

Н. В. ВИНОГРАДОВ, Ю. Н. ВИНОГРАДОВ

КАК САМОМУ
РАССЧИТАТЬ И СДЕЛАТЬ
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ

ИЗДАНИЕ ТРЕТЬЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ



«ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1974

Виноградов Н. В., Виноградов Ю. Н.

В 49 Как самому рассчитать и сделать электродвигатель. Изд. 3-е, перераб. и доп. М., «Энергия», 1974.
168 с. с ил.

В книге изложены принципы действия и упрощенные расчеты электродвигателей малой мощности (микроэлектродвигателей) постоянного и однофазного переменного тока. Приводятся схемы включения трехфазных электродвигателей в однофазную сеть. Описаны конструкции электродвигателей малой мощности и способы самостоятельного изготовления их отдельных узлов и деталей. Даны расчет и способ изготовления трансформатора для питания электродвигателей. Приводятся конструкции электробытовых приборов с электрическими двигателями.

Книга рассчитана на школьников старших классов, интересующихся электротехникой.

В $\frac{30307-010}{051(01)-74}$ 151-74

6П2.1.081

ПРЕДИСЛОВИЕ

Наша молодежь активно участвует в технической самодельности в Домах пионеров и на станциях юных техников, проводя практические занятия по машиноведению и электротехнике по учебным программам средней школы и самостоятельно изготавливая модели в домашних условиях. Большинство действующих моделей приводится в движение электродвигателями малой мощности (микроэлектродвигателями). Выбирая тип электродвигателя, юный техник должен знать основные разновидности электродвигателей, их устройство, характеристики и области применения. Ввиду отсутствия в продаже широкого ассортимента электродвигателей часто приходится делать их самому или переделывать из других электрических машин малой мощности. Для этого необходима техническая литература.

Хотя ученики старших классов имеют необходимую теоретическую подготовку для самостоятельных расчетов электродвигателей, пользоваться учебниками для высших учебных заведений и техникумов им еще трудно. Немногочисленная литература по самостоятельному изготовлению электродвигателей в виде отдельных изданий и журнальных статей обычно содержит готовые данные для изготовления одного какого-либо типа электродвигателя: приведены размеры всех его деталей и данные обмоток. Остается изготовить детали и собрать электродвигатель.

В этой книге изложены принципы действия, устройство, упрощенные расчеты с числовыми примерами и советы по самостоятельному изготовлению основных типов электродвигателей малой мощности постоянного и переменного тока. Прежде чем сделать электродвигатель, юный техник должен выбрать тип; рассчитать его, продумать конструкцию и технологию изготовления. Поэтому он не просто выполняет, а создает требуемый электродвигатель.

Книга предназначена не только для умелых рук, но и для пытливого ума. В ней читатель найдет ответы на многие вопросы, которые могут у него возникнуть в области устройства и работы электродвигателей. Далее читатель узнает, что свои знания по математике и физике он может практически применить для расчета электродвигателя. Производственные навыки работы в учебных мастерских помогут ему изготовить детали и собрать электродвигатель.

Отдельная глава посвящена электробытовым приборам. Эти приборы можно изготовить самим. В качестве примера приведены чертежи шашлычницы с электрическим приводом, состоящие из общего вида, отдельных составных частей и деталей, по которым можно изготовить детали, соединить составные части и собрать готовое изделие. Во многих случаях приходится использовать электродвигатели переменного тока низкого напряжения, поэтому в книге приведены расчеты, конструкция и способы изготовления понижающего трансформатора.

Электродвигатели малой мощности находят применение в самых различных областях народного хозяйства. Общее их количество исчисляется десятками миллионов. С каждым годом растет как количество микроэлектродвигателей, так и число их разновидностей. Для проектирования, изготовления, монтажа такого количества электродвигателей нужна целая армия специалистов. Чтобы овладеть всеми вопросами теории и практики применения электродвигателей, надо уже в школьные годы их изучать, строить и применять на практике. Для этого и выпущена настоящая книга. Она должна быть доступной для школьников, поэтому в ней упрощены методы расчетов и конструкции самодельных электродвигателей, например, рекомендуются круглые пазы статора и якоря вместо овальных, квадратная форма листов статора вместо круглой, допускается применение обычной стали для сердечников вместо специальной электротехнической и простейших изоляционных материалов. В связи с этим снижены значения допускаемых индукций и плотностей тока, поэтому самодельные электродвигатели получаются больших размеров, чем электродвигатели заводского изготовления.

Данной книгой не рекомендуется пользоваться для расчетов и ремонта электродвигателей в производственных условиях. Для этого следует обратиться к специаль-

ной технической литературе: справочникам и пособиям по ремонту электрических машин, учебным пособиям по расчету и проектированию электрических машин для высших и средних специальных учебных заведений.

Книга предназначена для школьников старших классов, интересующихся электротехникой. Она может оказаться полезной при выборе профессии.

Все замечания и предложения просим направлять по адресу: 113114 Москва, М-114, Шлюзовая набережная, 10, издательство «Энергия».

Авторы

ОБОЗНАЧЕНИЯ ЕДИНИЦ ИЗМЕРЕНИЯ

С 1 января 1963 года введена Международная система единиц СИ, которая должна применяться как предпочтительная (ГОСТ 9867-61). В системе СИ установлены единицы: силы — ньютон (Н), массы — килограмм (кг), магнитного потока — вебер (Вб), магнитной индукции — тесла ($1 \text{ Т} = 1 \text{ Вб/м}^2$). Между указанными единицами системы СИ и единицами системы МКСА (ГОСТ 8033-56) существуют следующие зависимости: $1 \text{ Вб} = 10^8 \text{ Мкс}$; $1 \text{ Т} = 10^4 \text{ Гс}$; $1 \text{ Н} = 0,102 \text{ кгс}$. Кроме этих единиц в книге встречаются следующие:

А — ампер;

В — вольт;

В·А — вольт-ампер;

Вт — ватт;

кВт — киловатт;

Гц — герц;

мкФ — микрофарада;

об/мин — оборотов в минуту;

с — секунда.

В тексте книги приняты следующие сокращенные обозначения:

э. д. с. — электродвижущая сила в вольтах, В;

к. п. д. — коэффициент полезного действия;

н. с. — намагничивающая сила в амперах, А;

А — линейная нагрузка в амперах на метр, А/м;

Δ — плотность тока в амперах на квадратный миллиметр, А/мм²;

H — напряженность магнитного поля в амперах на метр, А/м.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

1-1. ЗАДАЧИ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

При выполнении различных производственных процессов необходимо соблюдать предосторожность, чтобы не получить повреждения и не принести вред окружающим людям и оборудованию. Правила предосторожности объединяются под общим названием техники безопасности. В различных производствах эти правила имеют свои особенности. Их надо выполнять и при работе в школьных мастерских, и при моделировании в домашних условиях.

В СССР обращается большое внимание на то, чтобы во всех отраслях производства строго соблюдались правила безопасности во избежание несчастных случаев. Для этого все поступающие на заводы проходят инструктаж по технике безопасности и допускаются к работе только после того, как усвоят правила техники безопасности и ознакомятся с противопожарными мероприятиями.

Для предупреждения несчастных случаев на производстве должны быть приняты следующие основные меры предосторожности:

- 1) вращающиеся передаточные механизмы станков должны быть ограждены специальными решетками;
- 2) все части машин и аппаратов, находящиеся под напряжением, должны быть защищены от случайного прикосновения к ним;
- 3) корпуса электрических машин, аппаратов и трансформаторов должны быть заземлены;
- 4) пуск в ход станков может производиться лишь работающими на них рабочими;
- 5) все работающие должны быть предупреждены о вредном влиянии на зрение электрической дуги при электросварке.

1-2. ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СЛЕСАРНЫХ РАБОТАХ

Тиски должны находиться на определенной высоте от пола (высота зависит от роста работающего): если положить локоть на губки параллельных тисков, то концы пальцев поднятой руки должны касаться подбородка.

Для предохранения работающих от отлетающих при рубке кусков металла верстаки защищают экранами из мелкой сетки или органического стекла.

Следует пользоваться только исправными инструментами; молоток должен быть насажен на прочную ручку и туго на ней заклинен, чтобы он не соскакивал при работе; боек молотка изготавливается слегка выпуклым.

При заточке инструментов на точильном камне необходимо пользоваться защитным стеклом или очками, чтобы предохранить глаза от летящих искр.

При резке материалов на рычажных ножницах надо прижимать полосу материала прижимной планкой, а не рукой.

Полотно ножовки должно быть правильно закреплено; нельзя сдвигать ртом стружку с пропиленного места, так как она может попасть в глаза.

Запрещается работать напильником без ручки или с треснувшей ручкой; при опиливании предметов с острыми кромками нельзя поджимать пальцы левой руки под напильник; сметать опилки надо волосистой кистью, а не рукой.

Помещение, в котором производят пайку, должно иметь вытяжную вентиляцию для удаления выделяющихся при пайке газов; при пользовании электродуговым паяльником надо надевать очки с цветными стеклами для предохранения глаз от светового действия электрической дуги.

1-3. ПРАВИЛА ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

Электрическая энергия используется в той или иной форме во всех отраслях народного хозяйства. Она все более внедряется в быт уже не только для освещения, но и для питания многочисленных бытовых электроприборов. Однако пользование электрическими установками требует соблюдения известных мер предосторожности, нарушение которых может привести к тяжелым последствиям и даже к смерти.

Опасность заключается в прикосновении к частям электрической сети, находящимся под напряжением, так как при этом электрический ток проходит через организм человека и вызывает нарушение центральной нервной системы. Электрический ток 0,02 А вызывает конвульсивное сжатие мышц, человек уже не в состоянии оторвать руку от провода, за который он взялся. При токе 0,5 А наступает паралич дыхания и смерть. Исходя из закона Ома, ток прямо пропорционален напряжению источника и обратно пропорционален сопротивлению организма человека. Наибольшее сопротивление представляет верхний слой кожи. При увлажнении кожи потом или водой сопротивление ее резко понижается. Вот почему особенно опасно касаться мокрыми руками частей электробытовых приборов. Во избежание поражения электрическим током категорически запрещается пользоваться в ваннах комнатах электробытовыми приборами.

Наиболее часто происходит однополюсное касание электрической сети. При этом не исключена возможность, что другой провод также имеет контакт с землей и через землю образуется замкнутая цепь для электрического тока. Сопротивление этой цепи может снизиться, если человек одной рукой касается части проводки, а другой рукой, например, батареи центрального отопления или водопроводного крана или стоит на мокром полу.

Коснуться одного полюса сети можно иногда совершенно неожиданно. Например, вследствие неисправности электрического утюга спираль его имеет контакт с металлическим корпусом. Включив вилку в штепсельную розетку, мы коснулись корпуса утюга и попали под напряжение сети. Поэтому надо внимательно следить за исправностью электроприборов. Если при касании рукой корпуса прибора ощущается характерное подергивание в руке, т. е. как говорят, прибор «бьет на корпус», то надо его немедленно отремонтировать.

Никогда не вытирайте мокрой тряпкой колбу и арматуру электролампы. Даже в исправной лампе вы можете коснуться цоколя, который находится под напряжением, так как выключатель отключает только один провод от сети. Заменяя перегоревшую лампочку, надо стоять на сухой деревянной табуретке или подложить под ноги резиновый коврик.

При устройстве елочного освещения тщательно изолируйте цоколи всех ламп и не ставьте елку вблизи батареи центрального отопления, так как при этом повышается опасность поражения электрическим током.

При изготовлении электротехнических игрушек пользуйтесь только пониженным напряжением от батарейки или трансформатора. Не давайте детям играть такими игрушками в отсутствие взрослых.

При производстве электромонтажных работ необходимо отключить данный участок электрической сети, вывернув пробки.

Во избежание случайного поражения электрическим током ручки электромонтерского инструмента должны быть изолированы. Ручки отверток делают из пластмассы, а ручки пассатижей и кусачек изолируют, надевая на них резиновые или хлорвиниловые трубки. Чтобы изолировать при этом и концы ручек, надевают один общий отрезок трубки на обе ручки. Трубка должна быть достаточной длины, чтобы не мешать раскрытию губок кусачек или пассатижей. Ручки можно также изолировать синей изоляционной хлорвиниловой лентой. Однако такая изоляция электромонтажных инструментов не дает права работать в сетях под напряжением. Для проверки отсутствия напряжения в сети пользуются контрольными лампами.

В последнее время все большее распространение имеют однофазные электродвигатели с пусковыми или рабочими конденсаторами, которые описаны в гл. 3. Они применяются и в некоторых бытовых приборах. При пользовании такими электродвигателями надо знать, что конденсатор после отключения сохраняет напряжение на своих зажимах в течение длительного времени. Опасность поражения электрическим током при прикосновении к заряженному конденсатору тем больше, чем выше рабочее напряжение и больше его емкость. Например, у электродвигателя напряжением 220 В при емкости рабочего конденсатора 3 мкФ напряжение на зажимах конденсатора может достигнуть 500 В.

При обслуживании конденсаторных электродвигателей надо соблюдать следующие правила техники безопасности:

- 1) батарею конденсаторов необходимо оградить металлической сеткой от случайного прикосновения;
- 2) расположение батареи конденсаторов должно

обеспечить удобный доступ к ним и защиту от смещений при вибрациях;

3) замену плавких вставок предохранителя следует производить только при замкнутом рубильнике в цепи отключаемого конденсатора;

4) всякий раз после выключения электродвигателя следует замыкать цепь с отключаемым конденсатором, подготовив таким образом схему к очередному пуску;

5) при производстве ремонтных работ и испытаний после каждого отключения конденсатора надо его разрядить при помощи разрядного сопротивления в виде нескольких электрических ламп, соединенных последовательно.

1-4. ПРОТИВОПОЖАРНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

Известно, каким стихийным бедствием является пожар. Борьба с пожарами заключается не только в том, чтобы их тушить, но и в том, чтобы предупредить их. Общие правила пожарной безопасности широко освещаются на плакатах, в кино, по радио и телевидению.

Всякая электрическая сеть, если она неправильно используется, таит в себе опасность пожара. Пожар начинается с загорания изоляции проводов, которое происходит по всей длине проводки, поэтому пожар быстро распространяется, особенно в деревянных зданиях. При загорании проводки прежде всего надо прервать цепь тока. При тушении горячей электропроводки нельзя пользоваться водой, а засыпать ее сухим песком.

Какие же причины могут вызвать загорание проводки? Во многих старых домах проводка была рассчитана только на освещение и поэтому выполнена проводами малого сечения. Но сейчас нет, вероятно, ни одной квартиры, где бы не было электронагревательных приборов, телевизоров, радиоприемников, холодильников и других бытовых электроприборов, поэтому электропроводка перегружается. В результате сильного нагрева изоляция проводов становится хрупкой и легко разрушается. Тогда может произойти соединение двух проводов, которые образуют короткое замыкание. При коротком замыкании ток в цепи возрастает во много раз, провода чрезмерно нагреваются и изоляция их загорается. Но короткие замыкания могут возникнуть не только в проводке, а во всяком неисправном электроприборе. Особенно часто по-

вреждаются нагревательные приборы, так как контакты их при окислении перегреваются.

Защитой при коротких замыканиях являются плавкие вставки в виде тонких проволочек, которые вставлены в предохранители. При возрастании тока эти вставки перегорают, цепь тока прерывается и проводка предохраняется от загорания. Перегоревшую вставку следует заменить новой на тот же ток, предварительно устранив причину короткого замыкания. Но иногда плавкие вставки заменяют пучками медной проволоки (так называемыми «жучками»). Такой «жучок» уже не защищает проводку, и при большой перегрузке или при коротком замыкании начинается пожар.

Недостатком плавких предохранителей является то, что они допускают, не перегорая, перегрузку электрической сети током, который иногда в 1,5—2 раза превышает номинальный ток предохранителя. При такой перегрузке изоляция проводки быстро стареет, т. е. становится хрупкой и ненадежной. В последнее время в продаже появились автоматические выключатели, применяемые вместо предохранителей. Такие выключатели размыкают цепь даже при небольшом превышении тока сверх номинального. Их не надо заменять, и они являются надежными «сторожами» против всяких нарушений в сети.

Если автомат отключил сеть, то для обратного включения надо нажать центральную кнопку. Перед этим отключить все приборы, включенные в сеть, которые могли бы быть причиной перегрузки и короткого замыкания. Этим же автоматом пользуются, уходя из квартиры. Для этого нажимают маленькую боковую кнопку, и вся квартирная сеть отключается. Этим предохраняют от опасности пожара в случае наличия приборов, которые забыли отключить.

Но пожар может возникнуть не только при коротком замыкании. Вы включили электрический паяльник и, пока он разогревается, занялись другим делом и забыли о нем. От паяльника загорелся стол и начался пожар. От электроплитки могут вспыхнуть висящие над ней занавески. Уходя из дома, никогда не оставляйте включенными электроприборы.

При пропитке в изоляционных лаках обмоток электродвигателей не забывайте, что пары лаков могут дать вспышку. Поэтому при пропитке необходима хорошая вентиляция и не допускается применение открытого огня.

При запекании склеенных сердечников электродвигателей не забывайте о зажженной духовке или печи. Соблюдайте осторожность, чтобы не уронить горящие щепки или раскаленные угли на пол.

При несоблюдении правил пожарной безопасности причиной пожара может быть новогодняя елка. Часто ее украшают кусками ваты, имитирующей хлопья снега. Но вата является огнеопасным материалом, она вспыхивает от малейшей искры и горит жарким пламенем. Поэтому покупные елочные украшения пропитывают специальным составом. Не украшайте елку ватой и не делайте из ваты самодельные игрушки. Не зажигайте на елке бенгальские огни, от которых могут загореться бумажные украшения.

ГЛАВА ВТОРАЯ

КОЛЛЕКТОРНЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

2-1. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Из основ электротехники известно, что если поместить проводник в магнитное поле и пропускать через него постоянный ток, то на проводник будет действовать сила, которая стремится вытолкнуть его из магнитного поля. Эта сила пропорциональна магнитной индукции, длине проводника и силе тока. На этом основан принцип действия электродвигателей.

На рис. 2-1 показана схема электродвигателя постоянного тока. Проводники *1* уложены в пазы якоря и соединены с пластинами коллектора *2*, на которых установлены угольные щетки *3*, присоединенные к источнику постоянного тока *4*. Когда пластина коллектора при вращении якоря проходит под щеткой, ток в соединенном с ней проводнике изменяет свое направление. Поэтому всегда под одним полюсом токи в проводниках проходят в одну сторону, а под другим — в противоположную. Таким образом, в машинах постоянного тока по обмотке якоря проходит переменный ток.

Направление действия силы F можно определить по правилу левой руки. Силы двух противоположных про-

водников образуют пару сил. Эти пары создают вращающий момент двигателя $M_{вр}$, Н·м, который можно определить по формуле

$$M_{вр} = 9,55 \frac{P}{n}, \quad (2-1)$$

где P — мощность электродвигателя, Вт; n — частота вращения якоря, об/мин.

Например, электродвигатель мощностью 30 Вт при частоте вращения 2900 об/мин будет развивать вращающий момент

$$M_{вр} = 9,55 \frac{30}{2900} \approx 0,1 \text{ Н·м.}$$

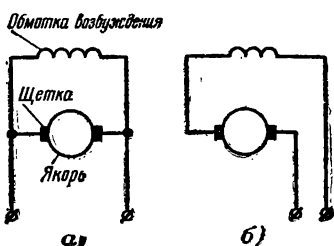
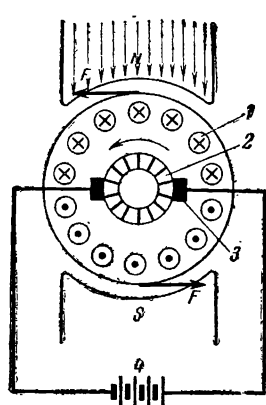


Рис. 2-2. Системы возбуждения.
а — параллельное; б — последовательное.

Рис. 2-1. Схема электродвигателя постоянного тока.

В электродвигателях малой мощности магнитное поле может создаваться постоянными магнитами (см. рис. 2-9). Однако большая часть электродвигателей имеет полюсы с надетыми на них катушками, которые питаются постоянным током обычно от того же источника, что и якорь электродвигателя. Эти катушки называются обмотками возбуждения. Разная полярность полюсов создается за счет того, что через катушку одного полюса ток проходит по часовой стрелке, а через катушку другого — против часовой стрелки.

Обмотка возбуждения может быть соединена с якорем параллельно (рис. 2-2, а) или последовательно (рис. 2-2, б). В первом случае обмотка состоит из большого числа витков тонкого провода, поэтому имеет большое сопротивление и через нее проходит небольшая

часть тока якоря. При последовательном соединении через обмотку возбуждения проходит весь ток якоря, поэтому она имеет небольшое число витков более толстого провода. Намагничивающая сила обмотки возбуждения пропорциональна произведению числа витков и силы тока. Так, обмотка, состоящая из 1000 витков, при токе 0,1 А и обмотка, состоящая из 100 витков, при силе тока 1 А будут иметь одинаковую н. с., а именно 100 А.

В противоположность многим механическим двигателям, которые вращаются только в одну сторону, электродвигатель легко поддается изменению направления вращения. Для этого по правилу левой руки достаточно изменить направление тока в якоре или полярность полюсов. Изменение направления вращения называется реверсированием и производится аппаратами управления электродвигателем.

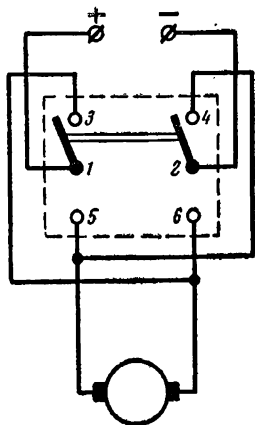


Рис. 2-3. Схема реверсирования электродвигателей.

На схеме рис. 2-3 показано реверсирование электродвигателя путем изменения направления тока якоря при помощи переключателя (тумблера). При замыкании контактов 1 и 2 с верхними контактами 3 и 4 с положительным полюсом источника тока будет соединена правая щетка электродвигателя. При переключении тумблера в нижнее положение, когда контакты 1 и 2 замыкаются с контактами 5 и 6, с положительным полюсом будет соединена левая щетка электродвигателя.

Как только якорь начал вращаться, в проводниках его обмотки будет наводиться э. д. с. По закону Ленца она направлена против напряжения источника тока. Поэтому ток, I , А, потребляемый электродвигателем, можно определить по формуле

$$I = \frac{U - E}{R}, \quad (2-2)$$

где U — напряжение источника тока, В; E — э. д. с., наводимая в обмотке якоря, В; R — сопротивление обмотки якоря, Ом.

Пока к валу электродвигателя не приложено никакой механической нагрузки, электродвигатель работает

в режиме холостого хода. Чем быстрее вращается якорь, тем большая э. д. с. будет наводиться в его обмотке. При холостом ходе якорь вращается с наибольшей скоростью, и поэтому ток, потребляемый электродвигателем, будет мал. Но якорь никогда не может развить такую частоту вращения, при которой э. д. с. сравнялась бы с приложенным напряжением U . Как видно из (2-2), числитель превратился бы в нуль и электродвигатель перестал бы потреблять ток от источника. При этом вращающий момент также стал бы равен нулю.

Нагрузкой электродвигателя являются те механизмы, которые он приводит во вращение. По мере увеличения нагрузки будет увеличиваться ток, потребляемый электродвигателем, а частота вращения будет снижаться, и, наконец, двигатель остановится. Такое состояние электродвигателя, когда он присоединен к источнику тока, а якорь его не вращается, называется коротким замыканием электродвигателя. При коротком замыкании электродвигатель будет потреблять наибольший ток, так как при неподвижном якоре $E=0$, а следовательно, по (2-2):

$$I = U/R, \text{ А.}$$

Сопротивление обмоток электродвигателя мало, поэтому ток короткого замыкания в несколько раз превышает номинальный рабочий ток. При этом ухудшаются условия охлаждения, так как неподвижный якорь не обдувается воздухом. При коротком замыкании электродвигатель очень быстро нагреется и его обмотки будут повреждены вследствие обугливания изоляции.

При каждом пуске электродвигатель в первый момент, когда якорь его неподвижен, находится в состоянии короткого замыкания, но после начала вращения по мере увеличения скорости будет нарастать э. д. с. и ток будет быстро уменьшаться. Для двигателей постоянного тока мощностью в несколько киловатт пусковой ток является опасным, поэтому при пуске двигателя последовательно с якорем включают дополнительное пусковое сопротивление, которое затем отключают. Электродвигатели мощностью в десятки ватт можно пускать в ход, присоединяя их к источнику тока без пусковых сопротивлений.

2-2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

При изменении нагрузки электродвигателя изменяются мощность, вращающий момент, потребляемый ток и частота вращения якоря. Изменение можно было бы показать при помощи цифровых таблиц. Но гораздо нагляднее пользоваться графическими изображениями. Эти графики называют характеристиками электродви-

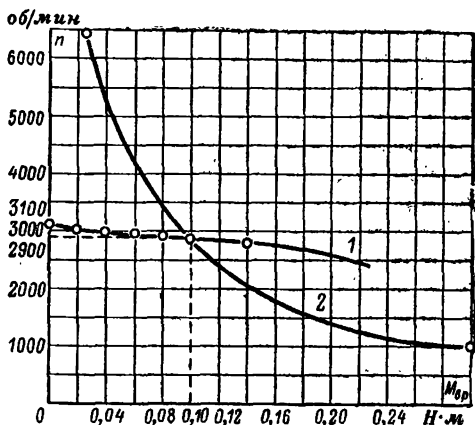


Рис. 2-4. Характеристики электродвигателей. 1 — электродвигатель с параллельным возбуждением; 2 — электродвигатель с последовательным возбуждением.

гателя. Наиболее важной является механическая характеристика, которая показывает, как изменяется частота вращения якоря в зависимости от вращающего момента.

Для построения характеристики на миллиметровой бумаге проводят оси координат (рис. 2-4). По горизонтальной оси откладывают значения вращающего момента, а по вертикальной — частоты вращения якоря. Масштабы для моментов и частот вращения выбирают произвольно. На рис. 2-4 масштаб для моментов: 1 клеточка — 0,02 Н·м, а для частоты вращения: 1 клеточка — 500 об/мин.

Номинальными данными электродвигателя называются мощность, напряжение и частота вращения, на которые он рассчитан. Они обозначены на табличке, прикрепленной к корпусу электродвигателя. У электродвигателя, характеристика которого дана на рис. 2-4 (кри-

вая 1), номинальная мощность 30 Вт, а номинальная частота вращения 2 900 об/мин. Номинальный вращающий момент был рассчитан по (2-1); он равен 0,1 Н·м.

Из точек на осях координат, соответствующих вращающему моменту 0,1 Н·м и частоте вращения 2 900 об/мин, проведем штриховые линии, параллельные осям. Пересечение их образует одну из точек механической характеристики двигателя. Остальные точки механической характеристики можно получить расчетным или опытным путем. В первом случае в расчетные формулы подставляют значения вращающего момента и получают соответствующие этим моментам частоты вращения. При получении характеристик опытным путем нагружают электродвигатель различными моментами при помощи тормоза и измеряют частоты вращения специальными приборами.

На рис. 2-4 (кривая 1) точки характеристики обозначены кружочками. Если соединить это кружочки линией, то получим механическую характеристику электродвигателя с параллельным возбуждением. Точка на вертикальной оси, в которой частота вращения равна 3 100 об/мин, а приложенный к валу вращающий момент равен нулю, является точкой холостого хода.

Механическая характеристика электродвигателя с параллельным возбуждением имеет вид прямой линии с небольшим наклоном от холостого хода в сторону полной нагрузки. Это значит, что при изменении нагрузки частота вращения якоря остается почти постоянной. Только после увеличения вращающего момента выше номинального частота вращения уменьшается и, когда нагрузка превысит максимальный вращающий момент электродвигателя, якорь остановится.

Электродвигатель с параллельным возбуждением применяется, например, на металлорежущих станках. Станок пускается без нагрузки, поэтому от электродвигателя не требуется большой пусковой момент. Резец подводят к обрабатываемой детали, когда станок уже вращается. При различных сечениях снимаемой стружки электродвигатель обеспечивает неизменную скорость резания.

На рис. 2-4 (кривая 2) изображена механическая характеристика электродвигателя с теми же номинальными данными, но с последовательным возбуждением. При изменении нагрузки, а следовательно, и тока, потребляе-

мого электродвигателем, будут изменяться и ток якоря, и магнитное поле, так как через обмотку возбуждения проходит ток якоря. Поэтому вращающий момент будет пропорционален силе тока в квадрате и механическая характеристика его изображается не прямой, а кривой линией. Как видно на характеристике, при уменьшении нагрузки частота вращения резко возрастает. Это объясняется тем, что с уменьшением силы потребляемого тока магнитное поле полюсов становится очень слабым. Стремясь развить необходимую э. д. с., якорь сильно увеличивает частоту вращения.

При вращении якоря действуют центробежные силы, которые стремятся вытолкнуть проводники из пазов, оторвать пластинки коллектора и зубцы якоря. При больших частотах вращения центробежная сила может значительно превысить массу вращающихся частей. Например, на окружности якоря диаметром 2 см, вращающегося с частотой 3 000 об/мин, на каждый 1 г массы действует центробежная сила 1 Н. При увеличении частоты вращения центробежная сила растет пропорционально квадрату и при частоте вращения 6 000 об/мин будет равна 4Н.

Чтобы избежать опасности разрыва якоря, электродвигатель с последовательным возбуждением никогда не пускают в ход без нагрузки. К валу электродвигателя всегда должна быть приложена нагрузка. Пуск электродвигателей мощностью в десятки ватт можно производить и без нагрузки. Это объясняется тем, что при возрастании частоты вращения якорь будет затормаживаться вследствие потерь холостого хода, которые затрачиваются на трение щеток, подшипников, якоря о воздух, и потерями на вихревые токи и на перемагничивание якоря. Эти потери быстро растут при увеличении скорости.

Преимуществом электродвигателя с последовательным возбуждением является большая перегрузочная способность. Он может развивать вращающий момент, значительно превышающий номинальный. На механической характеристике видно, что при уменьшении частоты вращения до 1 000 об/мин вращающий момент в 3 раза превышает номинальный. Это происходит за счет того, что с увеличением потребляемого тока увеличивается и магнитное поле. Наибольший момент электродвигатель развивает при пуске.

Электродвигатели с последовательным возбуждением широко применяются в электрическом транспорте, например в трамвае, троллейбусе, а также в подъемных кранах. В этих механизмах требуется большой вращающий момент при трогании с места.

Основное достоинство электродвигателей постоянного тока — это возможность плавной регулировки частоты вращения в широких пределах. Для снижения последней включают регулировочные сопротивления в цепь якоря и тем снижают подводимое напряжение. Для повышения частоты вращения сверх номинальной ослабляют магнитное поле электродвигателей сопротивлениями в цепи возбуждения.

2-3. ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕ И К. П. Д.

При работе электродвигателя часть подведенной энергии затрачивается на потери в самом двигателе. Эти потери разделяются на электрические, магнитные и механические.

Из электротехники известно, что если по проводнику проходит ток, то происходит затрата энергии и проводник нагревается. Эти потери пропорциональны квадрату силы тока и сопротивлению проводника. Для снижения электрических потерь обмотки выполняют из медных проводов, так как медь обладает высокой электропроводностью. Другим средством снижения электрических потерь является увеличение сечения проводников. Но это ведет к увеличению размеров и массы электродвигателя. Поэтому сечение проводников обмоток выбирают из расчета, чтобы нагрев их не превышал допустимой температуры нагрева изоляционных материалов.

Но электрические потери энергии имеют место не только в проводниках обмоток электродвигателя, но и на коллекторе. Дело в том, что в контакте между щетками и коллекторными пластинами происходит падение напряжения около 2 В на пару щеток. Произведение тока якоря на падение напряжения выражает электрические потери на коллекторе.

Магнитные потери в электродвигателях постоянного тока выделяются в сердечниках якоря. При вращении якоря в магнитном поле будут наводиться э. д. с. не только в проводниках его обмотки, но и в самом стальном сердечнике, так как якорь пересекает линии магнит-

ного поля. На рис. 2-5, а видно, что под северным полюсом э. д. с. направлены в одну сторону, а под южным — в другую. Поэтому внутри якоря появятся токи, которые называют вихревыми токами. Ввиду того, что якорь имеет малое сопротивление, вихревые токи могут достигать большой величины. Для уменьшения потерь энергии от вихревых токов сердечник якоря собирают из тонких листов, изолированных один от другого слоем

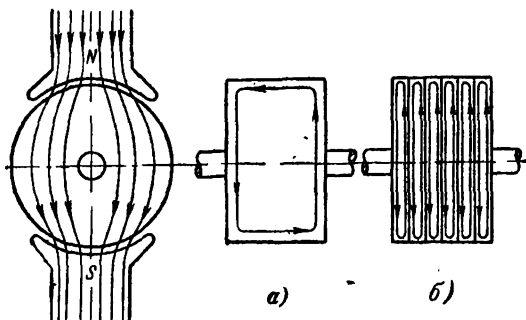


Рис. 2-5. Вихревые токи в якорь.
а — в массивном якорь; б — в расслоенном якорь.

лака. На рис. 2-5, б показано, что при разделении якоря на тонкие слои вихревые токи значительно снижаются. Другим средством снижения потерь от вихревых токов является увеличение удельного сопротивления материала якоря. Поэтому сердечники электрических машин штампуют из листов электротехнической стали, в состав которой вводят добавку кремния от 1 до 3%.

Выделим на якорь продольную полоску и проследим ее путь при вращении якоря. Она будет пробегать то под северным, то под южным полюсом и каждый раз происходит ее перемагничивание. Как известно из физики, при этом возникают потери энергии, иазываемые потерями на гистерезис. Их можно уменьшить, применяя для якоря мягкую сталь, подвергнутую специальной обработке для снижения остаточного магнетизма.

Магнитные потери растут с увеличением индукции и частоты. Как было сказано в § 2-1, в якорь электродвигателя постоянного тока проходит переменный ток. Частоту его f , Гц, можно определить по формуле

$$f = pn/60, \quad (2.3)$$

где p — число пар полюсов; n — частота вращения якоря, об/мин.

Из этого следует, что при расчетах электродвигателей индукцию в стальных сердечниках надо ограничить определенными пределами, особенно при большой частоте тока якоря. В корпусе и в сердечниках полюсов электродвигателей постоянного тока нет магнитных потерь, поэтому они могут быть выполнены из массивных кусков стали.

Механические потери затрачиваются на трение в подшипниках, трение щеток о пластины коллектора и якоря о воздух. В электродвигателях малой мощности при больших частотах вращения механические потери составляют значительную часть общих потерь.

Коэффициент полезного действия электродвигателя представляет собой отношение полезной мощности P к потребляемой P_1 , выраженное в процентах:

$$\eta = \frac{P}{P_1} 100\%. \quad (2.4)$$

В электродвигателях малой мощности к. п. д. резко падает. Как видно из графика рис. 4-2, для электродвигателя постоянного тока мощностью 2 Вт к. п. д. составляет 10%. Это значит, что 90% подводимой мощности затрачивается на потери в самом электродвигателе. С увеличением мощности к. п. д. быстро растет и при мощности 20 Вт достигает уже 45%.

2.4. КОЛЛЕКТОРНЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Обратимся снова к электродвигателю постоянного тока (рис. 2-2). Проведем такой опыт: присоединим к зажимам электродвигателя батарейку карманного фонаря, а когда якорь начнет вращаться, быстро перевернем батарейку так, что теперь она будет касаться зажимов электродвигателя другими пластинками. На первый взгляд кажется, что якорь будет вращаться в обратную сторону. Но, проделав этот опыт, вы убедитесь, что якорь электродвигателя будет вращаться в ту же сторону. Ведь при перевертывании батарейки изменилась полярность ее пластинок, подключаемых к зажимам электродвигателя. Следовательно, изменилось направление тока и в якоре и в обмотке возбуждения. По правилу левой руки направление вращения якоря сохранится прежним.

Непрерывное переключение батарейки равносильно тому, что электродвигатель питается переменным током. Разница только в том, что у такого переменного тока очень малая частота, так как перевернуть батарейку можно успеть 3—5 раз в секунду, а переменный ток меняет направление 100 раз в секунду.

Теперь присоединим к зажимам электродвигателя два проводника от понижающего трансформатора с таким же напряжением, как у батарейки. Электродвигатель будет работать, хотя якорь его будет вращаться несколько медленнее, чем при питании постоянным током, так как при переменном токе появилось индуктивное сопротивление обмоток электродвигателя.

Если через 10—15

мин прикоснуться ру-

кой к его корпусу, то заметим, что он нагрелся. При работе от батарейки этого не было. Дело в том, что при питании переменным током появились потери в стенках корпуса и в полюсах от вихревых токов и перемагничивания переменным потоком. Чтобы снизить эти потери, корпус и полюсы однофазного коллекторного электродвигателя переменного тока собирают из штампованных листов электротехнической стали, изолированных один от другого пленкой лака и скрепленных заклепками (рис. 2-6). Чтобы избавиться от заклепок, часто прибегают к склеиванию листов клеем БФ-2, о чем будет сказано в гл. 5. Якорь однофазного коллекторного электродвигателя ничем не отличается от якоря электродвигателя постоянного тока.

На рис. 2-6 листы статора выштампованы вместе с полюсами. При такой форме листов статора катушки наматывают отдельно от статоров на намоточных шаблонах, затем их изолируют лентами и надевают на полюсы. Для того чтобы катушка могла пройти через полюсный наконечник 2, она должна быть шире, чем сердечник полюса. Сначала надевают на полюс одну сторону катуш-

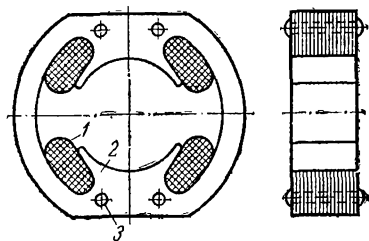


Рис. 2-6. Статор коллекторного электродвигателя.

1 — катушка; 2 — полюсный наконечник;
3 — заклепка.

ки, а когда она войдет на свое место, натягивают через полюсный наконечник другую сторону. После этого стороны катушки прижимают к боковым сторонам полюса, а между торцами статора и катушкой остается воздушный промежуток. Катушки удерживаются на полюсах отогнутыми крайними листами сердечника, у которых срезаны углы полюсных наконечников.

На рис. 2-7 показана другая конструкция статора с магнитной системой не замкнутой, а открытой формы подковообразного магнита. Это также двухполюсный статор, но катушка у него одна. Такую катушку наматы-

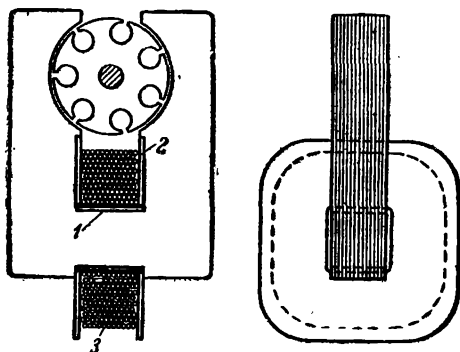


Рис. 2-7. Статор коллекторного электродвигателя.

1 — изоляционная гильза; 2 — фланец; 3 — катушка.

вают непосредственно на сердечник статора, изолировав его предварительно изоляционной гильзой 1 и двумя фланцами 2. Такая конструкция имеет преимущества при изготовлении самодельных электродвигателей, так как листы статора имеют более простую форму.

Коллекторные электродвигатели переменного тока выполняются только с последовательным возбуждением, так как катушки параллельного возбуждения имели бы при переменном токе слишком большое индуктивное сопротивление. Механическая характеристика однофазного электродвигателя подобна характеристике электродвигателя постоянного тока с последовательным возбуждением (см. рис. 2-4). Поэтому их применяют в тех случаях, когда от электродвигателя требуются большой пусковой момент и высокая перегрузочная способность.

Коллекторные электродвигатели могут быть рассчитаны на любую частоту вращения, в то время как асинхронные электродвигатели при питании переменным током частотой 50 Гц имеют максимальную синхронную частоту вращения 3 000 об/мин. Это свойство делает коллекторные электродвигатели незаменимыми для таких бытовых приборов как пылесосы. Коллекторные электродвигатели в 2—3 раза легче асинхронных однофазных двигателей.

Коллекторные электродвигатели могут быть выполнены на низкое напряжение с питанием от понижающего трансформатора и на напряжение сети 127 или 220 В. Двигатели низкого напряжения в целях снижения опасности поражения электрическим током применяются в движущихся игрушках (электрические железные дороги, подъемные краны). Электродвигатели, питаемые от сети переменного тока, используются в пылесосах, швейных машинах, электробритвах и других электробытовых приборах.

Итак, коллекторный электродвигатель, у которого магнитная система выполнена из штампованных листов, может питаться током от сети постоянного или переменного тока. Но номинальные данные такого электродвигателя будут различными в зависимости от рода тока. Для того чтобы получить электродвигатель с примерно одинаковыми номинальными данными при питании его от сети постоянного или переменного тока, обмотку возбуждения выполняют с дополнительным выводом. При работе от сети постоянного тока включают все витки катушек возбуждения, а при питании переменным током только часть витков (рис. 2-8). Такие электродвигатели называются универсальными.

Коллекторные электродвигатели переменного тока, так же как и электродвигатели постоянного тока, легко поддаются плавному регулированию частоты вращения в широких пределах. Обычно регулирование выполняется включением переменного сопротивления в один из проводов, соединяющих электродвигатель с источником питания.

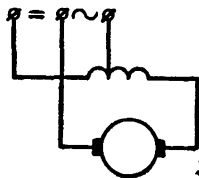


Рис. 2-8. Схема универсального коллекторного электродвигателя.

Коллекторные электродвигатели сложны в изготовлении и требуют наблюдения и ухода за щетками и поверхностью коллектора. При работе электродвигателя происходит искрение под щетками. Вследствие этого поверхность коллектора темнеет, а щетки и пластины коллектора быстро изнашиваются. Ведь маленькие искорки — это электрические дуги, имеющие высокую температуру.

Искрение под щетками при переменном токе проявляется сильнее, чем при постоянном. Это объясняется тем, что в замкнутой щеткой секции обмотки якоря наводится еще трансформаторная э. д. с., которой не было в электродвигателе постоянного тока.

