

Министерство образования и науки Российской Федерации
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Н. В. ЩЕГЛОВ

СОВРЕМЕННЫЕ ВИДЫ ИЗОЛЯЦИИ

Часть 4

ИЗОЛЯЦИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Утверждено Редакционно-издательским советом
университета в качестве учебного пособия

НОВОСИБИРСК
2011

УДК 621.3.048.8(075.8)

Щ 334

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент *В.И. Ключенович*;

канд. техн. наук, доцент *Н.В. Цуркан*

Работа подготовлена на кафедре ТЭВН

Щеглов Н.В.

Щ 334 Современные виды изоляции. Ч. 4. Изоляция силовых трансформаторов : учеб. пособие / Н.В. Щеглов. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2011. – 88 с.

ISBN 978-5-7782-1841-3

Рассмотрены вопросы, связанные с конструкцией маслобарьерной изоляции в силовых трансформаторах и реакторах поперечной компенсации. Приведены физические и химические характеристики компонентов маслобарьерной изоляции. Отражены основные тенденции в современном трансформаторостроении, связанные с применением высокотемпературной изоляции и высокотемпературной сверхпроводимости.

Предназначено для студентов V курса, обучающихся по специальности «Высоковольтная электроэнергетика и электротехника».

УДК 621.3.048.8(075.8)

ISBN 978-5-7782-1841-3

© Щеглов Н.В., 2011

© Новосибирский государственный
технический университет, 2011

ВВЕДЕНИЕ

При выработке, передаче, распределении и использовании электроэнергии в промышленности и других отраслях необходимы разные уровни напряжения. Получить требуемые значения напряжения и его изменение на указанных этапах возможно при помощи силовых трансформаторов. Широкое применение получили также электрические реакторы, обеспечивающие нормальные режимы работы электрических сетей и систем. Условия работы и конструкции трансформаторов и реакторов имеют много общего. Одной из главных и наиболее ответственных частей трансформаторов на высокие напряжения является внутренняя электрическая изоляция.

В различных отраслях промышленности, сельском хозяйстве, энергетике и на транспорте применяется большое число трансформаторов и реакторов, различных по назначению, условиям работы, конструкции и основным параметрам. Технические требования, которым должна удовлетворять изоляция трансформаторов, определяются условиями работы, которые в свою очередь зависят от назначения трансформатора.

1. ВИДЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ

1.1. РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Распределительные трансформаторы предназначены для работы в электрических сетях, непосредственно снабжающих потребителя электрической энергией.

Мощности маслонаполненных распределительных трансформаторов (РТ) находятся в диапазоне до 2500 кВ·А; напряжение стороны ВН – до 33 (35) кВ. Общие технические требования к маслонаполненным трансформаторам распространяются и на распределительные трансформаторы. РТ могут устанавливаться на распределительных подстанциях, в специальных помещениях, непосредственно примыкающих к производственным цехам промышленных предприятий, в открытых установках. Ими осуществляется электроснабжение:

- промышленных предприятий и установок;
- жилых помещений и зданий;
- сельскохозяйственных предприятий и т.д.

1.1.1. МАСЛОНАПОЛНЕННЫЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

По виду защиты масла от воздействий окружающей среды масляные трансформаторы могут выполняться:

- с дыханием через устройство, заполнено силикагелем (ТМ);
- герметичные с гофрированным баком (ТМГ);

Трансформаторы серий ТМ и ТМГ предназначены для работы на открытых площадках, под навесом, в закрытых проветриваемых помещениях и условиях повышенной влажности.

Маслонаполненные трансформаторы негерметичные (серии ТМ). Обычное исполнение – трехфазный трансформатор с магнитной системой стержневого типа. Активная часть состоит из магнитопровода с обмотками, жестко соединенными с крышкой бака. Изоляция обмоток – бумага, электрокартон, масло.

Маслонаполненные герметичные РТ (серии ТМГ). Герметичные трансформаторы серии ТМГ имеют гофрированные баки, полностью исключаящие контакт трансформаторного масла с окружающей средой. Трансформаторы заливаются маслом полностью, расширитель у герметичных РТ отсутствует, так как температурные изменения объема масла компенсируются упругой деформацией гофрированных стенок бака.

1.1.2. РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ, ЗАПОЛНЕННЫЕ НЕГОРЮЧЕЙ ИЛИ МАЛОГОРЮЧЕЙ ЖИДКОСТЬЮ

В 50–60-е годы XX века широко применялись трансформаторы, заполненные малогорючей жидкостью совтол (зарубежный аналог – аскарел). Эти жидкости в своей основе имели трихлордифенилы – соединения токсичные и практически не разлагающиеся в природе. Утилизация совтола связана с технологическими трудностями и обходится дорого. В 70-х годах применение этих жидкостей было прекращено. В настоящее время взамен совтола и аскарела применяются жидкости на основе кремнийорганических или полиэфирных соединений.

1.1.3. СУХИЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Сухие распределительные трансформаторы изготавливаются в открытом исполнении либо защищенными металлическим кожухом, либо открытого исполнения с обмотками, залитыми эпоксидными компаундами. Существует большое разнообразие конструкций сухих трансформаторов с разными типами изоляций. Достоинством сухих трансформаторов, по сравнению с масляными, являются простота их конструкции и существенно меньшая пожароопасность.

