

Общие сведения об электрических машинах

Началом создания электрических машин следует считать открытие М. Фарадеем закона электромагнитной индукции и последующие работы в этой области Дж. Максвелла, Э. Ленца, М.О. Доливо-Добровольского и др. Большой вклад в развитие теории работы электрических машин внесли советские ученые А.Е. Алексеев, Б.П. Апаров, А.И. Вольдек, А.В. Иванов-Смоленский, М.П. Костенко, К.А. Круг, СИ. Курбатов, Л.М. Пиотровский и др.

Современный этап развития человеческой цивилизации немислим без применения электрической энергии. Львиную долю электроэнергии потребляет железнодорожный транспорт.

Электрические машины преобразуют электрическую энергию в механическую и механическую в электрическую, а также одну форму электрической энергии в другую, отличающуюся по напряжению, току, частоте. Электрическая машина, в отличие от других электромеханических преобразователей, совершает непрерывный процесс преобразования энергии.

Генератором называют электрическую машину, преобразующую механическую энергию в электрическую, а *электродвигателем* – электрическую машину, преобразующую электрическую энергию в механическую. Основная особенность этих электрических машин в том, что они *обратимы*, т.е. одна и та же машина может работать, как правило, и в режиме двигателя и в режиме генератора.

Преобразователем называют электрическую машину, преобразующую одну форму электрической энергии в другую, изменяя величину напряжения переменного и постоянного тока, частоту, число фаз и другие параметры. Однако существуют *электромашинные преобразователи*, преобразующие переменный ток в постоянный или переменный ток промышленной частоты в ток более высокой частоты. Кроме того, электрические машины используют для усиления мощности электрических сигналов. Подобные машины называют *электромашинными усилителями*. Для повышения коэффициента мощности ($\cos \varphi$) также используют *синхронные компенсаторы*.

Неподвижная часть машины является *статором*, а вращающаяся – *ротором*. Такие машины называют *одномерными*. В отдельных случаях могут вращаться обе части – эти машины называют *двухмерными*. Почти все выпускаемые промышленностью машины являются одномерными с цилиндрическим вращающимся ротором и внешним неподвижным статором. Находят применение также электрические машины, в которых ротор имеет форму диска. Такие машины называют *торцевыми*. У *линейных* двигателей ротор относительно статора совершает линейное или возвратно-поступательное движение.

Непременным *условием преобразования энергии* электрической машины является изменение потокоцепления обмоток в зависимости от положения ее частей статора и ротора. Преобразование энергии в них осуществляется в магнитном поле.

На каждой электрической машине имеется металлическая паспортная табличка, на которой *указаны*: завод-изготовитель, год выпуска, класс изоляции, масса машины и номинальные данные, характеризующие основные энергетические показатели и условия работы машины, на которые она рассчитана. Кроме того, там же указаны энергетические показатели – мощность, напряжение, ток, частота вращения, частота переменного тока, коэффициент полезного действия (КПД), число фаз, коэффициент мощности и режим работы (длительный, кратковременный и т.п.).

Тяговые машины характеризуются двумя режимами работы – часовым и продолжительным. *Часовой* называют мощность, с которой двигатель может работать в течение одного часа, за это время его обмотки нагреваются под действием тока до предельно допустимой температуры. *Продолжительной* называют мощность, с которой двигатель может работать в течение длительного времени, при этом температура нагрева его отдельных частей не превысит допустимую.

Трансформаторы не имеют вращающихся частей и являются статическими преобразователями электроэнергии переменного тока. Однако принцип действия трансформаторов и электрических машин одинаковый и основан на явлении электромагнитной индукции.

Классификация электрических машин

По назначению электрические машины подразделяются на:

- электродвигатели,
- генераторы,
- электромашинные и электромеханические преобразователи,
- компенсаторы.

По роду тока электрические машины делят на машины:

- постоянного тока,
- переменного тока.

По принципу действия электрические машины разделяются на:

- коллекторные,
- бесколлекторные.

К *коллекторным* машинам относятся машины постоянного тока и универсальные машины, работающие как от сети постоянного, так и от сети переменного тока. *Бесколлекторные* машины – это всегда машины переменного тока: *синхронные* и *асинхронные*.

