac{d\Phi}{dt} \quad (1.2)$$

Со вторичной обмотки снимается напряжение  $U_2$ , которое подается на приемник электрической энергии. Если магнитный поток трансформатора является синусоидальной функцией времени.

$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t \quad (1.3)$$

то после подстановки его выражения в уравнения (1.1) и (1.2) и дифференцирования можно получить выражения для действующих значений ЭДС первичной и вторичной обмоток.

$$E_1 = 4,44 W_1 f \Phi_m; \quad E_2 = 4,44 W_2 f \Phi_m \quad (1.4)$$

где:

$f$  – частота питающей сети;

$W_1, W_2$  – число витков соответствующих обмоток трансформатора.

Отношение ЭДС первичной обмотки трансформатора к ЭДС вторичной его обмотки, равное отношению соответствующих чисел витков обмоток, называется коэффициентом трансформации:

$$E_1/E_2 = W_1/W_2 = k \quad (1.5)$$

Величину  $k$  – отношение ЭДС первичной обмотки трансформатора к ЭДС вторичной обмотки – называют коэффициентом трансформации.

Если  $E_1 < E_2$ , то трансформатор является повышающим;  
при  $E_1 > E_2$  он будет понижающим.

Контрольные вопросы:

- 1 Поясните назначение трансформатора.
- 2 Объясните устройство и принцип действия однофазного трансформатора.

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ОЗНАКОМЛЕНИЕ С УСТРОЙСТВОМ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА**

*Цель работы:* Изучение конструкции и параметров трансформатора тока.

*План работы:*

Составить эскиз трансформатора. На эскизе указать габаритные и присоединительные размеры. Составить электрическую схему трансформатора. Сделать вывод о проделанной работе.

*Основные теоретические сведения.*

Измерительные трансформаторы тока (ТА) служат для пропорционального снижения первичного тока во вторичный и для изоляции вторичных цепей от первичных. Снижение первичного тока необходимо для снижения габаритов измерительных приборов. Все ТА должны иметь маркировку первичных и вторичных цепей. Начало и конец первичной обмотки обозначаются соответственно Л1 и Л2, а вторичной И1 и И2. В условном обозначении ТА отражается наличие двух обмоток.

В отличие от силовых трансформаторов и трансформаторов напряжения, для трансформаторов тока номинальным является режим короткого замыкания вторичной обмотки, а опасным — режим холостого хода, когда нарушается целостность вторичной цепи. Это обуславливается принципом действия трансформатора тока (рис. 2.1). Ток нагрузки потребителей  $I_1$  протекает по первичной обмотке с числом витков  $w_1$ . Этот ток создает МДС  $I_1 w_1$ . Под действием этой МДС через магнитопровод замыкается магнитный поток  $\Phi_1$ . Магнитный поток  $\Phi_1$  индуцирует во вторичной обмотке с числом витков  $w_2$  ЭДС  $E_2$ . При замыкании вторичной обмотки на сопротивление во вторичной цепи протекает ток  $I_2$ , этот ток создает свою МДС  $I_2 w_2$  и свой магнитный поток  $\Phi_2$ , который, по правилу Ленца, направлен навстречу потоку  $\Phi_1$ . Суммарный магнитный поток  $\Phi_{\text{сум}}$ , проходящий через магнитопровод, равен разности магнитных потоков  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ :

$$\Phi_{\text{сум}} = \Phi_1 - \Phi_2 . \quad (2.1)$$

$\Phi_{\text{сум}}$ , на который рассчитывается магнитопровод, по величине намного меньше потока  $\Phi_1$ , и амплитуда синусоиды вторичной ЭДС имеет небольшое значение. Соответственно небольшое напряжение будет на нагрузке во вторичной цепи. Так, при  $Z_{\text{нагр}} = 0,6$  Ома и номинальной нагрузке в первичной цепи:

$$U_{\text{ном}} = I_{\text{ном}} Z_{\text{нагр}} = 5 \times 0,6 = 3 \text{ В}. \quad (2.2)$$

Такое напряжение не представляет опасности для обслуживающего

персонала, даже если он прикасается одновременно к двум выводам вторичной цепи трансформатора тока.

