



# Ch 5:

cuu duong than cong . com

## Lý thuyết và ứng dụng của đường dây

cuu duong than cong . com



# ❖ Nội dung chương 5:

---

**5.1** Mô hình đường dây .

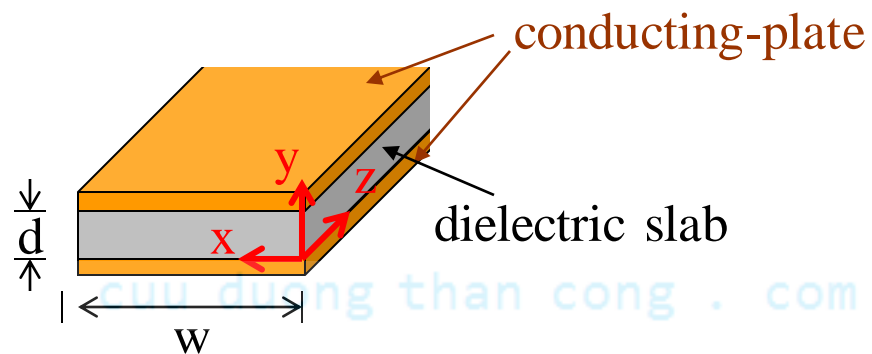
**5.2** Đường dây với nguồn điều hòa .

**5.3** Đường dây với nguồn xung .

cuu duong than cong . com

cuu duong than cong . com

# 5.1: Mô hình đường dây

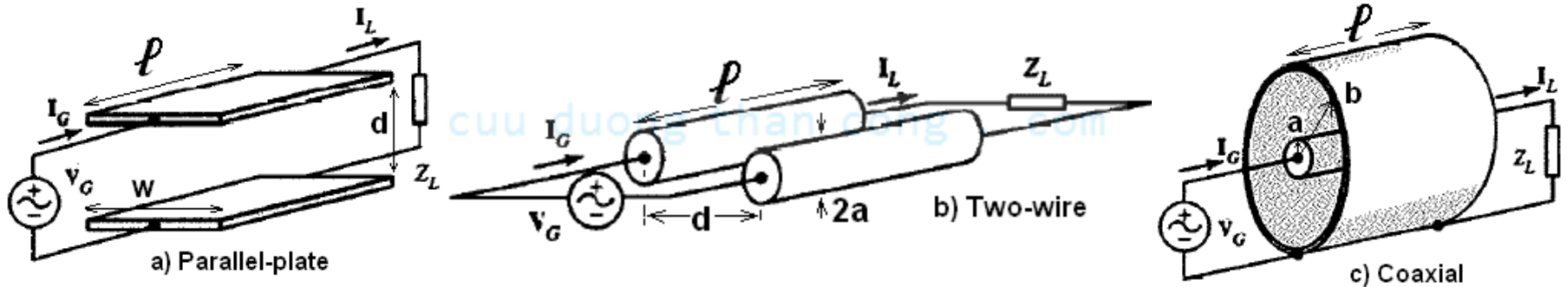


## a) Khái niệm:

- Hệ thống dẫn truyền TĐT biến thiên định hướng dùng các dây dẫn.

→ *Đường dây (Transmission Line)*

- Các loại đường dây cơ bản :



- Sóng điện từ truyền trên đường dây có dạng **sóng phẳng** và mang theo tín hiệu .

- Bước sóng tín hiệu từ mm (mạch siêu cao tần) đến km (điện công nghiệp).

## b) Mô hình đường dây :

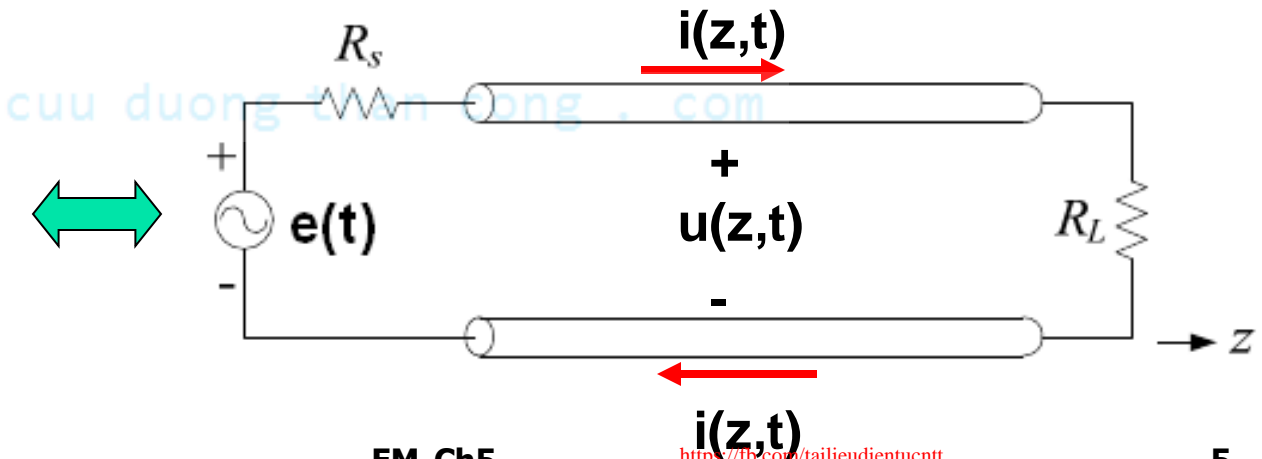
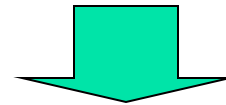
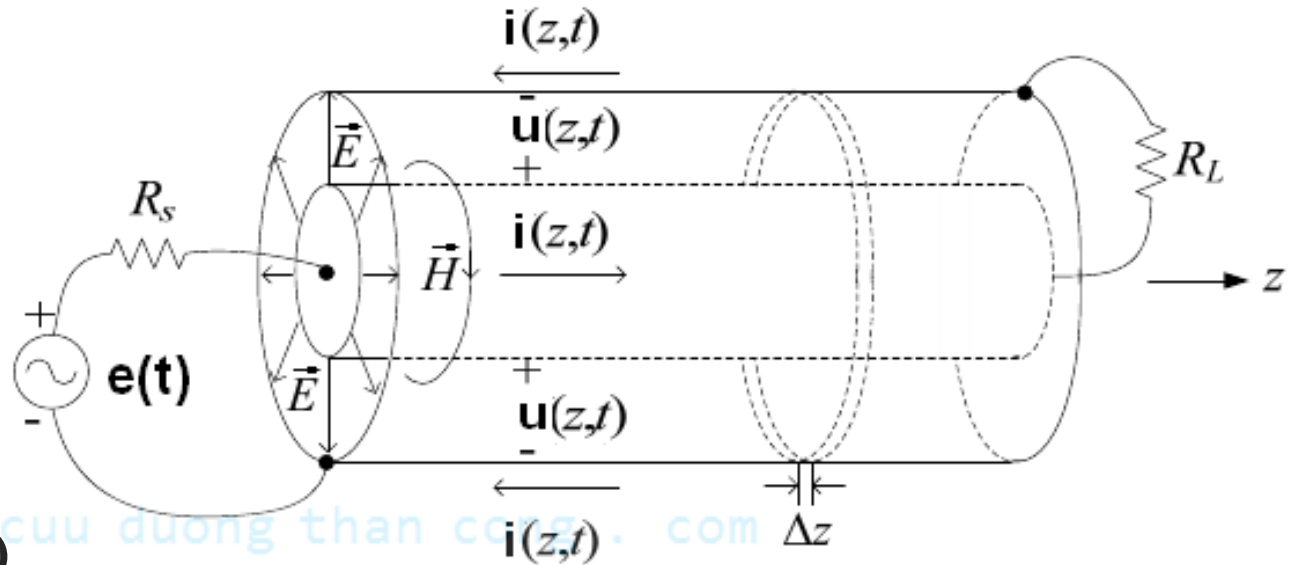
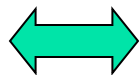
❖ Chuyển đổi:

Để tính  $\vec{E}$  và  $\vec{H}$  bên trong cáp ?



Xác định  $u(z,t)$  và  $i(z,t)$ .

Mô hình đường dây



## c) Các thông số đơn vị của đường dây :

❖ Xét đoạn  $\Delta z =$  mạch tương đương

$R_{\Delta z} =$  điện trở đoạn dây ...

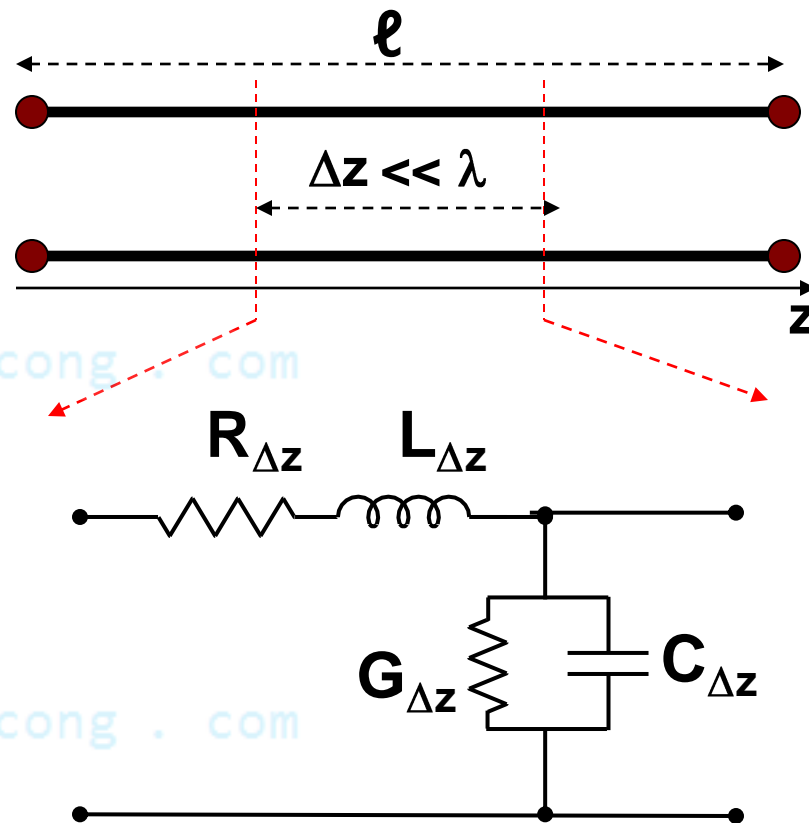
❖ Định nghĩa thông số đơn vị:

$$R_0 = \lim_{\Delta z \rightarrow 0} \frac{R_{\Delta z}}{\Delta z} \quad (\Omega / m)$$

$$L_0 = \lim_{\Delta z \rightarrow 0} \frac{L_{\Delta z}}{\Delta z} \quad (H / m)$$

$$C_0 = \lim_{\Delta z \rightarrow 0} \frac{C_{\Delta z}}{\Delta z} \quad (F / m)$$

$$G_0 = \lim_{\Delta z \rightarrow 0} \frac{G_{\Delta z}}{\Delta z} \quad (\text{S} / m)$$



## ❖ Thông số đơn vị ở tần số cao :

	Parallel-Plate	Two-Wire	Coaxial
$R_0$	$\frac{2R_s}{w}$	$\frac{R_s}{\pi a}$	$\frac{R_s}{2\pi} \left( \frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)$
$L_0$	$\frac{\mu d}{w}$	$\frac{\mu}{\pi} \cosh^{-1} d/2a$	$\frac{\mu}{2\pi} \ln b/a$
$C_0$	$\frac{\epsilon w}{d}$	$\frac{\pi \epsilon}{\cosh^{-1} d/2a}$	$\frac{2\pi \epsilon}{\ln b/a}$
$G_0$	$\frac{\sigma w}{d}$	$\frac{\pi \sigma}{\cosh^{-1} d/2a}$	$\frac{2\pi \sigma}{\ln b/a}$

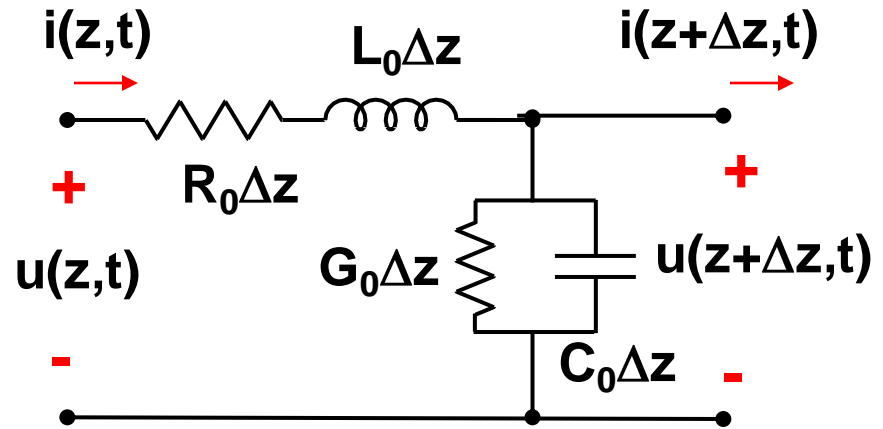
- $R_s = \text{Re}\{\eta\} = \sqrt{\frac{\pi f \mu_c}{\sigma_c}}$
- $L_0$ : chỉ xét điện cảm ngoài.

- $\epsilon, \mu, \sigma$  : của môi trường giữa 2 dây

## d) Phương trình đường dây :

❖ Dùng KVL và KCL.

➤ Phương trình đường dây hay phương trình điện báo:



cuu duong than cong . com

$$\begin{cases} -\frac{\partial u(z,t)}{\partial z} = R_0 i(z,t) + L_0 \frac{\partial i(z,t)}{\partial t} \\ -\frac{\partial i(z,t)}{\partial z} = G_0 u(z,t) + C_0 \frac{\partial u(z,t)}{\partial t} \end{cases}$$



## e) Đối với tín hiệu điều hòa :

❖ Vector phức:

$$u(z,t) = \text{Re}\{\dot{U}(z).e^{j\omega t}\}$$

$$i(z,t) = \text{Re}\{\dot{I}(z).e^{j\omega t}\}$$

$$\rightarrow \begin{cases} -\frac{d\dot{U}}{dz} = (R_0 + j\omega L_0)\dot{I} \\ -\frac{d\dot{I}}{dz} = (G_0 + j\omega C_0)\dot{U} \end{cases}$$

$$\rightarrow \begin{cases} \dot{U}(z) = Ae^{-\gamma z} + Be^{\gamma z} \\ \dot{I}(z) = \frac{1}{Z_0} Ae^{-\gamma z} - Be^{\gamma z} \end{cases}$$

$\gamma$  = hệ số truyền ( $m^{-1}$ )

$\alpha$  = hệ số tắt dần (Np/m)

$\beta$  = hệ số pha (rad/m)

$Z_0$  = trở kháng đặc tính ( $\Omega$ )

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

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R_0 + j\omega L_0}{G_0 + j\omega C_0}}$$

→ Vận tốc pha:  $v_p = \omega / \beta$

## f) Phân loại mô hình đường dây :

i. **Đường dây tổn hao: tổng quát, khi  $\sigma_c \neq 0$  và  $\sigma \neq 0$**   $\rightarrow$

$$R_0 \neq 0$$

$$G_0 \neq 0$$

ii. **Đường dây không tổn hao: lý tưởng, khi  $\sigma_c = \infty$  và  $\sigma = 0$**   $\rightarrow$

$$R_0 = 0$$

$$G_0 = 0$$

$$\gamma = j\beta = j\omega\sqrt{L_0C_0}$$

$$\alpha = 0$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}}$$

$$v_p = \frac{1}{\sqrt{L_0C_0}} = \frac{c}{\sqrt{\mu_r\epsilon_r}}$$

$$\lambda = \frac{v_p}{f}$$

**Thời gian trễ của đường dây:  $T = \ell/v_p$ .**

iii. **Đường dây không méo: có tổn hao nhưng**

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

$$\alpha = \sqrt{R_0G_0}$$

$$\beta = \omega\sqrt{L_0C_0}$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}}$$

$$v_p = \frac{1}{\sqrt{L_0C_0}} = \frac{c}{\sqrt{\mu_r\epsilon_r}}$$

$$\lambda = \frac{v_p}{f}$$

## ❖ VD 5.1.1: Tính các thông số đường dây

Viết chương trình MATLAB tính toán các thông số  $\gamma$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $Z_0$  khi nhập vào thông số kích thước, vật liệu của cáp đồng trục ?

```
%Coax distributed parameters
clear
clc
disp('Calc Coax Distributed Parameters')?
%Some constant values
muo=pi*4e-7;
eo=1e-9/(36*pi);
%Prompt for input values
a=input('inner radius, in mm, = ');
b=input('outer radius, in mm, = ');
er=input('relative permittivity, er= ');
sigd=input('dielectric conductivity, in S/m, = ');
sigc=input('conductor conductivity, in S/m, = ');
ur=input('conductor rel. permeability, = ');
f=input('input frequency, in Hz, = ');
%Perform calculations
G=2*pi*sigd/log(b/a);
C=2*pi*er*eo/log(b/a);
L=muo*log(b/a)/(2*pi);
Rs=sqrt(pi*f*ur*muo/sigc);
R=(1000*((1/a)+(1/b))*Rs)/(2*pi);
```

```
omega=2*pi*f;
RL=R+i*omega*L;
GC=G+i*omega*C;
Gamma=sqrt(RL*GC);
Zo=sqrt(RL/GC);
alpha=real(Gamma);
beta=imag(Gamma);
loss=exp(-2*alpha*1);
lossdb=-10*log10(loss);
%Display results
disp(['G/h = ' num2str(G) ' S/m'])
disp(['C/h = ' num2str(C) ' F/m'])
disp(['L/h = ' num2str(L) ' H/m'])
disp(['R/h = ' num2str(R) ' ohm/m'])
disp(['Gamma= ' num2str(Gamma) ' /m'])
disp(['alpha= ' num2str(alpha) ' Np/m'])
disp(['beta= ' num2str(beta) ' rad/m'])
disp(['Zo = ' num2str(Zo) ' ohms'])
disp(['loss=' num2str(loss) ' /m'])
disp(['lossdb=' num2str(lossdb) ' dB/m'])
```

## ❖ VD 5.1.1: Tính các thông số đường dây

Viết chương trình MATLAB tính toán các thông số  $\gamma$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $Z_0$  khi nhập vào thông số kích thước, vật liệu của cáp đồng trục ?

### Kết quả thực hiện chương trình:

Now run the program for Nickel:  
Calc Coax Distributed Parameters  
inner radius, in mm, = 0.47  
outer radius, in mm, = 1.435  
relative permittivity,  $\epsilon_r$  = 2.26  
dielectric conductivity, in S/m, =  $1e-16$   
conductor conductivity, in S/m, =  $1.5e7$   
conductor rel. permeability, = 600  
input frequency, in Hz, =  $800e6$

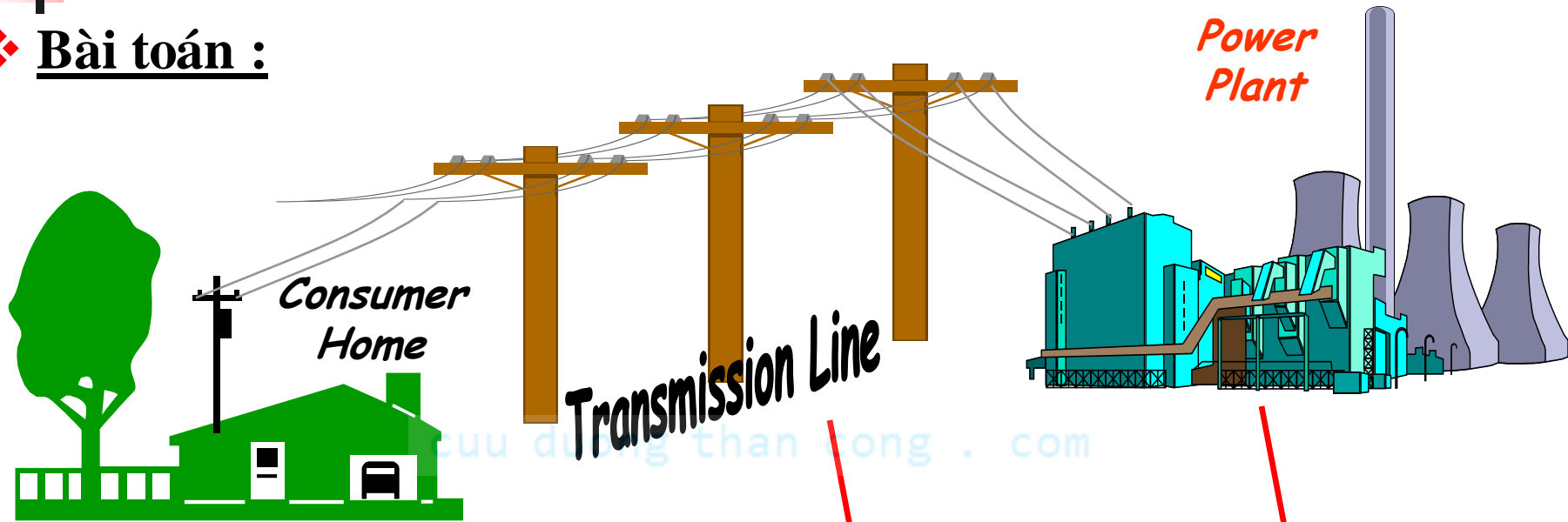
G/h =  $5.6291e-016$  S/m  
C/h =  $1.1249e-010$  F/m  
L/h =  $2.2324e-007$  H/m  
R/h = 159.7792 ohm/m  
Gamma =  $1.78881 + 25.252i$  /m  
alpha =  $1.7888$  Np/m  
beta =  $25.252$  rad/m  
Zo =  $44.6608 - 3.1637i$  ohms  
loss =  $0.027942$  /m  
lossdb =  $15.5374$  dB/m

## 5.2 Đường dây với nguồn điều hòa

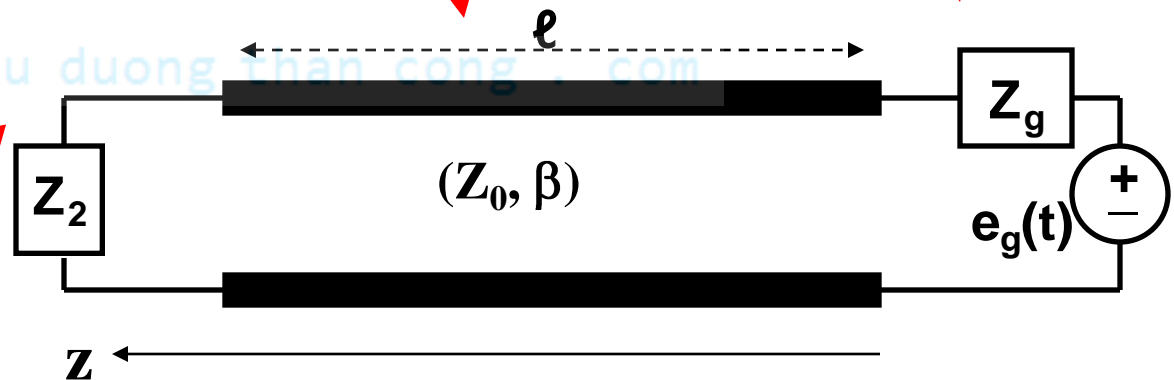
- ❖ Với tác động điều hòa → Phân tích ở miền phức
- ❖ Ứng dụng trong hệ thống năng lượng và viễn thông .
- ❖ Chỉ khảo sát với mô hình đường dây không tổn hao .

