

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ ПЕРЕГРУЗОК МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С УЧЕТОМ РЕАЛЬНЫХ ГРАФИКОВ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ

*Анищенко В.А., Козловская В.Б., Радкевич В.Н., Колосова И.В.*

*Белорусский национальный технический университет*

Мощность силовых масляных трансформаторов выбирается исходя из экономической целесообразности режима работы и надёжности электроснабжения приёмников электроэнергии при условии, что нагрузки трансформаторов не должны приводить к снижению их нормального срока службы или гарантировать его незначительное уменьшение при больших нагрузках по току.

Чрезмерно большие и длительные перегрузки трансформаторов существенно снижают их надёжность и срок службы из-за повышенного износа изоляции обмоток в результате нагрева.

С другой стороны, недоиспользование потенциальной перегрузочной способности трансформаторов приведёт к необоснованному преждевременному отключению потребителей электроэнергии и существенному экономическому ущербу.

Согласно стандарту [1] нормальные режимы систематических нагрузок трансформаторов представляют собой циклические неаварийные режимы с нормальным сокращением срока службы, эквивалентным его сокращению при продолжительной работе с номинальной нагрузкой при температуре охлаждающей среды  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Неучет изменяющейся температуры охлаждающей среды может значительно (до двух и более раз) изменять допустимую продолжительность перегрузки.

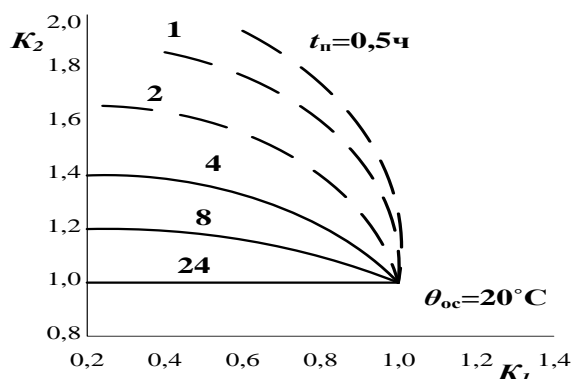


Рис. 1 - Допустимые систематические нагрузки с нормальным сокращением срока службы при  $\theta_{oc} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ :  $K_1$  - коэффициента начальной нагрузки;  $K_2$  - коэффициента перегрузки

На точность определения допустимой перегрузки может повлиять неучет фактического теплового состояния трансформатора в момент времени  $t_1$ , предшествующий началу перегрузки (рисунок 2). Неучет предыстории нагрузки на интервале времени, предшествующем перегрузке, может снизить точность определения длительности перегрузки  $t_{II}$ .



Рис. 2 - Эквивалентный двухступенчатый график нагрузки

Таким образом, неучет предыстории, т. е. фактического графика нагрузки до наступления перегрузки, а также возможных изменений кратности перегрузки в процессе ее развития,

может привести к большим погрешностям определения допустимой длительности перегрузки и, как следствие, к недопустимому перегреву изоляции обмоток или неполному использованию номинальной перегрузочной способности трансформаторов, что ограничивает возможность полного удовлетворения запросов потребителей. Поэтому действующий стандарт [1] настоятельно рекомендует потребителям делать свои собственные расчеты допустимых нагрузок на основе более реальных графиков нагрузки.

Связь между кратностью перегрузки и обусловленной ею кратностью превышения температуры изоляции обмоток над температурой охлаждающей среды отражает инерционное звено первого порядка с передаточной функцией

$$W(P) = \frac{k}{TP + 1}, \quad (1)$$

где входным сигналом является кратность перегрузки, выходным – кратность превышения температуры наиболее нагретой точки трансформатора;  $P = \frac{d}{dt}$  – оператор дифференцирования;  $k$  – коэффициент пропорциональности.

Если кратность перегрузки изменяется, ее можно представить рядом накладывающихся ступенек кратности, сдвинутыми относительно начала перегрузки на интервалы временной дискретизации процесса. Осреднение удобно производить методом экспоненциального сглаживания

$$\bar{K}_1(t) = \alpha K_2(t) + [1 - \alpha] \bar{K}_1(t - h), \quad (2)$$

где  $\bar{K}_1(t)$  – осредненная кратность нагрузки в момент времени  $t$ ;  $\bar{K}_1(t - h)$  – то же в предыдущий момент времени  $(t - h)$ ;  $h$  – интервал времени дискретизации процесса.

Используя рекуррентное соотношение (2), можно непрерывно отслеживать осредненную кратность перегрузки и таким способом косвенно контролировать тепловое состояние трансформатора. Допустимая длительность переменной перегрузки  $t_{\Pi}$  в момент времени  $t$ :

$$t_{\Pi(t)} = -T \ln \frac{K_2(t) - K_3}{K_2(t) - \bar{K}_1(t)}, \quad (3)$$

где  $K_3$  – кратность перегрузки, соответствующая допустимому превышению температуры наиболее нагретой точки  $\tau_{\text{аиі}}$ .

Значения  $K_3$  можно рассчитать по формуле:

$$K_3 = K_2 - (K_2 - K_1) \cdot e^{-\frac{t_i}{T}}. \quad (4)$$

Значения  $K_1, K_2, t_{\Pi}$  берутся из рекомендуемых стандартом [1] таблиц допустимых при разной температуре охлаждающей среды нагрузок

Разработана методика для определения допустимой продолжительности систематической неаварийной перегрузки распределительных масляных трансформаторов, учитывающая изменения кратностей перегрузки на интервале времени ее существования и изменения теплового состояния трансформатора. Применение этой методики позволит повышать точность определения допустимой продолжительности систематических перегрузок и в конечном итоге надежность работы трансформатора и системы электроснабжения в целом. Реализация методики предполагается посредством мониторинга нагрузки трансформатора как одной из задач автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии.

#### Список использованных источников

1. ГОСТ 14. 209-97 (МЭК 354(1991)). Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов.