МОЩНОСТИ НАЧАЛА И КОНЦА ЛЭП

При анализе режимов работы длинных линий часто бывает необходимо выявить соотношения между мощностями в начале и конце ЛЭП.

Для анализа будем считать линию идеальной.

$$\begin{cases} \underline{U}_1 = \underline{U}_2 \cdot \cos\lambda_{Л} + j \cdot \sqrt{3} \cdot \underline{Z}_C \cdot \underline{I}_2 \cdot \sin\lambda_{Л}; \\ \underline{I}_1 = \underline{I}_2 \cdot \cos\lambda_{Л} + j \dfrac{\underline{U}_2}{\sqrt{3} \cdot \underline{Z}_C} \cdot \sin\lambda_{Л}; \end{cases}$$

Выразим ток в начале передачи через напряжения по её концам:

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_1 - \underline{U}_2 \cdot \cos\lambda_{Л}}{j\sqrt{3} \cdot \underline{Z}_{C} \cdot \sin\lambda};$$

$$\underline{I}_1 = j \frac{\underline{U}_2}{\sqrt{3} \cdot \underline{Z}_{C}} \cdot \sin\lambda_{Л} + \frac{\underline{U}_1 \cdot \cos\lambda_{Л} - \underline{U}_2 \cdot \cos^2\lambda_{Л}}{j\sqrt{3} \cdot \underline{Z}_{C} \cdot \sin\lambda} = \frac{\underline{U}_2 - \underline{U}_1 \cdot \cos\lambda_{Л}}{\sqrt{3} \cdot \underline{Z} \cdot \sin\lambda}.$$

Мощность в начале линии:

$$\underline{S}_1 = \sqrt{3}\cdot\underline{U}_1\cdot\overset{*}{\underline{I}}_1 = P_1 + jQ_1 = \sqrt{3}\cdot\underline{U}_1\cdot\left(-j\,\frac{\overset{*}{\underline{U}}_2 - \underline{U}_1\cdot\cos\lambda_{Л}}{\sqrt{3}\cdot\underline{Z}_{СЛ}\cdot\sin\lambda}\right) =$$

$$= -j\,\frac{\overset{*}{\underline{U}}_2\cdot\underline{U}_1}{\underline{Z}_{СЛ}\cdot\sin\lambda_C} + j\,\frac{\underline{U}_1^2\cdot\cos\lambda_{Л}}{\underline{Z}_{Л}\cdot\sin\lambda};$$

$$\underline{S}_1 = \frac{-j\cdot\underline{U}_2\cdot\underline{U}_1\cdot\cos\delta + j\cdot\underline{U}_2\cdot\underline{U}_1\cdot\sin\delta}{\underline{Z}_{СЛ}\cdot\sin\lambda_C} + j\,\frac{\underline{U}_1^2\cdot\cos\lambda_{Л}}{\underline{Z}_{Л}\cdot\sin\lambda};$$

где δ - угол между векторами напряжения в начале и конце линии;

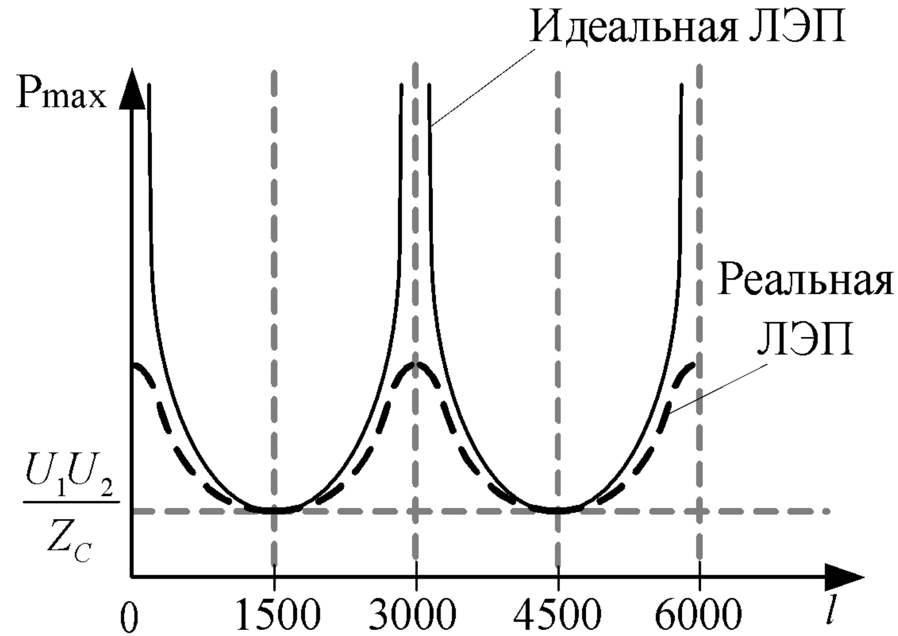
$$\underline{S}_1 = \frac{\underline{U}_1\cdot\underline{U}_2\cdot\sin\delta}{\underline{Z}_{СЛ}\cdot\sin\lambda_C} + j\left(\frac{\underline{U}_1^2\cdot\cos\lambda_{Л}}{\underline{Z}_{Л}\cdot\sin\lambda_C} - \frac{\underline{U}_1\cdot\underline{U}_2\cdot\cos\delta}{\underline{Z}_{Л}\cdot\sin\lambda}\right) = \frac{-\underline{U}_2 + \underline{U}_1\cdot\cos\lambda_{Л}}{j\cdot\sqrt{3}\cdot\underline{Z}_{СЛ}\cdot\sin\lambda}$$

