

# LÝ THUYẾT MẠCH II

## ĐƯỜNG DÂY DÀI

# Lý thuyết mạch II

I. Quá trình quá độ

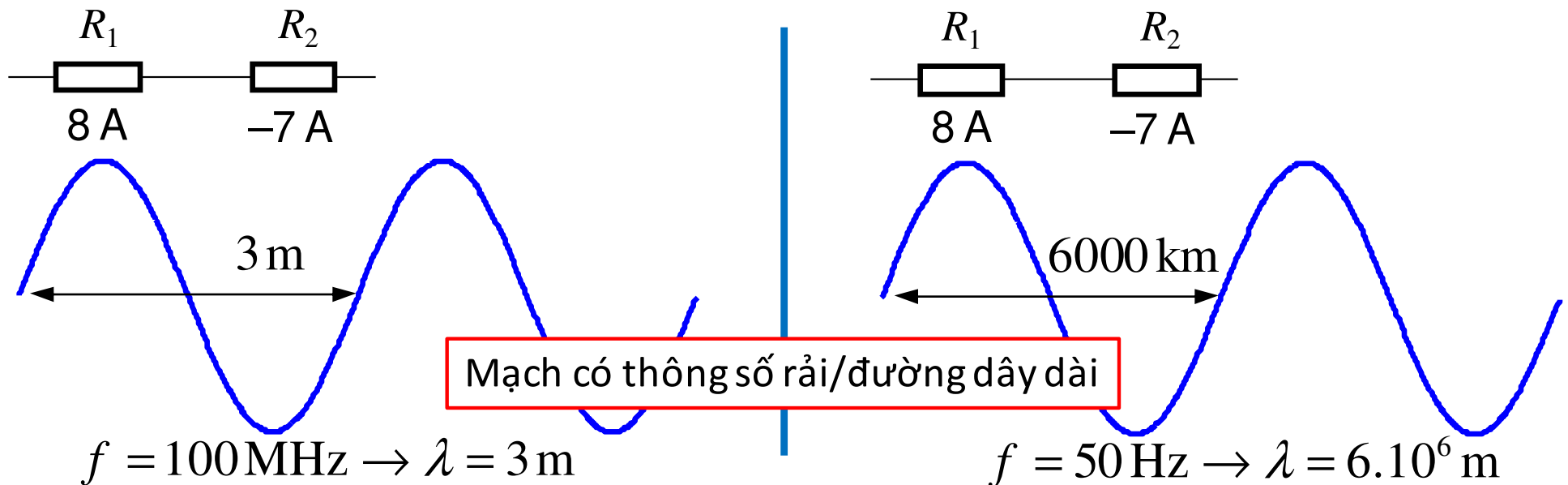
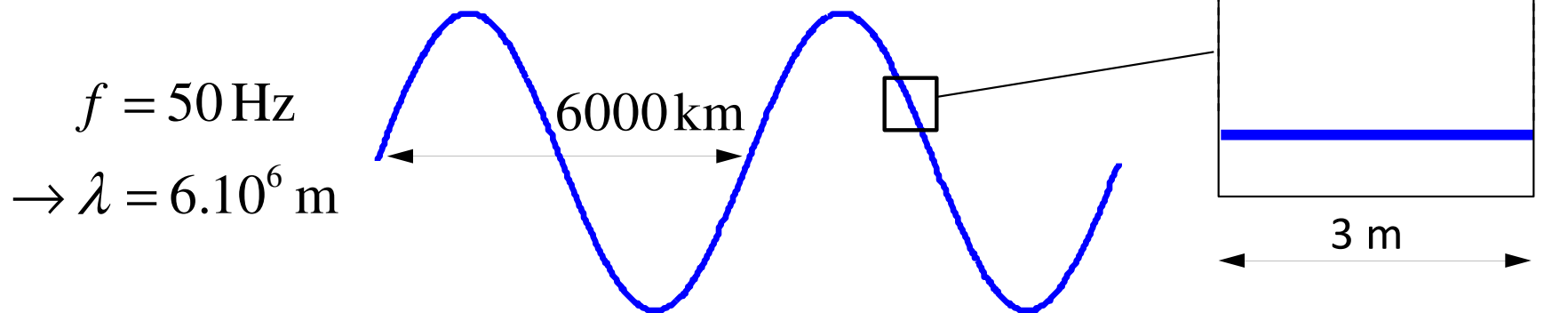
II. Mạch phi tuyến

**III. Đường dây dài**

- 1. Giới thiệu**
- 2. Chế độ xác lập điều hòa**
- 3. Chế độ quá độ**

# Giới thiệu (1)

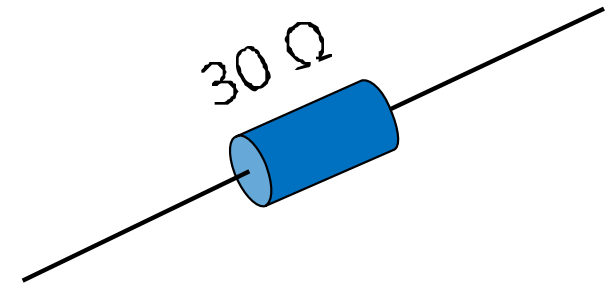
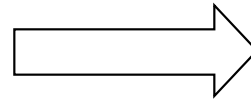
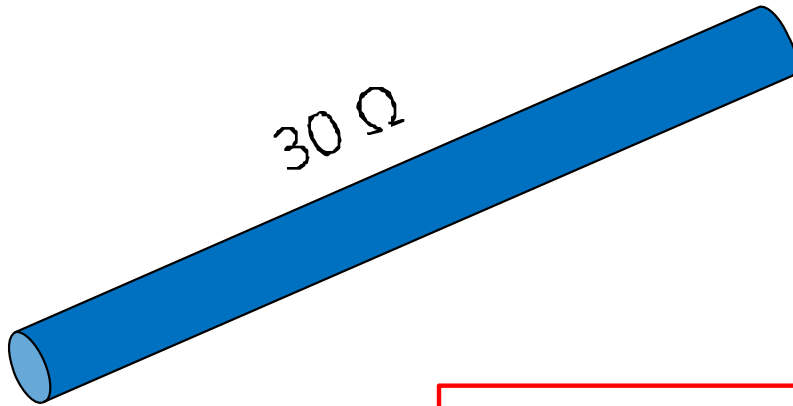
Mạch có thông số tập trung/đường dây ngắn



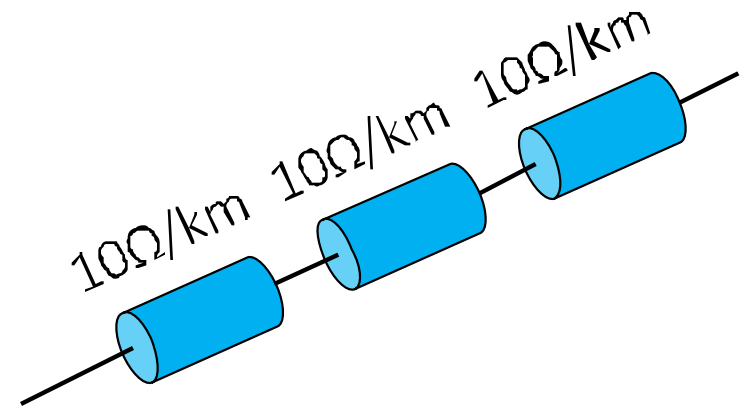
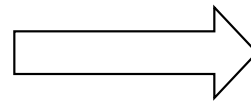
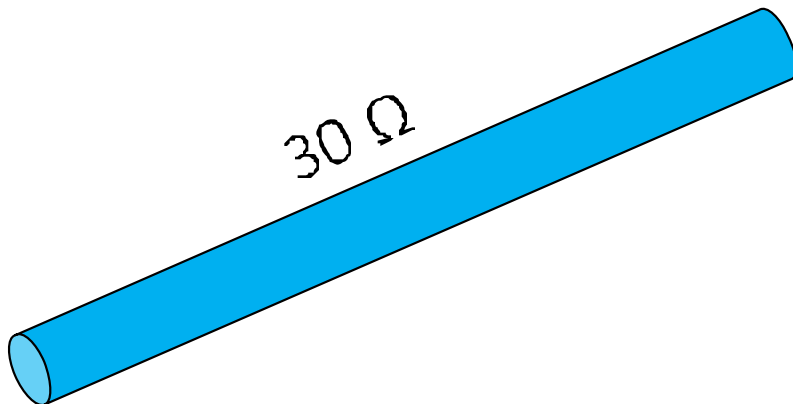
## Giới thiệu (2)

- *Đường dây dài*: mô hình áp dụng cho mạch điện có kích thước đủ lớn so với bước sóng lan truyền trong mạch.
- Mạch cao tần & mạch truyền tải điện.
- Tại các điểm khác nhau trên cùng một đoạn mạch tại cùng một thời điểm, giá trị của dòng (hoặc áp) nói chung là khác nhau.
- → ngoài dòng và áp, mô hình đường dây dài còn phải kể đến yếu tố không gian.

# Giới thiệu (3)

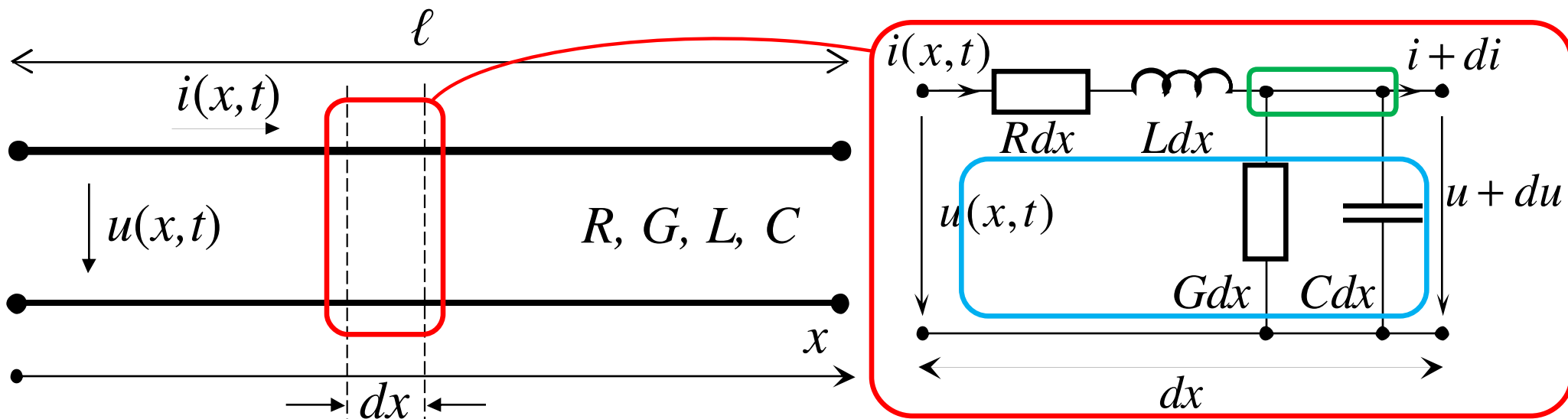


Mạch có thông số tập trung/đường dây ngắn



Mạch có thông số rải/đường dây dài

# Giới thiệu (4)



$$i - (i + di) - (Gdx)(u + du) - (Cdx)(u + du)' = 0$$

$$-u + (Rdx)i + (Ldx)i' + u + du = 0$$

$$\rightarrow \begin{cases} du + (Rdx)i + (Ldx)(di / dt) = 0 \\ di + (Gdx)u + (Cdx)(du / dt) = 0 \end{cases}$$

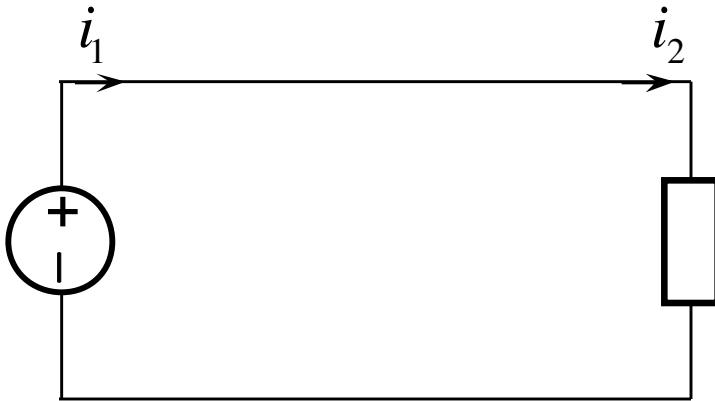
$$\rightarrow \begin{cases} -\frac{\partial u}{\partial x} = Ri + L \frac{\partial i}{\partial t} \\ -\frac{\partial i}{\partial x} = Gu + C \frac{\partial u}{\partial t} \end{cases}$$

# Giới thiệu (5)

$$\begin{cases} -\frac{\partial u}{\partial x} = Ri + L \frac{\partial i}{\partial t} \\ -\frac{\partial i}{\partial x} = Gu + C \frac{\partial u}{\partial t} \end{cases}$$

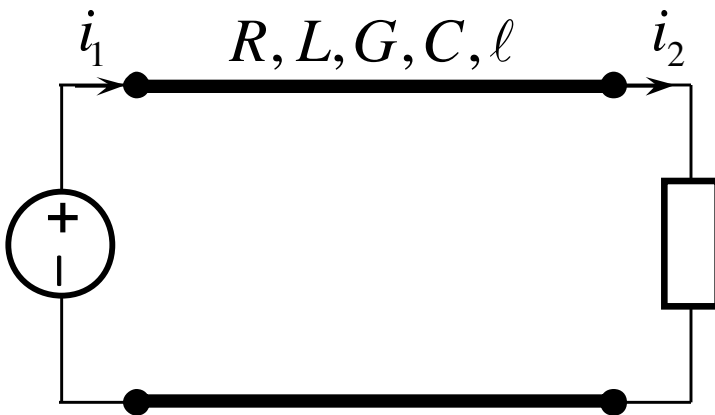
- Áp dụng khi kích thước mạch lớn hơn 10% bước sóng.
- Nghiệm phụ thuộc biên kiện  $x = x_1$ ,  $x = x_2$  & sơ kiện  $t = t_0$ .
- $R$  ( $\Omega/\text{km}$ ),  $L$  ( $\text{H}/\text{km}$ ),  $C$  ( $\text{F}/\text{km}$ ) &  $G$  ( $\text{S}/\text{km}$ ) phụ thuộc chất liệu của đường dây.
- Nếu  $R$  (hoặc  $H$ ,  $C$ ,  $G$ ) =  $f(i, x)$  thì đó là đường dây không đều.
- Trong thực tế các thông số này phụ thuộc nhiều yếu tố  $\rightarrow$  không xét đến.
- Chỉ giới hạn ở đường dây dài đều & tuyến tính.

# Giới thiệu (6)



Mạch có thông số tập trung (mạch thông thường):

- $thời\_gian\_lan\_truyền = 0$
- $i_1 = i_2$



Mạch có thông số rải (đường dây dài):

- $thời\_gian\_lan\_truyền > 0$
- $i_1 \neq i_2$



# Lý thuyết mạch II

I. Quá trình quá độ

II. Mạch phi tuyến

**III. Đường dây dài**

1. Giới thiệu

**2. Chế độ xác lập điều hòa**

a) Điện áp và dòng điện

b) Các thông số đặc trưng

c) Phản xạ sóng

d) Phân bố dạng hyperbole

e) Đường dây dài đều không tiêu tán

f) Mạng hai cửa tương đương

3. Chế độ quá độ

# Điện áp và dòng điện (1)

- *Chế độ xác lập điều hòa*: Nguồn điều hoà (xoay chiều), mạch ở trạng thái ổn định.
- Là chế độ làm việc bình thường & phổ biến.
- Dòng & áp có dạng hình sin, nhưng biên độ & pha phụ thuộc tọa độ:

$$\begin{cases} u(x, t) = \sqrt{2}U(x) \sin[\omega t + \varphi_u(x)] \\ i(x, t) = \sqrt{2}I(x) \sin[\omega t + \varphi_i(x)] \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \dot{U}(x) \\ \dot{I}(x) \end{cases}$$

# Điện áp và dòng điện (2)

$$\begin{cases} -\frac{\partial u}{\partial x} = Ri + L \frac{\partial i}{\partial t} \\ -\frac{\partial i}{\partial x} = Gu + C \frac{\partial u}{\partial t} \end{cases}$$

$$\begin{cases} i = I_m \sin(\omega t + \varphi_i) \\ u = U_m \sin(\omega t + \varphi_u) \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \frac{\partial i}{\partial t} \leftrightarrow j\omega \dot{I} \\ \frac{\partial u}{\partial t} \leftrightarrow j\omega \dot{U} \end{cases}$$

$$\rightarrow \begin{cases} -\frac{d\dot{U}}{dx} = R\dot{I} + j\omega L\dot{I} = (R + j\omega L)\dot{I} \\ -\frac{d\dot{I}}{dx} = G\dot{U} + j\omega C\dot{U} = (G + j\omega C)\dot{U} \end{cases}$$

# Điện áp và dòng điện (3)

$$\left\{ \begin{array}{l} -\frac{d\dot{U}}{dx} = (R + j\omega L)\dot{I} \\ -\frac{d\dot{I}}{dx} = (G + j\omega C)\dot{U} \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} -\frac{d\dot{U}}{dx} = Z\dot{I} \\ -\frac{d\dot{I}}{dx} = Y\dot{U} \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \frac{d^2\dot{U}}{dx^2} = ZY\dot{U} \\ \frac{d^2\dot{I}}{dx^2} = ZY\dot{I} \end{array} \right\}$$

$Z = R + j\omega L; Y = G + j\omega C$

Đặt  $\boxed{\gamma = \sqrt{ZY}}$  (hệ số truyền sóng)

$$\rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \dot{U}(x) = \dot{A}_1 e^{-\gamma x} + \dot{A}_2 e^{\gamma x} \\ \dot{I}(x) = \dot{B}_1 e^{-\gamma x} + \dot{B}_2 e^{\gamma x} \end{array} \right.$$

# Điện áp và dòng điện (4)

$$\left\{ \begin{array}{l} -\frac{d\dot{U}}{dx} = Z\dot{I} \\ -\frac{d\dot{I}}{dx} = Y\dot{U} \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \dot{U}(x) = \dot{A}_1 e^{-\gamma x} + \dot{A}_2 e^{\gamma x} \\ \dot{I}(x) = \dot{B}_1 e^{-\gamma x} + \dot{B}_2 e^{\gamma x} \end{array} \right.$$

Đặt  $\boxed{Z_c = \frac{Z}{\gamma}}$  (tổng trở sóng)

$$\rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \dot{U} = \dot{A}_1 e^{-\gamma x} + \dot{A}_2 e^{\gamma x} \\ \dot{I} = \frac{\dot{A}_1}{Z_c} e^{-\gamma x} - \frac{\dot{A}_2}{Z_c} e^{\gamma x} \end{array} \right.$$

# Điện áp và dòng điện (5)

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{U} = \dot{A}_1 e^{-\gamma x} + \dot{A}_2 e^{\gamma x} \\ \dot{I} = \frac{\dot{A}_1}{Z_c} e^{-\gamma x} - \frac{\dot{A}_2}{Z_c} e^{\gamma x} \end{array} \right\}$$

$$\dot{A}_1 = A_1 e^{j\phi_1}; \quad \dot{A}_2 = A_2 e^{j\phi_2}; \quad Z_c = z_c e^{j\theta}; \quad \gamma = \alpha + j\beta$$

$$\rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \dot{U} = A_1 e^{-\alpha x} e^{-j\beta x + j\phi_1} + A_2 e^{\alpha x} e^{j\beta x + j\phi_2} \\ \dot{I} = \frac{A_1}{z_c} e^{-\alpha x} e^{-j\beta x + j\phi_1 - j\theta} - \frac{A_2}{z_c} e^{\alpha x} e^{j\beta x + j\phi_2 - j\theta} \end{array} \right.$$

$$\rightarrow \left\{ \begin{array}{l} u(x, t) = \sqrt{2} A_1 e^{-\alpha x} \sin(\omega t + \phi_1 - \beta x) + \sqrt{2} A_2 e^{\alpha x} \sin(\omega t + \phi_2 + \beta x) \\ i(x, t) = \sqrt{2} \frac{A_1}{z_c} e^{-\alpha x} \sin(\omega t + \phi_1 - \theta - \beta x) - \sqrt{2} \frac{A_2}{z_c} e^{\alpha x} \sin(\omega t + \phi_2 - \theta + \beta x) \end{array} \right.$$

# Điện áp và dòng điện (6)

$$\begin{cases} u(x, t) = \sqrt{2} A_1 e^{-\alpha x} \sin(\omega t + \phi_1 - \beta x) + \sqrt{2} A_2 e^{\alpha x} \sin(\omega t + \phi_2 + \beta x) \\ i(x, t) = \sqrt{2} \frac{A_1}{Z_c} e^{-\alpha x} \sin(\omega t + \phi_1 - \theta - \beta x) - \sqrt{2} \frac{A_2}{Z_c} e^{\alpha x} \sin(\omega t + \phi_2 - \theta + \beta x) \end{cases}$$

$$\begin{cases} u(x, t) = u^+(x, t) + u^-(x, t) \\ i(x, t) = i^+(x, t) - i^-(x, t) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{U}(x) = \dot{U}^+(x) + \dot{U}^-(x) = \dot{A}_1 e^{-\gamma x} + \dot{A}_2 e^{\gamma x} \\ \dot{I}(x) = \dot{I}^+(x) - \dot{I}^-(x) = \frac{\dot{U}^+(x)}{Z_c} - \frac{\dot{U}^-(x)}{Z_c} \end{cases}$$

$y^+$ : sóng thuận  
 $y^-$ : sóng ngược

# Lý thuyết mạch II

I. Quá trình quá độ

II. Mạch phi tuyến

**III. Đường dây dài**

1. Giới thiệu

**2. Chế độ xác lập điều hòa**

a) Điện áp và dòng điện

**b) Các thông số đặc trưng**

c) Phản xạ sóng

d) Phân bố dạng hyperbole

e) Đường dây dài đều không tiêu tán

f) Mạng hai cửa tương đương

3. Chế độ quá độ



# Các thông số đặc trưng (1)

$$u^+(x, t) = \sqrt{2}A_1 e^{-\alpha x} \sin(\omega t + \phi_1 - \beta x)$$

$$\gamma(\omega) = \sqrt{ZY} = \alpha(\omega) + j\beta(\omega) \quad (1/\text{m})$$

$$\alpha(\omega) = \text{Re}\{\gamma\} : \text{hệ số suy giảm (Np/m)}$$

$$\beta(\omega) = \text{Im}\{\gamma\} : \text{hệ số pha (rad/m)}$$

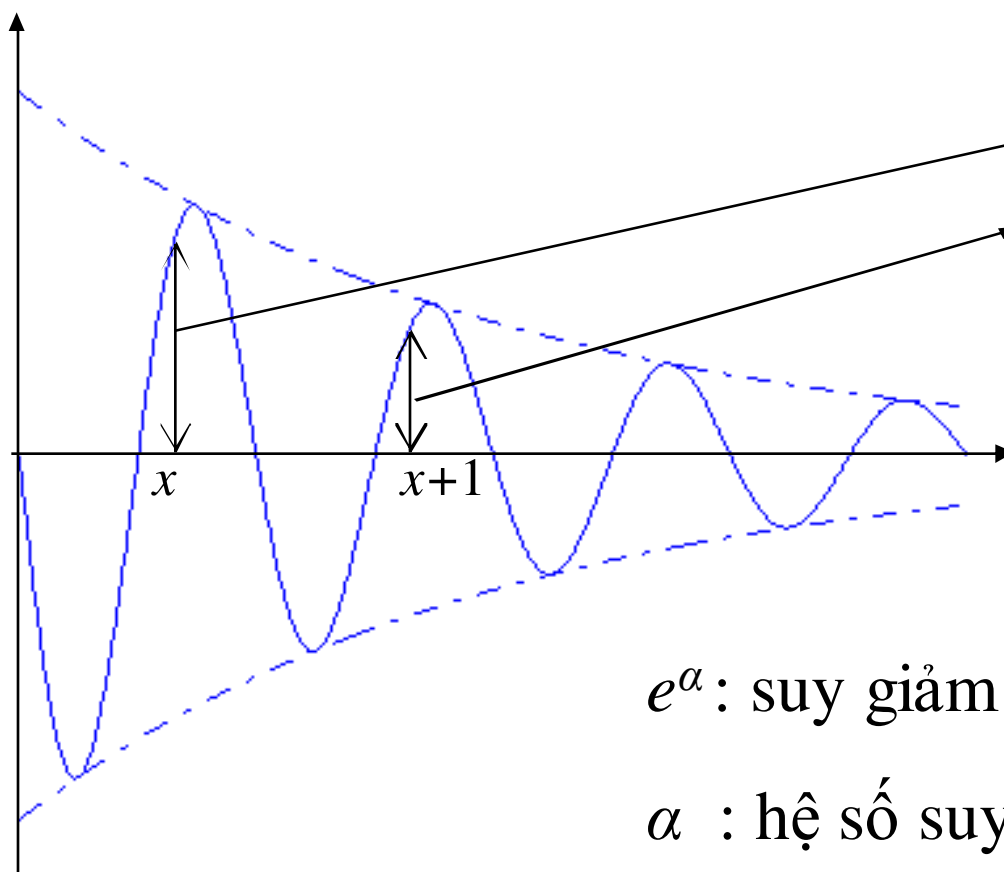
$$v(\omega) = \frac{\omega}{\beta} : \text{vận tốc truyền sóng (m/s)}$$

$$Z_c(\omega) = \frac{Z}{\gamma} = \frac{Z}{\sqrt{ZY}} = \sqrt{\frac{Z}{Y}} : \text{tổng trở sóng } (\Omega)$$

# Các thông số đặc trưng (2)

$$u^+(x, t) = \sqrt{2}A_1 e^{-\alpha x} \sin(\omega t + \varphi_1 - \beta x)$$

$$\gamma(\omega) = \alpha(\omega) + j\beta(\omega)$$



$$\frac{U^+(x)}{U^+(x+1)} = \frac{\sqrt{2}A_1 e^{-\alpha x}}{\sqrt{2}A_1 e^{-\alpha(x+1)}} = e^{\alpha}$$

