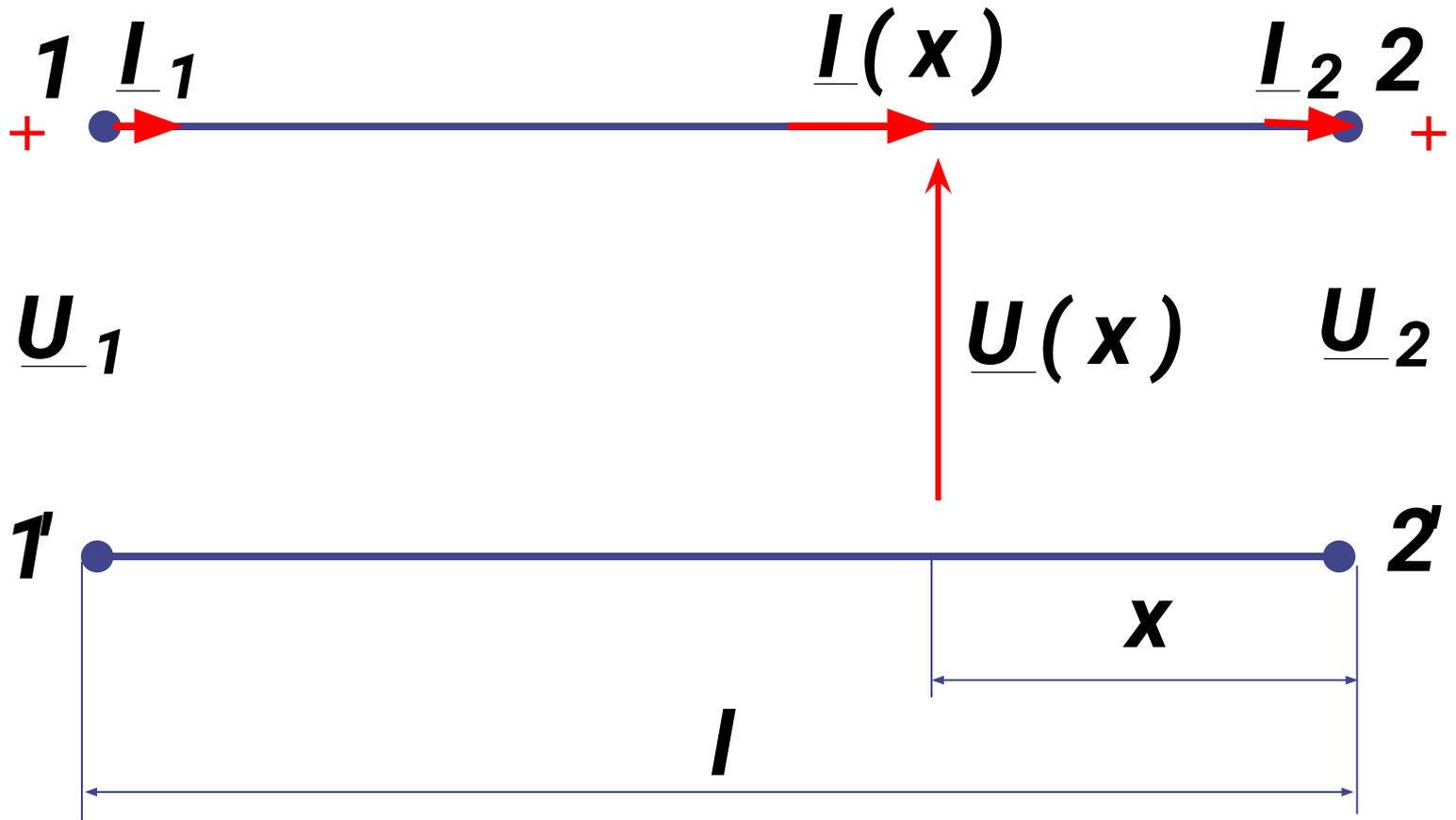


# *14 лекция*

*Режимы однородной линии при гармонических напряжениях и токах. Однородная линия без искажений.*

