УКД 621.314

К ВОПРОСУ ВЫБОРА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ[G]

Канд. техн. наук, доц. ГОНЧАР А. А.

Белорусский национальный технический университет

Практика показывает, что в конечных результатах исследования на минимум потерь активной мощности в трансформаторе, суммарных потерь электроэнергии, стоимости трансформации и т. д. в явном виде фигурируют потери в стали $\Delta P_{ст}$ или в сочетании с другими параметрами, характеризующими работу трансформатора. Эти выражения соответственно имеют вид:

$$\sum \Delta P_{min} = \Delta P_{ст}; \quad (1)$$

$$\sum \Delta Э_{min} = T\Delta P_{ст}; \quad (2)$$

$$З_{min} = P_{норм}K + \Delta P_{ст}TC_0, \quad (3)$$

где $\sum \Delta P_{min}$ – минимум суммарных потерь активной мощности; $\sum \Delta Э_{min}$ – то же электроэнергии; $З_{min}$ – минимум приведенных затрат на трансформацию; T – время подключения обмоток трансформатора к питающей сети; $P_{норм}$ – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений; K – капитальные затраты; C_0 – стоимость 1 кВт·ч потерь электроэнергии.

Из рассмотрения (1)…(3) можно предположить, что трансформаторы с меньшими $\Delta P_{ст}$ должны обладать лучшими эксплуатационными характеристиками по указанным критериям, чем трансформаторы с большими значениями $\Delta P_{ст}$.

Цель настоящего исследования – поиск подходов (критериев) при выборе (подбор) силовых трансформаторов, когда по известным методикам определены их мощности, напряжения, типы и т. д. Предполагается, что из некоторого числа предложенных однотипных трансформаторов, имеющих по каталогу одинаковые величины суммарных потерь активной мощности при номинальной нагрузке, но с разными соотношениями потерь в стали $\Delta P_{ст}$ и потерь в меди $\Delta P_{кн}$, необходимо выбрать один. Какому из указанных трансформаторов отдать предпочтение и при каких коэффициентах загрузки обеспечиваются меньшие значения суммарных потерь активной мощности?

Проблема выбора (подбора) трансформаторов возникает как при проектировании новых объектов, так и при реконструкции старых в системах электроснабжения от электрических станций до цеховых трансформаторов промышленных предприятий. Актуальность этого вопроса определяется и расширением предложений по номенклатуре выпускаемых трансформаторов не только стран СНГ, но и других государств, их заводов-изготовителей. Изготовленные на этих заводах трансформаторы могут обладать неко-

---

[*] Публикуется в порядке обсуждения.

торыми особенностями, которые не учитываются заводами-изготовителями стран СНГ.

При выборе трансформаторов будем отдавать предпочтение тем, у которых при прочих равных условиях $\Delta P_{ст}$ меньше. Априорно утверждаем, что в каких-то пределах изменения загрузки трансформаторы с меньшими $\Delta P_{ст}$ будут обладать некоторыми преимуществами, в частности, отвечающими выражениям (1), (2).

Необходимо подтвердить состоятельность выдвинутого положения для использования его в качестве критерия при выборе трансформатора.

Для большей конкретизации дальнейших исследований предположим, что трансформаторы обладают одинаковыми коэффициентами полезного действия при номинальной нагрузке. Этим предположением в них автоматически устанавливается равенство суммарных потерь активной мощности:

$$\sum \Delta P_1 = \sum \Delta P_2 \quad \text{при } K_з = 1{,}0,$$

где $K_з$ – коэффициент загрузки трансформатора;

$$\sum \Delta P_1 = K_з^2 \Delta P_{кн1} + \Delta P_{ст1}; \tag{4}$$

$$\sum \Delta P_2 = K_з^2 \Delta P_{кн2} + \Delta P_{ст2}. \tag{5}$$

Для упрощения последующих преобразований запишем (4) и (5) в виде:

$$Z_1 = a_1 x^2 + c_1; \tag{6}$$

$$Z_2 = a_2 x^2 + c_2. \tag{7}$$

Принимаем при $x = 1{,}0$

$$Z_1 = a_1 + c_1,$$

и

$$Z_2 = a_2 + c_2,$$

при этом $Z_1 = Z_2$, предположим, что $a_1 > a_2$ и соответственно $c_1 < c_2$, и

$$a_1 + c_1 = a_2 + c_2. \tag{8}$$

Для установления достоверности предлагаемого критерия необходимо показать, что функции (6), (7) в некотором диапазоне изменения x имеют точку пересечения и эта точка будет единственной. Надо также определить относительное расположение кривых, другими словами, установить, какая из них проходит выше, а какая ниже.

