DOI: 10.17117/na.2015.07.705

Поступило в редакцию: 30.07.2015

<http://ucom.ru/doc/na.2015.07.705.pdf>

Крюков О.В., Серебряков А.В., Степанов С.Е. Особенности системы регулирования возбуждения с микропроцессорным идентификатором угла нагрузки

Kryukov O.V., Serebryakov A.V., Stepanov S.E.
Features of the system of regulation of excitation
with microprocessor ID angle load

Рассмотрена новая структура векторного управления возбуждением синхронного двигателя.

Предложены интеллектуальные вычислители косвенного определения угла нагрузки

Ключевые слова: синхронная машина, электропривод, идентификатор, угол нагрузки, система регулирования возбуждения

Reviewed the new structure of the vector of the excitation control of the synchronous motor. The proposed intelligent solvers indirect determination of load angle

Key words: synchronous machine, the electric drive, the ID, the angle of the load control system of excitation

Крюков Олег Викторович

Кандидат технических наук, доцент, главный специалист

Гипрогазцентр

г. Нижний Новгород, ГСП-926, ул. Алексеевская, 26

Kryukov Oleg Viktorovich

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Main Expert

Giprogazcenter

Nizhny Novgorod, GSP-926, Alekseevskaya st., 26

Серебряков Артем Владимирович

Кандидат технических наук, доцент

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

г. Нижний Новгород, ГСП-41, ул. Минина, 24

Serebryakov Artem Vladimirovich

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

Nizhny Novgorod state technical university named R.E. Alekseev

Nizhny Novgorod, GSP-41, Minina st., 24

Степанов Сергей Евгеньевич

Кандидат технических наук, ведущий инженер

Гипрогазцентр

г. Нижний Новгород, ГСП-926, ул. Алексеевская, 26

Stepanov Sergey Evgenjevich

Candidate of Engineering Sciences, Lead Engineer

Giprogazcenter

Nizhny Novgorod, GSP-926, Alekseevskaya st., 26

Назначение системы автоматического регулирования возбуждения синхронного двигателя заключается в поддержании тока возбуждения i_f и продольной и поперечной составляющих тока статора i_{sd} , i_{sq} соответственно, необходимых для обеспечения требуемого электромагнитного состояния синхронного двигателя при изменениях момента нагрузки или напряжения статора [1-4]. Автоматическое регулирование возбуждения позволяет стабилизировать один из следующих параметров: реактивную мощность Q , напряжение статора u_s , коэффициент мощности $\cos \varphi$ [5-10].

Регулятор тока возбуждения (РТВ) системы автоматического регулирования синхронного двигателя (рис. 1) компенсирует постоянную времени обмотки возбуждения и обеспечивает требуемое быстродействие и надежность в контуре регулирования тока возбуждения [11-15].

Рис. 1. Структурная схема системы автоматического регулирования возбуждения синхронного двигателя с идентификатором угла нагрузки

В тех случаях, когда узел нагрузки не испытывает дефицита реактивной мощности, оптимальным является режим работы синхронного двигателя с $\cos \varphi$ близким к 0.9, не связанный с потреблением реактивной мощности из сети и обеспечивающий минимум электрических потерь и благоприятный тепловой режим двигателя [16-21]. Блок демпфирования колебаний ротора синхронного двигателя предназначен для ограничения амплитуды колебаний ротора, снижения колебаний активной и реактивной мощности синхронного двигателя. Тем самым повышается устойчивость и надежность работы двигателя при ударном приложении нагрузки.

Регулирование тока возбуждения в целях демпфирования качаний ротора осуществляется по углу нагрузки δ и его производной, которые являются параметрами, непосредственно определяющими устойчивость двигателя. Угол нагрузки δ и его производная вычисляются идентификатором угла нагрузки в трехконтурной системе автоматического регулирования возбуждением синхронного двигателя [22-25].

Для обеспечения оптимального качества переходного процесса (колебательность активного и реактивного тока статора, амплитуда качаний ротора, длительность переходного процесса) при резких изменениях электромагнитной мощности $P_{эм}$ необходимо в динамике поддерживать заданный режим Q^* . В предлагаемой системе автоматического регулирования возбуждения обеспечивается минимум отклонения от заданного закона регулирования при сложном характере изменения нагрузки на валу СД в широких пределах [26-30].

Формирование заданий для потокосцеплений ψ_{sd}^* , ψ_{sq}^* (блок Ψ_s) происходит с учетом структурных свойств двигателя как объекта регулирования. За-

дания ψ_{sd}^* , ψ_{sq}^* подчинены заданиям токов i_{sd}^* , i_{sq}^* , вычисляемым в блоке I_s , и заданию для потокосцепления ψ_s^* . Последнее формируется пропорциональным регулятором напряжения (РН) или определяется напряжением статора. Входными переменными блока I_s являются активная мощность P и реактивная мощность Q статора синхронного двигателя. Задание на ток возбуждения i_f^* и сигнал ошибки на входе ПИ-регулятора тока возбуждения вычисляются в блоке I_f . Электромагнитная инерция цепи возбуждения характеризуется переходной постоянной времени. Компенсировать постоянную времени обмотки возбуждения и обеспечить требуемое быстродействие в контуре регулирования тока возбуждения позволяет ПИ-регулятор, параметры которого определяются в результате оптимизации дифференциального уравнения для цепи возбуждения [31-34].

Идентификатор угла δ должен вычислять значение угла нагрузки по легко измеряемым координатам синхронного двигателя (току i_f и напряжению u_f цепи возбуждения, активному и реактивному токам и напряжению статора). Для вычисления угла нагрузки напряжение статора u_s и ток возбуждения i_f измеряются непосредственно, а потокосцепление ψ_f вычисляется в соответствии с математической моделью. Активный i_{sy} и реактивный i_{sx} токи статора вычисляются через фазные токи и напряжения статора в физических координатах. Таким образом, для косвенного измерения угла нагрузки используются сигналы датчика тока возбуждения (ДТР), датчика напряжения возбуждения (ДНР), датчика тока (ДТС) и напряжения (ДНС) статора.

Разработанная САР возбуждения позволяет стабилизировать реактивную мощность, коэффициент мощности, напряжение на статоре двигателя. Идентификатор угла нагрузки машины вычисляет угол δ как в статических, так и в динамических режимах работы, благодаря чему обеспечивается своевременная форсировка, предупреждающая переход в асинхронный режим.

Выводы

1. Разработанный идентификатор угла нагрузки двигателя позволяют производить математическое моделирование динамических режимов системы на персональном компьютере. Полученные графики переходных процессов подтверждают работоспособность САР возбуждением и угла нагрузки.

2. Анализ динамики переходных процессов в системе свидетельствуют о незначительных отклонениях реактивного тока синхронного двигателя от заданного значения при снижении колебаний активного тока статора, что подтверждает предположение об адекватности и приемлемой точности работы идентификатора в динамических режимах работы синхронного двигателя.

Список литературы:

1. Крюков О.В. Опыт создания энергоэффективных электроприводов ГПА // Труды VIII Международной конференции АЭП-2014. 2014. С. 157-163.
2. Милов В.Р., Суслов Б.А., Крюков О.В. Интеллектуализация поддержки управленческих решений в газовой отрасли // Автоматизация в промышленности. 2009. № 12. С. 16-20.
3. Крюков О.В. Интеллектуальные электроприводы с IT-алгоритмами // Автоматизация в промышленности. 2008. № 6. С. 36-39.

4. Крюков О.В. Частотное регулирование производительности электроприводных ГПА // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2014. № 6. С. 39-43.
5. Крюков О.В. Анализ систем безопасного пуска электроприводных газоперекачивающих агрегатов // Компрессорная техника и пневматика. 2012. № 2. С. 12-17.
6. Пужайло А.Ф., Спиридович Е.А., Крюков О.В. и др. Энергосбережение и автоматизация электрооборудования компрессорных станций: Монография. Н. Новгород: Вектор ТиС, 2010. 570 с.
7. Пужайло А.Ф., Савченков С.В., Крюков О.В. и др. Энергосбережение и автоматизация электрооборудования компрессорных станций: Монография. Н. Новгород: Вектор ТиС, 2011. 664 с.
8. Аникин Д.А., Рубцова И.Е., Крюков О.В., Киянов Н.В. Проектирование систем управления электроприводными ГПА // Газовая промышленность. 2009. № 2. С. 44-47.
9. Степанов С.Е., Крюков О.В., Плехов А.С. Принципы автоматического управления возбуждением синхронных машин газоконпрессорных станций // Автоматизация в промышленности. 2010. № 6. С. 29-31.
10. Крюков О.В., Степанов С.Е. Повышение устойчивости работы электроприводов центробежных нагнетателей на компрессорных станциях ОАО «Газпром» // Газовая промышленность. 2014. № 8 (710). С. 50-56.
11. Милов В.Р., Шалашов И.В., Крюков О.В. Процедуры прогнозирования и принятия решений системе ТО и ремонта // Автоматизация в промышленности. 2010. № 8. С. 47-49.
12. Захаров П.А., Киянов Н.В., Крюков О.В. Системы автоматизации технологических установок для эффективного транспорта газа // Автоматизация в промышленности. 2008. № 6. С. 6-10.
13. Крюков О.В. Анализ и техническая реализация факторов энергоэффективности инновационных решений в электроприводных турбокомпрессорах // Автоматизация в промышленности. 2010. № 10. С. 50-53.
14. Крюков О.В. Встроенная система диагностирования и прогнозирования работы асинхронных электроприводов // Известия ВУЗов. Электромеханика. 2005. № 6. С. 43-46.
15. Крюков О.В. Аппаратные и алгоритмические средства безопасного пуска электродвигателей большой мощности // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2013. № 9. С. 23-30.
16. Серебряков А.В. Энергоэффективные ветроэнергетические установки с оперативной диагностикой для автономных систем электроснабжения. Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук по спец. 05.09.03. Н. Новгород, 2013. 171 с.
17. Васенин А.Б., Крюков О.В., Серебряков А.В. Энергетический комплекс. Патент на полезную модель №113085. Оpubл. 27.01.2012.
18. Крюков О.В., Степанов С.Е. Пути модернизации электроприводных ГПА // Електромеханічні І енергозберігаючі системи. 2012. № 3 (19). С. 209-212.
19. Бабичев С.А., Захаров П.А., Крюков О.В. Мониторинг технического состояния приводных электродвигателей ГПА // Контроль. Диагностика. 2009. № 7. С. 33-39.
20. Крюков О.В., Регрессионные алгоритмы инвариантного управления электроприводами при стохастических возмущениях // Электричество. 2008. №9. С. 44-50.
21. Серебряков А.В., Крюков О.В. Оптимизация управления ВЭУ при стохастических возмущениях // Промышленная энергетика. 2013. №5. С. 45-49.
22. Крюков О.В., Краснов Д.В. Перспективы применения преобразователей частоты для регулирования производительности электроприводных ГПА // Газовая промышленность. 2014. № 6 (707). С. 86-89.
23. Крюков О.В. Регулирование производительности электроприводных ГПА преобразователями частоты // Компрессорная техника и пневматика. 2013. № 3. С. 21-24.
24. Крюков О.В., Серебряков А.В. Система оперативной диагностики технического состояния ветроэнергетических установок // Электротехника. №4. 2015. С. 49-53.
25. Серебряков А.В., Крюков О.В., Васенин А.Б. Нечеткие модели и алгоритмы управления ветроэнергетическими установками // Управление в технических системах (МКПУ-2012). СПб.: ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН, 2012. С. 467-469.
26. Крюков О.В., Горбатушков А.В., Степанов С.Е. Принципы построения инвариантных электроприводов энергетических объектов // Автоматизированный электропривод и промышленная электроника. Новокузнецк, 2010. С. 38-45.
27. Крюков О.В., Степанов С.Е. Электропривод газоперекачивающего агрегата. Патент на полезную модель №107427. Оpubл. 29.03.2011.
28. Бабичев С.А., Крюков О.В., Титов В.Г. Автоматизированная система безопасности электроприводных перекачивающих агрегатов // Электротехника. 2010. № 12. С. 24-31.
29. Крюков О.В. Виртуальный датчик нагрузки синхронных машин // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2014. № 3. С. 45-50.

30. Крюков О.В., Титов В.Г. Анализ пусковых режимов электроприводных газоперекачивающих агрегатов // Известия ВУЗов. Электромеханика. 2012. № 3. С. 29-35.
31. Крюков О.В. Стратегии инвариантных систем управления электроприводами объектов ОАО «Газпром» // Идентификация систем и задачи управления (SICPRO'15). М.: ИПУ РАН им. В.А. Трапезникова. 2015. С. 368-386.
32. Серебряков А.В., Крюков О.В. О новых возможностях технологий SMART GRID // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2013. №2. С. 47-48.
33. Крюков О.В., Степанов С.Е., Титов В.Г. Встроенные системы мониторинга технического состояния электроприводов для энергетической безопасности транспорта газа // Энергобезопасность и энергосбережение. 2012. № 2. С. 5-10.
34. Васенин А.Б., Крюков О.В., Серебряков А.В., Плехов А.С. АСУ систем электроснабжения на принципах SMART GRID для объектов магистральных газопроводов // Автоматизация в промышленности. 2012. №4. С. 36-38.

© 2015, Крюков О.В., Серебряков А.В., Степанов С.Е.
Особенности системы регулирования возбуждения
с микропроцессорным идентификатором угла
нагрузки

© 2015, Kryukov O.V., Serebryakov A.V.,
Stepanov S.E.
Features of the system of regulation of
excitation with microprocessor ID angle load