Недостатком сухих трансформаторов с некоторыми видами изоляции является возможность их увлажнения и загрязнения в процессе эксплуатации как обмоток, так и трансформатора в целом.

Поэтому сухие трансформаторы устанавливаются, как правило, в помещениях. Перегрузочная способность таких трансформаторов существенно меньше, чем масляных, из-за малой тепловой постоянной времени.

Сухие трансформаторы с применением различных изоляционных материалов класса нагревостойкости не ниже «F» (155 °С). В трансформаторах с таким типом изоляции могут использоваться различные стеклоткани, пленочные и композиционные материалы типов ЛСК-ТТ, РЭТСАР, ЛЭТСАР, стеклопластики типов СТЭФ, СТЕФ-НТ, СТ-ЭТФ (табл. 1.1).

Наиболее распространены сухие трансформаторы с изоляцией класса нагревостойкости 155 °С. Для защиты от увлажнения обмотки таких трансформаторов могут пропитываться специальными лаками. В целях безопасности активная часть трансформатора обычно заключена в тонкостенный металлический кожух, имеющий отверстия для входа и выхода охлаждающего воздуха.

Из-за меньшей интенсивности охлаждения воздухом, по сравнению с маслом, сухие трансформаторы имеют несколько большие размеры, чем масляные трансформаторы той же мощности и напряжения.

В особых случаях повышенной влажности и ограничения размеров может применяться более нагревостойкая и влагостойкая изоляция с дополнительным покрытием (пропиткой) обмоток специальными лаками (кремнийорганическими).

Т а б л и ц а 1.1

Материалы для межслоевой изоляции сухих трансформаторов

№ п/п	Тип и состав материала МСИ	Допустимая температура, °С	Относительная диэлектрическая проницаемость ϵ	Электрическая прочность при напряжении 50Гц, кВ/мм
1	ЛСК-СС – лента стеклослоднитовая на сетке (сетка с обеих сторон)	180	~6	10
2	ЛПМК-ТТ – лента полиамидная на стеклоткани (ткань с обеих сторон)	200	~3,5	50

Окончание табл. 1.1

№ п/п	Тип и состав материала МСИ	Допустимая температура, °С	Относительная диэлектрическая проницаемость ϵ	Электрическая прочность при напряжении 50Гц, кВ/мм
3	ЛСК-ТТ – лента стеклослюдинитовая на ткани (с обеих сторон)	180	~6	12
4	РЭТСАР, ЛЭТСАР – стеклоткань с кремнийорганическим каучуком (рулон или лента)	180...200	~3,5	20
5	ЛПМК-ТТ, клеенная со слюдой	200	~3,5	≥ 50
6	ЛПМК-Т+ППС – лента полиимидная на стеклоткани (с одной стороны + полиэтиленовая пленка)	ППС 125	ППС ~ 2,5	ППС 2 кВ на 0,07 мм
7	КМ-60 – бумага арамидная толщиной 60 мкм Малинской фабрики	180	~2,5	12
8	БФСК, БФСТ – бумага арамидная Малинской фабрики	200	~2,5	~20
9	Номекс-410 – бумага арамидная фирмы «Du Pont»	> 200	1,6...3,7	17...33
10	ЛСПМ – лента слюдинитовая с полиимидной пленкой	180	~4	35

Сухие трансформаторы с обмотками ВН, залитыми эпоксидными смолами. Обмотки ВН таких трансформаторов выполняются из алюминиевой фольги и заливаются компаундом в вакууме.

Благодаря такой конструкции трансформаторы имеют высокую механическую прочность при токах короткого замыкания, и в отличие от обычных сухих трансформаторов их обмотки не подвержены увлажнению и загрязнению. При изготовлении таких трансформаторов, а также при утилизации отходов производства требуются определенные меры по защите персонала от воздействия компонентов смол.

Недостатком трансформаторов с литой изоляцией является растрескивание литой изоляции при высоких температурах, связанных с перегрузками, а также при отрицательной окружающей температуре ниже $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

От этого недостатка свободны трансформаторы, в которых изоляция состоит из стекловолокна или стеклоленты, пропитанной той же смолой.

Недостатками являются также их меньшая перегрузочная способность по сравнению с масляными трансформаторами.

Сухие трансформаторы с изоляцией «Резиблок». Главная и слоевая изоляции обмотки ВН трансформаторов «Резиблок» состоят из стеклянного волокна (ровинг), насыщенного эпоксидным компаундом без добавки наполнителя. Все материалы экологичные, не выделяют токсичных газов при высокой температуре. Для более интенсивного охлаждения обмоток при их изготовлении в изоляции выполняются осевые каналы. Определенное количество слоев ровинга, состоящего из нескольких тысяч стеклянных волокон диаметром микрон, насыщенного компаундом, навивается по радиальному и диагональному направлениям. Большое натяжение при намотке ровинга позволяет получить обмотку с однородной структурой без мельчайших пустот или воздушных включений, это повышает электрическую прочность изоляции.

Трансформаторы с изоляцией «Резиблок» имеют высокую электрическую прочность, пожаробезопасность, высокую экологичность, могут эксплуатироваться в особо сложных условиях: морских, тропических, полярных, в химической, горной или металлургической промышленности.

Применение арамидной изоляции в распределительных трансформаторах. Арамидная изоляция выполняется на основе синтетических материалов (ароматических полиамид-арамидов). Арамидные материалы обладают высокой электрической и механической