DOI: 10.17117/na.2015.07.700

Поступило в редакцию: 30.07.2015

<http://ucom.ru/doc/na.2015.07.700.pdf>**Крюков О.В., Серебряков А.В.****Аналитическая модель управляемого синхронного двигателя газоперекачивающих агрегатов****Kryukov O.V., Serebryakov A.V.****An analytical model of the controlled synchronous motor-compressor units**

Рассмотрены возможности контроля устойчивости синхронных машин с помощью угла нагрузки. Предложены аналитические модели машин при косвенном вычислении угла нагрузки газоперекачивающих агрегатов

Ключевые слова: синхронная машина, электропривод, газоперекачивающий агрегат, угол нагрузки, аналитическая модель

The capabilities of the stability control of synchronous machines using the load angle. The proposed analytical model cars with indirect angle calculation load of gas pumping units

Key words: synchronous machine, electric, gas compressor unit, the angle of the load analytical model

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

Наиболее совершенным информативным параметром, однозначно определяющим момент выхода двигателя из синхронизма, является угол нагрузки δ [1-5]. Система автоматического регулирования возбуждения (САРВ) с улучшенными динамическими характеристиками должна обеспечивать устойчивую работу синхронного двигателя в переходных режимах при минимуме колебаний активной и реактивной мощности, демпфировать качания ротора и активного тока статора, ограничивать максимальное отклонение угла нагрузки δ синхронного двигателя, снижать отрицательное влияние двигателя на питающую сеть, минимизировать потери электрической энергии в системе электропривода [6-10].

Повышение надежности работы синхронного двигателя тесно связано с управлением возбуждением в аварийных и предаварийных режимах [11-15].

В существующих возбудителях момент выпадения двигателя из синхронизма выявляется по факту появления периодической составляющей в токе возбуждения. Срабатывание защиты зависит от соотношения периодической и постоянной составляющих в токе возбуждения, что не всегда позволяет выявить момент выпадения двигателя из синхронизма. При малых же токах возбуждения защита может срабатывать и в синхронных режимах работы синхронного двигателя под действием кратковременных возмущений [16-21].

С точки зрения повышения динамической устойчивости и эффективного гашения качаний ротора синхронного двигателя электроприводного газоперекачивающего агрегата (ЭГПА) наиболее совершенной признана САРВ, которая работает в функции угла нагрузки δ ротора двигателя и его производной [22-25]. При этом информация о мгновенном значении угла нагрузки δ позволяет прогнозировать момент выпадения синхронного двигателя из синхронизма и своевременно форсировать возбуждение, предотвращая асинхронный ход двигателя. Демпфирование колебаний ротора осуществляется посредством форсировок возбуждения в соответствии со значением скорости изменения угла нагрузки.

Однако непосредственное измерение угла нагрузки δ с использованием магнитоэлектрических или вращающихся датчиков положения ротора требует серьезного вмешательства в конструкцию двигателя, что повышает стоимость электроприводного газоперекачивающего агрегата и снижает его эксплуатационную надежность [26-30].

Наиболее приемлемым с практической точки зрения вариантом решения данной задачи является использование методов косвенного определения угла нагрузки δ с помощью микропроцессорного идентификатора параметров синхронного двигателя с малой динамической погрешностью [31-34].

Поскольку начальное значение потокосцепления обмотки возбуждения $\Psi_f(0)$ (потокосцепление обмотки возбуждения в начальный момент времени) известно из уравнений, соответствующих установившемуся режиму работы синхронного двигателя, то потокосцепление Ψ_f (потокосцепление обмотки возбуждения) в переходном режиме определяется по напряжению возбуждения U_f и току возбуждения I_f .

