

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА СОКРАЩЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПРИ СНИЖЕНИИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Д. С. Лапуста

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель О. Г. Широков, канд. техн. наук, доцент

Сокращение срока службы трансформаторов при снижении качества электрической энергии (КЭ) происходит в результате дополнительного нагрева изоляции обмоток, вызванного дополнительными потерями активной мощности, возникающими, как правило, из-за протекания в них токов обратной последовательности и токов высших гармоник (ВГ). Дополнительные потери активной мощности при несимметрии напряжений представляют в виде суммы дополнительных потерь холостого хода (ХХ) и короткого замыкания (КЗ). Добавочные потери в обмотках трансформатора возрастают пропорционально квадрату номера гармоники [2]:

$$\Delta P_T = \xi_u^2 \left(\Delta P_{\text{xx}} + \frac{\Delta P_{\text{кз}}}{u_{\text{кз}}^2} \right), \text{ Вт,}$$

где ξ_u – коэффициент несимметрии напряжений, равный отношению напряжения обратной последовательности к номинальному; ΔP_{xx} – потери холостого хода при основной частоте, кВт; $\Delta P_{\text{кз}}$ – потери короткого замыкания на основной частоте, кВт; $u_{\text{кз}}$ – напряжение КЗ, о. е.

Для учета различного спектрального состава напряжения в каждой фазе выразим величину потери холостого хода и короткого замыкания для одной фазы.

В номинальном симметричном режиме потери холостого хода выражают [5]:

$$\Delta P_{\text{xx}} = 3U_{\text{н}} I_{\text{xx}} \cdot \cos \phi_{\text{xx}}, \text{ Вт,}$$

где I_{xx} – номинальный ток холостого хода, %; $\cos \phi_{\text{xx}}$ – коэффициент мощности холостого хода.

Приняв допущение о том, что потери холостого хода в номинальном режиме равны для каждой из трех фаз, можно записать:

$$\Delta P_{\text{xx}} = 3U_{\text{н}} I_{\text{xx}} \cdot \cos \phi_{\text{xx}} = 3\Delta P_{\text{xx}}^{(1)}, \text{ Вт,}$$

где $\Delta P_{\text{xx}}^{(1)}$ – потери холостого хода для одной фазы, кВт.

Потери холостого хода для трансформатора в номинальном режиме для одной фазы составят [2]:

$$\Delta P_{xx}^{(1)} = \frac{\Delta P_{xx}}{3}, \text{ Вт.}$$

Потери короткого замыкания в номинальном режиме считаются аналогично потерям холостого хода и для одной фазы составят:

$$\Delta P_{кз}^{(1)} = \frac{\Delta P_{кз}}{3}, \text{ Вт.}$$

В [1] дополнительные потери холостого хода ΔP_{xv} при несинусоидальности напряжения рассчитывают по выражению

$$\Delta P_{xv} = P_x \cdot \sum_{v=2}^n U_{v*}^2, \text{ Вт,}$$

где U_{v*} – относительное значение напряжения на v -й гармонике, $U_{v*} = U_v / U_{ном}$.

Дополнительные потери активной мощности короткого замыкания при несинусоидальности напряжения будут равны [2]:

$$\Delta P_{kv} = 0,607 \frac{\Delta P_{кз}}{u_{кз}^2} \cdot \sum_{v=2}^n \frac{1 + 0,05v^2}{v\sqrt{v}} U_{v*}^2, \text{ Вт.}$$

Суммарные потери, обусловленные несинусоидальным режимом работы трансформатора, для одной фазы определяются по формуле

$$\Delta P_v = \Delta P_{xx}^{(1)} \sum_{v=2}^n U_{v*}^2 + 0,607 \frac{\Delta P_{кз}}{u_{кз}^2} \cdot \sum_{v=2}^n \frac{1 + 0,05v^2}{v\sqrt{v}} U_{v*}^2.$$

Суммарные потери в трансформаторе, работающем в режиме несимметрии и несинусоидальности, составят:

$$\Delta P = \Delta P_T^{A,B,C} + \Delta P_v^{A,B,C} + \Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} \cdot \beta^2,$$

где β – коэффициент нагрузки трансформатора.

При работе электрооборудования в номинальном режиме дополнительные потери от высших гармоник приводят к перегреву токоведущих частей выше допустимой температуры. К повышению температуры весьма чувствительна изоляция обмоток, срок службы которой снижается.

Согласно [1] прирост температуры от высших гармоник определяется по выражению

$$\Delta \tau = \tau_{м.н} \left[\left(\frac{\sum \Delta P}{\sum P_{ном}} \right)^{n_0} - 1 \right] + \tau_{(об-м)н} (\beta^{2-n} - 1),$$

где n , n_0 – коэффициенты, значения которых находятся в диапазонах, соответственно, 0,7–0,8 и 0,6–0,8; $\tau_{м.н}$ и $\tau_{(об-м)н}$ – установившиеся превышения температур соответственно масла и обмоток при номинальных условиях.

С учетом формул преобразуется к виду:

$$\Delta\tau = \frac{\tau_{\text{М.Н}} n_0 \frac{\Delta P_{\text{КЗ}}}{S_{\text{НОМ}}}}{u_{\text{КЗ}}^2 \left(\frac{\Delta P_{\text{КЗ}}}{S_{\text{НОМ}}} + \frac{\Delta P_{\text{XX}}}{S_{\text{НОМ}}} \right)} (\xi_u^2 + 0,607 \cdot \sum_{v=2}^{50} \frac{1+0,05v^2}{v\sqrt{v}} U_v^2) + \frac{\tau_{(\text{об-м})\text{Н}} \cdot n}{u_{\text{КЗ}}^2} \times$$

$$\times (\xi_u^2 + 1,291 \cdot \sum_{v=2}^{50} \frac{U_v^2}{v^2}), \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Относительное сокращение срока службы изоляции определяются по выражению [2]:

$$\Delta V = \frac{V - V_{\text{НК.Э}}}{V} = 1 - e^{-\alpha \cdot \Delta\tau}, \%$$

где $V_{\text{НК.Э}}$ – срок службы при некачественной ЭЭ; α – коэффициент старения изоляции, для трансформаторов $\alpha = 0,1155 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

В итоге будет написана программа по расчету сокращения срока службы силовых трансформаторов. Программирование будет осуществляться на языке Delphi, основы которого мы изучили в университете на начальных курсах первой ступени образования.

Литература

1. Избранные вопросы несинусоидальных режимов в электрических сетях предприятий / И. В. Жежеленко [и др.]. – М. : Энергоатомиздат, 2007. – 296 с.
2. Электромагнитная совместимость потребителей / И. В. Жежеленко [и др.]. – М. : Машиностроение, 2012. – 351 с.