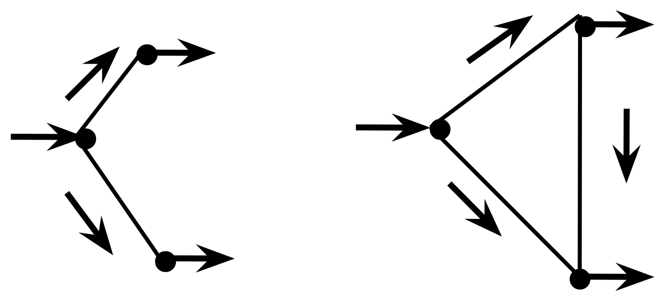
ГЛАВА 5
Расчет установившихся режимов работы линий электропередачи

§1 Общие положения

Режим работы линии – ее состояние в данный момент времени, который характеризуется параметрами, определяющими ее процесс функционирования. Это полная, активная и реактивные мощности, напряжение и ток.

В простейшем случае линии (сети) подразделяются на разомкнутые и замкнутые



а **б**

Элементы СЗ электрических линий делятся на **активные и пассивные**.

Пассивные делятся на:

- **продольные и поперечные;**
- **линейные и нелинейные.**

Активные элементы схем замещения — **источники ЭДС и тока.**

Режимы работы электрической сети подразделяются на **установившиеся и переходные**.

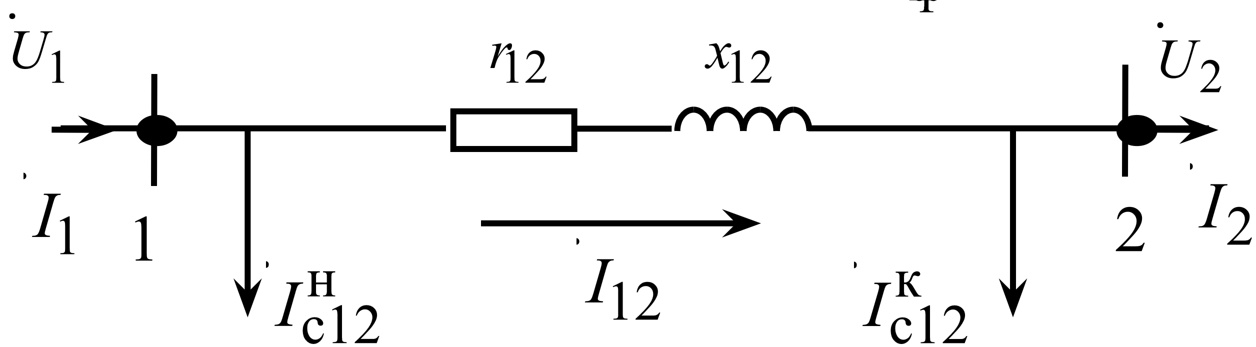
В данной главе рассматриваются основные методы расчета установившихся режимов работы разомкнутых электрических линий с линейными активными элементами.

Исходными данными для таких расчетов являются:

- схема электрической линии;
- схемы замещения ее элементов и их параметры;
- значения нагрузок, заданных в виде тока нагрузки или мощности нагрузки;
- напряжение в одной из точек электрической сети (в конце или в начале линии).

§2 Расчет режима линии при заданном токе нагрузки

2.1 Задано напряжение в конце линии $\dot U_{2ф} = Const.$



Известны: $\dot I_2,\ \dot Z_{12} = r_{12} + jx_{12};\ b_{12}$

Надо определить: $\dot I_{12}, \dot I_1,\ \dot U_1,\ \Delta\dot S$

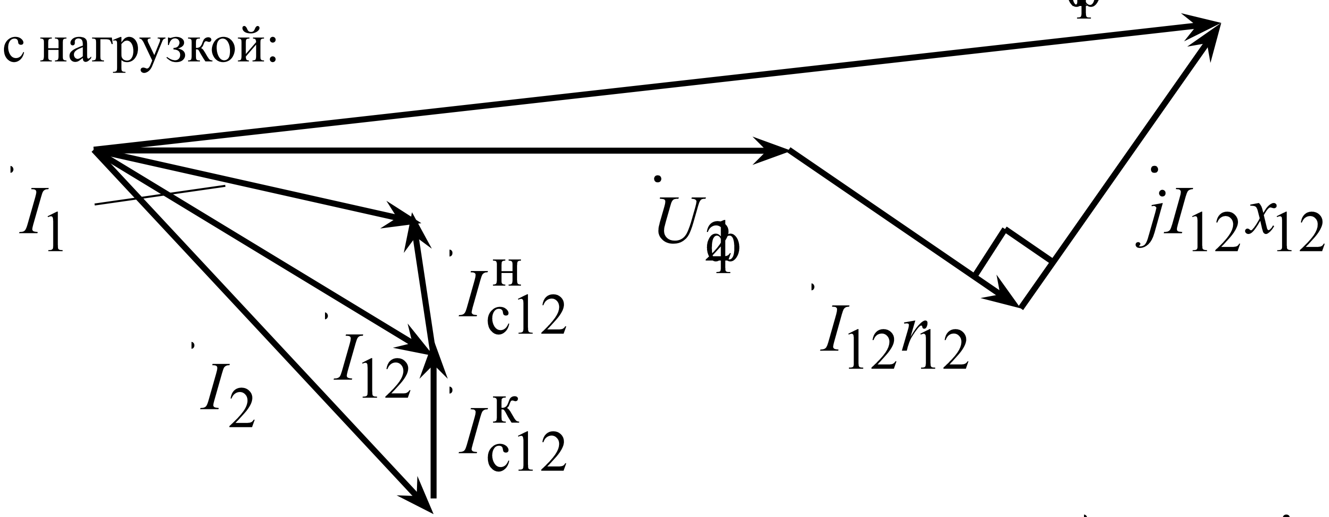
$\dot I^{к}_{с12} = \frac{1}{2}\dot U_{2ф}\, jb_{12}$ $\quad \dot I_{12} = \dot I_2 + \dot I^{к}_{с12}$ $\quad \dot U_{1ф} = \dot U_{2ф} + \dot I_{12}\left(r_{12} + jx_{12}\right)$

$\dot I^{н}_{с12} = \frac{1}{2}\dot U_{1ф}\, jb_{12}$ $\quad \dot I_1 = \dot I_{12} + \dot I^{н}_{с12}$ $\quad \Delta\dot S_{12} = 3\dot I_{12}^2 \dot Z_{12}$

$\Delta\dot S = \Delta\dot S_{12} - jQ^{к}_{с12} - jQ^{н}_{с12}$ $\quad jQ^{к}_{с12} = \frac{1}{2}\dot U_{2ф}^2\, jb_{12}$ $\quad jQ^{н}_{с12} = \frac{1}{2}\dot U_{1ф}^2\, jb_{12}$

Векторные диаграммы

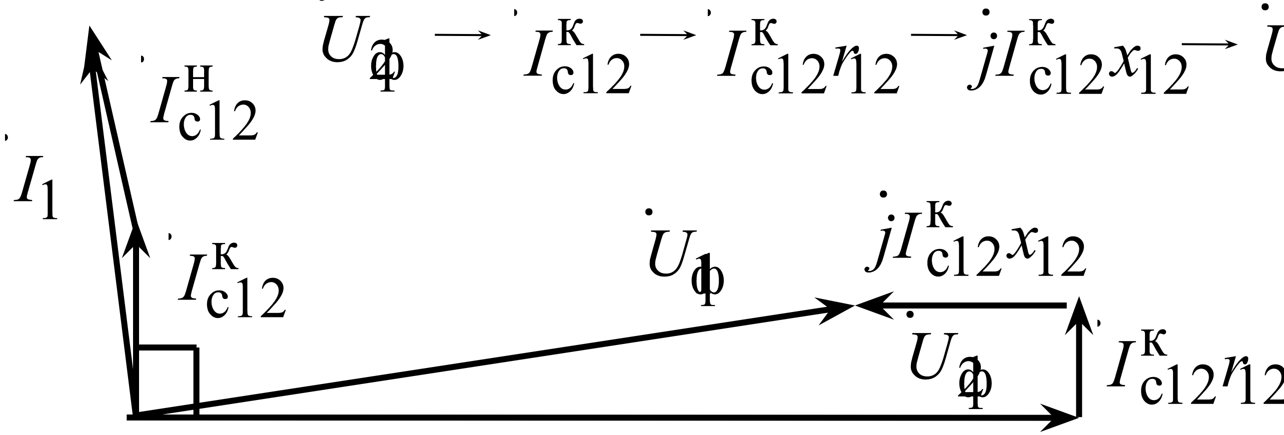
1. Линия с нагрузкой:



$$\dot U_{2ф} \to \dot I_2 \to \dot I^{к}_{c12} \to \dot I_{12} \to \dot I_{12}r_{12} \to j\dot I_{12}x_{12} \to \dot U_{1ф} \to \dot I^{н}_{c12} \perp \dot U_{1ф} \to \dot I_1$$

2. Линия в режиме холостого хода:

$$\dot U_{2ф} \to \dot I^{к}_{c12} \to \dot I^{к}_{c12}r_{12} \to j\dot I^{к}_{c12}x_{12} \to \dot U_{1ф} \to \dot I^{н}_{c12} \to \dot I_1$$



2.2 Задано напряжение в начале линии $\dot U_{1ф} = Const.$

Известны: $\dot I_2,\ \dot Z_{12} = r_{12} + jx_{12};\ b_{12}$

Надо определить: $\dot I_{12},\ \dot I_1, \dot U_{2ф},\ \Delta \dot S$

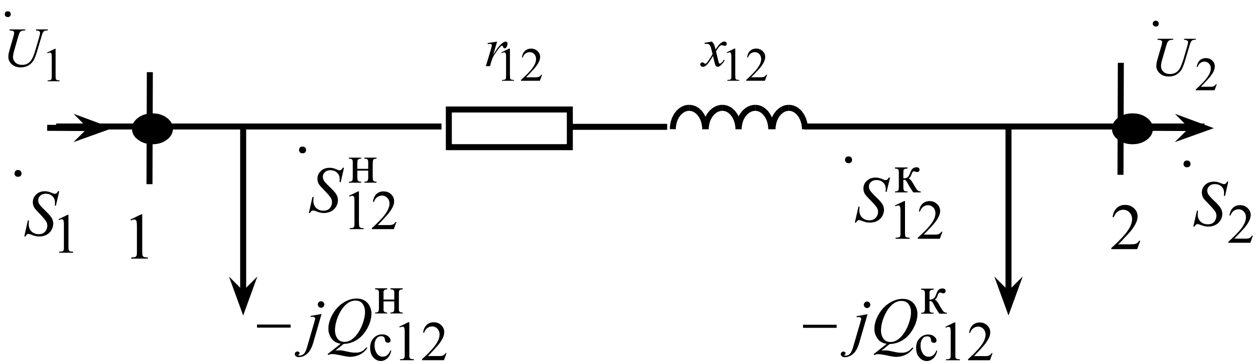
$$\dot Y_{12}\dot U_{1ф} + \dot Y_{22}\dot U_{2ф} = \dot I_2 \qquad \dot Y_{12} = -\frac{1}{\dot Z_{12}} \qquad \dot Y_{22} = \frac{1}{\dot Z_{12}} + jb_{12}$$

$$\dot U_{2ф} = \frac{\dot I_2 - \dot Y_{12}\dot U_{1ф}}{\dot Y_{22}} \qquad \dot I_{12} = \frac{\dot U_{1ф} - \dot U_{2ф}}{\dot Z_{12}} \qquad \dot I^{н}_{c12} = \frac{1}{2}\dot U_{1ф} jb_{12}$$

$$\dot I_1 = \dot I_{12} + \dot I^{н}_{c12}$$

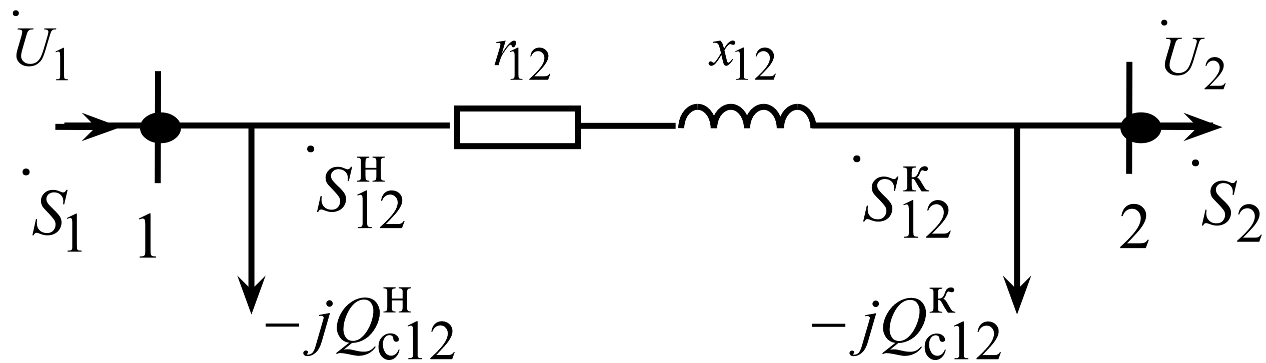
§3 Расчет режима линии при заданной мощности нагрузки

