

ТОЭ – часть 2

практическое занятие 12

Расчет параметров длинных линий

Цепи с **распределенными параметрами** - это цепи, **длина** которых соизмерима с **длиной** электромагнитной **волны**, причем напряжения и токи в **фиксированные** моменты времени **изменяются** вдоль этих цепей.

Изменение напряжения и тока вдоль линии в функции x обусловлено наличием **продольных сопротивлений** и **поперечных проводимостей**.

Линии, у которых напряжения и токи заметно изменяются **вдоль их длины**, называются *длинными линиями*.

R_0 (Ом/км), L_0 (Гн/км), G_0 (См/км), C_0 (Ф/км) – это **первичные** (удельные) параметры линий.

Волновое сопротивление Z_B и **постоянная распространения** γ - это **вторичные** параметры линий.

Для линий с **постоянными токами** угловая частота $\omega=0$.

Задача 1

Дано:

$$R_0=2 \text{ (Ом/км)}; L_0=10^{-3} \text{ (Гн/км)};$$

$$G_0=10^{-5} \text{ (См/км)}; C_0=10^{-8} \text{ (Ф/км)};$$

$$\omega=1000 \text{ (1/с)}.$$

Определить:

вторичные параметры линии.

1. Комплекс продольного сопротивления:

$$\begin{aligned} \underline{Z}_0 &= R_0 + j\omega L_0 = 2 + j10^3 \cdot 10^{-3} = \\ &= 2 + j1 = 2,236e^{j26,6^\circ} \text{ (Ом/км)}. \end{aligned}$$

2. Комплекс поперечной проводимости:

$$\begin{aligned}\underline{Y}_0 &= G_0 + j\omega C_0 = 10^{-5} + j10^3 \cdot 10^{-8} = \\ &= 10^{-5} (1 + j1) = 10^{-5} \sqrt{2} e^{j45^\circ} \text{ (См/км)}.\end{aligned}$$

3. Волновое сопротивление:

$$\begin{aligned}\underline{Z}_B &= \sqrt{\frac{\underline{Z}_0}{\underline{Y}_0}} = \sqrt{\frac{2,236 e^{j26,6^\circ}}{10^{-5} \sqrt{2} e^{j45^\circ}}} = \\ &= \sqrt{1,581 \cdot 10^5 e^{-j18,4^\circ}} = 397,62 e^{-j9,2^\circ} \text{ (Ом)}.\end{aligned}$$

4. Постоянная распространения:

$$\begin{aligned}\underline{\gamma} = \alpha + j\beta &= \sqrt{\underline{Z}_0 \cdot \underline{Y}_0} = \sqrt{2,236e^{j26,6^\circ} \cdot 10^{-5} \sqrt{2}e^{j45^\circ}} = \\ &= \sqrt{3,162 \cdot 10^{-5} e^{j71,6^\circ}} = 5,623 \cdot 10^{-3} e^{j35,8^\circ} = \\ &= 4,562 \cdot 10^{-3} + j3,288 \cdot 10^{-3}, (1/\text{км});\end{aligned}$$

а) коэффициент затухания

$$\alpha = 4,562 \cdot 10^{-3} \text{ (Нп/км)};$$

б) коэффициент фазы

$$\beta = 3,288 \cdot 10^{-3} \text{ (р/км)}.$$

5. Фазовая скорость:

$$V = \frac{\omega}{\beta} = \frac{10^3}{3,288 \cdot 10^{-3}} \approx 3 \cdot 10^5 \text{ (км/с)} \leq 3 \cdot 10^5 \text{ (км/с)}.$$

6. Длина волны:

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta} = \frac{2\pi}{3,288 \cdot 10^{-3}} = 1911 \text{ (км)}.$$

7. Расстояние от конца линии, на котором напряжение или ток изменится в режиме согласованной нагрузки в 3 раза:

$$l_1 = \frac{1}{\alpha} \ln \left(\frac{U_{l_1}}{U_2} \right) = \frac{\ln(3)}{\alpha} = \frac{\ln(3)}{4,562 \cdot 10^{-3}} \approx 240,8 \text{ (км)}.$$

8. Расстояние от конца линии, на котором фаза напряжения или тока изменится в режиме согласованной нагрузки на π :

$$l_2 = \frac{\psi_{U_{l_2}} - \psi_{U_2}}{\beta} = \frac{\pi}{3,288 \cdot 10^{-3}} \approx 955,5 \text{ (км)}.$$

9. Какую дополнительную индуктивность $L_{\text{дон}}$ нужно разместить на каждом отрезке линии длиной $l_3=1$ (км), чтобы линия стала линией без искажений:

$$\frac{R_0}{L_0 + L_{\text{дон}}/l_3} = \frac{G_0}{C_0} \rightarrow L_{\text{дон}} = \left(\frac{R_0 C_0}{G_0} - L_0 \right) l_3 = 10^{-3} \text{ (Гн)}.$$

10. Какую дополнительную емкость $C_{\text{дон}}$ нужно разместить на каждом отрезке линии длиной $l_3=1$ (км), чтобы линия стала линией без искажений:

$$\frac{R_0}{L_0} = \frac{G_0}{C_0 + C_{\text{дон}}/l_3} \rightarrow C_{\text{дон}} = \left(\frac{G_0 L_0}{R_0} - C_0 \right) l_3 = -0,5 \cdot 10^{-8} (\Phi).$$

Так как $C_{\text{дон}} < 0$, то это сделать **НЕВОЗМОЖНО**.

Задача 2

Дано:

$$\underline{Z}_B = 400e^{j20^\circ} \text{ (Ом)};$$

$$\underline{\gamma} = 10^{-5}e^{j25^\circ} \text{ (1/км)};$$

$$\omega = 1000 \text{ (1/с)}.$$

Определить:

первичные параметры линии.

1. Комплекс продольного сопротивления:

$$\underline{Z}_0 = R_0 + j\omega L_0 = \underline{Z}_B \cdot \underline{\gamma} = 4 \cdot 10^{-3} e^{j45^\circ} =$$

$$= 2,828 \cdot 10^{-3} + j2,828 \cdot 10^{-3}, \text{ (Ом/км)};$$

$$R_0 = 2,828 \cdot 10^{-3} \text{ (Ом/км)}; L_0 = \frac{2,828 \cdot 10^{-3}}{\omega} = 2,828 \cdot 10^{-6} \text{ (Гн/км)}.$$

2. Комплекс поперечной проводимости:

$$\underline{Y}_0 = G_0 + j\omega C_0 = \frac{\gamma}{\underline{Z}_B} = 0,25 \cdot 10^{-7} e^{j5^\circ} =$$

$$= 2,49 \cdot 10^{-8} + j2,179 \cdot 10^{-9}, (\text{См/км});$$

$$G_0 = 2,49 \cdot 10^{-8} (\text{См/км});$$

$$C_0 = \frac{2,179 \cdot 10^{-9}}{\omega} = 2,179 \cdot 10^{-12} (\text{Ф/км}).$$