*Режимы однородной  
линии при  
гармонических  
напряжениях и токах*

*Проанализируем режимы  
работы для комплексов  
действующих значений  
напряжений и токов*



# 1. Напряжение

$$\underline{U}(x) = \underline{U}_n(x) + \underline{U}_{отр}(x) =$$

$$= \underline{A}_1 \cdot e^{\gamma \cdot x} + \underline{A}_2 \cdot e^{-\gamma \cdot x} =$$

$$= \underline{U}_2 \cdot \underline{ch} \gamma x + \underline{Z}_B \cdot \underline{I}_2 \cdot \underline{sh} \gamma x$$

## 2. Ток

$$\begin{aligned} \underline{I}(x) &= \underline{I}_n(x) + \underline{I}_{отр}(x) = \\ &= \frac{\underline{A}_1}{\underline{Z}_B} \cdot e^{\gamma \cdot x} - \frac{\underline{A}_2}{\underline{Z}_B} \cdot e^{-\gamma \cdot x} = \\ &= \frac{\underline{U}_2}{\underline{Z}_B} \cdot \underline{sh} \gamma x + \underline{I}_2 \cdot \underline{ch} \gamma x \end{aligned}$$

### 3. Входное сопротивление

$$\underline{Z}_{BX} = \frac{\underline{U}_1}{\underline{I}_1} = \underline{Z}_B \cdot \frac{(\underline{Z}_H + \underline{Z}_B \cdot \underline{thyl})}{(\underline{Z}_B + \underline{Z}_H \cdot \underline{thyl})}$$

Где

$$\underline{Z}_H = \frac{\underline{U}_2}{\underline{I}_2} \quad \text{- сопротивление нагрузки}$$

$$\underline{th}_l = \frac{\underline{sh}_l}{\underline{ch}_l} \quad \text{- гиперболический тангенс}$$

## 4. Коэффициент отражения волн от нагрузки ( $x=0$ )

а) для напряжения

$$\underline{K}_U = \frac{\underline{U}_{\text{отр}}(0)}{\underline{U}_{\text{п}}(0)} = \frac{A_2}{A_1}$$

б) для тока

$$\underline{K}_I = \frac{\underline{I}_{отр}(0)}{\underline{I}_n(0)} = -\frac{\underline{A}_2}{\underline{A}_1}$$

Где

$$A_1 = \frac{U_2 + Z_B \cdot I_2}{2}$$

$$A_2 = \frac{U_2 - Z_B \cdot I_2}{2}$$

Тогда

$$\underline{K}_U = -\underline{K}_I = \frac{\underline{Z}_H - \underline{Z}_B}{\underline{Z}_H + \underline{Z}_B}$$

*1. Режим согласованной  
нагрузки, когда*

$$\underline{Z}_H = \underline{Z}_B = Z_B \cdot e^{j\varphi_B}, \text{ Ом}$$

## *Входное сопротивление*

$$\underline{Z}_{BX}^{(c)} = \underline{Z}_B$$

## *Коэффициенты отражения*

$$\underline{K}_U = -\underline{K}_I = 0$$

*В режиме согласованной  
нагрузки отраженные волны  
напряжения и тока  
отсутствуют*

*При*

$$\underline{A}_1 = \underline{U}_2 = U_2 \cdot e^{j\Psi U_2}, \quad \underline{A}_2 = 0$$

*получаем*

$$\begin{cases} \underline{U}(x) = \underline{U}_2 \cdot e^{\gamma x} \\ \underline{I}(x) = \underline{I}_2 \cdot e^{\gamma x} \end{cases} \quad \text{при} \quad \underline{I}_2 = \underline{U}_2 / \underline{Z}_B$$