3.1 Задано напряжение в конце линии $\dot{U}_2 = const$



Известны: $\dot{S}_2, \; \dot{Z}_{12} = r_{12} + jx_{12}; \; b_{12}$

Надо определить: $\dot{S}_{12}^{к}, \dot{S}_{12}^{\text{н}}, \; \Delta\dot{S}, \; \dot{U}_1, \; \dot{S}_1$



$$-jQ^{к}_{c12} = -\frac{1}{2}\dot{U}_2^2\, jb_{12} \qquad \dot{S}^{к}_{12} = \dot{S}_2 - jQ^{к}_{c12} = P^{к}_{12} + jQ^{к}_{12}$$

$$\Delta\dot{S}^{к}_{12} = 3I_{12}^2\dot{Z}_{12} = \frac{\left(S^{к}_{12}\right)^2}{U_2^2}\dot{Z}_{12} = \frac{\left(P^{к}_{12}\right)^2 + \left(Q^{к}_{12}\right)^2}{U_2^2}\left(r_{12} + jx_{12}\right)$$

$$\dot{S}^{н}_{12} = \dot{S}^{к}_{12} + \Delta\dot{S}^{к}_{12} \qquad \dot{U}_1 = \dot{U}_2 + \sqrt{3}\dot{I}_{12}\dot{Z}_{12} = \dot{U}_2 + \frac{\overset{*}{\dot{S}}{}^{к}_{12}}{\overset{*}{\dot{U}}_2}\dot{Z}_{12}$$

$$-jQ^{н}_{c12} = -\frac{1}{2}U_1^2\, jb_{12} \qquad \dot{S}_{12} = \dot{S}^{н}_{12} - jQ^{н}_{c12} \qquad \Delta\dot{S} = \Delta\dot{S}^{к}_{12} - jQ^{н}_{c12}$$

3.2 Задано напряжение в начале линии $\dot{U}_1 = const$

Известны: $\dot{S}_2,\ \dot{Z}_{12} = r_{12} + jx_{12};\ b_{12}$

Надо определить: $\dot{S}^{\kappa}_{12}, \dot{S}^{\text{н}}_{12},\ \Delta\dot{S},\ \dot{U}_2,\ \dot{S}_1$

$$\dot{Y}_{22}\dot{U}_2 + \dot{Y}_{12}\dot{U}_1 = \dot{I}_2(U)$$

1 этап: $\dot{U}_2 = U_{\text{н}}$ $\qquad -jQ^{\text{к}}_{\text{с}21} = -\dfrac{1}{2}U^2_{\text{н}}\, jb_{12}$

$$\dot{S}^{\text{к}}_{12} = \dot{S}_2 - jQ^{\text{к}}_{\text{с}12} = P^{\text{к}}_{12} + jQ^{\text{к}}_{12}$$

$$\Delta\dot{S}^{\text{к}}_{12} = 3I^2_{12}\dot{Z}_{12} = \frac{\left(S^{\text{к}}_{12}\right)^2}{U^2_{\text{н}}}\dot{Z}_{12} = \frac{\left(P^{\text{к}}_{12}\right)^2 + \left(Q^{\text{к}}_{12}\right)^2}{U^2_{\text{н}}}\left(r_{12} + jx_{12}\right)$$

$$\dot{S}^{\text{н}}_{12} = \dot{S}^{\text{к}}_{12} + \Delta\dot{S}^{\text{к}}_{12}$$

