

ОТЗЫВ официального оппонента

на диссертационную работу Кочеткова Владимира Валерьевича «Совершенствование управления коэффициентом реактивной мощности системы электроснабжения с синхронным электроприводом», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы»

Соответствие диссертации научной специальности

Объектом исследования является система электроснабжения (СЭС) с синхронным электроприводом, предметом исследования – алгоритмы управления и структуры систем автоматического управления (САУ) коэффициентом реактивной мощности и экономическая эффективность их использования. В работе рассматриваются вопросы совершенствования управления коэффициентом реактивной мощности системы электроснабжения с синхронным приводом. Вышеуказанное подтверждает соответствие диссертации специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы» (п.1. Развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, изучение системных свойств и связей, физическое, математическое, имитационное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем, п.3. Разработка, структурный и параметрический синтез электротехнических комплексов и систем, их оптимизация, а также разработка алгоритмов эффективного управления и п.4. Исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов и систем в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях).

Актуальность темы диссертации

Системы управления коэффициентом реактивной мощности широко используются в СЭС различных отраслей промышленности. Они обеспечивают требования к уровню потребления реактивной мощности, установленных

сетевой организацией – поставщиком электроэнергии. Однако не все системы управления в состоянии поддерживать коэффициент реактивной мощности на заданном уровне с допустимой погрешностью. К тому же широкое распространение синхронных двигателей на промышленных предприятиях позволяет рассматривать их как регулируемый источник реактивной мощности. Поэтому тема диссертационного исследования, направленная на решение задачи совершенствования и разработки новых систем управления коэффициентом реактивной мощности системы электроснабжения с синхронным электроприводом, является актуальной и имеет научную и практическую значимость.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и заключений обеспечивается использованием в работе методов математического моделирования, теории электрических машин, теории электропривода, теории автоматического управления; при выполнении вычислительных экспериментов – использованием сертифицированного программного продукта MATLAB Simulink, при проведении натурных экспериментов – использованием сертифицированных измерительных приборов и подтверждается согласованностью расчетных данных с результатами экспериментальных исследований, а также апробацией результатов исследования на международных и всероссийских научно-технических конференциях.

Научная новизна положений, результатов и выводов, сформулированных в диссертации, заключается в следующем:

1. Разработана математическая модель обобщенной СЭС как объекта управления, отличающаяся учетом асинхронной и конденсаторной нагрузок, активных сопротивлений линии электропередачи и трансформаторов, а также учетом нестабильности напряжения в электрической сети.

2. Разработана методика расчета параметров схемы замещения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором по справочным данным, на базе которой построена методика расчета активной и реактивной мощности при его разгоне.

3. Разработана структура системы автоматического управления коэффициентом реактивной мощности системы электроснабжения с синхронным электроприводом, отличающаяся учетом требований к точностным характеристикам системы в условиях разгона асинхронных двигателей.

Практическая ценность работы и реализация результатов диссертационной работы

1. Разработана САУ коэффициентом реактивной мощности СЭС с синхронным электроприводом, применение которой электросетевыми компаниями позволит понизить величину тарифного коэффициента.

2. Рекомендована к внедрению на АО «Самаранефтегаз» система управления возбуждением синхронного двигателя на постоянство коэффициента реактивной мощности узла нагрузки в функции реактивной мощности пускаемых в ход асинхронных двигателей.

3. Рекомендованы к внедрению разработанные системы управления переменными синхронного двигателя СТД-1250 и узла нагрузки системы электроснабжения на АО «Самарская сетевая компания».

4. Математическая модель обобщенной СЭС как объекта управления параметрами ее режима, методика определения сопротивлений асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором по паспортным данным и расчет реактивной и активной мощности при ее разгоне, система управления коэффициентом реактивной мощности СЭС с синхронным электроприводом с отрицательной обратной связью и компенсирующей связью по активной и реактивной мощности асинхронной нагрузки использованы в учебном процессе кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Самарского государственного технического университета.

