



Сухие трансформаторы, обеспечивающие высокий уровень экологической и эксплуатационной безопасности, приобретают все большую популярность во всем мире

Довгий Александр,
aa@sea.com.ua

Сухая ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ

Трансформатор — один из важнейших и обязательных элементов энергосистемы. Изобретение трансформатора более 120 лет назад дало возможность генерировать электроэнергию на одном уровне напряжения, а для минимизации потерь на ее передачу — использовать более высокое напряжение. Также трансформаторы позволяют осуществить обратное преобразование (понижение) напряжения непосредственно перед потребителем до уровня, на который рассчитаны его электроустановки. На сегодня парк трансформаторов Украины и России быстро стареет, поскольку установлены они, в основном, в 60-70-х гг. прошлого столетия. На большинстве объектов установлены и устанавливаются масляные трансформаторы, что обычно обусловлено их относительно невысокой стоимостью. Однако масляные трансформато-

ры имеют ряд серьезных недостатков, такие как: пожароопасность и экологическая опасность утечки масла. Кроме того, в трансформаторе необходимо постоянно осуществлять контроль уровня и качества масла. Также их масса и габаритные размеры превышают аналогичные по мощности сухие трансформаторы. Это, безусловно, усложняет их эксплуатацию и не позволяет применять масляные трансформаторы на объектах, расположенных максимально близко к потребителям.

Трансформаторы без масла

Быстрое развитие научного прогресса, а также повышенные нормы безопасности эксплуатации высоковольтного оборудования привели к появлению другого типа оборудования — сухих трансформаторов. При этом значительно снижаются потери при передаче электроэнергии в сетях низкого

напряжения, и отпадает необходимость отводить под строительство отдельного здания ТП (трансформаторной подстанции) столь дорогую ныне землю. К тому же нет необходимости строить само здание ТП.

Режим работы трансформатора в современных условиях эксплуатации определяется ростом потребления электроэнергии: ключевой элемент подстанции должен выдерживать огромные нагрузки, причем нередко в экстремальных условиях окружающей среды. При этом, современная эксплуатация предъявляет жесткие требования не только к основным техническим характеристикам оборудования, но и к его экологичности. Растущий спрос на безопасное электрооборудование, в том числе и экологически безопасное, обладающее вместе с тем высоким энергетическим КПД, могут удовлетворить только сухие трансформаторы.

К примеру, сухие трансформаторы с литой изоляцией производства компании SEA SpA (www.seatrasformatori.it) в отличие от маслонаполненных, обеспечивают высокий уровень экологической и эксплуатационной безопасности. Они компактны, устойчивы к воздействию влаги, не требуют применения дополнительных противопожарных мер в местах установки. Затраты на их эксплуатацию минимальны. Благодаря своим многочисленным достоинствам сухие трансформаторы приобретают все большую популярность во всем мире. Их широко применяют в системах распределения электроэнергии в торговых центрах, больницах, на заводах и фабриках, судах, объектах нефтегазодобывающей промышленности, — словом везде, где особое значение имеет высокий уровень безопасности людей, оборудования и окружающей среды.

Производство трансформаторов

Говоря об особенностях различных вариантов конструктивного исполнения и технологий изготовления сухих трансформаторов, представленных на рынке, следует отметить, что наиболее критичный и ответственный элемент конструкции сухого трансформатора, определяющий его потребительские свойства, — это обмотки высокого напряжения. Их качество зависит от используемых материалов и технологии изготовления. В них механическая жесткость конструкции обмотки обеспечивается применением специального наполнителя, который состоит из эпоксидной смолы с инертными и огнестойкими добавками. При этом процесс смешивания и заливки осуществляется в вакууме, чтобы исключить любое проникновение газа. Цикл полимеризации, управляемый системой контроля, выполняется при двух различных значениях температуры, чтобы обеспечить правиль-

ное гелеобразование и, соответственно, полимеризацию. Это позволяет существенно улучшить механические, теплопроводящие и противопожарные свойства трансформаторов с литой изоляцией. Такая технология придает обмоткам высокие диэлектрические свойства с предельно низким уровнем возникновения частичных разрядов.

Кроме этого, литая обмотка дает возможность в небольших габаритных размерах получить мощные сухие трансформаторы для использования в сетях с более высоким уровнем напряжения (рис. 1). На производстве обмотка высокого напряжения изготавливается с применением автоматической намотки (рис. 2) и состоит из набора катушек, выполненных из ленточного алюминия (рис. 3). Изоляция между витками выполняется с помощью полиэфирной пленки.

Катушка армируется стекловолокном, подвергается глубокой сушке и затем заливается в вакууме эпоксидной смолой класса «F», смешанной с кварцем и тригидрооксидом алюминия. Благодаря такой технологии достигаются превосходные механические характеристики и соответствие классам C1 и C2 нормативной документации CENELEC. Многолетний опыт использования автоматического оборудования на производстве (контроль всех процессов производства) позволяет обеспечить крайне низкий уровень частичных разрядов и, как следствие, высокую надежность и длительный срок службы.

