

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**УТВЕРЖДАЮ**

**федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Нижегородский государственный  
технический университет им. Р.Е. Алексеева»  
(НГТУ)**

Проректор по научной работе

Н.Ю. Бабанов

Минина ул., 24, г. Нижний Новгород, 603950

Тел. (831) 436-23-25, факс (831) 436-95-75

E-mail: [ntu@ntu.ru](mailto:ntu@ntu.ru) [www.ntu.ru](http://www.ntu.ru)

ОКПО 02068137 ОГРН 1025203034537

ИНН / КПП 5260001439 / 526001001

\_\_\_\_\_ 2018 г.

## **ОТЗЫВ**

ведущей организации

**ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет  
им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород**

на диссертацию 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»

### **Актуальность избранной темы**

Системы управления реактивной мощностью широко применяются на электроустановках нефтяных промыслов, газоперекачивающих агрегатов, на предприятиях химической, машиностроительной и других отраслей промышленности, в состав электрооборудования которых входят асинхронные и синхронные электродвигатели.

Данные системы обладают высокой энергоэффективностью, однако не обеспечивают работу оборудования с нормативными значениями коэффициентов реактивной мощности. При этом наличие на отдельных предприятиях мощных синхронных электродвигателей позволяет за счет регулирования их возбуждения изменять коэффициент реактивной мощности как в большую, так и в меньшую сторону.

Исходя из этого, актуальной задачей является разработка систем управления коэффициентом реактивной мощности системы электроснабжения.

Диссертационная работа Кочеткова В.В. направлена на разработку системы управления коэффициентом реактивной мощности системы электроснабжения, позволяющую за счет программного управления обеспечить работу оборудования с нормативными значениями коэффициентов реактивной мощности и получить за счет этого экономический эффект.

Представленная работа соответствует Федеральному закону «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 N 261-ФЗ.

#### **Оценка содержания работы**

Диссертационная работа представлена на 138 страницах и содержит введение, четыре главы, список литературы из 130 наименований, 107 рисунков, 12 таблиц и 3 приложения.

**Во введении** рассмотрена степень изученности проблемы. Отмечено, что системы электроснабжения представляются как объекты управления реактивной мощностью без учета колебания напряжения в сети, а также без учета влияния процессов при пуске асинхронных двигателей и включении конденсаторных батарей. Автором приведены работы отечественных и зарубежных исследователей, направленные на снижение погрешностей от упомянутых воздействий. Установлено отсутствие исследований, связанных с анализом влияния всех вышеизложенных факторов на систему электроснабжения и использующих синхронный электропривод в качестве основного исполнительного механизма для управления коэффициентом реактивной мощности (РМ) системы электроснабжения (СЭС). С учетом этого сформулирована цели диссертации – разработка системы, которая



позволит повысить эффективность управления коэффициентом РМ СЭС. Предметом исследования являются системы автоматического управления (САУ) коэффициентом РМ СЭС.

**В первой главе** автором проведен анализ существующих работ по математическому описанию и алгоритмам управления возбуждения синхронных машин. Приведены структурные схемы систем автоматического регулирования возбуждения синхронной машины с учетом переходных процессов в статорной цепи (рис. 1.8, стр. 17) и без учета переходных процессов в статорной цепи (рис. 1.9, стр. 18), а также структурные схемы синхронного двигателя с регулированием возбуждения в функции угла нагрузки (рис. 1.11, стр. 20) и в функции реактивной мощности (рис. 1.12, стр. 21). Показано, что в существующих структурных схемах отсутствуют обратные связи по напряжению сети и не учтено влияние асинхронных двигателей и конденсаторных батарей (стр. 15-16, 21). Особое внимание уделено тому, что передаточные функции оптимальных регуляторов имеют высокий порядок и на практике сложны в обслуживании (стр. 22).

