

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ЗА СЧЕТ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Журавлев П.Ю., Николаев А.А.
Научный руководитель – доцент Шохина Г.В.

*Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова*

В период экономического спада в 2008–2009 гг. рост цен на энергоносители, глубокие ограничения в энергоснабжении по электроэнергии и природному газу, увеличение энергозатрат на выпуск продукции при снижении объемов производства заставили руководство ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ОАО «ММК») по-новому взглянуть на состояние энергетической базы предприятия, на затраты энергоресурсов в технологиях и структурных подразделениях.

Важнейший резерв энергосбережения – эффективное использование и уменьшение ее потребления за счет сокращения потерь в электросети путем компенсации реактивной мощности. Источниками реактивной мощности в сетях электроснабжения предприятий являются либо специальные устройства (статические конденсаторы), либо работающие как приводные машины синхронные двигатели (СД). Синхронные двигатели благодаря своим конструктивным особенностям и высоким технико-экономическим показателям нашли широкое применение в качестве приводных для самых разнообразных механизмов. В металлургической промышленности СД используются в электроприводах непрерывных прокатных станов для привода валков черновых клетей, для привода мощных компрессоров, воздуходувок, насосов и т.д.

Синхронные двигатели, снабженные системой автоматического регулирования возбуждения (АРВ), являются источниками регулируемой реактивной мощности. Система АРВ, выполняя основное требование – обеспечение устойчивой работы СД, при определенных условиях способствуют поддержанию реактивной мощности в узле нагрузки, уменьшению активных потерь в элементах питающей сети. Особенно это характерно для СД, работающих с неполной нагрузкой.

Исследование режимов работы СД, проведенное в подразделениях ОАО «ММК», показало, что большая часть СД, оборудованных быстродействующими САРВ, работает в разомкнутой системе, т.е. с постоянным током возбуждения, величина которого находится в пределах $0,8I_{\text{вном}} \leq I_{\text{в}} \leq I_{\text{вном}}$. Более 65% СД работает со спокойной нагрузкой (насосы, компрессоры, вентиляторы) остальные – с переменной и резко-переменной нагрузкой (главные приводы прокатных станов, дробилки, мельницы и др.). Двигатели, работающие со спокойной нагрузкой, как правило, оснащены тиристорными возбудителями серии ТЕ-8-320, ТЕ-4 выпуска 80-х годов прошлого века с морально устаревшей системой регулирования. Настройка и наладка таких систем, а главное, их поддержание в рабочем состоянии в условиях действующего цеха вызывают большие трудности. СД с резкопеременной нагрузкой, работающие на прокатных станах и преобразовательных агрегатах оснащались в свое время таллинскими тиристорными возбудителями серии КТУ-ВС-УЗ с подчиненной системой регулирования. Слабым звеном в этих преобразователях был узел выделения и контроля среднеквадратичного тока возбуждения, необходимого для предотвращения перегрева ротора.

В большинстве случаев СД, снабженные системой АРВ, работают без какого-либо регулирования, т.е. компенсирующие свойства СД не используются, не обеспечиваются возможности оптимального регулирования и распределения реактивной мощности. Это объясняется, во-первых, низкой эксплуатационной надежностью и невысокими технико-экономическими показателями существующих тиристорных возбудителей. Во-вторых, для уменьшения активных потерь в элементах питающей сети и компенсации реактивной мощности в узле нагрузки СД должен работать с током возбуждения, большим, чем это требуется по условиям его технологической загрузки. Работа с перевозбуждением вызовет дополнительные потери активной мощности в самом двигателе, которые ухудшают показатели участка, цеха, хотя в масштабах завода режим перевозбуждения отдельных СД может быть оправданным. И, наконец, третья причина сложившейся ситуации заключается в том, что оценка и использование компенсирующей способности СД – это часть большой проблемы расчета и выбора компенсирующих устройств вообще в узле нагрузки. Поэтому с учетом перечисленных факторов можно говорить лишь о локальной оптимизации отдельных СД с учетом характера его нагрузки, параметров питающей сети и свойств системы АРВ.

В настоящее время разработан ряд систем АРВ СД, которые успешно работают на различных объектах промышленности. Для двигателей, работающих со спокойной нагрузкой, в большинстве случаев, наиболее экономичным является режим работы с $\cos \varphi = 1$. При этом обеспечивается минимум электрических потерь в самом двигателе, т.к. ток статора минимален и возбуждение в этом случае регулируется автоматически в зависимости от нагрузки на валу двигателя и напряжения питающей сети параметрическим регулятором.

