

ЕЩЕ РАЗ О ВЫБОРЕ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ*

Канд. техн. наук, доц. ГОНЧАР А. А.

Белорусский национальный технический университет

Нетрудно заметить очень жесткие ограничения, положенные в основу рассмотрения вопросов, связанных с подбором трансформаторов [1]. Автор понимает, что требуемого совпадения практически достичь невозможно, разве лишь теоретически.

Действительно, ситуация, когда суммы каталожных данных потерь активных мощностей в стали $\Delta p_{ст}$ (холостого хода) и в обмотках $\Delta p_{кн}$ (короткого замыкания) трансформаторов точно совпадают по величине, разнясь при этом по отдельности, маловероятная. Совпадение может быть только случайным. Таким образом, надо признать наиболее типичную ситуацию, когда эти ограничения строго не выдерживаются. В связи с этим уместен вопрос: каким образом и в чем это проявится, на чем отразится. Предлагаемое исследование пытается ликвидировать указанный пробел.

Итак, имеем два силовых трансформатора, текущие значения суммарных потерь активной мощности в каждом из них определяются соотношениями:

$$\Sigma \Delta p_1 = K_3^2 \Delta p_{кн1} + \Delta p_{ст1}; \quad (1)$$

$$\Sigma \Delta p_2 = K_3^2 \Delta p_{кн2} + \Delta p_{ст2}. \quad (2)$$

Для упрощения последующих записей и облегчения чисто технических действий перейдем к обозначениям, предложенным в [1]:

$$z_1 = a_1 x^2 + c_1; \quad (3)$$

$$z_2 = a_2 x^2 + c_2, \quad (4)$$

где $\Sigma \Delta p_1 = z_1$ и $\Sigma \Delta p_2 = z_2$ – текущее значение суммарных потерь активных мощностей в каждом из трансформаторов; $K_3 = x$ – коэффициент загрузки; $\Delta p_{кн1} = a_1$ и $\Delta p_{кн2} = a_2$ – потери активных мощностей в обмотках при номинальных токах; $\Delta p_{ст1} = c_1$ и $\Delta p_{ст2} = c_2$ – то же в стали.

Необходимо выбрать трансформатор с меньшими текущими значениями суммарных потерь активной мощности и установить диапазон изменения коэффициентов загрузки, в котором это требование будет выполняться.

Для сравнительной оценки результирующих значений суммарных потерь активной мощности представим (3) и (4) в виде

$$\Delta z = z_1 - z_2 = x^2(a_1 - a_2) + c_1 - c_2. \quad (5)$$

Рассмотрим поведение (5) в зависимости от соотношений a_1 и a_2 , с одной стороны, и c_1 и c_2 – с другой, принимая во внимание, что коэффициент загрузки $x \geq 0$.

* Публикуется в порядке обсуждения.

Здесь возможны следующие варианты:

$$1) a_1 > a_2 \text{ и } c_1 > c_2 \quad \Delta z = (x^2(a_1 - a_2) + c_1 - c_2) > 0; \quad (6)$$

$$2) a_1 = a_2 \text{ и } c_1 > c_2 \quad \Delta z = (c_1 - c_2) > 0; \quad (7)$$

$$3) a_1 > a_2 \text{ и } c_1 = c_2 \quad \Delta z = x^2(a_1 - a_2) > 0. \quad (8)$$

На основании (6)–(8) сделаем очевидные заключения.

1. Трансформаторы с меньшими значениями a и c соответственно имеют меньшие текущие значения суммарных потерь активной мощности. В данном случае – с индексом 2.

2. Представляя кривые (3) и (4) графически и учитывая (6)–(8), видно, что они не пересекаются, т. е. не имеют общих точек (естественно, кроме точки $x = 0$).

Как отмечалось ранее, практический интерес представляет наиболее вероятный случай при $a_1 > a_2$ и $c_1 < c_2$.

