АНАЛИЗ СИСТЕМ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

ANALYSIS OF EXCITATION SYSTEMS FOR SYNCHRONOUS MOTORS

УДК 621.313

Баширов Мусса Гумерович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электрооборудование и автоматика промышленных предприятий», филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Салавате, E-mail: eapp@yandex.ru

Юсупова Ильвина Гамировна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрооборудование и автоматика промышленных предприятий», филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Салавате, E-mail: ilvina011@mail.ru

Файзуллина Гульназ Равиловна, магистрант направления подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника», кафедра «Электрооборудование и автоматика промышленных предприятий», филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Салавате, E-mail: kioko2210@yandex.ru

Bashirov Mussa Gumerovich, Doctor of Technical Sciences, professor, head of the department «Electrical equipment and automation of industrial enterprises», Ufa State Petroleum Technological University, Branch of the University in the City of Salavat, E-mail: eapp@yandex.ru

Yusupova Ilvina Gamirovna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the department «Electrical equipment and automation of industrial enterprises», Ufa State Petroleum Technological University, Branch of the University in the City of Salavat, E-mail: ilvina011@mail.ru

Fayzullina Gulnaz Ravilovna, Master's student in the direction of training 13.04.02 «Electricity and Electrical Engineering», department «Electrical equipment and automation of industrial enterprises», Ufa State Petroleum Technological University, Branch of the University in the City of Salavat, E-mail: kioko2210@yandex.ru

Аннотация

В настоящее время для регулирования тока возбуждения синхронных электродвигателей на промышленных предприятиях применяются в основном статические (как правило, тиристорные) и бесщеточные системы возбуждения (СВ). Схемы с генератором постоянного тока на валу синхронного двигателя (СД) в настоящее время практически не применяются.

Annotation

At present, to regulate the excitation current of synchronous electric motors at industrial enterprises, mainly static (usually thyristor) and brushless excitation systems (CB) are used. Circuits with a DC generator on the shaft of a synchronous motor (SM) are currently practically not used.

Ключевые слова: синхронны двигатель, система возбуждения, бесщеточная система возбуждения, статическая система возбуждения

Keywords: synchronous motor, excitation system, brushless excitation system, static excitation system

В настоящее время для регулирования тока возбуждения синхронных электродвигателей на промышленных предприятиях применяются в основном статические (как правило, тиристорные) и бесщеточные системы возбуждения

(СВ). Схемы с генератором постоянного тока на валу синхронного двигателя (СД) в настоящее время практически не применяются.

Современные статические системы возбуждения представляют собой тиристорные преобразователи с питанием от отдельного трансформатора возбуждения, подключенного к той же секции шин от которой питаются СД. Постоянный ток от таких систем поступает непосредственно на обмотку возбуждения.

Автоматические статические контроллеры с возбуждением (АРВ) имеют цифровую систему управления, которая реализует алгоритм работы регулятора PID, PD или PDD2. Регулятор может иметь контур управления: напряжение, коэффициент мощности (cos ϕ), реактивный ток статора. Также могут быть выполнены другие типы регулирования, которые, как правило, представляют собой комбинацию этих трех.

В статических драйверах предусмотрено активировать принудительное возбуждение двигателя, когда напряжение в секции шины падает ниже заданного значения. Кратность форсирования по отношению к номинальному выходному напряжению составляет от 1,5 до 2. Статические системы возбуждения отличаются высокой быстродействием: форсирование возбуждения вводится за время порядка 0,02-0,06 с.

Современная бесщеточная система возбуждения СД также включает в себя статический преобразователь, но питание обмотки возбуждения двигателя осуществляется от дополнительного синхронного генератора (так называемого, подвозбудителя), установленного на валу СД через неуправляемые выпрямители (рисунок 1).