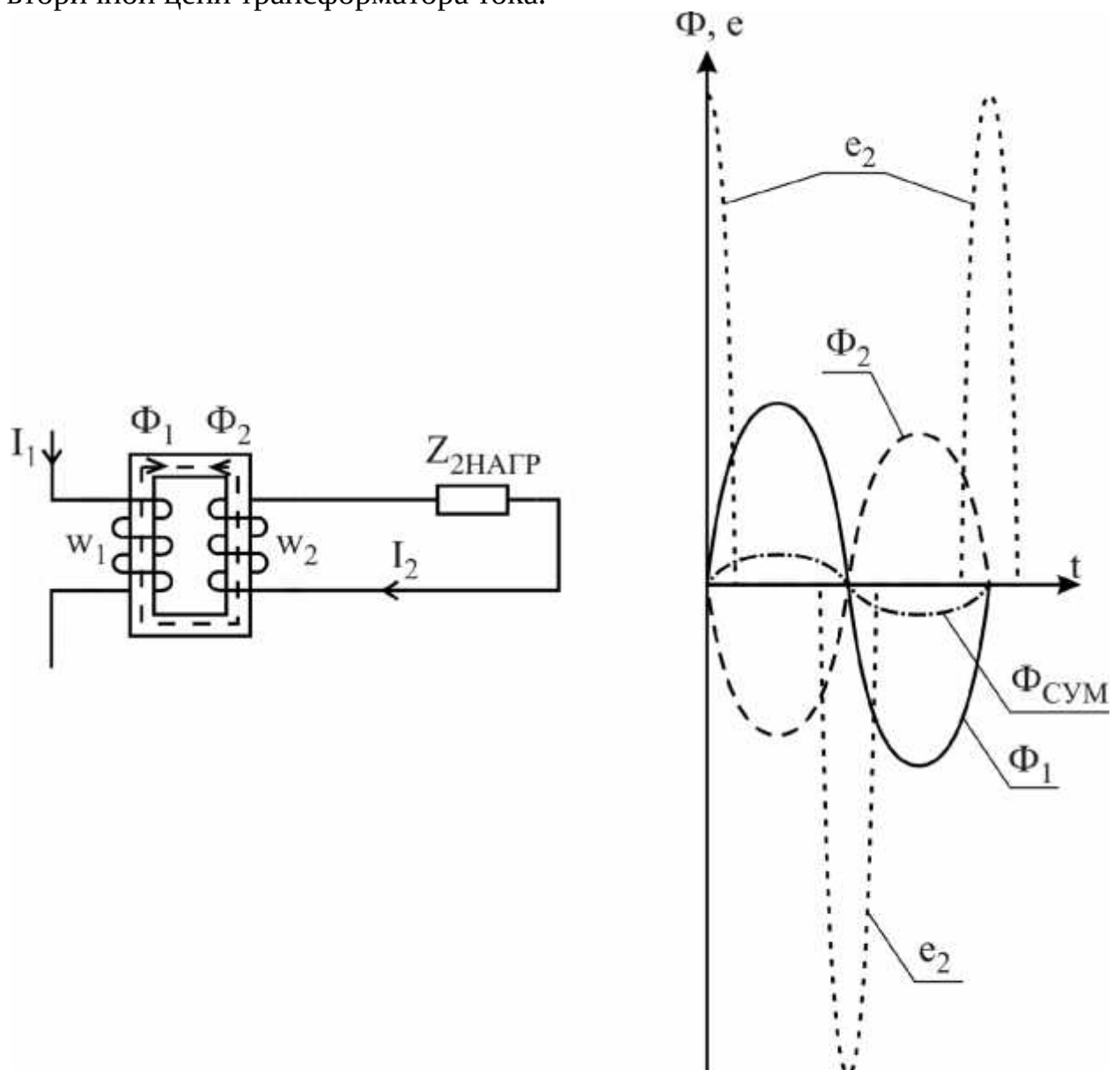


Рисунок 2.1 Принцип действия токового трансформатора

Если разрывается вторичная цепь трансформатора тока, когда по первичной цепи протекает номинальный ток — ток потребителей, то исчезает поток, создаваемый вторичной обмоткой  $\Phi_2$ , а через магнитопровод пытается пройти поток  $\Phi_1$ . Поскольку сечение магнитопровода не рассчитано на пропускание такого большого магнитного потока, то магнитопровод насыщается и нагревается. Внешне это проявляется в почернении магнитопровода из-за обугливания межлистовой изоляции. От магнитопровода нагреваются обмотки, их изоляция обугливается.

Кроме этого, при разрыве вторичной обмотки в месте разрыва появляется высокое напряжение, достигающее по амплитуде нескольких кВ. Это вызывается тем, что в момент перехода магнитного потока  $\Phi_1$  через нулевое значение скорость изменения магнитного потока резко увеличивается по

сравнению с  $\Phi_{\text{сум}}$ . Тогда на вторичной обмотке наводится ЭДС:

$$e_2 = -w_2 \frac{d\Phi_1}{dt} \quad (2.3)$$

Трансформатор тока превращается в своеобразный пик-трансформатор. ЭДС наводится только в моменты перехода магнитного потока через нулевое значение. Пики ЭДС достигают величины нескольких кВ. Включение человека в цепь разорванной вторичной обмотки приводит к поражению электрическим током.

Соответственно основное назначение измерительного трансформатора тока:

1. расширения пределов измерения по току;
2. обеспечение электробезопасности обслуживающего персонала при эксплуатации КИП за счёт разделения первичной обмотки и вторичной большим сопротивлением.

Большинство щитовых приборов для подстанций и электростанций изготавливаются на номинальный ток 5 А, поэтому и номинальный вторичный ток ТА составляет 5 А. Важной характеристикой ТА является коэффициент трансформации, который показывает отношение первичного тока ко вторичному, например 100/5 (произносят 100 на 5).

Контрольные вопросы:

- 1 Поясните назначение трансформатора.
- 2 Объясните устройство и принцип действия трансформатора тока.
- 3 Классы точности измерительных трансформаторов тока и напряжения.
- 4 Чем опасен режим холостого хода для трансформатора тока?

## **ИЗУЧИТЬ СХЕМЫ И ГРУППЫ СОЕДИНЕНИЯ ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРОВ**

*Цель работы:* Изучить методы и схемы включения обмоток трехфазных понижающих трансформаторов.

*План работы:* Изучить и зарисовать клемную колодку трансформатора с обозначением начала и концов обмоток. Нарисовать схемы соединения обмоток трансформатора групп «0»; «6»; «5»; «11»

*Основные теоретические сведения.*

Трёхфазным трансформатором называется электромагнитный аппарат, преобразующий систему переменного трёхфазного тока при постоянной частоте питающей сети и состоящий из шести индуктивно связанных катушек.

В зависимости от устройства сердечника трансформатора различают: а) трансформаторы с независимыми магнитными системами (группа из трёх однофазных трансформаторов); б) трансформаторы со связанными магнитными системами (один трех стержневой трансформатор, который используется при выполнении данной лабораторной работы). Устройство такого трансформатора показано на рис.3.1



Рисунок 3.1 Внешний вид трехфазного трансформатора с плоской магнитной системой  
При преобразовании группы из трёх однофазных трансформаторов в один трехстержневой несколько уменьшается длина магнитной цепи, поэтому возникает небольшая магнитная несимметрия контуров, по которым проходят потоки отдельных фаз, что вызывает несимметрию токов холостого

хода этих фаз. Несимметрия сказывается, главным образом, в трансформаторах малой мощности, где ярмо играет относительно большую роль. В трансформаторах большой мощности несимметрия заметно сглаживается. При нагрузке ток холостого хода оказывает небольшое влияние на токи в первичных и вторичных обмотках. В результате при симметричном питающем напряжении и равномерной нагрузке все фазы трёхфазного трансформатора находятся практически в одинаковых условиях. Поэтому выведенные формулы, построенные схемы замещения и графические зависимости, полученные для однофазного трансформатора, справедливы и для трёхфазного трансформатора. Однако в режиме холостого хода, на который большое влияние оказывает схема соединения обмоток, имеются особенности. Рассмотрим основные схемы соединения обмоток. Первичная и вторичная обмотки трёхфазных трансформаторов могут быть соединены по следующим схемам: «звезда», «звезда с выведенной нулевой точкой», «треугольник», «зигзаг с выведенной нулевой точкой». Обычно обмотку высшего напряжения соединяют по схеме «звезда», что позволяет при заданном напряжении иметь меньшее число витков в фазе.

