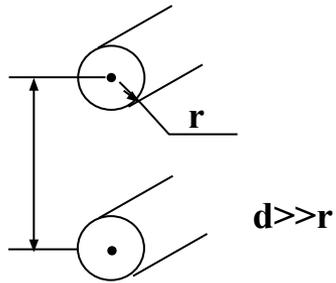


Длинные линии в военной технике связи.

Конструкции длинной линии

Расчетные формулы для погонных параметров

Воздушная линия



$$R \approx \frac{8,36 \cdot \sqrt{f}}{r} \cdot 10^{-5} \quad (\text{Ом/м})$$

$$L \approx \frac{\mu_a}{\pi} \cdot \ln \frac{d}{r} \quad (\text{Гн/м})$$

$$C \approx \frac{\pi \cdot \varepsilon_a}{\ln \frac{d}{r}} \cdot 10^{-5} \quad (\text{Ф/м})$$

$$G \approx 0$$

f [Гц] - частота

$C = 3 \cdot 10^8$ м/сек - Скорость света

r в мм

$$\mu_a = \mu_0 \cdot \mu$$

$$\varepsilon_a = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon$$

μ, ε

относительные магнитная
и диэлектрическая
проницаемости среды

для воздушной среды

$$\mu = 1, \varepsilon = 1$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$$

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 C^2} = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$$

Конструкции длинной линии

Расчетные формулы для погонных параметров

Кабельная линия

$$R = 4,18 \cdot \sqrt{f} \left(\frac{1}{r_1} + \frac{k}{r_2} \right) \cdot 10^{-5} \quad (\text{Ом/м}) \quad (\text{медные жила и оболочка})$$

$$L = \frac{\mu_a}{2\pi} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (\text{Гн/м})$$

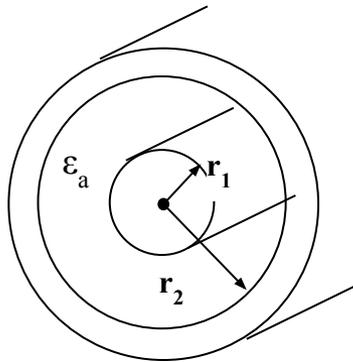
$k=1$ – для сплошной оболочки;
 $k \approx 1,8$ – для медной оплетки кабеля;

$$C = \frac{2\pi \cdot \varepsilon_a}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (\text{Ф/м})$$

$$G = \frac{2\pi \cdot \gamma}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (1/\text{Ом} \cdot \text{м})$$

r_1, r_2 – в мм;
 $\mu_a = \mu_0 \cdot \mu, \mu = 1$ – для
 диэлектрической среды
 кабеля

$\varepsilon_a = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon;$
 ε – относительная
 диэлектрическая
 проницаемость диэлектрика
 $\varepsilon = (\text{от } 2 \text{ до } 10).$



γ – удельная проводимость изоляции между жилами (1/Ом · м)

Экспериментальное определение первичных(погонных) параметров длинных линий

Из опытов холостого хода ($Z_{\text{н}}=\infty$) и короткого замыкания ($Z_{\text{н}}=0$).

волновое сопротивление линии

$$Z_{\text{в}} = \sqrt{Z_{\text{xx}} \cdot Z_{\text{кз}}}$$

характеристическая постоянная передачи линии

$$\gamma l = \frac{1}{2} \ln \frac{1 + \sqrt{Z_{\text{кз}} / Z_{\text{xx}}}}{1 - \sqrt{Z_{\text{кз}} / Z_{\text{xx}}}}$$

$$R + j\omega L = \gamma \cdot Z_{\text{в}},$$

$$R = \operatorname{Re}(\gamma \cdot Z_{\text{в}})$$

$$G = \operatorname{Re}\left\{\frac{\gamma}{Z_{\text{в}}}\right\}$$

$$G + j\omega C = \frac{\gamma}{Z_{\text{в}}},$$

$$L = \operatorname{Im}(\gamma \cdot Z_{\text{в}}) \cdot \frac{1}{\omega}$$

$$C = \operatorname{Im}\left\{\frac{\gamma}{Z_{\text{в}}}\right\} \cdot \frac{1}{\omega}$$

