

Авторский коллектив

Кольниченко Георгий Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры автоматизации технологических процессов, оборудования и безопасности производств Мытищинского филиала Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана.

Тарлаков Яков Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации технологических процессов, оборудования и безопасности производств Мытищинского филиала Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана.

Сиротов Александр Владиславович – доктор технических наук, старший научный сотрудник, заведующий кафедрой автоматизации технологических процессов, оборудования и безопасности производств Мытищинского филиала Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана.

Усачев Максим Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации технологических процессов, оборудования и безопасности производств Мытищинского филиала Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана.

Предисловие

Основой нормального функционирования любого производственного объекта является надежное и экономичное обеспечение его электрической энергией.

Современные производства всех отраслей экономики, включая отрасли лесного комплекса, все в большей степени в своем развитии обретают такие черты, как высокая степень механизации и автоматизации, оснащенность инновационным оборудованием, информационными устройствами и новыми технологиями. Управление современными технологическими процессами, процессами передачи информации осуществляется на основе использования электрической энергии, т. е. связано с применением различных электротехнических установок и устройств на промышленных предприятиях, транспорте, жилых зданиях и т. д. Ввод в действие новых предприятий, расширение существующих, широкое внедрение различных видов электротехнологий во всех отраслях производств, рост энерго- и электровооруженности обостряют проблему рационального электроснабжения потребителей. В связи с этим растут требования к качеству подготовки в учебных заведениях технических специалистов, которые должны владеть знаниями в области эффективного использования и сбережения энергоресурсов и электроэнергии. Напомним, что энергосбережение – важнейшая из технологий, определяющих научно-технический облик России в ближайшие десятилетия.

В связи с этим в учебнике в доступной форме рассмотрены основные сведения об энергетике и электроэнергетике, сферах применения и свойствах электрической энергии, изложены краткие сведения об электрических машинах, электронике и электроприводе, об электростанциях на основе традиционных и альтернативных источников энергии, дано понятие о составе электроэнергетических систем, преимуществах и перспективах их развития. В учебнике приведены необходимые сведения об устройстве, параметрах и режимах работы систем электроснабжения, способах их расчета, а также излагаются термины, определения и понятия, характеризующие электроустановки в составе систем электроснабжения промышленных предприятий и населенных пунктов лесного комплекса.

В учебнике рассмотрена проблема энергосбережения и повышения энергетической эффективности и ее связь с проблемами обеспечения качества электрической энергии и уменьшения потерь электроэнергии. Рассмотрен также экологический аспект проблемы энергосбережения и дано понятие энергетического менеджмента, аудита и управления процессом энергосбережения.

В учебнике много внимания уделено выработке навыков практических расчетов параметров систем электроснабжения и ее основных элементов, что окажет помощь студенту в понимании и усвоении учебного материала. Полученные при этом знания проверяются тем, как студент отвечает на контрольные вопросы, представленные в конце каждой главы учебника. Изучая соответствующие разделы учебника, студент расширяет и углубляет свои представле-

ния о значении и сферах эффективного использования электрической энергии, а также о рациональных способах создания и эксплуатации электрических систем, обеспечивающих электроэнергией современное производство и быт. Эти знания лежат в основе формирования в учебных заведениях высокой культуры потребления электрической энергии.

Учебник предназначен для студентов высших учебных заведений неэлектротехнического профиля, изучающих электротехнику в рамках бакалаврской, магистерской и инженерной подготовки.

Учебник разработан на основе Федерального государственного стандарта высшего профессионального образования для студентов бакалавриата, обучающихся по направлению 35.03.02 «Технологии лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств» (профиль подготовки «Лесоинженерное дело»). Доходчивое изложение перечисленных выше вопросов делает учебник полезным специалистам неэлектротехнического профиля других отраслей, студентам и преподавателям высших и средних специальных учебных заведений.

Замечания и пожелания по содержанию книги просим направлять по адресу: kolnichenko@bmstu.ru.

Глава 1. Краткие сведения об электрических машинах, электронике и электроприводе

В осуществлении идей всесторонней электрификации важная роль принадлежит электрическим машинам. Они не только вырабатывают электрическую энергию и превращают ее в механическую и другие виды энергии, но и выполняют разнообразные функции по преобразованию и усилению различных сигналов в системах автоматического регулирования и управления.