# 5.2.1 Phương trình đường dây dạng phức:

## ❖ Bài toán :

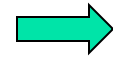


## ❖ Mô hình mạch chứa đường dây :



# ❖ Từ phương trình đường dây:

Không tổn hao:  $\mathbf{R_0 = 0}$   $\mathbf{G_0 = 0}$




$$\gamma = j\beta = j\omega\sqrt{L_0C_0}$$

$$\alpha = 0$$

$$v_p = \frac{1}{\sqrt{L_0C_0}} = \frac{c}{\sqrt{\mu_r\epsilon_r}}$$

$$\lambda = \frac{v_p}{f}$$

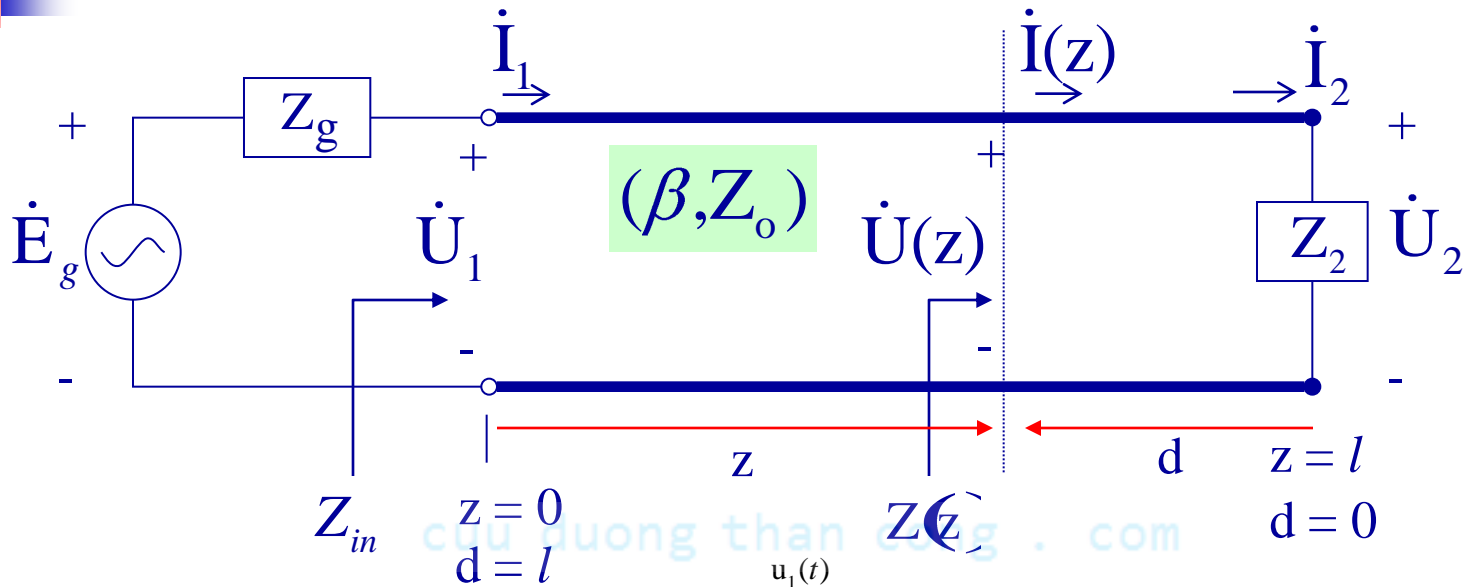
**Thời gian trễ của đđây:**  
 $\mathbf{T = \ell/v_p.}$


$$\begin{cases} \dot{U}(z) = Ae^{-j\beta z} + Be^{j\beta z} \\ \dot{I}(z) = \frac{1}{Z_0} Ae^{-j\beta z} - Be^{j\beta z} \end{cases}$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} (\Omega) : \text{Trở kháng đặc tính}$$

$$\beta = \omega\sqrt{L_0C_0} : \text{Hệ số pha}$$

# ❖ Xác định A và B:



$(\dot{E}_g = \text{the phasor of } e_g(t))$   $(\dot{U}_1; \dot{I}_1 = \text{the phasors of } u_1(t), i_1(t))$

**Cho  $z = 0$ :**

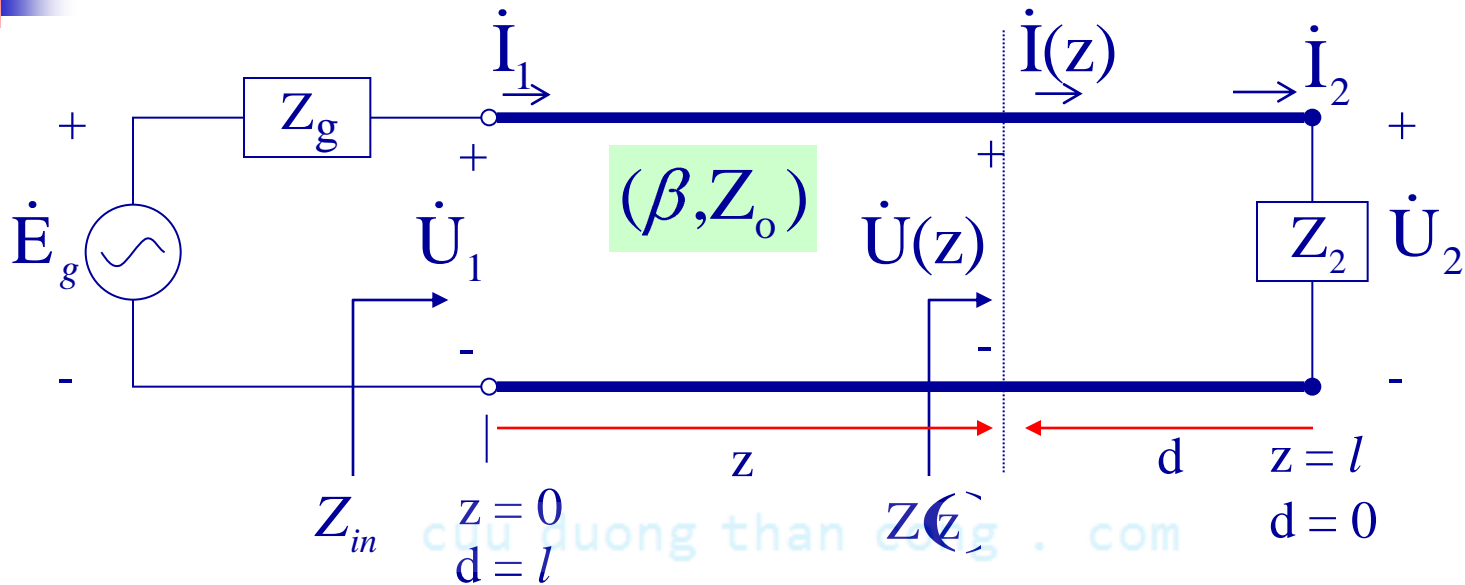
$$\begin{cases} \dot{U}_1 = A + B \\ Z_0 \dot{I}_1 = A - B \end{cases}$$



$$\begin{cases} A = \frac{\dot{U}_1 + Z_0 \dot{I}_1}{2} = \dot{U}_1^+ & \text{(Sóng tới tại đầu đường dây)} \\ B = \frac{\dot{U}_1 - Z_0 \dot{I}_1}{2} = \dot{U}_1^- & \text{(Sóng phản xạ tại đầu đường dây)} \end{cases}$$



# ❖ Áp-dòng (mũ) theo ĐK bờ đầu Đdây:

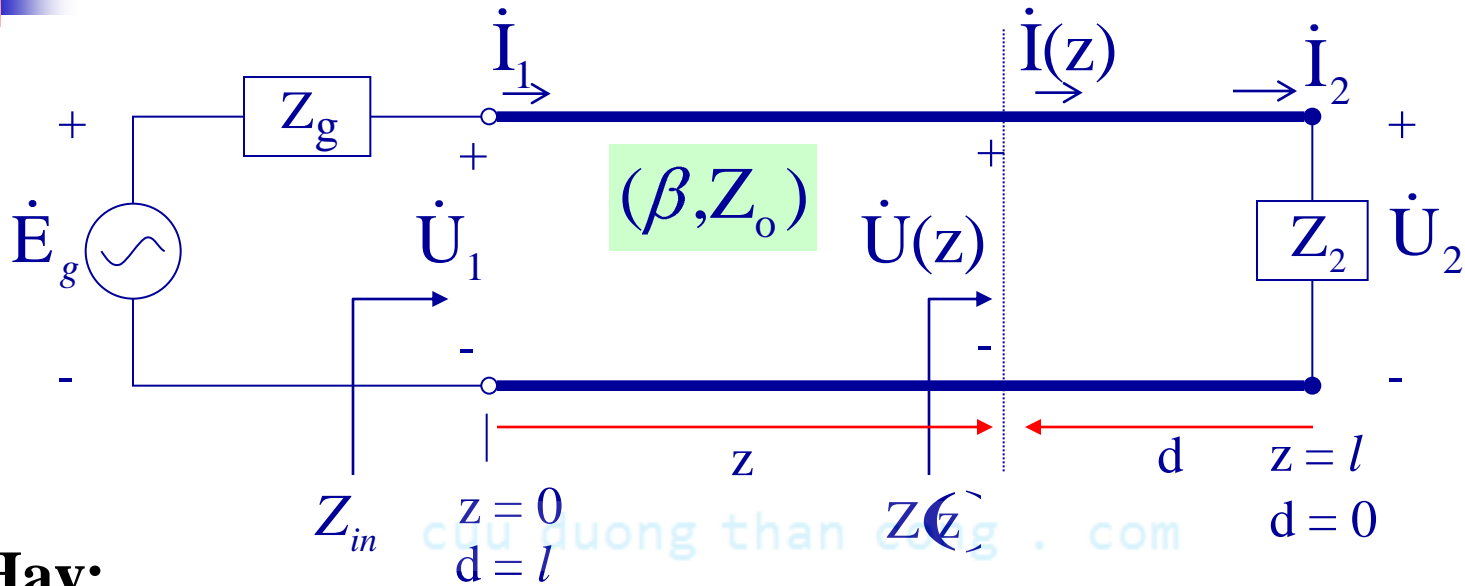


$$\begin{cases} \dot{U}(z) = \dot{U}_1^+ e^{-j\beta z} + \dot{U}_1^- e^{j\beta z} = \dot{U}^+ + \dot{U}^- \\ \dot{I}(z) = \dot{I}_1^+ e^{-j\beta z} + \dot{I}_1^- e^{j\beta z} = \dot{I}^+ + \dot{I}^- \end{cases}$$

$$\dot{I}_1^+ = \frac{\dot{U}_1^+}{Z_0} \quad ; \quad \dot{I}_1^- = -\frac{\dot{U}_1^-}{Z_0}$$

↑      ↑  
(+)**wave**    (-)**wave**

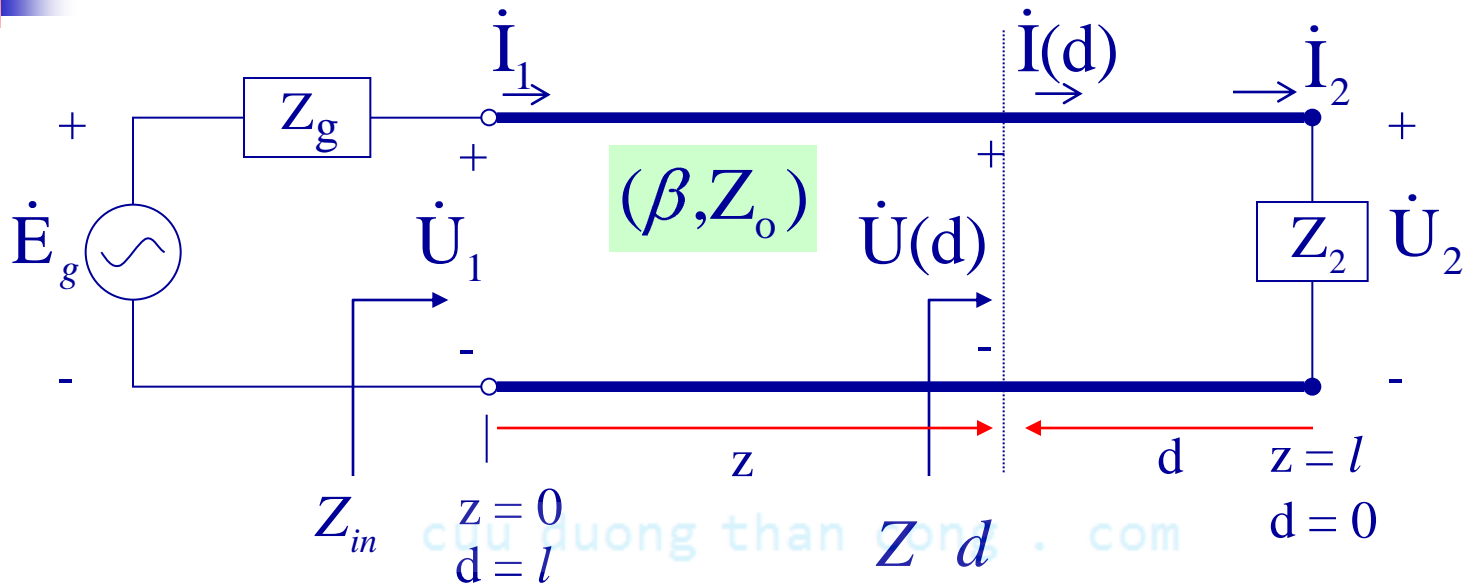
# ❖ Áp-dòng (lgiác) theo ĐK bờ đầu Đdây :



**Hay:**

$$\begin{cases} \dot{U}(z) = \dot{U}_1 \cos(\beta z) - jZ_0 \dot{I}_1 \sin(\beta z) \\ \dot{I}(z) = -j \frac{\dot{U}_1}{Z_0} \sin(\beta z) + \dot{I}_1 \cos(\beta z) \end{cases}$$

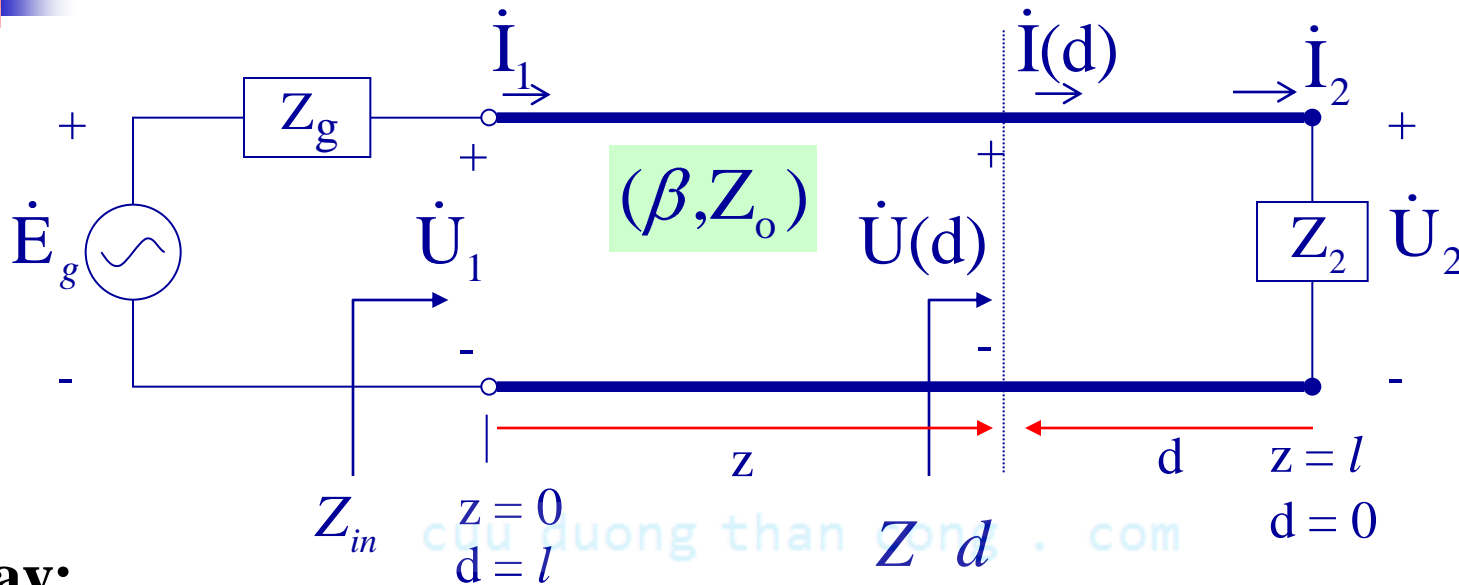
# ❖ Áp-dòng (mũ) theo ĐK bờ cuối Đdây:



**Đặt  $d = l - z$  :**

$$\begin{cases} \dot{U}(d) = \dot{U}_2^+ e^{j\beta d} + \dot{U}_2^- e^{-j\beta d} = \dot{U}^+ + \dot{U}^- \\ \dot{I}(d) = \dot{I}_2^+ e^{j\beta d} + \dot{I}_2^- e^{-j\beta d} = \dot{I}^+ + \dot{I}^- \end{cases}$$

# ❖ Áp-dòng (lgiác) theo ĐK bờ cuối Đdây :



Hay:

$$\begin{cases} \dot{U}(d) = \dot{U}_2 \cos(\beta d) + jZ_0 \dot{I}_2 \sin(\beta d) \\ \dot{I}(d) = j \frac{\dot{U}_2}{Z_0} \sin(\beta d) + \dot{I}_2 \cos(\beta d) \end{cases}$$

## ❖ VD 5.2.1: Tính toán các thông số đđây

Đường dây không tổn hao, chiều dài 100m, làm việc ở tần số 100 kHz, có các thông số đơn vị :  $L_0 = 0,2772 \mu\text{H/m}$  và  $C_0 = 0,18 \text{ nF/m}$ .  
Xác định  $v_p$ ,  $\beta$  và  $Z_0$  của đường dây ?

### Giải

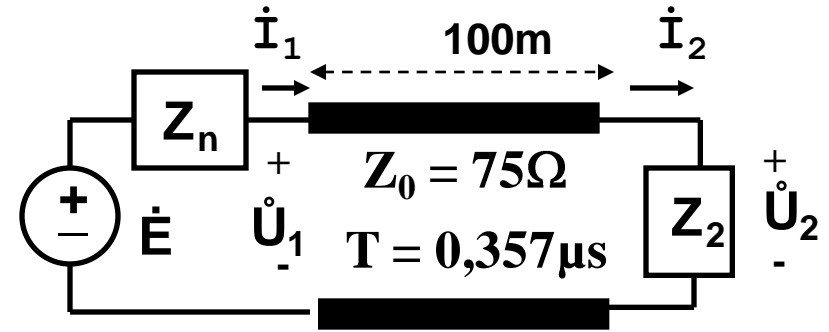
❖ Vận tốc pha: 
$$v_p = \frac{1}{\sqrt{0,2772 \cdot 10^{-6} \cdot 0,18 \cdot 10^{-9}}} = 1,416 \cdot 10^8 \text{ (m/s)}$$

❖ Hệ số pha: 
$$\beta = \omega \sqrt{L_0 C_0} = \frac{\omega}{v_p} = \frac{2\pi \cdot 100 \cdot 10^3}{1,416 \cdot 10^8} = 4,439 \cdot 10^{-3} \text{ (rad/m)}$$

❖ Trở kháng đặc tính: 
$$Z_0 = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} = \sqrt{\frac{0,2772 \cdot 10^{-6}}{0,18 \cdot 10^{-9}}} = 39,243 \text{ } (\Omega)$$

## ❖ VD 5.2.2: Dùng hệ pt nghiệm đđây

Mạch chứa đường dây không tổn hao, biết  $\dot{U}_2 = 30 \angle 0^\circ (\text{V})$ ,  $Z_2 = 45 \Omega$  và tần số làm việc 1 MHz. Xác định điện áp đầu đường dây ?



Giải

❖ Góc điện của đường dây:

$$\beta l = \frac{\omega}{v_p} l = \omega T = 2\pi \cdot 10^6 \cdot 0,357 \cdot 10^{-6} = 0,714\pi = 128,5^\circ$$

❖ Điện áp đầu đường dây:

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 \cos(\beta l) + jZ_0 \dot{I}_2 \sin(\beta l)$$

$$\dot{U}_1 = 30 \angle 0^\circ \cos(128,5) + j75 \frac{30 \angle 0^\circ}{45} \sin(128,5)$$

→  $\dot{U}_1 = 43,36 \angle 115,5^\circ (\text{V})$

## 5.2.2: Hệ số phản xạ trên đường dây:

❖ Định nghĩa: 
$$\dot{\Gamma} = \frac{\dot{U}^-}{\dot{U}^+} = \frac{\dot{U}_2^- \cdot e^{-j\beta d}}{\dot{U}_2^+ \cdot e^{j\beta d}} = \dot{\Gamma}_2 \cdot e^{-j2\beta d} = \Gamma_2 \angle \theta - 2\beta d$$

❖ Hệ số phản xạ tại cuối đường dây:

$$\dot{\Gamma}_2 = \frac{\dot{U}_2^-}{\dot{U}_2^+} = \frac{Z_2 - Z_0}{Z_2 + Z_0} = \Gamma_2 \angle \theta$$

$$(0 \leq \Gamma_2 \leq 1)$$

$$(-\pi \leq \theta < \pi)$$



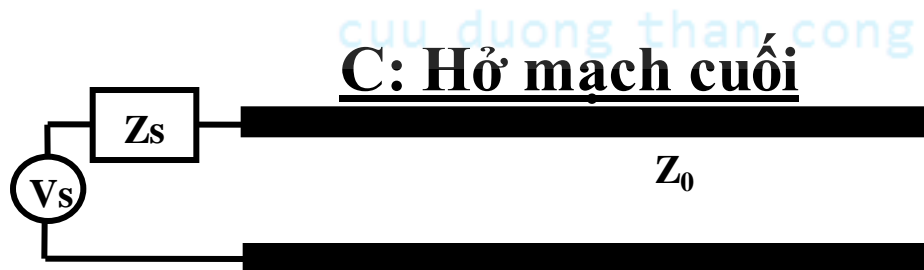
# Các trường hợp đặc biệt:



$$\dot{\Gamma}_2 = 0$$



$$\dot{\Gamma}_2 = -1 = 1 \angle -180^\circ$$



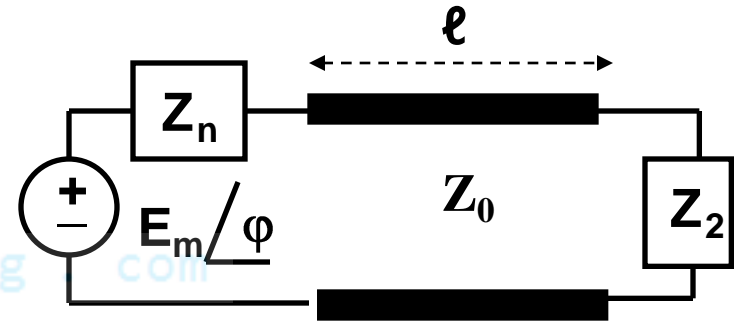
$$\dot{\Gamma}_2 = 1 = 1 \angle 0^\circ$$



## ❖ VD 5.2.3: Tính toán hệ số phản xạ

Mạch chứa đường dây không tổn hao (trở kháng đặc tính  $Z_0 = 75 \Omega$ , chiều dài  $l = \lambda/8$ ), tải cuối đường dây  $Z_2 = 75 + j75 \Omega$ . Xác định hệ số phản xạ tại cuối và tại đầu đường dây ?

Giải



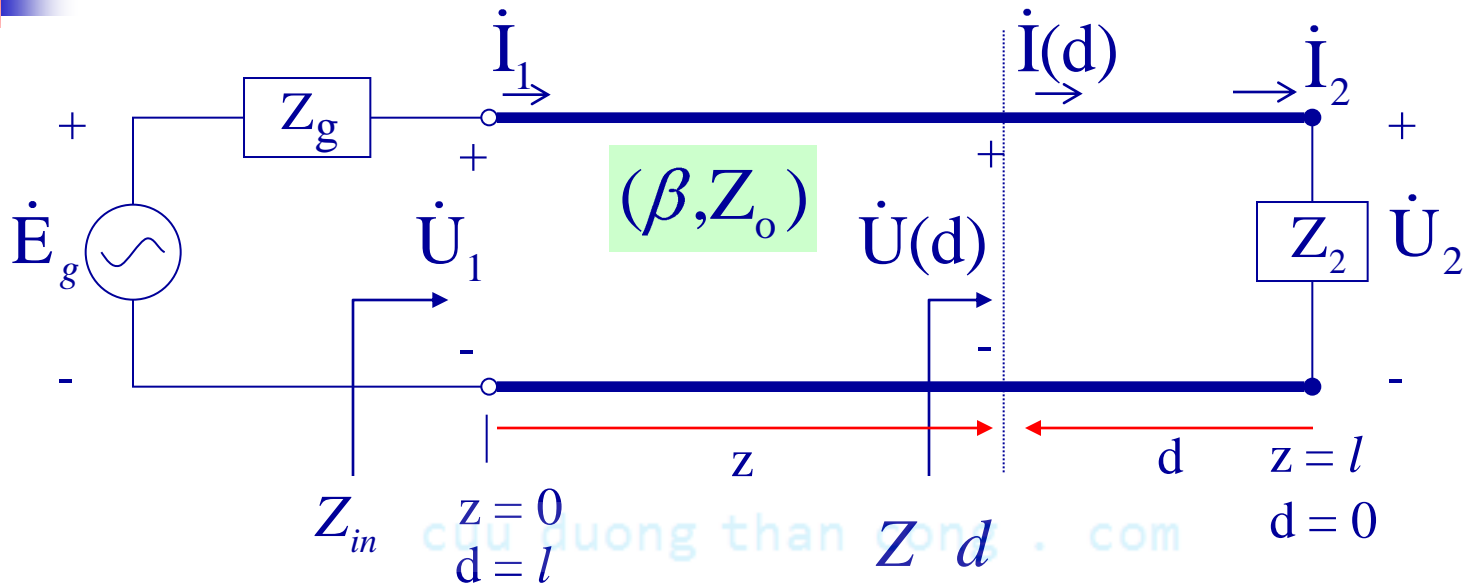
❖ Hệ số phản xạ cuối đường dây:

$$\dot{\Gamma}_2 = \frac{Z_2 - Z_0}{Z_2 + Z_0} = \frac{75 + j75 - 75}{75 + j75 + 75} = 0,447 \angle 63,4^\circ$$

❖ Hệ số phản xạ đầu đường dây:

$$\dot{\Gamma}_1 = \Gamma_2 \angle \theta - 2\beta l = 0,447 \angle (63,4 - 2 \frac{2\pi}{\lambda} \frac{\lambda}{8}) = 0,447 \angle -26,6^\circ$$

## 5.2.3: Trở kháng vào đường dây :



❖ **Đ nghĩa:** 
$$Z(d) = \frac{\dot{U}(d)}{\dot{I}(d)} = Z_0 \frac{1 + \dot{\Gamma}}{1 - \dot{\Gamma}} = Z_0 \frac{Z_2 + jZ_0 \operatorname{tg}(\beta d)}{Z_0 + jZ_2 \operatorname{tg}(\beta d)}$$

❖ **Tại đầu Đ dây:** 
$$Z_{in} = \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} = Z_0 \frac{1 + \dot{\Gamma}_1}{1 - \dot{\Gamma}_1} = Z_0 \frac{Z_2 + jZ_0 \operatorname{tg}(\beta l)}{Z_0 + jZ_2 \operatorname{tg}(\beta l)}$$



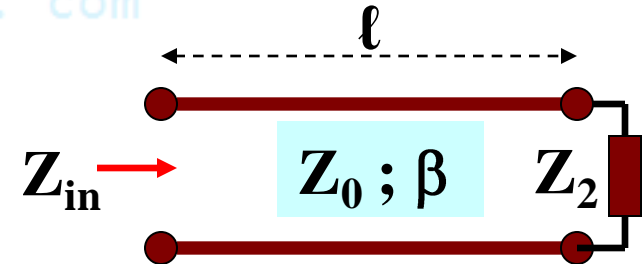
# Khi tính $Z_{in}$ cần lưu ý:

a) Đ dây hòa hợp: Tải Đ dây là trở kháng đặc tính  $Z_0 = Z_2$ ,

$$Z_{in} = Z_0$$

b) Đ dây  $\lambda/4$ : Nếu chiều dài đường dây  $\ell = n\lambda/2 + \lambda/4$ ,

$$Z_{in} = \frac{Z_0^2}{Z_2}$$



c) Đ dây  $\lambda/2$ : Nếu chiều dài đường dây  $\ell = n\lambda/2$ .

$$Z_{in} = Z_2$$



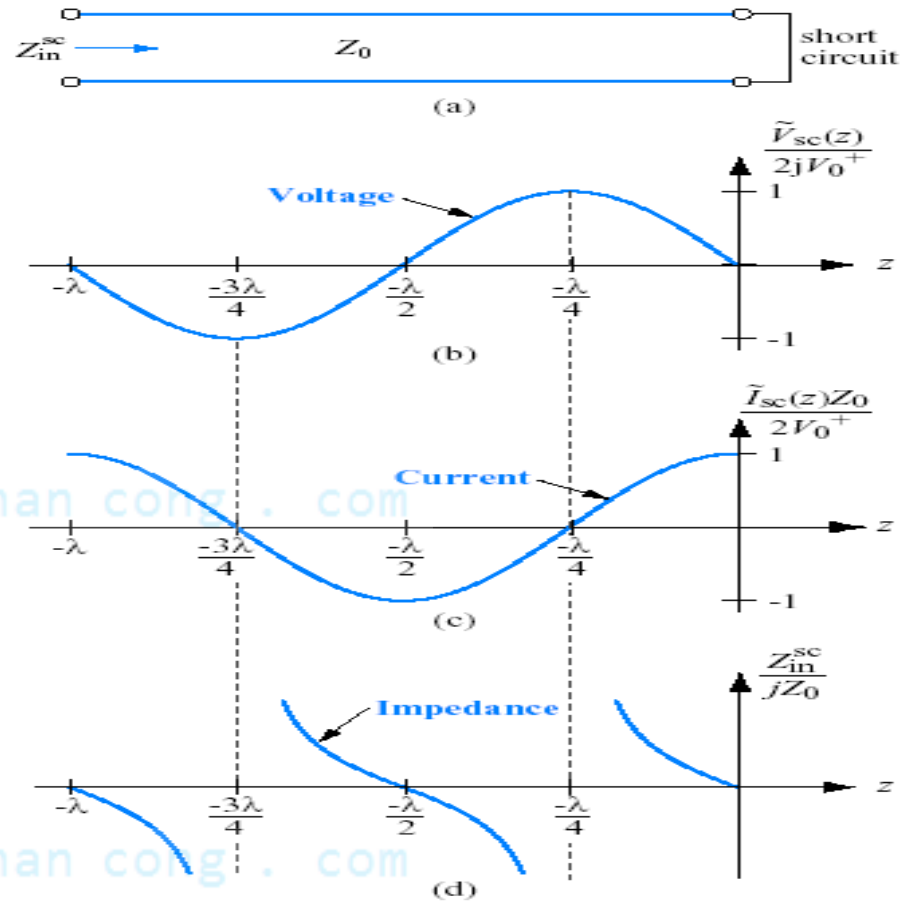
# Khi tính $Z_{in}$ cần lưu ý:

d) Đường dây hở mạch cuối:

$$Z_{in} = -jZ_0 \cot(\beta l)$$

e) Đường dây ngắn mạch cuối:

$$Z_{in} = jZ_0 \tan(\beta l)$$



❖ Nhận xét: Tùy thuộc vào chiều dài mà đường dây ngắn mạch cuối sẽ có phần ảo của  $Z_{in}$  là dương (cuộn dây) hay âm (tụ điện).