**Вторая глава** посвящена разработке математической модели обобщенной системы электроснабжения.

На основе уравнений электромагнитных и электромеханических переходных процессов синхронной машины автором получена структурная схема синхронного двигателя (СД), учитывающая нестабильность напряжения сети (рис. 2.7, стр.33). Отмечено, что представленная в работе модель, при исключении из нее обратной связи по напряжению, идентична модели, разработанной Д.П. Петелиным, что доказывает правомерность ее дальнейшего использования.

На основе математической модели СД разработана математическая модель обобщенной СЭС с учетом нестабильности напряжения в сети со следующими выходными переменными – коэффициент реактивной мощности СЭС и отклонение напряжения СЭС (рис. 2.26, стр. 51).

Для оценки влияния переходных процессов асинхронных двигателей на режим работы системы электроснабжения автором определены параметры схемы замещения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором по справочным данным (стр. 59, 60) и выполнен расчет активной и реактивной мощности при его разгоне (стр. 64).

Анализ динамических характеристик СЭС показал, что отсутствие обратной связи по напряжению приводит к погрешности в определении коэффициента РМ СЭС до 24,5% (стр. 70, 71) и обеспечение заданного значения погрешности не может быть реализовано в системе управления коэффициентом реактивной мощности системы электроснабжения с синхронным электроприводом без обратных связей (стр. 75).

**Третья глава** посвящена разработке эффективной системы управления коэффициентом реактивной мощности системы электроснабжения.

Автором разработаны и исследованы системы управления коэффициентом реактивной мощности системы электроснабжения, включающими синхронный электропривод с различными обратными связями: по току возбуждения СД (рис. 3.6, стр. 81); по внутреннему углу СД (рис. 3.11, стр. 86); по току возбуждения и внутреннему углу СД (рис. 3.17, стр. 91); по реактивной мощности СД (рис. 3.24, стр. 101); по току возбуждения и реактивной мощности СД (рис. 3.31, стр. 107).

Выполнено компьютерное моделирование разработанных систем в среде «Matlab Simulink». Автором проанализированы полученные в результате моделирования переходные и частотные характеристики предложенных систем управления. На основе результатов анализа сделан вывод, что вышеизложенные системы не обеспечивают заданное значение погрешности коэффициента РМ СЭС  $\Delta \text{tg } \varphi_3 = 0,03$  в связи с сильным возмущающим воздействием от изменения мощности асинхронной нагрузки.

Для минимизации погрешности от возмущающего воздействия в систему управления коэффициентом РМ СЭС с синхронным электроприводом с отрицательными обратными связями по току



возбуждения и реактивной мощности СД введена связь по изменению мощности асинхронной нагрузки, названная автором как «компенсирующая» (рис. 3.40, стр.117). Входной сигнал в этой системе предложено задавать с помощью программно-задающего устройства для поддержания  $\text{tg } \varphi_3 = 0,3$  в режиме больших нагрузок и  $\text{tg } \varphi_3 = 0,24$  в режиме малых нагрузок. В результате исследования системы управления с компенсирующей обратной связью и программным управлением в среде «Matlab Simulink» показано, что погрешность коэффициента РМ СЭС  $\Delta \text{tg } \varphi_3 = 0,0075$ , что значительно меньше заданного значения  $\Delta \text{tg } \varphi_3 = 0,03$  (стр. 118).

Выполнено экономическое обоснование предложенной системы. Согласно расчетам, участие предприятия в регулировании РМ позволило получить понижающий коэффициент к цене за электроэнергию  $K_2 = 0,971$  (стр. 115), что в денежном эквиваленте составило 1,56 млн. руб. в год.

**Четвертая глава** посвящена экспериментальному исследованию системы управления коэффициентом РМ СЭС с синхронным электроприводом. Исследования проведены путем моделирования в среде «Matlab Simulink» и на экспериментальной установке системы управления коэффициентом РМ. В диссертации приведены результаты экспериментов в виде диаграмм (рис. 4.4. стр. 128, рис. 4.5-4.6 стр. 129, рис. 4.9. стр. 131, рис. 4.10-4.11 стр. 132).