По назначению электрические машины подразделяются на следующие виды:

- электрические генераторы, преобразующие механическую энергию в электрическую. Генераторы устанавливают на электрических станциях, где они приводятся во вращение первичным двигателем (паровой, гидравлический, газотурбинный, двигатель внутреннего сгорания и пр.);

- электрические двигатели, преобразующие электрическую энергию в механическую. Электродвигатели приводят во вращение машины, механизмы и устройства;

- электромашинные преобразователи, преобразующие переменный ток в постоянный, и наоборот, изменяющие величину напряжения постоянного и переменного тока, частоту и число фаз и др.;

- электромеханические преобразователи сигналов, генерирующие, преобразующие и усиливающие различные сигналы. Эти преобразователи, выполняемые обычно в виде электрических микромашин, широко используются в системах автоматического регулирования, а также в измерительных и счетно-решающих устройствах в качестве датчиков, приборов для функциональных преобразований, сравнивающих и регулирующих органов и др.

В качестве элементов схем автоматики электрические машины используются как: усилители – для усиления электрических сигналов; тахогенераторы – для получения электрической информации о скорости вращения вала; сельсины – для согласованного поворота (вращения) двух или нескольких валов; шаговые двигатели – для преобразования сигнала в поворот вала на фиксированный угол; управляемые двигатели – для преобразования электрического сигнала в механическую энергию.

По роду тока электрические машины делятся на машины постоянного и переменного тока. Машины переменного тока в зависимости от особенностей своей электромагнитной системы подразделяются на асинхронные, синхронные и коллекторные. К ним относят также трансформаторы – статические электромагнитные аппараты, т. е. без вращающихся частей, у которых процесс преобразования энергии во многом подобен вращающимся электрическим машинам.

По мощности электрические машины условно подразделяются на следующие группы:

- микромашин, имеющие мощность от долей ватта до ≈ 500 Вт. Эти машины работают как на постоянном, так и на переменном токе нормальной и повышенной частоты;

- машины малой мощности – от 0,5 до 10 кВт. Они также работают как на постоянном, так и на переменном токе нормальной и повышенной частоты;
- машины средней мощности – от 10 до нескольких сотен кВт;
- машины большой мощности – свыше нескольких сотен кВт.

1.1. Трансформаторы

Трансформатором называется статический аппарат, преобразующий энергию переменного тока одного напряжения в энергию переменного тока другого напряжения. Электромагнитные процессы в нагруженном трансформаторе во многом аналогичны таким же процессам во вращающихся электрических машинах переменного тока.

По применению трансформаторы можно разделить на следующие виды:

1) силовые трансформаторы, мощность которых изменяется от нескольких единиц до 1 млн кВт·А. К силовым относят и трансформаторы малой мощности от 10 до 300 В·А, применяемые в устройствах промышленной электроники и автоматики;

2) автотрансформаторы, имеющие, как правило, плавную регулировку выходного напряжения и используемые для изменения (регулирования) напряжения;

3) измерительные трансформаторы, применяемые в качестве элементов измерительных устройств;

4) трансформаторы специального назначения – сварочные, печные, испытательные, импульсные, пиковые, высокочастотные для автоматических устройств, для медицинских и радиотехнических целей.

Таким образом, область применения трансформаторов чрезвычайно широка, соответственно велико и число конструктивных форм трансформаторов. Но во всех случаях процесс преобразования энергии в трансформаторах и приемы изучения происходящих в них явлений по существу одни те же.

Поэтому рабочие процессы в *силовом трансформаторе* рассматриваются в основном его типе – в однофазном и трехфазном двухобмоточном трансформаторе (рис. 1.1 и 1.2). Обмотка трансформатора, соединенная с источником энергии, называется первичной. Соответственно первичными именуется все величины, относящиеся к этой обмотке: число витков w_1 , напряжение U_1 , сила тока I_1 и т. д. Обмотка, отдающая электроэнергию, и относящиеся к ней величины называются вторичными: $-w_2$, U_2 , I_2 (рис. 1.1). Z_H – сопротивление нагрузки.

