

Длинные линии без потерь.

Уравнения передачи длинной линии без потерь

$$-\frac{d\dot{U}(x)}{dx} = j\omega L\dot{I}(x)$$

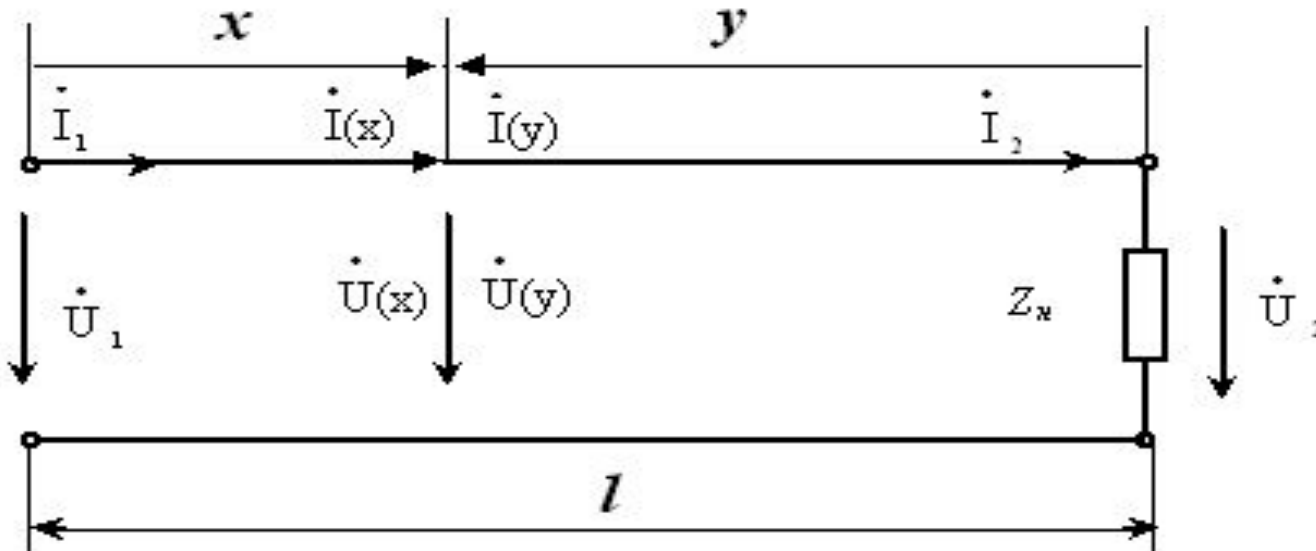
$$\alpha = 0$$

$$-\frac{d\dot{I}(x)}{dx} = j\omega C\dot{U}(x)$$

$$\beta = \omega\sqrt{LC}$$

$$Z_B = \rho$$

Длинная линия без потерь



Решение уравнений передачи длинной линии без потерь

$$\dot{U}(y) = \frac{\dot{U}_2 + \rho \cdot \dot{I}_2}{2} \cdot e^{j\beta y} + \frac{\dot{U}_2 - \rho \cdot \dot{I}_2}{2} \cdot e^{-j\beta y}$$

$$\dot{i}(y) = \frac{\dot{U}_2 + \rho \cdot \dot{I}_2}{2 \cdot \rho} \cdot e^{j\beta y} - \frac{\dot{U}_2 - \rho \cdot \dot{I}_2}{2 \cdot \rho} \cdot e^{-j\beta y}$$

Режим бегущей волны

Условие возникновения бегущей волны

$$Z_{\text{н}} = \rho$$

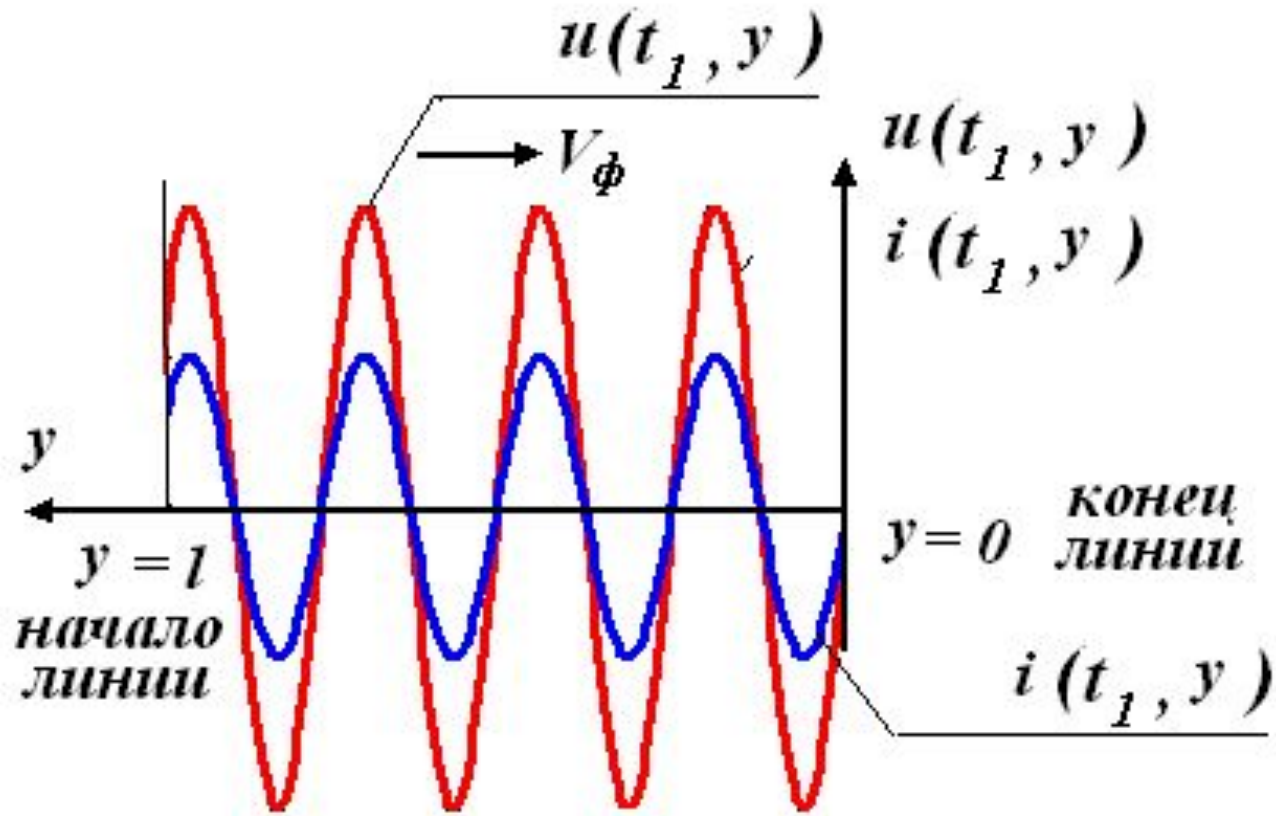
Решение уравнений ДЛ в режиме бегущей волны

