

длиной до 1500 км с любой индуктивной или активной нагрузкой при любом перетоке мощности по линии (индуктивном, емкостном, активном).

Произведенные расчеты показали, что в большинстве случаев при осуществлении одного цикла транспозиции длиной 225 км на каждом участке ЛЭП, расположенном между ближайшими подстанциями, несимметрия токов и напряжений оказывается в допустимых пределах.

Настоящая программа может быть использована для определения начальных условий при решении системы дифференциальных уравнений, описывающих поведение системы электропередачи в переходных режимах.

### Л и т е р а т у р а

1. Веников В.А., Сиуда И.П. Расчет режимов дальних электропередач переменного тока. М., 1966. 2. Фазылов Х.Ф. Методы режимных расчетов электрических систем. Ташкент, 1964.

Г.Е. Поспелов, В.Э. Воротницкий

### ОБ УЧЕТЕ ФАКТОРА ВРЕМЕНИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОПТИМАЛЬНОГО СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ КАПИТАЛОВЛОЖЕНИЯМИ И СТОИМОСТЬЮ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Для современной электрической сети весьма характерной особенностью является постоянный рост нагрузки ее элементов. Это влечет за собой соответствующее увеличение потерь напряжения, мощности и энергии. В определенный момент времени возникает необходимость в повышении пропускной способности сети. Выбранные для этого мероприятия должны обеспечить в течение расчетного периода рациональное распределение суммарных затрат между отдельными составляющими и, в частности, оптимальное соотношение между стоимостью потерь электроэнергии и отчислениями от капитальных затрат в условиях непрерывного увеличения нагрузки [1, 2].

Попытаемся решить указанную задачу в детерминированной постановке, предполагая, что закон роста максимума нагрузки электропередачи  $P_t = P_0 \cdot m_t$  нам заранее известен.

Здесь  $P_t$  - максимум потока активной мощности в электропередаче в любой момент времени  $t$  расчетного периода;  $P_0$  - максимум активной мощности в линии в "нулевой" год расчетного периода, т.е. в момент возникновения необходимости повышения пропускной способности сети;  $m_t$  - кратность нагрузки в год  $t$  по отношению к начальной нагрузке,  $m_t = f(q, t) = \frac{P_t}{P_0}$ , где  $q$  - удельный годовой прирост нагрузки.

В частности, для линейного закона роста нагрузки

$$m_t = 1 + qt,$$

для показательного закона  $m_t = (1+q)^t$ .

Согласно Типовой методике [3], затраты в оптимизируемый объект, приведенные к году  $\theta$ , с учетом изменяющихся в течение расчетного периода капиталовложений и годовых эксплуатационных расходов записываются в виде

$$Z_\theta = \sum_{t=1}^T (E_n K_t + \Delta \Gamma_t) (1 + E_{н.п})^{\theta-t}, \quad (1)$$

где  $E_n$  - нормативный коэффициент эффективности капиталовложений,  $E_n = 0,12$ ;  $E_{н.п}$  - нормативный коэффициент приведения разновременных затрат,  $E_{н.п} = 0,08$ ;  $K_t$  - капиталовложения в год  $t$ ;  $\Delta \Gamma_t$  - приращение годовых эксплуатационных расходов в  $(t+1)$  год по сравнению с предыдущим годом  $t$ ,  $\Delta \Gamma_t = \Gamma_{t+1} - \Gamma_t$ ;  $T$  - длительность расчетного периода.

Преобразуем формулу (1)

$$\begin{aligned} Z_\theta &= E_n \sum_{t=1}^T K_t (1 + E_{н.п})^{\theta-t} + \sum_{t=1}^T \Delta \Gamma_t (1 + E_{н.п})^{\theta-t} = \\ &= E_n \sum_{t=1}^T K_t (1 + E_{н.п})^{\theta-t} + \sum_{t=1}^T \Gamma_{t+1} (1 + E_{н.п})^{\theta-t} - \sum_{t=1}^T \Gamma_t (1 + E_{н.п})^{\theta-t} = \\ &= E_n \sum_{t=1}^T K_t (1 + E_{н.п})^{\theta-t} + \Gamma_{T+1} (1 + E_{н.п})^{\theta-T} + \sum_{t=1}^T \frac{\Gamma_t (1 + E_{н.п} - 1)}{(1 + E_{н.п})^{t-\theta}} - \\ &- \Gamma_1 (1 + E_{н.п})^{\theta-1}. \end{aligned} \quad (2)$$

Затраты, приведенные к "нулевому" году, запишутся в виде

$$Z_0 = E_H \sum_{t=1}^T \frac{K_t}{\alpha^t} + E_{H.П} \sum_{t=1}^T \frac{\Gamma_t}{\alpha^t} + \frac{\Gamma_{T+1}}{\alpha^T} - \frac{\Gamma_1}{\alpha}. \quad (3)$$

Здесь  $\alpha = 1 + E_{H.П}$ .