Отношение $k = \frac{w_1}{w_2} \approx \frac{U_1}{U_2}$ называется коэффициентом трансформации

трансформатора, который показывает, во сколько раз отличаются напряжения первичной и вторичной обмоток. Если $k > 1$, трансформатор называется понижающим (т. е. $U_2 < U_1$), если $k < 1$ – повышающим (т. е. $U_2 > U_1$). Трансформирование электроэнергии трехфазного тока осуществляется тремя однофазными трансформаторами или одним трехфазным трансформатором.

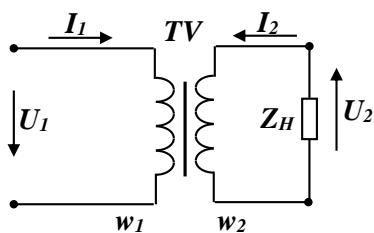


Рис. 1.1. Схема однофазного трансформатора

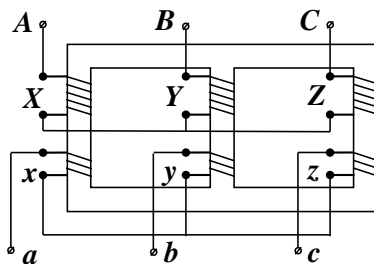


Рис. 1.2. Схема трехфазного трансформатора

На рисунке 1.2 изображена схема трехфазного трехстержневого трансформатора. На каждом из трех стержней сердечника такого трансформатора размещаются две обмотки, принадлежащие одной фазе, одна из которых является первичной, а другая – вторичной. Начало первичных обмоток обозначается прописными буквами A, B, C , а их концы – X, Y, Z ; для вторичных обмоток их начало обозначается строчными буквами a, b, c , концы – x, y, z . Обмотки трехфазных трансформаторов могут соединяться по схемам «звезда» или «треугольник», которые условно обозначаются символами Y и Δ . Если соединенная звездой обмотка имеет выведенную нейтральную точку, то используется символ Y_0 . Принято деление трансформаторов по группам соединений. Для обозначения группы соединения трехфазного трансформатора положение векторов линейных напряжений первичной и вторичной обмоток сопоставляется с положением стрелки часов. Вектор линейного напряжения первичной обмотки совмещают с минутной стрелкой, когда она стоит на цифре 12, напряжение вторичной обмотки – с часовой стрелкой, положение которой определяет номер группы (1, 2, 3, ... (12)0).

Схем соединений может быть много, но для удобства эксплуатации количество групп соединений ограничено в основном тремя: Y/Y_0-0 (наиболее распространенная); $Y/\Delta-11$; $Y_0/\Delta-11$. Числа 0 и 11 указывают группу соединений, сдвиг фаз которых 0 и 330° . У трехфазных трансформаторов при группе Y/Y коэффициент трансформации вычисляется как отношение линейных напряжений, а при соединении Y/Δ – как отношение фазных напряжений.

Силовые трансформаторы являются важнейшими элементами систем электроснабжения. Они позволяют создать гибкую систему передачи и распределения электроэнергии с минимальными потерями энергии при передаче ее на большие расстояния. С увеличением напряжения на передающей стороне трансформатора уменьшается величина тока в линии электропередачи. Напомним, потери мощности пропорциональны квадрату тока, вследствие чего существенно уменьшаются потери электроэнергии, а значит, увеличивается КПД электрических сетей. Таким образом, в начале ЛЭП напряжение увеличивают в K раз (где K – коэффициент трансформации), а в конце линии с помощью понижающего трансформатора напряжение понижают до уровня, соответствующего номинальному напряжению потребителей электроэнергии.

Автотрансформаторы, в отличие от силовых трансформаторов, имеют одну обмотку для высокого и низкого напряжений, при этом обмотка низкого напряжения является частью обмотки высокого напряжения (рис. 1.3).

