

АСИНХРОННАЯ МАШИНА И ЕЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ

Давыдкин Владислав Васильевич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск, Россия

С конца 50-х годов XX в. стало активно развиваться направление, связанное с изучением асинхронной машины и ее практическим применением. В повседневной жизни большинство приборов и различных устройств питаются от источника переменного тока. В связи с этим важным направлением всегда были и остаются режимы работы электронных машин переменного тока. Можно отметить, что при работе с такими машинами были достигнуты впечатляющие результаты. Не остались без внимания и вопросы повышения качества самих машин, а также их режимов работы. Были выполнены проекты по разработке, созданию и организации выпуска электронных машин. Эти результаты послужили основой для создания различных приборов. Все достоинства асинхронных машин являются следствием отсутствия механических коммутаторов в цепи ротора и привели к тому, что большинство электродвигателей, используемых в промышленности являются асинхронными.

В данной статье рассматривается устройство асинхронной машины, различные режимы работы, преимущества и недостатки тех или иных режимов работы. Приведены условия работы асинхронной машины при различных режимах.

Ключевые слова: асинхронная машина, ротор, режимы работы асинхронной машины, переменный ток, электрическая машина.

ASYNCHRONOUS MACHINE AND ITS MODES OF OPERATION

Davydkin Vladislav Vasilyevich

National research Mordovian State University, Saransk, Russia

The direction connected with the study of an asynchronous machine and its practical application began to actively develop since the late 50-ies of the twentieth century. In everyday life, most devices and various devices are powered by an alternating current source. In this connection the modes of operation of electronic alternating current machines have always been and remain an important direction. It can be noted that impressive results were achieved when working with such machines. The issues of improving the quality of the machines themselves, as well as their operating modes, did not go unheeded. Projects were implemented to develop, create and organize the production of electronic machines. These results served as the basis for the creation of various instruments. All the advantages of asynchronous machines are a consequence of the lack of mechanical switches in the rotor circuit and led to the fact that most of the electric motors used in the industry are asynchronous.

This article deals with the design of an asynchronous machine, various modes of operation, advantages and disadvantages of various operating modes. The resulted operating conditions of the asynchronous machine under various modes.

Keywords: asynchronous machine, rotor, modes of operation of an asynchronous machine, alternating current, electric machine.

Асинхронная машина — электрическая машина переменного тока, частота вращения ротора которой не эквивалентна частоте вращения электромагнитного поля, создаваемого током медной обмотки статора. Асинхронные машины — это довольно распространённые электрические машины. Асинхронный означает не одновременный, что имеется ввиду, что

частота вращения магнитного поля статора всегда больше частоты вращения ротора у асинхронных двигателей. Работают асинхронные двигатели от сети переменного тока.

Статор обладает цилиндрической формой, собранный из листов стального материала. В пазах сердечника статора уложены обмотки статора, выполненных из обмоточного провода. Оси этих обмоток находятся в пространстве и сдвинуты на угол 120° относительно друг друга. Концы таких обмоток соединяются треугольником или звездой в зависимости от подаваемого напряжения.

Статор асинхронного электродвигателя имеет невыраженные полюсы, т. е. поверхность статора является абсолютно гладкой изнутри. Для того, чтобы сбавить потери на вихревых токах, сердечник статора собирают из тонких штампованных листов стали. Ранее собранный сердечник статора нужно закрепить в корпусе из стали. В пазах статора укладывают обмотку из проволоки из меди. Начала и концы обмоток выводятся на специальный изоляционный щиток, из-за того, что фазовые обмотки статора электродвигателя соединяются «звездой» или «треугольником». Такое устройство статора является очень удобным, так как его обмотки можно включать на различные стандартные напряжения. Когда осуществляется подача напряжения на обмотку статора, то в каждой фазе создаётся магнитный поток, изменяемый частотой подаваемого напряжения. Эти потоки сдвинуты на 120° относительно друг друга, как во времени, так и в пространстве. Результирующий поток будет при этом вращающимся.

Своим вращением поток создаёт в проводниках ротора ЭДС. Из-за того, что обмотка ротора входит в замкнутую электрическую цепь, в ней возникает ток, взаимодействующий с магнитным потоком статора, тем самым создавая пусковой момент двигателя, который стремится направить ротор в сторону вращения магнитного поля статора. Ротор начнет вращаться, когда пусковой момент двигателя достигнет значения тормозного момента ротора, а затем превысит его. При этом возникает так называемое скольжение.

Скольжение является крайне важной величиной. При начальном моменте времени скольжение равно единичному значению, но относительная разность частот становится меньше по мере возрастания частоты вращения ротора, из-за чего в проводниках ротора уменьшаются ЭДС и ток, которые влекут за собой уменьшение вращающего момента. Во время режима холостого хода, т.е. когда двигатель совершает работу без нагрузки на валу, скольжение является минимальным значением, но оно возрастает до величины критического скольжения, путем увеличением статического момента. При превышении данного значения, может произойти опрокидывание двигателя, что, впоследствии, приведет к его нестабильной работе. Значение скольжения лежит в диапазоне от 0 до 1, для двигателей общего назначения в номинальном режиме оно составляет 1 - 8 %.

