

Цифровые возбудители синхронных двигателей ЭГПА

Главный энергетик ООО "Волготрансгаз" А.В. Голубовский
Генеральный директор ОАО "НИПОМ" И.В. Леонтьев

Совершенствование систем возбуждения синхронных двигателей (СД) ЭГПА является одной из важнейших задач проводимой ОАО «Газпром» технической политики по повышению надежности электроэнергетического оборудования газоперекачивающих компрессорных станций.

Действующие в составе ЭГПА статические возбудители ВТЕ-320-6, ТЕ8-320 и регуляторы возбуждения бесщеточных двигателей типа ШДЭ-72Б к началу 2000-х годов выработали свой ресурс и требовали постоянно увеличивающихся расходов на поддержание своего работоспособного состояния. Выполненные на базе разработок 20 - 30 - летней давности и основанные на применении аналоговой и релейной техники, такие системы возбуждения, ввиду присущего им параметрического дрейфа элементов, уставок и коэффициентов усиления каналов измерения и регулирования, функционируют, преимущественно, в ручном режиме. Естественно, что в этих условиях СД ЭГПА, в целях обеспечения заведомой устойчивости синхронного режима, вынуждены работать на неоправданно завышенных токах статора и ротора. Неизбежными отрицательными последствиями при этом являются не только увеличение энергопотерь, но и сокращение ресурса или межремонтного пробега синхронных двигателей.

В современных условиях не вызывающим сомнений альтернативным решением при выработке концепции совершенствования систем возбуждения является переход на цифровую технику управления. Применение её, кроме указанных выше обстоятельств, диктуется также принятой в отрасли стратегией создания интегрированных систем управления всем технологическим процессом транспортирования газа, возможностью реализации высокоэффективных, в смысле обеспечения устойчивой работы СД и энергосбережения, алгоритмов управления возбуждением, автоматической регистрации чрезвычайно информативных для диагностической оценки состояния СД осциллограмм пуска и останова, ведение дневника событий.

Архитектура и функции ЦВУ

Состав систем возбуждения определяется их назначением и может быть представлен в виде совокупности следующих функциональных узлов: блок измерения напряжений и токов статора U_{st} , I_{st} и ротора U_r , I_r , блок регулирования возбуждения, силовой блок формирования тока возбуждения, операторская панель индикации и управления параметрами СД и возбуждения.

Тиристорные преобразователи силового блока статической системы возбуждения и примененные в разработанном ЦВУ для бесщеточных двигателей ШИМ-управляемые генераторы тока возбуждения не являются носителями индивидуально присущих системам возбуждения схемотехнических решений.

Поэтому далее целесообразно остановиться лишь на архитектурно-

функциональных особенностях ЦВУ, нашедших отражение в блоках регулирования возбуждения, являющихся носителями эксклюзивных черт систем возбуждения как отдельного класса объектов техники.

В основе структуры блоков регулирования разработанных ЦВУ было заложено выполнение их в виде двух взаимодействующих друг с другом регуляторов, один из которых является основным, другой резервным. Основной регулятор реализован на базе промышленного контроллера Octagon Systems, конструктивно представляющего собой шестислотовый крейт и хорошо зарекомендовавшего себя при применении в аэрокосмической отрасли. Основным узлом контроллера является процессорная плата типа 5066 или её аналог Fastwel686. Резервный регулятор блока в целях экономии средств выполнен на интегральной аналогово-дискретной элементной базе средней степени интеграции. Регуляторы функционируют в режиме горячего резервирования с безударной схемой переключения. Нижеприводимая таблица иллюстрирует функциональную архитектуру блока регулирования возбуждения.