*Мгновенные значения*

*а) напряжения*

$$u(x, t) = u_n(x, t) =$$

$$= \sqrt{2} U_2 e^{\alpha \cdot x} \sin(\omega t + \beta x + \Psi_{U_2})$$

## Мгновенные значения

б) тока

$$i(x, t) = i_n(x, t) =$$

$$= \sqrt{2} \frac{U_2}{Z_B} e^{\alpha \cdot x} \sin(\omega t + \beta x + \Psi_{U_2} - \varphi_B)$$

*В любой точке линии*

$$\frac{\underline{U}(x)}{\underline{I}(x)} = \frac{\underline{U}_1}{\underline{I}_1} = \frac{\underline{U}_2}{\underline{I}_2} = \underline{Z}_B$$

# Активные мощности

$$P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_B, \text{ Вт}$$

$$P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_B, \text{ Вт}$$

Так как

$$U_1 = U_2 \cdot e^{\alpha \cdot l} \quad I_1 = I_2 \cdot e^{\alpha \cdot l}$$

тогда

КПД

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = e^{-2\alpha \cdot l} < 1$$

Так как

$$\begin{aligned}\underline{U}(x) &= U(x) \cdot e^{j\Psi_U(x)} = \underline{U}_2 \cdot e^{\gamma x} = \\ &= U_2 \cdot e^{j\Psi_{U_2}} \cdot e^{\alpha \cdot x} \cdot e^{j\beta x}\end{aligned}$$

*Тогда коэффициент затухания*

$$\alpha = \frac{1}{x} \cdot \ln \frac{U(x)}{U_2}, \quad \text{Нп/км}$$

*в режиме согласованной  
нагрузки характеризует  
изменение величины  
напряжения или тока на  
единице длины линии*

*При этом коэффициент фазы*

$$\beta = \frac{\Psi_U(x) - \Psi_{U_2}}{x}, \quad \text{рад/км}$$

*в режиме согласованной  
нагрузки характеризует  
изменение фазы напряжения  
или тока на единице длины  
линии*

2. Режим холостого хода,  
когда

$$\underline{Z}_H = \infty \quad \text{и} \quad \underline{I}_2 = 0$$

## *Входное сопротивление*

$$\underline{Z}_{BX}^{(XX)} = \underline{Z}_B \cdot \underline{cthy}_l$$

*коэффициент отражения*

$$\underline{K}_U = -\underline{K}_I = 1$$

*Падающие и отраженные  
волны напряжения в конце  
линии равны между собой*

При  $\underline{A}_1 = \underline{A}_2 = \frac{\underline{U}_2}{2}$  получаем

$$\begin{cases} \underline{U}(x) = \frac{\underline{U}_2}{2} \cdot e^{\gamma x} + \frac{\underline{U}_2}{2} \cdot e^{-\gamma x} = \underline{U}_2 \cdot \underline{\text{ch}} \gamma x \\ \underline{I}(x) = \frac{\underline{U}_2}{2\underline{Z}_B} \cdot e^{\gamma x} - \frac{\underline{U}_2}{2\underline{Z}_B} \cdot e^{-\gamma x} = \frac{\underline{U}_2}{\underline{Z}_B} \cdot \underline{\text{sh}} \gamma x \end{cases}$$

# Мгновенные значения

## а) напряжения

$$\begin{aligned} u(x, t) &= u_{\text{п}}(x, t) + u_{\text{отр}}(x, t) = \\ &= \frac{\sqrt{2}U_2}{2} \cdot e^{\alpha x} \cdot \sin(\omega t + \beta x + \Psi_{U_2}) + \\ &+ \frac{\sqrt{2}U_2}{2} \cdot e^{-\alpha x} \cdot \sin(\omega t - \beta x + \Psi_{U_2}) \end{aligned}$$

