

ИСТОРИЯ ВОПРОСА СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Ждан К.А.

Оренбургский государственный университет

В настоящее время [1] широко применяются крупные синхронные двигатели в системах электропривода насосных, вентиляторных и компрессорных установок. Применение таких двигателей обусловлено рядом существенных преимуществ, а именно:

- в сравнении с асинхронными машинами с такой же мощностью, обладают более высоким КПД;
- независимостью частоты вращения от нагрузки на валу электродвигателя;
- меньшей зависимостью вращающего момента от подводимого напряжения;
- возможностью использования двигателя для компенсации реактивной мощности.

Разделить систему автоматизации современных промышленных объектов с использованием высоковольтных СД можно на 3 подсистемы: автоматизация электроснабжения двигателей; автоматизация вспомогательного оборудования; автоматизация процессов самого промышленного объекта. Чтобы двигатель работал в состоянии устойчивости, необходимо обеспечить слаженную работу этих подсистем. Но в настоящее время имеют место ситуации, когда настройкой, вводом в эксплуатацию и обслуживанием занимаются различные службы и организации. Все это приводит к отсутствию должного комплексного подхода к автоматизации промышленных объектов.

Стоит отметить, что отсутствуют руководящие указания и нормативные документы, которые регламентируют выстраивание системы автоматизации, учитывая возможность возникновения перехода двигателей в асинхронный режим работы.

Интерес ученых [2] к устойчивости СД объясняется электромагнитной связью ротора машины с магнитной осью поля статора, которая приводит к ярко выраженному колебательному характеру переходных процессов при внешних возмущениях. С математической точки зрения, статическая устойчивость синхронного двигателя (СД) позволяет говорить об асимптотической устойчивости его стационарного режима. На практике подобное означает, что возникающие небольшие возмущения в ходе процессе полностью устраняются, т.е. опускаются до нуля. СД может выпасть из синхронизма, что приведет к аварии, если колебания будут возникать при неустойчивом стационарном режиме. Кроме того, отрицательным эффектом обладает и колебательность выходного напряжения синхронного генератора.

В [3] авторами были разработаны математические модели синхронных двигателей с целью анализа запаса статической устойчивости. В статье описаны основные причины, от которых зависит устойчивость синхронных двигателей:

- электрическая удаленность СД по отношению к системе;
- коэффициент загрузки (чем он больше, тем меньше устойчивость);
- начальное значение угла δ .

Потеря устойчивости синхронных электродвигателей означает нарушение их синхронной работы (выпадение из синхронизма) в виде перехода в асинхронный режим. Перегрузочная способность [7] синхронной машины зависит только от параметров установившегося режима работы: с увеличением магнитного потока возбуждения или воздушного зазора при постоянном потоке возбуждения перегрузочная способность возрастает, а с увеличением активного сопротивления в цепи обмотки статора – уменьшается. При расчетах статической устойчивости синхронных машин необходимо учитывать влияние переходных процессов в обмотке статора. Область устойчивой работы также в значительной степени зависит от параметров демпферных обмоток, следовательно, выбором их параметров можно исключить возможность появления самораскачивания синхронного двигателя.

В [4] особую ценность представляют проведенные автором исследования специальных режимов работы синхронных машин и практические рекомендации по допустимости таких режимов. На различных примерах расчетов рассмотрено влияние изменений напряжения и частоты сети на режим работы синхронного двигателя. Автор отмечает, что главное преимущество синхронных двигателей перед асинхронными – возможность изменять реактивную мощность путем изменения тока возбуждения. Также, приведена информация об автоматическом регулировании возбуждения: его применение на синхронных двигателях при их достаточном удельном весе имеет большое значение для устойчивости узлов нагрузки и энергосистемы в целом и создает благоприятные условия для их прямого пуска после кратковременного снижения напряжения. Крупные синхронные двигатели широко применяются в современной промышленности большинства стран мира, повышая устойчивость узлов нагрузки и улучшая энергетические показатели систем электроснабжения. Эти свойства синхронных двигателей в значительной мере определяются типом возбудителя и автоматического регулятора возбуждения. Авторами приведены результаты исследований и методы расчета статических и бесщеточных систем возбуждения крупных синхронных двигателей, применяемые при проектировании систем возбуждения, серийно выпускающихся отечественной промышленностью.

В [5] автор указывает, что зависимость потокосцеплений статора и ротора от соответствующих токов вследствие насыщения стали машины нелинейна. При зависимости синхронных реактивностей машины от токов статора и ротора кривая нагрузочной характеристики идет в некоторых случаях выше соответствующей кривой, рассчитанной для машины, реактивности которой принимаются постоянными. Поэтому, при одном и том же предельном угле

устойчивой работы мощность, отдаваемая в сеть насыщенной машиной, будет больше, чем у ненасыщенной. Автор рассматривает отдельно условия устойчивости явнополюсных и неявнополюсных машин.