Вредное влияние искрения на коллекторе заключается не только в изнашивании щеток и коллектора. При искрении создаются электромагнитные колебания, которые улавливаются радиоприемными устройствами. Стоит включить коллекторный электродвигатель, например пылесоса, как в динамиках радиоприемников и телевизоров послышатся трески, а на экране телевизора появятся светящиеся полосы, искажающие изображения.

Для снижения помех радиоприему электродвигатели снабжают фильтрами, состоящими из конденсаторов. Но полностью освободиться от помех не удастся. Поэтому в электробытовых приборах стремятся всюду, где это возможно, заменить коллекторные электродвигатели асинхронными, которые не имеют щеток и коллектора, просты по устройству, надежны в работе и не создают помех радиоприему.

2-6. УСТРОЙСТВО КОЛЛЕКТОРНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Рассмотрим устройство нескольких типов коллекторных электродвигателей заводского изготовления. Из них самым простым является электродвигатель постоянного тока типа ДП-4 мощностью 1,5 Вт, напряжением 3,5 В и частотой вращения 2000—2500 об/мин. Он питается от батарейки карманного фонаря. В целях упрощения конструкции он не имеет катушек возбуждения, а магнитный поток создается постоянным магнитом 17 (рис. 2-9), имеющим форму параллелепипеда. К торцам магнита приставлены стальные пластины 14, образующие два полюсных наконечника. Магнит и пластины запрессованы в пластмассовый корпус 5. Поэтому никаких крепежных винтов в этом электродвигателе нет. Левая крышка представляет собой одно целое с корпусом, а правая при сборке скрепляет

ся с корпусом при помощи клея. Вал 1 вращается в двух подшипниках 2, представляющих собой бронзовые втулочки.

Сердечник якоря собран из штампованных стальных листов 15, имеющих три зубца и три паза. Принятая форма якоря позволяет наматывать на станке катушки якорной обмотки на выступающие зубцы, а не вкладывать их в пазы. Это намного снижает трудоемкость обмотки якоря. К торцам сердечника якоря приклеены изоляционные пластины 4, а на вал надеты изоляционные втулки 3, предохраняющие от замыкания проводов обмотки якоря на сердечник и на вал.

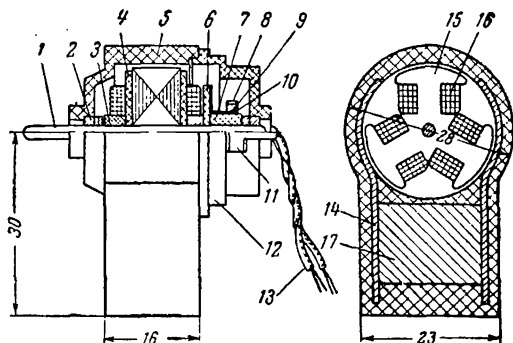


Рис. 2-9. Электродвигатель постоянного тока типа ДП-4.

Выводные концы якорной обмотки 16 припаяны к пластинам коллектора. Пластины коллектора 10 представляют собой медные полоски, которые скреплены с изоляционными втулками 6 и 7 при помощи отогнутых усиков и клея. К пластинам коллектора прижимаются две щетки 9, припаянные к бронзовым пластинкам 8, которые одновременно служат и проводниками тока якоря. Концы пластинок вставлены в пазы крышки 12. В этих пазах закреплены лепестки 11, к которым припаяны проводники 13, соединяющие электродвигатель с батареей. Якорь электродвигателя можно реверсировать, меняя полярность подводимого к двигателю тока при помощи переключателя (рис. 2-3). Электродвигатели ДП-4 имеются в продаже и применяются для различных игрушек и действующих моделей, например собранных из деталей «Конструктора».

На рис. 2-10 показано устройство электродвигателя мощностью 18 Вт при 4 000 об/мин и напряжении сети 127 и 220 В. Он может работать от сети как постоянного, так и переменного тока. Такие электродвигатели применяются для многих бытовых электроприборов, требующих большого пускового момента и широкой регулировки частоты вращения, например для электропривода швейных машин.

Якорь электродвигателя собран из круглых штампованных листов 18, в которых имеются пазы для вкладывания проводов обмотки якоря. Листы сердечника якоря склеены и напрессованы на вал 1. Выводы от обмотки якоря припаяны к медным пластинам коллектора 11. Пакет статора собран из штампованных листов 14 электротехнической стали и залит в алюминиевую оболочку 17.

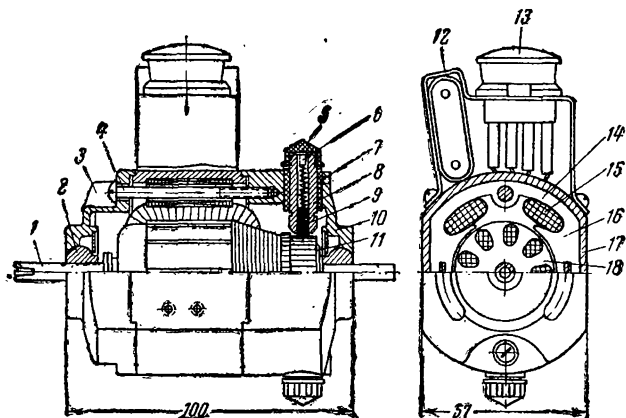


Рис. 2-10. Универсальный коллекторный электродвигатель.

На полюсы 16, выштампованные вместе с сердечником статора, надеты катушки возбуждения 15, намотанные из эмалированного медного провода и изолированные лентой из лакоткани. Обмотка возбуждения соединена последовательно с якорем. Благодаря этому электродвигатель имеет большую перегрузочную способность, необходимую при работе в разных режимах нагрузки.

К торцевым поверхностям статора прикреплены винтами 4, проходящими через отверстия в сердечнике статора, передняя 10 и задняя 3 крышки, отлитые из алюминиевого сплава. В крышках смонтированы втулки 2 подшипников скольжения, имеющие шарообразную наружную поверхность. Благодаря этому они всегда устанавливаются своими отверстиями вдоль оси вала.

Для подвода тока к обмотке якоря служат две щетки 9, спрессованные из графитно-угольных порошков. Щетки вставлены в гнезда латунных втулок 8, запрессованных в отверстия крышки 10 и изолированных от нее гильзами из пластмассы 7. Подвод тока к щетке осуществляется при помощи медного гибкого канатика, проходящего внутри пружины, прижимающей щетку к коллектору. Один конец канатика заделан в тело щетки, а другой припаян к контактной пластине 6. На наружном конце втулки 8 нарезана резьба, на которую навинчен изоляционный колпачок 5. К корпусу электродвигателя скобой 12 прикреплен колодка 13 переключения электродвигателя на напряжение сети 127 или 220 В.

В последнее время широкое распространение получили электродвигатели постоянного тока с печатными обмотками якоря. На

рис. 2-11 показано устройство такого электродвигателя, имеющего существенные отличия от двигателей с проволочными обмотками. В радиотехнике печатные схемы применяют уже давно, заменяя ими проволочные резисторы, индуктивности и емкости. Для возбуждения использовано восемь (по числу полюсов электродвигателя) постоянных магнитов 1. Они закреплены в стальном кольце 2. С другого конца к ним прикреплены полюсные наконечники трапециевидальной формы 4. Все эти детали установлены в левой части алюминиевого корпуса. В правой его части укреплено второе магнитное кольцо 2. Между этими кольцами и полюсными наконечниками образуется узкая щель, в которой вращается якорь 5. Половины корпуса скреплены винтами.

Якорь представляет собой тонкий диск, изготовленный из стеклотекстолита. Обе стороны его покрыты тонкой фольгой, на которой и отпечатаны методом травления провода обмотки. Активные стороны 6 проводов расположены на диске радиально, а лобовые соединения 7 — наклонно. На рис. 2-11 сплошными линиями показаны провода на передней стороне диска, а штриховыми — провода на обратной его стороне. Они соединяются друг с другом через просверленные в диске отверстия, на стенках которых осаждена медь. Щеткодержатели со щетками 3 запрессованы в корпусе на расстоянии одного полюсного деления один от другого. Щетки прилегают непосредственно к проводам якоря, поэтому коллектор в таком электродвигателе отсутствует. Диск якоря закреплен на втулке, надетой на вал и заштифтованной на нем. Вал вращается в шарикоподшипниках.

Якорь с печатной обмоткой в 7—8 раз легче обычных якорей, собранных из штампованных стальных листов, значительно упрощаются процессы изготовления якоря, хорошее охлаждение обмотки допускает большие плотности тока (до 40 А/мм²). Благодаря малой инерции якорь быстро разгоняется, поэтому электродвигатели с печатной обмоткой якоря применяют в быстродействующих следящих системах, устройствах автоматики и различных приборах.

В электродвигателях с обмоткой якоря, вкладываемой в пазы, проштампованные в стальных листах, процессы штамповки и особенно укладки проводов в пазы являются самыми сложными. Последние достижения химии, связанные с разработкой клеящих составов, обладающих после затвердения большой механической прочностью, дали возможность не вкладывать провода обмотки в пазы, а приклеивать их к гладкой поверхности цилиндрического якоря. На рис. 2-12 схематически показано устройство такого якоря. На вал 1 набраны листы 2 якоря без пазов. К ним при помощи эпоксидного клея 4 приклеены провода 5 обмотки якоря. Для повышения механической прочности каждый слой обмотки обернут стеклолентой 3.

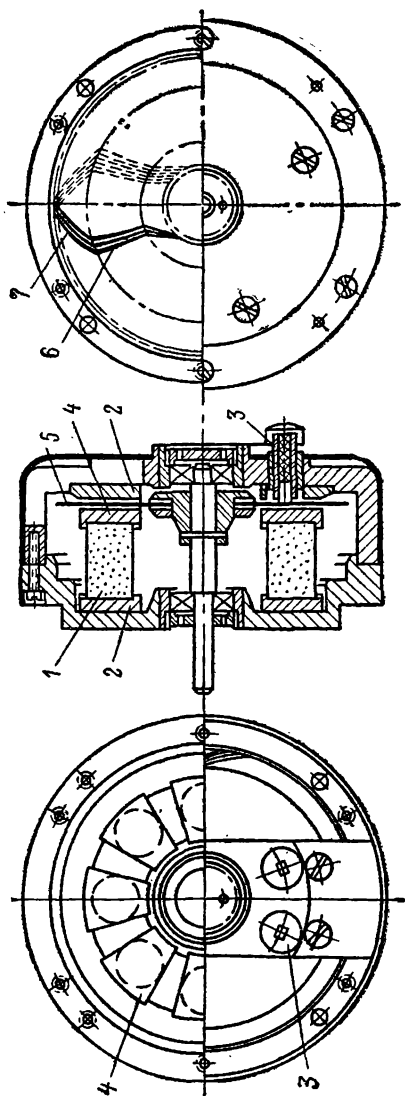


Рис. 2-11. Электродвигатель с печатной обмоткой якоря.

Электродвигатель с гладким якорем имеет лучшие характеристики, чем электродвигатель обычного типа. Он может развивать при пуске вращающий момент, равный 10-кратному номинальному моменту, поэтому валы таких электродвигателей делают усиленными. Электродвигатели с гладким якорем выполняют без вентиляторов, так как обмотка якоря хорошо охлаждается благодаря хорошим условиям теплоотдачи с поверхности якоря. Конструкция гладкого якоря представляет большой интерес для самодельных электродвигателей в связи со значительным упрощением процессов изготовления.

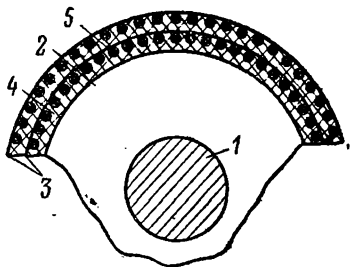


Рис. 2-12. Якорь беспазового электродвигателя.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ОДНОФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

3-1. ТРЕХФАЗНЫЙ ТОК

Все электрические станции вырабатывают трехфазный переменный ток. Генераторы трехфазного тока имеют ряд преимуществ как перед генераторами постоянного тока, так и однофазными генераторами переменного тока.

На рис. 3-1 схематически изображен генератор трехфазного тока. Он состоит из неподвижной части 1, называемой статором, и вращающейся части 2, называемой ротором. В пазы статора вложены три витка, проводники которых изображены кружочками с обозначением направления тока в данный момент. Каждый виток занимает два противоположных паза и образует фазу обмотки. Фазы обозначены буквами *A*, *B* и *C*. Начала фаз *A*, *B* и *C* соединены с проводами, идущими к потребителю энергии, а концы фаз *X*, *Y* и *Z* соединены в общую точку внутри статора. Дугами на рис. 3-1 показаны соединения между проводниками каждой фазы, выполненные на противоположной стороне статора.

На вал ротора надет двухполюсный магнит с полюсными наконечниками *N* и *S*. В генераторах переменного тока применяются

электромагниты с катушками, питаемыми постоянным током. Для упрощения на рис. 3-1 электромагнит заменен постоянным магнитом. При работе генератора ротор вращается с помощью механического двигателя в направлении часовой стрелки.

Проследим, как возникает трехфазный ток в проводниках генератора при вращении ротора. В положении, изображенном на рис.

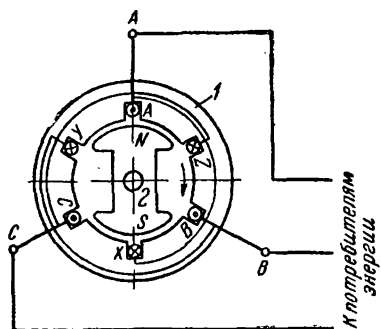


Рис. 3-1. Принцип действия трехфазного генератора.

3-1, полюсы магнита находятся против проводников фазы А. По правилу правой руки ток в проводнике А направлен к нам, а в проводнике X — от нас. В момент, когда под проводником проходит середина полюса, в проводнике наводится наибольшая э. д. с. В следующие моменты времени полюсные наконечники будут уходить из-под проводников фазы А и

э. д. с. в них будут уменьшаться. Когда магнит повернется на 90° , магнитное поле не будет пересекать проводников фазы А и э. д. с. в них будет равна нулю.

Когда ротор повернется на 180° , северный полюс магнита будет против проводника X, а южный — против проводника А. По правилу правой руки э. д. с. в них изменит направление.

После поворота ротора на 270° полюсные наконечники той же полярности, что и показанные на рис. 3-1, будут снова приближаться к проводникам фазы, и э. д. с. в них будут увеличиваться и достигнут наибольшего значения. На этом заканчивается период изменения э. д. с. и токов в фазе А. Графически эти изменения изображаются синусоидой. За один оборот двухполюсного ротора совершается один период изменения э. д. с. и токов. Следовательно, для получения переменного тока стандартной частоты 50 Гц ротор должен вращаться с частотой 50 об/с или 3000 об/мин. Генераторы, у которых ротор и магнитное поле вращаются с одинаковой частотой (синхронно), называются синхронными.

Но при вращении ротора наконечники магнита проходили и под проводниками двух других фаз, поэтому в

них происходили такие же изменения э. д. с. и токов. Синусоиды других фаз сдвинуты относительно друг друга на 120° , или на $1/3$ периода.

Основными потребителями энергии трехфазного тока являются трехфазные асинхронные электродвигатели, которые имеют широкое применение во всех отраслях производства. Для пояснения принципа действия трехфазного асинхронного электродвигателя служит его изображение на рис. 3-2. Он имеет такой же статор, как и синхронный генератор рис. 3-1. Обмотка статора питается переменным

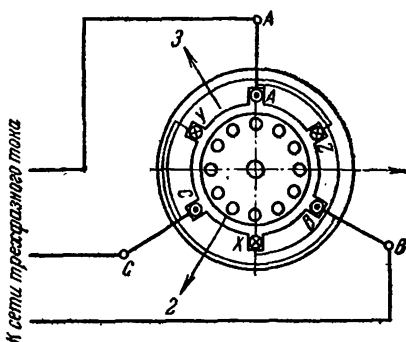


Рис. 3-2. Принцип действия трехфазного асинхронного электродвигателя.

током от трехфазной сети. Очевидно, что изменения тока в фазах будут происходить так же, как в фазах генератора. Каждая фаза обмотки создает магнитное поле. Для простоты будем рассматривать магнитные поля только тех фаз, в которых ток в данный момент имеет наибольшее значение. На рис. 3-2 наибольшего значения ток достигнет в фазе А. Обмотка этой фазы создаст магнитное поле, ось которого 1 перпендикулярна плоскости витка и по правилу буравчика направлены вправо. Через $1/3$ периода наибольшее значение тока будет в фазе В. Ось магнитного потока переместится в положение 2. Еще через $1/3$ периода наибольшее значение тока переместится в положение 3. Отсюда можно сделать вывод, что трехфазная обмотка, питаемая трехфазным током, создает вращающееся магнитное поле, которое вращается с такой же частотой, как и ротор синхронного генератора.

На рис. 3-2 ротор представляет собой цилиндр с пазами, в которые вставлены медные или алюминиевые стержни, соединенные между собой кольцами на торцевых поверхностях ротора; в замкнутых проводниках проходит ток. Взаимодействие тока ротора с магнитным полем создаст вращающий момент, и ротор начнет вращаться в ту же сторону, в какую вращается магнитное поле. Для изменения направления вращения достаточно поменять местами любые два проводника, подводящие ток к обмотке статора электродвигателя. При этом из-

менится направление вращения магнитного поля, а следовательно, и направление вращения ротора.

Однако ротор асинхронного электродвигателя не может вращаться с такой же частотой, как магнитное поле. Если бы это произошло, то проводники роторной обмотки перестали бы пересекать магнитное поле и вращающий момент исчез бы. Поэтому электродвигатель и получил название асинхронного (т. е. несинхронного). Разность частот вращения магнитного поля и ротора, отнесенная к частоте вращения поля, называется скольжением. Например, если частота вращения магнитного поля $n_c = 3\,000$ об/мин, а частота вращения ротора $n = 2\,800$ об/мин, то скольжение

$$s = \frac{3\,000 - 2\,800}{3\,000} = 0,067, \text{ или } 6,7\% \quad (3-1)$$

Синхронная частота вращения n_c генераторов и электродвигателей переменного тока зависит от частоты тока и числа пар полюсов и выражается формулой

$$n_c = 60f/p. \quad (3-2)$$

Например, синхронная частота вращения четырехполюсного электродвигателя при $f = 50$ Гц

$$n_c = 3\,000/2 = 1\,500 \text{ об/мин.}$$

Асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором являются самыми простыми по устройству и по обслуживанию. У них нет ни коллектора, ни щеток.

Механическая характеристика трехфазного асинхронного электродвигателя похожа на механическую характеристику электродвигателя постоянного тока с параллельным возбуждением (рис. 2-4). Частота вращения ротора мало уменьшается при увеличении нагрузки.

Для бытовых электроприборов трехфазные асинхронные электродвигатели применять нельзя, так как в квартиры не подведен трехфазный ток. Ниже будет рассказано об однофазных электродвигателях переменного тока, принципах их действия, устройстве, свойствах и применении.

3-2. ОДНОФАЗНЫЕ АСИНХРОННЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

Как уже говорилось, э. д. с. в обмотке ротора наводится переменным магнитным полем, создаваемым током статорной обмотки. Поэтому нет необходимости подводить ток к обмотке ротора от источника энергии, а сле-

довательно, асинхронным электродвигателям не нужны скользящие контакты в виде щеток и контактных колец. Так как обмотка ротора не соединена с источником тока, можно ее не изолировать от сердечника ротора. Если забить в пазы ротора медные стержни, то ток пойдет по ним, а не по стальным листам, так как стержни имеют значительно меньшее электрическое сопротивление.

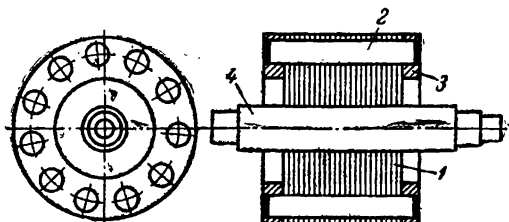


Рис. 3-3. Ротор асинхронного электродвигателя.

1 — лист ротора; 2 — стержень обмотки; 3 — замыкающее кольцо; 4 — вал.

Ротор асинхронного электродвигателя (рис. 3-3), как и якорь машин постоянного тока, состоит из тонких листов 1 с отверстием в центре для вала 4 и круглыми пазами по окружности. В пазы забиты медные стержни 2. На торцах ротора концы стержней должны быть соединены между собой, для чего их припаивают к медным кольцам 3. Устройство ротора очень простое. Он набирается из листов, которые штампуют из кружков, оставшихся при штамповке листов статора. Пазы ротора должны быть скошены так, чтобы один конец стержня был против паза статора 1, а другой против паза 2.

Теперь рассмотрим, как работает однофазный асинхронный электродвигатель. Возьмем статор от коллекторного электродвигателя (рис. 2-7) и вставим в него ротор асинхронного электродвигателя (рис. 3-3). Обмотку статора будем питать переменным током.

Но здесь нас ждет разочарование. При соединении обмотки статора с источником питания электродвигатель будет только гудеть, но ротор не стронется с места. Гудение означает, что в сердечнике электродвигателя есть магнитное поле. Следовательно, в стержнях ротора наводятся э. д. с. и по ним проходит ток. Почему же ротор не вращается? Ведь работают же трехфазные асинхронные электродвигатели. Это объясняется тем, что в статоре трехфазного электродвигателя создается вращающееся магнитное поле, которое ведет за собой ротор, а в однофазном электродвигателе такого поля нет.

В однофазном электродвигателе создается не вращающееся, а так называемое пульсирующее поле, меняющееся так же, как переменный ток или переменное напряжение. Сначала поле усиливается и достигает максимального значения, затем ослабевает и доходит до нуля. В следующий момент магнитное поле будет изменяться так же, но в обратном направлении. Таким образом, магнитное поле повторяет все изменения тока в катушке статора.

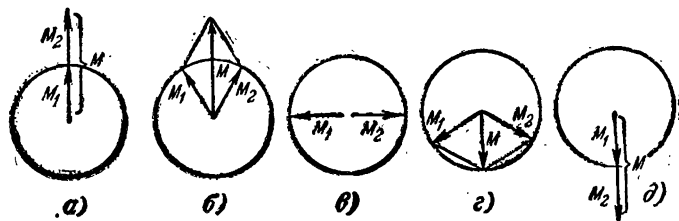


Рис. 3-4. Разложение однофазного поля на прямое и обратное.

Для объяснения работы однофазного асинхронного электродвигателя пользуются следующим приемом. Раскладывают однофазное магнитное поле на две составляющие M_1 и M_2 , вращающиеся в противоположные стороны, и производят их геометрическое сложение (рис. 3-4).

В положении, изображенном на рис. 3-4, а, обе составляющие магнитного поля M_1 и M_2 совпадают и результирующее поле M равно их арифметической сумме. Если повернуть составляющие M_1 и M_2 в разные стороны на один и тот же угол (рис. 3-4, б) и сложить их по правилу параллелограмма подобно двум силам в механике, то результирующее магнитное поле M уменьшится. При дальнейшем вращении составляющих магнитного поля M_1 и M_2 они будут расположены по горизонтальному диаметру (рис. 3-4, в). Очевидно, что сумма их будет равна нулю, т. е. магнитное поле M исчезнет.

При продолжении вращения составляющих (рис. 3-4, г) магнитное поле меняет направление вращения — оно направлено вниз. В положении рис. 3-4, д магнитное поле достигло наибольшего отрицательного значения. Изменения поля, показанные на рис. 3-4, соответствуют половине периода. Очевидно, что при дальнейшем повороте составляющих M_1 и M_2 изменения магнитного поля будут протекать периодически по закону синусоиды.

Разложение магнитного поля на составляющие показывает, что пульсирующее магнитное поле, создаваемое однофазным током, можно приравнять к действию двух магнитных полей, вращающихся с синхронной частотой

в противоположные стороны. Каждое поле тянет ротор в свою сторону. Пока действия обоих полей равны, ротор не может сдвинуться с места.

Намотаем на конец вала электродвигателя прочную нитку. Включим обмотку статора под напряжение и будем тянуть за нитку, заставляя ротор вращаться. Ротор начнет вращаться, быстро увеличит частоту, которая будет близка к синхронной. Если скольжение электродвигателя 5%, а синхронная частота двухполюсного электродвигателя 3 000 об/мин, то частота вращения ротора будет $3\,000 - 0,05 \cdot 3\,000 = 2\,850$ об/мин.

Если зажать пальцами конец вала, то можно почувствовать, что электродвигатель развивает вращающий момент. Он остановится только тогда, когда тормозящий момент будет больше вращающего момента электродвигателя.

Таким образом, однофазный асинхронный электродвигатель можно завести так же, как заводят двигатели моторных лодок. Но бензиновый двигатель может вращаться только в одну сторону. Намотаем на конец вала электродвигателя нитку в обратном направлении и повторим опыт пуска. Теперь ротор стал вращаться в другую сторону.

Как же можно объяснить, что однофазный асинхронный электродвигатель может работать лишь после того, как его ротор привели во вращение при помощи посторонней силы? Пока ротор был неподвижен, составляющие магнитного поля M_1 и M_2 действовали на него с одинаковыми силами в противоположные стороны. Но, когда ротор начал вращаться, действия составляющих магнитных полей изменились. Составляющую, которая вращается в ту же сторону, что и ротор, назовем прямым полем, а другую — обратным полем. Стержни ротора пересекают прямое поле с частотой скольжения, которая составляет всего несколько процентов синхронной частоты вращения. Скорость пересечения стержнями ротора обратного поля гораздо больше. Ротор вращается с частотой, близкой к синхронной, а обратное поле вращается с синхронной частотой ему навстречу. Поэтому суммарная частота вращения получается почти равной двойной синхронной частоте вращения и в стержнях ротора наводятся токи двойной частоты, т. е. около 100 Гц. При такой частоте сильно возрастает индуктивное сопротивление обмотки ротора, токи будут почти чисто реактив-

ными, не создающими вращающего момента, а только ослабляющими обратное поле. Чем быстрее вращается ротор, тем больше ослабляется обратное поле и растет вращающий момент электродвигателя.

Однако запускать электродвигатель при помощи нитки неудобно и не всегда возможно. Поэтому разработаны различные типы самозапускающихся асинхронных электродвигателей однофазного тока, которые описаны ниже.

3-3. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ ВИТКОМ НА ПОЛЮСЕ

Асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым витком на полюсе является самым простым типом самопускающегося однофазного электродвигателя. Устройство его показано на рис. 3-5. Статор подковообразной формы собран из штампованных листов 4 электро-

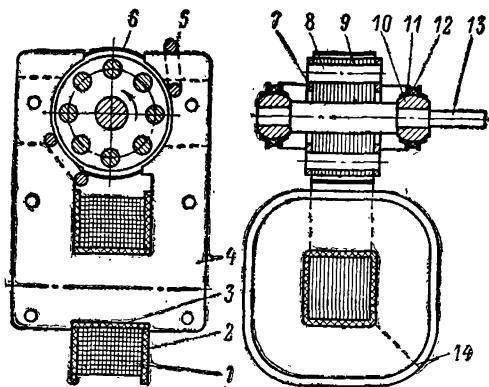


Рис. 3-5. Асинхронный однофазный электродвигатель с короткозамкнутым витком на полюсе.

технической стали. Листы изолированы один от другого лаковой пленкой во избежание сильного нагревания статора переменным магнитным потоком, вызывающим появление вихревых токов в сердечнике электродвигателя. У статора только одна катушка 1, но он двухполюсный. Расстояние между полюсными наконечниками равно ширине катушки, поэтому ее можно наматывать на станке прямо на изолированный сердечник статора. Витки катушки изолированы от сердечника гильзой 3 и двумя фланцами 2 из электрокартона. Для того чтобы можно было надеть фланцы на сердечник, имеются прорези 14.

В полюсных наконечниках проштампованы два отверстия, в которые вставлены замкнутые витки медной проволоки 5, охватыва-

ющие примерно одну треть полюсной дуги. В промежутках между полюсными наконечниками ротор охватывается магнитными шунтами, представляющими собой стальные пластинки *б*, вставленные в пазы полюсных наконечников.

Ротор собран из листов *9* и имеет отверстие в центре для вала *13*. В пазы, расположенные по окружности ротора, забиты медные стержни *8*, которые на его торцах припаяны к медным кольцам *7*. Обычно короткозамкнутые роторы выполняют со скосом пазов примерно на одно зубцовое деление.

Ротор вращается в двух подшипниках, представляющих собой латунные втулочки *10*, зажатые между пластинками *11*. Шаровидная поверхность втулочек позволяет им устанавливаться по оси вала, поэтому такие подшипники называются самоустанавливающимися. Смазка подшипников производится машинным маслом и поступает через отверстия во втулочках от пропитанной в масле фетровой шайбы *12*. Эти подшипники проще шарикоподшипников и работают бесшумно.

Ток, проходящий по катушке, создает пульсирующий магнитный поток, часть которого пронизывает короткозамкнутый виток на полюсе. Таким образом, в электродвигателе с короткозамкнутым витком на полюсе имеются два магнитных потока, сдвинутых на некоторый угол. Они создают вращающееся магнитное поле. Вследствие неравенства двух потоков вектор результирующего поля будет не только вращаться, но и изменяться по величине в разные промежутки времени. Поэтому конец вектора будет описывать не окружность, а эллипс. Однако этого вполне достаточно, чтобы сдвинуть ротор при пуске.

Пусковой момент у такого электродвигателя очень мал и составляет 20—40% номинального момента. Поэтому электродвигатели с короткозамкнутым витком на полюсе применяют только там, где не требуется большого пускового момента, например для настольных вентиляторов, магнитофонов, электропроигрывателей и т. п.

Для увеличения вращающего момента между наконечниками полюсов вставляют тонкие стальные пластинки *б*, которые называются магнитными шунтами. В результате этого увеличивается магнитный поток, охватываемый короткозамкнутым витком, и магнитное поле больше приближается к круговому.

Перегрузочная способность электродвигателя очень мала, и максимальный вращающий момент едва достигает 1,2 номинального. Если нагрузка на валу превысит этот момент, то ротор остановится. В отличие от других типов электродвигателей в состоянии короткого замыкания ток статора увеличивается незначительно, по-

этому электродвигатель может долгое время быть включенным в сеть при неподвижном роторе. Это свойство используется в некоторых схемах. Ввиду значительных потерь энергии в короткозамкнутом витке к. п. д. электродвигателя не превышает 40%.

Двигатели с короткозамкнутым витком на полюсе не реверсивные. Ротор вращается всегда в сторону короткозамкнутого витка, что показано стрелкой на рис. 3-5.

3-4. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ С ПУСКОВЫМИ ОБМОТКАМИ

Наибольшее распространение получили однофазные асинхронные электродвигатели с пусковыми обмотками, у которых обмотки не сосредоточены в виде катушек, как у электродвигателей постоянного тока, а равномерно распределены в пазах, проштампованных на внутренней окружности статора.

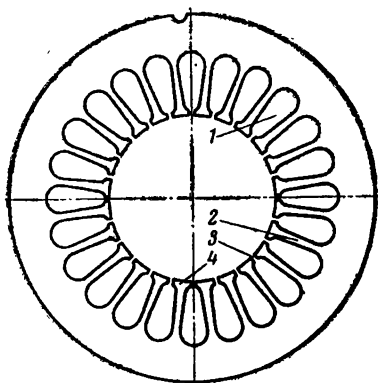


Рис. 3-6. Лист статора асинхронного электродвигателя.

1 — паз; 2 — зубец; 3 — прорезь; 4 — коронка зубца.

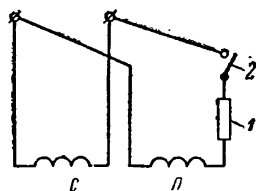


Рис. 3-7. Схема однофазного электродвигателя с пусковой обмоткой.

1 — пусковой элемент; 2 — выключатель.

На рис. 3-6 показан лист статора электродвигателя с пусковой обмоткой. На внутренней окружности равномерно распределены пазы 1, между которыми имеются зубцы 2; через них магнитный поток переходит из статора в ротор. Прорези 3 служат для вкладывания в пазы проводников обмотки. Расширенная часть зубца 4 называется коронкой.

На рис. 3-7 показана принципиальная схема однофазного электродвигателя с пусковой обмоткой. У таких электродвигателей две обмотки на статоре — рабочая С и пусковая П. Рабочая обмотка занимает $\frac{2}{3}$ пазов, а пусковая $\frac{1}{3}$. Поэтому общее число пазов статора должно

быть кратным трем. Рабочая обмотка остается включенной в сеть на все время работы электродвигателя, а пусковая включается только при разгоне ротора в момент пуска, а затем отключается выключателем 2, когда ротор достигнет частоты вращения 70—80% номинальной. В качестве выключателя применяют или кнопки с ручным отключением, или автоматические центробежные выключатели, расположенные на роторе и разрывающие цепь при достижении ротором частоты вращения выше 70% номинальной. В цепь пусковой обмотки включен пусковой элемент 1, который чаще всего представляет собой активное сопротивление или конденсатор.

Здесь необходимо познакомиться с понятием электрические градусы, которое часто встречается в обмотках электрических машин. Из геометрии известно, что окружность разбивается на 360° . Эти градусы называются геометрическими или пространственными. Поскольку статор представляет собой окружность, он всегда содержит 360 пространственных градусов. Число же электрических градусов в окружности статора может быть равно 360 или больше в целое число раз. Если на статоре расположены два полюса, то число электрических градусов также равно 360 . Но если на статоре четыре полюса, то за 360° эл. следует принять часть окружности, на которой расположены один северный и один южный полюс. Так как вся окружность занимает четыре полюсных деления, то число электрических градусов будет в два раза больше, чем пространственных. Таким образом, в четырехполюсной обмотке окружность статора содержит 720° эл., в шестиполюсной обмотке 1080° эл. и т. д.

Из этого можно вывести общее правило, что число электрических градусов в окружности равно $360 p$, где p — число пар полюсов обмотки.

Для обеспечения наилучших характеристик электродвигателя необходимо выполнение следующих условий:

- 1) рабочая и пусковая обмотки должны быть расположены на окружности статора под углом 90° эл.;
- 2) векторы токов в рабочей и пусковой обмотке должны быть сдвинуты на $\frac{1}{4}$ периода;
- 3) намагничивающие силы в обеих обмотках должны быть равны, т. е. должны быть равны произведения токов обмоток на число их витков.

Векторы токов рабочей и пусковой обмоток образуют вращающееся магнитное поле. Это можно показать на

следующей диаграмме (рис. 3-8). Изобразим токи рабочей и пусковой обмоток двумя синусоидами, сдвинутыми на $\frac{1}{4}$ периода. Синусоида токов рабочей обмотки обозначена буквой *С*, а пусковой обмотки — буквой *П*. В разные моменты времени векторы токов будут находиться под разными углами и поэтому их придется складывать геометрически.

Период синусоиды пусковой обмотки разделим на 12 частей и обозначим их цифрами на горизонтальной

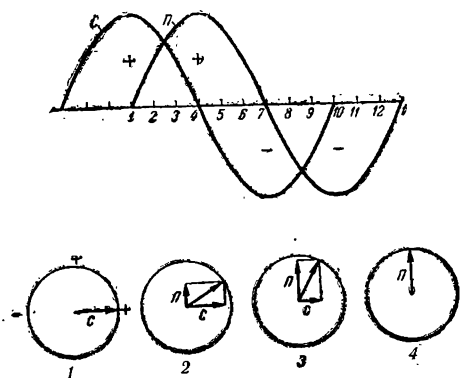


Рис. 3-8. Вращающееся поле однофазного электродвигателя с пусковой обмоткой.

оси. Для каждой точки на оси синусоиды надо построить окружности, обозначив их теми же цифрами, что и точки на оси синусоиды. Каждая окружность соответствует одному значению токов в рабочей и пусковой обмотках. Будем откладывать векторы полей, создаваемые токами рабочей обмотки, по горизонтальному диаметру: положительные значения поля — вправо от центра окружности, а отрицательные — влево. Положительные значения полей пусковой обмотки будем откладывать по вертикальному диаметру вверх, а отрицательные — вниз.

На рис. 3-8 показаны четыре окружности для точек синусоиды 1, 2, 3 и 4. Диагонали прямоугольников — это векторы результирующего поля. Предоставим читателям построить окружности и сложить векторы для точек 5, 6 и 7 и т. д. Сравнение круговых диаграмм показывает, что результирующее поле вращается с синхронной ча-

стотой. Результирующее поле будет наводить токи в обмотке ротора, и он придет во вращение.

Векторы токов рабочей и пусковой обмоток создают вращающееся магнитное поле. Если выполнены все три условия, перечисленные выше, то конец вектора результирующего поля описывает окружность и поле называется круговым. Но если не выполнено хотя бы одно из перечисленных условий, то вектор результирующего поля будет изменяться по величине и магнитное поле будет не круговым, а эллиптическим. Но и при эллиптическом поле электродвигатели могут иметь удовлетворительные рабочие и пусковые характеристики.

3-5. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ С ПУСКОВЫМИ СОПРОТИВЛЕНИЯМИ (РЕЗИСТОРАМИ) И КОНДЕНСАТОРАМИ

Как было указано выше, между векторами токов в рабочей и пусковой обмотках должен быть сдвиг, который для образования кругового поля должен быть равен $\frac{1}{4}$ периода. Сдвиг векторов тока можно обеспечить, если индуктивное и активное сопротивления рабочей и пусковой обмоток будут разными. Это можно осуществить включением в цепь пусковой обмотки активного резистора или конденсатора.

Наибольшее распространение получили однофазные электродвигатели с пусковым резистором, который заключен в самой пусковой обмотке. Такие электродвигатели называются электродвигателями с встроенным резистором. У этих электродвигателей рабочая обмотка занимает $\frac{2}{3}$ пазов и обладает большим индуктивным сопротивлением. Пусковая обмотка занимает только $\frac{1}{3}$ пазов статора, имеет меньшее число витков и, следовательно, значительно меньшее индуктивное сопротивление.

Активное сопротивление пусковой обмотки должно быть больше активного сопротивления рабочей обмотки. Поэтому она намотана проводом меньшего сечения. В электродвигателях, работающих с редкими пусками, сечение провода пусковой обмотки снижают настолько, что плотность тока в ней достигает 40 А/мм^2 , а иногда и более. Активное сопротивление не может создать сдвиг между векторами рабочей и пусковой обмоток, равный $\frac{1}{4}$ периода, поэтому результирующее поле будет не круговым, а эллиптическим. Эллиптическое поле можно рассматривать как сумму двух неравных по величине кру-

говых полей, вращающихся в разные стороны. Одно из них прямое, создающее вращающий момент, а другое — обратное, создающее тормозящий момент. Обратно вращающееся поле ухудшает пусковые и рабочие свойства электродвигателя.

У электродвигателей с встроенным пусковым резистором отношение пускового момента к номинальному составляет 1—1,2, а отношение пускового тока к номинальному 6,5—9. Поэтому их применяют там, где не требуются очень большие пусковые моменты (холодильники, стиральные машины). Заводами электропромышленности выпускаются электродвигатели с встроенным пусковым резистором типа АОЛБ в диапазоне мощностей от 18 до 600 Вт при напряжениях 127, 220 и 380 В, частотах вращения 3 000 и 1 500 об/мин (синхронных).

Для приводов с тяжелыми условиями пуска применяют электродвигатели, у которых в качестве пускового элемента 1 (см. рис. 3-7) использован конденсатор. Эти электродвигатели обозначаются буквами АОЛГ и имеют одинаковые номинальные данные, размеры, массу и рабочие обмотки с электродвигателями типа АОЛБ. Пусковые обмотки у них разные, а соответственно разные и пусковые характеристики.

Как известно из электротехники, включение в цепь конденсатора приводит к тому, что ток пусковой обмотки опережает ток рабочей обмотки. При помощи конденсатора можно получить сдвиг токов рабочей и пусковой обмоток на 90° и таким образом создать при пуске круговое вращающееся поле. Электродвигатели с пусковыми конденсаторами имеют хорошие пусковые свойства, т. е. большое отношение пускового вращающего момента к номинальному (2—2,5), и низкую кратность пускового тока (3—4 номинального тока). Чтобы создать большой пусковой момент даже для небольшого электродвигателя мощностью 50 Вт при напряжении 127 В, требуется конденсатор емкостью 40 мкФ. С повышением напряжения емкость конденсатора резко падает и при напряжении электродвигателя 220 В составляет 15 мкФ.

В электродвигателях с пусковыми обмотками после отключения этих обмоток $\frac{1}{3}$ пазов статора остается неиспользованной. Поэтому такие электродвигатели имеют пониженную мощность. Для увеличения мощности применяют электродвигатели, у которых пусковая обмотка остается включенной. Для создания сдвига токов в рабо-

чей *C* и пусковой обмотках в цепь последней включают конденсатор (рис. 3-9). Такие электродвигатели называются конденсаторными, а пусковая обмотка, используемая при работе электродвигателя, называется вспомогательной или конденсаторной и обозначается буквой *B*.

У конденсаторных электродвигателей обе обмотки занимают одинаковое число пазов. При помощи конденсатора можно создать сдвиг между векторами токов в

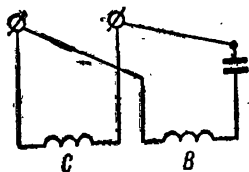


Рис. 3-9. Схема конденсаторного электродвигателя.

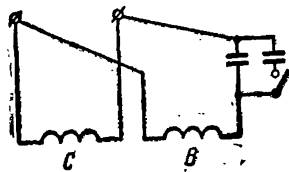


Рис. 3-10. Схема конденсаторного электродвигателя с пусковым конденсатором.

обмотках на 90° . Таким образом, в конденсаторном электродвигателе при номинальной мощности создается круговое поле. Благодаря этому конденсаторные электродвигатели имеют хорошие свойства: большую мощность на валу, высокий к. п. д. (60—75%) и высокий коэффициент мощности ($\cos \varphi = 0,8 \div 0,95$). Однако пусковой момент таких электродвигателей невысок. Обычно он не превышает 30% номинального. Это объясняется тем, что при пуске магнитное поле электродвигателя будет эллиптическим. Для улучшения пусковых свойств электродвигателя в момент пуска параллельно рабочему конденсатору включают пусковой конденсатор (рис. 3-10). Таким образом, при пуске сдвиг токов осуществляется двумя конденсаторами — рабочим и пусковым, что обеспечивает создание кругового поля при пуске. После пуска электродвигателя пусковой конденсатор отключается кнопкой или центробежным выключателем.