# Мгновенные значения

## б) тока

$$\begin{aligned} i(x, t) &= i_{\Pi}(x, t) + i_{\text{отгр}}(x, t) = \\ &= \frac{\sqrt{2}U_2}{2Z_{\mathbf{B}}} \cdot e^{\alpha x} \cdot \sin(\omega t + \beta x + \Psi_{U_2} - \varphi_{\mathbf{B}}) - \\ &- \frac{\sqrt{2}U_2}{2Z_{\mathbf{B}}} \cdot e^{-\alpha x} \cdot \sin(\omega t - \beta x + \Psi_{U_2} - \varphi_{\mathbf{B}}) \end{aligned}$$

3. Режим короткого замыкания,  
когда

$$\underline{Z}_H = 0 \quad \text{и} \quad \underline{U}_2 = 0$$

## *Входное сопротивление*

$$\underline{Z}_{\text{BX}}^{(K3)} = \underline{Z}_B \cdot \underline{th\gamma l}$$

*коэффициент отражения*

$$\underline{K}_U = -\underline{K}_I = -1$$

*Падающие и отраженные  
волны тока в конце линии  
равны между собой*

При

$$\underline{A}_1 = \frac{\underline{I}_2 \cdot \underline{Z}_B}{2} = -\underline{A}_2$$

получаем

$$\begin{cases} \underline{U}(x) = \frac{\underline{Z}_B \underline{I}_2}{2} \cdot e^{\gamma x} - \frac{\underline{Z}_B \underline{I}_2}{2} \cdot e^{-\gamma x} = \underline{Z}_B \underline{I}_2 \cdot \operatorname{sh} \gamma x \\ \underline{I}(x) = \frac{\underline{I}_2}{2} \cdot e^{\gamma x} + \frac{\underline{I}_2}{2} \cdot e^{-\gamma x} = \underline{I}_2 \cdot \operatorname{ch} \gamma x \end{cases}$$

# Мгновенные значения

## а) напряжения

$$u(x, t) = u_{\text{п}}(x, t) + u_{\text{отр}}(x, t) =$$

$$= \frac{\sqrt{2} Z_B I_2}{2} \cdot e^{\alpha x} \cdot \sin(\omega t + \beta x + \Psi_{I_2} + \varphi_B) -$$

$$- \frac{\sqrt{2} Z_B I_2}{2} \cdot e^{-\alpha x} \cdot \sin(\omega t - \beta x + \Psi_{I_2} + \varphi_B)$$