→ Mạch cộng hưởng

## ❖ VD 5.2.4: Trở kháng vào đường dây

Đường dây không tổn hao, cách điện không khí, trở kháng đặc tính  $Z_0 = 50 \Omega$ , ngắn mạch cuối đường dây. Tìm chiều dài bé nhất của đường dây để trở kháng vào tương đương với: (a) Cuộn dây  $0,25 \mu\text{H}$  tại tần số  $100 \text{ MHz}$  ? (b) Tụ điện  $100 \text{ pF}$  tại tần số  $100 \text{ MHz}$  ?

### Giải

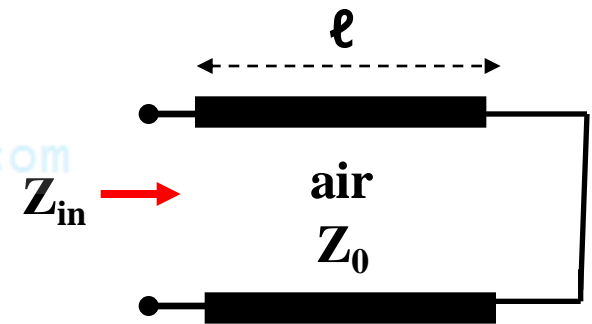
a) Dùng công thức đường dây ngắn mạch . com  
mạch cuối :  $Z_{\text{in}} = j\omega L$ .

$$jZ_0 \operatorname{tg}(\beta l) = j2\pi fL$$

$$\rightarrow \operatorname{tg}(\beta l) = \frac{2\pi \cdot 10^8 \cdot 0,25 \cdot 10^{-6}}{50} = \pi \rightarrow \beta l = 0,4019\pi + k\pi$$

$$\rightarrow l = \frac{\lambda}{2} (0,4019 + k) \quad \text{Với: } \lambda = \frac{c}{f} = 3 \text{ m}$$

$$\rightarrow l_{\text{min}} = 1,5 \cdot (0,4019) = 0,60285 \text{ m}$$



## ❖ VD 5.2.4: Trở kháng vào đường dây (tt)

Đường dây không tổn hao, cách điện không khí, trở kháng đặc tính  $Z_0 = 50 \Omega$ , ngắn mạch cuối đường dây. Tìm chiều dài bé nhất của đường dây để trở kháng vào tương đương với: (a) Cuộn dây  $0,25 \mu\text{H}$  tại tần số  $100 \text{ MHz}$  ? (b) Tụ điện  $100 \text{ pF}$  tại tần số  $100 \text{ MHz}$  ?

### Giải

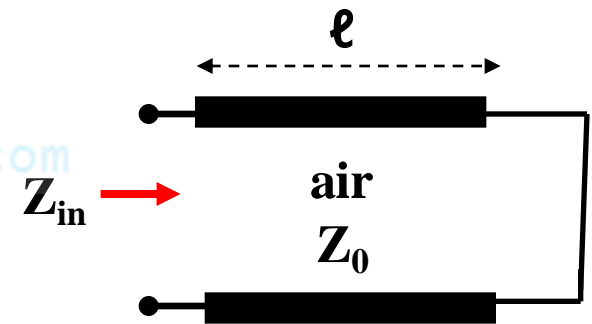
b) Dùng công thức đường dây ngắn mạch . com  
mạch cuối :  $Z_{\text{in}} = -j/\omega C$ .

$$jZ_0 \operatorname{tg}(\beta l) = -j/2\pi f C$$

$$\rightarrow \operatorname{tg}(\beta l) = \frac{-1}{2\pi \cdot 10^8 \cdot 10^{-10} \cdot 50} = \frac{-1}{\pi} \rightarrow \beta l = -0,098\pi + k\pi$$

$$\rightarrow l = \frac{\lambda}{2} (-0,098 + k) \quad \text{Với: } \lambda = \frac{c}{f} = 3 \text{ m}$$

$$\rightarrow l_{\text{min}} = 1,5 \cdot (-0,098 + 1) = 1,353 \text{ m}$$



## ❖ VD 5.2.5: Dùng trở kháng vào đường dây

Đường dây không tổn hao, chiều dài 500m, làm việc ở tần số 10 kHz, có các thông số đơn vị :  $L_0 = 2,6 \mu\text{H/m}$  và  $C_0 = 28,7 \text{ pF/m}$ . Biết  $Z_2 = 75 + j150 \Omega$ ,  $Z_n = 1 + j9 \Omega$  và  $\dot{E} = 120 \angle 0^\circ \text{ (Vrms)}$ . Xác định: (a) Áp dòng tại đầu đường dây ? (b) Áp dòng tại cuối đường dây ? (c) Công suất phức nhận tại đầu đường dây ?

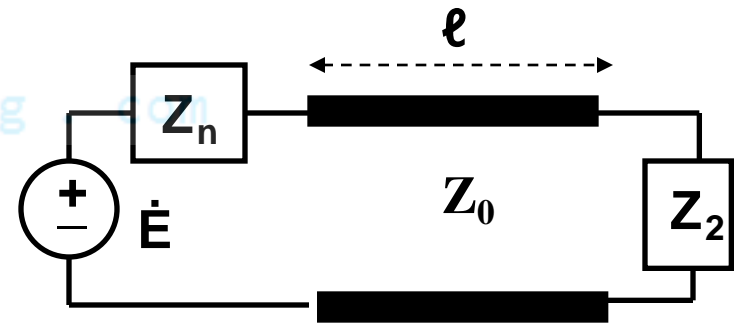
Giải

a) Tính  $Z_0$ ,  $\beta$  và  $\beta l$  :

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} = \sqrt{\frac{2,6 \cdot 10^{-6}}{28,7 \cdot 10^{-12}}} = 301 \text{ (}\Omega\text{)}$$

$$\beta = \omega \sqrt{L_0 C_0} = 2\pi \cdot 10^4 \sqrt{2,6 \cdot 10^{-6} \cdot 28,7 \cdot 10^{-12}} = 5,43 \cdot 10^{-4} \text{ (rad/m)}$$

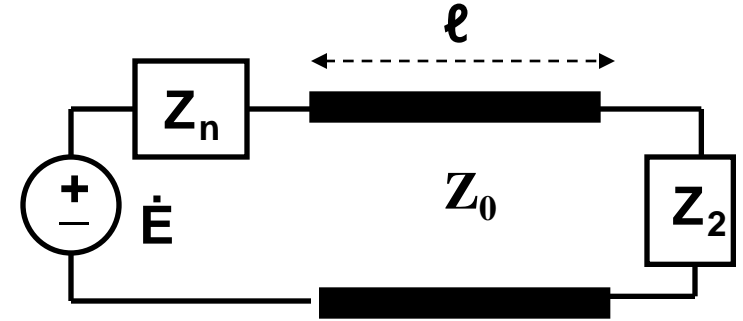
$$\beta l = 5,43 \cdot 10^{-4} \cdot 500 = 0,2714 \text{ rad} = 15,55^\circ$$



## ❖ VD 5.2.5: Dùng trở kháng vào đường dây

❖ Tính trở kháng vào:

$$Z_{in} = 301 \frac{(75 + j150) + j301 \operatorname{tg}(15,55)}{301 + j(75 + j150) \operatorname{tg}(15,55)}$$
$$= 108,22 + j262,7 \Omega$$



❖ Suy ra:

$$\dot{I}_1 = \frac{120 \angle 0^\circ}{(1 + j9) + (108,22 + j262,7)} = 0,41 \angle -68,1^\circ (\text{A})$$

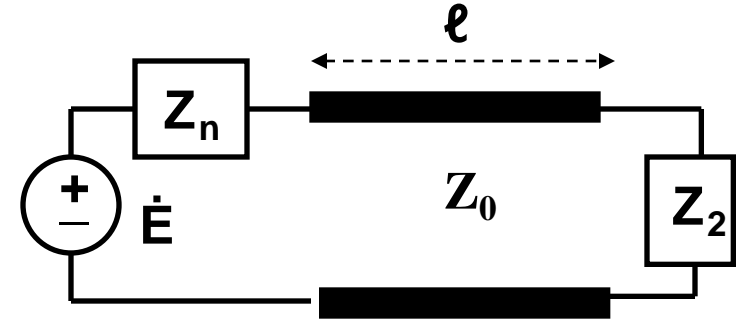
$$\dot{U}_1 = Z_{in} \dot{I}_1 = (108,22 + j262,7) \cdot 0,41 \angle -68,1^\circ = 116,43 \angle -0,49^\circ (\text{V})$$



## ❖ VD 5.2.5: Dùng trở kháng vào đường dây

b) Áp dòng tại cuối đđây dùng hệ pt nghiệm:

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_1 \cos(\beta l) - jZ_0 \dot{I}_1 \sin(\beta l)$$



$$\begin{aligned}\dot{U}_2 &= (116,43 \angle -0,49^\circ) \cdot \cos(15,55) - j301 \cdot (0,41 \angle -68,1^\circ) \sin(15,55) \\ &= 82,55 \angle -9,27^\circ \text{ (V)}\end{aligned}$$

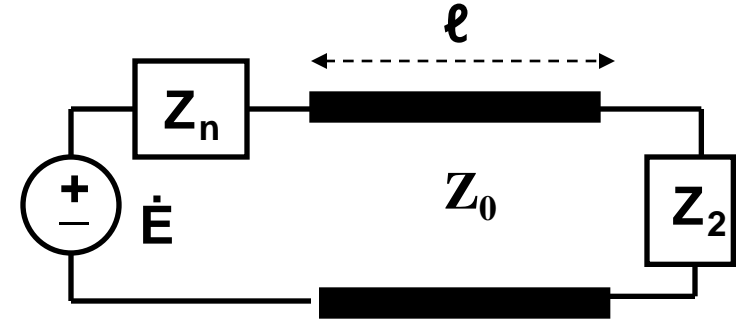
$$\dot{I}_2 = -j \frac{\dot{U}_1}{Z_0} \sin(\beta l) + \dot{I}_1 \cos(\beta l)$$

$$\begin{aligned}\dot{I}_2 &= -j \frac{(116,43 \angle -0,49^\circ)}{301} \sin(15,55) + (0,41 \angle -68,1^\circ) \cos(15,55) \\ &= (0,492 \angle -72,7^\circ) \text{ (A)}\end{aligned}$$

## ❖ VD 5.2.5: Dùng trở kháng vào đường dây

c) Công suất phức nhận tại đầu đường dây:

$$\tilde{S} = \dot{U}_1 \cdot \bar{I}_1$$

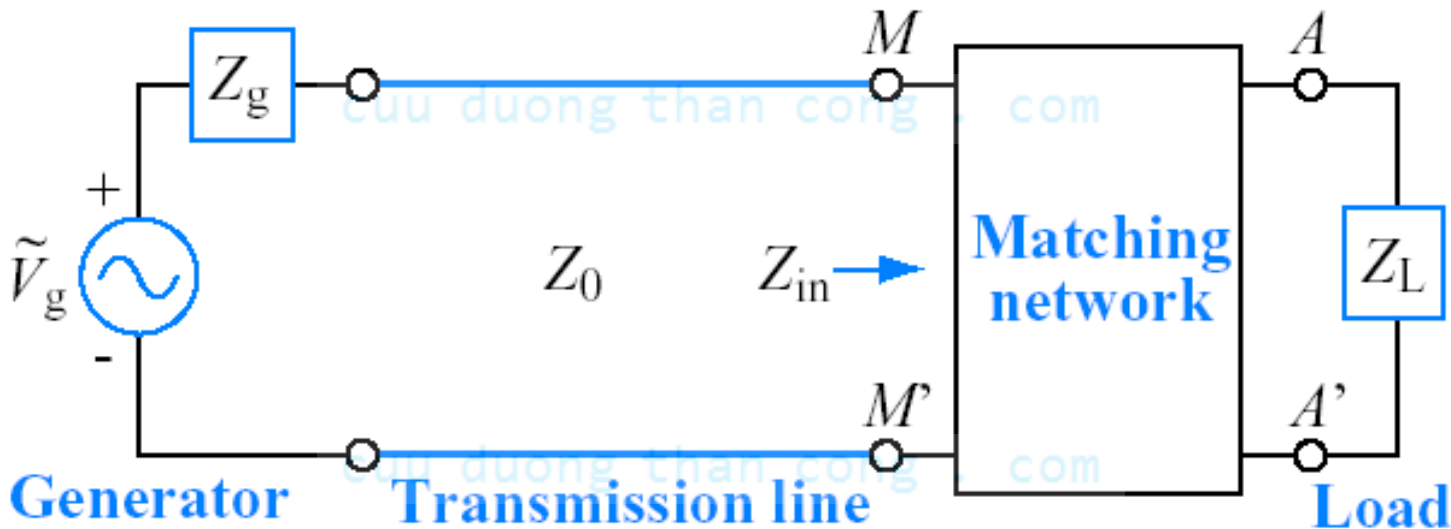


$$\begin{aligned}\tilde{S} &= (116,43 \angle -0,49^\circ) \cdot (0,41 \angle 68,1^\circ) \\ &= 18,18 + j44,14 \text{ VA}\end{aligned}$$

cuu duong than cong . com

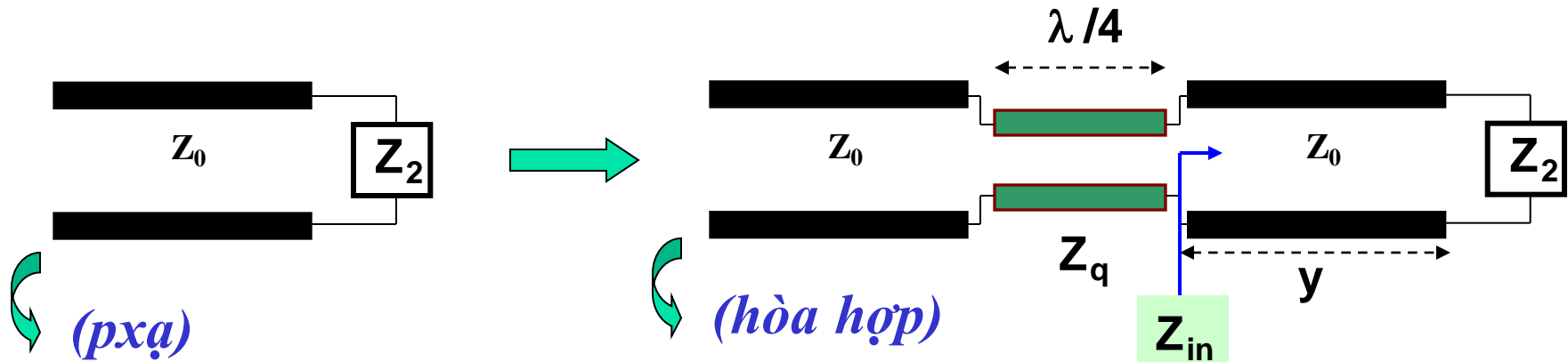
## 5.2.4: Hòa hợp đường dây :

❖ Trong trường hợp  $Z_L \neq Z_0$ , chúng ta cần thực hiện hòa hợp đường dây để loại trừ sóng phản xạ trên đường dây. Mạch hòa hợp (matching network) nhằm mục đích làm cho trở kháng vào tại M-M' bằng  $Z_0$  (hay dẫn nạp vào tại đó  $Y_{in} = 1/Z_{in} = 1/Z_0 = Y_0$ ).



❖ Có nhiều kỹ thuật để thực hiện một mạch hòa hợp.

## a) Đường dây biến áp $\lambda/4$ :



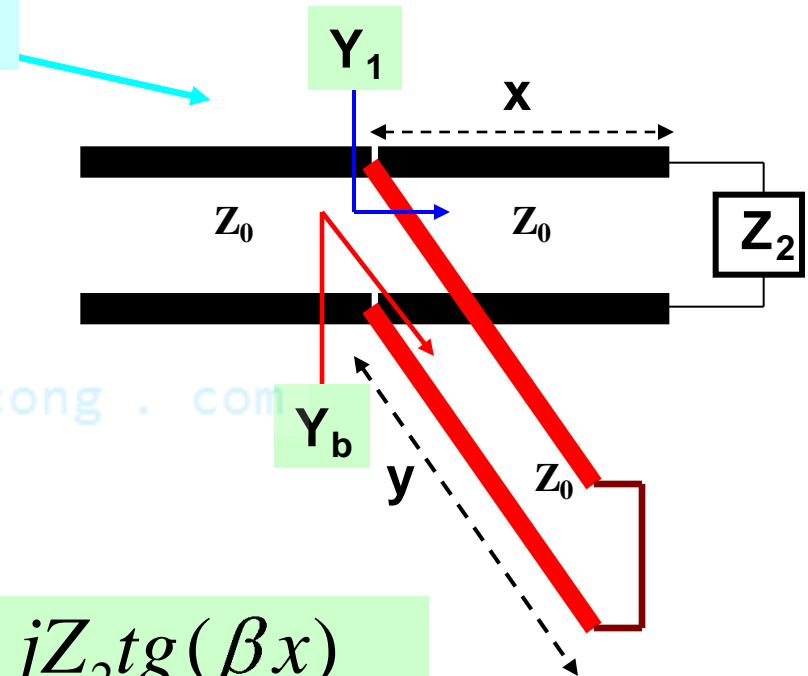
❖ Đường dây  $\lambda/4$  :

$$\begin{cases} l = \frac{\lambda}{4} \\ Z_q = \sqrt{Z_0 Z_{in}} \end{cases}$$

❖ Nếu  $Z_2 = \text{thực}$  thì  $y = 0$  và vị trí đặt đường dây biến áp tại cuối đường dây. Nếu  $Z_2 = \text{phức}$  thì  $y \neq 0$  (ta có thể xác định).

## b) Mạch vòng đơn:

### Mạch vòng đơn



❖ Xác định  $x$  và  $y$  từ:

$$Y_{in} = Y_b + Y_1$$

$$\rightarrow \frac{1}{Z_0} = -j \frac{1}{Z_0 \operatorname{tg}(\beta y)} + \frac{Z_0 + jZ_2 \operatorname{tg}(\beta x)}{Z_0 Z_2 + jZ_0 \operatorname{tg}(\beta x)}$$

❖ Sẽ có 2 nghiệm (của  $x$  và  $y$ ) . Ta có thể chọn sao cho  $0 < x < \lambda/2$  .

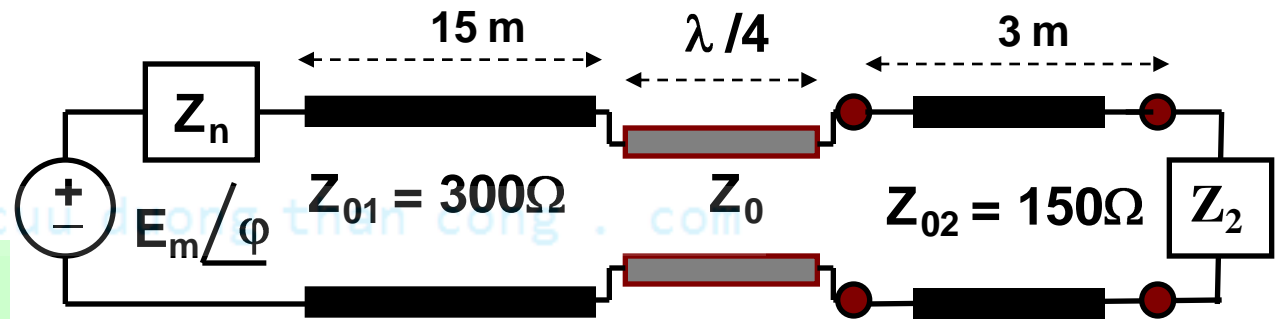
## ❖ VD 5.2.6: Hoà hợp đường dây

Các đường dây không tổn hao cách điện không khí, làm việc ở tần số 50 MHz và  $Z_2 = 150 \Omega$ . Tìm trở kháng đặc tính  $Z_0$  và chiều dài đường dây biến áp để không có phản xạ trên đường dây  $Z_{01}$ ?

### Giải

❖ Bước sóng:

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{50 \cdot 10^6} = 6 \text{ (m)}$$



➔ Chiều dài đường dây biến áp là 1,5 m.

❖ Trở kháng đặc tính của đường dây biến áp:

$$Z_0 = \sqrt{300 \cdot 150} = 212,1 \Omega$$

## 5.2.5: Sóng đứng

❖ Như ta đã biết, áp và dòng tại một điểm bất kỳ trên đường dây là sự xếp chồng của sóng tới và phản xạ tại điểm đó.

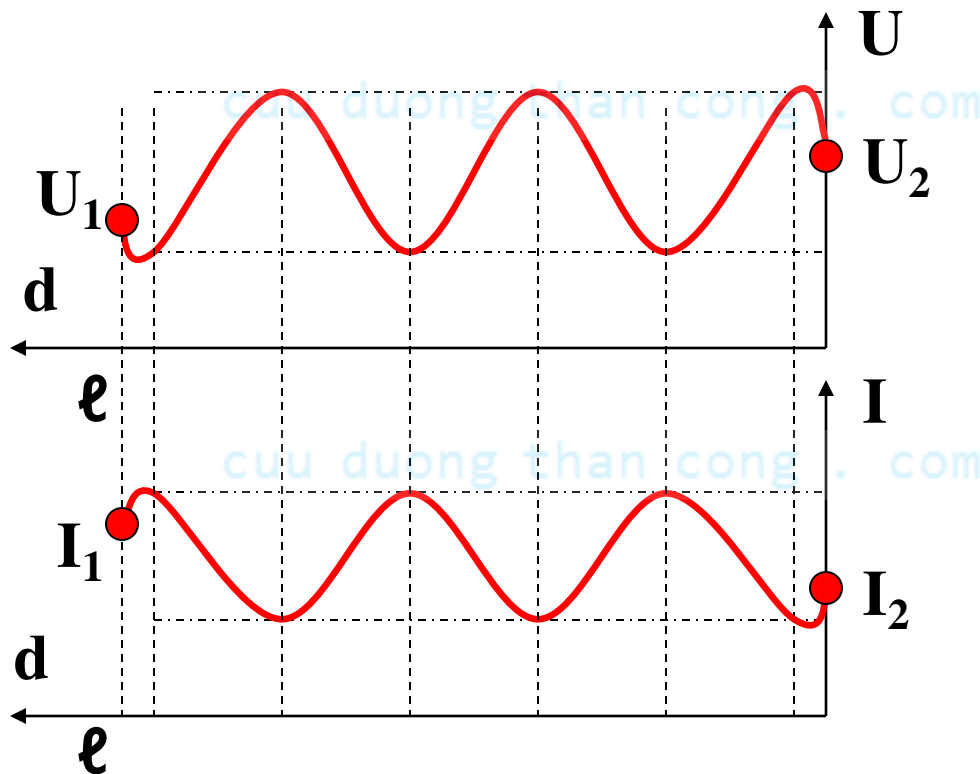
$$\begin{cases} \dot{U}(d) = \dot{U}_2^+ e^{j\beta d} (1 + \Gamma_2) e^{-j2\beta d} \\ \dot{I}(d) = \dot{I}_2^+ e^{j\beta d} (1 - \Gamma_2) e^{-j2\beta d} \end{cases}$$

❖ Quá trình này làm xuất hiện các điểm có biên độ áp hay dòng rất lớn hoặc rất bé, và qui luật đó không thay đổi theo thời gian (có nghĩa đứng yên). Hiện tượng này gọi là hiện tượng sóng đứng trên đường dây. Đây là hiện tượng vật lý tự nhiên của đường dây khi truyền đi tín hiệu điều hòa.

