СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ КАБЕЛИ. ПРОЕКТ ВТСП КЛ ПО СОЕДИНЕНИЮ ПС 330 КВ ЦЕНТРАЛЬНАЯ И ПС 220 КВ РП-9 В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

АВТОРЫ:

П.Ю. КОРСУНОВ,
К.Э.Н.,
ПАО «ФСК ЕЭС»

Т.В. РЯБИН,
АО «НТЦ ФСК ЕЭС»

В.Е. СЫТНИКОВ,
Д.Т.Н.,
АО «НТЦ ФСК ЕЭС»

Согласно программе инновационного развития ПАО «ФСК ЕЭС» предусматривается к реализации проект передачи электроэнергии с использованием технологии высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП). Этот проект находится в русле основных тенденций развития мировой электроэнергетики. Подобные проекты реализуются в США, Европе, Японии, Ю. Корее, Китае, Мексике, Бразилии и других странах.

Ключевые слова: сверхпроводимость; кабельная линия; криогенная станция; преобразователь; испытания.

Криогенная установка LPC-8/2 FF производства компании «Stirling Cryogenics»

ВВЕДЕНИЕ

В электрических сетях актуальным является создание схем с применением сверхпроводниковых кабельных линий (КЛ) на основе высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) как переменного, так и постоянного тока. Обе системы имеют свои предпочтительные области применения. Следует отметить, что именно сверхпроводящие кабели являются на сегодня наиболее продвинутыми ВТСП-устройствами как с точки зрения достигнутого на опытных образцах уровня мощностей (10 МВА — 1400 МВА), так и с точки зрения широкой гаммы разработанных конструкций и характеристик. Принимая во внимание очевидные преимущества сверхпроводящих линий, исследования и разработки по этой тематике ведутся широким фронтом в США, Европе, Южной Корее, Японии, Китае и России [1]. Ряд ВТСП КЛ длинами от 30 м до 1000 м установлены для опытной эксплуатации.

Важным фактором в пользу применения ВТСП КЛ является высвобождение значительных площадей муниципальной земли, которая в настоящее время находится в зоне отчуждения вдоль трасс ЛЭП. Например, в среднем на 100 м ЛЭП в Москве отчуждается 1 га земли. Замена ЛЭП на ВТСП-кабель позволит высвободить до 95% этой земли. Замена традиционных кабельных линий на сверхпроводящие позволит при том же напряжении в 3–4 раза увеличить передаваемую мощность. В ряде случаев это даст возможность избежать строительства новых линий электропередачи. ВТСП КЛ переменного и постоянного тока позволяют в 2–3 раза снизить потери энергии в кабельных линиях и существенно уменьшить их импеданс.

Особого внимания заслуживают ВТСП КЛ постоянного тока, так как они помимо функции передачи больших потоков энергии осуществляют также функцию ограничения токов короткого замыкания (КЗ) за счет соответствующей настройки преобразовательной техники, что делает возможным соединение городских подстанций на стороне среднего напряжения, а следовательно, взаимного резервирования энергорайонов без увеличения токов КЗ. Кроме того, такие линии, являясь активным элементом сети, позволяют регулировать распределение потоков мощности в прилегающих сетях и не генерируют электромагнитных и тепловых полей рассеяния.

Основными направлениями возможного внедрения ВТСП КЛ в электрические сети являются:

- замена традиционных кабельных линий на ВТСП КЛ с целью увеличения мощности передачи в 2–4 раза по существующим кабельным каналам;
- замена высоковольтных воздушных линий на компактные ВТСП КЛ с высвобождением больших земельных площадей;
- питание подстанций глубокого ввода с целью покрытия дефицита мощности и обеспечения питания энергоемких потребителей в энергетических сетях мегаполисов без увеличения токов КЗ;
- создание магистральных сверхпроводящих линий на среднем напряжении при новом сетевом строительстве;
- создание мощных кольцевых связей на среднем напряжении между несколькими подстанциями без увеличения токов КЗ для регулирования нагрузки и повышения надежности энергоснабжения потребителей, что позволит избежать каскадных отключений в энергосистеме;
- использование ВТСП КЛ в схемах выдачи мощности крупных ветровых, солнечных, тепловых, гидравлических и атомных станций;
- питание энергоемких потребителей, для которых по условиям прокладки не могут использоваться высоковольтные кабельные линии, например, метро, подземные сооружения, корабли и пр.;
- связь на постоянном токе несинхронизированных энергосистем.

