

НАКОПИТЕЛИ ЭНЕРГИИ – НОВАЯ СТРУКТУРНАЯ ЕДИНИЦА В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

У. Акун уулу, магистрант, К.М. Кадыров, магистрант, Ж.Н. Кыдыров, магистрант
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
г. Томск, Россия

Недостатком электричества как энергоносителя является невозможность накопления энергии в достаточном количестве. С развитием электроэнергетических систем, ростом мощностей агрегатов, генерирующих энергию, становится все более острой проблема накопления и хранения энергии. Исправить этот недостаток возможно путем создания накопителей энергии (НЭ) реверсивных устройств для частичного или полного разделения во времени выработки и потребления энергии. В накопителях энергии осуществляется аккумулярование энергии, получаемой из электроэнергетической системы (ЭЭС), ее хранение и выдача при необходимости обратно в энергосистему.

Электроэнергетическую систему как единое целое при наличии достаточного числа тех или иных аккумулирующих устройств можно ориентировать на среднее потребление энергии, а надежность ее функционирования повысить. Это даст значительный экономический эффект, зависящий от типа аккумулирующих энергию устройств накопителей и их характеристик.

Накопители энергии в различных исполнениях имеют большое значение для улучшения работы обычных ЭЭС, они оказывают существенное влияние на работу специальных установок, особенно таких, в которых большие мощности нужны в течение небольшого времени. Например, для экспериментальных термоядерных установок требуются источники питания мощностью 500–1000 МВА длительностью порядка секунды. Предварительные проработки показали возможность решения данной проблемы.

Современные ЭЭС имеют характерные особенности:

1. Появляется возможность превращения местной аварии в системную, вызванная усложнением структуры энергообъединений, включающей дальние и сверхдальние электропередачи переменного и постоянного тока. Такие аварии могут иметь тяжелые последствия для народного хозяйства, так как сопровождаются массовым отключением потребителей, нарушением устойчивости и разделением ЭЭС на отдельные части при снижении частоты и напряжения ниже допустимого уровня.

2. Происходит неуклонный рост неравномерности графиков нагрузки. Отличительной чертой производства электроэнергии является необходимость выработки электростанциями в каждый момент времени такого ее количества, какое требуется потребителям. Однако нагрузка колеблется (и притом существенно) как в течение суток, так и в течение недели, месяца, года.

3. Увеличивается крутизна графиков нагрузки. Наклон утренних максимумов в центрах нагрузок может достигать 1–3 % в минуту.

4. Происходит неизбежное укрупнение оборудования электростанций, что повышает их экономичность, но приводит к снижению маневренности. Это не позволяет эффективно работать по «крутым» графикам нагрузки, снижает экономичность покрытия пиков мощности. Требования к резким темпам набора и сброса нагрузки можно выполнить лишь при наличии достаточного числа высокоманевренных агрегатов мощностью 100, 150, 200 МВт. Но с укрупнением оборудования их доля неизбежно снижается.

Анализируя вышесказанное, можно сделать вывод о необходимости дальнейших поисков мер, которые смогли бы комплексно решить проблемы, вызванные указанными особенностями. Следовательно, необходимо создание принципиально новых устройств. Таким образом, задача заключается в создании установок, которые удовлетворяли бы требованиям как потребителей (получение необходимого количества энергии с достаточным качеством и необходимой надежностью), так и генерирующих ЭС (возможность выработки постоянной мощности в течение длительного периода времени).

Сверхпроводниковые индуктивные накопители энергии(СПИН)

Прежде чем рассказать про СПИН, сперва остановимся на истории появления СПИНа.

Развитие технологии аккумулирования энергии в индукционных катушках тесно связано с развитием сверхпроводимости. В 1957 г. были открыты сверхпроводники второго рода. Тогда же началось производство длинной ленты из Nb_3Sn и был изготовлен небольшой соленоид, создающий поле с магнитной индукцией 6 Тл. В 1961 г. Был изготовлен малый соленоид с магнитной индукцией 5 Тл, обмотка которого сделана из сплава $NbZr$. В 1963 г. появилась проволока из $NbTi$, и в этом же году было предложено для аккумулирования использовать сверхпроводниковые (СП) индукционные накопители энергии, при том были рассмотрены ее тороидальная конструкция и некоторые связанные с этим проблемы. В 1965 г. были изготовлены первые катушки энергоемкостью около 1 МДж, имеющие в основном соленоидальную конструкцию. Успешно были испытаны катушки с обмоткой из ленточных проводников. В этот период началось СП-катушек в физике высоких энергий.

