ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

АВТОР:

С.В. МАКАРОВ,
ООО «СТРОКАТ»

При расчете осевых размеров обмотки при различных технологических режимах следует учитывать характеристики применяемых материалов, в частности, электроизоляционного картона, используемого для изготовления дистанционных прокладок. Абсолютные значения относительных величин деформации при приложении прессующих усилий для толстолистового картона высокой плотности в два раза ниже, чем у тонколистового картона низкой плотности.

Ключевые слова: реологические свойства электроизоляционного картона; сжимаемость; прессующая система трансформатора; единое прессующее кольцо из ДСП.

В современной электроэнергетике широко используются силовые маслонаполненные трансформаторы

ВВЕДЕНИЕ

В современных силовых маслонаполненных трансформаторах для прессовки блочной обмотки на каждом стержне трансформатора применяется единое прессующее кольцо из древесно-слоистого пластика. Использование прессующего кольца для всех концентров в сочетании с прессующими брусками позволяет получить простой конструктивный узел прессовки без необходимости подпрессовки во время эксплуатации. При этом возникают проблемы точного учета усадки размера концентров в осевом направлении после изготовления, сушки и монтажа обмотки и обеспечения заданных усилий прессовки с установлением допустимых отклонений.

Недостаточное усилие при запрессовке обмоток в условиях эксплуатации при воздействии электродинамических сил токов короткого замыкания может привести к ее повреждению и выходу из строя трансформатора. Превышение усилия прессовки концентров может привести к значительному увеличению давления на проводники и повреждению изоляции.

Концентры блочной обмотки при изготовлении после намотки до прессовки имеют изначально заданные различные высоты в осевом направлении. Неодинаковая исходная высота концентров объясняется их различной структурой, определяемой суммарной высотой изолированных проводников, изоляционных дистанцирующих картонных прокладок и других элементов.

После монтажа, окончательной сушки и прессовки блочной обмотки единым прессующим кольцом высота всех концентров становится одинаковой. При этом необходимо, чтобы при усадке сжимаемых материалов усилие запрессовки для каждого концентра оставалось в заданных диапазонах.

РАСЧЕТ СТРУКТУРЫ КОНЦЕНТРОВ ОБМОТКИ ПРИ ЕДИНОМ ПРЕССУЮЩЕМ КОЛЬЦЕ

При наличии k концентров на стержне в составе блочной обмотки, которые до прессовки имеют различные высоты h_1, h_2..., h_m..., h_k, различная высота концентров (рис. 1) объясняется различными характеристиками сжимаемости вследствие разной высоты столба сжимаемых изоляционных материалов (изоляционная бумага, картон).

Одна из обмоток имеет наибольшую величину h_m, после запрессовки общее кольцо переместится на величину Δ_m, при этом все обмотки должны быть сжаты.

Абсолютные усадки концентров составят:

$\Delta_1=h_1-h=\Delta_m-\Delta_{10}=\Delta_m-(h_m-h_1)>0;$

$\Delta_2=h_2-h=\Delta_m-\Delta_{20}=\Delta_m-(h_m-h_2)>0;$

...