В России по инициативе и при финансировании ПАО «ФСК ЕЭС» в рамках программы НИОКР была создана ВТСП КЛ постоянного тока длиной 2500 м, которая успешно прошла приемо-сдаточные испытания на стенде АО «НТЦ ФСК ЕЭС».

ВТСП КЛ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Линия постоянного тока на передаваемую мощность 50 МВт предназначена для соединения двух подстанций в Санкт-Петербурге: ПС 330 кВ Центральная и ПС 220 кВ РП-9. Проведенные расчеты показали, что резервирование электроснабжения потребителей за счет строительства и ввода в эксплуатацию линии электропередачи переменного тока (традиционной кабельной или воздушной линии электропередачи) ПС 330 кВ Центральная — ПС 220 кВ РП-9 нецелесообразно, так как это приводит к повышению тяжести послеаварийных режимов. В частности, ввод в эксплуатацию традиционной линии электропередачи переменного тока между этими подстанциями приводит к возникновению недопустимых (аварийных) электрических режимов, сопровождающихся токовыми перегрузками смежных электрических сетей. Избежать возникновения таких аварийных электрических режимов можно за счет ввода в эксплуатацию управляемой

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВТСП-ЛИНИИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Передаваемая мощность	50 МВт	Тип преобразователей	12-пульсный
Номинальное напряжение	20 кВ	Возможность реверса	Предусмотрена
Номинальный ток	2500 А	Холодопроизводительность криогенной установки	12 кВт @ 70 К
Рабочая температура	66–80 К	Давление жидкого азота	До 1,4 МРа
Длина	2500 м	Расход жидкого азота	0,1 ÷ 0,6 кг/с

Таблица 1

передачи постоянного тока с ВТСП КЛ постоянного тока. Ввод в схему ВТСП КЛ постоянного тока в данном случае позволяет реализовать реверсивный поток мощности и обеспечить повышение надежности электроснабжения потребителей без возникновения недопустимых (аварийных) электрических режимов и без увеличения токов КЗ [2].

Генеральным подрядчиком по проекту является АО «НТЦ ФСК ЕЭС», основные соисполнители:

- АО «НТЦ ЕЭС» (вопросы обоснования и интеграции линии в энергосистему Санкт-Петербурга);
- ОАО «Иркутсккабель» и НИЦ «Курчатовский институт» (разработка и изготовление кабеля и арматуры);
- Leds Group при научном руководстве АО «НТЦ ФСК ЕЭС» (изготовление двух вентильных преобразовательных установок);
- НПО «Гелиймаш» и НИЦ «Курчатовский институт» (разработка и изготовление криогенной системы).

Испытания разработанных устройств и контроль всех конструктивных решений осуществляет АО «НТЦ ФСК ЕЭС» при участии заказчика — ПАО «ФСК ЕЭС». На всех этапах изготовления оборудования организована тесная кооперация научных и производственных организаций с целью облегчения процесса дальнейшей передачи разработок в промышленное производство. Проектные параметры линии представлены в табл. 1.

КОНСТРУКЦИЯ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО КАБЕЛЯ

На рис. 1 показана схема сверхпроводящего кабеля и его внешний вид. В качестве базовой конструкции была выбрана монополярная конструкция с прямым и обратным проводником в одном кабеле. Кабель состоит из нескольких концентрических слоев. Стабилизирующий формообразующий элемент спроектирован, исходя из условий обеспечения необходимой механической прочности и защиты прямого проводника от перегрева в аварийных ситуациях. Сверхпроводящий прямой проводник состоит из 22 лент с критическим током 160 А, наложенных в два слоя на формообразующий элемент. Диаметры и шаги скрутки слоев спроектированы, исходя из условия равенства их импедансов, что обеспечивает равномерное распределение тока между слоями лент. Высоковольтная изоляция рассчитана на номинальное напряжение. Сверхпроводящий обратный проводник состоит из 19 лент с критическим током 180 А, размещенных в одном слое. Есть также внешний стабилизатор, внешняя (экранная) изоляция, электрический (несверхпроводящий) экран. Кабель помещен в криостат, состоящий из двух гофрированных труб с вакуумной тепловой изоляцией между ними и внешним защитным покрытием из сшитого полиэтилена.