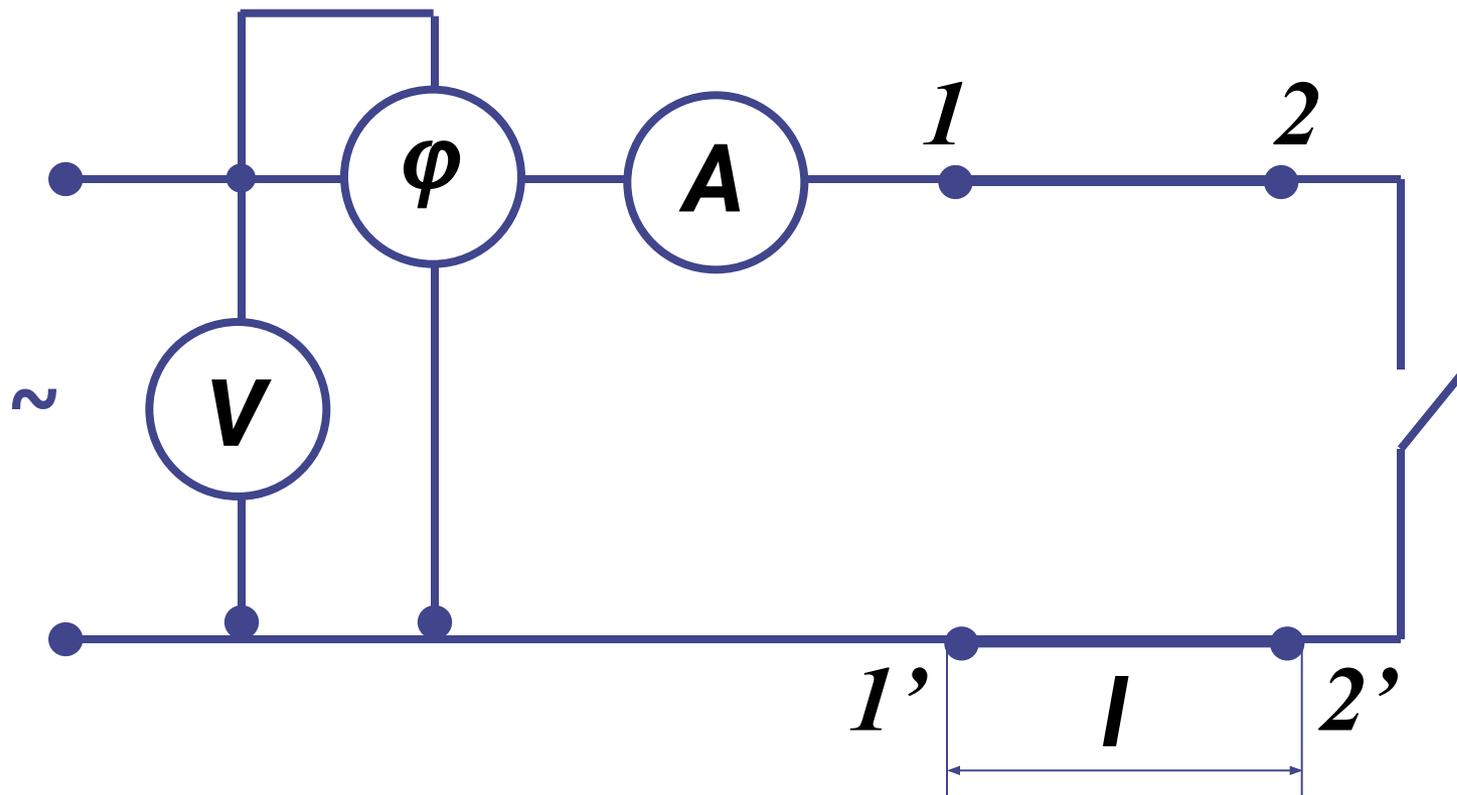
# Мгновенные значения

б) тока

$$\begin{aligned} i(x, t) &= i_{\text{п}}(x, t) + i_{\text{отр}}(x, t) = \\ &= \frac{\sqrt{2}I_2}{2} \cdot e^{\alpha x} \cdot \sin(\omega t + \beta x + \Psi_{I_2}) + \\ &+ \frac{\sqrt{2}I_2}{2} \cdot e^{-\alpha x} \cdot \sin(\omega t - \beta x + \Psi_{I_2}) \end{aligned}$$

Режимы холостого хода и короткого замыкания могут использоваться для экспериментального определения  $\underline{Z}_B$  и

$$\underline{\gamma} = \alpha + j\beta$$



*а) режим холостого хода (ключ разомкнут)*

$$\underline{Z}_{BX}^{(XX)} = \frac{U_V^{(XX)}}{I_A^{(XX)}} \cdot e^{j\varphi_{XX}}, \text{ Ом}$$

*б) режим короткого замыкания  
(ключ замкнут)*

$$\underline{Z}_{ВХ}^{(кз)} = \frac{U_V^{(кз)}}{I_A^{(кз)}} \cdot e^{j\varphi_{кз}}, \text{ Ом}$$

в) расчет волнового  
сопротивления

$$\underline{Z}_B = Z_B \cdot e^{j\varphi_B} = \sqrt{Z_{BX}^{(XX)} \cdot Z_{BX}^{(K3)}, \text{ Ом}}$$

*г) расчет постоянной распространения*

$$\underline{\gamma} = \frac{1}{2l} \cdot \ln \left[ \frac{1 + \sqrt{Z_{BX}^{(K3)} / Z_{BX}^{(XX)}}}{1 - \sqrt{Z_{BX}^{(K3)} / Z_{BX}^{(XX)}}} \right] + j \frac{\kappa \pi}{l}, \quad 1 / \text{KM}$$