В Советском Союзе первые экспериментальные исследования СПИН были осуществлены в 1970 г. в Институте высоких темпера- ИТУР (ИВТ) АН СССР. В них небольшой СПИН (9·10⁴ Дж) обменивался энергией с Московской городской сетью при помощи трехфазного инвертора со средней мощностью 300 кВт.

С 1963–1965 гг. в СССР, США, Франции, Японии, ФРГ в широких масштабах проводятся работы по созданию СПИН для систем энергообеспечения ускорителей, термоядерных установок и пр. Следует выделить систематические исследования СПИН, проводимые в США с 1972 г. Висконсинским университетом и Лос-Аламосской лабораторией, а также японскими учеными, особенно активизировавшиеся с 1974 г.

Сверхпроводниковые ИН (СПИН) в общем случае позволяют получить предельные значения плотности тока в активной зоне и поэтому обладают наилучшими массогабаритными показателями. СПИН могут использоваться как в автономных установках, так и в крупных энергосистемах, поскольку они способны сохранять энергию длительное время.

Обмотка сверхпроводниковых ИН выполняется из сверхпроводников второго рода ($NbTi$, Nb_3Sn , V_3Ga и др.), помещенных в криостат с жидким гелием. Проводник, из которого изготавливаются катушки СПИН, имеет композитную структуру; тонкие жилы сверхпроводника с диаметром 1–10 мкм вкраплены в металлическую матрицу несущего провода (медную, медно-никелевую, алюминиевую и др.), которая обеспечивает тепловую стабилизацию сверхпроводниковых жил и механическую прочность проводника.

Потери в СПИН возникают при быстром изменении тока (в основном, при разряде) из-за вихревых токов в матрице проводов, конструктивных элементах и т.п. При высоких

значениях di/dt возможен кратковременный переход сверхпроводниковых жил в нормальное состояние с соответствующими потерями. Если в СПИН возникает устойчивая потеря сверхпроводящего состояния, то из-за больших токов происходит быстрый переход накопленной энергии в омические потери, что может привести к серьезным аварийным режимам. Для их предотвращения используются специальные виды защиты, основанные, например, на подключении к катушке СПИН внешних шунтирующих сопротивлений, в которых при необходимости выделяется основная часть накопленной энергии.

К потерям в номинальных режимах СПИН относятся также потери в токопроводах и теплопритоки через стенки криостата. Первый вид потерь проявляется тем сильнее, чем больше токи СПИН, поэтому для их уменьшения рационально увеличивать число витков СПИН (снижать ток). Второй вид потерь снижается при уменьшении объема СПИН и соответственно, поверхности криостата.

На каждый ватт потерь в СПИН необходимо иметь примерно 0,5–1 кВт мощности рефрижераторной установки, работающей при нормальной температуре. Таким образом, СПИН требуют сложного криогенного обеспечения и имеют высокую стоимость. Поэтому их использование рационально при больших запасаемых энергиях.

Для создания высокоэффективных ИН помимо сверхпроводников могут использоваться гиперпроводники, называемые также криопроводниками. Одним из них является, например, сверхчистый алюминий (99,999 %), охлажденный до температуры $T = 20$ ч- 30 К (например, жидким водородом или неоном). Сопротивление провода из гиперпроводника уменьшается в тысячи раз по сравнению с сопротивлением при нормальной температуре, что позволяет иметь плотности тока того же порядка, что и в сверхпроводниках. Однако криогенное обеспечение гиперпроводниковых систем должно быть достаточно мощным, поскольку в отличие от сверхпроводника гиперпроводник сохраняет конечное сопротивление и при больших плотностях тока необходимо отводить существенные омические потери. Особенности криопроводников связаны так же с магниторезистивным эффектом - увеличением сопротивления в присутствии магнитных полей, и с размерным эффектом - увеличением удельного сопротивления при уменьшении размеров проводника.

Применение накопителей энергии в электроэнергетике позволяет решить две важные задачи; снизить затраты на производство электроэнергии и увеличить надежность энергосистем в целом. Накопители позволяют демпфирование пиков нагрузки (как импульсных, так и долгосрочных), что способствует повышению устойчивости энергосистем и повышает их надежность. Надежность и качество электроэнергии, то что главное для энергетиков. Затраты уменьшаются за счет сглаживания пиков нагрузки и поддержания тем самым режима турбогенераторов в области максимального КПД (наименьшие затраты и наибольшая производительность). Демпфирование пиков нагрузки способствует повышению устойчивости энергосистем и, следовательно, повышает надежность.