

# Сухие трансформаторы ТСЛ/ТСЗЛ

Сегодня сухие трансформаторы всё чаще выбирают вместо масляных как более безопасное решение для объектов с повышенными требованиями к пожарной и экологической безопасности. Однако эксплуатация сухих трансформаторов накладывает свои требования: устойчивость к перегрузкам, вибрациям, низким температурам, перенапряжениям и агрессивной среде. Мы поговорили с **Сергеем Шаровым**, заместителем генерального директора по региональному развитию компании «ЭНЕРГОПРОМ-АЛЪЯНС», которая является производителем и поставщиком электротехнического оборудования классов напряжения 0,4–35 кВ. В беседе затронуты темы конструктивных особенностей трансформаторов ТСЛ/ТСЗЛ, используемых технологий и преимуществ, которые эти решения дают конечному потребителю. ■■■■

**ЦИТАТА:** Если величина частичных разрядов не больше 10 пикокулон, как по ГОСТу положено, то такой трансформатор может проработать 30 лет. Но если показатель превышен, то трансформатор проработает два-три года и сгорит. А то, что он сгорел из-за внутренних причин, из-за превышения уровня частичных разрядов, доказать будет уже нельзя.

*Сергей Александрович! Давайте поговорим о деградации изоляции и ее предупреждении. У трансформаторов ТСЛ/ТСЗЛ заявлен очень низкий уровень частичных разрядов. Как этого добиться и что это дает потребителю?*

Трансформатор с литой изоляцией был разработан в конце 1960-х годов и изначально предназначался на мощности не более 1000 кВА. Но сейчас, в 2025 году, средняя мощность трансформаторов — 2500 кВА. При изготовлении таких трансформаторов используется достаточно большой объем смолы, и для проверки ее качества существует два типа испытаний: это измерение величины частичных разрядов и измерение температуры стеклования изоляционного компаунда.

Нам удалось снизить величину частичных разрядов до уровня, соответствующего требованиям международных стандартов, — не более 5 пикокулон. Хотя по российскому ГОСТу допускается не более 10 пикокулон.

Мы этого добились благодаря самой современной заливочной линии в России — линии вакуум-давления. При заливке трансформаторов мы не просто используем вакуум, как все остальные, а создаем так называемую пропульсацию, то есть вакуум-давление. Вот как бетон утрясается, вибрирует — приблизительно тот же процесс происходит в автоклавах, благодаря чему все пузырьки воздуха, которые были в компаунде, полностью исключаются из обмотки.

Частичные разряды — очень вредная вещь. Они проявляются не сразу, их не выявишь на приемосдаточных испытаниях у заказчика. Частичные разряды возникают со временем и постепенно разрушают изоляцию, в результате чего происходит либо пробой изоляции, либо межвитковое замыкание. Здесь и определяется срок жизни трансформатора. Если величина частичных разрядов не больше 10 пикокулон, как по ГОСТу положено, то

такой трансформатор может проработать 30 лет. Но если показатель превышен, то трансформатор проработает