Высокое значение критической плотности тока в сверхпроводнике позволило разместить прямой и обратный проводники в конструкции одного кабеля, что приводит к локализации магнитного поля внутри сечения обратного проводника кабеля. Отсутствие электромагнитных и тепловых полей рассеяния и использование в качестве пропиточного состава жидкого азота делает такие кабели экологически чистыми и существенно снижает требования к условиям прокладки кабельной трассы.

Сверхпроводящий кабель был изготовлен в АО «Иркутсккабель» при участии специалистов АО «НТЦ ФСК ЕЭС». Кабельная линия состоит из шести отрезков, каждый из которых был размещен в предварительно изготовленном криостате, намотан на транспортный барабан и отправлен на испытания в АО «НТЦ ФСК ЕЭС». Некоторые операции изготовления кабеля представлены на рис. 2.

КОНЦЕВЫЕ И СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ МУФТЫ

Кабельные муфты служат для соединения отрезков кабеля, сверхпроводящих жил кабеля с сетью и для ввода/вывода жидкого азота

КОНСТРУКЦИЯ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО КАБЕЛЯ

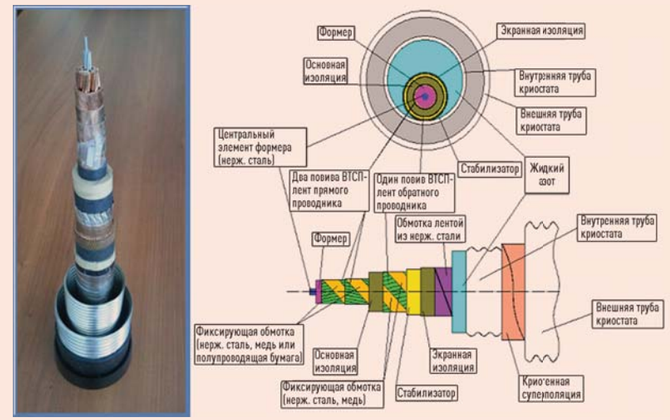


Рис. 1

ОПЕРАЦИИ НАЛОЖЕНИЯ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ЛЕНТ, ИЗОЛЯЦИИ И ЗАЩИТНОГО ЭКРАНА НА ЗАВОДЕ АО «ИРКУТСККАБЕЛЬ»

Рис. 2

в кабель. Разработка и изготовление кабельных муфт были выполнены в НИЦ «Курчатовский институт». На рис. 3 показан токовый ввод [3], который состоит из следующих элементов: двух латунных токовводов с изоляторами, корпуса из нержавеющей стали с двойными вакуумными стенками и азотным резервуаром высокого давления, а также криогенных интерфейсов: для присоединения гибкого криостата с ВТСП-кабелем и для подачи переохлажденного азота.

После изготовления азотный объем был подвергнут гидравлическим испытаниям при избыточном давлении в 15 атм. Сосуд, находясь под давлением, полностью сохранил свою герметичность.

Поскольку стенки муфты при эксплуатации находятся при разных температурах (внутренняя — при температуре переохлажденного азота, внешняя — при комнатной температуре), неизбежно возникновение механических напряжений в сварных швах и концевых фланцах, вызванных температурным сжатием. Для компенсации температурных деформаций криогенные интерфейсы оснащены гибкими штампованными элементами. Размеры компенсаторов определялись численным расчетом.

Известно [4], что токовводы из сплавов способны выдерживать существенно большие токовые перегрузки, чем токовводы, выполненные из чистых металлов. Поэтому в нашем случае токоведущая часть токовводной муфты выполнена в виде единого точеного стержня из латуни Л-63 диаметром 48 мм и длиной 450 мм. Геометрия и материал стержня рассчитаны из условий оптимизации соотношения между теплопритоком в холодную зону и омическим нагревом. На рис. 4 показаны расчетные распределения температуры по рабочей