$$U(y) = U_2 e^{j\beta y} \quad I(y) = I_2 e^{j\beta y}$$

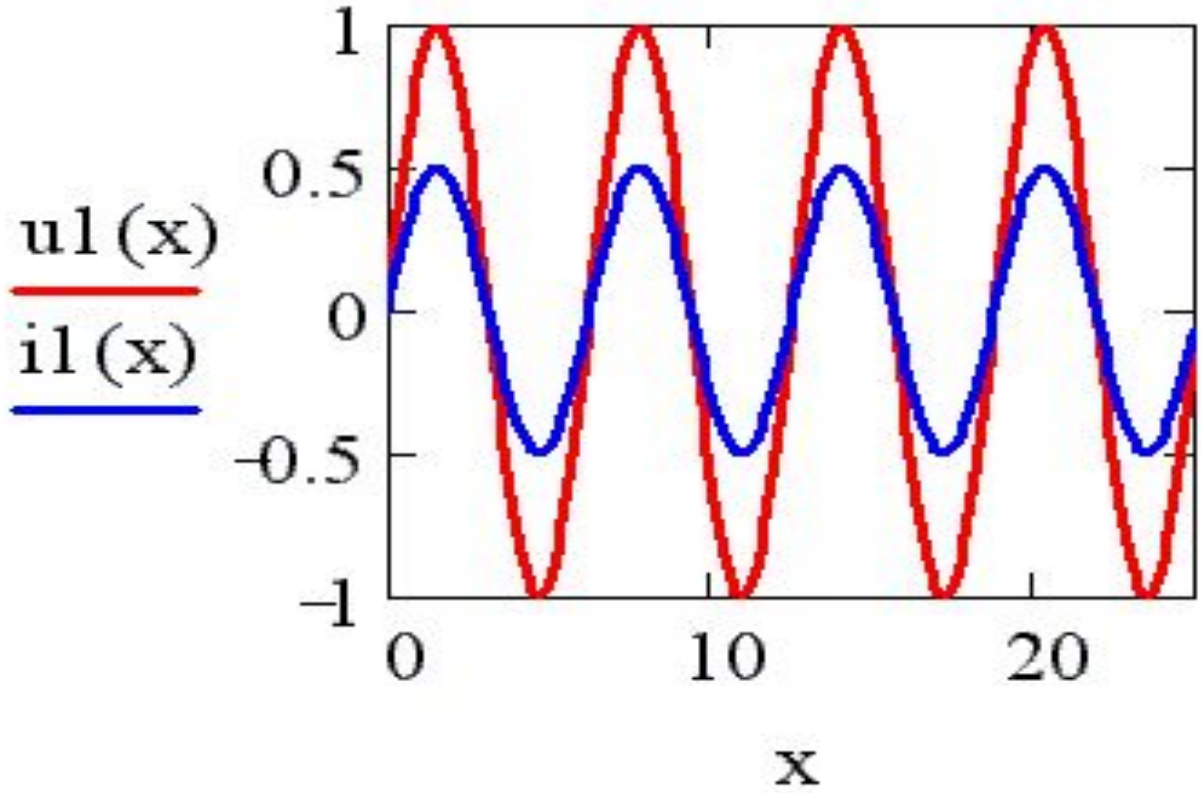
Мгновенные значения напряжения и тока в линии

$$u(y, t) = U_2 \sin(\omega t + \beta y) \quad i(y, t) = I_2 \sin(\omega t + \beta y)$$

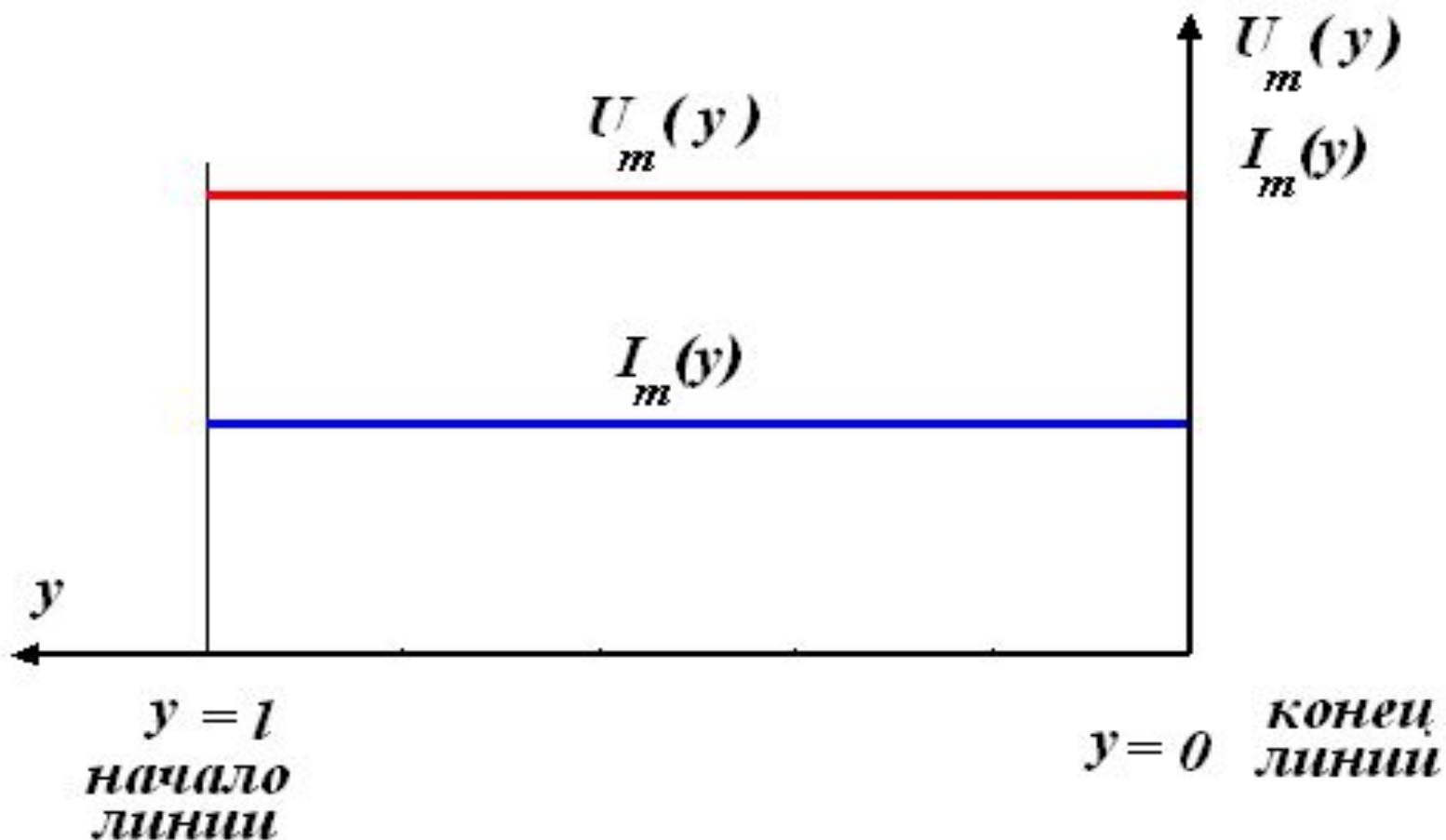
Распределение тока и напряжения вдоль линии для фиксированного момента времени в режиме бегущей волны



