

УДК 621.316

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОХЛАЖДЕНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Шек О.А., магистрант гр. ЭПм-171, I курс

Научный руководитель: Беляевский Р.В., к.т.н., доцент, чл.-корр. КРО РЭА
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

При работе трансформатора происходит нагрев обмоток и магнитопровода из-за непосредственных потерь энергии в них. Предельный нагрев частей трансформатора ограничивается изоляцией, срок службы которой зависит от температуры нагрева. Чем больше мощность трансформатора, тем интенсивнее должна быть система охлаждения.

Далее будет приведено краткое описание применяемых систем охлаждения трансформаторов, использование которых наиболее распространено.

1. Теплообменники с принудительной циркуляцией масла, воздуха.

В больших трансформаторах отведение тепла при помощи естественной циркуляции через радиаторы требует много места. Потребность в пространстве для компактных охладителей намного ниже, чем для простых радиаторных батарей. С точки зрения экономии места может оказаться выгодным использовать компактные охладители со значительным аэродинамическим сопротивлением, что требует применения принудительной циркуляции масла с помощью насоса мощных вентиляторов для нагнетания воздуха [1].

Такие теплообменники с естественным масляным и принудительным воздушным охлаждением (OFAF) обычно состоят из круглых трубок с тонкими прессованными ребрами охлаждения или элементами из плоских гофрированных трубок. Некоторые очень компактные конструкции имеют узкие каналы на стороне воздуха и высокое давление воздуха, создаваемое вентилятором.

При использовании нескольких охладителей для трансформаторов с естественным масляным и принудительным охлаждением (OFAF) лучше устанавливать по два или более отдельных вентиляторов в ряд вместо параллельного размещения, чтобы добиться максимального падения температуры. На больших трансформаторах охлаждающее оборудование разделено на несколько групп или контуров; эти контуры можно включать или выключать по усмотрению, по команде терmostатов или каким-то другим более изощренным способом.

Имеется несколько вариантов монтажа охладителей для принудительного охлаждения с помощью насосов вентиляторов, которые различаются по ориентации и группировке на баке в зависимости от окружающей обстановки.

Обычно в качестве дополнительного оборудования по заказу предлагаются стойки (racks).

2. Масляно-водяные охладители.

Водяное охлаждение может быть привлекательной альтернативой, если трансформаторы устанавливаются в закрытом пространстве (cave station) или в агрессивной производственной атмосфере, такой, как сталелитейный завод и т.д. Однако необходимо сделать взвешенный выбор против перекачивания охлаждающего масла в атмосферу наружного воздуха вне здания в пользу воздушного охладителя. Очевидным риском использования водяного охлаждения является замерзание в условиях сурогового климата. В более теплом климате более критичным становится необходимость большого количества охлаждающей воды.

Водяные охладители имеют небольшие размеры. Они, как правило, представляют собой цилиндрические трубчатые теплообменники со съемными трубками. Такие теплообменники очень распространены и представляют собой классическую технологию. Они имеют разнообразное применение в промышленности. Более современные конструкции, например, плоские теплообменники мембранных типов, еще не вошли в практику.

Главной проблемой является качество охлаждающей воды с точки зрения коррозии материалов внутри водяных трубок. Утечка воды в масляную систему губительна для трансформатора, и подобные системы должны находиться под очень внимательным наблюдением. Монтаж должен быть выполнен так, чтобы давление на стороне масла было выше давления на стороне воды, однако это не всегда может быть гарантией безопасности.

Защита от коррозии может стать сложной задачей. Рекомендуется сделать анализ охлаждающей воды, чтобы подобрать наиболее подходящие материалы для внутренней части охладителя. Можно использовать проверенные материалы, такие, как титановые трубы охладителей.

Необходимо поддерживать достаточную скорость циркуляции воды, чтобы предотвратить образование осадка. Слишком сильное образование осадка приводит к износу (эррозии) трубок.

Можно использовать двухтрубный охладитель. При таком расположении контуры масла и воды разделены промежутком, так что утечка какой-либо жидкости скапливается в пространстве и сигнализирует тревогу.

3. Масляные насосы.

Циркуляционные насосы для масляного охлаждающего оборудования – это специальные компактные, полностью герметичные конструкции. Двигатель погружен в трансформаторное масло; сальниковые коробки отсутствуют. Уровень шума таких насосов – низкий, сравнимый с уровнем шума трансформатора.

4. Естественное воздушное охлаждение.

Естественное воздушное охлаждение трансформаторов осуществляется путем естественной конвекции воздуха и частичного лучеиспускания в воздухе. Такие трансформаторы получили название «сухих». Условно принято

обозначать естественное охлаждение при открытом исполнении С, при защитном исполнении – СЗ, при герметизированном исполнении СГ, с принудительной циркуляцией воздуха – СД. Данная система охлаждения малоэффективна, поэтому применяется для трансформаторов мощностью до 1600 кВА при напряжении до 15 кВ [2].

5. Естественное масляное охлаждение.

Данный тип охлаждения применяется в трансформаторах мощностью до 16000 кВА включительно. В таких трансформаторах тепло, выделенное в обмотках и магнитопроводе, передается окружающему маслу, циркулирующему по баку и радиаторам, и передается окружающему воздуху. При номинальной нагрузке трансформатора температура масла в верхних, наиболее нагретых слоях согласно ПТЭЭП не должна превышать +95 °С. Для лучшей отдачи тепла в окружающую среду бак трансформатора снабжают ребрами, охлаждающими трубами или радиаторами в зависимости от мощности.

6. Масляное охлаждение с дутьем и естественной циркуляцией масла.

Применяется для более мощных трансформаторов. В этом случае в навесных охладителях из радиаторных труб помещают вентиляторы. Вентилятор засасывает воздух снизу и обдувает нагретую верхнюю часть труб. Пуск и останов вентиляторов осуществляется автоматически в зависимости от нагрузки и температуры нагрева масла. Трансформаторы с таким охлаждением могут работать при полностью отключенном дутье, если нагрузка не превышает 100 % номинальной, а температура верхних слоев масла не более +55 °С, а также при минусовых температурах окружающего воздуха и при температуре масла не выше +45 °С независимо от нагрузки. Максимально допустимая температура масла в верхних слоях при работе с номинальной нагрузкой +95 °С.

Форсированный обдув радиаторных труб улучшает условия охлаждения масла, а, следовательно, обмоток и магнитопровода трансформатора, что позволяет изготавливать такие трансформаторы мощностью до 80000 кВА.

7. Масляно-водяное охлаждение с принудительной циркуляцией масла.

Такая система принципиально устроена также, как система ДЦ, но в отличие от последнего охладители состоят из трубок, по которым циркулирует вода, а между трубками движется масло. Температура масла на входе в маслоохладитель не должна превышать +70 °С.

Чтобы предотвратить попадание воды в масляную систему трансформатора, давление масла в маслоохладителях должно превышать давление циркулирующей в них воды не менее чем на 0,02 МПа (2 Н/см²). Эта система охлаждения эффективна, но имеет более сложное конструктивное выполнение и выполняется на мощных трансформаторах (160 МВА и более) [3].

Для сравнительной характеристики различных систем охлаждения можно составить таблицу с основными оценками и посмотреть, какая система наиболее удобна в использовании (табл. 1).

Таблица 1

Система охлаждения	Условия эксплуатации	Удобство монтажа	Конструктивное исполнение	Эффективность охлаждения	Экономия места
Принудительная циркуляция воздуха/масла	+	+	+	+	+
Масляно-водяные охладители	-	-	+	-	+
Масляные насосы	+	+	+	+	+
Естественное масляное охлаждение	+	+	+	+	+
Принудительное водяное	+	+	+	+	+
Принудительное воздушное	+	+	-	+	-

Как видно из табл. 1, система охлаждения с принудительной циркуляцией воздуха/масла/воды отвечает всем характеристикам и наиболее целесообразна для использования. Также в преимуществе находится масляное охлаждение, так как трансформаторное масло из-за своей высокой чистоты и низкой вязкости является одним из самых лучших дугогасителей.

Вывод: каждая система охлаждения трансформаторов представляет собой хорошую почву для гашения электрической дуги, и в зависимости от желаемого итога гашения можно выбрать наиболее подходящий. Хотя некоторые из них, например, водяные охладители, могут создать некоторые неудобства при эксплуатации и монтаже, чего не скажешь о масляных охладителях.

Список литературы:

1. Справочное руководство по трансформаторам компании АВВ. – М.: АВВ, 2004. – 253 с.
2. Системы охлаждения трансформаторов [Электронный ресурс] / Вэлта-центр. – Режим доступа: <http://velta-c.ru/catalog/ab/transformator/>, свободный.
3. Применяемые системы охлаждения силовых трансформаторов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://leg.co.ua/info/transformatory/primenyaemye-sistemy-ohlazhdeniya-silovyh-transformatorov.html>, свободный.