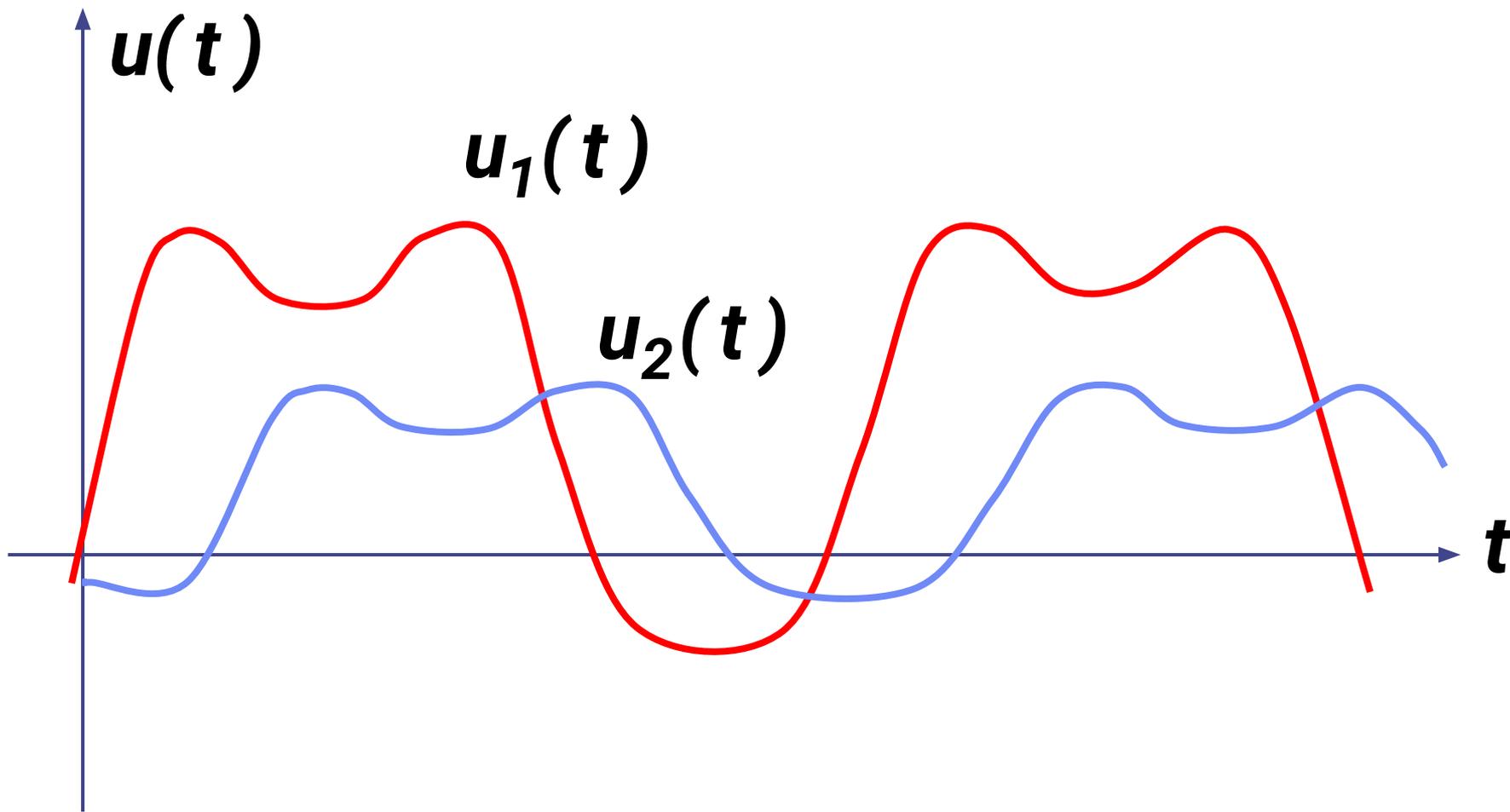
*где  $\kappa=0$  при  $l < \lambda$*

*$\kappa=1$  при  $\lambda < l < 2\lambda$  и т.д.*



# *Однородная линия без искажений*

*Это линия связи, у которой  
формы кривых напряжения  
(тока) в начале и конце линии  
одинаковы*