Важную роль в изучении вопросов электропривода имеет научная подготовка инженеров. Под руководством С. Ринкевича, профессора Ленинградского электротехнического института, в 1922г. была создана специальность «Электрификация промышленности», выпускавшая специалистов в области электропривода.

Спустя 3 года профессор выпускает книгу «Электрическое распространение механической энергии». Эта книга явилась первым систематизированным трудом, где рассматривались во всей полноте вопросы практики и теории электропривода. В дальнейшем, в трудах проф. В.К. Попова «Применение электродвигателей в промышленности» (1932-1939гг.) и работах Р.Л. Аронова, Д.П. Морозова развивается теория данного вопроса, а в трудах академиков М.П. Костенко, В.С. Кулебакина, а также А.Г. Иосифьяна, освещаются вопросы автоматического управления электроприводами.

Г. Крон в 1942гг. создал обобщенную теорию электрических машин, основой которой стали дифференциальные уравнения идеализированной обобщенной электрической машины, и разработал методы тензорного и матричного анализов электрических цепей и машин. Теория синхронных машин в настоящее время исследована в полной мере и обеспечивает достаточно высокие показатели работы двигателей и генераторов, а также эффективно управляет существующими машинами. Но при этом, теория устойчивости синхронных машин применяется в основном для крупных синхронных генераторов, хотя до сих пор остаются вопросы, как на практике применить ее для синхронных электродвигателей малой и средней мощности.

Также, проводятся исследования получающих в настоящее время всё большее распространение типов синхронных машин – асинхронизированных синхронных машин и синхронных генераторов малой мощности. Следует отметить, что в теоретических разработках [6] чаще всего рассматриваются простейшие случаи применения теории устойчивости для синхронных машин, как правило, рассматриваются примеры «машина – линия - шины бесконечной мощности».

Множество научных коллективов и отдельных работников в настоящее время занимаются исследованиями, связанных с сохранением устойчивости работы крупных СД. Работой в данной области занимаются зарубежные и отечественные исследователи, такие как И.Г. Плотников, М.А. Эдлин, Сычев, Б.Ю. А.С. Гусев, С.В. Свечкарев, Л.Ф. Борисов, И.Л. Плодистый, Ю.А. Васильев, Е.К. Лоханин, Ю.П. Сурин, Т.О. Товстяк, А.И. Скрыпник, В.А. Глаголев.

Повысить уровень устойчивости электрической системы можно изменив параметры её элементов, параметры её режима или введением дополнительных устройств. Например, для повышения статической устойчивости синхронного двигателя применяется автоматический регулятор возбуждения, который

наряду с другими функциями обеспечивает увеличение тока возбуждения при возрастании нагрузки и тем самым повышает амплитуду угловой характеристики. Следовательно, увеличивается коэффициент запаса статической устойчивости двигателя.

Список литературы

1. Михалев С.В. Система поддержания устойчивости работы синхронных электродвигателей 6-10 кВ: Дисс. канд. техн. наук: 05.09.03: защищена 16.03.2014: утв. 17.07.2014.-Санкт-Петербург, 2014.

2. Ерохина Т.П., Великий И.В., Крайцер И.И. Статическая устойчивость синхронных двигателей в узлах нагрузки систем электроснабжения.//Успехи современной науки и образования №6: Клюев Сергей Васильевич, 2016г.

3. Малафеев А.В., Буланова О.В., Ахметханов А.М. Исследование статической устойчивости синхронных двигателей в условиях системы электроснабжения ОАО «ММК» при параллельной работе с энергосистемой.//Электротехнические системы и комплексы №1: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2010г.-32-35с.

4. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей/Под ред. Л.Г. Мамиконянца. – 4-е изд., переработ. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 240с.

5. Горев, А.А. Переходные процессы синхронной машины/ А.А. Горев М., Л.:Государственное энергетическое издательство, 1950. – 552 с.

6. Юрганов, А.А. Регулирование возбуждения синхронных генераторов/ А.А. Юрганов, В.А. Кожевников. – Санкт-Петербург: Наука, 1996. – 138 с.

7. Сипайлов Г.А., Е.В. Кононенко, К.А. Хорьков Электрические машины (специальный курс). - 2-е изд., перераб. и доп. — Учеб. для вузов по спец. "Электрические машины". — М.: Высшая школа, 1987. — 287 с.