

## Настроенные и компенсированные линии электропередачи на $\pi$ и $\pi/2$

Горонович В.В

Белорусский национальный технический университет

В том случае, если линия электропередачи питается от источника питания с переменным синусоидальным током и напряжением (рис. 1), то процесс распространения электромагнитной волны вдоль линии опишется следующими выражениями:

$$\underline{U} = \frac{1}{2}(\underline{U}_2 + I_2 z_B) e^{+\gamma l} + \frac{1}{2}(\underline{U}_2 - I_2 z_B) e^{-\gamma l}, \quad (1)$$

$$\underline{I} = \frac{1}{2}(I_2 + \frac{\underline{U}_2}{z_B}) e^{+\gamma l} + \frac{1}{2}(I_2 - \frac{\underline{U}_2}{z_B}) e^{-\gamma l}, \quad (2)$$

где  $\underline{U}$  и  $\underline{I}$  – вектора напряжений и тока в любой точке линии, отстающей на расстояние  $l$  от конца линии;  $\underline{U}_2$  и  $I_2$  – вектора напряжения и тока в конце линии;  $z_B$  – волновое сопротивление линии;  $\alpha$  – коэффициент изменения фазы волны на единицу длины.

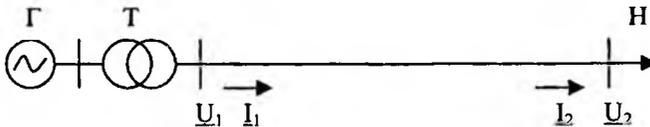


Рис. 1. Схема системы электропередачи

Введя гиперболические функции:

$$\text{sh} \gamma l = \frac{e^{\gamma l} - e^{-\gamma l}}{2}, \quad (3)$$

$$\text{ch} \gamma l = \frac{e^{\gamma l} + e^{-\gamma l}}{2}, \quad (4)$$

можно переписать выражения (1) и (2):

$$\underline{U} = \underline{U}_2 \underline{ch\gamma l} + \underline{I}_2 z_B \underline{sh\gamma l}, \quad (5)$$

$$\underline{I} = \underline{I}_2 \underline{ch\gamma l} + \frac{\underline{U}_2}{z_B} \underline{sh\gamma l}, \quad (6)$$

Для линии без потерь при  $r_0=0$  и  $g_0=0$  получим:

$$\underline{\gamma} = j\alpha = j\omega\sqrt{L_0 C_0}, \quad z_B = r_B, \quad (7)$$

$$\underline{ch\gamma l} = \underline{chjal} = \cos \alpha l, \quad \underline{sh\gamma l} = \underline{shjal} = \sin \alpha l \quad (8)$$

и вместо уравнений (5) и (6) для фазовых напряжений имеем:

$$\underline{U} = \underline{U}_2 \cos \alpha l + j \underline{I}_2 z_B \sin \alpha l, \quad (9)$$

$$\underline{I} = \underline{I}_2 \cos \alpha l + j \frac{\underline{U}_2}{z_B} \sin \alpha l, \quad (10)$$

Величина  $\lambda = \alpha l = \sqrt{x_0 \cdot b_0} \cdot l$  называется волновой длиной линии ( $l$  – протяженность электропередачи).

Как видно из (9)-(10), в состав обоих слагаемых в правой части выражений входят тригонометрические функции  $\sin$  и  $\cos$ . Отсюда следует, что электромагнитная волна, распространяющаяся вдоль линии электропередачи, периодична и имеет период  $2\pi$ . Также после анализа этих выражений можно отметить тот факт, что характер распределения напряжения и тока вдоль линии электропередач будет обуславливаться особенностями поведения тригонометрических функций  $\sin$  и  $\cos$  при различных значениях  $\lambda$ . Исходя из последнего обстоятельства можно сразу выделить два характерных режима работы линии: когда  $\lambda=\pi/2$  или  $\lambda=\pi$ . В электроэнергетике первый случай получил название режима четверти волны, а второй случай – режима полуволны.

Рассмотрим сначала четвертьволновой режим работы электропередачи. С учетом того, что  $\lambda=\pi/2$  уравнения (9) и (10) примут вид:

$$\underline{U}_1 = j \underline{I}_2 z_B, \quad (11)$$

$$\underline{I}_1 = j \frac{\underline{U}_2}{z_B}. \quad (12)$$

Анализируя данные выражения, можно сразу отметить, что напряжение в конце линии не зависит от напряжения в начале линии, а зависит от тока в начале линии, точно так же, ток в

конце линии не зависит от тока в начале линии, а зависит от напряжения в начале линии. Это значит, что, если мы будем стремиться поддерживать постоянное напряжение в конце линии, то тем самым обеспечим постоянный ток в начале линии, а если мы будем поддерживать постоянное напряжение в начале линии, то получим неизменный по своему значению ток на конце линии при любых величинах передаваемой мощности.

При работе линии в режиме полуволны, как отмечалось ранее,  $\lambda=l$ . Если подставить данное значение  $\lambda$  в выражения (9) и (10), то получим следующие соотношения для напряжений и токов начала и конца линии:

$$\underline{U}_1 = -\underline{U}_2, \quad (13)$$

$$\underline{I}_1 = -\underline{I}_2. \quad (14)$$

Из выражений (13) и (14) можно сделать вывод, что напряжения и токи по концам линии одинаковы по величине, но сдвинуты на  $180^\circ$  по фазе. Это обстоятельство позволяет судить о том, что, поддерживая на номинальном уровне напряжение в начале линии, мы тем самым сможем обеспечить номинальный уровень напряжения на конце линии не зависимо от величины передаваемой мощности.

При длинах линии отличных от 1500 км и 3000 км имеется возможность при помощи продольных и поперечных компенсирующих устройств настроить (увеличить) или скомпенсировать (уменьшить) электрическую длину линии (волновую длину). Математически процесс настройки или компенсации запишется так:

$$\lambda = al = \sqrt{x_0 \cdot b_0} \cdot l = \sqrt{(x_0 \pm \Delta x_{\text{дд}}) \cdot (b_0 \pm \Delta b_{\text{дд}})} \cdot l, \quad (15)$$

где  $\Delta x_{\text{дд}}$  – реактивное сопротивление продольного компенсирующего устройства, знак «+» будет соответствовать установке продольного реактора, а знак «-» – продольной конденсаторной батарее;  $\Delta b_{\text{дд}}$  – реактивная проводимость поперечного компенсирующего устройства, знак «-» будет соответствовать установке поперечного реактора, а знак «+» – поперечной конденсаторной батарее.