

УДК 621.311.16

КОНТРОЛЬ НАГРУЗКИ СИЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Самиев Ф.Х.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Радкевич В.Н.

В системах электроснабжения (СЭС) промышленных предприятий для питания электроприемников напряжением до 1 кВ применяются распределительные трехфазные трансформаторы, имеющие высшее напряжение равным напряжению распределительной сети (как правило, 6 - 10 кВ). Они имеют номинальную мощность $S_{\text{ном}} \leq 2500$ кВ·А, масляное или воздушное охлаждение и устройство переключения регулировочных ответвлений обмоток без возбуждения.

Будучи основными элементами трансформаторных подстанций (ТП) СЭС, трансформаторы играют важную роль в обеспечении электроэнергией промышленных объектов. От их надежной и экономичной работы зависит эффективность функционирования потребителей электроэнергии.

В то же время каждый силовой трансформатор имеет свой ресурс, т.е. срок эксплуатации, при превышении которого не гарантируется надежная и безопасная работа и требуется замена или капитальный ремонт трансформатора. В условиях эксплуатации на остаточный ресурс трансформатора в значительной степени влияет его режим нагрузки.

Для силового трансформатора установлены номинальный и допустимый режимы работы. В номинальном режиме в обмотках трансформатора протекает номинальный ток при номинальных значениях подведенного напряжения $U_{\text{ном}}$ и частоты $f_{\text{ном}}$. Допустимым режимом нагрузки трансформатора считается режим продолжительной нагрузки, при которой расчетный тепловой износ изоляции обмоток, не превосходит износ, соответствующий номинальному режиму работы [1].

В процессе эксплуатации силовых трансформаторов в СЭС могут возникать перегрузки. Под перегрузкой трансформатора понимается его такая нагрузка, при которой расчетный тепловой износ обмоток, соответствующий установившимся превышениям температуры, превосходит износ при номинальном режиме. В соответствии с ГОСТ 16110-82 различают допустимые систематические и аварийные перегрузки, величины и длительности которых установлены нормативными документами.

Допустимые систематические перегрузки не влекут за собой сокращения нормируемого срока службы трансформатора. Это ограниченная по длительности перегрузка, при которой расчетный износ изоляции за установленное время не превосходит износа за такое же время при номинальном режиме работы. При этом установленное время (обычно сутки) включает в себя длительности перегрузки, а также предшествующих и последующих нагрузок, которые меньше номинальной. Таким образом, тепловой износ в режиме систематической перегрузке компенсируется пониженным износом в нормальном режиме, при котором нагрузка меньше номинальной.

Допустимые систематические перегрузки трансформаторов определяются в соответствии с [2] или по эксплуатационным документам изготовителей. Для этого необходимо знать начальную нагрузку трансформатора в относительных единицах (коэффициент загрузки трансформатора), определяемую по формуле

$$K_1 = \frac{S_1}{S_{\text{ном}}} \quad \text{или} \quad K_1 = \frac{I_1}{I_{\text{ном}}} \quad , \quad (1)$$

где S_1 и I_1 - соответственно полная мощность или ток начальной нагрузки (предшествующей перегрузке) трансформатора;

$S_{\text{ном}}$ и $I_{\text{ном}}$ – номинальная мощность или номинальный ток нагрузки трансформатора.

Перегрузка трансформатора, следующая за начальной нагрузкой, в долях номинальной мощности или номинального тока вычисляется по аналогичному выражению

$$K_2 = \frac{S_2}{S_{ном}} \quad \text{или} \quad K_2 = \frac{I_2}{I_{ном}}, \quad (2)$$

где S_2 и I_2 - соответственно полная мощность или ток перегрузки трансформатора. При этом номинальный ток трансформатора определяется по формуле

$$I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3}U_{ном}}, \quad (3)$$

где $U_{ном}$ - номинальное напряжение трансформатора.

Значения K_1 и K_2 , как правило, определяются по упрощенному двухступенчатому суточному графику нагрузки трансформатора. Зная K_1 , продолжительность перегрузки h (в часах) и температуру охлаждающей среды (воздуха) $\Theta_{охл}$, по таблице норм допустимых систематических нагрузок находят значение K_2 для силового масляного трансформатора.

Аналогично определяется допустимые аварийные перегрузки трансформаторов.

В соответствии с [3] для силовых трансформаторов устанавливается допустимая кратковременная аварийная перегрузка по току $\Delta I_{ка}$ и ее длительность h_k . Она не зависит от длительности и значения предшествующей нагрузки трансформатора и температуры окружающей среды (таблица 1) и вызывает повышенный тепловой износ витковой изоляции, что может привести к сокращению нормированного срока службы трансформатора.

Таблица 1-Зависимость допустимой длительности перегрузки от кратности перегрузки для трансформаторов

Масляные трансформаторы					
Перегрузка по току $\Delta I_{ка}$, %	30	45	60	75	100
Длительность перегрузки h_k , мин	120	80	45	20	10
Сухие трансформаторы					
Перегрузка по току $\Delta I_{ка}$, %	20	30	40	50	60
Длительность перегрузки, h_k , мин	60	45	32	18	5

Численные зависимости h_k от $\Delta I_{ка}$ установлены с большими интервалами. При промежуточных данных необходимо прибегать к линейной интерполяции, что не всегда удобно на практике. Приближенную оценку h_k при любых значениях $\Delta I_{ка}$ в диапазоне 30 – 100% для масляных трансформаторов и 20 – 60% - для сухих можно выполнять с помощью аппроксимирующих функций, рассчитанных по данным таблицы 1.

Для получения аппроксимирующих выражений использовалась компьютерная программа сглаживания экспериментальных зависимостей функции с двумя неизвестными параметрами, разработанная на кафедре «Электроснабжение» БНТУ. Программа позволяет выявлять связь между зависимой (h_k) и независимой ($\Delta I_{ка}$) переменными для разного вида

функций (линейная, степенная, полином второй степени и др.). Наилучший вид зависимости выбирается по критерию минимума среднего квадрата ошибки σ^2 . Результаты расчетов показали, что наиболее точное приближение дает аппроксимация квадратичным полиномом. Для маслонаполненных трансформаторов при значении ошибки $\sigma = 1,67$ мин аппроксимирующая функция имеет вид

$$h_k = 241,41 - 4,72\Delta I_{ка} + 0,023\Delta I_{ка}^2. \quad (4)$$

Полином второй степени является лучшей сглаживающей функцией и для трансформаторов с сухой изоляцией ($\sigma = 0,3$ мин):

$$h_k = 89,8 - 1,54\Delta I_{ка} + 0,002\Delta I_{ка}^2. \quad (5)$$

Перегрузки и несимметричные нагрузки вызывают перегрев и дополнительный тепловой износ, повреждение изоляции, витковые замыкания, увеличение потерь мощности и электроэнергии в трансформаторах, повышенные шумовые нагрузки. Перегрузки трансформаторов могут быть вызваны следующими причинами:

- 1) резко неравномерным графиком нагрузки трансформаторов по полной мощности;
- 2) отключением одного или нескольких трансформаторов, установленных на многотрансформаторных цеховых подстанциях, при их параллельной работе на общую нагрузку;
- 3) срабатыванием устройства автоматического включения резерва (АВР) на вторичном напряжении ТП, установленном на секционном автоматическом выключателе при раздельной работе трансформаторов;
- 4) автоматическим или ручным резервированием питания по сети напряжением до 1 кВ потребителей, получающих электроэнергию от одното трансформаторных подстанций;
- 5) выбором трансформаторов и других элементов СЭС по нагрузкам, найденным для устанавливаемого производственного оборудования по средним коэффициентам использования, без учета перспективных нагрузок;
- 6) ошибками, допущенными при определении расчетных нагрузок на шинах вторичного напряжения подстанций, числа и мощности трансформаторов, устанавливаемых на производственном объекте;
- 7) отказом конденсаторных установок или отключением их из-за перегрузок токами высших гармоник, что приводит к увеличению реактивной нагрузки и, следовательно, к перегрузке трансформаторов;
- 8) несимметричными режимами работы трансформаторов, вызванными присоединением мощных однофазных электроприемников и их неравномерным распределением по фазам;
- 9) высшими гармоническими составляющими тока при работе мощных электроприемников с нелинейными вольтамперными характеристиками;
- 10) затяжным пуском мощных электродвигателей, подключенных к сетям вторичного напряжения трансформатора и т.д.

Для эффективного электроснабжения промышленных предприятий в процессе эксплуатации электроустановок необходимо контролировать режимы силовых трансформаторов ТП напряжением 6-10/0,4 кВ с целью обеспечения их надежной и экономичной работы. Контроль технического состояния трансформатора способствует его безаварийной работе в течение всего срока службы.

Контроль режима работы трансформаторов осуществляется устройствами и аппаратами защиты, а также контрольно-измерительными приборами, установленными на ТП. Такими приборами являются амперметры, а также счетчики активной и реактивной энергии. У трансформаторов с постоянной нагрузкой перегрузку можно установить по амперметрам, у

трансформаторов с неравномерным графиком нагрузки – путем снятия суточного графика по току, что вызывает определенные трудности на практике.

В общем случае режим работы трансформатора оценивается по значениям тока, активной и реактивной мощности каждой из обмоток, а также по уровню напряжения на выводах трансформатора или на связанных с этими выводами шинах.

В аномальных режимах, представляющих опасность для трансформаторов, они должны автоматически отключаться. При повреждениях в самих трансформаторах и коротких замыканиях (КЗ) на линиях напряжением 6 - 10 кВ, к которым они присоединены, отключение производится выключателями, установленными на источниках питания. Отключение трансформатора может быть также при перегорании предохранителей выключателей нагрузки, установленных в цепи трансформатора на высшем напряжении.

При сверхтоках в сетях напряжением до 1 кВ отключаются автоматические выключатели, установленные на отходящих линиях или в цепи трансформатора. Перегрузка нейтрали трансформатора может возникнуть при несимметричной нагрузке и однофазном КЗ в электрических сетях с глухозаземленной нейтралью. Если происходит перегрузка нейтрали, то отключающий импульс при наличии выключателя нагрузки (ВН), установленного в шкафу высокого напряжения, передается на него, а при отсутствии ВН - на автоматический выключатель в цепи трансформатора.

Согласно правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей [3] в распределительных сетях напряжением до 20 кВ измерение нагрузок и напряжения трансформаторов в 1-й год эксплуатации производится не менее 2-х раз – в период максимальных и минимальных нагрузок, в дальнейшем – по необходимости. Таким образом, нормативными документами не предусмотрен систематический строгий контроль нагрузок распределительных трансформаторов. Поэтому в условиях эксплуатации невозможно определить допустимую систематическую перегрузку силовых трансформаторов в соответствии с требованиями [2] из-за отсутствия необходимой информации о нагрузке, предшествующей перегрузке, и о фактической температуре охлаждающей среды. В связи с этим при приближенной оценке допустимой перегрузки масляных трансформаторов исходят из того, что они могут быть перегружены на 40% при длительности послеаварийного режима 6 ч (минимальное время, необходимое для замены отказавшего трансформатора).

Для возможности реализации методики определения допустимой систематической перегрузки и допустимых аварийных перегрузок силовых трансформаторов с учетом конкретных исходных данных необходимо разработать алгоритм и компьютерную программу. Ее эффективное использование возможно лишь в составе математического обеспечения автоматизированной системы управления трансформаторной подстанцией (АСУТП).

Выводы

1. Полученные в работе аппроксимирующие функции позволяют приближенно оценивать длительность допустимых перегрузок силовых масляных и сухих трансформаторов в зависимости от значений их перегрузок по току.

2. Объективная оценка перегрузочной способности силовых трансформаторов с учетом конкретных исходных данных может быть произведена на основе автоматизированного контроля режимов работы трансформаторов и расчетов, выполненных с использованием компьютерных технологий в рамках АСУТП.

Литература

1. ГОСТ 16110-82 - Трансформаторы силовые. Термины и определения
2. ГОСТ 14209-97 (МЭК 354-91). Руководство по эксплуатации силовых масляных трансформаторов.
3. ТКП 181-2009 (02230). Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей.- Минск: Минэнерго, 2009.-325с.