ЧЕРТЕЖ (А) И ФОТОГРАФИЯ (Б) ОБЩЕГО ВИДА ТОКОВОГО ВВОДА

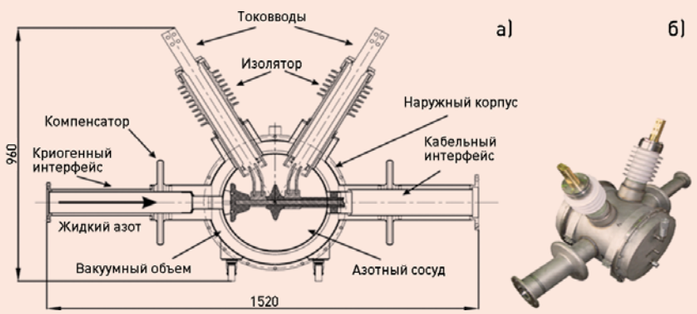


Рис. 3

КРИОГЕННАЯ ЧАСТЬ КЛ

При проектировании длинномерных сверхпроводящих кабелей одним из наиболее критичных вопросов является требование по стабилизации в заданных пределах рабочих температур и давлений в кабельной линии. С одной стороны, общий теплоприток в криогенный объем столь велик, что ΔT должна быть насколько возможно большой, чтобы скорость циркуляции и, соответственно, перепад давлений были невелики. С другой стороны, рабочий диапазон жидкого азота ограничен снизу температурой замерзания, а сверху температурой кипения,

длине токоввода для трех режимов: без тока, на постоянном рабочем токе 2,5 кА и при перегрузке до 3 кА. Там же указаны скорости испарения жидкого азота за счет теплопритока по стержню.

Изолятор изготовлен из стеклопластиковой трубы, покрытой спиральной волной из силиконовой резины. Проходной диаметр изолятора равен 100 мм.

Соединительная муфта предназначена для стыковки секций криостата и дополнительной защиты спая ВТСП-кабеля. Муфта представляет собой цилиндрический сосуд с двойной стенкой, выполненный из нержавеющей стали. Пространство между стенками откачано до давления ~10^{-3} мм рт. ст., внутренняя стенка дополнительно покрыта несколькими слоями отражающей пленки. Общая геометрия муфты рассчитана для использования при повышенном внутреннем давлении в 15 атм. Муфта снабжена тремя терминалами: для откачки вакуумного объема, контроля уровня вакуума, а также диагностики состояния соединения секций ВТСП-кабеля.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО ДЛИНЕ ЛАТУННОГО СТЕРЖНЯ И ТЕПЛОПРИТОКИ В ХОЛОДНУЮ ЗОНУ КРИОСТАТА (НА 1 ТОКОВВОД)

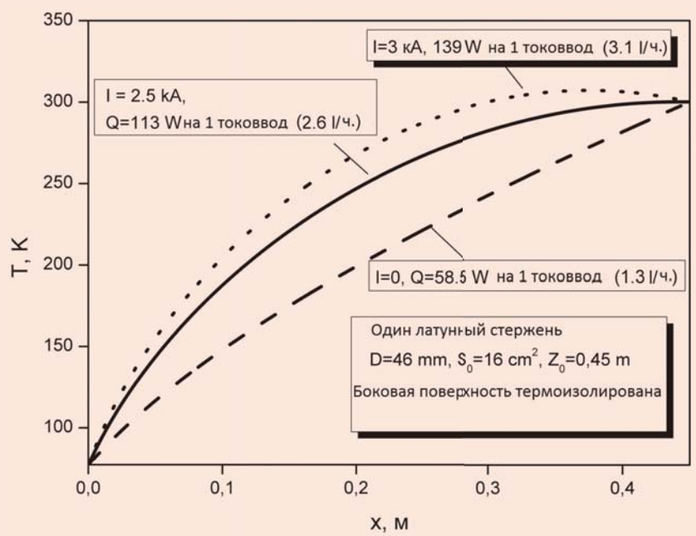


Рис. 4

ПЕРЕПАД ТЕМПЕРАТУРЫ (А) И ДАВЛЕНИЯ (Б) ПО ДЛИНЕ КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ ДЛИНОЙ 2,5 КМ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВНУТРЕННИХ ДИАМЕТРАХ КРИОСТАТА

