

**Цель работы:** отремонтировать электрический двигатель переменного тока.

**Задачи работы:**

- познакомиться с устройством электрических машин,
- изучить технологию изготовления и укладки обмотки статора из круглого провода;
- освоить технологию пропитки, сушки, контроля и испытания электродвигателей;
- научиться пользоваться измерительными приборами: микрометром, авометром, мегомметром, ИДО.
- произвести ремонт электродвигателя.

**Содержание:**

Вступление.

1. Классификация и устройство электрических машин.
  2. Потери и КПД электрических машин.
  3. Основные элементы и обозначения обмоток двигателей переменного тока.
  4. Технология изготовления и укладки обмоток статора.
  5. Требования к изоляции электрических машин.
  6. Практическая часть: ремонт электродвигателя переменного тока.
- Заключение.

**Вступление.**

Основные направления экономического и социального развития страны определяют необходимость широкой электрификации, которая является основой эффективного развития промышленности и сельского хозяйства. Только всестороннее развитие электрификации дает возможность полностью механизировать производство, внедрить автоматику. В осуществлении этой задачи важная роль принадлежит электромашиностроению.

Электрические машины очень разнообразны и широко распространены и в промышленности, и в сельском хозяйстве, и на транспорте. Это объясняется простотой передачи электроэнергии на большие расстояния и удобством ее использования.

Основные потребители электроэнергии- электродвигатели- просты и надежны в работе, имеют более высокий коэффициент полезного действия ,чем любые другие современные двигатели ,могут быть легко установлены в нужном месте и работают, совершенно не загрязняя окружающую среду: без дыма, выделения газов и вредных выхлопов.

Электрические двигатели- это машины, которые превращают электрическую энергию в механическую. Электрические двигатели приводят в движение практически все промышленные механизмы, начиная от мощнейших прокатных станов до мелких приборов, служащих для контроля и управления процессами производства. Поэтому выбранная нами тема актуальна и перспективна.

**1.Классификация и устройство электрических машин.**

Конструкции электрических машин очень разнообразны. Они зависят от типа, назначения и мощности машин.

1. **По роду тока** электрические машины подразделяются на:

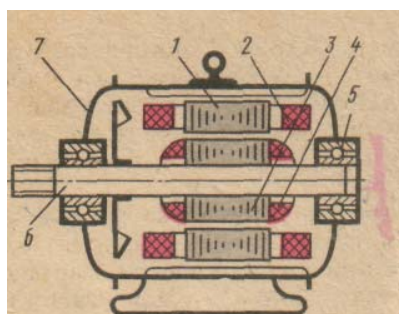
- 1) машины переменного тока (синхронные и асинхронные);
- 2) машины постоянного тока- коллекторные.

2. **По мощности** электрические машины условно разделяют на несколько групп:

- 1) машины малой мощности, обычно не более 8-10 кВт;
- 2) средней мощности- от 10 до нескольких сотен киловатт;
- 3) большой мощности- более 1000 кВт.

Несмотря на большое разнообразие электрических машин, большинство из них имеет одну и ту же конструктивную схему и много общих элементов.

На рис.1 показана одна из распространенных конструктивных схем электрической машины средней мощности. Стальной или чугунный корпус машины имеет *лапы* для крепления к фундаменту и рым-болт для подъема и транспортировки во



время изготовления машины и ее монтажа на месте установки. На корпусе укреплен *коробка выводов с зажимами*. Внутри машины к выводам подводятся выводные концы обмотки, а снаружи - концы кабеля, соединенного с аппаратурой управления и питающей машину сетью. В корпусе жестко закреплен *сердечник статора* 1, представляющий собой полый толстостенный цилиндр, собранный из отдельных листов электротехнической стали. Внутри статора располагается вращающаяся часть электрической машины - *ротор* 3. Вал ротора 6 вращается в *подшипниках* 5, установленных в *торцовых щитах* 7.

В большинстве машин устанавливают подшипники качения - шариковые или роликовые в зависимости от мощности машины. Промежуток между наружной поверхностью ротора и внутренней поверхностью статора называют воздушным зазором. По обеим сторонам воздушного зазора на статоре и роторе располагаются *обмотки* 2 и 4, которые состоят из отдельных катушек, намотанных из медного изолированного провода. Катушки обмотки соединяются между собой так, чтобы они образовали нужное число полюсов.