$\Delta_m=h_m-h;$

СХЕМАТИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ КОНЦЕНТРОВ ДО ЗАПРЕССОВКИ И ПОСЛЕ ЗАПРЕССОВКИ ОБЩИМ КОЛЬЦОМ

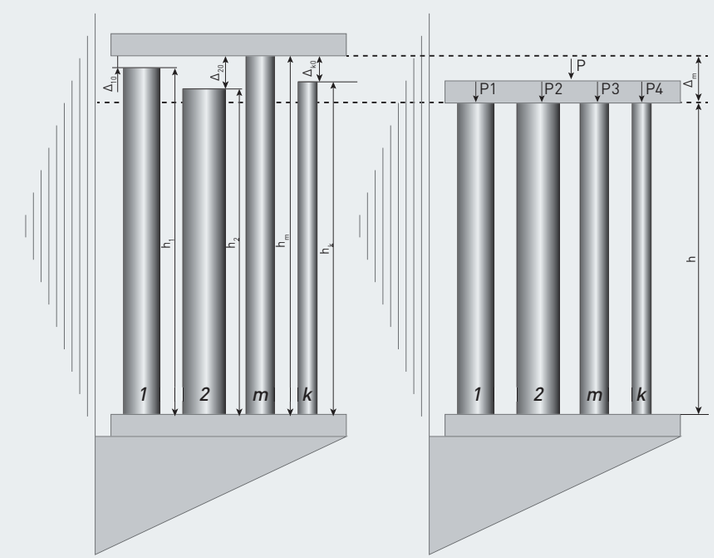
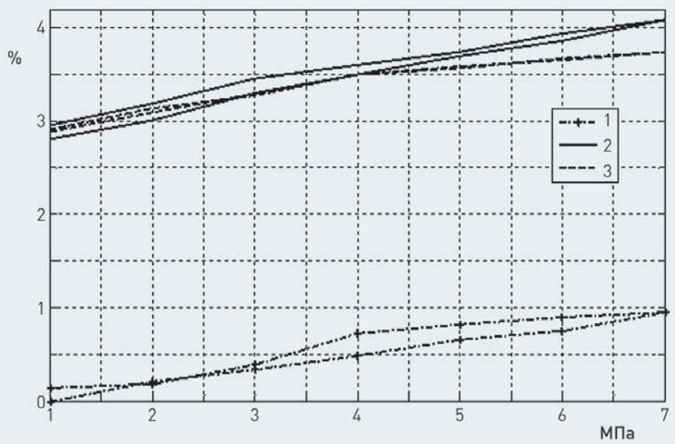


Рис. 1

ХАРАКТЕРИСТИКИ СЖИМАЕМОСТИ СТОЛБА ДИСТАНЦИОННЫХ ПРОКЛАДОК, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ ФРЕЗЕРОВАННОГО ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННОГО КАРТОНА ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ



1 — при хранении в цехе; 2 — после сушки в вакуумно-сушильном шкафу; 3 — после хранения в цехе после сушки в течение одного часа.

Рис. 2

...

$\Delta_k = h_k - h_m = \Delta_m - \Delta_{k0} = \Delta_m - (h_m - h_k) > 0.$

Первоначальная высота произвольного концентра равна $h = h_0 + \Delta$. Изменение высоты концентра после сушки и при приложении постоянного прессующего давления обусловлено сжимаемостью изоляционных целлюлозных материалов (картонные дистанцирующие прокладки, бумажная изоляция), с усадкой:

$\Delta = \Delta_{карт} + \Delta_{бум},$

при этом $\Delta_{карт} = (\varepsilon_{карт} + \tau_{карт}) \cdot h_{карт};$

$\Delta_{бум} = (\varepsilon_{бум} + \tau_{бум}) \cdot h_{бум},$

где $\varepsilon = f(\sigma)$ — относительная деформация в зависимости от приложенного давления сжатия σ;

$\tau = f(\omega)$ — относительная деформация в зависимости от влажности изоляционного материала ω;

$h_{карт}$, $h_{бум}$ — высота столба картонных прокладок и бумажной изоляции в концентре.

По результатам испытаний электроизоляционных материалов (картон и изоляционная бумага) произведены замеры характеристики $\varepsilon = f(\sigma)$ при различных значениях ω (рис. 2).

Данную зависимость можно аппроксимировать следующей функцией:

$\varepsilon = \sigma^x + y \cdot \sigma,$

где коэффициенты *x* и *y* определяются по результатам исследования механических свойств изоляционных материалов на сжимаемость при протекании реологических процессов.

Механическое напряжение при сжатии определяется по формуле:

$\sigma_{сж} = P/S,$

где P — усилие прессовки в концентре;

S — площадь опоры, которую можно принять постоянной для всех типов изоляции в концентре.