Волновые параметры линии

волновое сопротивление линии

$$Z_B = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = |Z|e^{j\varphi}$$

коэффициент распространения линии

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} = \alpha + j\beta$$

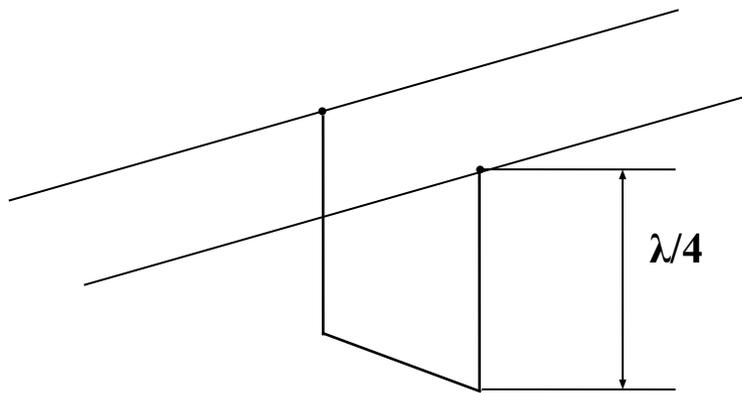
Использование отрезков длинных линий в ВТС

Типовые частотные режимы ДЛ в ВТС

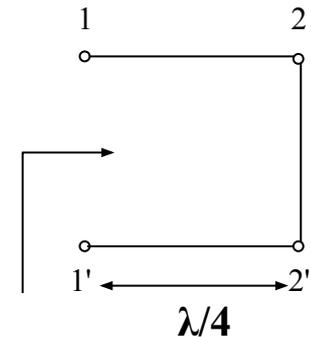
$$2\Delta\omega \ll \omega_0,$$

Металлический изолятор

$$\operatorname{Re}\{Z_{ex}\}\big|_{l=\lambda/4} \approx \frac{\rho}{\alpha\lambda/4} \gg \rho.$$



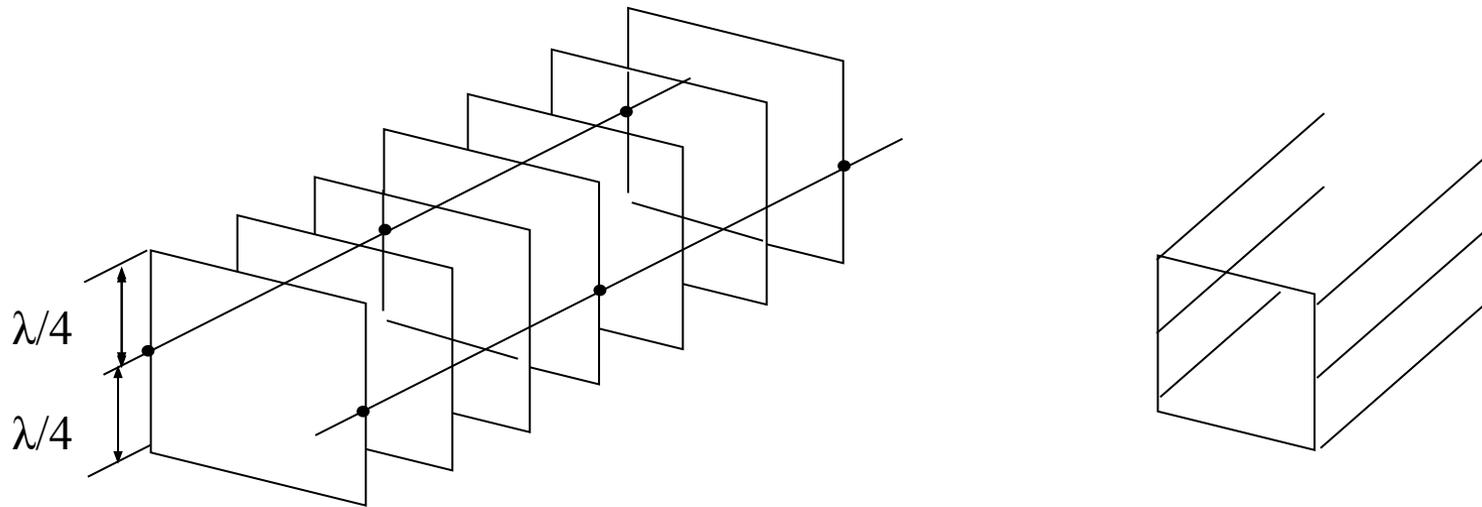
режим к.з.