Выполняемые функции	Регуляторы	
	Основной	Резервный
1. Управление возбуждением в периоды пуска и останова	●	●
2. Двухконтурное каскадное регулирование возбуждения по каналам $\cos U-U_{st}$	●	○
3. Стабилизация тока возбуждения на заданном уровне	⊗	●
4. Форсировка возбуждения	●	●
5. Штатные защиты систем возбуждения	●	●
6. Ограничение минимального возбуждения в функции отношения P/Q	●	○
7. Ограничение перегрузки по тепловому импульсу ротора	●	○
8. Защита по несоответствию величины тока возбуждения уровню потребляемой реактивной мощности	●	○
9. Осциллографирование процессов пуска и останова СД	●	○
10. Ведение журнала событий с регистрацией трендов параметров при их наступлении	●	○
11. Экранно-клавиатурное управление и отображение информации	●	○
12. Обмен информацией с САУ ЭГПА по цифровому каналу связи	●	○

- - реализуемая функция
- - нереализуемая функция
- ⊗ - неосновная, вспомогательная функция

Сам по себе состав приведенных в таблице функций ярко демонстрирует качественно новый уровень и преимущества разработанных ЦВУ по сравнению с аналоговыми возбудительными устройствами. Следует также отметить, что выделенные жирным шрифтом функции не имеют аналогов, за исключением функции 6, содержащейся в цифровом регуляторе фирмы АВВ. Программное обеспечение, разработанное для реализации перечисленных функций, включает специальную эффективную операционную систему реального времени и пакет объектно-функциональных программ. Реализация его основана на использовании высокой производительности, мощных ресур-

сах оперативной и флэш-памяти, наличии на борту процессорных плат 5066 и CPV686 богатого набора портов и устройств связи со средствами ввода-вывода и отображения информации [1].

Для пояснения механизма достигаемого в ЦВУ повышения эффективности управления возбуждением в смысле сокращения энергопотерь и обеспечения устойчивости работы СД рассмотрим функционирование ключевых алгоритмов цифрового регулятора более подробно.

Закон регулирования. Обеспечение статической и динамической устойчивости синхронного режима СД.

Структурная схема алгоритма регулирования возбуждения приведена на рис. 1.

Величиной φ на рис. 1 обозначена фаза угла открытия тиристорных преобразователя для статической системы возбуждения или фазовый угол переднего фронта импульсов ШИМ для бесщеточной системы возбуждения.

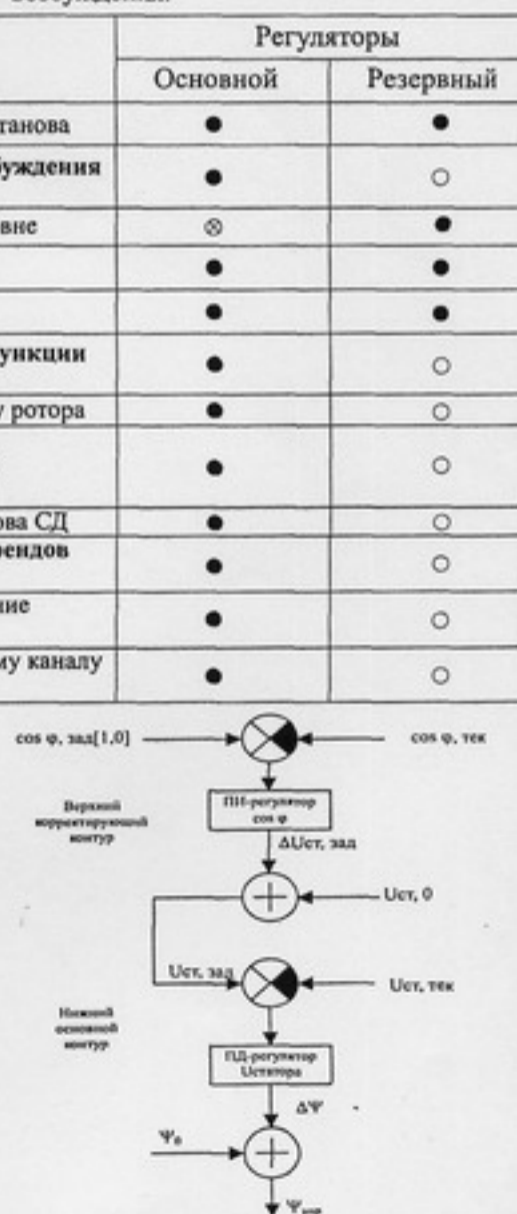


рис.1. Структурная схема алгоритма управления возбуждением.