Ток одной из обмоток ротора возбуждает электромагнитное поле машины- создает магнитный поток. Эта обмотка называется обмоткой возбуждения, а ток в ней- током возбуждения. Магнитные силовые линии потока при вращении ротора пересекают проводники другой обмотки и в ней наводится ЭДС. Чтобы магнитное сопротивление по току не было слишком велико, сердечники статора и ротора делают из стали. Магнитное сопротивление стали много меньше, чем воздуха, и силовые линии потока, которые всегда замыкаются по пути с наименьшим сопротивлением, практически не выходят за пределы машины.

Магнитный поток в сердечниках статора и ротора в зависимости от типа машины может быть постоянный или переменный. Переменный поток перемагничивает сталь сердечника и вызывает вихревые токи, нагревающие его. Чтобы уменьшить нагрев,

сердечники с переменным магнитным потоком делают наборным. В сердечниках с постоянным магнитным потоком перемагничивания стали не происходит и их делают массивными из конструкционной стали или литыми из стали или чугуна.

## 2. Потери и КПД электрических машин.

Во время работы часть потребляемой электрической машиной энергии расходуется на нагрев ее деталей. Поэтому механическая энергия на валу двигателя всегда меньше, чем потребляемая им электрическая энергия, а электрическая энергия, которую отдает в сеть генератор, меньше, чем механическая энергия, затрачиваемая на вращение его ротора. Разность между потребляемой и отдаваемой энергиями не может быть использована для полезной деятельности. Эта часть энергии как бы "теряется". Потери в машинах в зависимости от вызывающих их физических процессов подразделяют на электрические, магнитные, механические и вентиляционные. Те части машины, в которых возникают потери, нагреваются. Коэффициентом полезного действия (КПД) электрической машины называют отношением отдаваемой мощности к потребляемой, выраженное в процентах  $\eta = (P_2/P_1) \cdot 100$ .

$P_2$ -мощность, которую двигатель передает соединенному с ним механизму, т.е. мощность на валу двигателя;

$P_1$ - мощность, которую двигатель потребляет из электрической сети.

КПД электрических машин очень высок, он достигает 98%. Это значит, что на потери расходуется меньше 2% потребляемой ими энергии пара или воды.

Каждая электрическая машина рассчитана на работу при *определенном напряжении сети, с определенными частотой вращения, током и мощностью. Эти данные называют номинальными и указывают на паспортной табличке*, которую укрепляют на корпусе машины. Если электрический двигатель нагрузить больше, чем указано в паспортной табличке, его нагрузка и ток в его обмотках будет больше номинального. Электрические потери возрастут, нагрев обмоток увеличится и может превзойти допустимый для их изоляции предел. Изоляция обмоток потеряет электрическую прочность, машина выйдет из строя и потребует ремонта. Чтобы снизить нагрев при работе, электрическую машину снабжают вентилятором, который устанавливают на валу двигателя.

## 3. Основные элементы и обозначения обмоток двигателей переменного тока.

Катушки обмоток равномерно распределяются в пазах сердечников. Распределенная обмотка состоит из самостоятельных частей, которые называются фазами обмотки. Число фаз ( $m$ ) обмотки равно числу фаз питающей сети. Каждая фаза обмотки состоит из нескольких катушечных групп, в которые входят по несколько катушек, соединенных между собой последовательно. *Начало первой и конец последней катушки называют началом и концом катушечной группы.* Катушечные группы в фазе могут быть соединены последовательно, параллельно или иметь смешанное соединение. Чтобы правильно расположить катушки по пазам, окружность статора разделяют на равные части по числу полюсов двигателя.

$T = \pi D / (2p)$ ,

$D$ - внутренний диаметр статора,

2р-число полюсов двигателя,

Т-полюсное деление.

На одно полюсное деление приходится  $Z/(2p)$  пазов. Пазы каждого полюсного деления распределяются поровну между фазами, и на каждую фазу приходится  $q=Z/(2pm)$  пазов.

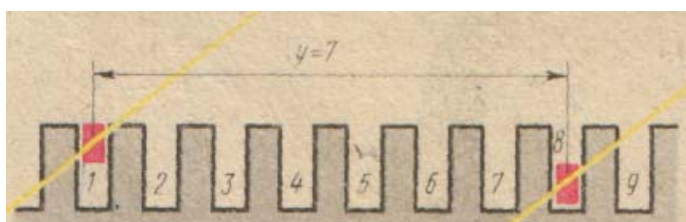
Катушки обмотки располагаются одной своей стороной на одном, другой- на соседнем полюсных делениях. Поэтому стороны катушек одной фазы, расположенные на полюсном делении занимают q пазов.