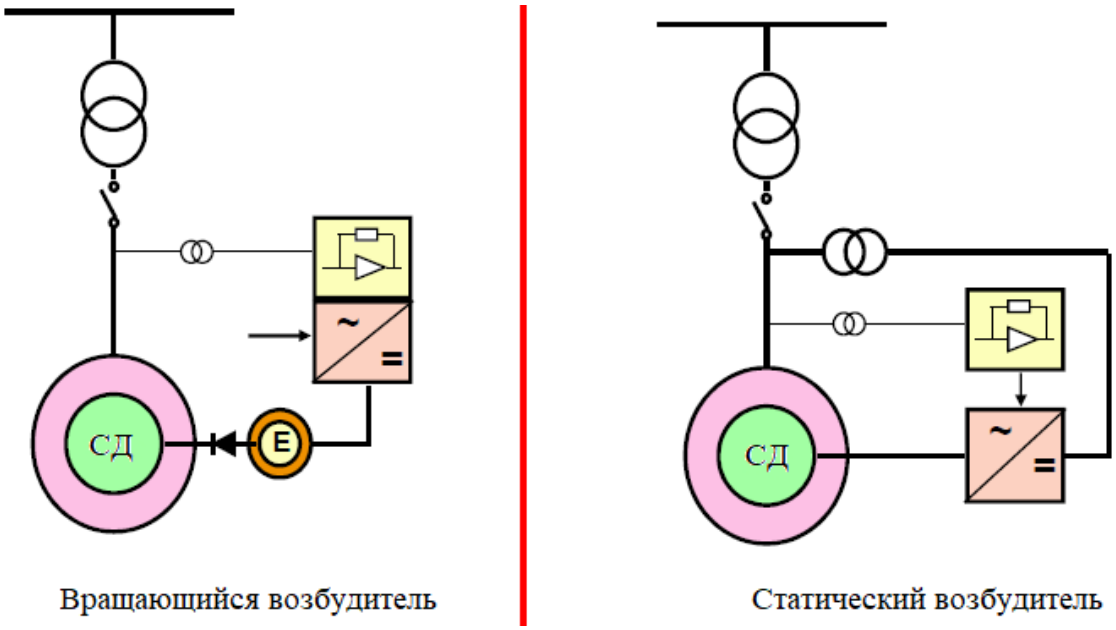

Рисунок 1 – Упрощенная структурная схема бесщеточного возбудителя (слева) и статического возбудителя (справа)

Синхронный двигатель представляет собой обращенную машину, обмотка возбуждения которой неподвижна и питается от тиристорного преобразователя. Таким образом, путем управления током возбуждения двигателя, тиристорный возбудитель осуществляет управление током возбуждения СД. Подобные системы возбуждения имеют существенное преимущество – отсутствие щеточных контактов, что повышает надежность двигателя и позволяет выпускать такие двигатели во взрывозащищенном исполнении. Бесщеточные системы возбуждения часто применяются на газоперекачивающих станциях магистральных газопроводов. Тиристорный регулятор реализует те же законы управления, которые используются в статических возбудителях. Недостатками бесщёточных систем является низкое быстродействие и более низкое качество поддержания параметров работы СД по сравнению со статическими системами.

Синхронные машины с электрическим возбуждением можно разделить по системам возбуждения на щеточные и бесщеточные.

Система возбуждения зависит от области применения; щеточная система возбуждения используется, когда требуются высокие динамические

характеристики, в то время как преимущество бесщеточных систем возбуждения заключается в том, что они требуют меньшего обслуживания. Бесщеточные системы возбуждения обычно используются в морских приводах, где требования к динамике не слишком жесткие, но требуется максимальная надежность и затруднено обслуживание. Синхронная машина с бесщеточной системой возбуждения представлена на рисунке 2.