Зажимы трансформатора согласно ГОСТ обозначаются в порядке чередования фаз: на стороне высшего напряжения (ВН) А, В, С – начала обмоток, Х, Y, Z – концы обмоток; на стороне низшего напряжения (НН) соответственно а, b, с и х, у, z.

Кроме указания на способ соединения обмоток трансформатора, необходимо ещё указание на угол сдвига, между первичным и вторичным линейными напряжениями, в соответствии с чем, определяется группа, к которой принадлежит трансформатор (всего 12 групп).

### *Контрольные вопросы*

1. Устройство и принцип действия трёхфазного трехстержневого трансформатора. Способы охлаждения.
2. Способы соединения обмоток трёхфазных трансформаторов и их обозначения.
3. Чем объясняется несимметрия токов холостого хода?
4. Маркировка обмоток ВН и НН.
5. Холостой ход трёхфазного трансформатора при различных соединениях обмоток.
6. Какие элементы схемы замещения определяют по данным опыта холостого хода и короткого замыкания?
7. Схемы и группы соединения обмоток.

## **ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ, СХЕМЫ АВТОТРАНСФОРМАТОРА**

*Цель работы:* Изучение принципа работы и конструктивных особенностей лабораторного автотрансформатора.

*План работы:* Составить эскиз автотрансформатора с указанием назначения основных частей.

*Основные теоретические сведения.*

Автотрансформатор — это такой вид трансформатора, в котором помимо магнитной связи между обмотками имеется еще и электрическая связь. В отличие от двух обмоточного трансформатора, автотрансформатор имеет одну обмотку, часть витков которой принадлежит одновременно первичной и вторичной цепям.

Автотрансформатор по сравнению с трансформатором равной мощности обладает следующими преимуществами:

- меньшим расходом активных материалов (медь и электротехническая сталь);
- более высоким КПД;
- меньшими размерами и стоимостью.

Широко распространены автотрансформаторы с переменным коэффициентом трансформации. В этом случае автотрансформатор снабжают устройством, позволяющим регулировать значение вторичного напряжения путем изменения числа витков в обмотках. Осуществляется это либо переключателем, либо с помощью скользящего контакта (щётки), перемещаемого непосредственно по зачищенным от изоляции виткам обмотки. Такие автотрансформаторы, называемые регуляторами напряжения, могут быть однофазными и трёхфазными.

В цепях однофазного тока наиболее распространены регулировочные однофазные автотрансформаторы серии РНО и ЛАТР, которые при напряжениях сети 127 или 220 В дают возможность плавно изменять напряжение на выходе от 0 до 250 В. Такой автотрансформатор рис. 4.1 состоит из кольцевого магнитопровода 3, от обмотки которого сделано несколько отводов, позволяющих включать ее на два разных напряжения (127 или 220 В). Торцевая поверхность обмотки очищена от изоляции и по образованной таким образом «дорожке» перемещается угольно-графитовая щетка 2. Регулируется напряжение поворотом рукоятки 1.



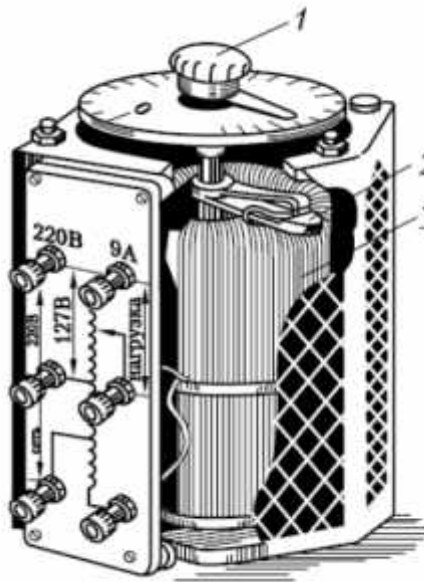


Рисунок 4.1 Однофазный регулировочный автотрансформатор

Контрольные вопросы:

1. Каковы достоинства трехобмоточных трансформаторов?
2. Почему автотрансформаторы обычно выполняются с коэффициентом трансформации  $k < 2$ ?

## **ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И УСТРОЙСТВА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ**

*Цель работы:* Ознакомление с устройством и назначением основных узлов двигателя.

*План работы:* Разобрать исследуемый двигатель. Составить эскиз двигателя с указанием назначения и применяемых материалов. Определить вид охлаждения, порядок разборки, сборки двигателя.

*Основные теоретические сведения.*

Асинхронные двигатели относятся к классу электрических машин переменного тока. В отличие от машин постоянного тока магнитное поле возбуждается в них трехфазным переменным током. Мощность асинхронных двигателей колеблется от долей ватта до нескольких тысяч киловатт. Они широко используются в системах электропривода в сельском хозяйстве, промышленности, бытовых приборах. Их основными достоинствами являются простота, высокая надежность в работе и низкая стоимость.

Основными частями асинхронного двигателя являются статор и ротор.

*Статор* – неподвижная часть электродвигателя. Он состоит из магнитопровода, выполненного в виде полого цилиндра, набранного из тонких листов электротехнической стали рис.4.1. Листы имеют форму колец с пазами, расположенными на внутренней окружности статора. В пазы статора уложены прямолинейные стороны многовитковых катушек, образующих три фазы обмотки. Магнитопровод статора с обмоткой запрессован в алюминиевый или чугунный корпус. По торцам статора крепятся два подшипниковых щита с подшипниками, в которых ротор вращается соосно с расточкой статора.