▲ С. А. Шаров, заместитель генерального директора по региональному развитию

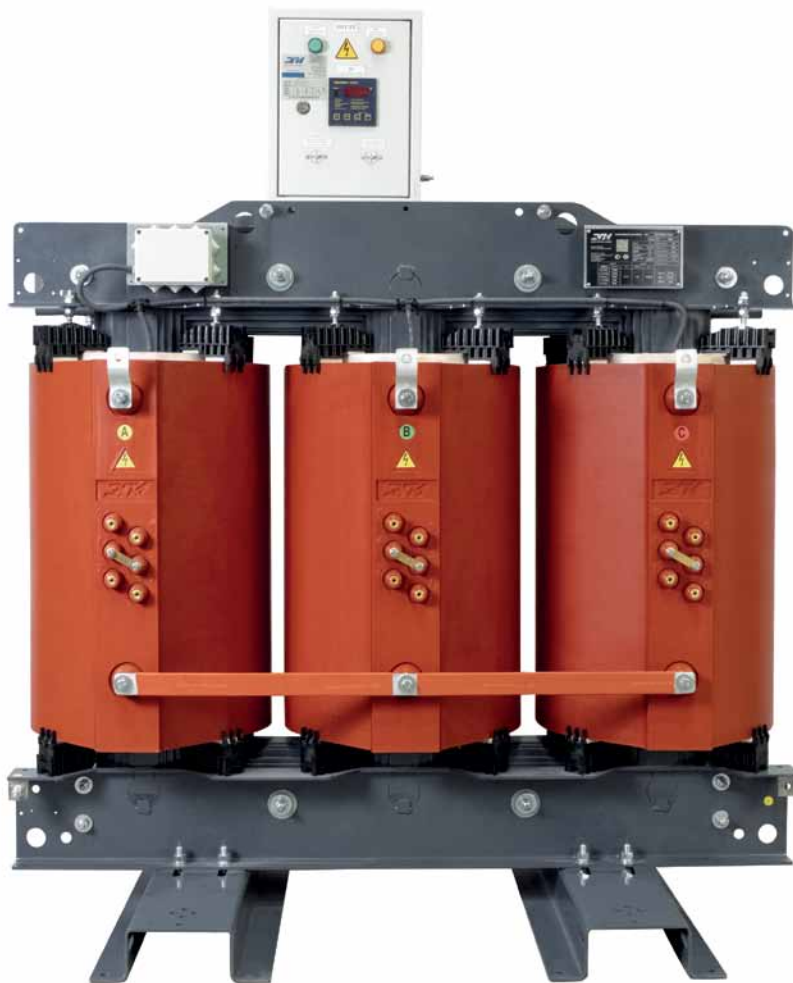


Рис. 1. Трансформатор ТСЛ/ТСЗЛ: внешний вид

два-три года и сгорит. А то, что он сгорел из-за внутренних причин, из-за превышения уровня частичных разрядов, доказать будет уже нельзя.

И второй очень важный параметр — это определение температуры стеклования. Когда заливается компаунд, он находится либо в жидком, либо в гелеобразном состоянии и обладает определенными свойствами, в том числе диэлектрическими. Но после затвердевания компаунд свои химические и физические свойства меняет. Нужно определить показатели процесса: правильно ли его запекают при определенной температуре, правильно ли образуется кристаллическая решетка компаунда и т.д. Единственный способ — это определение температуры стеклования с помощью калориметра.

Если раньше, когда были маленькие трансформаторы до 1000 кВА, такими вещами можно было пренебречь, то уже в ГОСТ Р 54827-2011 проведение названных испытаний — обязательное требование для всех трансформаторов, разработанных пос-

ле 2012 года. Величину частичных разрядов указывает завод-изготовитель в протоколе приемо-сдаточных испытаний на трансформатор.

*А заказчик может как-то подтвердить эти данные? Скажем, перепроверить.*

Он может отправить трансформатор в специализированную лабораторию или на другой трансформаторный завод. Просто для измерения частичных разрядов нужно специальное оборудование, а также клетка Фарадея, экранирующая все помехи, с отдельным питанием и независимым от завода заземлением. Это целая наука — измерение частичных разрядов.

*Какова механическая и климатическая стойкость изоляции трансформаторов ТСЛ/ТСЗЛ, как оборудование ведет себя при перенапряжениях и скачках напряжения в сети, в пыльном, влажном помещении и т.д.?*

По климатической стойкости наши трансформаторы (рис. 1) соответствуют классам С3 (от  $-45$  до  $+40$  °С)

и С4 (от  $-60$  до  $+40$  °С). А пыльные или влажные помещения — это не имеет значения, потому что обмотка высокого напряжения находится в компаунде. Для того чтобы полностью исключить гигроскопичность обмотки низкого напряжения (рис. 2), мы дополнительно пропитываем ее в глубоком вакууме — по технологии HVPI (high vacuum press infusion).

Стойкость к токам короткого замыкания достигается благодаря использованию современного материала prepreg DMD — очень надежного, который склеивает между собой ленту по низкой стороне с обеих сторон специальным компаундом при высоких температурах, что не дает трансформатору под воздействием токов короткого замыкания, как говорится, вывернуться наизнанку (что иногда случается с некачественным оборудованием).

*До каких значений трансформаторы ТСЛ способны безопасно выдерживать перегрузку без снижения ресурса изоляции и рисков перегрева?*

У нас есть нормативные документы, которые это регулируют, — Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП). Трансформатор можно перегружать по току до 60%, но не более пяти минут. Это никак не отразится на диэлектрических свойствах изоляции.

*Расскажите о морозостойких исполнениях. Что дает морозостойкость при реализации проектов?*

Такая характеристика, как морозостойкость, в нашей стране нужна. В России не только в Арктике, но и на значительной части территории температура опускается ниже  $-45$  °С.



Рис. 2. Обмотка низкого напряжения



Рис. 3. Обмотка высокого напряжения трансформатора

Как я уже сказал, у нас есть трансформаторы климатического класса С4 с температурным диапазоном от  $-60$  до  $+40$  °С (эксплуатация, хранение и транспортировка). Всю без исключения изоляцию, которая к нам приходит, мы проверяем в собственной химической лаборатории, в специальной камере для изготовления прототипов трансформатора. Мы делаем прототип обмотки высокого напряжения с литой изоляцией (рис. 3) и охлаждаем ее до  $-80$  °С, а потом нагреваем до  $+180$  °С. И так десять циклов. И смотрим на то, как ведет себя изоляция в этих шоковых режимах работы. Естественно, в это время обмотка находится под напряжением. Потом, если не возникло никаких изменений в обмотке, трещин, повреждений, мы запускаем смолу в промышленное производство трансформаторов.