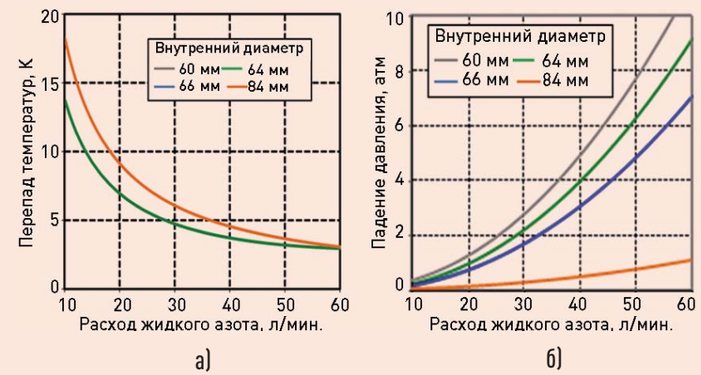


Рис. 5

составляя всего 77,4 K – 63,2 K = 14,2 K при атмосферном давлении. Хотя он и может быть расширен путем повышения давления в системе (составляя, например, 20,6 K при 2 атм), нижний температурный предел (температура замерзания) остается практически неизменным. Следовательно, расширение диапазона ведет к повышению температуры на выходе из криогенной трубы, что неприемлемо, так как приводит к снижению критического тока.

Таким образом, очевидно, что для длинных линий существует сильное физическое ограничение на ΔT, отсутствующее для коротких линий. Для практических целей можно принять, что ΔTmax = 10 K.

Однако при создании кабельных линий километрового класса одним из главных вопросов является необходимость преодоления значительных гидравлических потерь, которые являются лимитирующим фактором при циркуляции жидкого азота в длинном охлаждающем криостате. Варьировать гидравлическим сопротивлением можно за счет изменения сечения прокачного канала и скорости прокачки хладагента. На рис. 5 представлены результаты расчетов перепада температуры и давления по длине кабельной линии как функции расхода жидкого азота при различных диаметрах криостата.

В качестве рабочей была выбрана скорость прокачки 30 л/мин., что обеспечит существенный запас надежности. При этом перепад температур по длине линии не превышает 5 K (три кривые на рис. 5а совпали), а перепад давлений — порядка двух атмосфер. В результате проведенных исследований был выбран гибкий криостат, состоящий из двух гофрированных труб, и с вакуумной изоляцией с внутренним диаметром 64 мм.

Общая схема криогенно-проточной части кабельной линии показана на рис. 6. Криогенная станция располагается с одной стороны кабельной линии. Жидкий азот прокачивается по криостату с ВТСП-кабелем и возвращается по криостату меньшего диаметра. Общая длина петли прокачки составляет 5 км. Криогенная станция замкнутого типа выполнена по двухконтурной схеме. Контур охлаждения включает ВТСП-кабель в криостате, циркуляционный насос, теплообменник и емкость с переохлажденным азотом. Газовый (гелиевый) контур переохлаждения состоит из первичной спирали теплообменника, компрессора и детандера. Этот контур обеспечивает понижение температуры азота после его нагрева при прохождении контура охлаждения.

СХЕМА ПРОКАЧКИ ВТСП-КАБЕЛЯ И СХЕМА КРИОГЕННОЙ СИСТЕМЫ

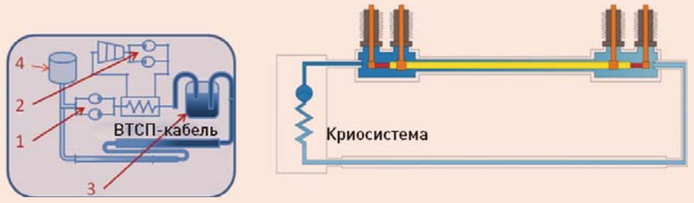


Рис. 6

Рис. 7
Внешний блок криогенной станции на испытательном полигоне

ХАРАКТЕРИСТИКИ КВПУ

Схема КВПУ	12-пульсная
Сетевое напряжение	110/8,7 кВ
Напряжение на стороне постоянного тока	20 кВ
Номинальный ток	2500 А
Номинальная мощность	50 МВт
Реверс передачи	Предусмотрен

Таблица 2

Для повышения надежности системы и предотвращения аварийных ситуаций в криогенной системе предусмотрено дублирование циркуляционного насоса (1), дублирование компрессора (2), наличие запаса переохлажденного азота (3) и запаса азота в заправочной емкости (4) при атмосферном давлении. Все элементы криогенной системы смонтированы на полигоне АО «НТЦ ФСК ЕЭС» (рис. 7) для прохождения ресурсных испытаний в сборе с КЛ.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПОДСТАНЦИЯ

Две комплексные вентильные преобразовательные установки (КВПУ), размещаемые по концам линии передачи постоянного тока, связывают ее с сетями переменного напряжения. КВПУ собраны по 12-пульсной схеме и снабжены L-C фильтрующими цепями и системой управления, релейной защиты и автоматики. Общая схема включения линии показана на рис. 8.