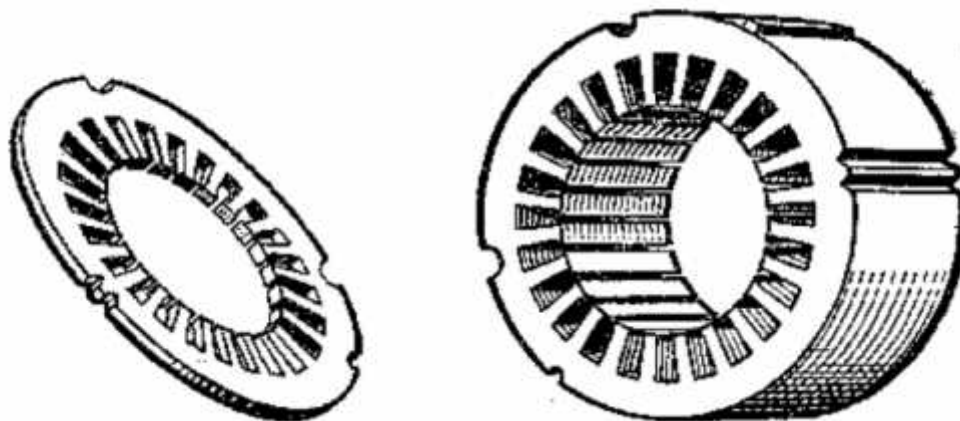


Рисунок 4.1 Статор асинхронного двигателя

*Ротор* трехфазного асинхронного двигателя состоит из магнитопровода цилиндрической формы с продольными пазами на внешней цилиндрической поверхности и обмотки, размещаемой в этих пазах. Магнитопровод набирается из листов электротехнической стали. Между ротором и статором имеется равномерный воздушный зазор.

Основное исполнение асинхронных двигателей электродвигатель с короткозамкнутым ротором рис.4.2. Ротор представляет собой магнитопровод с обмоткой типа «беличья клетка» рис. 4.2 а), не имеющей каких –либо соединений с источником питания. Обмотка выполняется либо сборной из медных стержней и короткозамыкающих колец рис.4.2 б), либо монолитной, когда и обмотка и кольца, а также вентиляционные лопасти выполняются из алюминия путем отливки в специальную форму рис.4.2 в).

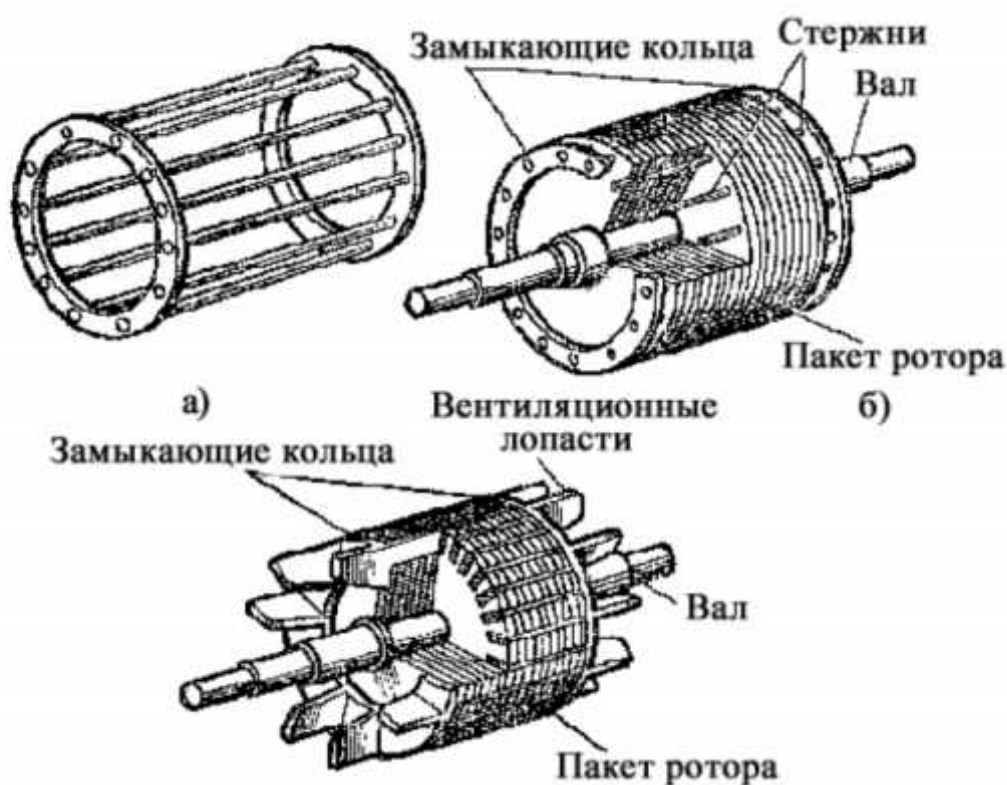


Рисунок 4.2 Конструкция короткозамкнутого ротора асинхронной машины

Условное изображение асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором:



Контрольные вопросы:

1. Какие виды потерь имеют место в асинхронном двигателе?
2. Почему магнитные потери в сердечнике ротора не учитывают?
3. При каких условиях может происходить «прилипание» ротора к статору?

## **ПУСК В ХОД АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КЗР ПРИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИИ СО «ЗВЕЗДЫ» НА «ТРЕУГОЛЬНИК»**

*Цель работы:* Ознакомление с принципиальной схемой включения, принципом действия

*План работы:* Перечертить схему пуска. Изучить принцип действия, порядок переключений.

*Основные теоретические сведения.*

Пуск асинхронного двигателя сопровождается переходным процессом, обусловленным переходом ротора и механически связанных с ним частей исполнительного механизма из состояния покоя в состояние равномерного вращения, когда вращающий момент двигателя уравнивается суммой противодействующих моментов, действующих на ротор двигателя.