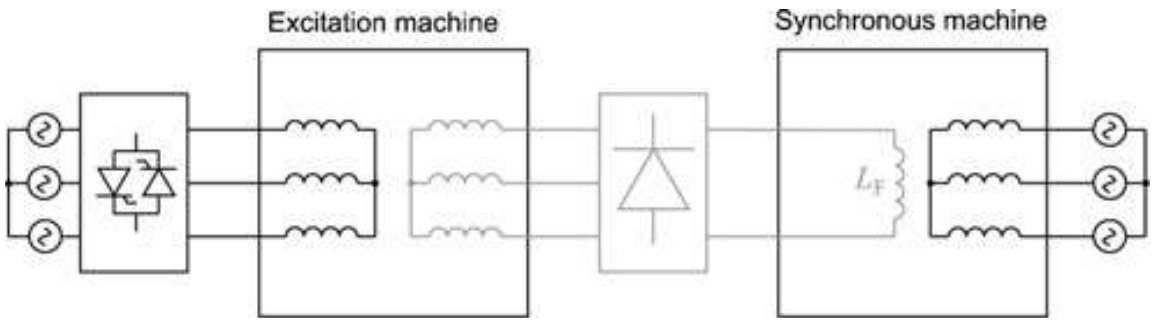

Рисунок 2 – Синхронная машина с бесщеточной системой возбуждения

Целью управления током возбуждения является установка коэффициента мощности машины на желаемое значение и поддержание стабильности машины во время переходных состояний. Созданная имитационная модель может использоваться для моделирования воздействия динамики системы возбуждения на синхронную машину во время переходных состояний. Модель конечного автомата дает точное описание токов цепи ротора машины возбуждения. Простая постоянная времени недостаточно хорошо описывает систему возбуждения. Постоянная времени для увеличения и уменьшения тока возбуждения отличается друг от друга из-за состояния свободного хода. Невозможно заставить ток возбуждения падать, используя отрицательное напряжение возбуждения с диодным мостом.

Бесщеточная система возбуждения состоит из машины возбуждения, то есть традиционной трехфазной индукционной машины с фазным ротором, установленной на главном валу машины и питаемой от преобразователя переменного тока в переменный, и диодного выпрямителя, подключенного к

ротору машины возбуждения. Использование машины возбуждения с фазным ротором, питаемой преобразователем АС – АС, позволяет генерировать ток возбуждения также при нулевой скорости, что является значительным преимуществом по сравнению с другим типом метода возбуждения. Рассматривается преобразователь тиристорной пары, поскольку он является традиционным преобразователем для машины возбуждения большой синхронной машины. Ротор машины возбуждения соединен с валом синхронной машины. Поток статора возбуждающей машины вращается в направлении, противоположном направлению вращения синхронной машины. Следовательно, скольжение возбуждающей машины всегда больше единицы. Машина возбуждения питается от преобразователя мощности на тиристорной паре, который подключен к разъемам статора синхронной машины или к внешней сети.

Машина возбуждения получает энергию частично от питающей сети и частично от оси синхронной машины при работе со скольжением больше единицы. Есть две дополнительные пары тиристоров для изменения направления вращения поля при изменении направления вращения синхронной машины. Если синхронная машина используется в качестве генератора, одна пара полюсов может быть оборудована постоянными магнитами, чтобы обеспечить возможность наращивания генератора также в изолированной работе сети. Токи ротора машины возбуждения выпрямляются и подаются на обмотку возбуждения синхронной машины с помощью шестипульсного диодного мостового выпрямителя. Полная схема системы возбуждения представлена на рисунке 3.

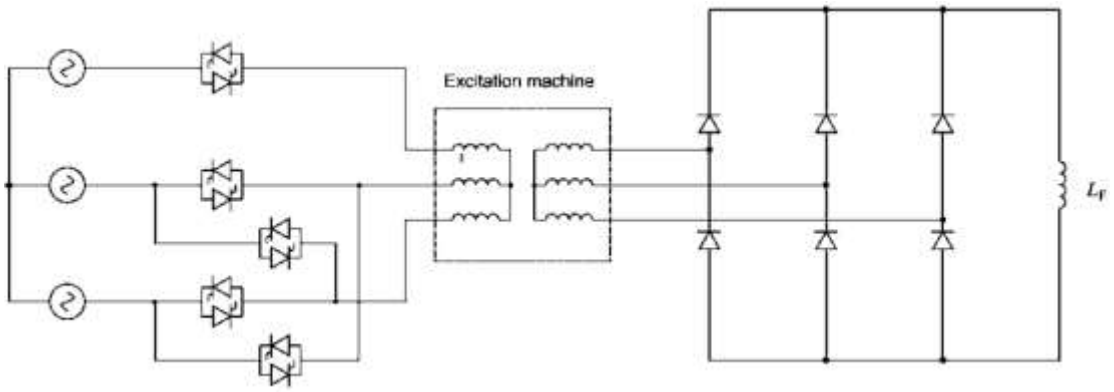

Рисунок 3 – Полная схема системы возбуждения

Тиристорный преобразователь мощности в цепи статора и диодный выпрямитель в цепи ротора вызывают сильную нелинейность в системе возбуждения. Токи и напряжения не являются синусоидальными, что затрудняет моделирование.