Номинальной мощностью электрической машины называют мощность, на которую рассчитана данная машина по условиям нагрева и безаварийной работы в течение установленного срока службы. В реальных условиях машина может работать и при ненормальных условиях (уменьшенная или увеличенная мощность; напряжение и ток, отличающиеся от номинальных и т.д.). Однако при этом будут отличаться и энергетические показатели машины: при небольших нагрузках (меньше номинальных) будут меньше КПД и коэффициент мощности, а при нагрузках больше номинальных – увеличится нагрев машины, что может привести к преждевременному выходу из строя изоляции обмоток и, следовательно, всей машины.

По *мощности* электрические машины условно подразделяют на:

– *микромашин* имеют мощность от долей ватта до 500 Вт. Эти машины работают как на постоянном, так и на переменном токе нормальной и повышенной (400–2000 Гц) частоты,

– *машины малой мощности* – от 0,5 до 10 кВт – также могут работать как на постоянном, так и на переменном токе нормальной или повышенной частоты,

– *машины средней мощности* – рассчитаны на мощность от 10 до нескольких сотен кВт,

– *машины большой мощности* – свыше нескольких сотен кВт.

В зависимости от *частоты вращения* машины условно подразделяют на:

– *тихоходные* с частотами вращения до 300 об/мин;

– *средней быстроходности* – 300–1500 об/мин;

– *быстроходные* – 1500–6000 об/мин;

– *сверхбыстроходные* – свыше 6000 об/мин.

По *степени защиты* от внешних воздействий различают следующие виды исполнения электрических машин:

– *открытое исполнение* – машина не имеет специальных приспособлений, которые предохраняют от попадания внутрь посторонних предметов, а также от прикосновения обслуживающего персонала к токоведущим и вращающимся частям. На электровозах ВЛ80 всех индексов открытые асинхронные машины применяют в качестве привода компрессоров, вентиляторов;

– *защищенное* – машина имеет специальные приспособления, необходимые для циркуляции воздуха, охлаждающего машину – соответствующие крышки, кожухи, сетки и пр. Такие машины не имеют приспособлений, защищающих от дождя. Их применяют в качестве расцепителей фаз и других вспомогательных машин ТПС и устанавливают в кузовах электровозов;

– *брызгозащищенное* – машина обеспечена приспособлениями, защищающими машину от дождя и водяных брызг, падающих сверху или с любой из четырех сторон под углом до 45° к вертикали. Брызгозащищенные машины могут устанавливаться на открытом воздухе:

– *каплезащищенное* – машина защищена от попадания внутрь машины вертикально падающих капель;

– *водозащищенное* – машина недоступна проникновению внутрь струй воды любого направления (также и снизу). В ней предусмотрены усиленные уплотнения резиновыми прокладками и сальниками. Случайно попавшая в машину вода вытекает из нее или удаляется охлажденным воздухом;

– *пылезащищенное* – машина защищена от попадания внутрь пыли в опасных для нормальной работы количествах;

– *закрытое* – внутреннее пространство машины изолировано от внешней среды. Большинство вспомогательных машин, а также тяговые электродвигатели электровозов выполнены закрытыми;

– *герметичное* – машина выполняется с особо плотной изоляцией от окружающей среды, предотвращающей сообщение ее с внутренним пространством при определенной разности давлений снаружи и внутри машины. В качестве примера можно привести масляный электронасос тягового трансформатора электровозов переменного тока;

– *взрывозащищенное (взрывобезопасное)* – машина может работать во взрыво- и пожароопасной среде.

Кроме того, машины могут иметь следующие специальные исполнения:

- влагостойкое,
- морозостойкое,
- тропическое и др.

Материалы для изготовления электрических машин

Материалы, применяемые в электромашиностроении, подразделяют на три категории – конструкционные, активные и изоляционные.

Конструкционные материалы применяют для изготовления частей и деталей машин, воспринимающих и передающих механические нагрузки (валы, станины, подшипниковые шиты, стояки и различные крепежные детали и т.д.). В качестве конструкционных материалов применяют сталь, чугун, цветные металлы и их сплавы, а также пластмассы. Корпуса машин постоянного тока изготавливают из низколегированной стали. Валы машин выполняют из высокопрочных конструкционных сталей.

Активные материалы могут быть двух видов – *проводниковые* и *магнитные*. В качестве проводниковых материалов используют медь и рафинированный алюминий.

