

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ КАБЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Шлепикова А.Н.

Научный руководитель – МЫШКОВЕЦ Е.М.

В начале века, когда только началась разработка опытно-промышленных образцов сверхпроводниковых кабелей, трудно было представить, какие же будут итоги. По самым оптимистичным прогнозам в 2012 году ожидалось массовое промышленное производство сверхпроводниковых кабелей, по самым пессимистичным – на 2008 год планировался лишь запуск в эксплуатацию первых опытно-промышленных образцов.

1911 год: низкотемпературная сверхпроводимость

Хотя явление сверхпроводимости было открыто более ста лет назад, широкого применения в технике оно пока не нашло и лишь сегодня начинает постепенно завоевывать такие отрасли промышленности, как энергетика. Сверхпроводимость - это способность некоторых материалов при охлаждении ниже определенной температуры, именуемой критической температурой перехода, полностью утрачивать электрическое сопротивление и проводить электрический ток без потерь.

Долгое время науке были известны только сверхпроводники с крайне низкими критическими температурами перехода, лишь очень незначительно превышающими абсолютный нуль. Но поддержание столь низких температур требует использования капризного в эксплуатации жидкого гелия, что делает всю затею не только сложной, но и чрезвычайно дорогой, поэтому о применении сверхпроводимости в технических устройствах не могло быть и речи.

1986 год: высокотемпературная сверхпроводимость

Однако четверть века назад был открыт новый класс соединений, переходящих в сверхпроводящее состояние при гораздо более высоких температурах. Это - металлооксидные керамики. В обычных условиях они вообще не проводят электрический ток, зато становятся сверхпроводниками при температурах, намного превышающих температуру кипения жидкого азота. Поскольку же жидкий азот гораздо проще в обращении и несравненно дешевле, чем жидкий гелий, использование высокотемпературных сверхпроводников в технике постепенно становится реальностью.

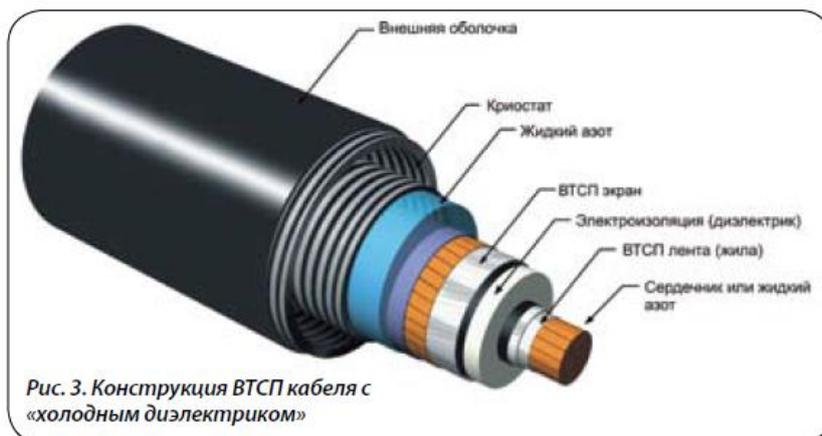
Важное преимущество сверхпроводящего кабеля перед стандартным медным состоит в практически полном отсутствии потерь при транспортировке электроэнергии. Помимо этого, сверхпроводник может обеспечить значительно более высокую плотность тока, нежели обычный медный проводник. Это чрезвычайно ценное свойство, если иметь в виду сферу энергетики. Трансформаторы, генераторы и кабели в сверхпроводящем исполнении будут намного компактнее, эффективнее и экономичнее обычных.

Главные недостатки - сложность и дороговизна. Конкретно через сверхпроводящий кабель можно пропустить в пять раз больше электроэнергии, чем через медный кабель того же сечения. Правда, нельзя не признать, что сверхпроводящий кабель - гораздо более сложное и дорогое устройство. Оно представляет собой многослойную коаксиальную конструкцию: внутренней осью служит трубка, по которой циркулирует жидкий азот, затем, если кабель предназначен для трехфазного тока, идут три слоя керамических сверхпроводников, разделенные слоями изоляции, потом - нейтральный провод, поверх него - еще одна трубка с жидким азотом, а поверх нее - вакуумная теплоизоляция по принципу термоса и наружная оболочка.

