

## Оптимизация загрузки силовых трансформаторов промышленных предприятий

Трушников А. Л., Радкевич В. Н.

Белорусский национальный технический университет

Существует ряд способов снижения расхода электроэнергии при выпуске планируемого объема продукции. В условиях существующего технологического процесса одним из таких способов может быть отключение малозагруженных силовых трансформаторов с переводом их нагрузки на параллельно работающие с целью снижения потерь электроэнергии. Для определения целесообразности отключения одного из трансформаторов, работающих на общую нагрузку, необходимо использовать некоторый критерий оптимальности, в качестве которого можно принять минимум потерь электроэнергии за рассматриваемый период, так как стоимость потерь электроэнергии входит в энергетическую составляющую себестоимости продукции.

Для минимизации потерь электроэнергии в трансформаторах необходимо знать среднюю нагрузку  $S_{\Delta WC}$ , при которой за определенный период потери активной мощности при работе  $n-1$  и  $n$  трансформаторов равны:

$$\Delta W_{T(n-1)} = \Delta W_{Tn}, \quad (1)$$

где  $\Delta W_{T(n-1)}$  и  $\Delta W_{Tn}$  – потери электроэнергии в трансформаторах при работе  $(n-1)$  и  $n$  трансформаторов.

При расчете потерь электроэнергии за год по средней нагрузке и времени работы трансформатора для параллельно работающих трансформаторов одинаковых типоразмеров указанное выше условие имеет вид

$$(n-1)\Delta P_X t_B + \frac{\Delta P_K K_\Phi^2 S_{\Delta WC}^2 t_P}{(n-1)S_{НОМ}^2} = n\Delta P_X t_B + \frac{\Delta P_K K_\Phi^2 S_{\Delta WC}^2 t_P}{nS_{НОМ}^2}, \quad (2)$$

где  $t_B$  – число часов включения трансформатора в течение года;

$\Delta P_X$  – потери холостого хода трансформатора;

$\Delta P_K$  – потери короткого замыкания трансформатора;

$t_P$  – время работы трансформатора с нагрузкой;

$S_{НОМ}$  – номинальная мощность трансформаторов;

$K_\Phi$  – коэффициент формы графика нагрузки.

Из уравнения (2) получаем

$$S_{\Delta WC} = \frac{S_{НОМ}}{K_{\phi}} \sqrt{n(n-1) \frac{\Delta P_X t_B}{\Delta P_K t_P}}. \quad (3)$$

При  $n=2$

$$S_{\Delta WC} = \frac{S_{НОМ}}{K_{\phi}} \sqrt{2 \frac{\Delta P_X t_B}{\Delta P_K t_P}}. \quad (4)$$

Выражения (3) и (4) позволяют определить средние значения мощности нагрузки, при которой потери активной энергии при разном количестве трансформаторов равны.

Если трансформатор работает с нагрузкой в течение всего времени включения, то  $t_p = t_B$ .

Тогда выражение (3) упрощается к виду

$$S_{\Delta WC} = \frac{S_{НОМ}}{K_{\phi}} \sqrt{n(n-1) \frac{\Delta P_X}{\Delta P_K}}. \quad (5)$$

В том случае, когда два трансформатора одинаковой мощности работают раздельно с нагрузками  $S_1$  и  $S_2$ , значение средней нагрузки одного из них, при которой целесообразно изменить число работающих трансформаторов, определяется из уравнения

$$2\Delta P_X t_B + \Delta P_K \frac{K_{\phi}^2 S_1^2}{S_{НОМ}^2} t_p + \Delta P_K \frac{K_{\phi}^2 S_2^2}{S_{НОМ}^2} t_p = \Delta P_X t_B + \Delta P_K \frac{K_{\phi}^2 (S_1 + S_2)^2}{S_{НОМ}^2} t_p. \quad (6)$$

Выполнив преобразование данного уравнения, приняв, что  $S = S_1 + S_2$ , и решив его, например, относительно  $S_1$ , получим два значения нагрузки

$$S_{1(1)} = \frac{S}{2} + \sqrt{\frac{S^2}{4} - \frac{\Delta P_X t_B S_{НОМ}^2}{2\Delta P_K K_{\phi}^2 t_p}}; \quad (7)$$

$$S_{1(2)} = \frac{S}{2} - \sqrt{\frac{S^2}{4} - \frac{\Delta P_X t_B S_{НОМ}^2}{2\Delta P_K K_{\phi}^2 t_p}}. \quad (8)$$

Таким образом, для снижения потерь электроэнергии в трансформаторах следует отключить трансформатор Т2 при нагрузке  $S_1 > S_{1(1)}$  и Т1 – при  $S_1 < S_{1(2)}$ . Отметим, что уравнение имеет действительное решение при суммарной нагрузке

$$S \geq \frac{S_{НОМ}}{K_{\phi}} \sqrt{2 \frac{\Delta P_X t_B}{\Delta P_K t_P}}. \quad (9)$$

При этом суммарная нагрузка не должна превышать длительно допустимую нагрузку одного трансформатора:

$$S \leq K_{\text{доп}} S_{\text{ном}}, \quad (10)$$

где  $K_{\text{доп}}$  – коэффициент допустимой перегрузки трансформатора.

Зависимость потерь активной мощности от загрузки трансформатора и времени его работы можно выразить графически (рисунок 1). Под относительными потерями электроэнергии в данном случае следует понимать отношение абсолютных потерь энергии к значению потерь активной энергии в трансформаторе за 8760 часов работы с номинальной нагрузкой.

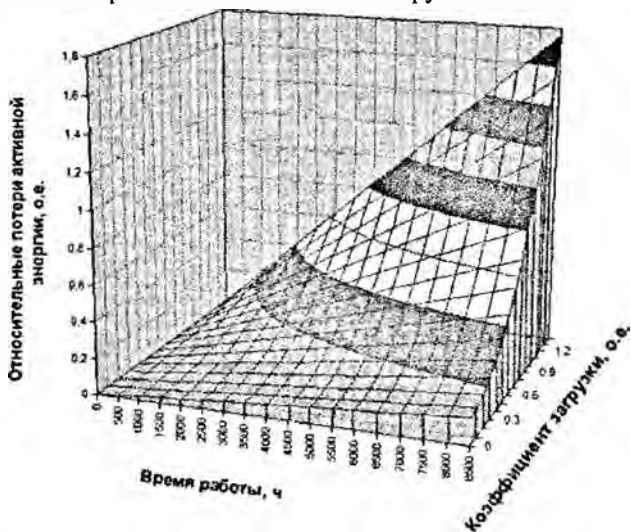


Рисунок 1 – Графическая зависимость потерь активной электроэнергии от времени работы и коэффициента загрузки

#### Выводы

1. Построенные графические зависимости (рисунок 1) в одной системе координат для различных типоразмеров или количества параллельно работающих трансформаторов позволяют наглядно оценить области оптимальных, с точки зрения минимума потерь электроэнергии, нагрузок трансформаторов.