*Расскажите о классах пожарной безопасности и экологической устойчивости ваших трансформаторов. Какие испытания проведены? Какие конструктивные решения применены?*

Мы имеем сертификат пожарной безопасности на всю выпускаемую продукцию. Трансформаторы у нас являются невозгораемыми, класс пожарной безопасности F1. Дополнительно в обмотки высокого напряжения добавляется оксид алюминия (он же тригидрат алюминия). Если вдруг не по вине трансформатора на подстанции возникнет пожар, то обмотки при нагреве начнут выделять углекислый газ, который способствует самозатуханию объекта.

*Шумовой фон — беда большинства трансформаторов. Какую шумовую нагрузку создают трансформаторы серии ТСЛ/ТСЗЛ?*

Конструкция трансформаторов ТСЛ/ТСЗЛ достаточно уникальна. За счет уменьшения высоты изделия удалось увеличить сечение магнитопровода. Основной шум, который выделяет трансформатор, выдает магнитопровод. Соответственно, чем больше сечение магнитопровода, тем шум меньше. Из-за самого уменьшения высоты шум тоже снижается за счет того, что, чем выше находится источник шума, тем шумнее объект. Так что стандартная линейка наших трансформаторов является малошумной и энергоэффективной. Наконец, завод обладает собственной шумовой камерой для измерения уровня звуковой мощности и давления. Можно приехать и лично убедиться в этих измерениях. Мы всегда открыты.

*Как выбор типа обмоток (медные или алюминиевые) влияет на параметры трансформатора ТСЛ/ТСЗЛ — его массу, эффективность охлаждения, стоимость и срок службы?*

Трансформаторы с медными обмотками чуть меньше по габаритам. Медь — более плотный металл, чем алюминий, поэтому и трансформатор получается меньше. Но так как это более тяжелый материал, то медные трансформаторы больше весят.

О преимуществах медных и алюминиевых трансформаторов дискуссия ведется достаточно давно. Мое личное мнение — алюминиевые трансформаторы лучше, чем медные, потому что у алюминиевого трансформатора площадь охлаждения больше, нежели у медного. А у трансформатора самая главная задача — это отвести тепло. Трансформатор нагревается, и чем эффективнее мы отведем тепло, тем для трансформатора лучше. По этой причине в трансформаторах делают дополнительные вентиляционные каналы, чтобы улучшить циркуляцию воздуха, устанавливают принудительную вентиляцию.

Есть еще один немаловажный параметр — коэффициент расширения компаунда и материала проводника. У алюминиевых трансформаторов он практически совпадает, то есть при нагреве компаунд и проводник расширяются одинаково. А у медных трансформаторов он разный. Поэтому требуется очень жесткое армирова-

ние, то есть дополнительное усиление конструкции трансформатора для того, чтобы обмотку не разорвало при нагреве проводника.

*Некоторые компании настаивают на меди.*

Это традиции. Я даже могу сказать, что так сложилось исторически: когда зарождалась электрификация, все проводники были медными. Алюминий тогда еще даже добывать не умели, его использовали для ювелирных украшений. Даже когда началось массовое внедрение электрических сетей, алюминий был дороже меди. Из-за сложившейся традиции сегодня целые страны используют исключительно медь. Например, в Англии алюминий запрещен на законодательном уровне. Но сейчас алюминий стоит гораздо меньше. Медный трансформатор в 2,5 раза дороже, чем алюминиевый.

*Какие сертификаты по сейсмостойкости у вас имеются?*

Мы прошли полный цикл испытаний трансформаторов на сейсмостойкость: 9 баллов по шкале MSK-64. А также прошли испытания на виброустойчивость трансформаторов и на транспортировку. Проводили его в Центре комплексно-сейсмических испытаний (ЦКСИ) в Санкт-Петербурге. Есть видео, где наш трансформатор трясут на платформе в течение восьми часов в разных плоскостях и при разных режимах. Причем важно, что был испытан серийный трансформатор — специально для тестирования мы его не делали! Например, не меняли изоляторы, которые держат обмотки, на более усиленные.

Беседовали: С. В. Бодрышев,  
главный редактор журнала «ИСУП»;



С. А. Шаров, заместитель генерального  
директора по региональному развитию,  
ООО «ЭНЕРГОПРОМ-АЛЫАНС», г. Москва,  
тел.: +7 (800) 500-4969,  
эл. почта: office@epatrade.ru,  
сайт: epatrade.ru