## a) Biên độ áp – dòng trên đường dây:

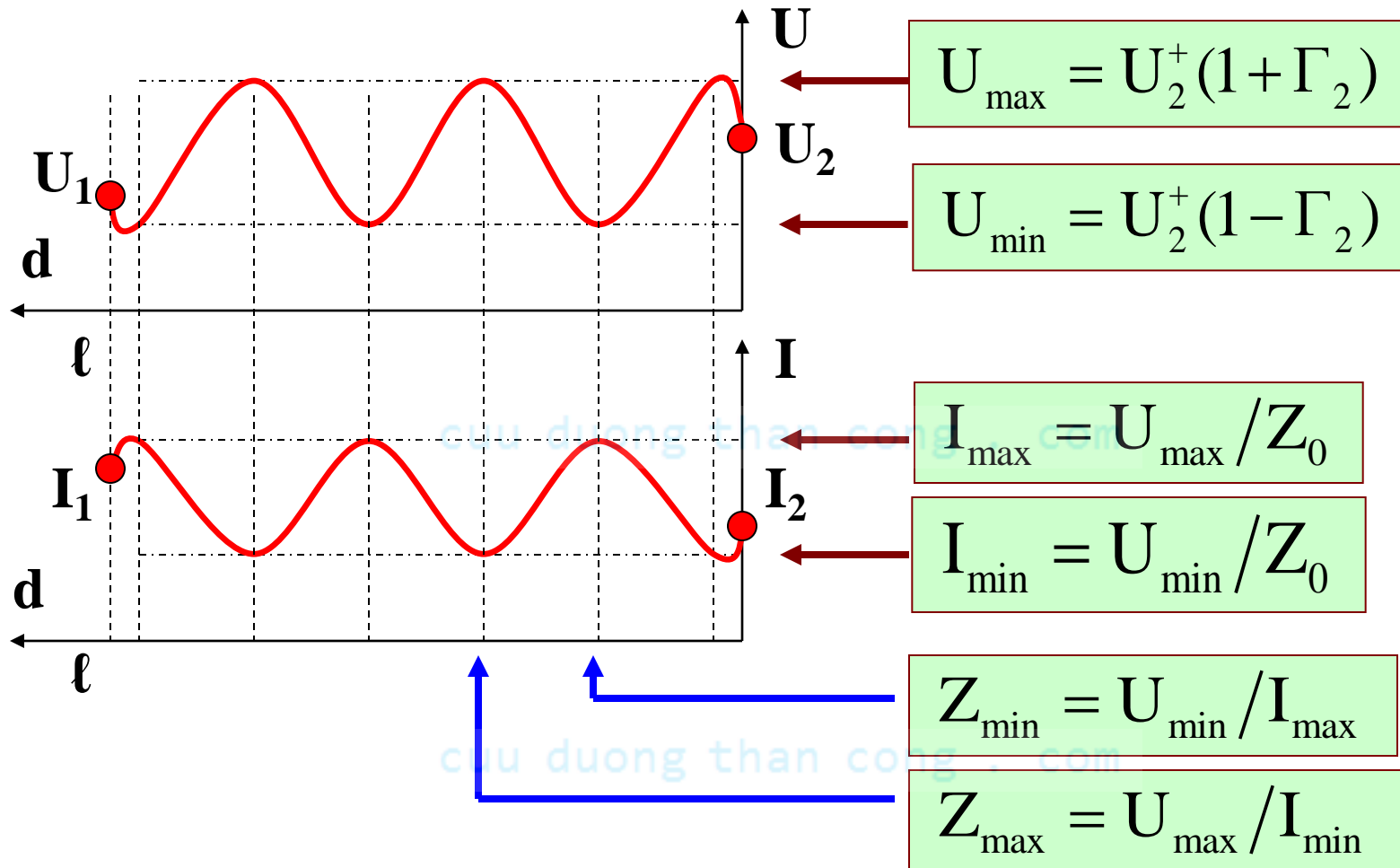
$$U = U_2^+ \sqrt{1 + 2\Gamma_2 \cos(\theta - 2\beta d) + \Gamma_2^2}$$

$$I = I_2^+ \sqrt{1 - 2\Gamma_2 \cos(\theta - 2\beta d) + \Gamma_2^2}$$

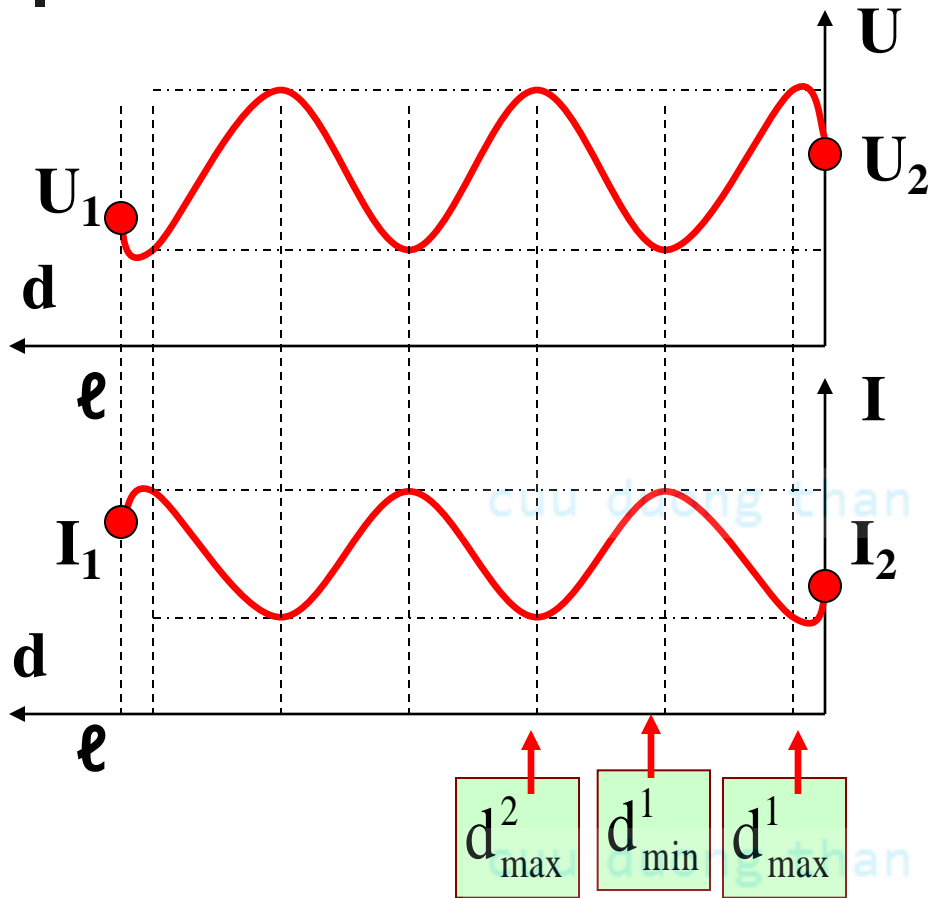




## b) Các giá trị cực đại & cực tiểu:



## c) Vị trí các điểm cực đại – cực tiểu:



- Có nhiều giá trị  $d_{\max}$  và  $d_{\min}$ .
- Chọn  $k$  thỏa:  $0 \leq d_{\max}, d_{\min} \leq \ell$ .

### ▪ Cực đại:

$$\cos(\theta - 2\beta d_{\max}) = 1$$

$$\rightarrow \theta - 2\beta d_{\max} = 0, -2\pi..$$

$$\rightarrow d_{\max} = \frac{\theta}{2\beta} + k \frac{\lambda}{2}$$

### ▪ Cực tiểu:

$$\cos(\theta - 2\beta d_{\min}) = -1$$

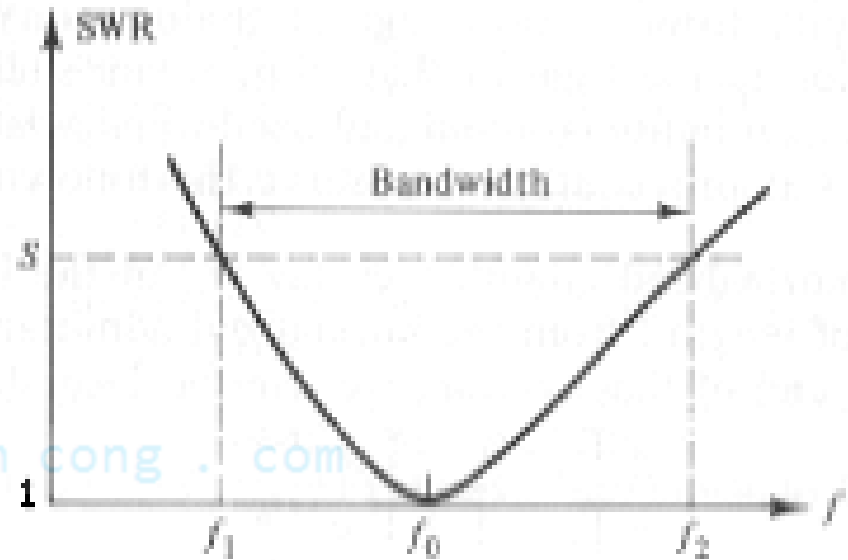
$$\rightarrow \theta - 2\beta d_{\min} = -\pi, -3\pi..$$

$$\rightarrow d_{\min} = \frac{\theta}{2\beta} + \frac{\lambda}{4} + k \frac{\lambda}{2}$$

## d) Hệ số sóng đứng:

$$SWR = \frac{U_{\max}}{U_{\min}} = \frac{I_{\max}}{I_{\min}} = \frac{1 + \Gamma_2}{1 - \Gamma_2}$$

$$\Gamma_2 = \frac{SWR - 1}{SWR + 1}$$



cuu duong than cong . com

## e) Biểu đồ sóng đứng:

- max-min =  $\lambda/4$

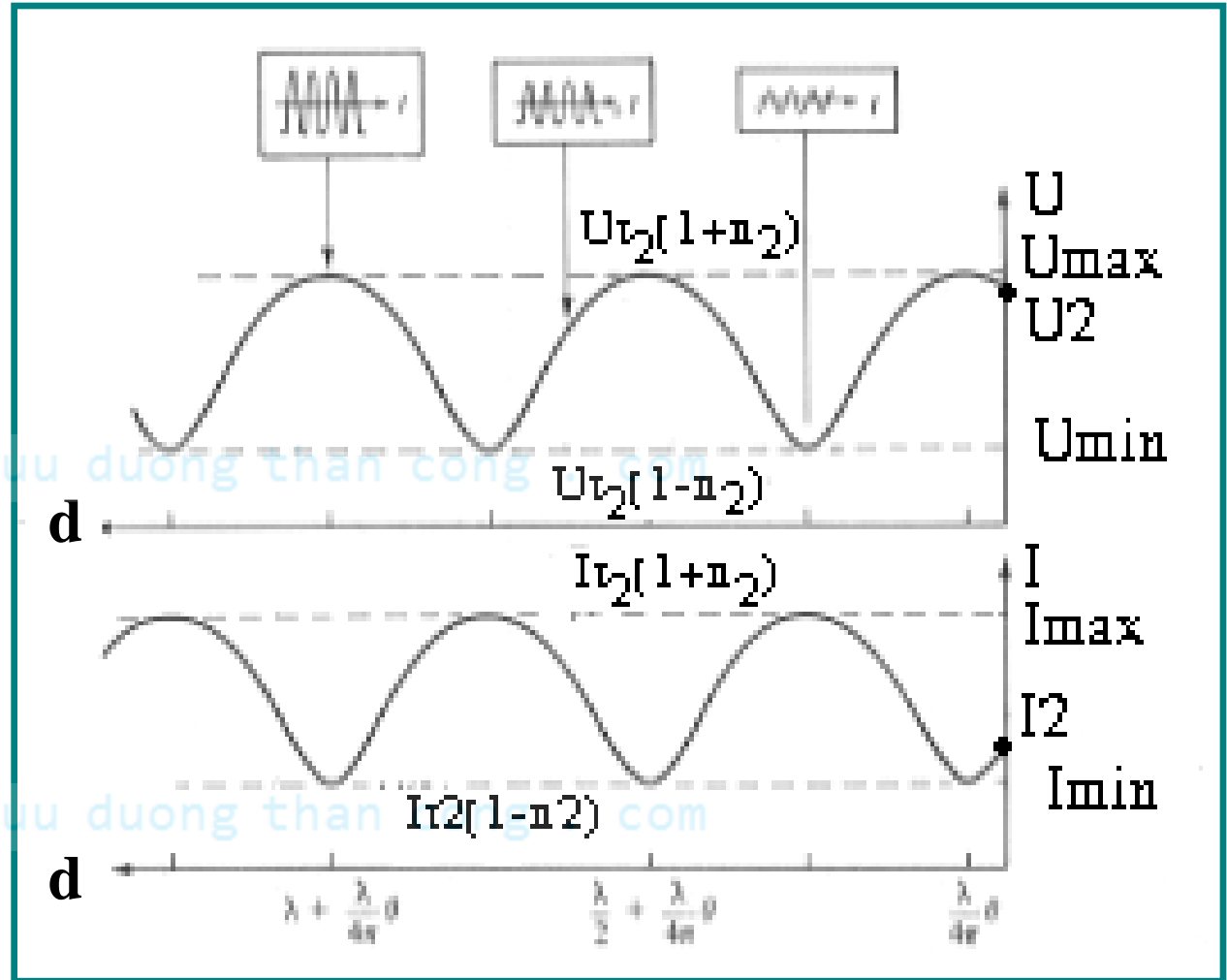
- max-max =  $\lambda/2$

- $\lambda/4$  line : đầu max  $\leftrightarrow$  cuối min .

- $\lambda/2$  line:  $U_1 = U_2$   
: ổn áp.

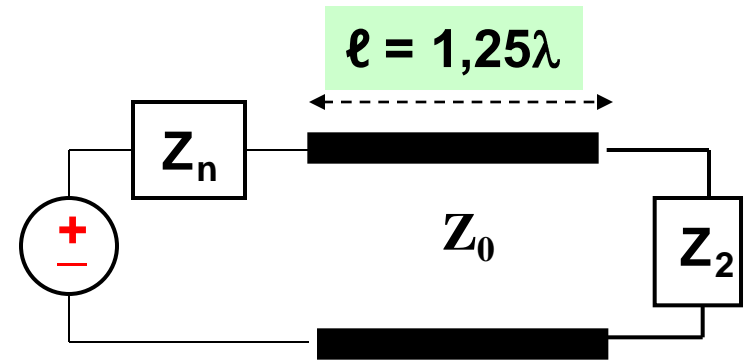
- $R_2 > Z_0$ : cuối là max áp.

- $R_2 < Z_0$ : cuối là min áp.



## ❖ VD 5.2.7: Hiện tượng sóng đứng

Vẽ dạng phân bố điện áp trên đường dây không tổn hao, dài bằng 1,25 bước sóng. Nguồn áp có biên độ sđđ 100 V,  $Z_n = 50 + j50$  [ $\Omega$ ], trở kháng sóng  $Z_0 = 100$  [ $\Omega$ ], tải cuối đường dây  $Z_2 = 200$  [ $\Omega$ ].



cuu duong than **Giải** . com

❖ Trở kháng vào:

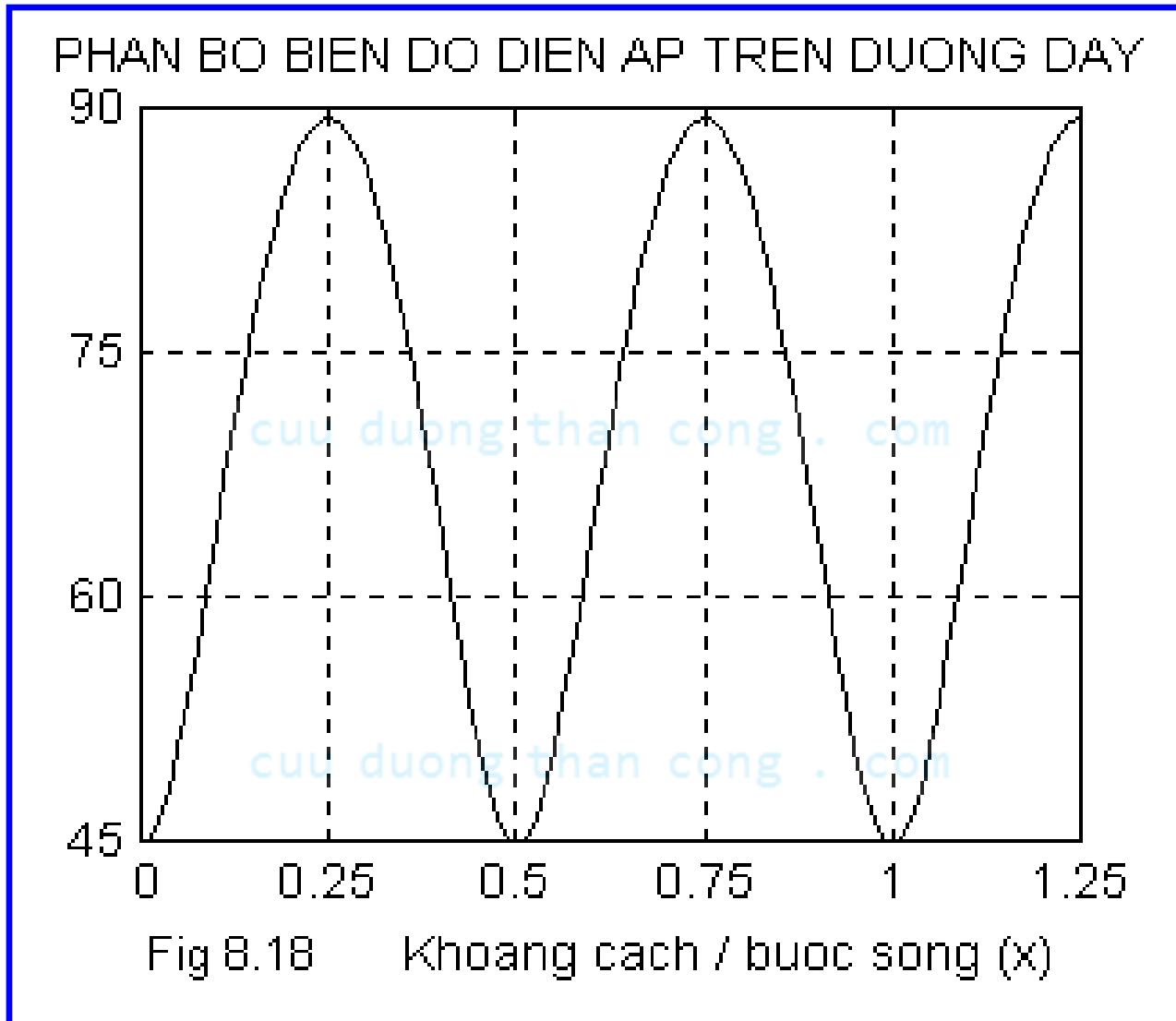
$$Z_{in} = \frac{100^2}{200} = 50(\Omega)$$

❖ Tính  $I_1$ ,  $U_1$ ,  $U_1^+$ ,  $\Gamma_2$ ,  $U_{max}$ ,  $U_{min}$ .

cuu duong than cong . com

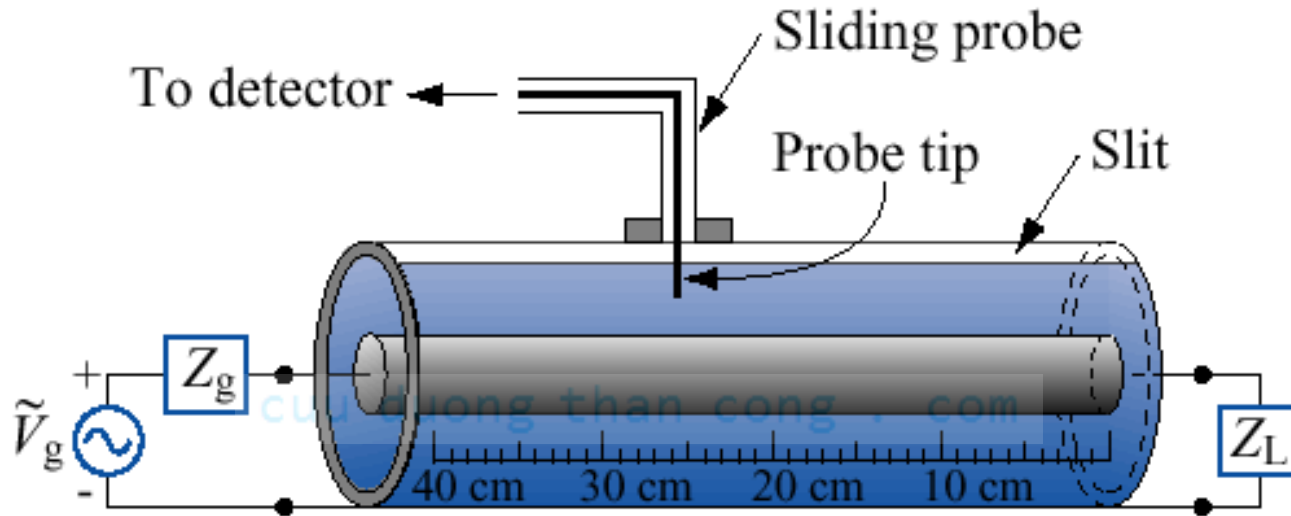
❖ Tải trở  $Z_2 > Z_0$  : cuối đường dây là điểm max điện áp .

# ❖ VD 5.2.7: Hiện tượng sóng đứng



f)

## Thiết bị đo sóng đứng (VSWR Meter)



- Là một cáp đồng trục có  $Z_0$  đã biết, dài 1m hay  $\lambda$  , bên ngoài có khắc vạch vị trí.
- Một probe trở kháng cao, có thể trượt dọc cáp, lấy tín hiệu áp đưa đến bộ chỉ thị.

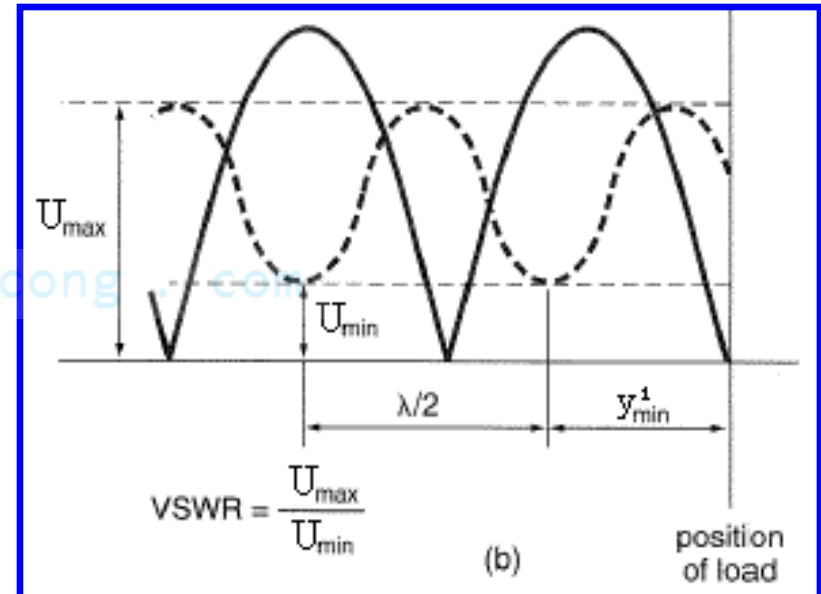
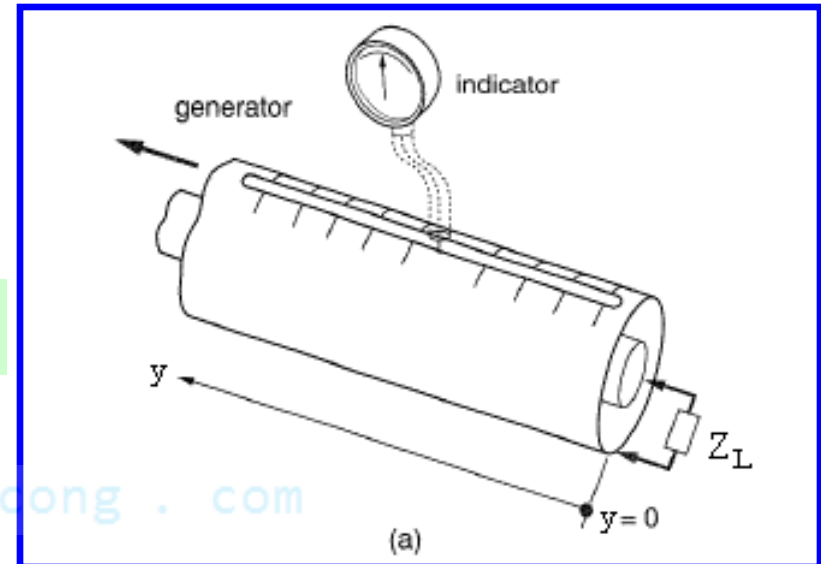
# ❖ Đo tải đường dây dùng VSWR meter:

1. Cho ngắn mạch tải:  $\rightarrow \lambda$

2. Cho tải  $Z_L$ : Đo:  $d_{\min}^1$  và SWR

$$\Gamma_2 = \frac{\text{SWR} - 1}{\text{SWR} + 1} \quad \theta = \frac{4\pi}{\lambda} d_{\min}^1 - \pi$$

$$\rightarrow Z_L = Z_0 \frac{1 + \Gamma_2 \angle \theta}{1 - \Gamma_2 \angle \theta} (\Omega)$$





## ❖ VD 5.2.8: Thiết bị đo sóng đứng

Đường dây không tổn hao, trở kháng đặc tính  $50 \Omega$ , tải  $Z_2$ . Biết hệ số sóng đứng trên đường dây là 3, khoảng cách giữa 2 điểm cực tiểu liên tiếp là 20cm và điểm cực tiểu áp đầu tiên cách tải 5 cm. Xác định: (a) Hệ số phản xạ tại cuối đường dây ? (b) Giá trị tải  $Z_2$  ?