$e^{\alpha}$ : suy giảm biên độ trên một đơn vị dài

$\alpha$  : hệ số suy giảm/hệ số tắt

# Các thông số đặc trưng (3)

$$u^+(x, t) = \sqrt{2}A_1 e^{-\alpha x} \sin(\omega t + \varphi_1 - \beta x)$$

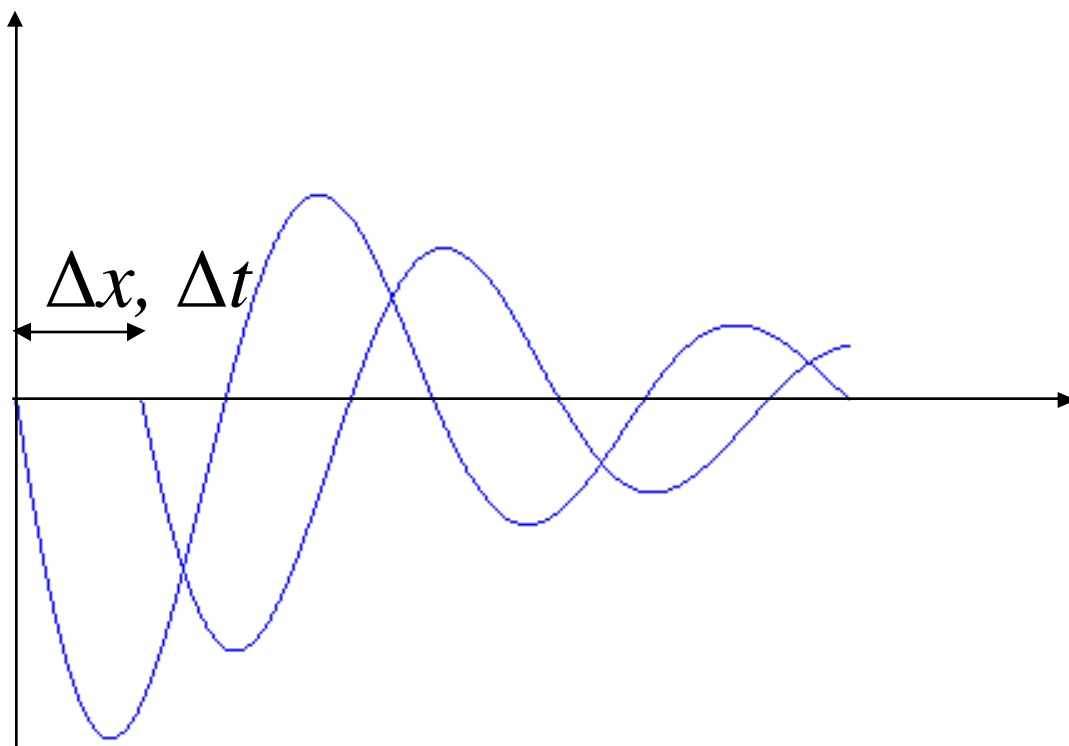
$$\gamma(\omega) = \alpha(\omega) + j\beta(\omega)$$

- Tại  $x$  : góc pha là  $\omega t + \varphi_1 - \beta x$
- Tại  $x+1$  : góc pha là  $\omega t + \varphi_1 - \beta(x + 1) = \omega t + \varphi_1 - \beta x - \beta$
- $\Phi(x) - \Phi(x+1) = \beta$
- $\beta$  : hệ số pha/biến thiên pha trên một đơn vị dài

# Các thông số đặc trưng (4)

$$u^+(x, t) = \sqrt{2}A_1 e^{-\alpha x} \sin(\omega t + \varphi_1 - \beta x)$$

$$\gamma(\omega) = \alpha(\omega) + j\beta(\omega)$$



$$\sin(\omega \Delta t - \beta \Delta x) = 0$$

$$\Downarrow$$

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\omega}{\beta} = v$$

$v$  : vận tốc truyền sóng

# Các thông số đặc trưng (5)

Nếu  $\boxed{\frac{R}{L} = \frac{G}{C}}$  :  
(Pupin hoá)

$$\left\{ \begin{array}{l} \gamma = \sqrt{RG} + j\omega\sqrt{RG} \frac{L}{R} \\ \alpha = \sqrt{RG} \\ \beta = \omega\sqrt{RG} \frac{L}{R} \\ v = \frac{\omega}{\beta} = \frac{\omega}{\omega\sqrt{RG} \frac{L}{R}} = \boxed{\frac{1}{\sqrt{LC}}} \\ Z_c = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = \sqrt{\frac{R(1 + j\omega \frac{L}{R})}{G(1 + j\omega \frac{C}{G})}} = \sqrt{\frac{R}{G}} \end{array} \right.$$

# Các thông số đặc trưng (6)

VD

Xét đường dây truyền tải điện dài đều có  $R = 10 \Omega/\text{km}$ ;  $L = 5 \text{ mH}/\text{km}$ ;  $C = 4 \cdot 10^{-9} \text{ F}/\text{km}$ ;  $G = 10^{-6} \text{ S}/\text{km}$ ;  $f = 50 \text{ Hz}$ . Tính tổng trở, tổng dẫn, hệ số truyền sóng, hệ số suy giảm, hệ số pha, tổng trở sóng, vận tốc truyền sóng?

$$\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ rad/s}$$

$$Z = R + j\omega L = 10 + j314(5 \cdot 10^{-3}) = 10 + j1,57 \Omega/\text{km}$$

$$Y = G + j\omega C = 10^{-6} + j314(4 \cdot 10^{-9}) = (1 + j1,26)10^{-6} \text{ S}/\text{km}$$

$$\gamma = \sqrt{ZY} = \sqrt{(10 + j1,57)(1 + j1,26)10^{-6}} = 0,0035 + j0,0020 \text{ 1/km}$$

$$\alpha = \text{Re}\{\gamma\} = \text{Re}\{0,0035 + j0,0020\} = 0,0035 \text{ Np/km}$$

$$\beta = \text{Im}\{\gamma\} = \text{Im}\{0,0035 + j0,0020\} = 0,0020 \text{ rad/km}$$

$$Z_c = \sqrt{Z/Y} = \sqrt{(10 + j1,57)/[(1 + j1,26)10^{-6}]} = 2339,4 - j911,2 \Omega$$

$$v = \omega / \beta = 314 / 0,0020 = 154860 \text{ km/s}$$

# Lý thuyết mạch II

I. Quá trình quá độ

II. Mạch phi tuyến

**III. Đường dây dài**

1. Giới thiệu

**2. Chế độ xác lập điều hòa**

a) Điện áp và dòng điện

b) Các thông số đặc trưng

**c) Phản xạ sóng**

d) Phân bố dạng hyperbole

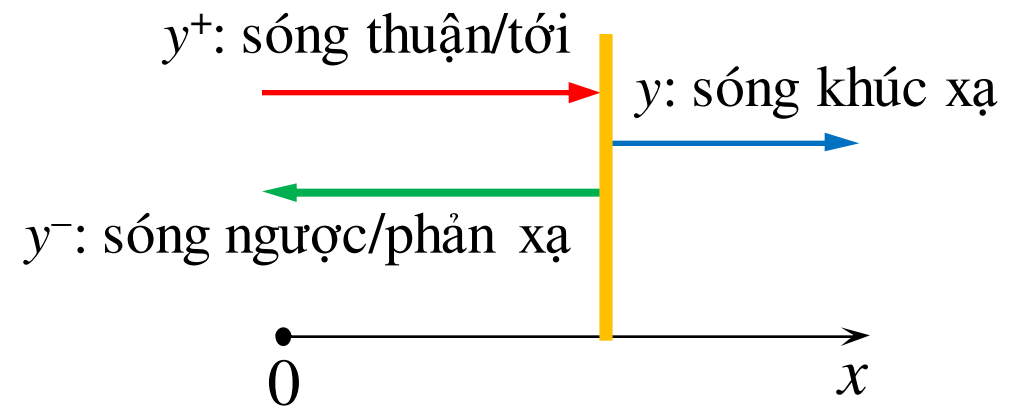
e) Đường dây dài đều không tiêu tán

f) Mạng hai cửa tương đương

3. Chế độ quá độ

# Phản xạ sóng (1)

$$\begin{cases} u(x, t) = u^+(x, t) + u^-(x, t) \\ i(x, t) = i^+(x, t) - i^-(x, t) \end{cases}$$



Hệ số phản xạ 
$$n(x) = \frac{\dot{U}^-(x)}{\dot{U}^+(x)} = \frac{\dot{I}^-(x)}{\dot{I}^+(x)}$$



# Phản xạ sóng (2)

$$n(x) = \frac{\dot{U}^-(x)}{\dot{U}^+(x)} = \frac{\dot{I}^-(x)}{\dot{I}^+(x)}$$

$$\begin{cases} \dot{U}(x) = \dot{U}^+(x) + \dot{U}^-(x) \\ \dot{I}(x) = \dot{U}^+(x) / Z_c - \dot{U}^-(x) / Z_c \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \dot{U}^+(x) = [\dot{U}(x) + Z_c \dot{I}(x)] / 2 \\ \dot{U}^-(x) = [\dot{U}(x) - Z_c \dot{I}(x)] / 2 \end{cases}$$

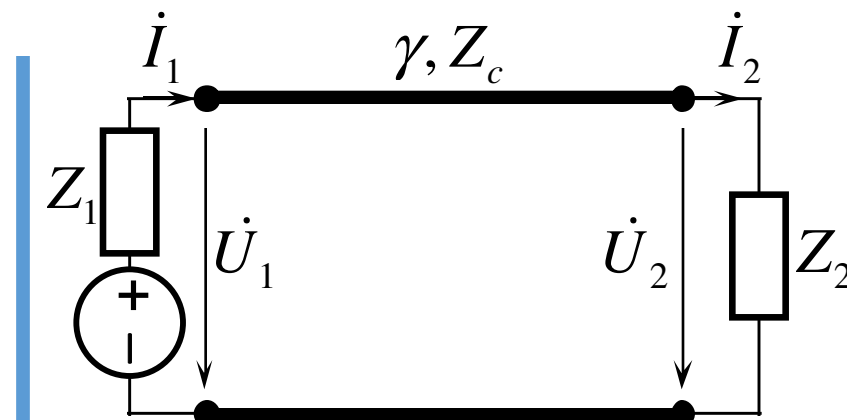
$$\rightarrow n(x) = \frac{\dot{U}(x) - Z_c \dot{I}(x)}{\dot{U}(x) + Z_c \dot{I}(x)}$$

$$\text{Tổng trở vào ở } x: Z(x) = \frac{\dot{U}(x)}{\dot{I}(x)}$$

$$\rightarrow n(x) = \frac{Z(x) \dot{I}(x) - Z_c \dot{I}(x)}{Z(x) \dot{I}(x) + Z_c \dot{I}(x)} = \frac{Z(x) - Z_c}{Z(x) + Z_c}$$

# Phản xạ sóng (3)

$$n(x) = \frac{\dot{U}^-(x)}{\dot{U}^+(x)} = \frac{\dot{I}^-(x)}{\dot{I}^+(x)} = \frac{Z(x) - Z_c}{Z(x) + Z_c}$$

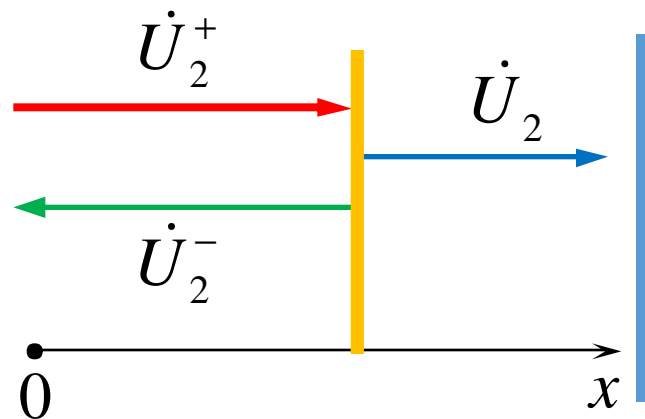


Cuối đường dây:  $Z(x) = Z_2 \rightarrow n_2 = \frac{Z_2 - Z_c}{Z_2 + Z_c}$

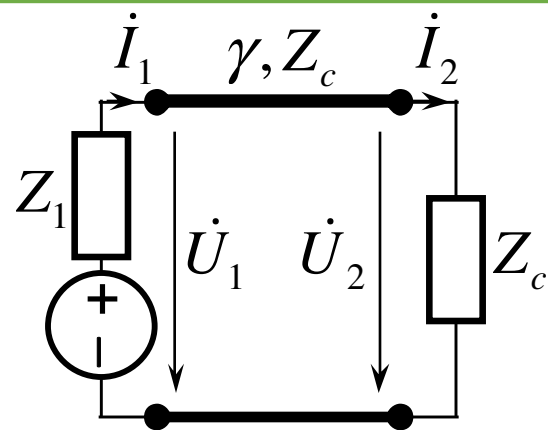
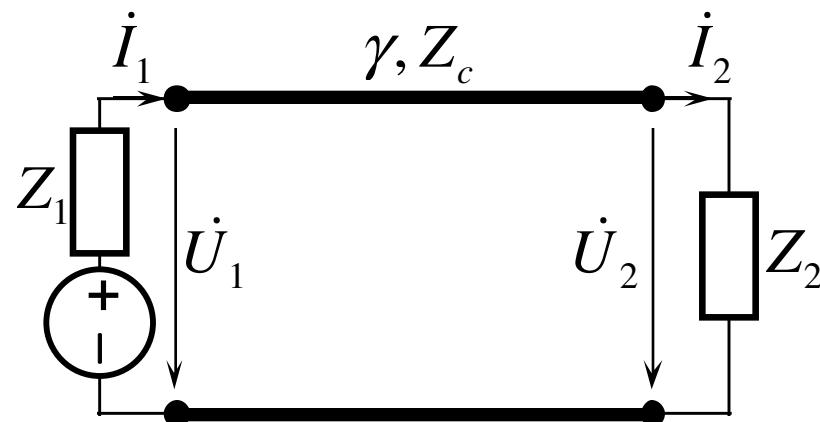
Đầu đường dây:  $Z(x) = Z_1 \rightarrow n_1 = \frac{Z_1 - Z_c}{Z_1 + Z_c}$

Các hệ số phản xạ phụ thuộc  $R, L, C, G, \omega, Z_1$  &  $Z_2$

# Phản xạ sóng (4)



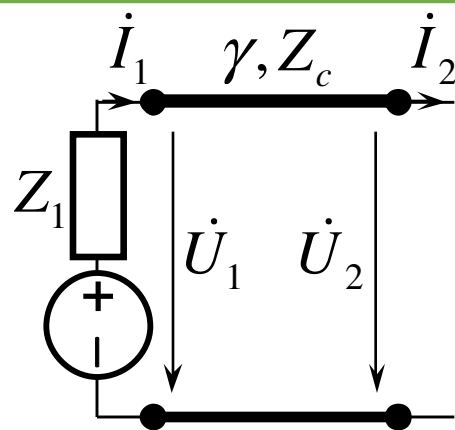
$$n_2 = \frac{Z_2 - Z_c}{Z_2 + Z_c} = \frac{\dot{U}_2^-}{\dot{U}_2^+}$$



$$Z_2 = Z_c \rightarrow n_2 = 0$$

$$\rightarrow \dot{U}_2^- = 0$$

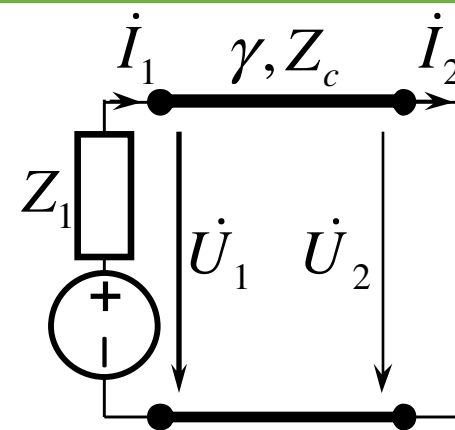
(hòa hợp tải)



$$Z_2 \rightarrow \infty \rightarrow n_2 = 1$$

$$\rightarrow \dot{U}_2^- = \dot{U}_2^+$$

(phản xạ toàn phần)



$$Z_2 = 0 \rightarrow n_2 = -1$$

$$\rightarrow \dot{U}_2^- = -\dot{U}_2^+$$

(phản xạ toàn phần  
& đổi dấu)

# Phản xạ sóng (5)

VD

Xét đường dây dài đều có  $R = 0$ ;  $L = 5 \text{ mH/km}$ ;  $C = 4 \cdot 10^{-9} \text{ F/km}$ ;  $G = 0$ ;  $f = 50 \text{ Hz}$ ;  $U_2 = 220 \text{ kV}$ ;  $Z_2 = 1 \text{ k}\Omega$ . Tính điện áp tới & điện áp phản xạ ở cuối dây?

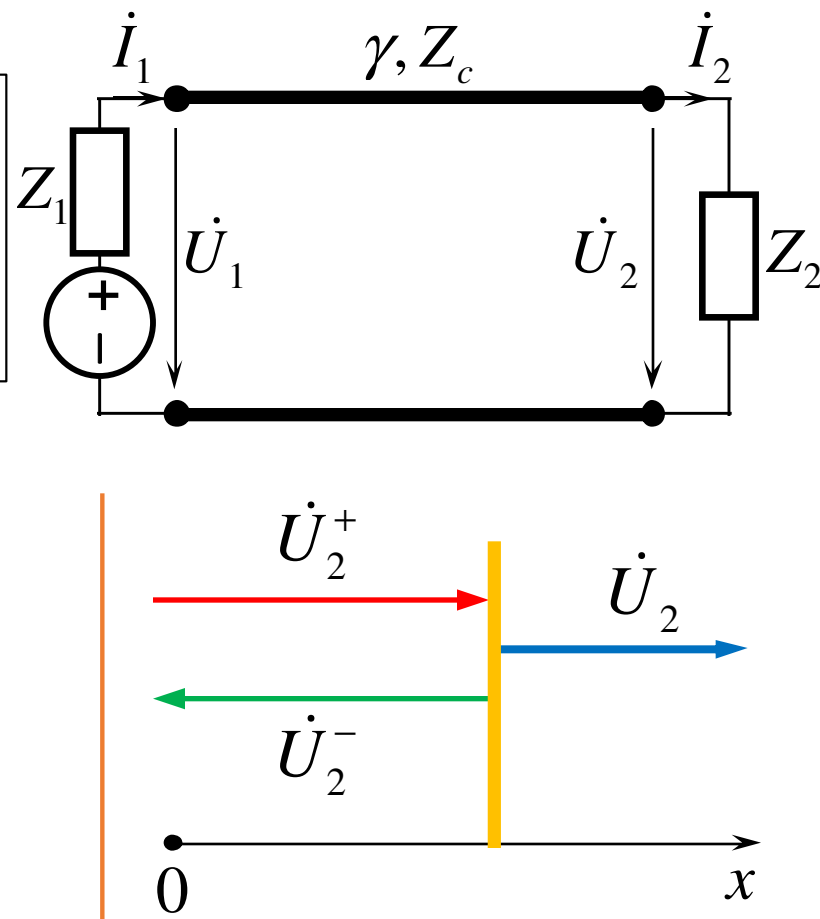
$$n_2 = \frac{Z_2 - Z_c}{Z_2 + Z_c} = \frac{\dot{U}_2^-}{\dot{U}_2^+} \rightarrow \dot{U}_2^- = n_2 \dot{U}_2^+$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = \sqrt{\frac{L}{C}} = 1118 \Omega$$

$$n_2 = \frac{Z_2 - Z_c}{Z_2 + Z_c} = \frac{1000 - 1118}{1000 + 1118} = -0,0557$$

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_2^+ + \dot{U}_2^-$$

$$\rightarrow \dot{U}_2 = \dot{U}_2^+ + n_2 \dot{U}_2^+ \rightarrow \dot{U}_2^+ = \frac{\dot{U}_2}{1 + n_2} = \frac{220}{1 - 0,0557} = \boxed{232,98 \text{ kV}}$$



# Lý thuyết mạch II

I. Quá trình quá độ

II. Mạch phi tuyến

**III. Đường dây dài**

1. Giới thiệu

**2. Chế độ xác lập điều hòa**

a) Điện áp và dòng điện

b) Các thông số đặc trưng

c) Phản xạ sóng

**d) Phân bố dạng hyperbole**

e) Đường dây dài đều không tiêu tán

f) Mạng hai cửa tương đương

3. Chế độ quá độ

# Phân bố dạng hyperbole (1)

$$\operatorname{sh} x = \frac{e^x - e^{-x}}{2}$$

$$\operatorname{ch} x = \frac{e^x + e^{-x}}{2}$$

$$\operatorname{th} x = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$$

$$\operatorname{coth} x = \frac{e^x + e^{-x}}{e^x - e^{-x}}$$

$$\operatorname{sh} 0 = \frac{e^0 - e^{-0}}{2} = 0$$

$$\operatorname{ch} 0 = \frac{e^0 + e^{-0}}{2} = 1$$

$$e = 2,7182818284590452353602874713527\dots$$

# Phân bố dạng hyperbole (2)

$$\operatorname{sh} x = \frac{e^x - e^{-x}}{2}$$

$$\operatorname{sh}(3) = \frac{e^3 - e^{-3}}{2} = \frac{20,09 - 0,050}{2} = 10,02$$

$$e^{j\varphi} = \cos \varphi + j \sin \varphi$$

$$\begin{aligned}\operatorname{sh}(j3) &= \frac{e^{j3} - e^{-j3}}{2} = \frac{[\cos(3) + j \sin(3)] - [\cos(-3) + j \sin(-3)]}{2} \\ &= \frac{j2 \sin(3)}{2} = j0,14\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\operatorname{sh}(4 + j3) &= \frac{e^{4+j3} - e^{-4-j3}}{2} = \frac{e^4 e^{j3} - e^{-4} e^{-j3}}{2} \\ &= \frac{e^4 [\cos(3) + j \sin(3)] - e^{-4} [\cos(-3) + j \sin(-3)]}{2} \\ &= -27,02 + j3,85\end{aligned}$$

# Phân bố dạng hyperbole (3)

$$\left\{ \begin{array}{l} -\frac{d\dot{U}}{dx} = Z\dot{I} \\ -\frac{d\dot{I}}{dx} = Y\dot{U} \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \dot{U} = \dot{A}_1 e^{-\gamma x} + \dot{A}_2 e^{\gamma x} \\ \dot{I} = \frac{\dot{A}_1}{Z_c} e^{-\gamma x} - \frac{\dot{A}_2}{Z_c} e^{\gamma x} \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \dot{U}(x) = M \operatorname{ch}(\gamma x) + N \operatorname{sh}(\gamma x) \\ -\frac{d\dot{I}}{dx} = Y\dot{U} \end{array} \right.$$
$$\rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \dot{U}(x) = M \operatorname{ch}(\gamma x) + N \operatorname{sh}(\gamma x) \\ \dot{I}(x) = -\frac{M \operatorname{sh}(\gamma x) + N \operatorname{ch}(\gamma x)}{Z_c} \end{array} \right.$$

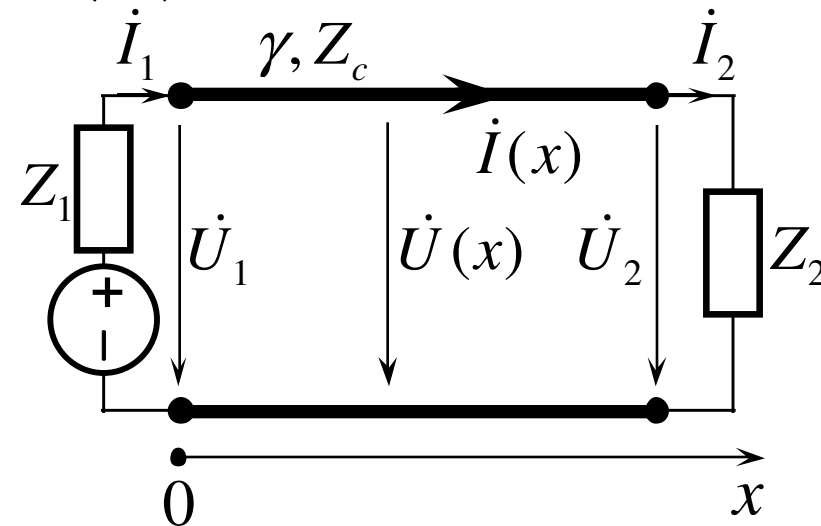


# Phân bố dạng hyperbole (4)

$$\begin{cases} \dot{U}(x) = M \operatorname{ch}(\gamma x) + N \operatorname{sh}(\gamma x) \\ \dot{I}(x) = -\frac{M \operatorname{sh}(\gamma x) + N \operatorname{ch}(\gamma x)}{Z_c} \end{cases}$$

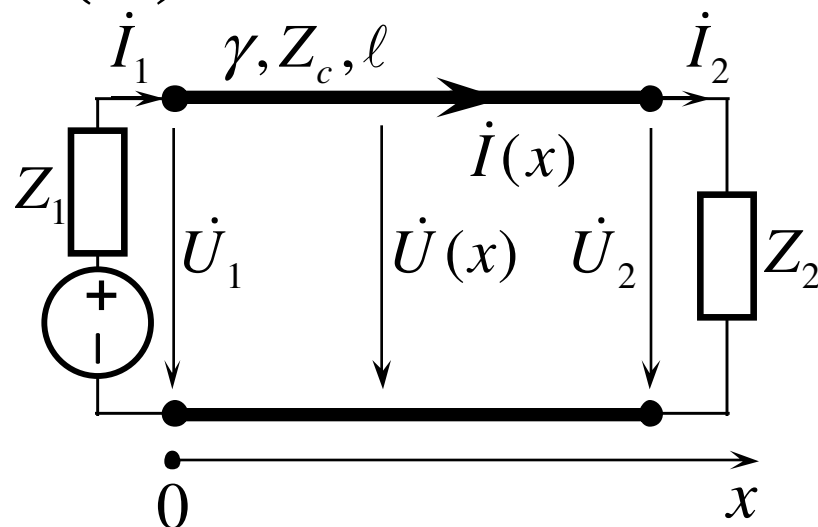
$$\begin{cases} \dot{U}(x=0) = \dot{U}_1 = M \operatorname{ch} 0 + N \operatorname{sh} 0 = M \\ \dot{I}(x=0) = \dot{I}_1 = -\frac{M \operatorname{sh} 0 + N \operatorname{ch} 0}{Z_c} = -\frac{N}{Z_c} \end{cases}$$

$$\rightarrow \begin{cases} M = \dot{U}_1 \\ N = -Z_c \dot{I}_1 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \dot{U}(x) = \dot{U}_1 \operatorname{ch}(\gamma x) - Z_c \dot{I}_1 \operatorname{sh}(\gamma x) \\ \dot{I}(x) = -\frac{\dot{U}_1}{Z_c} \operatorname{sh}(\gamma x) + \dot{I}_1 \operatorname{ch}(\gamma x) \end{cases}$$

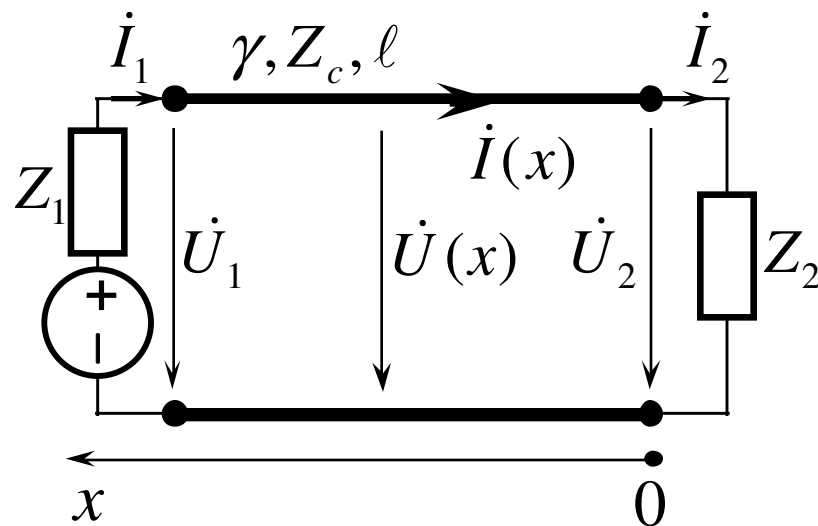


# Phân bố dạng hyperbole (5)

$$\begin{cases} \dot{U}(x) = \dot{U}_1 \operatorname{ch}(\gamma x) - Z_c \dot{I}_1 \operatorname{sh}(\gamma x) \\ \dot{I}(x) = -\frac{\dot{U}_1}{Z_c} \operatorname{sh}(\gamma x) + \dot{I}_1 \operatorname{ch}(\gamma x) \end{cases}$$



$$\begin{cases} \dot{U}(x) = \dot{U}_2 \operatorname{ch}(\gamma x) + Z_c \dot{I}_2 \operatorname{sh}(\gamma x) \\ \dot{I}(x) = \frac{\dot{U}_2}{Z_c} \operatorname{sh}(\gamma x) + \dot{I}_2 \operatorname{ch}(\gamma x) \end{cases}$$