Результаты экспериментальных исследований в полной мере подтвердили результаты теоретического анализа и математического моделирования системы управления коэффициентом РМ СЭС. Таким образом, диссертация имеет обоснованное заключение.

#### **Основные научные результаты диссертационной работы, анализ их новизны**

Разработаны математическая модель синхронного двигателя и математическая модель обобщенной СЭС с учетом нестабильности напряжения в сети. Разработана система управления коэффициентом РМ

СЭС, эффективность которой доказана как экономическим расчетом, так и обеспечением требуемой погрешности регулирования.

**Практическое значение диссертационной работы** заключается в создании компьютерных моделей синхронных электроприводов с различными обратными связями. Разработана система автоматического управления коэффициентом РМ СЭС с синхронным электроприводом с отрицательными обратными связями по току возбуждения и реактивной мощности СД и с компенсирующей связью по мощности асинхронной нагрузки. Методика расчета сопротивлений и пусковых характеристик асинхронных двигателей и методики настройки регуляторов синхронного двигателя внедрены и используются на кустовой насосной станции «Бариновская» АО «Самаранефтегаз».

**Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** основана на корректном использовании проверенных математических методов, теории электропривода, компьютерного моделирования, теории автоматического управления и подтверждением натурными экспериментами.

Автореферат по содержанию соответствует диссертации и достаточно полно отражает информацию о методах исследований и полученных в работе результатов.

#### **Публикации и апробация работы**

Автором опубликованы 6 статей в изданиях, рекомендованных ВАК, 2 статьи в библиографических и реферативных базах данных Scopus и Web of Science. Результаты работы были представлены на международных научно-практических конференциях.



### **Замечания**

1. При рассмотрении переходных режимов в асинхронном электродвигателе следовало бы учесть потери от вихревых токов и гистерезиса.

2. Формула реактивной мощности  $Q_{2н}(s_n) = P_{2н} / 2b_n$  (стр. 56) может привести к значительной погрешности при определении параметров схем замещения асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором малой мощности (до 5 кВт).

3. При рассмотрении переходных режимов в системе автоматического управления коэффициентом реактивной мощности системы электроснабжения, вызванных пуском асинхронных двигателей, не учитывается нелинейность характеристик синхронного электродвигателя.

4. Магнитные и добавочные потери, учитываемые при определении электромагнитной мощности асинхронного электродвигателя, следовало бы выразить относительно его полной активной мощности, а не от мощности на валу.

5. Следовало бы пояснить влияние системы автоматического управления коэффициентом реактивной мощности на погрешность управления напряжением системы электроснабжения.

Указанные замечания не снижают высокой научной и практической значимости диссертационной работы, выполненной Кочетковым В.В., в которой решена актуальная задача совершенствования управления коэффициентом реактивной мощности системы электроснабжения.

### **Заключение**

Диссертационная работа Кочеткова В.В. является законченной научно-квалифицированной работой. Работа выполнена на высоком теоретическом и методическом уровне, ее результаты используются на промышленном предприятии и в учебном процессе высшего учебного заведения. Диссертация удовлетворяет требованиям Высшей аттестационной комиссии

(ВАК), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы».

Диссертационная работа Кочеткова В.В., автореферат диссертации, а также отзыв ведущей организации рассмотрены и одобрены на заседании кафедры «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника» НГТУ «22» октября 2018 г., протокол №3.

Профессор кафедры  
«Электроэнергетика,  
электроснабжение и силовая  
электроника» НГТУ, доктор  
технических наук, профессор

Соснина Елена Николаевна

Доцент кафедры  
«Электроэнергетика,  
электроснабжение и силовая  
электроника» НГТУ, кандидат  
технических наук

Шалухо Андрей Владимирович

Сведения:

Организация: ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»

Почтовый адрес: 603950, Россия, Нижегородская область, г. Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24

эл. почта: [nntu@nntu.ru](mailto:nntu@nntu.ru)

тел. (831) 436-23-25