Медь, применяемая в качестве электрических проводников, не должна содержать больше 0,1 % примесей, при этом наибольшее вредное воздействие оказывают на электропроводимость примеси висмута и сурьмы. Медь значительно дороже алюминия, но для изготовления обмоток тяговых машин ее применяют практически постоянно из-за более высокой электропроводности по сравнению с алюминием (примерно в 1,6 раза), что позволяет уменьшить габариты машины. Медные сплавы используют также для изготовления вспомогательных токопроводящих частей (контактные кольца, коллекторные пластины, болты и т.д.).

Алюминий имеет большее удельное сопротивление, чем медь, поэтому габаритные размеры электрических машины с алюминиевыми обмотками получаются больше, чем с медными, так как требуется большее сечение проводников, а это ведет к увеличению пазов якоря, габаритов обмоток возбуждения и т.д.

В качестве магнитопроводов используют различные *ферромагнитные* материалы: электротехническую сталь, чугун, стальное литье, листовую и кованую сталь, специальные сплавы.

Физические свойства и сортамент электротехнической стали регламентированы ГОСТ 21427.0-75. В электрических машинах применяют электротехнические стали марок 1211, 1212, 1213, 1311, 1411, 1412, 1511, 1512, 3411, 3413. Здесь первая цифра обозначает класс стали по структурному состоянию и виду прокатки:

- 1 – горячекатаная изотропная;
- 2 – холоднокатаная изотропная;
- 3 – холоднокатаная анизотропная с ребровой структурой.

Вторая цифра показывает содержание кремния. Цифрой 2 обозначают содержание кремния, равное 0,8-1,8 %; цифра 3 – 1,8-2,8 %; цифра 4 – 2,8-3,8 %; цифра 5 – 3,8-4,8 %. Третья цифра указывает группу по основной нормируемой характеристике:

- 0 – удельные потери при магнитной индукции $B = 1,7$ Г и частоте 50 Гц;
- 1 – удельные потери при $B = 1,5$ Т и частоте 50 Гц;
- 2 – удельные потери при $B = 1,0$ Г и частоте 400 Гц;
- 6 – магнитная индукция в слабых полях при напряженности поля 10 А/м.

Четвертая цифра – порядковый номер стали.

При увеличении кремния ухудшаются механические свойства стали, так как увеличивается ее хрупкость. В то же время кремний улучшает магнитные свойства:

- во-первых, он способствует переводу имеющегося в стали углерода из цементита в графит, что способствует снижению потерь на гистерезис,
- во-вторых, увеличивает электрическое сопротивление стали, что уменьшает потери на вихревые токи.

Обычно применяют листовую электротехническую сталь толщиной 0,5 и 0,35 мм, а также в виде рулонной ленты.

По *способу обработки* различают горячекатаную и холоднокатаную сталь. Горячекатаная сталь имеет одинаковое магнитное сопротивление во всех направлениях прокатки, а холоднокатаная – меньшее магнитное сопротивление вдоль направления прокатки.

Изоляционные материалы, применяемые для изоляции токоведущих частей электрических машин, могут быть твердыми, жидкими и газообразными. Газообразными считают воздух и водород, которые являются изоляторами и в то же время охлаждают узлы и детали электрических машин. В качестве жидких диэлектриков применяют трансформаторное масло, хорошо охлаждающее мощные трансформаторы. *Твердые* изоляционные материалы можно разделить на четыре группы:

- естественные органические волокнистые материалы – шелк, хлопчатая бумага, материалы на основе древесной целлюлозы;
- неорганические материалы – слюда, стекловолокно, асбест;
- различные синтетические материалы в виде смол, пленок, листового материала и т.д.;
- различные эмали, лаки, компаунды на основе природных и синтетических материалов.

Пропитка компаундами служит такой же цели, как и пропитка лаками. Отличие заключается только в том, что компаунды не имеют летучих растворителей, а представляет собой консистентную массу, которая при нагревании размягчается, сжимается и способна под давлением проникать в поры изоляции. Заполнение пор изоляции будет более плотным.