Расстояние между сторонами катушки, уложенной в пазы, называют *шагом обмотки*. Шаг (y) выражается числом пазов, которые охватывает катушка, и показывает, через сколько пазов надо «шагнуть», чтобы от одной пазовой части катушки попасть к другой. Например, шаг равен 7 (см. рис.2). Шаг обычно указывается в таблице для разных типов двигателей переменного тока.

Обозначения выводных концов (для подсоединения к внешней цепи) состоит из буквы и цифры. Буква обозначает расположение обмотки в машине или ее назначение: С- обмотка статора двигателя. Число концов обмотки, выведенных к зажимам коробки выводов, может быть различным. В большинстве трехфазных машин выводят все начала и все концы фаз, т.е. всего 6 выводных концов, но могут быть выведены 3 конца, остальные- соединяются между собой внутри машины.

Выводы обмотки-начало, конец и номер фазы- обозначают цифрами.

Обмотка каждой фазы рассчитана на определенное напряжение (127В, 220В, 380В, 660В), называемое *фазным*. Как видно, каждое следующее напряжение в  $\sqrt{3}$  больше предыдущего.



**Рис.2**

Способы соединений фаз обмоток статора трехфазного двигателя( рис.3):

а/ треугольник( $\Delta$ ). При соединении в треугольник каждая фаза подключается к полному напряжению сети.

б/звезда( $\lambda$ ) , при этом соединении на каждую фазу приходится напряжение, в  $\sqrt{3}$  раза меньшее, чем напряжение в сети.

Это позволяет использовать 1 двигатель при 2-х различных напряжениях питающей сети. Например, двигатель с фазным напряжением обмоток 220В, соединив фазы в треугольник, можно подключить к сети 220В, а соединив в звезду- 380В. Поэтому номинальное напряжении трехфазных двигателей обозначается 2-мя числами: 220/380 или 380/660. Если трехфазная машина рассчитана на работу только при одном напряжении, то соединение фаз производят внутри машины, и выводят три конца.

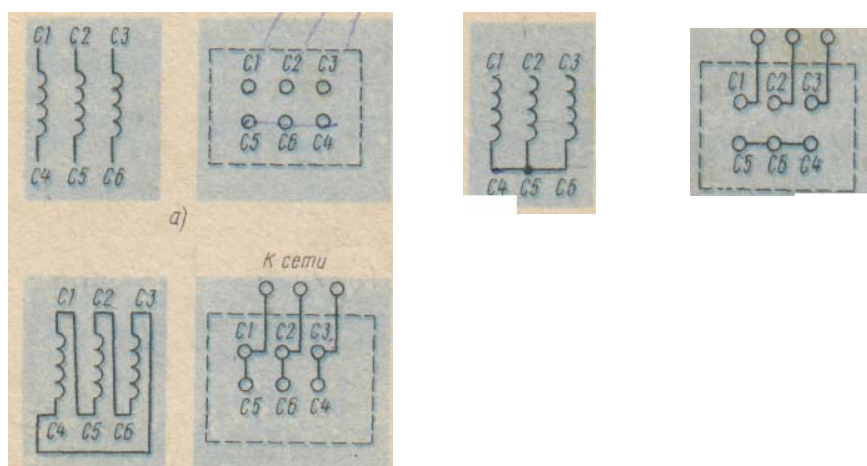


Рис. 3 а) обозначение фаз  
б) соединение фаз в звезду C5-C6-C4,  
в) соединение фаз в треугольник

#### 4.Технология изготовления и укладки обмотки статора.

Укладка обмоток производилась нами вручную, это очень трудоемкая работа. Намотка катушек для ручной укладки производится на шаблоны, установленные на намоточные станки. Размеры шаблона делают такими, чтобы средняя длина намотанного на него витка провода была равна средней длине витка уложенной в пазы катушки, ширина желоба- примерно ширине паза, а длина прямолинейной части основания- длине прямолинейной части катушки, т.е. больше длины сердечника статора машины на 15-20 мм.

Перед началом намотки в прорези шаблона устанавливают отрезки ленты для закрепления намотанных витков. На приводном механизме смонтировано устройство для подсчета оборотов шпинделя, которое останавливает станок после намотки заданного числа витков. При намотке обмотчик должен следить, чтобы провод ложился в желоб шаблона ровно, правильными рядами, без перекрещиваний. Так же он будет лежать и в пазах машины.

После окончания намотки провод отрезают, намотанные витки скрепляют лентой, отсоединяют переднюю боковую планку шаблона, и заготовку катушки снимают.

Намотанные катушки должны быть разложены на рабочем месте в порядке их укладки в пазы. Однослойная обмотка укладывается в пазы статора. Во время укладки надо иметь возможность поворачивать статор вокруг вертикальной оси различными торцами к себе и вокруг горизонтальной оси так, чтобы паз, в который укладываются провода, находился внизу. До начала укладки надо проверить качество поверхностей пазов статора: они должны быть ровными, без заусенцев.