Пусковые свойства двигателя определяются в первую очередь значением пускового тока  $I_{\Pi}$  или его кратностью  $I_{\Pi} / I_{НОМ}$  и значением пускового момента  $M_{\Pi}$  или его кратностью  $M_{\Pi} / M_{НОМ}$ . Двигатель, обладающий хорошими пусковыми свойствами, развивает значительный пусковой момент при сравнительно небольшом пусковом токе. Однако получение такого сочетания пусковых параметров в асинхронном двигателе сопряжено с определенными трудностями, а иногда оказывается невозможным.

При пуске двигателя способом непосредственного включения в сеть, в момент подключения к сети в обмотке статора возникает пусковой ток, превышающий номинальный ток двигателя в 5-7 раз. Такой значительный бросок тока может вызвать чрезмерный перегрев обмоток статора и вызвать заметное понижение в питающей сети, что нарушит работу других потребителей, включенных в эту сеть. Для уменьшения пускового тока необходимо применять специальные способы пуска двигателей.

Для асинхронных двигателей, работающих при соединении обмоток статора треугольником, можно применить пуск переключением обмотки статора со звезды на треугольник. В момент подключения двигателя к сети переключатель ставят в положение «звезда», при котором обмотка статора оказывается соединенной в звезду, и фазное напряжение на статоре понижается в  $\sqrt{3}$  раз. Во столько же раз уменьшается и ток в фазных обмотках двигателя. Кроме того, при соединении обмоток звездой линейный ток равен фазному, в то время как при соединении этих же обмоток треугольником линейный ток больше фазного в  $\sqrt{3}$  раз. Следовательно, включив обмотки статора звездой, мы добиваемся уменьшения линейного

тока в  $(\sqrt{3})^2 = 3$  раза. После того как ротор двигателя разгонится до частоты вращения, близкой к установившейся, переключатель быстро переводят в положение «треугольник» и фазные обмотки двигателя оказываются под номинальным напряжением.

Рассмотренный способ пуска имеет существенный недостаток – понижение фазного напряжения в  $\sqrt{3}$  раз сопровождается уменьшением пускового момента в три раза, так как, пусковой момент асинхронного двигателя прямо пропорционален квадрату напряжения  $U_1$ . Такое значительное уменьшение пускового момента не позволяет применять этот способ пуска для двигателей, включаемых в сеть при значительной нагрузке на валу.

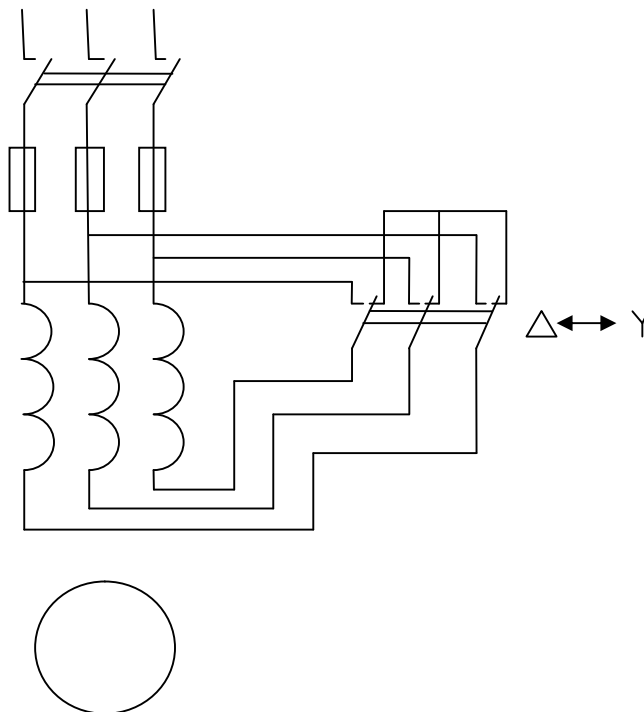


Рисунок 5.1 Схема включения

Контрольные вопросы:

1. Какими показателями характеризуются пусковые свойства асинхронных двигателей?
2. Каковы достоинства и недостатки пусковых свойств асинхронных двигателей?
3. Каковы достоинства и недостатки пуска асинхронных двигателей непосредственным включением в сеть?

## ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ОДНОФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

*Цель работы:* Ознакомление с устройством и назначением основных узлов двигателя.

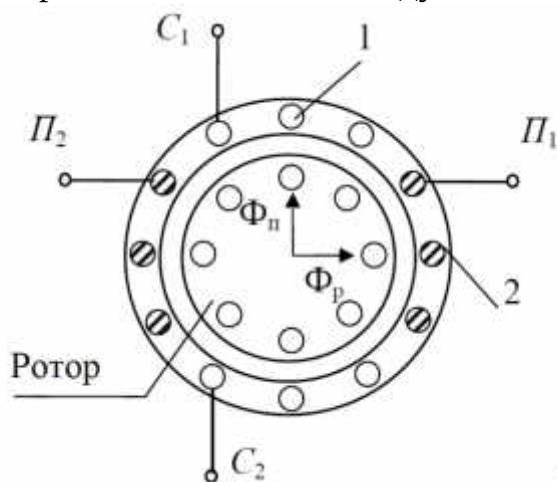
*План работы:* Разобрать исследуемый двигатель. Изучить порядок разборки и сборки. Составить эскиз расположения основных узлов. Составить схему соединения обмоток.

*Основные теоретические сведения.*

В системах автоматического управления, бытовых приборов и устройствах находят применение однофазные асинхронные двигатели малой мощности, для питания которых требуется однофазная цепь. Двигатели имеют рабочую и пусковую обмотки. Рабочая обмотка 1 двигателя рис. 1 состоит из определенного числа витков изолированного провода. Пусковая обмотка 2 включается последовательно с фазосдвигающим устройством (конденсатором).

Рабочая и пусковая обмотки расположены в пазах статора и подключаются к сети однофазного тока. Магнитные оси обмоток сдвинуты в пространстве на  $90^\circ$  и каждая из обмоток занимает половину всех пазов статора. Таким путем осуществляется условие получения вращающегося магнитного поля: наличие переменных магнитных потоков, не совмещенных в пространстве и сдвинутых по фазе по отношению друг к другу.