$$Z_{BX} = \infty$$

Металлический изолятор

Принцип использования металлического изолятора для создания волноводов прямоугольного сечения



Отрезки линий без потерь как реактивное сопротивление

входное сопротивление линии без потерь в
режиме короткого замыкания

$$Z_{\text{вх}} = j\rho \operatorname{tg}(\beta l)$$

входное сопротивление линии без потерь в
режиме холостого хода

$$Z_{\text{вх}} = -j\rho \operatorname{ctg}(\beta l)$$

Колебательный контур

Отрезок длинной линии без потерь длиной $\ell = \lambda / 4$ в режиме К.З. как параллельный колебательный контур

$$\omega_0 = \frac{\pi}{2\sqrt{LC} \cdot \ell} \quad \text{резонансная частота} \quad \ell = \frac{\lambda}{4} = \frac{1}{4} \cdot \frac{2\pi}{\beta} = \frac{\pi}{2\omega_0 \sqrt{LC}}.$$

полоса пропускания $2\Delta\omega \approx \frac{2\alpha}{\sqrt{LC}}.$

резонансное сопротивление

$$Z_{\text{рез}} \approx r / \alpha \ell$$

Добротность контура

$$2\Delta\omega = \frac{\omega_0}{Q} \quad \text{равна } Q \approx \frac{\pi}{4\alpha \ell}$$

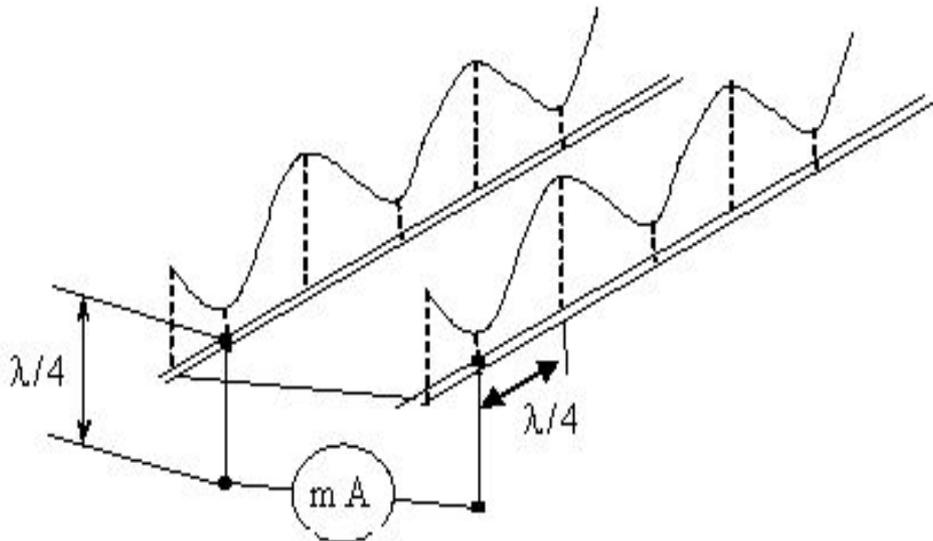
$$\approx 4 \cdot 10^3$$

Трансформатор сопротивлений

при длине $l = \lambda/4$ входное сопротивление длинной линии

$$Z_{вх} = \rho \frac{1 - \frac{Z_H - \rho}{Z_H + \rho}}{1 + \frac{Z_H - \rho}{Z_H + \rho}} = \frac{\rho^2}{Z_H}$$