После проверки устанавливают пазовую изоляцию - пазовые короба, заготовки которых с нужными размерами подготавливают заранее. Чтобы предохранить изоляцию обмоточного провода от повреждений о кромки шлица, заготовки коробов делают более широкими.

Проводники обмоток должны быть плотно закреплены и в пазовой, и в лобовой частях, чтобы при любых режимах работы машины - во время пуска, резкого изменения нагрузки, при вибрации во время работы - они оставались относительно друг друга и металлических частей машины на своем месте.

В процессе ручной укладки обмотки проводники в пазу уплотняются и закрепляются с помощью пазовых крышек. Далее соединяют схему. Выводные концы катушечных

групп отгибают в нужном направлении в соответствии со схемой обмотки и обрезают по размеру. Изоляция проводников в местах соединений зачищается на 35-40 мм, на их концы одевают изоляционную трубку диаметром, близким диаметру проводника. Зачищенные концы проводников скручивают и сваривают с помощью угольного электрода. Сварка производится с помощью понижающего трансформатора при напряжении 12-24В только в защитных очках. После сварки на место соединения одевают изоляционную трубку. Лобовые части бандажируют - связывают прочной лентой из стекловолокна или капрона. В таком виде статор поступает на контроль правильности проделанных работ и после этого - на пропитку.

## 5. Требования к изоляции электрических машин.

Изоляция любой детали электрического двигателя должна сохранять высокую надежность в течение всего периода эксплуатации его. Основные требования к изоляции:

а/ электрическая прочность. Если поместить лист изоляционного материала между 2-мя электродами и постепенно повышать напряжение между ними, то при каком-то напряжении произойдет пробой и электроды замкнутся. Это напряжение называется пробивным. Чем оно больше, тем больше электрическая прочность изоляции. Мы в работе использовали пленку, пробивное напряжение которой 9,5 кВ( при толщине 0,05 мм).

б/механическая прочность: материал должен легко формоваться, не повреждаться при перегибах и растяжениях, при сжатии, укладке в пазы и других механических нагрузках.

в/теплопроводность- способность изоляции проводить теплоту от проводников к окружающему воздуху. Если теплопроводность изоляции плохая, то проводники будут нагреваться, ускорится процесс старения: изоляция станет хрупкой, ломкой.

г/влагостойкость. Материал изоляции не должен быть пористым, т.е. не должен впитывать влагу. Пропитка в лаках резко улучшает влагостойкость, т.к. лак препятствует проникновению влаги внутрь изоляции.

## 6.Ремонт электродвигателя.

### Практическая часть работы.

1.Определяем характеристики электрического двигателя:

Тип электродвигателя	Номинальное напряжение, В	Число пазов статора	Шаг обмотки по пазам	Диаметр обмоточного провода, мм	Число проводников в пазу
4А80А6УЗ	220/380 Δ/λ	36	1-8 2-7	0,59	82

Номинальная мощность-0,75 кВт

Частота вращения - 1000 об/мин

Число полюсов-6

## 2.Разбираем электрический двигатель:

- а/ снимаем крышки с электрического двигателя;
- б/извлекаем ротор.

## 3.Перематываем статор электродвигателя:

### 3.1. Подготовка статора к ремонту.

- а/ срезаем (или срубаем) лобовую часть обмотки статора;
- б/ нагреваем в печи статор для извлечения сгоревшей обмотки: (цель нагрева- размягчение лака, покрывающего и склеивающего провод старой обмотки);
- в/извлекаем старую обмотку из пазов статора;
- г/ очищаем пазы от изолирующего материала.

### 3.2. Подготовка новых обмоток.

- а/определяем диаметр эмальпровода с помощью микрометра;
  - б/считаем количество витков в пазу;
  - в/считаем число пазов в статоре: 36 пазов
  - г/ определяем количество катушек: всего пазов-36, каждая катушка имеет 2 секции и занимает 4 паз (1 секция- 2 паз), т.о.  $36: 4=9$  (катушек)
  - д/определяем шаг обмотки визуально по старой обмотке;
  - е/ наматываем катушки, предварительно проверив соответствие измерений и подсчетов (пункты а-д ) справочным данным для данного типа двигателя.
- При намотке провод должен быть уложен правильными рядами, без перекрещиваний, с одинаковым натяжением.
- Вид обмотки- однослойная концентрическая ( определяем по справочнику).

### 3.3. Укладываем корпусную изоляцию в пазы для изоляции витков обмотки от корпуса и других металлических частей двигателя.

### 3.4. Закладываем катушки в пазы статора.

Это самая трудоёмкая работа, во время которой пришлось вручную выполнять множество однообразных операций, требующих внимания. Любое неверное движение, удар, изгиб обмоточного провода может привести к браку. Поврежденная изоляция не выдержит испытаний, всю работу придется начинать заново.

### 3.5. Собираем электрическую схему двигателя:

- а/зачищаем концы провода от лака;
  - б/соединяем концы согласно схеме;
  - в/ «свариваем» схему.
- Н- начало катушки;
- К- конец катушки;
- Перемычки- способ сварки(соединения) начал катушек и концов катушек.

**Схема: способ соединения фаз- звезда**

К 7

К 8

К 9

Перемычки:

К1-Н4    К4-Н7



K2-H5      K5-H8

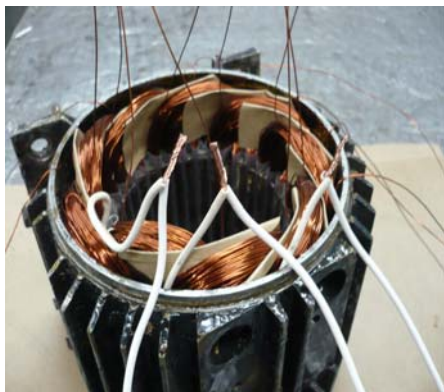
K3-H6      K6-H9

Число выводных концов-3:

C1-H1

C2-H2

C3-H3



Электрический двигатель (вид сверху).

3.6. Бандажируем лобовые части- плотно увязываем нитью из синтетических материалов все проводники в лобовой части катушек с обоих торцов статора. Цель этой операции- фиксирование размеров и положения лобовых частей.

3.7. Пропитываем лаком обмотки статора путем погружения и «поливания» из чайника нагретого до определенной температуры.

Пропитка повышает надежность двигателя: лак заполняет воздушные промежутки между слоями изоляции, пленка из лака препятствует проникновению влаги и паров масел в обмотку, повышает теплопроводность и механическую прочность изоляции. Мы использовали лак МЛ-92.

3.8.Сушим в печи электрический двигатель. После пропитки в лаках, содержащих растворители, сушка необходима для удаления растворителя из слоев изоляции и для затвердевания основы лака. Длительность сушки зависит от температуры в сушильной камере. Процесс сушки разделяется на 2 этапа: в первом происходит разогрев обмоток при одновременном удалении растворителя, во втором- запечка основы лака внутри изоляции. Температура в 1-ом этапе-100-120°C, время-2-4 часа, во втором- до 150 °C, время- 12 часов. После сушки обмотка приобретает монолитность, на ее поверхности образовывается твердая лаковая пленка.

4. Собираем электродвигатель:

а/ротор вставляем в статор;

б/ надеваем крышки на статор.

5. Проводим контроль правильности выполнения работы по ремонту электродвигателя.

5.1.Измеряем сопротивления изоляции обмоток.

Изоляция обмоток- не идеальный изолятор. При соединении проводников с сетью через изоляцию на корпус проходит ток утечки. Он должен быть очень мал, так как для безопасной работы сопротивление изоляции должно достигать миллионов Ом.

**Сопротивление проверяем с помощью мегаомметра.**





**5.2. Контроль правильности намотки и соединений катушек между собой проводится прибором ИДО-5. Допустимые показания прибора- от 0 до 5.**



**5.3. Измеряем силу тока холостого хода двигателя электрическими «клещами»: авометром (это прибор для измерения силы тока, напряжения и сопротивления). Холостой ход- работа ненагруженного двигателя без потребителя). Показания прибора не должны превышать 30% силы тока, приведенной в паспорте электродвигателя.**



### **Заключение.**

Электрические двигатели - основные двигатели всех механизмов в промышленности. От качества выполнения обмоток электрических двигателей в очень большой степени зависит надежность их работы. Ремонт электродвигателей с высоким качеством обмоток обеспечит им бесперебойную работу в течение долгого времени. Поработав над проектом, мы многому научились. Самое главное - мы за достаточно короткий срок не только познакомились с работой электродвигателей, но и сами отремонтировали двигатель переменного тока.

### **Литература:**

- 1.Б.К. Клоков Обмотчик электрических машин, Москва «Высшая школа 1987г.
- 2.А.Э. Кравчук, М.М.Шлаф, В.И Афонин, Е.А. Соболенская Асинхронные двигатели серии 4А: справочник, С.-Петербург 2002г.