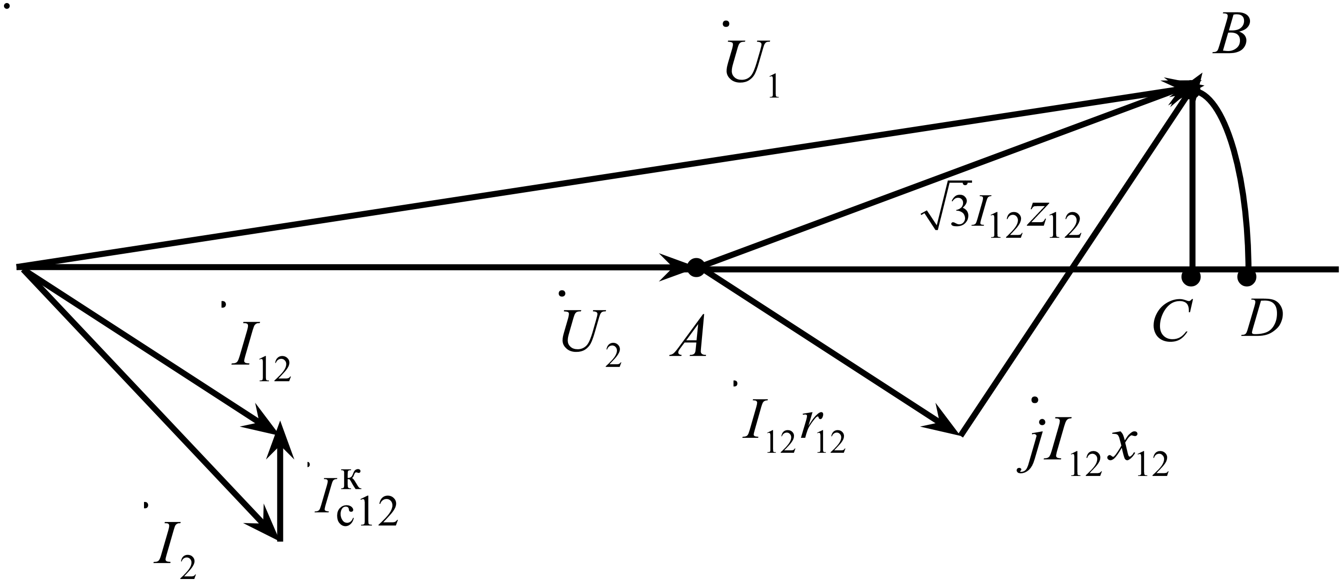
2 этап:

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_1 - \sqrt{3}\dot{I}_{12}\dot{Z}_{12} = \dot{U}_1 - \frac{\overset{*}{\dot{S}}{}^{\text{н}}_{12}}{\overset{*}{\dot{U}}_1}\dot{Z}_{12}$$

$$-jQ^{\text{н}}_{\text{c}12} = -\frac{1}{2}U_1^2\, jb_{12} \qquad \dot{S}'_{12} = \dot{S}^{\text{н}}_{12} - jQ^{\text{н}} \qquad \Delta\dot{S} = \Delta\dot{S}'^{\text{к}}_{12} - jQ^{\text{к}}$$

§4 Падение и потеря напряжения в линии

Векторная диаграмма для линейных напряжений в начале и в конце линии $\dot{U}_1$ и $\dot{U}_2$:



$$\overline{AB} = \dot{U}_1 - \dot{U}_2 = \sqrt{3}\dot{I}_{12}\dot{Z}_{12} \qquad \overline{AC} = \Delta U^{\text{к}}_{12} \qquad \overline{CB} = \delta U^{\text{к}}_{12}$$

$$\dot{U}_1 - \dot{U}_2 = \Delta U^{\text{к}}_{12} + j\delta U^{\text{к}}_{12} \qquad \overline{AD} = U_1 - U_2$$

