

УДК 621.3

## КАБЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Мышковский Д.Г., Хомякова А.П.

Научный руководитель – старший преподаватель Тетерина Л.В.

Развитие технологии изготовления высоковольтного кабеля позволило создавать кабель с изоляцией из поперечно-сшивного полиэтилена, допускающего высокую напряженность. Сегодня этот кабель широко применяется в подземных распределительных и промышленных сетях. Имеется много примеров применения такого кабеля на напряжение выше 400 кВ. Одной из главных причин замены воздушных линий кабельными является повышение надежности энергоснабжения. Считается, что рабочая напряженность в таком кабеле сегодня может быть равной 15 кВ/мм (действующего значения), что подтверждено существующими кабельными линиями на напряжение 500 кВ. По практическим мотивам в настоящее время для рассматриваемых напряжений в кабельных трансформаторах применяется кабель с рабочей напряженностью около 10 кВ/мм. В будущем могут быть использованы более высокие напряженности.

При изготовлении кабельного трансформатора был использован кабель, изготовленный на заводе АВВ в Карлскрона (Швеция). В таком кабеле токопроводящие медные или алюминиевые жилы окружены общим полупроводящим цилиндрическим экраном, позволяющим снизить высокую напряженность электрического поля на жилах проводника и сделать его квазиравномерным на поверхности экрана. Далее идет изоляция из поперечно сшивного полиэтилена, наружный слой которого также сделан полупроводящим. При относительно малом диаметре такого кабеля он может быть использован для изготовления трансформатора. При применении такого кабеля для обычных целей он должен быть снабжен защитной оболочкой, предохраняющей от воздействия земли и воды.

Первый кабельный трансформатор был изготовлен фирмой АВВ и поставлен энергетической компании в Швеции. Это был трехфазный трансформатор мощностью 20 МВА и напряжением 140/6,6 кВ. Обмотка ВН слоевая намотана полиэтиленовым кабелем. Дистанцирующие рейки между слоями на концах закреплены радиальными концевыми деталями, изготовленными из стеклопластика. Аксиальные рейки изготовлены из немагнитного проводящего материала. Их назначение создавать каналы между слоями, обеспечивать охлаждение, создавать механический каркас обмотки и заземление кабеля.

Функции отдельных частей кабельного трансформатора определены более четко, чем обычных трансформаторах. Так, кабель полностью обеспечивает электрическую изоляцию обмотки. Воздух служит только для охлаждения, и не выполняет функции изоляции, как в обычных сухих трансформаторах. Главной функцией немагнитных металлических реек является обеспечение механической прочности обмоток, в том числе при воздействиях токов короткого замыкания. В отличие от обычных трансформаторов, обмотка не требует прессовки с опорой на ядро. Все это позволяет лучше оптимизировать отдельные части трансформатора.

Испытания кабеля были проведены на однофазной модели мощностью 10 МВА, с напряжением 52/17 кВ. Обмотка в отличие от обычных трансформаторов не требует сжатия с опорой на ядро. В нормальном режиме механической нагрузкой на кабель является только собственный вес, обычно составляющий 3 кг/м. Кабель способен выдерживать такую нагрузку, что подтверждено длительными испытаниями. Испытания на прочность при воздействии токов короткого замыкания проводились в соответствии с МЭК 600.76 и стандартом IEEE C.57.1201. Модель имела полное сопротивление к.з. 8,1% и номинальный ток обмотки НН равный 1118 А. Ток короткого замыкания составил 12600 А (действующий) и пиковое значение асимметричной составляющей 32000 А. Длительность воздействий была 500 мс. Испытания проводились при температуре 25 °С и 70 °С. Количество ударов равно 3. Вышеуказанные стандарты не содержат указаний о температуре трансформатора во время

испытаний. Однако известно, что механические свойства полиэтиленового кабеля изменяются с изменением температуры и, особенно, при высоком ее значении. Поэтому испытания при полном токе короткого замыкания были также проведены при рабочей температуре трансформатора.

При повреждении обычного маслonaполненного трансформатора всегда есть опасность возгорания масла. В случае разрыва бака горящее масло разливается вокруг трансформатора. В кабельном трансформаторе количество горючих материалов гораздо меньше, чем в обычном. Кроме того, горючесть материалов, применяемых в кабельном трансформаторе, имеет меньшую тенденцию к развитию возгорания, чем горючие материалы, применяемые в обычном трансформаторе.

Простота конструкции кабельного трансформатора позволяет предположить о более высокой его надежности по сравнению с обычными трансформаторами.

Чтобы определить возможную повреждаемость трансформатора, можно выяснить повреждаемость отдельных его частей и определить повреждаемость всего трансформатора. Тем же методом определяется среднее время между ремонтами и среднее время нахождения трансформатора в ремонте. Так как компоненты кабельного трансформатора имеют длительную историю, можно предсказать их надежности в составе кабельного трансформатора. Для этого были использованы статистические данные о повреждаемости трансформаторов и отдельных его частей, включая кабель и все вспомогательное комплектующее оборудование.

Экологические преимущества и безопасность кабельных трансформаторов позволяет приблизить их установку к местам потребления энергии, в том числе к бытовым потребителям. Кабельные трансформаторы обладают повышенной надежностью благодаря простоте конструкции и высокой надежности кабеля. Благодаря отсутствию масла кабельные трансформаторы меньше воздействуют на окружающую среду, чем маслonaполненные, и более безопасны. Кабельные трансформаторы открывают новые возможности для глубокого ввода энергоснабжения на высоком напряжении в густонаселенные районы, где имеются высокие требования к пожаро и взрывобезопасности и снижению загрязнения воздуха и почвы.

Фактором, препятствующим промышленному применению кабельных трансформаторов в настоящее время, является их высокая стоимость.