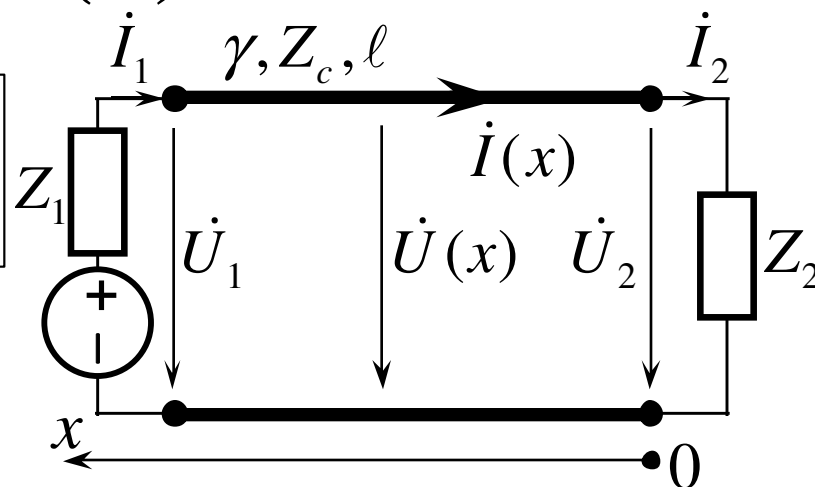


$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \dot{U}_2 \operatorname{ch}(\gamma l) + Z_c \dot{I}_2 \operatorname{sh}(\gamma l) \\ \dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_2}{Z_c} \operatorname{sh}(\gamma l) + \dot{I}_2 \operatorname{ch}(\gamma l) \end{cases}$$

# Phân bố dạng hyperbole (6)

## VD1

Đường dây dài đều có  $\ell = 100 \text{ km}$ ;  $R = 0$ ;  $G = 0$ ;  $L = 5 \text{ mH/km}$ ;  $C = 4 \cdot 10^{-9} \text{ F/km}$ ;  $f = 50 \text{ Hz}$ ;  $U_2 = 220 \text{ V}$ ;  $Z_2 = 10 \Omega$ . Viết phân bố áp & dòng dọc theo đường dây? Tính điện áp ở đầu dây?



$$\begin{cases} \dot{U}(x) = \dot{U}_2 \operatorname{ch}(\gamma x) + Z_c \dot{I}_2 \operatorname{sh}(\gamma x) \\ \dot{I}(x) = \frac{\dot{U}_2}{Z_c} \operatorname{sh}(\gamma x) + \dot{I}_2 \operatorname{ch}(\gamma x) \end{cases}$$

$$\gamma = \sqrt{ZY} = \sqrt{(j\omega L)(j\omega C)} = j\omega\sqrt{LC} = j0,0014 \text{ (1/km)}$$

$$Z_c = 1118 \Omega; \quad \dot{I}_2 = \dot{U}_2 / Z_2 = 220 / 10 = 22 \text{ A}$$

$$\rightarrow \begin{cases} \dot{U}(x) = 220 \operatorname{ch}(j0,0014x) + 1118 \cdot 22 \operatorname{sh}(j0,0014x) \\ \dot{I}(x) = \frac{220}{1118} \operatorname{sh}(j0,0014x) + 22 \operatorname{ch}(j0,0014x) \end{cases}$$

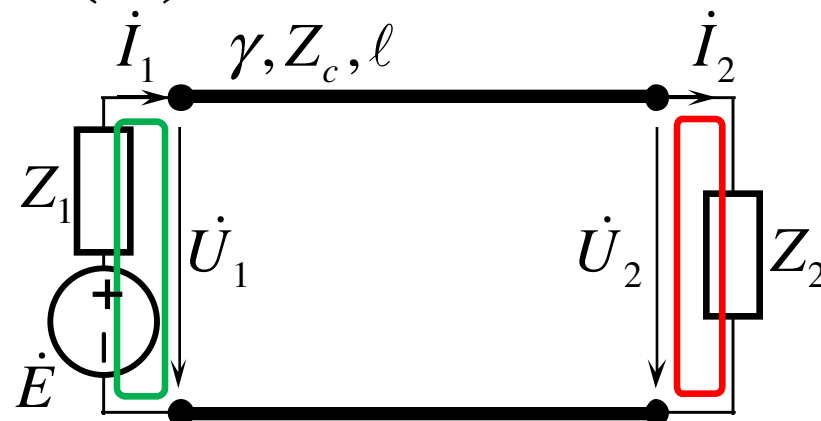
$$\rightarrow \begin{cases} \dot{U}(x) = 220 \operatorname{ch}(j0,0014x) + 24596 \operatorname{sh}(j0,0014x) \\ \dot{I}(x) = 0,1968 \operatorname{sh}(j0,0014x) + 22 \operatorname{ch}(j0,0014x) \end{cases}$$

$$\dot{U}_1 = \dot{U}(x = \ell) = 220 \operatorname{ch}(j0,0014 \cdot 100) + 24596 \operatorname{sh}(j0,0014 \cdot 100) = \boxed{3451 / 86,4^\circ \text{ V}}$$

# Phân bố dạng hyperbole (7)

## VD2

Đường dây dài đều có  $\ell = 100 \text{ km}$ ;  $R = 3 \text{ } \Omega/\text{km}$ ;  $L = 5 \text{ mH/km}$ ;  $G = 0$ ;  $C = 4 \cdot 10^{-9} \text{ F/km}$ ;  $f = 50 \text{ Hz}$ ;  $E = 220 \text{ kV}$ ;  $Z_1 = 50 \text{ } \Omega$ ;  $Z_2 = 500 \text{ } \Omega$ . Tính công suất của nguồn?



$$P_E = \text{Re}\{\dot{E}\hat{I}_1\}$$

$$\gamma = \sqrt{(3 + j314.5 \cdot 10^{-3})(j314.4 \cdot 10^{-9})} = 0,0011 + j0,0018 \text{ (1/km)}$$

$$Z_c = \sqrt{(3 + j314.5 \cdot 10^{-3})/(j314.4 \cdot 10^{-9})} = 1405 - j850 \text{ } \Omega$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{U}_1 = \text{ch}(\gamma \ell) \dot{U}_2 + Z_c \text{sh}(\gamma \ell) \dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 = \frac{\text{sh}(\gamma \ell)}{Z_c} \dot{U}_2 + \text{ch}(\gamma \ell) \dot{I}_2 \end{array} \right.$$

$$Z_1 \dot{I}_1 + \dot{U}_1 = \dot{E}; \quad \dot{U}_2 = Z_2 \dot{I}_2$$

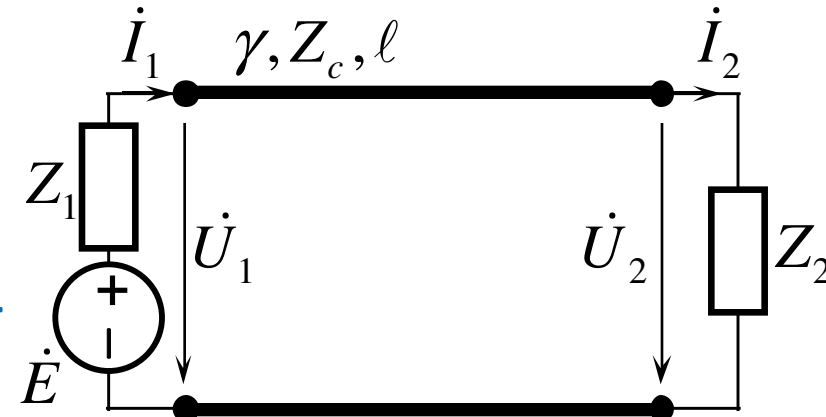
$$\rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 220 - 50 \dot{I}_1 = \text{ch}[(0,0011 + j0,0018)100] \dot{U}_2 + Z_c \text{sh}[(0,0011 + j0,0018)100] \frac{\dot{U}_2}{500} \\ \dot{I}_1 = \frac{\text{sh}[(0,0011 + j0,0018)100]}{1405 - j850} \dot{U}_2 + \text{ch}[(0,0011 + j0,0018)100] \frac{\dot{U}_2}{500} \end{array} \right.$$

# Phân bố dạng hyperbole (8)

VD2

Đường dây dài đều có  $\ell = 100 \text{ km}$ ;  $R = 3 \Omega/\text{km}$ ;  $L = 5 \text{ mH/km}$ ;  $G = 0$ ;  $C = 4 \cdot 10^{-9} \text{ F/km}$ ;  $f = 50 \text{ Hz}$ ;  $E = 220 \text{ kV}$ ;  $Z_1 = 50 \Omega$ ;  $Z_2 = 500 \Omega$ . Tính công suất của nguồn?

Cách 1



$$P_E = \text{Re}\{\dot{E}\hat{I}_1\}$$

$$\begin{cases} 220 - 50\dot{I}_1 = \text{ch}[(0,0011 + j0,0018)100]\dot{U}_2 + Z_c \text{sh}[(0,0011 + j0,0018)100] \frac{\dot{U}_2}{500} \\ \dot{I}_1 = \frac{\text{sh}[(0,0011 + j0,0018)100]}{1405 - j850} \dot{U}_2 + \text{ch}[(0,0011 + j0,0018)100] \frac{\dot{U}_2}{500} \end{cases}$$

$$\rightarrow \begin{cases} \dot{U}_2 = 125 - j25,6 \text{ kV} \\ \dot{I}_1 = 0,25 - j0,030 \text{ kA} \end{cases}$$

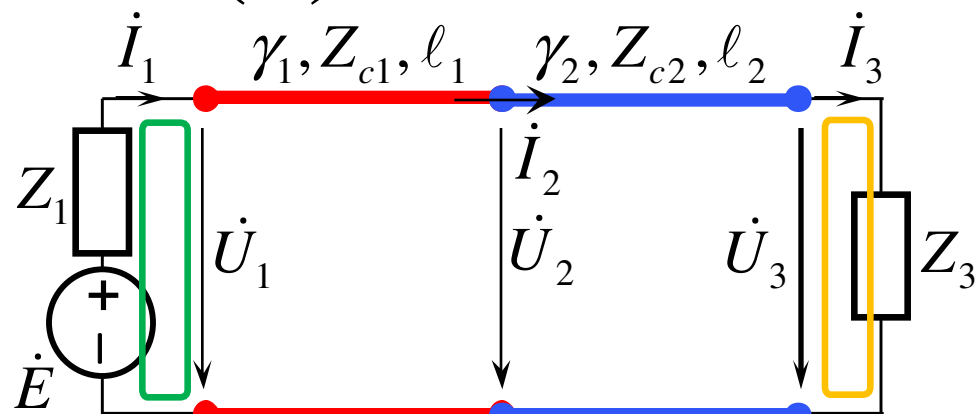
$$\rightarrow P_E = \text{Re}\{220(0,25 + j0,030)\} = \boxed{55,50 \text{ MW}}$$

# Phân bố dạng hyperbole (9)

VD3

$Z_{c1} = 100 + j200 \Omega$ ;  $\gamma_1 = 0,001 + j0,002$  1/km;  $\ell_1 = 100$  km;  $Z_{c2} = 300 \Omega$ ;  $\gamma_2 = j0,004$  1/km;  $\ell_2 = 150$  km;  $Z_1 = 50 \Omega$ ;  $Z_3 = 500 \Omega$ ;  $E = 220$  kV. Tính dòng điện qua nguồn?

Cách 1



$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \text{ch}(\gamma_1 \ell_1) \dot{U}_2 + Z_{c1} \text{sh}(\gamma_1 \ell_1) \dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 = \frac{\text{sh}(\gamma_1 \ell_1)}{Z_{c1}} \dot{U}_2 + \text{ch}(\gamma_1 \ell_1) \dot{I}_2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{U}_2 = \text{ch}(\gamma_2 \ell_2) \dot{U}_3 + Z_{c2} \text{sh}(\gamma_2 \ell_2) \dot{I}_3 \\ \dot{I}_2 = \frac{\text{sh}(\gamma_2 \ell_2)}{Z_{c2}} \dot{U}_3 + \text{ch}(\gamma_2 \ell_2) \dot{I}_3 \end{cases}$$

$$Z_1 \dot{I}_1 + \dot{U}_1 = \dot{E}; \quad \dot{U}_3 = Z_3 \dot{I}_3$$

$$\begin{cases} \dot{E} - Z_1 \dot{I}_1 = \text{ch}(\gamma_1 \ell_1) \dot{U}_2 + Z_{c1} \text{sh}(\gamma_1 \ell_1) \dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 = \frac{\text{sh}(\gamma_1 \ell_1)}{Z_{c1}} \dot{U}_2 + \text{ch}(\gamma_1 \ell_1) \dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 = \text{ch}(\gamma_2 \ell_2) \dot{U}_3 + Z_{c2} \text{sh}(\gamma_2 \ell_2) \frac{\dot{U}_3}{Z_3} \\ \dot{I}_2 = \frac{\text{sh}(\gamma_2 \ell_2)}{Z_{c2}} \dot{U}_3 + \text{ch}(\gamma_2 \ell_2) \frac{\dot{U}_3}{Z_3} \end{cases}$$

$$\rightarrow \dot{I}_1 = 0,76 + j0,17 \text{ kA}$$

# Phân bố dạng hyperbole (10)

VD4

$Z_{c1} = 100 + j200 \Omega$ ;  $\gamma_1 = 0,001 + j0,002$  1/km;  $\ell_1 = 100$  km;  
 $Z_{ca} = 300 \Omega$ ;  $\gamma_a = j0,004$  1/km;  $\ell_a = 150$  km;  $Z_{cb} = 400 \Omega$ ;  $\gamma_b = j0,006$  1/km;  $\ell_b = 250$  km;  $Z_1 = 50\Omega$ ;  $Z_{3a} = 500\Omega$ ;  $Z_{3b} = 200\Omega$ ;  
 $E = 220$ kV. Tính dòng điện qua nguồn?

Cách 1

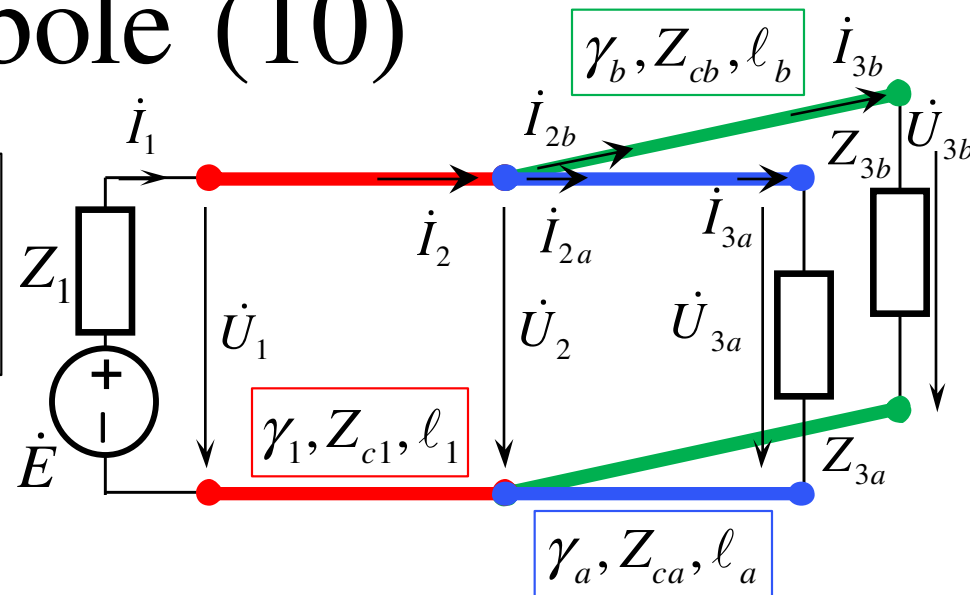
$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \text{ch}(\gamma_1 \ell_1) \dot{U}_2 + Z_{c1} \text{sh}(\gamma_1 \ell_1) \dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 = \text{sh}(\gamma_1 \ell_1) \dot{U}_2 / Z_{c1} + \text{ch}(\gamma_1 \ell_1) \dot{I}_2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{U}_2 = \text{ch}(\gamma_a \ell_a) \dot{U}_{3a} + Z_{ca} \text{sh}(\gamma_a \ell_a) \dot{I}_{3a} \\ \dot{I}_{2a} = \text{sh}(\gamma_a \ell_a) \dot{U}_{3a} / Z_{ca} + \text{ch}(\gamma_a \ell_a) \dot{I}_{3a} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{U}_2 = \text{ch}(\gamma_b \ell_b) \dot{U}_{3b} + Z_{cb} \text{sh}(\gamma_b \ell_b) \dot{I}_{3b} \\ \dot{I}_{2b} = \text{sh}(\gamma_b \ell_b) \dot{U}_{3b} / Z_{cb} + \text{ch}(\gamma_b \ell_b) \dot{I}_{3b} \end{cases}$$

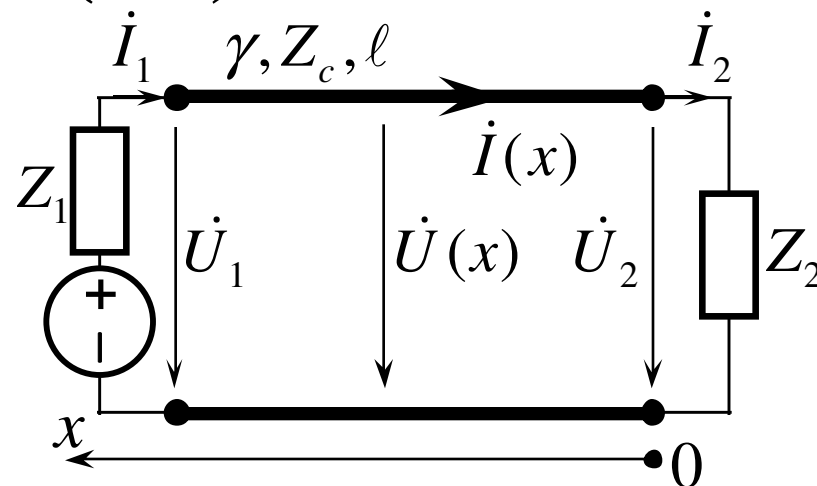
$$Z_1 \dot{I}_1 + \dot{U}_1 = \dot{E}; \quad \dot{U}_{3a} = Z_{3a} \dot{I}_{3a}; \quad \dot{U}_{3b} = Z_{3b} \dot{I}_{3b}$$

$$\dot{I}_2 = \dot{I}_{2a} + \dot{I}_{2b}$$



# Phân bố dạng hyperbole (11)

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Tổng trở vào ở } x: Z(x) = \frac{\dot{U}(x)}{\dot{I}(x)} \\ \dot{U}(x) = \dot{U}_2 \operatorname{ch}(\gamma x) + Z_c \dot{I}_2 \operatorname{sh}(\gamma x) \\ \dot{I}(x) = \frac{\dot{U}_2}{Z_c} \operatorname{sh}(\gamma x) + \dot{I}_2 \operatorname{ch}(\gamma x) \end{array} \right.$$



$$\rightarrow Z(x) = \frac{\dot{U}_2 \operatorname{ch}(\gamma x) + Z_c \dot{I}_2 \operatorname{sh}(\gamma x)}{\frac{\dot{U}_2}{Z_c} \operatorname{sh}(\gamma x) + \dot{I}_2 \operatorname{ch}(\gamma x)} = \frac{Z_2 \dot{I}_2 \operatorname{ch}(\gamma x) + Z_c \dot{I}_2 \operatorname{sh}(\gamma x)}{\frac{Z_2 \dot{I}_2}{Z_c} \operatorname{sh}(\gamma x) + \dot{I}_2 \operatorname{ch}(\gamma x)} = \boxed{Z_c \frac{Z_2 + Z_c \operatorname{th}(\gamma x)}{Z_2 \operatorname{th}(\gamma x) + Z_c}}$$

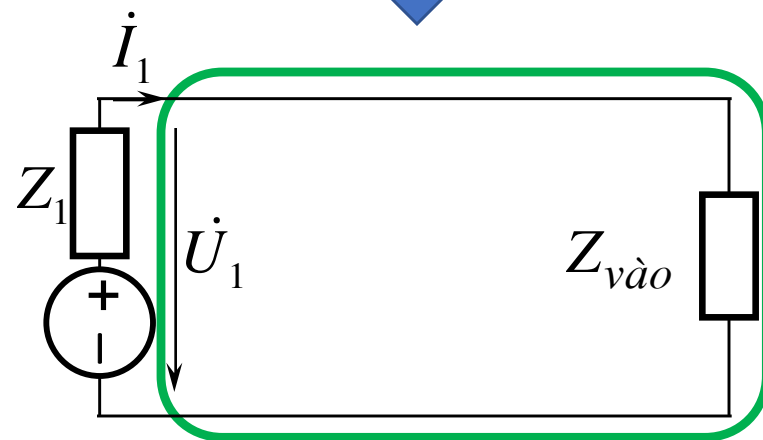
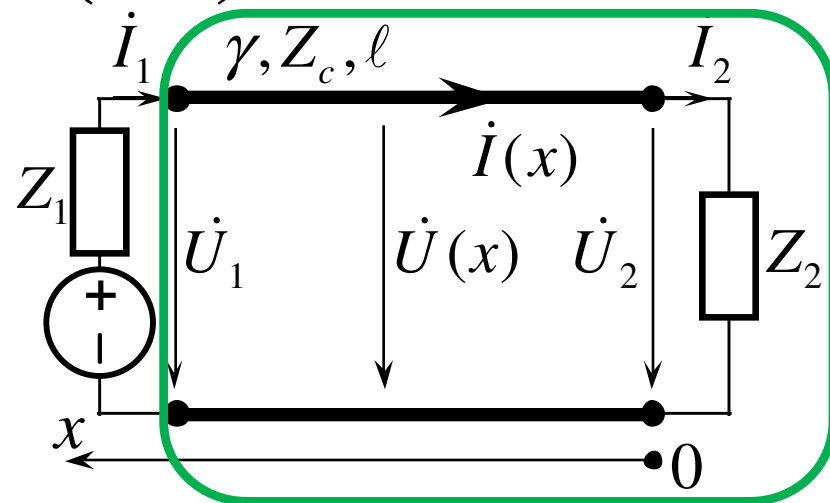
$$\left. \begin{array}{l} Z_2 = 0 \rightarrow Z_{\text{ngắn mạch}} = Z_c \operatorname{th}(\gamma x) \\ Z_2 = \infty \rightarrow Z_{\text{hở mạch}} = \frac{Z_c}{\operatorname{th}(\gamma x)} \end{array} \right\} \rightarrow \boxed{Z_c = \sqrt{Z_{\text{ngắn mạch}} Z_{\text{hở mạch}}}}$$



# Phân bố dạng hyperbole (12)

$$\begin{cases} Z(x) = Z_c \frac{Z_2 + Z_c \operatorname{th}(\gamma x)}{Z_2 \operatorname{th}(\gamma x) + Z_c} \\ Z_{\text{vào}} = \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} \end{cases}$$

$$\rightarrow Z_{\text{vào}} = \boxed{Z_c \frac{Z_2 + Z_c \operatorname{th}(\gamma \ell)}{Z_2 \operatorname{th}(\gamma \ell) + Z_c}}$$



# Phân bố dạng hyperbole (13)

VD2

Đường dây dài đều có  $\ell = 100 \text{ km}$ ;  $R = 3 \Omega/\text{km}$ ;  $L = 5 \text{ mH/km}$ ;  $G = 0$ ;  $C = 4 \cdot 10^{-9} \text{ F/km}$ ;  $f = 50 \text{ Hz}$ ;  $E = 220 \text{ kV}$ ;  $Z_1 = 50 \Omega$ ;  $Z_2 = 500 \Omega$ . Tính công suất của nguồn?

Cách 2

$$P_E = \text{Re}\{\dot{E}\hat{I}_1\}$$

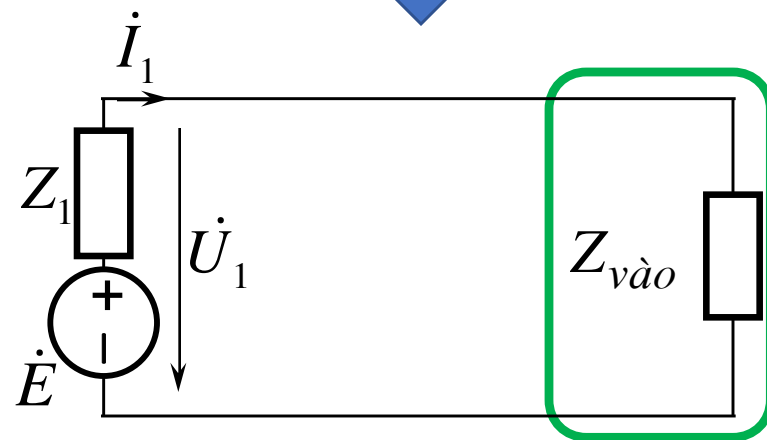
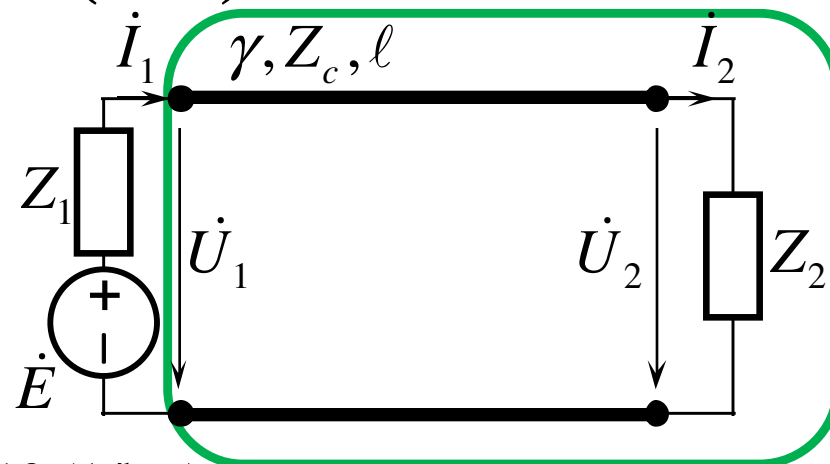
$$\gamma = \sqrt{(3 + j314.5 \cdot 10^{-3})(j314.4 \cdot 10^{-9})} = 0,0011 + j0,0018 \text{ (1/km)}$$

$$Z_c = \sqrt{(3 + j314.5 \cdot 10^{-3})/(j314.4 \cdot 10^{-9})} = 1405 - j850 \Omega$$

$$Z_{\text{vào}} = Z_c \frac{Z_2 + Z_c \text{th}(\gamma\ell)}{Z_2 \text{th}(\gamma\ell) + Z_c} = 810 + j103 \Omega$$

$$\rightarrow \dot{I}_1 = \frac{\dot{E}}{Z_1 + Z_{\text{vào}}} = \frac{220}{50 + 810 + j103} = 0,25 - j0,030 \text{ kA}$$

$$\rightarrow P_E = \text{Re}\{220(0,25 + j0,030)\} = \boxed{55,50 \text{ MW}}$$

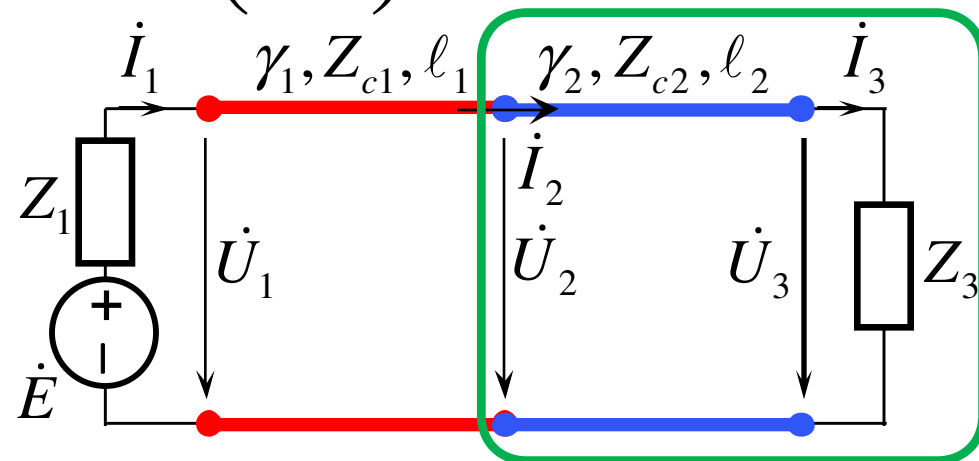


# Phân bố dạng hyperbole (14)

VD3

$Z_{c1} = 100 + j200 \Omega$ ;  $\gamma_1 = 0,001 + j0,002$  1/km;  $\ell_1 = 100$  km;  $Z_{c2} = 300 \Omega$ ;  $\gamma_2 = j0,004$  1/km;  $\ell_2 = 150$  km;  $Z_1 = 50 \Omega$ ;  $Z_3 = 500 \Omega$ ;  $E = 220$  kV. Tính dòng điện qua nguồn?