Для рассматриваемого случая за расчетный период примем время между двумя реконструкциями линии. Тогда капиталовложения можно считать единовременными, кроме того, можно принять с достаточной для оптимизации точностью, что годовые эксплуатационные расходы за расчетным периодом не изменяются, т.е.  $\Gamma_T = \Gamma_{t+1} = \Gamma_{T+t}$ , а годовые эксплуатационные расходы первого года расчетного периода в сравниваемых вариантах равны.

Тогда формула (3) существенно упрощается

$$Z_0 = (p_a + E_H) K_0 + E_{H.П} \sum_{t=1}^T \frac{\Delta P_t \tau \beta}{\alpha^t} + \frac{\Delta P_T \tau \beta}{\alpha^T}, \quad (4)$$

где  $p_a$  - доля отчислений от капитальных затрат на амортизацию;  $\Delta P_t$ ,  $\Delta P_T$  - потери мощности в линии соответственно в год  $t$  и в конечный год расчетного периода  $T$ ;  $\tau$  - время максимальных потерь;  $\beta$  - стоимость 1 кВт·ч потерь энергии.

Заменим переменные по времени потери мощности  $\Delta P_t = \Delta P_0 \cdot n_t$ ,  $\Delta P = \Delta P_0 \cdot k_{Д.П}$  постоянными расчетными потерями так, чтобы приведенные затраты за расчетный период остались неизменными.

Здесь  $\Delta P_0$  - потери мощности в линии в "нулевой" год;  $n_t$  - кратность прироста потерь мощности в год  $t$  по отношению к нулевому году,  $n_t = m_t^2$ ;  $k_{Д.П}$  - коэффициент динамики потерь, зависящий от длительности расчетного периода и закона роста нагрузки.

С учетом указанных обозначений можем записать равенство

$$\begin{aligned} & (p_a + E_H) K_0 + (E_{H.П} \sum_{t=1}^T \frac{n_t}{\alpha^t} + \frac{n_T}{\alpha^T}) \Delta P_0 \tau \beta = \\ & = (p_a + E_H) K_0 + (E_H \sum_{t=1}^T \frac{k_{Д.П}}{\alpha^t} + \frac{k_{Д.П}}{\alpha^T}) \Delta P_0 \tau \beta, \end{aligned} \quad (5)$$

откуда

$$k_{Д.П} = E_{H.П} \sum_{t=1}^T \frac{n_t}{\alpha^t} + \frac{n_T}{\alpha^T}. \quad (6)$$

Следовательно, для нагрузки коэффициент динамики можно записать в виде

$$k_{д.н} = \sqrt{k_{д.п}} = \sqrt{E_{н.п} \sum_{t=1}^T \frac{m_t^2}{(1+E_{н.п})^t} + \frac{m_T^2}{(1+E_{н.п})^T}}, \quad (7)$$

а расчетная нагрузка определится по формуле  $P_p = P_o k_{д.н}$ .

Стоимость передачи электроэнергии, обусловленную расходами по линии передачи, можно записать в виде [1, 2]

$$C_{л.п} = \frac{P_{л.1} K_1 l}{P_o T_M} + \frac{\Delta P_o \tau \beta}{P_o T_M}, \quad (8)$$

где  $P_{л.1} K_1$  - ежегодные отчисления от стоимости линии;  $T_M$  - время использования наибольшей нагрузки;  $l$  - длина линий.

Формула (8) справедлива для одновременных капиталовложений и неизменной в течение нормативного срока окупаемости нагрузки линии.

Для возрастающей нагрузки и одновременных капиталовложений в формулу (8) следует подставить вместо  $P_o$  расчетную нагрузку  $P_p = P_o k_{д.н} = P_o \sqrt{k_{д.п}}$ :

$$C_{л.п} = \frac{P_{л.1} K_1 l}{P_o \sqrt{k_{д.п}} T_M} + \frac{\Delta P_o k_{д.п} \tau \beta}{P_o \sqrt{k_{д.п}} T_M} = \frac{P_{л.1} K_1 l}{P_o k_{д.н} T_M} + \frac{\Delta P_o k_{д.н} \tau \beta}{P_o T_M}. \quad (9)$$

Здесь

$$\Delta P_o = \frac{P_o^2 R_o l}{U^2 \cos^2 \varphi}, \quad (10)$$

где  $R_o$  - удельное активное сопротивление 1 км провода;  $U$  - номинальное напряжение электроэнергии;  $\cos \varphi$  - коэффициент мощности.