$$= j\cdot\frac{\underline{U}_2 - \underline{U}_1\cdot\cos\lambda_{Л}}{\sqrt{3}\cdot\underline{Z}_{СЛ}\cdot\sin\lambda}.$$

При постоянстве $\underline{U}_1$ и $\underline{U}_2$ предел передаваемой мощности является функцией длины ЛЭП.

При увеличении длины линии передаваемая мощность снижается, а угол, соответствующий исходному режиму, увеличивается.

При небольших длинах линий можно получить более простое выражение:



$$P_{MAX} = \frac{\underline{U}_1 \cdot \underline{U}_2}{\underline{Z}_C \cdot \sin \beta_0 l} = \frac{\underline{U}_1 \cdot \underline{U}_2}{\sqrt{\frac{X_0}{b_0}} \cdot \sqrt{X_0 \cdot b_0} \cdot l} = \frac{\underline{U}_1 \cdot \underline{U}_2}{X_0 \cdot l}.$$

Наименьшее значение предела передаваемой мощности, равное натуральной мощности, наблюдается при длине линии 1500 км.

Часто, для анализа соотношений между мощностями по концам ЛЭП, бывает удобно использовать уравнения четырёхполюсника для линейных значений напряжений.

$$\left.\begin{aligned} \underline{U}_1 &= \underline{A}\cdot\underline{U}_2 + \sqrt{3}\cdot\underline{B}\cdot\underline{I}_2 \\ \underline{I}_1 &= \frac{\underline{C}\cdot\underline{U}_2}{\sqrt{3}} + \underline{D}\cdot\underline{I}_2 \end{aligned}\right\}$$

$$\underline{S}_2 = \sqrt{3}\cdot\underline{U}_2\cdot\overset{*}{\underline{I}}_2 \quad \Rightarrow \quad \overset{*}{\underline{I}}_2 = \frac{\overset{*}{\underline{S}}_2}{\sqrt{3}\cdot\underline{U}_2}\ .$$

Совмещаем вектор U2 с действительной осью.

$$\left.\begin{aligned} \underline{U}_1 &= \underline{A}\cdot\underline{U}_2 + \frac{\underline{B}\cdot\overset{*}{\underline{S}}_2}{\underline{U}_2} \\ \underline{I}_1 &= \frac{\underline{C}\cdot\underline{U}_2}{\sqrt{3}} + \frac{\underline{D}\cdot\overset{*}{\underline{S}}_2}{\sqrt{3}\cdot U_2} \end{aligned}\right\}$$

$$\underline{S}_1 = \sqrt{3}\cdot\underline{U}_1\cdot\overset{*}{\underline{I}}_1 = \sqrt{3}\left[\underline{A}\cdot\underline{U}_2 + \frac{\underline{B}\cdot(P_2 - jQ_2)}{\underline{U}_2}\right]\cdot\left[\frac{\overset{*}{\underline{C}}\cdot\underline{U}_2}{\sqrt{3}} + \frac{\overset{*}{\underline{D}}\cdot(P_2 + jQ_2)}{\sqrt{3}\cdot\underline{U}_2}\right] =$$