Giải

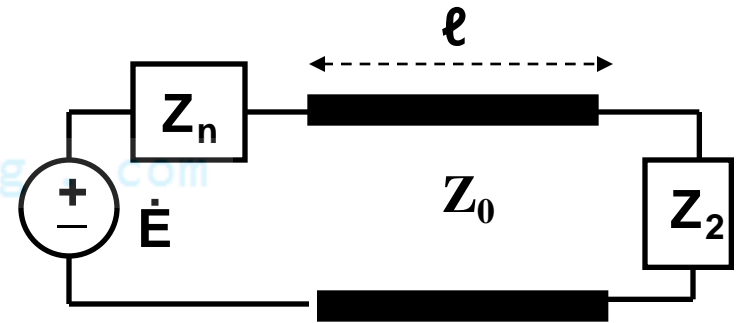
a) Hệ số phản xạ:

$$\Gamma_2 = \frac{3-1}{3+1} = 0,5 ; \quad \theta = \frac{4\pi}{2.20} 5 - \pi = -90^\circ$$

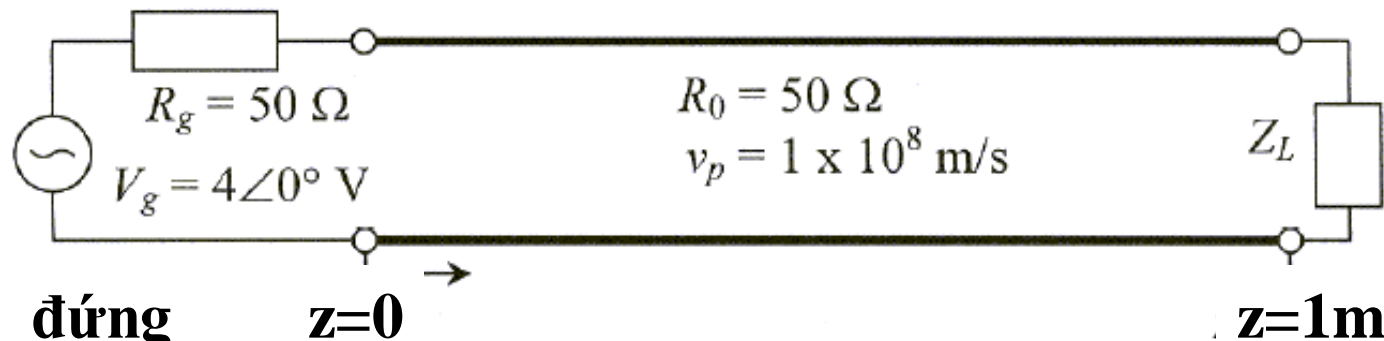
$$\dot{\Gamma}_2 = 0,5 \angle -90^\circ$$

b) Tải cuối đđây:

$$Z_2 = 50 \frac{1 + 0,5 \angle -90^\circ}{1 - 0,5 \angle -90^\circ} = 30 - j40 (\Omega)$$

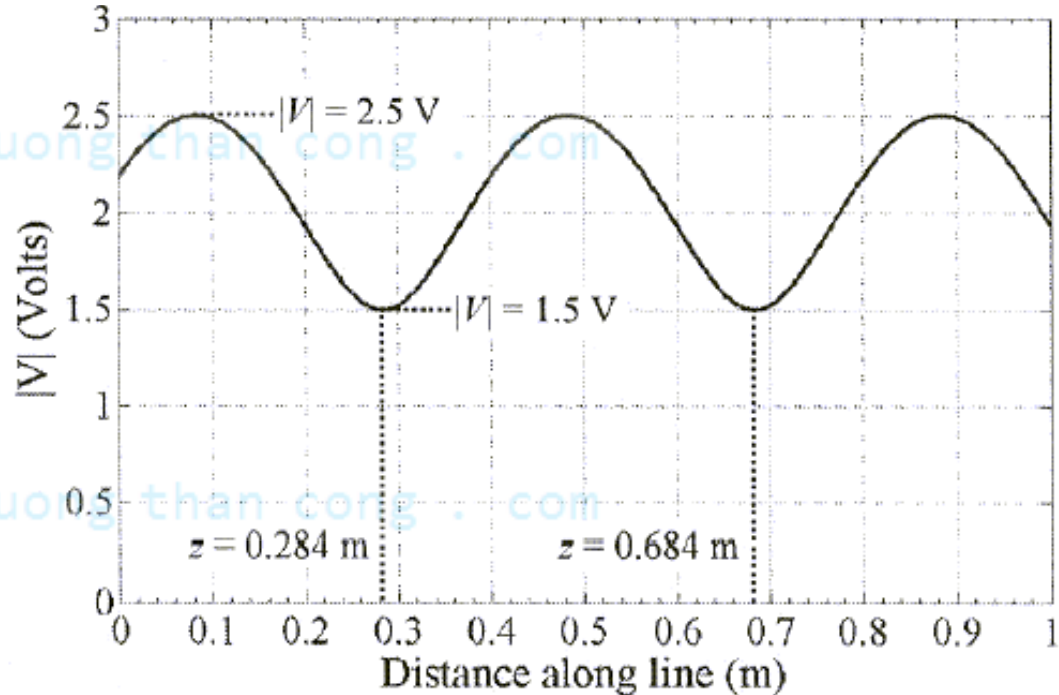


## ❖ VD 5.2.9: Biểu đồ sóng đứng

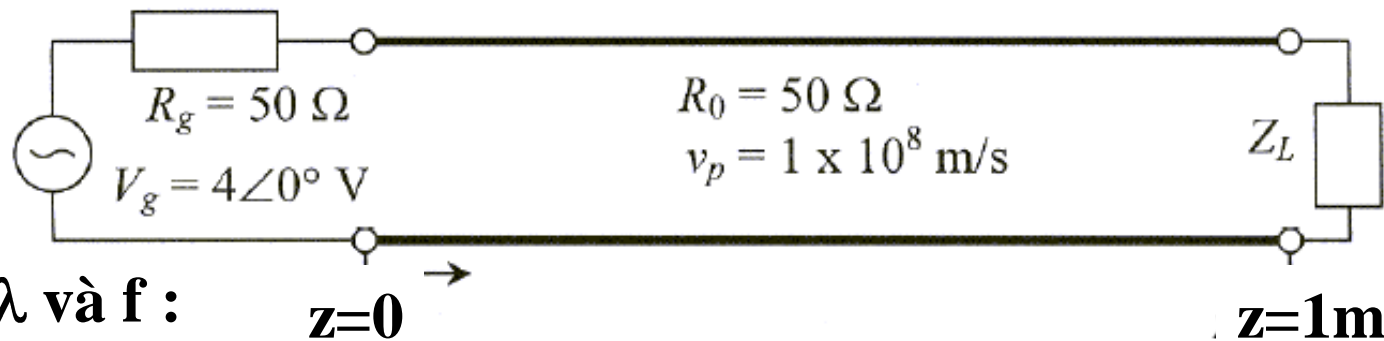


Biểu đồ sóng đứng trên đường dây không tổn hao như hình bên.

- Tính SWR,  $\lambda$  và  $f$  ?
- Xác định  $Z_L$  ?



## ❖ VD 5.2.9: Biểu đồ sóng đứng (tt)

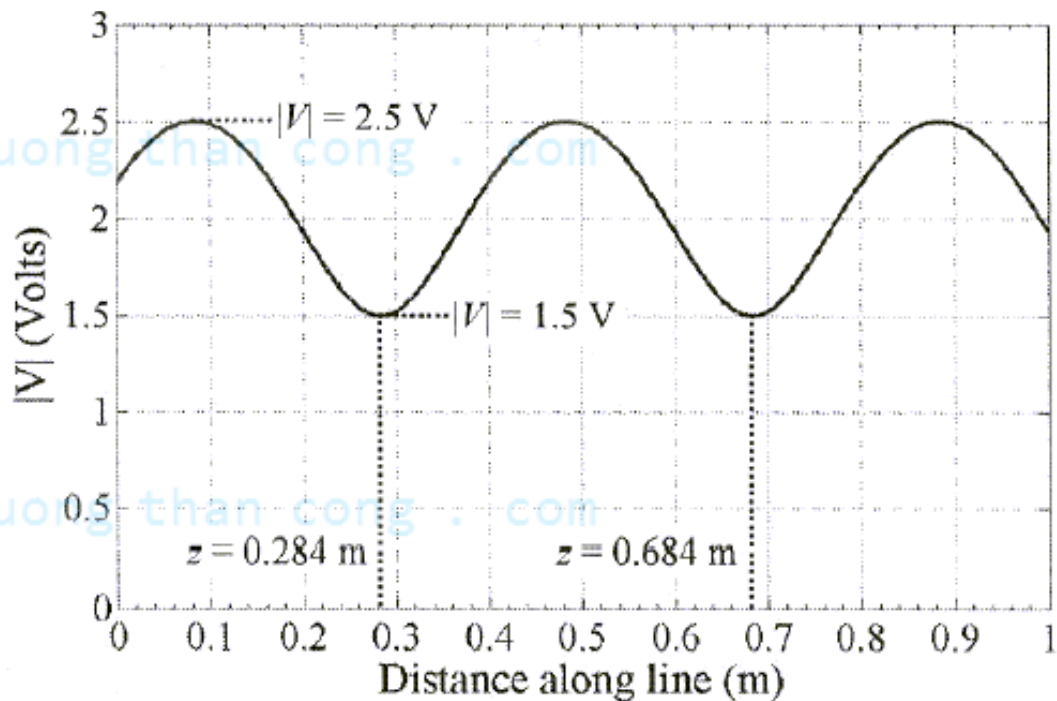


a) Tính SWR,  $\lambda$  và  $f$  :

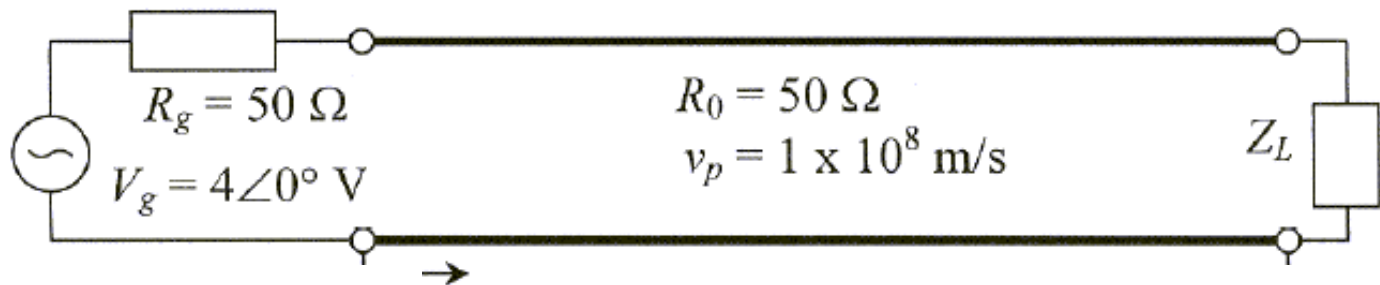
$$SWR = \frac{U_{\max}}{U_{\min}} = \frac{5}{3}$$

$$\begin{aligned} \lambda &= 2(0,684 - 0,284) \\ &= 0,8m \end{aligned}$$

$$f = \frac{10^8}{0,8} = 125 \text{ MHz}$$



## ❖ VD 5.2.9: Biểu đồ sóng đứng (tt)



**b) Tải cuối đường dây:  $z=0$**

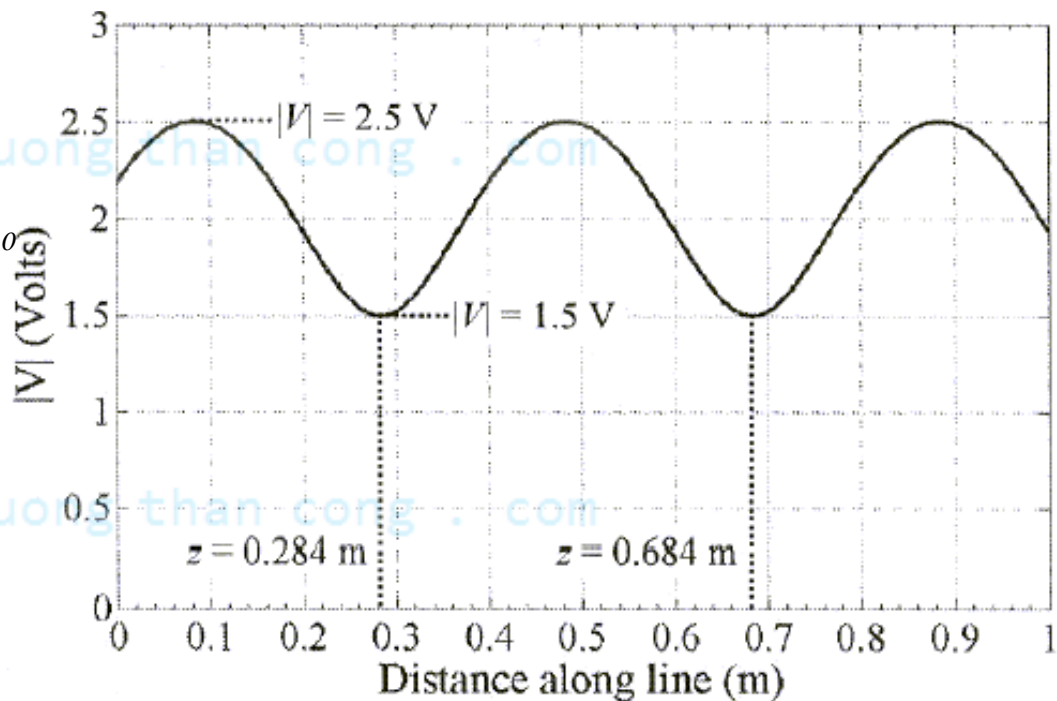
**$z=1\text{m}$**

$$\Gamma_2 = \frac{5/3 - 1}{5/3 + 1} = 0,25 ;$$

$$\theta = \frac{4\pi}{2.0,4} (1 - 0,684) - \pi = 104,4^\circ$$

$$\dot{\Gamma}_2 = 0,25 \angle 104,4^\circ$$

$$\begin{aligned} Z_L &= 50 \frac{1 + 0,25 \angle 104,4^\circ}{1 - 0,25 \angle 104,4^\circ} \\ &= 39,5 + j20,4 \text{ (}\Omega\text{)} \end{aligned}$$



## 5.2.6 Công suất trên đường dây KTH:

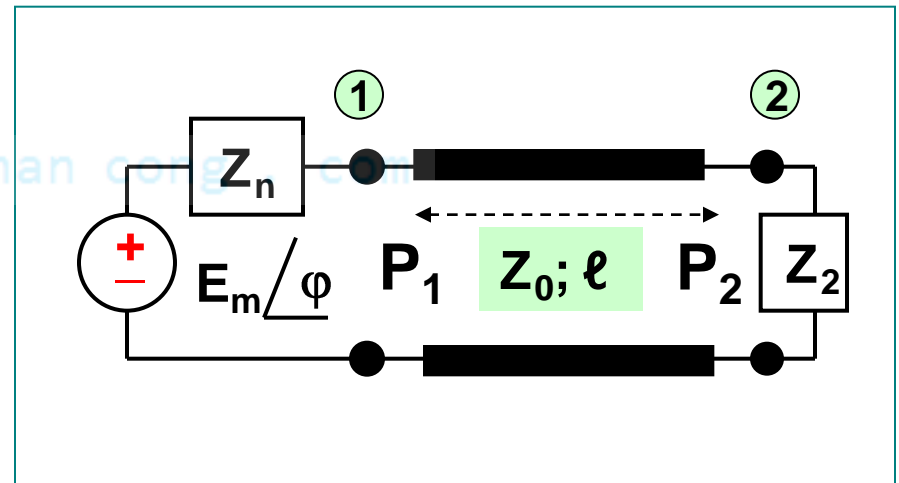
❖ Công suất trung bình tại z:

$$P_z = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \dot{U} I^*$$

❖ Công suất tại đầu, cuối đường dây:

$$P_1 = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \dot{U}_1 I_1^*$$

$$P_2 = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \dot{U}_2 I_2^*$$



❖ Do đường dây không tổn hao nên:

$$P_1 = P_2$$

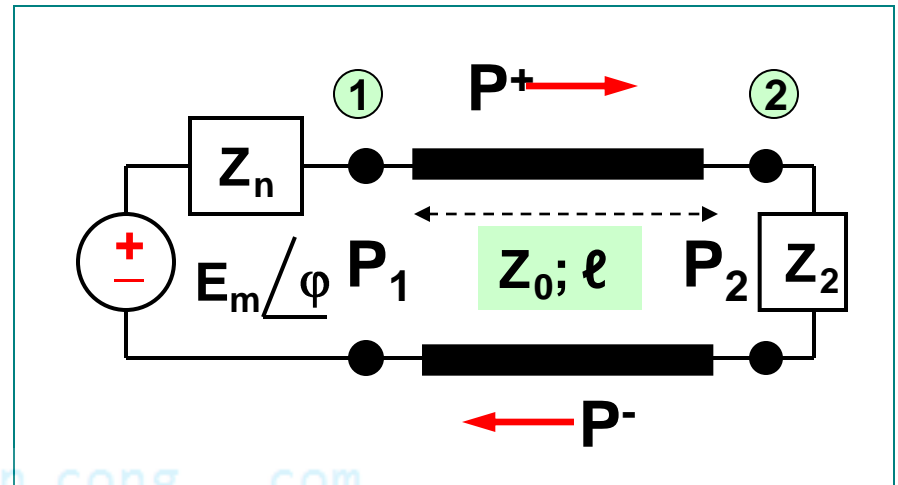


$$\Delta P = 0$$

## ❖ Công suất tới và phản xạ :

$$P^+ = \frac{1}{2} \frac{(U^+)^2}{Z_0}$$

$$P^- = \frac{1}{2} \frac{(U^-)^2}{Z_0}$$



❖ Công suất tại một điểm là xếp chồng của công suất sóng tới và sóng phản xạ:

$$P_d = P^+ - P^-$$

## ❖ VD 5.2.10: Công suất trên đường dây

Đường dây không tổn hao, chiều dài 50cm, bước sóng làm việc  $\lambda = 100\text{cm}$ , có các thông số đơn vị :  $L_0 = 0,17 \mu\text{H/m}$  và  $C_0 = 70 \text{ pF/m}$ . Biết  $Z_2 = 50 + j20 \Omega$ ,  $Z_n = 50 \Omega$  và  $\dot{E} = 10 \angle 0^\circ \text{ (V)}$ . Xác định: (a) Tần số tín hiệu trên đường dây ? (b) Áp dòng tại đầu và cuối đường dây ? (c) Công suất phức phát ra của nguồn, nhận tại cuối đường dây và hiệu suất của hệ ?

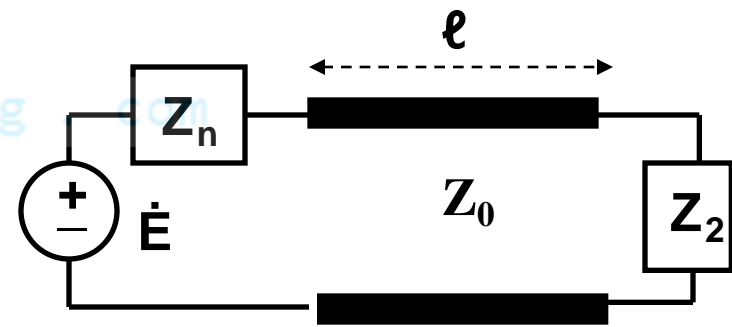
Giải

a) Tính  $Z_0$ ,  $v_p$  và  $f$  :

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} = \sqrt{\frac{0,17 \cdot 10^{-6}}{70 \cdot 10^{-12}}} = 49,3 \text{ (}\Omega\text{)}$$

$$v_p = 1/\sqrt{L_0 C_0} = 1/\sqrt{0,17 \cdot 10^{-6} \cdot 70 \cdot 10^{-12}} = 2,899 \cdot 10^8 \text{ (m/s)}$$

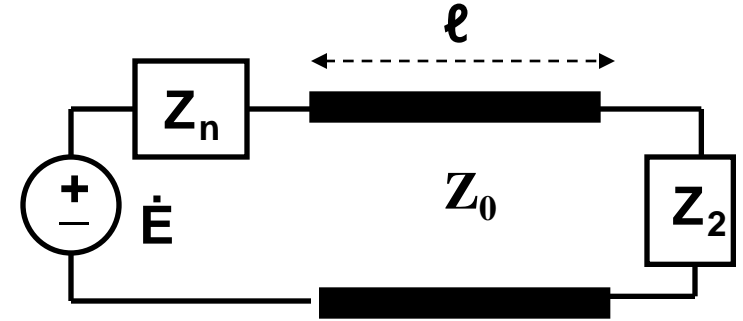
$$f = v_p/\lambda = 2,899 \cdot 10^8 / 1 = 290 \text{ MHz}$$



## ❖ VD 5.2.10: Công suất trên đường dây (tt)

b) Tính trở kháng vào:  
đường dây bán sóng nên:

$$Z_{in} = Z_2 = 50 + j20 \Omega$$



❖ Suy ra:

$$\dot{I}_1 = \frac{10 \angle 0^\circ}{50 + 50 + j20} = 98 \angle -11,3^\circ \text{ (mA)} \quad \dot{U}_1 = Z_{in} \dot{I}_1 = 5,28 \angle 10,5^\circ \text{ (V)}$$

❖ Góc điện :  $\beta l = (2\pi/\lambda)l = \pi = 180^\circ$ .

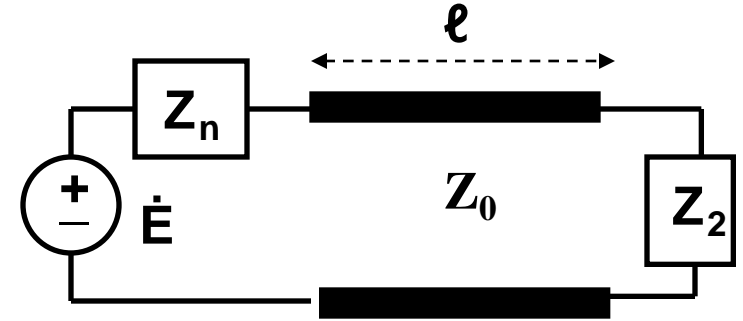
$$\dot{U}_2 = \dot{U}_1 \cos(\beta l) - jZ_0 \dot{I}_1 \sin(\beta l) = 5,28 \angle 190,5^\circ \text{ (V)}$$

$$\dot{I}_2 = -j \frac{\dot{U}_1}{Z_0} \sin(\beta l) + \dot{I}_1 \cos(\beta l) = 98 \angle 168,7^\circ \text{ (mA)}$$



## ❖ VD 5.2.10: Công suất trên đường dây (tt)

c) Công suất phức phát ra bởi nguồn và công suất phức nhận tại cuối đường dây:



$$\tilde{S}_E = \frac{1}{2} \dot{E} \cdot \bar{I}_1 = \frac{1}{2} 10 \angle 0^\circ \cdot 0,098 \angle 11,3^\circ = 0,48 + j0,096 \text{ VA}$$

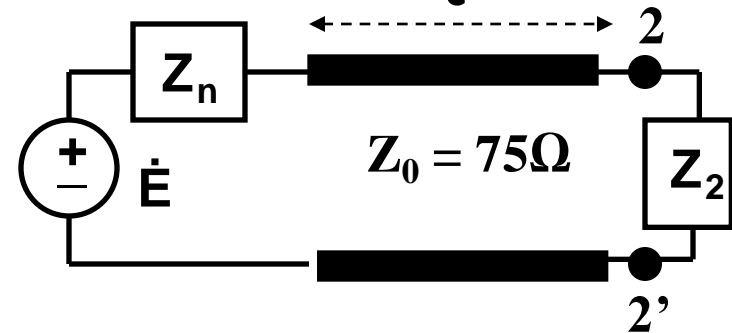
$$\tilde{S}_2 = \frac{1}{2} \dot{U}_2 \cdot \bar{I}_2 = \frac{1}{2} 5,28 \angle 190,5^\circ \cdot 0,098 \angle -168,7^\circ = 0,24 + j0,096 \text{ VA}$$

❖ Hiệu suất của hệ:

$$\eta = \frac{0,24}{0,48} = 50\%$$

## ❖ VD 5.2.11: Công suất trên đường dây

Đường dây không tổn hao, chiều dài  $\ell = \lambda/4$ , trở kháng đặc tính  $Z_0 = 75\Omega$ .  
Biết  $Z_n = 50\Omega$  và  $\dot{E} = 30\angle 0^\circ$  (V).

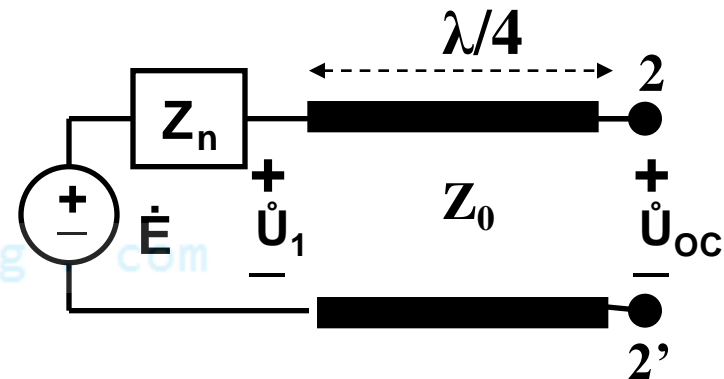


Xác định: (a) Sơ đồ tương đương Thevenin cho phần mạch bên trái 2-2' ? (b) Trở kháng  $Z_2$  để nó nhận công suất cực đại ? Cho biết giá trị  $P_{\max}$  ? (c) So sánh với trường hợp hòa hợp đường dây ?

### Giải

a) Tách  $Z_2$  khỏi mạch :

▪ Xác định  $\dot{U}_{oc}$  : đường dây  $\lambda/4$  hở mạch cuối có trở kháng vào:



$$Z_{in} = \frac{Z_0^2}{Z_2} = 0 \quad \rightarrow \quad \begin{cases} \dot{I}_1 = \frac{30\angle 0^\circ}{50} = 0,6\angle 0^\circ \text{ (A)} \\ \dot{U}_1 = 0 \end{cases}$$

## ❖ VD 5.2.11: Công suất trên đường dây (tt)

- Góc điện :  $\beta l = (2\pi/\lambda)l = \pi/2 = 90^\circ$ .

$$\dot{U}_{oc} = \dot{U}_1 \cos(\beta l) - jZ_0 \dot{I}_1 \sin(\beta l) = 45 \angle -90^\circ \text{ (V)}$$

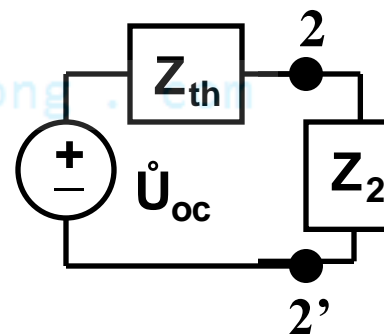
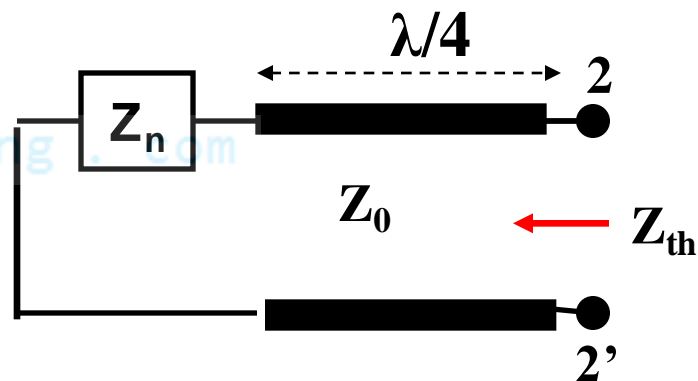
- Trở kháng Thevenin:

$$Z_{th} = \frac{75^2}{50} = 112,5 \Omega$$

- b) Để nhận  $P_{max}$  :

$$Z_2 = 112,5 \Omega$$

$$P_{max} = \frac{1}{8} \frac{45^2}{112,5} = 2,25 \text{ W}$$

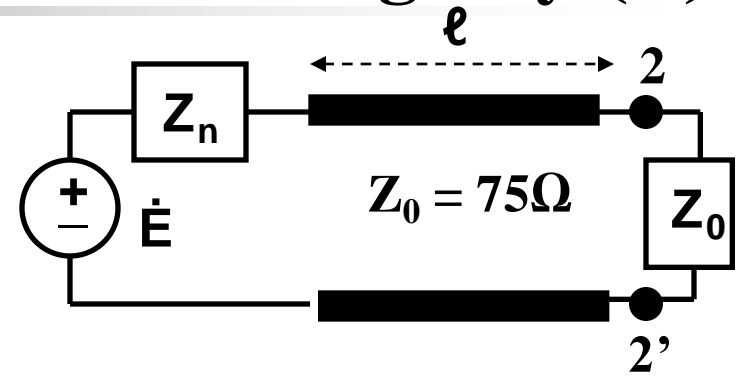


## ❖ VD 5.2.11: Công suất trên đường dây (tt)

c) Trường hợp hòa hợp đường dây:

$$Z_{\text{in}} = Z_0 = 75 \Omega$$

$$\rightarrow \dot{I}_1 = \frac{30 \angle 0^\circ}{50 + 75} = 0,24 \angle 0^\circ \text{ (A)}$$



■ Công suất nhận trên tải cuối đường dây:

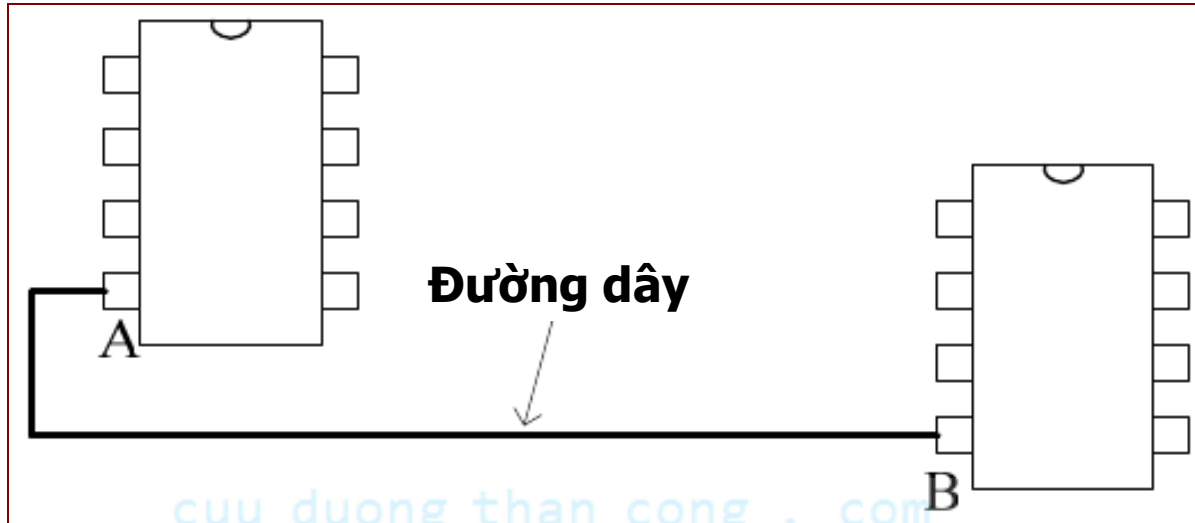
$$P_2 = P_1 = \frac{1}{2} I_1^2 \text{Re}\{Z_{\text{in}}\} = 2,16 \text{ W}$$

## 5.3 Đường dây với nguồn xung

- ❖ Đường dây tác động với nguồn xung → **Miền thời gian**
- ❖ Ứng dụng trong điện tử số và máy tính .
- ❖ Chỉ khảo sát với mô hình đường dây không tổn hao .