Ротор однофазных асинхронных двигателей выполняется, как правило, короткозамкнутым и по конструкции аналогичен ротору трехфазного двигателя. Емкость конденсатора, включенного последовательно с пусковой обмоткой, подбирают такой величины, при которой его емкостное сопротивление больше индуктивного сопротивления пусковой обмотки.



C1-C2 начало и конец рабочей обмотки

P1-P2 начало и конец пусковой обмотки

Рисунок 6.1 Устройство однофазного асинхронного двигателя

В результате ток в пусковой обмотке будет опережать напряжение на угол  $\varphi_{\text{п}}$ , а в рабочей обмотке отставать от него на угол  $\varphi_{\text{р}}$ . Каждый из токов создает магнитный поток, сдвиг по фазе между которыми составляет  $\alpha = \varphi_{\text{п}} + \varphi_{\text{р}}$  рис. 2.

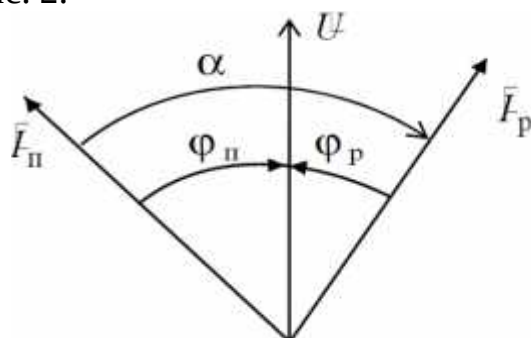


Рисунок 6.2 Сдвиг магнитных потоков

Допустим, что индуктивности рабочей и пусковой обмоток, а также емкость конденсатора подобраны таким образом, что ток в рабочей обмотке отстает, а ток в пусковой обмотке опережает по фазе напряжение на угол  $45^\circ$ . На рис. 3 а представлен график мгновенных значений токов обмоток. Картины результирующего магнитного поля двигателя для моментов времени в течение периода переменного тока, отмеченных точками 1,2,3,4, изображены соответственно на рисунках 3 б, в, г, д. Картина магнитного поля в конце периода будет такой же, как и в начале периода. Нетрудно убедиться в том, что результирующее магнитное поле двухфазного двигателя вращается и за один период переменного тока совершает один оборот. Вращающееся магнитное поле наводит в короткозамкнутых витках ротора ЭДС

Взаимодействие тока в проводниках ротора с магнитным полем статора приводит к возникновению вращающего момента. Примерный вид механической характеристики однофазного асинхронного двигателя приведен на рис.3 е и аналогичен механической характеристике трехфазного асинхронного двигателя.

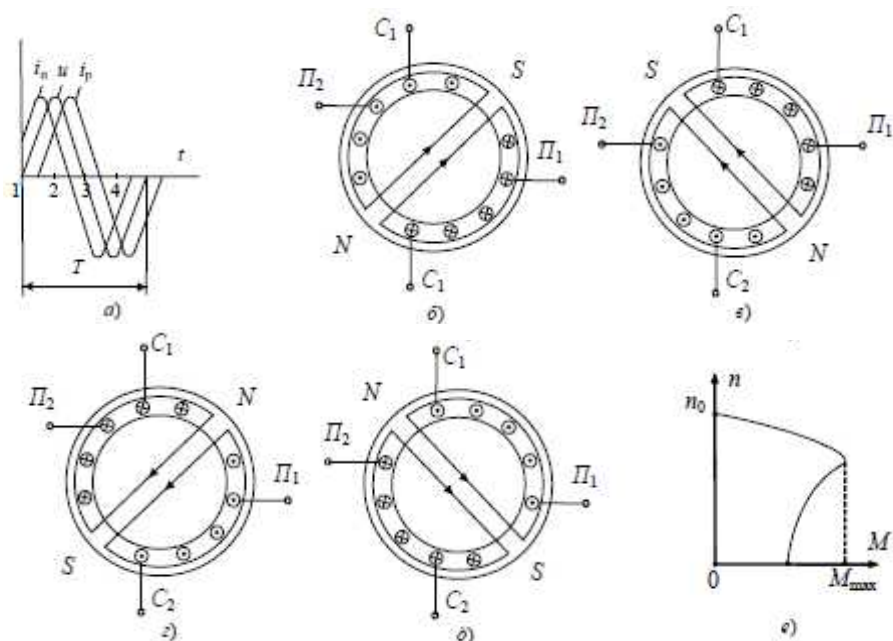


Рисунок 6.3 Получение вращающегося магнитного поля



Контрольные вопросы:

1. Почему однофазный двигатель не создает пускового момента?
2. С какой целью в цепь пусковой обмотки двигателя включают фазосдвигающий элемент?
3. Чем однофазный двигатель отличается от конденсаторного?

## ИЗУЧЕНИЕ СХЕМ ВКЛЮЧЕНИЯ ТРЕХФАЗНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ОТ ОДНОФАЗНОЙ СЕТИ

*Цель работы:* Ознакомление с устройством и назначением основных узлов генератора.

*План работы:* Записать паспортные данные исследуемого двигателя. По представленным формулам рассчитать приблизительно емкость конденсаторов. По полученным данным собрать схемы и проверить результаты расчета путем запуска двигателя и замера напряжения на обмотках двигателя. Напряжение не должно превышать значения сети. В отчете отразить расчетные и полученные опытным путем данные.