линейный вольтметр



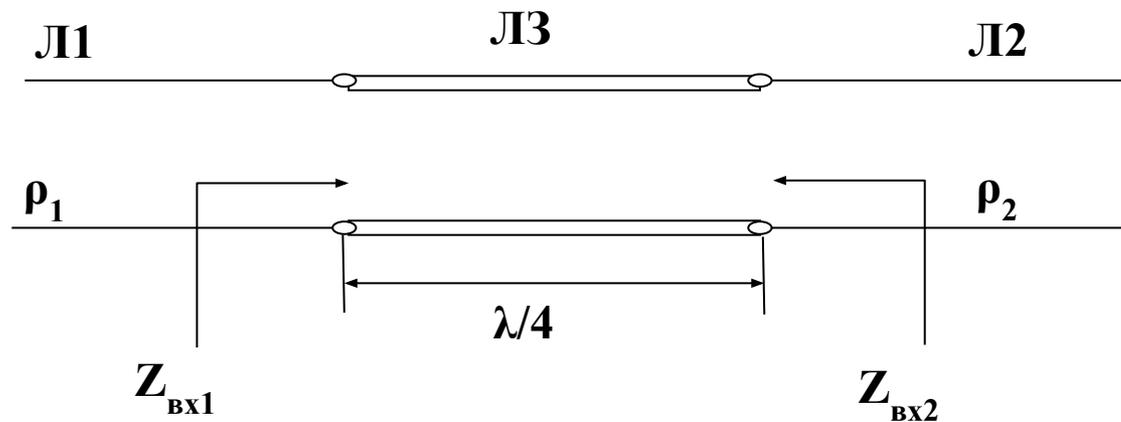
$$R_A = 1 \text{ Ом}$$

$$\text{при } \rho = 150 \text{ Ом}$$

$$R_{вх} = \rho^2 / R_A = 225 \text{ кОм!}$$

Трансформатор сопротивлений

согласование высокочастотных кабелей с различными волновыми сопротивлениями



$$\rho_3 = \sqrt{\rho_1 \rho_2} \quad Z_{\text{ВХ1}} = \frac{\rho_3^2}{\rho_2} = \rho_1 \quad \text{и} \quad Z_{\text{ВХ2}} = \frac{\rho_3^2}{\rho_1} = \rho_2$$

Отрезок длинной линии как элемент временной задержки сигнала

решение уравнений передачи при согласованной нагрузке

$$Z_H = \rho$$

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 e^{j\beta l}$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_2 e^{j\beta l}$$

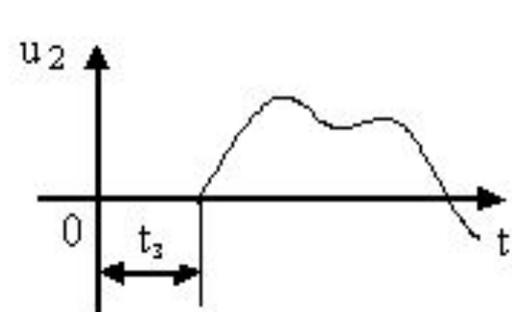
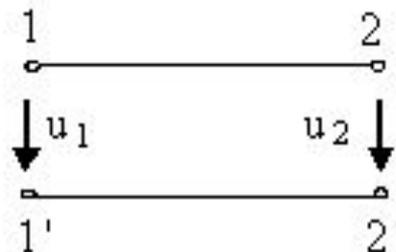
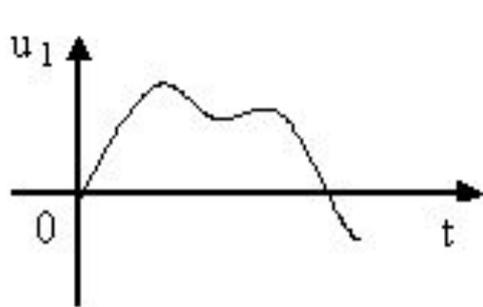
для мгновенных значений

$$u_2(t) = U_2 \sin(\omega t - \beta l)$$

$$u_1(t) = U_1 \sin(\omega t)$$

$$i_2(t) = I_2 \sin(\omega t - \beta l)$$

$$i_1(t) = I_1 \sin(\omega t)$$



Длинные линии без искажений

Если: $\frac{L_0}{R_0} = \frac{C_0}{G_0}$ $\underline{Z}_н = \underline{Z}_в$

тогда: $\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{R_0 G_0} + j\omega \sqrt{L_0 C_0}$

*Затухание не зависит от частоты
Коэффициент фазы пропорционален частоте*

Такие линии не искажают форму сигнала при передаче его от входа в нагрузку