При непосредственном участии авторов разработана рассмотрена система векторного управления СД, в основе которой лежит представление тока возбуждения двумя ортогональными составляющими, одна из которых создает магнитный поток двигателя и пропорциональна реактивной составляющей тока статора, а другая определяет электромагнитный момент при заданном напряжении и пропорциональна активной составляющей тока статора. Функциональная схема системы АРВ СД, реализующей данный принцип, представлена на рис. 1.

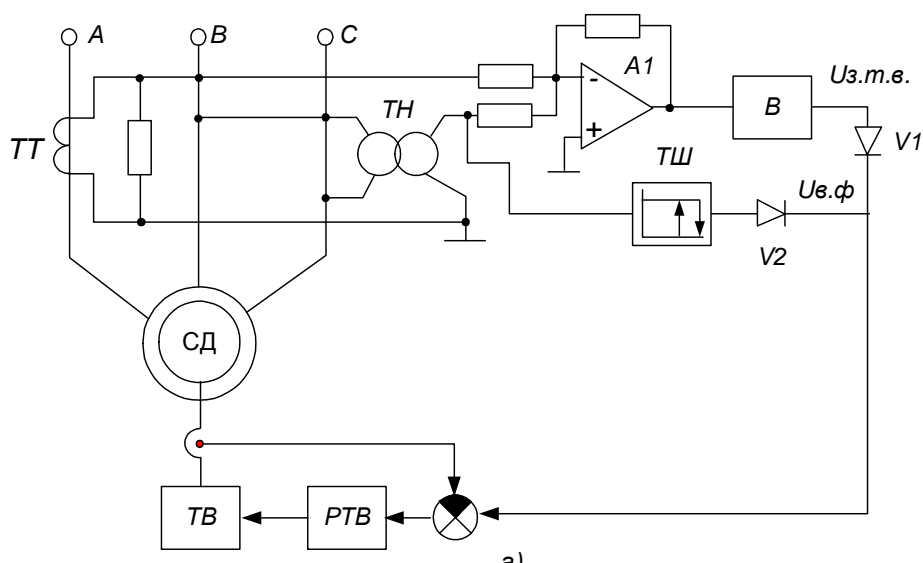


Рис. 1. Функциональная схема системы векторного управления

Векторное сложение двух ортогональных составляющих выполнено на переменном токе. Суммируются два синусоидальных напряжения, сдвинутых по фазе на 90° . Напряжение питающей сети U_{BC} , пропорциональное реактивной составляющей тока возбуждения, снимают со вторичной обмотки трансформатора напряжения, а напряжение на вторичной обмотке трансформатора тока, установленного в фазе A , имитирует активную составляющую тока возбуждения. Система саморегулируемая и работает в устойчивом режиме, если ток является чисто активным (совпадает по фазе с вектором U_A). В этом режиме СД в нижнем экстремуме U -образной характеристики, что соответствует $\cos \varphi = 1$ и оптимальному режиму работы СД с точки зрения потерь электрической энергии. При значительных отклонениях напряжения сети $U_C < 0,85 U_{\text{ном}}$ возможно снижение устойчивости СД, поэтому предусмотрена форсировка возбуждения, повышающая задание на ток возбуждения.

Рассмотренная система АРВ СД более проста по сравнению с известными трехконтурными системами подчиненного регулирования и обеспечивает показатели регулирования не хуже, чем в этих системах. Такие регуляторы могут быть установлены на серийных возбудителях типа ТЕ и ТВ, которыми, как правило, оснащены СД, работающие со спокойной нагрузкой.

В тех случаях, когда СД работают с ударной нагрузкой, при резких изменениях мощности на шинах питающей сети, происходит отклонение показателей качества электрической энергии. Набросы нагрузки на валу СД без АРВ вызывают качания ротора, колебания активного и реактивного токов двигателя, которые являются причиной изменения напряжения по абсолютной величине и частоты сети, появляются так называемые качания фазы, что отрицательно сказывается на работе СД, узла нагрузки и смежных потребителей электроэнергии. Существующие системы АРВ СД не решают вопросов демпфирования качаний ротора, в некоторых случаях колебательность при набросах нагрузки увеличивается, эффективность введения гибких корректирующих связей низкая.

Авторами предложена система АРВ по отклонению активной мощности (момента) двигателя, схема которой представлена на рис. 2. Ее отличие состоит в том, что измеряется мощность на валу двигателя и мощность, потребляемая из сети, а регулирование выполняется таким образом, чтобы эта разница стремилась к нулю. Для СД преобразовательного агрегата выделение требуемых сигналов не вызывает затруднений.