Из формулы (10)

$$\frac{\Delta P_o}{P_o} 10^2 = \frac{P_o R_o l}{U^2 \cos^2 \varphi} 10^2 = \Delta P_o \%; \quad (11)$$

$$P_o = \frac{\Delta P_o \% U^2 \cos^2 \varphi}{R_o l \cdot 10^2} 10^3. \quad (12)$$

Тогда, подставив (11) и (12) в (9), получим

$$c_{л.п} = \frac{p_{л} K_1 R_0 l^2 \cdot 10^2}{U^2 \cos^2 \varphi \Delta P_0 \% 10^3 k_{д.н} T_M} + \frac{\Delta P_0 \% k_{д.н} \tau \beta}{10^2 T_M} =$$

$$= \frac{\tau \beta}{T_M 10^2} \left( \frac{p_{л} K_1 R_0 l^2 10^4}{U^2 \cos^2 \varphi \Delta P_0 \% \tau \beta 10^3 k_{д.н}} + \Delta P_0 \% k_{д.н} \right). \quad (13)$$

Обозначим  $\frac{p_{л} K_1 R_0}{U^2 \cos^2 \varphi \tau \beta 10^3} = \frac{1}{l_k^2}$ , тогда

$l_k = U \cos \varphi \sqrt{\frac{\tau \beta 10^3}{p_{л} K_1 R_0}}$  имеет размерность длины и носит название критериальной длины [1, 2].

Подставив  $l_k$  в формулу (13), получим

$$C_{л.п} = \frac{\tau \beta}{T_M 100} \left( \frac{l^2 10^4}{l_k^2 \Delta P_0 \% k_{д.н}} + \Delta P_0 \% k_{д.н} \right). \quad (14)$$

Определим оптимальное значение относительно расчетных потерь мощности  $\Delta P_0 \% = \Delta P_0 \% k_{д.н}$  при изменяющейся во времени нагрузке. Продифференцируем стоимость

$$\frac{\partial c_{л.п}}{\partial \Delta P_0 \%} = - \frac{l^2 10^4}{l_k^2 (\Delta P_0 \%)^2} + 1 = 0, \quad (15)$$

Откуда

$$\Delta P_{р.э} \% = \frac{1}{l_k k_{д.н}} 100 \quad (16)$$

или

$$\Delta P_{оэ} \% = \frac{1}{l_k} 10^2. \quad (17)$$

Следовательно, оптимальные потери мощности в линии с учетом роста нагрузки в  $k_{д.н}$  раз меньше аналогичных потерь при постоянной нагрузке в течение расчетного периода.

Для анализа различных факторов, влияющих на величину экономических потерь в линии с учетом роста нагрузки, формулу (17) можно представить в виде

$$\Delta P_{\text{оэ}} \% = \frac{1100}{U \cos \varphi} \sqrt{\frac{P_{\text{л}} K_1 R_{\text{о}}}{\tau \beta 10^3 \left[ E_{\text{н.п}} \sum_{t=1}^T \frac{m_t^2}{(1+E_{\text{н.п}})^t} + \frac{m_T^2}{(1+E_{\text{н.п}})^T} \right]}}$$

(18)

### В ы в о д ы

Применение коэффициента  $k_{\text{Д.Н}}$  позволяет статическую задачу оптимизации параметров электропередачи привести к динамической задаче.

Предлагаемая методика определения оптимального соотношения между капиталовложениями и стоимостью потерь энергии может найти практическое применение для ориентировочных инженерных расчетов. Расчеты эти могут быть уточнены с помощью ЭЦВМ, однако расход машинного времени на поиск оптимального решения существенно сократится за счет предварительного сужения области оптимизации.

### Л и т е р а т у р а

1. Поспелов Г.Е. Элементы технико-экономических расчетов систем электропередачи. Минск, 1967. 2.Поспелов Г.Е., Федин В.Т. Энергетические системы. Минск, 1974. 3. Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений. М., 1969.

Н.М. Сыч, М.И. Фурсанов, Е.А. Желтиков

### К МЕТОДИКЕ ВЫБОРА МОЩНОСТЕЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПОДСТАНЦИЙ

При выборе мощностей трансформаторов на подстанциях исходят из обеспечения необходимой надежности электроснабжения, технической допустимости и экономической целесообразности принимаемых технических решений. Требования к надежности и технической допустимости регламентированы "Правилами устройства электроустановок". Поэтому рассмотрим некоторые принципиальные положения проблемы экономичности.

При технико-экономическом сопоставлении вариантов обычно не учитывают пропускную (нагрузочную) способность транс-