Для этого необходимо, чтобы  
 $\alpha$  и  $\nu$  не зависели от  $\omega$

*Условие не искажения формы  
кривых напряжения (тока)*

$$\frac{R_0}{L_0} = \frac{G_0}{C_0} = K_0$$

1

*При этом*

$$\underline{Z}_0 = R_0 + j\omega L_0 = L_0(K_0 + j\omega), \quad \frac{\text{ОМ}}{\text{КМ}}$$

$$\underline{Y}_0 = G_0 + j\omega C_0 = C_0(K_0 + j\omega), \quad \frac{\text{СМ}}{\text{КМ}}$$

Тогда

$$\underline{\gamma} = \sqrt{\underline{Z}_0 \cdot \underline{Y}_0} = \sqrt{L_0 C_0 (K_0 + j\omega)}, \quad \frac{1}{\text{KM}}$$

*m.e.*       $\alpha = K_0 \cdot \sqrt{L_0 C_0}$

$$\beta = \omega \cdot \sqrt{L_0 C_0}$$

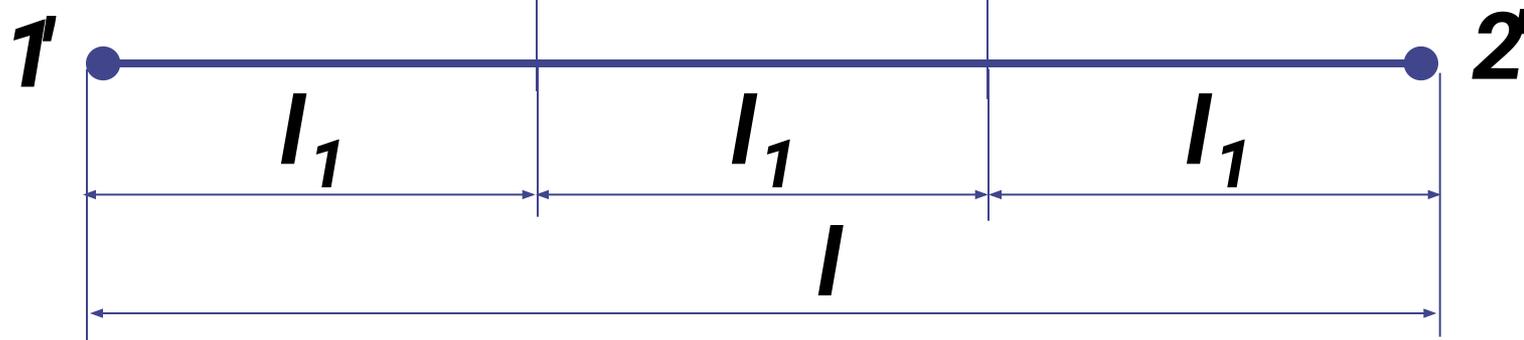
# Фазовая скорость

$$v = \frac{\omega}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}}, \quad \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