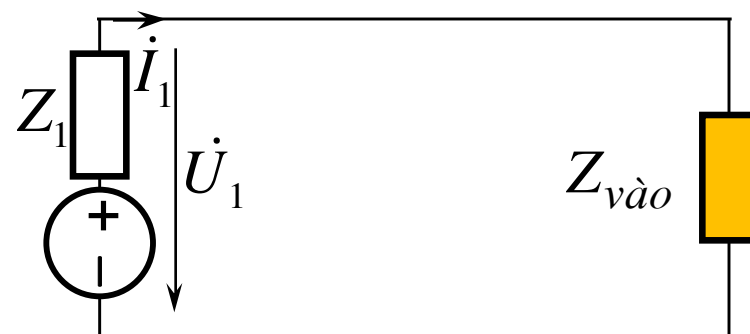
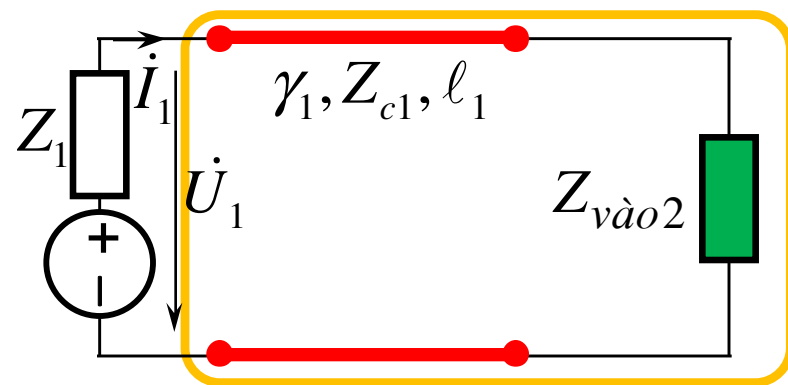
Cách 2



$$Z_{\text{vào}2} = Z_{c2} \frac{Z_3 + Z_{c2} \operatorname{th}(\gamma_2 \ell_2)}{Z_3 \operatorname{th}(\gamma_2 \ell_2) + Z_{c2}} = 319 - j159 \Omega$$

$$Z_{\text{vào}} = Z_{c1} \frac{Z_{\text{vào}2} + Z_{c1} \operatorname{th}(\gamma_1 \ell_1)}{Z_{\text{vào}2} \operatorname{th}(\gamma_1 \ell_1) + Z_{c1}} = 227 - j61 \Omega$$

$$I_1 = \frac{\dot{E}}{Z_1 + Z_{\text{vào}}} = \boxed{0,76 + j0,17 \text{ kA}}$$



# Phân bố dạng hyperbole (15)

VD4

$Z_{c1} = 100 + j200 \Omega$ ;  $\gamma_1 = 0,001 + j0,002$  1/km;  $\ell_1 = 100$  km;  
 $Z_{ca} = 300 \Omega$ ;  $\gamma_a = j0,004$  1/km;  $\ell_a = 150$  km;  $Z_{cb} = 400 \Omega$ ;  $\gamma_b = j0,006$  1/km;  $\ell_b = 250$  km;  $Z_1 = 50 \Omega$ ;  $Z_{3a} = 500 \Omega$ ;  $Z_{3b} = 200 \Omega$ ;  
 $E = 220$  kV. Tính dòng điện qua nguồn?

Cách 2

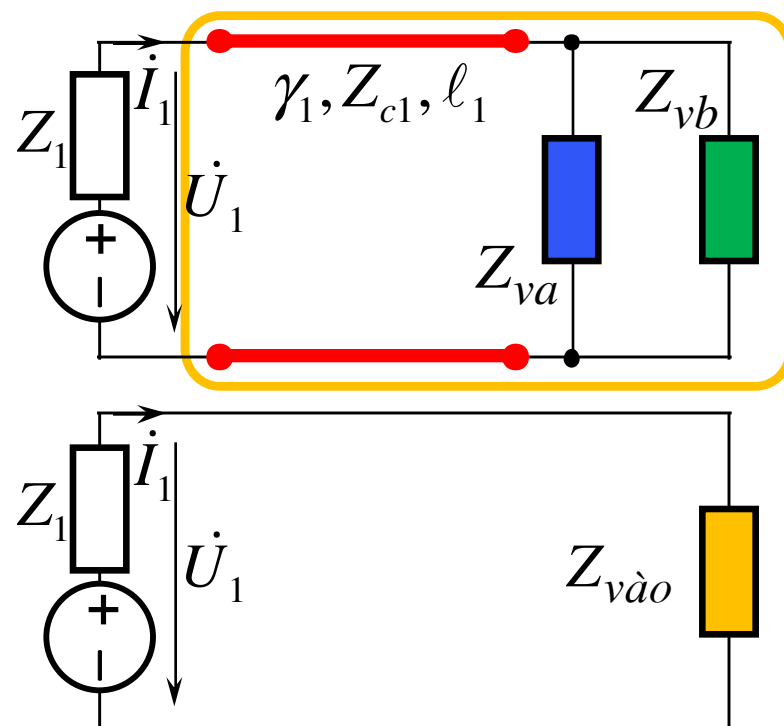
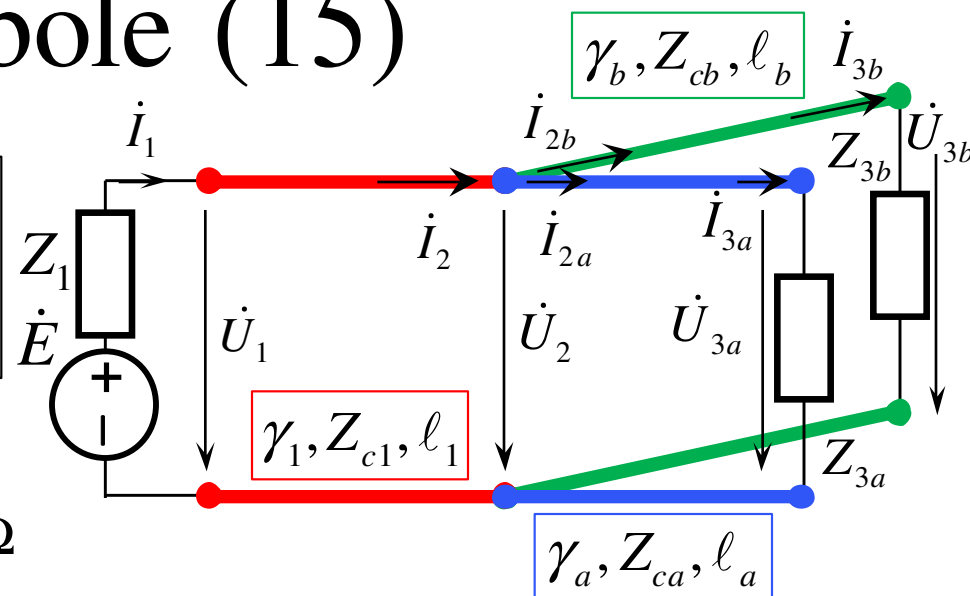
$$Z_{va} = Z_{ca} \frac{Z_{3a} + Z_{ca} \operatorname{th}(\gamma_a \ell_a)}{Z_{3a} \operatorname{th}(\gamma_a \ell_a) + Z_{ca}} = 319,12 - j158,63 \Omega$$

$$Z_{vb} = Z_{cb} \frac{Z_{3b} + Z_{cb} \operatorname{th}(\gamma_b \ell_b)}{Z_{3b} \operatorname{th}(\gamma_b \ell_b) + Z_{cb}} = 788,17 + j83,42 \Omega$$

$$Z_{vab} = \frac{Z_{va} Z_{vb}}{Z_{va} + Z_{vb}} = 244,01 - j72,30 \Omega$$

$$Z_v = Z_{c1} \frac{Z_{vab} + Z_{c1} \operatorname{th}(\gamma_1 \ell_1)}{Z_{vab} \operatorname{th}(\gamma_1 \ell_1) + Z_{c1}} = 172,94 - j14,69 \Omega$$

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{E}}{Z_1 + Z_v} = \boxed{0,98 + j0,065 \text{ kA}}$$



# Lý thuyết mạch II

I. Quá trình quá độ

II. Mạch phi tuyến

**III. Đường dây dài**

1. Giới thiệu

**2. Chế độ xác lập điều hòa**

- a) Điện áp và dòng điện
- b) Các thông số đặc trưng
- c) Phản xạ sóng
- d) Phân bố dạng hyperbole
- e) Đường dây dài đều không tiêu tán**
- f) Mạng hai cửa tương đương

3. Chế độ quá độ

# Đường dây dài đều không tiêu tán (1)

- Định nghĩa:  $R \ll \omega L$  và  $G \ll \omega C$ .
- Một cách gần đúng coi như  $R = 0$ ,  $G = 0$ .

$$\gamma = \sqrt{ZY} = \sqrt{(j\omega L)(j\omega C)} = j\omega\sqrt{LC}$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{j\omega L}{j\omega C}} = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$\alpha = \text{Re}\{\gamma\} = 0$$

$$\beta = \text{Im}\{\gamma\} = \omega\sqrt{LC}$$

$$v = \frac{\omega}{\beta} = \frac{\omega}{\omega\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

# Đường dây dài đều không tiêu tán (2)

$$\begin{cases} -\frac{\partial u}{\partial x} = Ri + L \frac{\partial i}{\partial t} \\ -\frac{\partial i}{\partial x} = Gu + C \frac{\partial u}{\partial t} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} -\frac{\partial u}{\partial x} = L \frac{\partial i}{\partial t} \\ -\frac{\partial i}{\partial x} = C \frac{\partial u}{\partial t} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{d^2 \dot{U}}{dx^2} = (R + j\omega L)(G + j\omega C) \dot{U} \\ \frac{d^2 \dot{I}}{dx^2} = (G + j\omega C)(R + j\omega L) \dot{I} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \frac{d^2 \dot{U}}{dx^2} = -\omega^2 LC \dot{U} \\ \frac{d^2 \dot{I}}{dx^2} = -\omega^2 LC \dot{I} \end{cases}$$

# Đường dây dài đều không tiêu tán (3)

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{U}(x) = \dot{U}_2 \operatorname{ch} \gamma x + Z_c \dot{I}_2 \operatorname{sh} \gamma x \\ \dot{I}(x) = \frac{\dot{U}_2}{Z_c} \operatorname{sh} \gamma x + \dot{I}_2 \operatorname{ch} \gamma x \\ \gamma = j\beta, Z_c = \sqrt{L/C} = z_c \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \dot{U}(x) = \dot{U}_2 \operatorname{ch} (j\beta x) + z_c \dot{I}_2 \operatorname{sh} (j\beta x) \\ \dot{I}(x) = \frac{\dot{U}_2}{z_c} \operatorname{sh} (j\beta x) + \dot{I}_2 \operatorname{ch} (j\beta x) \end{array} \right\}$$

$$\operatorname{ch}(j\beta x) = \frac{e^{j\beta x} + e^{-j\beta x}}{2} = \frac{\cos(\beta x) + j \sin(\beta x) + \cos(-\beta x) + j \sin(-\beta x)}{2} = \cos \beta x$$

$$\operatorname{sh}(j\beta x) = \frac{e^{j\beta x} - e^{-j\beta x}}{2} = \frac{\cos(\beta x) + j \sin(\beta x) - \cos(-\beta x) - j \sin(-\beta x)}{2} = j \sin \beta x$$

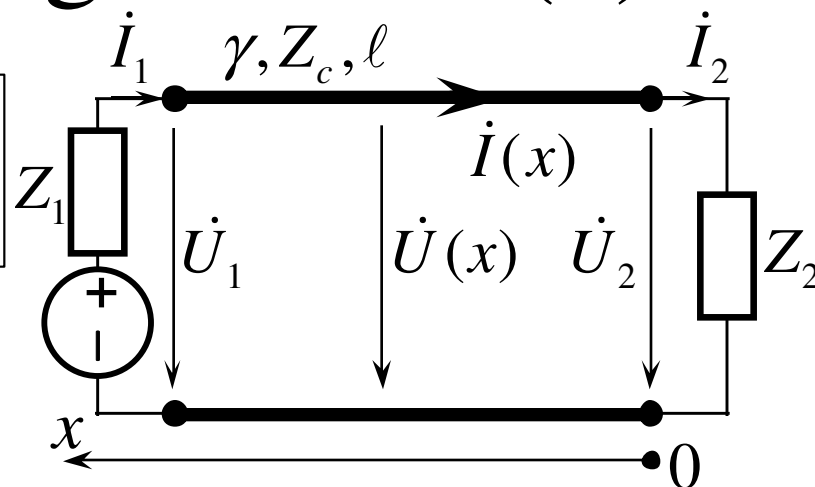
$$\rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \dot{U}(x) = \dot{U}_2 \cos \beta x + j z_c \dot{I}_2 \sin \beta x \\ \dot{I}(x) = j \frac{\dot{U}_2}{z_c} \sin \beta x + \dot{I}_2 \cos \beta x \end{array} \right.$$



# Đường dây dài đều không tiêu tán (4)

## VD1

Đường dây dài đều có  $\ell = 100 \text{ km}$ ;  $R = 0$ ;  $G = 0$ ;  $L = 5 \text{ mH/km}$ ;  $C = 4 \cdot 10^{-9} \text{ F/km}$ ;  $f = 50 \text{ Hz}$ ;  $U_2 = 220 \text{ V}$ ;  $Z_2 = 10 \Omega$ . Viết phân bố áp & dòng dọc theo đường dây? Tính điện áp ở đầu dây?



$$\begin{cases} \dot{U}(x) = \dot{U}_2 \cos \beta x + j z_c \dot{I}_2 \sin \beta x \\ \dot{I}(x) = j \frac{\dot{U}_2}{z_c} \sin \beta x + \dot{I}_2 \cos \beta x \end{cases}$$

$$\gamma = j\omega\sqrt{LC} = j0,0014 \text{ (1/km)} \rightarrow \beta = 0,0014 \text{ (rad/s)}$$

$$Z_c = \sqrt{L/C} = 1118 \Omega; \quad \dot{I}_2 = \dot{U}_2 / Z_2 = 220 / 10 = 22 \text{ A}$$

$$\rightarrow \begin{cases} \dot{U}(x) = 220 \cos(0,0014x) + j1118 \cdot 22 \sin(0,0014x) \\ \dot{I}(x) = j \frac{220}{1118} \sin(0,0014x) + 22 \cos(0,0014x) \end{cases}$$

$$\rightarrow \begin{cases} \dot{U}(x) = 220 \cos(0,0014x) + j24596 \sin(0,0014x) \\ \dot{I}(x) = j0,1968 \sin(0,0014x) + 22 \cos(0,0014x) \end{cases}$$

$$\dot{U}_1 = \dot{U}(x = \ell) = 220 \cos(0,0014 \cdot 100) + j24596 \sin(0,0014 \cdot 100) = \boxed{3451 / 86,4^\circ \text{ V}}$$

# Đường dây dài đều không tiêu tán (5)

$$\gamma = j\omega\sqrt{LC}$$

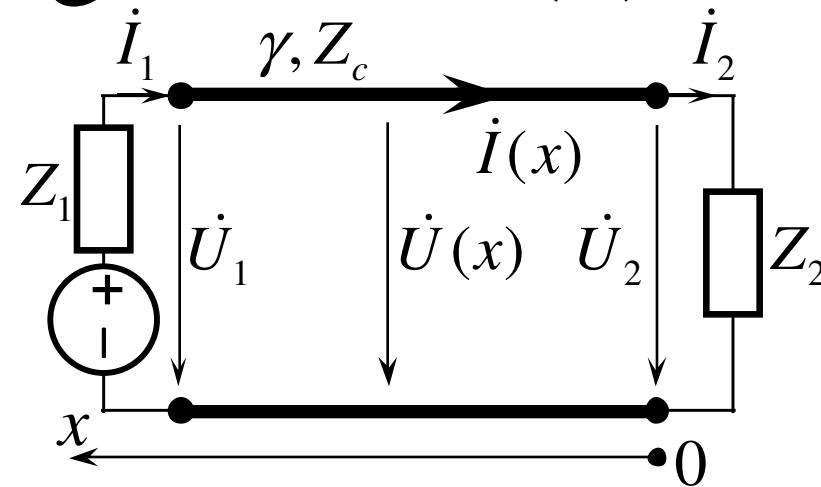
$$Z_c = \sqrt{L/C}$$

$$\alpha = 0$$

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

$$v = 1/\sqrt{LC}$$

$$\begin{cases} \dot{U}(x) = \dot{U}_2 \cos \beta x + jz_c \dot{I}_2 \sin \beta x \\ \dot{I}(x) = j \frac{\dot{U}_2}{z_c} \sin \beta x + \dot{I}_2 \cos \beta x \end{cases}$$



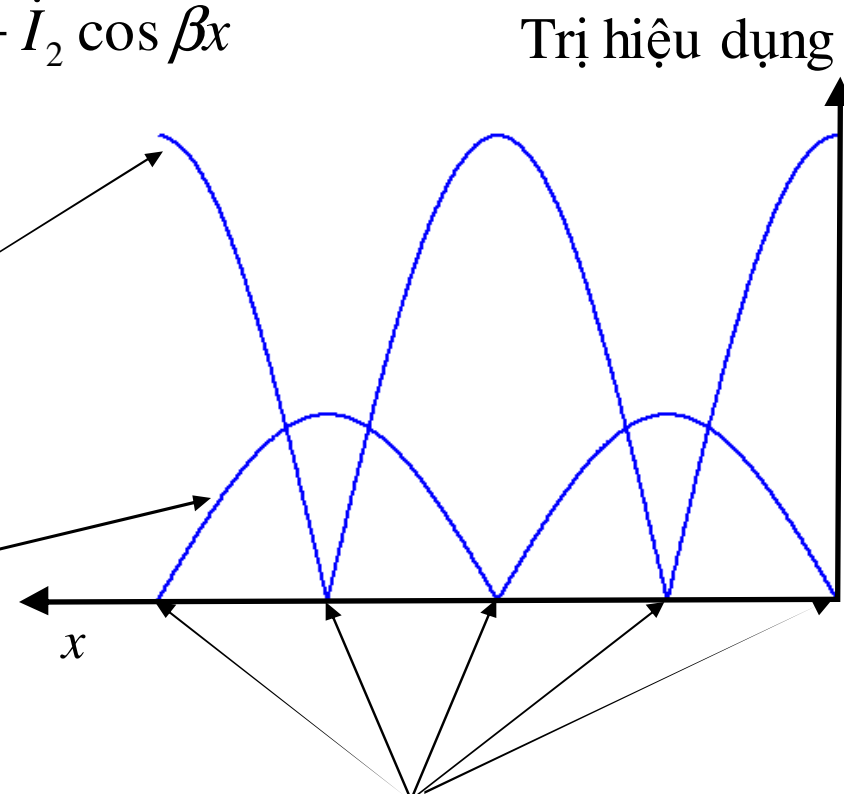
# Đường dây dài đều không tiêu tán (6)

$$\begin{cases} \dot{U}(x) = \dot{U}_2 \cos \beta x + jz_c \dot{I}_2 \sin \beta x \\ \dot{I}(x) = j \frac{\dot{U}_2}{z_c} \sin \beta x + \dot{I}_2 \cos \beta x \end{cases}$$

Nếu  $\dot{I}_2 = 0$  (hở mạch đầu ra)  $\rightarrow$

$$\begin{cases} \dot{U}(x) = \dot{U}_2 \cos \beta x \\ \dot{I}(x) = j \frac{\dot{U}_2}{z_c} \sin \beta x \end{cases}$$

$$\rightarrow \begin{cases} U(x) = U_2 |\cos \beta x| \\ I(x) = \frac{U_2}{z_c} |\sin \beta x| \end{cases}$$



Có những điểm (nút) cố định mà tại đó trị hiệu dụng bằng không

# Đường dây dài đều không tiêu tán (7)

$$\begin{cases} \dot{U}(x) = \dot{U}_2 \cos \beta x + jz_c \dot{I}_2 \sin \beta x \\ \dot{I}(x) = j \frac{\dot{U}_2}{z_c} \sin \beta x + \dot{I}_2 \cos \beta x \end{cases}$$

$$\text{Nếu } \dot{I}_2 = 0 \quad (\text{hở mạch đầu ra}) \rightarrow \begin{cases} \dot{U}(x) = \dot{U}_2 \cos \beta x \\ \dot{I}(x) = j \frac{\dot{U}_2}{z_c} \sin \beta x \end{cases} \rightarrow \begin{cases} u(x, t) = \sqrt{2} U_2 \cos \beta x \sin \omega t \\ i(x, t) = \sqrt{2} \frac{U_2}{z_c} \sin \beta x \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \end{cases}$$

# Đường dây dài đều không tiêu tán (8)

$$\begin{cases} \dot{U}(x) = \dot{U}_2 \cos \beta x + jz_c \dot{I}_2 \sin \beta x \\ \dot{I}(x) = j \frac{\dot{U}_2}{z_c} \sin \beta x + \dot{I}_2 \cos \beta x \end{cases}$$

Nếu  $\dot{I}_2 = 0$

(hở mạch đầu ra)

$$\Rightarrow \begin{cases} \begin{cases} U(x) = U_2 |\cos \beta x| \\ I(x) = \frac{U_2}{z_c} |\sin \beta x| \end{cases} \\ \begin{cases} u(x, t) = \sqrt{2} U_2 \cos \beta x \sin \omega t \\ i(x, t) = \sqrt{2} \frac{U_2}{z_c} \sin \beta x \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \end{cases} \end{cases}$$

Nếu  $U_2 = 0$

(ngắn mạch đầu ra)

$$\Rightarrow \begin{cases} \begin{cases} U(x) = z_c I_2 |\sin \beta x| \\ I(x) = I_2 |\cos \beta x| \end{cases} \\ \begin{cases} u(x, t) = \sqrt{2} z_c I_2 \sin \beta x \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \\ i(x, t) = \sqrt{2} I_2 \cos \beta x \sin \omega t \end{cases} \end{cases}$$

# Đường dây dài đều không tiêu tán (9)

$$\begin{cases} \dot{U}(x) = \dot{U}_2 \cos \beta x + j z_c \dot{I}_2 \sin \beta x \\ \dot{I}(x) = j \frac{\dot{U}_2}{z_c} \sin \beta x + \dot{I}_2 \cos \beta x \end{cases}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Nếu } Z_2 = r_2 \\ \text{(thuần trở)} \\ \dot{U}_2 = U_2 / 0^\circ \end{array} \right\} \rightarrow \left. \begin{array}{l} \dot{U}(x) = U_2 \cos \beta x + j z_c \frac{U_2}{r_2} \sin \beta x = U_2 \left( \cos \beta x + j \frac{z_c}{r_2} \sin \beta x \right) \\ \frac{z_c}{r_2} = \frac{r_2 + z_c - r_2}{r_2} = 1 + \frac{z_c - r_2}{r_2} = 1 + m \end{array} \right\} \rightarrow$$

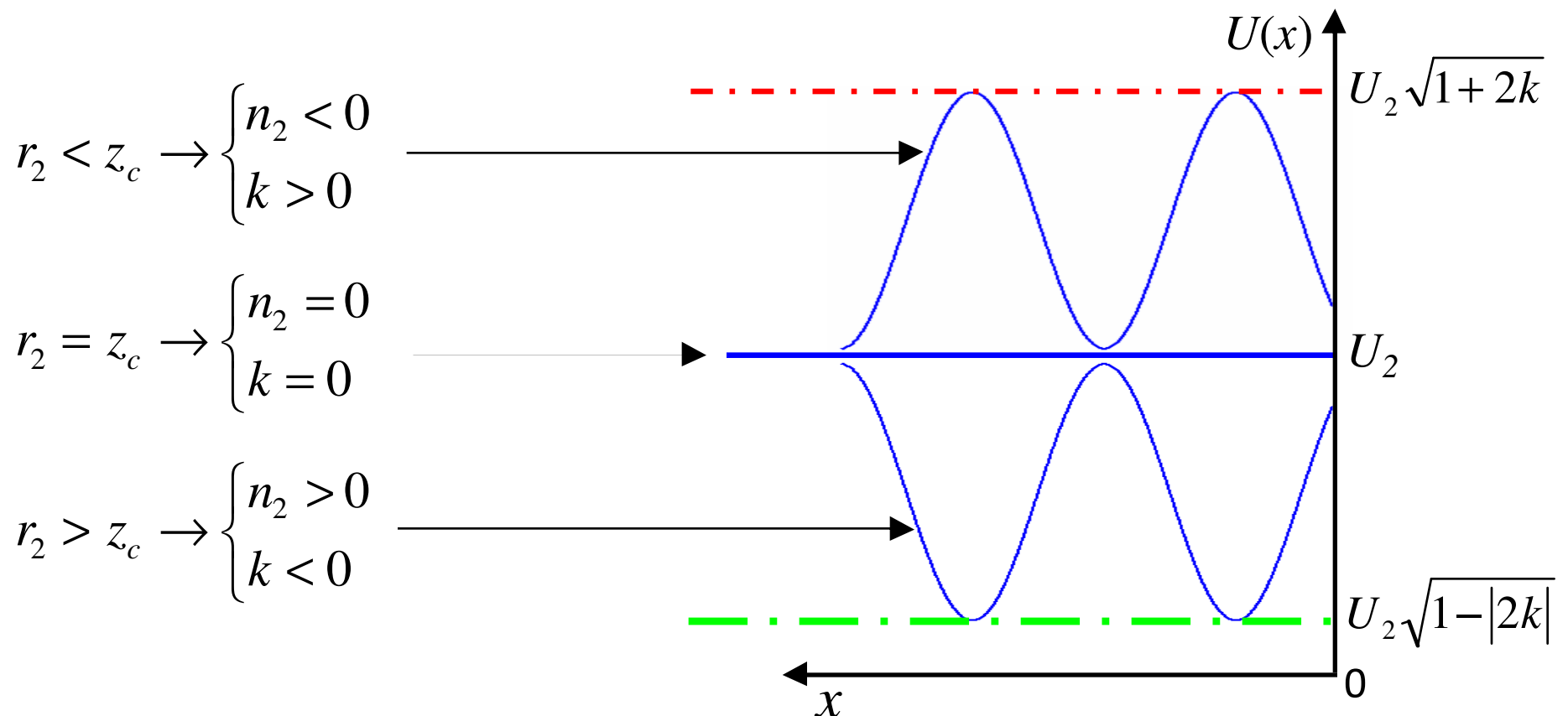
$$\rightarrow \dot{U}(x) = U_2 [\cos \beta x + j(1+m) \sin \beta x] \rightarrow U(x) = \sqrt{U_2^2 [\cos^2 \beta x + (1+m)^2 \sin^2 \beta x]}$$

$$\rightarrow U(x) = \sqrt{U_2^2 [\cos^2 \beta x + \sin^2 \beta x + (m^2 + 2m) \sin^2 \beta x]}$$

$$\left. \begin{array}{l} = \sqrt{U_2^2 \left[ 1 + \left( \frac{m^2 + 2m}{2} \right) (1 - \cos 2\beta x) \right]} \\ \text{Đặt } k = \frac{m^2 + 2m}{2} = \frac{z_c^2 - r_2^2}{2r_2^2} \end{array} \right\} \rightarrow U(x) = U_2 \sqrt{1 + k(1 - \cos 2\beta x)}$$

