

## 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  $\alpha$  — 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  $\Delta P$  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 кВ·А и  $(0,012-0,026)$  кВт/год — для трансформаторов мощностью 160–630 кВ·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  $S_{n1}$ ;

$\tau$  — время потерь;

$\beta, \beta_x$  — 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  $\alpha$  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.