Соответственно, зависимость изменения толщины изоляционного материала от приложенного усилия определяется по формуле:

$\varepsilon = 1/S \cdot (P^x + y \cdot P).$

Относительная усадка материала по высоте в зависимости от влажности по результатам рассмотрения характеристик сжимаемости является постоянной величиной при обеспечении контролируемых начальных условий хранения изоляционных материалов в производстве (влажность воздуха, температура) и достижении стабильной влажности изоляционных материалов при проведении сушки активной части в вакуумно-сушильном шкафу без последующей выдержки активной части на воздухе.

Усадка высоты произвольного концентра определяется следующим образом:

$$\Delta = h_{карт}\left[\left(\frac{P}{S}\right)^{x_{карт}} + y_{карт} \cdot \frac{P}{S}\right] + h_{бум}\left[\left(\frac{P}{S}\right)^{x_{бум}} + y_{бум} \cdot \frac{P}{S}\right] + \tau_{карт} \cdot h_{карт} + \tau_{бум} \cdot h_{бум}$$

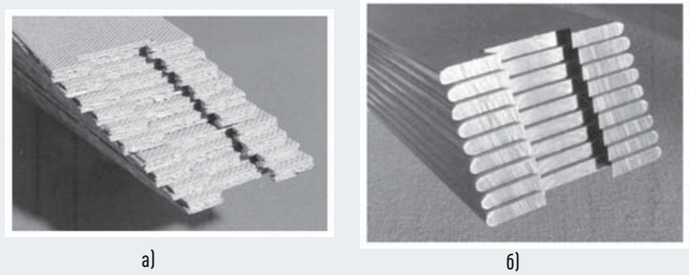
ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СЖИМАЕМОСТИ ЭЛЕКТРО-ИЗОЛЯЦИОННОГО КАРТОНА

При определении коэффициентов x, y, τ применяемых электроизоляционных материалов по результатам исследования характеристик сжимаемости электроизоляционных целлюлозных материалов можно с высокой степенью точности рассчитать результирующую усадку обмотки при приложении заданной величины усилия запрессовки.

При расчете осевых размеров обмотки при различных технологических режимах следует учитывать характеристики применяемых материалов, в частности, электроизоляционного картона, используемого для изготовления дистанционных прокладок. Абсолютные значения относительных величин деформации при приложении прессующих усилий для толстолистового картона высокой плотности в два раза ниже, чем у тонколистового картона низкой плотности (рис. 4).

Из приведенных характеристик сжимаемости для конкретных материалов можно определить коэффициенты зависимостей: $\varepsilon = f(\sigma)$ — относительная деформация в зависимости от приложенного давления сжатия σ; $\tau = f(\omega)$ — относительная деформация в зависимости от влажности

ДИСТАНЦИОННЫЕ ПРОКЛАДКИ ИЗ: А) НЕФРЕЗЕРОВАННОГО ТОНКОЛИСТОВОГО КАРТОНА НИЗКОЙ ПЛОТНОСТИ; Б) ФРЕЗЕРОВАННОГО КАРТОНА ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ



а) б)

Рис. 3

ИНФОРМАЦИЯ

Реология (от греч. реос (течение, поток)) — наука, изучающая деформации и текучесть вещества. Реология занимает промежуточное положение между теорией упругости и гидродинамикой. Термин «реология» ввел американский ученый Юджин Бингам.Электроизоляционными материалами называют материалы, с помощью которых осуществляют изоляцию токопроводящих частей. Электроизоляционные материалы — диэлектрики могут быть твердыми, жидкими и газообразными. Различают электрические, механические, физико-химические (в том числе реологические) и тепловые характеристики диэлектриков. Электрические характеристики таких диэлектриков: объемное сопротивление, поверхностное сопротивление диэлектрика, диэлектрическая проницаемость и др. Физико-химические характеристики диэлектриков: кислотное число, вязкость (следует различать кинематическую и условную вязкость).

