

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ВРЕМЕНИ ЗАМЕНЫ РАБОТАЮЩИХ В ГОРОДСКОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ТРАНСФОРМАТОРЫ БОЛЬШЕЙ МОЩНОСТИ

Докт. техн. наук, проф. КОРОТКЕВИЧ М. А.,
канд. техн. наук ЛЕБИБ ШИХЕБ БЕН НАСЕР

Белорусская государственная политехническая академия

В городской электрической сети применяются силовые трансформаторы мощностью до 630 кВ·А, нормативный срок службы которых составляет 25 лет. В течение данного периода времени может иметь место рост присоединенной к трансформатору нагрузки и, как установлено опытом, производство промышленностью трансформаторов со сниженными потерями холостого хода.

В этих условиях целесообразно оценить рациональную продолжительность работы силового трансформатора номинальной мощностью S_n при росте нагрузки и снижении потерь мощности холостого хода у таких же новых трансформаторов, изготавливаемых промышленностью в течение срока службы $T = 25$ лет [1, 2]. Указанную оценку выполним на основе приведенных затрат, учитывающих как капитальные затраты на приобретение и монтаж трансформатора, так и годовые эксплуатационные расходы, включающие в себя не только расходы на амортизацию, обслуживание и ремонт, но и стоимость потерянной электроэнергии в обмотках и стали трансформатора.

Пусть в начальный момент времени $t = 0$ был установлен трансформатор номинальной мощностью S_n , нагрузка которого составляет S_0 (коэффициент загрузки $k = \frac{S_0}{S_n}$).

Пусть имеет место ежегодный рост нагрузки по закону

$$S_t = S_0(1 + \alpha t), \quad t \in T, \quad (1)$$

где α — ежегодный относительный прирост нагрузки.

Таким образом, в каждый год $t \in T$ рассматриваемого периода $T = 25$ лет трансформатор будет иметь различную и все возрастающую нагрузку S_t , т. е. он последовательно проходит состояния $S_1, S_2, \dots, S_{T-1}, S_T$.

Если в какой-то момент времени $t < T$ будет осуществлен переход на другой, более мощный трансформатор S_{n1} , то необходимо учитывать, что данные трансформаторы имеют сниженные потери мощности холостого хода ΔP по сравнению с такими же трансформаторами, применявшимися в момент времени $t = 0$.

Нами установлен закон изменения потерь мощности холостого хода у изготавливаемых трансформаторов в виде

$$\Delta P_x = a - bt, \quad (2)$$

где a — постоянная (для трансформаторов мощностью до 100 кВ·А лежит в пределах (0,18–0,51) кВт; 160–630 кВ·А — (0,76–1,84) кВт);

b — коэффициент, зависящий от времени t (равен $(0,0027-0,0083)$ кВт/год — для трансформаторов мощностью до 100 кВт·А и $(0,012-0,026)$ кВт/год — для трансформаторов мощностью 160–630 кВт·А).

Для нахождения момента времени $t \in T$, когда окажется целесообразным переход на трансформатор большей мощности, активные потери в стали которого будут меньше, чем у трансформаторов такой же мощности в момент времени $t = 0$, используем метод динамического программирования, представляющий собой многошаговый процесс принятия решений на основе известных рекуррентных соотношений Беллмана.

На первом шаге осуществляется расчет функций $h_1(S_1)$, показывающий затраты при применении трансформаторов двух исходных номинальных мощностей:

для трансформатора мощностью S_n —

$$h_1(S_1) = \left\{ (p + E)K_{S_n} + \Delta P_{S_n} \left[\frac{S_0(1 + \alpha)}{S_n} \right]^2 \tau \beta + \Delta P_{xS_n} 8760 \beta_x \right\} (1 + E)^{-1}; \quad (3)$$

для трансформатора мощностью S_{n1} —

$$h_1(S_1) = \left\{ (p + E)K_{S_{n1}} + \Delta P_{S_{n1}} \left[\frac{S_0(1 + \alpha)}{S_{n1}} \right]^2 \tau \beta + \Delta P_{xS_{n1}} 8760 \beta_x \right\} (1 + E)^{-1}, \quad (4)$$