Для определения наличия числа общих точек (точек пересечения) кривых (6) и (7) необходимо решить уравнение на основании равенства $Z_1 = Z_2$ или

$$a_1 x^2 + c_1 = a_2 x^2 + c_2. \tag{9}$$

Далее записываем (9) в виде

$$(a_1 - a_2)x^2 = c_2 - c_1,$$

что позволяет найти

$$x = \sqrt{\frac{c_2 - c_1}{a_1 - a_2}}, \tag{10}$$

с учетом, что

$$\frac{c_2 - c_1}{a_1 - a_2} > 0$$

получаем

$$x = \pm 1. \tag{11}$$

Кривые, на основании (6) и (7), пересекаются в двух точках соответственно при $x = -1$ и $x = +1$.

Других точек пересечения в интересующем нас диапазоне изменения загрузки трансформатора $0 \le x \le 1{,}0$ на основании (11) нет.

Исследуемые кривые однотипные, поэтому для определения их взаимного положения считаем достаточным и убедительным сравнить их радиусы кривизны в какой-либо точке.

Радиус кривизны имеет вид [1]

$$R = \frac{\left[1 + \left(\frac{dZ}{dx}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}{\frac{d^2Z}{dx^2}} = \frac{\left[1 + \left(\frac{dZ}{dx}\right)^2\right]\sqrt{1 + \left(\frac{dZ}{dx}\right)^2}}{\frac{d^2Z}{dx^2}}. \tag{12}$$

Находим:

$$\frac{dZ_1}{dx} = 2a_1x; \quad \frac{d^2Z_1}{dx^2} = 2a_1;$$

$$\frac{dZ_2}{dx} = 2a_2x; \quad \frac{d^2Z_2}{dx^2} = 2a_2.$$

Запишем радиусы кривизны соответственно для (6) и (7):

$$R_1 = \frac{\left[1 + (2a_1x)^2\right]\sqrt{1 + (2a_1x)^2}}{2a_1}; \tag{13}$$

$$R_2 = \frac{\left[1 + (2a_2x)^2\right]\sqrt{1 + (2a_2x)^2}}{2a_2}. \tag{14}$$

Для упрощения определим R_1 и R_2 для точки $x = 1$:

$$R_1 = \frac{\left[1 + 4a_1^2\right]\sqrt{1 + 4a_1^2}}{2a_1}; \tag{15}$$

$$R_2 = \frac{\left[1 + 4a_2^2\right]\sqrt{1 + 4a_2^2}}{2a_2}. \qquad (16)$$

Принимая во внимание, что абсолютные значения $4a_1^2$, $4a_2^2 >> 1{,}0$, а исследование носит оценочный характер, можно записать окончательно:

$$R_1 = \frac{4a_1^2 \cdot 2a_1}{2a_1} = 4a_1^2; \qquad (17)$$

$$R_2 = \frac{4a_2^2 \cdot 2a_2}{2a_2} = 4a_2^2. \qquad (18)$$

По условию, $a_1 > a_2$, $4a_1^2 > 4a_2^2$ и тогда $R_1 > R_2$.

Таким образом, кривая (6) проходит ниже кривой (7). При одинаковой загрузке трансформаторов суммарные потери активной мощности в трансформаторе (7) больше аналогичных потерь трансформатора (6). При загрузке трансформаторов $x > 1{,}0$ взаимное положение кривых изменится.

Отсутствие достоверных графиков потребления электроэнергии, перестраховка проектировщиков и эксплуатационников в пользу больших мощностей трансформаторов, большой шаг смежных номинальных мощностей выпускаемых трансформаторов (примерно 1,6) приводят к тому, что номинальные мощности принимаемых к установке трансформаторов в результате оказываются неоправданно завышенными. В связи с этим длительные перегрузки при их эксплуатации маловероятны.

Таким образом, очевидно, что трансформаторы с меньшими значениями $\Delta P_{ст}$ при том же графике загрузки обладают меньшими суммарными потерями активной мощности, меньшими суммарными потерями электроэнергии, чем трансформаторы с большими значениями $\Delta P_{ст}$.

ВЫВОД

Величина потерь в стали трансформатора существенным образом сказывается на его эксплуатационных характеристиках. Трансформаторы, у которых потери в стали меньше, обладают меньшими суммарными потерями активной мощности и суммарными потерями электроэнергии, чем аналогичные трансформаторы с большими потерями в стали при том же графике загрузки и коэффициентах загрузки $1{,}0 > K_з > 0$. Предполагается, что суммарные потери активной мощности в указанных трансформаторах при $K_з = 1{,}0$ равны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хинчин А. Я. Краткий курс математического анализа. – М.: ГИТТЛ, 1953. – 624 с.

Представлена кафедрой электроснабжения

Поступила 3.03.2004