Тепловые характеристики диэлектриков: нагревостойкость, (в соответствии ГОСТ 8865-70 все диэлектрики делятся на 7 классов нагревостойкости), температура размягчения, температура каплепадения, температура вспышки паров, влагостойкость, морозостойкость и тропикостойкость, дугостойкость и короностойкость. Механическими характеристиками изоляционных материаловявляются: пределы прочности при растяжении, сжатии, статическом и динамическом изгибе, а также твердость.

изоляционного материала ω в привязке к отдельным этапам технологического процесса изготовления трансформатора с учетом нестационарных параметров в процессе эксплуатации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

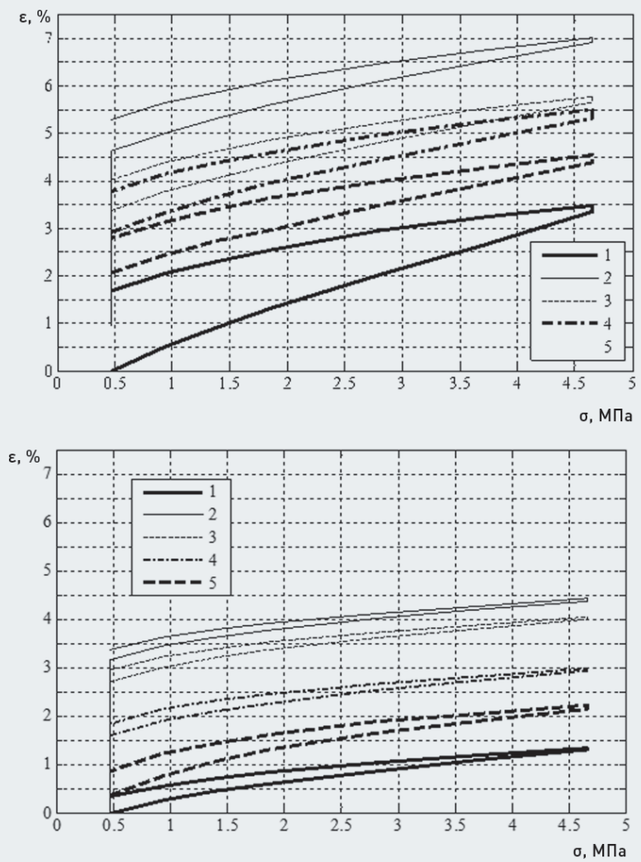
Предложенную методику можно применить для решения следующих расчетных задач при конструировании блочной обмотки:

- определение первоначальной высоты концентров при заданном усилии их прессовки после окончательной сборки трансформатора;
- определение изменения усилий прессовки концентров из-за технологических отклонений в процессе производства с заданием конструктивного допуска на диапазон размеров концентров в осевом направлении;
- определение отклонения усилий запрессовки вследствие изменения температуры и влажности изоляционных материалов обмоток при протекании реологических процессов в условиях эксплуатации, транспортировки и хранения трансформатора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Электродинамическая стойкость трансформаторов и реакторов при коротких замыканиях / Под ред. А.И. Лурье. М.: «Знак», 2005.
2. Осевые усилия в обмотках силовых трансформаторов при запрессовке, изменении температуры и влагосодержания в случае применения блочной сборки / Лазарев И.В. // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України: Зб. наук. пр. — К.: ІЕД НАНУ, 2010. Вип 25. С. 97–104.
3. Short-circuit resistant power transformers — prerequisite for reliable supply of electrical energy. C. Krause. Weidman Electrical Technology AG. CIGRE 2009. Paper C101.