В настоящее время заводы электропромышленности выпускают конденсаторные электродвигатели серии АВЕ, у которых высокий к. п. д., коэффициент мощности приближается к единице, хорошие пусковые и рабочие характеристики. Они охватывают мощности от 10 до 400 Вт при частотах вращения 1 000, 1 500 и 3 000 об/мин (синхронных) для сетей с напряжением 127 и 220 В.

Разновидностью конденсаторного электродвигателя является электродвигатель с массивным ротором, выточенным из стали или чугуна и не имеющим пазов и обмоток. Эти электродвигатели имеют большой пусковой момент. Частоту вращения можно регулировать в широких пределах реостатом в цепи рабочей обмотки, причем на всех частотах вращения от холостого хода до полной нагрузки электродвигатель работает устойчиво. Электродвигатели с массивным ротором просты по устройству, надежны в работе и бесшумны. Такой электродвигатель можно получить из любого конденсаторного, заменив у него ротор.

По своим рабочим характеристикам электродвигатели с массивным ротором могут заменить коллекторные электродвигатели постоянного или переменного тока. Вследствие больших потерь в роторе и магнитного рассеяния они имеют низкие к. п. д. и коэффициент мощности, поэтому по размерам и массе они больше коллекторных электродвигателей такой же мощности.

Электродвигатели с пусковыми обмотками можно реверсировать. Для этого достаточно поменять местами концы рабочей или пусковой обмотки.

3-6. СХЕМЫ ОБМОТОК ОДНОФАЗНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Схемы обмоток строят для распределенных обмоток статора. На схемах изображают проводники рабочей и пусковой обмоток и их соединения. Кроме того, на схемах указано, из каких пазов выходят начала и концы рабочей и пусковой обмоток. Выводы обмоток обозначают следующими буквами и цифрами: начало и конец рабочей обмотки $C1$ и $C2$ соответственно; начало и конец пусковой обмотки $П1$ и $П2$ соответственно.

У конденсаторных электродвигателей часто пусковую обмотку называют вспомогательной, так как она остается включенной на все время работы электродвигателя, и выводы ее обозначают: начало $B1$; конец $B2$.

Обмотки статора однофазных электродвигателей бывают однослойными и двухслойными. У первых сторона катушки занимает весь паз, а все стороны катушек, лежащие в пазах, образуют один слой.

У двухслойных обмоток в каждом пазу лежат стороны двух катушек, разделенные изоляционной прокладкой. Части катушек, лежащие в пазах, называются па-

зовыми. Части катушек, лежащие вне пазов, называются лобовыми.

Для построения схемы обмотки необходимо знать следующие данные статора:

Число пазов в окружности статора	Z
Число полюсов статора	$2p$
Число пазов, занимаемое рабочей обмоткой . . .	q_c
Число пазов, занимаемое пусковой обмоткой . .	q_n
Шаг обмотки по пазам	y_z

У однослойных обмоток шаг по пазам вычисляют по формуле

$$y_z = Z/2p.$$

Такой шаг называется диаметральным, так как в двухполюсных машинах стороны катушки расположены в двух диаметрально противоположных пазах.

В двухслойных обмотках обычно применяют укороченный шаг по следующим соображениям. Во всяком электродвигателе переменного тока, кроме основной си-

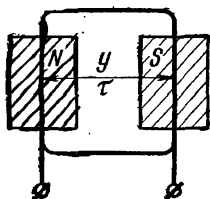


Рис. 3-11. Схема катушки с диаметральной обмоткой.

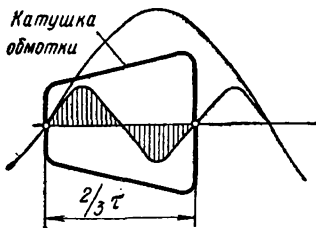


Рис. 3-12. Схема катушки с укороченным шагом.

нусоиды с периодом $1/50$ с, проявляются еще синусоиды с меньшими периодами, которые называются высшими гармониками. В однофазных и двухфазных электродвигателях особенно сильно сказывается третья гармоника с периодом $1/150$ с. Она искажает характеристики электродвигателя. В кривой вращающего момента она создает так называемые провалы, из-за которых электродвигатель при пуске не может развить номинальной частоты вращения, а застревает на частоте вращения, равной $1/3$ номинальной. Наиболее эффективным средст-

вом борьбы с третьей гармоникой является укорочение шага обмотки на $1/3$ полюсного деления.

Из рис. 3-11 видно, что при диаметральном шаге стороны катушки лежат под серединами северного и южного полюсов и в создании э. д. с. участвует весь магнитный поток, проходящийся на полюсное деление.

На рис. 3-12 показано положение витка катушки с укороченным шагом на $1/3$ полюсного деления. Катушка охватывает уже не все полюсное деление, а только $2/3$ полюсного деления. Поэтому наводимая в ней э. д. с. будет меньше, чем при диаметральном шаге, но зато э. д. с., наводимые третьей гармоникой, взаимно уничтожаются. Уменьшение э. д. с. при укороченном шаге учитывают коэффициентом укорочения обмотки. В расчетах гл. 4 этот коэффициент введен в расчетные формулы.

Наибольшее распространение имеют электродвигатели с встроенными пусковыми резисторами. У таких электродвигателей необходимо получить большое активное сопротивление обмотки, не увеличивая ее индуктивного сопротивления. Это достигается применением катушек с бифилярными витками. На рис. 3-13 показана катушка с бифилярными витками. В этой катушке шесть витков, и все они участвуют в создании активного сопротивления катушки. Но последние два витка намотаны в обратном направлении. При прохождении тока по виткам катушки н. с. последних четырех витков взаимно компенсируются и в создании магнитного потока участвуют только два первых витка.

На рис. 3-14 показана схема обмотки статора со встроенным резистором. Статор имеет 24 пазы, из которых 16 пазов занимает рабочая обмотка, а 8 пазов — пусковая обмотка. Как рабочая, так и пусковая обмотки имеют по четыре катушки. Следовательно, это четырехполюсный электродвигатель с синхронной частотой вращения 1500 об/мин. Сторона катушки рабочей обмотки занимает два пазы, а сторона катушки пусковой обмотки — один паз. На схеме провода, лежащие в пазах, обозначены вертикальными линиями. В разрывах линий обозначены номера пазов. Схема представляет собой вид изнутри на окружность статора, которая как бы разрезана и развернута на плоскость. Некоторое затруднение для чтения развернутой схемы заключается в том, что начало и конец развертки (пазы 1 и 24), которые на статоре лежат рядом, на развернутой схеме получаются

удаленными один от другого на всю длину схемы, а лобовая часть одной из катушек оказывается разрезанной.

При чтении схемы приходится мысленно проследить соединения от конца схемы к началу, подобно тому как при чтении книги переходят от конца одной строки к

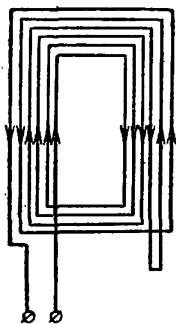


Рис. 3-13. Катушка с бифилярными витками.

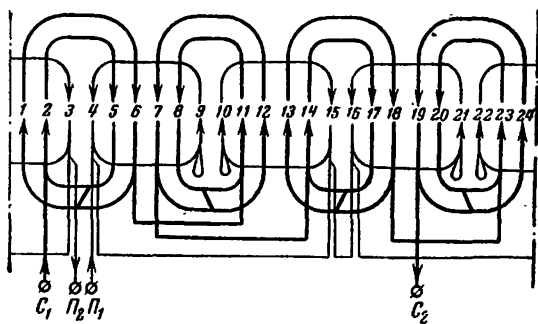


Рис. 3-14. Развернутая схема обмотки со встроенным резистором.

началу следующей. При составлении схемы надо выбрать место разреза так, чтобы наименьшее число катушек оказалось разрезанным и линия разреза располагалась симметрично по отношению к катушкам.

В развернутой схеме наглядно показаны соединения на обеих сторонах статора, направление токов и чередование полярностей. На этой схеме приняты направления токов в обмотке от зажимов C_1 и P_1 . В пазовых частях направление стрелок вверх и вниз делит обмотку на четыре зоны в соответствии с числом полюсов электродвигателя. Косые черточки на лобовых частях показывают переходы от одной катушки полюса к другой.

Для создания бифилярных витков каждую катушку пусковой обмотки наматывают из двух катушек, а затем одну из них переворачивают на 180° . При этом образуются петли, которые видны в пазах 9, 10, 21 и 22.

Порядок составления схемы и укладки обмотки в пазы изложен в § 5-8.

На рис. 3-15 показана схема обмотки статора конденсаторного электродвигателя типа АВЕ. Это обмотка двухслойная и поэтому каждый паз обозначен на схеме

двумя вертикальными линиями Пунктирная линия обозначает сторону катушки, лежащую на дне паза, а сплошная линия — сторону катушки, лежащую в верхней части паза. Вся обмотка состоит из симметричных катушек с одинаковым шагом по пазам. Толстыми линиями обозначены катушки рабочей обмотки, а тонкими — пусковой (вспомогательной) обмотки.

Статор имеет два полюса. Диаметральный шаг обмотки по пазам был бы $y_z = 18/2 = 9$. Это означало бы, что

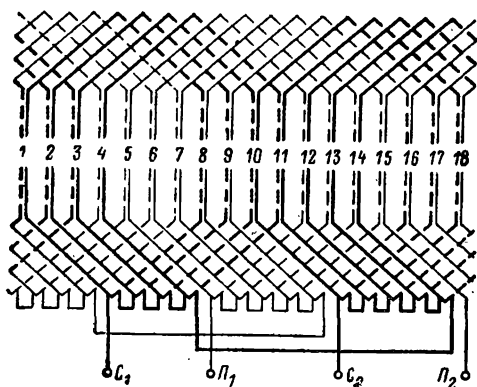


Рис. 3-15. Развернутая схема двухслойной обмотки статора.

первая катушка должна быть уложена в пазы 1 и 10, так как $1 + 9 = 10$. Из схемы видно, что катушка уложена в пазы 1 и 8. Значит, это обмотка с укороченным шагом. Укорочение шага произведено на $2/9$ полюсного деления, поэтому третья гармоника компенсируется не полностью.

Как у всякого конденсаторного электродвигателя, каждая из обмоток занимает половину пазов статора, т. е. по девять пазов. Но так как девять — число нечетное, то рабочая обмотка первого полюса занимает четыре паза (1, 2, 3 и 4), а обмотка второго полюса — пять пазов (10, 11, 12, 13 и 14).

Для того чтобы катушки рабочей и пусковой обмоток были сдвинуты на 90° эл., пусковая обмотка первого полюса занимает пять пазов (5, 6, 7, 8 и 9), а второго полюса — четыре паза (15, 16, 17 и 18). К несимметрич-

ному расположению обмоток в электродвигателях заводского изготовления приходится прибегать, чтобы использовать один и тот же штамп для листов статора при разных числах полюсов.

Двухслойные обмотки выполняют следующим образом. В каждой обмотке катушки одного полюса соединены последовательно и образуют катушечную группу. Эту группу наматывают непрерывным проводом на шаблон, имеющий столько желобков, сколько пазов занимает сторона катушки на статоре. Намотанные катушки вкладывают в пазы, изолированные гильзами. Сначала

Таблица 3-1

Обмоточные данные асинхронных однофазных электродвигателей типа АВЕ 4-го габарита

Наименование параметра	АВЕ 041-2	АВЕ 042-2
Мощность, Вт	18	30
Напряжение, В	220	220
Ток, А	0,23	0,28
Частота вращения, об/мин	2 700	2 700
Тип обмотки	Двухслойная	
Число параллельных ветвей	1	1
Число катушек обмотки:		
главной	9	9
вспомогательной	9	9
Число проводов в пазу:		
главной обмотки	354	296
вспомогательной обмотки	656	430
Марка провода	ПЭВ-2	ПЭВ-2
Диаметр провода*, мм:		
главной обмотки	0,21/0,25	0,23/0,28
вспомогательной обмотки	0,16/0,2	0,20/0,24
Длина витка средняя, мм	200	220
Масса меди, кг:		
главной обмотки	0,101	0,109
вспомогательной обмотки	0,105	0,119
Сопротивление фазы обмотки при 20° С, Ом:		
главной обмотки	165,5	124
вспомогательной обмотки	515	238

* В числителе указан диаметр голого провода, в знаменателе — изолированного.

вкладывают нижние стороны катушек, лежащие на дне пазов, а затем верхние. Затем концы гильз, выступающие из пазов, загибают и пазы заклинивают клиньями из текстолита или твердых пород дерева.

В табл. 3-1 приведены обмоточные данные двигателей, обмотки которых изготавливаются по этой схеме. Это электродвигатели 4-го габарита с одинаковыми диаметрами статора, но с разными длинами.

3.7. УСТРОЙСТВО АСИНХРОННЫХ ОДНОФАЗНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

На рис. 3-16 показано устройство асинхронного однофазного электродвигателя типа АОЛБ с встроенным пусковым резистором. Статор электродвигателя собран из штампованных листов электротехнической стали 15, спрессован и залит в алюминиевую оболочку (корпус статора) с двойными стенками 13. Между стенками образуются каналы для воздуха, охлаждающего поверхность статора. На заточки корпуса статора надеты две крышки 2 и 17, отлитые из

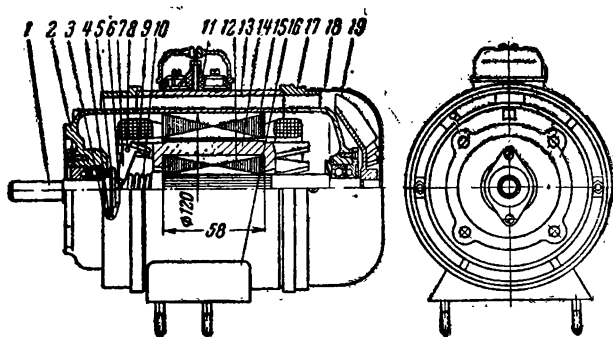


Рис. 3-16. Однофазный асинхронный электродвигатель типа АОЛБ.

алюминиевого сплава. На переднюю крышку 17 надет штампованный колпак 18 с отверстиями в торце. Через эти отверстия при вращении ротора вентилятор 19, насаженный на конец вала ротора, забирает воздух. Вентилятор отлит из алюминиевого сплава и закреплен на валу винтом.

В листах статора, проштампованы 24 паза грушевидной формы. Из них 16 пазов заняты проводами рабочей обмотки, а 8 пазов — проводами пусковой обмотки. Выводные концы рабочей и пусковой обмоток выведены к контактным винтам 4, расположенным в коробке зажимов 11. Сердечник ротора собран из листов 12 электротехнической стали и напрессован на рифленую поверхность средней части вала 1. В пазы ротора залита алюминиевая обмотка 14 с замыкающими кольцами и лопатками вентилятора. Назначение вен-

тилятора заключается в том, чтобы отбрасывать нагретый воздух к охлаждаемым наружным стенкам корпуса.

На роторе смонтирован центробежный выключатель пусковой обмотки. Он состоит из двух рычагов 7 с противовесами 9, сидящих на осях 8, которые запрессованы в четырех лопатках вентилятора. Рычаги нажимают штифтами 6 на пластмассовую втулку 5, свободную на валу. При разгоне ротора, когда частота его вращения приближается к номинальной, противовесы под действием центробежной силы расходятся, поворачивая рычаги вокруг осей. При этом втулка 5 перемещается вправо, сжимая пружину 10, и освобождает пружинный контакт 4, замыкающий цепь пусковой обмотки. Этот контакт при неподвижном роторе замкнут торцом втулки с неподвижным контактом 3. Подвижный и неподвижный контакты крепятся на изоляционной плате к задней крышке электродвигателя 2. На ней укреплено тепловое реле, которое отключает электродвигатель от сети при его перегреве. Подставка 16 с четырьмя шпильками служит для крепления электродвигателя.

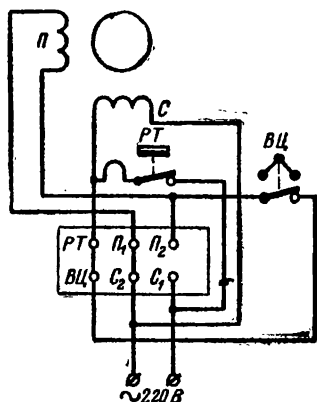


Рис. 3-17. Схема включения однофазного электродвигателя.

Схема включения электродвигателя показана на рис. 3-17. Напряжение питающей сети подводится к зажимам C_1 и C_2 . От этих зажимов напряжение подводится к рабочей обмотке через контакты теплового реле PT , состоящего из обмотки, биметаллической пластинки и контактов. При нагреве электродвигателя сверх допустимого пластинка изгибается и размыкает контакты. При коротком замыкании через обмотку теплового реле пойдет большой ток, пластинка быстро нагреется и разомкнет контакты. При этом будут обесточены рабочая C и пусковая $П$ обмотки, так как обе они питаются через тепловое реле. Таким образом, тепловое реле защищает электродвигатель и от перегрузки, и от коротких замыканий.

Пусковая обмотка питается от зажимов C_1 и C_2 через перемычку $C_2-П_1$, контакты центробежного выключателя $ВЦ$, перемычку $ВЦ-PT$, контакты теплового реле PT . При пуске электродвигателя, когда ротор достигнет частоты вращения 70—80% номинальной, контакты центробежного выключателя разомкнутся и пусковая обмотка отключится от сети. При включении электродвигателя, когда частота вращения ротора снизится, контакты центробежного выключателя снова замкнутся и пусковая обмотка будет подготовлена к следующему пуску.

На рис. 3-18 показана конструкция асинхронного электродвигателя типа АВЕ. Эти двигатели включаются в сеть с постоянно включенной вспомогательной обмоткой, в цепь которой последовательно включен конденсатор (рис. 3-9). Электродвигатели типа АВЕ не имеют жесткого корпуса и поэтому их называют встраива-

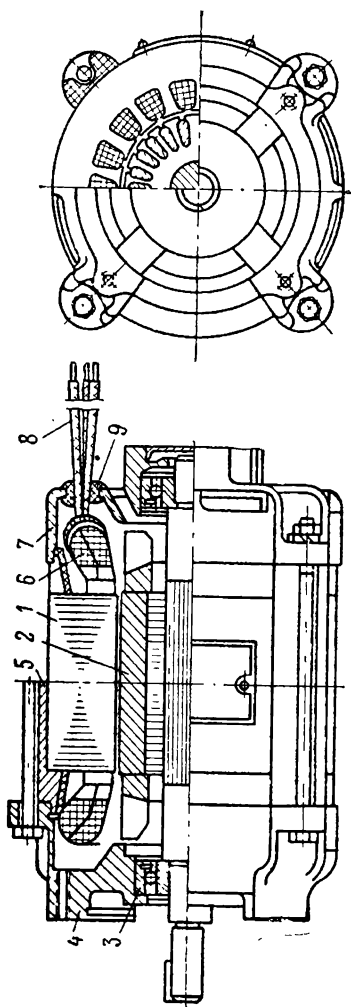


Рис. 3-18. Встроенный однофазный электродвигатель типа АВЕ.

емыми. С приводным механизмом электродвигатели крепятся при помощи фланца или скобы.

Корпусом электродвигателя служит пакет сердечника статора 1, набранный из листов электротехнической стали толщиной 0,5 мм. Пакет спрессован и под давлением залит алюминиевым сплавом. На торцах статора имеются нажимные кольца 5 и стягивающие их четыре стержня из алюминия. В пазы статора вложены катушки 6 рабочей и вспомогательной обмотки. На нажимных кольцах 5 центрируются подшипниковые щиты 4 и 7. Через резиновую втулку 9 в подшипниковом щите выведены концы обмоток 8 для подключения их к сети. Подшипниковые щиты стянуты четырьмя шпильками.

Ротор электродвигателя собран из листов электротехнической стали и залит алюминием 2. Вместе с обмоткой ротора отлиты крылья вентилятора для охлаждения электродвигателя. Ротор вращается в двух шарикоподшипниках 3.

Электродвигатели имеют буквенные и цифровые обозначения типов, например электродвигатель АВЕ 041-2 расшифровывается так: А — асинхронный, В — встраиваемый, Е — однофазный, 4 — номер габарита, 1 — порядковый номер длины сердечника статора и цифра 2 через тире — число полюсов.

3-8. СИНХРОННЫЕ ОДНОФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

В некоторых случаях требуются электродвигатели, частота вращения которых должна быть строго постоянной независимо от нагрузки. В качестве таких используют синхронные электродвигатели, у которых частота вращения ротора всегда равна частоте вращения магнитного поля и определяется по (3-2). Существует много типов синхронных электродвигателей как трехфазного, так и однофазного тока. Здесь рассмотрены только два наиболее простых типа однофазных синхронных электродвигателей: реактивный и конденсаторный реактивный.

На рис. 3-19 показана конструктивная схема простейшего однофазного реактивного электродвигателя, известного в технике под названием колеса Ла-Кура. Статор 1 и ротор 2 собраны из штампованных листов электротехнической стали. На статоре намотана катушка, питаемая от сети однофазного переменного тока, создающая пульсирующее магнитное поле. Свое название реактивный электродвигатель получил потому, что ротор вращается за счет реакций двух сил магнитного притяжения.

При пульсирующем поле электродвигатель не имеет пускового вращающего момента и его необходимо раскрутить от руки. Магнитные силы, действующие на зубцы ротора, все время стремятся поставить его против полюсов статора, так как в этом положении сопротивление магнитному потоку будет минимальным. Однако ротор по инерции проходит это положение за время, когда пульсирующее поле уменьшается. При следующем увеличении магнитного поля магнитные силы действуют уже на другой зубец ротора, и его вращение будет продолжаться. Для устойчивости хода ротор реактивного электродвигателя должен обладать большой инерцией.

Реактивные электродвигатели работают устойчиво только при небольшой частоте вращения порядка 100—200 об/мин. Мощность их обычно не превосходит 10—15 Вт. Частота вращения ротора определяется частотой питающей сети f и числом зубцов ротора Z . Так как за один полупериод изменения магнитного потока ротор поворачивается на $1/Z$ оборота, то за 1 мин, содержащую

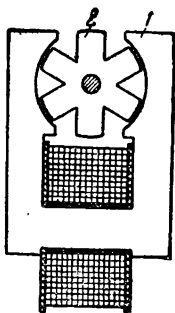


Рис. 3-19. Однофазный синхронный реактивный электродвигатель.

$60 \cdot 2 \cdot f$ полупериодов, он повернется на $60 \cdot 2 \cdot f/Z$ оборотов. При частоте переменного тока 50 Гц частота вращения ротора равна:

$$n = 6\,000/Z \text{ об/мин.}$$

Для увеличения вращающего момента увеличивают число зубцов на статоре. Наибольшего эффекта можно добиться, сделав на статоре столько зубцов, сколько на роторе. При этом магнитные притяжения будут действовать одновременно не на пару зубцов, а на все зубцы ротора, и вращающий момент значительно возрастет. В таких электродвигателях обмотка статора состоит из маленьких катушек, которые намотаны на обод статора в промежутках между зубцами. В электропроигрывателях старых типов применялся такой электродвигатель с 77 зубцами на статоре и на роторе, что обеспечивало частоту вращения диска 78 об/мин. Ротор представлял собой одно целое с диском, на который клали пластинку. Для пуска электродвигателя надо было подтолкнуть диск пальцем.

Статор синхронного конденсаторного реактивного электродвигателя ничем не отличается от статора конденсаторного асинхронного электродвигателя. Ротор электродвигателя можно сделать из ротора асинхронного электродвигателя, профрезеровав в нем пазы по числу полюсов (рис. 3-20). При этом срезаются частично стержни беличьей клетки. При заводском изготовлении таких электродвигателей с листами ротора, выштампованными с полюсными выступами, часть стержней беличьей клетки играет роль пусковой обмотки. Ротор начинает вращаться так же, как ротор асинхронного электродвигателя, затем втягивается в синхронизм с магнитным полем и в дальнейшем вращается с синхронной частотой.

Качество работы конденсаторного электродвигателя сильно зависит от того, в каком режиме работы электродвигатель имеет круговое вращающееся поле. Эллиптичность поля в синхронном режиме приводит к увеличению шума, вибраций и нарушению равномерности вращения. Если круговое вращающееся поле имеет место при асинхронном режиме, то электродвигатель имеет хороший пусковой момент, но малые моменты входа и вы-

хода из синхронизма. При смещении кругового поля в сторону больших частот пусковой момент уменьшается, а моменты входа и выхода из синхронизма увеличиваются. Наибольшие моменты входа и выхода из синхронизма получаются в том случае, когда круговое вращающееся поле имеет место в синхронном режиме. В этом случае, однако, сильно снижается пусковой момент. С целью его повышения обычно несколько увеличивают активное сопротивление короткозамкнутой обмотки ротора.

Недостатком некоторых типов конденсаторных реактивных электродвигателей является залипание ротора, заключающееся в том, что при пуске ротор не разворачивается, а останавливается в каком-либо положении. Обычно залипание ротора проявляется у электродвигателей с неудачным соотношением между размерами впадин и полюсных выступов. Наибольший реактивный момент при небольшой потребляемой электродвигателем мощности получается, когда отношение полюсной дуги b_p к полюсному делению τ составляет примерно 0,5—0,6, а глубина впадин h в 9—10 раз больше воздушного зазора между полюсными выступами и статором.

Положительным свойством конденсаторных реактивных электродвигателей является высокий коэффициент мощности, который значительно выше, чем у трехфазных электродвигателей, и достигает иногда 0,9—0,95. Это объясняется тем, что индуктивность конденсаторного электродвигателя в значительной степени компенсируется емкостью конденсатора.

Синхронные реактивные электродвигатели являются самыми распространенными синхронными электродвигателями благодаря простоте конструкции, низкой стоимости и отсутствию скользящих контактов. Они нашли применение в схемах синхронной связи, в установках звукового кино, звукозаписи и телевидения.

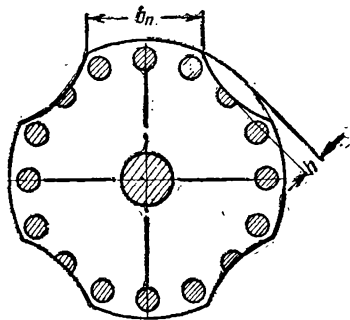


Рис. 3-20. Ротор конденсаторного реактивного синхронного электродвигателя.

3.9. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРЕХФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В КАЧЕСТВЕ ОДНОФАЗНЫХ

В практике встречаются случаи, когда нужно трехфазный электродвигатель подключить к однофазной сети. Раньше считалось, что для этого необходима перемотка статора электродвигателя. В настоящее время разработано и испытано на практике много схем включения трехфазных электродвигателей в однофазную сеть

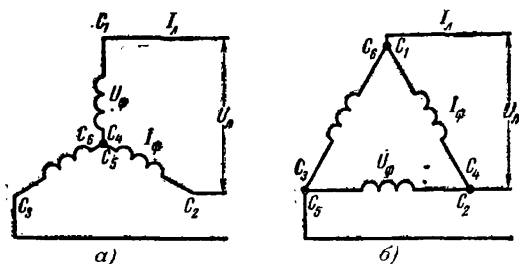


Рис. 3-21. Соединение фаз трехфазной обмотки.

а — в звезду; б — в треугольник.

без всяких изменений обмоток статора.

В качестве пусковых элементов используют конденсаторы.

Выводы обмотки статора трехфазного электродвигателя имеют следующие обозначения: $C1$ — начало первой фазы; $C2$ — начало второй фазы; $C3$ — начало третьей фазы; $C4$ — конец первой фазы; $C5$ — конец второй фазы; $C6$ — конец третьей фазы. Эти обозначения выбиты на металлических бирках, надетых на выводные проводники обмотки.

Обмотка трехфазного электродвигателя может быть соединена в звезду (рис. 3-21, а) или в треугольник (рис. 3-21, б). При соединении в звезду начала или концы всех трех фаз соединяют в одну точку, а оставшиеся три вывода соединяют с трехфазной сетью. При соединении в треугольник соединяют конец первой фазы с началом второй, конец второй с началом третьей, а конец третьей с началом первой. От точек соединений берут выводы для подключения электродвигателя к трехфазной сети.

В трехфазной системе различают фазные и линейные напряжения и токи. При соединении в звезду между ними имеют место следующие соотношения:

$$U_{л} = 1,73U_{ф}; \quad I_{л} = I_{ф};$$

при соединении в треугольник

$$U_{л} = U_{ф}; \quad I_{л} = 1,73I_{ф}.$$

Большая часть трехфазных электродвигателей выпускается на два линейных напряжения, например 127/220 В или 220/380 В. При меньшем напряжении сети обмотка соединяется в треугольник, а при большем напряжении—в звезду. У таких электродвигателей на дощечку

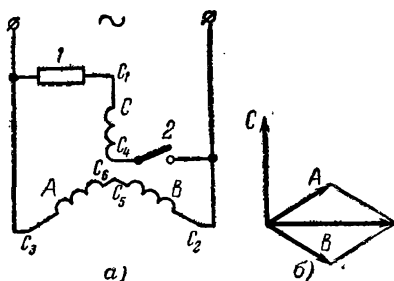


Рис. 3-22. Включение трехфазного электродвигателя в однофазную сеть.
а — схема включения; б — сдвиг между рабочей и пусковой обмотками.

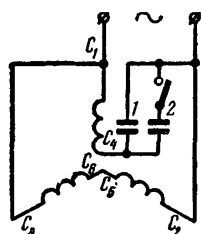


Рис. 3-23. Включение трехфазного электродвигателя в однофазную сеть с двумя конденсаторами.

зажимов выводят все шесть выводных проводников обмотки. Однако встречаются электродвигатели на одно напряжение сети, у которых обмотка соединена в звезду или в треугольник внутри электродвигателя, а к дощечке зажимов выведены только три проводника. Конечно, можно было бы и в этом случае разобрать электродвигатель, разъединить междуфазовые соединения и сделать три дополнительных вывода. Однако можно этого и не делать, используя одну из схем включения электродвигателя в однофазную сеть, которые приведены ниже.

Принципиальная схема включения трехфазного электродвигателя с шестью выводами в однофазную сеть показана на рис. 3-22, а. Для этого две фазы соединяют последовательно и подключают к однофазной сети, а тре-

тью фазу присоединяют к ним параллельно, включив в нее пусковой элемент 1 с выключателем 2. В качестве пускового элемента может служить активное сопротивление или конденсатор. При этом рабочая обмотка будет занимать $\frac{2}{3}$ пазов статора, а пусковая $\frac{1}{3}$. Таким образом, трехфазная обмотка обеспечивает требуемое соотношение пазов между рабочей и пусковой обмотками. При таком соединении угол между рабочей и пусковой обмотками составляет 90° эл. (рис. 3-22, б).

При соединении двух фаз последовательно надо следить за тем, чтобы они были включены согласно, а не встречно, когда н.с. соединяемых фаз вычитаются. Как видно из схемы рис. 3-22, а, в общую точку соединены концы второй и третьей фаз C_5 и C_6 .

Можно трехфазный электродвигатель использовать и в качестве конденсаторного по схеме рис. 3-23 с одним рабочим конденсатором 1 или с рабочим 1 и пусковым 2 конденсаторами. При такой схеме включения емкость рабочего конденсатора, мкФ, определяется по формуле

$$C_1 = 2740 \frac{I}{U},$$

где I — номинальный ток электродвигателя, А; U — напряжение сети, В.

Трехфазный электродвигатель с тремя выводами и обмоткой статора, соединенной в звезду, подключают к однофазной сети по схеме рис. 3-24. При этом емкость рабочего конденсатора определяют по формуле

$$C_1 = 2800 \frac{I}{U}.$$

Напряжение конденсатора $U_1 = 1,3 U$.

Трехфазный электродвигатель с тремя выводами и обмоткой статора, соединенной в треугольник, подключают к однофазной сети по схеме рис. 3-25. Емкость рабочего конденсатора определяют по формуле

$$C_1 = 4800 \frac{I}{U}.$$

Напряжение конденсатора $U = 1,15 U$.

Во всех трех случаях емкость пусковых конденсаторов можно примерно определить из соотношения

$$C_2 \approx (2,5 \div 3) C_1.$$

При выборе схемы включения следует руководствоваться напряжением, на которое рассчитан трехфазный электродвигатель, и напряжением однофазной сети. При этом фазное напряжение трехфазного электродви-

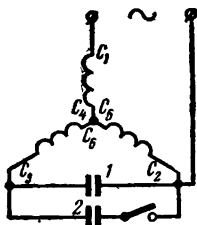


Рис. 3-24. Включение трехфазного электродвигателя с обмоткой, соединенной в звезду, в однофазную сеть.

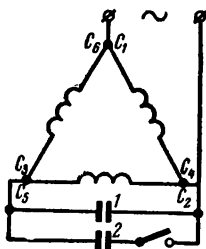


Рис. 3-25. Включение трехфазного электродвигателя с обмоткой, соединенной в треугольник, в однофазную сеть.

гателя должно сохраниться при включении в однофазную сеть.

Пример. Трехфазный электродвигатель мощностью 250 Вт, напряжением 127/220 В с номинальным током 2/1,15 А надо включить в однофазную сеть напряжением 220 В.

При использовании схемы рис. 3-24 емкость рабочего конденсатора

$$C_1 = 2800 \frac{1,15}{220} = 14,6 \text{ мкФ};$$

напряжением на конденсаторе $U_1 = 1,3 \cdot 220 = 286 \text{ В}$.

Емкость пускового конденсатора

$$C_2 = (2,5 + 3) \cdot 14,6 = 36 \div 44 \text{ мкФ}.$$

При использовании трехфазного электродвигателя в качестве однофазного мощность его снижается до 50%, в качестве конденсаторного однофазного — до 70% номинальной мощности трехфазного электродвигателя.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ РАСЧЕТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

4-1. ЗАЧЕМ НУЖНЫ РАСЧЕТЫ

При современном развитии техники каждую машину строят по предварительному расчету. При расчете определяют размеры машины, чтобы она надежно работала при минимальной затрате материалов на ее изготовление. Люди начали строить различные сооружения гораздо раньше, чем научились их рассчитывать. До наших дней сохранились сооружения, построенные несколько тысяч лет тому назад, а наука о расчете на прочность зародилась немногим больше 300 лет. Строители этих сооружений определяли их размеры, как говорят, «на глаз», отчасти руководствуясь опытом уже построенных сооружений, и опыт этот обходился человечеству очень дорого.

В истории строительной техники известны случаи огромных катастроф, происходивших от неумения рассчитывать. Так, почти 2 тыс. лет назад в Фиденах, близ Рима, во время выступлений гладиаторов обрушился амфитеатр, под развалинами которого погибло 50 тыс. человек. В 1879 г. во время шторма обрушились 13 пролетов моста через реку Тей в Шотландии вместе с пассажирским поездом, потому что при постройке моста не было учтено давление ветра. Известен еще ряд случаев разрушения мостов. Но рушились не только мосты, — падали фабричные трубы, взрывались паровые котлы, разлетались в куски вращающиеся маховики под действием центробежных сил.

Современные сооружения, построенные на основании расчетов, обладают необходимой прочностью, а материалов на них израсходовано в десятки раз меньше, чем на сооружения в древности. Развитие строительной техники позволило заменить стальные мосты и опоры линий электропередачи бетонными, выполнять блоки домов не на строительной площадке, а на заводах железобетонных изделий.

Расчет электрических машин не ограничивается проверкой их механической прочности; электрическая машина должна развивать требуемую мощность, части машины при работе не должны нагреваться выше до-

пустимой температуры, изоляция ее обмоток должна выдерживать расчетный срок службы и не разрушаться под действием приложенного напряжения, характеристики машины должны удовлетворять техническим требованиям. Поэтому расчет электрической машины состоит из нескольких частей. При электромагнитном расчете определяют ее основные размеры и обмоточные данные; при вентиляционном расчете выбирают систему вентиляции, рассчитывают размеры вентилятора и количество воздуха, необходимого для охлаждения машины при работе; тепловой расчет позволяет узнать, до какой температуры нагреваются активные части машины; по расчету различных режимов работы строят характеристики машины; расчет изоляции обмоток требуется для выбора соответствующих изоляционных материалов, числа слоев изоляции и необходимых промежутков между частями машины, находящимися под напряжением; механические расчеты необходимы для определения размеров и марки стали вала, числа витков и сечения проволочных бандажей, выбора типа и размеров подшипников, прочности коллектора и других частей машины. Применение новых материалов и усовершенствование методов расчета позволили снизить до 60 кг массу электродвигателя мощностью 10 кВт вместо 200 кг, которые весил электродвигатель такой же мощности в 1913 г.

Здесь изложены методы и примеры упрощенных расчетов электродвигателей мощностью в десятки ватт. Может вызвать недоумение необходимость расчета таких маленьких машин. Ведь многие тысячи таких электродвигателей построены нашими модельстами без всяких расчетов и работают. Конечно, построить электродвигатель для настольной модели электровоза без расчетов риск небольшой; если сгорит изоляция обмотки, можно намотать новую, если модель не стронется с места, то ее можно и рукой подтолкнуть; лишний килограмм материалов для одиночной модели особого значения не имеет.

Как было сказано выше, книга эта является первой ступенью в овладении техникой проектирования и изготовления микроэлектродвигателей. Выйдет из строя один электродвигатель — и океанский лайнер может сбиться с курса и потерпеть аварию, не будет выдержана требуемая температура в сталеплавильной печи —

и плавка массой в сотни тонн пойдет в брак, электронная вычислительная машина перестанет считать, самолет может сбиться с курса, электропроигрыватель будет изменять частоту вращения — и приятная музыка превратится в вой. Это только очень немногие примеры применения микроэлектродвигателей и их роли в различных отраслях техники.

В народном хозяйстве СССР работают десятки миллионов микроэлектродвигателей. Для определения расхода материалов на их изготовление надо принять в расчет закон электромашиностроения, из которого следует: чем меньше мощность электрической машины, тем больше расходуется материалов на единицу мощности. Это можно проследить на следующем примере. Турбогенератор мощностью 100 000 кВт имеет массу около 200 т, или 200 000 кг. Следовательно, на 1 кВт мощности расходуется 2 кг. Микроэлектродвигатель мощностью 30 Вт имеет массу 3,2 кг. Чтобы получить мощность 1 кВт, надо взять 33 таких электродвигателя, на которые пойдет 100 кг материалов. Таким образом, микроэлектродвигатели на 1 кВт требуют в 50 раз больше материалов, чем мощные генераторы. Представьте себе, сколько можно сэкономить материалов, если снизить массу электродвигателей хотя бы на 1%. В социалистических обязательствах наших заводов одним из важных показателей является изготовление дополнительной продукции из сэкономленных материалов на сэкономленной электроэнергии.

Для снижения расхода материалов надо тщательно изучать опыт работы построенных микроэлектродвигателей, совершенствовать методы их проектирования, разрабатывать новые типы электродвигателей и новые материалы для их изготовления.

4-2. О РАСЧЕТЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Электромагнитный расчет электродвигателя состоит из нескольких этапов. Сначала определяют главные размеры электродвигателя, т. е. диаметр и длину ротора. Затем производят расчет зубцового слоя, т. е. размеров пазов и зубцов. Далее определяют обмоточные данные, т. е. число витков и диаметр провода обмоток, и вычисляют магнитные потоки и индукции в основных частях статора и ротора. В коллекторных машинах ве-

дятся расчет размеров коллектора, количества и размеров щеток.

Затем определяют потери мощности внутри электродвигателя и к. п. д. Ведут специальные расчеты для построения характеристик. Расчеты на прочность в электродвигателях малой мощности заключаются в проверке прочности вала, подшипников и коллектора.

Если провести полный электромагнитный, вентиляционный, тепловой и механический расчеты, то заполнится целая общая тетрадь. И хотя расчеты проводятся только на основе алгебры и тригонометрии и поэтому доступны каждому десятикласснику, начинающему электрику можно обойтись упрощенными расчетами. К упрощенным расчетам относятся: определение главных размеров магнитного сердечника и нахождение обмоточных данных, т. е. диаметров проводов и числа витков. Эти расчеты займут не более пяти страниц в тетради.

Остальных расчетов можно избежать, руководствуясь советами, которые будут даны ниже. Например, если в электродвигателе плотности тока и индукции в магнитных сердечниках не будут выходить за пределы рекомендованных, то можно надеяться, что электродвигатель не подвергнется при работе чрезмерному нагреву. Тепловые расчеты в этих случаях не делают.

Расчет электродвигателя представляет собой пример технического расчета, который несколько отличается от решения математических задач. Основная особенность технических расчетов заключается в том, что они не обязательно должны быть абсолютно точными, а допускают некоторые приближения. Результаты при вычислении формул совсем не обязательно должны быть целыми числами.

С другой стороны, не следует стремиться к вычислению большого числа знаков после запятой. Вполне достаточно определить десятые и сотые доли. При округлении результата и отбрасывании лишнего десятичного знака остающийся знак должен быть увеличен на 1, если отбрасываемый знак больше пяти. Например, 42,129 округляем до 42,13; 34,262 округляем до 34,26. При оперировании большими числами не только не следует вычислять дробную часть, но и в целой части можно последние цифры заменить нулями.

При вычислении числа витков нет необходимости вести расчет до дробных частей, например 132,24, так как число витков может быть только целым числом.

Упрощения и приближения в технических расчетах делаются не только для ускорения расчета. Большая точность в них просто не нужна. Допустим, что вы вычислили потребляемый электродвигателем ток с точностью до тысячных долей ампера, а щитовой амперметр может измерить этот ток с точностью до пол-ампера; точные расчеты окажутся излишними. Но этого мало. Если по расчету будут изготовлены десять электродвигателей, то сопротивления обмоток будут различными, хотя все они изготовлены из одних и тех же материалов по одинаковым размерам. Это происходит потому, что все детали и материалы имеют некоторые отступления от теоретических (номинальных) размеров. Например, если на катушке с проводом написан его диаметр 1,56 мм, то фактически размер может отличаться на 2% в ту и другую сторону, т. е. меняться от 1,54 до 1,59 мм. Вот почему все десять электродвигателей не будут совершенно одинаковыми.

Из этого не следует делать неправильный вывод, что технические расчеты вообще не нужны. Расхождения между расчетом и опытом могут быть в пределах 10—15%, а «на глаз», да еще без достаточного практического опыта, можно ошибиться и в несколько раз.