# Đường dây dài đều không tiêu tán (10)

$$Z_2 = r_2 \rightarrow \begin{cases} n_2 = \frac{Z_2 - Z_c}{Z_2 + Z_c} = \frac{r_2 - z_c}{r_2 + z_c} = \frac{\dot{U}^-}{\dot{U}^+} & , z_c = \sqrt{L/C} \\ U(x) = U_2 \sqrt{1 + k(1 - \cos 2\beta x)} & , k = \frac{m^2 + 2m}{2} = \frac{z_c^2 - r_2^2}{2r_2^2} \end{cases}$$



# Đường dây dài đều không tiêu tán (11)

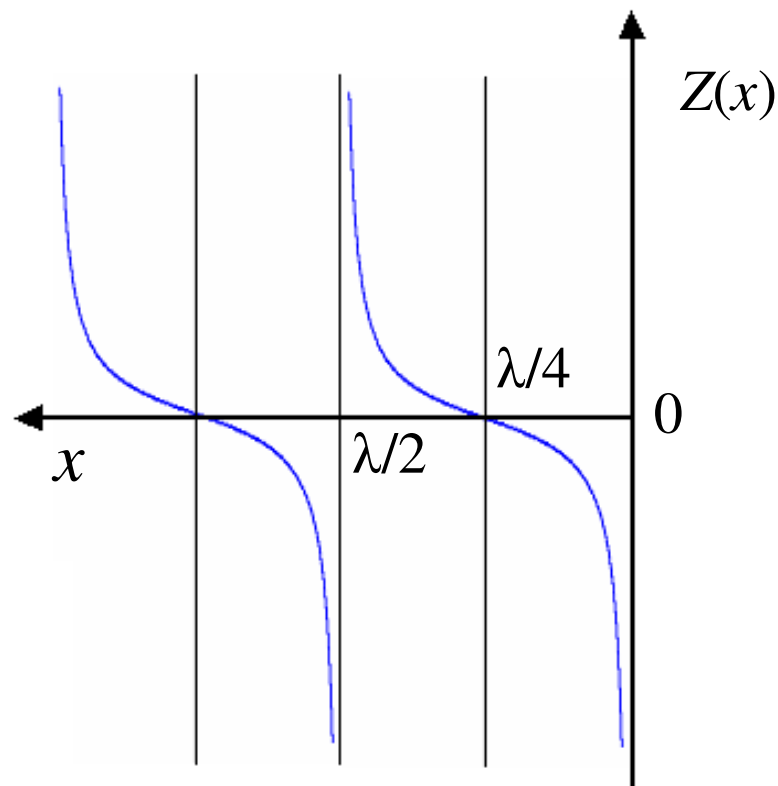
$$\begin{cases} \dot{U}(x) = \dot{U}_2 \cos \beta x + jz_c \dot{I}_2 \sin \beta x \\ \dot{I}(x) = j \frac{\dot{U}_2}{z_c} \sin \beta x + \dot{I}_2 \cos \beta x \end{cases}$$

$$\text{Tổng trở vào } Z(x) = \frac{\dot{U}_2 \cos \beta x + jz_c \dot{I}_2 \sin \beta x}{j \frac{\dot{U}_2}{z_c} \sin \beta x + \dot{I}_2 \cos \beta x} \left. \begin{matrix} \dot{U}_2 = Z_2 \dot{I}_2 \end{matrix} \right\} \rightarrow Z(x) = \frac{Z_2 \dot{I}_2 \cos \beta x + jz_c \dot{I}_2 \sin \beta x}{j \frac{Z_2 \dot{I}_2}{z_c} \sin \beta x + \dot{I}_2 \cos \beta x} = z_c \frac{Z_2 + jz_c \operatorname{tg} \beta x}{z_c + jZ_2 \operatorname{tg} \beta x}$$

- Nếu  $Z_2 = z_c$  (hoà hợp tải)  $\rightarrow Z(x) = z_c$
- Nếu  $Z_2 \rightarrow \infty$  (hở mạch cuối dây)  $\rightarrow Z(x) = -jz_c \cot \beta x$
- Nếu  $Z_2 = 0$  (ngắn mạch cuối dây)  $\rightarrow Z(x) = jz_c \operatorname{tg} \beta x$

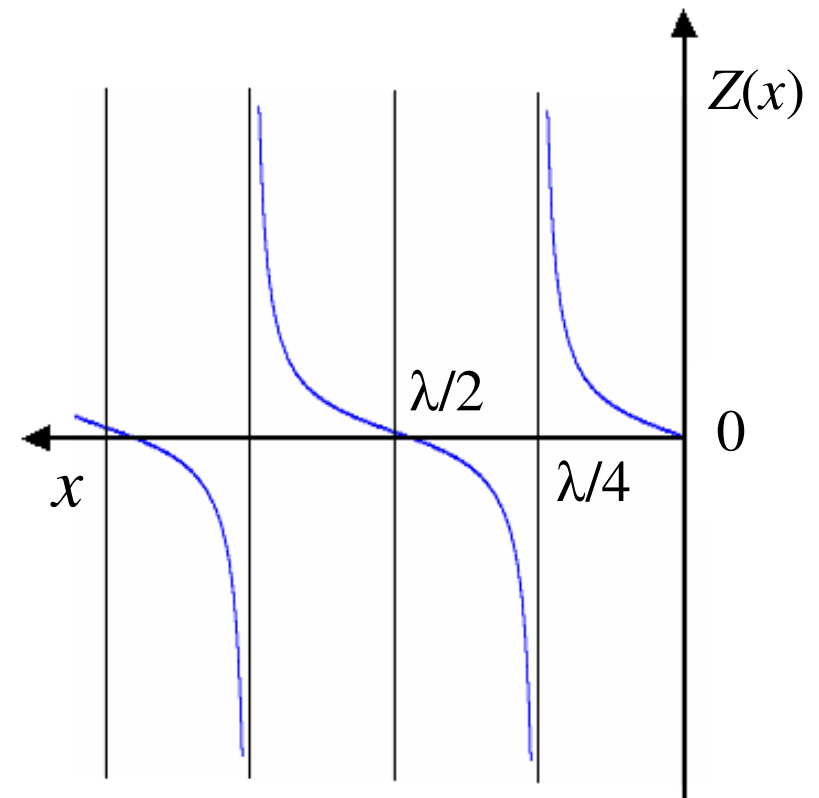


# Đường dây dài đều không tiêu tán (12)



Hở mạch cuối dây

$$Z(x) = -jz_c \cot \beta x$$



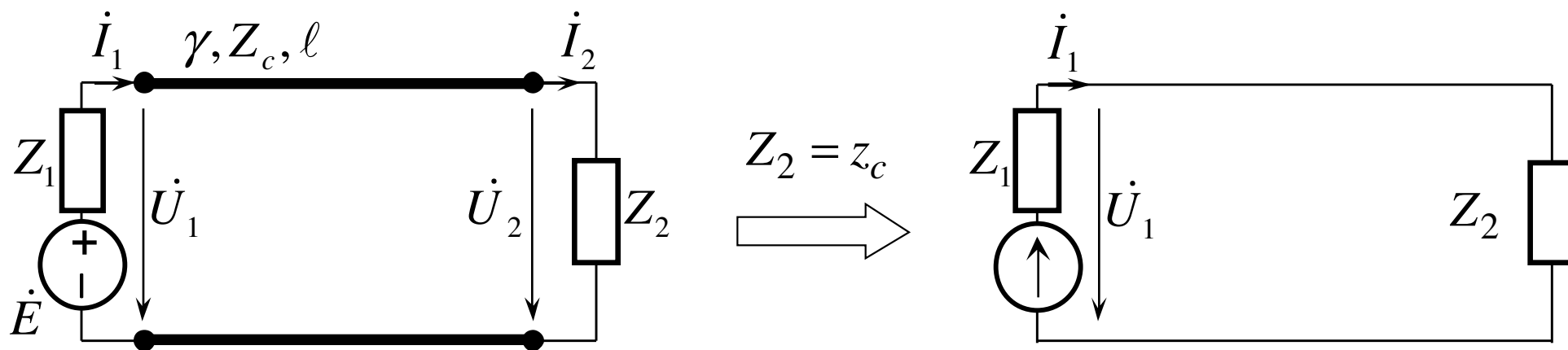
Ngắn mạch cuối dây

$$Z(x) = jz_c \tan \beta x$$

# Đường dây dài đều không tiêu tán (13)

$$Z(x) = z_c \frac{Z_2 \cos \beta x + j z_c \sin \beta x}{z_c \cos \beta x + j Z_2 \sin \beta x}$$

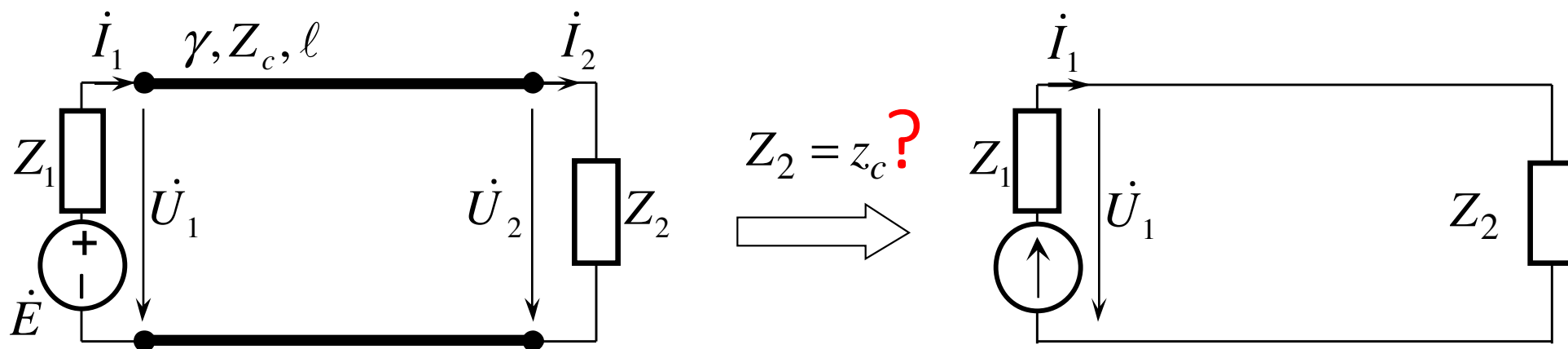
$$Z_2 = z_c \rightarrow Z(x) = z_c \frac{z_c \cos \beta x + j z_c \sin \beta x}{z_c \cos \beta x + j z_c \sin \beta x} = z_c$$



# Đường dây dài đều không tiêu tán (14)

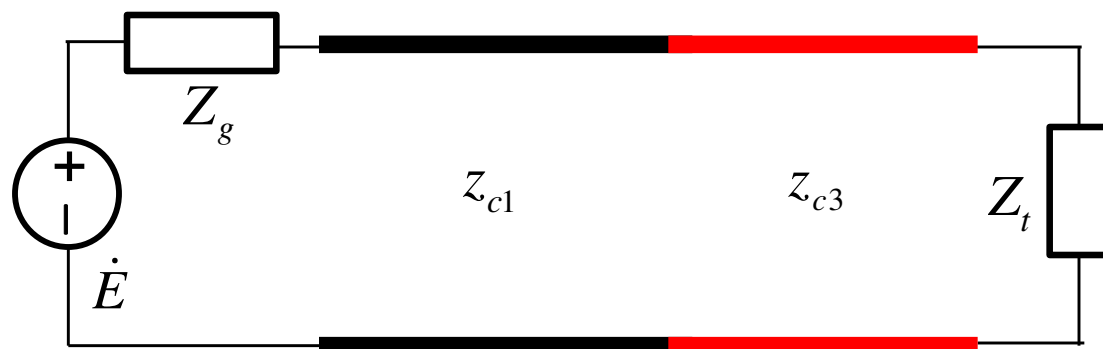
$$Z_2 = z_c \rightarrow Z(x) = z_c \frac{z_c \cos \beta x + j z_c \sin \beta x}{z_c \cos \beta x + j z_c \sin \beta x} = z_c$$

$$\begin{cases} \beta = \frac{2\pi}{\lambda} \\ \ell = \frac{m\lambda}{2} \end{cases} (m = 0, 1, 2, \dots) \rightarrow \beta \ell = m\pi \rightarrow Z_v = Z(x = \ell) = Z_2$$



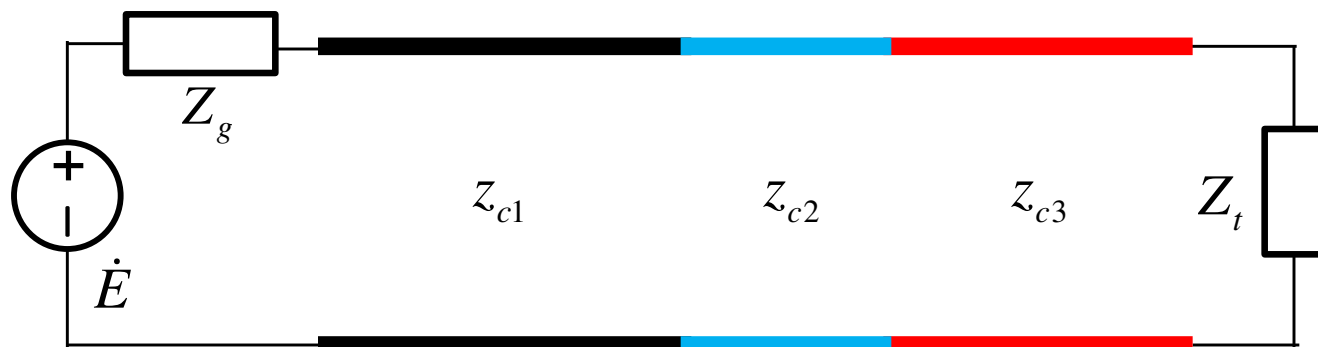
# Đường dây dài đều không tiêu tán (15)

$$n_{1-3} = \frac{Z_{c3} - Z_{c1}}{Z_{c3} + Z_{c1}}$$



$$Z_{v2} = Z_{c2} \frac{Z_{c3} \cos(\beta_2 \ell_2) + jZ_{c2} \sin(\beta_2 \ell_2)}{Z_{c2} \cos(\beta_2 \ell_2) + jZ_{c3} \sin(\beta_2 \ell_2)} \rightarrow Z_{v2} = \frac{Z_{c2}^2}{Z_{c3}} \left\{ \begin{array}{l} \ell_2 = \lambda / 4 \end{array} \right. \rightarrow Z_{c2} = \sqrt{Z_{c1} Z_{c3}}$$

$$n_{1-2} = \frac{Z_{v2} - Z_{c1}}{Z_{v2} + Z_{c1}} = 0 \rightarrow Z_{v2} - Z_{c1} = 0 \rightarrow Z_{v2} = Z_{c1}$$



# Lý thuyết mạch II

I. Quá trình quá độ

II. Mạch phi tuyến

**III. Đường dây dài**

1. Giới thiệu

**2. Chế độ xác lập điều hòa**

- a) Điện áp và dòng điện
- b) Các thông số đặc trưng
- c) Phản xạ sóng
- d) Phân bố dạng hyperbole
- e) Đường dây dài đều không tiêu tán
- f) Mạng hai cửa tương đương**

3. Chế độ quá độ

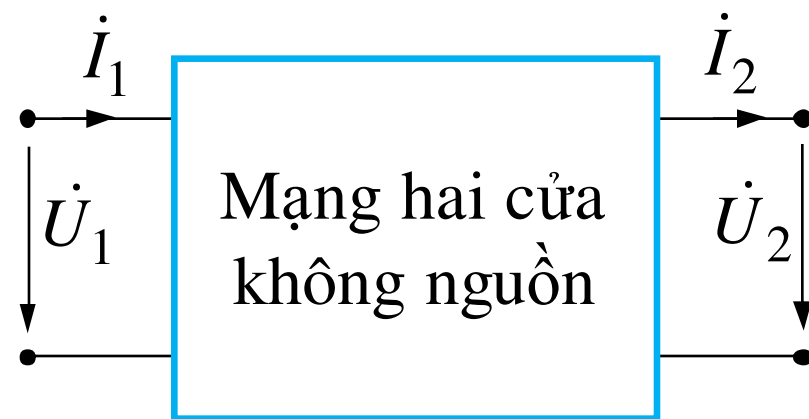
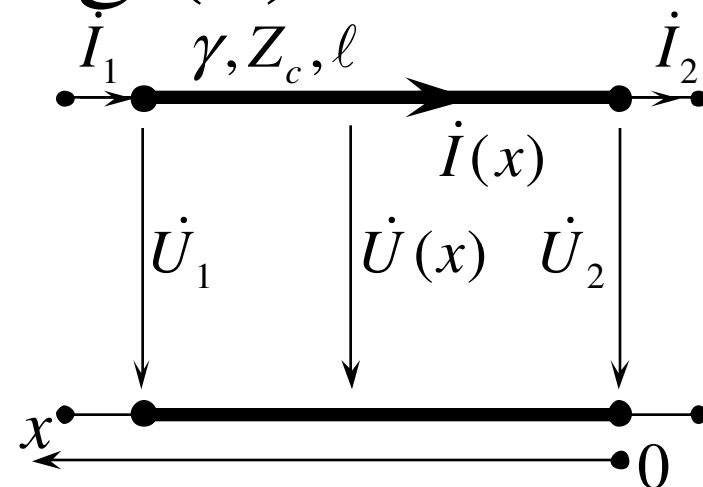
# Mạng hai cửa tương đương (1)

$$\begin{cases} \dot{U}(x) = \dot{U}_2 \operatorname{ch}(\gamma x) + Z_c \dot{I}_2 \operatorname{sh}(\gamma x) \\ \dot{I}(x) = \frac{\dot{U}_2}{Z_c} \operatorname{sh}(\gamma x) + \dot{I}_2 \operatorname{ch}(\gamma x) \end{cases}$$

$$\rightarrow \begin{cases} \dot{U}_1 = \operatorname{ch}(\gamma \ell) \dot{U}_2 + Z_c \operatorname{sh}(\gamma \ell) \dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 = \frac{\operatorname{sh}(\gamma \ell)}{Z_c} \dot{U}_2 + \operatorname{ch}(\gamma \ell) \dot{I}_2 \end{cases}$$

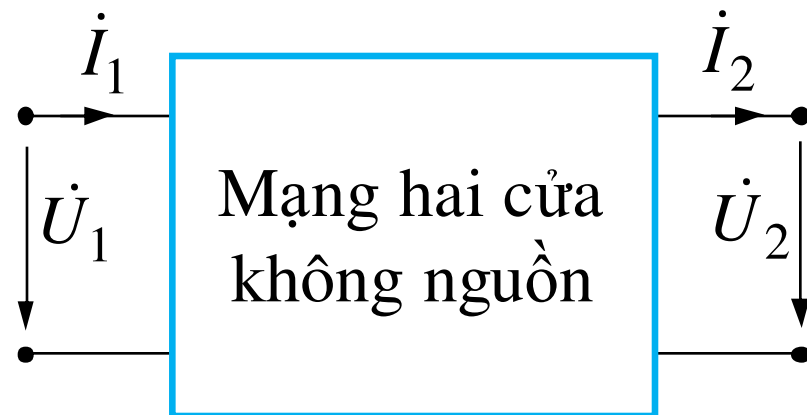
$$\begin{cases} \dot{U}_1 = A_{11} \dot{U}_2 + A_{12} \dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 = A_{21} \dot{U}_2 + A_{22} \dot{I}_2 \end{cases}$$

$$\rightarrow \mathbf{A} = \begin{bmatrix} \operatorname{ch}(\gamma \ell) & Z_c \operatorname{sh}(\gamma \ell) \\ \operatorname{sh}(\gamma \ell) / Z_c & \operatorname{ch}(\gamma \ell) \end{bmatrix}$$



# Mạng hai cửa tương đương (2)

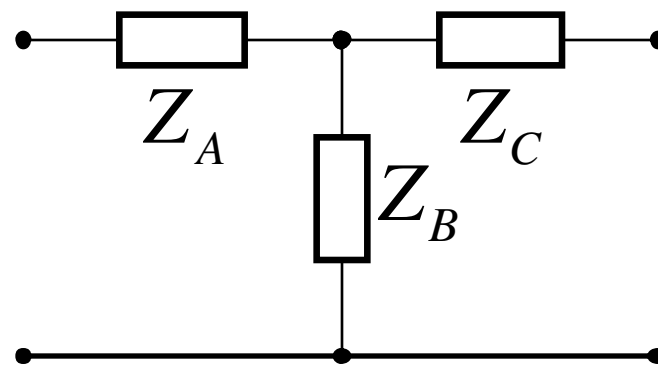
$$\begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{I}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{ch}(\gamma\ell) & Z_c \text{sh}(\gamma\ell) \\ \text{sh}(\gamma\ell) / Z_c & \text{ch}(\gamma\ell) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix}$$



$$Z_A = \frac{A_{11} - 1}{A_{21}} = Z_c \frac{\text{ch}(\gamma\ell) - 1}{\text{sh}(\gamma\ell)}$$

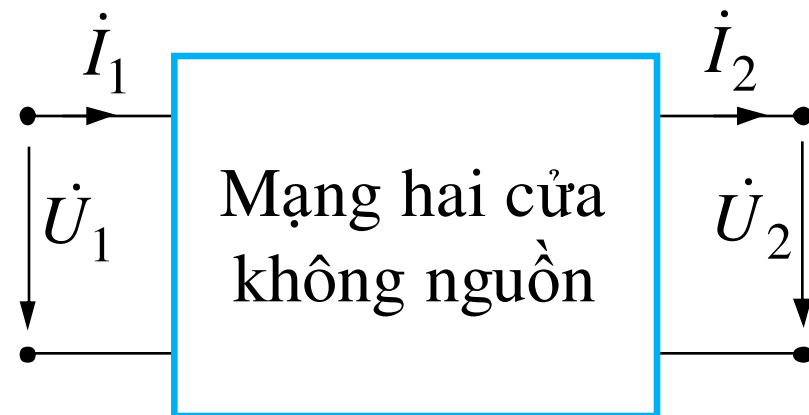
$$Z_B = \frac{1}{A_{21}} = \frac{Z_c}{\text{sh}(\gamma\ell)}$$

$$Z_C = Z_A$$



# Mạng hai cửa tương đương (3)

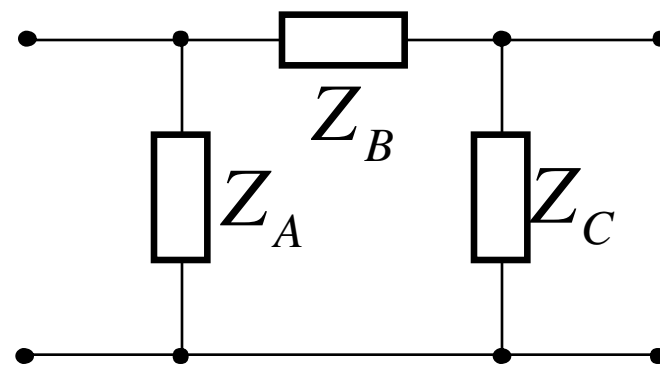
$$\begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{I}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{ch}(\gamma\ell) & Z_c \text{sh}(\gamma\ell) \\ \text{sh}(\gamma\ell) / Z_c & \text{ch}(\gamma\ell) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix}$$



$$Z_A = \frac{A_{12}}{A_{11} - 1} = Z_c \frac{\text{sh}(\gamma\ell)}{\text{ch}(\gamma\ell) - 1}$$

$$Z_B = A_{12} = Z_c \text{sh}(\gamma\ell)$$

$$Z_C = Z_A$$





# Mạng hai cửa tương đương (4)

VD2

Đường dây dài đều có  $\ell = 100 \text{ km}$ ;  $R = 3 \Omega/\text{km}$ ;  $L = 5 \text{ mH/km}$ ;  $G = 0$ ;  $C = 4 \cdot 10^{-9} \text{ F/km}$ ;  $f = 50 \text{ Hz}$ ;  $E = 220 \text{ kV}$ ;  $Z_1 = 50 \Omega$ ;  $Z_2 = 500 \Omega$ . Tính công suất của nguồn?

Cách 3

$$P_E = \text{Re}\{\dot{E}\hat{I}_1\}$$

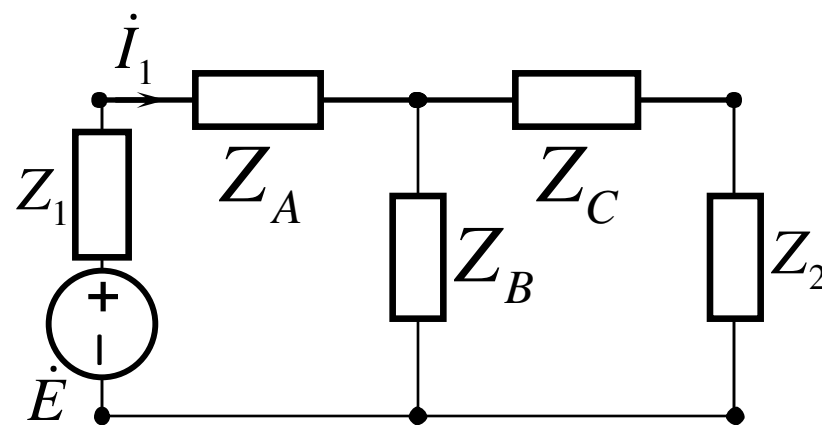
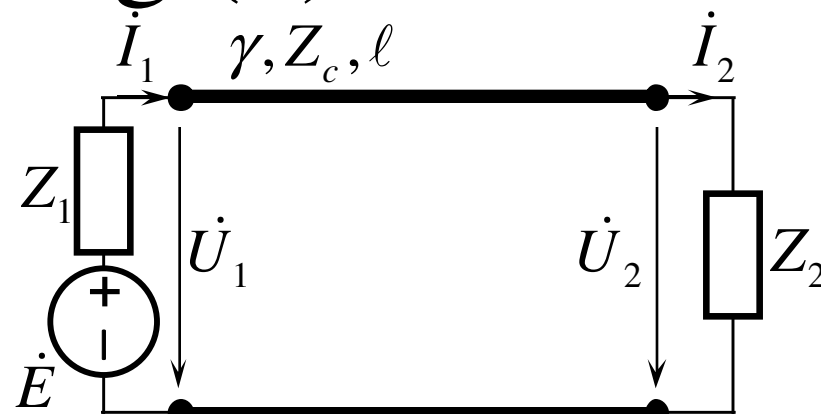
$$\gamma = \sqrt{(3 + j314.5 \cdot 10^{-3})(j314.4 \cdot 10^{-9})} = 0,0011 + j0,0018 \text{ (1/km)}$$

$$Z_c = \sqrt{(3 + j314.5 \cdot 10^{-3})/(j314.4 \cdot 10^{-9})} = 1405 - j850 \Omega$$

$$Z_A = \frac{A_{11} - 1}{A_{21}} = Z_c \frac{\text{ch}(\gamma\ell) - 1}{\text{sh}(\gamma\ell)} = 150,50 + j78,20 \Omega$$

$$Z_B = \frac{1}{A_{21}} = \frac{Z_c}{\text{sh}(\gamma\ell)} = 70,16 - j433,71 \Omega$$

$$Z_C = Z_A$$



# Mạng hai cửa tương đương (5)

VD2

Đường dây dài đều có  $\ell = 100 \text{ km}$ ;  $R = 3 \Omega/\text{km}$ ;  $L = 5 \text{ mH/km}$ ;  $G = 0$ ;  $C = 4 \cdot 10^{-9} \text{ F/km}$ ;  $f = 50 \text{ Hz}$ ;  $E = 220 \text{ kV}$ ;  $Z_1 = 50 \Omega$ ;  $Z_2 = 500 \Omega$ . Tính công suất của nguồn?