*Основные теоретические сведения.*

На практике иногда возникает необходимость применения трехфазного асинхронного двигателя для работы от однофазной сети. В этом случае трехфазный двигатель используют как конденсаторный, включив его статорную обмотку по одной из схем изображенной на рис. 1(а,б,в,)

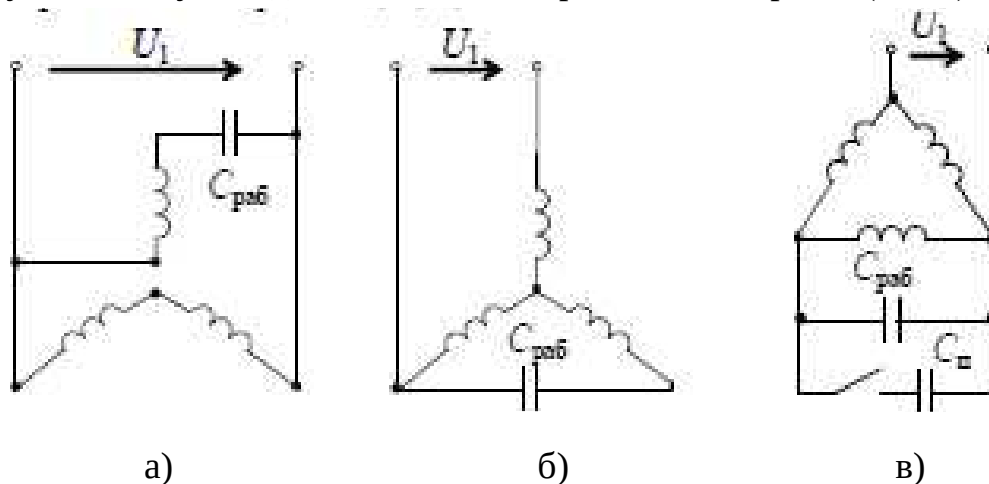


Рисунок 7.1 Схемы запуска двигателей от однофазной сети

Величину рабочей ёмкости  $C_{раб}$  (мкф) при промышленной частоте 50 Гц. определяют по одной из эмпирических формул:

для схемы рис.1 а 
$$C_{раб} = 2700 \frac{I_{1н}}{U_{1н}}$$

для схемы рис.1 б 
$$C_{раб} = 2800 \frac{I_{1н}}{U_{1н}}$$

для схемы рис.1 в 
$$C_{раб} = 4800 \frac{I_{1н}}{U_{1н}}$$

При подборе рабочей емкости необходимо следить за тем, чтобы величина тока в обмотке статора при установившемся режиме с требуемой нагрузкой на валу не превышала номинального значения, указанного в паспорте двигателя. Если пуск двигателя осуществляется вхолостую или с небольшой нагрузкой на валу, то пусковая емкость не требуется. Если же двигатель пускается в ход со значительной нагрузкой на валу, то необходима пусковая емкость  $C_n$ , подключаемая как указано на рис. 1 в. Величину этой емкости принимают  $C_n = (2,5 \div 3) C_{раб}$ . В этом случае пусковой момент двигателя становится близким к номинальному. При необходимости дальнейшего увеличения пускового момента емкость  $C_n$  следует увеличить до  $(6 \div 8) C_{раб}$ .

При использовании трехфазного двигателя в однофазном конденсаторном режиме, его полезная мощность не превышает 60-70% от номинальной мощности при его работе от трехфазной сети.

Контрольные вопросы:

1. Почему при работе асинхронного двигателя от однофазной сети уменьшается его мощность?
2. Как можно повысить пусковой момент двигателя?

## УСТРОЙСТВО КОЛЛЕКТОРНОЙ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

*Цель работы:* Ознакомление с устройством и назначением основных узлов генератора.

*План работы:* Разобрать исследуемый двигатель. Изучить порядок разборки и сборки. Составить эскиз расположения основных узлов.

*Основные теоретические сведения.*

Двигатели постоянного тока, несмотря на некоторые недостатки, обусловленные наличием коллектора и щеток, применяются достаточно широко. Это связано с тем, что они позволяют плавно и в широком диапазоне регулировать скорость вращения, имеют сравнительно малые габариты и вес, и высокий коэффициент полезного действия.

Устройство представлено на рис.1.

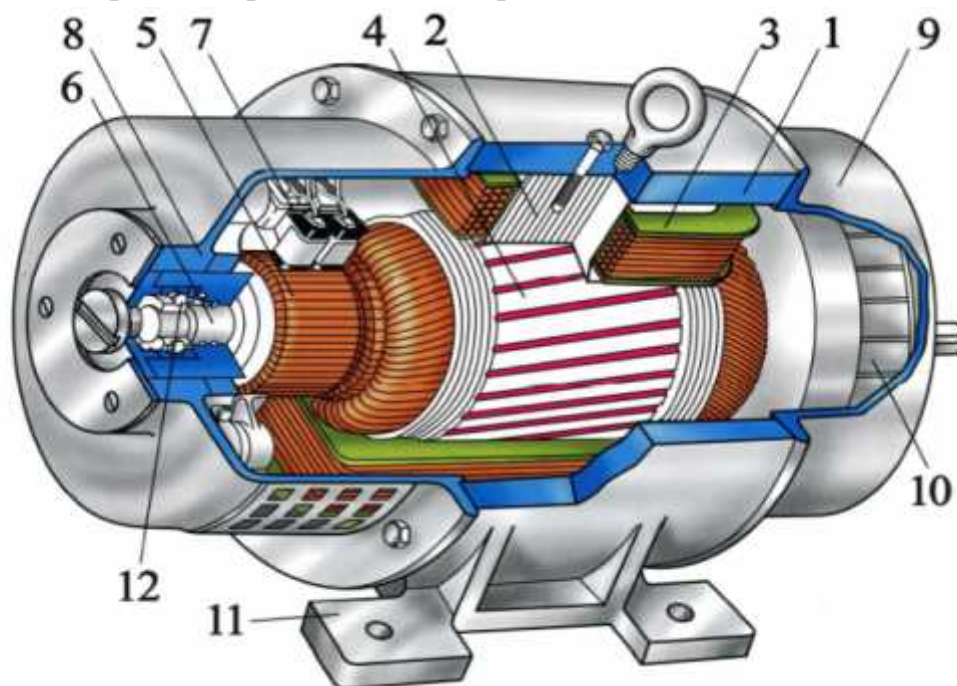


Рисунок 8.1 Устройство двигателя постоянного тока

1 – корпус; 2 – главный полюс; 3 – обмотка возбуждения; 4 – якорь;  
5 – коллектор; 6 – вал; 7 – щеткодержатели со щетками; 8 – передний подшипниковый щит; 9 – задний подшипниковый щит;  
10 – вентилятор; 11 – лапы; 12 – подшипник

Контрольные вопросы:

- 1 Назначение основных элементов двигателя?
- 2 Достоинства и недостатки машины постоянного тока?

