ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМ. С. М. КИРОВА

Том 295 1976

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ ПЕРЕХОДА С ОДНОГО КЛАССА НАПРЯЖЕНИЯ НА ДРУГОЙ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Н. А. ДУЛЬЗОН, Р. П. АЛЕКСЕЕВ

(Представлена научным семинаром кафедры электрических систем и сетей)

1. Экономически целесообразное напряжение и сечение линии электропередач

Приведенные расчетные затраты на единицу длины линии зависят от конструктивных особенностей электропередачи, величины передаваемой мощности и номинального напряжения:

$$З=\mathrm{pK}(\mathrm{a}+\mathrm{b}F+\mathrm{c}U+dUF)+\frac{S^2\tau\beta}{U^2\gamma F}, \qquad (1.1)$$

где a, b, c, d — коэффициенты, постоянные для данной конструкции линий;

$\mathrm{p}=p_{\text{н}}+p_{\text{а}}+p_0+p_{\text{тр}}$ — отчисления от капитальных затрат;

К — коэффициент приведения оптовых цен (по прейскуранту) к средним районным сметным ценам;

τ — число часов максимальных потерь;

β — стоимость 1 *квт. час* потерянной энергии;

γ — удельная проводимость материала проводника;

F — сечение проводника;

U — напряжение линии;

S — мощность, передаваемая по линии.

Минимизация этих затрат по сечению позволяет найти выражение для экономической плотности тока в виде

$$j_{\text{э}}=\sqrt{\frac{\mathrm{pK}\gamma(\mathrm{b}+dU)}{3\tau\beta}}=\frac{S}{\sqrt{3}\,UF_{\text{э}}}. \qquad (1.2)$$

При подстановке значения $j_{\text{э}}$ в (1.1) получим минимум приведенных расчетных затрат:

$$З_{\min}=\mathrm{pK}(\mathrm{a}+\mathrm{c}U)+\frac{S}{U}\left[\frac{\mathrm{pK}}{\sqrt{3}\,j_{\text{э}}}(\mathrm{b}+dU)+\frac{\sqrt{3}\,\tau\beta}{\gamma}j_{\text{э}}\right]. \qquad (1.3)$$

Первый член в квадратной скобке выражения (3) можно преобразовать, подставив $j_{\text{э}}$ из (1.2):

$$\frac{pK}{\sqrt{3}\, j_э}(b+dU)=\frac{\sqrt{3}\tau\beta}{\gamma} j_э.$$

С учетом этого, выражение (1.3) примет вид

$$З_{min}=pK(a+cU)+\frac{2\sqrt{3}\tau\beta S}{\gamma U} j_э. \qquad (1.3а)$$

Как видно из (1.3а), приведенные расчетные затраты в случае, если сечение проводов выбрано по $j_э$, линейно зависят от передаваемой мощности. При этом с увеличением напряжения постоянная составляющая растет, а угловой коэффициент при мощности падает. Если для ряда $U_н$ построить зависимость приведенных расчетных затрат от мощности, то получим следующий график:

Из рис. 1 видно, что для каждого номинального напряжения существует определенный диапазон мощностей, при которых приведенные расчетные затраты на единицу длины линии оказываются минимальными.

Определим границы интервала для напряжения U_2. Для этого необходимо приравнять затраты при передаче мощностей S_{12} и S_{23} соответственно для напряжений U_1U_2, U_2U_3:

$$pK(a_1+c_1U_1)+\frac{2\sqrt{3}\tau\beta S_{12}}{\gamma U_1} j_{э1}=pK(a_2+$$
$$+c_2U_2)+\frac{2\sqrt{3}\tau\beta S_{12}}{\gamma U_2} j_{э2},$$

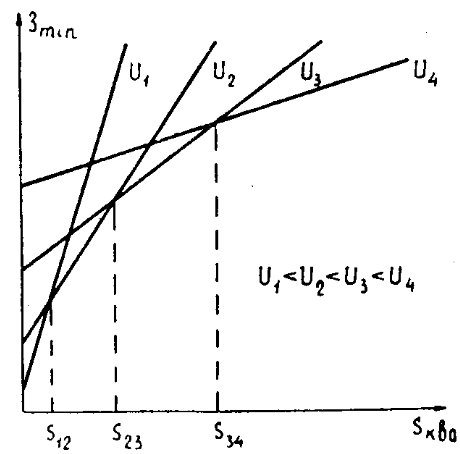

Рис. 1.

отсюда

$$S_{12}=\frac{pK\,\gamma(a_2-a_1+c_2U_2-c_1U_1)}{2\sqrt{3}\tau\beta\left(\frac{j_{э1}}{U_1}-\frac{j_{э2}}{U_2}\right)}. \qquad (1.4)$$

Для однотипных линий $a_1=a_2$, $c_1=c_2$, в этом случае

$$S_{12}=\frac{pK\,\gamma\, c(U_2-U_1)}{2\sqrt{3}\tau\beta\left(\frac{j_{э1}}{U_1}-\frac{j_{э2}}{U_2}\right)}. \qquad (1.4а)$$

В отдельных случаях возможно равенство $j_{э1}=j_{э2}=j_э$, тогда

$$S_{12}=\frac{pK\,\gamma\, c\, U_1U_2}{2\sqrt{3}\tau\beta\, j_э}. \qquad (1.4б)$$

