

SC B1 «Изолированные кабели»
PS 3 «Подземные и подводные кабельные системы переменного и постоянного тока в сети будущего. Инновационные кабели и системы»

Ресурсные испытания ВТСП кабельной линии постоянного тока в сборе с криогенной системой и преобразователями

Т.В. Рябин, В.Е. Сытников, С.Е. Бемерт, В. Н. Карпов
АО «Научно-технический центр Федеральной сетевой компании Единой энергетической системы»
Россия
e-mail: rjabin_t@ntc-power.ru

В рамках реализации проекта по созданию ВТСП линии постоянного тока мощностью 50 МВт, 20 кВ для энергосистемы Санкт-Петербурга были проведены ресурсные испытания всех элементов линии в сборе. Испытания проводились на полигоне АО «НТЦ ФСК ЕЭС» в г. Москве.

Экспериментальный стенд включал несколько строительных длин кабеля с соединительными и концевыми муфтами, обратный криостат (без кабеля внутри), криогенную систему производительностью 12 кВт при 77К, преобразовательную подстанцию и систему управления и контроля. Общая длина линии превышала 2000 метров. Схема передачи монополярная с прямым и обратным проводником в одном сверхпроводящем кабеле. Преобразователи собраны по 12-пульсной схеме и предусматривают возможность реверса передачи энергии. Штатная криогенная система, предназначенная для установки в Санкт-Петербурге, состоит из двух криогенных контуров. Контур охлаждения кабельной линии включает насос, теплообменник, ёмкость с переохлаждённым жидким азотом, кабельный и обратный криостаты. Контур переохлаждения работает по схеме Турбо-Брайтон на газообразном гелии и, через теплообменник, отводит тепло из контура охлаждения. Для обеспечения надёжности системы насос контура охлаждения и компрессор контура переохлаждения дублируются.

В докладе представлены результаты вакуумных, криогенных и электрических испытаний, проведенных в течении нескольких месяцев. Определена временная зависимость температуры на ближнем и дальнем концах кабельной линии при её захолаживании от штатной криогенной системы. Высоковольтные испытания при криогенных температурах подтвердили надёжность электрической изоляции сверхпроводящего кабеля, концевых и соединительных муфт. Температура жидкого азота и его расход, варьировались в широких пределах в процессе испытаний. Это позволило определить зависимость критического тока сверхпроводящего кабеля от температуры и перепад температур и давлений по длине кабеля. Критический ток обоих проводников изменяется от 3,0 кА до 6,0 кА при изменении рабочей температуры от 78К до 66К. На основании этих данных была определена оптимальная скорость прокачки жидкого азота через кабель. Определены электрические и

гидравлические характеристики ВТСП кабельной линии в сборе с концевыми и соединительными муфтами как функция температуры.

В процессе испытаний были смоделированы аварийные ситуации, такие как отказ циркуляционного насоса и прекращение прокачки жидкого азота через кабель, а также отключение контура переохлаждения. Были определены критические времена работоспособности кабельной линии в аварийных ситуациях. Показано, что при возникновении неисправности в каком-либо агрегате криогенной системы линия может продолжать передачу энергии в номинальном режиме в течение нескольких часов за счёт наличия аккумулирующей ёмкости с переохлаждённым жидким азотом и «запасом холода» в самой кабельной линии.

Полученные в результате проведенных исследований данные позволили сформулировать рекомендации по режимам работы линии и определить алгоритм действий при возникновении аварийных ситуаций. Проведенные исследования подтвердили соответствие характеристик сверхпроводящей линии всем проектным требованиям и готовность всего оборудования к установке в энергосистему Санкт-Петербурга.

Ключевые слова: сверхпроводящая кабельная линия, криостат, преобразователь, криогенная система, критический ток, аварийная ситуация, жидкий азот.