Литература

1. Дж. К. Неланд, Ф. Эвестедт, Дж. Дж. Перес-Лойя, Дж. Абрахамссон и У. Лундин, ”Оценка различных силовых электронных интерфейсов для управления вращающимся бесщеточным возбудителем PM”, IECON 2016 - 42-й ежегодная Конференция Общества промышленной электроники IEEE, Флоренция, 2016, стр. 1924-1929.
2. C. A. Platero, F. Blazquez, E. Rebollo, F. R. Blanquez, J. A. Martınez и M. Redondo, ”Усовершенствование высокоскоростной системы отключения возбуждения для бесщеточных синхронных машин с помощью полупроводников с большим блокирующим напряжением”,2015 10-й международный симпозиум IEEE по диагностике для электрических машин, силовой электроники и приводов (SDEMPED), Гуарда, 2015, стр. 50-55.
3. С. Чакраборти, С. Басак и Ю. Т. Рао, “Новая серия бесщеточных и синхронных машин без постоянных магнитов”, Международный симпозиум по промышленной электронике (ISIE), Эдинбург, 2017, стр. 1425-1430.

4. Р. С. Шефер, ”Применение систем статического возбуждения в промышленности IEEE”, Журнал приложений, том 4, № 6, стр. 41-49, ноябрь-декабрь 1998 года.
5. Р. Торнтон-Джонс, И. Голайтли, Н. Гаттеридж, К. Хьюизер и Д. Навратил, ”Обзор спецификаций генератора и системы возбуждения и требования к тестированию для удовлетворения нескольких международных стандартов сетевого кода”, Общее собрание IEEE Power and Energy Society 2012, Сан-Диего, Калифорния, 2012, стр. 1-2.
6. Файкаль Бенсмейн, Абдалла Баракат, Слим Тнани, Жерар Шампенуа, Эмиль Муни, ”Двойное управление синхронным генератором для регулирования напряжения на клеммах-сравнение с одним управлением”, Электроэнергия, Системные исследования, Том 91, 2012, стр. 78-86

Literature

1. J.C. Neland, F. Evestedt, J.J. Perez-Loya, J. Abrahamsson and W. Lundin, “Evaluating Various Power Electronic Interfaces for Controlling PM Rotary Brushless Exciter,” IECON 2016 - 42nd Annual Conference IEEE Industrial Electronics Society, Florence, 2016, pp. 1924-1929.
2. CA Platero, F. Blazquez, E. Rebollo, FR Blanquez, JA Martınez and M. Redondo, “Improving High Speed Excitation Shutdown System for Brushless Synchronous Machines Using High Blocking Voltage Semiconductors”, 2015 10th IEEE International Diagnostic Symposium for Electrical Machines, Power Electronics and Drives (SDEMPED), Guarda, 2015, pp. 50-55.
3. C. Chakraborty, S. Basak and Y. T. Rao, “A New Series of Brushless and Synchronous Machines without Permanent Magnets,” International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Edinburgh, 2017, pp. 1425-1430.
4. RS Schaefer, “Application of Static Excitation Systems in the IEEE Industry,” Application Journal, Vol. 4, No. 6, pp. 41-49, Nov-Dec 1998.
5. R. Thornton-Jones, I. Golightly, N. Gutteridge, C. Huyser and D. Navratil, “Overview of Oscillator and Excitation System Specifications and Test Requirements to Meet Several International Network Code Standards,” IEEE

Power and Energy Society General Meeting 2012 , San Diego, CA, 2012, pp. 1-2.

6. Faikal Bensmein, Abdallah Barakat, Slim Tnani, Gerard Champenois, Emile Mooney, “Dual Control of a Synchronous Generator for Terminal Voltage Regulation - Comparison with One Control”, Electricity, Systems Research, Vol. 91, 2012, p. 78-86