где p — доля отчислений от капитальных затрат на амортизацию, обслуживание и ремонты;

E — коэффициент эффективности капитальных вложений;

$K_{S_n}, K_{S_{n1}}$ — стоимость трансформаторов мощностью S_n и S_{n1} ;

$\Delta P_{S_n}, \Delta P_{S_{n1}}$ — потери мощности короткого замыкания у трансформаторов мощностью S_n и S_{n1} ;

τ — время потерь;

β, β_x — стоимость одного 1 кВт·ч потерянной электроэнергии в обмотках и стали трансформатора;

8760 — продолжительность работы трансформатора в течение одного года (часов).

На втором и последующем шагах трансформаторы мощностью S_n и S_{n1} рассматриваются работающими при нагрузках, определенных по (1). Здесь же рассчитываются затраты при переходе от трансформатора мощностью S_n к трансформатору мощностью S_{n1} , что связано с дополнительными затратами на приобретение нового трансформатора мощностью S_{n1} , демонтажа работающего мощностью S_n при меньших потерях мощности холостого хода у трансформатора S_{n1} в момент времени t по сравнению с моментом времени $t = 0$.

Рекуррентные соотношения для второго шага имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} & h_1(S_1) + \left\{ \Delta P_{S_n} \tau \beta \left(\frac{S_0}{S_n} \right)^2 [(1 + 2\alpha) - (1 + \alpha)^2] \right\} (1 + E)^{-2}; \end{aligned} \right\} (5)$$

$$\left. \begin{aligned} & h_1(S_1') + \left\{ \Delta P_{S_n} \tau \beta \left(\frac{S_0}{S_{n1}} \right)^2 [(1 + 2\alpha) - (1 + \alpha)^2] \right\} (1 + E)^{-2}; \end{aligned} \right\} (6)$$

$$h_2(S_2) = \min \left\{ \begin{aligned} & h_1(S_1') + \{ E_n (K_{S_{n1}} + K_d) + p (K_{S_{n1}} - K_{S_n}) + \\ & + \tau \beta (1 + 2\alpha)^2 \left[\Delta P_{S_{n1}} \left(\frac{S_0}{S_{n1}} \right)^2 - \Delta P_{S_n} \left(\frac{S_0}{S_n} \right)^2 \right] + \\ & + (a - b - \Delta P_{xS_n}) 8760 \beta_x \} (1 + E)^{-2}, \end{aligned} \right\} (7)$$

где K_d – стоимость демонтажа трансформатора мощностью S_n .

Соотношение (5) составлено для трансформатора мощностью S_n , (6) – если работает трансформатор мощностью S_{n1} , (7) – если выполняется замена трансформатора мощностью S_n трансформатором мощностью S_{n1} .

В результате расчета выявляются оптимальные затраты $h_t(S_t)$ для каждого из векторов состояния в конечный год t . Из всей совокупности состояний окончательно выбирается то, для которого затраты минимальны.

Нами разработана программа на персональный компьютер, позволяющая фиксировать время t , когда целесообразен переход от трансформатора мощностью S_n к трансформатору мощностью S_{n1} .

Здесь представилось также возможным установить зависимость значений коэффициента α от коэффициента загрузки трансформатора k , при которых замена трансформатора S_n более мощным в течение времени T нецелесообразна.

ВЫВОД

На основе метода приведенных затрат и динамического программирования разработан подход к определению момента времени замены работающего в городской электрической сети силового трансформатора на трансформатор большей мощности, отличающийся от известных учетом не только ежегодного роста нагрузки, но и непрерывного снижения потерь мощности холостого хода у изготавливаемых промышленностью трансформаторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Короткевич М. А. Эффективность эксплуатации трансформаторов распределительных сетей после истечения их срока службы // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 1991. – № 1–2. – С. 41–43.
2. Короткевич М. А. Основы эксплуатации электрических сетей. – Мн.: Выш. шк., 1999. – 267 с.