Перемещение бегущей волны в линии без потерь



Распределение амплитуд напряжения и тока вдоль линии в режиме бегущей волны



Режим стоячей волны

Режим короткого замыкания линии

Решение уравнений передачи для режима КЗ линии

$$U_{\text{мгн}}(y) = jI_2 \rho \sin(\beta y)$$

$$A_{\text{мгн}}(y) = I_2 \cos(\beta y)$$

Мгновенные значения напряжения и тока в линии

$$u(y, t) = I_2 \rho \sin(\beta y) \sin(\omega t + 90^\circ)$$

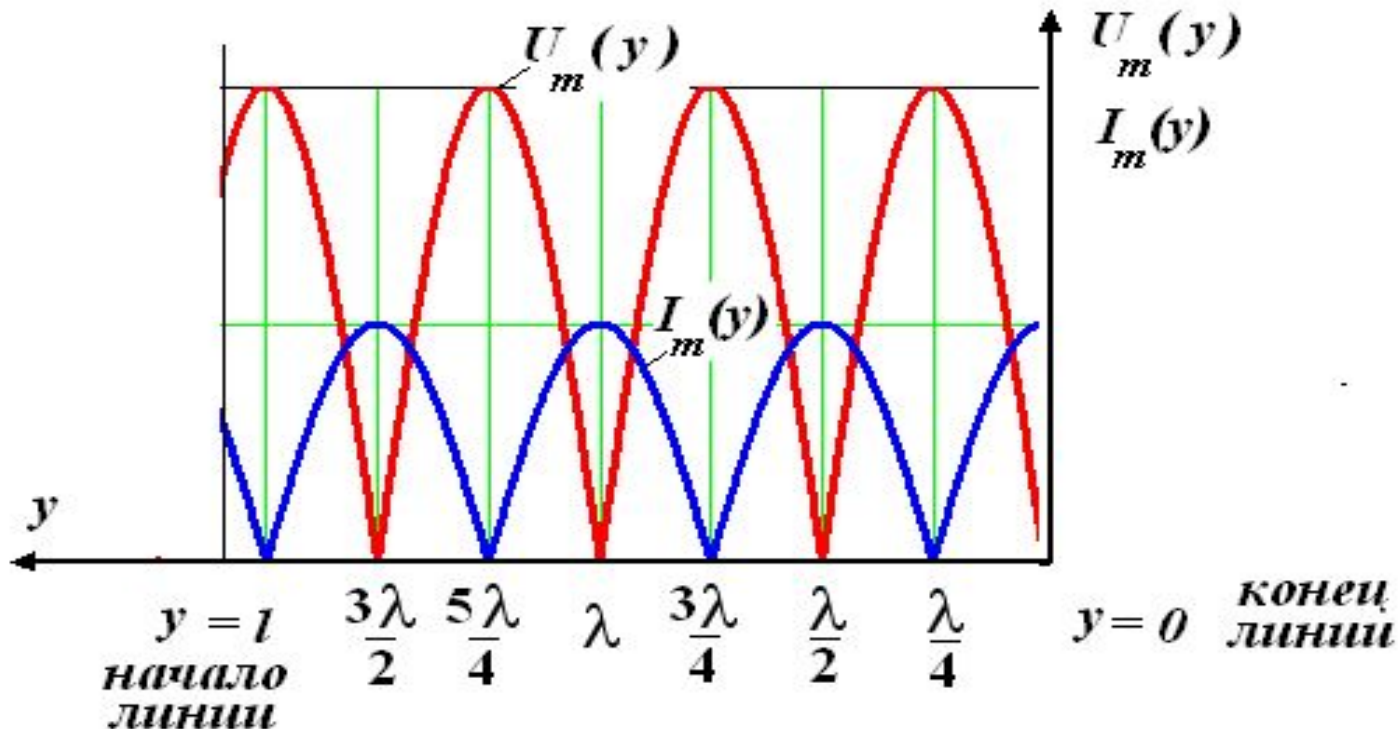
$$i(y, t) = I_2 \cos(\beta y) \sin(\omega t)$$

Распределение амплитуд тока и напряжения вдоль линии в режиме короткого замыкания