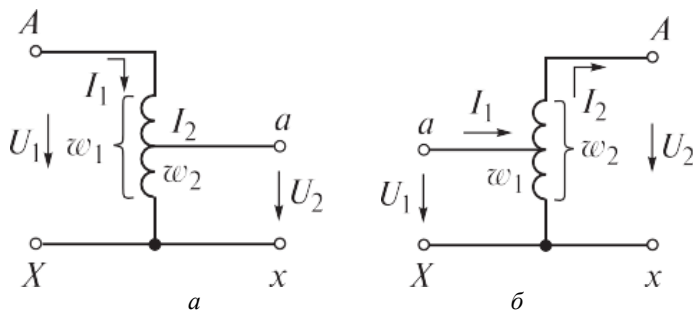


Рис. 1.3. Схема автотрансформатора: а – понижающего; б – повышающего.

У понижающего трансформатора (рис. 1.3а) обмотка низшего напряжения с напряжением U_2 является частью обмотки первичного напряжения U_1 . У повышающего трансформатора (рис. 1.3б), наоборот: обмотка с первичным напряжением U_1 является частью вторичной обмотки с напряжением U_2 .

При изготовлении автотрансформаторов затрачивается меньше ферромагнитного материала и проводов, потери энергии в автотрансформаторах меньше, чем у трансформаторов, следовательно, КПД автотрансформаторов более высокий.

Автотрансформаторы применяют как силовые устройства при передаче электрической энергии, а также их используют для пуска мощных электрических двигателей и регулирования напряжения.

Измерительные трансформаторы служат главным образом для подключения электроизмерительных приборов в цепи переменного тока высокого напряжения. При этом электроизмерительные приборы оказываются изолированными от цепей высокого напряжения, что обеспечивает безопасность работы обслуживающего персонала. Кроме того, измерительные трансформаторы дают возможность расширять пределы измерения приборов, т. е. измерять большие токи и напряжения с помощью сравнительно несложных приборов, рассчитанных для измерения малых токов и напряжений. В ряде случаев измерительные трансформаторы служат для подключения к цепям высокого напряжения обмоток реле, обеспечивающих защиту электрических установок от аварийных режимов.

Измерительные трансформаторы подразделяются на два типа: трансформаторы напряжения (ТН) и трансформаторы тока (ТТ).

Трансформаторы напряжения применяют в установках переменного тока напряжением 380 В и выше для питания катушек напряжения измерительных приборов (ваттметров, счетчиков, фазометров и различных реле). Изготавливают ТН с такими коэффициентами трансформации, при которых их номи-

нальное напряжение $U_2 = 100 \text{ В}$ или $\frac{100}{\sqrt{3}} \text{ В}$. Поэтому все приборы, подключаемые к трансформатору напряжения, изготавливаются на напряжение 100 В. Катушки этих приборов имеют много витков и, следовательно, характеризуются высоким сопротивлением, т. е. трансформатор напряжения работает в режиме холостого хода.

Трансформаторы тока служат в установках переменного тока для питания последовательных катушек измерительных приборов и реле защиты. Первичную обмотку ТТ включают в силовую цепь последовательно, а ко вторичной обмотке так же последовательно присоединяют токовые катушки приборов и реле. Число витков вторичной обмотки w_2 у ТТ больше витков w_1 его первичной обмотки, поэтому ток вторичной обмотки в K раз меньше тока первичной обмотки (K – коэффициент трансформации ТТ). Номинальный ток вторичной обмотки 5 А при любом номинальном токе первичной обмотки. Так как сопротивление приборов, включенных во вторичную цепь, очень мало, то ТТ работает в режиме короткого замыкания. Размыкать цепь вторичной обмотки ТТ запрещено, так как при размыкании во вторичной обмотке, имеющей много витков, возникают опасные напряжения, что вызывает пробой изоляции и выход ТТ из строя.

Измерительные приборы, работающие в комплекте с определенными измерительными трансформаторами, градуируют непосредственно в единицах первичных величин.

Задачи и задания к разделу «Трансформаторы» приведены в Приложении 1 (П1.1).

1.2. Синхронные машины

По своему назначению синхронные машины (СМ) подразделяются на генераторы, двигатели и синхронные компенсаторы.

В синхронной машине имеет место раздельное питание обмоток статора и ротора (рис. 1.4б).

