

УДК 621.3

**УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМАМИ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННЫХ
КОМПЕНСАТОРОВ КАК ИСТОЧНИКОВ РЕАКТИВНОЙ МОЩ-
НОСТИ**

Жуков И.А., студент гр. 8Э-52, I курс, Компанеев Б.С., к.т.н., доцент
Алтайский государственный технический университет имени И.И. Пол-
зунова
г. Барнаул

В системах электроснабжения промышленных предприятий во-
прос компенсации реактивной мощности стоит достаточно остро. Реак-
тивная мощность нужна для формирования электромагнитных полей в
машинах и трансформаторах, но её передача по сети ведёт к росту потерь
активной мощности и снижению качества электроэнергии.

Согласно данным отраслевых исследований, основными потреби-
телями реактивной мощности являются асинхронные двигатели, потреб-
ляющие около 40%, и силовые трансформаторы — 35%. Вентильные пре-
образователи и электротехнологические установки занимают ещё 18%, а
линии электропередачи — 7%. Для обеспечения экономичной работы
энергосистем целесообразно генерировать часть реактивной мощности
непосредственно в местах её потребления [2].

В данной работе рассматривается, как системы управления возбуж-
дением влияют на эффективность работы синхронных компенсаторов в
роли регулируемых источников реактивной мощности.

Шунтовые устройства для регулируемой компенсации реактивной
мощности подключаются параллельно к шинам подстанции или
нагрузки. По принципу действия их делят на два класса. Первый — вра-
щающиеся синхронные машины: генераторы электростанций, синхрон-
ные компенсаторы и синхронные двигатели с опережающим коэффици-
ентом мощности. Их отличительная черта — плавное, непрерывное ре-
гулирование как в режиме генерации, так и потребления реактивной
мощности. Второй класс — статические устройства: конденсаторные ба-
тареи, шунтовые реакторы, а также тиристорные и IGBT-преобразова-
тели в различных конфигурациях. Они не имеют механически подвиж-
ных частей, что упрощает обслуживание, однако большинство из них не
способны к бесступенчатому регулированию.

СК конструктивно близок к синхронному двигателю, однако рас-
считан исключительно на режим холостого хода — без механической
нагрузки на валу. При увеличении тока возбуждения выше критического
значения машина переходит в режим перевозбуждения и начинает

отдавать реактивную мощность в сеть; при снижении тока — потребляет её. Максимальная генерируемая мощность принимается за номинальную. Важно учитывать конструктивную асимметрию: потребляемая реактивная мощность в режиме недовозбуждения, как правило, значительно меньше номинальной генерируемой. Регулирование тока возбуждения в штатном режиме работы осуществляется автоматически [3].

Вместе с достоинствами СК имеет и существенные недостатки. Вращающиеся части предъявляют жёсткие требования к фундаменту, регламентному обслуживанию и постоянному присутствию персонала. Активные потери при выработке реактивной мощности у СК заметно выше, чем у конденсаторных батарей. Поэтому на практике СК устанавливают там, где скорость реагирования критична: на крупных районных подстанциях и в узлах питания металлургических предприятий с резкопеременным графиком нагрузки.

Синхронные двигатели — особый случай среди вращающихся ИРМ: их установка продиктована производственной необходимостью, а генерация реактивной мощности является попутным эффектом при перевозбуждении. С точки зрения экономики это выгодно: капитальные вложения относятся к основному технологическому процессу, а не к компенсации. Величина и знак реактивной мощности определяются током возбуждения: увеличение тока сверх синхронного значения переводит двигатель в режим опережающего $\cos \varphi$ с отдачей реактивной мощности в сеть, снижение — в режим потребления [1].

Среди статических устройств наибольшее распространение получили конденсаторные батареи. Причина — сочетание относительно низкой стоимости, малых потерь активной мощности и простоты монтажа: установка не требует фундаментов и дежурного персонала. Вместе с тем у конденсаторных батарей есть характерные ограничения. Во-первых, регулирование мощности возможно только ступенями — плавное изменение недостижимо без применения тиристорных ключей. Во-вторых, на остаточный заряд после отключения нужно предусматривать разрядные резисторы, а сами батареи чувствительны к перенапряжениям и требуют специальной утилизации. Для коммутации в сетях до 1 кВ применяются контакторы, в сетях 6–10 кВ и выше — вакуумные выключатели или встречно-параллельные тиристорные ключи.

К числу современных компенсирующих устройств относятся также силовые резонансные LC-фильтры — они одновременно компенсируют реактивную мощность и подавляют высшие гармоники тока. Статические тиристорные компенсаторы (СТК) отличаются высоким быстродействием: время отклика не превышает 0,02 с, а регулирование может быть как плавным, так и ступенчатым. Отдельную роль играют воздушные и кабельные линии — из-за собственной ёмкости они генерируют

реактивную мощность, пропорциональную квадрату напряжения, что учитывается при проектировании режимов сети.

Источники реактивной мощности применяются в самых разных отраслях. В металлургии СК используют там, где нагрузка резко и непредсказуемо меняется — на прокатных станах и дуговых сталеплавильных печах. В химической и нефтеперерабатывающей промышленности для компенсации нагрузки насосных и компрессорных агрегатов чаще ставят конденсаторные батареи. В городских сетях конденсаторные установки компенсируют реактивную мощность жилых и общественных зданий.

Повысить эффективность СК можно за счёт внедрения цифровых систем управления с адаптивными алгоритмами. Такие системы подстраивают параметры регулятора под текущий режим сети, а прогнозирующее управление на основе её модели позволяет корректировать возбуждение заблаговременно.

Подключение СК к автоматизированным системам управления энергосистемой даёт возможность получать задания от диспетчерского центра и согласовывать работу нескольких источников реактивной мощности в реальном времени. Кроме того, становится возможным вторичное регулирование напряжения и участие в рынке вспомогательных услуг.

Методы машинного обучения перспективны для анализа режимов работы сети и выбора стратегии регулирования. На основе накопленных данных можно прогнозировать характер нагрузок, а встроенная самодиагностика способна выявлять неисправности системы возбуждения без останова оборудования.

Современные полупроводниковые возбудители на базе IGBT-транзисторов позволяют сократить время отклика системы до единиц миллисекунд. В сравнении с электромашинными аналогами они обеспечивают более плавное регулирование тока возбуждения и отличаются повышенной надёжностью — из-за отсутствия вращающихся частей и щёточно-коллекторного узла.

СК представляют собой эффективный инструмент стабилизации напряжения и компенсации реактивной мощности. Однако их реальные возможности во многом определяются качеством систем управления возбуждением. Устаревшие автоматические регуляторы ограничивают быстродействие и гибкость компенсирующих устройств. Переход к цифровым системам управления и современным полупроводниковым преобразователям позволяет устранить эти ограничения и обеспечить надёжную, энергоэффективную работу систем электроснабжения.

Список литературы:

1. Куликова, Л. В., Багаев, А. А., Титов, Е. В. Электротехнология [Текст] / Л. В. Куликова, А. А. Багаев, Е. В. Титов — 3-е изд. — Москва: Директ-Медиа, 2025 — 392 с. ISBN 978-5-4499-4820-5
2. Ершов, А. М. Системы электроснабжения. Часть 2: Электрические нагрузки. Компенсация реактивной мощности: курс лекций [Текст] / А. М. Ершов — 1-е изд. — Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2018 — 230 с.
3. Компенсирующие устройства / [Электронный ресурс] // Википедия : [сайт]. — URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Компенсирующие_устройства (дата обращения: 29.03.2026).