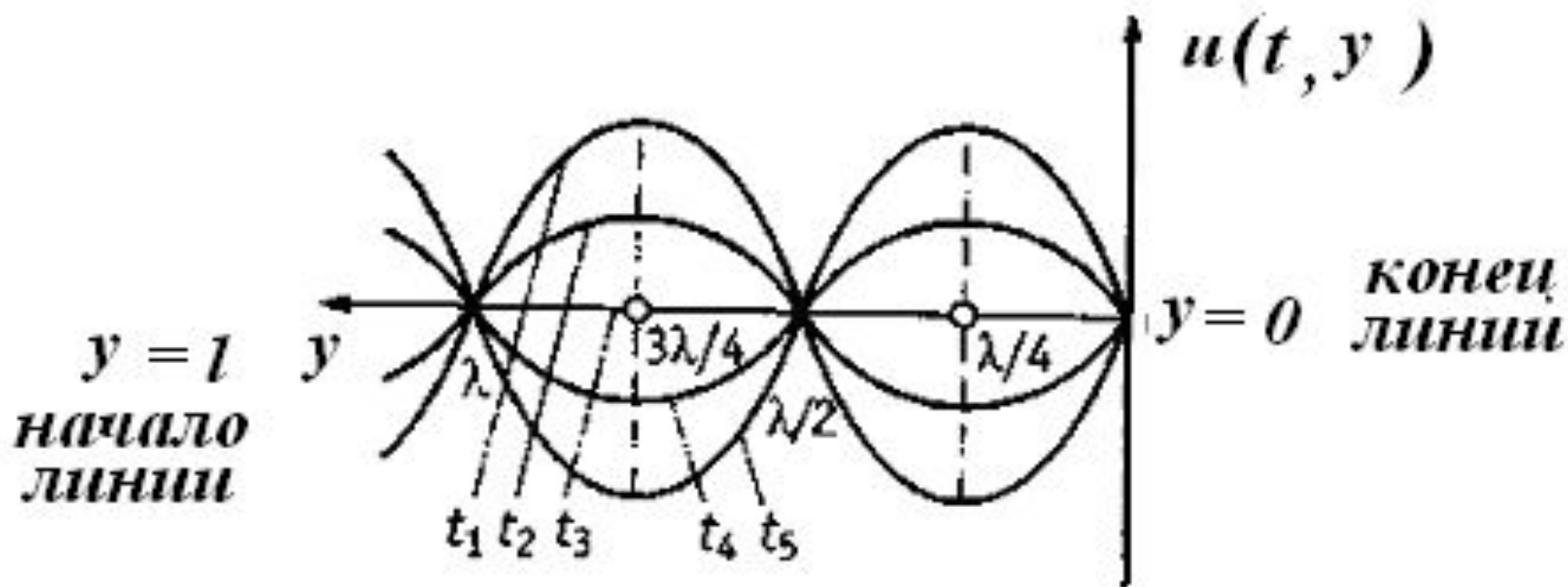
Амплитуды
напряжения
и тока

$$U_m(y) = I_2 \rho |\sin(\beta y)|$$

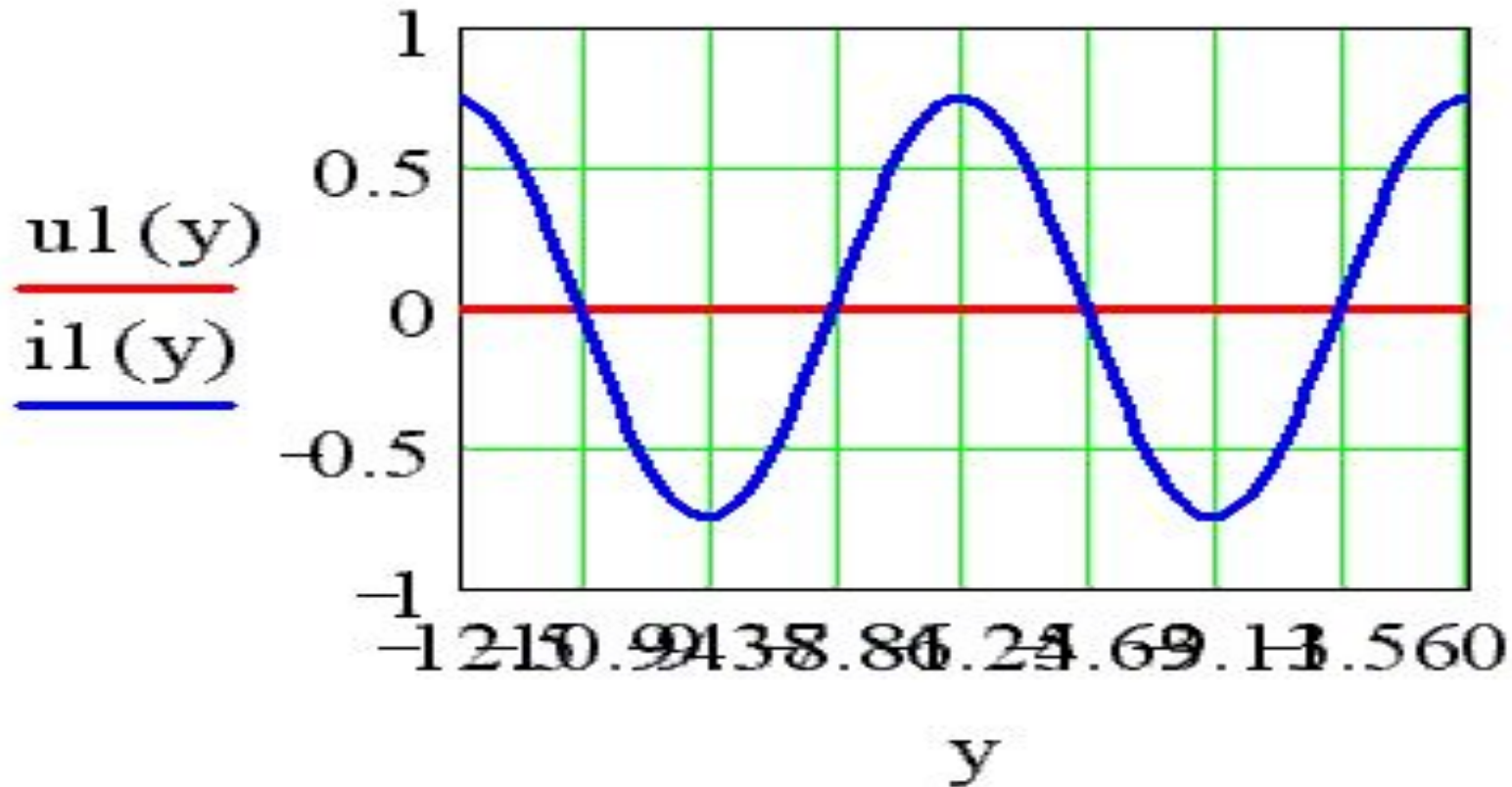
$$I_m(y) = I_2 |\cos(\beta y)|$$



Стоячая волна напряжения в режиме КЗ линии



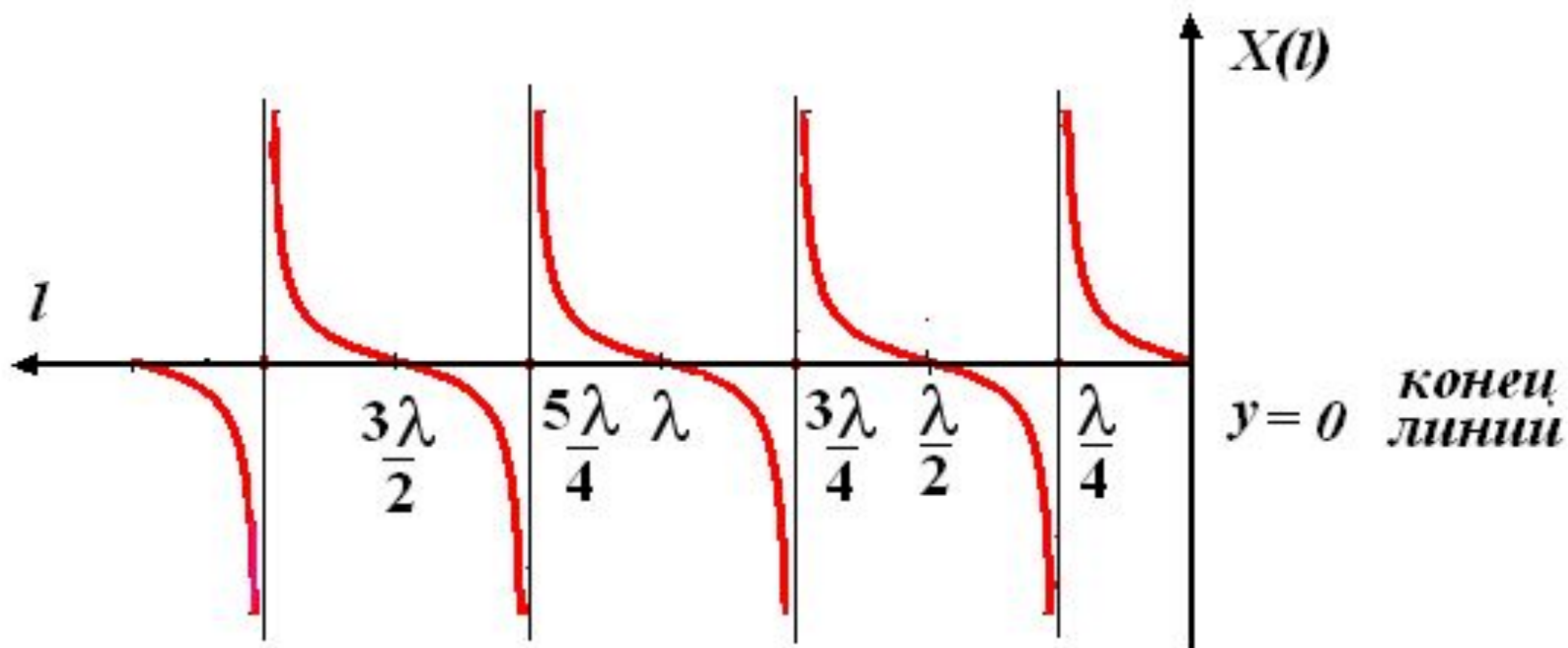
Пульсации стоячих волн в линии в режиме КЗ



ВХОДНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ЛИНИИ В РЕЖИМЕ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