# 5.3.1 Đường dây tải thuần trở :

## ❖ Bài toán :



## ❖ Mạch: Đdây KTH

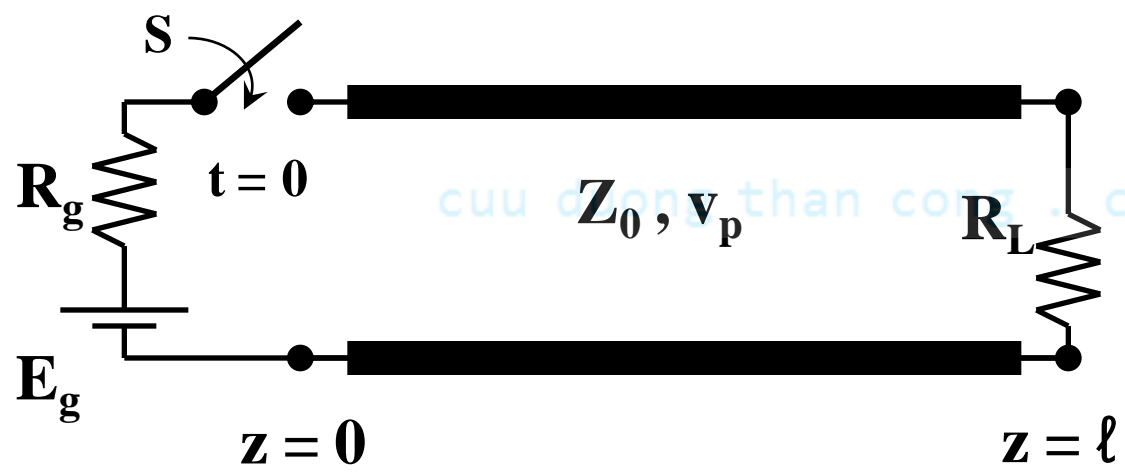
$R_0 = 0$     $G_0 = 0$



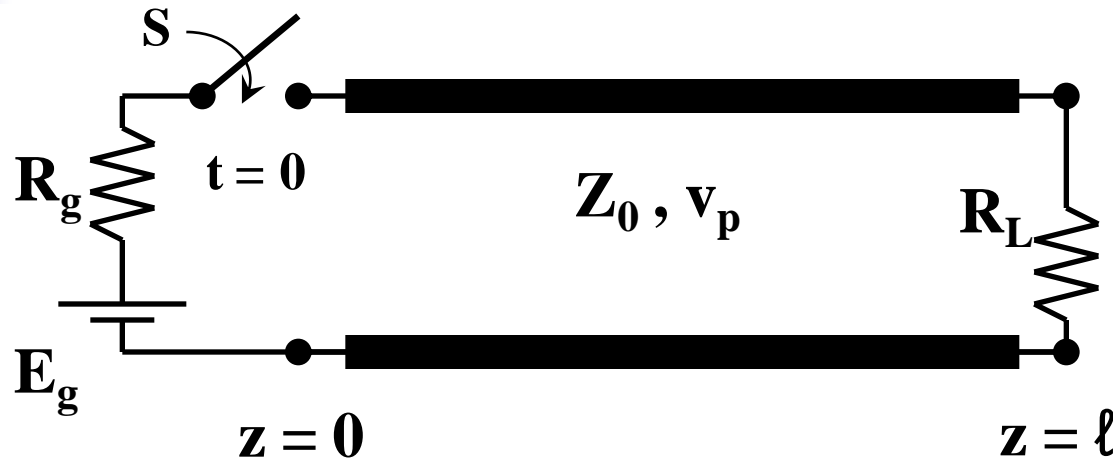
$$v_p = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}} = \frac{c}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}}$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}}$$

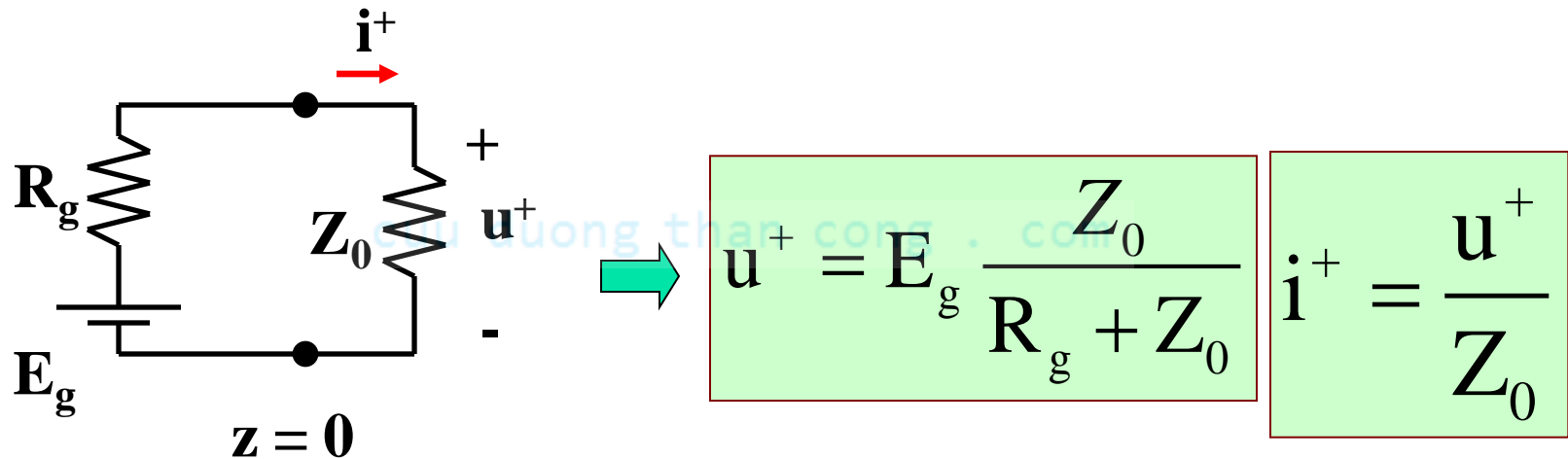
$$\text{Timedelay } T = \frac{\ell}{v_p}$$



## a) Xác định sóng tới (+ wave):

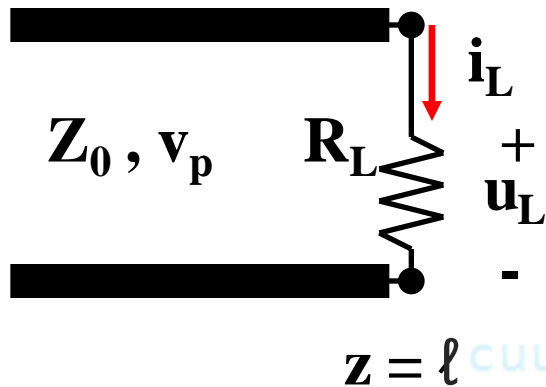


- Tại  $t = 0^+$  : đầu đường dây chỉ có sóng tới . Sơ đồ tương đương:



## **b) Xác định sóng phản xạ (- wave):**

❖ Tại  $t = \ell/v_p$ , sóng đến cuối đường dây.



$$u_L = R_L * i_L$$

$$(u^+ + u^-) = R_L * \left( \frac{u^+}{Z_0} - \frac{u^-}{Z_0} \right)$$

$$\frac{u^-}{u^+} = \left( \frac{R_L - Z_0}{R_L + Z_0} \right) = \Gamma_L = -\frac{i^-}{i^+}$$

Hệ số phản xạ tại cuối đường dây trong miền thời gian

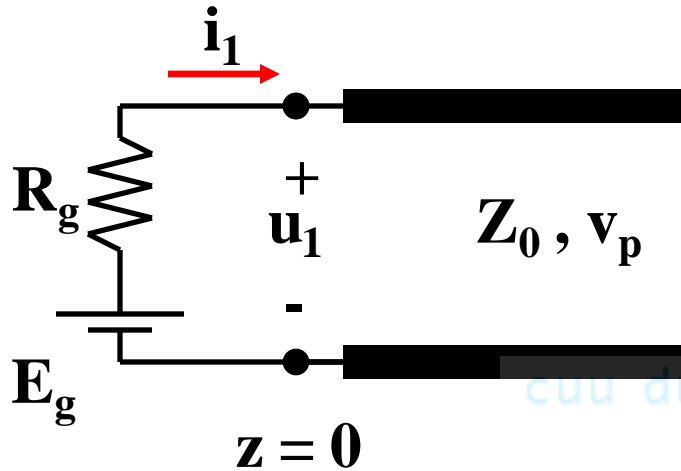
❖ Sóng phản xạ dòng:

$$i^- = \frac{-u^-}{Z_0}$$



## c) Xác định sóng tới lần thứ 2(++ wave):

❖ Tại  $t = 2\ell/v_p$ , sóng về lại đầu đường dây.



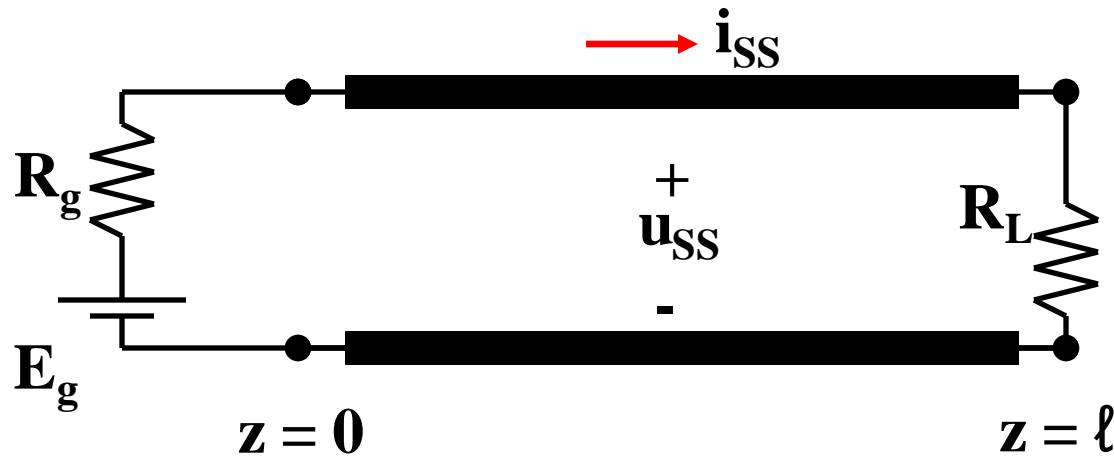
$$u_1 = E_g - R_g * i_1$$

$$(u^+ + u^- + u^{++}) = E_g - R_g * \left( \frac{u^+}{Z_0} - \frac{u^-}{Z_0} + \frac{u^{++}}{Z_0} \right)$$

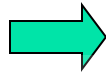
$$\frac{u^{++}}{u^-} = \left( \frac{R_g - Z_0}{R_g + Z_0} \right) = \Gamma_g$$

Hệ số phản xạ tại đầu đường dây trong miền thời gian

## d) Áp – dòng trên đường dây tại xác lập:

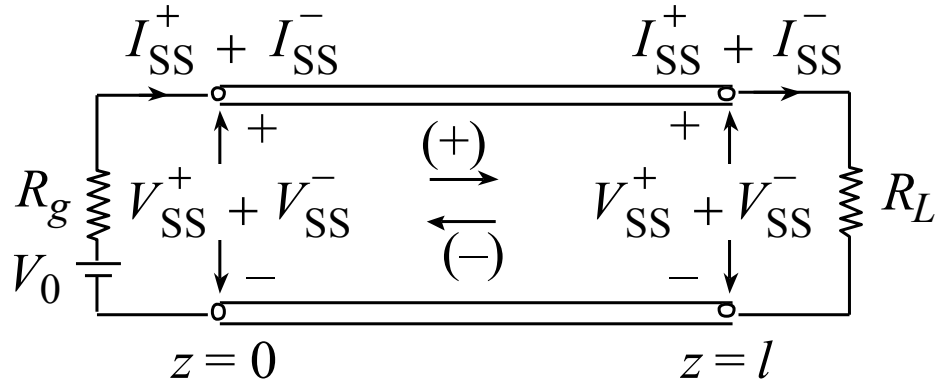


$$i_{SS} = \frac{E_g}{R_g + R_L}$$



$$u_{SS} = R_L * i_{SS}$$

# ❖ Các tìm $\Sigma u^+$ , $\Sigma u^-$ , $\Sigma i^+$ , $\Sigma i^-$ tại xác lập :



$$V_{SS}^+ + V_{SS}^- = V_0 - R_g (I_{SS}^+ + I_{SS}^-) \quad \text{B.C. at } z=0$$

$$V_{SS}^+ + V_{SS}^- = R_L (I_{SS}^+ + I_{SS}^-) \quad \text{B.C. at } z=l$$

$$I_{SS}^+ = \frac{V_{SS}^+}{Z_0} \quad (+) \text{ wave}$$

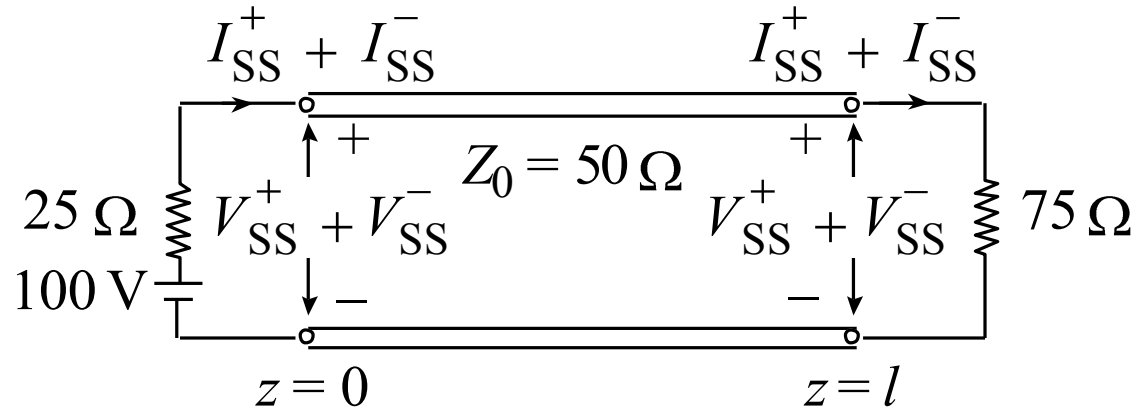
$$I_{SS}^- = -\frac{V_{SS}^-}{Z_0} \quad (-) \text{ wave}$$

**Bốn phương trình cho 4 ẩn số:**

$$V_{SS}^+, V_{SS}^-, I_{SS}^+, I_{SS}^-$$

# ❖ VD 5.3.1: Tìm sóng tới và phản xạ

Tìm  $\Sigma u^+$ ,  $\Sigma u^-$ ,  $\Sigma i^+$ ,  
 $\Sigma i^-$  tại xác lập



❖ Ta có 4 phương trình:

$$V_{SS}^+ + V_{SS}^- = 100 - 25(I_{SS}^+ + I_{SS}^-)$$

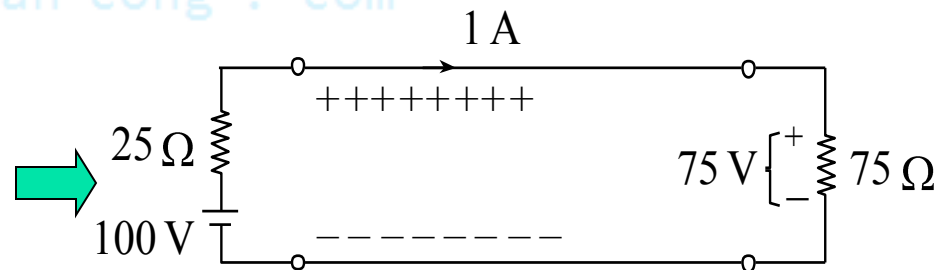
$$V_{SS}^+ + V_{SS}^- = 75(I_{SS}^+ + I_{SS}^-)$$

$$I_{SS}^+ = \frac{V_{SS}^+}{50}, \quad I_{SS}^- = -\frac{V_{SS}^-}{50}$$

❖ Giải ra:

$$V_{SS}^+ = 62.5 \text{ V}, \quad V_{SS}^- = 12.5 \text{ V}$$

$$I_{SS}^+ = 1.25 \text{ A}, \quad I_{SS}^- = -0.25 \text{ A}$$



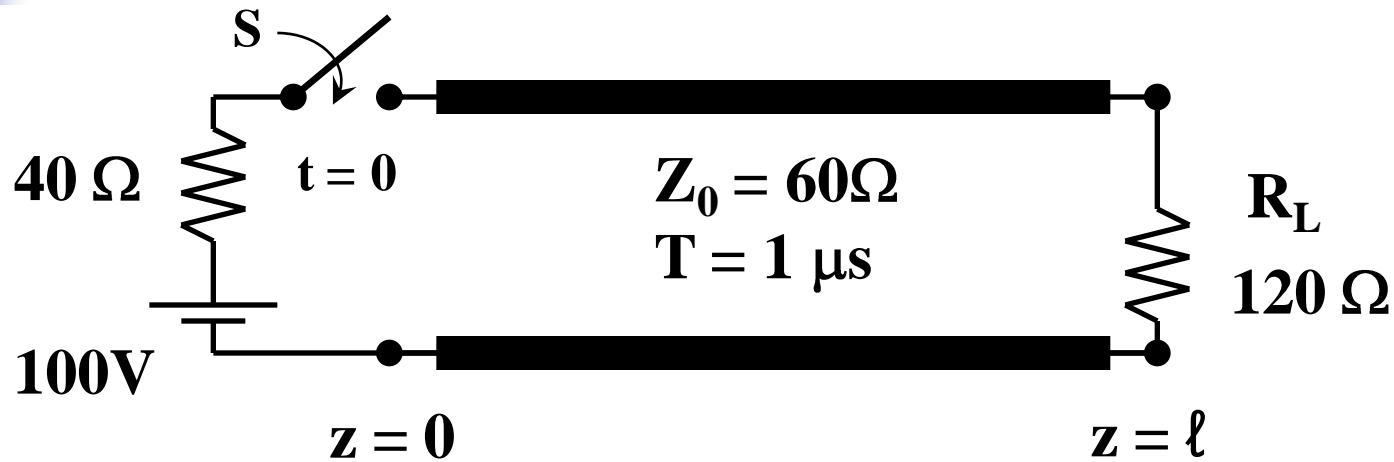


## 5.3.2 Giảm độ thời gian khoảng cách (giảm độ bounce):

cuu duong than cong . com

cuu duong than cong . com

## a) Ví dụ minh họa:



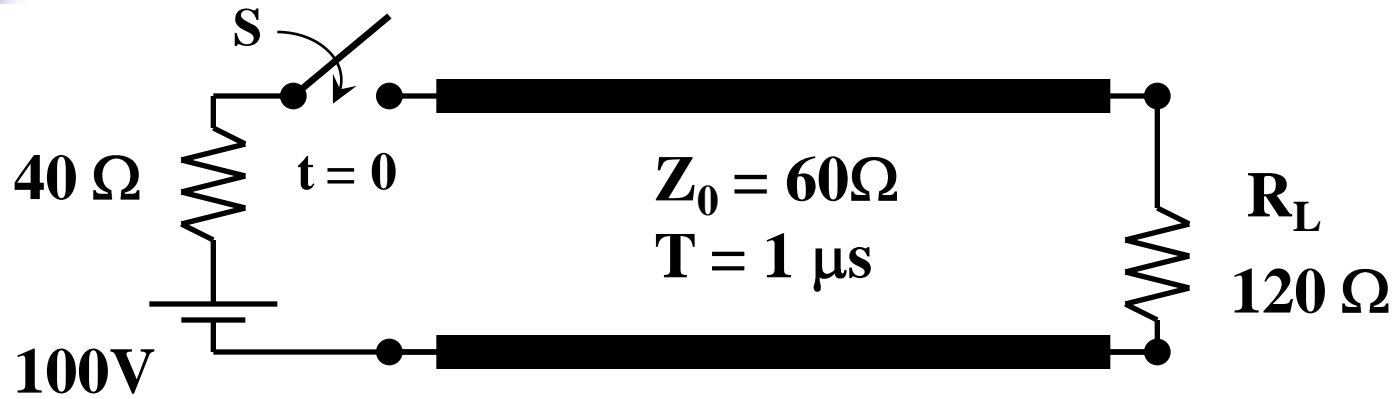
❖ Ngay sau khi đóng khóa :  $u^+ = 60V$      $i^+ = 1A$

❖ Khi sóng truyền đến cuối đđây :  $\Gamma_L = 1/3 \rightarrow u^- \ \& \ i^-$

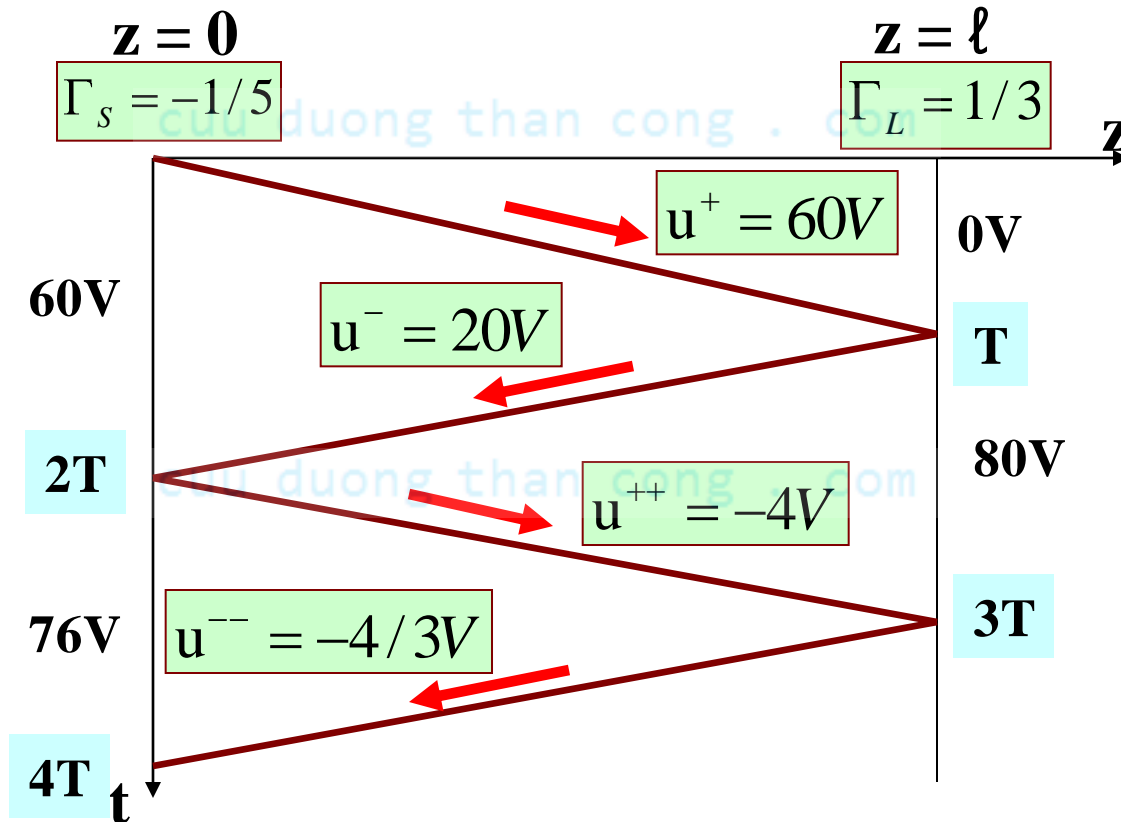
❖ Khi sóng truyền về đầu đđây :  $\Gamma_S = -1/5 \rightarrow u^{++} \ \& \ i^{++}$

❖ Quá trình cứ tiếp diễn liên tục cho đến khi áp – dòng trên đđây ổn định : quá trình truyền sóng minh họa bằng **giản đồ bounce**.