Есть все основания предполагать, что в данном случае кривые (3) и (4) пересекаются (т. е. имеют общую точку), и это произойдет при выполнении условия

$$\Delta z = z_1 - z_2 = x^2(a_1 - a_2) + c_1 - c_2 = 0. \quad (9)$$

Как следует из (9), точка пересечения определяется по выражению

$$x = \sqrt{\frac{c_2 - c_1}{a_1 - a_2}}. \quad (10)$$

С учетом $x > 0$ необходимо рассмотреть возможные варианты:

$$1) a_1 - a_2 = c_2 - c_1 \text{ и } x = 1,0; \quad (11)$$

$$2) a_1 - a_2 > c_2 - c_1 \text{ и } x < 1,0; \quad (12)$$

$$3) a_1 - a_2 < c_2 - c_1 \text{ и } x > 1,0. \quad (13)$$

Таким образом, при коэффициентах загрузки трансформаторов, определяемых на основании (10) и с учетом (11)–(13), суммарные потери активных мощностей сравниваемых трансформаторов равны.

При коэффициентах загрузки трансформаторов до значений, найденных на основании (10) и с учетом (11)–(13), трансформаторы с меньшими значениями $\Delta p_{ст1}(c_1)$ предпочтительнее трансформаторов с большими значениями $\Delta p_{ст2}(c_2)$, трансформаторам с большими значениями $\Delta p_{ст2}(c_2)$ необходимо отдавать предпочтение при коэффициентах загрузки сверх значений, определяемых (10).

Для подтверждения изложенного выше сравним углы наклона касательных к кривым (3) и (4) в точках пересечения на основании (10).

Углы наклона касательных к кривым находятся в соответствии с [2]:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{dz_1}{dx}; \quad (14)$$

$$\operatorname{tg}\alpha_2 = \frac{dz_2}{dx}. \quad (15)$$

И имеют вид:

$$\operatorname{tg}\alpha_1 = 2a_1x; \quad (16)$$

$$\operatorname{tg}\alpha_2 = 2a_2x. \quad (17)$$

По условию $a_1 > a_2$, тогда:

$$\operatorname{tg}\alpha_1 > \operatorname{tg}\alpha_2 \quad \text{и} \quad \alpha_1 > \alpha_2, \quad (18)$$

где α_1 и α_2 – углы между положительным направлением оси Ox и касательными.

Угол наклона касательной к кривой z_1 в точке x больше угла наклона касательной к кривой z_2 в той же точке.

Это означает, что графически до точки x кривая z_2 располагается выше кривой z_1 и текущие значения суммарных потерь активной мощности трансформаторов с индексом 1 всегда меньше аналогичных потерь трансформаторов с индексом 2.

Кстати, в [1] рассмотрен частный случай в соответствии с (11).

ВЫВОДЫ

1. Еще раз подтверждено предположение, выдвинутое на основании (1)–(3) [1], о том, что трансформаторы с меньшими значениями $\Delta p_{\text{ст}1}(c_1)$ в некотором диапазоне изменения коэффициентов загрузки имеют меньшую величину суммарных потерь активной мощности $\Delta p_1(z_1)$ и в связи с этим предпочтительнее трансформаторов с большими значениями $\Delta p_{\text{ст}2}(c_2)$. Таким образом, показано, что положение [1] носит общий характер.

2. Соотношениями между, с одной стороны, $\Delta p_{\text{ст}1}(c_1)$ и $\Delta p_{\text{ст}2}(c_2)$, и с другой – $\Delta p_{\text{кн}1}(a_1)$ и $\Delta p_{\text{кн}2}(a_2)$ определяется диапазон изменения коэффициентов загрузки трансформаторов, в котором предпочтение отдается трансформатору с меньшими значениями $\Delta p_{\text{ст}}(c)$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гончар, А. А. К вопросу выбора силовых трансформаторов / А. А. Гончар // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2005. – № 4. – С. 25–28.
2. Хинчин, А. Я. Краткий курс математического анализа / А. Я. Хинчин. – М.: ГИТТЛ, 1953. – 624 с.

Представлена кафедрой
электроснабжения

Поступила 14.02.2006