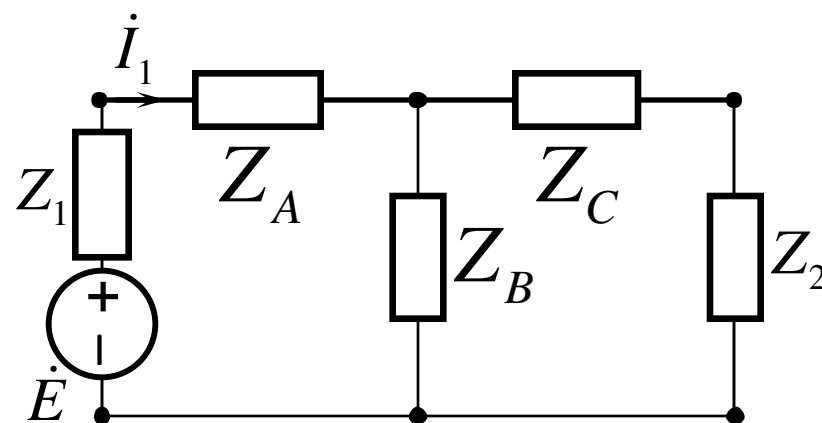
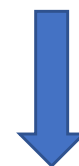
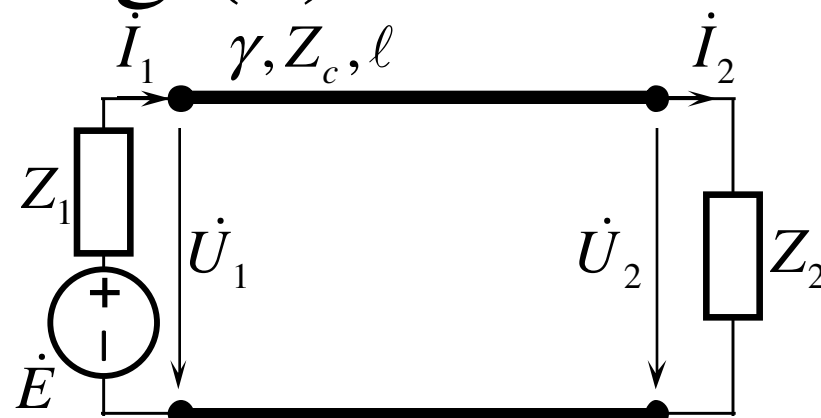
Cách 3

$$P_E = \text{Re}\{\dot{E}\hat{I}_1\}$$

$$Z_A = Z_C = 150,50 + j78,20 \Omega; \quad Z_B = -50,23 - j798,38 \Omega$$

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{E}}{Z_1 + Z_A + \frac{Z_B(Z_C + Z_2)}{Z_B + Z_C + Z_2}} = 0,25 - j0,030 \text{ kA}$$

$$\rightarrow P_E = \text{Re}\{220(0,25 + j0,030)\} = \boxed{55,50 \text{ MW}}$$



# Mạng hai cửa tương đương (6)

## VD3

$Z_{c1} = 100 + j200 \Omega$ ;  $\gamma_1 = 0,001 + j0,002$  1/km;  $\ell_1 = 100$  km;  $Z_{c2} = 300 \Omega$ ;  $\gamma_2 = j0,004$  1/km;  $\ell_2 = 150$  km;  $Z_1 = 50 \Omega$ ;  $Z_3 = 500 \Omega$ ;  $E = 220$  kV. Tính dòng điện qua nguồn?

### Cách 3

$$Z_{Ađ} = Z_{c1} \frac{\text{sh}(\gamma_1 \ell_1)}{\text{ch}(\gamma_1 \ell_1) - 1} = 1995 + j6,67 \Omega$$

$$Z_{Bđ} = Z_{c1} \text{sh}(\gamma_1 \ell_1) = -30,12 + j39,60 \Omega$$

$$Z_{Cđ} = Z_{Ađ} = 1995 + j6,67 \Omega$$

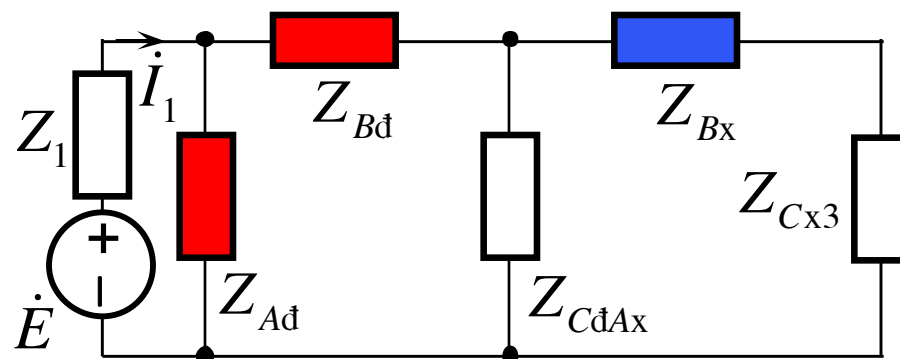
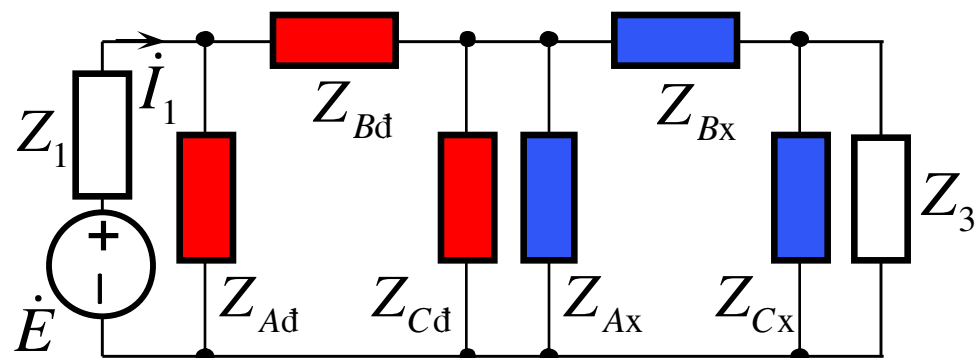
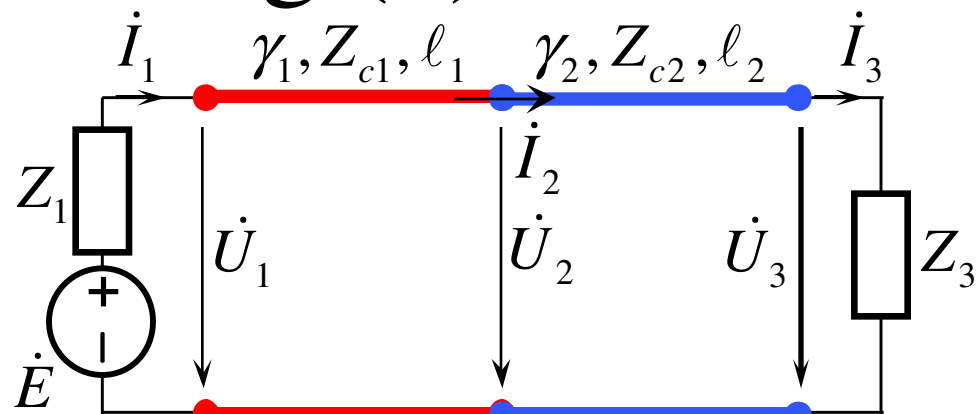
$$Z_{Ax} = Z_{c2} \frac{\text{sh}(\gamma_2 \ell_2)}{\text{ch}(\gamma_2 \ell_2) - 1} = -j969,82 \Omega$$

$$Z_{Bx} = Z_{c2} \text{sh}(\gamma_2 \ell_2) = j169,39 \Omega$$

$$Z_{Cx} = Z_{Ax} = -j969,82 \Omega$$

$$Z_{Cx3} = \frac{Z_{Cx} Z_3}{Z_{Cx} + Z_3} = 395,01 - j203,65 \Omega$$

$$Z_{CđAx} = \frac{Z_{Cđ} Z_{Ax}}{Z_{Cđ} + Z_{Ax}} = 382,34 - j785,23 \Omega$$



# Mạng hai cửa tương đương (7)

VD3

$Z_{c1} = 100 + j200 \Omega$ ;  $\gamma_1 = 0,001 + j0,002$  1/km;  $\ell_1 = 100$  km;  $Z_{c2} = 300 \Omega$ ;  $\gamma_2 = j0,004$  1/km;  $\ell_2 = 150$  km;  $Z_1 = 50 \Omega$ ;  $Z_3 = 500 \Omega$ ;  $E = 220$  kV. Tính dòng điện qua nguồn?

Cách 3

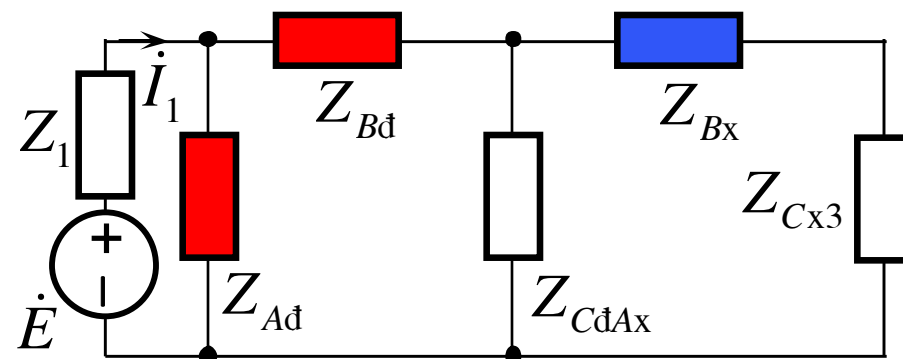
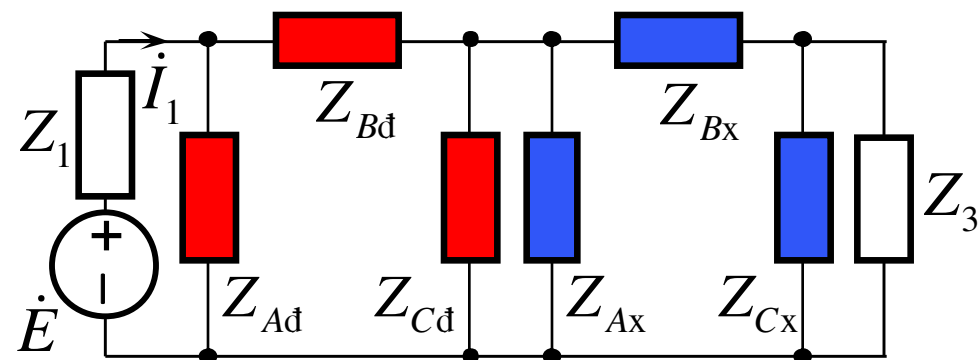
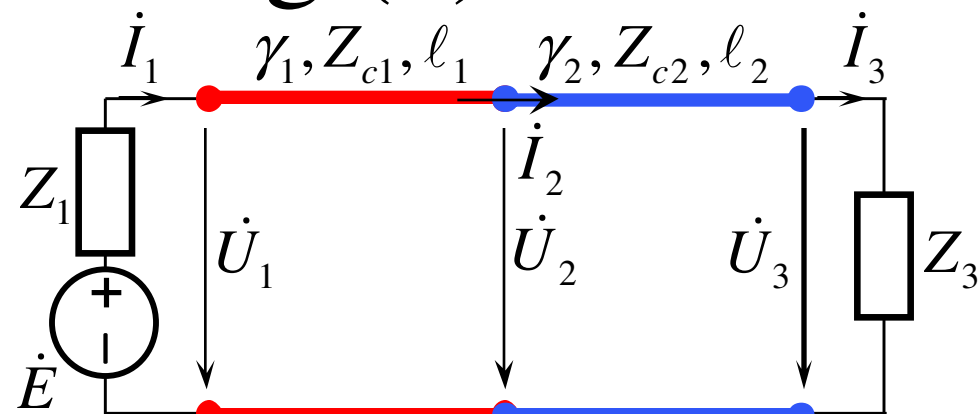
$$Z_a = \frac{(Z_{Bx} + Z_{Cx3})Z_{CdAx}}{Z_{Bx} + Z_{Cx3} + Z_{CdAx}} + Z_{Bđ}$$

$$= 253,16 - j7,64 \Omega$$

$$Z = \frac{Z_{Ad}Z_a}{Z_{Ad} + Z_a} + Z_1$$

$$= 276,80 - j60,98 \Omega$$

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{E}}{Z} = \boxed{758,00 + j166,99 \text{ A}}$$



# Mạng hai cửa tương đương (8)

VD3

$Z_{c1} = 100 + j200 \Omega$ ;  $\gamma_1 = 0,001 + j0,002$  1/km;  $\ell_1 = 100$  km;  $Z_{c2} = 300 \Omega$ ;  $\gamma_2 = j0,004$  1/km;  $\ell_2 = 150$  km;  $Z_1 = 50 \Omega$ ;  $Z_3 = 500 \Omega$ ;  $E = 220$  kV. Tính dòng điện qua nguồn?

Cách 4

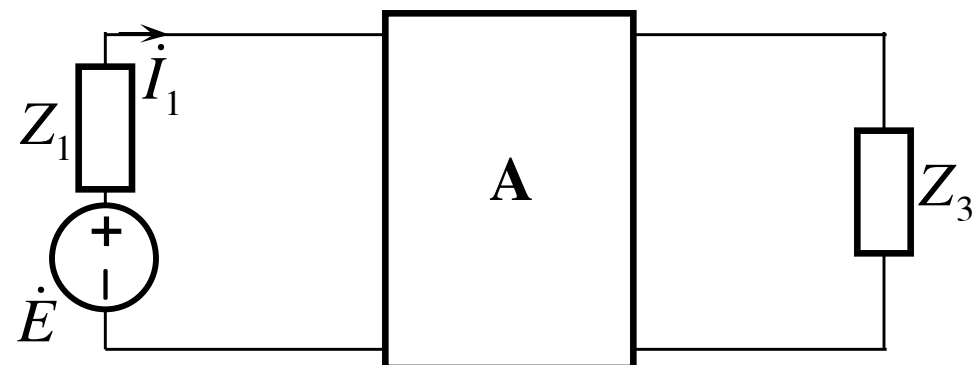
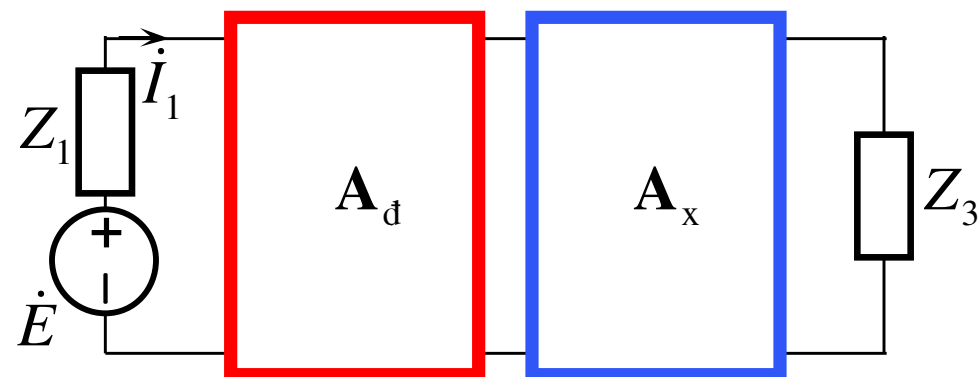
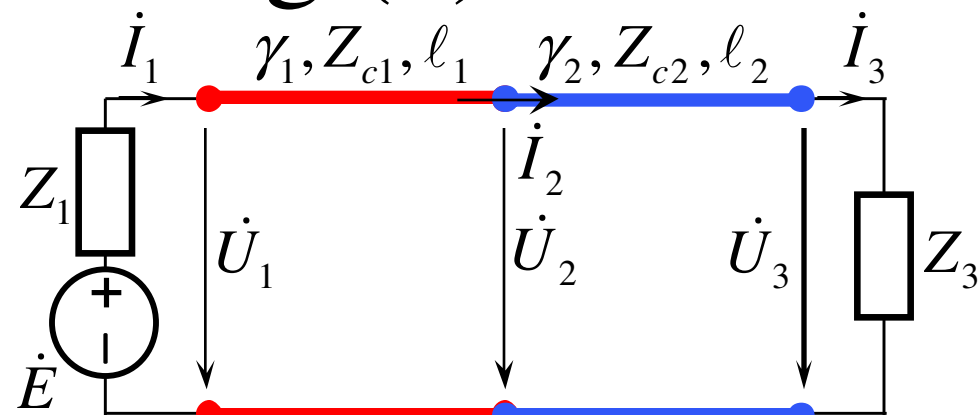
$$\mathbf{A}_d = \begin{bmatrix} \text{ch}(\gamma_1 \ell_1) & Z_{c1} \text{sh}(\gamma_1 \ell_1) \\ \text{sh}(\gamma_1 \ell_1) / Z_{c1} & \text{ch}(\gamma_1 \ell_1) \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0,985 + j0,020 & -30,16 + j39,60 \\ 0,001 & 0,985 + j0,020 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{A}_x = \begin{bmatrix} \text{ch}(\gamma_2 \ell_2) & Z_{c2} \text{sh}(\gamma_2 \ell_2) \\ \text{sh}(\gamma_2 \ell_2) / Z_{c2} & \text{ch}(\gamma_2 \ell_2) \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0,83 & j169,39 \\ 0 & 0,83 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{A} = \mathbf{A}_d \mathbf{A}_x = \begin{bmatrix} 0,74 - j0,04 & -28,23 + j199,53 \\ 0 & 0,81 + j0,18 \end{bmatrix}$$



# Mạng hai cửa tương đương (9)

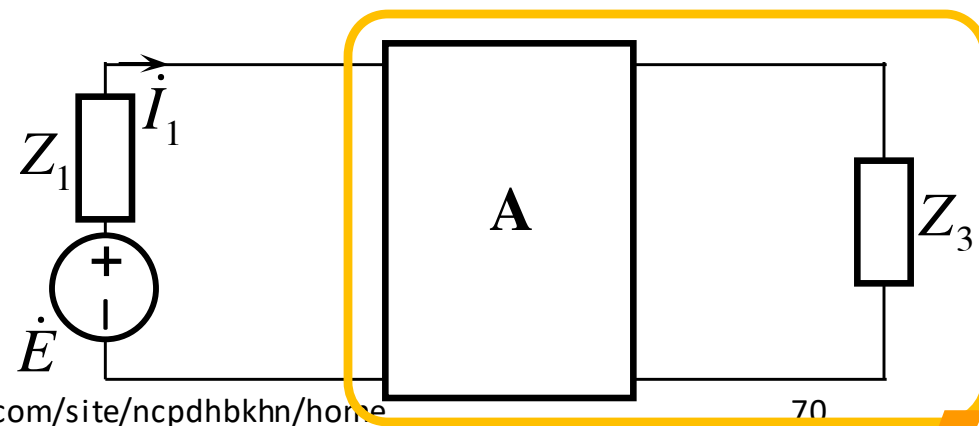
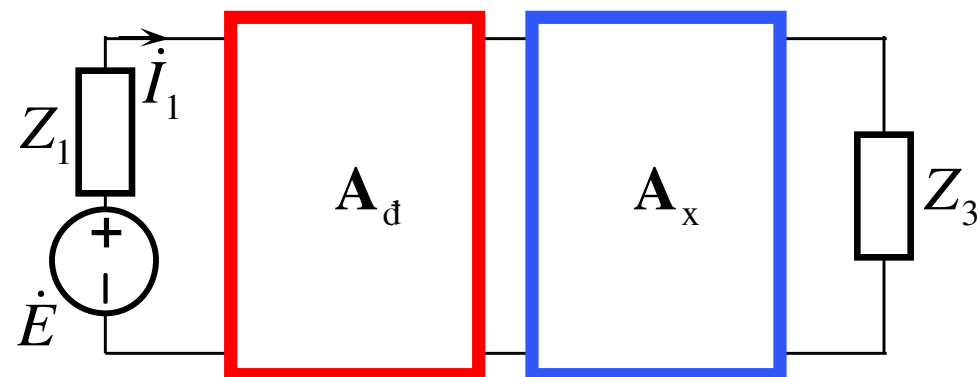
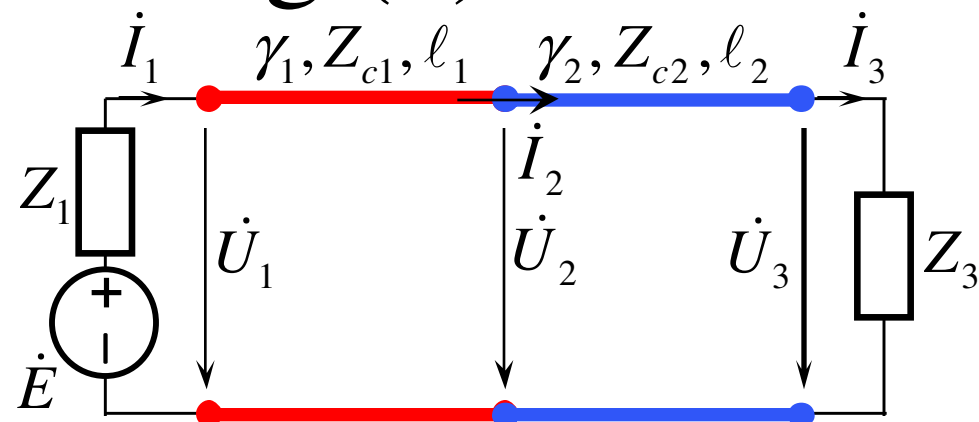
VD3

$Z_{c1} = 100 + j200 \Omega$ ;  $\gamma_1 = 0,001 + j0,002$  1/km;  $\ell_1 = 100$  km;  $Z_{c2} = 300 \Omega$ ;  $\gamma_2 = j0,004$  1/km;  $\ell_2 = 150$  km;  $Z_1 = 50 \Omega$ ;  $Z_3 = 500 \Omega$ ;  $E = 220$  kV. Tính dòng điện qua nguồn?

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0,74 - j0,04 & -28,23 + j199,53 \\ 0 & 0,81 + j0,18 \end{bmatrix} \quad \text{Cách 4}$$

$$Z_{\text{vào}} = \frac{A_{11}Z_3 + A_{12}}{A_{21}Z_3 + A_{22}} = 226,80 - j60,98 \Omega$$

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{E}}{Z_1 + Z_{\text{vào}}} = \boxed{758,00 + j166,99 \text{ A}}$$



# Lý thuyết mạch II

I. Quá trình quá độ

II. Mạch phi tuyến

**III. Đường dây dài**

1. Giới thiệu

2. Chế độ xác lập điều hòa

**3. Chế độ quá độ**

a) Điện áp và dòng điện

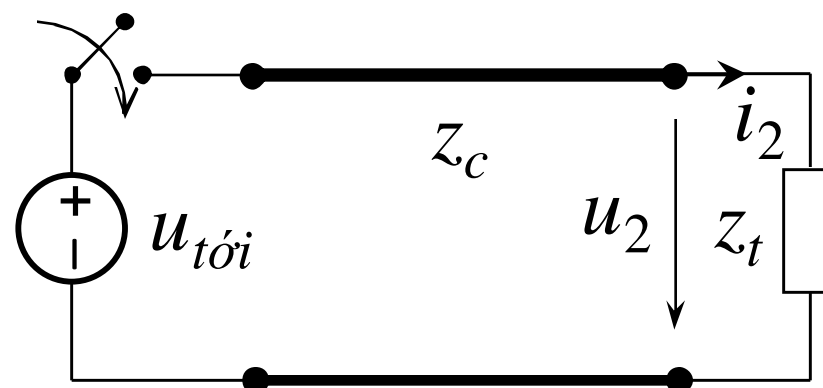
b) Phương pháp sơ đồ tương đương

c) Phản xạ nhiều lần

d) Đóng cắt tải

# Điện áp và dòng điện (1)

- Quá trình quá độ xuất hiện sau khi có thay đổi về cấu trúc hoặc thông số của mạch đường dây dài.
- Chỉ xét bài toán đóng nguồn áp vào đường dây dài đều không tiêu tán.



$$\begin{cases} -\frac{\partial u}{\partial x} = L \frac{\partial i}{\partial t} \\ -\frac{\partial i}{\partial x} = C \frac{\partial u}{\partial t} \end{cases}$$



# Điện áp và dòng điện (2)

$$\left\{ \begin{array}{l} -\frac{\partial u}{\partial x} = L \frac{\partial i}{\partial t} \\ -\frac{\partial i}{\partial x} = C \frac{\partial u}{\partial t} \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} -\frac{dU(x, p)}{dx} = pLI(x, p) - Li(x, 0) \\ -\frac{dI(x, p)}{dx} = pCU(x, p) - Cu(x, 0) \end{array} \right. \\ Li(x, 0) = 0; \quad Cu(x, 0) = 0$$

$$\rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \frac{d^2 U(x, p)}{dx^2} = p^2 LCU(x, p) \\ \frac{d^2 I(x, p)}{dx^2} = p^2 LCI(x, p) \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} U(x, p) = A_1(x, p)e^{-p\sqrt{LC}x} + A_2(x, p)e^{p\sqrt{LC}x} \\ I(x, p) = \frac{A_1}{\sqrt{L/C}} e^{-p\sqrt{LC}x} - \frac{A_2}{\sqrt{L/C}} e^{p\sqrt{LC}x} \end{array} \right.$$

$$\rightarrow \left\{ \begin{array}{l} u(x, t) = u^+(t - \frac{x}{v}) + u^-(t + \frac{x}{v}) \\ i(x, t) = \frac{1}{Z_c} u^+(t - \frac{x}{v}) - \frac{1}{Z_c} u^-(t + \frac{x}{v}) = i^+(t - \frac{x}{v}) - i^-(t + \frac{x}{v}) \end{array} \right.$$

# Lý thuyết mạch II

I. Quá trình quá độ

II. Mạch phi tuyến

**III. Đường dây dài**

1. Giới thiệu

2. Chế độ xác lập điều hòa

**3. Chế độ quá độ**

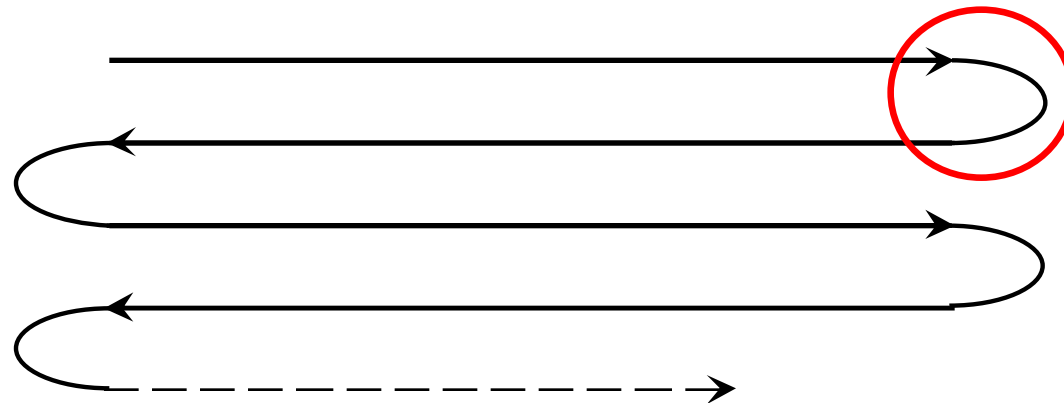
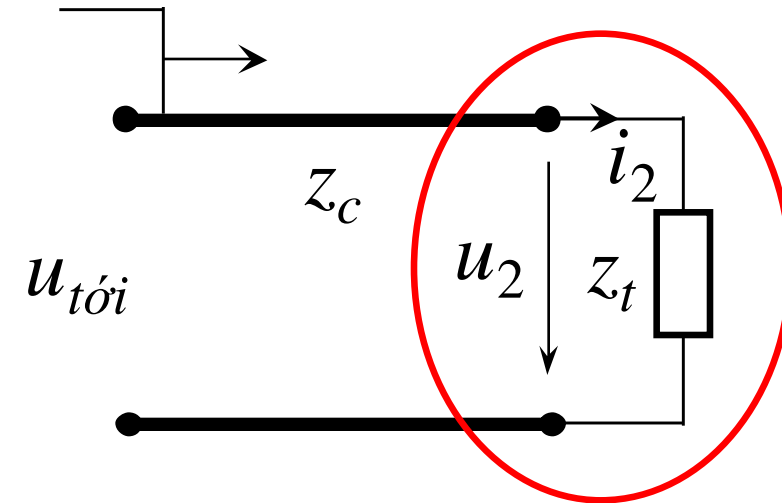
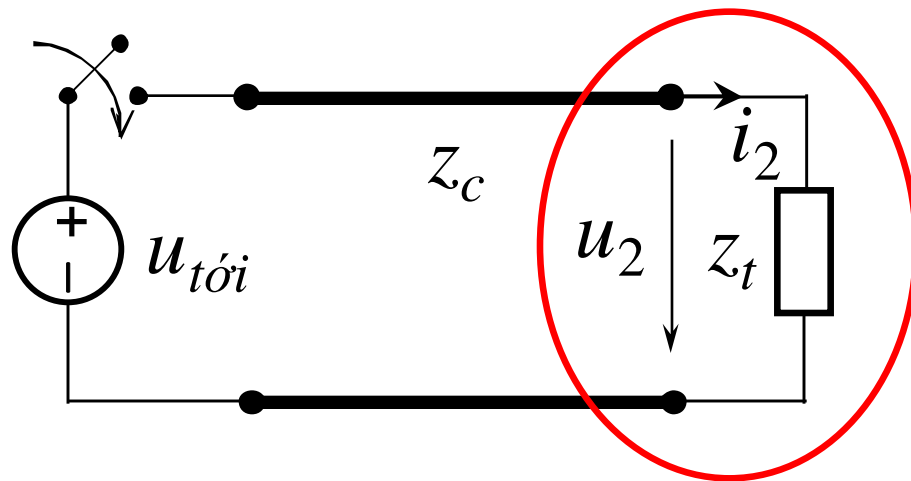
a) Điện áp và dòng điện

**b) Phương pháp sơ đồ tương đương**

c) Phản xạ nhiều lần

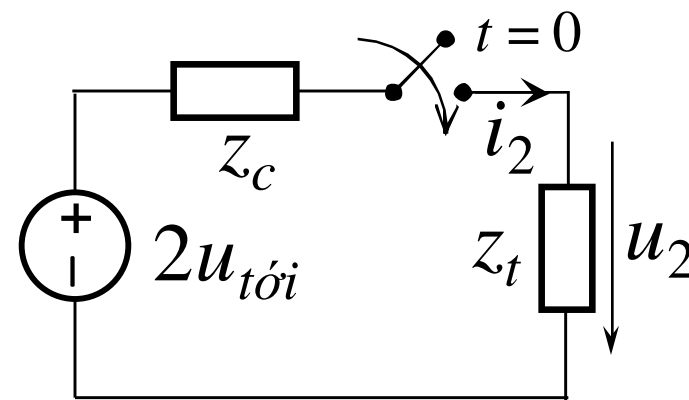
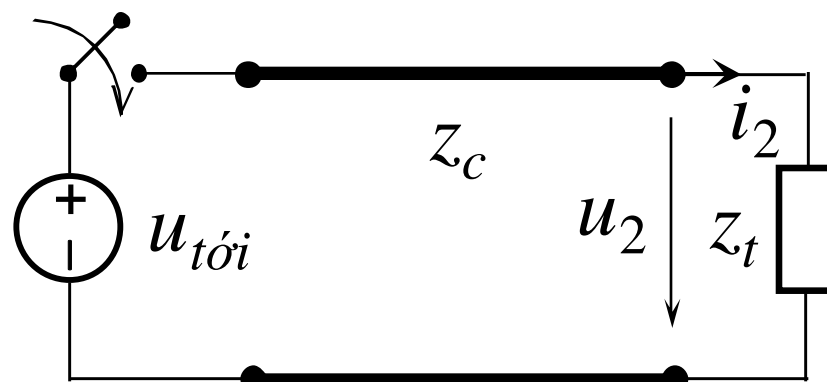
d) Đóng cắt tải

# Phương pháp sơ đồ tương đương (1)



# Phương pháp sơ đồ tương đương (2)

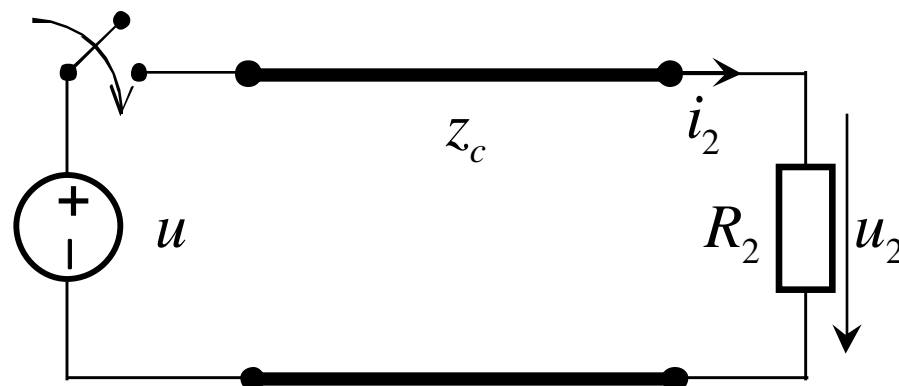
$$\begin{aligned} &\begin{cases} u(x,t) = u^+ + u^- \\ i(x,t) = i^+ - i^- \end{cases} \\ \rightarrow &\begin{cases} u_2 = u_{2tới} + u_{2phản xạ} \\ i_2 = i_{2tới} - i_{2phản xạ} \end{cases} \\ \rightarrow &\begin{cases} u_2 = u_{2tới} + u_{2phản xạ} \\ z_c i_2 = z_c i_{2tới} - z_c i_{2phản xạ} \end{cases} \\ \rightarrow &\begin{cases} u_2 = u_{2tới} + u_{2phản xạ} \\ z_c i_2 = u_{2tới} - u_{2phản xạ} \end{cases} + \\ &\boxed{2u_{2tới} = z_c i_2 + u_2} \end{aligned}$$



# Phương pháp sơ đồ tương đương (3)

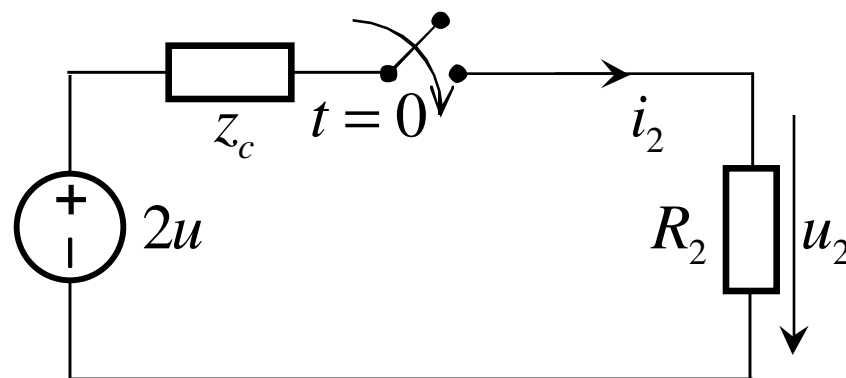
## VD1

$u = 100 \text{ kV}$ ;  $z_c = 400 \Omega$ ;  $R_2 = 600 \Omega$ ;  
Tính  $i_2$  &  $u_2$ ?



$$i_2 = \frac{2u}{z_c + R_2} = \frac{2 \cdot 100}{400 + 600} = \boxed{0,2 \text{ kA}}$$

$$u_2 = R_2 i_2 = 600 \cdot 0,2 = \boxed{120 \text{ kV}}$$



# Phương pháp sơ đồ tương đương (4)

VD2

Tính dòng & áp trên tải?

$$I(p) = \frac{200/s}{0,005s + 400 + 600}$$

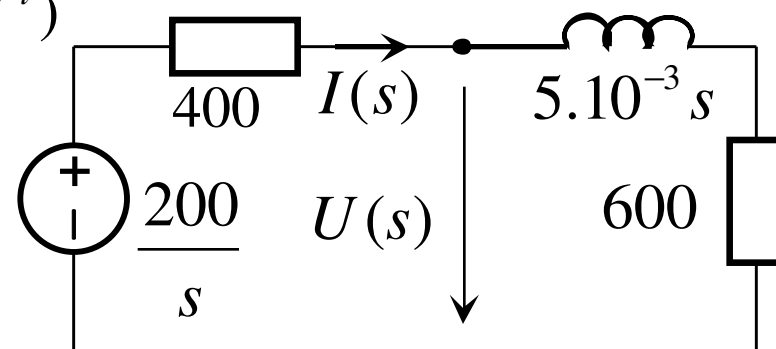
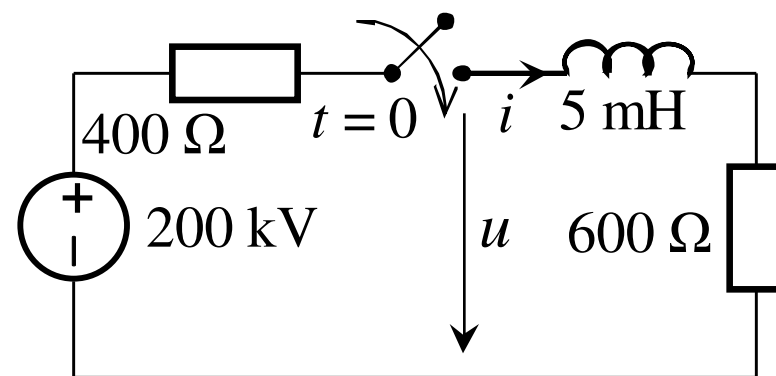
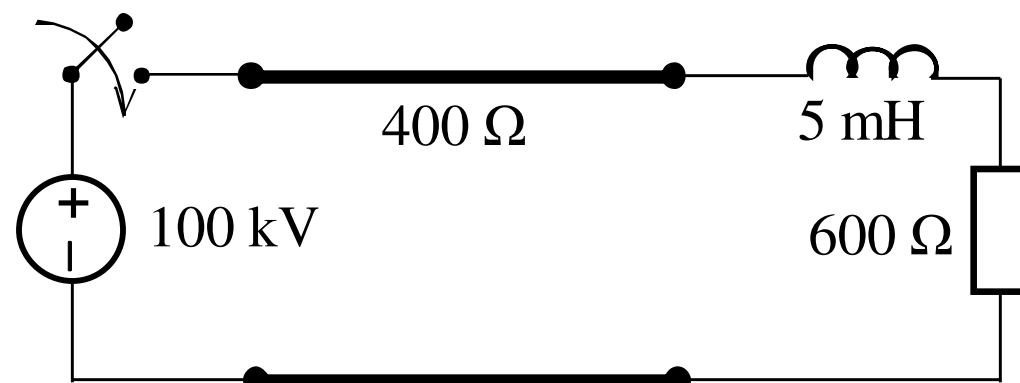
$$= \frac{4 \cdot 10^4}{p(p + 2 \cdot 10^5)} \text{ kA}$$

$$\rightarrow i(t) = 0,2(1 - e^{-200000t}) \text{ kA}$$

$$u = Li' + ri$$

$$= 5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,2(2 \cdot 10^5 e^{-2 \cdot 10^5 t}) + 600 \cdot 0,2(1 - e^{-2 \cdot 10^5 t})$$

$$= 120 + 80e^{-2 \cdot 10^5 t} \text{ kV}$$



# Phương pháp sơ đồ tương đương (5)

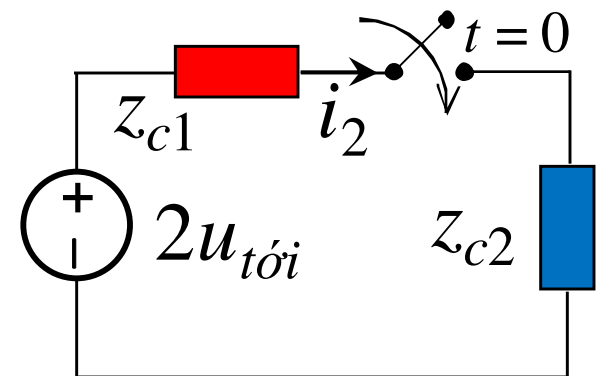
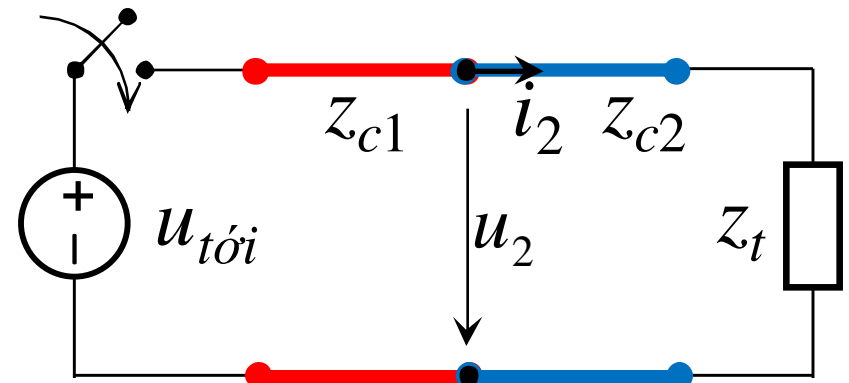
$$\begin{cases} u_2 = u_{2tới} + u_{2phản\ xạ} \\ i_2 = i_{2tới} - i_{2phản\ xạ} \end{cases}$$

$$\rightarrow \begin{cases} z_{c2}i_2 = u_{2tới} + u_{2phản\ xạ} \\ z_{c1}i_2 = z_{c1}i_{2tới} - z_{c1}i_{2phản\ xạ} \end{cases}$$

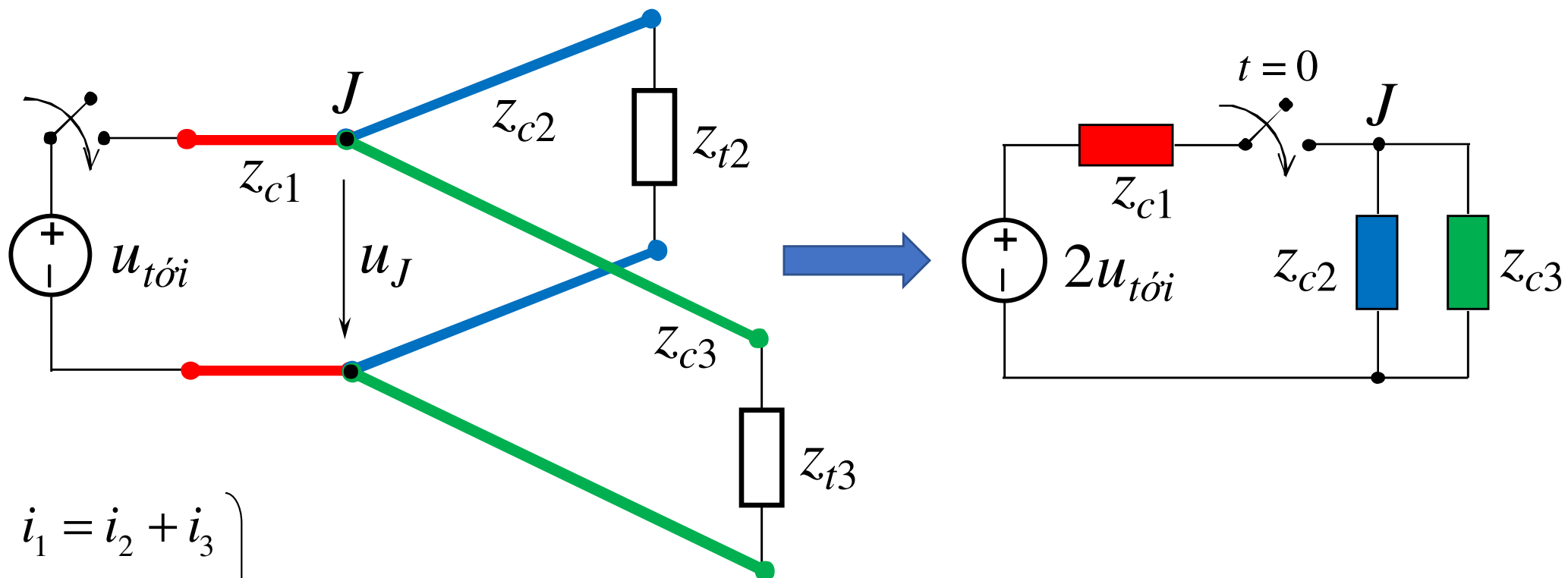
$$\rightarrow \begin{cases} z_{c2}i_2 = u_{2tới} + u_{2phản\ xạ} \\ z_{c1}i_2 = u_{2tới} - u_{2phản\ xạ} \end{cases} +$$


---


$$z_{c2}i_2 + z_{c1}i_2 = 2u_{2tới}$$



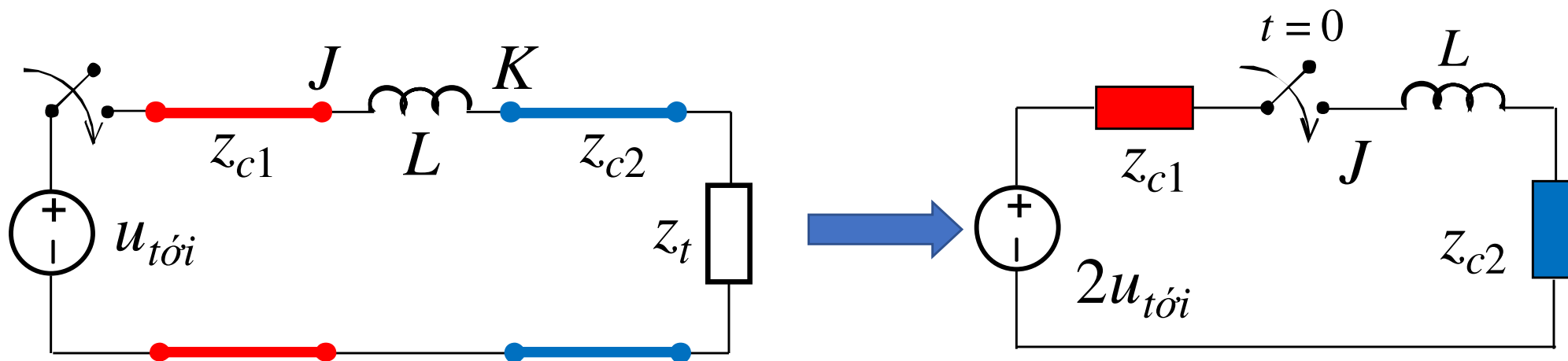
# Phương pháp sơ đồ tương đương (6)



$$\left. \begin{aligned} i_1 &= i_2 + i_3 \\ i_2 &= \frac{u_J}{z_{c2}} \\ i_3 &= \frac{u_J}{z_{c3}} \end{aligned} \right\} \rightarrow i_1 = \frac{u_J}{z_{c2}} + \frac{u_J}{z_{c3}} = u_J \left( \frac{1}{z_{c2}} + \frac{1}{z_{c3}} \right) = \frac{u_J}{z_J} \rightarrow \frac{1}{z_{c2}} + \frac{1}{z_{c3}} = \frac{1}{z_J}$$



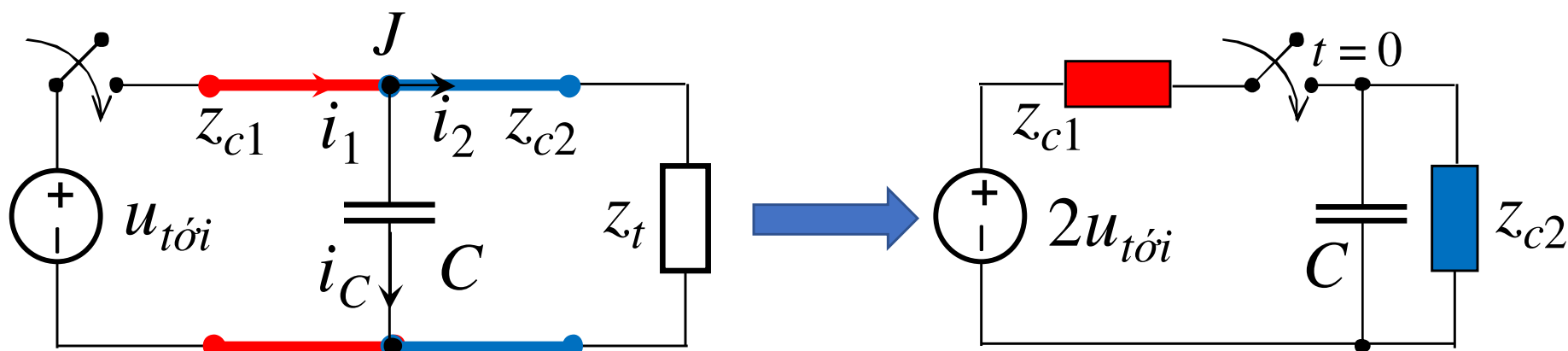
# Phương pháp sơ đồ tương đương (7)



$$\left. \begin{aligned} u_J &= u_L + u_K \\ u_L &= Z_L i \\ u_K &= z_{c2} i \end{aligned} \right\} \rightarrow u_J = Z_L i + z_{c2} i = (Z_L + z_{c2}) i = Z_J i$$

$$\rightarrow Z_J = Z_L + z_{c2}$$

# Phương pháp sơ đồ tương đương (8)



$$\left. \begin{aligned} i_1 &= i_2 + i_C \\ i_2 &= \frac{u_J}{z_{c2}} \\ i_C &= \frac{u_J}{Z_C} \end{aligned} \right\} \rightarrow i_1 = \frac{u_J}{z_{c2}} + \frac{u_J}{Z_C} = u_J \left( \frac{1}{z_{c2}} + \frac{1}{Z_C} \right) = \frac{u_J}{Z_J} \rightarrow \frac{1}{z_{c2}} + \frac{1}{Z_C} = \frac{1}{Z_J}$$

# Phương pháp sơ đồ tương đương (9)

VD3

$z_{c1} = 500 \Omega, v_1 = 2,5 \cdot 10^5 \text{ km/s}, \ell_1 = 600 \text{ km};$   
 $z_{c2} = 300 \Omega, v_2 = 2 \cdot 10^5 \text{ km/s}, \ell_2 = 400 \text{ km}; L = 5 \text{ H}.$   
 Ở thời điểm  $t = 0$  một sóng  $u_{tới} = 500 \text{ kV}$  chạm vào  $J$ . Tính dòng & áp quá độ trên  $R = 50 \Omega$ ?