Соответственно может быть получена вторая граничная мощность:

$$S_{23}=\frac{pK\,\gamma(a_3-a_2+c_3U_3-c_2U_2)}{2\sqrt{3}\tau\beta\left(\frac{j_{э2}}{U_2}-\frac{j_{э3}}{U_3}\right)}; \qquad (1.5)$$

$$S_{23}=\frac{pK\gamma c(U_3-U_2)}{2\sqrt{3}\tau\beta\left(\frac{j_{э2}}{U_2}-\frac{j_{э3}}{U_3}\right)}; \qquad (1.5а)$$

$$S_{23}=\frac{pK\gamma c U_2 U_3}{2\sqrt{3}\tau\beta j_э}. \qquad (1.5б)$$

Таким образом, экономический интервал мощностей, передаваемых на напряжение U_2, лежит в пределах

$$S_{12}\leqslant S_э\leqslant S_{23}.$$

Аналогично могут быть получены экономические интервалы при использовании других напряжений. Отметим, что полученные экономические интервалы мощностей не зависят от дальности передачи электроэнергии. С этой точки зрения это представляет собой некоторое идеализированное решение, на которое необходимо наложить ограничение на дальность передачи электроэнергии.

2. Экономически целесообразная дальность передачи электроэнергии

Сечение проводов, выбранное по экономической плотности тока, не зависит от длины линии. Однако ограничения по длине линии могут возникнуть, если учесть предельно допустимую потерю напряжения. Для линии до 110 *кв* потеря напряжения может быть принята равной продольной составляющей падения напряжения:

$$\Delta U=\frac{PR+QX}{U}. \qquad (2.1)$$

Потеря напряжения в реактивном сопротивлении от реактивной мощности может быть определена заранее, если задаться удельным реактивным сопротивлением линии:

$$\Delta U=\frac{QX_0 l}{U}. \qquad (2.2)$$

Для различных типов линий применяемые сечения проводов ограничены, с учетом этих ограничений можно получить более точные результаты, если аппроксимировать удельные индуктивные сопротивления выражением вида

$$X_0=\beta+\frac{\alpha}{F}. \qquad (2.3)$$

Так, например, для воздушной линии 10 *кв* (Д ср.$=1$ *м*) удельное индуктивное сопротивление может быть определено по формуле

$$X_0=0{,}319+\frac{1{,}5}{F},$$

причем ошибка не превышает 1,7%.

С учетом (2.3) потеря напряжения в реактивном сопротивлении от реактивной мощности примет вид

$$\Delta U_{р} = \frac{Ql}{U}\left(\alpha + \frac{\beta}{F}\right). \qquad (2.4)$$

Тогда допустимая потеря напряжения в активном сопротивлении от активной мощности будет равна

$$\Delta U_{доп.а} = \Delta U_{доп.} - \frac{Ql}{U}\left(\alpha + \frac{\beta}{F}\right). \qquad (2.5)$$

Отсюда фактическая потеря напряжения в активном сопротивлении определится из выражения

$$\Delta U_{а} = \frac{Pl}{U\gamma F} \leqslant \Delta U_{доп} - \frac{Ql}{U}\left(\alpha + \frac{\beta}{F}\right). \qquad (2.6)$$

Найдем условие, налагаемое на длину линии по допустимой потере напряжения:

$$\frac{Pl}{U\gamma F} + \frac{Ql}{U}\left(\alpha + \frac{\beta}{F}\right) \leqslant \Delta U_{доп.};$$

$$l_{э} \leqslant U \Delta U_{доп}\left(\frac{1}{\alpha Q} + \frac{F}{\beta Q} + \frac{\gamma F}{P}\right). \qquad (2.7)$$

Величина $l_{э}$ определяет предельную длину, на которую целесообразно передавать электроэнергию без нарушения ограничения по допустимой потере напряжения с одновременным обеспечением достижимого минимума приведенных расчетных затрат.

Представляется целесообразным следующий порядок определения. По заданной мощности нагрузки (рис. 1) определить экономически целесообразное напряжение линии, затем по формуле (1.2) определить экономическую плотность тока для этой линии. После этого определяется X_0. Наконец, при известном $\cos\varphi$ нагрузки по формуле (2.8) выясняется, удовлетворяет ли действительная длина линии ограничениям по допустимой потере напряжения. Если это условие удовлетворяется, то задача выбора напряжения и сечения линии решена. В противном случае необходимо выяснить что лучше: принять более высокое напряжение, или увеличить сечение линии.

Это соответствует следующей задаче математического программирования:
минимизировать

$$З = \left[pК(a + bF + cU + dUF) + \frac{S^2 \tau\beta}{U^2 \gamma F}\right] l \qquad (2.8)$$

при ограничении

$$l \leqslant U \Delta U_{доп}\left(\frac{1}{\alpha Q} + \frac{F}{\beta Q} + \frac{\gamma F}{P}\right),$$

где переменными являются U и F.

Решение этой задачи без ограничений приведено выше, оно соответствует выбору сечения проводов по экономической плотности тока и выбору напряжения по экономическим интервалам мощности.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Глазунов, А. А. Глазунов. Электрические сети и системы. Изд 4-е, М., Госэнергоиздат, 1960.

2. Н. А. Дульзон. Выбор сечений проводов по минимуму приведенных затрат в разветвленной разомкнутой сети с учетом различных ограничений. Научный отчет, регистр. номер 7100083, 1973.