

УДК 621.314

Н.Ю. Тимофеева, (5-й курс, каф. АСУТП СПбГТУРП), Г.Г. Прочан (асп. ОАО "НИИПТ"), М.И. Мазуров, к.т.н., зав. Л1-1 отд. постоянного тока ОАО "НИИПТ", Л.Л. Балыбердин, к.т.н., зав. отд. постоянного тока ОАО "НИИПТ"

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 330/400 КВ РОССИЯ-ФИНЛЯНДИЯ

Сооруженная в 1981-84 г.г. линия электропередачи 330/400 кВ Россия-Финляндия со вставкой постоянного тока в районе г. Выборга первоначально была рассчитана на длительную передачу мощности 600 МВт с возможностью увеличения до 1000 МВт в аварийных ситуациях. Объем передаваемой электроэнергии согласно контракту должен был составлять 4–4,5 млрд. кВт·ч. в год. Передача мощности осуществлялась по двухцепной высоковольтной линии (ВЛ) 330 кВ, связывающей подстанцию (ПС) Восточная и ПС Выборгская и далее по двухцепной ВЛ 400 кВ ПС Выборгская – ПС Юлликкяля. На ПС Выборгская были установлены три преобразовательных блока (КВПУ) мощностью 3×350 МВт, образованные двенадцатифазными выпрямителями и инверторами.

Для обеспечения требуемого качества электроэнергии была разработана специальная система фильтрации высших гармоник и компенсации реактивной мощности.

Первоначальная эксплуатация электропередачи показала ее достаточно высокую надежность (коэффициент готовности в первые годы эксплуатации составил 97–98%). Это достигнуто в основном за счет резервирования находящегося в работе оборудования, и своевременного проведения плановых ремонтов. Плановые ремонты проводятся ежегодно в летние месяцы в период снижения диспетчерского графика, начиная с мая по август. Во время проведения комплексного ремонта выполняются восстановительные работы на преобразовательных устройствах их систем управления, систем охлаждения деионизированной и технической воды, водоподготовки, на преобразовательных трансформаторах, фильтровых конденсаторных батареях 35кВ, КИПа и релейной защиты.

Поскольку электропередача 330/400 кВ Россия-Финляндия представляет важную межгосударственную связь, для обеспечения ее надежности была проведена реконструкция ПС.

Во время выполнения работ по реконструкции на ПС в 1978-91 г.г. на КВПУ1-3 были заменены преобразовательные вентиляные блоки БВПМ-700/120 на БВПМ-800/120. Замена блоков позволила увеличить значение выпрямленного тока КВПУ с 2100 А до 2400 А. Блоки БВПМ-800/120 на КВПУ1-3 за 12 лет наработали до 50 000 часов. На каждом КВПУ установлено по 12 блоков БВПМ-800/120, а каждый блок содержит по 128 тиристоров Т-273-1250. Всего на одном КВПУ установлено 1536 тиристоров.

В 2000 г. закончились строительные и наладочные работы на КВПУ-4. Схема КВПУ-4 аналогична схеме других КВПУ(1-3) и имеет некоторые несущественные отличия. Например, использование встроенных измерительных трансформаторов постоянного тока ТПТ-35/2100, которые вмонтированы во вводы сглаживающих реакторов, включенных между выпрямительными и инверторными мостами. Для защиты тиристорных вентилях КВПУ-4 от грозовых и коммутационных перенапряжений используются ограничители перенапряжений ОПНВ-190, специально разработанные и изготовленные на опытном заводе ВЭИ. На КВПУ(1-3) установлены ОПНВ-190 Корниловского завода (С-Петербург), которые показали низкую надежность в аварийных режимах, таких как режим «обрыв транзита», и нарушения очередности коммутации на инверторе.

На КВПУ-4 установлена новая система управления, защиты и автоматики (КУРБ) на базе микропроцессорных средств: однокристальных МЭВМ, цифровых процессоров сигналов с тактовой частотой до 50 МГц, программируемых логических интегральных схем

(ПЛИС), быстродействующей оперативной памяти с временем выборки 35 нс. КУРБ выполняет те же задачи, что и прежняя система управления, регулирования, защиты и автоматики (СУРЗА) на КВПУ(1-3) с дополнительными функциональными задачами - управление выключателями конденсаторных батарей 35 кВ и отпайками РПН трансформаторов на стороне выпрямителей.

КВПУ-4 не подключен к подстанционному регулятору активной и реактивной мощности КАРМ, что вносит определенные трудности при распределении нагрузки по находящимся в работе КВПУ.

С вводом устройств регистрации пробоя тиристоров и срабатывания ограничителей на блоках БВММ-800/120 появилась возможность с относительной точностью определять время выхода тиристоров и срабатывания ограничителей перенапряжения с привязкой к внешним событиям.

Следует отметить, что с вводом КВПУ-4 и двух линий 330 кВ при удаленных возмущениях (к.з. в системе Ленэнерго или на линиях 330 кВ) в контуре постоянного тока наблюдаются колебания с частотой 100 Гц. Данные колебания, по-видимому, связаны с собственными колебаниями сети или участка ВЛ с присоединением ПС.

Воздействия КАРМа на систему регулирования КВПУ, как выяснилось, являются неблагоприятными во время снижения напряжения и при КЗ в сети 330 и 400 кВ. Так, был случай отключения КВПУ-3 защитой от зарегулированного режима при пуске синхронного компенсатора СК-3. Для предупреждения отключений КВПУ в аналогичных режимах, воздействие КАРМа на системы управления КВПУ, необходимо ослабить.

Опытная система управления (КУРБ) КВПУ-4 за два года эксплуатации показала себя как работоспособный элемент, хотя требуются некоторые изменения в алгоритме включения КВПУ (как при оперативных операциях, так и при АПВ). Было замечено, что в этих режимах срабатывают ограничители перенапряжений на вентилях преобразовательных мостов и пробиваются тиристоры. Алгоритм ввода КВПУ в части перевода выпрямителя в работу (ПВР) на КВПУ-4 отличается от ПВР на КВПУ(1-3). Скорость изменения углов управления на КВПУ(1-3) составляет порядка 90 эл. градусов в мс, а на КВПУ-4 - примерно 16-20. Низкая скорость ПВР приводит к появлению перенапряжений на вентилях и пробоем тиристоров в начале включения. За два года эксплуатации на КВПУ-4 было заменено порядка 100 тиристоров. На КВПУ(1-3) в год выходит по 4-6 тиристоров. Пробой тиристоров на КВПУ был связан с малыми углами включения, которые приводили к работе защиты от нарушения коммутаций (ЗНК) и АПВ. После усовершенствования и перестройки защит ЗНК количество АПВ уменьшилось, и пробой тиристоров сократился.

Принятые меры позволили обеспечить в последние годы достаточно надежную работу электропередачи Россия – Финляндия при увеличении передаваемой мощности и количества электроэнергии до 900 – 950 МВт и 6 – 7 млрд. кВт·ч, соответственно.