При выполнении технических расчетов надо внимательно следить за размерностью подставляемых в формулы величин, которые будут везде указаны, потому что, подставив в формулу какой-нибудь размер вместо сантиметров в миллиметрах, вы ошибетесь в 10 раз, если же это сечение, то ошибка возрастет в квадрате, т. е. в 100 раз.

Все расчеты можно производить, пользуясь только арифметическими правилами. При этом в формулах с числителем и знаменателем надо как можно шире пользоваться сокращениями для упрощения расчета.

При технических расчетах лучше всего применять широко распространенные логарифмические линейки. Линейка позволяет из данной формулы получить готовый результат даже без знания результатов промежуточных вычислений. Линейка во много раз ускоряет процесс расчета. Линейка приучит и к технически целесообразным округлениям результатов. На ней можно

получить только три или четыре значащих цифры ответа, а больше и не нужно. Научитесь только правильно определять число цифр целой части числа.

4-3. ОБМОТОЧНЫЕ ПРОВОДА

Для расчета любого электродвигателя нужны некоторые технические данные: диаметры обмоточных проводов, марки проводов и их изоляция, данные для расчета магнитной цепи электродвигателя, размеры щеток, шарикоподшипников и др.

При расчете электродвигателя по формулам, которые будут приведены далее, вычисляется сечение провода для обмотки. Пользуясь формулой πr^2 , нетрудно было бы определить необходимый диаметр провода. Но диаметр провода нельзя выбирать любым, так как обмоточные провода изготавливаются только по стандарту, на основании которого составлена табл. 4-1.

Если по расчету получилось сечение провода $1,5 \text{ мм}^2$, то надо по табл. 4-1 подобрать сечение, которое ближе всего подходит к $1,5 \text{ мм}^2$. Таким сечением будет $s = 1,481 \text{ мм}^2$. Этому сечению соответствует диаметр стандартного провода $d = 1,35 \text{ мм}$.

Если бы не было стандарта на обмоточные провода, то в промежутке между диаметрами 1,35 и 1,45 мм (табл. 4-1) могли бы появиться провода диаметром 1,36, 1,37 мм и т. д. Чем больше размеров проводов, тем труднее заводу их изготавливать. Гораздо быстрее можно изготовить 100 кг провода одного размера, чем 10 размеров проводов по 10 кг каждого, потому что при изменении диаметра провода надо снова налаживать волоочильный стан, на что уходит много времени. Заводы изготавливают провода с размерами по стандартам, выполнение которых обязательно для всех заводов и учреждений СССР.

В табл. 4-1 указаны размеры голых проводов, а для обмоток электродвигателей, за исключением стержней короткозамкнутых обмоток роторов, применяются изолированные провода. Существует несколько марок обмоточных проводов, отличающихся изоляцией. Изоляция провода ПЭЛ расшифровывается так: провод, эмалированный лаковой эмалью. Провод марки ПЭВ-2 изолирован прочной эмалью, которая носит название «винифлекс». Цифра 2 показывает, что провод покрыт

Круглые обмоточные провода

Диаметр d , мм	Сечение s , мм ²	Масса 100 м провода, кг	Сопротивление 100 м провода при 15° С, Ом
0,1	0,008	0,007	227
0,11	0,009	0,008	181
0,12	0,011	0,010	152
0,13	0,013	0,012	130
0,14	0,015	0,014	112
0,15	0,018	0,016	97
0,16	0,020	0,018	86
0,17	0,023	0,020	76
0,18	0,025	0,022	67
0,19	0,028	0,025	61
0,20	0,031	0,028	55
0,21	0,035	0,031	50
0,23	0,041	0,037	42
0,25	0,049	0,043	35
0,27	0,057	0,051	30
0,29	0,066	0,059	26
0,31	0,075	0,067	23
0,33	0,085	0,076	20
0,35	0,096	0,085	18
0,38	0,113	0,100	15
0,41	0,132	0,117	13
0,44	0,152	0,135	11
0,47	0,173	0,154	10
0,51	0,204	0,182	8,4
0,55	0,238	0,211	7,2
0,59	0,273	0,243	6,3
0,64	0,322	0,286	5,3
0,69	0,374	0,332	4,6
0,74	0,430	0,382	4,0
0,8	0,503	0,447	3,4
0,86	0,581	0,516	3,0
0,93	0,679	0,604	2,5
1,0	0,785	0,698	2,2
1,08	0,916	0,814	1,9
1,16	1,057	0,94	1,6
1,25	1,227	1,091	1,4
1,35	1,481	1,273	1,2
1,45	1,651	1,468	1,0
1,56	1,911	1,699	0,9
1,68	2,22	1,971	0,8
1,81	2,57	2,29	0,7

эмалью-2 раза. Если поверх эмалевой пленки провод обмотан слоем шелковой пряжи, то марка провода будет ПЭЛШО, а при обмотке хлопчатобумажной пряжей — ПЭЛБО.

В табл. 4-2 дана двусторонняя толщина изоляции проводов тех марок, которые применяются для электродвигателей малой мощности. Для определения диаметра изолированного провода надо к диаметру голого провода, взятому по табл. 4-1, прибавлять толщину изоляции по табл. 4-2.

Таблица 4-2

Двусторонняя толщина $\delta_{из}$ изоляции обмоточных проводов, мм

Марка провода	Диаметр провода, мм							
	0,1— 0,19	0,2— 0,25	0,27— 0,29	0,31— 0,38	0,41— 0,49	0,51— 0,69	0,72— 0,96	1,0— 1,45
ПЭЛ	0,020	0,025	0,030	0,040	0,045	0,050	0,060	0,070
ПЭВ-2	0,040	0,045	0,060	0,060	0,070	0,080	0,090	0,110
ПЭЛШО	0,075	0,090	0,100	0,105	0,110	0,115	0,125	0,135
ПЭЛБО	—	0,125	0,155	0,160	0,165	0,170	0,180	0,210

Диаметр голого провода равен 0,44 мм, марка провода ПЭЛ. Размер 0,44 мм в табл. 4-2 заключается между размерами 0,41 и 0,49. В столбике под этими цифрами находим изоляцию провода ПЭЛ, равную 0,045 мм. Диаметр изолированного провода равен $0,44 + 0,045 = 0,485$ мм.

4-4. ТАБЛИЦА НАМАГНИЧИВАНИЯ

При расчете каждого электродвигателя приходится определять данные намагничивающей обмотки, которая создает магнитное поле. Способность катушки создавать магнитное поле называется ее намагничивающей силой (н. с.) или магнитодвижущей силой (м. д. с.). Намагничивающая сила катушки пропорциональна произведению числа витков на ток катушки.

Если силовые линии магнитного поля проходят через воздух, то н. с. катушки пропорциональна индукции и длине магнитных силовых линий. Например, чем больше воздушный зазор между статором и ротором, тем больше должна быть н. с. катушки. Но когда силовые линии магнитного поля проходят через стальной сердечник электромагнита, то прямая пропорциональность нарушается. Здесь н. с. катушки сильно изме-

Таблица намагничивания листовой стали

В, Т	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,5	250	255	260	265	270	275	280	285	290	293
0,6	295	300	305	310	315	320	325	330	335	340
0,7	345	350	355	360	370	375	380	385	390	400
0,8	405	410	415	420	430	440	450	460	470	480
0,9	485	490	495	500	510	520	530	540	550	560
1,0	570	580	590	600	615	630	642	655	665	680
1,1	690	700	720	730	750	765	780	790	800	825
1,2	845	860	880	900	920	940	960	990	1 000	1 050
1,3	1 080	1 110	1 150	1 180	1 220	1 260	1 300	1 350	1 400	1 450
1,4	1 500	1 530	1 600	1 650	1 700	1 750	1 830	1 920	2 000	2 100
1,5	2 270	2 450	2 560	2 710	2 880	3 040	3 200	3 400	3 650	3 750
1,6	4 000	4 250	4 500	4 750	5 000	5 250	5 580	5 950	6 230	6 600
1,7	7 050	7 530	7 950	8 400	8 850	9 320	9 800	10 300	10 800	11 400

няется в зависимости от магнитной индукции. Эту зависимость определяют по графикам или по таблицам.

В табл. 4-3 по горизонтальной и вертикальной осям отложены магнитные индукции, а в клетках — намагничивающие силы в амперах на метр (А/м). Если в стальном сердечнике, например, магнитная индукция 1,05 Т, то надо взять пересечение горизонтальной строки против 1 Т с вертикальным столбиком против 0,05 Т. На пересечении найдем число 630 А/м. Это напряженность поля H . Чем выше магнитная индукция, тем большая n . с. должна быть создана катушкой, чтобы провести силовые линии через сердечник. Намагничивающую силу катушки можно определить, умножив напряженность поля H на длину силовых линий.

Пример. На стальное кольцо 1 (рис. 4-1) намотана катушка 2 из 1 000 витков изолированной медной проволоки. Индукция в кольце должна быть 1,05 Т. Какой ток надо пропускать через катушку, чтобы создать в кольце такую индукцию?

Напряженность поля H при этой индукции известна из табл. 4-3. Теперь надо узнать длину средней силовой линии. Это будет длина окружности с диаметром 100 мм, как указано на рис. 4-1:

$$l = 100 \cdot 3,14 = 314 \text{ мм} = 0,314 \text{ м},$$

Намагничивающая сила катушки

$$I\omega = 630 \cdot 0,314 = 198 \text{ А}.$$

Через катушку надо пропускать ток

$$I = 198 / 1\,000 = 0,198 \text{ А},$$

Теперь посмотрим, какой ток надо пропускать через катушку, чтобы индукция возросла в 1,5 раза, т. е. была 1,58 Т.

Для этой индукции в табл. 4-3 находим напряженность поля 3 650 А/м, n . с. катушки должна быть:

$$I\omega = 3\,650 \cdot 0,314 = 1\,150 \text{ А},$$

а ток катушки

$$I = 1\,150 : 1\,000 = 1,15 \text{ А}.$$

Таким образом, n . с. катушки возросла в 6 раз, хотя индукция в сердечнике увеличилась только в 1,5 раза. Исходя из этого, слишком большие индукции в стальных сердечниках иметь невыгодно: ведь при увеличении тока должно увеличиваться и сечение провода катушки, а следовательно, и масса меди.

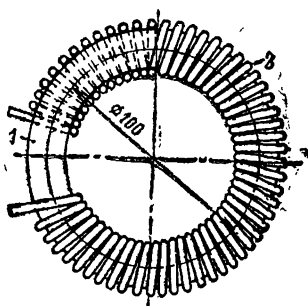


Рис. 4-1. Намагничивание стального кольца катушкой.

1 — стальное кольцо; 2 — витки катушки.

При расчете каждого электродвигателя придется пользоваться табл. 4-3. Если в отдельных участках сердечника будут разные индукции, то каждый участок рассчитывают отдельно и н. с. участков складывают.

4-5. НОМИНАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Чтобы приступить к расчету электродвигателя, необходимо знать его номинальные данные. Номинальными данными называются мощность, частота вращения, напряжение, которые у электродвигателей заводского изготовления указаны на металлическом щиточке, прикрепленном к корпусу электродвигателя, или выгравированы на корпусе.

Мощность микроэлектродвигателя выражается в ваттах. Это не потребляемая от источника тока мощность, а механическая мощность на валу. Выбор мощности зависит от назначения электродвигателя. Чем выше частота вращения электродвигателей, тем меньше их размеры и тем меньше потребуется материалов для изготовления при одинаковой мощности.

Напряжение электродвигателя определяется источником питания. Если электродвигатель постоянного тока будет работать от батарейки карманного фонаря, то он должен быть рассчитан на напряжение 3,5 В. Электродвигатели переменного тока для движущихся моделей, питаемые от трансформатора, обычно рассчитывают на 12 В. Электродвигатели для настольного вентилятора и для электропроигрывателя могут питаться энергией от осветительной сети. Осветительные сети переменного тока могут иметь напряжение 127 или 220 В. Если напряжение в квартире вам неизвестно, посмотрите на стеклянную колбу электрической лампочки, на которой обозначены напряжение в вольтах и мощность лампы в ваттах.

Здесь приведены методика расчета, справочные данные и примеры расчетов электродвигателей мощностью до 50 Вт.

4-6. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Расчет начинаем с электродвигателя постоянного тока, так как расчет его проще и понятнее, чем электродвигателей переменного тока. Здесь дано подробное

объяснение всех расчетных величин, которые будут потом встречаться и в электродвигателях переменного тока. Расчет приведен для двухполюсных электродвигателей с последовательным возбуждением.

Задавшись мощностью, частотой вращения, напряжением питания двигателя, можно определить все размеры и обмоточные данные электродвигателя. Расчет электродвигателя начинается с определения двух главных размеров, которыми являются диаметр и длина якоря. Эти размеры входят в формулу

$$D^2 l = \frac{P_{\text{я}}}{0,11ABn}, \quad (4-1)$$

где D — диаметр якоря, м; l — длина якоря, м; $P_{\text{я}}$ — расчетная мощность, Вт; A — линейная нагрузка якоря, А/м; B — магнитная индукция в воздушном зазоре, Т; n — номинальная частота вращения, об/мин.

Длина и диаметр якоря электродвигателя выражены в метрах, так как при этом расчетные формулы, связывающие размеры двигателя с индукцией и потоком, получаются удобнее и проще. Результаты расчета, полученные в метрах, для практических целей изготовления различных деталей можно легко перевести в сантиметры или миллиметры.

Левая часть формулы пропорциональна объему якоря. Действительно, если ее умножить на π и разделить на 4, то получится объем цилиндра, каким и является якорь электродвигателя. Как видно из правой части формулы, объем якоря пропорционален мощности электродвигателя $P_{\text{я}}$ и обратно пропорционален частоте вращения n . Отсюда можно сделать вывод, что чем большую частоту вращения имеет якорь электродвигателя, тем меньше будут его размеры при той же мощности. А от размеров якоря зависят размеры и остальных частей электродвигателя.

Расчетная мощность электродвигателя, Вт,

$$P_{\text{я}} \approx EI = P \frac{1 + 2\eta}{3\eta}, \quad (4-2)$$

где E — э. д. с., наводимая в обмотке якоря при вращении его в магнитном поле, В; I — ток, потребляемый электродвигателем от источника, А; P — номинальная

мощность электродвигателя, Вт; η — к. п. д. электродвигателя, значение которого можно взять по кривой рис. 4-2; как видно из кривой, значения к. п. д. снижаются при уменьшении мощности электродвигателя.

Численное значение расчетной мощности получаем, решая (4-2), где значения всех величин известны. Расчетная мощность всегда больше номинальной мощности электродвигателя, так как часть подведенной энергии теряется в самом электродвигателе.

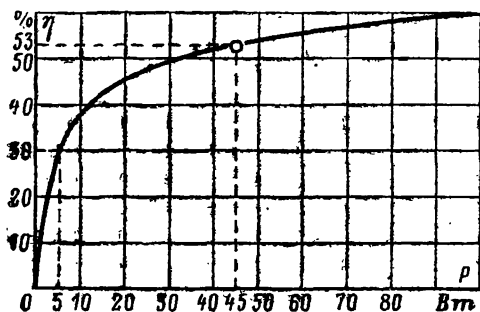


Рис. 4-2. График для определения к. п. д.

Ток, потребляемый электродвигателем, А,

$$I = \frac{P}{U\eta}, \quad (4-3)$$

где P — номинальная мощность, Вт; U — номинальное напряжение, В; η — к. п. д. по кривой рис. 4-2.

Теперь можно определить и э. д. с. E , которая будет нужна в дальнейшем:

$$E = P_{\text{я}}/I. \quad (4-4)$$

Линейная нагрузка якоря, А/м:

$$A = \frac{NI}{2\pi D}, \quad (4-5)$$

где N — число проводников обмотки якоря; множитель 2 в знаменателе показывает, что общий ток якоря I от коллекторной пластины разветвляется между двумя проводниками обмотки и через каждый проводник проходит только половина тока; произведение πD выражает длину окружности якоря.

Таким образом, линейная нагрузка показывает, сколько ампер приходится на 1 м длины окружности якоря. Линейную нагрузку A и магнитную индукцию в воздушном зазоре B называют электромагнитными нагрузками. Они показывают, насколько сильно нагружен электродвигатель в электрическом и магнитном отношениях. Из (4-1) видно, что чем больше произведение AB , тем меньше будут размеры якоря. Но значения A и B не должны превосходить определенного предела, так как иначе электродвигатель будет сильно нагреваться при работе.

Однако нагрев электродвигателя зависит не только от электромагнитных нагрузок, но и от времени его работы. Некоторые электродвигатели работают длительное время без остановки, например электродвигатели вентиляторов. Другие электродвигатели работают с перерывами, во время которых они успевают остыть, например электродвигатели моделей подъемных кранов, электропроигрывателей, пылесосов. Работа электродвигателей с перерывами называется повторно-кратковременной. Это значит, что электродвигатель включается на короткое время, затем происходит перерыв и электродвигатель снова включается.

Продолжительность включения такого электродвигателя выражается в процентах от определенного периода, который принимают за 10 мин. Например, если электродвигатель работает за один период 2,5 мин, а остальное время стоит, то продолжительность включения равна 25%. Если электродвигатель работает 4 мин, то продолжительность включения 40%.

Выбор линейной нагрузки и магнитной индукции производится по кривым рис. 4-3, где по горизонтальной оси отложены отношение номинальной мощности к номинальной частоте вращения. На рис. 4-3 даны значения A и B для электродвигателей с длительным режимом работы. Например, если электродвигатель мощностью 80 Вт при частоте вращения 4 000 об/мин длительно работает с полной нагрузкой, то отложим на горизонтальной оси значение $80/4\ 000 = 20 \cdot 10^{-3}$. На вертикальной линии отсчитываем значение линейной нагрузки $A = 9\ 000$ А/м и индукции в воздушном зазоре $B = 0,35$ Т.

При повторно-кратковременном режиме работы с продолжительностью включения 25% можно значения

электромагнитных нагрузок увеличить на 30%, т. е. взять их в 1,3 раза больше. Тогда

$$A = 9\,000 \cdot 1,3 = 11\,700 \text{ А/м,}$$

а магнитная индукция

$$B = 0,35 \cdot 1,3 = 0,455 \text{ Т.}$$

Теперь можно высчитать правую часть (4-1), левая часть которой содержит два неизвестных D и l . Диаметр и длина якоря связаны между собой определенным со-

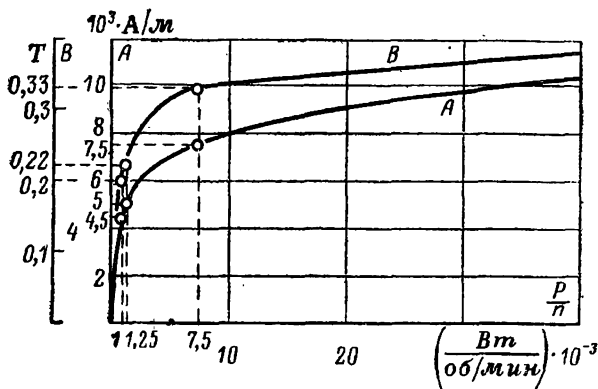


Рис. 4-3. Графики для определения A и B .

отношением. Обозначим $l/D=e$. Значение e для малых электродвигателей находится в пределах от 0,4 до 1,6. Если надо получить электродвигатель с меньшей длиной, но с большим диаметром, то берем $e=0,4$. Наоборот, если электродвигатель должен поместиться в трубу небольшого диаметра, то выбираем $e=1,6$. Если размеры электродвигателя не связаны какими-либо условиями, то обычно берут $e=1$. Вводя отношение $l/D=e$ в левую часть (4-1), освобождаемся от одного неизвестного l и (4-1) имеет вид:

$$D = \sqrt[3]{\frac{P_{\text{я}}}{e \cdot 0,11 A B \pi}}. \quad (4-6)$$

Определив D , находим $l=De$. Таким образом определены главные размеры электродвигателя.

Теперь перейдем к расчету обмотки якоря. Для этого надо определить магнитный поток электродвигателя.

Если магнитную индукцию в воздушном зазоре умножить на площадь, через которую силовые линии входят в якорь, то получим магнитный поток электродвигателя, который обозначим греческой буквой Φ (фи):

$$\Phi = B\alpha\tau l. \quad (4-7)$$

Магнитный поток измеряется в веберах. Греческой буквой τ (тау) обозначено полюсное деление, т. е. часть окружности якоря, приходящаяся на один полюс. В двухполюсном электродвигателе полюсное деление $\tau = \pi D/2$. Греческой буквой α (альфа) обозначено, какую часть полюсного деления занимает дуга полюса b_m (рис. 4-5). Обычно принимают $\alpha = 0,65$. Таким образом, произведение $\alpha\tau l$ дает площадь полюса, обращенную в сторону якоря.

Число пазов якоря определяют из соотношения $Z \approx \approx 3D$, в котором диаметр якоря выражен в сантиметрах. Рекомендуется брать ближайшее к полученному нечетное число. Число проводников якоря определяется по формуле

$$N = \frac{E \cdot 60}{\Phi n}. \quad (4-8)$$

Число проводников в одном пазу $N_z = N/Z$. Полученное при расчете число N_z надо округлить до ближайшего к нему целого четного числа, чтобы можно было наматывать обмотку в два слоя. Выбор числа пазов и числа проводников будет ясен из числового примера расчета электродвигателя.

Сечение провода для обмотки якоря можно определить, разделив ток в проводнике на плотность тока. Плотность тока показывает, сколько ампер проходит через каждый квадратный миллиметр сечения провода, и обозначается греческой буквой Δ (дельта). Таким образом, сечение провода, мм²,

$$s = \frac{I}{2\Delta}.$$

Плотность тока для самодельных электродвигателей постоянного тока следует выбирать в пределах от 6 до 12 А/мм². У маленьких двигателей с большой частотой вращения плотность тока берется ближе к верхнему рекомендованному значению. У более крупных двигателей с меньшей частотой вращения — ближе к нижнему значению.

Это сечение провода s является предварительным. Во втором столбце табл. 4-1 нужно найти сечение стандартного провода, которое наиболее близко подходит к вычисленному. В первом столбце этой таблицы найдем диаметр провода d . Отсутствие провода требуемого диаметра не может помешать изготовлению электродвигателя, так как имеются большие возможности для замены провода. Прежде всего один провод можно заменить двумя проводами, если сечение этих проводов будет такое же, как у заменяемого провода. Сечение провода зависит от квадрата его диаметра, значит, у провода сечением в 2 раза меньше диаметр будет в $\sqrt{2}$ раза меньше. Например, вместо провода диаметром 0,29 мм можно взять два провода диаметром 0,2 мм. При этом плотность тока почти не изменится, но число проводов в пазу возрастет в 2 раза. Плотность заполнения пазы проводами также возрастет, так как каждый провод имеет двухслойную изоляцию. Наматывать такую обмотку будет труднее. Можно один провод заменить двумя с разными диаметрами. Например, вместо провода диаметром 0,29 мм можно взять два провода: один диаметром 0,31 мм, а другой диаметром 0,27 мм. Как видно из табл. 4-1, сумма сечений двух заменяющих проводов равна сечению заменяемого провода:

$$0,075 + 0,057 = 0,132 \text{ мм}^2.$$

Выбрав окончательно диаметр провода d , надо по табл. 4-2 определить диаметр изолированного провода $d_{\text{из}}$, прибавив двустороннюю толщину $\delta_{\text{из}}$ изоляции:

$$d_{\text{из}} = d + \delta_{\text{из}}.$$

Определим размеры пазы. Сечение пазы S , мм², необходимое для размещения проводников обмотки, можно вычислить по формуле

$$S = d_{\text{из}}^2 N_z / k_3, \quad (4\ 9)$$

где k_3 — коэффициент заполнения пазы, показывающий, насколько плотно проводники заполняют паз.

Чем меньше коэффициент заполнения, тем больше должна быть площадь пазы. Чем больше взят коэффициент заполнения и чем толще изоляция пазы, тем труднее наматывать обмотку. В самодельных электродвигателях рекомендуется изолировать пазы изоляцион-

ной гильзой 2 из электрокартона толщиной 0,2 мм. Сверху обмотки в паз устанавливается клин 3 из картона толщиной 0,3 мм (рис. 4-4). В расчетах можно брать коэффициент заполнения $k_3=0,4$.

В электродвигателях заводского изготовления пазы имеют сложную грушевидную форму (см. рис. 2-10), чтобы в них можно было разместить больше проводников, не ослабляя толщины зубцов между пазами. В са-

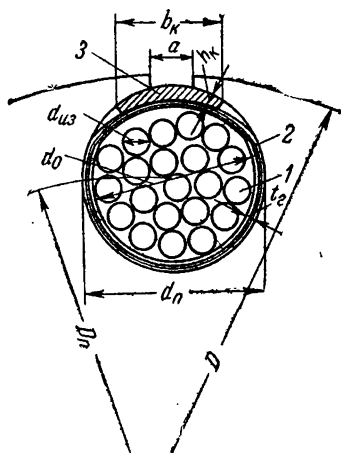


Рис. 4-4. Разрез паза с обмоткой.
1 — проводник; 2 — гильза; 3 — клин.

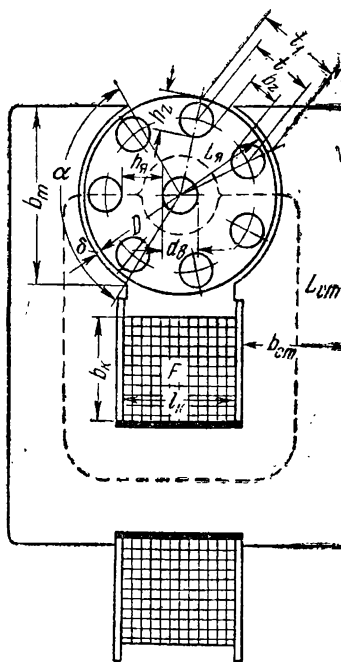


Рис. 4-5. Эскиз к расчету магнитной цепи.

моделных электродвигателях легче всего просверлить круглые пазы в спрессованном сердечнике якоря (рис. 4-5). Диаметр паза определится по его сечению:

$$d_n = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = 1,13 \sqrt{S}. \quad (4-10)$$

Определив диаметр паза, можно рассчитать толщину зубца. Сначала найдем диаметр окружности D_n на которой будут лежать центры пазов. Для этого из диа-

метра якоря надо вычесть диаметр паза +1 мм (рис. 4-4):

$$D_a = D - (d_a + 1). \quad (4-11)$$

Расстояние между центрами соседних пазов, мм,

$$t = \frac{\pi D_a}{z},$$

а толщина зубца, мм,

$$b_z = t - d_a. \quad (4-12)$$

Толщина зубца в узком месте должна быть не менее 2 мм. Если по расчету толщина зубца получается меньше 2 мм, надо увеличить диаметр якоря. Прорезь паза a должна быть на 1 мм больше диаметра изолированного провода.

Число коллекторных пластин в электродвигателях на низкое напряжение (12 В и ниже) берется равным числу пазов якоря. Укладка обмотки якоря в пазы и соединение их с коллекторными пластинами описаны в гл. 5. Сечение угольно-графитовой щетки $S_{щ}$, см², выбирается по формуле

$$S_{щ} = I / \Delta_{щ}, \quad (4-13)$$

где $\Delta_{щ}$ — плотность тока под щеткой, $\Delta_{щ} = 5 \div 8$ А/см².

На этом расчет якоря заканчивается.

Переходим к расчету магнитной системы и обмотки возбуждения. Для самодельного электродвигателя проще всего применить магнитную систему открытого типа (рис. 4-5). При расчете прежде всего определяют воздушный зазор δ между якорем и полюсами. В машинах постоянного тока величина воздушного зазора определяется по формуле

$$\delta = \frac{0,45 \tau A}{B \cdot 10^6}. \quad (4-14)$$

Угол полюсной дуги можно найти по значению $\alpha = 0,65$. Половина окружности занимает 180° ; следовательно, $\alpha = 180^\circ \cdot 0,65 = 117^\circ$, округляем до 120° .

Размеры магнитопровода рассчитывают по рекомендованным магнитным индукциям на его участках. При расчете сечения полюсов и станины магнитный поток увеличивают на 10%, так как часть линий замыкается между сторонами станины, минуя якорь. Поэтому магнитный поток полюсов и станины $\Phi_{ст} = 1,1 \Phi$.

Индукцию в станине принимают $B_{ст} = 0,5$ Т. Длину силовой линии в станине $L_{ст}$ определяют по эскизу (рис. 4-5). Здесь пунктирной линией показан путь магнитного потока. Он состоит из следующих участков: два воздушных зазора, два зубца, якорь и станина. Чтобы узнать, какую н. с. должна создать катушка возбуждения, надо рассчитать н. с. ($I\omega$) для каждого из этих участков и затем все их сложить. Начнем расчет н. с. с воздушного зазора.

Намагничивающая сила двух воздушных зазоров

$$I\omega_{\delta} = 1,6 \cdot 10^6 \delta k_{\delta} B, \quad (4-15)$$

где δ — воздушный зазор с одной стороны якоря, м; k_{δ} — коэффициент воздушного зазора, учитывающий, насколько увеличивается магнитное сопротивление воздушного зазора вследствие наличия на якоре прорезей пазов; можно считать $k_{\delta} = 1,1$; B — индукция в воздушном зазоре, Т.

Для определения н. с. зубцов якоря надо знать индукцию в зубце. Толщина зубца определяется по (4-12). Магнитный поток входит в зубец через часть окружности якоря, которую занимают одна коронка зубца и одна прорезь паза. Она называется зубцовым делением t_1 и определяется по формуле

$$t_1 = \pi D / Z. \quad (4-16)$$

Индукция в зубце будет во столько раз больше индукции в воздушном зазоре, во сколько раз толщина зубца меньше зубцового деления. Кроме того, надо учесть, что часть длины якоря занята изоляционными прослойками между листами стали якоря, которые составляют около 10%. Поэтому индукцию в зубце можно определить по формуле

$$B_z = \frac{B t_1}{b_z \cdot 0,9}. \quad (4-17)$$

Этой индукции по табл. 4-3 соответствует напряженность поля H_z . Для расчета н. с. на две высоты зубца надо H_z умножить на двойную высоту зубца. Однако, учитывая, что при круглых пазах индукция в верхней и нижней частях зубца снижается, умножим H_z на высоту одного зубца $I\omega_z = H_z h_z$.

При расчете индукции в сердечнике якоря следует учесть, что магнитный поток в нем разветвляется, и поэтому на одно сечение приходится только половина по-

тока. Сечение сердечника якоря по рис. 4-5 равно расстоянию $h_{я}$ от основания паза до вала, умноженному на длину якоря l :

$$h_{я} = D/2 - h_z - d_{в}/2.$$

Надо учесть также изоляционные прослойки между листами. Таким образом, индукция в сердечнике якоря

$$B_{я} = \frac{\Phi}{2h_{я} l \cdot 0,9}.$$

Этой индукции по табл. 4-3 соответствует $H_{я}$. Намагничивающая сила сердечника якоря

$$I\omega_{я} = H_{я} L_{я},$$

где $L_{я}$ — длина силовой линии в сердечнике, м, согласно рис. 4-5:

$$L_{я} = \pi(D - 2h_z - h_{я})/2.$$

Как видно на рис. 4-5, у этого электродвигателя нет выступающих полюсов, так как они слились со станиной. Поэтому расчет неподвижной части магнитопровода сводится к расчету станины. Ширина станины определяется по заданной индукции $B = 0,5$ Т, м,

$$b_{ст} = \frac{\Phi_{ст}}{0,5l \cdot 0,9}.$$

Напряженность поля $H_{ст}$ для индукции 0,5 Т находим в табл. 4-3. При определении длины силовой линии в станине мы встречаемся с затруднением, так как длина боковой стороны станины зависит от толщины катушки, а ее мы еще не знаем. Поэтому возьмем толщину катушки $b_{к} = 30 \delta$, где δ — воздушный зазор. Зависимость между толщиной катушки и зазором объясняется тем, что от величины зазора главным образом зависит н. с. катушки, а следовательно, и размеры катушки. Определив по эскизу длину силовой линии в станине $L_{ст}$, можно рассчитать н. с. станины:

$$I\omega_{ст} = L_{ст} H_{ст}.$$

Теперь сложим н. с. всех участков:

$$I\omega_0 = I\omega_{\delta} + I\omega_z + I\omega_{я} + I\omega_{ст}.$$

Такую н. с. должна создать катушка при холостом ходе электродвигателя. Но при нагрузке, когда ток в якоре будет расти, появится размагничивающее дей-

стве магнитного поля якоря. Поэтому н. с. катушки должна иметь некоторый запас, который подсчитывается по формуле

$$I\omega_p = 0,15\tau A. \quad (4-18)$$

Таким образом, н. с. катушки при нагрузке электродвигателя

$$I\omega = I\omega_0 + I\omega_p.$$

Через катушку возбуждения будет проходить ток якоря, а потому число витков катушки будет $\omega = I\omega/I$.

Для определения сечения провода надо силу тока разделить на плотность тока. Она берется меньше, чем для обмотки якоря, так как витки катушки неподвижны и потому хуже охлаждаются.

Сечение провода катушки, мм²,

$$s = I/\Delta.$$

По табл. 4-1 находим ближайшее стандартное сечение и диаметр провода. Выбрав марку провода, по табл. 4-2 находим диаметр изолированного провода $d_{из}$. Чтобы узнать толщину катушки, надо знать площадь, мм², занимаемую витками катушки, которую можно определить по формуле

$$F = \omega d_{из}^2 / k_3. \quad (4-19)$$

Разделив площадь на длину катушки, которая на эскизе обозначена l_k , получим толщину катушки, мм,

$$b_k = F/l_k.$$

Итак, по номинальным данным электродвигателя, которые выражаются всего тремя числами, пользуясь формулами и таблицами, мы определили все размеры электродвигателя, необходимые для его изготовления. Рассчитанный электродвигатель будет надежно работать, и его нагрев не выйдет из допускаемых норм. В этом ценность расчета электродвигателя. Разве можно было бы «угадать» все эти размеры без расчетов? Вероятно, электродвигатель пришлось бы несколько раз переделывать, чтобы получить удовлетворительный результат, потратив на эти переделки в несколько раз больше времени, чем на расчет, не говоря уже об испорченных материалах. Кроме того, в процессе расчета вы получите навык по техническим расчетам и знания по теории электрических машин.

4-7. ПРИМЕР РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Номинальные данные электродвигателя: $P=5$ Вт, $U=12$ В, $n=4000$ об/мин.

По кривой рис. 4-2 определяем к. п. д. электродвигателя, равный 30%. По (4-2) определяем расчетную мощность электродвигателя:

$$P_{\text{я}} = 5 \frac{1 + 2 \cdot 0,3}{3 \cdot 0,3} = 5 \frac{1,6}{0,9} = 8,9 \text{ Вт.}$$

Для нахождения значений A и B по кривым рис. 4-3 вычислим отношение мощности электродвигателя к скорости вращения, выраженной в тысячах оборотов в минуту. Для данного электродвигателя это отношение составляет $5:4=1,25$. Отложив это число на горизонтальной оси рис. 4-3, находим значение линейной нагрузки $A=5000$ А/м. Аналогично находим значение индукции в воздушном зазоре $B=0,22$ Т. Примем отношение $e=l/D=1$. Подставив числовые значения расчетных величин в (4-6), найдем диаметр якоря:

$$D = \sqrt[3]{\frac{8,9}{1 \cdot 0,11 \cdot 5000 \cdot 0,22 \cdot 4000}} = 0,026 \text{ м.}$$

При $e=1$ длина якоря

$$l = 0,026 \cdot 1 = 0,026 \text{ м.}$$

Сила тока якоря по формуле (4-3)

$$I = \frac{5}{0,3 \cdot 12} = 1,4 \text{ А.}$$

Электродвижущая сила обмотки якоря по формуле (4-4)

$$E = \frac{8,9}{1,4} = 6,3 \text{ В.}$$

Полюсное деление якоря

$$\tau = \frac{3,14 \cdot 0,026}{2} = 0,041 \text{ м.}$$

Магнитный поток по формуле (4-7)

$$\Phi = 0,22 \cdot 0,65 \cdot 0,041 \cdot 0,026 = 0,000152 \text{ Вб,}$$

Число проводников обмотки якоря по (4-8)

$$N = \frac{6,3 \cdot 60}{0,000152 \cdot 4000} = 620.$$

Число пазов якоря $Z=3 \cdot 2,6=7,8$; округляем до ближайшего нечетного числа, $Z=7$.

Число проводников в пазу $N_z=620/7=88,8$; округляем до ближайшего четного числа, $N_z=88$;

Сечение проводника обмотки якоря при $\Delta=8$ А/мм²

$$s = \frac{1,4}{2,8} = 0,087 \text{ мм}^2.$$

По табл. 4-1 находим ближайшее сечение провода $s=0,085 \text{ мм}^2$ и $d=0,33 \text{ мм}$.

Выбираем провод марки ПЭЛ; толщина изоляции по табл. 4-2 для выбранного диаметра провода составляет $0,04 \text{ мм}$. Следовательно, диаметр изолированного провода

$$d_{\text{из}} = 0,33 + 0,04 = 0,37 \text{ мм},$$

Сечение паза по (4-9) должно быть равно:

$$S = \frac{0,37^2 \cdot 88}{0,4} = 30 \text{ мм}^2.$$

Диаметр паза

$$d_{\text{п}} = 1,13 \sqrt{30} = 6,2 \text{ мм},$$

Диаметр окружности, на которой расположены центры пазов (4-11),

$$D_{\text{п}} = 26 - (6,2 + 1) = 18,8 \text{ мм},$$

Расстояние между центрами соседних пазов

$$t = \frac{3,14 \cdot 18,8}{7} = 8,4 \text{ мм},$$

Толщина зубца в узком месте по (4-12)

$$b_2 = 8,4 - 6,2 = 2,2 \text{ мм},$$

Прорезь паза

$$a = 0,37 + 1 = 1,37 \text{ мм},$$

Число коллекторных пластин $K=7$.

Сечение щетки по (4-13)

$$S_{\text{щ}} = \frac{1,4}{6} = 0,23 \text{ см}^2.$$

Можно взять квадратную щетку с размерами $5 \times 5 \text{ мм}^2$.

Воздушный зазор между якорем и полюсом по (4-14)

$$\delta = \frac{0,45 \cdot 0,041 \cdot 5000}{0,22 \cdot 10^6} = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

Для определения н.с. катушки возбуждения проведем расчет магнитной цепи по рис. 4-5. Намагничивающая сила двух воздушных зазоров по (4-15):

$$I\omega_{\delta} = 1,6 \cdot 10^6 \cdot 0,4 \cdot 10^{-3} \cdot 1,1 \cdot 0,22 = 155 \text{ А}.$$

Зубцовое деление по (4-16)

$$t_1 = \frac{3,14 \cdot 0,026}{7} = 0,0116 \text{ м} = 11,6 \text{ мм},$$

Индукция в зубце по (4-17)

$$B_2 = \frac{0,22 \cdot 11,6}{2,2 \cdot 0,9} = 1,3 \text{ Т},$$

Напряженность поля для зубца по табл. 4-3 $H_2 = 1080$ А/м.
 Намагничивающая сила зубцов при $h_2 = d_n + 0,5 = 6,2 + 0,5 = 6,7$ мм $= 6,7 \cdot 10^{-3}$ м

$$I\omega_2 = 1080 \cdot 6,7 \cdot 10^{-3} = 7 \text{ А,}$$

$$h_{я} = \frac{26}{2} - 6,7 - \frac{6}{2} = 4 \text{ мм,}$$

Индукция в сердечнике якоря

$$B_{я} = \frac{0,000152}{2 \cdot 0,004 \cdot 0,026 \cdot 0,9} = 0,81 \text{ Т.}$$

По табл. 4-3 при этой индукции $H_{я} = 4,1 \cdot 10^2$ А/м.
 Длина силовой линии в сердечнике

$$L_{я} = \frac{3,14(26 - 2 \cdot 6,7 - 4)}{2} = 15 \text{ мм,}$$

Намагничивающая сила сердечника якоря

$$I\omega_{я} = 4,1 \cdot 10^2 \cdot 0,015 = 6 \text{ А.}$$

Теперь переходим к расчету н. с. для неподвижных частей магнитопровода.

Магнитный поток станины

$$\Phi_{ст} = 1,1 \cdot 0,000152 = 0,000167 \text{ Вб.}$$

Примем индукцию в станине $B_{ст} = 0,5$ Т, когда ширина станины равна:

$$b_{ст} = \frac{0,000167}{0,5 \cdot 0,026 \cdot 0,9} = 0,014 \text{ м} = 1,4 \text{ см.}$$

Ширина станины против центра якоря имеет меньшую величину, но через нее проходит только половина магнитного потока. Индукции 0,5 Т по табл. 4-3 соответствует значение $H_{ст} = 250$ А/м. Для определения длины силовой линии в станине примем толщину катушки

$$b_k = 30 \cdot \delta = 30 \cdot 0,04 = 1,2 \text{ см.}$$

По рис. 4-6 определим среднюю длину силовой линии:

$$L_{ст} = 4,5 \text{ см} = 0,045 \text{ м.}$$

Намагничивающая сила станины

$$I\omega_{ст} = 250 \cdot 0,045 = 11 \text{ А.}$$

Теперь сложим н. с. всех участков:

$$I\omega_0 = 155 + 7 + 6 + 11 = 179 \text{ А.}$$

Размагничивающая сила магнитного поля якоря по (4-18)

$$I\omega_p = 0,15 \cdot 0,041 \cdot 5000 = 31 \text{ А.}$$

Намагничивающая сила катушки при нагрузке электродвигателя

$$I\omega = 179 + 31 = 210 \text{ А.}$$

Число витков катушки

$$\omega = 210/1,4 = 150.$$

Примем плотность тока в катушке равной 5 А/мм².

Сечение провода

$$s = 1,4/5 = 0,28 \text{ мм}^2.$$

По табл. 4-1 находим ближайшее сечение стандартного провода $s=0,273 \text{ мм}^2$ и диаметр провода $d=0,59 \text{ мм}$. Для провода марки ПЭЛ толщина изоляции по табл. 4-2 равна 0,05 мм.

Диаметр изолированного провода

$$d_{\text{из}} = 0,59 + 0,05 = 0,64 \text{ мм}.$$

Площадь, занимаемую витками катушки, можно определить по (4-19):

$$F = 150 \cdot 0,64^2 / 0,4 = 153 \text{ мм}^2.$$

Длина катушки по рис. 4-6

$$l_k = 20 \text{ мм}.$$

Следовательно, толщина катушки

$$b_k = 153/20 = 7,6 \text{ мм}.$$

При расчете магнитной цепи принималась толщина катушки 12 мм. Таким образом, н. с. станины рассчитана с некоторым запасом. Однако это не скажется на результатах расчета, так как н. с. станины составляет лишь 5% общей н. с. катушки.