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

График зависимости входного сопротивления линии в режиме КЗ от ее длины



Режим стоячей волны

Режим холостого хода линии

Решения уравнений передачи

$$U_{\text{ст}}(y) = U_2 \cos(\beta y)$$

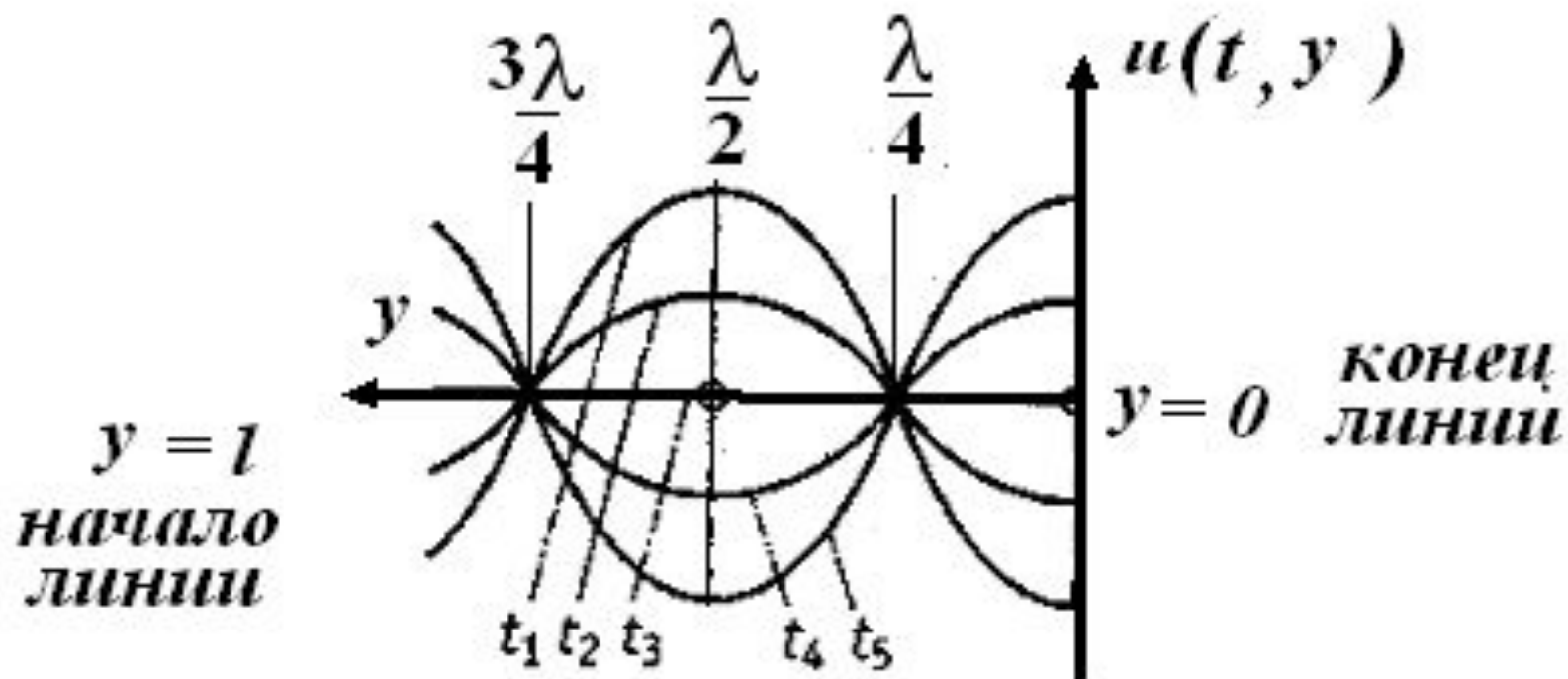
$$I_{\text{ст}}(y) = j \frac{U_2}{\rho} \sin(\beta y)$$