Потокосцепление обмотки возбуждения и потокосцепление статора синхронного двигателя Ψ_{sd} по продольной оси связаны с токами в контурах машины и индуктивностями рассеяния статора и обмотки возбуждения. Продольный ток статора i_{sd} может быть определен лишь при известных значениях угла нагрузки δ , активного и реактивного тока статора. Если ток i_{sx} соответствует реактивному току статора и ориентирован вдоль вектора потокосцепления статора $\Psi_s = (\Psi_{sd} + j\Psi_{sq})$, а ток i_{sy} соответствует активному току статора и совпадает с вектором напряжения статора $U_s = (U_{sd} + jU_{sq})$, то угол нагрузки δ является углом сдвига между координатными осями dq .

Для вычисления δ по аналитическим формулам напряжение статора U_s и ток возбуждения i_f измеряются непосредственно, а потокосцепление Ψ_f вычисляется косвенно. Активный i_{sy} и реактивный i_{sx} токи статора вычисляются через фазные токи и напряжения статора в физических координатах.

На рис. 1 представлена упрощенная структурная схема математической модели синхронного двигателя, построенная на базе системы уравнений, которые необходимы для реализации АРВ с идентификатором угла нагрузки.

Рис 1. Упрощенная математическая модель синхронного двигателя

Входные переменные модели синхронного двигателя – продольный i_{sd} , поперечный i_{sq} токи статора и ток возбуждения i_f , выходные переменные – электромагнитный момент M , активная мощность P и потокосцепление статора ψ_s . Блоки DD и DQ учитывают в модели демпферные контуры синхронного двигателя по продольной и поперечной осям соответственно.

Выводы

1. Угол нагрузки синхронной машины является наиболее информативным параметром, контролирующим устойчивость ее работы.
2. Бездатчиковое вычисление значений угла нагрузки в САРВ машины позволяет достоверно и оперативно получить информацию о режиме работы.

Список литературы:

1. 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.
2. 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.
3. Аникин Д.А., Рубцова И.Е., Крюков О.В., Киянов Н.В. Проектирование систем управления электроприводными ГПА // Газовая промышленность. 2009. № 2. С. 44-47.
4. Степанов С.Е., Крюков О.В., Плехов А.С. Принципы автоматического управления возбуждением синхронных машин газокomppressorных станций // Автоматизация в промышленности. 2010. № 6. С. 29-31.
5. 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.

6. Крюков О.В. Интеллектуальные электроприводы с IT-алгоритмами // Автоматизация в промышленности. 2008. № 6. С. 36-39.
7. Крюков О.В. Опыт создания энергоэффективных электроприводов ГПА // Труды VIII Международной конференции АЭП-2014. 2014. С. 157-163.
8. Милов В.Р., Сулов Б.А., Крюков О.В. Интеллектуализация поддержки управленческих решений в газовой отрасли // Автоматизация в промышленности. 2009. № 12. С. 16-20.
9. Крюков О.В. Частотное регулирование производительности электроприводных ГПА // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2014. № 6. С. 39-43.
10. Крюков О.В. Анализ систем безопасного пуска электроприводных газоперекачивающих агрегатов // Компрессорная техника и пневматика. 2012. № 2. С. 12-17.
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. 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.
23. Серебряков А.В., Крюков О.В. О новых возможностях технологий SMART GRID // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2013. №2. С. 47-48.
24. 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.
25. 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.
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., Краснов Д.В. Перспективы применения преобразователей частоты для регулирования производительности электроприводных ГПА // Газовая промышленность. 2014. № 6 (707). С. 86-89.

32. Крюков О.В. Регулирование производительности электроприводных ГПА преобразователями частоты // Компрессорная техника и пневматика. 2013. № 3. С. 21-24.
33. Крюков О.В., Серебряков А.В. Система оперативной диагностики технического состояния ветроэнергетических установок // Электротехника. №4. 2015. С. 49-53.
34. 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.

© 2015, Крюков О.В., Серебряков А.В.
 Аналитическая модель управляемого синхронного
 двигателя газоперекачивающих агрегатов

© 2015, Kryukov O.V., Serebryakov A.V.
 An analytical model of the controlled synchronous
 motor-compressor units