1. Известны мощность и напряжение в конце линии $\dot{S}^{к}_{12}, \dot{U}_2$

$$\dot{I}_{12} = \frac{\overset{*}{\dot{S}}{}^{к}_{12}}{\sqrt{3}U_2}$$

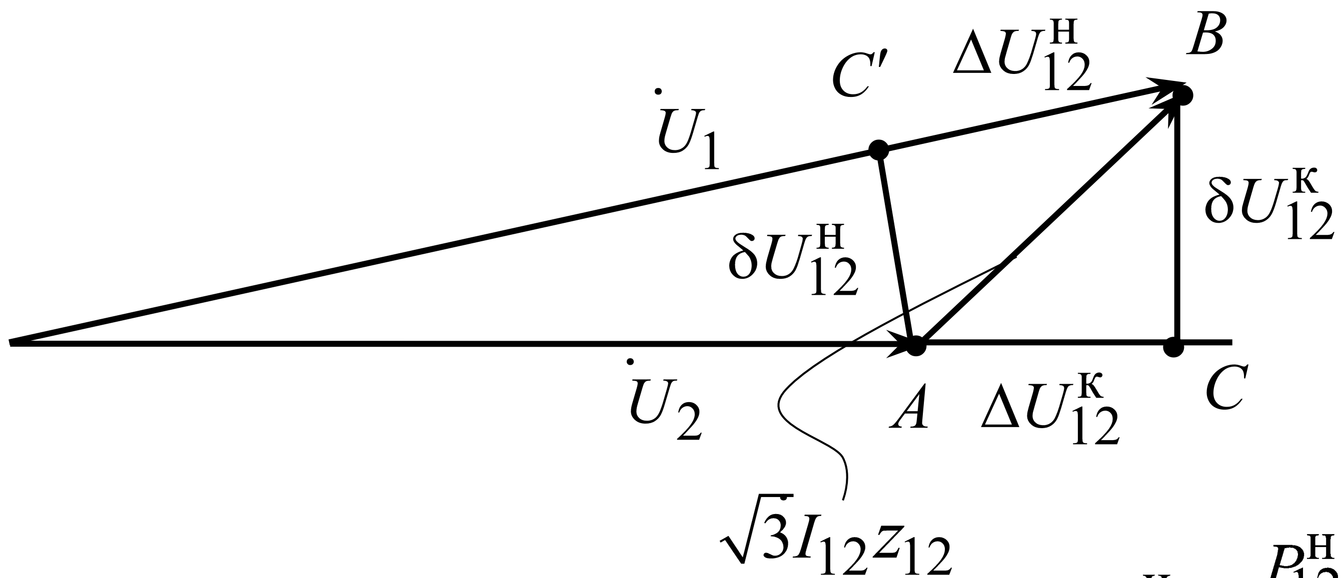
$$\dot{U}_1 - \dot{U}_2 = \Delta U^{к}_{12} + j\delta U^{к}_{12} = \sqrt{3}\dot{I}_{12}Z_{12} = \frac{P^{к}_{12} - jQ^{к}_{12}}{U_2}(r_{12} + jx_{12}) =$$

$$= \underbrace{\frac{P^{к}_{12}r_{12} + Q^{к}_{12}x_{12}}{U_2}}_{\Delta U^{к}_{12}} + j\underbrace{\frac{P^{к}_{12}r_{12} - Q^{к}_{12}r_{12}}{U_2}}_{j\delta U^{к}_{12}}.$$

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 + \Delta\dot{U}^{к}_{12} + j\delta U^{к}_{12} \qquad U_1 = \sqrt{(U_2 + \Delta U^{к}_{12})^2 + (\delta U^{к}_{12})^2}$$

$$tg\delta = \frac{\delta U^{к}_{12}}{U_2 + \Delta U^{к}_{12}}$$

2. Известны мощность и напряжение в начале линии $\dot{S}_{12}^{\text{н}}, \dot{U}_1$



$$\Delta U_{12}^{\text{н}} = \overline{BC'} \qquad \delta U_{12}^{\text{н}} = \overline{AC'}$$

$$\Delta U_{12}^{\text{н}} = \frac{P_{12}^{\text{н}} r_{12} + Q_{12}^{\text{н}} x_{12}}{U_1}$$

$$\Delta U_{12}^{\text{н}} \neq \Delta U_{12}^{\text{к}} \qquad \delta U_{12}^{\text{н}} \neq \delta U_{12}^{\text{к}}$$

$$\delta U_{12}^{\text{н}} = \frac{P_{12}^{\text{н}} x_{12} - Q_{12}^{\text{н}} r_{12}}{U_1}$$

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_1 - \Delta U_{12}^{\text{н}} - j\delta U_{12}^{\text{н}}$$

$$U_2 = \sqrt{(U_1 - \Delta U_{12}^{\text{н}})^2 + (\delta U_{12}^{\text{н}})^2} \qquad tg\delta = \frac{\delta U_{12}^{\text{н}}}{U_1 - \Delta U_{12}^{\text{н}}}$$