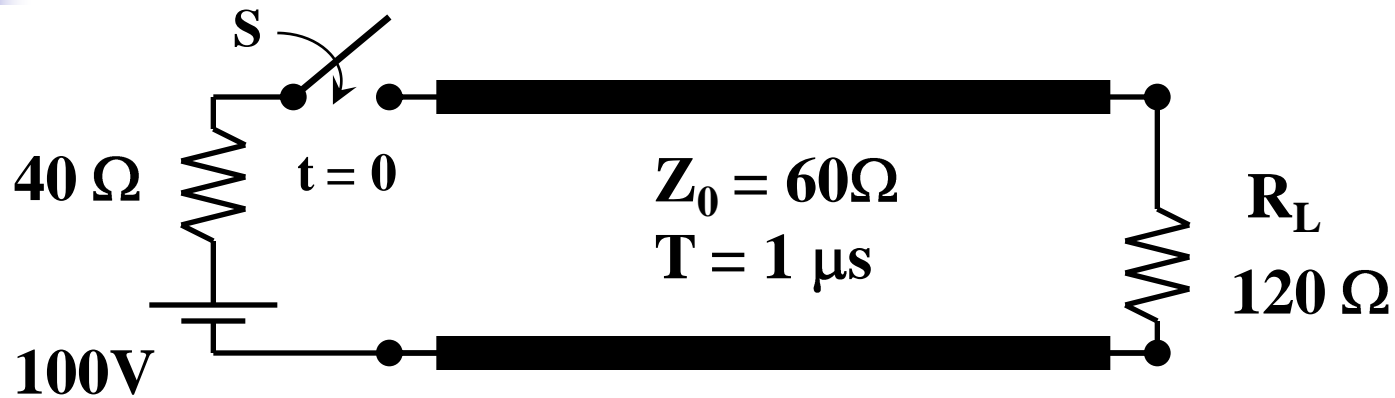
## b) Giải đồ bounce điện áp:



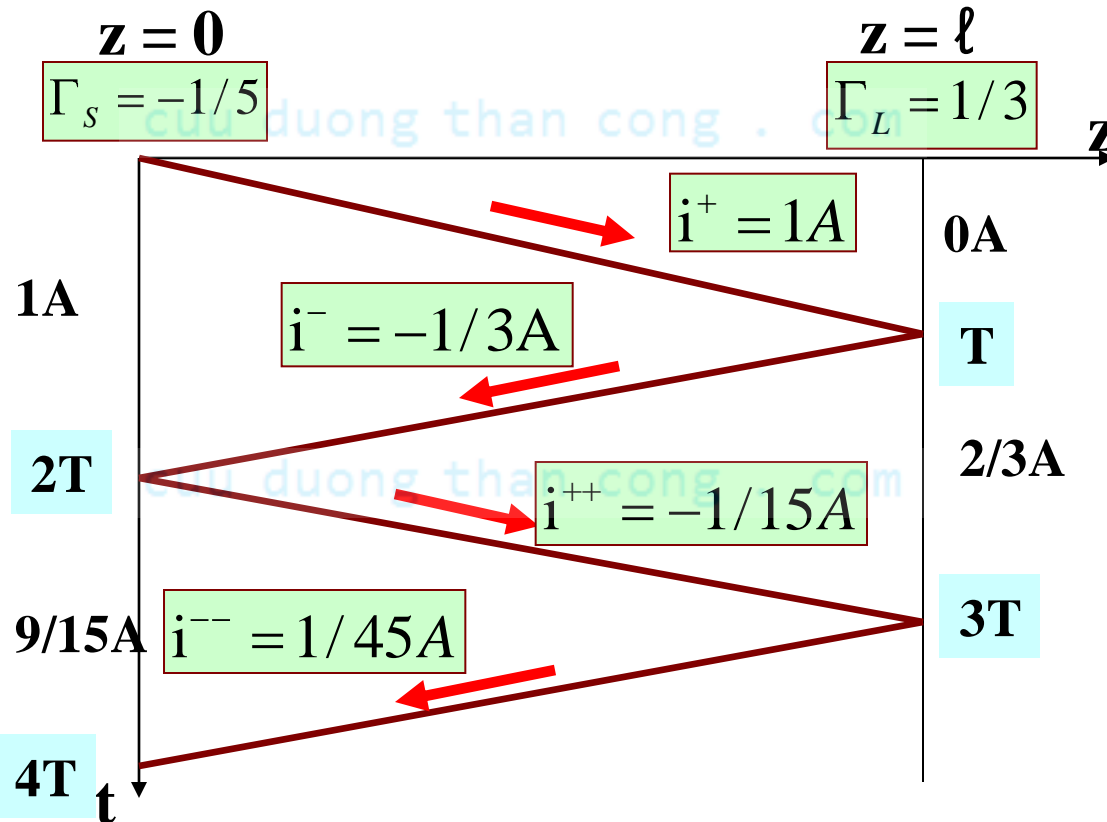
❖ Ta có:



## c) Giải đồ bounce dòng điện:



❖ Ta có:





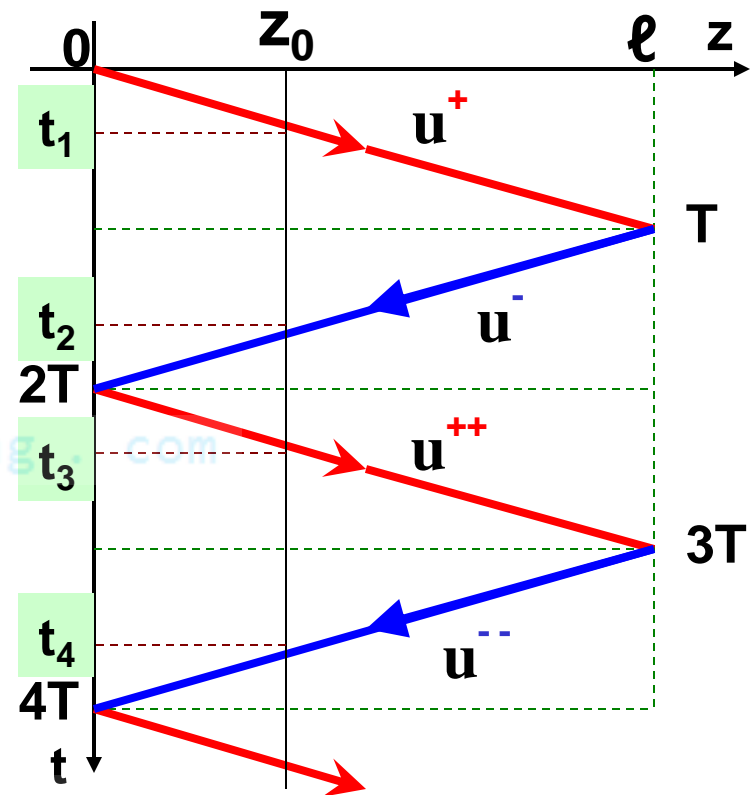
## d) Công dụng của giản đồ bounce :

d<sub>1</sub>) Vẽ áp, dòng tại 1 điểm  $z_0$  theo  $t$  :

- Vẽ đường // trục  $t$ , tại  $z_0$ .
- Xác định các thời điểm:  $t_1, t_2 \dots$
- Dựng đồ thị  $u, i(z_0, t)$  dùng:

$$u = \sum u^+ + \sum u^-$$

$$i = \sum i^+ + \sum i^-$$

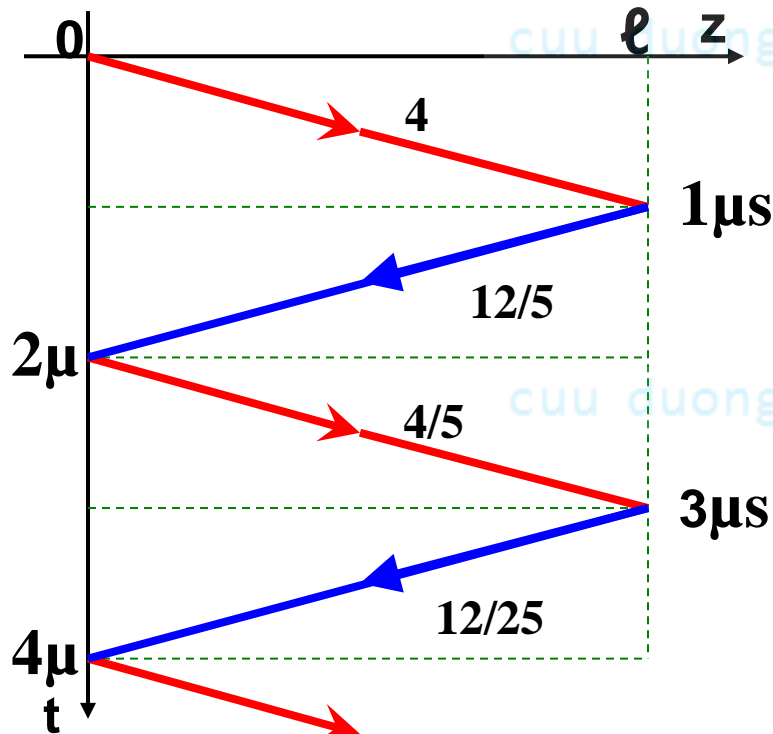


## ❖ VD 5.3.2: Tìm $u(z_0, t)$ , $i(z_0, t)$

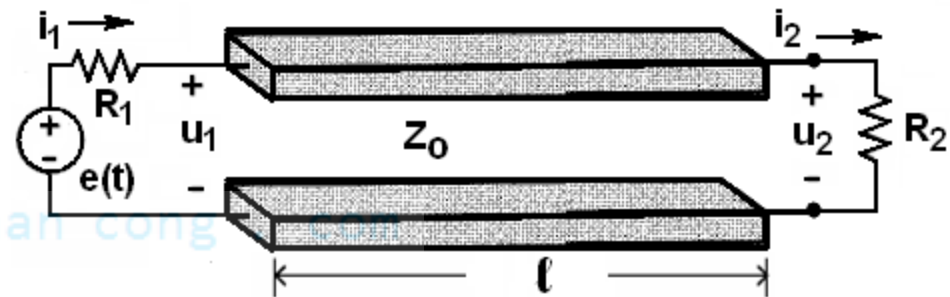
Đường dây không tổn hao, có  $Z_0 = 50\Omega$ ,  $v_p = 10^8$  m/s, chiều dài  $\ell = 100$ m. Biết  $e(t) = 12.u(t)$  V,  $R_1 = 100\Omega$ ,  $R_2 = 200\Omega$ . Xác định áp và dòng tại đầu và cuối đường dây khi  $0 < t < 6\mu$ s ?

### Giải

❖ Dựng giản đồ bounce áp:



CuuDuongThanCong.com



$$\Gamma_1 = \frac{100-50}{100+50} = \frac{1}{3}$$

$$u^+ = 12 \frac{50}{100+50} = 4V$$

$$\Gamma_2 = \frac{200-50}{200+50} = \frac{3}{5}$$

$$u^- = 4 \frac{3}{5} = \frac{12}{5} V$$

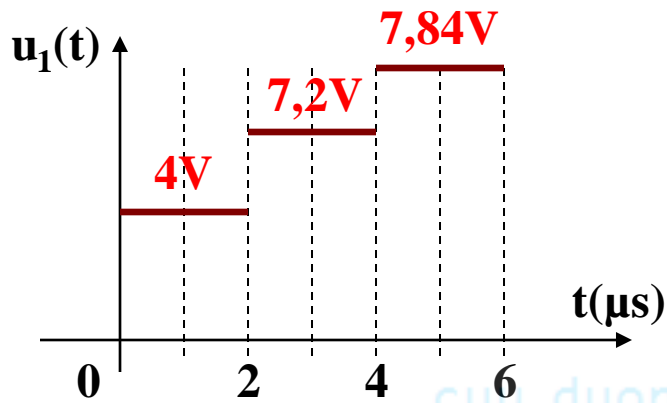
$$T = \frac{100}{10^8} = 1\mu s$$

$$u^{++} = \frac{12}{5} \frac{1}{3} = \frac{4}{5} V$$

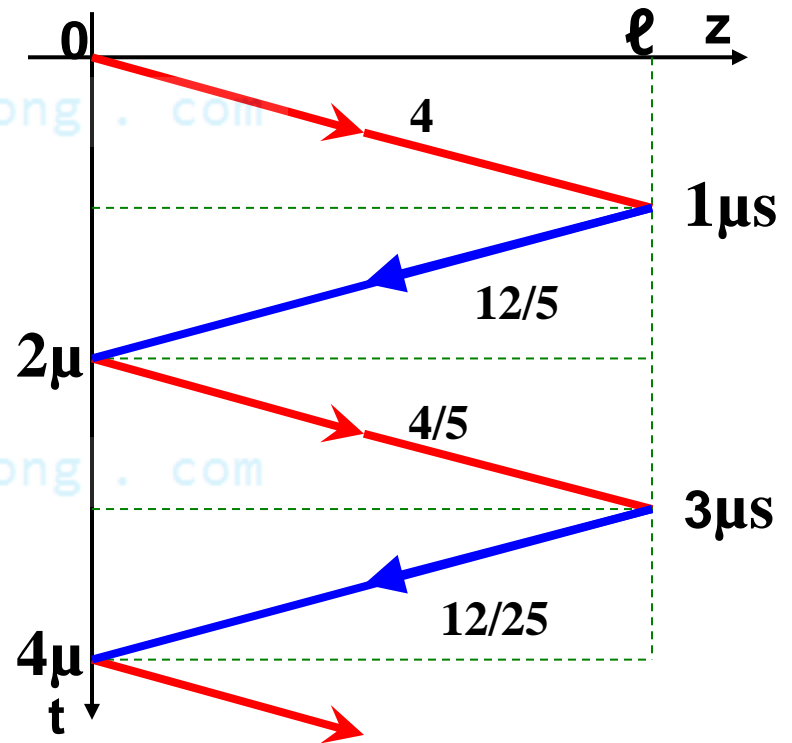
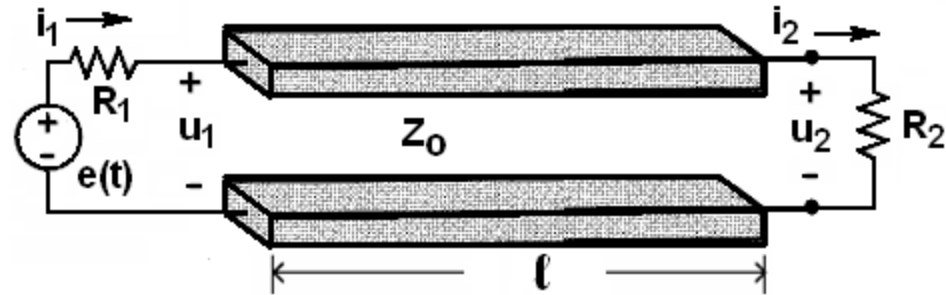
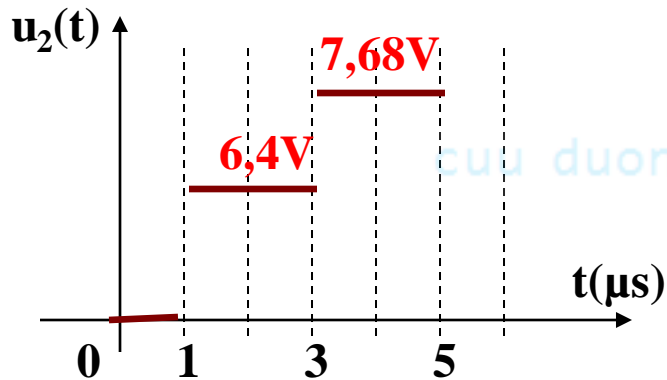
...

# ❖ VD 5.3.2: Tìm $u(z_0, t), i(z_0, t)$ (tt)

❖ Áp tại đầu đường dây:



❖ Áp tại cuối đường dây:

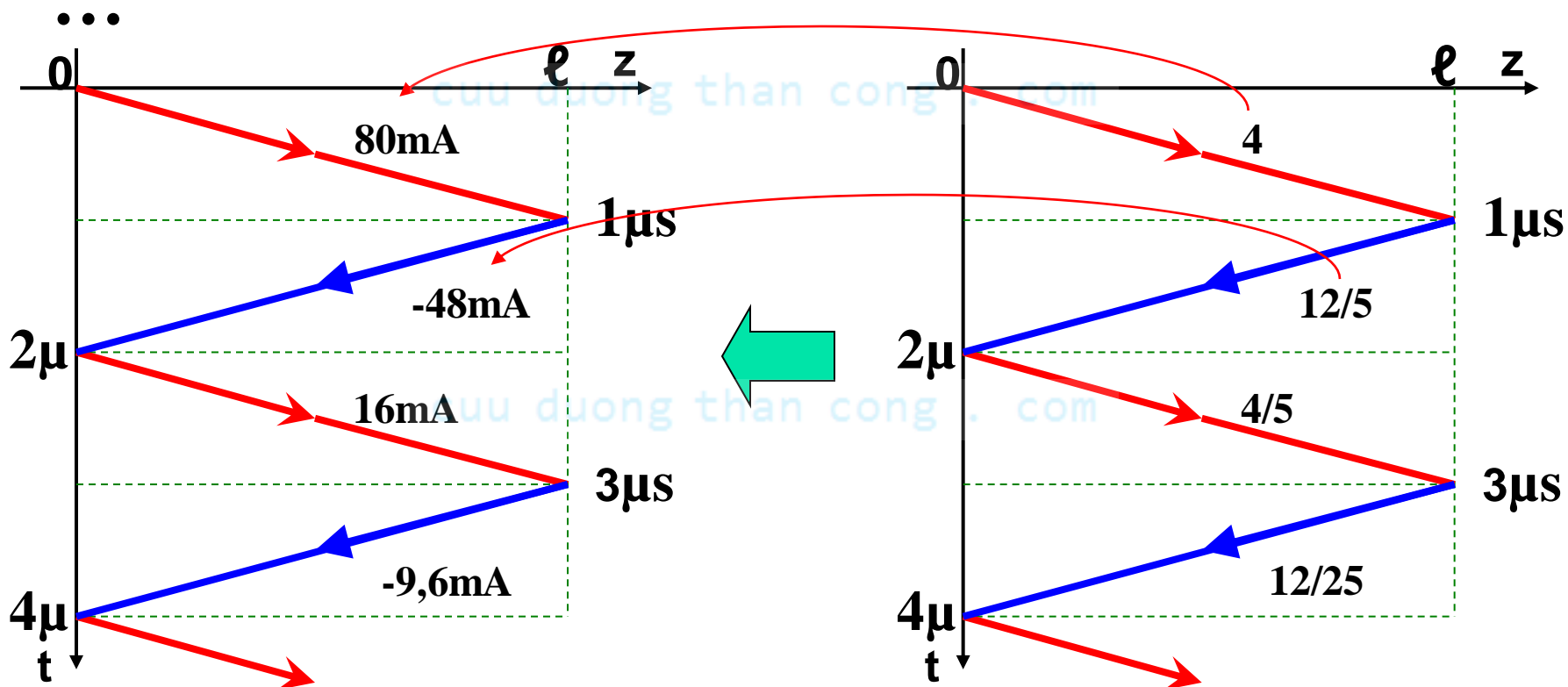
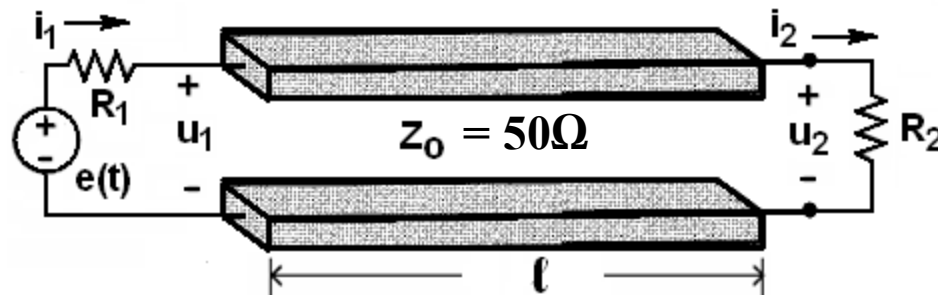


# ❖ VD 5.3.2: Tìm $u(z_0, t), i(z_0, t)$ (tt)

❖ Dụng giản đồ bounce dòng:

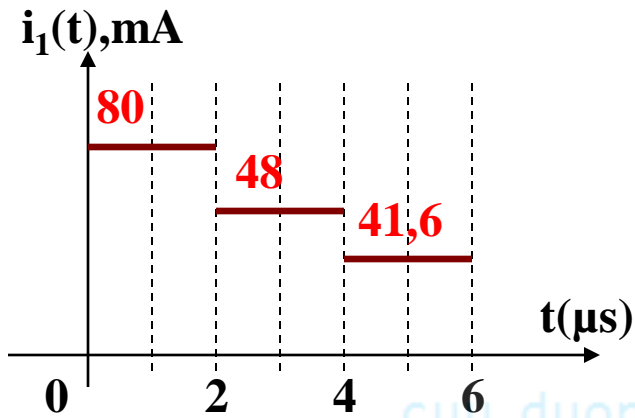
$$i^+ = \frac{4}{50} = 80\text{mA}$$

$$i^- = \frac{-12/5}{50} = -48\text{mA}$$

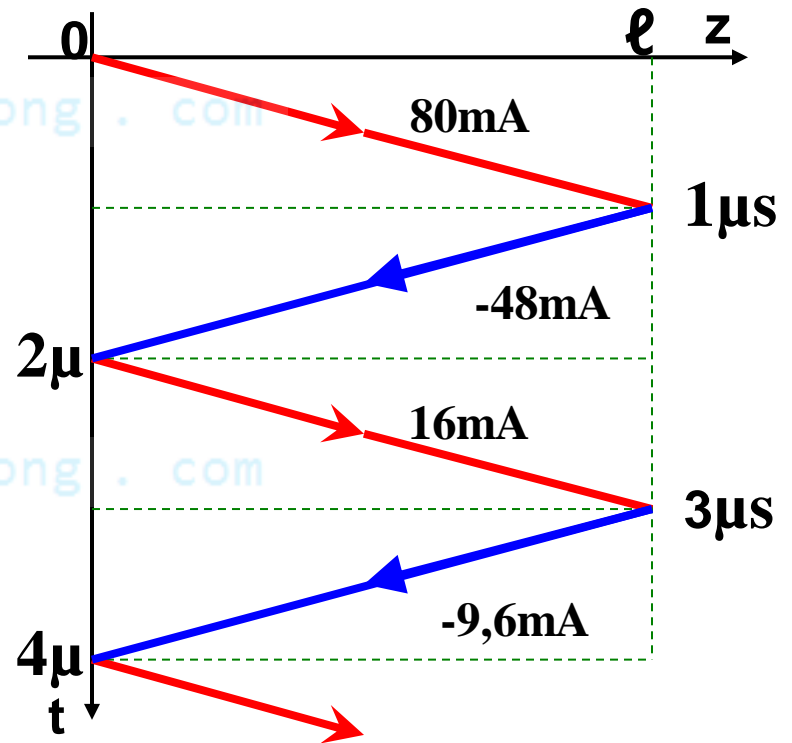
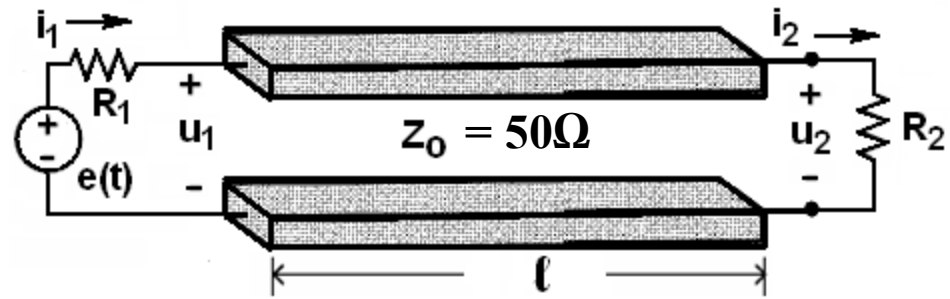
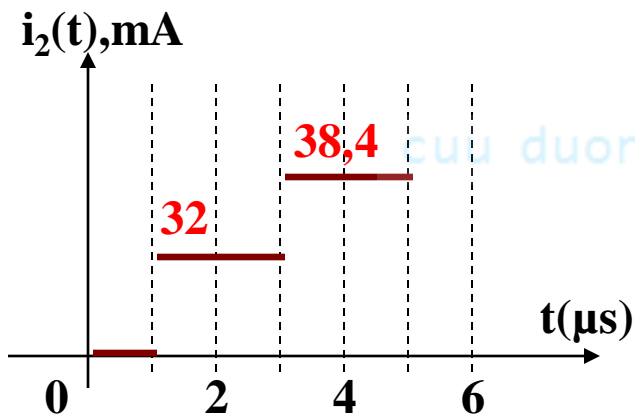


# ❖ VD 5.3.2: Tìm $u(z_0, t)$ , $i(z_0, t)$ (tt)

## ❖ Dòng tại đầu đường dây:



## ❖ Dòng tại cuối đường dây:



## **d<sub>2</sub>)** Vẽ áp – dòng theo z tại t<sub>0</sub> :

▪ Vẽ đường // trục z , tại t<sub>0</sub> để :  
Giới hạn phạm vi giản đồ bounce  
, và xác định một vị trí z<sub>0</sub> .

▪ Ta có:

i. Khi  $z < z_0$  :

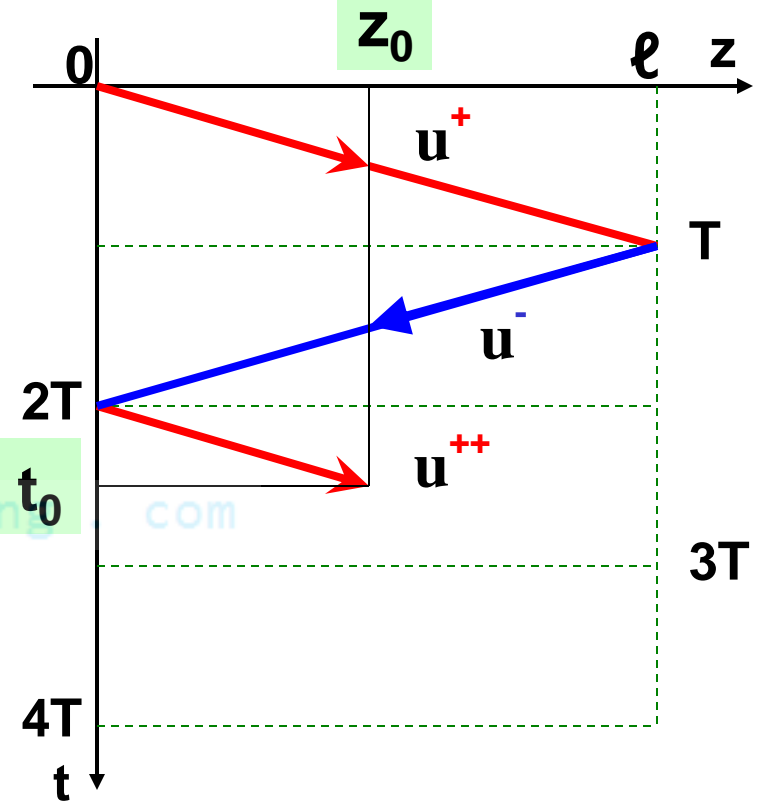
$$u = u^+ + u^- + u^{++}$$

i. Khi  $z > z_0$  :

$$u = u^+ + u^-$$



Vẽ đồ thị theo z

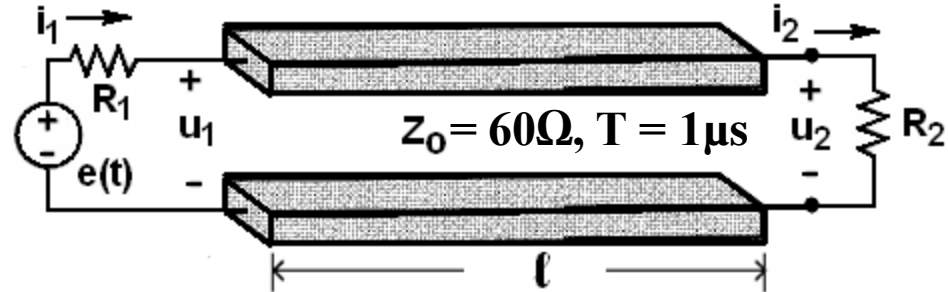
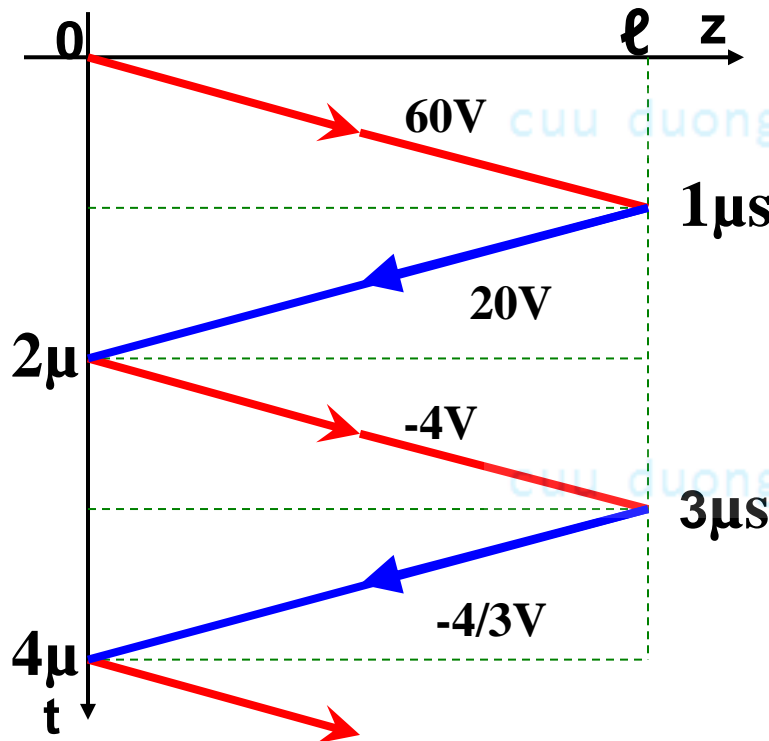


## ❖ VD 5.3.3: Tìm $u(z, t_0), i(z, t_0)$

Đường dây không tổn hao,  $e(t) = 100.u(t)$  V,  $R_1 = 40\Omega$ ,  $R_2 = 120\Omega$ . Xác định phân bố áp và dòng tại  $t_0 = 2,5\mu s$  ?