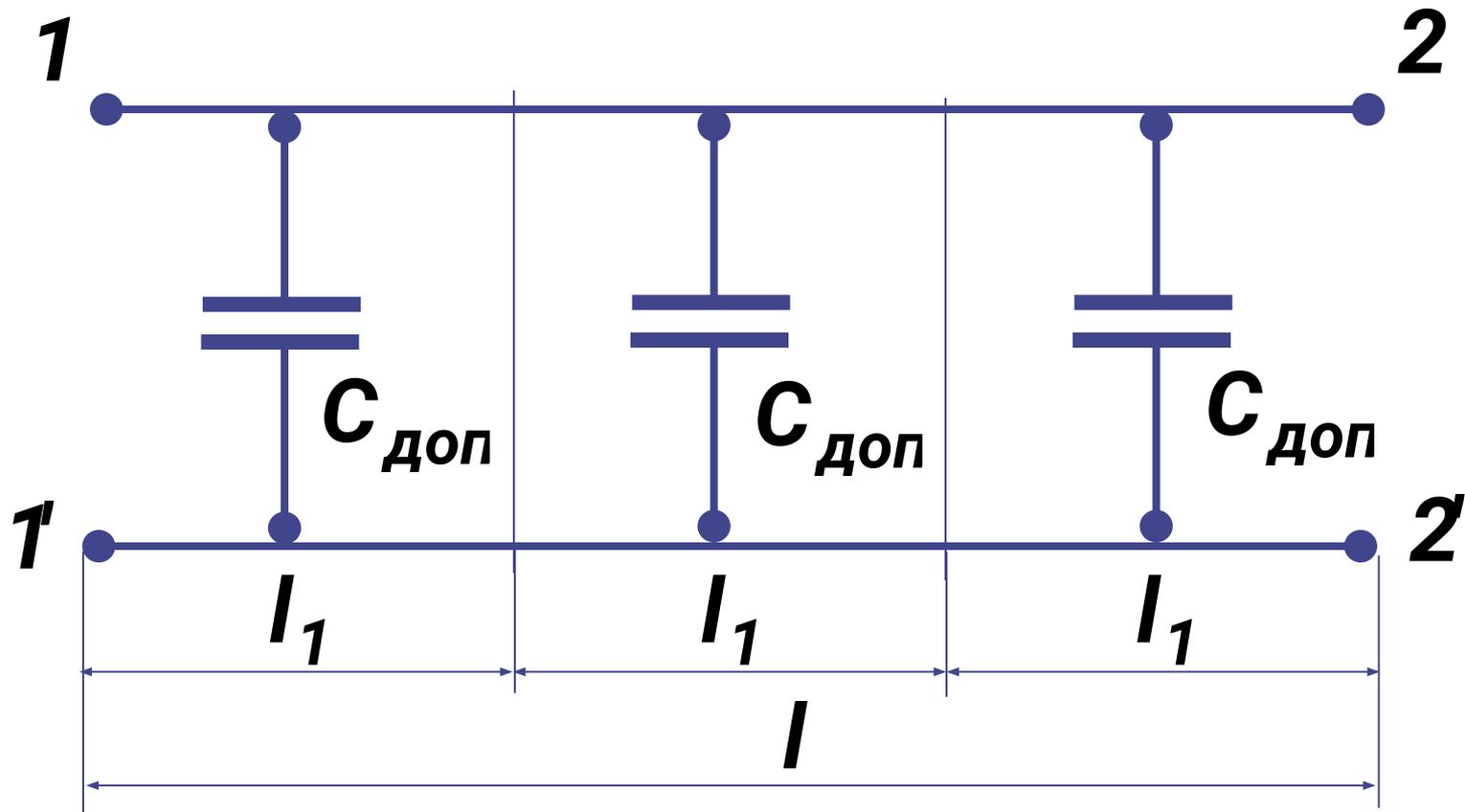
## *Волновое сопротивление*

$$\underline{Z}_B = \sqrt{\frac{\underline{Z}_0}{\underline{Y}_0}} = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} = \underline{Z}_B, \text{ Ом}$$

Если условие **1** не выполняется, то используют дополнительные катушки и конденсаторы



$$L_{\text{доп}} = \left( \frac{R_0}{K_0} - L_0 \right) \cdot I_1, \quad \text{Гн} \quad K_0 = \frac{G_0}{C_0}$$



$$C_{\text{доп}} = \left( \frac{G_0}{K_0} - C_0 \right) \cdot l_1, \quad \Phi \quad K_0 = \frac{R_0}{L_0}$$