Статор 1 (рис. 1.4а) имеет магнитный сердечник, шихтованный из листов электротехнической стали. Равномерно по окружности сердечника штампуются пазы, в которых располагается трехфазная обмотка 3. Обмотка 4 ротора 2 состоит из одной или нескольких катушек, образующих многополюсную систему с тем же числом полюсов $2p$, что и обмотка статора 3. Обмотка ротора называется обмоткой возбуждения, так как она возбуждает в машине постоянный по величине магнитный поток возбуждения Φ_0 . Вращающаяся обмотка ротора соединяется с внешним источником постоянного тока посредством контактных колец 5 и щеток 6.

При вращении ротора 2 с некоторой скоростью n_2 поток возбуждения пересекает проводники обмотки статора и индуцирует в ее фазах переменную ЭДС E_1 (рис. 1.4б), изменяющуюся с частотой $f_1 = \frac{pn_2}{60}$.

Если обмотка статора подключена к какой-либо нагрузке, то протекающий по этой обмотке ток I_1 создает вращающееся магнитное поле Φ_a , скорость вращения которого $n_1 = \frac{60f_1}{p}$, из чего следует, что $n_1 = n_2$, т. е. магнитное поле статора и ротор с его магнитным полем вращаются с одинаковой скоростью. По этой причине эта машина называется синхронной. В такой машине результирующий магнитный поток $\Phi_{рез}$ создается совместным действием магнитных потоков обмотки возбуждения Φ_0 и обмотки статора Φ_a и вращается в пространстве с той же скоростью, что и ротор.

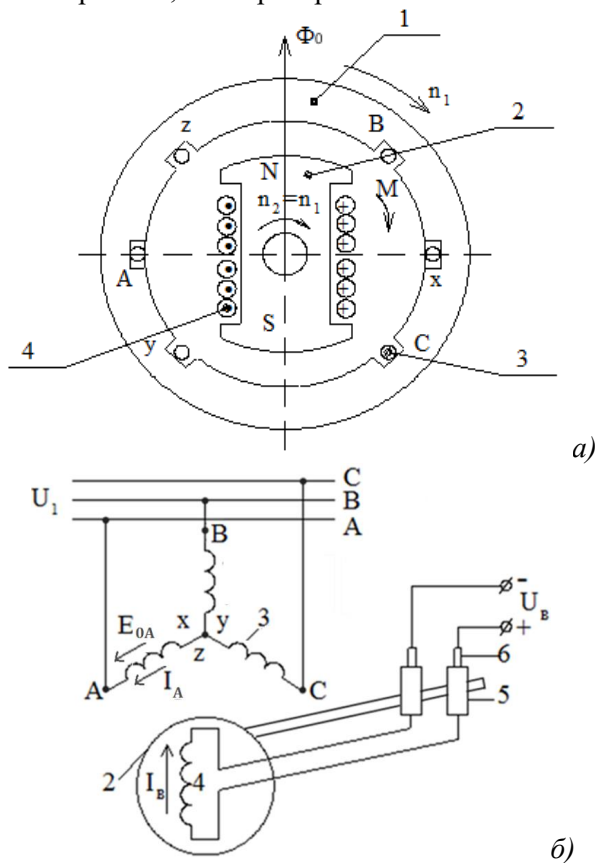


Рис. 1.4. Синхронная машина: а – электромагнитная схема; б – схема включения СМ.

В синхронной машине обмотка, в которой индуцируется ЭДС и протекает ток нагрузки, называется *обмоткой якоря*, а часть машины, на которой расположена обмотка возбуждения, – *индуктором*. Следовательно, в машине, выполненной по конструктивной схеме рисунка 1.4, статор является якорем, а ротор – индуктором. С точки зрения принципа действия и теории работы машины безразлично – вращается якорь или индуктор, поэтому в некоторых случаях применяют синхронные машины с обращенной конструктивной схемой: у них

обмотка якоря, к которой подключается нагрузка, располагается на роторе, а обмотка возбуждения, питаемая постоянным током, – на статоре.

Синхронная машина может работать автономно в качестве генератора, питающего подключенную к ней нагрузку, а также подключаться параллельно к сети, к которой присоединены другие генераторы. При работе параллельно с сетью она может отдавать или потреблять электрическую энергию, т. е. работать генератором или двигателем.