мгновенные значения напряжения и тока в линии

$$u(y, t) = U_2 \cos(\beta y) \sin(\omega t)$$

$$i(y, t) = \frac{U_2}{\rho} \sin(\beta y) \sin(\omega t + 90^\circ)$$

Стоячая волна напряжения в режиме ХХ линии

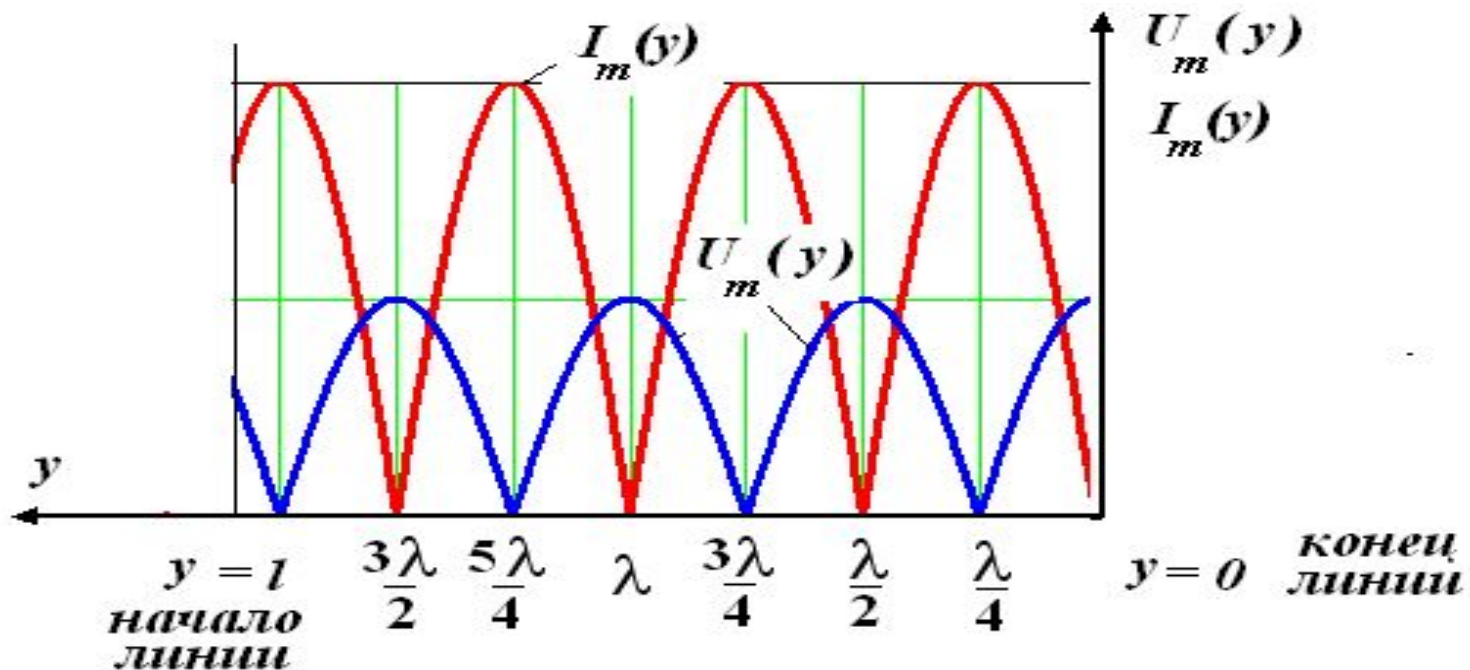


Распределение амплитуд тока и напряжения вдоль линии в режиме холостого хода

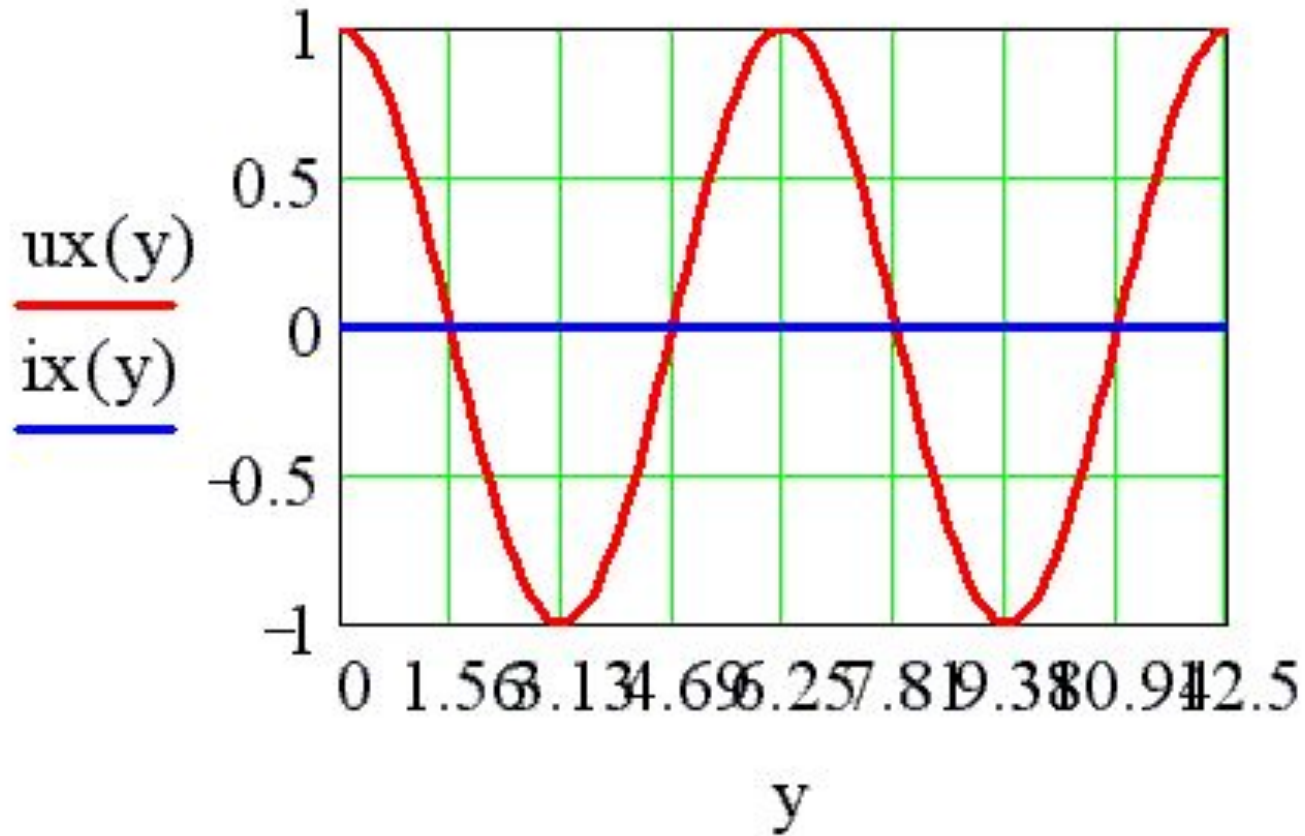
Амплитуды
напряжения
и тока

$$U_m(y) = U_2 |\cos(\beta y)|$$

$$I_m(y) = \frac{U_2}{\rho} |\sin(\beta y)|$$



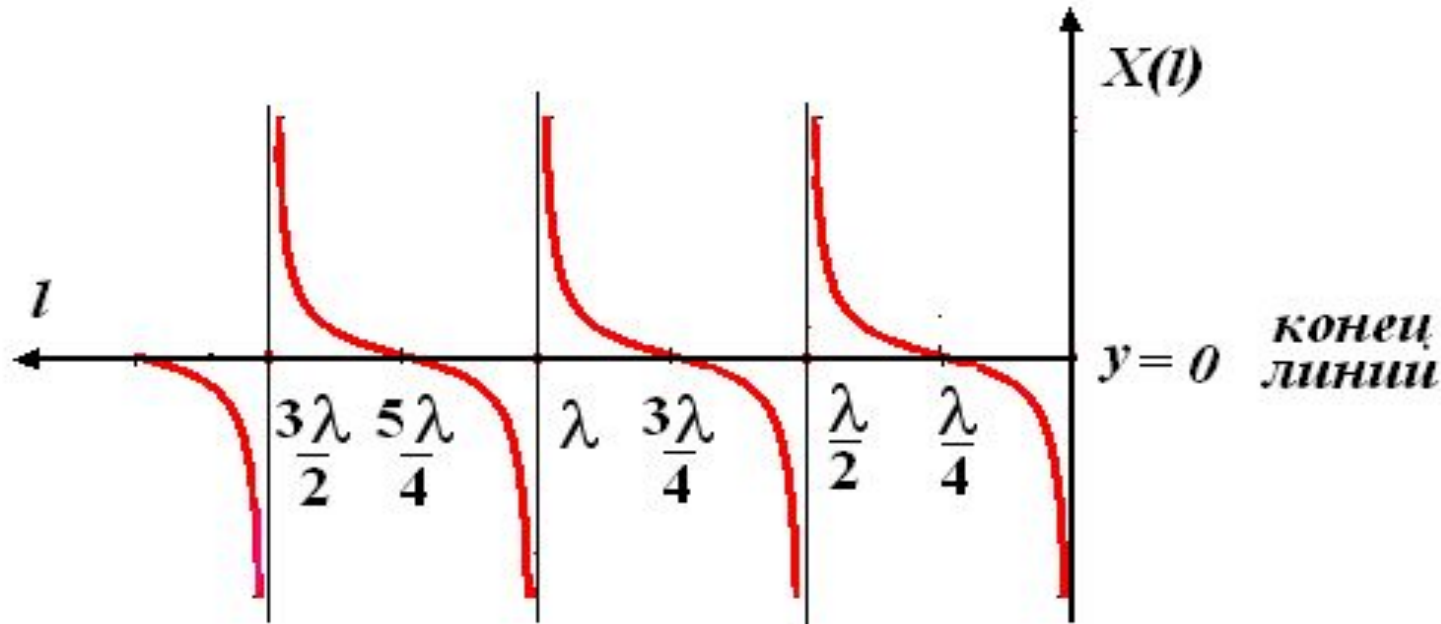
Пульсации стоячих волн в линии в режиме ХХ



ВХОДНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ЛИНИИ В РЕЖИМЕ ХОЛОСТОГО ХОДА

$$Z_{\text{ВХ}} = -j\rho c \operatorname{tg}(\beta l)$$

График зависимости входного сопротивления
линии в режиме ХХ от ее длины



Режим стоячей волны

Режим реактивной нагрузки

Решения уравнений передачи

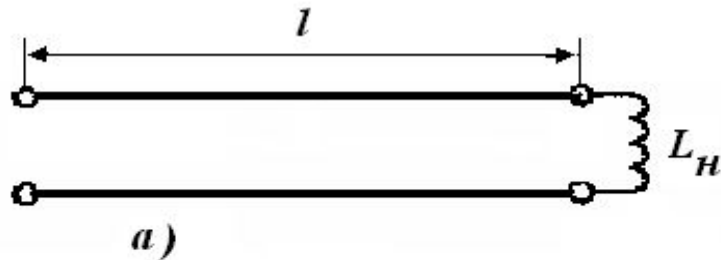
$$U(y) = \frac{1}{2} I_2 [(jX_H + \rho)e^{jy} + (jX_H - \rho)e^{-jy}] = I_2 \sqrt{\rho^2 + X_H^2} \cos(\beta y + \varphi)$$