## УСТРОЙСТВО И КОНСТРУКЦИЯ ШАГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

*Цель работы:* Ознакомление с устройством и назначением основных узлов шагового двигателя.

*План работы:* Разобрать исследуемый двигатель. Изучить порядок разборки и сборки. Составить эскиз расположения основных узлов.

*Основные теоретические сведения.*

Работа синхронного шагового электродвигателя состоит в том, чтобы при подаче на него одного электрического импульса его зубчатый ротор поворачивался на дозированную величину, как правило, на один зубец.

Конструктивно подвижный ротор и неподвижный статор шагового электродвигателя обычно состоят из трех (по числу фаз управляющего напряжения) секций, набранных из трансформаторного железа. Секции ротора жестко закреплены на валу шагового электродвигателя, а секции статора жестко закреплены на неподвижной части этого вала шагового электродвигателя. И ротор, и статор шагового электродвигателя изготовлены с одинаковыми прямоугольными выступами, называемыми зубцами. Шаг зубцов на роторе и на статоре одинаков, но зубцы всех трех секций статора относительно оси вращения расположены одинаково, а зубцы второй секции ротора смещены относительно первой секции ротора на  $1/3$  шага, и зубцы третьей секции ротора смещены относительно той же первой секции ротора на  $2/3$  шага. На каждой из секций обмоток статора размещают управляющие обмотки с числом полюсов  $N$ . При подаче импульса напряжения  $X$  на обмотку одной из секций статора ротор шагового электродвигателя поворачивается на такой угол  $\Delta\phi$ , чтобы минимизировать магнитное сопротивление воздушного зазора между выступами статора и соответствующей секции ротора (рис. 9.1).

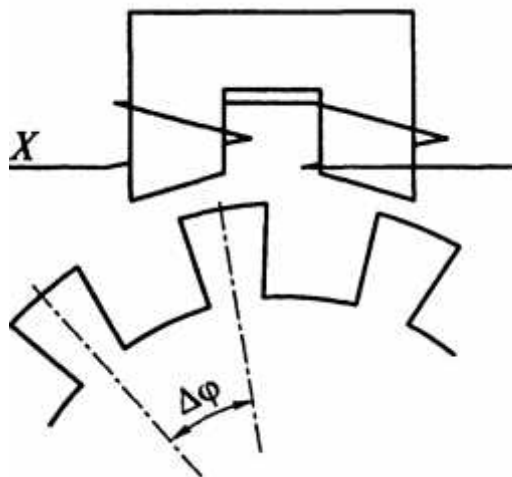


Рисунок 9.1. Схема поворота ротора синхронного шагового электродвигателя

В соответствии с этим, зубцы данной секции ротора, если не принимать специальных мер, устанавливаются прямо против зубцов соответствующей секции статора, т. е. угол  $\Delta\varphi$  градусов, на который поворачивается ротор, определяется соотношением

$$\Delta\varphi = 360/3N$$

Подача импульса на обмотку следующей секции статора вызывает поворот ротора шагового электродвигателя еще на угол  $\Delta\varphi$  и так далее. Последовательность подачи импульсов прямоугольного напряжения на обмотки секций статора определяется соответствующей электронной коммутирующей схемой. Возможны и специальные схемы коммутации, при которых устойчивыми будут не только положения «зубец (ротора) против зубца (статора)», но и положения «зубец против зубца с заданным смещением». Скорость вращения ротора шагового электродвигателя однозначно определяется частотой подачи на обмотки его статора прямоугольных импульсов напряжения. Поэтому такие шаговые электродвигатели являются синхронными. Применение их оказывается целесообразным, когда требуется стартстопное вращение с точным позиционированием и (или) с заданной скоростью вращения вала. Общий угол поворота ротора однозначно определяется суммарным числом импульсов, поданных на вход данного шагового электродвигателя.

Шаговые электродвигатели характеризуются таким специфическим параметром, как приемистость, которая иногда называется также разрешающей способностью. *Приемистостью, или разрешающей способностью*, шагового электродвигателя называется та предельная частота поступающих на его вход сигналов, начиная с которой данный шаговый электродвигатель перестает их надежно, т.е. без пропусков, отрабатывать. У современных двигателей такого типа предельная разрешающая способность обычно составляет 2 кГц, доходя в некоторых случаях до 8... 10 кГц. Соответствующий угол поворота ротора при подаче на вход шагового электродвигателя единичного импульса обычно составляет  $(1,5 \pm 0,5)^\circ$ . По сравнению с электродвигателями постоянного и переменного токов синхронный шаговый электродвигатель характеризуется более высокой безотказностью, более высокой устойчивостью к внешним помехам, а также меньшими габаритными размерами. Однако такие электродвигатели имеют меньший, чем электродвигатели постоянного и переменного токов, КПД и мощность, не превышающую обычно сотен ватт, а следовательно, и развивают меньший вращающий момент. Однако в последнее время появились шаговые электродвигатели, способные развивать значительную мощность. Появились также двигатели такого типа, у которых зубчатые статор и ротор развернуты по оси или плоскости (по двум осям), так что подобные шаговые электродвигатели способны непосредственно осуществлять линейные перемещения вдоль этой оси или по этой плоскости.

Контрольные вопросы:

1. В чем различие шаговых двигателей с активным и реактивным роторами?
2. Что такое частота приемистости шагового двигателя?

### **Список литературы:**

#### *Учебники и учебные пособия:*

1. М.М. Кацман «Электрические машины», М.: Издательский центр «Академия», 2014. -496 с.
2. М.М. Кацман Руководство к лабораторным работам по электрическим машинам и электроприводу. - М.: Высшая школа, 2014.-212с.

#### **Дополнительные источники:**

#### *Интернет-ресурсы:*

1. <http://> «Знаниум. Сом»