

гания не может обеспечить надежное зажигание ламп. Поэтому для работы на частотах 800 Гц и больше целесообразно применение бесстартерных схем включения.

Литература

1. Рохлин, Г.П. Разрядные источники света. – М.: Энергоатомиздат, 1991.

УДК 621.311

АСМ И FACTS В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Кривенко И.И., Шумра А.П.

Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор ПОСПЕЛОВА Т.Г.

Надежность и эффективность электроэнергетической системы (ЭЭС) зависят от одноименных свойств ее элементов, прежде всего, электростанций и систем электропередачи. Кроме того, имеет место синергетический эффект взаимовлияния параметров и режимов отдельных элементов ЭЭС. Уровни надежности и эффективности обеспечиваются как техническими средствами и устройствами, так и организацией производства. На современном этапе развития электроэнергетики совпали прогресс и значительные достижения в развитии силовой преобразовательной электроники с ориентацией на переход к открытому рынку в торговле электроэнергией. Это способствует поиску новых путей повышения надежности и эффективности ЭЭС.

Авторами рассмотрены возможности применения асинхронизированных синхронных машин (АСМ) и гибких (управляемых) систем электропередач (FACTS – Flexible Alternative Current Transmission Systems) как одного из актуальных и перспективных путей обеспечения надежности и эффективности ЭЭС в современных условиях. Технологии FACTS в широком понимании охватывают все сегменты электроэнергетических инфраструктур: генерацию, транспорт, потребление электроэнергии. Влияют на системную автоматику. Способствуют предотвращению системных аварий и уменьшению объемов аварийных отключений. В целом позволяют оптимизировать систему электроснабжения.

Следует подчеркнуть, что основные идеи управляемых электропередач и АСМ были предложены и разработаны советскими исследователями. Сегодня эти идеи активно реализуются за рубежом на базе современной преобразовательной техники. В таблице 1 представлен ряд технологий FACTS и указано их назначение в ЭЭС.

На электростанциях в качестве устройств FACTS используются асинхронизированные машины (АСМ): турбо, гидрогенераторы, генераторы-двигатели и компенсаторы реактивной мощности. АСМ обеспечивают векторное регулирование напряжения на зажимах генератора (изменение величины и фазы вектора напряжения). Обладают лучшей эксплуатационной надежностью, живучестью при более высоких показателях по устойчивости, управляемости, глубоком потреблении реактивной мощности.

Особенность АСТГ – размещение в пазах ротора двух взаимно перпендикулярных обмоток возбуждения. Ввиду массивной бочки ротора АСТГ в нормальных режимах работают с синхронной частотой и могут переходить в асинхронные режимы при аварийных возмущениях или неполадках в системе возбуждения. Способны длительно работать синхронно с несколько пониженной активной мощностью при возбуждении только по одной из осей ротора или в асинхронном режиме без возбуждения с замкнутыми накоротко обмотками возбуждения. Стоимость АСТГ в сравнении с традиционными СТГ на 15–25 % выше. Целесообразна их совместная установка для улучшения показателей станции в целом, улучшения устойчивости параллельной работы и режи-

мов по напряжению в ЭЭС. Первый генератор типа АСТГ-200 эксплуатируется на Бурштынской ГРЭС (Украина) с 1985 года, второй – там же с 1991 года АСГГ и АСГД производятся и используются за рубежом (Европа, Япония).