$$I(y) = \frac{1}{2\rho} I_2 [(jX_H + \rho)e^{jy} - (jX_H - \rho)e^{-jy}] = j \frac{I_2}{\rho} \sqrt{\rho^2 + X_H^2} \sin(\beta y + \varphi)$$

$$\varphi = \operatorname{arctg}\left(\frac{X_H}{\rho}\right)$$

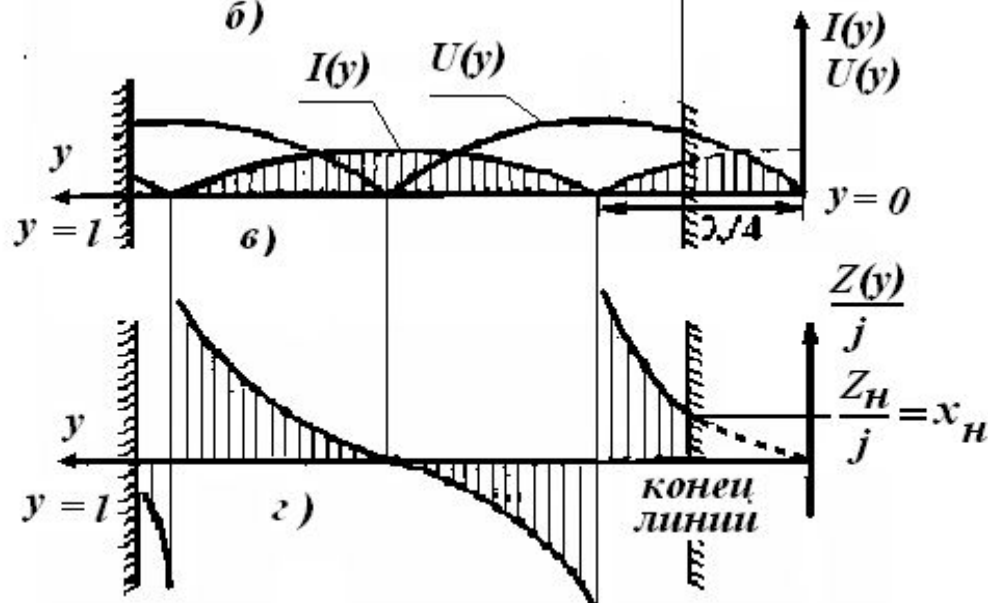
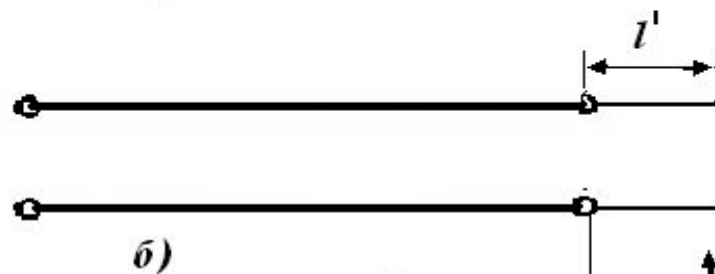
Режим стоячей волны

Режим реактивной нагрузки XL



$$l' = \frac{\varphi}{\beta}$$

индуктивность в конце линии создает эффект удлинения линии доводя режим работы ее до режима КЗ.



емкость в конце линии создает эффект укорачивания линии доводя режим работы ее до режима ХХ.

Режим смешанных волн

Режим смешанных волн наблюдается в линии, если
нагрузка

$$Z_{\text{H}} = \begin{cases} R + jX & \text{активно - индуктивная} \\ R - jX & \text{активно - емкостная} \\ R & \text{активная } R \neq \rho \end{cases}$$

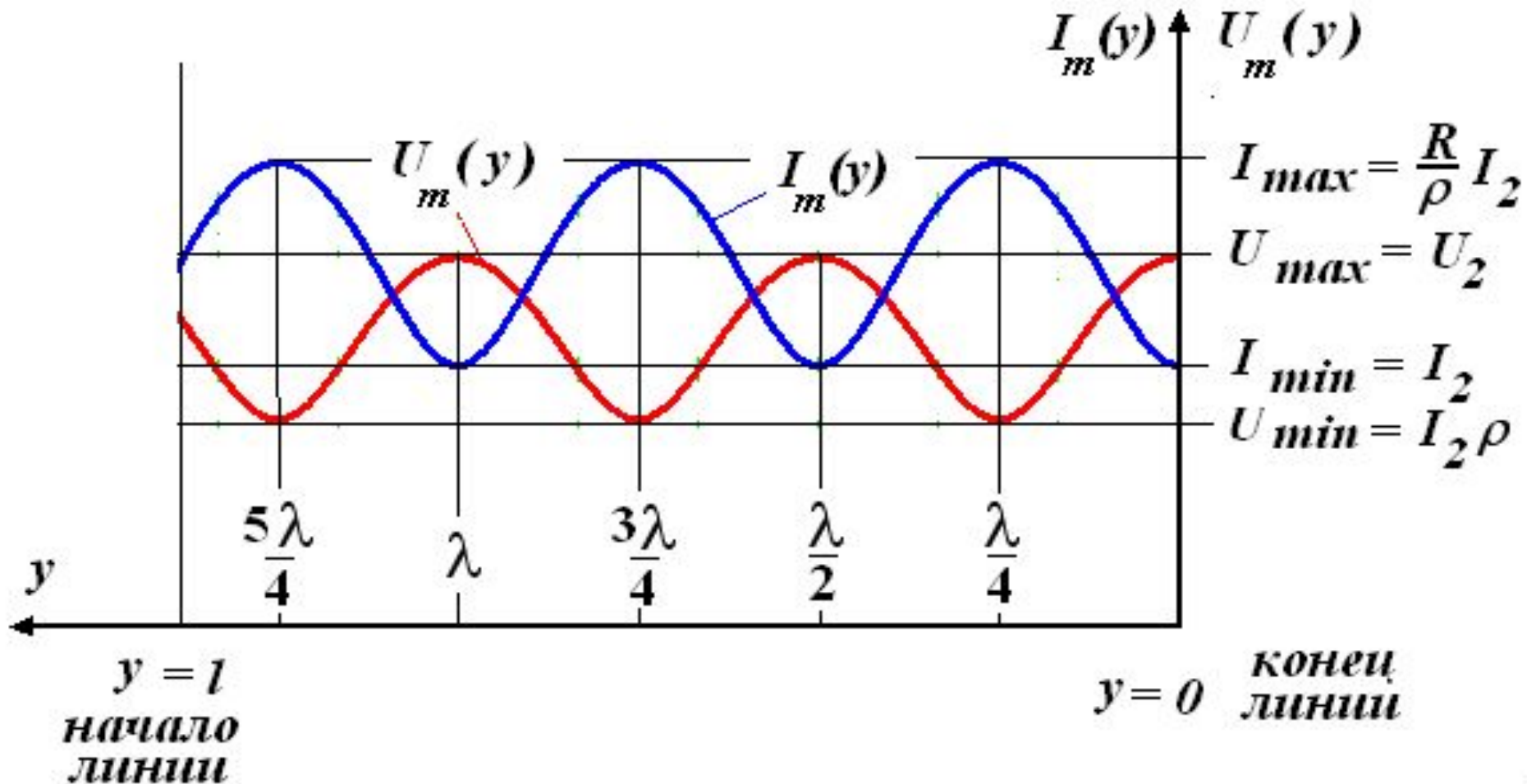
Решение уравнений передачи

$$U_{\text{H}}(y) = \frac{1}{2} I_2 [(R_{\text{H}} + \rho)e^{jy} + (R_{\text{H}} - \rho)e^{-jy}] = I_2 \sqrt{(\rho \sin(\beta y))^2 + (R_{\text{H}} \cos(\beta y))^2} e^{j\varphi}$$

$$I_{\text{H}}(y) = \frac{1}{2\rho} I_2 [(R_{\text{H}} + \rho)e^{jy} - (R_{\text{H}} - \rho)e^{-jy}] = \frac{I_2}{\rho} \sqrt{(\rho \cos(\beta y))^2 + (R_{\text{H}} \sin(\beta y))^2} e^{j(\frac{\pi}{2} - \varphi)}$$