ХАРАКТЕРИСТИКИ СЖИМАЕМОСТИ СТОЛБА ДИСТАНЦИОННЫХ ПРОКЛАДОК: А) НЕФРЕЗЕРОВАННЫХ, ИЗ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННОГО ТОНКОЛИСТОВОГО КАРТОНА НИЗКОЙ ПЛОТНОСТИ; Б) ФРЕЗЕРОВАННЫХ, ИЗ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННОГО ТОЛСТОЛИСТОВОГО КАРТОНА ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ



(1 — при нормальных условиях хранения; 2 — после сушки в вакуумно-сушильной камере; 3 — после хранения в нормальных условиях в течение 12 ч; 4 — то же в течение 24 ч; 5 — то же в течение 48 ч)

Рис. 4

РЕПУТАЦИЯ, ПОДТВЕРЖДЕННАЯ ВРЕМЕНЕМ

На правах рекламы

2016 год — юбилейный для УРАЛЭНЕРГОСЕРВИС — бесспорного лидера по производству отечественной аппаратуры сигналов и команд РЗ и ПА по ВЧ-каналам, волоконно-оптическим линиям и мультиплексируемым каналам связи.

К своему 25-летию компания подошла успешным, динамично развивающимся предприятием, с богатейшим многолетним опытом и репутацией надежного делового партнера.

Отвечающая мировым стандартам продукция, создаваемая компанией, не только не уступающая зарубежным аналогам, но и превосходящая ее по важнейшим параметрам, завоевала признание потребителей и успешно эксплуатируется во всех регионах России, в том числе в знаковых крупных отечественных проектах, таких как: реконструкция Саяно-Шушенской ГЭС, ПС Чагино, ПС Исеть и др., ВЛ 500 кВ «Курган-Витязь-Восход, ВЛ «Яйвинская ГРЭС — Калино», выдача мощностей Богучанской ГЭС, новых энергоблоков Ростовской, Нововоронежской, Калининской АЭС; строительство космодрома Восточный, объектов зимних олимпийских игр в Сочи, Керченский энергомост, других проектах ФСК ЕЭС, объектов атомной, гидро- и теплоэнергетики, нефтегазового комплекса, крупных промышленных предприятий. Оборудование компании широко представлено и на внешних рынках: поставки регулярно осуществляются в страны Таможенного союза, дальнего зарубежья.

Отслеживая основные тенденции развития электроэнергетики России и мировые тенденции в сфере микроэлектроники, следуя принципу импортозамещения, делая ставку на плотное взаимодействие с потребителями на всех этапах промышленного внедрения своих устройств, предприятие успешно интегрирует передовые технологии и собственные инновационные разработки, предлагая потребителю новые, зачастую революционные идеи и решения, совершенствуя и расширяя выпускаемую линейку продукции, выполненной на новейшей микропроцессорной элементной базе.

Имеющийся производственный потенциал позволяет сегодня компании занимать устойчивое положение на рынке, однако УРАЛЭНЕРГОСЕРВИС постоянно вкладывает значительные средства в расширение и модернизацию производства, осуществление НИОКР, усиление собственной научно-технической и испытательной базы. Предприятие успешно сотрудничает с ведущими ВУЗами страны, участвует в оснащении испытательных лабораторий и классов учебных комбинатов.

Коллектив, основу которого составляют высококвалифицированные специалисты, пополняется за счет студентов и выпускников ВУЗов, каждому из них руководство компании дает возможность раскрыть себя, реализовать свои профессиональные амбиции, мотивируя на творческое и профессиональное развитие, личностный рост. Персонал является базовой ценностью, благодаря которому компания развивается и добивается успехов.

Предприятие располагается на территории современного многофункционального корпоративного кампуса, обеспечивая высокопроизводительный труд сотрудников и возможность качественного полноценного отдыха. В ближайших планах компании — дополнить комплекс рядом объектов спортивного назначения. В год 25-летия вводится в эксплуатацию новый инженерно-производственный комплекс, что позволит поднять технологический потенциал компании на качественно новый уровень, укрепить свои позиции на рынке.

УРАЛЭНЕРГОСЕРВИС

**ООО «УРАЛЭНЕРГОСЕРВИС»
620028, Свердловская обл.,
г. Екатеринбург, ул. Татищева,
90, оф. 8
тел.: (343) 231-46-54, 231-46-56
http://www.uenserv.ru/
oms22@uenserv.ru,
oms23@uenserv.ru**