4-8. РАСЧЕТ КОЛЛЕКТОРНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Электродвигатель, рассчитанный для постоянного тока, будет работать и на переменном токе, если статор его выполнен из тонких листов, изолированных друг от друга. Однако мощность и скорость вращения электродвигателя при переходе на питание переменным током изменятся. Кроме того, при переменном токе вследствие сдвига по времени между векторами напряжения и тока на угол φ появится коэффициент мощности, выраженный косинусом угла φ . Если коллекторные электродвигатели переменного тока рассчитывают на напряжение сети, то надо при расчете учесть, что напряжение между смежными коллекторными пластинами не должно быть большим во избежание сильного искрения на коллекторе. Для этого число коллекторных пластин берут в 2—3 раза больше числа пазов.

В основу расчета положены номинальные данные электродвигателя, где P — мощность, Вт; U — напряжение, В; n — частота вращения, об/мин; f — частота сети 50 Гц; число полюсов 2 p .

По кривой рис. 4-2 определяем к. п. д. электродвигателя.

Расчетная мощность, Вт,

$$P_{\text{я}} = \frac{2 + \eta}{3\eta} P. \quad (4-20)$$

Рассчитываем отношение P/n . По графикам рис. 4-3 находим значения A и B . Диаметр якоря, м,

$$D = \sqrt[3]{\frac{13P_{\text{я}}}{eBA\eta}} \quad (4-21)$$

отношение $e = l : D$.

Длина якоря, м,

$$l = De.$$

Полюсное деление, м,

$$\tau = \frac{\pi D}{2p}.$$

Полюсная дуга, м,

$$b = 0,7\tau.$$

Частота тока в обмотке якоря, Гц,

$$f_{\text{я}} = pn/60.$$

По кривым рис. 4-6 определяем $\cos \varphi$ электродвигателя. На рис. 4-6 по горизонтальной оси отложены значения коэффициента трансформации k , представляющего отношения числа витков обмотки возбуждения к числу витков обмотки якоря.

По вертикальной оси отложены значения $\cos \varphi$. На рис. 4-6 изображены три кривые, представляющие собой отношения частоты сети к частоте тока в обмотке якоря. Три кривые построены для трех отношений $f/f_{\text{я}} = 0,5; 0,6$ и 1 , что для двухполюсных машин соответствует скоростям вращения 6 000, 5 000 и 3 000 об/мин. Для промежуточных значений $f/f_{\text{я}}$

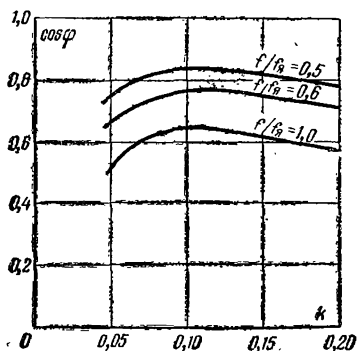


Рис. 4-6. Графики для определения $\cos \varphi$ коллекторных электродвигателей переменного тока.

можно брать значения отношений между этими кривыми.

Для определения $\cos \varphi$ надо отложить по горизонтальной оси коэффициент трансформации и от него провести вертикальную линию до пересечения с требуемым отношением $f/f_{я}$. От точки пересечения вертикальной линии с одной из кривых проведем горизонтальную линию, по которой на вертикальной оси графика прочтем значение $\cos \varphi$. Как видно из кривых, наибольшие значения $\cos \varphi$ получаются при $k=0,1$. Поэтому при проектировании стремятся коэффициент трансформации выдержать близким к этому значению.

Определив значение $\cos \varphi$ при $k=0,1$, по 4-22 можно рассчитать значение э. д. с., B , в обмотке якоря:

$$E = \frac{2 + \eta}{3} U \cos \varphi. \quad (4-22)$$

Зная магнитную индукцию в зазоре и площадь полюсного наконечника, можно рассчитать величину магнитного потока, $B\delta$,

$$\Phi = B\delta l.$$

После этого можно определить число проводов обмотки якоря:

$$N = \frac{60 \sqrt{2} E}{\rho n \Phi}. \quad (4-23)$$

Эти провода надо поровну распределить в пазах якоря; число пазов ориентировочно определяем по формуле

$$Z = (3 \div 4) D,$$

где D — диаметр якоря, см.

Число проводов в пазу

$$N_z = N/Z.$$

Число коллекторных пластин определяем по формуле

$$K = (2 \div 3) Z.$$

Число секций обмотки якоря равно числу коллекторных пластин, поэтому число витков якоря в секции равно:

$$\omega_c = N/2K.$$

Ток, потребляемый электродвигателем из сети, A ,

$$I = \frac{P}{\eta U \cos \varphi}. \quad (4-24)$$

Определение диаметра голого и изолированного проводов, размеров паза и зубца производят аналогично электродвигателям постоянного тока. Воздушный зазор определяем по (4-14). Для расчета числа витков обмотки возбуждения нет необходимости производить расчет магнитной цепи, как это делалось в расчете электродвигателя постоянного тока. Число витков обмотки возбуждения можно определить по коэффициенту трансформации k , которым мы задались при использовании кривыми рис. 4-6. Таким образом, число витков на полюс катушки возбуждения

$$\omega_1 = \frac{N}{2} k. \quad (4-25)$$

Расчет размеров катушек возбуждения производится так же, как в электродвигателях постоянного тока.

4-9. ПРИМЕР РАСЧЕТА КОЛЛЕКТОРНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Номинальные данные: мощность $P=45$ Вт, напряжение $U=220$ В (с учетом падения напряжения в сети), частота вращения $n=6000$ об/мин, число полюсов $2p=2$, частота сети $f=50$ Гц.

На рис. 4-2 $\eta=0,53$.

По формуле (4-20)

$$P_{\text{я}} = \frac{2 + 0,53}{3 \cdot 0,53} P = 72 \text{ Вт.}$$

Принимаем $e=1$. Рассчитываем отношение

$$P/n = 7,5 \cdot 10^{-3} \left(\frac{\text{Вт}}{\text{об/мин}} \right).$$

По рис. 4-3 $A=7500$ А/м; $B=0,33$ Т.

По формуле (4-21)

$$D = \sqrt[3]{\frac{13 \cdot 72}{0,33 \cdot 7500 \cdot 6000}} = 0,04 \text{ м.}$$

Длина якоря

$$l = 0,04 \cdot 1 = 0,04 \text{ м.}$$

Полюсное деление

$$\tau = \frac{3,14 \cdot 0,04}{2} = 0,06 \text{ м.}$$

Полюсная дуга

$$b = 0,7 \cdot 0,06 = 0,042 \text{ м.}$$

Частота тока в обмотке якоря

$$f_{я} = \frac{1 \cdot 6000}{60} = 100 \text{ Гц.}$$

Отношение $f/f_{я} = 50/100 = 0,5$.

Задаемся значением коэффициента трансформации $k = 0,1$.

По рис. 4-6 $\cos\varphi = 0,84$.

По формуле (4-22)

$$E = \frac{2 + 0,53}{3} \cdot 200 \cdot 0,84 = 142 \text{ В,}$$

Магнитный поток

$$\Phi = 0,33 \cdot 0,042 \cdot 0,04 = 0,00055 \text{ Вб,}$$

Число проводников обмотки якоря по (4-23)

$$N = \frac{60 \sqrt{2 \cdot 142}}{6000 \cdot 0,00055} = 3600,$$

Число пазов якоря $Z = (3 \div 4) \cdot 4 = 12 \div 16$; выбираем нечетное число $Z = 15$.

Число коллекторных пластин (число секций обмотки якоря)

$$K = (2 \div 3) \cdot 15 = 30 \div 45; \text{ выбираем } 30,$$

Число витков в секции

$$w_{\sigma} = \frac{3600}{2 \cdot 30} = 60.$$

Число проводников в пазу будет в 4 раза больше числа секций, так как в пазу лежат четыре секции:

$$N_z = 60 \cdot 4 = 240.$$

Окончательное число проводников обмотки якоря

$$N = 240 \cdot 15 = 3600.$$

Ток, потребляемый электродвигателем из сети, по (4-24)

$$I = \frac{45}{0,53 \cdot 220 \cdot 0,84} = 0,45 \text{ А,}$$

Принимаем плотность тока $\Delta = 11 \text{ А/мм}^2$.

Сечение провода

$$s = 0,45/11 = 0,041 \text{ мм}^2.$$

По табл. 4-1 этому сечению соответствует диаметр голого провода $d = 0,23 \text{ мм}$.

По табл. 4-2 толщина изоляции провода марки ПЭЛ 0,025 мм.

Диаметр изолированного провода

$$d_{из} = 0,23 + 0,025 = 0,255 \text{ мм.}$$

Сечение паза, необходимое для размещения проводников, по (4-9)

$$S = 0,255^2 \cdot 240/0,4 = 39 \text{ мм}^2.$$

Этому сечению соответствует диаметр круглого паза

$$d_{\text{п}} = 1,13 \sqrt{39} = 7 \text{ мм.}$$

Диаметр, на котором лежат центры пазов,

$$D_{\text{п}} = 40 - (7 + 1) = 32 \text{ мм.}$$

Расстояние между центрами пазов

$$t = 3,14 \cdot 32 / 15 = 6,7 \text{ мм.}$$

Расстояние между центрами пазов меньше диаметра паза, т. е. зубцам не хватает места на окружности якоря. Из этого затруднения можно выйти двумя способами. Первый заключается в том, что пазы делают грушевидной или трапецеидальной формы. Пазы делаются уже и глубже, а зубцы шире. Этот способ применяют в электродвигателях заводского изготовления. Но сделать штамп сложной формы для самодельных электродвигателей невозможно. Поэтому следует применить второй способ, а именно увеличить наружный диаметр якоря. Одновременно увеличится диаметр окружности, на которой располагаются середины пазов, и толщина зубцов соответственно увеличится. Чтобы для данного электродвигателя получить толщину зубцов 2,7 мм, надо длину окружности, на которой расположены середины пазов, увеличить до 45 мм. Это равносильно увеличению диаметра окружности на $45 : 3,14 = 14$ мм. Соответственно наружный диаметр якоря увеличится до $40 + 14 = 54$ мм, а диаметр паза останется 7 мм, как было получено по расчету.

Переходим к расчету катушек возбуждения. Для такого относительно небольшого электродвигателя лучше применить форму статора по рис. 2-6.

Число витков на полюс при коэффициенте трансформации $k=0,1$

$$w_1 = \frac{3600 \cdot 0,1}{2} = 180,$$

Возьмем плотность тока 6 А/мм².

Сечение провода

$$s = 0,5 / 6 = 0,083 \text{ мм}^2,$$

В табл. 4-1 ближайшим к этому сечению провод диаметром 0,33 мм. По табл. 4-2 толщина изоляции провода ПЭЛ составляет 0,04 мм. Диаметр изолированного провода

$$d_{\text{из}} = 0,33 + 0,04 = 0,37 \text{ мм.}$$

Площадь, занимаемая катушкой возбуждения,

$$F = 0,37^2 \cdot 180 / 0,4 = 60 \text{ мм}^2.$$

По данному сечению катушки определим графически по чертежу высоту полюса, на котором такая катушка может разместиться (ширина полюса при индукции 0,8 Т):

$$b_{\text{п}} = \frac{0,00055}{0,9 \cdot 0,04 \cdot 0,8} = 0,019 \text{ м} = 19 \text{ мм.}$$

Толщина статора

$$b_{\text{ст}} = \frac{0,00055}{2 \cdot 0,9 \cdot 0,04 \cdot 0,8} = 0,01 \text{ м} = 10 \text{ мм.}$$

4-10. РАСЧЕТ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ ВИТКОМ НА ПОЛЮСЕ

Расчетная мощность электродвигателя, В·А,

$$P_{\text{я}} = 0,8 \frac{P}{\eta \cos \varphi}. \quad (4-26)$$

Произведение $\eta \cos \varphi$ берем по кривой рис. 4-7. По кривым рис. 4-8 определяем линейную нагрузку A и индукцию в воздушном зазоре B .

Внутренний диаметр статора, м,

$$D = \sqrt[3]{\frac{7P_{\text{я}}}{eBA\eta}}. \quad (4-27)$$

Длина статора, м,

$$l = De.$$

Полюсное деление, м,

$$\tau = \frac{\pi D}{2p}.$$

Полюсная дуга, м,

$$b = 0,7\tau.$$

Магнитный поток, Вб,

$$\Phi = Bbl. \quad (4-28)$$

Число витков на полюс статора

$$\omega_1 = \frac{0,8U}{2p \cdot 4,44j\Phi}. \quad (4-29)$$

Сечение провода обмотки статора, мм²,

$$s = I/\Delta.$$

Диаметр провода d определяется по табл. 4-1.

Диаметр изолированного провода

$$d_{\text{из}} = d + \delta_{\text{из}}.$$

Площадь, занимаемая витками катушки, мм²,

$$F = d_{\text{из}}^2 \omega_1 / k_s.$$

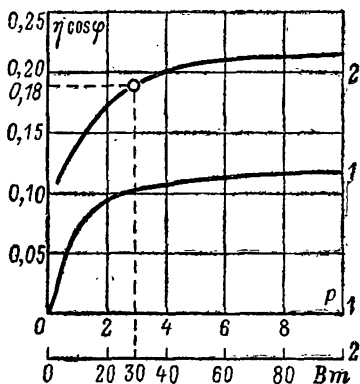


Рис. 4-7. Графики для определения $\eta \cos \varphi$ асинхронных двигателей с короткозамкнутым витком.

1 — (1—10) Вт; 2 — (10—100) Вт.

Сечение полюса, м²,

$$S_{\text{п}} = \frac{1,1\Phi}{B}.$$

Ширина полюса, м,

$$b_{\text{п}} = \frac{S_{\text{п}}}{l}.$$

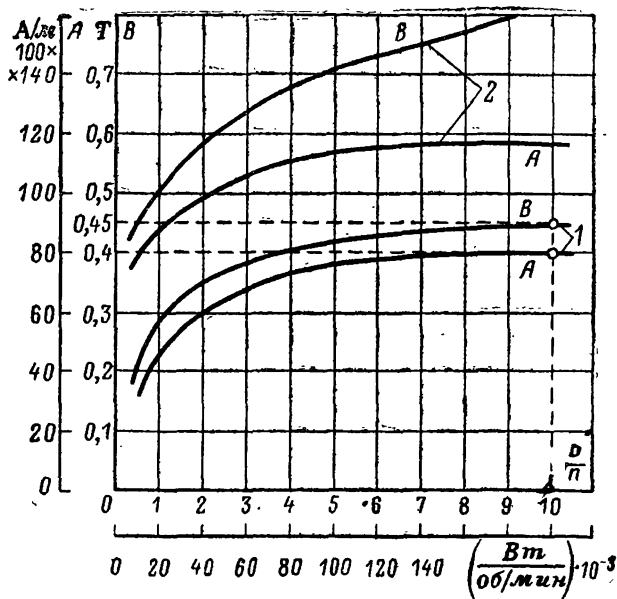


Рис 4-8. Графики для определения A и B .

$$1 - (1-10) \cdot 10^{-3} \frac{\text{Вт}}{\text{об/мин}}; \quad 2 - (10-200) \cdot 10^{-3} \frac{\text{Вт}}{\text{об/мин}}.$$

По чертежу определяем размеры катушки, среднюю длину l_1 витка катушки, м, и среднюю длину l_3 короткозамкнутого витка, м. Затем вычисляем активное сопротивление, Ом, катушки статора:

$$r_1 = 1,22 \frac{2\rho\omega_1 l_1}{57 \cdot s}. \quad (4-30)$$

Активное сопротивление, Ом, короткозамкнутого витка

$$r_3 = \frac{r_1}{\omega_1^2}. \quad (4-31)$$

Сечение короткозамкнутого витка, мм²,

$$q = 1,22 \frac{l_3}{57 \cdot r_3}. \quad (4-32)$$

Диаметр прутка, мм, из которого согнут короткозамкнутый виток,

$$d = \sqrt{\frac{4q}{\pi}} = 1,13 \sqrt{q}.$$

Расчет ротора асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым витком изложен в § 4-11.

4-11. ПРИМЕР РАСЧЕТА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С КОРТОКОЗАМКНУТЫМ ВИТКОМ НА ПОЛЮСЕ

Номинальные данные: мощность $P=30$ Вт, напряжение $U=200$ В, синхронная частота вращения $n=3\,000$ об/мин, частота сети $f=50$ Гц. По кривой рис. 4-7 определяем произведение $\eta \cos \varphi = 0,18$.

Расчетная мощность электродвигателя по (4-26)

$$P_{\text{я}} = 0,8 \frac{30}{0,18} = 133 \text{ В} \cdot \text{А},$$

Определяем отношение

$$P/n = \frac{30 \cdot 10^3}{3\,000} = 10 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{об/мин}} \right) \cdot 10^{-3}.$$

По кривым рис. 4-8 определяем $A=8\,000$ А/м; $B=0,45$ Т. Внутренний диаметр статора по (4-27)

$$D = \sqrt[3]{\frac{7 \cdot 133}{1 \cdot 0,45 \cdot 8\,000 \cdot 3\,000}} = 0,044 \text{ м},$$

Длина статора

$$l = 0,044 \cdot 1 = 0,044 \text{ м},$$

Полюсное деление

$$\tau = \frac{3,14 \cdot 0,044}{2} = 0,069 \text{ м},$$

Полюсная дуга

$$b = 0,7 \cdot 0,069 = 0,048 \text{ м}.$$

Магнитный поток (4-28)

$$\Phi = 0,45 \cdot 0,048 \cdot 0,044 = 0,00095 \text{ Вб},$$

Число витков на полюс статора по (4-29)

$$w_1 = \frac{0,8 \cdot 200}{2 \cdot 4,44 \cdot 50 \cdot 0,00095} = 380.$$

Ток, потребляемый электродвигателем, по (4-24)

$$I = \frac{30}{200 \cdot 0,18} = 0,83 \text{ А.}$$

Сечение провода при плотности тока 5 А/мм^2

$$s = 0,83/5 = 0,166 \text{ мм}^2.$$

Этому сечению по табл. 4-1 соответствует провод диаметром $0,47 \text{ мм}$. Толщина изоляции провода ПЭЛ $0,045 \text{ мм}$. Диаметр изолированного провода $d_{\text{из}} = 0,47 + 0,045 = 0,515 \text{ мм}$.

Для этого электродвигателя выбираем конструкцию, показанную на рис. 3-5.

Так как в этом электродвигателе одна катушка на два полюса, то число витков должно быть 760 . Площадь, занимаемая витками катушки,

$$F = \frac{0,515 \cdot 760}{0,4} = 500 \text{ мм}^2.$$

По чертежу определяем длину среднего витка $l_1 = 27 \text{ см} = 0,27 \text{ м}$; длину короткозамкнутого витка $l_3 = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$.

Активное сопротивление катушки по (4-30)

$$r_1 = 1,22 \frac{760 \cdot 0,27}{57 \cdot 0,15} = 29 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление короткозамкнутого витка по (4-31)

$$r_3 = \frac{29}{380^2} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ Ом.}$$

Сечение короткозамкнутого витка по (4-32)

$$q = 1,22 \frac{0,1 \cdot 10^4}{57 \cdot 2} = 11,8 \text{ мм}^2.$$

Диаметр медного прутка, из которого согнут виток,

$$d = \sqrt{\frac{11,8 \cdot 4}{3,14}} = 3,8 \text{ мм.}$$

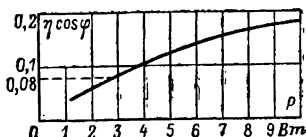
4-12. РАСЧЕТ ОДНОФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ПУСКОВОЙ ОБМОТКОЙ

Как было сказано в гл. 3, магнитное поле асинхронного однофазного электродвигателя можно разложить на прямое и обратное поля, вращающиеся в противоположные стороны. Ротор пересекает эти поля с разными скоростями, поэтому расчет однофазных электродвигателей содержит сложные формулы, основанные на высшей математике. В этой главе приводятся упрощенные методы расчета однофазных асинхронных электродвигателей, которые дают достаточную точность для расчета

и изготовления самодельных электродвигателей мощностью до 10 Вт.

В начале расчета задаемся номинальными данными электродвигателя: мощность P , Вт, напряжение U , В, и частота вращения n , об/мин. Здесь приводятся формулы и пример расчета двухполюсных электродвигателей с синхронной частотой вращения 3000 об/мин, работающих от сети переменного тока 127 В. Учитывая падение

Рис. 4-9. График для определения $\eta \cos \varphi$ асинхронных однофазных электродвигателей.



напряжения в линии, расчет ведется на напряжение 120 В.

Расчетная мощность электродвигателя, В·А,

$$P_{\text{я}} = \frac{P}{\eta \cos \varphi}. \quad (4-33)$$

Произведение $\eta \cos \varphi$ для однофазных электродвигателей с отключаемой пусковой обмоткой берется по кривой рис. 4-9.

Внешний диаметр статора, м,

$$D_{\text{ст}} = 10^{-2} \sqrt[3]{14P_{\text{я}}}. \quad (4-34)$$

Внутренний диаметр статора, м,

$$D = 0,55D_{\text{ст}}. \quad (4-35)$$

Длина статора

$$l = D.$$

Полюсное деление, м,

$$\tau = 3,14D/2.$$

Магнитную индукцию в воздушном зазоре B принимаем по кривой рис. 4-3.

Магнитный поток, Вб, определяем по (4-7):

$$\Phi = \alpha B \tau l.$$

Для однофазных электродвигателей значение α можно брать равным 0,72.

Число пазов статора для электродвигателей с отключаемой пусковой обмоткой выбирают кратным шести. Для электродвигателей мощностью до 10 Вт можно взять 12 пазов статора. Из них 8 пазов будут заняты рабочей обмоткой, а 4 — пусковой. Для электродвигателей большей мощности берут 18 пазов. Из них 12 пазов занимает рабочая обмотка и 6 пазов — пусковая.

Число витков рабочей обмотки

$$\omega_p = \frac{U}{250\Phi}. \quad (4-36)$$

Число проводников в пазу рабочей обмотки

$$N_z = 2\omega_p/Z_p, \quad (4-37)$$

где Z_p — число пазов, занимаемых рабочей обмоткой. Ток, A , в рабочей обмотке

$$I = P_a/U. \quad (4-38)$$

Сечение провода, мм^2 , рабочей обмотки

$$s = I/\Delta.$$

Диаметр провода и толщину изоляции берем по табл. 4-1 и 4-2. Размеры пазов определяют аналогично расчету пазов электродвигателей постоянного тока.

Пусковая обмотка занимает $1/3$ пазов статора. Число витков пусковой обмотки зависит от того, какой элемент включается при пуске последовательно с пусковой обмоткой. Если в качестве пускового элемента служит активное сопротивление, то число витков пусковой обмотки берут в 3—4 раза меньше числа витков рабочей обмотки. Но она занимает в 2 раза меньше пазов. Следовательно, в каждом пазу будет в 1,5—2 раза меньше проводников, чем в пазу рабочей обмотки. Диаметр провода для пусковой обмотки можно взять меньше, чем для рабочей обмотки, так как пусковая обмотка включается на короткий промежуток времени. Если в качестве пускового элемента применяется конденсатор, то число витков пусковой обмотки берут равным числу витков рабочей обмотки. А так как она занимает в 2 раза меньше пазов, то в каждом пазу пусковой обмотки будет в 2 раза больше проводников, чем в пазу рабочей обмотки. Поэтому сечение провода пусковой обмотки надо взять в 2 раза меньше. Схема обмотки составляется по § 3-6.

Число пазов ротора выбирают в зависимости от числа пазов статора. При 12 пазах статора можно взять

9 пазов ротора, при 18 пазах статора — 15 пазов ротора. Диаметр паза ротора выбирается из расчета, чтобы общее сечение стержней ротора было в 1,5—2 раза больше общего сечения проводников рабочей обмотки статора. В пазы ротора забивают медные стержни, которые припаивают к замыкающим кольцам на торцах ротора. Сечение замыкающего кольца должно быть примерно втрое больше сечения стержня.

Пусковой момент электродвигателя зависит от сопротивления обмотки ротора. Поэтому для электродвигателей с большим пусковым моментом следует стержни ротора делать из латуни или бронзы.

Воздушный зазор между статором и ротором в асинхронных электродвигателях следует брать по возможности меньшим, чтобы только ротор не задевал за статор. Чем больше зазор, тем больший ток потребуется для создания магнитного потока. В электродвигателях заводского изготовления зазор берут 0,25 мм на сторону. В самодельных электродвигателях при таком малом зазоре возможно задевание ротора за статор. Поэтому зазор приходится брать 0,3 или даже 0,4 мм.

Активное сопротивление или емкость конденсатора, применяемые в качестве пусковых элементов, рекомендуется подобрать опытным путем при испытаниях изготовленного электродвигателя. По опыту изготовленных электродвигателей активное пусковое сопротивление примерно вдвое больше сопротивления пусковой обмотки.

Сопротивление пусковой обмотки можно определить следующим образом. Средняя длина витка пусковой обмотки приблизительно равна четырехкратной длине статора. Развернутую длину обмотки можно узнать, умножив длину среднего витка на число витков. Сопротивление обмотки можно определить по табл. 4-1, в которой указано сопротивление 100 м провода.

Емкость пускового конденсатора для электродвигателя при напряжении 120 В должна быть порядка 3—10 мкФ. Следует иметь в виду, что на зажимах конденсатора образуется напряжение, значительно превосходящее напряжение осветительной сети. Поэтому при конденсаторном пуске электродвигателя надо принимать меры предосторожности. Зажимы конденсатора нельзя оставлять открытыми. Конденсаторы надо выбирать на тройное напряжение электродвигателя во избежание их пробоя. Конденсаторы целесообразно применять только

для электродвигателей, работающих от осветительной сети. При понижении напряжения необходимая емкость конденсатора повышается квадратично. Поэтому для электродвигателей напряжением 12 В пришлось бы взять конденсаторы огромной емкости.

4-13. ПРИМЕР РАСЧЕТА ОДНОФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ПУСКОВОЙ ОБМОТКОЙ

Номинальные данные: мощность 3 Вт, напряжение 120 В, частота вращения (синхронная) 3000 об/мин, работа электродвигателя повторно-кратковременная при продолжительности включения 25%, По кривой рис. 4-9 произведение $\eta \cos \phi = 0,08$.

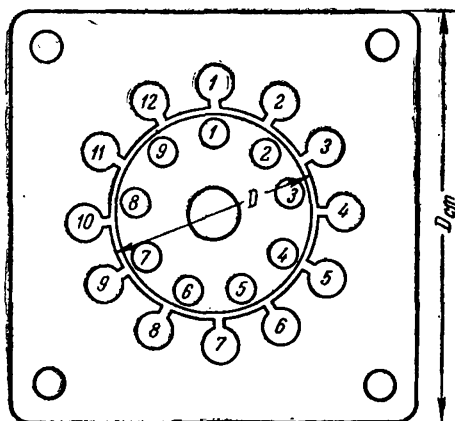


Рис. 4-10. Лист статора.

Расчетная мощность электродвигателя определяется по (4-33):

$$P_{\text{я}} = 3/0,08 = 37 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Наружный диаметр статора определяется по (4-34):

$$D_{\text{ст}} = 10^{-2} \cdot \sqrt[3]{14 \cdot 37} = 0,08 \text{ м}.$$

Для упрощения изготовления возьмем форму статора в виде квадрата (рис. 4-10).

Внутренний диаметр статора определяется по (4-35):

$$D = 0,55 \cdot 0,08 = 0,044 \text{ м}.$$

Длина статора

$$l = 0,044 \cdot 1 = 0,044 \text{ м}.$$

Полюсное деление

$$\tau = 3,14 \cdot 0,044/2 = 0,069 \text{ м}.$$

Магнитная индукция в воздушном зазоре по кривой рис. 4-3 должна быть взята 0,2 Т.

Магнитный поток

$$\Phi = 0,72 \cdot 0,2 \cdot 0,069 \cdot 0,044 \approx 0,00045 \text{ Вб.}$$

Число пазов статора выбираем 12, из них для рабочей обмотки $Z_p = 8$ и для пусковой $Z_n = 4$.

Число витков рабочей обмотки определяется по (4-36):

$$w_p = \frac{120}{250 \cdot 0,00045} = 1060.$$

Число проводников в пазу рабочей обмотки определяется по (4-37):

$$N_z = \frac{2 \cdot 1060}{8} = 266.$$

Ток в рабочей обмотке определяется по (4-38):

$$I = 37/120 = 0,31 \text{ А.}$$

Примем плотность тока $\Delta = 10 \text{ А/мм}^2$.

Сечение провода

$$s = 0,31/10 = 0,031 \text{ мм}^2.$$

По табл. 4-1 этому сечению соответствует диаметр провода 0,2 мм. Возьмем провод марки ПЭЛ, для которого двусторонняя толщина изоляции по табл. 4-2 составляет 0,025 мм. Диаметр изолированного провода

$$d_{из} = 0,2 + 0,025 = 0,225 \text{ мм.}$$

Примем коэффициент заполнения паза $k_a = 0,4$.

Площадь паза, занимаемая проводниками обмотки, определяется по (4-9):

$$S = \frac{0,225^2 \cdot 266}{0,4} = 33,6 \text{ мм}^2.$$

Диаметр паза

$$d = 1,13 \sqrt{33,6} \approx 6,5 \text{ мм.}$$

Диаметр окружности, на которой расположены центры пазов:

$$D_n = 44 + 6,5 + 1 = 51,5 \text{ мм.}$$

Расстояние между осями соседних пазов

$$t = \frac{3,14 \cdot 51,5}{12} = 13,5 \text{ мм.}$$

Толщина зубца в узком месте

$$b_z = 13,5 - 6,5 = 7 \text{ мм.}$$

Прорезь паза

$$a = 0,225 + 1 = 1,225 \text{ мм, округляем до } 1,2 \text{ мм.}$$

Воздушный зазор принимаем равным 0,3 мм на сторону.

Диаметр ротора

$$D_p = 44 - 2 \cdot 0,3 = 43,4 \text{ мм.}$$

Число пазов ротора принимаем равным 9.
Общее сечение меди в пазах рабочей обмотки статора

$$0,031 \cdot 266 \cdot 8 = 66 \text{ мм}^2,$$

Общее сечение меди в пазах ротора

$$66 \cdot 1,5 = 99 \text{ мм}^2.$$

Сечение стержня ротора

$$99 : 9 = 11 \text{ мм}^2.$$

Диаметр стержня ротора

$$d_{\text{ст}} = 1,13 \sqrt{11} = 3,8 \text{ мм.}$$

Диаметр паза ротора с припуском на забивку стержней

$$d_{\text{п}} = 3,8 + 0,2 = 4 \text{ мм.}$$

Диаметр окружности, на которой расположены центры пазов ротора:

$$D_{\text{п}} = 43,4 - (4 + 1) = 38,4 \text{ мм.}$$

Расстояние между соседними пазами

$$t = \frac{3,14 \cdot 38,4}{9} = 13,4 \text{ мм.}$$

Толщина зубца в узком месте

$$b_z = 13,4 - 4 = 9,4 \text{ мм.}$$

Скос паза на одно пазовое деление статора, т. е. на 30° .

4-14. РАСЧЕТ КОНДЕНСАТОРНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Расчет конденсаторного электродвигателя имеет некоторые особенности по сравнению с расчетом электродвигателя с пусковыми обмотками. У конденсаторного электродвигателя обе обмотки остаются все время включенными.

При определении расчетной мощности произведение $\eta \cos \phi$ для конденсаторного электродвигателя берут равным 0,5. Для получения симметричной обмотки число пазов статора берут кратным восьми. Половину пазов занимает рабочая обмотка, а другую половину — вспомогательная обмотка. На рис. 3-13 показана схема обмотки статора конденсаторного электродвигателя. Сплошными линиями показаны катушки рабочей обмотки, а пунктирными — катушки вспомогательной обмотки. Обе обмотки можно выполнить совершенно одинаковыми, т. е. из одного и того же провода с одинаковым числом витков.

Ток в каждой обмотке определяется по формуле

$$I = P_{\text{я}} / 2U.$$

В остальном расчет конденсаторного электродвигателя аналогичен расчету электродвигателя с пусковыми обмотками.

Конденсаторный электродвигатель может быть выполнен как с короткозамкнутой обмоткой ротора, так и с массивным ротором. В качестве пускового элемента обычно применяется второй конденсатор. Емкость пускового конденсатора примерно в 3 раза больше емкости рабочего конденсатора в цепи вспомогательной обмотки.

ГЛАВА ПЯТАЯ

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

5-1. КОНСТРУКТОРСКАЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА

После расчета электродвигателя определились все основные размеры активных частей. Но кроме активных частей у каждого электродвигателя есть еще конструктивные элементы, к которым относятся: вал, крышки, подшипники, щеткодержатели, дощечки зажимов и др. При одних и тех же расчетных данных формы исполнения электродвигателя могут быть различными. Создание формы электродвигателя называется конструкцией электродвигателя.

На электромашиностроительных заводах конструкторская подготовка проводится в конструкторском отделе. Расчеты выполняют расчетчики, а чертежи — конструкторы. С помощью чертежей мысли конструктора передаются исполнителям, работающим в цехах. Чертежи выполняются для каждой детали, для сборочных единиц и, наконец, для всего электродвигателя в собранном виде. В чертежах указано все, что должно быть необходимо для изготовления: материал и размеры деталей, точность, с какой деталь должна быть изготовлена, расположение соединяемых деталей, обработка деталей, требования к готовому электродвигателю.

Но для производства электродвигателей одних чертежей еще недостаточно. По одному и тому же чертежу деталь может быть изготовлена на различных станках,

разными инструментами, с неодинаковой последовательностью выполнения отдельных операций. Способы изготовления деталей и сборка их в изделие называются технологией, которая разрабатывается технологами. Они составляют на каждую деталь технологическую карту, в которой указано, на каком станке деталь надо обрабатывать, какими пользоваться инструментами и приспособлениями, с какой скоростью должны вращаться деталь или инструменты при обработке и передвигаться резец, снимающий стружку, как проверить размеры детали и сколько времени потребуется на ее изготовление. Кроме технологических карт, технологи-конструкторы разрабатывают специальные приспособления и инструменты, которые обеспечивают быстрое выполнение и высокое качество деталей. Эти инструменты и приспособления называются технологической оснасткой.

От технологии зависят два основных показателя производства: производительность труда и качество выпускаемой продукции. О технологии надо думать еще при конструировании электродвигателя. Например, если зубцы статора или ротора выбрать очень тонкими, то они будут ломаться; если слишком мал воздушный зазор, ротор при вращении будет задевать за статор; если взять очень большой коэффициент заполнения паза проводниками, то обмотку трудно укладывать в пазы, а изоляция их повреждается.

Чем больше количество выпускаемых изделий, тем большие возможности открываются для повышения производительности труда за счет специального высокопроизводительного оборудования, какими являются, например, автоматические поточные линии станков. Каждый станок линии выполняет одну операцию обработки без участия рабочего. Передача деталей с одного станка на другой также производится автоматически. Таким образом, заготовка, пройдя ряд операций на нескольких станках, превращается в готовую деталь. Контроль размеров детали также выполняется автоматически, причем если размеры деталей получаются неправильными, то автоматический контролер остановит всю линию и подаст сигнал. Роль наладчика, обслуживающего автоматическую линию станков, заключается в настройке ее на заданные операции, наблюдении за работой и устранении возникающих неполадок.

Раньше пригонка двух соединяемых деталей произво-

дилась при обработке их на станках. Сначала рабочий обрабатывал вал, а потом пригонял к нему размеры насаживаемой на вал втулки с требуемой плотностью посадки. При таком способе производства втулка подходила только к одному валу.

В современном производстве детали, изготовленные на разных станках, попадают в сборку и подходят одна к другой без подбора и дополнительной обработки. Это называется взаимозаменяемостью деталей. Взаимозаменяемость достигается за счет того, что все детали в обрабатываемой партии имеют отклонения размеров в пределах определенных допусков. Эти допуски выражаются в тысячных долях миллиметра. Взаимозаменяемость деталей имеет очень важное значение при производстве различных изделий. Без нее невозможно было бы массовое производство.

Если требуется неподвижное соединение втулки с валом, то допуски на изготовление подбирают так, чтобы отверстие во втулке при всех отклонениях размеров было меньше диаметра вала, на который при сборке насаживается эта втулка. Тогда между валом и втулкой будет натяг. Втулка на вал надевается сильным давлением пресса, при котором вал сжимается, а втулка растягивается, чем и обеспечивается неподвижное соединение. При плотных, но разборных посадках допуски на изготовление деталей выбирают с меньшим натягом. Наконец, если требуется свободное вращение вала во втулке, отверстие во втулке делают больше диаметра вала и между ними получается зазор.

Ниже описаны способы изготовления отдельных деталей и составных частей самодельных электродвигателей. Описано устройство специальных приспособлений, без которых невозможно сделать хороший электродвигатель.

5-2. СЕРДЕЧНИКИ СТАТОРА

Сердечник статора является основной деталью, которая определяет конструкцию электродвигателя и технологию его изготовления. На заводах электропромышленности сердечники статора и ротора собирают из штампованных листов электротехнической стали. При массовом производстве ежедневно требуется наштамповать несколько десятков тысяч листов. Все листы должны быть одинаковых размеров, чтобы после сборки контуры

сердечников получались гладкими. Массовое производство деталей из листового материала выполняется методами холодной штамповки. Для этого листы электротехнической стали разрезают на полосы и пропускают их через сложные штампы, установленные на эксцентриковых прессах. Эти прессы работают с огромной производительностью до 600 и более ударов в минуту, готовые детали собираются на штанги и передаются на прессовку сердечников.

При изготовлении самодельного электродвигателя можно обойтись простейшим штампом, который можно сделать в любой механической мастерской. Этим штампом можно вырубить контур листа статора, а круглые отверстия просверлить в спрессованном сердечнике на сверлильном станке.

Рассмотрим процесс изготовления сердечника статора П-образной формы (рис. 2-7). Предварительно на рычажных ножницах надо нарезать прямоугольники по размерам наружного контура статора. В качестве материала надо взять электротехническую сталь толщиной 0,5 мм. В крайнем случае можно применить обыкновенное кровельное железо, но при этом следует при расчете снизить индукцию в сердечнике примерно на 20% во избежание больших потерь на вихревые токи и перемагничивание.

В каждом листе надо просверлить отверстие, диаметр которого должен быть равен диаметру вала электродвигателя. Затем надо в листах прорубить отверстие диаметром внутренней окружности статора. Для этого требуется изготовить простой штамп, показанный на рис. 5-1. Он состоит из матрицы 1, направляющей пластины 2, пуансона 3, двух прокладок 4 и скрепляющих винтов 5. Матрицу и пуансон можно сделать из инструментальной стали марок У8 или У10. Отверстие в матрице протачивают ступенчатым, чтобы вырубка и пуансон свободно через него проваливались.

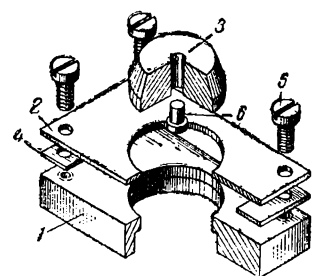


Рис. 5-1. Штамп для выруб-
ки отверстия в листе стато-
ра.

Чтобы отверстия в матрице и направляющей пластине совпадали, их растачивают вместе. Нижняя часть пуансона цилиндрическая, а верхняя снята на конус. В центре пуансона просверлено отверстие на 1—2 мм меньше диаметра вала. В него забивают штифт 6, который при штамповке плотно входит в отверстие в листе статора. После изготовления штампа, до того как вставить штифт 6, пуансон необходимо закалить и торцевую

поверхность его шлифовать. Цилиндрическая часть пуансона должна с небольшим зазором входить в отверстия матрицы и направляющей планки. Такие штампы применяют на электромашиностроительных заводах при изготовлении первых образцов электродвигателей.

Штамп устанавливают на столе рычажного или винтового прессы. На матрицу кладут заготовку листа статора, вдвигая ее между прокладками 4. В отверстие в направляющей планке 2 вставляют пуансон, так чтобы его штифт вошел в отверстие для вала в листе статора. Затем надавливают прессом на торец пуансона и он вырубает кружок в листе статора, проваливаясь вместе с ним в отверстие матрицы.

При штамповке края отверстий в листах могут загибаться в сторону пуансона, особенно при большом зазоре между отверстием в матрице и пуансоном. Эти загибы, называемые заусенцами, при сборке сердечника будут замыкать соседние листы, и в них возникнут большие потери от вихревых токов. Поэтому перед сборкой сердечника заусенцы надо снять напильником или на точильном камне.

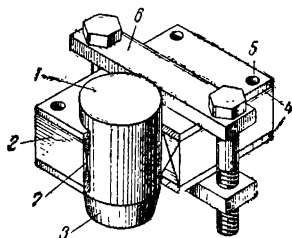


Рис. 5-2. Сборка пакета статора на оправку.

Для сборки сердечника статора надо заготовить цилиндрическую оправку 1 (рис. 5-2) с диаметром, равным отверстию в листах, и длиной на 10—15 мм больше толщины пакета статора 2. Один конец оправки надо сделать с небольшим конусом 3. Для стягивания листов статора надо выпилить две боковины 4 из листовой стали толщиной 3—4 мм. В них должны быть расточены отверстия такого же диаметра, как в листах. На одной из боковин надо разместить контур выреза в листах для катушки и четыре отверстия 5 для крепления пакета статора.

Теперь листы надо покрыть с обеих сторон тонким слоем клея БФ-2 и просушить до отлипания. Затем нанести второй слой клея, слегка подсушить и собрать их на оправку. С обеих сторон установить боковины, проложив между ними и пакетом листы бумаги во избежание прилипания. После этого пакет листов надо зажать в струбцину 6 и просверлить четыре отверстия 5 по разметке на боковине. Теперь можно выбить оправку и положить пакет в печь или духовку с температурой 100—150°С на 2 ч. После запекания пакет превращается в монолитную конструкцию. По разметке на верхней боковине надо выпилить контур внутреннего окна в листах

и перемычку 7 между полюсами. С наружной поверхности напильником или шабером снять все неровности и сгустки клея. После этого можно снять боковины и струбцину 6.