$$= \underline{A}\cdot\overset{*}{\underline{C}}\cdot\underline{U}_2^2 + \underline{A}\cdot\overset{*}{\underline{D}}\cdot(P_2 + jQ_2) + \underline{B}\cdot\overset{*}{\underline{C}}\cdot(P_2 - jQ_2) + \frac{\underline{B}\cdot\overset{*}{\underline{D}}\cdot(P_2^2 + Q_2^2)}{\underline{U}_2^2} =$$

$$= \underline{A}\cdot\overset{*}{\underline{C}}\cdot\underline{U}_2^2 + P_2\cdot(\underline{A}\cdot\overset{*}{\underline{D}} + \underline{B}\cdot\overset{*}{\underline{C}}) + \frac{\underline{B}\cdot\overset{*}{\underline{D}}\cdot(P_2^2 + Q_2^2)}{\underline{U}_2^2} + jQ_2\cdot(\underline{A}\cdot\overset{*}{\underline{D}} - \underline{B}\cdot\overset{*}{\underline{C}}).$$

Рассуждая аналогично можно получить выражение для мощности конца электропередачи:

$$\underline{S}_2 = -\underline{D}\cdot\overset{*}{\underline{C}}\cdot\underline{U}_1^2 - \frac{\underline{B}\cdot\overset{*}{\underline{A}}\cdot(P_1^2 + Q_1^2)}{\underline{U}_1^2} + P_1\cdot(\overset{*}{\underline{A}}\cdot\underline{D} + \underline{B}\cdot\overset{*}{\underline{C}}) + jQ_1\cdot(\overset{*}{\underline{A}}\cdot\underline{D} - \underline{B}\cdot\overset{*}{\underline{C}}).$$

Потери активной мощности в линии составят:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \mathrm{Re}\left[\underline{S}_1\right] - P_2 = \mathrm{Re}\left[\underline{A}\cdot\overset{*}{\underline{C}}\cdot\underline{U}_2^2 + \frac{\underline{B}\cdot\overset{*}{\underline{D}}\cdot(P_2^2+Q_2^2)}{\underline{U}_2^2} + \right.$$

$$\left. + P_2\cdot(\underline{A}\cdot\overset{*}{\underline{D}} + \underline{B}\cdot\overset{*}{\underline{C}}) + jQ_2\cdot(\underline{A}\cdot\overset{*}{\underline{D}} - \underline{B}\cdot\overset{*}{\underline{C}}) - P_2\right] =$$

$$= \mathrm{Re}\left[\underline{A}\,\overset{*}{\underline{C}}\,\underline{U}_2^2 + \frac{\underline{B}\,\overset{*}{\underline{D}}(P_2^2+Q_2^2)}{\underline{U}_2^2} + P_2(\underline{A}\,\overset{*}{\underline{D}} + \underline{B}\,\overset{*}{\underline{C}} - 1) + jQ_2(\underline{A}\,\overset{*}{\underline{D}} - \underline{B}\,\overset{*}{\underline{C}})\right].$$

$$\mathrm{Re}\left[\underline{A}\cdot\overset{*}{\underline{C}}\cdot\underline{U}_2^2\right]$$

- потери холостого хода (не зависят от параметров режима);

$$\mathrm{Re}\left[\frac{\underline{B}\cdot\overset{*}{\underline{D}}\cdot P_2^2}{\underline{U}_2^2}+P_2\cdot(\underline{A}\cdot\overset{*}{\underline{D}}+\underline{B}\cdot\overset{*}{\underline{C}}-1)\right]$$

- потери, зависящие от передаваемой активной мощности;

$$\mathrm{Re}\left[\frac{\underline{B}\cdot\overset{*}{\underline{D}}\cdot Q_2^2}{\underline{U}_2^2}+jQ_2\cdot(\underline{A}\cdot\overset{*}{\underline{D}}-\underline{B}\cdot\overset{*}{\underline{C}})\right]$$

- потери, зависящие от передаваемой реактивной мощности;

Максимальный КПД ЛЭП может быть найден из решения двух уравнений:

$$\frac{d\Delta P}{dP}=0; \qquad \frac{d'\Delta P}{dQ}=0.$$