При наступлении равновесия между электромагнитным моментом, который вызывает вращение ротора, и тормозным моментом, который создает нагрузку на валу двигателя, процессы изменения величин прекратятся.

Из этого следует, что принцип работы асинхронного двигателя заключен во взаимодействии токов, наводящимся магнитным полем в роторе и самим вращающимся магнитным полем статора. Когда вращающий момент возникает тогда, когда существует разность частот вращения магнитных полей.

Ротор асинхронного двигателя, как и статор, собирается из штампованных стальных листов. В пазах ротора укладывается обмотка из медных стержней. Торцы этих стержней соединены при помощи медного кольца. Такая обмотка является обмоткой типа «беличьей клетки». При этом медные стержни в пазах не являются изолированными.

В зависимости от конструкции ротора асинхронные электродвигатели различаются на 2 типа: с короткозамкнутым ротором и фазным ротором.

Короткозамкнутый ротор представляет собой сердечник, собранный из стальных листов. В пазах этого сердечника заливается расплавленный алюминий, из-за чего образуются стержни, замкнутые накоротко торцевыми кольцами. Данная конструкция называется "беличьей клеткой". В двигателях с большой мощностью заливаться медь.

Фазный ротор содержит трёхфазную обмотку, практически не отличающуюся от обмотки на статоре. В большинстве случаев концы обмоток фазного ротора соединены звездой, где свободные концы подводятся к контактным кольцам. При помощи щёток, подключенных к кольцам, можно ввести дополнительный резистор в цепь обмотки ротора. Этот резистор нужен для того, чтобы изменять активное сопротивление в цепи ротора, которое способствует уменьшению больших пусковых токов.

Асинхронный двигатель с фазным ротором обычно применяется в электродвигателях с большой мощностью и в случаях, во время начала движения с места, электродвигатель создавал большое усилие, когда это необходимо. Достигается это путем включения в обмотки фазного двигателя пускового реостата.

Короткозамкнутые асинхронные двигатели запускаются двумя способами:

- 1) Подключением трехфазного напряжения сети к статору двигателя.
- 2) Снижением напряжения, подводимого к обмоткам статора.

Пуск двигателя в ход происходит с соединения «звездой» обмоток статора, а когда ротор достигает нормального числа оборотов, соединение переключается на форму «треугольника».

При этом способе ток пуска двигателя в подводящих проводах уменьшается в 3 раза если сравнивать с тем током, что возникал бы во время пуска двигателя прямым включением

в сеть с обмотками статора, соединенными «треугольником». Но данный способ пригоден лишь в тех случаях, когда статор предназначен для нормальной работы при его соединении «треугольником».

Более простым, дешевым и довольно надежным является асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, правда этот двигатель имеет некоторые недостатки — малое усилие во время трогания с места и большим пусковым током. Данные недостатки в значительной мере можно устранить путем применения фазного ротора, правда такое применение значительно повысит двигатель в его стоимости и будет требовать пусковой реостат.

Самое большое применение получили машины с трехфазной симметричной разноименно полюсной обмоткой на статоре, которая питается от сети переменного тока. Также применение нашли асинхронные машины с трехфазной или многофазной симметричной разноименно полюсной обмоткой на роторе. Обычно асинхронные машины используются как двигатели, когда как генератор они применяются очень редко.

Асинхронный двигатель является самым распространенным типом двигателя переменного тока. Если ротор асинхронной машины находится в неподвижном состоянии, либо же частота вращения ротора меньше синхронной, то вращающееся электромагнитное поле проходит через электрические проводники медной обмотки ротора и соответственно индуцирует в них электродвижущую силу, под воздействием которой по медной обмотке ротора двигателя течёт ток. На электрические проводники с током данной обмотки ротора, находящимся в электромагнитном поле медной обмотки возбужденного состояния, действуют силы магнитного воздействия определённого размера. Из-за прикладываемого усилия порождается магнитный вращающий момент, который тянет ротор за электромагнитным полем [2].

Если данный вращающий момент достаточно велик, то ротор электрической машины приходит в динамическое вращение, и его средняя рабочая частота вращения соответствует равенству имеющегося магнитного момента тормозному, созданного механической нагрузкой на валу электродвигателя, механическими силами вентиляции, трения в подшипниках и т.д. Частота вращения ротора электрической машины не соответствует частоте вращения электромагнитного поля, т.к. в этом случае угловая скорость вращения электромагнитного поля по сравнению с токопроводящей обмоткой ротора становится равна нулю, в следствии этого электромагнитное поле не будет индуцировать в уже доступной обмотке ротора электродвижущую силу и создавать крутящий момент.

Если ротор электрической машины, которая включена в сеть, вращать при помощи двигателя в направлении вращающегося поля статора, тогда движение ротора по сравнению с полем статора изменится, из-за того, что ротор будет обгонять поле статора.

Скольжение же при этом станет отрицательным, а направления электродвижущей силы E_1 , находящейся на обмотке статора, и тока I_1 изменятся на противоположное. В результате этого электромагнитный момент ротора также изменит направление превратившись из вращающего в противодействующий. В этих условиях электрическая машина из двигательного режима переходит в генераторный режим, последствием преобразования механической энергии двигателя в электрическую [3].

В следствии того, что в режиме генератора электрической машины, условия создания вращающегося поля статора будут такими же, что и в двигательном режиме, и потребление намагничивающего тока I_0 происходит от сети, то электрическая машина в генераторном режиме обладает определенными свойствами: потребление реактивной энергии от сети, которая необходима для создания вращающегося поля статора, но происходит отдача активной энергии в сеть, получаемой во время преобразования механической энергии двигателя [3]. Работа асинхронных генераторов возможна лишь тогда, когда она происходит в совместной работе с синхронными генераторами, необходимыми как источники реактивной энергии.

В отличие от синхронных генераторов, асинхронные не подвержены опасностям выпадения из синхронизма. Асинхронные генераторы не получили большого распространения. Это объясняется рядом их недостатков в сопоставлении с синхронными генераторами.

Одним из главных недостатков является то, что асинхронные генераторы обладают большой реактивной мощностью, затрачиваемой ими от сети. Величина этой мощности пропорциональна намагничивающему току и даже может достичь 25 – 45 % от номинальной мощности машины [4]. Следовательно, для работы нескольких асинхронных генераторов нужно использовать один синхронный генератор такой по величине мощности, которая равна мощности одного асинхронного генератора.

Без включения в общую сеть, асинхронный генератор может работать и в автономных условиях. Но в этом случае, чтобы получить реактивную мощность необходимую для намагничивания генератора, нужно использовать батарею конденсаторов, которые, в свою очередь, включены параллельно нагрузке на выводах генератора.

Наличие остаточного намагничивания является одним из условий работы асинхронных генераторов, которое необходимо для самовозбуждения генератора. Электродвижущая сила создает небольшой реактивный ток как в обмотке статора, так и в цепи конденсатора,

усиливающий остаточный поток. Далее процесс развивается также, как и в генераторе постоянного тока параллельного возбуждения. С помощью изменения емкости конденсаторов можно регулировать величину намагничивающего тока, а также, и величину напряжения генераторов [5]. Из-за чрезмерных величин и высоких стоимостей конденсаторных батарей, асинхронные генераторы с самовозбуждением не получили большого распространения. Следовательно, такие генераторы применяются лишь на вспомогательных электростанциях, в таких как ветросиловые установки.

Тормозной режим электрической машины применяется лишь при необходимости быстрой остановки момента вращения ротора двигателя. Данный режим создается противовключением двигателя. Чтобы его совершить, нужно направить вращение магнитного поля статора в противоположную сторону. Для этого достаточно переключить любую пару проводов, которые соединяют обмотку статора с сетью, посредством изменения порядка следования фаз на зажимах статора. В начальный период времени, после переключения проводов, инерциальные силы вращающихся частей двигателя и исполнительного механизма продолжают совершать вращение ротора в прежнем направлении, когда вращающееся поле статора начинает вращаться в противоположном направлении [1].

В итоге получаем, что электромагнитная мощность машины в режиме тормоза составляет лишь малую долю электрических потерь в роторе. Когда большая часть этих потерь уходит на вращающиеся по инерции части двигателя и исполнительного механизма.

К недостаткам данного способа торможения следует отнести: большие потери энергии, значительные броски тока во время переключения проводов на обмотках статора. Двигатели с контактными кольцами включают сопротивление, чтобы ограничить бросок тока при торможении. Кроме того, во время торможения двигателя данным способом нужно отключить его от сети в момент его остановки, иначе ротор начнет вращаться в другом направлении.

Таким образом, существуют три режима работы асинхронной машины: движущий режим, генераторный режим и режим тормоза. Каждому из данных режимов соответствует определенный диапазон изменения коэффициента скольжения: когда в двигательном режиме скольжение может изменяться от нуля до единицы, в генераторном – от нуля до минус бесконечности, а в тормозном – от единицы до плюс бесконечности.

Библиографический список

1. Вольдек А. И. Электрические машины : учебник для студентов высших учебных заведений. Л., Энергия, 1974.
2. Захаржевский О.А., Афонин В.В. Как учитывать конструкцию обмоток асинхронной машины // XLIV Огаревские чтения : материалы научной конференции: в 3 частях. Саранск, 2016. С. 297-302.
3. Захаржевский О.А., Афонин В.В. Асинхронная машина как обратимый преобразователь электрической энергии в механическую энергию // XLV Огарёвские чтения : материалы научной конференции : в 3-х частях. Саранск, 2017. С. 260-265.
4. Иванов-Смоленский А. В. Электрические машины: учебник для вузов. М.: Энергия, 1980. 928 с.
5. Проектирование электрических машин: учеб. для вузов / Под ред. И. П. Копылова. М.: Высшая школа, 2002. 757 с.