Если пакет статора предназначен для двигателя с витком на полюсе (рис. 3-5), то перед снятием боковин надо просверлить два отверстия для витка и сделать пропилы в полюсной дуге. Ввиду того, что у асинхронных электродвигателей зазор между статором и ротором очень мал, надо после запечки тщательно очистить поверхности полюсных дуг от наплывов клея.

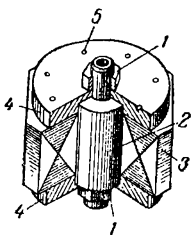


Рис. 5-3. Сборка пакета круглых листов статора на оправку.

Сердечники статора с равномерно распределенными пазы (рис. 4-10) выполняются аналогично предыдущему. На верхней боковине должны быть размечены пазы статора. Их сверлят после запечки пакета и затем пропиливают прорези для вкладывания в пазы проводников обмотки. Если пазы имеют не круглую, а грушевидную форму (рис. 3-6), то их высверливают двумя сверлами, а перемычки выпиливают напильниками.

В некоторых конструкциях сердечник статора вставляется в цилиндрический корпус и листы статора должны быть круглыми.

В этом случае отверстий для стягивающих винтов в листах нет. После сборки пакета вместе с боковинами 4 его стягивают гайками 1, накрученными на резьбовые концы оправки 2 (рис 5-3). Пакеты запекают с оправкой и на этой же оправке обтачивают наружную поверхность статора и сверлят пазы 5. Заготовки листов 3 нарезают не квадратной, а восьмигранной формы.

5-3. СЕРДЕЧНИКИ РОТОРА И ЯКОРЯ

Сердечники ротора и якоря собирают из кружков, которые получают при штамповке листов статора. Они могут быть с прямыми или скошенными пазы. Форму паза выбирают круглой для упрощения изготовления.

Кружки надевают на цилиндрическую оправку 3 с двумя нарезанными концами (рис. 5-4). Пакет на оправке зажимается гайками между двумя боковинами 2 толщиной 3—4 мм. На верхней боковине размечают пазы 4.

Перед сборкой на оправке листы обезжиривают в бензине, покрывают с обеих сторон клеем БФ-2 и просушивают. Затем вторично

покрывают тонким слоем клея и набирают на оправку 3, на концы оправки надевают боковины и зажимают гайками. В якорях коллекторных машин по торцам сердечника кладут листы из текстолита. Сердечник запекают в печи или духовке при температуре 100—150° С в течение 2 ч. Затем дают им остыть и сверлят пазы. Ножовкой прорезают прорезы 5 для вкладывания проводников обмотки якоря. В роторах асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором эти прорезы нужны для улучшения характеристики электродвигателя.

Затем выбивают оправку из сердечника, отвернув одну из гаек 1. В отверстие сердечника впрессовывают заготовку вала с центровыми отверстиями. Ротор ставят на токарный станок и протачивают наружную поверхность сердечника и концы вала под подшипники. При такой технологии не может быть биения ротора при вращении его в подшипниках.

При скошенной форме паза технология изготовления ротора должна быть иная. Кружки набирают на оправку 3 (рис. 5-4), надевают боковины 2 и стягивают сердечник гайками 1. Затем просверливают пазы 4, прорезают ножовкой прорезы пазов 5 и пропиливают ножовкой канавку 6 так, чтобы она была расположена не по середине коронки зубца, а сдвинута в одну сторону. Эта канавка называется знаком для сборки листов (назначение ее будет ясно из дальнейшего).

После этого надо отвернуть гайки 1 и снять листы с оправки. Затем листы промывают в бензине, покрывают клеем БФ-2 с обеих сторон и высушивают. Вторично покрывают листы тонким слоем клея БФ-2, подсушивают, собирают на оправку так, чтобы знаки 6 во всех листах и в боковинах совпадали. В два противоположных паза вставляют круглые стержни диаметром на 0,5 мм меньше диаметра паза и сердечник закручивают на величину скоса паза. После этого сердечник затягивают гайками и вынимают стержни из пазов. Пакет подвергают выпечке, выбивают оправку и впрессовывают на ее место заготовку для вала. Обтачивают наружную поверхность ротора и концы вала.

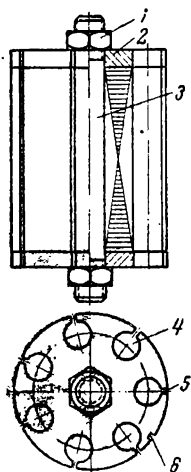


Рис. 5-4. Сборка пакета ротора на оправку.

При изготовлении сердечников ротора и якоря необходимо учитывать разные условия их работы в электродвигателях. Якоря коллекторных машин перемагничиваются с частотой, определяемой по (2-3). При больших частотах вращения, например в электродвигателе пылесоса при частоте вращения 12 400 об/мин, частота перемагничивания составляет свыше 200 Гц. Поэтому для снижения магнитных потерь необходимо применять толь-

ко электротехническую сталь, тщательно изолировать листы один от другого. Роторы асинхронных электродвигателей имеют частоту скольжения около 2,5 Гц и не нуждаются в тщательном изготовлении. Изготовление обмоток короткозамкнутых роторов ясно из рис. 3-3.

5-4. КОЛЛЕКТОРЫ

Коллектор является одной из самых сложных частей электродвигателя. От работы коллектора зависят исправная работа и долговечность коллекторного электродвигателя. Коллекторы применяются в электродвигателях постоянного тока и коллекторных однофазных электродвигателях переменного тока.

В электрических машинах малой мощности заводского изготовления применяются коллекторы на пластмассе (рис. 5-5). Для изготовления коллектора берут профилированную полосу меди трапецеидального сечения и режут её на куски с припуском на обработку торцов коллектора. Затем

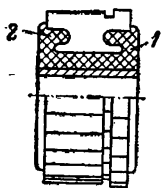


Рис. 5-5.
Коллектор
на пласт-
массе.

нарезанные куски коллекторной меди правят на плите и собирают в кольцо, прокладывая между соседними пластинами прокладки из специального коллекторного миканита, склеенного из чешуек слюды. После сборки коллекторные пластины запрессовывают в стальное кольцо. Для получения монолитного коллектора пластины затем перепрессовывают во второе кольцо меньшего диаметра. После этого пластины с кольцом нагревают в печи, при этом лак, склеивающий миканитовые прокладки, размягчается и коллектор перепрессовывают в третье, еще более тесное кольцо.

На токарном станке протачивают торцы пластин и вытачивают клинообразные углубления 2 для заполнения их пластмассой. Кольцо с пластинами вкладывают в матрицу пресс-формы, нагретой до 180°С, засыпают отмеренную порцию пластмассы 1 и сдавливают ее пуансоном на гидравлическом прессе. Под действием давления и нагрева пластмасса переходит в твердое состояние, что обеспечивает монолитность и прочность коллектора. Вынув из пресс-формы коллектор, снимают с него прессовочное кольцо, надевают на оправку и протачивают наружную поверхность с припуском на окончательную обработку вместе с якорем. В выступающих частях пластин фрезеруют канавки для вкладывания проводов обмотки якоря и лудят их. Коллектор насаживают на вал после укладки в пазы обмотки и припаивают выводные концы обмотки к пластинам коллектора.

Коллекторы с пластинами, запрессованными в пластмассу, обладают высокой механической прочностью. Они выдерживают без повреждений частоту вращения 20 000 об/мин и более. Но изготовить такой коллектор

для самодельного электродвигателя невозможно из-за отсутствия соответствующего оборудования. Поэтому здесь будет рассказано об изготовлении цилиндрического и торцевого коллекторов из листовой меди с приклеенными пластинками. При тщательном изготовлении эти коллекторы могут работать при частотах вращения до 6 000 об/мин.

Для изготовления цилиндрического коллектора (рис. 5-6, а) надо выточить из текстолита втулку 1. Внут-

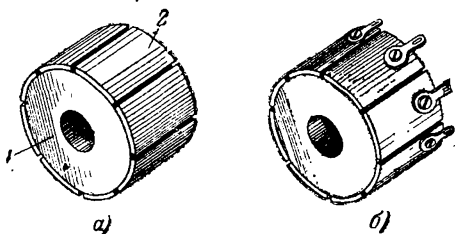


Рис. 5-6. Клееные коллекторы.

а — цилиндрический; б — цилиндрический с витами.

реннее отверстие втулки должно быть плотно пригнано по валу, а наружная поверхность обрабатывается на токарном станке на оправке, чтобы избежать биения ее при вращении. На наружную поверхность втулки клеим БФ-2 наклеивают медную гильзу 2. Лучше, если эту гильзу с толщиной стенки 1 мм сделать точеной, но можно сделать ее и из листовой меди толщиной 0,5—1 мм. Для этого надо вырезать заготовку соответствующей ширины и обогнуть ею втулку. Чтобы гильза плотнее прилежала к втулке, желательно ее прокальбровать.

Для калибровки вытачивают металлическое кольцо (рис. 5-7), внутренний диаметр которого равен наружному диаметру втулки плюс двойная толщина медной пластины. Кольцо должно иметь заходный конус. Втулку с гильзой обезжиривают промыванием в бензине, смазывают клеем БФ-2 по поверхности склеивания, запрессовывают в кольцо и запекают в духовке или в печи при температуре 100—150 °С. После запечки снимают прессовочное кольцо и разрезают гильзу ножовкой или фрезой на требуемое по конструкции электродвигателя число пластин.

Заусенцы, полученные при разрезании, надо аккуратно снять. Втулку коллектора насаживают на вал также на клею БФ-2 и припаивают концы обмотки якоря к пластинам коллектора. Во время пайки рекомендуется поверхность пластин обмотать проволокой, чтобы при нагревании паяльником они не отскочили от втулки.

Можно сделать коллектор с дополнительным механическим креплением пластин к втулке с помощью винтов. Для этого после приклейки и разметки коллекторных

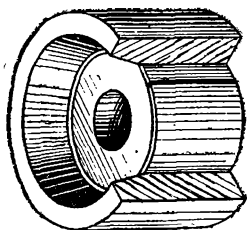


Рис. 5-7. Калибровочное кольцо.

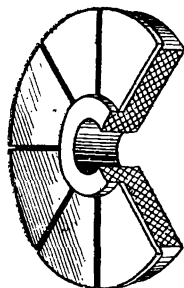


Рис. 5-8. Торцевой коллектор.

пластин в них просверливают вместе со втулкой отверстия под резьбу и метчиком нарезают резьбу в пластинах и втулке (рис. 5-6, б). В нарезанные отверстия ввертывают винты, подложив под их головки лепестки, в которые будут припаиваться провода обмотки. После ввинчивания винтов гильзу разрезают на отдельные пластины.

В электродвигателях с малым диаметром якоря лучше применить коллектор торцевого типа (рис. 5-8). Для изготовления торцевого коллектора надо выточить диск из текстолита или гетинакса и шайбу из листовой меди. Шайбу разрезают на секторы по числу коллекторных пластин, зачищают заусенцы и наклеивают секторы на диск клеем БФ-2.

Описанные здесь конструкции представляют собой лишь основные типы коллекторов. В практике встречается много разновидностей коллекторов, которые применяются в зависимости от имеющихся материалов и технологического оборудования.

Обмотки якоря машин средней и большой мощности выполняются из намотанных на специальных шаблонах секций, которые затем вкладывают в пазы якоря. У электродвигателей малой мощности удобнее выполнять обмотку, наматывая провод непосредственно в пазы якоря. При массовом производстве эта операция выполняется на автоматических обмоточных станках, которые производят все процессы намотки без участия рабочего. При серийном и единичном производстве намотку провода в пазы якоря производят вручную.

До начала обмотки пазы якоря надо изолировать. Для напряжения 12 В в качестве изоляции пазы можно применить пропитанную парафином плотную бумагу толщиной 0,1 мм в два слоя. Пропитка делается для того, чтобы бумажная прокладка не отсыревала при хранении электродвигателя в холодном помещении. Изолировать пазы удобнее длинной полосой бумаги, которой должно хватить на обертывание всей длины окружности якоря вместе с пазами. Ширина полосы должна быть на 2 мм больше длины якоря, включая и картонные прокладки на торцах якоря. Конец полосы 3 сгибают трубочкой, вдвигают в паз и зажимают деревянной палочкой 4 (рис. 5-9). Затем через зубец 2 переводят полосу во второй паз и вставляют в него вторую палочку. Вставляя изоляцию в третий паз, можно вынуть палочку из первого пазы.

Обойдя весь якорь, надо склеить начало и конец бумажной полосы. Выступающие из пазов концы бумажных трубочек надо примять пальцами к торцу якоря. На вал с обеих сторон необходимо надеть изоляционные трубочки длиной, равной половине диаметра якоря. Чтобы трубочки не сдвигались вдоль вала, их надо приклеить клеем к валу. Теперь проводники обмотки при укладке их на якорь будут изолированы и от торцов якоря и от вала.

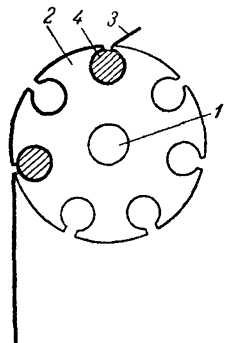


Рис. 5-9. Изолировка пазов.

1 — вал; 2 — лист ротора;
3 — полоса изоляции;
4 — палочка.

Здесь будет объяснен процесс обмотки якоря для электродвигателя, рассчитанного в § 4-7. Обмотку можно производить двумя способами.

Первый способ. Рассмотрим обмоточные данные якоря. Он имеет 7 пазов и 7 пластин коллектора. В каждом пазу должно быть по 88 проводов. Для обматывания берут якорь в левую руку, а правой обводят провод, сматываемый с катушки, вокруг якоря. Якорь дер-

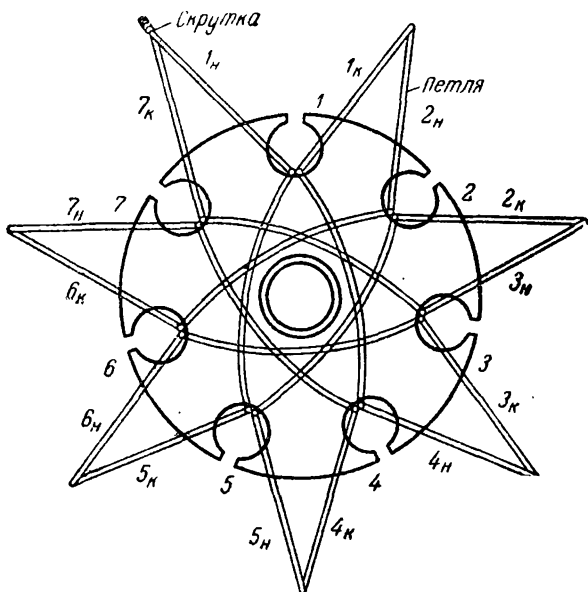


Рис. 5-10. Схема обмотки якоря.

жат к себе стороной коллектора. Обмотка производится без коллектора, так как он будет мешать укладке провода в пазы якоря.

Выпустите из первого паза конец провода длиной около 30 мм и прижмите его пальцем к торцу якоря. Намотайте 44 витка из паза 1 в паз 4 (рис. 5-10). Сделайте переход из паза 1 в паз 2 в виде петли длиной 30 мм. Намотайте из паза 2 в паз 5 также 44 витка в том же направлении намотки. Сделайте переход из паза 2 в паз 3 такой же петлей. Продолжайте намотку якоря из паза 3 в паз 6, тоже 44 витка. Затем намотка пойдет из паза 4 в паз 7. После намотки 44 витков паз 4

будет заполнен всеми 88 проводами, которые в нем должны лежать согласно расчетным данным.

После этого намотка переходит из паза 5 в паз 1, причем будут заполнены 88 проводами пазы 5 и 1. Не забывайте при каждом переходе оставлять петли для соединения обмотки с коллекторными пластинами. Последние 44 витка будут уложены в пазы 7 и 3, после чего конец обмотки из паза 7 надо скрутить с началом из паза 1, зачистив на них изоляцию. На этом обмотку якоря заканчивают.

Теперь насаживают на вал коллектор. Чтобы он не проворачивался на валу, внутреннее отверстие коллектора смазывают клеем БФ-2. После того как клей застынет, припаивают выведенные от обмотки петли проводов к коллекторным пластинам.

Чтобы под действием центробежной силы провода не отгибались, их смазывают при помощи кисти клеем БФ-2 и просушивают якорь в печи или духовке при температуре 100°C. Поверхность коллектора шлифуют стеклянной бумагой, снимая с него неровности, которые могли бы мешать работе щеток.

Второй способ. Намотка по первому способу хотя и проста, но имеет следующий недостаток. Первые витки прижимаются к торцам якоря, а последние пересекаются с ними и получаются более длинными. Поэтому если смотреть на торец якоря, то обмотка выглядит односторонней. Вследствие этого центр тяжести якоря смещается в сторону последних витков обмотки, что затрудняет балансировку. Намотка по второму способу несколько сложнее, но зато получается более симметричной. Этот способ называется намоткой «в елочку» (рис. 5-11).

Процесс обмотки якоря в елочку производится в такой последовательности. Выпустите из паза 1 конец провода *1н* длиной 30 мм и прижмите его пальцем к торцу якоря. Намотайте из паза 1 в паз 4 22 витка. Теперь уже нельзя делать соединения между пазами в виде петли, так как катушки наматываются не подряд. Поэтому надо отрезать конец провода *1к* от катушки, с которой он сматывается, и выпустить его из паза 4. Вторая катушка из паза 5 наматывается в паз 1, выводы ее обозначены *5н* и *5к*. Чтобы при соединении катушек не спутать выводные концы, надо укрепить на них картонные ярлычки с обозначениями, показанными на рисунке.

После намотки двух катушек паз 1 будет заполнен наполовину, а пазы 4 и 5 на одну четверть. Следующая катушка с выводами 2н и 2к наматывается из паз 2 в паз 5, а затем из паз 6 в паз 2 по 22 витка. После этого переходим к намотке катушек из паз 3 в паз 6 и из паз 7 в паз 3.

После того как все пазы будут заполнены проводниками наполовину, производят второй обход якоря, и тог-

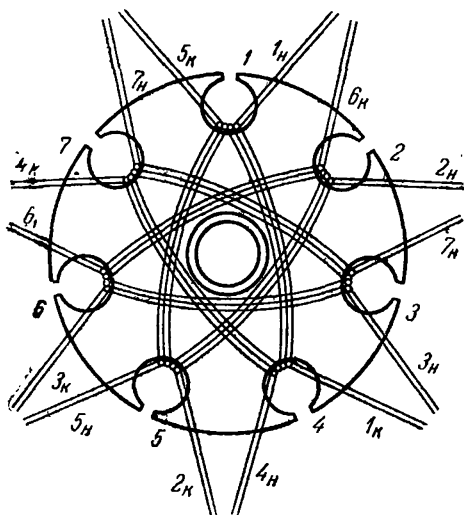


Рис. 5-11. Схема обмотки якоря «в елочку».

да все пазы будут заполнены проводниками полностью. После насадки на вал коллектора приступают к соединению выводов обмотки с коллекторными пластинами. Из 7 пазов выходят 14 выводов. Соединить их между собой и с коллектором надо в таком порядке:

1к	соединяется с 2н	и припаяется к коллекторной пластине 1
2к	»	» 3н » » » » 2
3к	»	» 4н » » » » 3
4к	»	» 5н » » » » 4
5к	»	» 6н » » » » 5
6к	»	» 7н » » » » 6
7к	»	» 1н » » » » 7

На рис. 5-12 показана схема обмотки якоря электродвигателя, изображенного на рис. 2-10. У этого электро-

двигателя число коллекторных пластин в два раза больше числа пазов. Поэтому из каждого паза выходят по два проводника, соединенных с двумя соседними пластинами коллектора.

Как видно из рис. 2-10, щетки установлены по вертикальной оси, перпендикулярной оси полюсов. Щетки должны быть установлены на пластинах коллектора, которые соединены с проводниками обмотки, находящими-

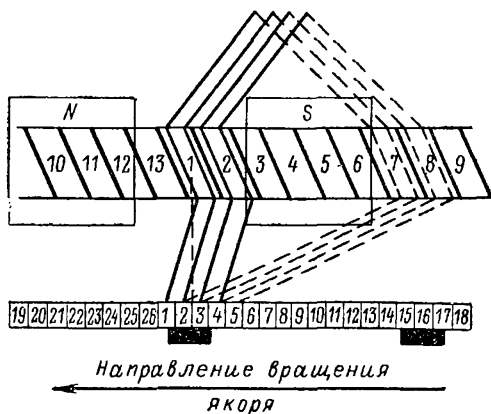


Рис. 5-12. Схема обмотки якоря.

ся в данный момент между полюсами. Поэтому выводные концы обмотки якоря расположены на якоре несимметрично. Левые выводные концы направлены из пазов в коллекторные пластины, расположенные против этих пазов, а правые выводные концы сдвинуты на одно полюсное деление. Паза якоря скошены, поэтому пунктирная линия проведена к коллектору от середины якоря.

При нагрузке электродвигателя магнитный поток сдвигается против направления вращения якоря. Чтобы снизить искрение на коллекторе, в крупных машинах с поворотной траверсой щеткодержателей, сдвигают щетки против направления вращения якоря на 1—2 коллекторные пластины. Но у электродвигателя на рис. 2-10 нет поворотной траверсы щеткодержателей. Поэтому вместо сдвига щеток по коллектору сдвинуты выводные концы обмотки якоря, но в противоположную сторону, т. е. по направлению вращения якоря. Поэтому пунк-

тирная линия от середины первого паза направлена не к первой коллекторной пластине, а к изоляционной прокладке между второй и третьей пластинами коллектора.

Если бы выводные концы якорной обмотки были расположены симметрично, то щетка стояла бы против середины полюса, т. е. против пазов 4 и 5.

5-6. ЩЕТКИ И ЩЕТКОДЕРЖАТЕЛИ

Щетки служат для передачи тока от вращающихся пластин коллектора к неподвижным частям электродвигателя и обратно. Надежно работают только пресованные щетки из графитовых и угольных порошков. Щетки в виде медных пластинок, прилегающих к пластинам коллектора, быстро перегорают сами и сильно изнашивают пластины коллектора.

Щетки бывают квадратного или прямоугольного сечения. Щетки требуемых размеров можно выпилить лобзиком или выточить из сработанных щеток более крупных электрических машин, которые после износа выбрасывают. Для некоторых электродвигателей и генераторов, например для автомобильных генераторов, электродвигателей пылесосов и т. п., запасные щетки продаются в магазинах. Для торцевого коллектора рабочую поверхность щетки, прилегающую к коллектору, надо притереть шкуркой. Сложнее обстоит дело при цилиндрическом коллекторе. У него рабочая поверхность щетки должна быть вогнутой. Этого можно добиться, если приставить ее к вращающемуся цилиндру с шероховатой поверхностью, диаметр которого равен диаметру коллектора. Обычно для этой цели применяют деревянный барабан, оклеенный стеклянной шкуркой мелких номеров.

Щетки должны прижиматься к коллектору. Для этого служат щеткодержатели. Щеткодержатель электродвигателя заводского изготовления (рис. 2-10) состоит из латунной втулки с квадратным отверстием, в которое вставлена щетка 9. Латунная втулка опрессована пластмассой 7, которая изолирует ее от корпуса электродвигателя 10. Над щеткой помещается спиральная пружина из тонкой проволоки. Сверху на трубку навинчен колпачок 5, который удерживает щетку и пружинку от выпадания из трубки. Щеткодержатель запрессовывается в стенку корпуса электродвигателя. В двухполюсном электродвигателе должны быть два щеткодержателя со щетками. Щеткодержатели должны быть изолированы друг от друга и от корпуса электродвигателя. Для отвода тока к щеткодержателю должен быть привинчен или припаян изолированный проводник.

Для самодельного электродвигателя можно предложить более простую конструкцию щеткодержателя, показанную на рис. 5-13. Щеткодержатель состоит из двух медных или латунных пластинок, из которых одна 1 — плоская, а другая 2 — изогнутая. Она и образует окно для щетки прямоугольного сечения. Щеткодержатели привинчены винтами 3 к траверсе 4, выточенной из гетинакса или текстолита. На один из винтов надета пружина 5, которая прижимает щетку к коллектору. Под головку другого винта зажимается провод, отводящий ток от щетки.

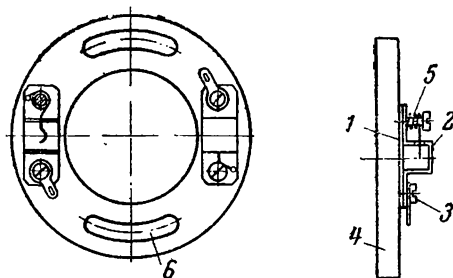


Рис. 5-13. Траверса со щеткодержателями.

жина 5, которая прижимает щетку к коллектору. Под головку другого винта зажимается провод, отводящий ток от щетки.

Траверса 4 прикрепляется двумя винтами к передней крышке электродвигателя. Для винтов сделаны продолговатые прорези 6. Благодаря этому при испытании электродвигателя можно передвигать щетки по окружности коллектора и наблюдать, в каком положении они будут меньше искрить. В этом положении траверсу закрепляют на крышке винтами.

5-7. БАЛАНСИРОВКА РОТОРОВ И ЯКОРЕЙ

Всякое тело вращается спокойно, если центр его тяжести лежит на оси вращения. Но при изготовлении ротора или якоря может получиться, что одна половина его тяжелее, чем другая. В якорях коллекторных электродвигателей это может произойти от неравномерного распределения проводов обмотки на торцах якоря, о чем уже было сказано в § 5-5. Но неравномерное распределение веса может произойти и оттого, что листы ротора имеют неодинаковую толщину в разных точках.

Во всех этих случаях центр тяжести ротора или якоря не будет совпадать с осью вращения. Если, например, центр тяжести смещен от оси вращения на 2 мм, то создастся центробежная сила, определяемая массой ротора, вращающегося по окружности радиусом 2 мм. Правда, окружность эта очень мала, но ротор обладает довольно большой массой и вращается со скоростью в несколько тысяч оборотов в минуту. Поэтому центробежная сила может во много раз превышать массу ротора. Эти силы при вращении будут толкать ротор в разные стороны и создавать большие нагрузки на подшипники электродвигателя. При вращении несбалансированного ротора электродвигатель сильно вибрирует.

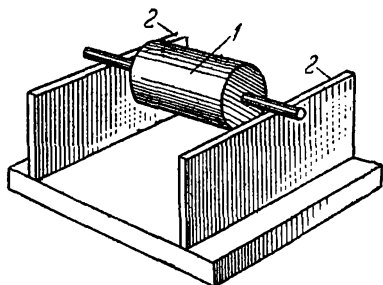


Рис. 5-14. Балансировка ротора.

Для устранения вибраций надо совместить центр тяжести ротора или якоря с осью вращения. Этот процесс называется балансировкой.

На заводах балансировка производится на сложных машинах. Балансировку роторов и якорей самодельных электродвигателей можно производить на простом приспособлении.

Установите строго горизонтально две стальные линейки 2 (рис. 5-14). Горизонтальность линеек можно проверить, положив на них ровное стекло, на котором находится стальной шарик. Если шарик в любом положении будет стоять спокойно, то значит плоскость линеек горизонтальна. Если шарик начнет перекачиваться, то надо выверить линейки, подкладывая кусочки бумаги с той стороны, в какую катится шарик. Еще точнее горизонтальность линеек можно выверить уровнем или ватерпасом, в котором воздушный пузырек перемещается в трубке и останавливается в ее середине, если корпус его лежит на горизонтальной плоскости. В выверенном положении линейки надо закрепить на дощечке.

Положите ротор 1 шейками вала на линейки 2, перекачивая его рукой, останавливайте в разных положениях. Если у ротора нет большого смещения центра тяжести, то он будет сохранять неподвижное состояние

в любом положении. Но обычно ротор начинает перека- тываться по линейкам. Он остановится тогда, когда центр его тяжести окажется в самой нижней точке. Если вывести его из этого положения, он снова в него вернет- ся; теперь определено, в какую сторону сместился центр тяжести. Возьмите кусочек медной полоски и забейте ее в верхнюю часть паза со стороны, противоположной смещению центра тяжести. После нескольких проб мож- но подобрать массу кусочка так, что ротор перестанет перека тываться по линейкам. К ротору асинхронного электродвигателя можно припаивать кусочки олова на замыкающее кольцо обмотки.

Может показаться странным, как маленький кусочек металла смог уравновесить смещение центра тяжести тяжелого якоря или ротора. Это объясняется тем, что смещение центра тяжести происходит на небольшую ве- личину, иногда на доли миллиметра. А грузик распо- ложен на расстоянии радиуса якоря или ротора. Таким образом, момент маленького грузика относительно оси вращения оказывается равным моменту ротора относи- тельно оси вращения.

5-8. ОБМОТКИ СТАТОРОВ

В этом параграфе описаны процессы обмотки стато- ров с сосредоточенной и распределенной обмотками. Процесс намотки катушки на статор П-образной формы начинается с изолировки сердечника. Для этого сред- нюю часть статора надо обернуть несколькими слоями пропарафиненной бумаги 1 так, чтобы общая толщина изоляции была не менее 1 мм (рис. 5-15). Затем из плотного картона надо вырезать фланцы 2, внутреннее отверстие которых должно иметь размеры сторон на 2 мм больше сторон изолированной части сердечника. С одной стороны, фланцы имеют сквозной прорез *аб*, чтобы их можно было надеть на сердечник статора. В од- ном фланце шилом надо проколоть отверстие 3 для вы- вода проводника от начала катушки. Намотку катушки следует производить правильными рядами, виток к вит- ку, передвигаясь от одного фланца к другому и обратно. По окончании намотки конец катушки надо вывести че- рез отверстие в другом фланце. Для напряжения 12 В, на которое изготавливаются коллекторные электродвига- тели, катушка имеет небольшое число витков и намотка ее вручную не представляет трудностей.

Асинхронные электродвигатели обычно рассчитывают на питание непосредственно от осветительной сети. Обмотка должна состоять из большого числа витков, особенно при напряжении осветительной сети 220 В. Намотку катушки тонким проводом невозможно выполнить ровно, обводя рукой с проводом вокруг статора: ее надо делать на простом приспособлении, которое легко изготовить самим (рис. 5-16).

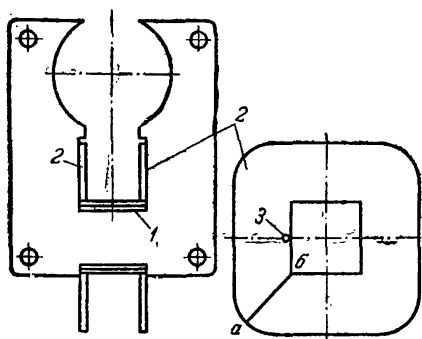


Рис. 5-15. Изолировка статора под обмотку.

1 — слой бумаги, 2 — фланец; 3 — отверстие для выводов.

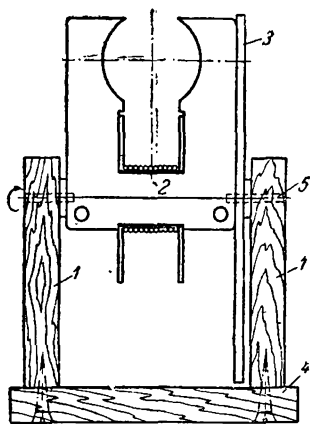


Рис. 5-16. Приспособление для намотки катушки.

1 — стойка; 2 — статор; 3 — диск из фанеры; 4 — основание приспособления; 5 — штифты.

Оно состоит из двух стоек 1, между ними находятся штифты 5, для которых в сердечнике статора надо засверлить отверстия глубиной 3—5 мм. Для удобства вращения статора рукой к нему прикреплен диск 3, выпиленный из фанеры. Высота стоек должна быть такой, чтобы самая удаленная от оси вращения точка статора не задевала за основание приспособления.

Для повышения надежности выводов катушки сначала надо провод сложить в виде петли в четыре проволоки, в месте ответвления петли зачистить изоляцию провода и все четыре проволоки туго скрутить. Тогда при обрыве одной из проволок другие будут служить проводниками. Надо обогнуть петлей вокруг статора 1—2 раза и затем уже намотать обмотку в одну проволоку. Вывод от начала катушки пропускается через отверстие во фланце и изолируется при помощи чулочка

из лакированной ткани или хлорвинила. При намотке катушки через каждые три-четыре ряда надо прокладывать полоски из папиросной бумаги для повышения надежности изоляции. После намотки каждой сотни витков полезно обогнуть провод бумажным ярлычком с обозначением номера сотни. Это избавит от необходимости разматывать всю катушку, если при намотке сблизь со счета витков.

Гораздо сложнее выполнение распределенной обмотки электродвигателя с встроенным пусковым сопротивлением. На рис. 3-14 представлена схема концентрической обмотки статора однофазного электродвигателя с встроенным сопротивлением со следующими данными: число пазов $Z=24$, число полюсов $2p=4$.

Рассчитаем число пазов, занимаемых каждой обмоткой. Рабочая обмотка занимает $(2/3) \cdot 24 = 16$ пазов, а пусковая $(1/3) \cdot 24 = 8$ пазов. Для определения шага рабочей и пусковой обмотки надо знать число пазов на полюс для каждой обмотки. У рабочей обмотки число пазов на полюс $16/4 = 4$, у пусковой обмотки $8/4 = 2$. Следовательно, сторона катушки рабочей обмотки занимает два паза, а пусковой обмотки один паз. Шаги обмоток надо выбрать такими, чтобы внутри катушки рабочей обмотки оставалось два свободных паза для размещения двух сторон катушек пусковой обмотки, а внутри катушки пусковой обмотки оставалось четыре свободных паза для размещения двух сторон катушек рабочей обмотки.

Для лучшего усвоения схем обмоток рекомендуется самостоятельно построить схему обмотки, показанную на рис. 3-14. На листе миллиметровой бумаги проведем 24 вертикальные черточки и пронумеруем их слева направо. Если согнуть лист бумаги в цилиндр так, чтобы изображение схемы было внутри него, то порядковые номера пазов будут читаться против часовой стрелки. Укладывать катушки можно как по часовой стрелке так и против.

Сначала изобразим катушки рабочей обмотки. Первая катушка охватывает пазы 3 и 4 и вкладывается в пазы 1, 2, 5 и 6. Вторая катушка должна лежать рядом с первой, т. е. в пазах 7, 8, 11 и 12. Третья катушка — в пазах 13, 14, 17 и 18, а четвертая — в пазах 19, 20, 23 и 24. Начало рабочей обмотки возьмем из второго паза. Если ток направлен в обмотку от зажима $C1$, то он бу-

дет обтекать первую катушку против часовой стрелки. Чтобы во второй катушке была другая полярность, ток должен обтекать ее по часовой стрелке. В третьей катушке направление тока должно быть таким же, как в первой, а в четвертой таким же, как во второй. Соответственно надо произвести соединения между катушками. Конец рабочей обмотки выйдет из девятнадцатого паза.

Обмотки однофазных электродвигателей обычно выполняют без паек схемы. Для этого всю рабочую обмотку наматывают на шаблон непрерывным проводом. В шаблоне вырезаны канавки для каждой катушки обмотки. Между отдельными катушками оставляют перемычки достаточной длины, чтобы катушки можно было уложить в пазы статора. Намотку отдельных катушек на станке производят в одном направлении, а для получения различных полярностей четные катушки перед укладкой в пазы переворачивают на 180° . На схеме это видно по направлению соединительных проводов между катушками, лежащими в пазах 2—5 и 1—6; 8—11 и 7—12 и т. д. У четных катушек они наклонены вправо, а у нечетных — влево. Применение обмотки без паек схемы упрощает ее выполнение и устраняет возможность перепутывания выводных концов.

Теперь перейдем к пусковой обмотке. Она должна быть уложена в оставшиеся свободными 3, 4, 9, 10, 15, 16, 21 и 22-й пазы. Для обмотки с встроенным сопротивлением каждая катушка состоит из двух секций — одна с большим количеством витков, а другая — с меньшим. Перед началом укладки в пазы в каждой катушке одну из секций (обычно вторую по ходу их намотки на шаблоне) переворачивают на 180° и получают таким образом бифилярные витки. Полярность катушки создается направлением тока в секции с большим числом витков. На схеме видны петли, выходящие из 9, 10, 21 и 22-го пазов, образовавшиеся от переворачивания секций.

Перед укладкой в пазы переворачивают четные или нечетные катушки для получения катушек разных полярностей. Пусковая обмотка должна отстоять от рабочей обмотки на 90° эл. В этом электродвигателе угол между соседними пазами составляет $2 \cdot 360 / 24 = 30^\circ$ эл. Поэтому начало пусковой обмотки надо брать из четвертого паза. Конец пусковой обмотки выйдет из третьего паза.

Как было сказано в § 3-4, однофазные электродвигатели можно реверсировать, меняя концы или у рабочей, или у пусковой обмотки. Но иногда начало рабочей и пусковой обмоток соединяют внутри электродвигателя и на дощечку зажимов выпускают только три, а в конденсаторных два выводных конца обмотки (рис. 3-10). Такой электродвигатель уже нельзя реверсировать в процессе эксплуатации, поэтому при выпуске с завода направление вращения должно соответствовать стрелке, изображенной на корпусе электродвигателя.

Направление вращения ротора можно определить по схеме обмотки статора следующим образом. Если рассматривать схему, начиная от первой катушки рабочей обмотки, то ротор будет вращаться в сторону той катушки пусковой обмотки, в которой ток имеет обратное направление. На схеме, показанной на рис. 3-14, ротор будет вращаться по часовой стрелке, т. е. от катушки рабочей обмотки, лежащей в пазах 1 и 2, в сторону катушки пусковой обмотки, лежащей в пазу.

Не следует смешивать два понятия: укладка катушек обмотки по или против часовой стрелки и направление вращения ротора по или против часовой стрелки. Между ними нет никакой зависимости.

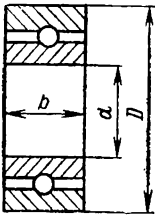
В электродвигателях с пусковыми обмотками обычно сначала укладывают в пазы катушки рабочей обмотки, а затем катушки пусковой обмотки. Это объясняется тем, что чаще выходят из строя пусковые обмотки. В них допускается высокая плотность тока и запаздывание их отключения обычно ведет к перегоранию проводов.

5-9. ПОДШИПНИКИ

Шейки вала ротора вращаются в подшипниках. В электродвигателях малой мощности применяются подшипники скольжения и подшипники качения (шарикоподшипники). Шарикоподшипники изготавливаются на специальных подшипниковых заводах. В табл. 5-1 приведены размеры шарикоподшипников. Они имеют меньшие потери на трение, чем подшипники скольжения, и более устойчивы на износ, но требуют более точной обработки шеек вала и отверстий в корпусе. Кроме того, недостаток их заключается в том, что при больших частотах вращения шарикоподшипники издадут сильный свистящий шум, неприятно действующий на слух. Поэтому

Размеры шарикоподшипников

Номер подшипника	Размеры, мм		
	d	D	b
4	4	16	5
5	5	19	6
6	6	19	6
7	7	22	7
8	8	22	7
9	9	21	8



в самодельных электродвигателях лучше применять подшипники скольжения.

Подшипник скольжения состоит из латунной или бронзовой втулочки, которая надевается на шейку вала. Шейка должна свободно вращаться в отверстии втулки, однако зазор между отверстием втулки и валом не должен быть очень большим. Устройство подшипника скольжения показано на рис. 5-17. Втулка 1 зажата между двумя планками 2 и 3 из листовой латуни или стали. Наружная часть втулки сферическая. В планках выдавлены углубления также сферической формы. Благодаря этому втулка всегда устанавливается по оси шейки вала 4, поэтому перекоса между втулкой и валом не может быть. В верхней части втулки просверлено отверстие 5, через которое при помощи масленки от швейной машины в подшипник периодически добавляют несколько капель масла. 6 — упорная шайба.

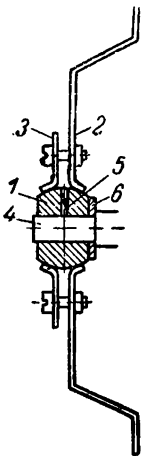


Рис. 5-17. Подшипник электродвигателя.

1 — втулка подшипника; 2, 3 — планки; 4 — шейка вала; 5 — отверстие для смазки; 6 — упорная шайба.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ТРАНСФОРМАТОР ДЛЯ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Для питания электродвигателей переменного тока, предназначенных для движущихся моделей (электровоз, троллейбус, подъемный кран), в це-

лях безопасности применяется пониженное напряжение не выше 12 В. Для преобразования напряжения осветительной сети 220 или 127 В в низкое напряжение служит понижающий трансформатор. Он может быть также использован для елочного освещения, сигнализации, электрических звонков, выжигательных аппаратов и других целей. Здесь приводятся описания устройства, расчет трансформатора с числовым примером, способ изготовления и испытания построенного трансформатора.

6-1. КАК РАБОТАЕТ ТРАНСФОРМАТОР

На рис. 6-1 схематически показано устройство трансформатора. Он состоит из двух катушек 3 и 4 и железного сердечника 2. Катушка 3 называется первичной и

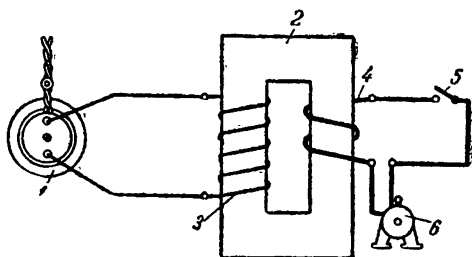


Рис. 6-1. Принципиальная схема трансформатора.

1 — штепсельная розетка; 2 — сердечник; 3 — первичная катушка; 4 — вторичная катушка; 5 — рубильник; 6 — электродвигатель.

присоединяется к осветительной сети. Катушка 4 называется вторичной и служит для подключения потребителей энергии.

Как только включим первичную катушку в розетку осветительной сети 1, по ее виткам потечет переменный ток. Произведение числа витков на силу тока называется намагничивающей силой катушки. Первичная катушка создает магнитное поле, силовые линии которого замыкаются через железный сердечник. Магнитное поле в железном сердечнике будет примерно в 5 000 раз больше, чем в воздухе, при том же токе катушки. Если бы не было железного сердечника, то размеры первичной катушки пришлось бы увеличить во много раз, чтобы создать такое же магнитное поле.