Закон регулирования статора напряжения описывается следующим выражением:

$$\Psi_{ref} = \Psi_0 - \frac{\Psi_0}{U_{ref}} K_1 \left[(U_{ref} - U_{ref}) + K_2 \left(\frac{U_{ref} - U_{ref}}{\Delta t} \right) \right] \quad (1)$$

где U_{ref} - уставка по напряжению статора, вырабатываемая регулятором cos;

U_{ref} - текущее значение напряжения статора в i -том цикле работы устройства;

t - длительность цикла;

K_1 и K_2 - постоянные коэффициенты

Регулятор cos реализует закон регулирования согласно соотношению:

$$U_{ref} = U_{ref} - K(\Delta \cos \varphi) \operatorname{sign}[\varphi] (\cos \varphi_{ref} - \cos \varphi) \quad (2)$$

причем скорость накопления интегральной величины U_{ref} не остается постоянной, а зависит от коэффициента K (cos), величина которого уменьшается по мере уменьшения абсолютной величины отклонения cos от заданного значения.

Главным достоинством приведенного алгоритма управления является повышение динамической и статической устойчивости синхронного режима при одновременном сокращении энергопотери и облегченном режиме работы СД.

Действительно, быстродействующий контур управления по напряжению статора представляет собой регулятор сильного действия с воздействием на ток возбуждения не только по величине напряжения статора, но и по скорости (производной) его изменения и действует без зоны нечувствительности, в сильной степени способствуя динамической устойчивости СД и снижая вероятность перехода в форсировочный режим. В то же время применение сильного регулятора с исключением риска перехода в колебательный режим стало возможным не только за счет введения в закон регулирования обратной связи по производной напряжения, а также благодаря каскадной схеме управления, в которой задания регулятору напряжения вырабатывает регулятор cos.

Последний, обрабатывая медленноменяющиеся внешние возмущения, приводящие к изменениям соотношения реактивной и активной мощностей, обеспечивает необходимый уровень запаса статической устойчивости СД, одновременно стабилизируя работу быстрого контура. При заданном значении cos, равном единице, описанный алгоритм минимизирует токи статора и ротора без ущерба для устойчивости синхронного режима СД. Существенным свойством приведенного двухконтурного алгоритма является его стабилизирующее действие, связанное с V-образной характеристикой синхронных двигателей [2]. При состоянии СД в режиме потребления реактивной мощности, контур регулирования cos увеличивает задаваемое значение напряжения статора U_{ref} , вынуждая регулятор напряжения увеличивать ток возбуждения. При этом, в силу движения по левой ветви V-образной характеристики, текущее значение напряжения статора уменьшается, что приводит к росту величины рассогласования на входе регулятора U_{ref} и дальнейшему прогрессивному увеличению тока возбуждения. В результате точка состояния СД ускоренно перемещается из области потребления реактивной мощности, и только после перехода точки минимума V-образной характеристики величина рассогласования ($U_{ref} - U_{ref}$) начинает уменьшаться, и систе-

ма возвращается в заданное состояние равновесия. Эффективность примененного в ЦВУ алгоритма управления возбуждением ярко выступает при сопоставлении его с принципами действия систем АРВ аналоговых возбудительных устройств [3], допускающих применение либо регулирования напряжения статора, в ущерб экономическому режиму работы СД, либо регулирования cos, в ущерб требованиям динамической устойчивости синхронного режима.

Применение в разработанном возбудительном устройстве цифрового программного управления позволило реализовать и другие меры по повышению устойчивости работы СД. Данной цели, в частности, служит процедура ограничения минимального возбуждения в функции отношения P/Q. Рисунок 2 поясняет её смысл на примере двигателя типа СТД-12500.

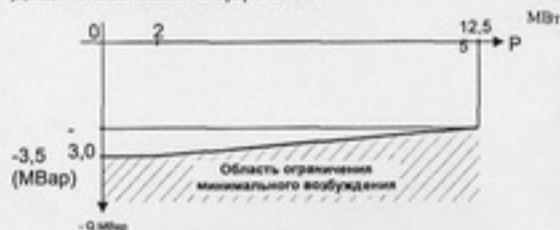


Рис.2. Ограничение минимального возбуждения в функции отношения Q/P

Ломаная прямая на рисунке разбивает плоскость [P,Q] на две области. В нижней области все сигналы, вырабатываемые регулятором на уменьшение величины тока возбуждения, блокируются, препятствуя чрезмерному потреблению реактивной мощности.