Для ознакомления с конструкцией высокотемпературного сверхпроводящего (ВТСП) кабеля рассмотрим в общих чертах два его исполнения, принципиально отличающихся друг от друга, — с «теплым» (рис.2) и «холодным диэлектриком» (рис.3). Кабель с «теплым диэлектриком» конструктивно сходен с традиционным кабелем. Охлаждение ВТСП жил производится жидким азотом. Диэлектрик накладывается поверх криостата, что позволяет

применять обычные изоляционные материалы. Следует отметить, что при производстве и монтаже такого кабеля можно использовать те же технологии, что и для обычных кабелей. Сечение криостата ВТСП кабеля с «теплым диэлектриком» меньше, чем у кабеля с «холодным диэлектриком», следовательно, его гидравлическое сопротивление будет также выше, что усложняет систему криогенного обеспечения и накладывает ограничение на максимальную длину кабельной линии. Конструкция соединительных и тоководных муфт также усложняется по сравнению с ВТСП кабелем с «холодным диэлектриком».

В кабеле с холодным диэлектриком ВТСП жила кабеля окружена коаксиальным сверхпроводящим экраном (также навитым из ВТСП лент), служащим для экранирования магнитного поля. Диэлектрик, располагается между ВТСП жилой (жилами) и экранирующим



слоем. Несомненным плюсом ВТСП кабелей с холодным диэлектриком является возможность размещения всех трех фаз в общем криостате (для класса напряжений до 35 кВ). Недостатками ВТСП кабеля с «холодным диэлектриком» является сложная технология изготовления и увеличенный расход сверхпроводящих материалов. Минимально допустимый радиус изгиба для кабелей с холодным диэлектриком также выше, чем для кабелей с теплым диэлектриком. Несмотря на это, данная конструкция получила большее распространение среди разработчиков.



В состав ВТСП КЛЭП входит не только кабель, но и система криогенного обеспечения (для охлаждения кабеля жидким азотом), концевые и соединительные муфты (как и для обычных кабелей), система мониторинга. Поэтому в связи со сложностью всех элементов (в том числе в составе самого кабеля), ни одна компания в мире пока не может реализовать проект только своими силами, и каждый существующий образец кабеля выполнялся несколькими фирмами одновременно.

Используя такие сверхпроводящие кабели, энергетики смогут обойтись более низким напряжением и вместо высоковольтных линий электропередачи (110 киловольт) строить линии среднего напряжения (10 киловольт). А это, в свою очередь, позволит отказаться от возведения понижающих трансформаторных подстанций, что в густонаселенных городах особенно важно. Одна такая распределительная подстанция в центре города требует помещения размером с большой физкультурный зал. Благодаря сверхпроводящим линиям электропередачи мы сможем избавиться от этих громоздких сооружений. Взамен нам понадобятся только охлаждающие установки, но они гораздо компактнее - примерно с гаражный бокс на две машины.

Параллельные испытания в Эссене и Карлсруэ

Но это все - теория. Чтобы проверить концепцию на практике, Технологический институт в Карлсруэ совместно с немецким энергетическим концерном RWE и французской компанией Nexans - крупнейшим в мире производителем кабелей - разработал проект под названием AmraCity. Цель - прокладка в центре Эссена между двумя трансформаторными подстанциями подземного сверхпроводящего кабеля среднего напряжения взамен стандартного высоковольтного. Это будет самая протяженная в мире сверхпроводящая линия электропередачи - длиной в километр. Она отеснит на второе место нынешнего рекордсмена - кабель длиной в 600 метров в Нью-Йорке.

Эссенская трехфазная линия рассчитана на мощность 40 мегаватт и напряжение 10 киловольт, рабочая температура - минус 180 градусов Цельсия. Укладка кабеля должна быть завершена к концу 2013 года. А затем параллельно с полевыми испытаниями линии в Эссене начнутся лабораторные опыты в Карлсруэ. Здесь построен специальный стенд для экспериментов на коротком, длиной всего в 2 метра, отрезке такого же кабеля. Это позволит выяснить целый ряд вопросов, ответы на которые едва ли сможет дать пробная эксплуатация линии в Эссене: например, как поведет себя сверхпроводящий кабель в условиях перегрузки.

Заключение

Учитывая преимущества ВТСП-кабелей и интенсивность исследований и разработок в области ВТСП-технологий следует ожидать, что в ближайшее время ВТСП-кабели будут все более широко использоваться для глубокого ввода электроэнергии в крупные мегаполисы и энергоемкие комплексы, для замены отслуживших свой срок КЛ традиционного исполнения, при необходимости увеличения передаваемой мощности и при повышенных требованиях с точки зрения пожаробезопасности и экологии, а также для вывода мощности от крупных электростанций и для преодоления водных преград.