Анализ содержания работы и соответствие ее требованиям, предъявляемым диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук

На рассмотрение представлены:

- диссертация общим объемом 154 страницы печатного текста, которая состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 130 наименований, 107 рисунков, 12 таблиц и 3 приложений;

- автореферат диссертации на 20 страницах с характеристикой работы и кратким изложением основного содержания работы.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы, сформулирована цель работы и вытекающие из нее задачи исследования, научная новизна работы, методы решения, представлена практическая значимость работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, приведены сведения по апробации результатов работы и публикациям.

В первой главе выполнен анализ работ по теме диссертационного исследования – математических моделей и алгоритмов управления синхронными двигателями, выявлены их недостатки. На основе выполненного анализа конкретизирована проблема исследования.

Во второй главе на базе модели синхронного двигателя с учетом соотношений, описывающих электромагнитные процессы в линии питания, асинхронных двигателях и конденсаторной батарее разработана математическая модель системы электроснабжения как объекта управления. Состояние СЭС как объекта управления характеризуется следующими выходными координатами: реактивной мощностью, напряжением и коэффициентом реактивной мощности узла нагрузки. Управляющее воздействие – напряжение возбуждения синхронного двигателя. К возмущающим воздействиям относятся: изменение напряжения сети, изменение мощности асинхронной нагрузки, короткие замыкания в цели питания, момент нагрузки синхронного двигателя.

Разработана методика расчета параметров схемы замещения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором по паспортным данным, на базе которой предложена методика расчета активной и реактивной мощности при его разгоне. Показано, что усредненная величина погрешности методики расчета параметров схемы замещения асинхронного двигателя не превышает 2%, погрешность методики расчета активной и реактивной мощности без учета влияния электромагнитных процессов составляет 3,8%.

Автором рассчитана погрешность системы управления коэффициентом реактивной мощности без обратных связей, показано, что данная система не обеспечивает требуемой точности регулирования.

В третьей главе рассмотрены САУ коэффициентом реактивной мощности СЭС с синхронным электроприводом, имеющим связи по различным переменным объекта управления, и ее динамические характеристики. Рассмотрен синтез регуляторов одноконтурных систем управления током возбуждения, углом нагрузки, реактивной мощностью и двухконтурных систем управления углом нагрузки и реактивной мощностью синхронного двигателя для двух вариантов синхронного электропривода. Показано, что предпочтение следует отдавать двухконтурным электроприводам, так как в них конструктивно проще ограничить максимальную величину тока возбуждения, а регуляторы в электроприводах с обратной связью по углу $\Delta\theta$ имеют более простую структуру. Показана экономическая эффективность разработанной системы автоматического управления коэффициентом реактивной мощности СЭС с синхронным электроприводом с обратной связью по его реактивной мощности и компенсирующей связью по мощности асинхронной нагрузки, сигнал задания которой формируется программно-задающим устройством.

Четвертая глава посвящена реализации и экспериментальным исследованиям синхронного электропривода системы управления коэффициентом реактивной мощности на экспериментальной установке с синхронным двигателем номинальной мощностью $P_n = 5 \text{ кВт}$ с обратной связью по его реактивной мощности и компенсирующей связью по мощности асинхронной нагрузки. Выполнена оценка отклонения расчетных данных от экспериментальных.

В заключении сформулированы основные научные и практические результаты выполненных исследований.

В приложениях приведены акты внедрения результатов работы в АО «Самаранефтегаз», АО «Самарская сетевая компания» и учебный процесс

кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Самарского государственного технического университета.

По всем главам приведены соответствующие выводы, отражающие полученные научные и практические результаты. Содержание автореферата в целом соответствует содержанию диссертации.

Апробация работы и подтверждение опубликованных основных положений и выводов

По результатам диссертационного исследования опубликовано 14 печатных работ, в том числе 2 статьи в библиографических и рецензируемых базах данных *Scopus* и *Web of Science*, 6 статей в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК, 6 работ – в материалах международных и всероссийских научных конференций.