Уравнение линии ограничения минимального возбуждения для двигателей различной номинальной мощности может быть представлено в следующем виде:

$$Q_{ref} = \begin{cases} -0,24 P_н + 0,05(P - P_н) & \text{при } P < 0,2 P_н \\ -0,28 P_н & \text{при } P > 0,2 P_н \end{cases}$$

Некоторые результаты практической реализации ЦВУ.

Спроектированное устройство прошло межведомственные испытания в августе 2002г. С 2002 года предприятием ОАО «НИПОМ» начат промышленный выпуск ЦВУ типа ВТЦ-СД-Щ для щеточных двигателей, а в 2003г. освоен промышленный выпуск ЦВУ типа ВТЦ-СД-Б для бесщеточных двигателей.

К настоящему времени на компрессорных станциях ОАО «Газпром» действуют около 70 шт. возбудительных устройств типа ВТЦ-СД-Щ и 11 шт. ЦВУ типа ВТЦ-СД-Б.

Результаты опытно-промышленной эксплуатации ЦВУ типа ВТЦ-СД подтвердили своевременность и эффективность перехода на цифровую возбудительную технику. При работе с ЦВУ средние рабочие значения токов статора и ротора СД снизились на 10-12%, процесс управления возбуждением ведется только в автоматическом режиме, верхний управляющий персонал энергослужб получает и эффективно использует формируемую ЦВУ ретроспективную информацию о режимах работы СД, ведутся работы по включению ЦВУ в локальную сеть САУ объектов.

В ходе опытно-промышленной эксплуатации была выявлена также целесообразность ряда усовершенствований ЦВУ, направленных на повышение технических характеристик устройства.

Одно из них связано с выполне-

нием резервного регулятора в виде аналогового устройства. Дело в том, что надежность отечественной электронной интегральной техники в последние годы, в силу ряда причин, значительно снизилась, что сказалось при переходе к массовому выпуску ЦВУ. Для устранения этого недостатка в срочном порядке была разработана версия резервного регулятора в цифровом исполнении. Применение более надежной цифровой техники и сокращение числа элементов благодаря повышенной степени интеграции позволило исключить отказы канала резервного регулятора в действующих на станциях возбудительных устройствах.

Еще одно усовершенствование ЦВУ типа ВТЦ-СД-Щ было связано с особенностями реализации алгоритма управления возбуждением. Как видно из соотношения (1), сигнал управления величиной возбуждения формируется в виде фазового угла открытия тиристоры. При этом по умолчанию предполагается однозначная зависимость величины выпрямленного тока от угла открытия. Однако, как показал практический опыт, величина напряжения питания тиристорного преобразователя подвержена на объектах весьма существенным колебаниям. Как следствие, не остаются постоянными и уставки всех задаваемых в виде фазового угла режимов работы устройства, такие, например, как значения форсировочного и начального возбуждения.

Для предотвращения связанных с этим опасных ситуаций алгоритм управления возбуждением был дополнен третьим контуром - контуром стабилизации величины тока возбуждения. Задание в виде требуемой величины тока возбуждения этот контур получает от регулятора напряжения и изменяет по ПИД-закону фазовый угол открытия тиристоры до устранения рассогласования между заданной и текущей величиной тока возбуждения. Введенные в ходе опытно-промышленной эксплуатации усовершенствования позволили сформировать окончательную конфигурацию ЦВУ, серийно выпускаемую ОАО «НИПОМ».

Цитированная литература:

1. Модули центрального процессора 5066 и CPV686. Каталог продукции Micro-PC, фирма ProSoft, www.prosoft.ru, Москва, 2003г.
2. Л. М. Пиотровский. Электрические машины, М. Л., Госэнергоиздат, 1963г. (пар. 40-7).
3. Б. Н. Абрамович и др. Электромеханические комплексы с синхронным двигателем и тиристорным возбуждением. СПб, Наука. С-Петербургская изд. фирма, 1995г.

Россия, 606007, Нижегородская обл., г. Дзержинск, ул. Зеленая, 10
тел.: (8313) 24-53-35, (8312) 34-95-60
тел./факс: (8313) 24-53-33
e-mail: nipom@sinn.ru, www.nipom.ru