Giải

❖ Dựng giản đồ bounce áp:



$$\Gamma_1 = \frac{40-60}{40+60} = -0,2$$

$$u^+ = 100 \frac{60}{40+60} = 60V$$

$$\Gamma_2 = \frac{120-60}{120+60} = \frac{1}{3}$$

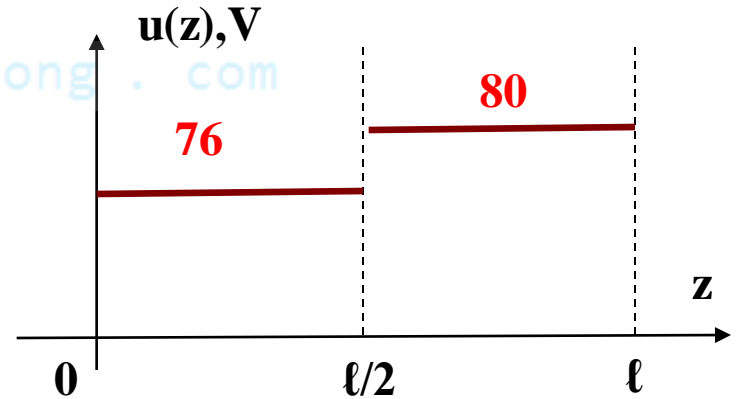
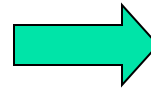
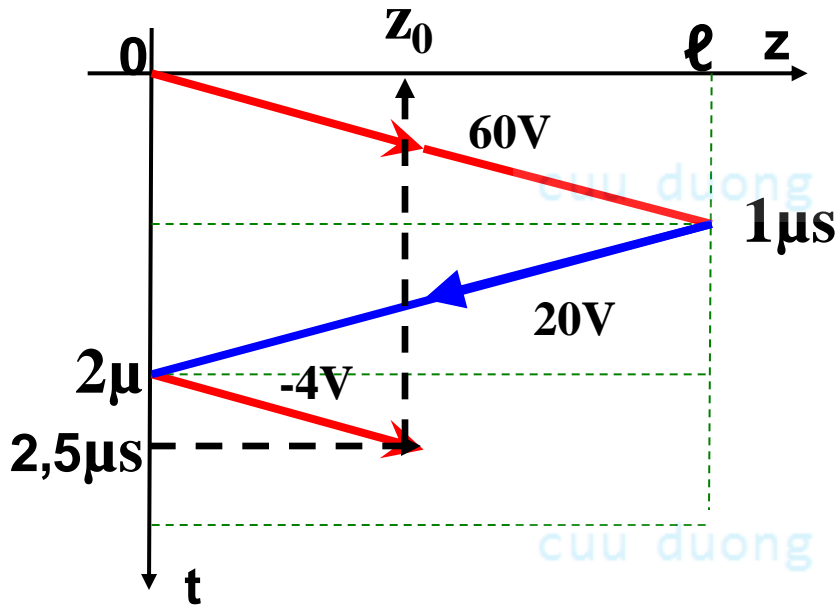
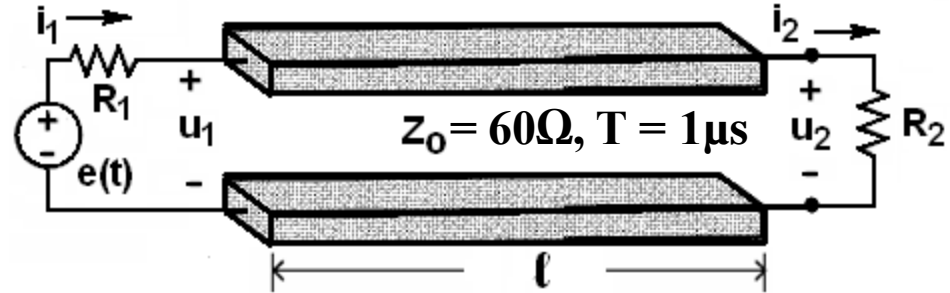
$$u^- = 60 \frac{1}{3} = 20V$$

$$u^{++} = -4V$$

...

# ❖ VD 5.3.3: Tìm $u(z, t_0), i(z, t_0)$ (tt)

❖ Phân bố áp tại  $t_0 = 2,5\mu\text{s}$ :



Có  $z_0 = \ell/2$ .

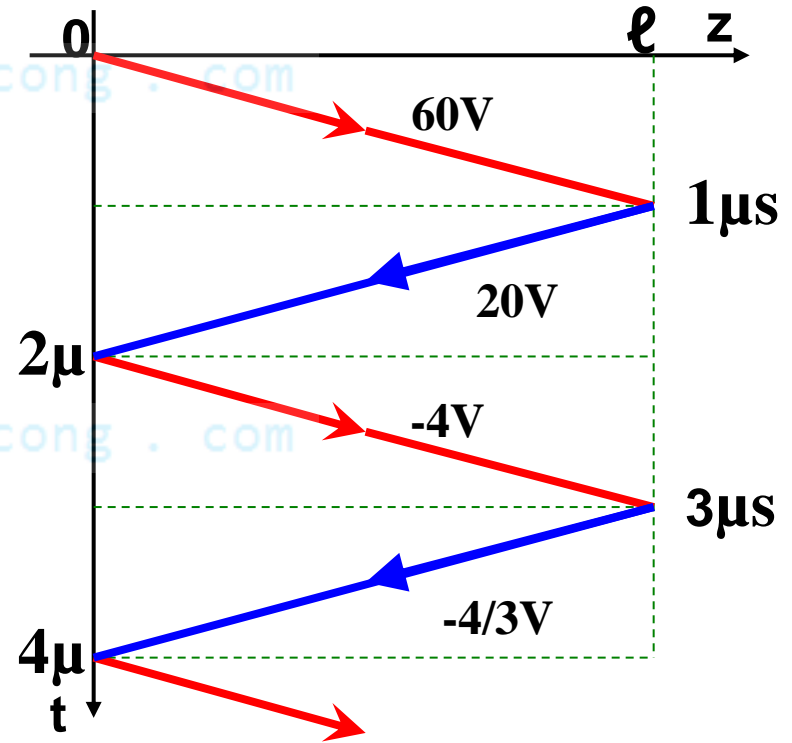
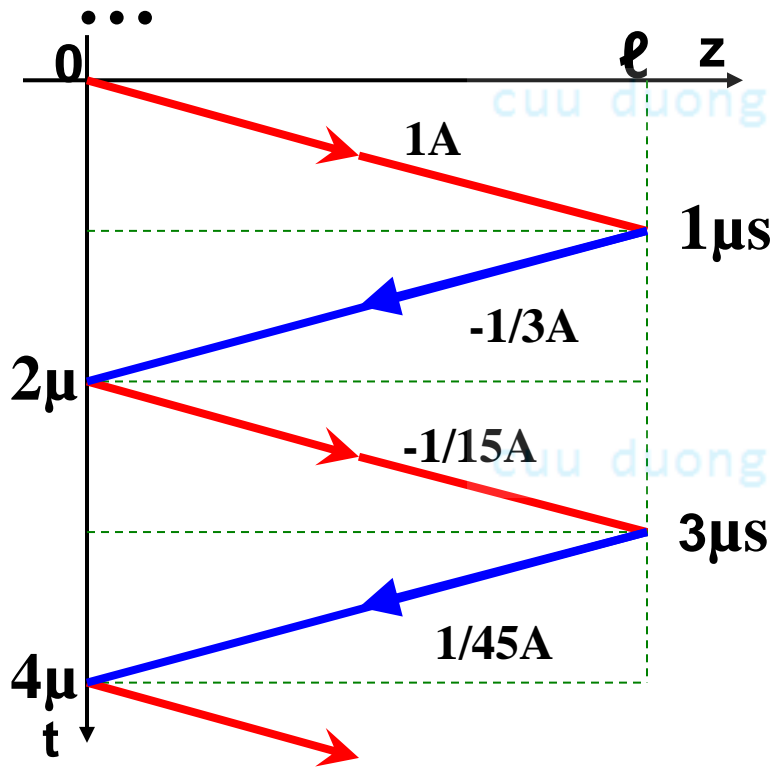
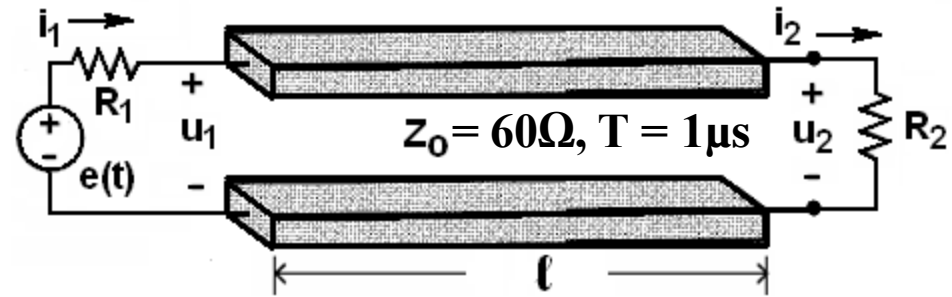


# ❖ VD 5.3.3: Tìm $u(z, t_0), i(z, t_0)$ (tt)

❖ Dụng giản đồ bounce dòng:

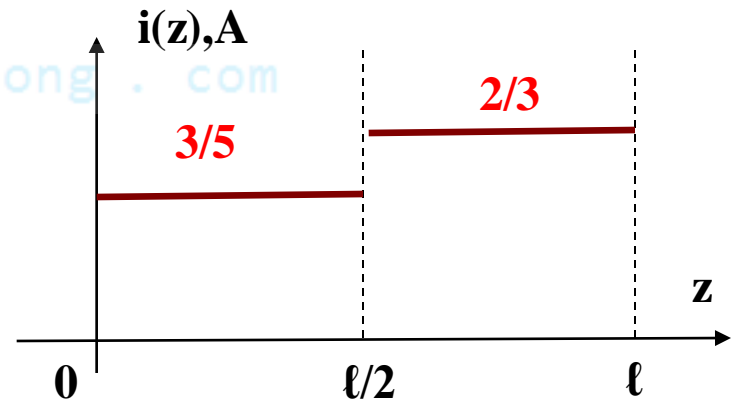
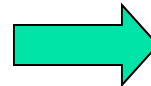
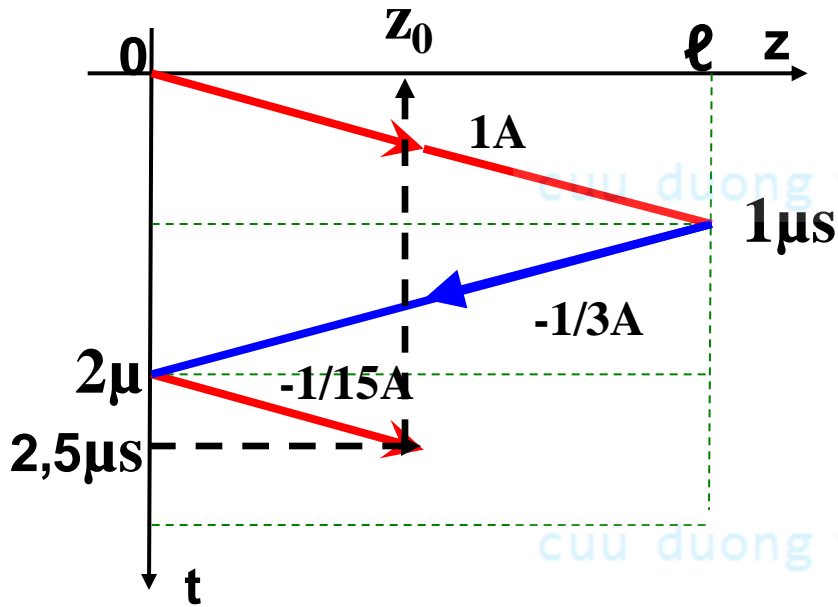
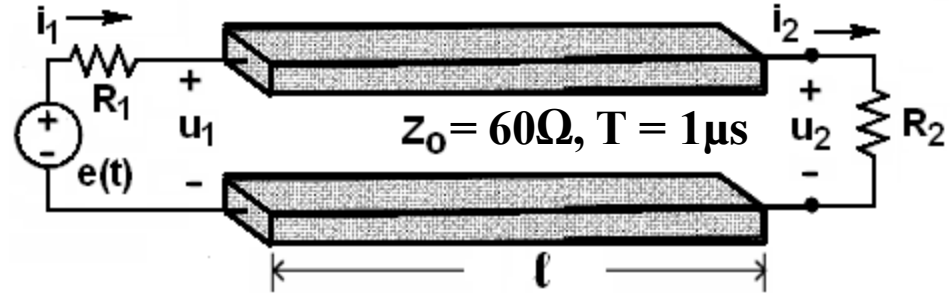
$$i^+ = \frac{60}{60} = 1A$$

$$i^- = \frac{-20}{60} = -1/3A$$



# ❖ VD 5.3.3: Tìm $u(z, t_0), i(z, t_0)$ (tt)

❖ Phân bố dòng tại  $t_0 = 2,5\mu\text{s}$ :



Có  $z_0 = \ell/2$ .

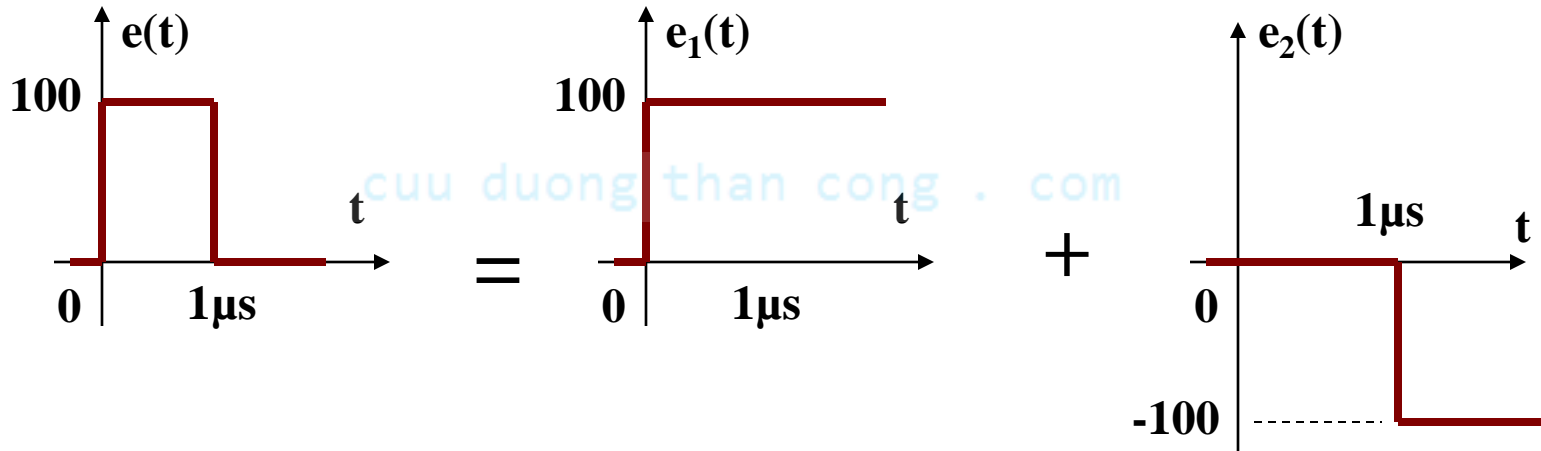
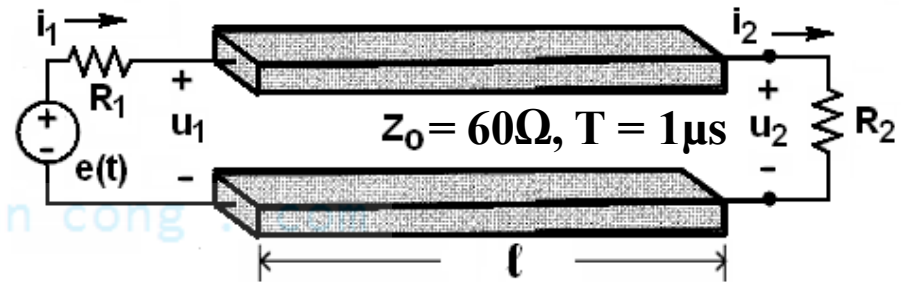
## ❖ VD 5.3.4: Khi tác động xung chữ nhật

Đường dây không tổn hao,  $e(t) = 100[u(t) - u(t - 1\mu\text{s})]\text{V}$ ,  $R_1 = 40\Omega$ ,  $R_2 = 120\Omega$ . Xác định: (a) Biểu đồ bounce điện áp? (b) Điện áp tại cuối đường dây? (c) Phân bố áp tại  $t_0 = 2,25\mu\text{s}$ ?

### Giải

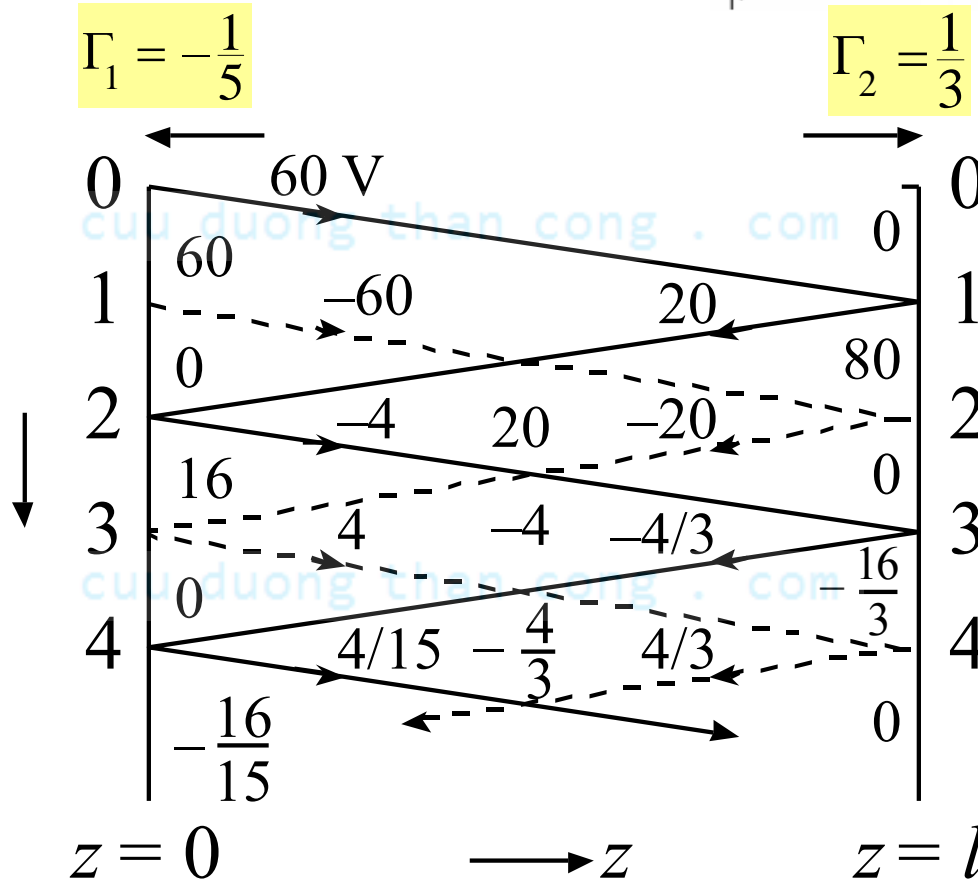
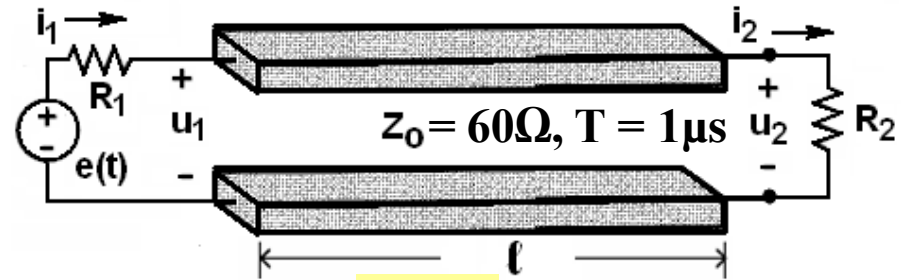
a) Dựng biểu đồ bounce áp:

❖ Dùng xếp chồng:



# ❖ VD 5.3.4: Khi tác động xung chữ nhật

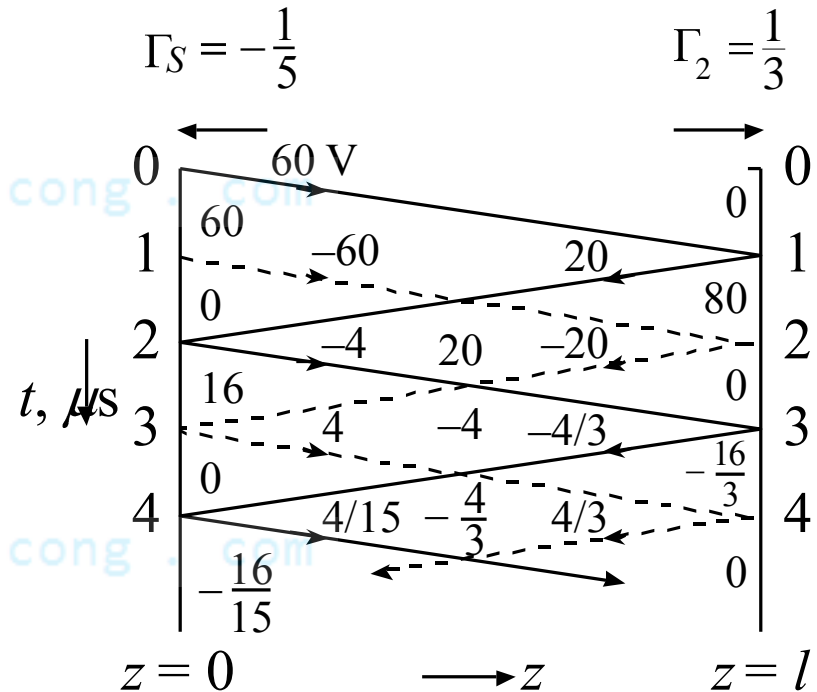
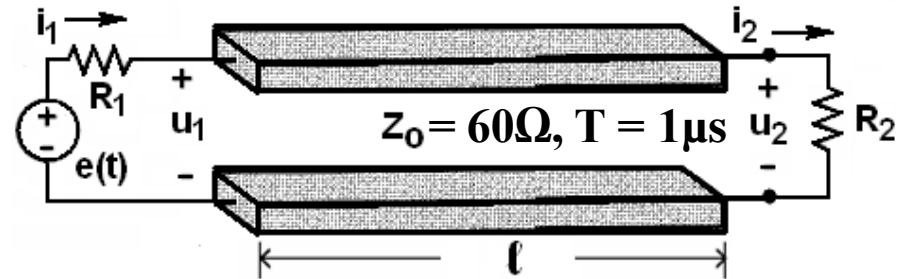
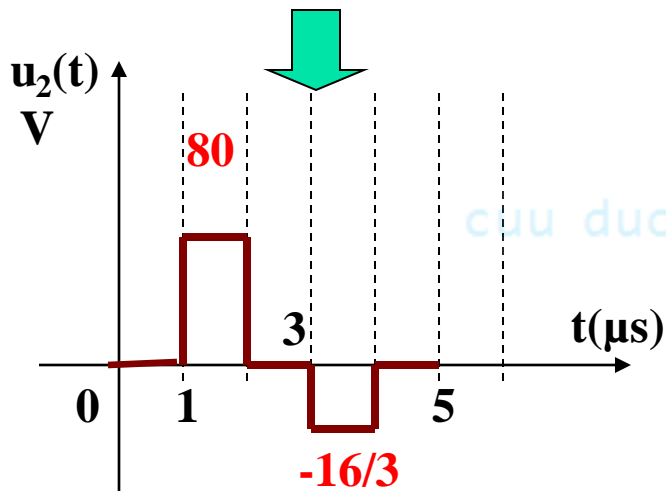
❖ Với tín hiệu  $e_2(t)$ , giản đồ bounce đơn giản là trễ đi  $1\mu s$  và đảo dấu các giá trị sóng điện áp.



# ❖ VD 5.3.4: Khi tác động xung chữ nhật

b) Áp tại cuối đường dây:

- Khi  $0 < t < 1\mu\text{s}$ :  $u_2 = 0$ .
- Khi  $1 < t < 2\mu\text{s}$ :  $u_2 = 80\text{V}$ .
- Khi  $2 < t < 3\mu\text{s}$ :  $u_2 = 0$ .
- Khi  $3 < t < 4\mu\text{s}$ :  $u_2 = -16/3\text{ V}$ .



# ❖ VD 5.3.4: Khi tác động xung chữ nhật

c) Tại  $t_0 = 2,25\mu\text{s}$ : đường  $t = t_0$  cắt giản đồ bounce tại 2 điểm. Có:  $z_1 = \ell/4$  &  $z_2 = 3\ell/4$ .

- Khi  $0 < z < z_1$ :  $u(z) = 16\text{V}$ .
- Khi  $z_1 < z < z_2$ :  $u(z) = 20\text{V}$ .
- Khi  $z_2 < z < \ell$ :  $u(z) = 0$ .