Выводы регулировки напряжения (как правило, $\pm 2 \times 2,5\%$) выполнены непосредственно по центру обмотки. Контактные соединения осуществляются с помощью латунных перемычек (пластин), фиксируемых болтами. Обмотка низкого напряжения выполнена из алюминиевой фольги, изолированной диэлектрической плен-



Рис. 1. Сухой трансформатор большой мощности

кой класса «F». Сборка обмотки выполняется по технологии «pre-peg» с сушкой в печи. В основе этой технологии лежит использование в качестве изоляции между отдельными витками импрегнированной (пропитанной) эпоксидной смолой изоляционной пленки, изготовленной из композитного пластика. Выводы обмотки НН выполнены из набора алюминиевых пластин, сваренных в инертной среде и жестко закрепленных к каркасу при помощи опорных изоляторов.

Такая конструкция обеспечивает повышенную стойкость к влажности и агрессивной промышленной среде, большую диэлектрическую прочность, высокую электродинамическую стойкость трансформатора в режиме короткого замыкания.

По желанию заказчика обмотки могут быть выполнены из меди или изготовлены со специфическими свойствами. Выводные зажимы обмоток, механически прикрепленные к держателям — практичны, компактны и легкодоступны.

Еще одним важным элементом сухого трансформатора является магнитный сердечник, который изготавливается из магнитной пластины с ориентированной зернистой структурой. Благодаря тонкой прокладке из неорганического материала Carlyte, установленной с обеих сторон магнитной пластины, она надежно защищена от удельных потерь и обладает высокой магнитной проницаемостью. Составные части сердечника расположены под углом 45° , с перекрывающимися соединениями

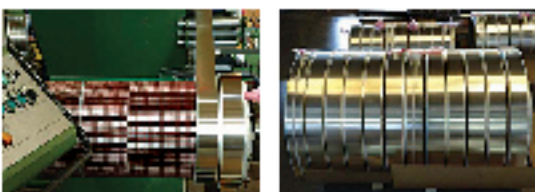


Рис. 2, 3. Автоматическая намотка из катушек, выполненных из ленточного алюминия

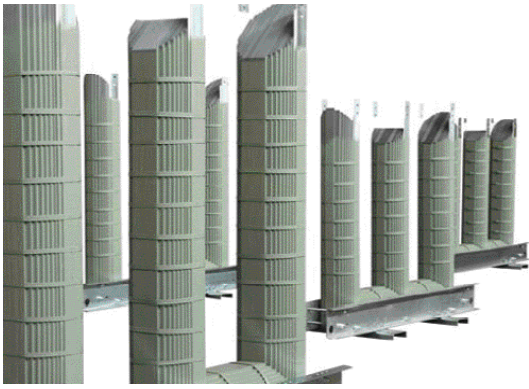


Рис. 4. Магнитный сердечник трансформатора

между отдельными пластинами — технология step lap (рис. 4), что снижает потери и ток холостого хода, а также уровень шума трансформатора.

Такие особенности сборки, как насаживание обмотки низкого напряжения на сердечник и удержание в этом положении при помощи специальных пластин из стекловолокна, выполнение вводов низкого напряжения из медных шин, соединяющихся между собой и фиксирующихся на профиле сердечника с помощью стекловолоконных распорок, фиксирование обмотки высокого

напряжения изолирующими распорками, с расчетом возникновения температурных расширений под воздействием тока нагрузки, существенно повышают надежность трансформаторов.

Технология производства компании SEA SpA позволяет изготовить трансформаторы мощностью от 50 кВА до 25 МВА. Возможны специальные индивидуальные исполнения трансформаторов:

для эксплуатации при температуре окружающей среды от -50 до $+55$ °С, сейсмостойкие, в специальном усиленном исполнении с внутренними каркасами жесткости (выдерживают без повреждений землетрясения силой до 9 баллов по шкале MSK), класса нагревостойкости Н/Н, с уменьшенными потерями и улучшенными шумовыми характеристиками, с противовибрационными приспособлениями, с вентиляторами принудительного охлаждения и приборами автоматики, в специальном исполнении для эксплуатации на высоте более 1000 м над уровнем моря, с блоком конт-

роля температуры трансформатора, с защитным кожухом IP21, 23, 31.

Трансформаторы производства SEA SpA подвергаются типовым испытаниям согласно предписаниям нормативной документации IEC60076-11. Возможно проведение всех типовых и специфических испытаний, предусмотренных нормативно-технической документацией заказчика: нагрев трансформатора под нагрузкой (имитация), метод последовательного включения машин (проверка потерь), устойчивость к грозовым и остаточным перенапряжениям, измерение уровня шума, измерение содержания гармонических составляющих тока холостого хода, измерение полярного сопротивления, измерение емкостей обмоток, испытание динамической стойкости току короткого замыкания (проводятся в независимой аккредитованной лаборатории), испытание на огнестойкость и проверка соответствия климатическим классам (проводятся в независимой аккредитованной лаборатории), другие специфические испытания, по желанию заказчика (электромагнитная эмиссия, тепловые удары и пр.).