

## ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.311.1:537.312.62

Г.Е. Поспелов, докт. техн. наук,  
В.Т. Федин, канд. техн. наук

### ОБ УЧЕТЕ РАСПРЕДЕЛЕННОСТИ ПАРАМЕТРОВ КРИОГЕННЫХ ЛИНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАСЧЕТАХ

Известно, что в расчетах нормальных воздушных линий при длинах более 300 км возникает необходимость учета распределенности параметров линий [1]. Для кабельных криогенных линий анализ необходимости такого учета до сих пор не производился.

Криогенные линии можно рассматривать как линии без потерь. Тогда параметры П-образной схемы замещения линии можно представить в виде

$$Z = jx = jk_x x_o l; \quad (1) \quad Y = jb = jk_b b_o l, \quad (2)$$

где  $k_x = \frac{\text{sh}(jl\sqrt{x_o b_o})}{jl\sqrt{x_o b_o}} = \frac{\sin \alpha l}{\alpha l}; \quad (3)$

$$k_b = \frac{2(\text{ch}(jl\sqrt{x_o b_o}) - 1)}{jl\sqrt{x_o b_o} \cdot \text{sh}(jl\sqrt{x_o b_o})} = \frac{2(1 - \cos \alpha l)}{\alpha l \sin \alpha l} = \frac{\text{tg} \frac{\alpha l}{2}}{\frac{\alpha l}{2}}. \quad (4)$$

Простейшие формулы для расчета параметров схемы замещения получаются, если принять

$$\left. \begin{aligned} k_{1x} &= 1; \\ k_{1b} &= 1. \end{aligned} \right\}$$

Разложив в (3)  $\sin \alpha l$  в ряд Маклорена и взяв только два первых члена этого ряда, после преобразований получим известную формулу

$$k_{2x} = 1 - \frac{x_o b_o}{6} l^2, \quad (6)$$

используемую для расчета параметров воздушных линий длиной до 1000 км.

Если взять три первых члена ряда, то

$$k_{3x} = 1 - \frac{x_0 b_0}{6} l^2 + \frac{x_0^2 b_0^2}{120} l^4 \quad (7)$$

Аналогичным образом поступим при вычислении коэффициента  $k_b$ . Если взять три первых члена ряда разложения  $\cos \alpha l$  и два для  $\sin \alpha l$ , из (4) получим

$$k_{2b} = \frac{1 - \frac{x_0 b_0}{12} l^2}{1 - \frac{x_0 b_0}{6} l^2} \quad (8)$$

Четыре члена ряда разложения  $\cos \alpha l$  и три члена из ряда  $\sin \alpha l$  дают формулу

$$k_{3b} = \frac{1 - \frac{x_0 b_0}{12} l^2 + \frac{x_0^2 b_0^2}{360} l^4}{1 - \frac{x_0 b_0}{6} l^2 + \frac{x_0^2 b_0^2}{120} l^4} \quad (9)$$

Удельные параметры криогенной линии пофазно коаксиальной конструкции определяются по формулам [2]:

$$x_0 = \frac{\omega \mu_0 \mu_u \ln \frac{d_2}{d_1}}{2\pi}; \quad b_0 = \frac{2\pi \omega \epsilon_0 \epsilon_u}{\ln \frac{d_2}{d_1}}$$

где  $\mu_0, \mu_u$  - магнитная проницаемость вакуума и электроизоляции;  $\epsilon_0, \epsilon_u$  - электрическая проницаемость вакуума и электроизоляции;  $d_1, d_2$  - внутренний и внешний диаметры коаксиала фазы.

Вычислим произведения  $x_0 b_0$ , входящее в формулы (6) - (9):

$$x_0 b_0 = \omega^2 \mu_0 \mu_u \epsilon_0 \epsilon_u \quad (10)$$

Расчеты показывают, что первичные параметры  $x_0$  и  $b_0$  криогенных линий существенно зависят от номинального напряжения и расчетной мощности линии. Как видно из (10), величина произведения  $x_0 b_0$  от них не зависит. Отсюда следует, что для пофазно коаксиальных конструкций криогенных ли-

ний погрешности расчета параметров схемы замещения не зависят от номинального напряжения, расчетной мощности линии и материала сверхпроводника. Они зависят только от значений величины  $\mu_u$ ,  $\epsilon_u$  и длины линии.

Дадим количественную оценку применимости различных формул.

Для пофазно коаксиальной конструкции сверхпроводящей линии при  $\mu_u = 1$  и  $\epsilon_u = 1$  получены следующие результаты.