Магнитное поле будет меняться так же, как меняется переменный ток с частотой 50 Гц. При этом линии магнитного поля будут пронизывать витки обеих катушек и в них будут наводиться э. д. с., а на концах катушек появится напряжение. Но катушки имеют разные числа витков. Поэтому напряжение вторичной катушки U_2 будет во столько раз меньше напряжения первичной катушки U_1 , во сколько раз число витков вторичной катушки ω_2 меньше числа витков первичной катушки ω_1 . Это отношение называется коэффициентом трансформации k :

$$k = U_1/U_2 = \omega_1/\omega_2.$$

Здесь мы встречаемся с замечательным явлением, на принципе которого строятся многие электрические машины и аппараты. Хотя вторичная катушка и не соединена с первичной, в ней по закону индукции наводится э. д. с. Связь между катушками осуществляется через магнитное поле.

До сих пор рассматривали трансформатор с разомкнутым рубильником 5 в цепи вторичной катушки. Такое состояние трансформатора называется холостым ходом, потому что он не совершает никакой полезной работы. Ток в первичной катушке является почти целиком реактивным, создающим магнитное поле.

Теперь замкнем рубильник. Во вторичной катушке будет проходить ток, и электродвигатель 6 начнет вращаться. Таким образом будет происходить передача энергии от первичной катушки к вторичной. Откуда возьмется эта энергия? Очевидно, она должна поступать из осветительной сети в первичную катушку. После замыкания рубильника ток в первичной катушке должен возрасти, так как теперь электродвигатель 6 начал потреблять энергию. Связь между первичной и вторичной катушками совершается через магнитное поле сердечника. По закону Ленца ток во вторичной катушке всегда направлен противоположно току первичной катушки, поэтому он стремится размагнитить сердечник. Но как только начнет уменьшаться магнитный поток, произойдет уменьшение индуктивного сопротивления первичной катушки и сила тока в ней по закону Ома увеличится.

Таким образом, сумма намагничивающих сил обеих катушек все время остается неизменной и равна намагничивающей силе первичной катушки при холостом ходе трансформатора, магнитный поток также остается не-

изменным. Действительно, если начать тормозить якорь электродвигателя, будет расти потребляемый им ток, получаемый от вторичной катушки, и одновременно увеличится ток первичной катушки.

На рис. 6-1 изображена первичная катушка, состоящая из 5 витков. Между тем в трансформаторах для сети 127 В число витков первичной катушки составляет около 1 000, а для сети 220 В — около 1 600. Для чего же требуется такое большое число витков? Дело в том, что индуктивное сопротивление катушки пропорционально квадрату числа витков. Если мы уменьшим число витков, то сильно увеличится магнитный поток. Но для увеличенного потока потребуется сердечник с большим сечением. Таким образом, при расчете трансформатора медь катушки и железо сердечника могут заменять друг друга. Если взять большое число витков, то можно снизить сечение сердечника и, наоборот, при уменьшении числа витков необходимо увеличить сечение сердечника.

Мощность, забираемая из сети первичной катушкой, несколько больше мощности в цепи вторичной катушки. Разность мощностей расходуется на покрытие потерь в трансформаторе.

6-2. КОНСТРУКЦИЯ

Трансформатор состоит из двух основных частей: катушек и сердечника. В процессе изготовления сначала на жесткий каркас наматывают катушки, а затем в отверстие каркаса вдвигают листы сердечника. На рис. 6-1 первичная и вторичная катушки трансформатора условно показаны на разных сторонах сердечника для удобства объяснения принципа работы.

В действительности трансформаторы так не делают, потому что между катушками окажется слабая электромагнитная связь, поскольку большое число силовых линий будет замыкаться через воздух, окружающий магнитный сердечник. Эти силовые линии об-

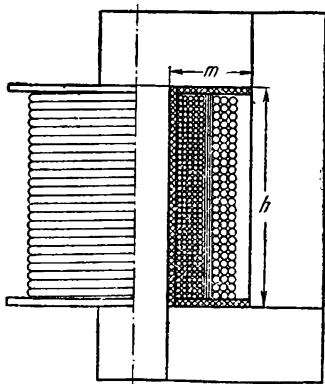


Рис. 6-2. Конструкция трансформатора.

разуют магнитный поток рассеяния, поэтому обе катушки помещают на одной стороне сердечника (рис. 6-2). Часть сердечника, на которую надеты катушки, называется стержнем. Если катушки намотаны на общем каркасе, то сначала наматывают первичную катушку, а затем вторичную, отделенную от нее слоями изоляции. Если каждая катушка наматывается на свой каркас, то их располагают на сердечнике одну над другой.

Сердечники трансформаторов заводского изготовления собирают из штампованных листов П-образной или Ш-образной формы. Такие листы получают посредством штамповки, что трудно выполнимо в самодельных трансформаторах. Поэтому при отсутствии штампованных листов от старого заводского трансформатора сердечники собирают из прямоугольных листов толщиной 0,5 мм, которые можно нарезать из обычного кровельного железа (рис. 6-2). Для уменьшения потерь от вихревых токов листы сердечника оклеивают с одной стороны тонкой папиросной бумагой или покрывают слоем лака при помощи кисти.

При сборке сердечника трансформатора из плоских листов принимают меры, чтобы он после сборки не рассыпался на отдельные части. Этого добиваются переслаиванием листов, которое в производстве называют шихтовкой. При этом стыки между листами в различных слоях располагаются по-разному. Например, на рис. 6-2 во всех нечетных слоях расположение стыков листов изображено сплошными линиями, а в четных слоях стыки располагают со сдвигом на ширину полосы. Отдельные части сердечника скрепляют, обматывая их изоляционной лентой.

6-3. РАСЧЕТЫ

Для расчета трансформатора надо задаться его мощностью. Трансформатор должен быть рассчитан не на номинальную мощность электродвигателя, а на полную потребляемую им мощность, которая всегда больше номинальной. Зависимость между этими величинами выражается формулой

$$S = \frac{P}{\eta \cos \varphi}, \quad (6-1)$$

где S — мощность трансформатора, В·А; P — номинальная мощность электродвигателя, Вт; η — к. п. д. элек-

тродвигателя; $\cos \varphi$ — коэффициент мощности электродвигателя.

Зависимость между мощностью трансформатора и его размерами определяется по следующей формуле:

$$CF = \frac{S(1 + \eta)}{B2\eta k_m \Delta} \quad (6-2)$$

Разберем значения величин, входящих в эту формулу. S — площадь сечения стержня трансформатора, см². Сечение стержня имеет форму прямоугольника. Площадь сечения можно определить по формуле

$$C = abk_c, \quad (6-3)$$

где a и b — размеры сторон сечения стержня, см; k_c выражает плотность заполнения сечения железом.

Этот коэффициент учитывает изоляцию листов и воздушные промежутки между ними. Чем меньше толщина листов, тем больше число изоляционных прослоек и тем меньше значение коэффициента. При толщине листов 0,5 мм $k_c = 0,9$; при толщине листов 0,35 мм $k_c = 0,85$; при толщине листов 0,2 мм $k_c = 0,8$.

F — площадь окна сердечника трансформатора, т. е. произведение расстояния m между вертикальными частями сердечника на высоту стержня h , которые выражены в сантиметрах (рис. 6-2).

В числителе и знаменателе правой части формулы греческая буква η выражает к. п. д. трансформатора, который при расчете можно принять $\eta = 0,75$.

B — индукция в сердечнике трансформатора. Чем большая индукция взята при расчете, тем меньше будут размеры сердечника, но зато возрастут потери энергии в сердечнике и потребуются большой ток, чтобы создать магнитный поток. При расчете возьмем индукцию 1 Т.

k_m — коэффициент заполнения площади окна трансформатора медными проводниками. Этот коэффициент всегда меньше единицы, так как между сечениями круглых проводников остаются воздушные промежутки. Кроме того, часть площади окна занимают стенки каркаса, изоляционные прослойки между катушками и изоляция самих проводников. При расчете трансформатора будем принимать $k_m = 0,3$. Это означает, что в площади окна сердечника сумма сечений проводников составляет 30%.

Последняя величина, стоящая в знаменателе (6-2), Δ — плотность тока в обмотках трансформатора. Оче-

видно, что чем большую плотность тока мы будем брать, тем меньше будет сечение проводников. Но при увеличении плотности тока возрастет нагрев катушек. Плотность тока в обмотках трансформатора берется значительно меньшей, чем в обмотках электродвигателей. Это объясняется тем, что в катушках трансформатора сосредоточено много витков и они хуже охлаждаются, так как отделены от окружающего воздуха и от сердечника слоями изоляции. При расчете будем принимать плотность тока в первичной катушке $\Delta_1 = 2 \text{ А/мм}^2$, а во вторичной катушке $\Delta_2 = 3 \text{ А/мм}^2$. Увеличенная плотность тока во вторичной катушке объясняется тем, что она имеет меньше витков и расположена снаружи, а следовательно, лучше охлаждается.

Подставим числовые значения букв в правую часть формулы и произведем указанные в формуле действия. В результате получим число, равное произведению CF . Для определения значений каждой из этих величин воспользуемся соотношением между мощностью трансформатора и сечением сердечника. Оно выражается формулой

$$C = \sqrt{S}. \quad (6-4)$$

Теперь можно рассчитать и площадь окна, см^2 ,

$$F = \frac{CF}{C}. \quad (6-5)$$

Размеры окна m и h можно определить из условия, что высота окна h примерно в 2—3 раза больше ширины окна m . Величины C и F определяют все размеры сердечника. Теперь можно перейти к расчету катушек трансформатора, т. е. чисел витков катушек и диаметра провода.

Число витков первичной катушки можно определить по формуле

$$\omega_1 = \frac{U_1 \cdot 10^4}{2 (BC \cdot 100 + l_1 \Delta_1)}, \quad (6-6)$$

где ω_1 — число витков первичной катушки; U_1 — напряжение осветительной сети, В; B — индукция в сердечнике, Т; C — сечение сердечника, см^2 ; l_1 — длина среднего витка катушки, см; Δ_1 — плотность тока, А/мм^2 .

Все величины, входящие в эту формулу, уже известны из формулы (6-2), кроме l_1 . Как видно из рис. 6-3,

длина витка катушки состоит из двух прямолинейных участков a , двух прямолинейных участков b , которые являются сторонами сечения сердечника, и четырех закруглений радиусом r . Если сложить эти четыре закругления, то получится полная окружность, развернутая длина которой равна $2\pi r$. Величину радиуса принять $r = 0,25m$, где m — ширина окна по рис. 6-2. Тогда длина среднего витка, см,

$$l_1 = 2a + 2b + 2\pi r. \quad (6-7)$$

Число витков вторичной катушки можно подсчитать, зная коэффициент трансформации. Например, если делают трансформатор для понижения напряжения сети 120 В в низкое напряжение 12 В, то коэффициент трансформации будет равен:

$$k = 120/12 = 10.$$

Число витков вторичной катушки должно быть в k раз меньше числа витков первичной катушки, т. е.

$$\omega_2 = \omega_1/k. \quad (6-8)$$

Для определения диаметра провода вторичной катушки надо знать ток, А,

$$I_2 = S \cdot U_2. \quad (6-9)$$

Сечение провода вторичной катушки, мм²,

$$s_2 = I_2/\Delta_2. \quad (6-10)$$

Полученное сечение является предварительным. Теперь надо по табл. 4-1 подобрать во втором столбце ближайшую величину сечения стандартного провода, а по первому столбцу этой же таблицы определить диаметр провода.

Ток первичной катушки определяется по аналогичной формуле, но при этом надо учесть, что часть тока затрачивается на покрытие внутренних потерь энергии в трансформаторе и на создание магнитного потока. Поэтому ток первичной катушки вычисляем по формуле

$$I_1 = \frac{1,1 \cdot S}{\eta U_1}. \quad (6-11)$$

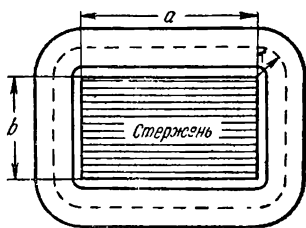


Рис. 6-3. Средний виток катушки.

Сечение провода первичной катушки, мм²,

$$s_1 = I_1' \Delta_1. \quad (6-12)$$

Окончательное значение сечения и диаметр провода берем по табл. 4-1.

Если требуемые по расчету диаметры проводов надо заменить другими, то пользуемся теми же правилами, которые были изложены в § 4-6. Зная диаметры проводов, надо проверить, поместятся ли катушки в окне сердечника. Такая проверка проведена в примере расчета трансформатора. Если провода требуемого диаметра мало, то надо проверить, хватит ли его для изготовления трансформатора. Расчет требуемого количества провода производится следующим образом. Умножаем длину среднего витка по формуле (6-7) на число витков в катушке. Разделив полученное число на 100, получим длину провода в метрах. Зная по табл. 4-1 массу 100 м провода, легко определить массу провода для катушки и, взвесив имеющийся провод, узнать, хватит ли его для намотки катушки.

6-4. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ

Для расчета трансформатора надо взять его номинальные данные, т. е. первичное напряжение U_1 , вторичное напряжение U_2 и мощность S . Первичное напряжение надо взять таким, как в осветительной сети. Сети переменного тока для электрического освещения имеют два стандартных напряжения: 220 и 127 В. Напряжение в квартире можно узнать по напряжению, обозначенному на колбе электрической лампочки. Однако вследствие падения напряжения в проводке напряжение в квартирах обычно бывает несколько ниже стандартного. Поэтому при номинальном напряжении сети 220 В будем вести расчет на $U_1 = 200$ В, а при первичном напряжении 127 В — на $U_1 = 120$ В.

Вторичное напряжение для питания электродвигателей лучше взять 12 В. Это безопасно и достаточно для работы электродвигателя.

Мощность трансформатора определяем по (6-1). Возьмем трансформатор для питания конденсаторного электродвигателя мощностью 10 Вт при длительной работе. Для такого электродвигателя можно принять $\eta = 0,31$ и $\cos \varphi = 0,9$. Тогда мощность трансформатора будет:

$$S = \frac{10}{0,31 \cdot 0,9} = 36 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

При повторно-кратковременной работе такой трансформатор может питать электродвигатель мощностью 15 Вт.

Подставив в (6-2) следующие числовые значения величин: $\eta = 0,75$; $B = 1 \text{ Т}$; $k_m = 0,3$; $\Delta = 2,5 \text{ А/мм}^2$ (средняя плотность тока

плотностями тока первичной и вторичной катушек), получим:

$$CF = \frac{36(1 + 0,75)}{1 \cdot 2 \cdot 0,75 \cdot 0,3 \cdot 2,5} = 56 \text{ см}^4,$$

чение сердечника по (6-4)

$$C = \sqrt{36} = 6 \text{ см}^2,$$

площадь окна сердечника по (6-5)

$$F = 56/6 = 9,3 \text{ см}^2,$$

число витков первичной катушки по (6-6)

$$\omega_1 = \frac{200 \cdot 10^4}{2(1 \cdot 6 \cdot 100 + 15,14 \cdot 2)} = 1590,$$

этой формуле длина среднего витка по (6-7)

$$l_1 = 2 \cdot 4 + 2 \cdot 2 + 2 \cdot 3,14 \cdot 0,5 = 15,14 \text{ см},$$

коэффициент трансформации

$$k = 200/12 = 16,7,$$

число витков вторичной катушки по (6-8)

$$\omega_2 = 1590/16,7 = 95,$$

ток вторичной катушки по (6-9)

$$I_2 = 36/12 = 3 \text{ А},$$

сечение провода вторичной катушки по (6-10)

$$s_2 = 3/3 = 1 \text{ мм}^2.$$

По табл. 4-1 находим стандартное сечение $s_2 = 1,057 \text{ мм}^2$, которому соответствует диаметр провода $d_2 = 1,16 \text{ мм}$.

Ток первичной катушки по (6-11)

$$I_1 = 1,1 \frac{0,26}{2} = 0,14 \text{ мм}^2.$$

По табл. 4-1 находим сечение стандартного провода $s_1 = 132 \text{ мм}^2$, которому соответствует диаметр $d_1 = 0,41 \text{ мм}$.

Проверим коэффициент заполнения окна сердечника медными проводами.

Общее сечение проводов первичной катушки $0,132 \cdot 1590 = 10 \text{ мм}^2$.

Общее сечение проводов вторичной катушки $1,057 \cdot 95 = 100 \text{ мм}^2$.
Общее сечение проводов первичной и вторичной катушек $210 + 100 = 310 \text{ мм}^2$.

Площадь окна сердечника $F = 930 \text{ мм}^2$.

Коэффициент заполнения окна сердечника проводами

$$k_m = 310/930 = 0,33,$$

близок к принятому в начале расчета; следовательно, катушки поместятся в окне сердечника.

Часто приходится рассчитывать трансформатор, для которого имеются готовые штампованные листы сердечника заводского изготовления. Тогда по размерам сердечника определяют, на какую мощ-

ность он может быть рассчитан, и рассчитывают данные его обмоток.

Например, имеются листы сердечника Ш-образной формы толщиной 0,5 мм со следующими размерами:

$$a = 3 \text{ см}; \quad b = 4,5 \text{ см}; \quad m = 1,5 \text{ см}; \quad h = 4,5 \text{ см}.$$

Определяем сечение стержня:

$$C = 3 \cdot 4,5 \cdot 0,9 = 12 \text{ см}^2.$$

Площадь окна сердечника

$$F = 4,5 \cdot 1,5 = 6,75 \text{ см}^2.$$

По (6-2) определяем, на какую мощность трансформатор может быть рассчитан:

$$S = \frac{12 \cdot 6,75 \cdot 2 \cdot 0,75 \cdot 0,3 \cdot 2,5}{1 + 0,75} = 53 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Трансформатор должен понижать напряжение сети 127 В до 4 В. Число витков первичной катушки по (6-6)

$$\omega_1 = \frac{127 \cdot 10^4}{2(1 \cdot 12 \cdot 100 + 18 \cdot 2)} = 512.$$

Коэффициент трансформации

$$k = 127/4 = 32.$$

Число витков вторичной катушки

$$\omega_2 = 512/32 = 16.$$

Ток вторичной катушки

$$I_2 = 53/4 = 13,2 \text{ А}.$$

Сечение провода вторичной катушки

$$s_2 = 13,2/3 = 4,4 \text{ мм}^2.$$

Ближайшее сечение стандартного провода $s_2 = 4,1 \text{ мм}^2$.

Диаметр провода $d = 2,26 \text{ мм}$. Возьмем провод марки ПЭЛБО с толщиной изоляции $\delta_{из} = 0,21 \text{ мм}$.

Диаметр изолированного провода $d_{из} = 2,26 + 0,21 = 2,47 \text{ мм}$.

Ток первичной катушки

$$I_1 = \frac{1,1 \cdot 53}{0,75 \cdot 127} = 0,61 \text{ А}.$$

Сечение провода

$$s_1 = 0,61/2 = 0,31 \text{ мм}^2.$$

По табл. 4-1 ближайшее сечение стандартного провода $s_1 = 0,322 \text{ мм}^2$, а диаметр провода $d = 0,64 \text{ мм}$. Принимаем провод марки ПЭВ-2 с толщиной изоляции $\delta_{из} = 0,08 \text{ мм}$.

Диаметр изолированного провода

$$d_{из} = 0,64 + 0,08 = 0,72 \text{ мм}.$$

Определяем коэффициент заполнения окна сердечника медными проводами.

Общее сечение проводников первичной катушки $0,322 \cdot 512 = 165 \text{ мм}^2$.

Общее сечение проводов вторичной катушки $0,41 \cdot 16 = 66 \text{ мм}^2$.
Общее сечение проводов первичной и вторичной катушек $165 + 66 = 231 \text{ мм}^2$,

$$k_m = \frac{231}{670} = 0,35,$$

т. е. близок к принятому при расчете.

В расчете трансформаторов имеется отношение, которое называют: число витков на 1 вольт напряжения. В первом примере это отношение было $w/U = 7,2$, а во втором $w/U = 4$. Для объяснения этого обратимся к (6-6). В знаменателе дроби стоит произведение BC , которое представляет собой магнитный поток. Из (6-6) видно, что число витков на вольт обратно пропорционально магнитному потоку. Этим и объясняется разное число витков в первом и втором примерах расчетов.

6-5. ИЗГОТОВЛЕНИЕ

Здесь описан процесс изготовления трансформатора с размерами, соответствующими первому примеру расчета в § 6-4. Изготовление трансформатора начинается с каркаса для намотки катушек. Материалом для каркаса служит текстолит или гетинакс толщиной 2 мм. Текстолит представляет собой листы хлопчатобумажной ткани, пропитанные бакелитовым лаком и спрессованные под большим давлением с подогревом. Текстолит имеет светло-коричневый цвет. Гетинакс производится так же, как и текстолит, но не из хлопчатобумажной ткани, а из бумаги. Гетинакс имеет темно-коричневый цвет. Оба материала применяются при изготовлении любительских радиоприемников.

На рис. 6-4 даны чертежи деталей каркаса. Он состоит из шести деталей: двух узких стенок (рис. 6-4, а), двух широких стенок (рис. 6-4, б) и двух фланцев (рис. 6-4, в). Во фланцах сделаны окна шириной 41 мм, в которые будут входить листы сердечника.

Сначала надо вырезать из бумаги внешние контуры всех шести деталей и, наложив эти выкройки на лист подготовленного материала, разметить, как их лучше расположить, чтобы было меньше остатков материала. После этого надо приступить к нанесению контуров деталей на листе текстолита или другого изоляционного материала. Контуров должны быть нанесены точно по размерам циркулем, в который вместо графита надо вставить вторую иглу. Контуров деталей на листе изоляционного материала должны быть прочерчены иглой, так как карандашные линии не могут обеспечить требуемой точности изготовления. Чтобы при вычерчивании

контура детали избежать перекосов, нужно провести осевую линию и перпендикулярные к ней горизонтальные линии в тех местах, где деталь имеет переходы от одной ширины к другой. Затем от осевой линии надо откладывать вправо и влево половины размеров ширины деталей. Чтобы точно отложить размер, надо сначала иглы циркуля-измерителя приложить к линейке с точны-

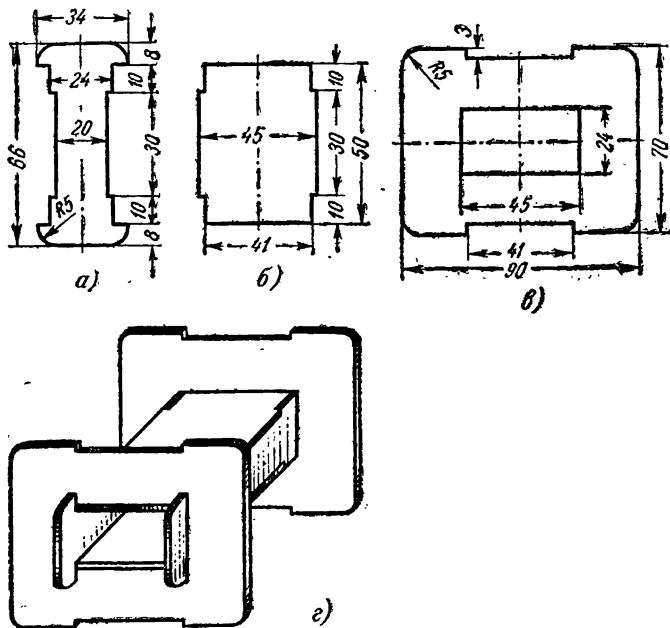


Рис. 6-4. Каркас катушки и его детали.

ми миллиметровыми делениями и потом отложить этот размер на листе текстолита или гетинакса. Когда все точки контура нанесены на листе текстолита, их надо соединить линиями, которые проводят острой иглой вдоль стальной линейки. Расстояния между контурами соседних деталей на листе текстолита должны быть около 3 мм.

После этого надо приступить к вырезке контуров деталей, что легче всего сделать лобзиком. При вырезке надо следить за тем, чтобы пилка лобзика была направлена перпендикулярно плоскости листа. Линия резки

должна вплотную подходить к контуру детали, но не должна заходить за него. Таким образом, на вырезанной детали должны быть видны царапины иглы, которыми очерчен контур детали.

После того, как все детали выпилены, надо сложить две одинаковые детали, сжать их в тисках или в струбцине и опилить контуры напильником. Тогда обе детали будут иметь одинаковые размеры. Те места, где одна деталь входит в другую, надо пригонять, складывая детали. Например, сначала надо опилить напильником выступы длиной 30 мм на детали б, а впадины для них на детали а распилить так, чтобы выступы плотно входили во впадины. Таким образом, одна деталь служит контрольным шаблоном для другой. Размеры окон во фланцах должны быть распилены так, чтобы узкие стенки размерами 24 мм плотно входили в окно. На одном из фланцев надо просверлить отверстия для выводов первичной катушки.

Сборка каркаса производится следующим образом: сложить два фланца и вставить в окно фланцев деталь а, вводя ее по диагонали окна; затем повернуть эту деталь так, чтобы она прилегла к узкой стороне окна. Так же вводится в окно фланца вторая деталь а и прижимается к противоположной стенке окна. Далее детали б надо приложить к деталям а так, чтобы выступы деталей б входили в пазы деталей а. Из деталей а и б образуется коробочка. Теперь осталось развести сложенные детали в так, чтобы они упирались в выступы деталей а, и каркас готов. В собранном виде он показан на рис. 6-4, г.

Для намотки катушек надо сделать простенький станочек. Он состоит из деревянной дощечки 1, к которой прибиты две стойки 2 (рис. 6-5). Каркас надевают на деревянный брусок 3, в торцы которого вбиты два толстых гвоздя 4. Они вкладываются в прорези в стойках, которые служат подшипниками, и сверху запираются накладками 5. В процессе намотки правой рукой вращают ось станочка с каркасом, а пальцами левой руки зажимают суконку, через которую проходит обмоточный провод с катушки. Намотку ведут правильными рядами для того, чтобы катушка была плотной.

До начала намотки надо сложить провод в виде петли длиной около 200 мм. Конец петли длиной около 35 мм выводят через отверстия во фланце. Петля служит

для того, чтобы усилить выводной конец катушки и предохранить его от обрыва. В начале петли надо зачистить изоляцию провода и скрутить оба провода. Если один провод обломится при работе трансформатора, другой будет служить для прохождения тока через катушку.

В процессе намотки надо считать витки; а чтобы не сбиться, на одной стороне фланца можно сделать пометку краской. После намотки каждой сотни витков на про-

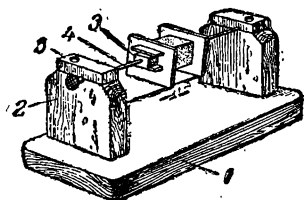


Рис. 6-5. Намоточный стапечек.

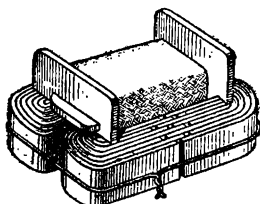


Рис. 6-6. Трансформатор со спиральным сердечником.

вод рекомендуется надеть бумажный ярлычок с номером сотни. Это пригодится, если вы сбились со счета. Намотку надо производить рядами, передвигая вдоль каркаса провод то в одну, то в другую сторону. После намотки трех-четырех слоев рекомендуется прокладывать между слоями провощенную бумагу. По окончании намотки первичной катушки надо снова сделать петлю и через отверстие во фланце вывести конец катушки.

Между первичной и вторичной катушками надо положить несколько слоев провощенной бумаги, чтобы витки первичной и вторичной катушек ни в коем случае не могли соединиться. Такое замыкание сделает пользование трансформатором опасным, так как вторичная катушка окажется под напряжением осветительной сети.

Выводы от вторичной катушки можно делать одним проводом — он является достаточно прочным. Для выводов надо просверлить отверстия в противоположном фланце от выводов первичной катушки. При намотке вторичной катушки рекомендуется сделать вывод в виде петли после намотки $2/3$ всех витков, а затем продолжать намотку, не обрывая провода. Тогда катушка будет иметь три вывода. Между первым и вторым выво-

дом будет напряжение 8 В, между вторым и третьим 4 В, а между первым и третьим 12 В. Такой трансформатор можно использовать и там, где нужны различные напряжения.

Для сердечника можно использовать прямоугольные листы, показанные на рис. 6-2. Однако такой сердечник имеет некоторые недостатки. В каждом слое расположены четыре стыка между листами, и при неплотной сборке между ними образуются зазоры. Это влечет за собой увеличение намагничивающего тока в первичной катушке. Вследствие коробления листов один лист может перекрывать два листа в соседнем слое, а это поведет к увеличению магнитных потерь энергии в сердечнике и увеличенному его нагреву. Нарезать прямоугольные листы толщиной 0,5 мм можно только ножовкой, а на это потребуется много времени. Поэтому здесь описано изготовление витого сердечника из тонких полосок, которые можно нарезать, например, из боковых стенок консервных банок простыми ножницами. Устройство такого сердечника показано на рис. 6-6.

Для сердечника надо нарезать полосы шириной по 40 мм и такой длины, чтобы они могли обогнуть каркас. Края полос надо зачистить напильником от острых заусенцев, которые могут создавать замыкания между полосами. Для создания изоляции полосы надо покрыть тонким слоем асфальтового лака или олифой. Полосы надо сложить в пакет толщиной 20 мм, обернуть его изоляционной лентой или прочными нитками для плотного прилегания полос одной к другой и вставить пакет в отверстие каркаса. Концы полос должны быть сдвинуты на разную длину, чтобы стыки их приходились в разных местах. Половина полос загибается в одну сторону, а другая половина в другую. Затем весь сердечник стягивают медной или мягкой железной проволокой и концы ее скручивают.

Витой сердечник имеет существенные преимущества перед сердечником, собранным из прямоугольных полос. В нем только один стык в каждой витке, благодаря тонкой жести потери энергии в нем незначительны и его легко сделать. Поэтому такие сердечники применяются и в заводских трансформаторах малой мощности, где их наматывают на станках из тонкой листовой стали.

Трансформатор надо прикрепить к любой изоляционной дощечке. Это можно сделать самыми различными

способами: лентой, бечевкой, проволокой, металлическими полосками или винтами. При этом нельзя допускать вокруг сечения сердечника никаких замкнутых металлических витков, так как в них будут наводиться индуктированные токи. Выводы вторичной обмотки подводят к винтам, а выводы первичной обмотки соединяются с осветительным шнуром с вилкой на конце. Соединения с осветительным шнуром надо пропаять и замотать изоляционной лентой в несколько слоев.

6-6. ИСПЫТАНИЕ

Чтобы убедиться в исправности каждого технического изделия, после изготовления его нужно испытать. Неисправности трансформатора могут заключаться в обры-

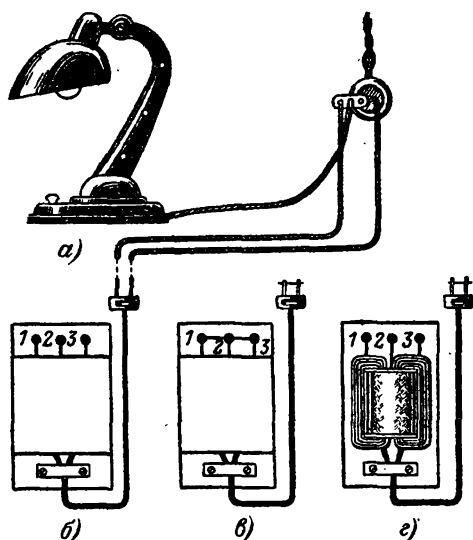


Рис. 6-7. Схема испытаний трансформатора.

ве первичной катушки, в замыканиях между катушками или замыканиях между катушками и сердечником. Электрические схемы обычно проверяют при помощи контрольной лампы, в качестве которой может быть применена обычная настольная лампа. Одна ножка вилки от

лампы вставляется в розетку осветительной сети, а от другой ножки и второго гнезда розетки выводятся два изолированных провода (рис. 6-7, а). Если теперь замкнуть между собой концы проводов, то лампа загорится. Это показывает, что лампа в порядке и можно приступить к испытанию трансформатора. В процессе испытаний нельзя касаться пальцами неизолированных концов проводов и ножек вилки, чтобы не подвергнуться поражению электрическим током при однополюсном касании к осветительной сети.

Сначала проверяем, нет ли в первичной катушке обрывов. Для этого надо прикоснуться проводом от розетки к ножкам вилки трансформатора, как показано на рис. 6-7, б. Если в катушке нет обрывов, то лампа будет гореть, но неполным накалом из-за падения напряжения в катушке. Если же лампа не загорается, то это означает, что имеется обрыв или в самой катушке, или в соединениях ее выводов со шнуром.

Чтобы проверить, нет ли замыканий между первичной и вторичной катушками, надо соединить все зажимы вторичной катушки одним проводом и обе ножки вилки трансформатора — другим проводом. Одним проводом от розетки надо прикоснуться к зажимам вторичной катушки (рис. 6-7, в), а другим — к ножкам вилки трансформатора. Если трансформатор исправен, то лампа не должна загораться.

Для проверки отсутствия замыканий первичной катушки на сердечник надо одним проводом от розетки прикоснуться к ножкам вилки трансформатора, а другим к сердечнику трансформатора (рис. 6-7, г). При отсутствии неисправности лампа не должна загораться.

Но в катушках могут быть замыкания витков, которые нельзя обнаружить контрольной лампой, так как замкнутые витки не создают разрывов в цепи. Для обнаружения замкнутых витков надо трансформатор со снятой коробкой включить в сеть. Если в катушках есть короткозамкнутые витки, то по ним пойдет сильный ток, они нагреются и от трансформатора пойдет дым. Если через 30 мин после включения не будет чувствоваться запаха горелой изоляции, то можно считать, что замкнутых витков нет.

Теперь осталось проверить правильность обозначений выводов вторичной катушки (рис. 6-7). Для этого надо между выводами 2, 3 включить одну лампочку от кар-

манного фонаря, между выводами 1, 2 две лампочки, соединенные последовательно, а между зажимами 1, 3 три лампочки, соединенные последовательно. Если обозначение выводов правильное, то все лампочки будут гореть с одинаковым накалом.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

ЭЛЕКТРОБЫТОВЫЕ ПРИБОРЫ

7-1. СОЕДИНЕНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С МЕХАНИЗМАМИ

Описанные выше электродвигатели применяются в различных электробытовых приборах. Все механизмы можно разделить на скоростные, у которых частота вращения такая же, как и у самого электродвигателя, и тихоходные, которые вращаются со значительно меньшей частотой. Для этого между электродвигателем и механизмом включается так называемый редуктор, понижающий число оборотов. Из механики известно, что при уменьшении частоты вращения увеличивается сила. Поэтому вращающий момент после редуктора повышается. При большом отношении частот вращения электродвигателя и приводного механизма редуктор выполняется из зубчатых шестерен. При небольшом отношении частот вместо зубчатого редуктора можно применять передачи или фрикционного типа с резиновыми шкивами, или при помощи гибкой связи шкивов различных диаметров, которая осуществляется через шнуры, резиновые кольца или витые пружины из проволоки. Для самостоятельного изготовления наиболее простыми являются передачи с гибкой связью или фрикционные.

Для изготовления фрикционной передачи на конец вала электродвигателя 1 (рис. 7-1) надо надеть шкивок 2. Его можно вырезать из толстой листовой резины и зажать между двумя металлическими шайбами. От сдвигов вдоль вала и от проворачивания его предохраняет втулочка с винтом, упирающимся в шейку вала электродвигателя. Если имеется толстое резиновое кольцо 3 круглого сечения, то можно надеть его на металлический шкив, в котором выточена канавка с радиусом, равным радиусу резинового кольца. Шкивок электродвигателя прижимают к ободу шкива 4 приводного механизма. Отношение радиуса ведущего шкива к радиусу ведомого

шкива называется передаточным отношением фрикционной передачи. Это отношение показывает, во сколько раз приводной шкив передачи вращается медленнее вала электродвигателя.

Если шкивок электродвигателя прижимается к цилиндрической поверхности приводного шкива, то передаточное отношение остается постоянным. Если же требу-

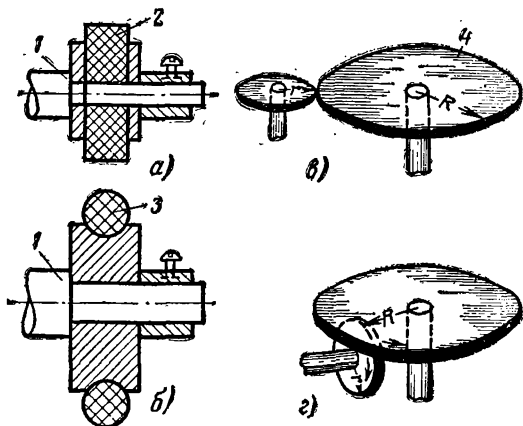


Рис. 7-1. Типы фрикционных передач.

ются разные частоты вращения приводного механизма, то шкивок электродвигателя делают ступенчатым разных диаметров. Такие передачи применяют в электропроигрывателях (рис. 7-7). Но иногда требуется плавное изменение частоты вращения приводного механизма. В этих случаях шкивок электродвигателя прижимают к плоской поверхности диска приводного механизма (рис. 7-1, б). Тогда передаточное отношение можно регулировать, передвигая шкивок электродвигателя вдоль радиуса диска.

На всех грузоподъемных механизмах применяют электролебедки, представляющие собой электродвигатель с пристроенным к нему редуктором. Для настоящих кранов редуктор выполняют из зубчатых шестерен, для привода моделей и игрушек применяют передачу с гибкой связью.

На рис. 7-2 показана конструкция электролебедки, которая объединена с электродвигателем. Она состоит из двух боковин 1, которые можно взять из деталей «механического конструктора». Виро-

чем их нетрудно сделать и самому из листовой стали толщиной от 0,6 до 1 мм. В четыре отверстия проходят шпильки 2, скрепляющие статор электродвигателя. Боковины служат также для закрепления подшипников электродвигателя, состоящих из латунных или бронзовых втулочек 3, для которых в боковинах просверлены отверстия. Если это коллекторный электродвигатель, то его надо сделать с торцевым коллектором (рис. 5-8). Тогда щеткодержатели могут быть укреплены в отверстиях тех же боковин и изолированы от них изоляционными втулочками. Кроме этих отверстий в боковинах просвер-

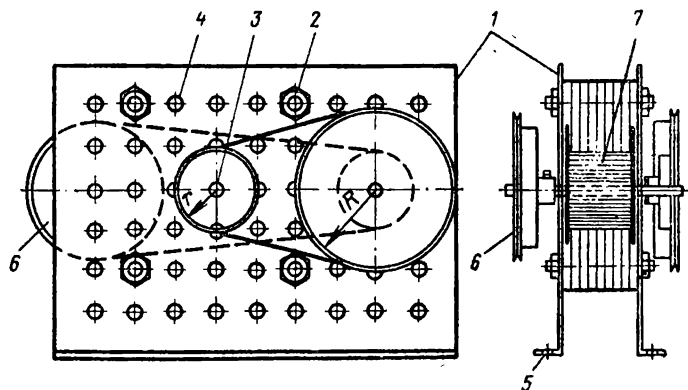


Рис. 7-2. Лебедка с гибкой связью.

лено еще много равномерно расположенных отверстий 4, которые служат для осей шкивов передачи и для крепления к лебедке других деталей модели.

Шкивы 6 должны иметь желобок для гибкой связи. Такие шкивы имеются в наборах «механического конструктора». Их можно сделать и самому из двух кружочков с отогнутыми в разные стороны краями. Для насадки на ось шкив имеет втулочку со стопорным винтом, упирающимся концом в ось. На оси между боковинами укрепляется барабан 7, на который при вращении будет наматываться нить, поднимающая груз. Шурупами, проходящими через отверстия 5 в нижней полке боковины, вся лебедка крепится к деревянному основанию. Для полного совпадения отверстий в обеих боковинах надо при изготовлении сложить их вместе и сверлить оба отверстия совместно.

Отверстия для осей шкивов должна быть на 0,1 мм больше диаметра оси. В таких отверстиях оси шкивов могут вращаться без латунных втулочек. Надо только смазать шейки осей каплей машинного масла. Отверстия для шпилек, крепящих статор, должны быть на 0,5 мм больше диаметра шпилек. Это нужно для того, чтобы, передвигая статор, можно было регулировать равномерность воздушного зазора между ротором и статором.

Общее передаточное отношение передачи равно произведению передаточных отношений отдельных ступеней. Его можно определить по формуле

$$i = \frac{r_1 r_2}{R_1 R_2},$$

где R_1 и R_2 — радиусы ведомых шкивов, r_1 и r_2 — радиусы ведущих шкивов.

Например, если ведомые шкивы имеют радиусы 3 см, а ведущие 1 см, то передаточное отношение передачи будет 1/9. Это значит, что шкив 6 будет вращаться в 9 раз медленнее, чем ротор электродвигателя. Во столько же раз возрастет вращающий момент. Теперь электродвигатель стал сильным и может поднимать предметы больше своей массы.

7-2. ДВИЖУЩИЕСЯ МОДЕЛИ

Изготовив лебедку, можно применить ее для приведения в движение различных моделей. Самой простой из них является модель подъемного крана (рис. 7-3). Для этого надо привинтить к лебедке ферму крана, составленную из деталей «механического конструктора». Чтобы не делать большой и сложной фермы, можно кран поместить на краю стола. Лебедка прикрепляется к деревянному кругу 1, который может поворачиваться относительно бруска 2, представляющего собой основание крана. Поворот крана можно сделать ручным при помощи гибкой связи 3 между кругом и шкивом 4, приводимым во вращение рукояткой 5. Но еще интересней сделать привод поворота крана от другого электродвигателя. Тогда можно всеми движениями крана управлять на расстоянии, не прикасаясь к нему руками. Основание каркаса следует прикреплять к столу струбциной, иначе при подъеме груза кран может опрокинуться. Струбцину можно заменить тяжелым предметом, положенным на основание крана, который будет служить противовесом.

Управлять электродвигателем можно при помощи реверсора, у которого должно быть три положения: вверх, стоп и вниз. При работе крана наибольшее усилие от электродвигателя требуется при пуске, когда поднимаемому грузу надо сообщить ускорение. Поэтому

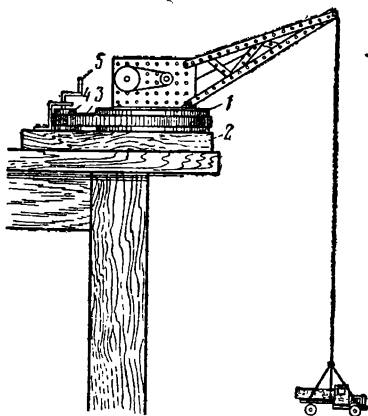


Рис. 7-3. Модель подъемного крана.