$$I_L(p) = \frac{2u_{tới} / p}{Lp + z_{c1} + z_{c2}} = \frac{200}{p(p+160)} \text{ kA}$$

$$i_L(t) = 1,25(1 - e^{-160t}) \text{ kA}$$

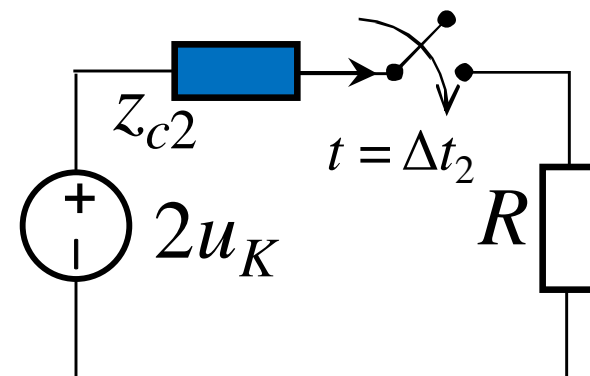
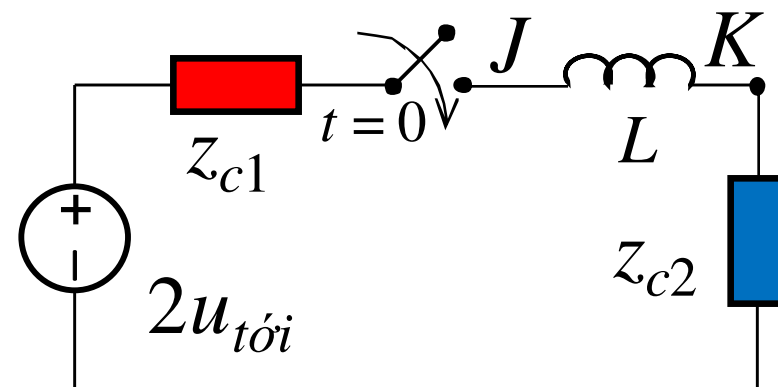
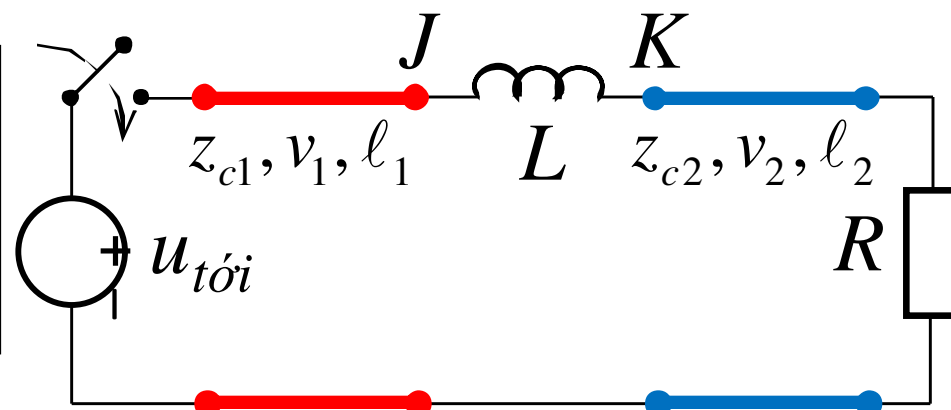
$$u_K(t) = z_{c2}i_L(t) = 375(1 - e^{-160t}) \text{ kV}$$

$$\Delta t_2 = \ell_2 / v_2 = 400 / 2 \cdot 10^5 = 0,0020 \text{ s}$$

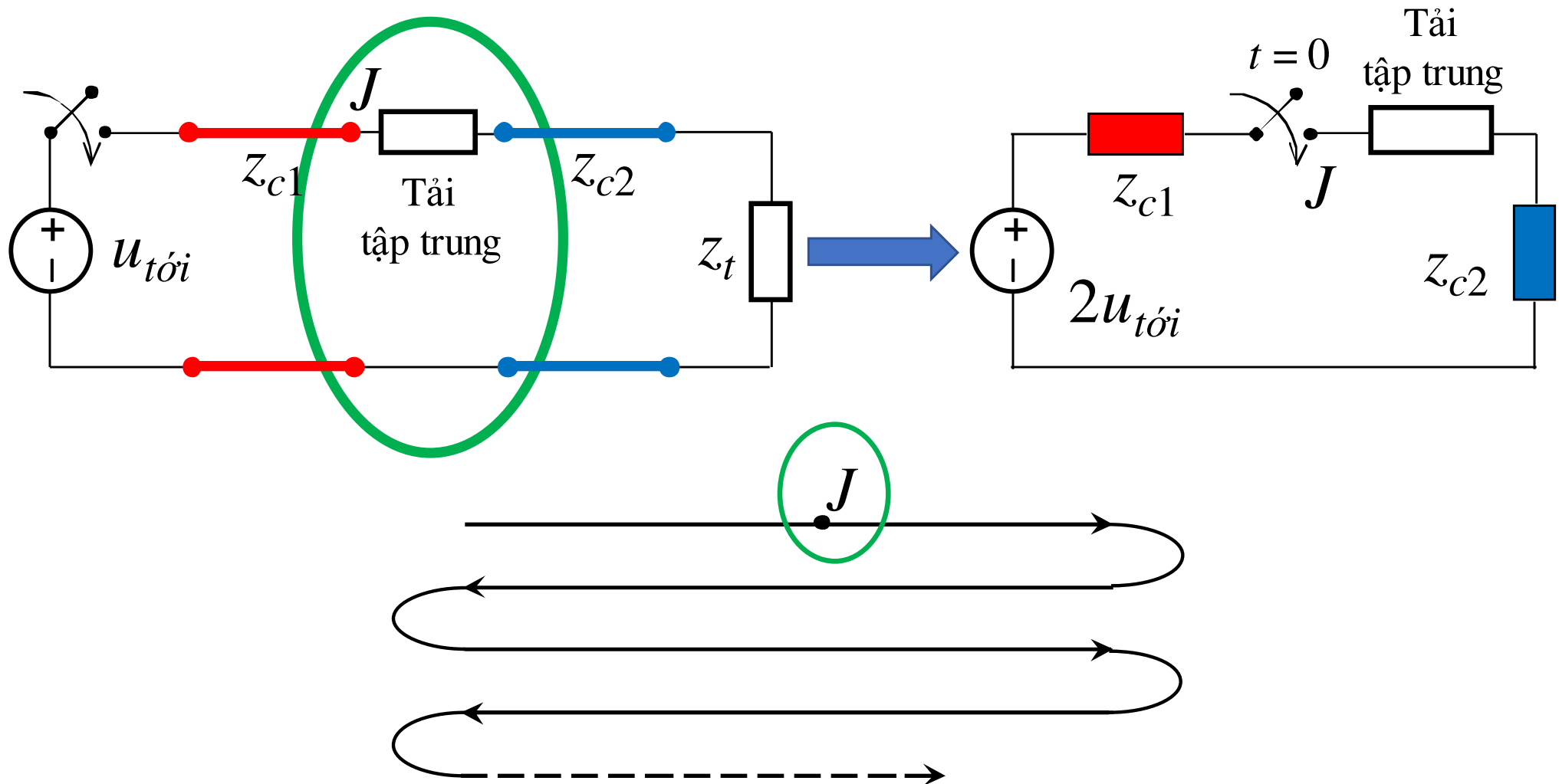
$$i_R(t) = \frac{2u_K(t - \Delta t_2)}{z_{c2} + R} = \frac{2 \cdot 375[1 - e^{-160(t-0,002)}]}{300 + 50}$$

$$= 2,1429[1 - e^{-160(t-0,002)}] \text{ kA}$$

$$u_R(t) = Ri_R(t) = 107,1429[1 - e^{-160(t-0,002)}] \text{ kV}$$



# Phương pháp sơ đồ tương đương (10)



# Lý thuyết mạch II

I. Quá trình quá độ

II. Mạch phi tuyến

**III. Đường dây dài**

1. Giới thiệu

2. Chế độ xác lập điều hòa

**3. Chế độ quá độ**

a) Điện áp và dòng điện

b) Phương pháp sơ đồ tương đương

**c) Phản xạ nhiều lần**

d) Đóng cắt tải

# Phản xạ nhiều lần (1)

VD1

$l = 1,6 \text{ km}$ ;  $Z_c = 50 \Omega$ ;  $v = 1,6 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ;  
 $Z_1 = 0$ ;  $Z_2 = 200 \Omega$ ;  $U^+ = 1 \text{ kV}$ .

Tính áp & dòng tại  $t = 55 \mu\text{s}$  &  $x = l/4$

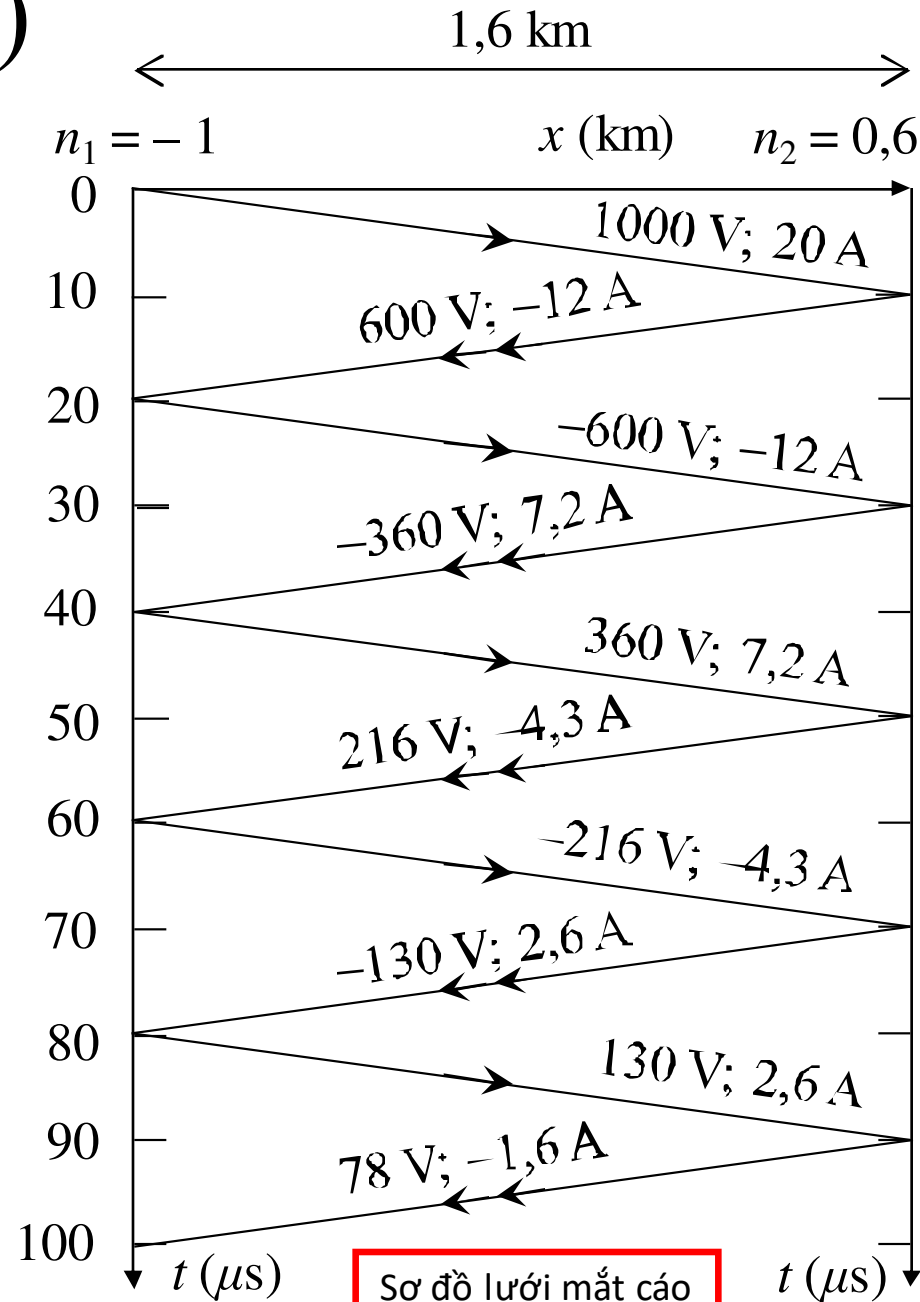
$$n_1 = \frac{Z_1 - Z_c}{Z_1 + Z_c} = \frac{0 - 50}{0 + 50} = -1$$

$$n_2 = \frac{Z_2 - Z_c}{Z_2 + Z_c} = \frac{200 - 50}{200 + 50} = 0,6$$

$$t_{\text{lan truyền}} = \frac{l}{v} = \frac{1,6 \cdot 10^3}{1,6 \cdot 10^8} = 10 \mu\text{s}$$

$$i^+ = \frac{U^+}{Z_c} = \frac{1000}{50} = 20 \text{ A}$$

$$u^- = n_2 u^+ = 0,6 \cdot 1 = 0,6 \text{ kV}$$



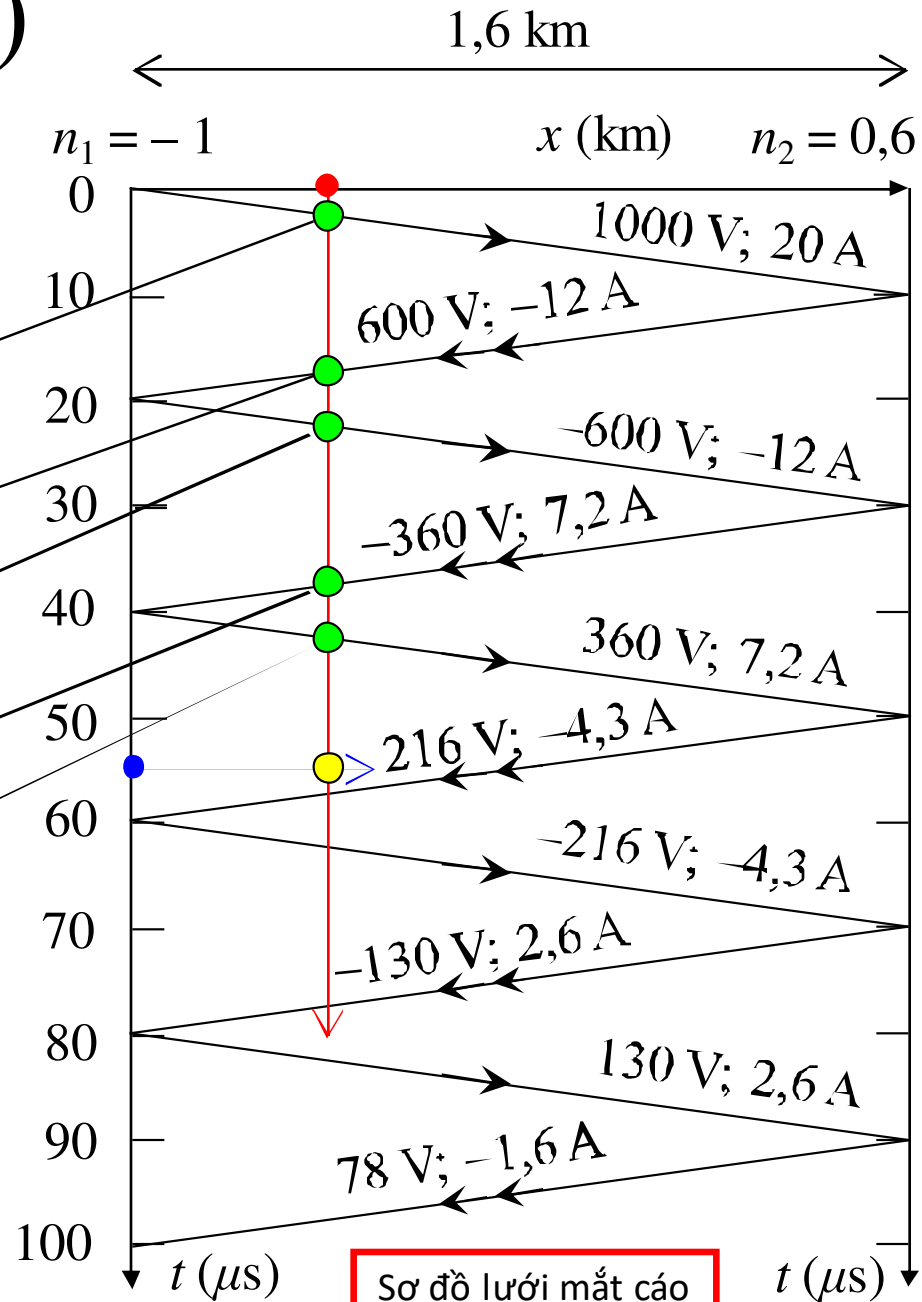
# Phản xạ nhiều lần (2)

VD1

$l = 1,6 \text{ km}$ ;  $Z_c = 50 \Omega$ ;  $v = 1,6 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ;  
 $Z_1 = 0$ ;  $Z_2 = 200 \Omega$ ;  $U^+ = 1 \text{ kV}$ .

Tính áp & dòng tại  $t = 55 \mu\text{s}$  &  $x = l/4$

$$u(55 \mu\text{s}, \frac{l}{4}) = 1000 + 600 - 600 - 360 + 360 = 1000 \text{ V}$$



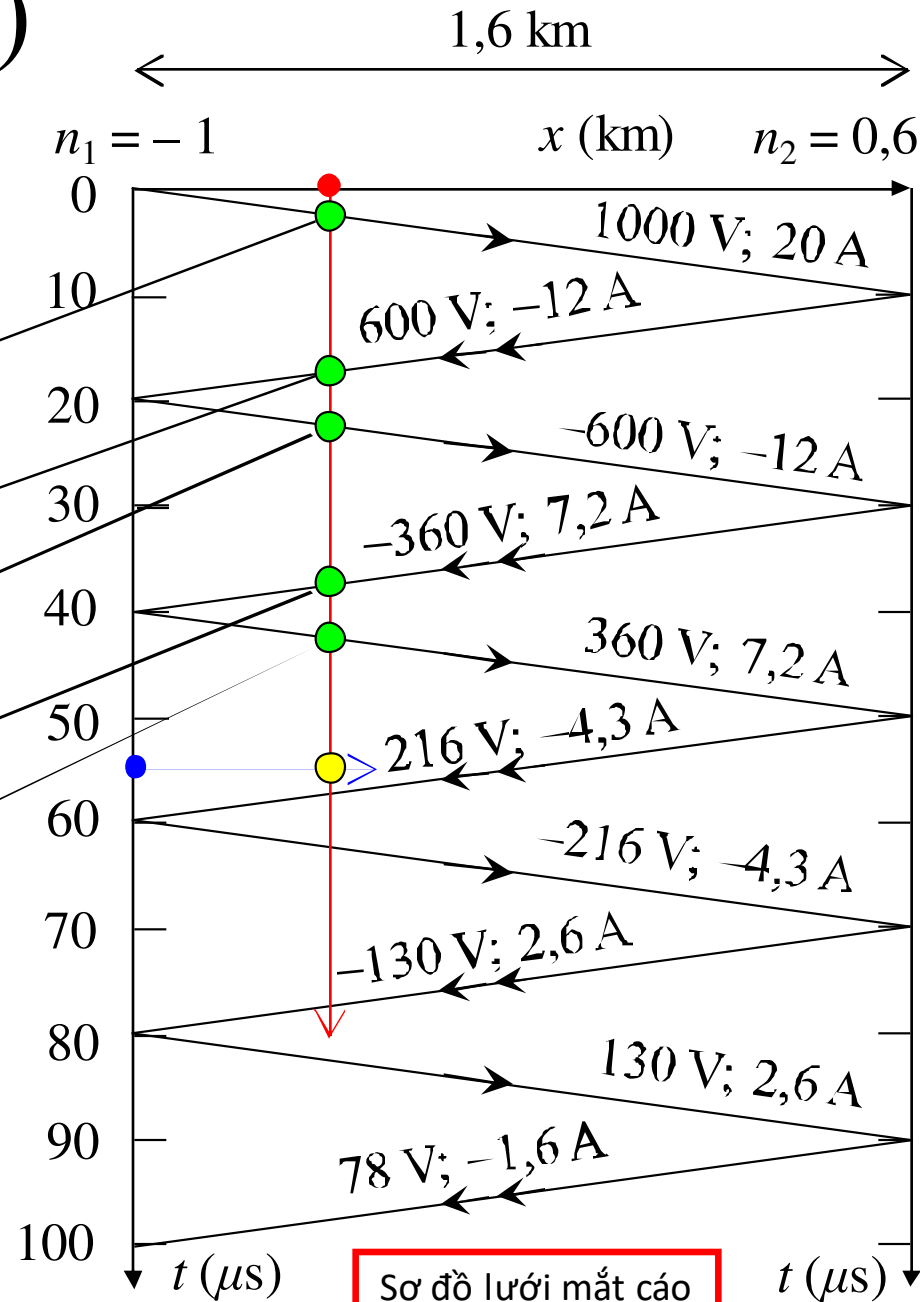
# Phản xạ nhiều lần (3)

VD1

$l = 1,6 \text{ km}$ ;  $Z_c = 50 \Omega$ ;  $v = 1,6 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ;  
 $Z_1 = 0$ ;  $Z_2 = 200 \Omega$ ;  $U^+ = 1 \text{ kV}$ .

Tính áp & dòng tại  $t = 55 \mu\text{s}$  &  $x = l/4$

$$i(55 \mu\text{s}, \frac{l}{4}) = \begin{matrix} 20 \\ -12 \\ -12 \\ +7,2 \\ +7,2 \end{matrix} = \boxed{10,4 \text{ A}}$$





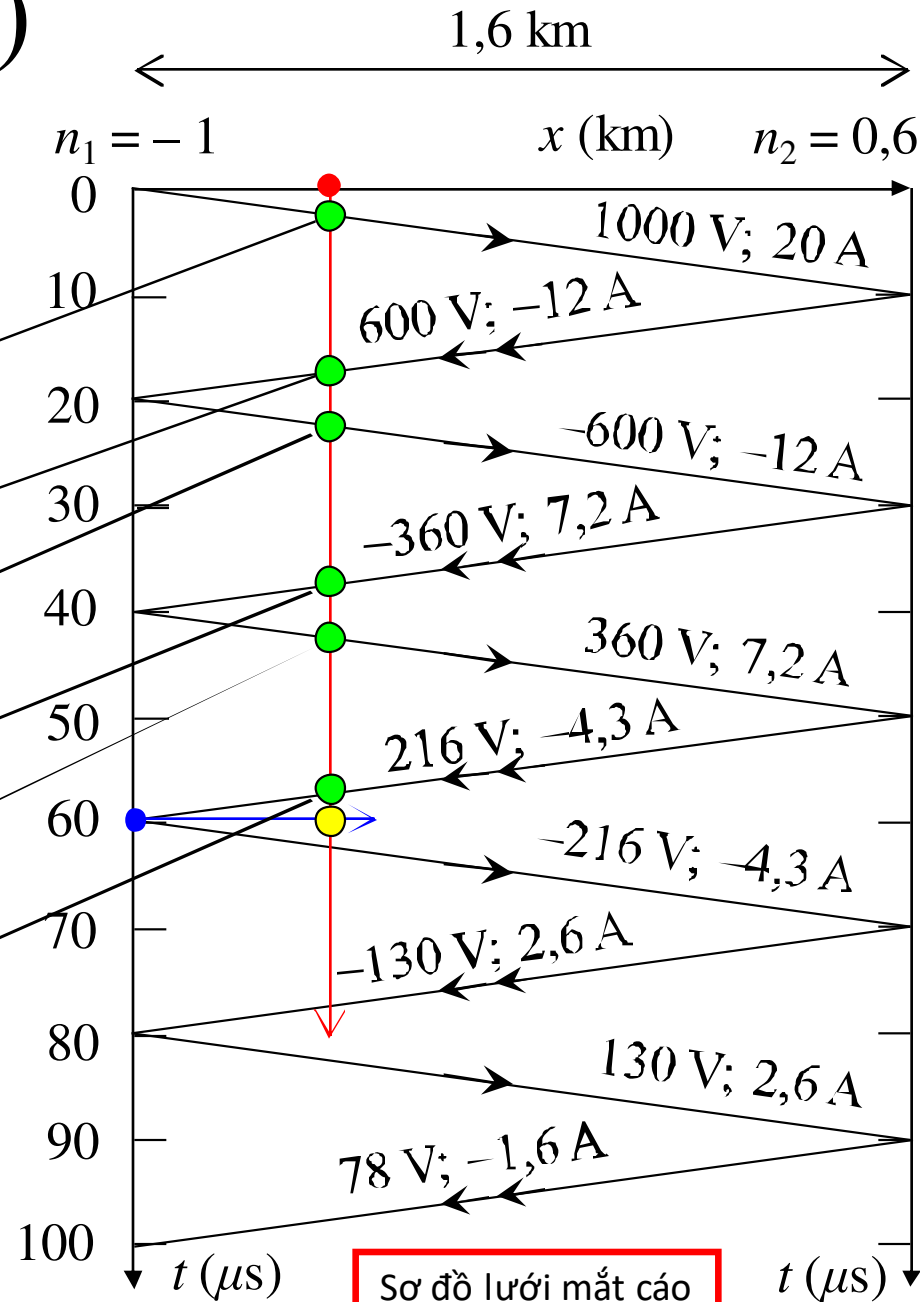
# Phản xạ nhiều lần (4)

VD2

$l = 1,6 \text{ km}$ ;  $Z_c = 50 \Omega$ ;  $v = 1,6 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ;  
 $Z_1 = 0$ ;  $Z_2 = 200 \Omega$ ;  $U^+ = 1 \text{ kV}$ .

Tính áp & dòng tại  $t = 60 \mu\text{s}$  &  $x = l/4$

$$u(60 \mu\text{s}, \frac{l}{4}) = 1000 + 600 - 600 - 360 + 360 + 216 = \boxed{1216 \text{ V}}$$



# Lý thuyết mạch II

I. Quá trình quá độ

II. Mạch phi tuyến

**III. Đường dây dài**

1. Giới thiệu

2. Chế độ xác lập điều hòa

**3. Chế độ quá độ**

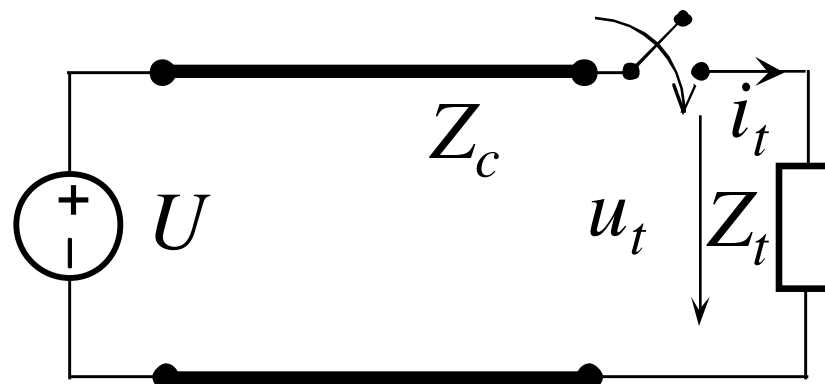
a) Điện áp và dòng điện

b) Phương pháp sơ đồ tương đương

c) Phản xạ nhiều lần

**d) Đóng cắt tải**

# Đóng cắt tải (1)



$$\left. \begin{aligned} u_t &= U + u^- \\ u_t &= Z_t i_t \\ u^- &= Z_c i^- \end{aligned} \right\} \rightarrow Z_t i_t = U + Z_c i^-$$

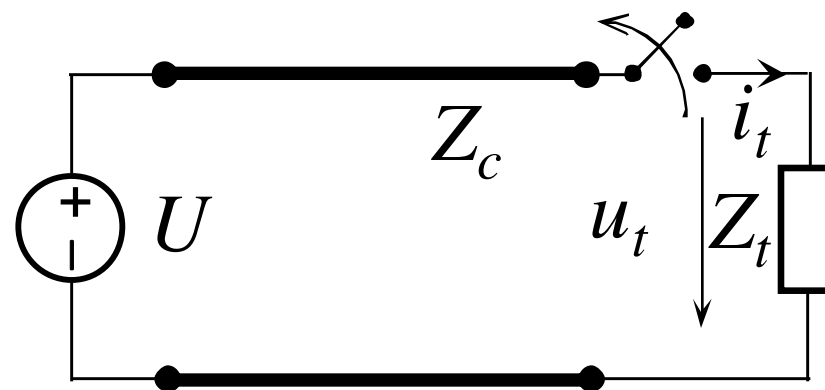
$$\left. \begin{aligned} i_t &= i^+ - i^- \\ i^+ &= 0 \end{aligned} \right\} \rightarrow i_t = 0 - i^- = i^-$$

$$\rightarrow Z_t i_t = U - Z_c i_t \rightarrow i_t = \frac{U}{Z_c + Z_t}$$

$$\rightarrow i^- = -\frac{U}{Z_c + Z_t}$$

$$u^- = Z_c i^- = -\frac{Z_c}{Z_c + Z_t} U$$

# Đóng cắt tải (2)



$$\left. \begin{aligned} n_2 &= \frac{Z_2 - Z_c}{Z_2 + Z_c} \\ Z_2 &\rightarrow \infty \end{aligned} \right\} \rightarrow n_2 = 1$$

$$\left. \begin{aligned} n_2 &= \frac{i_2^-}{i_2^+} \end{aligned} \right\} \rightarrow \left. \begin{aligned} i_2^- &= i_2^+ \\ i_2^+ &= I \end{aligned} \right\} \rightarrow i_2^- = I$$

$$\rightarrow u_2^- = Z_c i_2^- = Z_c I$$

# Đóng cắt tải (3)

Do tính đối xứng quanh A nên:  $\begin{cases} i^+ = i^- \\ u^+ = u^- \end{cases}$

Tại A:  $\left. \begin{aligned} i_t &= -(i^+ + i^-) = -2i^+ = -2i^- \\ u_t &= R_t i_t = U_0 + u^+ = U_0 + u^- \end{aligned} \right\} \rightarrow$

$$\left. \begin{aligned} \rightarrow -2R_t i^+ &= U_0 + u^+ \\ u^+ &= Z_c i^+ \end{aligned} \right\} \rightarrow -2R_t i^+ = U_0 + Z_c i^+$$

$$\rightarrow i^+ = i^- = -\frac{U_0}{2R_t + Z_c}$$

$$\rightarrow u^+ = u^- = Z_c i^+ = -\frac{U_0 Z_c}{2R_t + Z_c}$$