Международные и отечественные стандарты классифицируют изоляционные материалы на семь классов со следующими предельно допустимыми температурами:

Класс изоляции	Y	A	E	B	F	H	C
Предельно допустимые температуры. °С	90	105	120	130	155	180	Более 180

Требования к *нагревостойкости* заключаются в том, чтобы изоляция при повышении температур не меняла своих свойств.

К *классу Y* относятся непропитанные жидкими диэлектриками волокнистые материалы из хлопчатой бумаги, целлюлозы, шелка и из синтетических материалов, таких как полиэтилен, полистирол, поливинилхлорид и др. Этот класс изоляции в тяговых электрических машинах не применяется.

К *классу A* отнесены различные лакоткани, ленты, электротехнический картон, гетинакс, текстолит, а также волокнистые материалы из хлопчатой бумаги, целлюлозы и шелка, пропитанные жидкими диэлектриками. К данному классу отнесены эмаль провода на основе масляных и полиамиднорезольных лаков, полиамидных пленок, а также пропитанное дерево и древесные слоистые пластики. Изоляция класса A применяется в трансформаторах и электрических машинах мощностью свыше 100 кВт.

Класс E включает в себя эмаль проводов и электрическую изоляцию на основе поливинилацеталевых (винифлекс, металвин), полиуретановых, эпоксидных, полиэфирных (лавсан) смол и других синтетических материалов с аналогичной нагревостойкостью. Класс E включает в себя новые синтетические материалы этой нагревостойкости.

К *классу B* относятся изоляционные материалы на основе тонкой щипаной слюды (микалента, микафолий, миканит), неорганических диэлектриков (слюда, асбест, стекловолокно) и клеящих, пропиточных и покровных лаков и смол повышенной нагревостойкости органического происхождения, причем содержание органических веществ по массе не должно превышать 50 %. Сюда же относятся слюдинитовые материалы, в основе которых лежит непрерывная слюдинитовая лента из пластинок слюды размерами до нескольких миллиметров и толщиной в несколько микрон, а также полиэфирные смолы на основе фталевого ангидрида, полихлортрифторэтилен (фторопласт-3), некоторые полиуретановые смолы и др. Изоляция класса B широко применяется в тяговых электрических машинах.

Класс F объединяет изоляционные материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, но с применением органических лаков и смол, модифицированных кремнийорганическими (полиорганосилоксановыми) и другими смолами с высокой нагревостойкостью, или же с применением других синтетических смол соответствующей нагревостойкости (полиэфирные смолы на основе изо- и терефталевой кислот и др.).

К *классу H* относится изоляция на основе слюды, стекловолокна и асбеста в сочетании с кремнийорганическими (полиорганосилоксановыми), полиорганометаллосилоксановыми и другими нагревостойкими смолами. С применением этих смол изготавливают миканиты и слюдиниты, а также стекломиканиты, стеклоткани и стеклотекстолиты. К этому классу относится изоляция на основе политетрафторэтилена (флоропласт-4).

К *классу изоляции C* принадлежат слюда, кварц, стекловолокно, стекло, фарфор и другие керамические материалы, применяемые без органических связующих или с неорганическими связующими.

Задание.

Подготовить ответы на контрольные вопросы.

1. Что преобразует электрическая машина?
2. Что называют генератором и двигателем, в чем их особенность?
3. Что называют преобразователем, какие они бывают?
4. Что называют статором и ротором, какие это машины и какие ещё нашли применение?
5. Что является непременным условием преобразования энергии?
6. Какими режимами работы характеризуются тяговые машины, охарактеризуйте их?
7. Что собой представляют трансформаторы?
8. Как классифицируют электрические машины по назначению?
9. Как классифицируют электрические машины по роду тока?
10. Как классифицируют электрические машины по принципу действия, что к ним относят?
11. Что такое номинальная мощность электрической машины?
12. Как классифицируют электрические машины по мощности?
13. Как классифицируют электрические машины в зависимости от частоты вращения?
14. Как классифицируют электрические машины по степени защиты?
15. Для чего применяют конструкционные материалы, приведите примеры?
16. Какие бывают активные материалы, приведите примеры, достоинства и недостатки?
17. В чем заключается особенность способа проката стали?
18. Какие бывают изоляционные материалы, какое у них назначение?
19. Как классифицируют изоляционные материалы по нагреву, какие классы используются в трансформаторах, электрических и тяговых электрических машинах?

Срок исполнения задания: 19.01.2020