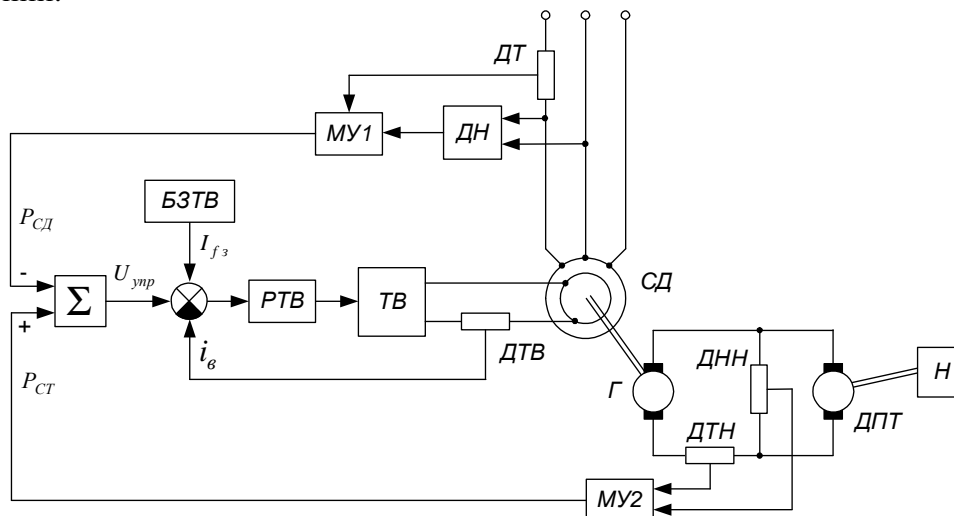


Рис. 2. Функциональная схема регулирования возбуждения по отклонению момента (мощности)

Исследования системы были проведены на разработанной математической модели. В результате показано, что управление возбуждением по отклонению момента улучшает демпфирование и сокращает продолжительность переходного процесса. На модели проверялась также эффективность регулирования возбуждения СД с упреждением, когда задание на изменение тока возбуждения подается до начала изменения момента статической нагрузки на время упреждения, зависящее от значений токов возбуждения в номинальном, рабочем и прогнозируемом режимах и СД. Такая возможность имеется в прокатном производстве, где начало прокатки или вхождения металла в очаг деформации и конец процесса строго фиксируются с помощью датчиков положения. Смещая датчик относительно клетки, можно получить сигналы на изменение тока возбуждения СД с требуемым упреждением по времени. Результаты исследований переходных процессов при набросе нагрузки показывают, что предложенная схема позволяет уменьшить время переходного процесса, улучшить демпфирование и снизить динамические отклонения напряжения в большей степени, чем существующие системы.

Рассмотренные системы АРВ СД достаточно надежны, хорошо согласуются с работающими системами и позволяют получить существенные снижения потерь электрической энергии с минимальными затратами.

В перспективе оптимальное регулирование возбуждения мощных СД, как уникальных энергоемких объектов, может быть реализовано программно на основе современных промышленных контроллеров. Может быть обеспечено, например, регулирование с учетом изменения времени суток, нагрузок, параметров питающей сети в соответствии с различными критериями оптимизации. Такими могут быть, в частности, минимум суммарных потерь во всех элементах двигателя и системы электроснабжения, приведенных затрат с учетом стоимости потерь электроэнергии, а также объемов и качества выпускаемой продукции.

Система АРВ, реализующая принцип векторного управления, смонтирована и налажена для СД турбокомпрессора 10000 кВт ВТК-4 кислородного цеха ОАО «ММК». Экономический эффект от внедрения оценивался по снижению потерь электрической энергии в СД. Суммарные потери в двигателе и процентное снижение потерь мощности за счет векторного регулирования возбуждения представлены в таблице.

Таблица

Технико-экономические показатели применения системы векторного управления для СД турбокомпрессора 10000 кВт ВТК-4

| Коэффициент загрузки | Существующая система | | Система векторного управления | | Снижение потерь мощности |
|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| | I_f, A | $\Delta P_{CD}, кВт$ | I_f, A | $\Delta P'_{CD}, кВт$ | |
| β | | | | | $\mathcal{E}, \%$ |
| 0,1 | 140 | 17 | 104,2 | 7,9 | 53,5 |
| 0,6 | 140 | 106,6 | 141,3 | 101,6 | 4,9 |
| 1,0 | 140 | 415 | 191,5 | 273 | 34,2 |

При условии, что турбокомпрессор 20% рабочего времени находится в режиме холостого хода, а остальное время работает с номинальной нагрузкой, экономия электроэнергии за год составляет

$$\mathcal{E} = T_1(\Delta P'_{CD0,1} - \Delta P_{CD0,1}) + T_2(\Delta P'_{CD1,0} - \Delta P_{CD1,0}) \approx 1 \text{ млн. кВт}\cdot\text{ч/год.}$$

Полученные результаты могут быть использованы при наладке существующих систем АРВ СД агрегатов металлургического и горнорудного производства, а также при разработке новых систем АРВ СД.