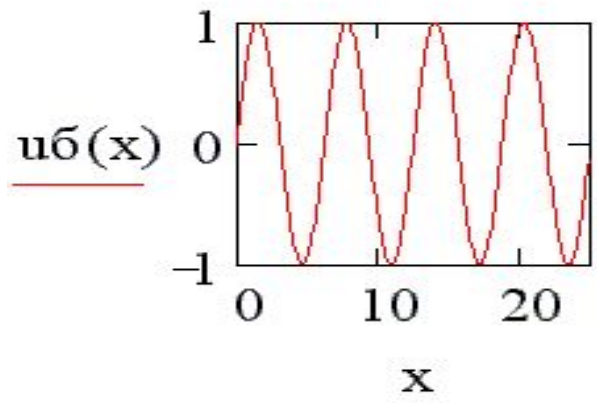
$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{\rho \sin(\beta y)}{R_{\text{H}} \cos(\beta y)}$$

Распределение по длине линии амплитуды напряжения и тока в режиме смешанных волн

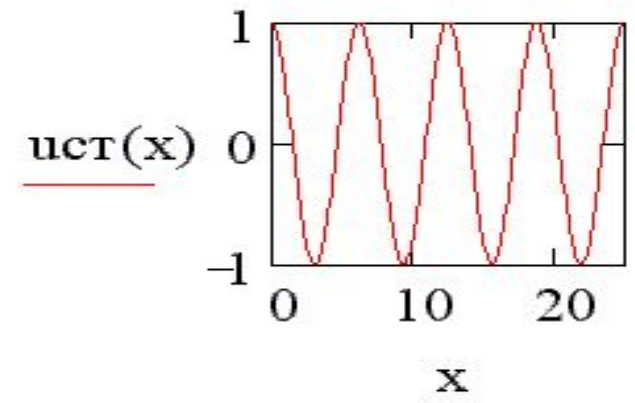


Перемещение смешанной волны и ее составляющих вдоль линии

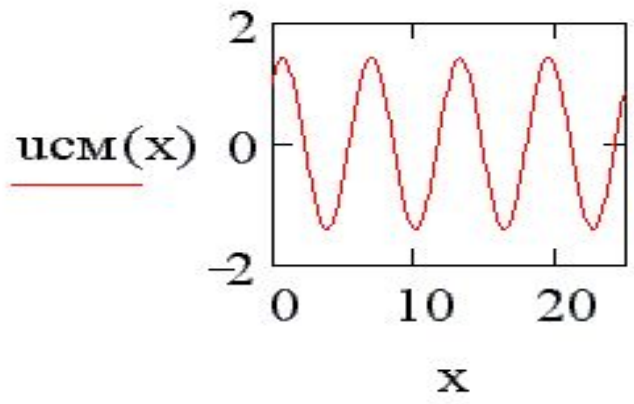
бегущая волна



стоячая волна



смешанная волна



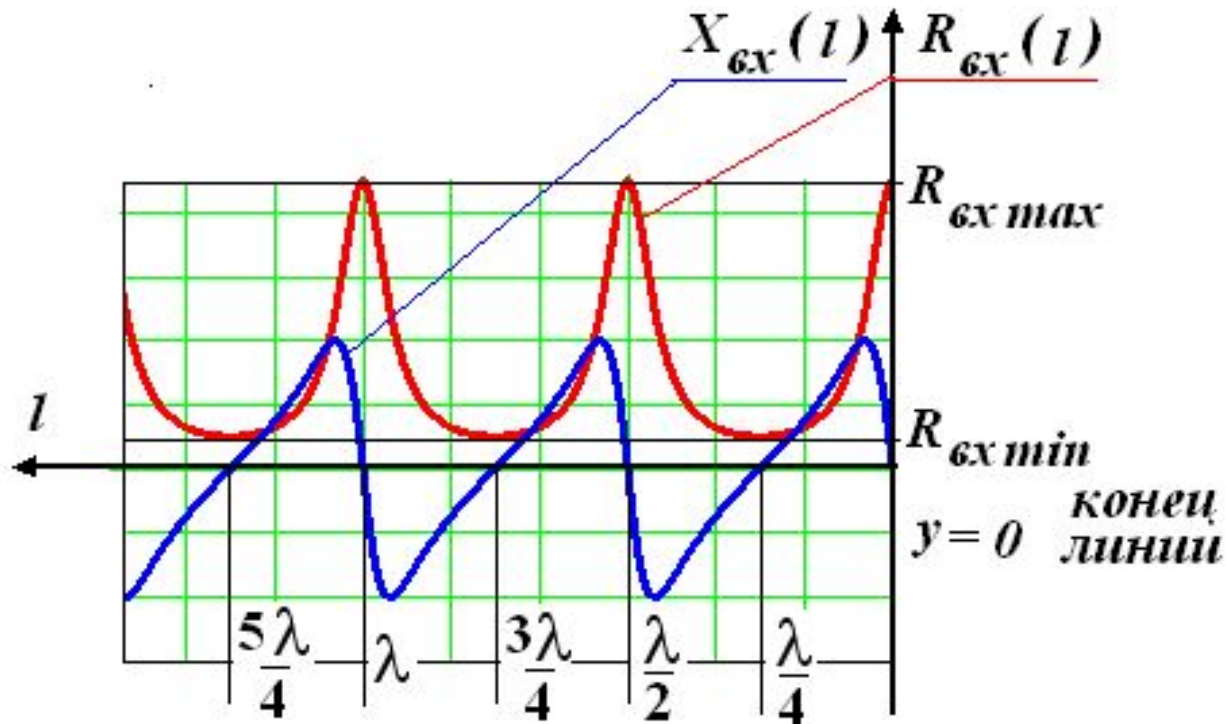
коэффициент бегущей волны

$$K_{\text{БВ}} = \frac{U_{\text{min}}}{U_{\text{max}}} = \frac{I_{\text{min}}}{I_{\text{max}}} = \frac{1 - |K_{\text{отр}}|}{1 + |K_{\text{отр}}|}$$

коэффициентом стоячей волны

$$K_{\text{СВ}} = \frac{1}{K_{\text{БВ}}}$$

Входное комплексное сопротивление линии



$$Z_{вх}(l) = \rho \frac{1 + K_{отр} e^{-j2\beta l}}{1 - K_{отр} e^{-j2\beta l}} \quad R_{вх max} = \frac{\rho}{K_{БВ}} \quad R_{вх min} = \rho K_{БВ}$$

$$R_{вх max} = R_H$$