

Сушка трансформаторов

Процесс низкочастотной сушки в производстве трансформаторов может снизить затраты энергии вдвое

Гюнтер Риндлисбахер, Маттиас фон Ах

Одним из важных процессов в производстве трансформаторов является эффективное удаление влаги из целлюлозной изоляции. Качество сушки изоляционного материала самым непосредственным образом сказывается на параметрах диэлектрика и определяет надежность трансформатора.

Низкочастотный нагрев (LFH) – это уникальный процесс сушки изоляции трансформатора за счет подачи регулируемого тока низкой частоты на его высоковольтные (HV) обмотки.

Эта система работает лучше и быстрее традиционных методов, использующих горячее масло и вакуумную сушку. Она может снизить затраты энергии до двух раз и значительно ускоряет производственный процесс.

После изготовления распределительного или силового трансформатора и до момента заливки его изолирующим маслом, следует тщательно просушить твердую изоляцию внутри трансформатора.

Как правило, в качестве изолирующего материала используется целлюлоза, молекулы которой состоят из длинных цепочек глюкозных колец. Если изоляцию не просушить, она теряет изолирующие свойства, снижая электрическую и механическую прочность трансформатора.

Для сушки изоляции в больших силовых трансформаторах в основном применяются следующие методы: циркуляция горячего воздуха в вакуумной камере; сушка паром, которая тоже выполняется в вакуумной камере. Для трансформаторов специальной конструкции, так называемых броневых трансформаторов, используют метод сушки аэрозольным распылением горячего масла.

Для нагрева трансформаторов изнутри используются низкочастотные токи, подаваемые в высоковольтные обмотки трансформатора.

Однако независимо от используемого метода, процесс сушки получается дорогостоящим и энергоемким. В результате, при выборе подходящей процедуры сушки, основное внимание уделяется времени обработки и общему потреблению энергии.

Норвежская компания National Industry построила первые установки для сушки распределительных трансформаторов методом низкочастотного нагрева (LFH) в период между 1984 и 1987 годами.

Швейцарское отделение компании ABB Switzerland Ltd. Micafil усовершенствовало метод сушки LFH для небольших силовых трансформаторов в процессе производства и для сушки больших силовых трансформаторов по месту установки.

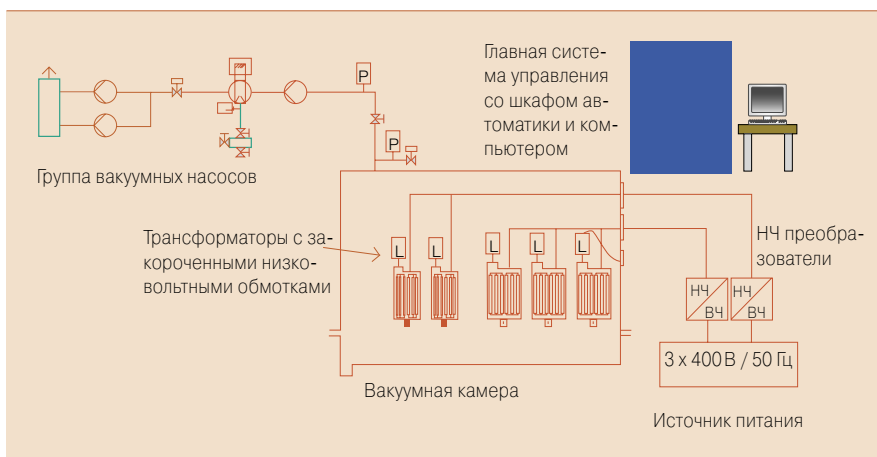
Вместо горячего воздуха или паров растворителя, для нагрева трансформаторов изнутри используются низкочастотные токи, подаваемые в высоковольтные (HV) обмотки трансформатора.

Для более крупных трансформаторов метод LFH используется в сочетании с циркуляцией горячего воздуха.

Принцип работы метода LFH

Основное влияние на скорость сушки и ее качество оказывает температура объекта сушки и глубина вакуума.

1 Схема установки для сушки методом LFH



Процесс LFH, разработанный компанией ABB Micafil, позволяет равномерно нагреть высоковольтные и низковольтные обмотки трансформатора изнутри, путем подачи тока низкой частоты малого напряжения на высоковольтные обмотки, при этом низковольтные обмотки замыкаются накоротко.

При низкой частоте (0,4–2 Гц) и малом сопротивлении проблем с высоким напряжением не возникает, а магнитная связь создает хорошо контролируемый ток в низковольтной обмотке. В ходе процесса высоковольтные и низковольтные обмотки трансформатора нагреваются до типичной температуры сушки 110–120 °С, как и в процессе сушки парами растворителя.

Для мониторинга процесса сушки, и особенно температуры обмотки, следует использовать специальные методы контроля, предотвращающие образование перегретых участков и, как следствие, повреждение изоляции. Для непрерывного слежения за токами, напряжениями, сопротивлениями и глубиной вакуума, компания ABB Micafil использует уникальную систему управления и мониторинга.

Контроль глубины вакуума необходим потому, что в вакууме понижается напряжение пробоя, а непрерывный мониторинг температур высоковольтной и низковольтной обмоток позволяет оптимизировать процесс сушки.

2 Конусный автоклав с системой нагрева токами низкой частоты для обработки распределительных трансформаторов



Система очень точно определяет температуры высоковольтной и низковольтной обмоток и позволяет независимо нагревать высоковольтные обмотки, если их температура оказывается ниже температуры низковольтных обмоток.

Какие выгоды дает этот процесс? Дело в том, что при использовании сушки методом низкочастотного нагрева, качество изоляции трансформатора значительно улучшается, по сравнению с более традиционными системами, использующими вакуумную сушку горячим воздухом.

Это связано с тем, что в ходе такого процесса источником тепла является сама обмотка, что является идеальным местом нагрева для извлечения влаги из изоляции. Кроме того, температуру обмотки можно контролировать с высокой точностью.

В результате время сушки значительно сокращается по сравнению с обычными системами, использующими горячий воздух и вакуум, а это, в свою очередь, позволяет сэкономить до 50 процентов энергии – что при сушке одного небольшого силового трансформатора составляет порядка 2000 кВтч.

Подобно любой традиционной системе сушки, система LFH является частью сушильной установки, состоящей из вакуумного автоклава или вакуумированной оболочки трансформатора, вакуумной насосной станции (рис. 1) и т.п.

Примеры применения сушильных установок LFH

Сушка распределительных трансформаторов мощностью от 25 до 2500 кВА¹⁾

Нагревание распределительных трансформаторов токами низкой частоты позволяет упростить структуру сушильной установки. В ее состав входит конусный автоклав (рис. 2), вакуумный насос, низкочастотные преобразователи

для нагрева трансформатора изнутри и система управления.

Сразу же после сушки система управления заполняет емкости трансформатора изолирующим маслом. В такой установке низкочастотные токи нагревают только обмотки трансформатора – сам конусный автоклав при этом не нагревается.

Традиционной системе сушки горячим воздухом для завершения процесса сушки потребовалось бы, как минимум, вдвое больше времени.

В результате такой метод сушки распределительных трансформаторов обеспечивает минимальные затраты энергии и дает другие преимущества, такие как ускорение процесса сушки, высокая производительность, простота управления и автоматическое заполнение маслом после сушки.

Сушка силовых трансформаторов мощностью от 500 кВА до 30 МВА

Сушка выполняется в оболочке трансформатора (рис. 3). Низкочастотный ток подается на высоковольтные выводы при закороченных низковольтных выводах, горячий воздух для циркуляции внутри трансформатора поступает по гибким воздуховодам.

Если после сушки не требуется дополнительное уплотнение трансформатора (что зависит от его конструкции), его можно заполнять маслом сразу же после вакуумирования.

Преимущество такого метода заключается в том, что трансформатор после сушки не подвергается воздействию атмосферы. После заполнения изолирующим маслом для создания нужного

давления в оболочке трансформатора может использоваться азот.

Традиционной системе сушки горячим воздухом для завершения процесса сушки потребовалось бы, как минимум, вдвое больше времени. Если небольшая сушильная установка с циркуляцией горячего воздуха потребляет 50 кВт и работает в течение 80 часов, общие затраты энергии на сушку небольшого силового трансформатора составляют 4000 кВтч.

При снижении времени сушки на 50 процентов, экономия энергии при сушке одного трансформатора методом LFH составит, по меньшей мере, 2000 кВтч.

Оборудование LFH для сушки активных частей трансформаторов в вакуумном автоклаве для силовых трансформаторов мощностью до 100 МВА

Установка оборудования LFH в существующий вакуумный автоклав для сушки горячим воздухом может существенно сократить время сушки и улучшить результаты.

Методы вакуумной сушки горячим воздухом широко применяются для сушки небольших трансформаторов, поэтому существует громадный потенциал обновления таких систем установкой LFH.

Оборудование LFH для сушки силовых трансформаторов на месте установки

Традиционно, для сушки силовых трансформаторов на месте установки используется циркуляция горячего масла и вакуум или в некоторых случаях аэрозольное распыление горячего масла и вакуум. Другой метод сушки изоляции заключается в сушке масла.

Системы, использующие циркуляцию горячего масла, состоят из установки для обработки масла с системой нагрева, вакуумных насосов и до-

3 Установка LFH для сушки небольшого силового трансформатора с использованием его собственной оболочки

● Подключение вакуумной установки

● Распределительный щит

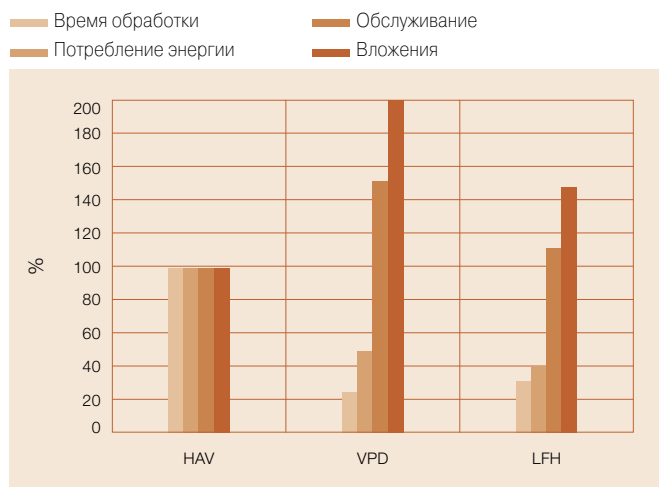


4 Передвижной модуль LFH для сушки трансформаторов на месте установки

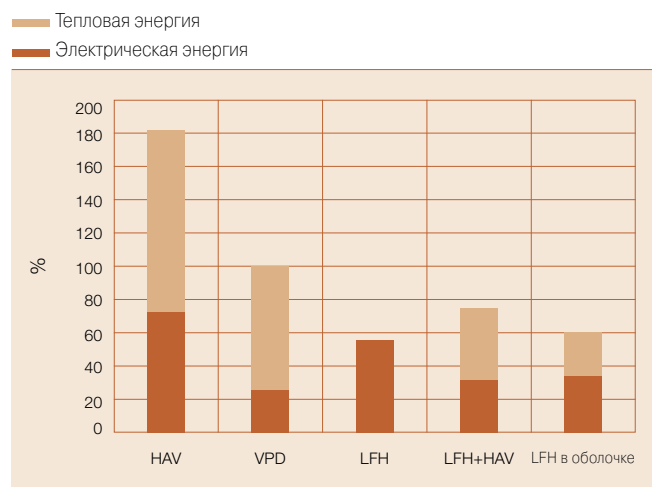


5 Энергетические затраты, стоимость и потребление электрической и тепловой энергии

Сравнение различных методов сушки по времени обработки, вложениям средств, затратам на обслуживание и потребляемой энергии.



С точки зрения энергоэффективности, системы LFH на 50 % выгоднее, чем системы сушки горячим воздухом.



полнительных приспособлений. Потребляемая мощность такой установки может легко достигать 100 кВт. Поскольку масло нельзя сильно нагревать, и в вакууме отсутствует теплоноситель, сушка идет очень медленно и занимает до нескольких недель при значительном потреблении энергии.

Система нагрева LFH предлагает мобильное альтернативное решение

Конвертер LFH вместе с системой управления и принадлежностями можно доставить к месту установки трансформатора в контейнере или в автоприцепе (рис. 4). Нагрев и сушка трансформатора могут выполняться в сочетании с традиционной циркуляцией горячего масла или с аэрозольным распылением горячего масла.

Сочетание аэрозольного распыления горячего масла с нагревом LFH позволяет нагревать обмотки до более высоких температур, что позволяет значительно сократить время сушки, по сравнению с традиционным методом циркуляции горячего масла, и обеспечивает уровень остаточной влажности менее 1 процента.

При этом уровень влажности приближается к исходным значениям, достигаемым в процессе производства трансформаторов. Этот метод уже успешно применили для сушки на месте установки более 40 силовых трансформаторов с номинальной мощностью до 400 МВА.

Измерения на больших трансформаторах показали, что при использовании традиционных методов сушки с циркуляцией горячего масла и вакуума средняя скорость экстракции влаги составляет примерно 2,5 литра в день, тогда как метод аэрозольного распыления горячего масла с LFH обеспечивает скорость экстракции до 20 литров в день.

При влажности изоляции от 3 до 1,5 процентов LFH работает в восемь раз быстрее традиционных методов, что позволяет сэкономить большое количество энергии и эффективнее использовать производственные ресурсы (рис. 5).

Гюнтер Риндлисбахер
ABB Schweiz AG, Micafil
guenter.rindlisbacher@ch.abb.com

Маттиас фон Ах
ABB Schweiz AG, Micafil
matthias.vonah@ch.abb.com

Сноска

¹⁾ Более крупные распределительные трансформаторы имеют дополнительный вход для горячего воздуха.

Вопросы и ответы по технологии LFH

В. Возникают ли перегретые участки при нагреве низкочастотными токами?

О. Максимальный ток и скорость нагрева контролируются системой управления. Для выравнивания температуры обмоток, после каждого этапа нагрева, нагрев временно отключается на время стабилизации. Температуры высоковольтных и низковольтных обмоток контролируются независимо.

В. Происходит ли конденсация влаги на холодных металлических деталях?

О. При нормальном функционировании оборудования конденсация влаги не наблюдается. Управление процессом и специальная конструкция оборудования предотвращают конденсацию влаги.

В. Происходит ли усадка изоляции?

О. В новых трансформаторах усадка зависит от конструкции трансформатора и используемого процесса изготовления обмоток. После сушки LFH, как и после сушки другими методами, требуется повторное уплотнение трансформатора, хотя многие производители распределительных и небольших силовых трансформаторов применяют конструкции, не требующие повторного уплотнения. Это позволяет получить максимальный эффект от использования системы, поскольку трансформаторы можно заполнять изолирующим маслом сразу же после сушки, не подвергая их воздействию атмосферного давления.

В. Как удаляется влага из толстой целлюлозной изоляции?

О. Для больших распределительных и небольших силовых трансформаторов процесс LFH сочетается с циркуляцией горячего воздуха. Там где это возможно, следует использовать более тонкую изоляцию. Также следует рассмотреть возможность предварительной сушки толстых сегментов изоляции с последующей пропиткой маслом.