

$$\delta(B_{\bar{k}_{\Delta W}}) = \delta(\Delta W_{\bar{k}_{\Delta W}}) b, \quad (12)$$

$$\delta(B_{\bar{k}_{C_n}}) = \delta(\Delta W_{\bar{k}_{C_n}}) b, \quad (13)$$

где b – удельный расход условного топлива.

УДК 621.314.222.6

ВЛИЯНИЕ СХЕМ СОЕДИНЕНИЯ ОБМОТОК СПЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ПОТЕРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Шевчик Н.Е., к.т.н., доцент, Михайлова Е.В., аспирантка

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск Республика Беларусь*

Сельскохозяйственные электропотребители характеризуются малой плотностью нагрузок и большим удельным весом однофазных токоприемников. В свою очередь случайное включение однофазных нагрузок приводит к несимметричным режимам и отрицательно влияет на качество напряжения и потери в низковольтных электрических сетях 0,38 кВ. Для улучшения качества электроэнергии используются специальные трансформаторы с компенсацией потоков нулевой последовательности: У/Зн, У/Ун СУ и др. Известно, что указанные трансформаторы улучшают качество напряжения и снижают потери в самих трансформаторах. Их влияние на потери в линии электропередач не изучены. Поэтому для проведения исследований влияния компенсации нулевых потоков в трансформаторе на потери низковольтной линии при несимметричной нагрузке необходима методика расчета потерь низковольтной линии, которая учитывала бы падения напряжения в самом трансформаторе.

При разработке методики сделаны следующие допущения:

1. Напряжения, подаваемые на первичную обмотку трансформатора симметричны;
2. Нагрузка низковольтной сети является сосредоточенной;
3. Коэффициент мощности низковольтной сети равен 1.

Физические процессы, происходящие в электрической сети с несимметричной нагрузкой ($Z_a \neq Z_b \neq Z_c$) и порядок расчета фазных токов представим на следующей схеме:

$$U_a = U_b = U_c \rightarrow I_a^* \neq I_b^* \neq I_c^* \rightarrow I_1 : I_2 : I_0 \rightarrow E_1 : E_2 : E_0 \rightarrow I_a' : I_b' : I_c'$$

где Z_a, Z_b, Z_c – сопротивления нагрузок по фазам Ом;

U_a, U_b, U_c – фазные напряжения, В;

I_a^*, I_b^*, I_c^* – фазные токи, определенные без учета падений напряжения в трансформаторе, А;

I_1, I_2, I_0 – токи прямой, обратной и нулевой последовательностей, А;

E_1, E_2, E_0 – ЭДС прямой, обратной и нулевой последовательностей, В;

I_a', I_b', I_c' – токи прямой, обратной и нулевой последовательностей, вызванные ЭДС

E_1, E_2, E_0 , А;

I_a, I_b, I_c – фазные токи, А

Согласно допущению, что система напряжений, подаваемая на первичную обмотку трансформатора симметрична, фазные напряжения будут равны по модулю и их вектора будут смещены в пространстве на 120° относительно друг друга:

$$\begin{aligned}\bar{U}_a &= U_a; \\ \bar{U}_b &= U_b \cdot e^{-j120}; \\ \bar{U}_c &= U_c \cdot e^{-j240}.\end{aligned}\quad (1)$$

Так как потребители сельских электрических сетей носят разный характер, полные сопротивления нагрузки определим с учетом коэффициента мощности:

$$\begin{aligned}\bar{Z}_a &= Z_a \cdot e^{-j\varphi_a}; \\ \bar{Z}_b &= Z_b \cdot e^{-j(120-\varphi_b)}; \\ \bar{Z}_c &= Z_c \cdot e^{-j(240-\varphi_c)}.\end{aligned}\quad (2)$$

Фазные токи без учета ЭДС наводимых в трансформаторе потоками прямой, обратной и нулевой последовательностей, определяются по закону Ома:

$$\bar{I}_a^* = \frac{\bar{U}_a}{\bar{Z}_a}; \quad \bar{I}_b^* = \frac{\bar{U}_b}{\bar{Z}_b}; \quad \bar{I}_c^* = \frac{\bar{U}_c}{\bar{Z}_c}\quad (3)$$

Общим методом анализа несимметричных режимов является метод симметричных составляющих.