Таблица 1. Технологии FACTS и их назначение в ЭЭС

Наименование	Назначение	Область применения
АСТГ (асинхронизированные турбогенераторы)	Повышение надежности энергоблоков электростанции (АСТГ и параллельно работающих СТГ). Нормализация уровней напряжения на отходящих линиях электропередачи при сокращении затрат. Надежность поддержания уровня напряжения в рабочих и аварийных режимах расширением диапазона его регулирования на шинах станции. Продление срока службы параллельно работающих СТГ посредством перевода в режимы с выдачей реактивной мощности	ТЭС 110–320 МВт
АСГГ, АСГД (асинхронизированные гидрогенераторы и генераторы-двигатели)	Повышение КПД за счет регулирования частоты вращения в зависимости от напора воды. Улучшение регулирования частоты в ЭЭС посредством изменения потребляемой мощности в насосном режиме (ГАЭС)	ГЭС, ГАЭС
СТК, СТАТКОМ (статический тиристорный компенсатор) УР (управляемый реактор), СК	Компенсация реактивной мощности. Стабилизация напряжения. Повышение устойчивости. Оптимизация потокораспределения. Снижение потерь	Электропередачи Мощные преобразователи передач и вставки постоянного тока
ТУПК (тиристорное устройство продольной компенсации)	Регулирование коэффициента компенсации индуктивного сопротивления линии	Электропередачи
ОРПМ (объединенный регулятор потока мощности)	Регулирование величины и фазы вектора напряжения. Увеличение передаваемой мощности при углах меньших 90°. Большой предел по динамической устойчивости	Электрические сети, ЭЭС
АС ЭМПЧ (асинхронизированный синхронный электромеханический преобразователь частоты)	Объединение ЭЭС с различными стандартами по частоте для совместной работы	ЭЭС

Электропередачи при включении в них устройств, входящих в категорию FACTS, могут использоваться как активные элементы в ЭЭС. Традиционно линии электропередачи являлись «пассивными» элементами ЭЭС. Применяемые в них средства регулирования (устройства продольной и поперечной компенсации, настройки на режим полуволны) имели целью увеличить предел передаваемой мощности, поддержать напряжение вдоль линии в соответствии с допустимыми значениями. Благодаря устройствам FACTS линии электропередачи приобретают свойство оперативно изменять свои параметры (удельные сопротивления, проводимости, пропускную способность и др.) по определенным законам, т. е. «гибкие» электропередачи являются реально управляемыми и могут быть использованы для управления нормальными и аварийными режимами ЭЭС. Это открывает новые возможности решения проблем устойчивости и управления ЭЭС, повышения надежности электроснабжения потребителей.

Устройства и технологии FACTS в отличие от традиционных устройств регулирования и компенсации многофункциональны, т. е. способны решать комплексно (одновременно) ряд задач:

- повышать пропускную способность линий электропередач, вплоть до теплового предела по нагреву;
- обеспечивать устойчивую работу энергосистемы при различных возмущениях;
- создавать распределение мощности в электрических сетях в соответствии с требованиями диспетчера;
- стабилизировать и регулировать напряжение.

Многофункциональность FACTS, в основном, базируется на применении мощных преобразователей напряжения (ПН). Наиболее известное устройство FACTS на основе ПН – СТАТКОМ. Его главное назначение – регулирование выдаваемой или потребляемой реактивной мощности и регулирование напряжения реализуется посредством управления амплитудой составляющей промышленной частоты выходного напряжения. СТАТКОМ обладает преимуществами в сравнении с традиционно используемыми для этих целей синхронными компенсаторами (СК), тиристорно-реакторными группами (ТРГ), конденсаторными батареями. Преимущество перед СК состоит в более высокой эксплуатационной надежности. По сравнению с ТРГ СТАТКОМ – значительно более компактное устройство, порождает меньшие гармоники в токах и напряжениях, снижает вероятность возникновения резонансных явлений. СТАТКОМ могут быть использованы для замены СК в схемах мощных преобразователей передач и вставок постоянного тока, особенно для примыкания к «слабым» системам.

В электрических сетях ЭЭС применяются статические устройства FACTS, в числе которых – объединенный регулятор потока мощности (ОРПМ), использующий два ПН. Один включается в электрическую сеть параллельно, а другой – последовательно, между собой ПН связываются по стороне постоянного тока. ОРПМ позволяет регулировать величину и фазу вектора напряжения, обеспечить передачу большей мощности при углах меньших 90° , больший предел по динамической устойчивости, а также значение сопротивления линии. Эти устройства различной единичной мощности до 250 МВА в последние 5–7 лет получают за рубежом развитие и практическое применение (США, Канада, Бразилия, Южная Корея, КНР и др.).

С помощью устройств и технологий FACTS без опасности нарушения устойчивой работы можно загрузить существующие ЛЭП по пределу нагрева проводов и отказаться от строительства новых ЛЭП, что в ряде случаев может быть экономически выгодно.

Для совместной работы отдельных энергосистем, имеющих различные стандарты по частоте, предназначен асинхронизированный синхронный электромеханический преобразователь частоты (АС ЭМПЧ), также входящий в категорию устройств FACTS. АС ЭМПЧ – агрегат, состоящий из двух электрических машин, валы которых механически соединены между собой. Машины подключаются к разным электрическим системам: первая машина работает генератором, то вторая – двигателем; при изменении потока мощности в силу обратимости электрических машин первая машина переходит в двигательный режим, а вторая – в генераторный. Агрегат может состоять, как из синхронной и асинхронизированной машин, так и из двух асинхронизированных машин. Благодаря двум обмоткам возбуждения, расположенным на роторе АСМ под углом 90° друг относительно друга, АС ЭМПЧ обеспечивает:

- поддержание заданного или регулирование по требуемому закону перетока мощности (поперечная составляющая ЭДС возбуждения);
- регулирование напряжения и реактивной мощности (продольная составляющая ЭДС возбуждения).

АС ЭМПЧ эксплуатируется с 2003 года, связывая ЭЭС США и Канады.

Государственная комплексная программа модернизации основных производственных фондов Белорусской энергетической системы в 2006–2010 гг. предусматривает использование современных технологий и оборудования. В связи с этим актуален ана-

лиз технической и экономической целесообразности обоснованного применения устройств категории FACTS в электрических сетях ЭЭС республики.

УДК 620.004.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ВЕЛИЧИН ГРАНИЧНЫХ МОЩНОСТЕЙ И ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ ПРИ ВЫБОРЕ ЧИСЛА ПАРАЛЛЕЛЬНО РАБОТАЮЩИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ БЕЗ УЧЕТА ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Северин Л.А., Северин Н.А.

Научный руководитель – ПРОКОПЕНКО Л.В.

При наличии на подстанции нескольких трансформаторов, которые могут работать на общие шины, число включенных трансформаторов определяется условием, обеспечивающим минимум потерь мощности в этих трансформаторах.

Потери мощности и энергии в обмотках трансформатора изменяются обратно пропорционально квадрату напряжения сети, а потери активной мощности в стали трансформаторов изменяются прямо пропорционально квадрату изменения числа вольт, приходящихся на виток первичной обмотки трансформатора [1].

$$\Delta P'_M = \frac{\Delta P_M}{\left(1 \pm \frac{a_1}{100}\right)^2},$$

где a_1 – отклонение действительного напряжения трансформатора по отношению к его номинальному напряжению;

ΔP_M – потери активной мощности в меди трансформатора (нагрузочные потери), при равенстве рабочего и номинального напряжения сети.

$$\Delta P_c = \Delta P_{сн} \left(1 \pm \frac{a}{100}\right)^2,$$

где ΔP_c – потери активной мощности в стали трансформатора (потери холостого хода);

$\Delta P_{сн}$ – потери в стали при равенстве действительного напряжения сети напряжению регулировочного ответвления (паспортная величина);

a – отклонение действительного напряжения сети по отношению к напряжению регулировочного ответвления.

При превышении действительного напряжения сети номинального напряжения трансформатора на a_1 % уменьшение потерь в обмотках трансформатора (процент) составит [1]:

$$\frac{\Delta P_M - \Delta P'_M}{\Delta P_M} \cdot 100 = \left[1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{a_1}{100}\right)^2} \right] \cdot 100. \quad (1)$$

При превышении действительного напряжения сети номинального напряжения трансформатора на a % увеличение потерь в стали составит: