

ТЕПЛОВЫЕ МОДЕЛИ СИЛОВЫХ МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Д. И. Зализный

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Научный руководитель Рунов Ю. А.

Одна из основных проблем современной системы электроснабжения – это проблема недоиспользования силовых трансформаторов. На каждый кВА передаваемой мощности сейчас устанавливают 2–2,5 кВА трансформаторной мощности, из-за чего государство несет значительный экономический ущерб. Подобная ситуация обусловлена двумя факторами:

1. Недостатками нормативно – технической документации.
2. Отсутствием соответствующих устройств контроля и автоматики.

Важнейший подход для решения проблемы недоиспользования трансформаторов – это правильный расчет и учет температуры наиболее нагретой точки (ННТ) обмотки. Имея достоверные сведения об этой температуре, можно рассчитывать нагрузочную способность силовых трансформаторов.

Основными документами по расчету нагрузочной способности являются ГОСТ 14209-85, а также рекомендации МЭК. Методики, приведенные в них, получены посредством введения множества упрощений, которые, в конечном результате, могут привести к искажению истинных процессов в трансформаторе.

Нами сделана попытка разработать более совершенную методику по расчету нагрузочной способности с использованием современных вычислительных средств. При этом методика должна быть удобной в применении, пригодной для инженерных расчетов и быть более близкой к реальным процессам в трансформаторах, чем методика, принятая в ГОСТ 14209 – 85.

В ГОСТ принята тепловая модель силовых трансформаторов, в которой трансформатор рассматривается как система, состоящая из двух взаимонагреваемых тел: масла и обмотки. При этом, тепловая постоянная времени обмотки считается равной нулю. Данная модель получена путем упрощения более общей модели, где силовой масляный трансформатор рассматривают как систему трех взаимонагреваемых тел: магнитопровода, обмотки и масла. При этом для упрощения предполагают, что коэффициенты теплоотдачи этих тел не зависят от температуры.

В процессе охлаждения обмотка и магнитопровод передают свое тепло маслу, а масло – охлаждающей среде. Передача теплоты между обмоткой и магнитопроводом не учитывается, так как расположенные между ними изоляционные цилиндры препятствуют непосредственному теплообмену между ними. Перепадами температуры между маслом и стенкой радиаторов, а также по толщине стенок пренебрегают. Температура ННТ обмотки зависит, таким образом, от электрических потерь в магнитопроводе P_1 и обмотке P_2 .

Если в начальный момент времени все тела системы имеют температуру охлаждающей среды, то уравнение теплового равновесия принимает вид:

$$\begin{aligned} P_1 &= C_1 \cdot \frac{d\vartheta_1}{dt} + A_{10} \cdot \vartheta_1 + A_{12} \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_2) + A_{13} \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_3) \\ P_2 &= C_2 \cdot \frac{d\vartheta_2}{dt} + A_{20} \cdot \vartheta_2 + A_{21} \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1) + A_{23} \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_3) \\ 0 &= C_3 \cdot \frac{d\vartheta_3}{dt} + A_{30} \cdot \vartheta_3 + A_{31} \cdot (\vartheta_3 - \vartheta_1) + A_{32} \cdot (\vartheta_3 - \vartheta_2) \end{aligned} \quad (1)$$

где A_{ik} – тепловые проводимости между соответствующими телами; $\vartheta_1, \vartheta_2, \vartheta_3$ – превышения температур над температурой охлаждающей среды, соответственно, магнитопровода, обмотки и масла; C_1, C_2, C_3 – теплоемкости соответствующих тел.

Величины $R_{ik} = \frac{1}{A_{ik}}$ называют тепловыми сопротивлениями.

Размерности величин: $[C] = \frac{\text{Вт} \cdot \text{сек}}{^\circ\text{C}}$; $[R] = \frac{^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$.

Нами была разработана электрическая тепловая схема замещения силового масляного трансформатора, которая моделирует тепловые процессы, описываемые системой (1). Тепловая схема замещения приведена на рис. 1.

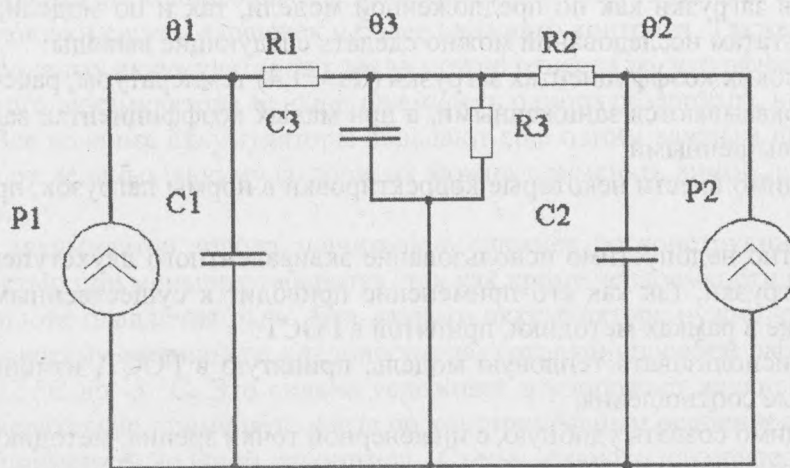


Рис. 1. Тепловая схема замещения силового масляного трансформатора при нулевой температуре охлаждающей среды

В схеме на рис. 1 температура $\theta_2(t)$ равна температуре ННТ обмотки.

Потери P2 соответствуют потерям короткого замыкания в силовом трансформаторе:

$$P_2 = P_{кк} = P_{ккном} \cdot K_3^2,$$

где $P_{кк.ном}$ – потери короткого замыкания при номинальной нагрузке (справочная величина), K_3 – коэффициент загрузки.

Потери P1 соответствуют потерям холостого хода (справочная величина).

Применив операторный метод для тепловой схемы замещения, можно получить выражение для температуры ННТ в общем виде при подаче единичного скачка токов P1 и P2 и нулевых начальных условиях:

$$\theta_{ннт}(t) = (\theta_{c1} + \theta_{c2} \cdot K_3^2) - (\theta_{11} + \theta_{12} \cdot K_3^2) \cdot e^{-\frac{t}{\tau_1}} - (\theta_{21} + \theta_{22} \cdot K_3^2) \cdot e^{-\frac{t}{\tau_2}} - (\theta_{31} + \theta_{32} \cdot K_3^2) \cdot e^{-\frac{t}{\tau_3}} + \theta_{охл},$$

где $\theta_{c1} = \theta_{11} + \theta_{21} + \theta_{31}$; $\theta_{c2} = \theta_{12} + \theta_{22} + \theta_{32}$; τ_1, τ_2, τ_3 – тепловые постоянные времени; $\theta_{охл}$ – температура охлаждающей среды.

Как видно, реальные кривые нагрева отличаются от экспоненциальных. В рамках рассмотренной модели – это сумма трех экспоненциальных составляющих, коэффициенты перед которыми меняются неравноценно при изменении коэффициента загрузки.

При этом первая экспонента намного быстрее, чем вторая и третья. Нами были построены кривые охлаждения и нагревания для различных трансформаторов систем охлаждения М и Д. Данные кривые практически наложилось одна на другую. Это говорит о том, что для данного класса трансформаторов можно выбрать один образцовый, по которому и вести все расчеты.

Приведем результаты расчета для трансформатора ТМ – 250/10.: $\theta_{c1}=9,98$ °С; $\theta_{c2}=68$ °С; $\theta_{11}=0,08$ °С; $\theta_{21}=-5,1$ °С; $\theta_{31}=15$ °С; $\theta_{12}=15,9$ °С; $\theta_{22}=11,1$ °С; $\theta_{32}=41$ °С; $\tau_1=0,1666$ часа; $\tau_2=1,1569$ часа; $\tau_3=3,835$ часа.

После этого были построены кривые охлаждения и нагревания для различных точных графиков загрузки как по предложенной модели, так и по модели, принятой в ГОСТ. По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. При высоких коэффициентах загрузки ($K_z > 1,4$) температуры, рассчитанные по ГОСТ, оказываются заниженными, а при малых коэффициентах загрузки ($K_z < 0,4$) – завышенными.
2. Необходимо внести некоторые корректировки в нормы нагрузок, приводимые в ГОСТ.
3. Абсолютно недопустимо использование эквивалентного двухступенчатого графика нагрузки, так как его применение приводит к существенным погрешностям даже в рамках методики, принятой в ГОСТ.
4. Можно использовать тепловую модель, принятую в ГОСТ, изменив при этом расчетные соотношения.
5. Необходимо создать удобную, с инженерной точки зрения, методику по расчету теплового износа изоляции.

АККУМУЛЯТОРЫ ХОЛОДА И ВАРИАНТЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ЗАТРАТ НА КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ ИЛИ ПОЛУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ХОЛОДА

Г.В. Кузьмич

Белорусская государственная политехническая академия, г. Минск

Научный руководитель Седнин В.А.

Эффективность и результативность политики энергосбережения могут быть достигнуты лишь при согласованных мероприятиях при производстве, распределении и потреблении энергии. Наибольшие трудности при координации действий связаны с осуществлением управления энергопотреблением в системах хладоснабжения. Один из способов управления энергопотреблением – это установка аккумуляторов энергии.

Аккумуляирование энергии является промежуточным этапом между ее производством и потреблением, и поэтому целесообразность аккумуляирования и его формы определяются в первую очередь характеристиками источника и потребителя энергии. Аккумулятором тепловой энергии (в т.ч. холода) называется устройство или совокупность устройств, обеспечивающих обратимые процессы накопления, хранения и выработки тепловой энергии в соответствии с требованиями потребителя. Процессы аккумуляирования тепловой энергии происходят путем изменения физических параметров теплоаккумулирующего материала и за счет энергии связи атомов и молекул вещества.

В настоящее время существует множество различных аккумуляторов холода. И в первую очередь они разделяются по виду применяемого хладоаккумулирующего материала: вода, лед или растворы солей. Естественный слоевой аккумулятор основан на свойстве увеличения плотности воды при уменьшении температуры. Этот аккумулятор состоит из одного бака, где сверху находится теплая вода, а снизу холодная. Естественный слоевой аккумулятор относительно дешевый, но к его основным недостаткам можно отнести значительные потери за счет диффузии и теплообмена между слоями воды с