Разложим фазные токи I_a^*, I_b^*, I_c^* на симметричные составляющие I_1, I_2, I_0 , направив вектор тока в фазе «а» по действительной оси.

$$\begin{aligned}\bar{I}_1 &= \frac{1}{3}(I_a^* + e^{-j120} \cdot I_b^* + e^{-j240} \cdot I_c^*); \\ \bar{I}_2 &= \frac{1}{3}(I_a^* + e^{-j240} \cdot I_b^* + e^{-j120} \cdot I_c^*); \\ \bar{I}_0 &= \frac{1}{3}(I_a^* + I_b^* + I_c^*).\end{aligned}\quad (4)$$

Токи прямой, обратной и нулевой последовательностей создают во всех фазах магнитные потоки, которые в свою очередь индуцируют электродвижущие силы:

$$\begin{aligned}\bar{E}_1 &= \bar{I}_1 \cdot \bar{X}_k \\ \bar{E}_2 &= \bar{I}_2 \cdot \bar{X}_k \\ \bar{E}_0 &= I_0 \cdot \bar{X}_0\end{aligned}\quad (5)$$

где \bar{X}_k – индуктивное сопротивление короткого замыкания трансформатора;

X_0 – сопротивление нулевой последовательности обмоток трансформатора.

В свою очередь индуцируемые ЭДС E_1, E_2, E_0 вызовут в обмотках трансформатора токи прямой, обратной и нулевой последовательностей I_1^*, I_2^*, I_0^* .

На основании схем замещения, представленных на рисунке 1, по второму закону Кирхгофа найдем токи, наведенные ЭДС прямой, обратной и нулевой последовательностей:

$$\begin{aligned}I_1^* &= \frac{E_1}{(\bar{X}_k + \bar{Z}_{II} + \bar{Z}_I)}; \\ I_2^* &= \frac{E_2}{(\bar{X}_k + \bar{Z}_{II} + \bar{Z}_I)}; \\ I_0^* &= \frac{E_0}{(r_0 + \bar{Z}_{II} + Z_{II} + \bar{Z}_{III})}\end{aligned}\quad (6)$$

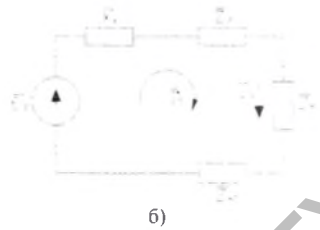
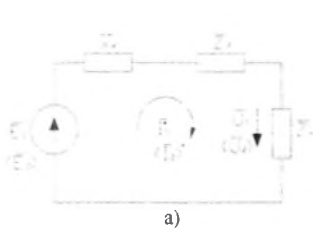


Рисунок 1 Схемы замещения: а – прямой и обратной последовательностей; б – нулевой последовательности

Учитывая дополнительные токи, наводимые ЭДС прямой, обратной и нулевой последовательностей, то во вторичной обмотке трансформатора и нулевом проводе будут протекать токи, которые определяются по следующим выражениям:

$$\begin{aligned} \bar{I}_a &= \bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \bar{I}_0 + \bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \bar{I}_0; \\ \bar{I}_b &= e^{-j120} \cdot (\bar{I}_1 + \bar{I}_1) + e^{-j240} \cdot (\bar{I}_2 + \bar{I}_2) + \bar{I}_0 + \bar{I}_0; \\ \bar{I}_c &= e^{-j240} \cdot (\bar{I}_1 + \bar{I}_1) + e^{-j120} \cdot (\bar{I}_2 + \bar{I}_2) + \bar{I}_0 + \bar{I}_0; \\ \bar{I}_{nn} &= \bar{I}_a + \bar{I}_b + \bar{I}_c; \end{aligned} \quad (7)$$

Потери в сетях 0,38 кВ состоят из потерь в трансформаторе и потерь в линии. Тогда с учетом токов наведенных ЭДС прямой, обратной и нулевой последовательности потери рассчитаем по формуле:

$$\begin{aligned} \Delta P_{\Sigma} &= I_a^2 \cdot r_s + I_b^2 \cdot r_s + I_c^2 \cdot r_s + I_{nn}^2 \cdot r_{nn}; \\ \Delta P_{mp} &= 3 \cdot (I_1^2 + I_2^2) \cdot r_s + I_0^2 \cdot r_0; \\ \Delta P &= \Delta P_{\Sigma} + \Delta P_s. \end{aligned} \quad (8)$$

Выше разработанная методика прошла экспериментальную проверку в лабораторных условия. Результаты подтвердили ее достоверность.