му нужен электродвигатель с большим пусковым моментом. В качестве такого электродвигателя может быть применен коллекторный или однофазный асинхронный с массивным ротором. Ввиду того, что подводка к электродвигателю производится по гибким шнурам с легкой изоляцией, питание электродвигателя надо осуществить через понижающий трансформатор при напряжении 12 В.

Наиболее простой моделью электрического подвижного состава является модель троллейбуса (рис. 7-4), так как она не связана с рельсами, изготовление которых представляет большие трудности.

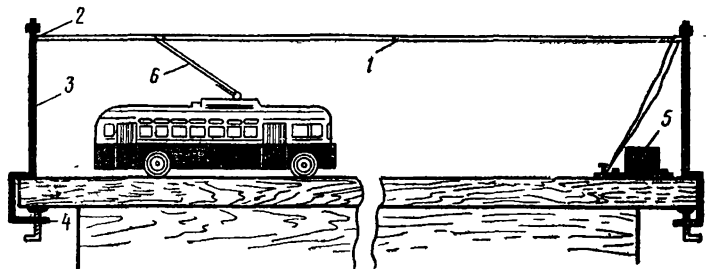


Рис. 7-4. Модель троллейбуса.

В качестве простейшего движущего механизма можно использовать ту же лебедку. К нижним полкам боковин надо привернуть четыре угольника с отверстиями и пропустить через них оси колес. Одну из осей при помощи шкивов и гибкой связи надо соединить с барабаном лебедки. На лебедку надевают кузов троллейбуса. Питающие провода 1 из голый медной проволоки натягиваются между двумя изоляционными планками 2, укрепленными на стойках 3 из толстой железной проволоки. Стойки крепятся к краям стола при помощи струбины 4. Электрический ток напряжением не выше 12 В подводится к проводам от трансформатора 5.

Передача тока к электродвигателю производится через две штанги 6 из толстой медной проволоки, шарнирно закрепленные на поперечине из изоляционного материала, которая опирается на боковины лебедки. От штанг к зажимам электродвигателя ток поступает по гибким изолированным проводам. Пуск и остановка троллейбуса производятся включением и выключением электрического тока выключателем в цепи вторичной обмотки трансформатора.

7.3. ШВЕЙНАЯ МАШИНА

Всякую ручную швейную машину можно переделать на электрическую. Для передачи вращения от электродвигателя к маховику швейной машины при шитье легких тканей применяют фрикционную передачу (рис. 7-5). Для более тяжелых условий работы применяют соединение при помощи специального ремня трапецеидального сечения желобчатого шкива электродвигателя со шкивом швейной машины, помещающимся снаружи маховика.

Для вращения швейной машины нужен электродвигатель мощностью около 15 Вт с питанием от сети напряжением 127 или 220 В.

Чтобы он быстро разогнал машину, требуется коллекторный электродвигатель. Для установки его на ручной машине отвертывают винт, крепящий ручную передачу к корпусу машины, электродвигатель прикрепляют к угольнику 1 из листового железа толщиной 1,5—2 мм. В угольнике просверливают отверстие для крепления его к корпусу машины винтом 2. На конце угольника нарезают отверстие и ввертывают в него винт 3. Подвертывая винт отверткой, можно регулировать нажатие шкива электродвигателя 4 на обод маховика машины.

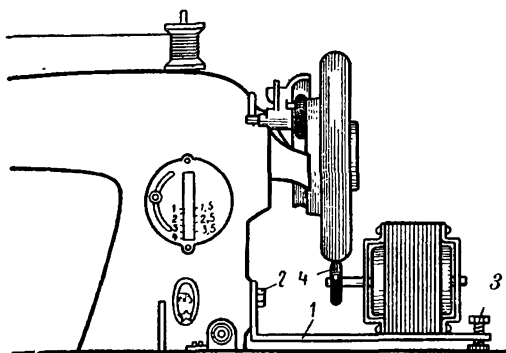


Рис. 7-5. Электропривод швейной машины.

Чтобы швейная машина не рвала нитку, электродвигатель должен пускаться плавно, что можно сделать, постепенно увеличивая подводимое к электродвигателю напряжение при помощи реостата. Реостат представляет собой фарфоровую трубку 1 (рис. 7-6) с намотанной на него проволокой из спирали для электрической плитки. По спирали должен передвигаться ползунки 2 из твердой латуни или бронзы. Реостат включают последовательно с электродвигателем. При пуске электродвигателя вся спираль включена. По мере передвижения ползунка длина включенной спирали уменьшается, напряжение, подводимое к электродвигателю, увеличивается, и он повышает частоту вращения.

Для управления реостатом надо пристроить ножную педаль 3 с пружиной 4. Под действием пружины реостат выключается, а при нажатии ноги на педаль включается и постепенно увеличивает напряжение на двигателе. Нельзя забывать, что спираль реостата при работе нагревается, особенно когда машина работает на малых оборотах с постоянно включенным реостатом. Поэтому для предохранения от ожогов ноги, от загорания платья и от поражения электрическим током его надо закрыть кожухом из листового железа. В кожухе дол-

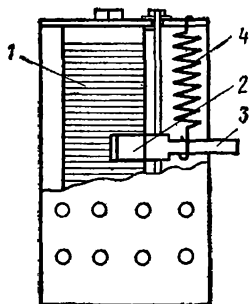


Рис. 7-6. Регулируемый реостат.

жны быть сделаны отверстия для охлаждения спирали. Электродвигатель для швейной машины заводского изготовления показан на рис. 2-10.

7-4. ЭЛЕКТРОФОН

Примером фрикционной передачи является привод электрофона. Диск электрофона должен иметь три частоты вращения: 33, 45 и 78 об/мин, поэтому в нем применена трехскоростная передача от электродвигателя к диску при помощи шкива с тремя ступенями.

На рис. 7-7 представлена кинематическая схема привода электрофона. На валу электродвигателя 1 укреплен ступенчатый насадка 2, к одной из ступеней которой пружиной 5 прижат ролик 3 с резиновым ободом. Ось ролика вращается в подшипнике пластины 4.

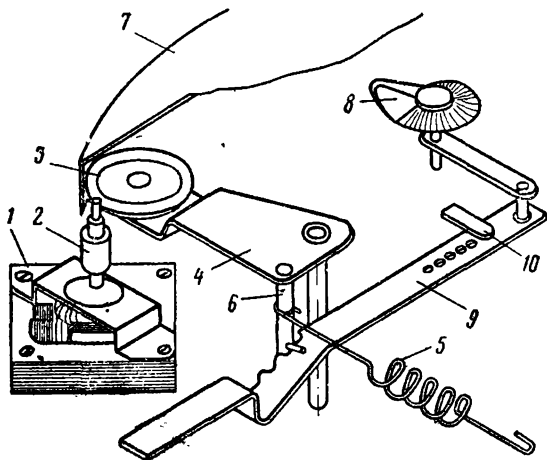


Рис. 7-7. Кинематическая схема привода электрофона.

Один конец пружины неподвижно закреплен в футляре электрофона, а другой конец зацеплен за шкворень 6, жестко соединенный с пластиной 4. Под действием пружины пластина 4 поворачивается вокруг оси, ролик 3 прижимается к диску 7 электрофона и к одной из ступеней насадки 2.

В положении, показанном на рис. 7-7, диск вращается с частотой 33 об/мин; так как фрикционная передача имеет самое большое передаточное отношение. Для перевода диска на другие частоты вращения служит реечный механизм переключения. Он состоит из ручки переключения скоростей 8, рейки 9 и фиксатора 10. При повороте ручки 8 рейке 9 через рычаги сообщается поступательное движение. На рейке имеется изгиб, который охватывается двумя штифтами, запрессованными в шкворне 6. В месте изгиба на рейке вырезаны два зуба и три впадины.

При перемещении рейки шкворень 6 передвигается по ее поверхности. Когда шкворень стоит на зубе рейки, ролик 3 отходит от ступенчатой насадки на валу электродвигателя. В это время благодаря

изгибу рейки он опускает пластину 4 и ролик 3 устанавливается против средней ступени насадки. Когда шкворень 6 встанет против впадины рейки, эта ступень насадки прижмется к ролику 3 и диск будет теперь вращаться с частотой 45 об/мин. Аналогично переключается третья скорость диска.

Поступательные перемещения рейки фиксируются шариковым фиксатором с пружиной 10. Когда электрофон находится в нерабочем состоянии, рекомендуется рейку оставлять в промежуточном между двумя рабочими положениями, т. е. когда шкворень стоит против зуба. При этом отсутствует давление пружины 5 на резиновый обод ролика 3 и он не деформируется.

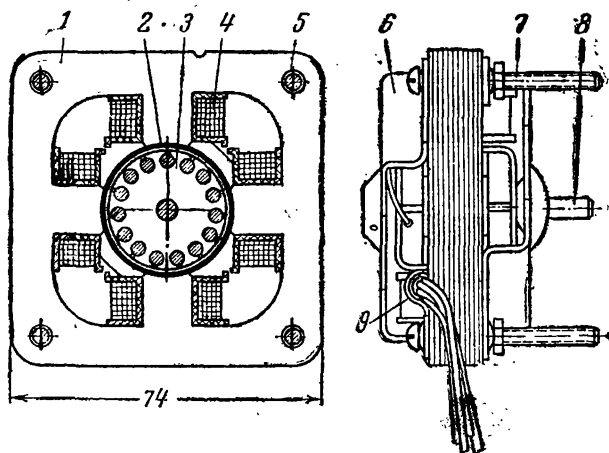


Рис. 7-8. Электродвигатель электрофона.

Для привода электрофона применяют конденсаторный электродвигатель напряжением 127 В, с частотой вращения (синхронной) 3 000 об/мин. При напряжении сети 220 В переставляют вставку под диском. Электродвигатель имеет упрощенную конструкцию (рис. 7-8). Вместо распределенных по окружности статора пазов в нем применены листы статора 1 квадратной формы с четырьмя полюсными сердечниками. На них надеты четыре катушки 4, намотанные из медного эмалированного провода на пластмассовые каркасы. Две катушки, соединенные последовательно, подключены к сети переменного тока. Две другие катушки соединены последовательно с конденсатором и также подключены к сети переменного тока.

В расточку полюсных сердечников запрессована стальная гильза 2, которая образует полюсные наконечники. Листы статора крепятся развальцованными втулками 5, сквозь отверстия которых проходят винты 7. Эти винты прижимают к торцу статора скобы 6, в которых смонтированы подшипники скольжения со сферической наружной поверхностью. Под головку одного из винтов зажата скоба 9, крепящая выводы обмотки статора. Листы ротора 3 круглой формы с 15 пазами по окружности. Ротор залит алюминиевым сплавом вместе с замыкающими кольцами и напрессован на вал 8.

7-5. НАСТОЛЬНЫЙ ВЕНТИЛЯТОР

Самым простым электроприбором без всяких механических передач является настольный вентилятор. Настольный вентилятор является типичным механизмом для применения в нем асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым витком на полюсе. Этот электродвигатель не имеет скользящих контактов и не создает радиопомех. Для разгона крыльчатки вентилятора нужен ничтожный вращающий момент, так как время разгона здесь не ограничено. Так как воздушный поток, создаваемый вентилятором, растет с увеличением скорости вращения, нет смысла соединять его с электродвигателем через понижающую скорость передачу. Поэтому крыльчатку вентилятора надевают непосредственно на конец вала электродвигателя.

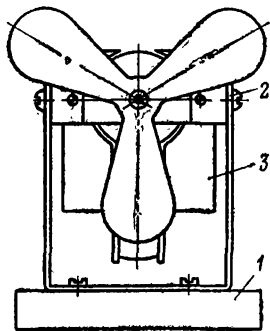


Рис. 7-9. Настольный вентилятор.

Сделать вентилятор очень просто. Для этого к электродвигателю, показанному на рис. 3-5, надо пристроить подставку 1, закрыть его защитным кожухом 3 и насадить на конец вала крыльчатку (рис. 7-9). Для направления воздушного потока выше или ниже соединенные электродвигателя с подставкой выполняют в виде шарнира 2. Кожух электродвигателя можно согнуть из жести. В передней и задней стенках кожуха надо прорезать отверстия. Через них крыльчатка вентилятора будет прогонять воздух и охлаждать электродвигатель.

Электродвигатель питается от сети переменного тока напряжением 127 или 220 В. Ввиду того, что настольные вентиляторы предназначены для длительной работы, они должны иметь оптимальные параметры. Поэтому в настольных вентиляторах не применяются какие-либо переключения на различные напряжения источника питания и вентиляторы выпускаются на 127 и 220 В с различными обмоточными данными электродвигателей.

Крыльчатку вентилятора легче всего вырезать из жести (рис. 7-10). Но металлические крыльчатки необходимо защищать решеткой во избежание нанесения повреждений при неосторожном прикосновении к быстро-

вращающейся крыльчатке. Поэтому современные вентиляторы выпускают с мягкими лопатками, спрессованными из резины. В самодельных вентиляторах в колпачке 2 пробивают косые прорези и вставляют в них вырезанные из листовой резины лопасти 3. Для того чтобы крыльчатка вращалась спокойно, надо ее после изготовления сбалансировать.

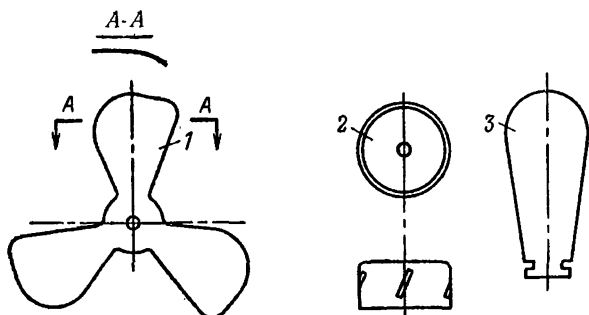


Рис. 7-10. Крыльчатки настольного вентилятора.

Форма изгиба лопаток крыльчатки 1 показана на рис. 7-10. Не следует давать слишком большого наклона лопастям, так как это создает большую нагрузку на электродвигатель: он снизит частоту вращения и количество прогоняемого им воздуха уменьшится.

7-6. КОФЕМОЛКА

Всем известно, что кофе даже при кратковременном хранении в размолотом виде теряет свои ароматические свойства. Поэтому желательно размол кофейных зерен производить непосредственно перед заваркой.

В ручных мельницах размолка кофейных зерен производится между неподвижной зубчатой втулкой и вращающимся зубчатым коническим барабаном. Всем вам, вероятно, приходилось крутить ручку такой мельницы. Работает она медленно и требует большого усилия.

На рис. 7-11 показано устройство электрической кофемолки КМ-2 московского завода «Памяти революции 1905 года».

Она построена на совершенно другом принципе. Здесь зерна кофе не перемалываются между зубчатыми барабанами, а дробятся ножом 4, представляющим собой узкую стальную пластинку, которая средней частью надета на вал электродвигателя 6, а концы ее загнуты в разные стороны. Конечно, чтобы дробить зерна на лету, нужны огромная частота вращения ножа (выше 10 000 об/мин) и

достаточная мощность электродвигателя. Поэтому в кофемолке применен коллекторный однофазный электродвигатель мощностью 100 Вт, питающийся от сети переменного тока.

Устроена кофемолка очень просто. В пластмассовый корпус 2 вставлена металлическая чашка 3. В чашку засыпают порцию зерен и закрывают пластмассовой крышкой 1. Крышку нельзя открывать во время работы кофемолки. Электродвигатель 6 зажат между двумя резиновыми амортизаторами 5 и 7. Корпус опирается на четыре резиновые ножки 8. Под двумя ножками помещают головки двух винтов, концы которых ввернуты в лапки чашки 3. Продолжительность размола порции зерен около 20 с. Кофемолка может быть использована для получения сахарной пудры, размола перца, соли и других сухих продуктов. Тонкость помола зависит от продолжительности работы кофемолки.

7-7. МИКСЕР

Верным помощником на кухне является миксер. Он значительно сокращает время и облегчает труд, когда нужно сбить крем, гоголь-моголь, приготовить коктейль или овощное пюре, размешать тесто и т. д. Тот, кому приходилось готовить эти блюда вручную, несомненно оценит этого электрического помощника.

На рис. 7-12 показана конструкция комбинированного миксера. Он имеет два выхода — быстроходный и тихоходный. Каждый выход имеет две частоты вращения. У быстроходного выхода частота вращения 16 000/12 000 об/мин, а у тихоходного 700/500 об/мин.

Присоединение рабочих инструментов к быстроходной ступени осуществляется через шестиградник 7, укрепленный на конце вала электродвигателя, тихоходный выход соединен с электродвигателем через червячный редуктор 6, который состоит из червяка, нарезанного непосредственно на валу ротора 3, и двух шестерен, сидящих на пустотелых валах 8, в которые вставляют рабочие инструменты.

Рабочие инструменты приводятся во вращение двухскоростным коллекторным электродвигателем мощностью 150 Вт. Включение и переключение скоростей производится переключателем 1, имеющим три положения, обозначенных цифрами 1, II и 0. Переключатель смонтирован на ручке 4 пластмассового корпуса 2, состоящего из двух половин, стянутых винтами. На стенках корпуса имеются гнезда, в которые вложены резиновые амортизаторы для эластичного соединения электродвигателя с корпусом миксера.

Миксеры выпускаются для двух напряжений сети 220 и 127 В.

Статор электродвигателя П-образной формы подобен статору, изображенному на рис. 2-7, с той лишь разницей, что вместо одной катушки у двигателя имеются две катушки, надетые на боковые стержни сердечника после его спрессовки. Для охлаждения электродвигателя на конец вала надета крыльчатка 5. Для снижения радиопомех имеется конденсатор.

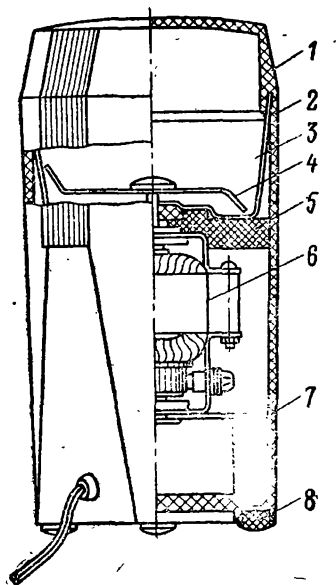


Рис. 7-11. Кофемолка.

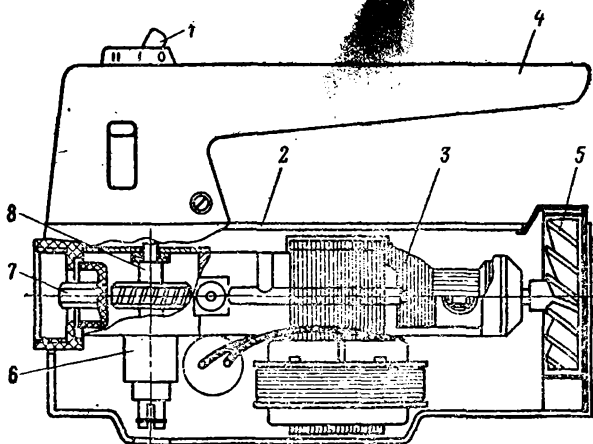


Рис. 7-12. Миксер.

Для самостоятельного изготовления такой миксер, конечно, слишком сложен, главным образом из-за наличия в нем червячного редуктора. Поэтому делать миксер следует только с одной скоростной прямой передачей от электродвигателя, вращающегося с частотой около 10 000 об/мин. При этой частоте вращения можно производить наиболее трудоемкие процессы, как, например, приготовление коктейля или сбивание крема. Что касается тихоходного привода, используемого для приготовления овощного пюре или размешивания теста, то в этих процессах эффект от применения миксера менее ощутителен.

7-8. ШАШЛЫЧНИЦА С ВЕРТИКАЛЬНЫМИ ВРАЩАЮЩИМИСЯ ШАМПУРАМИ

Шашлыки являются очень распространенным и вкусным блюдом, но приготовление их в квартирных условиях встречает много трудностей. При горизонтальном расположении шампуров, на которые надеты кусочки мяса, капли жира, неизбежно попадающие на нагревательные элементы, вызывают сильную гарь в комнате.

Поворачивание шампуров вручную для равномерного прожаривания мяса также является скучным занятием.

Описанная здесь конструкция вертикальной шашлычницы с вращающимися шампурами от электродвигателя избавляет от всех этих неприятностей и обеспечивает равномерное прожаривание мяса. Одновременно на шести шампурах за 20 мин можно приготовить около 1 кг шашлыка. Ввиду того, что в продаже таких шашлычниц нет, здесь приводятся подробное описание и рабочие чертежи одной из таких шашлычниц, проверенной на практике и давшей хорошие результаты. Комплект чертежей состоит из общего вида (рис. 7-13), черте-

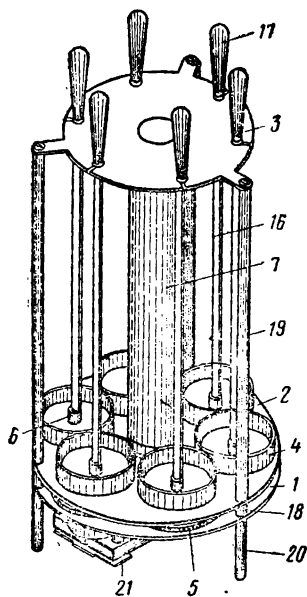


Рис. 7-13. Шашлычница.

жей деталей (рис. 7-14) и сборок составных частей (рис. 7-15). На всех рисунках одинаковые детали обозначены одними и теми же цифрами.

Общий вид шашлычницы показан на рис. 7-13. Она состоит из трех плат 1, 2 и 3. Платы 2 и 3 скреплены тремя стойками 19, а между платами 1 и 2 ввинчены распорки 18 с нарезанными концами. С нижней стороны в эти распорки ввинчены три ножки 20. На плате 2 установлены шесть чашек 4 для стекания жира. Они состоят из нескольких деталей, сборка которых показана на рис. 7-15. В прорези вилки 6 вставлены нижние концы шампуров 16, верхние концы которых вставлены в отверстия платы 3. Шампуры скреплены с текстолитовыми ручками 17. Для выемки шампуров надо их слегка приподнять, повернуть ребром к прорези в плате 3 и вынуть из гнезда.

Для равномерного прожаривания кусочков мяса шампуры должны медленно вращаться со скоростью 2 об/мин. Для привода шампуров следует использовать готовые электродвигатели 21 с встроенным редуктором типа ДСД-2 при напряжении сети 220 В или типа ДСД2-П1 при напряжении сети 127 В. Сделать такие электродвигатели самостоятельно было бы очень трудно, тем более что готовый электродвигатель можно приобрести в магазине.

Одновременное вращение всех шампуров осуществляется при помощи шести шестерен 5. Одна из шестерен надета на вал редуктора. При установке электродвигателя на плату 1 необходимо снять планку, прижимающую редуктор к ядру электродвигателя, стяжные винты пропустить через отверстие диаметром 5,5 мм головками внутрь, а на свободных концах винтов вновь собрать электродвигатель. Лишнюю длину вала электродвигателя надо срезать, чтобы все шестерни были установлены на одном уровне.

Далее на валу электродвигателя сквозь гайку и втулку надо про сверлить отверстие и нарезать резьбу М2. Винтом М2×6 шестерня стопорится на валу электродвигателя, как показано на рис. 7-15. Сборка остальных пяти шестерен показана на этом же чертеже. При включении электродвигателя все шесть шампуров будут вращаться с частотой 2 об/мин.

В центре шашлычницы расположен нагревательный элемент. Он состоит из нихромовой проволоки, намотанной на фарфоровый изолятор 7 с винтовой канавкой. Если нет возможности достать такой изолятор, то можно использовать гладкую керамическую трубку, а нихромовую проволоку предварительно свивают в спираль с внутренним диаметром 5—6 мм. Спираль наматывают на керамическую трубку, прокладывая между витками спирали асбестовый шнур. В качестве изолятора можно использовать также асбестовую трубку или корпус керамического сопротивления типа ПЭВ подходящего диаметра. В зависимости от размеров изолятора соответственно изменяются размеры армирующих деталей, сборка которых показана на рис. 7-15. Для крепления изолятора между платами 2 и 3 служат втулки 11 и 12. На дно втулки 12 вкладывают асбестовый кружок. Между изолятором и стенками втулок, а также на дно втулки 11 прокладывают асбестовый шнур.

Мощность нагревательного элемента около 1,7 кВт. При напряжении сети 220 В наматывают 10 м нихромовой проволоки диаметром 0,7 мм. Концы нихромовой

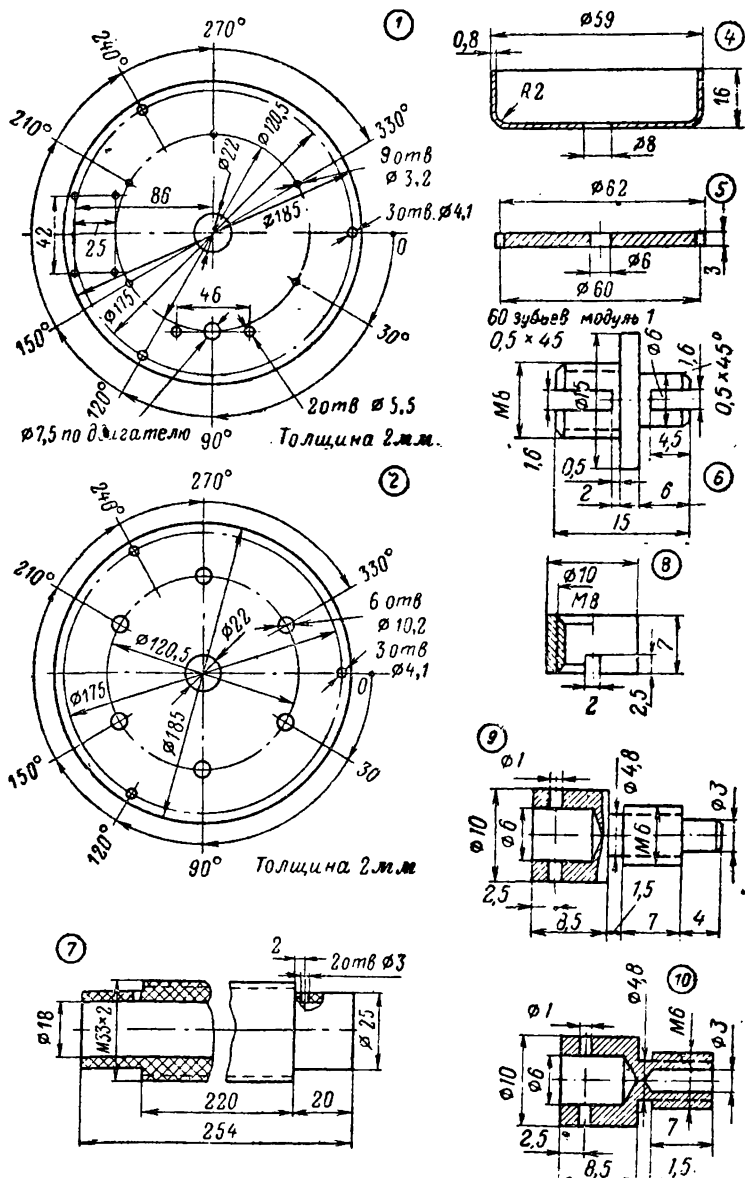
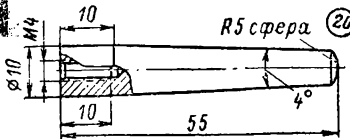
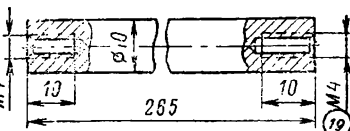
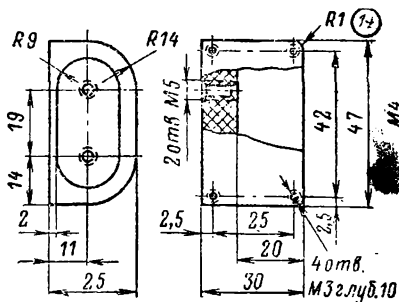
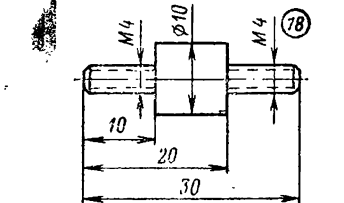
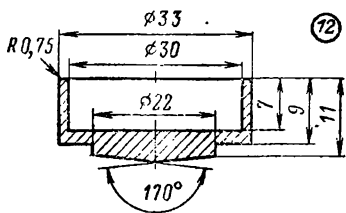
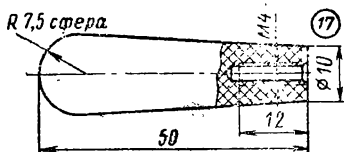
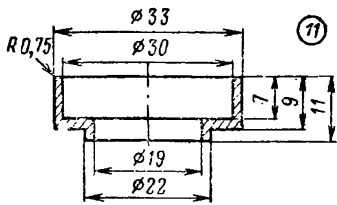
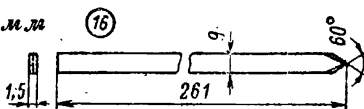
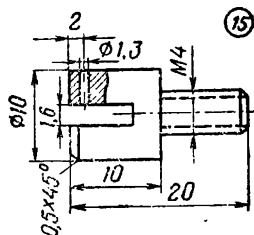
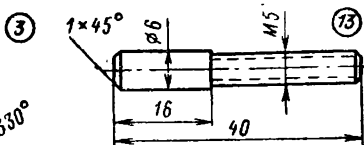
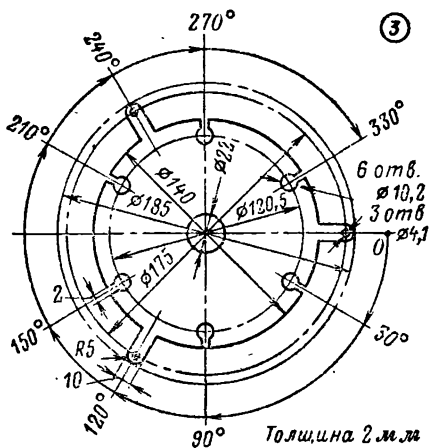


Рис. 7-14. Детали



ШАШЛЫЧЦЫ.

проволоки через отверстия в изоляторе пропускают внутрь трубки и на них надевают керамические бусы, чтобы избежать замыкания между выводными концами. Набор бус должен доходить до клемм колодки.

При напряжении сети 127 В берут 10 м нихромовой проволоки диаметром 0,63 мм, складывают ее вдвое и наматывают на изолятор в две параллельные проволоки.

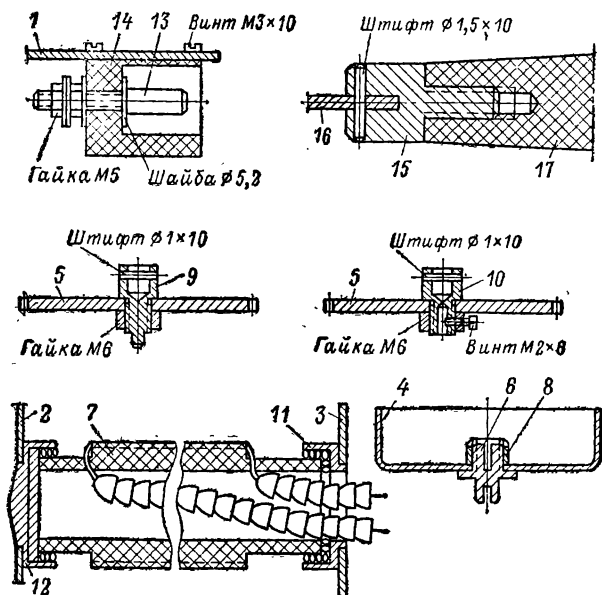


Рис. 7-15. Сборочные чертежи шашлычницы.

Выводные концы от электродвигателя и нагревательного элемента закрепляют гайками на латунных штырях 13, укрепленных в колодке 14 из текстолита или эбонита. Установив изолятор между платами 2 и 3, скрепляют их стойками 19, в концы которых ввинчивают винты М4×8.

Для плоских металлических деталей можно применить листовую сталь или алюминий, а для точеных деталей прутковую сталь или алюминий.

При хранении шашлычницу накрывают полихлорвиниловым чехлом для предохранения от пыли.

Приведенная конструкция шашлычницы не является

единственно возможным вариантом и открывает широкое поле деятельности для самостоятельного творчества как в конструктивном, так и в эстетическом отношении. При изготовлении деталей не требуется высокой точности.

7-9. ОБСЛУЖИВАНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ БЫТОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИБОРОВ

Надежная и долговечная работа электродвигателей бытовых электроприборов зависит от правильного их использования и ухода за ними. При пользовании электроприборами надо точно выполнять все требования, изложенные в прилагаемых к ним инструкциях. Особенно опасно включать электроприбор в сеть, напряжение которой выше номинального напряжения электродвигателя. Во избежание таких ошибок, если вы пользуетесь прибором с переключением при разных напряжениях сетей (например, швейная машина, электропроигрыватель, электрическая бритва), то заранее перед перевозкой его к сети с большим напряжением переключите прибор на это напряжение.

Обычно заводскими инструкциями запрещается разбирать прибор до истечения гарантийного срока службы. На это время электродвигатель не нуждается ни в смазке подшипников, ни в смене щеток. Но по истечении гарантийного срока службы необходимо периодически производить операции ухода за электродвигателем при осмотрах и разборках.

Основная операция ухода за электродвигателем заключается в смазке подшипников. Здесь необходимо различать подшипники скольжения и подшипники качения (шарикоподшипники). В большинстве электродвигателей бытовых электроприборов применяются подшипники скольжения. Подшипник скольжения может работать только при условии, что трущиеся поверхности вала и втулки подшипника разделены тонкой пленкой масла. Как только эта пленка нарушена, начинается сухое трение между двумя металлическими деталями, вызывающее быстрое ее изнашивание и нагрев. Поэтому необходимо периодически смазывать подшипники.

Периодичность смазки зависит от условий работы и конструкции электродвигателя. Например, подшипники настольного вентилятора при частом пользовании смазывают не реже 1 раза в месяц, электродвигатели проиг-

рываетеля или электрофона 1 раз в три месяца, подшипники электродвигателей привода швейных машин смазывают через 2 000 ч работы, подшипники электродвигателя электробритвы «Харьков» смазывают 1 раз в 1—1,5 года, так как в ней стоят самосмазывающиеся подшипники.

Смазку подшипников скольжения следует производить жидкими маслами: индустриальное 45, веретенное № 3, турбинное, машинное. Смазывание производят несколькими каплями масла, которое с помощью масленки впускают в смазочные отверстия подшипников, а при отсутствии их — в щель между валом и втулкой подшипника. Но нельзя допускать, чтобы масло попадало внутрь электродвигателя, так как при вращении ротора оно будет разбрызгиваться и попадать на коллектор и обмотку. Масло разъедает изоляцию обмоток и ухудшает контакт между щетками и коллектором.

У электродвигателей с шарикоподшипниками периодичность смазки еще более редкая, практически до 3—5 лет. В последнее время в электродвигателях стали применять шарикоподшипники с защитными шайбами, у которых смазка заложена в подшипник на весь срок его службы до полного износа. Шарикоподшипники смазывают консистентными смазками, которые не разжижаются при нагревании электродвигателя. Хорошие результаты дает смазка шарикоподшипников консистентной смазкой «консталин», которая применяется для смазки автомобилей и продается на бензоколонках. Перед заменой смазки необходимо промыть подшипник в чистом бензине и просушить. Нельзя переполнять камеру подшипника смазкой, так как это вызовет нагрев подшипника при вращении. Смазка должна заполнять примерно половину объема камеры подшипника. Необходимо помнить, что пыль и грязь являются злейшими врагами шарикоподшипников, поэтому нельзя допускать загрязнения подшипников.

В коллекторных машинах необходимо менять щетки по мере их износа. Нельзя допускать, чтобы щетка срабатывалась до тех пор, пока электродвигатель не перестанет работать. При этом гибкие канатики, запрессованные в тело щетки, начинают чертить по коллектору и портят его поверхность. При сильном износе щеток давление, с которым они прижимаются к поверхности коллектора, ослабевает, ухудшается контакт между щет-

ками и коллектором, что вызывает повышенное искрение и обгорание коллекторных пластин. Обычно в инструкциях по эксплуатации электродвигателей бытовых электроприборов оговорена минимальная высота щеток. Когда щетка изношена до этого предела, ее надо сменить.

Уход за коллектором заключается в наблюдении за его поверхностью. Если на коллекторе обнаружены выгоревшие места, их надо зачистить мелкой стеклянной бумагой. Глубокие прогары удаляют протачиванием поверхности коллектора на токарном станке. После проточки поверхность коллектора необходимо отполировать кусочком пемзы при быстром вращении. Нельзя допускать, чтобы чешуйки слюды из миканитовых прокладок между пластинами выступали на поверхности коллектора. Их надо вырезать острым ножом или выскабливать кусочком ножовочного полотна, сточив его на точиле до толщины, равной толщине миканитовой прокладки между пластинами. Темные полосы на поверхности коллектора удаляют чистой тряпочкой, смоченной в бензине.

В процессе эксплуатации электродвигателей бытовых приборов приходится удалять мелкие неисправности, которые надо уметь обнаруживать. Если электродвигатель не работает, то не спешите его разбирать. Первое, что надо сделать, это проверить — имеется ли напряжение на его зажимах. Часто электродвигатель не работает из-за отсутствия напряжения в сети или вследствие повреждения токоподводящего шнура. Во избежание поражения электрическим током никогда не проверяйте наличие напряжения прикосновением пальцев к токонесущим деталям сети или электродвигателя. Пользуйтесь для этого контрольной лампой. Для проверки исправности контрольной лампы включите вилку в штепсельную розетку и замкните щупы на концах проводов контрольной лампы. При этом лампа должна загореться. При исследованиях электродвигателей лампа будет гореть, если электрическая цепь не разорвана. Если лампа не горит, то в цепи обрыв.

Если токоподводящий провод электроприбора в порядке, то снимают электродвигатель с прибора для определения неисправности. Сначала осматривают электродвигатель снаружи, при этом стирают с него пыль и проверяют состояние и наличие крепежных деталей, состояние выводных концов и надежность контактов между выводными концами и зажимами. Затем с помощью

контрольной лампы проверяют отсутствие замыкания обмоток на корпус. Для этого один контакт контрольной лампы присоединяют к концу вала электродвигателя, а другим попеременно касаются всех зажимов электродвигателя. Если лампа загорится, значит, необходимо электродвигатель отремонтировать.

После этого проверяют обмотки на отсутствие обрывов. Для этого присоединяют контакты контрольной лампы к началу и концу каждой обмотки. Если контрольная лампа загорается, значит, обрывов нет. При обнаружении неисправности электрической части электродвигатель надо разобрать. После разборки осматривают детали электродвигателя, обращая особое внимание на подшипники, коллектор и щеткодержатели. Неисправные обмотки следует перемотать.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Обозначения единиц измерения	6
Глава первая. Техника безопасности	7
1-1. Задачи техники безопасности	7
1-2. Правила безопасности при слесарных работах	8
1-3. Правила электробезопасности	8
1-4. Противопожарные мероприятия	11
Глава вторая. Коллекторные электродвигатели постоянного и переменного тока	13
2-1. Принцип действия электродвигателя постоянного тока	13
2-2. Характеристики электродвигателей	17
2-3. Потери энергии в электродвигателе и к. п. д.	20
2-4. Коллекторные электродвигатели переменного тока	22
2-5. Радиопомехи	26
2-6. Устройство коллекторных электродвигателей	26
Глава третья. Однофазные электродвигатели переменного тока	31
3-1. Трехфазный ток	31
3-2. Однофазные асинхронные электродвигатели	34
3-3. Электродвигатели с короткозамкнутым витком на полюсе	38
3-4. Электродвигатели с пусковыми обмотками	40
3-5. Электродвигатели с пусковыми сопротивлениями (резисторами) и конденсаторами	43
3-6. Схемы обмоток однофазных электродвигателей	46
3-7. Устройство асинхронных однофазных электродвигателей	52
3-8. Синхронные однофазные электродвигатели	55
3-9. Использование трехфазных асинхронных электродвигателей в качестве однофазных	58

Глава четвертая. Расчеты электродвигателей	62
4-1. Зачем нужны расчеты?	62
4-2. О расчете электродвигателей	64
4-3. Обмоточные провода	67
4-4. Таблица намагничивания	69
4-5. Номинальные данные электродвигателя	72
4-6. Расчет электродвигателя постоянного тока	72
4-7. Пример расчета электродвигателя постоянного тока	84
4-8. Расчет коллекторного электродвигателя переменного тока	87
4-9. Пример расчета коллекторного электродвигателя переменного тока	90
4-10. Расчет асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым витком на полюсе	93
4-11. Пример расчета асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым витком на полюсе	95
4-12. Расчет однофазного асинхронного электродвигателя с пусковой обмоткой	96
4-13. Пример расчета однофазного асинхронного электродвигателя с пусковой обмоткой	100
4-14. Расчет конденсаторного электродвигателя	102
Глава пятая. Изготовление электродвигателей	103
5-1. Конструкторская и технологическая подготовка производства	103
5-2. Сердечники статора	105
5-3. Сердечники ротора и якоря	108
5-4. Коллекторы	110
5-5. Обмотка якоря коллекторного электродвигателя	113
5-6. Щетки и щеткодержатели	118
5-7. Балансировка роторов и якорей	119
5-8. Обмотки статоров	121
5-9. Подшипники	125
Глава шестая. Трансформатор для питания электродвигателей	126
6-1. Как работает трансформатор	127
6-2. Конструкция	129
6-3. Расчеты	130
6-4. Примеры расчетов	134
6-5. Изготовление	137
6-6. Испытание	142
Глава седьмая. Электробытовые приборы	144
7-1. Соединение электродвигателей с механизмами	144
7-2. Движущиеся модели	147
7-3. Швейная машина	158

	Стр.
7-4. Электрофон : :	150
7-5. Настольный вентилятор	152
7-6. Кофемолка	153
7-7. Миксер	154
7-8. Шашлычница с вертикальными вращающимися шампурами	156
7-9. Обслуживание электродвигателей бытовых электроприборов	161