Ротор синхронной машины всегда вращается со скоростью вращения поля n_1 как в двигательном, так и в генераторном режиме, независимо от механической нагрузки на валу ротора или электрической нагрузки.

Таким образом, синхронная машина имеет следующие особенности, характерные для установившихся режимов работы:

а) ротор машины, работающий как в двигательном, так и в генераторном режимах, вращается с постоянной частотой, равной скорости вращающегося магнитного поля, т. е. $n_1 = n_2$;

б) частота изменения ЭДС, индуктируемой в обмотке статора, пропорциональна скорости вращения ротора;

в) в обмотке ротора ЭДС не индуктируется, а магнитное поле ротора создается постоянным током, подводимым от внешнего источника, или постоянными магнитами (рис. 1.4б).

Синхронные генераторы (СГ) являются основными источниками электрической энергии переменного тока. Они используются на электрических станциях всех типов: гидравлических (ГЭС), тепловых (ТЭС), атомных (АЭС), ветровых электроустановках (ВЭУ), дизельных (ДЭС) и др.

СГ для ГЭС называются гидрогенераторами, для ТЭС – турбогенераторами, для ВЭУ – ветрогенераторами, для дизельных электростанций – дизель-генераторами.

В СГ ротор приводится во вращение источником механической мощности: гидротурбиной, паровой или газовой турбиной, дизелем, двигателем внутреннего сгорания и т. д. В обмотку возбуждения подается постоянный ток от специального генератора – возбuditеля (старые конструкции) или от регулируемого полупроводникового выпрямителя. Магнитное поле полюсов Φ_0 ротора при его вращении индуцирует (наводит) в проводниках обмотки статора (якоря) переменную ЭДС, частота (f) которой зависит от частоты вращения ротора и числа пар полюсов (p). Чтобы частота напряжения СГ была постоянной, частота вращения ротора всегда должна быть неизменной. Обмотка якоря подключается к автономной нагрузке или электроэнергетической системе. В последнем случае СГ работает параллельно с сетью, отдавая электроэнергию общей нагрузке.

Величина ЭДС, наводимая в фазных обмотках статора, равна

$$E_{0A} = E_{0B} = E_{0C} = E_0 = 4,44f \cdot w \cdot k_w \cdot \Phi_0,$$

где w – число витков обмотки статора;

k_w – обмоточный коэффициент (0,92–0,96);

Φ_0 – магнитный поток ротора;

f – частота ЭДС статора.

Важнейшими параметрами качества электроэнергии являются колебания и отклонения частоты и напряжения в системе электроснабжения: они должны быть стабильно неизменными. Из вышеприведенных формул следует, что величины ЭДС, а следовательно, и напряжение генератора можно регулировать (поддерживать неизменным) за счет изменения магнитного потока Φ_0 , т. е. изменяя ток возбуждения I_b . Частота ЭДС (а следовательно, и выходное напряжение) статора поддерживается неизменной (например, 50 Гц) за счет стабилизации частоты вращения вала генератора.

Внешняя характеристика – это зависимость напряжения на зажимах обмотки статора U от тока нагрузки I_a . $U = f(I_a)$ – показывает степень стабильности напряжения от тока нагрузки. Для генератора стабильность напряжения определяют потерей напряжения при номинальной нагрузке:

$$\Delta U = \frac{U_{xx} - U_H}{U_{xx}},$$

где U_{xx} – напряжение в режиме холостого хода;

U_H – напряжение на зажимах статорной обмотки генератора при номинальной нагрузке.

Внешняя характеристика снимается при постоянной частоте и неизменном токе возбуждения.

Регулировочная характеристика – зависимость тока возбуждения от тока нагрузки $I_b = f(I_a)$ – снимается при постоянной частоте вращения и неизменном напряжении якоря. Эта характеристика показывает, как надо изменять ток возбуждения I_b для обеспечения постоянства напряжения на зажимах обмотки статора.