Коэффициент  $k_x$ , входящий в расчетную формулу (1), при длинах линий  $l \leq x$  500 км может приниматься  $k_{1x} = 1$ , при этом погрешность по сравнению с вычислением  $k_x$  по (3) составляет менее 5%. При длинах линий  $500 < l \leq 1500$  км для вычисления  $k_x$  можно рекомендовать (6). Расчеты по этой формуле приводят к погрешности по сравнению с формулой (3) менее 1,2% при длинах  $500 < l < 1000$  км и менее 7,8% при длинах  $1000 < l < 1500$  км. Результаты расчетов  $k_x$  по формуле (7) при длинах  $l \leq 2000$  имеют погрешность менее 1%.

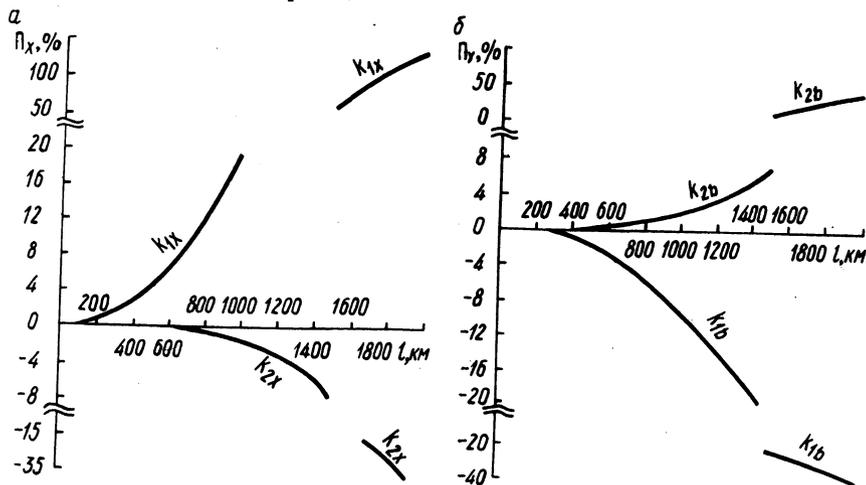


Рис. 1.

Коэффициент  $k_b$  может приниматься  $k_{1b} = 1$  при длинах  $l \leq 800$  км. При этом погрешность по сравнению с расчетом по формуле (4) составляет менее 5,6%. При длинах  $800 < l \leq 1000$  км рекомендуется формула (8), дающая погрешность не более 9,1%. Расчеты  $k_b$  по формуле (9) приводят к погрешности менее 1% при  $l \leq 1500$  км и менее 5% при  $1500 < l \leq 2000$  км.

На рис. 1, а, б приведены зависимости погрешностей расчета  $\Pi_x$  и  $\Pi_b$  параметров схемы замещения  $x$  и  $b$  от длины криогенной линии при расчете их по коэффициентам  $k_{1x}$ ,  $k_{2x}$ ,  $k_{1b}$ ,  $k_{2b}$ . Погрешности вычислялись по формулам (для  $k_x$  и  $k_b$  соответственно):

$$\Pi_x = \frac{k_{ix} - k_x}{k_x} 100 ; \quad \Pi_b = \frac{k_{ib} - k_b}{k_b} 100 ,$$

где  $i = 1, 2$ .

Резюме. Погрешности расчета параметров схем замещения криогенных линий по различным формулам не зависят от номинального напряжения, расчетной мощности и материала сверхпроводника. Определены области применения различных формул для расчета параметров схем замещения криогенных линий.

### Л и т е р а т у р а

1. Электрические системы. Том II. Электрические сети. Под ред. В.А. Веникова. М., 1971. 2. Сверхпроводящие линии электропередачи. Под ред. В.А. Веникова. М., 1971.

УДК 621.316

В.Г. Прокопенко

### УЧЕТ ПОТЕРЬ НА КОРОНУ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 110–750 кВ ПО НАПРЯЖЕНИЮ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Повышением технико-экономических показателей работы электрических сетей энергосистем является учет потерь на корону при планировании характерных режимов сетей 110–750 кВ по напряжению и реактивной мощности. Влияя на регулирующие устройства, располагаемые энергосистемой, можно не только скомпенсировать уравнительные мощности в контурах замкнутой схемы, но и выбрать уровни напряжения, устанавливающие оптимальное соотношение между нагрузочными потерями и потерями на корону при ожидаемых метеорологических условиях.

При составлении на ЭЦВМ программы оптимизации характерных режимов работы сети по напряжению и реактивной мощности, принципиальный алгоритм которой приведен в [1], разработан блок, который позволяет учитывать изменение