Замечания и вопросы по диссертации

1. Целый ряд терминов, используемых в тексте диссертации и автореферата, требует конкретизации и уточнения. Например, в задаче 1 (текст диссертации и автореферата) для разработки математической модели СЭС приводится термин «нестабильного напряжения», в задаче 3 (текст диссертации и автореферата) – «вариации напряжения», на стр. 11 диссертации – «отклонения напряжения», в главе 1 диссертации в постановках проблем исследования – «колебания напряжения» и т.д. Требуется дать четкое толкование, для какого типа изменений напряжения разработана математическая модель объекта управления – системы электроснабжения.

2. Автор не дает разъяснений в работе, какие критерии выбраны для оценки эффективности управления коэффициентом реактивной мощности в системе электроснабжения, как достигается повышение эффективности управления коэффициентом реактивной мощности в объекте исследования, хотя об этом говорится в формулировке цели исследования.

3. Не совсем удачно в главе 2 (стр. 24) в качестве примера для разработки обобщенной модели системы электроснабжения (рисунок 2.3) выбраны СЭС машиностроительного предприятия и кустовой насосной станции (КНС). В

описании СЭС машиностроительного предприятия не приведены элементы T_2 и питающей линии ЛП. В описании рисунков 2.1 и 2.2 приведено, что в качестве центров питания рассматриваются трехобмоточный и двухобмоточный трансформаторы T_1 , что ошибочно. Поэтому обобщенную модель СЭС (рисунок 2.3) следовало бы использовать в виде ЭЭС-ЛП-Т и далее нагрузка (СД, АД, БК).

4. В главе 2 при рассмотрении динамической модели синхронного двигателя не приведено обоснование не учета активных сопротивлений обмоток статора.

5. В автореферате в математической модели синхронного двигателя предлагается учитывать электромеханические переходные процессы в обмотке статора выражением (2), однако использование критических значений асинхронной мощности P_{kp} и скольжения s_{kp} может дать значительную погрешность в расчетах переходных режимов.

6. В главе 3, п.3.7 приведено экономическое обоснование разработанной САУ коэффициентом реактивной мощности системы электроснабжения, однако не пояснено для какой СЭС приведены результаты расчетов экономической эффективности и применимы ли они для обобщенной модели СЭС, разработанной автором.

7. Вычислительные эксперименты в главах 2 и 3 приведены для высоковольтного синхронного двигателя 6 кВ, а натурные эксперименты – для низковольтного СД ($U_n = 230$ В). Поэтому возникает вопрос о согласованности полученных результатов экспериментов.

8. В тексте диссертации переизбыток иллюстративной информации: 107 рисунков на 134 страницах основного текста! Только графическое представление большинства полученных результатов без выполненного анализа затрудняет их восприятие. Часть приведенных рисунков, например рисунки 2.10, 2.11, остались в работе невостребованными.

Заключение

Сделанные замечания не затрагивают основные положения работы и не снижают ее научной ценности и актуальности.

Результаты диссертации отражены в достаточном количестве публикаций из перечня ВАК.

Таким образом, можно заключить, что представленная на отзыв диссертационная работа Кочеткова Владимира Валерьевича является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной научной задачи – совершенствования и разработки новых систем управления коэффициентом реактивной мощности системы электроснабжения с синхронным электроприводом.

Диссертационная работа удовлетворяет требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (утверженного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 в редакции от 29.05.2017 г.), предъявляемых к кандидатским диссертациям, соответствует указанной научной специальности, а ее автор, Кочетков Владимир Валерьевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы».

Официальный оппонент

Доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой
«Электроснабжение и электротехника»
ФГБОУ ВО «Тольяттинский
государственный университет»

Вахнина Вера Васильевна

445020, Самарская обл., г. Тольятти,
ул. Белорусская, 14 (центральный кампус)
ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет»
Тел. раб. 8 (8482) 54-63-11
E-mail: V.Vahnina@tltsu.ru