Синхронные генераторы на электростанции, а также в электроэнергетической системе включаются на параллельную работу с целью создания мощных источников питания для обеспечения надежного и бесперебойного снабжения потребителей электрической энергией. Следует подчеркнуть, что при включении синхронных генераторов на параллельную работу необходимо соблюдение следующих условий:

- 1) равенство мгновенного значения ЭДС включаемого генератора и напряжения сети;
- 2) равенство частот ЭДС генератора и напряжения на шинах;
- 3) сдвиг по фазе ЭДС генератора и напряжения на шинах на 180° ;
- 4) одинаковый порядок следования фаз у включаемого и работающих генераторов.

Обеспечение перечисленных условий называется синхронизацией генераторов. Ввод генераторов на параллельную работу возможен методами точной синхронизации и самосинхронизации.

Синхронный двигатель (СД) – электрическая машина, осуществляющая преобразование электрической энергии в механическую. Частота вращения ротора всегда равна частоте вращения поля статора и не зависит от нагрузки на валу, поэтому двигатель и называется синхронным.

Крупные синхронные двигатели конструктивно не отличаются от синхронных генераторов, они имеют обмотку возбуждения на роторе. Трехфазная обмотка статора таких двигателей подключается к сети переменного тока и создает вращающееся магнитное поле. Обмотка возбуждения, расположенная на роторе, через скользящий контакт соединяется с источником постоянного тока возбуждения – электромашинным или полупроводниковым возбуждением. В результате взаимодействия вращающегося поля статора (якоря) Φ_a с потоком возбуждения Φ_0 создается электромагнитный момент M , который и вращает ротор в сторону вращения поля статора. Электромагнитный момент M синхронной машины прямо пропорционален синусу угла (θ) между осями магнитного потока (Φ_0) и вращающегося магнитного потока якоря (Φ_a).

Момент, развиваемый синхронным двигателем, равен

$$M = \frac{3 \cdot E_0 \cdot U}{x \cdot \omega} \cdot \sin \theta,$$

где U – напряжение, приложенное к обмоткам статора, В;

E_0 – ЭДС, наводимая магнитным полем ротора в фазных обмотках статора, В;

ω – скорость вращения ротора синхронной машины, с^{-1} ,

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}, \text{ с}^{-1};$$

x – синхронное индуктивное сопротивление, См.

Угол θ называется *углом нагрузки*, он зависит от момента сопротивления на валу двигателя (M_c).

При $M_c \approx 0$ (т. е. при холостом ходе) $\theta = 0$. С увеличением нагрузки угол θ увеличивается. Однако частоты вращения магнитных полей статора и ротора продолжают оставаться одинаковыми.

При $\theta = 90^\circ$ $M = M_{\text{MAX}}$:

$$M_{\text{MAX}} = \frac{3 \cdot E_0 \cdot U}{x \cdot \omega}.$$

Зависимость момента двигателя от угла нагрузки называется *угловой характеристикой синхронного двигателя* (рис. 1.5).

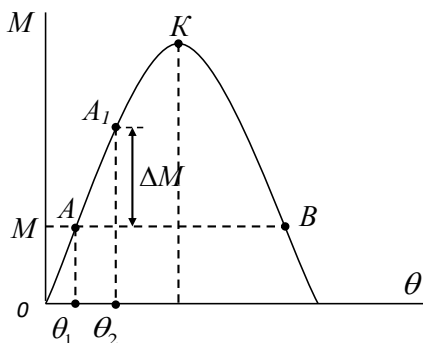


Рис. 1.5. Угловая характеристика синхронного двигателя

На участке угловой характеристики OK двигатель обладает свойством саморегулирования, т. е. с увеличением момента сопротивления на валу увеличивается вращающий электромагнитный момент. На рисунке 1.5 точка A перемещается по характеристике в положение A_1 , угол θ увеличивается. Однако увеличение угла θ допустимо только в пределах $0-90^\circ$. При дальнейшем увеличении момента сопротивления M_c и при $\theta > 90^\circ$ момент двигателя уменьшается, двигатель выходит из синхронизма и останавливается. В точке K двигатель находится на грани устойчивости.

В двигательном режиме работы синхронной машины электромагнитный момент M является вращающим, а в генераторном режиме – тормозящим, который преодолевается первичным двигателем.

Зависимость скорости вращения электрического двигателя (n) от мощности (M), развиваемого электродвигателем, называется *механической* характеристикой: $n = f(M)$.