КВПУ выполняются по схеме двухмостового 12-пульсного ведомого (коммутируемого) сетью преобразователя. Полюсы постоянного тока двух КВПУ соединяются через сверхпроводящий кабель. Преобразовательные трансформаторы — трехфазные трехобмоточные. На стороне постоянного тока предусмотрены цепи фильтрации сигнала, настроенные на шестую и двенадцатую гармоники.

Проектом предусматривается двусторонняя передача энергии, и каждый из КВПУ рассчитывается на работу как в инверторном режиме, так и на работу в режиме выпрямителя. Предусматривается также регулирование передаваемой мощности. Изменениям передаваемой мощности сопутствуют изменения реактивной мощности вентильных преобразователей. Соответственно, предусмотрено регулирование реактивной мощности. Оно осуществляется переключениями фильтро-компенсирующих конденсаторных батарей. Основные технические характеристики преобразовательной установки приведены в табл. 2.

На рис. 9 показаны тиристорные блоки в сборе.

СХЕМА ВКЛЮЧЕНИЯ ВТСП КЛ С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ СЕТЬ

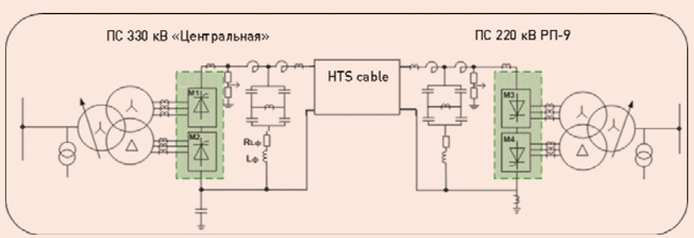


Рис. 8

Рис. 9
Блоки тиристорных вентилей БВ ТВ-835/8,27 УХЛ4.2 с реакторами РФЗОС-20-2200-0,03 У3

ВИДЫ ИСПЫТАНИЙ

Вид испытаний	Объект испытаний	Температура, К		Результат
		300	78	
Визуальный контроль	Все	*		Успешно
Вакуумная плотность	Прокачной объем	*		Успешно
	Криостат	*	*	Успешно
	Муфты	*	*	Успешно
Испытания высоким давлением	Кабель в криостате	*		Успешно
	Муфты	*		Успешно
Высоковольтные испытания	Муфты	*	*	Успешно
	Основная изоляция		*	Успешно
	Экранная изоляция		*	Успешно
Измерение сопротивления	Проводники	*		Успешно
	Муфты	*	*	
Испытания на изгиб	Кабель	*	*	Успешно
Перегрузочные испытания	Кабель		*	Успешно
Измерения критического тока	Прямой проводник		*	Успешно
	Обратный проводник		*	Успешно
Испытания токами КЗ	Кабель		*	Успешно
Измерение падения давления по длине	Кабель в криостате		*	Успешно
Измерение гидравлического сопротивления	Кабель в криостате		*	Успешно
Термоциклирование	Кабель в криостате	*	*	Успешно

Таблица 3

ИСПЫТАНИЯ ВТСП КЛ

ВТСП КЛ и ее элементы были подвергнуты испытаниям, перечень которых представлен в табл. 3. Были протестированы два 30-метровых образца кабеля, две полномасштабные длины (430 м), три пары токовых вводов и три соединительные муфты. При составлении программы испытаний принимались во внимание требования ГОСТа на испытания аналогичных кабелей традиционного исполнения [5] и рекомендации СИГРЭ по испытаниям сверхпроводящих кабелей [6]. Все кабели и арматура успешно выдержали испытания.

Предварительные испытания проводились с размещением потенциальных контактов в криогенной зоне на сверхпроводящих лентах, концевых и соединительных муфтах на опытном образце, который включал два 30-метровых отрезка кабеля, соединительную и концевые муфты [7]. Основными целями первого испытания были: проверка технологии изготовления кабеля, измерения электрического сопротивления и вакуумной плотности муфт. Электрическое сопротивление соединительной муфты составило менее одного микроома. Сопротивление токовых вводов (включая «теплую» часть) было на уровне 20–21 μОм при 80 К, что соответствует генерации тепла в размере не более 140 Вт при номинальном токе. Сопротивление токовых вводов оставалось стабильным вплоть до тока 5000 А. Затем потенциальные контакты были удалены из криогенной зоны и размещены на «теплых» концах токовых вводов. После этого были проведены измерения критического тока в диапазоне температур 68–78 К и высоковольтные испытания. Критический ток двух ВТСП-проводников был в пределах 3420–3550 А при 78 К. При понижении температуры до 68 К критический ток возрастал более

ВОЛЬТАМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА 860-МЕТРОВОЙ ЛИНИИ И ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ КРИТИЧЕСКОГО ТОКА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЛЯ 60-МЕТРОВОЙ ЛИНИИ

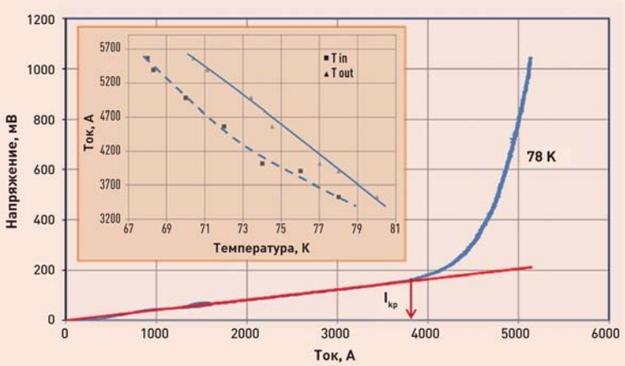


Рис. 10

чем до 5000 А [6]. Критический ток кабеля был практически равен сумме критических токов исходных сверхпроводящих лент, что свидетельствует о разработке надежной технологии изготовления ВТСП-кабеля.

Полномасштабные испытания были проведены на двух строительных длинах кабеля в сборе с двумя токовыми вводами и одной соединительной муфтой [8]. Общая длина линии составляла 860 м. Вольтамперная характеристика линии и критический ток показаны на рис. 10. На вставке к рисунку показана также зависимость критического тока от температуры на входе и выходе кабельной линии.

Гидравлические испытания проводились при установившемся расходе хладагента, равном 30 л/мин. При этом перепад давления по длине составлял 0,43 атм, что при линейной аппроксимации к длине 2,5 км соответствует 1,25 атм. Полученное число несколько ниже теоретически ожидаемого (см. рис. 5), что свидетельствует о дополнительном резерве по сравнению с теоретическими оценками. Коэффициент гидравлического сопротивления был равен 0,0672.

Все кабели выдержали высоковольтные испытания выпрямленным напряжением 50 кВ для основной изоляции и 10 кВ для изоляции экрана в течение 30 мин.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

НИОКР по созданию сверхпроводящей КЛ постоянного тока для электрической сети Санкт-Петербурга успешно завершен, все оборудование изготовлено и испытано. В настоящее время линия проходит ресурсные испытания на полигоне АО «НТЦ ФСК ЕЭС». Ввод линии в опытную эксплуатацию планируется к 2020 г.

Полученный в рамках выполнения НИОКР опыт позволяет прогнозировать увеличение мощности ВТСП КЛ до 150–250 МВт на распределительном напряжении и до 500–1000 МВт при напряжении 50–110 кВ при минимальном объеме НИОКР. Успешная реализация данного проекта будет первым шагом к внедрению технологии ВТСП в электрические сети мегаполисов и ускорителем процессов внедрения иных ВТСП-устройств в электроэнергетику.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.Е. Сытников. Состояние работ по созданию сверхпроводящих кабельных линий в России и мире. Краткий обзор. // Энергия единой сети. 2017. № 1. С. 14–27.
2. В.Е. Сытников, Т.В. Рябин, Д.В. Сорокин. Применение ВТСП кабельных линий постоянного тока в электроэнергетике. // Энергия единой сети. 2015. № 3. С. 28–39.
3. A. Naumov, D. Diev, O. Anashkin, A. Denisov, V. Keilin, V. Kovalev, V. Lobyntsev, V. Shcherbakov, D. Shutova, V. Sytnikov. Current Leads and Joints for HTS DC Cable of 2.5 kA 20 kV. // Advances in Cryogenic Engineering. Transaction of the CEC.Vol. 1573/ 2014. P. 1692–1695.
4. В.Е. Кейлин, В.Е. Романовский. Оптимизация выбора материалов для токовых вводов и криогенной техники для гибридных токовых вводов. // Препринт КИАЭ 6682/10. М.: 2011.
5. ГОСТ 18410-73. Кабели силовые с пропитанной бумажной изоляцией. Технические условия.
6. Brochure CIGRE 538. "Recommendations for testing of superconducting cables". June 2013.
7. V.E. Sytnikov, S.E. Bemert, S.I. Kopylov, M.A. Romashov, T.V. Ryabin, Yu.G. Shakaryan, V.V. Lobyntsev. Status of HTS Cable Link Project for St. Petersburg Grid // IEEE Transactions on Applied Superconductivity 06/2015. V. 25. Issue 3. Part 2. Article # 5400904.
8. V.E. Sytnikov, S.E. Bemert, I.V. Krivetsky, V.N. Karpov, M.A. Romashov, Yu.G. Shakarian, A.A. Nosov, S.S. Fetisov. The test results of AC and DC HTS cables in Russia. // IEEE Transactions on Applied Superconductivity. V. 26. No 3. April 2016. Article # 5401304.

ВСЕ ВАЖНЫЕ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИКИ РЕЕСТРЫ — НА РАССТОЯНИИ В ОДИН КЛИК

На правах рекламы

ТЕХЭКСПЕРТ

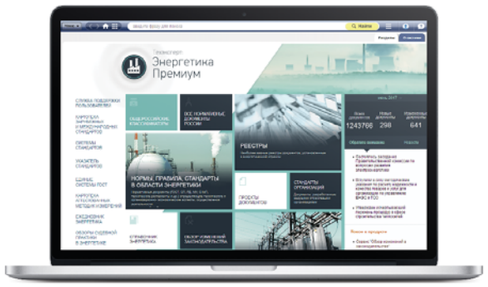
Техрегулирование в энергетической отрасли — сложный и недостаточно проработанный процесс. Чтобы сориентироваться в разнородной информации, организации вынуждены искать или самостоятельно создавать стандарты отрасли и следить за их внедрением в дочерних структурах и у более мелких игроков рынка. Получить доступ к важнейшим документам от крупных разработчиков и упростить работу стандартизатора на энергетическом предприятии поможет профессиональная справочная система «Техэксперт: Энергетика Премиум», которая пополнилась разделом «Реестры». Обратившись к разделу, специалисты смогут сэкономить свое время и использовать актуальные и наиболее важные подборки НТД и НПА в энергетической отрасли.

ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ

Инициатором разработок НТД и регламентов становятся не только госорганы, но и коммерческие компании. Перед всеми энергетиками встает вопрос об анализе и внедрении таких стандартов в собственные бизнес-процессы. Среди тех СТО, что уже официально введены в использование на уровне отрасли, большинство документов носят лишь рекомендательный характер. Помимо этого, остро стоит вопрос и о выборе регулирующих документов, которые положат основу созданию собственной системы регулирования НТД. До сих пор у специалистов не было возможности получить единовременный доступ к реестрам документов крупнейших организаций-разработчиков, что могло грозить различными рисками.

ПОД ОДНОЙ КНОПКОЙ

Раздел «Реестры» — уникальный справочный контент, в котором под одной кнопкой можно найти СТО, утвержденные реестры в виде таблиц, поясняющие, какие реестры НТД и НПА есть у эмитента и на что они распространяются. Среди важных документов — Единый реестр НТД ПАО «Россети», в котором сведен и актуализирован список документов, регламентирующих общие правила развития магистральных и распределительных сетей, их функционирования и технического обслуживания. В системе также расположены реестры государственных и частных организаций, таких как Ростехнадзор и Совет рынка, ПАО «ФСК ЕЭС», ОАО «ВТИ», ОАО «Монтажавтоматика» и др.



Профессиональная справочная система «Техэксперт: Энергетика Премиум»

УДОБНАЯ АНАЛИТИКА

Все документы, перечисленные в реестрах, снабжены гиперссылками на тексты документов, что позволяет открыть их в системе «Техэксперт», сохранить их к себе на компьютер, переслать коллеге или воспользоваться удобными аналитическими сервисами для работы с документом.

Более подробно узнать о возможностях системы «Техэксперт: Энергетика Премиум» можно на сайте: www.cntd.ru.

Информационная сеть «Техэксперт»
8-800-555-90-25