Механическая характеристика синхронного двигателя абсолютно жесткая, т. е. число оборотов СД не зависит от величины вращающего момента. Эта характеристика на графике $n = f(M)$ изображается линией, параллельной оси абсцисс.

СД с номинальной мощностью 1 кВт и менее относятся к машинам малой мощности и микромашинам (микродвигателям). Такие СД не имеют обмотки возбуждения на роторе. К ним относятся синхронные реактивные электродвигатели, синхронные гистерезисные двигатели, синхронные двигатели с постоянными магнитами, синхронные шаговые двигатели и двигатели с катящимся ротором.

Строгое постоянство скорости вращения синхронных двигателей обуславливает их применение в записывающих приборах, в системах звуко- и видеозаписи, часовых механизмах, программных устройствах, а также в электроприводах роботов там, где требуется постоянство скорости движения исполнительного звена.

Синхронные двигатели нашли широкое применение также в электроприводах большой мощности (100 кВт и выше). Это поршневые насосы, заводские компрессорные станции, лесопильные рамы лесозаготовительной и деревоперерабатывающей промышленности.

Следует отметить очень важную особенность синхронной машины – ее реактивная мощность как по характеру, так и по величине зависит от тока возбуждения I_b . Изменение тока I_b не оказывает влияния на активную мощность, которая, например, в синхронном двигателе зависит только от механической нагрузки на валу двигателя. Следовательно, специфическим свойством синхронного двигателя является возможность работать в двух режимах: двигателя и генератора реактивной мощности, что широко используется для регулирования реактивной мощности в электрических системах с целью регулирования качества электрической энергии (см. главу 8).

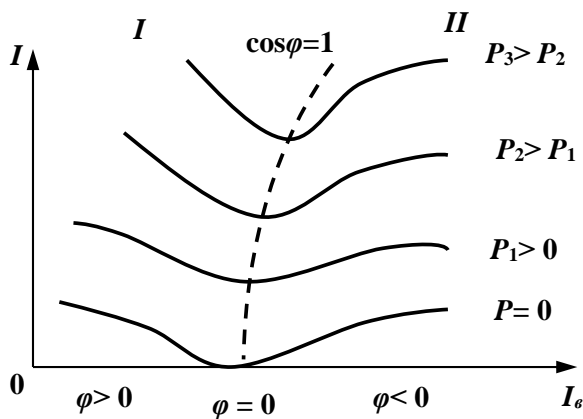


Рис. 1.6. U-образные характеристики синхронного двигателя при изменении тока возбуждения: *I*, *II* – соответственно области недовозбужденного и перевозбужденного двигателя.

В электрических сетях электроэнергетических систем синхронная машина нередко используется в качестве синхронного компенсатора.

Синхронный компенсатор (СК) – это синхронный двигатель, работающий без нагрузки на валу (т. е. при холостом ходе), поэтому в его конструкции нет выходного вала и СК представляет собой герметично закрытую машину.

При малых токах возбуждения (режим недовозбуждения – область *I* на рис. 1.6) СК эквивалентен индуктивности, а при больших I_v (режим перевозбуждения – область *II* на рис. 1.6) – эквивалентен емкости. При наличии в электрических системах множества индуктивных элементов СК в режиме перевозбуждения вырабатывает емкостную составляющую тока сети и тем самым компенсирует ее индуктивный ток, что повышает коэффициент мощности, поддерживает нормальный уровень напряжения и снижает потери в линиях электропередачи и распределительной сети путем снижения (компенсации) реактивных токов.

Синхронные компенсаторы выпускаются мощностью до 320 МВА, напряжением до 20 кВ и частотой вращения 750 и 1000 об/мин.

Задачи и задания к разделу «Синхронные машины» приведены в Приложении 1 (П1.2).

1.3. Асинхронные машины

Асинхронная машина, используемая в качестве двигателя, является наиболее распространенным типом электрической машины. Подавляющее большинство электродвигателей, работающих в промышленности, – асинхронные двигатели. Это объясняется их простотой, надежностью и дешевизной по сравнению с другими типами электродвигателей.

Асинхронный двигатель состоит из двух основных частей: неподвижного статора и вращающегося ротора (рис. 1.7).

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru