Đường dây dài
(Mạch thông số rải)

Cơ sở lý thuyết mạch điện

Nội dung

1. Khái niệm
2. Chế độ xác lập điều hoà
3. Quá trình quá độ

Sách tham khảo

- Chipman R. A. *Theory and problems of transmission lines*. McGraw – Hill
- Nguyễn Bình Thành, Nguyễn Trần Quân, Phạm Khắc Chương. *Cơ sở kỹ thuật điện*. Đại học & trung học chuyên nghiệp, 1971

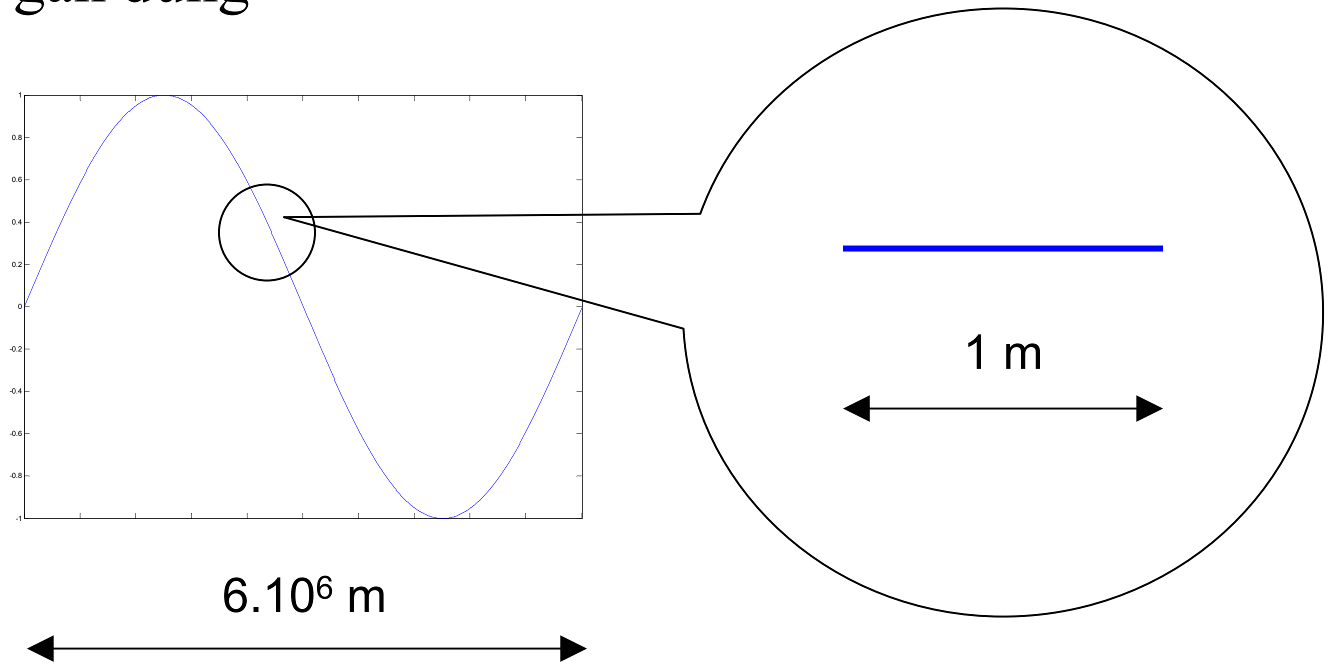
Khái niệm (1)

- Đường dây ngắn (mạch có thông số tập trung):
  - Coi lan truyền là tức thời: giá trị dòng (hoặc áp) trên mọi điểm của một đoạn mạch tại một thời điểm bằng nhau
  - Là một phép gần đúng

$f = 50$ Hz

$\lambda = c/f = 3.10^8/50$

$= 6.10^6$ m



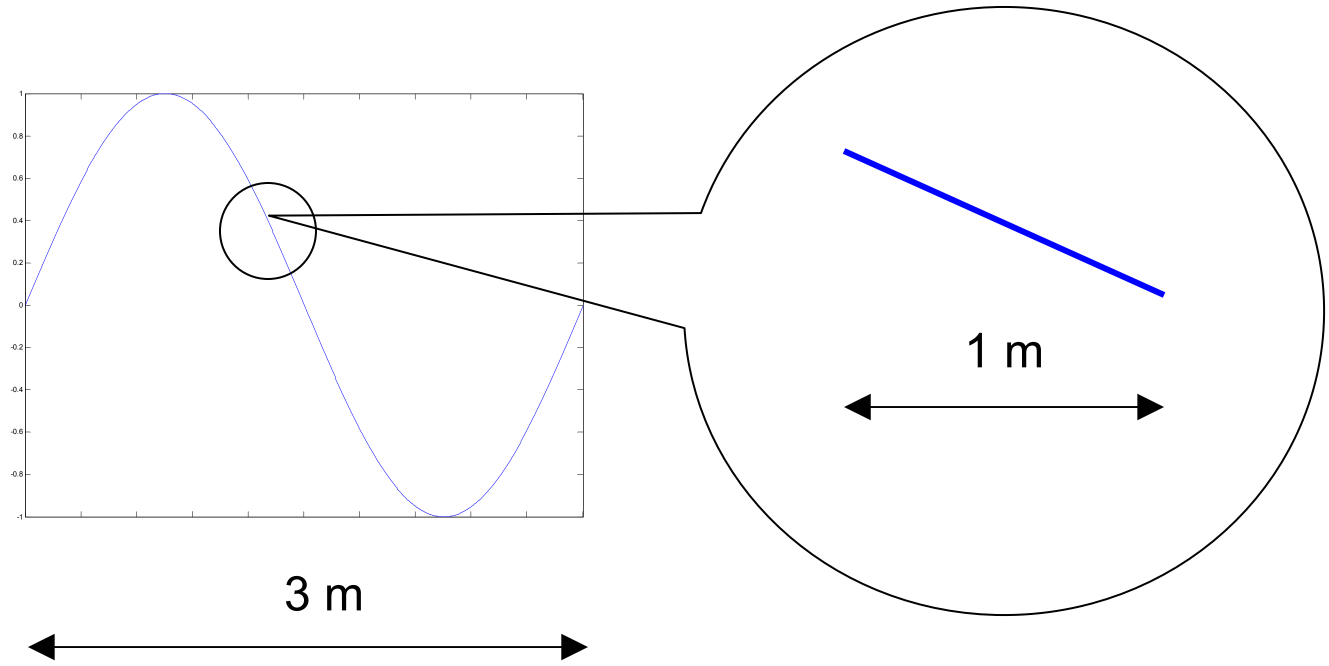
Đường dây dài

Khái niệm (2)

$f = 100$ MHz

$\lambda = c/f = 3.10^8/10^8$

$= 3$ m

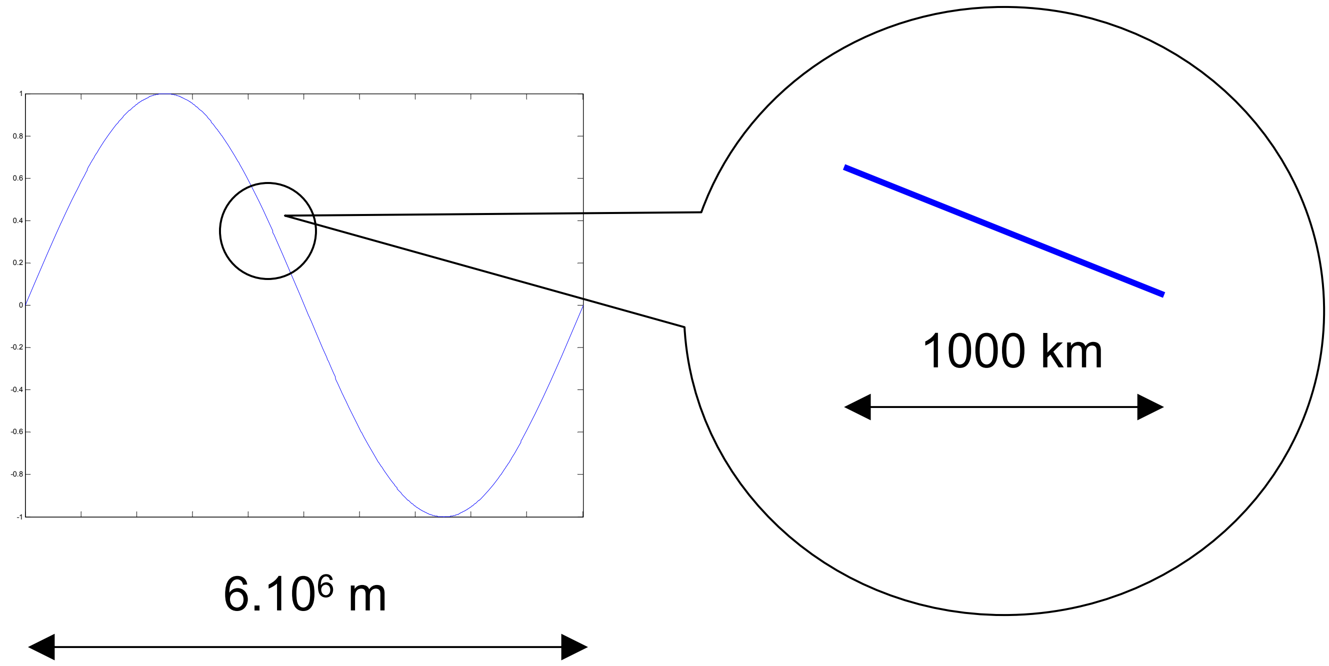


Khái niệm (3)

$f = 50$ Hz

$\lambda = c/f = 3.10^8/50$

$= 6.10^6$ m



Khái niệm (4)

- Khi nào thì các giá trị dòng (hoặc áp) tại hai điểm trên cùng một đoạn mạch, tại cùng một thời điểm, không bằng nhau?
- 50 Hz (6000 km) & 1 m → (gần) bằng nhau
- 100 MHz (3 m) & 1m → không bằng nhau
- 50 Hz (6000 km) & 1000 km → không bằng nhau
- Khi kích thước mạch đủ lớn so với bước sóng → đường dây dài
- Đủ lớn: trên 10% bước sóng

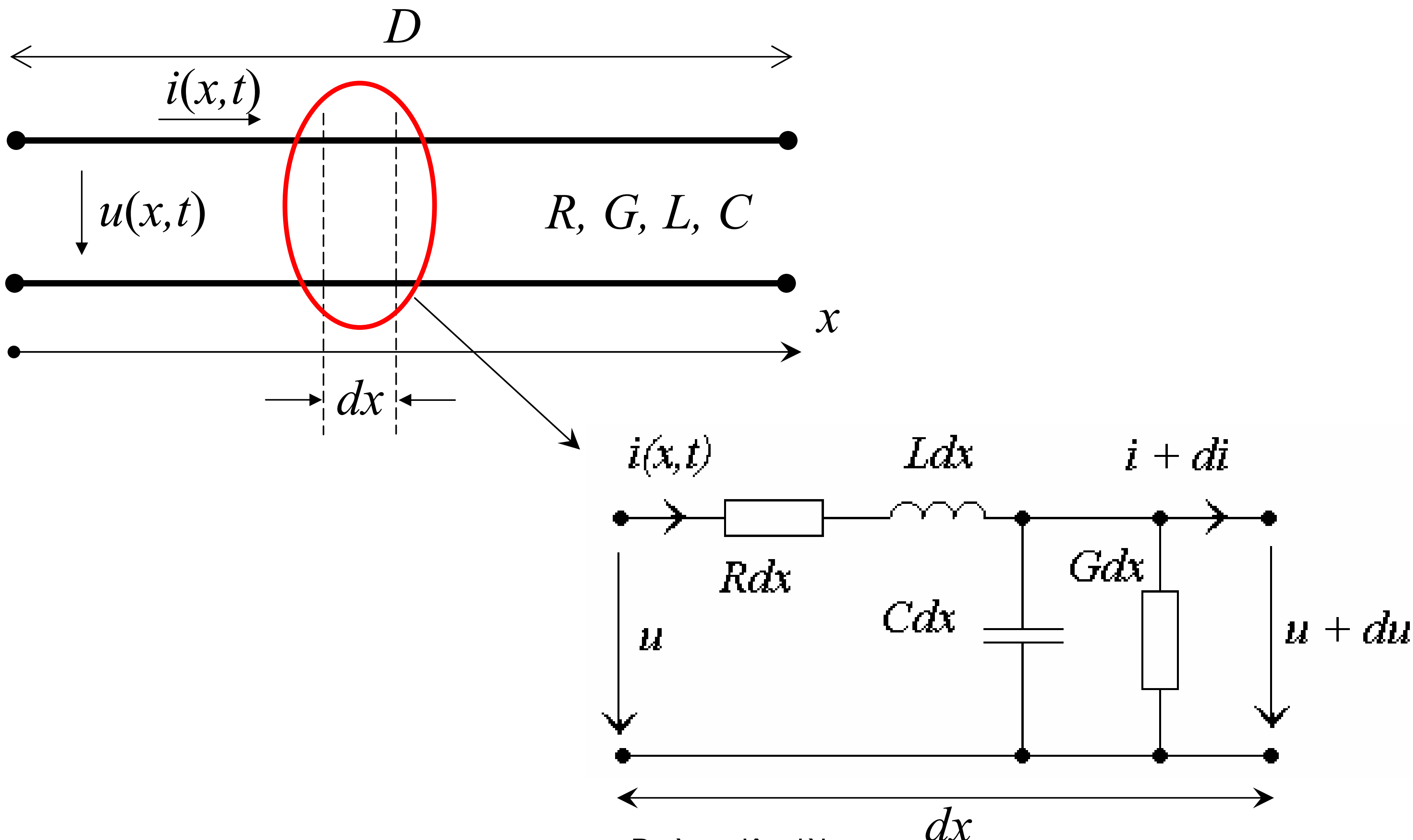
Khái niệm (5)

- 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
- Vậy ngoài dòng và áp, mô hình đường dây dài còn phải kể đến yếu tố không gian

Khái niệm (6)

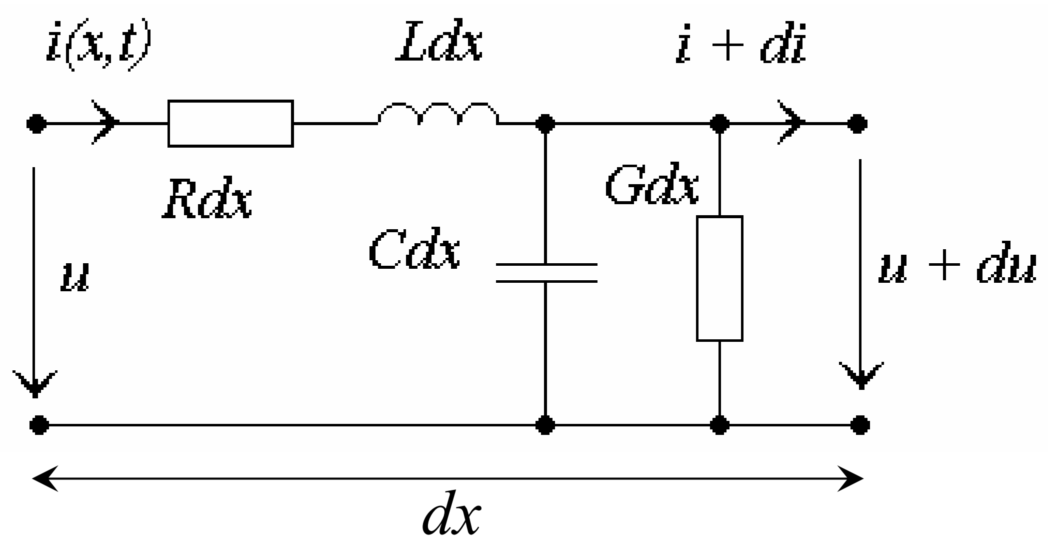
- Đường dây ngắn: các thông số (*R*, *L*, *C*) tập trung về 1 phần tử (điện trở, cuộn cảm, tụ điện)
- Đường dây dài: các thông số rải (coi như) đều trên toàn bộ đoạn mạch → còn gọi là mạch có thông số rải
- Tại một điểm *x* trên đường dây ta xét một đoạn ngắn *dx*
- Đoạn *dx* có thể được coi là một đường dây ngắn, có các thông số tập trung về 1 phần tử

Khái niệm (7)



Khái niệm (8)

- Một đoạn *dx* được mô hình hoá:



R, *L*, *C*, *G*: các thông số của đường dây trên một đơn vị dài

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

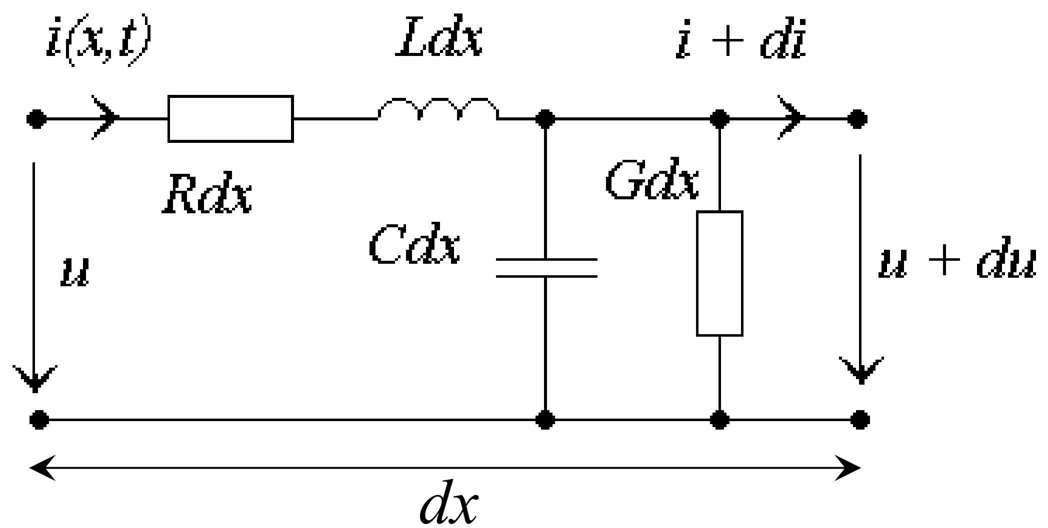
(khử các thành phần nhỏ *du.dx*) $\rightarrow di + Gdx.u + Cdx.u' = 0$

- KA: $- u+Rdx.i + Ldx.i' + u+du = 0$

$$\rightarrow du + Rdx.i + Ldx.i' = 0$$

Khái niệm (9)

- Một đoạn *dx* được mô hình hoá:



R, L, C, G: các thông số của đường dây trên một đơn vị dài

$$\begin{cases} du + Rdx.i + Ldx\dfrac{di}{dt} = 0 \\ di + Gdx.u + Cdx\dfrac{du}{dt} = 0 \end{cases} \Rightarrow \boxed{\begin{cases} -\dfrac{\partial u}{\partial x} = Ri + L\dfrac{\partial i}{\partial t} \\ -\dfrac{\partial i}{\partial x} = Gu + C\dfrac{\partial u}{\partial t} \end{cases}}$$

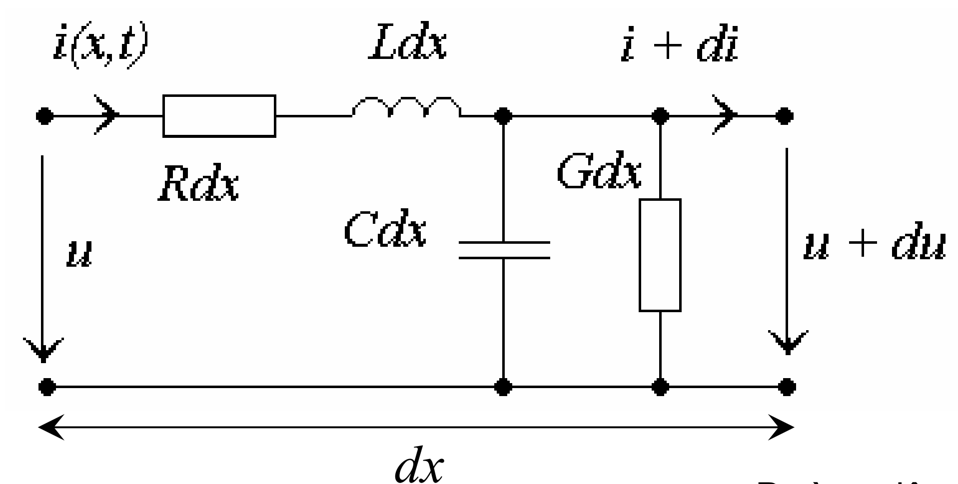
Khái niệm (10)

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

- Nghiệm phụ thuộc biên kiện $x = x_1$, $x = x_2$ & sơ kiện $t = t_0$
- R (Ω/km), L (H/km), C (F/km) & G (S/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 → không xét đến
- Chỉ giới hạn ở đường dây dài đều & tuyến tính
- Chỉ xét 2 bài toán:
  - Xác lập điều hoà
  - Quá độ

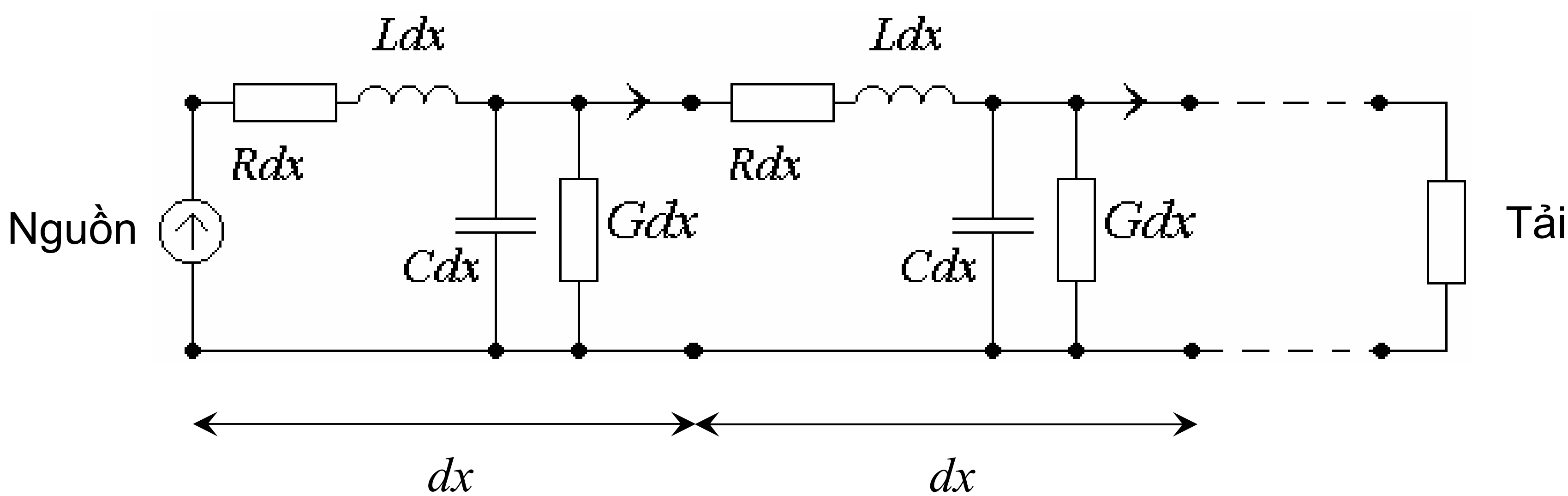
Khái niệm (11)

- Kích thước mạch trên 10% bước sóng
- *R* (Ω/km), *H* (H/km), *C* (F/km) & *G* (S/km) không đổi
- Chỉ xét 2 bài toán:
  – Xác lập điều hoà
  – Quá độ



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

Khái niệm (12)



R (Ω/km), *L* (H/km), *C* (F/km) & *G* (S/km) không đổi

Khái niệm (13)

$$L = \frac{\mu_0 \mu_r}{\pi}\left(\frac{1}{4} + \ln\frac{D}{a}\right)$$

$$C = \frac{\pi \varepsilon_0 \varepsilon_r}{\ln\frac{D}{a}}$$

$\mu_0 = 4\pi.10^{-7}$ H/m

$\mu_\mathrm{r} = 1$

$\varepsilon_0 = 8{,}85.10^{-12}$ F/m

$\varepsilon_\mathrm{r} = 1$

D : khoảng cách giữa hai dây dẫn

a : bán kính dây dẫn

Nội dung

1. Khái niệm
2. Chế độ xác lập điều hoà
    1. Khái niệm
    2. Phương pháp tính
    3. Hiện tượng sóng chạy
    4. Thông số đặc trưng cho sự truyền sóng
    5. Phản xạ sóng
    6. Biểu đồ Smith
    7. Phân bố dạng hyperbol
    8. Đường dây dài đều không tiêu tán
    9. Mạng hai cửa tương đương
3. Quá trình quá độ

Khái niệm

- Nguồn điều hoà, mạch ở trạng thái ổn định
- Là chế độ làm việc bình thường & phổ biến
- Là cơ sở để tính toán các chế độ phức tạp hơn

  → cần khảo sát

- Dòng & áp có dạng hình sin, nhưng biên độ & pha phụ thuộc tọa độ

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

Nội dung

1. Khái niệm
2. Chế độ xác lập điều hoà
    1. Khái niệm
    2. **Phương pháp tính**
    3. Hiện tượng sóng chạy
    4. Thông số đặc trưng cho sự truyền sóng
    5. Phản xạ sóng
    6. Biểu đồ Smith
    7. Phân bố dạng hyperbol
    8. Đường dây dài đều không tiêu tán
    9. Mạng hai cửa tương đương
3. Quá trình quá độ

Phương pháp tính (1)

$$\begin{cases} -\dfrac{\partial u}{\partial x} = Ri + L\dfrac{\partial i}{\partial t} \\ -\dfrac{\partial i}{\partial x} = Gu + C\dfrac{\partial u}{\partial t} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} -\dfrac{d\dot{U}}{dx} = R\dot{I} + j\omega L\dot{I} = (R + j\omega L)\dot{I} \\ -\dfrac{d\dot{I}}{dx} = G\dot{U} + j\omega C\dot{U} = (G + j\omega C)\dot{U} \end{cases}$$

$$\frac{d^2\dot{U}}{dx^2} = (R + j\omega L)(G + j\omega C)\dot{U} \leftarrow -\frac{d^2\dot{U}}{dx^2} = (R + j\omega L)\frac{d\dot{I}}{dx}$$

$$\begin{cases} \dfrac{d^2\dot{U}}{dx^2} = (R + j\omega L)(G + j\omega C)\dot{U} = ZY\dot{U} = \gamma^2\dot{U} \\ \dfrac{d^2\dot{I}}{dx^2} = (G + j\omega C)(R + j\omega L)\dot{I} = ZY\dot{I} = \gamma^2\dot{I} \end{cases}$$

$$\frac{d^2\dot{I}}{dx^2} = (G + j\omega C)(R + j\omega L)\dot{I} \leftarrow -\frac{d^2\dot{I}}{dx^2} = (G + j\omega C)\frac{d\dot{U}}{dx}$$

Phương pháp tính (2)

$$\begin{cases} \dfrac{d^2\dot{U}}{dx^2} = (R + j\omega L)(g + j\omega C)\dot{U} = ZY\dot{U} = \gamma^2\dot{U} \\ \dfrac{d^2\dot{I}}{dx^2} = (G + j\omega C)(R + j\omega L)\dot{I} = ZY\dot{I} = \gamma^2\dot{I} \end{cases}$$

$$\boxed{\gamma = \gamma(\omega) = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} = \alpha(\omega) + j\beta(\omega)}$$ (hệ số truyền sóng)

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

$$p^2 - \gamma^2 = 0 \longrightarrow p = \pm\gamma = \pm(\alpha + j\beta)$$

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

$\dot{A}_1, \dot{A}_2, \dot{B}_1, \dot{B}_2$: Hằng số tích phân

Phương pháp tính (3)

$$\begin{cases} -\dfrac{d\dot{U}}{dx} = Z\dot{I} \\ -\dfrac{d\dot{I}}{dx} = Y\dot{U} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \dot{U}(x) = \dot{A}_1 e^{-\gamma x} + \dot{A}_2 e^{\gamma x} \\ \dot{I}(x) = \dot{B}_1 e^{-\gamma x} + \dot{B}_2 e^{\gamma x} \end{cases}$$

$$\dot{I} = -\frac{1}{Z} * \frac{d\dot{U}}{dx} = \frac{\gamma}{Z}(\dot{A}_1 e^{-\gamma x} - \dot{A}_2 e^{\gamma x})$$

$$\boxed{Z_c = \frac{Z}{\gamma}}$$: tổng trở sóng

$$\begin{cases} -\dfrac{d\dot{U}}{dx} = Z\dot{I} \\ -\dfrac{d\dot{I}}{dx} = Y\dot{U} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \dot{U} = \dot{A}_1 e^{-\gamma x} + \dot{A}_2 e^{\gamma x} \\ \dot{I} = \dfrac{\dot{A}_1}{Z_c} e^{-\gamma x} - \dfrac{\dot{A}_2}{Z_c} e^{\gamma x} \end{cases}$$

Nội dung

1. Khái niệm
2. Chế độ xác lập điều hoà
    1. Khái niệm
    2. Phương pháp tính
    3. **Hiện tượng sóng chạy**
    4. Thông số đặc trưng cho sự truyền sóng
    5. Phản xạ sóng
    6. Biểu đồ Smith
    7. Phân bố dạng hyperbol
    8. Đường dây dài đều không tiêu tán
    9. Mạng hai cửa tương đương
3. Quá trình quá độ

Hiện tượng sóng chạy (1)

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

$$\dot{A}_1 = A_1 e^{j\varphi_1}$$

$$\dot{A}_2 = A_2 e^{j\varphi_2}$$

$$Z_c = z_c e^{j\theta}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \dot{U} = A_1 e^{-\alpha x} e^{-j\beta x + j\varphi_1} + A_2 e^{\alpha x} e^{j\beta x + j\varphi_2} \\ \dot{I} = \dfrac{A_1}{z_c} e^{-\alpha x} e^{-j\beta x + j\varphi_1 - j\theta} - \dfrac{A_2}{z_c} e^{\alpha x} e^{j\beta x + j\varphi_2 - j\theta} \end{cases}$$

$$\Downarrow$$

$$\begin{cases} u(x,t) = \sqrt{2} A_1 e^{-\alpha x} \sin(\omega t + \varphi_1 - \beta x) + \sqrt{2} A_2 e^{\alpha x} \sin(\omega t + \varphi_2 + \beta x) \\ i(x,t) = \sqrt{2} \dfrac{A_1}{z_c} e^{-\alpha x} \sin(\omega t + \varphi_1 - \theta - \beta x) - \sqrt{2} \dfrac{A_2}{z_c} e^{\alpha x} \sin(\omega t + \varphi_2 - \theta + \beta x) \end{cases}$$

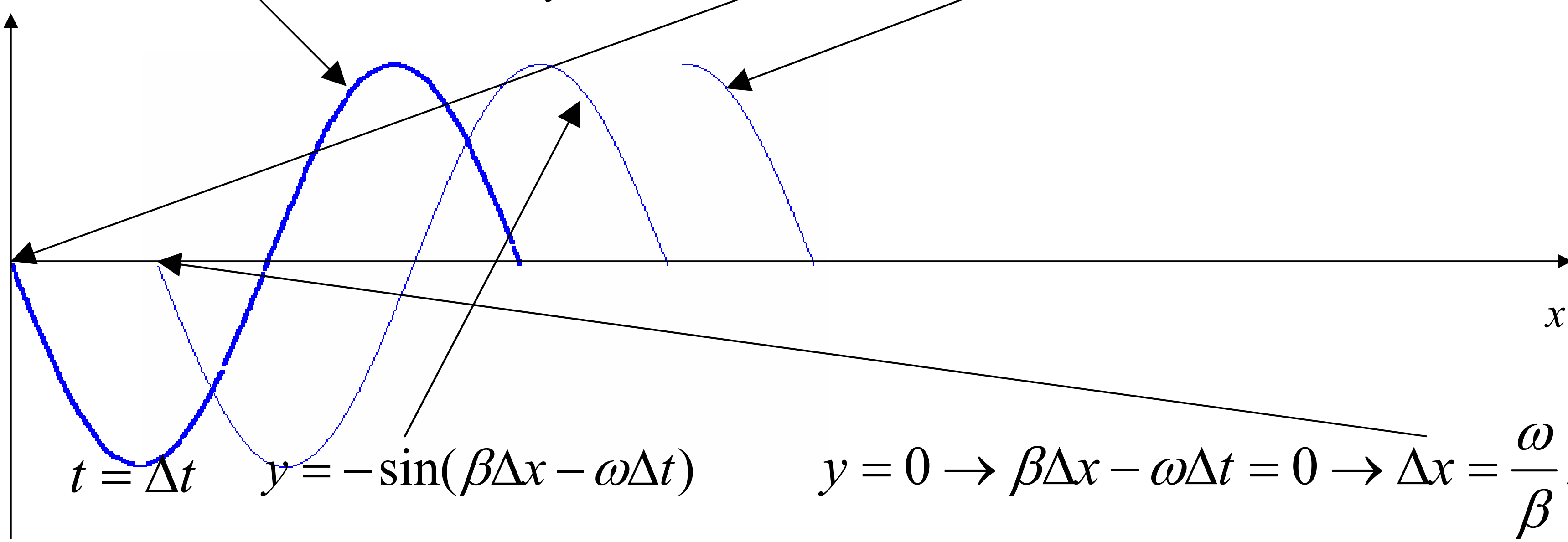
Hiện tượng sóng chạy (2)

$$\begin{cases} u(x,t) = \sqrt{2}A_1 e^{-\alpha x}\sin(\omega t + \varphi_1 - \beta x) + \sqrt{2}A_2 e^{\alpha x}\sin(\omega t + \varphi_2 + \beta x) \\ i(x,t) = \sqrt{2}\dfrac{A_1}{z_c}e^{-\alpha x}\sin(\omega t + \varphi_1 - \theta - \beta x) - \sqrt{2}\dfrac{A_2}{z_c}e^{\alpha x}\sin(\omega t + \varphi_2 - \theta + \beta x) \end{cases}$$

$$\varphi_1 = 0$$

$$y = \sin(\omega t - \beta x) \quad = -\sin(\beta x - \omega t)$$

$t = 0 \quad y = -\sin\beta x \quad y = 0 \rightarrow x = 0 \qquad t = 2\Delta t$



$t = \Delta t \quad y = -\sin(\beta\Delta x - \omega\Delta t) \qquad y = 0 \rightarrow \beta\Delta x - \omega\Delta t = 0 \rightarrow \Delta x = \dfrac{\omega}{\beta}\Delta t$

Hiện tượng sóng chạy (3)

$$\begin{cases} u(x,t) = \sqrt{2}A_1e^{-\alpha x}\sin(\omega t + \varphi_1 - \beta x) + \sqrt{2}A_2e^{\alpha x}\sin(\omega t + \varphi_2 + \beta x) \\ i(x,t) = \sqrt{2}\dfrac{A_1}{z_c}e^{-\alpha x}\sin(\omega t + \varphi_1 - \theta - \beta x) - \sqrt{2}\dfrac{A_2}{z_c}e^{\alpha x}\sin(\omega t + \varphi_2 - \theta + \beta x) \end{cases}$$

$$\varphi_1 = 0$$

$$y = \sin(\omega t - \beta x)$$

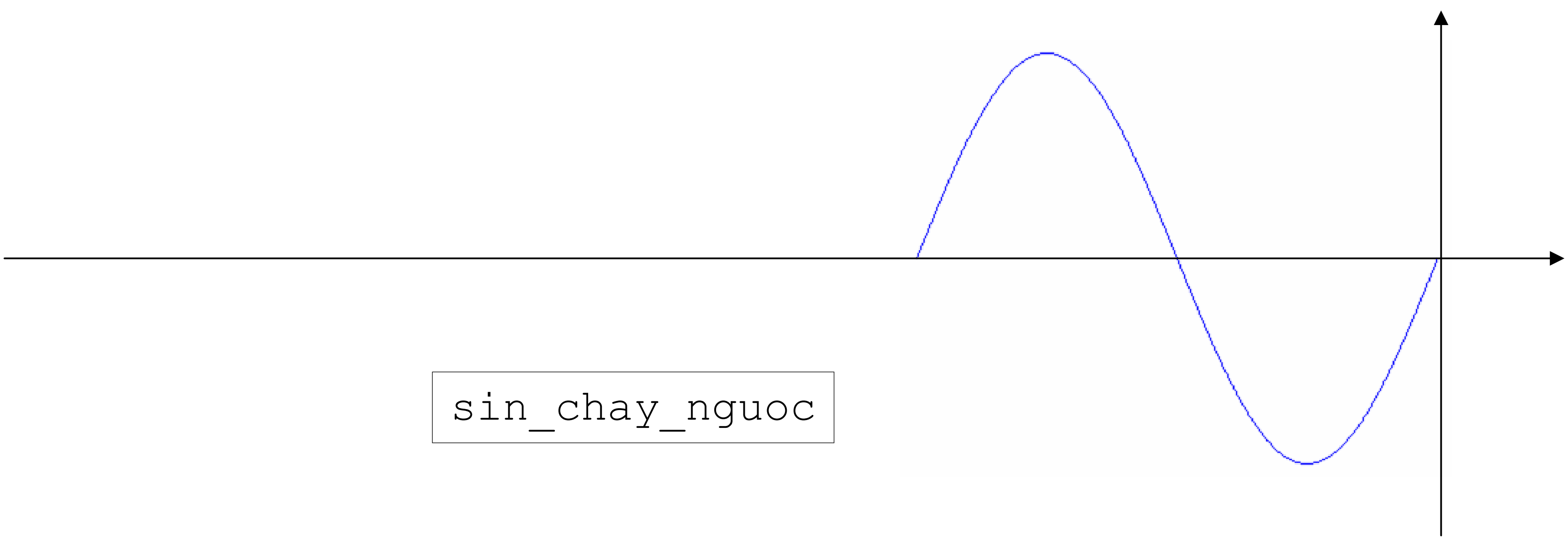
sin_chay_thuan

Hiện tượng sóng chạy (4)

$$\begin{cases} u(x,t) = \sqrt{2}A_1 e^{-\alpha x}\sin(\omega t + \varphi_1 - \beta x) + \sqrt{2}A_2 e^{\alpha x}\sin(\omega t + \varphi_2 + \beta x) \\ i(x,t) = \sqrt{2}\dfrac{A_1}{z_c}e^{-\alpha x}\sin(\omega t + \varphi_1 - \theta - \beta x) - \sqrt{2}\dfrac{A_2}{z_c}e^{\alpha x}\sin(\omega t + \varphi_2 - \theta + \beta x) \end{cases}$$

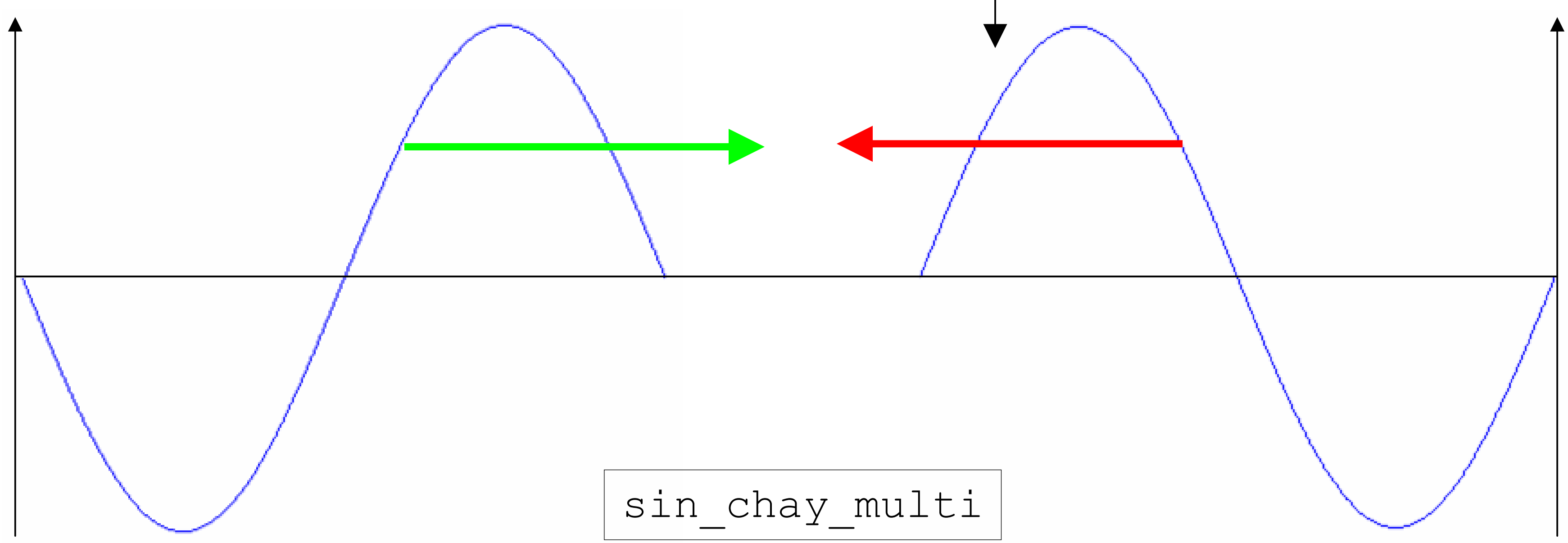
$$\varphi_1 = 0$$

$$y = \sin(\omega t + \beta x)$$



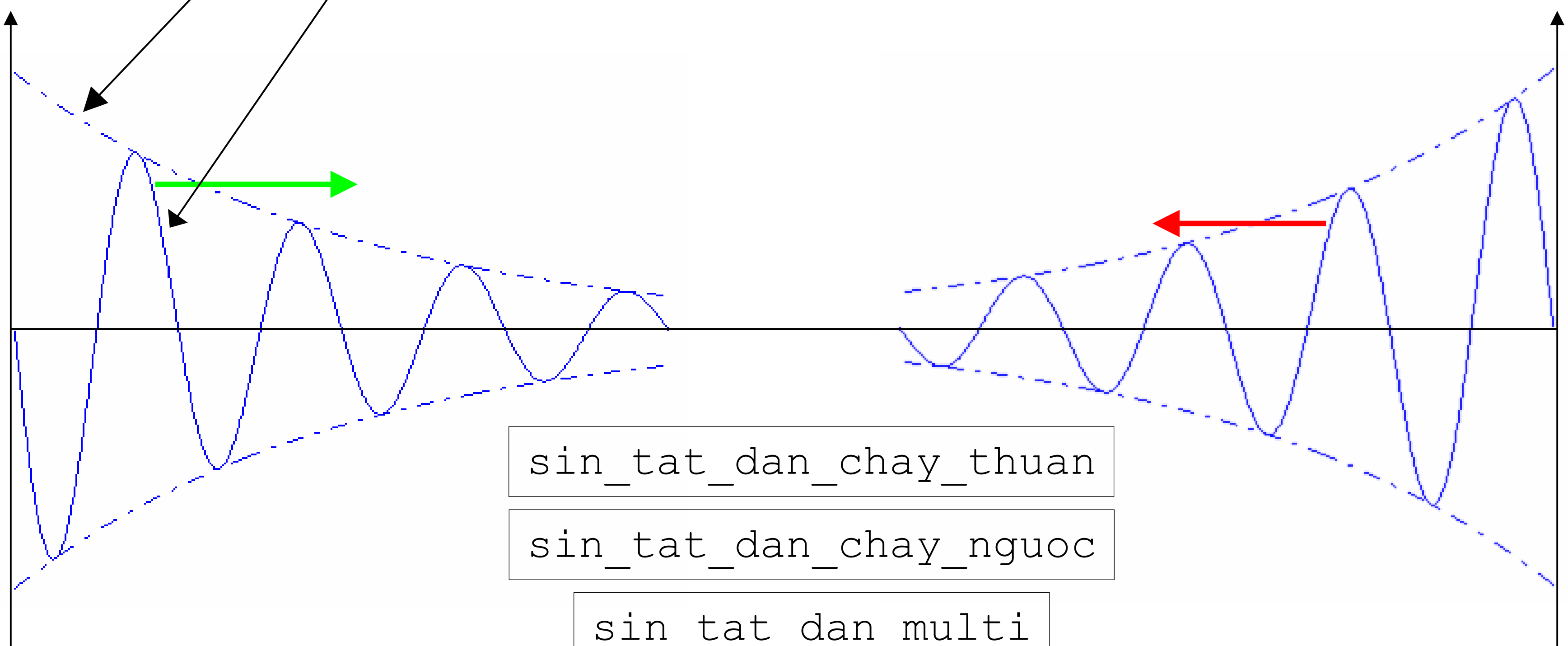
Hiện tượng sóng chạy (5)

$$\begin{cases} u(x,t) = \sqrt{2}A_1 e^{-\alpha x}\sin(\omega t + \varphi_1 - \beta x) + \sqrt{2}A_2 e^{\alpha x}\sin(\omega t + \varphi_2 + \beta x) \\ i(x,t) = \sqrt{2}\dfrac{A_1}{z_c}e^{-\alpha x}\sin(\omega t + \varphi_1 - \theta - \beta x) - \sqrt{2}\dfrac{A_2}{z_c}e^{\alpha x}\sin(\omega t + \varphi_2 - \theta + \beta x) \end{cases}$$



Hiện tượng sóng chạy (6)

$$\begin{cases} u(x,t) = \sqrt{2}A_1 e^{-\alpha x}\sin(\omega t + \varphi_1 - \beta x) + \sqrt{2}A_2 e^{\alpha x}\sin(\omega t + \varphi_2 + \beta x) \\ i(x,t) = \sqrt{2}\dfrac{A_1}{z_c}e^{-\alpha x}\sin(\omega t + \varphi_1 - \theta - \beta x) - \sqrt{2}\dfrac{A_2}{z_c}e^{\alpha x}\sin(\omega t + \varphi_2 - \theta + \beta x) \end{cases}$$



Đường dây dài

Hiện tượng sóng chạy (7)

$$\begin{cases} u(x,t) = u(x,t) = \sqrt{2}A_1 e^{-\alpha x}\sin(\omega t + \varphi_1 - \beta x) + \sqrt{2}A_2 e^{\alpha x}\sin(\omega t + \varphi_2 + \beta x) \\ i(x,t) = \sqrt{2}\dfrac{A_1}{z_c}e^{-\alpha x}\sin(\omega t + \varphi_1 - \theta - \beta x) - \sqrt{2}\dfrac{A_2}{z_c}e^{\alpha x}\sin(\omega t + \varphi_2 - \theta + \beta x) \end{cases}$$

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

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

Sóng thuận

Sóng ngược

vector_quay_mu00

Nội dung

1. Khái niệm
2. Chế độ xác lập điều hoà
    1. Khái niệm
    2. Phương pháp tính
    3. Hiện tượng sóng chạy
    4. **Thông số đặc trưng cho sự truyền sóng**
    5. Phản xạ sóng
    6. Biểu đồ Smith
    7. Phân bố dạng hyperbol
    8. Đường dây dài đều không tiêu tán
    9. Mạng hai cửa tương đương
3. Quá trình quá độ

Thông số đặc trưng cho sự truyền sóng (1)

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

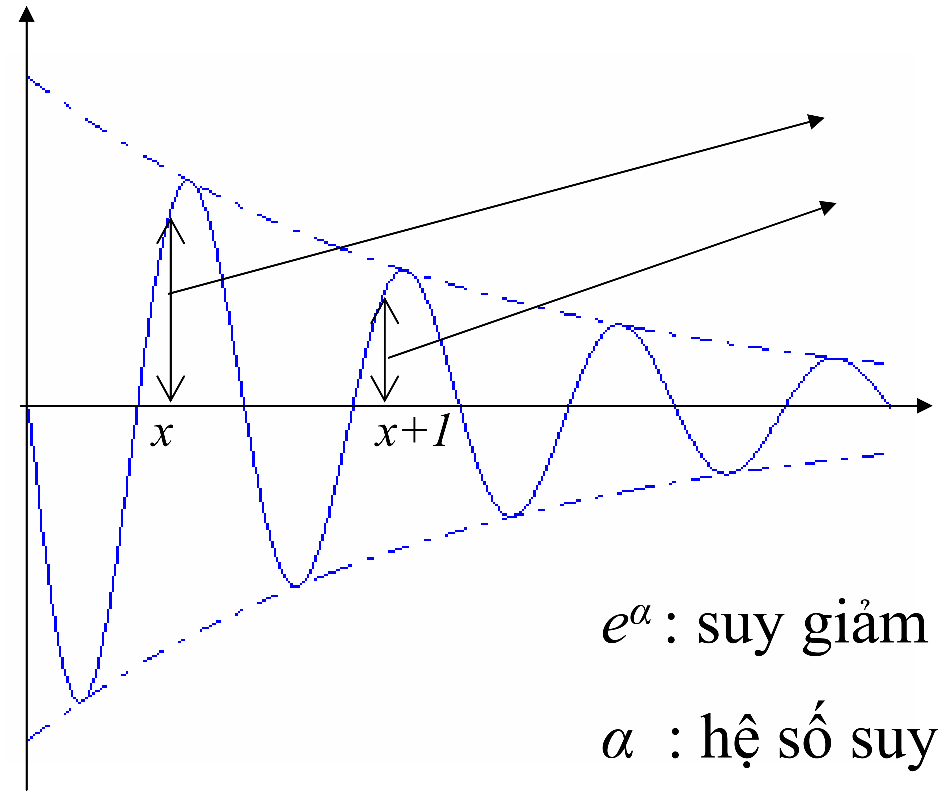
$$\gamma(\omega) = \sqrt{Z(\omega)Y(\omega)} = \alpha(\omega) + j\beta(\omega)$$

- Hệ số truyền sóng $\gamma = \alpha + j\,\beta$
- Hệ số suy giảm $\alpha = \alpha(\omega)$
- Hệ số pha $\beta = \beta(\omega)$
- Vận tốc truyền sóng $v(\omega) = \omega/\beta$
- Tổng trở sóng $Z_c = Z_c(\omega)$

Thông số đặc trưng cho sự truyền sóng (2)

$$u^{+}(x,t)=\sqrt{2}A_1e^{-\alpha x}\sin(\omega t+\varphi_1-\beta x)$$

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



$$\frac{U^{+}(x)}{U^{+}(x+1)}=\frac{\sqrt{2}A_1e^{-\alpha x}}{\sqrt{2}A_1e^{-\alpha(x+1)}}=e^{\alpha}$$

e^{α} : suy giảm biên độ trên một đơn vị dài

α : hệ số suy giảm/hệ số tắt

Thông số đặc trưng cho sự truyền sóng (3)

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

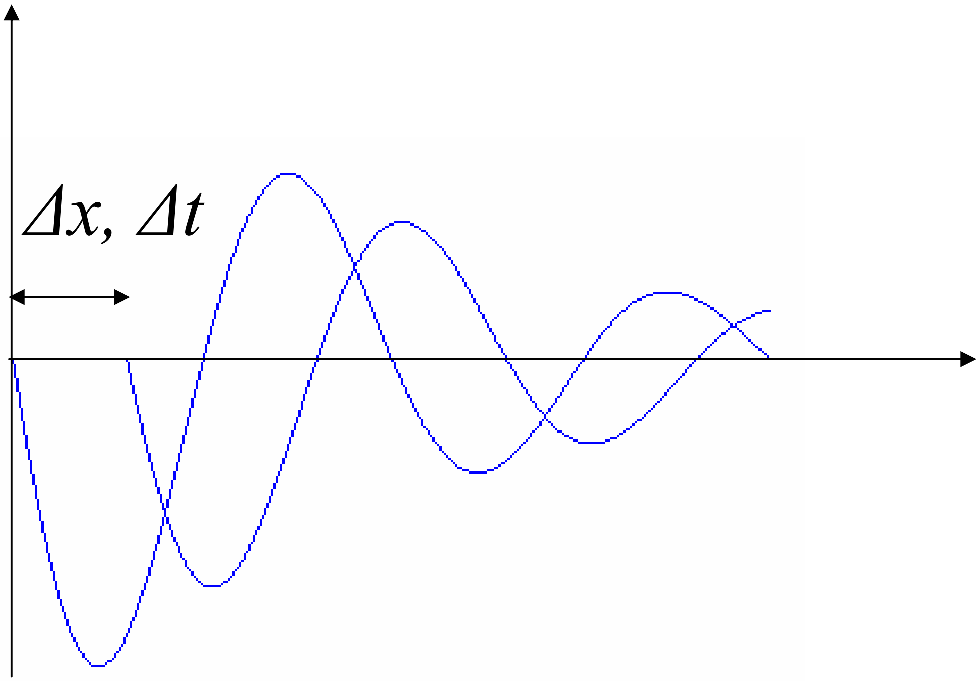
$$\gamma(\omega)=\alpha(\omega)+j\beta(\omega)$$

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

Thông số đặc trưng cho sự truyền sóng (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

Thông số đặc trưng cho sự truyền sóng (5)

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

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

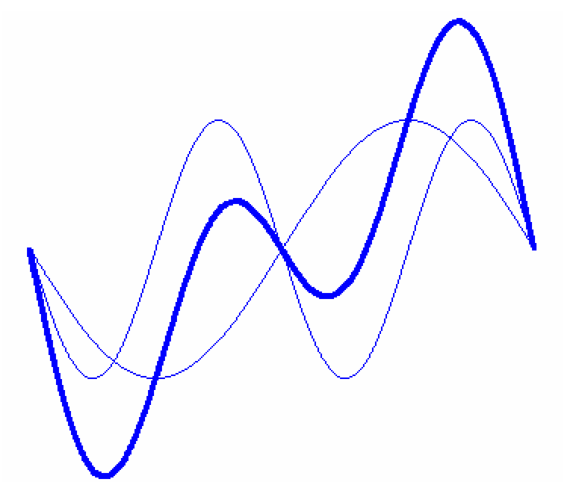
Tổng trở sóng $$Z_c = \frac{\dot{U}^{+}}{\dot{I}^{+}} = \frac{\dot{U}^{-}}{\dot{I}^{-}} = \frac{Z}{\gamma} = \frac{Z}{\sqrt{ZY}} = \sqrt{\frac{Z}{Y}}$$

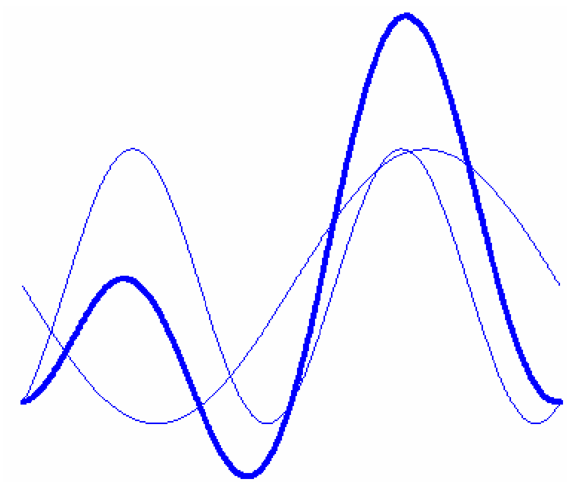
Nếu không tiêu tán $$Z_c = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{j\omega L}{j\omega C}} = \sqrt{\frac{L}{C}} = \text{const}$$

Thông số đặc trưng cho sự truyền sóng (6)

$$u^{+}(x,t)=\sqrt{2}A_1e^{-\alpha x}\sin(\omega t+\varphi_1-\beta x)$$

- γ(*ω*), *α*(*ω*), *β*(*ω*), *v*(*ω*), $Z_c(\omega)$: phụ thuộc *ω*
- Các điều hoà có *ω* khác nhau sẽ có tốc độ truyền, độ suy giảm, … khác nhau
- Nếu là một tổng của các điều hoà tần số khác nhau, sóng sẽ có các hình dạng khác nhau tại các vị trí khác nhau → hiện tượng méo

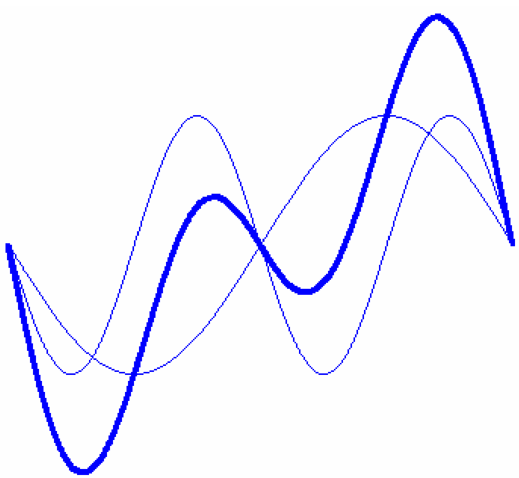




Thông số đặc trưng cho sự truyền sóng (7)

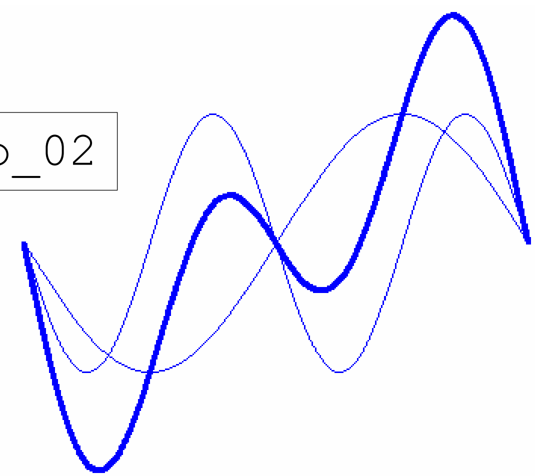
$$u^+(x,t) = \sqrt{2}A_1 e^{-\alpha x}\sin(\omega t + \varphi_1 - \beta x)$$

- Nếu γ, α, β, v không phụ thuộc ω ?
- → các điều hoà có ω khác nhau sẽ có tốc độ truyền, độ suy giảm, … như nhau
- → Nếu là một tổng của các điều hoà tần số khác nhau, sóng sẽ có các hình dạng như nhau tại các vị trí khác nhau → không méo



hinh_sin_khong_meo_02

hinh_sin_meo_02



Thông số đặc trưng cho sự truyền sóng (8)

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

- Với điều kiện nào thì γ, α, β, v, Z$_c$ không phụ thuộc ω ?

$$\frac{R}{L} = \frac{G}{C}$$

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} = \sqrt{R(1 + j\omega\frac{L}{R})G(1 + j\omega\frac{C}{G})}$$

$$\Rightarrow \gamma = \sqrt{RG(1 + j\omega\frac{L}{R})^2} = \boxed{\sqrt{RG}} + j\boxed{\omega\sqrt{RG}\frac{L}{R}}$$

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

$$\alpha = \sqrt{RG}$$

$$\beta = \omega\sqrt{RG}\frac{L}{R}$$

Thông số đặc trưng cho sự truyền sóng (9)

Nếu $\dfrac{R}{L} = \dfrac{G}{C}$

$$\left.\begin{aligned}
\gamma &= \sqrt{RG} + j\omega\sqrt{RG}\frac{L}{R} \\
\alpha &= \sqrt{RG} \\
\beta &= \omega\sqrt{RG}\frac{L}{R} \\
v &= \frac{\omega}{\beta} = \frac{\omega}{\omega\sqrt{RG}\frac{L}{R}} = \frac{1}{\sqrt{LC}}
\end{aligned}\right\}$$

không méo

(Pupin hoá)

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = \sqrt{\frac{R(1 + j\omega\frac{L}{R})}{G(1 + j\omega\frac{C}{G})}} = \sqrt{\frac{R}{G}}$$

Thông số đặc trưng cho sự truyền sóng (10)

- Ví dụ đường dây truyền tải điện dài đều có các thông số:
  - $R = 10\ \Omega/\text{km}$
  - $L = 5\ \text{mH/km}$
  - $C = 4.10^{-9}\ \text{F/km}$
  - $G = 10^{-6}\ \text{S/km}$
- Tính
  - Tổng trở
  - Tổng dẫn
  - Hệ số truyền sóng
  - Hệ số suy giảm
  - Hệ số pha
  - Tổng trở sóng
  - Vận tốc truyền sóng

Nội dung

1. Khái niệm
2. Chế độ xác lập điều hoà
   1. Khái niệm
   2. Phương pháp tính
   3. Hiện tượng sóng chạy
   4. Thông số đặc trưng cho sự truyền sóng
   5. **Phản xạ sóng**
   6. Biểu đồ Smith
   7. Phân bố dạng hyperbol
   8. Đường dây dài đều không tiêu tán
   9. Mạng hai cửa tương đương
3. Quá trình quá độ

Phản xạ sóng (1)

- Sóng trên đường dây là tổng của sóng ngược & sóng thuận
- Quan niệm rằng sóng ngược là kết quả của sự phản xạ sóng thuận
- Từ đó đưa ra định nghĩa hệ số phản xạ:

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

$$\begin{cases} \dot{U}(x) = \dot{U}^+(x) + \dot{U}^-(x) \\ \dot{I}(x) = \dfrac{\dot{U}^+(x)}{Z_c} - \dfrac{\dot{U}^-(x)}{Z_c} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \dot{U}(x) = \dot{U}^+(x) + \dot{U}^-(x) \\ Z_c\dot{I}(x) = \dot{U}^+(x) - \dot{U}^-(x) \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \dot{U}^+(x) = \dfrac{1}{2}[\dot{U}(x) + Z_c\dot{I}(x)] \\ \dot{U}^-(x) = \dfrac{1}{2}[\dot{U}(x) - Z_c\dot{I}(x)] \end{cases} \Rightarrow n(x) = \frac{\dot{U}^-(x)}{\dot{U}^+(x)} = \frac{\dot{U}(x) - Z_c\dot{I}(x)}{\dot{U}(x) + Z_c\dot{I}(x)}$$

Phản xạ sóng (2)

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

$$Z(x) = \frac{\dot{U}(x)}{\dot{I}(x)} \quad \text{(tổng trở vào)}$$

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

Cuối đường dây: $n_2 = \dfrac{Z_2 - Z_c}{Z_2 + Z_c}$

Đầu đường dây: $n_1 = \dfrac{Z_1 - Z_c}{Z_1 + Z_c}$

Z_2 : tải cuối đường dây

Z_1 : tải đầu đường dây

Các hệ số phản xạ phụ thuộc R, L, C, G, ω, Z_1 & Z_2

Phản xạ sóng (3)

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

- Nếu $Z_2 = Z_c$ → $n_2 = 0$ → không có phản xạ → hoà hợp tải

$$n_2 = \frac{Z_2 - Z_c}{Z_2 + Z_c} = \frac{\dot{U}^-}{\dot{U}^+} = \frac{Z_c - Z_c}{Z_c + Z_c} = 0 \rightarrow \dot{U}^- = n_2\dot{U}^+ = 0$$

- Nếu hở mạch, Z_2 → ∞ → $n_2 = 1$ → phản xạ toàn phần

$$n_2 = \frac{Z_2 - Z_c}{Z_2 + Z_c} = \frac{\dot{U}^-}{\dot{U}^+} = 1 \rightarrow \dot{U}^- = n_2\dot{U}^+ = \dot{U}^+$$

- Nếu ngắn mạch, $Z_2 = 0$ → $n_2 = -1$ → phản xạ toàn phần & đổi dấu

$$n_2 = \frac{Z_2 - Z_c}{Z_2 + Z_c} = \frac{\dot{U}^-}{\dot{U}^+} = \frac{0 - Z_c}{0 + Z_c} = -1 \rightarrow \dot{U}^- = n_2\dot{U}^+ = -\dot{U}^+$$

Phản xạ sóng (4)

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

- Nếu $Z_2 = Z_c$ → $n_2 = 0$ → không có phản xạ → hoà hợp tải
- $n_2 = 0$ → $\dot{U}^- = 0$ → không có sóng phản xạ

$$\dot{U}(x) = \dot{U}^+(x) + \dot{U}^-(x) = \dot{U}^+(x) = U_0 e^{-\gamma x}$$

$$\dot{I}(x) = \dot{I}^+(x) - \dot{I}^-(x) = \dot{I}^+(x) = \frac{\dot{U}^+(x)}{Z_c} = \frac{\dot{U}_0}{Z_c} e^{-\gamma x}$$

Phản xạ sóng (5)

- Ví dụ đường dây truyền tải điện dài đều có các thông số:
  - $R = 10\ \Omega/\text{km}$
  - $L = 5\ \text{mH/km}$
  - $C = 4.10^{-9}\ \text{F/km}$
  - $G = 10^{-6}\ \text{S/km}$
  - Tải cuối dây $Z_2 = 1\ \text{k}\Omega$
  - Điện áp cuối dây $U_2 = 220\ \text{kV}$
- Tính
  - Sóng điện áp tới ở cuối đường dây
  - Sóng điện áp phản xạ ở cuối đường dây

Phản xạ sóng (6)

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

$n(x) \xrightarrow{?} Z(x)$

$Z(x) \xrightarrow{?} n(x)$

→

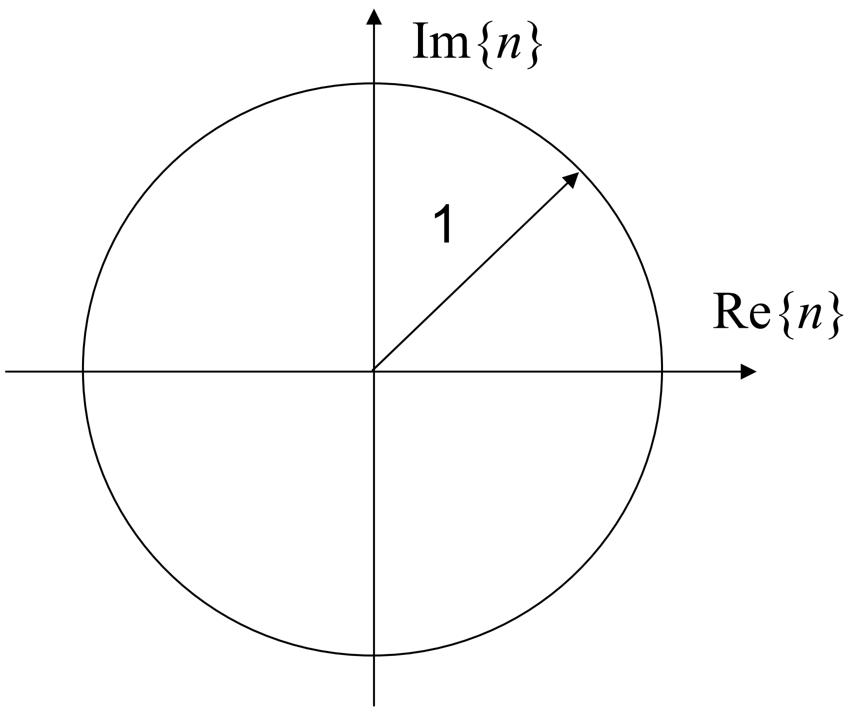
- Dùng máy tính
- Dùng biểu đồ Smith

Nội dung

1. Khái niệm
2. Chế độ xác lập điều hoà
    1. Khái niệm
    2. Phương pháp tính
    3. Hiện tượng sóng chạy
    4. Thông số đặc trưng cho sự truyền sóng
    5. Phản xạ sóng
    6. **Biểu đồ Smith**
    7. Phân bố dạng hyperbol
    8. Đường dây dài đều không tiêu tán
    9. Mạng hai cửa tương đương
3. Quá trình quá độ

Biểu đồ Smith (1)

- Biểu diễn phức của tổng trở trên mặt phẳng toạ độ của hệ số phản xạ



Biểu đồ Smith (2)

$$n(x)=\frac{Z(x)-Z_c}{Z(x)+Z_c}\rightarrow Z(x)=Z_c\frac{1+n(x)}{1-n(x)}$$

Đặt $\frac{Z(x)}{Z_c}=z(x)$

(Tổng trở chuẩn hoá)

$$\rightarrow z(x)=\frac{1+n(x)}{1-n(x)}$$

$$\rightarrow \mathrm{Re}\{z(x)\}+j\,\mathrm{Im}\{z(x)\}=\frac{1+\left[\mathrm{Re}\{n(x)\}+j\,\mathrm{Im}\{n(x)\}\right]}{1-\left[\mathrm{Re}\{n(x)\}-j\,\mathrm{Im}\{n(x)\}\right]}$$

$$=\frac{1-\mathrm{Re}^2\{n(x)\}-\mathrm{Im}^2\{n(x)\}+j2\,\mathrm{Im}\{n(x)\}}{\left[1-\mathrm{Re}\{n(x)\}\right]^2+\mathrm{Im}^2\{n(x)\}}$$

Biểu đồ Smith (3)

$$\mathrm{Re}\{z(x)\} + j\,\mathrm{Im}\{z(x)\} = \frac{1-\mathrm{Re}^2\{n(x)\}-\mathrm{Im}^2\{n(x)\} + j2\,\mathrm{Im}\{n(x)\}}{\left[1-\mathrm{Re}\{n(x)\}\right]^2+\mathrm{Im}^2\{n(x)\}}$$

$$\mathrm{Re}\{z(x)\} = \frac{1-\mathrm{Re}^2\{n(x)\}-\mathrm{Im}^2\{n(x)\}}{\left[1-\mathrm{Re}\{n(x)\}\right]^2+\mathrm{Im}^2\{n(x)\}}$$

$$\rightarrow \mathrm{Re}\{z(x)\}\left[\mathrm{Re}\{n(x)\}-1\right]^2 + \left[\mathrm{Re}^2(\{n(x)\}-1\right] +$$

(= 0)

$$+\mathrm{Re}\{z(x)\}\,\mathrm{Im}^2\{n(x)\} + \mathrm{Im}^2\{n(x)\} + \boxed{\frac{1}{1+\mathrm{Re}\{z(x)\}} - \frac{1}{1+\mathrm{Re}\{z(x)\}}} = 0$$

$$\rightarrow \left(\mathrm{Re}\{n(x)\} - \frac{\mathrm{Re}\{z(x)\}}{1+\mathrm{Re}\{z(x)\}}\right)^2 + \mathrm{Im}^2\{n(x)\} = \left(\frac{\mathrm{Re}\{z(x)\}}{1+\mathrm{Re}\{z(x)\}}\right)^2$$

Biểu đồ Smith (4)

$$\mathrm{Re}\{z(x)\} + j\,\mathrm{Im}\{z(x)\} = \frac{1 - \mathrm{Re}^2\{n(x)\} - \mathrm{Im}^2\{n(x)\} + j2\,\mathrm{Im}\{n(x)\}}{\left[1 - \mathrm{Re}\{n(x)\}\right]^2 + \mathrm{Im}^2\{n(x)\}}$$

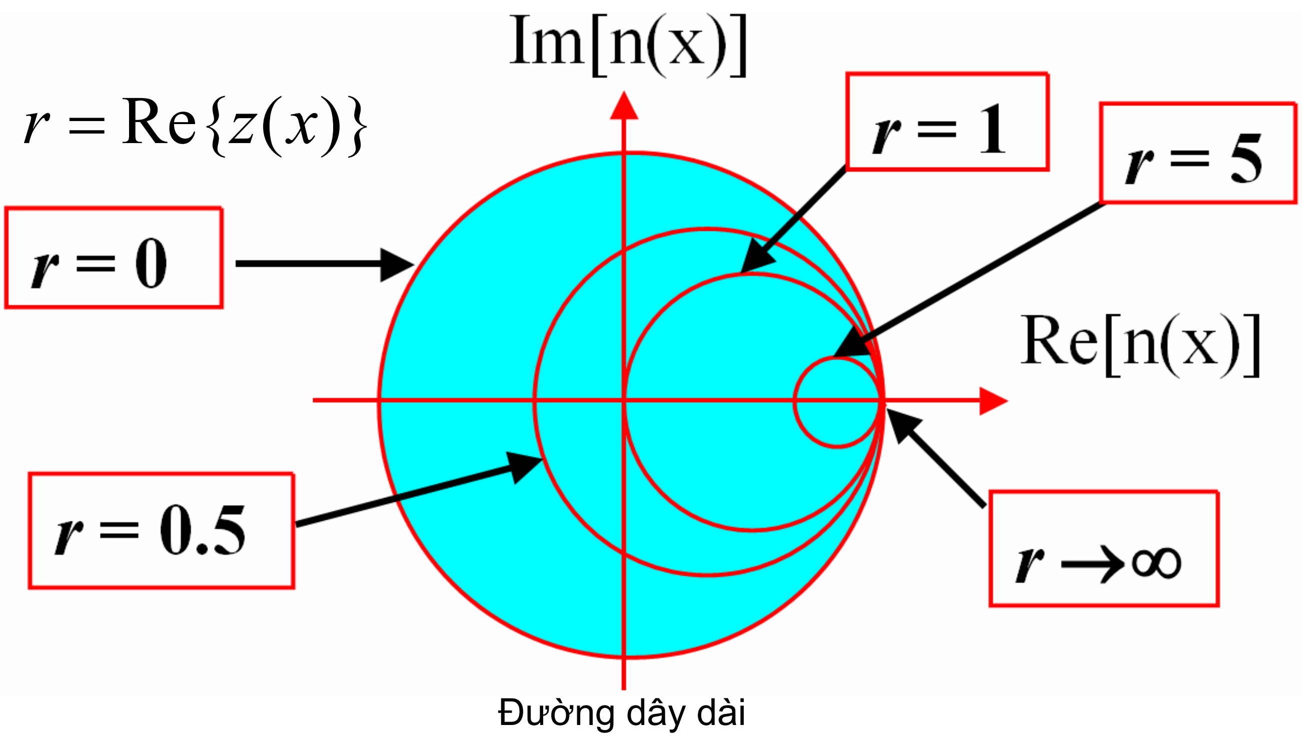
$$\boxed{\left(\mathrm{Re}\{n(x)\} - \frac{\mathrm{Re}\{z(x)\}}{1 + \mathrm{Re}\{z(x)\}}\right)^2 + \mathrm{Im}^2\{n(x)\} = \left(\frac{\mathrm{Re}\{z(x)\}}{1 + \mathrm{Re}\{z(x)\}}\right)^2}$$

$$\boxed{\left(\mathrm{Re}\{n(x)\} - 1\right)^2 + \left(\mathrm{Im}\{n(x)\} - \frac{1}{\mathrm{Im}\{z(x)\}}\right)^2 = \frac{1}{\mathrm{Im}^2\{z(x)\}}}$$

Biểu đồ Smith (5)

$$\left(\mathrm{Re}\{n(x)\}-\frac{\mathrm{Re}\{z(x)\}}{1+\mathrm{Re}\{z(x)\}}\right)^2+\mathrm{Im}^2\{n(x)\}=\left(\frac{\mathrm{Re}\{z(x)\}}{1+\mathrm{Re}\{z(x)\}}\right)^2$$

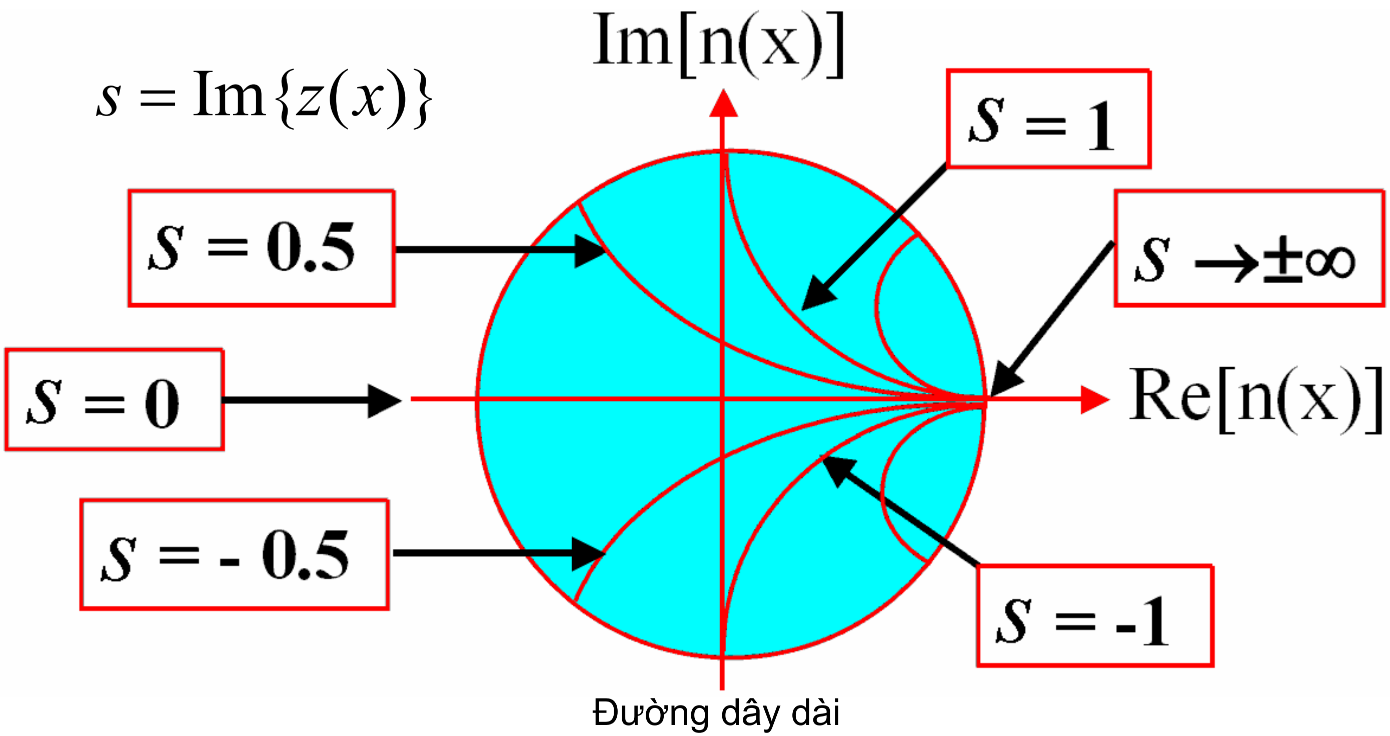
Phương trình của đường tròn có tâm $\left\{\frac{1}{1+\mathrm{Re}\{z(x)\}},0\right\}$ & bán kính $\frac{1}{1+\mathrm{Re}\{z(x)\}}$



Biểu đồ Smith (6)

$$(\mathrm{Re}\{n(x)\}-1)^2+\left(\mathrm{Im}\{n(x)\}-\frac{1}{\mathrm{Im}\{z(x)\}}\right)^2=\frac{1}{\mathrm{Im}^2\{z(x)\}}$$

Phương trình của đường tròn có tâm $\left\{1,\frac{1}{\mathrm{Im}\{z(x)\}}\right\}$ & bán kính $\frac{1}{\mathrm{Im}\{z(x)\}}$



Biểu đồ Smith (7)

1. Chuẩn hoá tổng trở

$$z(x) = \frac{Z(x)}{Z_c} = \mathrm{Re}\{z(x)\} + j\,\mathrm{Im}\{z(x)\}$$

2. Tìm vòng tròn ứng với điện trở chuẩn hoá $\mathrm{Re}\{z(x)\}$
3. Tìm cung tròn ứng với điện kháng chuẩn hoá $\mathrm{Im}\{z(x)\}$
4. Giao điểm của vòng tròn & cung tròn là hệ số phản xạ

VD: $Z(x) = 25 + j100\ \Omega$, $Z_\mathrm{c} = 50\ \Omega$; $n(x) = ?$

Biểu đồ Smith (8)

VD: $Z(x) = 25 + j100\ \Omega$, $Z_c = 50\ \Omega$; $n(x) = ?$

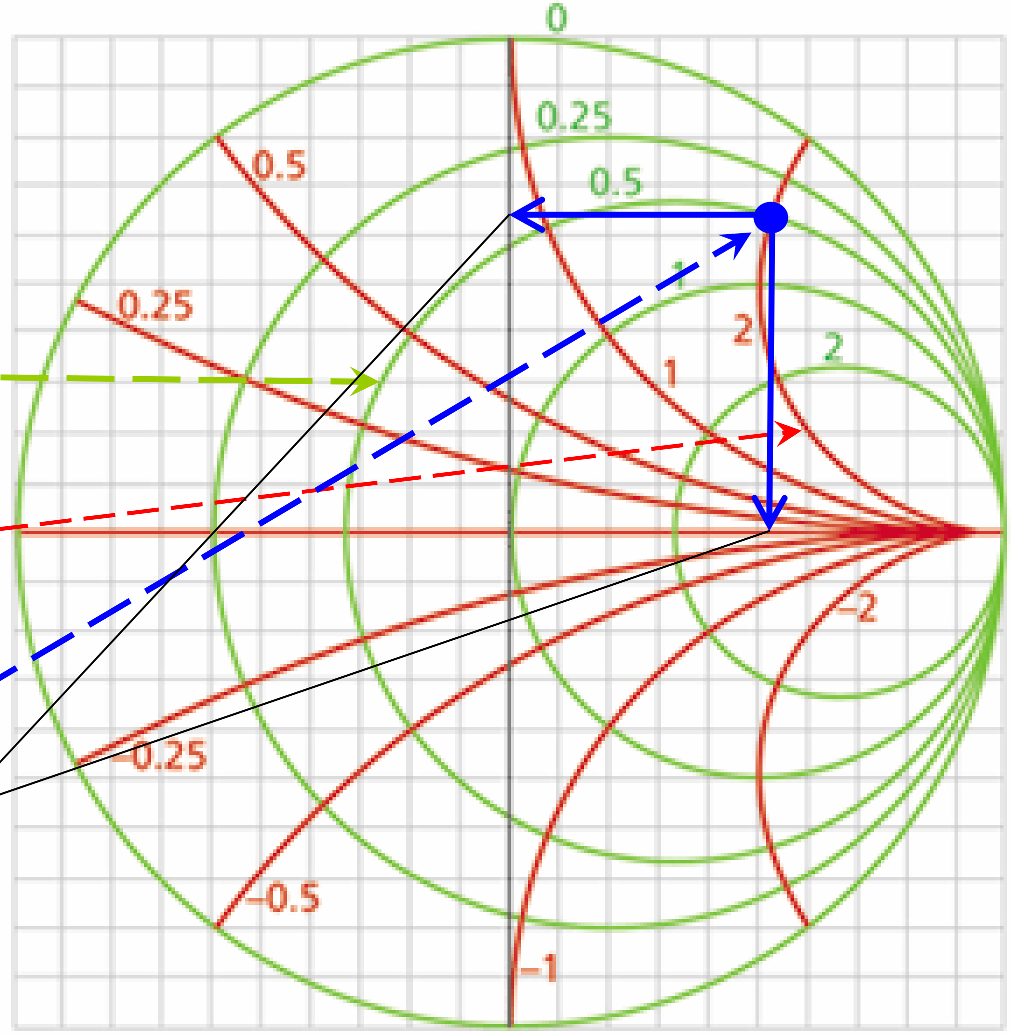
1. Chuẩn hoá

$z(x) = (25 + j100)/50 = 0{,}5 + j2$

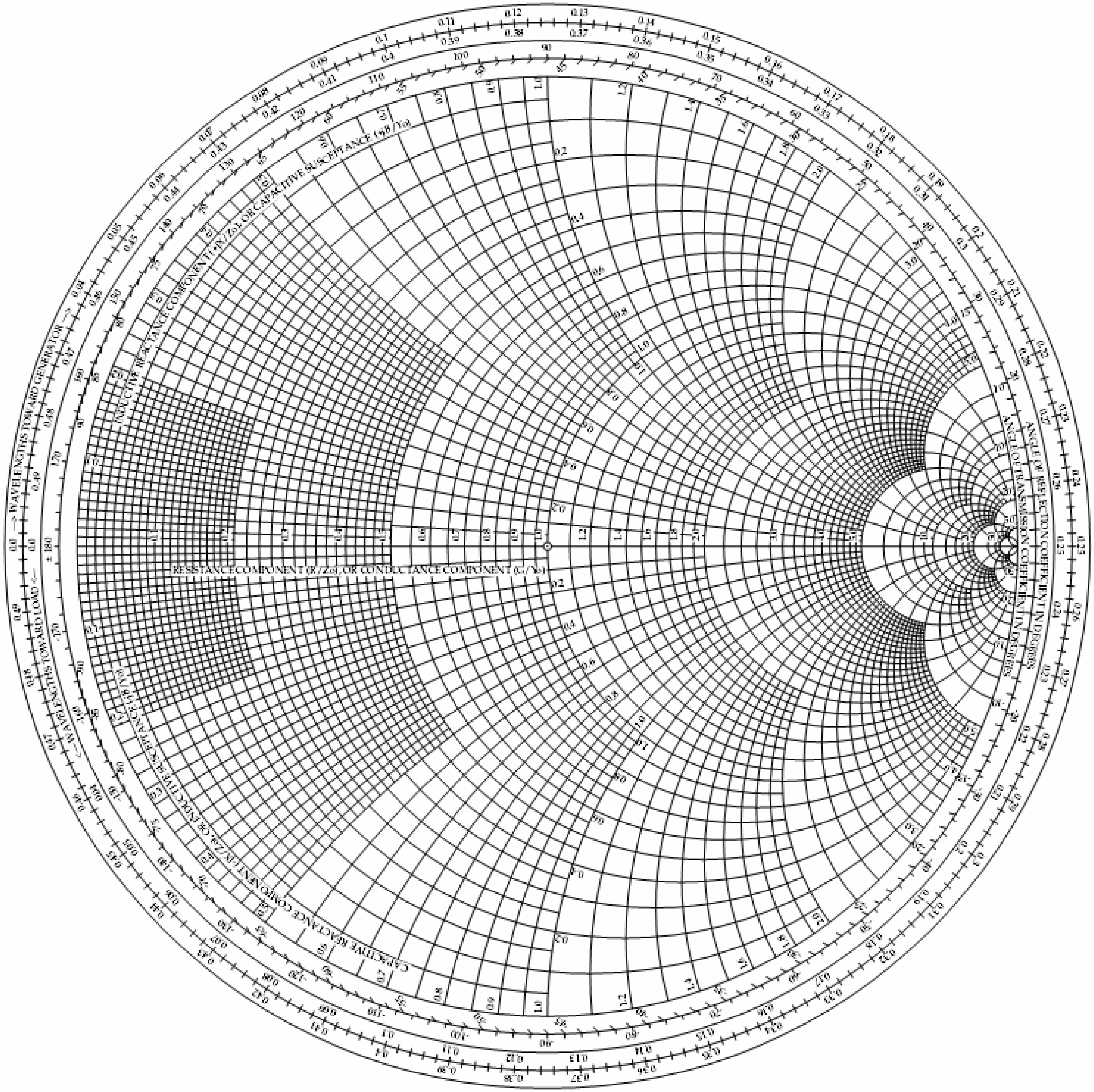
2. Tìm vòng tròn ứng với điện trở chuẩn hoá 0,5

3. Tìm cung tròn ứng với điện kháng chuẩn hoá 2

4. Giao điểm của vòng tròn & cung tròn là hệ số phản xạ



$n(x) = 0{,}52 + j0{,}64$


RESISTANCE COMPONENT (R/Zo), OR CONDUCTANCE COMPONENT (G/Yo)
WAVELENGTHS TOWARD GENERATOR
WAVELENGTHS TOWARD LOAD
ANGLE OF REFLECTION COEFFICIENT IN DEGREES
ANGLE OF TRANSMISSION COEFFICIENT IN DEGREES

Nội dung

1. Khái niệm
2. Chế độ xác lập điều hoà
    1. Khái niệm
    2. Phương pháp tính
    3. Hiện tượng sóng chạy
    4. Thông số đặc trưng cho sự truyền sóng
    5. Phản xạ sóng
    6. Biểu đồ Smith
    7. **Phân bố dạng hyperbol**
    8. Đường dây dài đều không tiêu tán
    9. Mạng hai cửa tương đương
3. Quá trình quá độ

Phân bố dạng hyperbol (1)

- Nghiệm của hệ phương trình vi phân mô tả mạch được viết dưới dạng (tổ hợp của các) hàm lượng giác hyperbol
- Các hàm hyperbol :

$$\operatorname{sh} x = \frac{e^{x} - e^{-x}}{2} \qquad \operatorname{ch} x = \frac{e^{x} + e^{-x}}{2} \qquad \operatorname{th} x = \frac{e^{x} - e^{-x}}{e^{x} + e^{-x}} \qquad \coth x = \frac{e^{x} + e^{-x}}{e^{x} - e^{-x}}$$

- Một số công thức :

$$\operatorname{ch}^2 x - \operatorname{sh}^2 x = 1 \qquad (\operatorname{sh} x)' = \operatorname{ch} x \qquad (\operatorname{ch} x)' = \operatorname{sh} x$$

$$\operatorname{sh}(x \pm y) = \operatorname{sh} x \operatorname{ch} y \pm \operatorname{ch} x \operatorname{sh} y \qquad \operatorname{ch}(x \pm y) = \operatorname{ch} x \operatorname{ch} y \pm \operatorname{sh} x \operatorname{sh} y$$

Phân bố dạng hyperbol (2)

$$\begin{cases} -\dfrac{d\dot{U}}{dx} = Z\dot{I} \\ -\dfrac{d\dot{I}}{dx} = Y\dot{U} \end{cases}$$

Viết nghiệm U (của hệ phương trình vi phân) ở dạng hyperbol:

$$\dot{U}(x) = M \operatorname{ch} \gamma x + N \operatorname{sh} \gamma x \qquad \text{(M, N là các hằng số phức)}$$

$$\rightarrow \dot{I}(x) = -\frac{1}{Z} * \frac{d\dot{U}}{dx} = -\frac{1}{Z}(\gamma M \operatorname{sh} \gamma x + \gamma N \operatorname{ch} \gamma x) = -\frac{1}{Z_c}(M \operatorname{sh} \gamma x + N \operatorname{ch} \gamma x)$$

$$\rightarrow \begin{cases} \dot{U}(x) = M \operatorname{ch} \gamma x + N \operatorname{sh} \gamma x \\ \dot{I}(x) = -\dfrac{1}{Z_c}(M \operatorname{sh} \gamma x + N \operatorname{ch} \gamma x) \end{cases}$$

Phân bố dạng hyperbol (3)

$$\begin{cases} \dot{U}(x) = M\,\text{ch}\,\gamma x + N\,\text{sh}\,\gamma x \\ \dot{I}(x) = -\dfrac{1}{Z_c}(M\,\text{sh}\,\gamma x + N\,\text{ch}\,\gamma x) \end{cases}$$

Gọi áp & dòng tại gốc toạ độ ($x = 0$) là $\dot{U}_0$ & $\dot{I}_0$

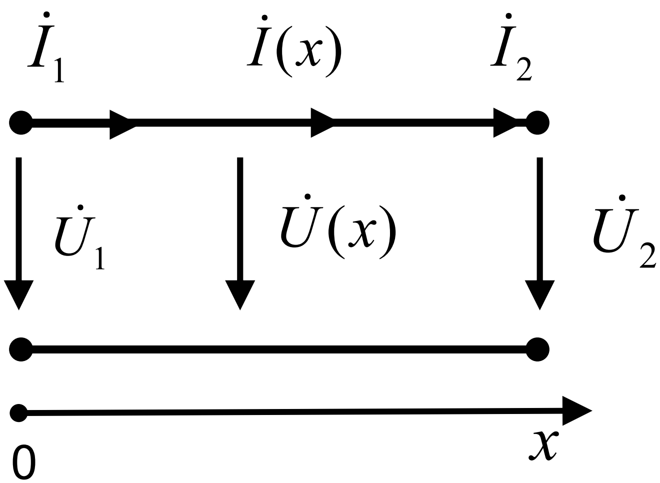
$$\rightarrow \begin{cases} \dot{U}_0 = M\,\text{ch}\,0 + N\,\text{sh}\,0 = M \\ \dot{I}_0 = -\dfrac{1}{Z_c}(M\,\text{sh}\,0 + N\,\text{ch}\,0) = -\dfrac{N}{Z_c} \end{cases}$$

$$\rightarrow \begin{cases} \dot{U}(x) = \dot{U}_0\,\text{ch}\,\gamma x - Z_c\dot{I}_0\,\text{sh}\,\gamma x \\ \dot{I}(x) = -\dfrac{\dot{U}_0}{Z_c}\text{sh}\,\gamma x + \dot{I}_0\,\text{ch}\,\gamma x \end{cases}$$

Phân bố dạng hyperbol (4)

$$\begin{cases} \dot{U}(x) = \dot{U}_0 \operatorname{ch} \gamma x - Z_c \dot{I}_0 \operatorname{sh} \gamma x \\ \dot{I}(x) = -\dfrac{\dot{U}_0}{Z_c} \operatorname{sh} \gamma x + \dot{I}_0 \operatorname{ch} \gamma x \end{cases}$$

Nếu biết dòng & áp ở đầu đường dây → nên gắn gốc toạ độ ở đầu đường dây

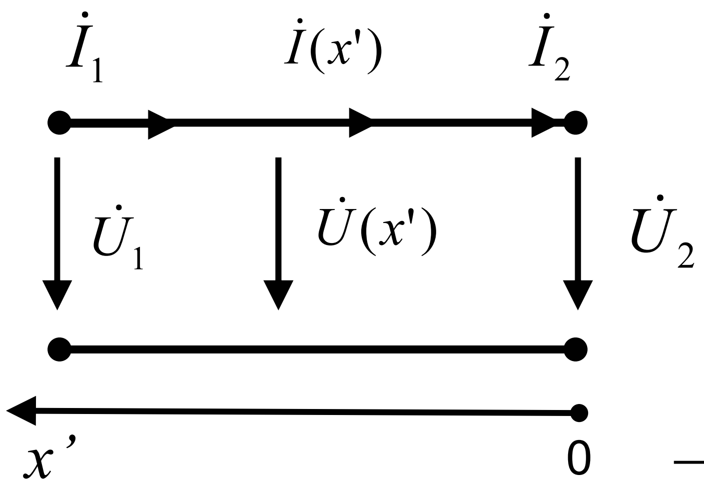


$$\begin{cases} \dot{U}(x) = \dot{U}_1 \operatorname{ch} \gamma x - Z_c \dot{I}_1 \operatorname{sh} \gamma x \\ \dot{I}(x) = -\dfrac{\dot{U}_1}{Z_c} \operatorname{sh} \gamma x + \dot{I}_1 \operatorname{ch} \gamma x \end{cases}$$

Phân bố dạng hyperbol (5)

$$\begin{cases} \dot{U}(x) = \dot{U}_0 \operatorname{ch} \gamma x - Z_c \dot{I}_0 \operatorname{sh} \gamma x \\ \dot{I}(x) = -\dfrac{\dot{U}_0}{Z_c} \operatorname{sh} \gamma x + \dot{I}_0 \operatorname{ch} \gamma x \end{cases}$$

Nếu biết dòng & áp ở cuối đường dây → nên gắn gốc toạ độ ở cuối đường dây



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

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

Phân bố dạng hyperbol (6)

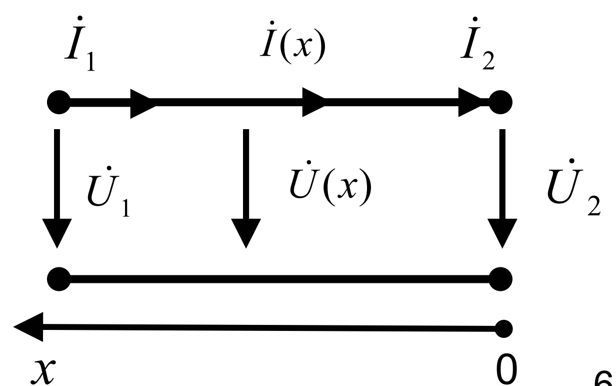
$$\begin{cases}\dot{U}(x) = \dot{U}_0 \operatorname{ch}\gamma x - Z_c \dot{I}_0 \operatorname{sh}\gamma x \\ \dot{I}(x) = -\dfrac{\dot{U}_0}{Z_c}\operatorname{sh}\gamma x + \dot{I}_0 \operatorname{ch}\gamma x\end{cases}$$

Nếu biết dòng & áp ở cuối đường dây → nên gắn gốc toạ độ ở cuối đường dây

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

Nếu quy ước trục toạ độ hướng từ cuối lên đầu đường dây thì:

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



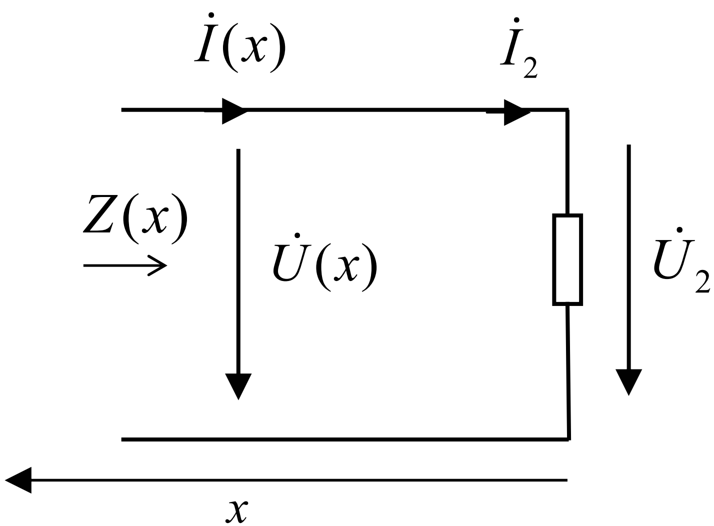
Phân bố dạng hyperbol (7)

- Ví dụ đường dây truyền tải điện dài đều có các thông số:
  - $R = 10\ \Omega/\text{km}$
  - $L = 5\ \text{mH/km}$
  - $C = 4.10^{-9}\ \text{F/km}$
  - $G = 10^{-6}\ \text{S/km}$
  - Tải cuối dây $Z_2 = 1\ \text{k}\Omega$
  - Điện áp cuối dây $U_2 = 220\ \text{V}$
- Viết phân bố áp & dòng dọc theo đường dây ở dạng hàm hyperbol

Phân bố dạng hyperbol (8)

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

Tổng trở vào $Z(x) = \dfrac{\dot{U}(x)}{\dot{I}(x)}$



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

$$= \frac{Z_2 \dot{I}_2 \operatorname{ch} \gamma x + Z_c \dot{I}_2 \operatorname{sh} \gamma x}{\dfrac{Z_2 \dot{I}_2}{Z_c} \operatorname{sh} \gamma x + \dot{I}_2 \operatorname{ch} \gamma x}$$

$$= Z_c \frac{Z_2 \operatorname{ch} \gamma x + Z_c \operatorname{sh} \gamma x}{Z_2 \operatorname{sh} \gamma x + Z_c \operatorname{ch} \gamma x}$$

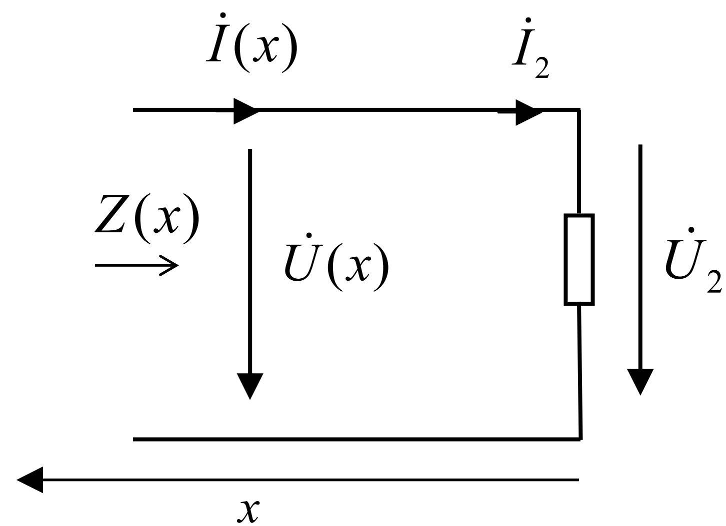
$$= Z_c \frac{Z_2 + Z_c \operatorname{th} \gamma x}{Z_2 \operatorname{th} \gamma x + Z_c}$$

Phân bố dạng hyperbol (9)

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

Tổng trở vào $Z(x) = Z_c \dfrac{Z_2 + Z_c \operatorname{th} \gamma x}{Z_2 \operatorname{th} \gamma x + Z_c}$

- $Z_2 = 0 \rightarrow Z_{ngắn\ mạch} = Z_c \operatorname{th} \gamma l$
- $Z_2 \rightarrow \infty \rightarrow Z_{hở\ mạch} = Z_c / \operatorname{th} \gamma l$
- $Z_2 = Z_c \rightarrow Z(x) = Z_2$



$$\left.\begin{aligned} Z_{ngắn\ mạch} &= Z_c \operatorname{th} \gamma l \\ Z_{hở\ mạch} &= Z_c / \operatorname{th} \gamma l \end{aligned}\right\} \longrightarrow \boxed{Z_c = \sqrt{Z_{ngắn\ mạch} Z_{hở\ mạch}}}$$

Nội dung

1. Khái niệm
2. Chế độ xác lập điều hoà
    1. Khái niệm
    2. Phương pháp tính
    3. Hiện tượng sóng chạy
    4. Thông số đặc trưng cho sự truyền sóng
    5. Phản xạ sóng
    6. Biểu đồ Smith
    7. Phân bố dạng hyperbol
    8. **Đường dây dài đều không tiêu tán**
    9. Mạng hai cửa tương đương
3. Quá trình quá độ

Đường dây dài đều không tiêu tán (1)

- Trong kỹ thuật, tiêu tán của đường dây thường rất nhỏ
- $R << \omega L$, $G << \omega C$
- Một cách gần đúng coi $R = 0$, $G = 0$
- Đường dây dài đều không tiêu tán:
  - thông số (L & C) không đổi dọc đường dây &
  - $R = 0$, $G = 0$
- Có ý nghĩa trong thực tiễn → cần nghiên cứu
  - Thông số
  - Hệ phương trình & nghiệm
  - Dạng sóng
  - …

Đường dây dài đều không tiêu tán (2)

$$\gamma(\omega) = \sqrt{Z(\omega)Y(\omega)} = \sqrt{j\omega L.j\omega C} = j\omega\sqrt{LC} = j\beta$$

- Hệ số truyền sóng $\gamma = j\omega\sqrt{LC}$
- Hệ số suy giảm $\alpha = 0$ → không suy giảm
- Hệ số pha $\beta = \omega\sqrt{LC}$ → tỉ lệ thuận với ω

- Vận tốc truyền sóng $v = \dfrac{\omega}{\beta} = \dfrac{\omega}{\omega\sqrt{LC}} = \dfrac{1}{\sqrt{LC}}$

→ không phụ thuộc ω → tất cả các điều hoà lan truyền cùng vận tốc → không méo

- Tổng trở sóng $Z_c = \sqrt{\dfrac{Z}{Y}} = \sqrt{\dfrac{j\omega L}{j\omega C}} = \sqrt{\dfrac{L}{C}}$

→ là số thực & không phụ thuộc ω

Đường dây dài đều không tiêu tán (3)

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

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

Đường dây dài đều không tiêu tán (4)

$$\left.\begin{array}{r}\begin{cases}\dot{U}(x)=\dot{U}_2\,\mathrm{ch}\,\gamma x+Z_c\dot{I}_2\,\mathrm{sh}\,\gamma x\\ \dot{I}(x)=\dfrac{\dot{U}_2}{Z_c}\mathrm{sh}\,\gamma x+\dot{I}_2\,\mathrm{ch}\,\gamma x\end{cases}\\ \gamma=j\beta\\ Z_c=z_c\end{array}\right\}\rightarrow\begin{cases}\dot{U}(x)=\dot{U}_2\,\mathrm{ch}\,(j\beta x)+Z_c\dot{I}_2\,\mathrm{sh}\,(j\beta x)\\ \dot{I}(x)=\dfrac{\dot{U}_2}{z_c}\mathrm{sh}\,(j\beta x)+\dot{I}_2\,\mathrm{ch}\,(j\beta x)\end{cases}$$

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

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

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

Xét các trường hợp:

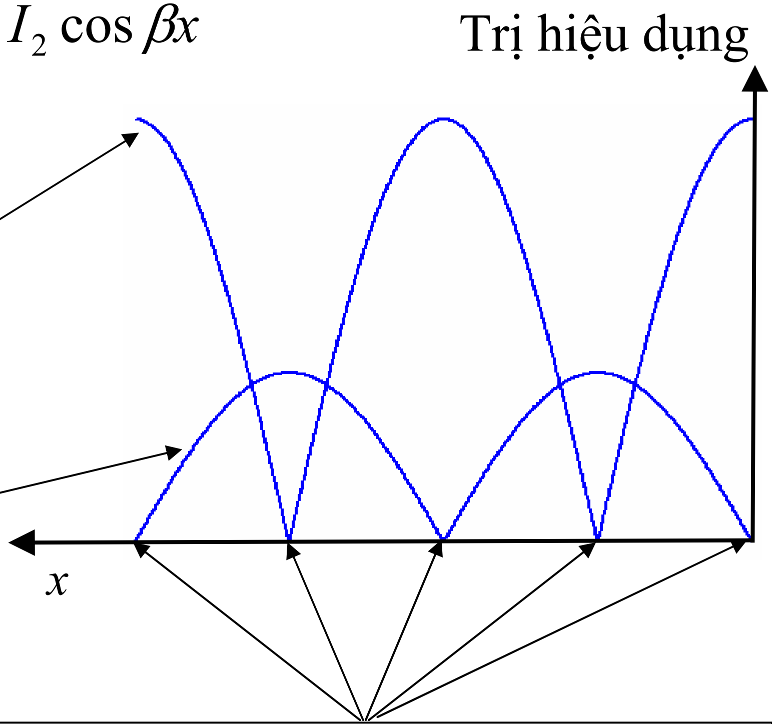
- Hở mạch đầu ra
- Ngắn mạch đầu ra
- Tải đầu ra thuần trở

Đường dây dài đều không tiêu tán (5)

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

Nếu $\dot{I}_2 = 0$ (hở mạch đầu ra) $\rightarrow \begin{cases} \dot{U}(x) = \dot{U}_2 \cos \beta x \\ \dot{I}(x) = j \dfrac{\dot{U}_2}{z_c} \sin \beta x \end{cases}$

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



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

Đường dây dài đều không tiêu tán (6)

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

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

hinh_sin_dap_nhip_03

Đường dây dài đều không tiêu tán (7)

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

Nếu $\dot{I}_2 = 0$
(hở mạch đầu ra)

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

Nếu $U_2 = 0$
(ngắn mạch đầu ra)

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

Đường dây dài đều không tiêu tán (8)

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

Nếu $Z_2 = r_2$ (thuần trở), $\dot{U}_2 = U_2\angle 0^0$

$$\rightarrow \dot{U}(x) = U_2\cos\beta x + jz_c\frac{U_2}{r_2}\sin\beta x = U_2(\cos\beta x + j\frac{z_c}{r_2}\sin\beta x)$$

$$\frac{z_c}{r_2} = \frac{r_2 + z_2 - r_2}{r_2} = 1 + \frac{z_c - r_2}{r_2} = 1 + m$$

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

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

$$= \sqrt{U_2^2[1 + (\frac{m^2+2m}{2})(1-\cos 2\beta x)]}$$

Đặt $k = \dfrac{m^2+2m}{2} = \dfrac{z_c^2 - r_2^2}{2r_2^2}$

$$\rightarrow U(x) = U_2\sqrt{1 + k(1-\cos 2\beta x)}$$

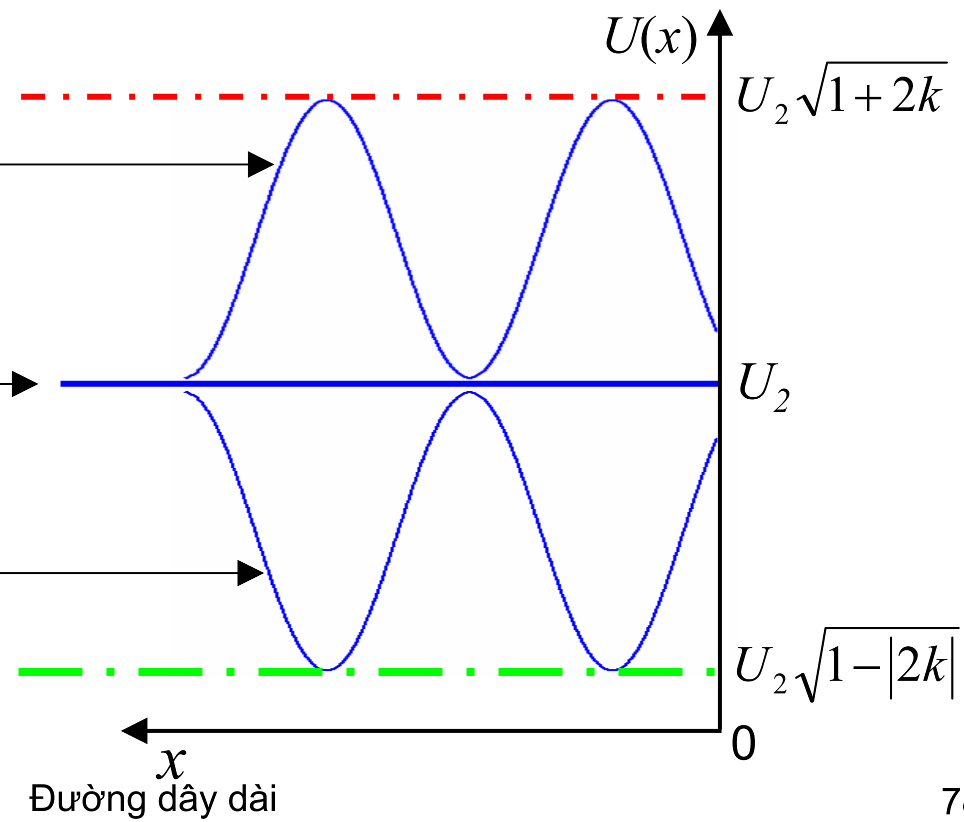
Đường dây dài đều không tiêu tán (9)

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

$$r_2 < z_c \rightarrow \begin{cases} n_2 < 0 \\ k > 0 \end{cases}$$

$$r_2 = z_c \rightarrow \begin{cases} n_2 = 0 \\ k = 0 \end{cases}$$

$$r_2 > z_c \rightarrow \begin{cases} n_2 > 0 \\ k < 0 \end{cases}$$



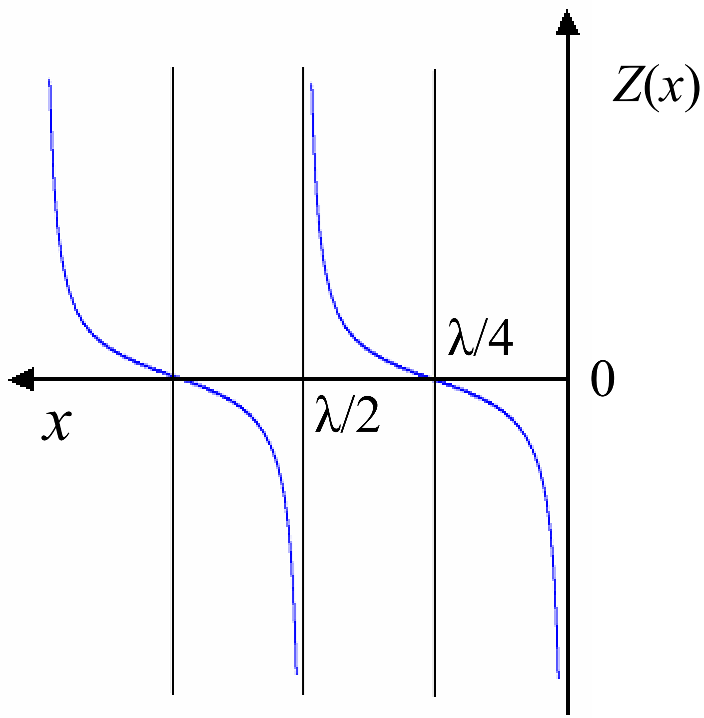
Đường dây dài đều không tiêu tán (10)

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

Tổng trở vào $Z(x) = \dfrac{\dot{U}_2 \cos \beta x + j z_c \dot{I}_2 \sin \beta x}{j \dfrac{\dot{U}_2}{z_c} \sin \beta x + \dot{I}_2 \cos \beta x}$, $\dot{U}_2 = Z_2 \dot{I}_2$ $\rightarrow Z(x) = \dfrac{Z_2 \dot{I}_2 \cos \beta x + j z_c \dot{I}_2 \sin \beta x}{j \dfrac{Z_2 \dot{I}_2}{z_c} \sin \beta x + \dot{I}_2 \cos \beta x} = z_c \dfrac{Z_2 + j z_c \operatorname{tg} \beta x}{z_c + j Z_2 \operatorname{tg} \beta x}$

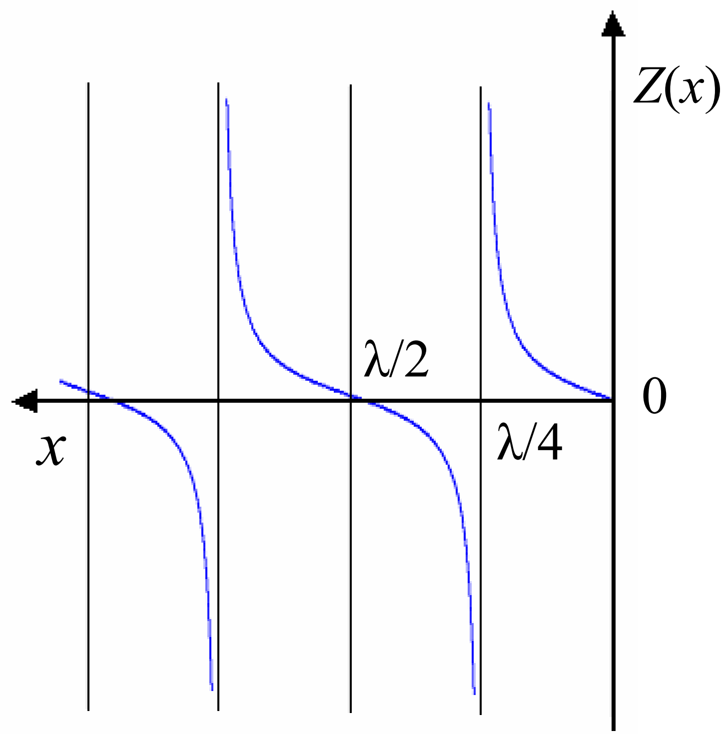
- Nếu $Z_2 = z_c$ (hoà hợp tải) → $Z(x) = z_c$
- Nếu Z_2 → ∞ (hở mạch cuối dây) → $Z(x) = -j z_c \operatorname{cotg} \beta x$
- Nếu $Z_2 = 0$ (ngắn mạch cuối dây) → $Z(x) = j z_c \operatorname{tg} \beta x$

Đường dây dài đều không tiêu tán (11)



Hở mạch cuối dây

$$Z(x) = -jz_c \text{cotg}\beta x$$



Ngắn mạch cuối dây

$$Z(x) = jz_c \text{tg}\beta x$$

Nội dung

1. Khái niệm
2. Chế độ xác lập điều hoà
    1. Khái niệm
    2. Phương pháp tính
    3. Hiện tượng sóng chạy
    4. Thông số đặc trưng cho sự truyền sóng
    5. Phản xạ sóng
    6. Biểu đồ Smith
    7. Phân bố dạng hyperbol
    8. Đường dây dài đều không tiêu tán
    9. **Mạng hai cửa tương đương**
3. Quá trình quá độ

Mạng hai cửa tương đương (1)

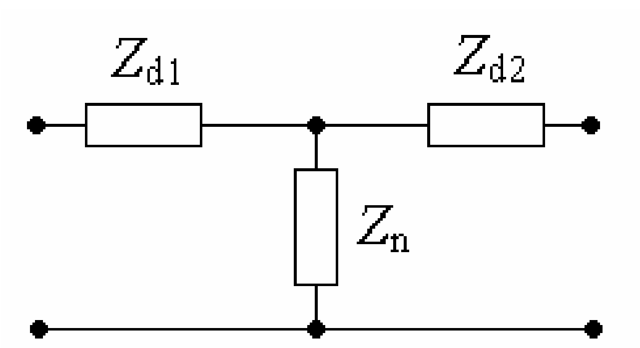
- Quan tâm đến truyền đạt dòng & áp giữa 2 đầu đường dây
- → xây dựng mạng hai cửa tương đương có thông số tập trung, sơ đồ T & Π
- Đưa về hệ phương trình dạng A (l là chiều dài đường dây):

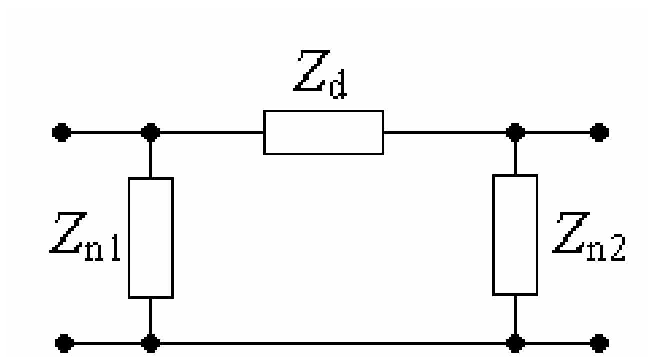
$$\begin{cases} \dot{U}(x) = \dot{U}_2 \operatorname{ch}\gamma x + Z_c \dot{I}_2 \operatorname{sh}\gamma x \\ \dot{I}(x) = \dfrac{\dot{U}_2}{Z_c} \operatorname{sh}\gamma x + \dot{I}_2 \operatorname{ch}\gamma x \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \dot{U}_1 = \operatorname{ch}\gamma l \dot{U}_2 + Z_c \operatorname{sh}\gamma l \dot{I}_2 = A_{11}\dot{U}_2 + A_{12}\dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 = \dfrac{\operatorname{sh}\gamma l}{Z_c} \dot{U}_2 + \operatorname{ch}\gamma l \dot{I}_2 = A_{21}\dot{U}_2 + A_{22}\dot{I}_2 \end{cases}$$

- Mạng tương hỗ : $A_{11}A_{22} - A_{12}A_{21} = 1$
- Mạng đối xứng : $A_{11} = A_{22}$

Mạng hai cửa tương đương (2)

$$\begin{cases} \dot{U}(x) = \operatorname{ch}\gamma l \dot{U}_2 + Z_c \operatorname{sh}\gamma l \dot{I}_2 = A_{11}\dot{U}_2 + A_{12}\dot{I}_2 \\ \dot{I}(x) = \dfrac{\operatorname{sh}\gamma x}{Z_c}\dot{U}_2 + \operatorname{ch}\gamma l \dot{I}_2 = \quad A_{21}\dot{U}_2 + A_{22}\dot{I}_2 \end{cases}$$





$$\begin{cases} Z_n = \dfrac{1}{A_{21}} = Z_c \dfrac{1}{\operatorname{sh}\gamma l} \\ Z_{d1} = Z_{d2} = \dfrac{A_{11}-1}{A_{21}} = Z_c \dfrac{\operatorname{ch}\gamma l - 1}{\operatorname{sh}\gamma l} \end{cases}$$

$$\begin{cases} Z_d = A_{12} = Z_c \operatorname{sh}\gamma l \\ Z_{n1} = Z_{n2} = \dfrac{A_{12}}{A_{11}-1} = Z_c \dfrac{\operatorname{sh}\gamma l}{\operatorname{ch}\gamma l - 1} \end{cases}$$

Nội dung

1. Khái niệm
2. Chế độ xác lập điều hoà
3. Quá trình quá độ
    1. Khái niệm
    2. Phương pháp tính
    3. Phương pháp Pêtécsơn
    4. Phản xạ nhiều lần
    5. Đóng cắt tải
    6. Phân bố & truyền sóng

Khái niệm

- Quá trình xuất hiện sau khi thay đổi cấu trúc & thông số
  - Đóng cắt ở hai đầu dây
  - Đứt dây
  - Sét
  - …
- → sóng chạy trên đường dây
- Chỉ xét đường dây không tiêu tán
- Mô hình:

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

Nội dung

1. Khái niệm
2. Chế độ xác lập điều hoà
3. Quá trình quá độ
    1. Khái niệm
    2. **Phương pháp tính**
    3. Phương pháp Pêtécsơn
    4. Phản xạ nhiều lần
    5. Đóng cắt tải
    6. Phân bố & truyền sóng

Phương pháp tính (1)

$$\left.\begin{cases} -\dfrac{\partial u}{\partial x} = L\dfrac{\partial i}{\partial t} \\ -\dfrac{\partial i}{\partial x} = C\dfrac{\partial u}{\partial t} \end{cases} \quad \dfrac{\partial}{\partial t} f(x,t) \leftrightarrow pF(x,p) - f(x,0)\right\} \rightarrow \left.\begin{cases} -\dfrac{dU(x,p)}{dx} = pLI(x,p) - Li(x,0) \\ -\dfrac{dI(x,p)}{dx} = pCU(x,p) - Cu(x,0) \end{cases} \quad \text{Nếu sơ kiện khác zero thì khó tính toán} \rightarrow \text{chỉ xét sơ kiện zero}\right\} \rightarrow$$

$$\left.\rightarrow \begin{cases} -\dfrac{dU(x,p)}{dx} = pLI(x,p) \\ -\dfrac{dI(x,p)}{dx} = pCU(x,p) \end{cases} \quad \begin{matrix} I(x,p) = -\dfrac{1}{pL} * \dfrac{dU(x,p)}{dx} \rightarrow \dfrac{dI(x,p)}{dx} = -\dfrac{1}{pL} * \dfrac{d^2U(x,p)}{dx^2} \\ U(x,p) = -\dfrac{1}{pC} * \dfrac{dI(x,p)}{dx} \rightarrow \dfrac{dU(x,p)}{dx} = -\dfrac{1}{pC} * \dfrac{d^2I(x,p)}{dx^2} \end{matrix}\right\} \rightarrow \begin{cases} \dfrac{d^2U(x,p)}{dx^2} = p^2LCU(x,p) \\ \dfrac{dI^2(x,p)}{dx^2} = p^2LCI(x,p) \end{cases}$$

Phương pháp tính (2)

$$\left.\begin{array}{l}\begin{cases}\dfrac{d^2U(x,p)}{dx^2} = p^2LCU(x,p)\\ \dfrac{dI^2(x,p)}{dx^2} = p^2LCI(x,p)\end{cases}\\ \qquad\qquad \gamma = p\sqrt{LC}\end{array}\right\} \to \begin{cases}\dfrac{d^2U(x,p)}{dx^2} = \gamma^2U(x,p)\\ \dfrac{dI^2(x,p)}{dx^2} = \gamma^2I(x,p)\end{cases}$$

$$\begin{cases}\dfrac{d^2\dot{U}}{dx^2} = \gamma^2\dot{U}\\ \dfrac{d^2\dot{I}}{dx^2} = \gamma^2\dot{I}\end{cases} \to \begin{cases}\dot{U} = \dot{A}_1e^{-\gamma x} + \dot{A}_2e^{\gamma x}\\ \dot{I} = \dfrac{\dot{A}_1}{Z_c}e^{-\gamma x} - \dfrac{\dot{A}_2}{Z_c}e^{\gamma x}\end{cases} \to$$

$$\to \begin{cases}U(x,p) = A_1(x,p)e^{-p\sqrt{LC}x} + A_2(x,p)e^{p\sqrt{LC}x}\\ I(x,p) = \dfrac{A_1}{\sqrt{L/C}}e^{-p\sqrt{LC}x} - \dfrac{A_2}{\sqrt{L/C}}e^{p\sqrt{LC}x}\end{cases}$$

Phương pháp tính (3)

$$\begin{cases} U(x,p) = A_1(x,p)e^{-p\sqrt{LC}x} + A_2(x,p)e^{p\sqrt{LC}x} \\ I(x,p) = \dfrac{A_1}{\sqrt{L/C}}e^{-p\sqrt{LC}x} - \dfrac{A_2}{\sqrt{L/C}}e^{p\sqrt{LC}x} \end{cases}$$

Theo định lý trễ: $\begin{cases} A_1(x,p)e^{-p\sqrt{LC}x} \leftrightarrow a_1(t-\sqrt{LC}x) \\ A_2(x,p)e^{p\sqrt{LC}x} \leftrightarrow a_2(t+\sqrt{LC}x) \end{cases}$

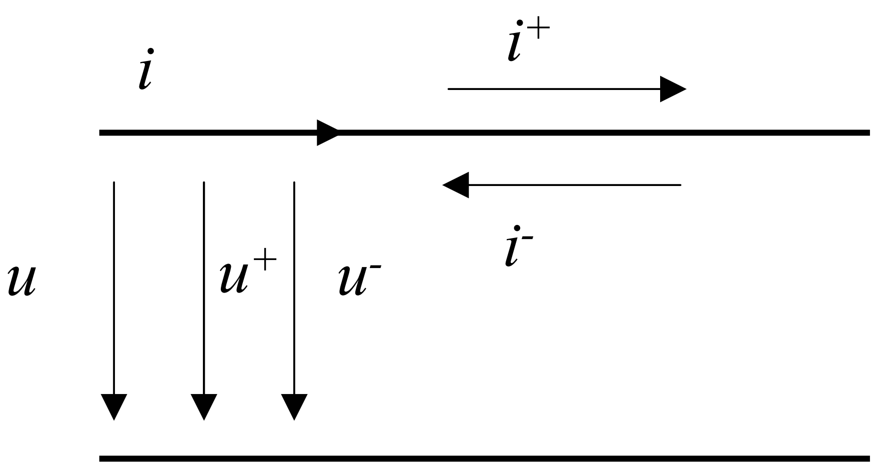
Đặt $\begin{cases} \sqrt{LC} = \dfrac{1}{v} \\ \sqrt{L/C} = z_c \end{cases}$ $\rightarrow$

$$\rightarrow \begin{cases} u(x,t) = a_1(t-\dfrac{x}{v}) + a_2(t+\dfrac{x}{v}) = u^+(t-\dfrac{x}{v}) + u^-(t+\dfrac{x}{v}) \\ i(x,t) = \dfrac{1}{z_c}u^+(t-\dfrac{x}{v}) - \dfrac{1}{z_c}u^-(t+\dfrac{x}{v}) = i^+(t-\dfrac{x}{v}) - i^-(t+\dfrac{x}{v}) \end{cases}$$

Phương pháp tính (4)

$$\begin{cases} u(x,t) = a_1(t - \frac{x}{v}) + a_2(t + \frac{x}{v}) = u^+(t - \frac{x}{v}) + u^-(t + \frac{x}{v}) \\ i(x,t) = \frac{1}{z_c} u^+(t - \frac{x}{v}) - \frac{1}{z_c} u^-(t + \frac{x}{v}) = i^+(t - \frac{x}{v}) - i^-(t + \frac{x}{v}) \end{cases}$$

$$t - \frac{x}{v} = 0 \rightarrow \frac{x}{t} = v = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$



Chạy mô phỏng $f(x,t) = U_0 e^{-a(t-x/v)}$

ham_mu_chay_t

ham_mu_chay_t_nguoc

ham_mu_chay_t_x_3d_08

Nội dung

1. Khái niệm
2. Chế độ xác lập điều hoà
3. Quá trình quá độ
    1. Khái niệm
    2. Phương pháp tính
    3. **Phương pháp Pêtécsơn**
    4. Phản xạ nhiều lần
    5. Đóng cắt tải
    6. Phân bố & truyền sóng

Phương pháp Pêtécsơn (1)

- Dùng để tính điện áp & điện áp phản xạ tại tải Z_2 khi biết điện áp tới

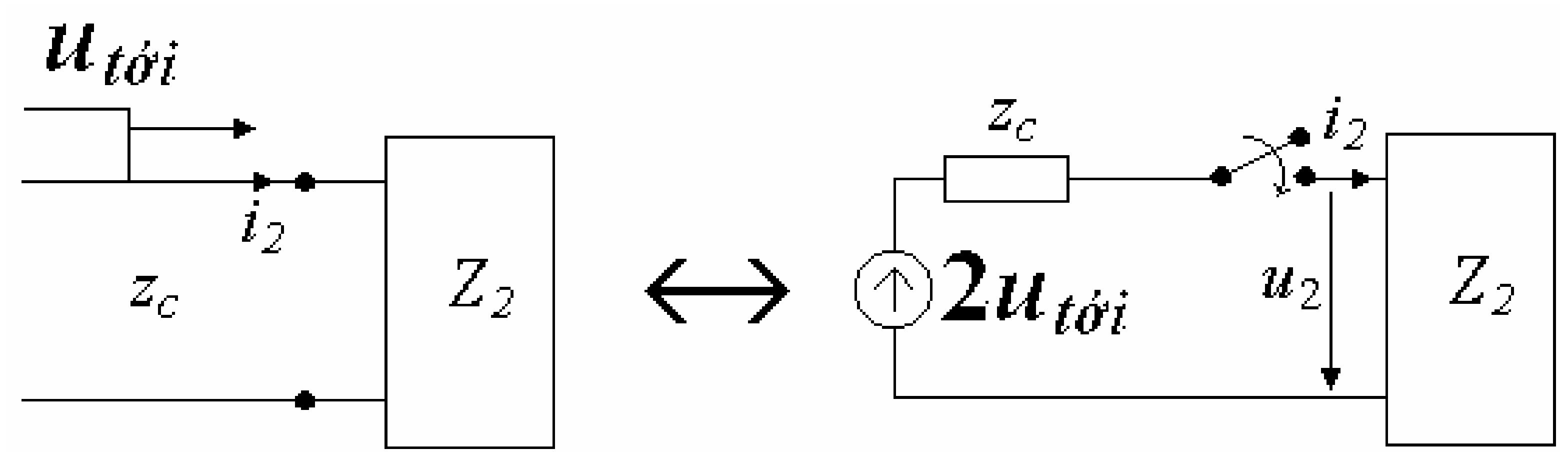
$$\left.\begin{cases} u(x,t) = u^{+} + u^{-} \\ i(x,t) = i^{+} - i^{-} \end{cases} \rightarrow \left.\begin{cases} u_2 = u_{2tới} + u_{2phản\ xạ} \\ i_2 = i_{2tới} - i_{2phản\ xạ} \end{cases} \atop \begin{cases} u_{tới} = z_c i_{tới} \\ u_{phản\ xạ} = z_c i_{phản\ xạ} \end{cases}\right\} \rightarrow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

$$\rightarrow 2u_{2tới} = z_c i_2 + u_2$$

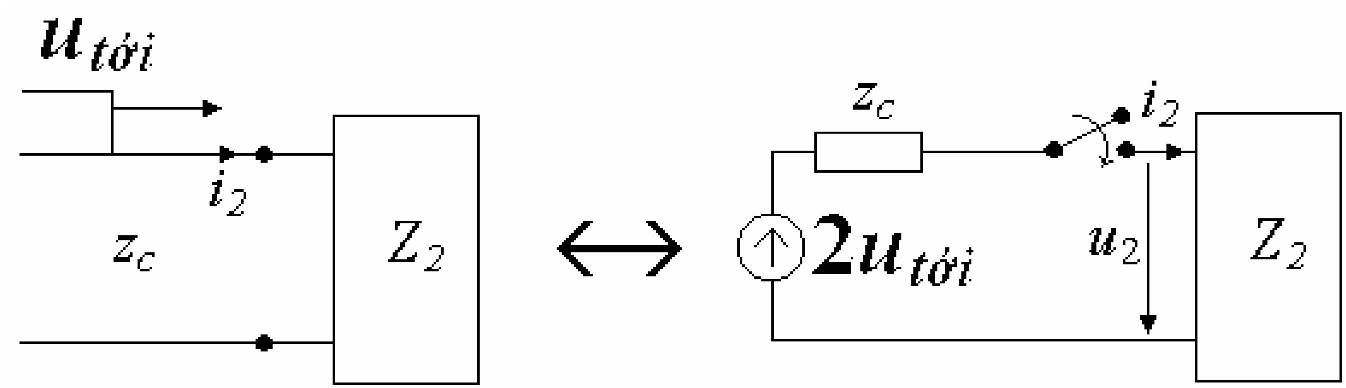
Phương pháp Pêtécsơn (2)

$$2u_{2tới} = z_c i_2 + u_2$$

- Bài toán tìm dòng & áp trên mạch thông số rải → bài toán quá trình quá độ trong mạch có thông số tập trung
- Tập trung các tải cuối dây
- Đóng mạch vào nguồn có:
  - Áp bằng 2 lần áp của sóng tới: $2u_{tới}$
  - Tổng trở trong bằng tổng trở sóng của đường dây: z_c



Phương pháp Pêtécsơn (3)



$$2u_{2tới} = z_c i_2 + u_2 \rightarrow u_2$$

$$u_{2tới}$$

$$\rightarrow \begin{cases} u_{2px} = u_2 - u_{2tới} \\ i_{2px} = i_{2tới} - i_2 = \dfrac{u_{2px}}{z_c} \end{cases}$$

$$u_{2px}(x',t) = u_{2px}\left(t - \frac{x'}{v}\right)$$

$$i_{2px}(x',t) = i_{2px}\left(t - \frac{x'}{v}\right)$$

x'

$u_{2px}(0,t)$

$i_{2px}(0,t)$

0

Đường dây dài

Phương pháp Pêtécsơn (4)

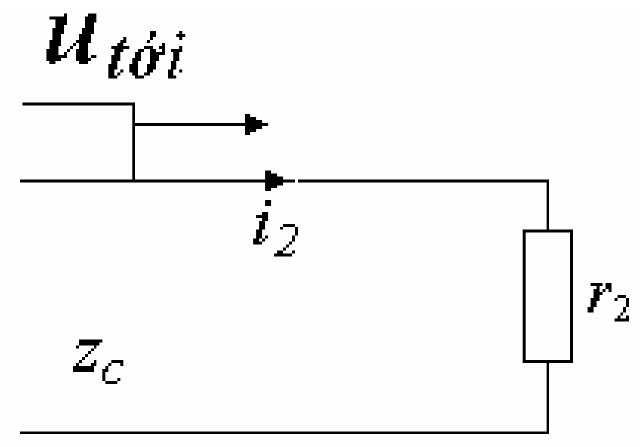
VD1

$u_{tới} = 100$ kV

$z_c = 400\ \Omega$

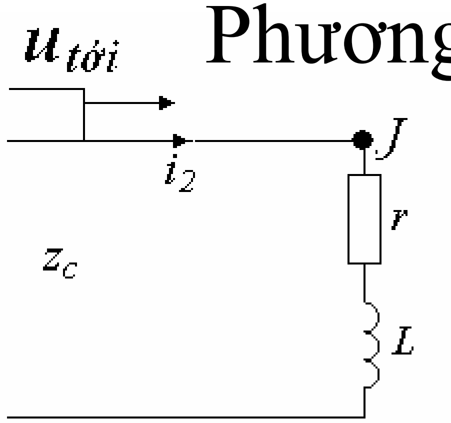
$r_2 = 600\ \Omega$

Tính i_2 & u_2



Phương pháp Pêtécsơn (5)

VD2

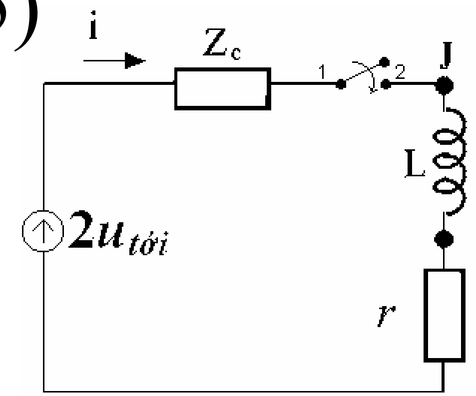


$u_{tới} = 100$ kV

$z_c = 400\ \Omega$

$r = 600\ \Omega$; $L = 5$ mH

Tính i & u_J



$$i = i_{xl} + i_{td}; \quad i_{xl} = \frac{2u_{tới}}{Z_{c1} + Z_{c2}} = \frac{2.100}{400+600} = 0,2\,\text{kA}$$

$$i_{td} = A\exp(-\frac{Z_c + r}{L}t) = A\exp(-\frac{400+600}{5.10^{-3}}t) = Ae^{-200000t}$$

$$i(0) = i(-0) = 0\ \text{A}$$

$$\rightarrow A = -0,2$$

$$\rightarrow i = 0,2(1 - e^{-2.10^5 t})\,\text{kA}$$

$$\rightarrow u_J = Li' + ri = 5.10^{-3}.0,2(2.10^5 e^{-2.10^5 t}) + 600.0,2(1 - e^{-2.10^5 t}) = 120 + 80e^{-2.10^5 t}\ \text{kV}$$

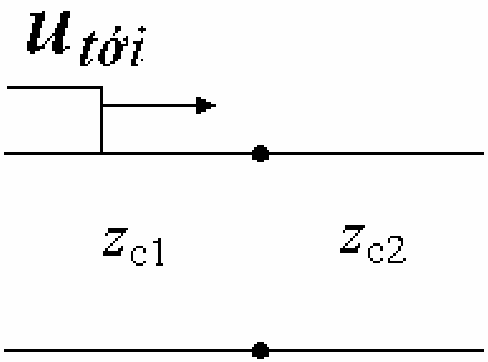
$$\rightarrow u_J^- = u_J - u_{tới} = 120 + 80e^{-2.10^5 t} - 100 = 20 + 80e^{-2.10^5 t}\ \text{kV}$$

$$\rightarrow u_J^-(x,t) = 20 + 80e^{-2.10^5 (t - x/v)}\ \text{kV}$$

ham_mu_chay_t_reverse_multi_01

Phương pháp Pêtécsơn (6)

- Hai đường dây có tổng trở sóng z_{c1}, z_{c2} nối tiếp nhau?



- Tính toán tại điểm tiếp giáp:
  – Khi sóng lan truyền trên đường dây 2 & chưa tới cuối dây, nó là duy nhất, có quan hệ:

$$u_2 = z_{c2} i_2$$

  trên toàn đường dây, kể cả chỗ tiếp giáp

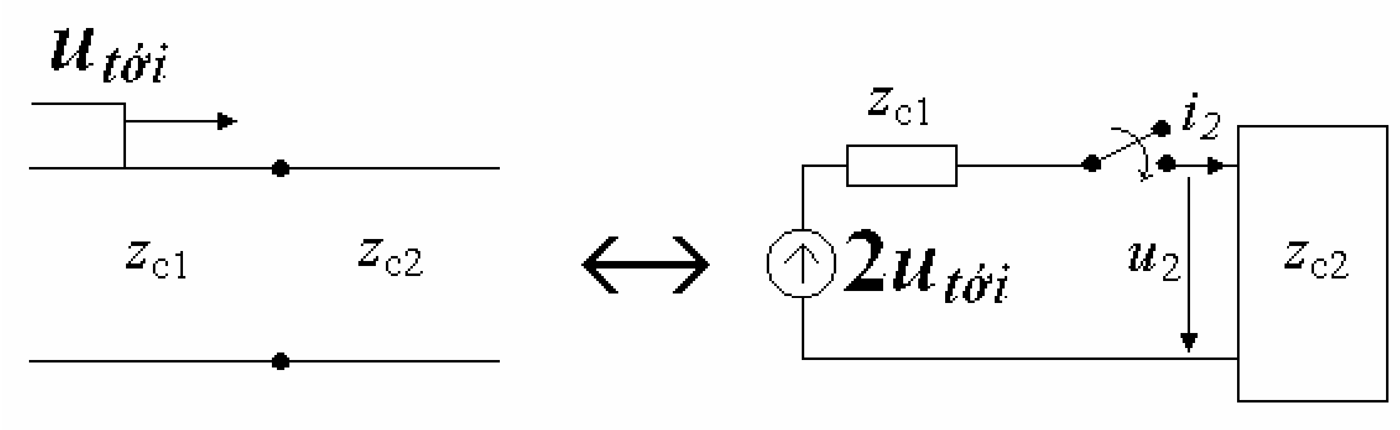
  – Mặt khác khi áp dụng p/p Pêtécsơn:

$$u_2 = Z_2 i_2$$

- → coi đường dây 2 là một tải tập trung $z_{c2} = Z_2$

Phương pháp Pêtécsơn (7)

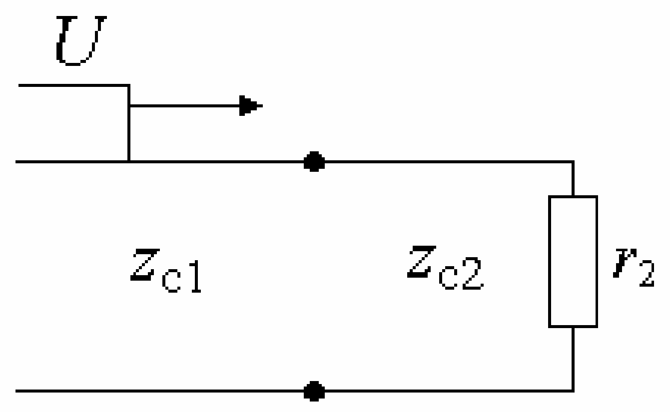
- Khi tính toán các thông số tại điểm tiếp giáp nhau của hai đường dây có tổng trở sóng z_{c1}, z_{c2}, coi đường dây 2 là một tải tập trung $z_{c2} = Z_2$



Phương pháp Pêtécsơn (8)

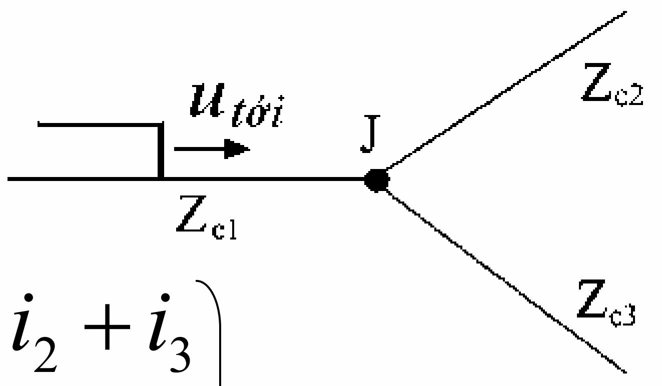
VD3: $U = 1000$ kV; $z_{c1} = 1000\ \Omega$; $z_{c2} = 400\ \Omega$; $r_2 = 600\ \Omega$

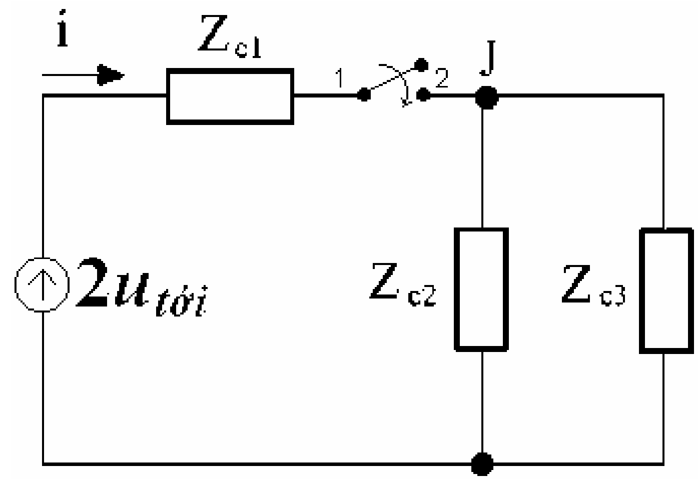
Tính áp & dòng khúc xạ & phản xạ tại điểm nối



- duong_day_dai_noi_tiep_ap_multi_05
- duong_day_dai_noi_tiep_dong_multi_05

Phương pháp Pêtécsơn (9)



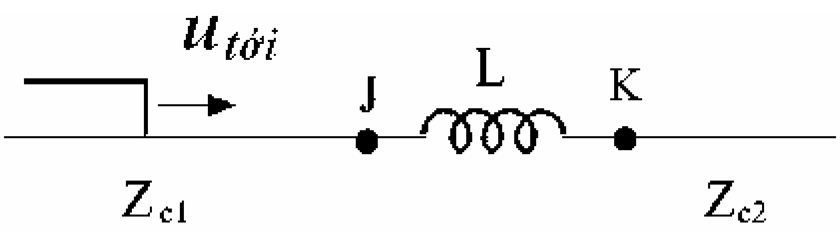


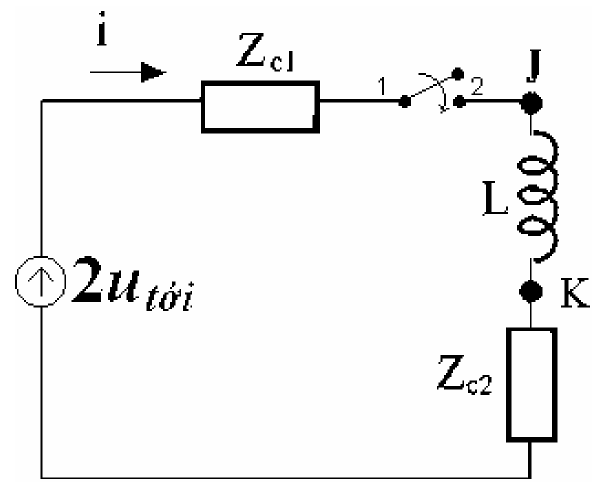
$$\left.\begin{aligned} i &= i_2 + i_3 \\ i_2 &= \frac{u_J}{Z_{c2}} \\ i_3 &= \frac{u_J}{Z_{c3}} \end{aligned}\right\} \rightarrow i = \frac{u_J}{Z_{c2}} + \frac{u_J}{Z_{c3}} = u_J\left(\frac{1}{Z_{c2}} + \frac{1}{Z_{c3}}\right) = \frac{u_J}{Z_J}$$

$$\rightarrow \frac{1}{Z_{c2}} + \frac{1}{Z_{c3}} = \frac{1}{Z_J} \longrightarrow$$

2 dây dẫn tương đương với hai tải tập trung mắc song song

Phương pháp Pêtécsơn (10)





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

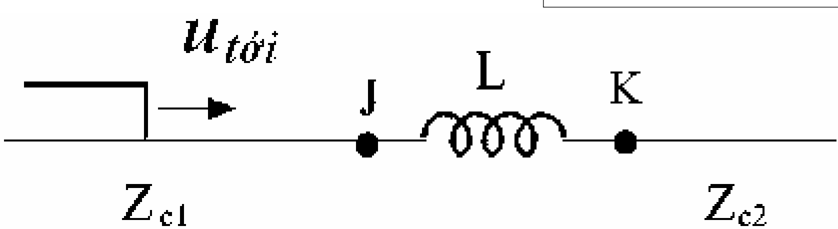
$$\rightarrow Z_J = Z_L + Z_{c2} \rightarrow$$

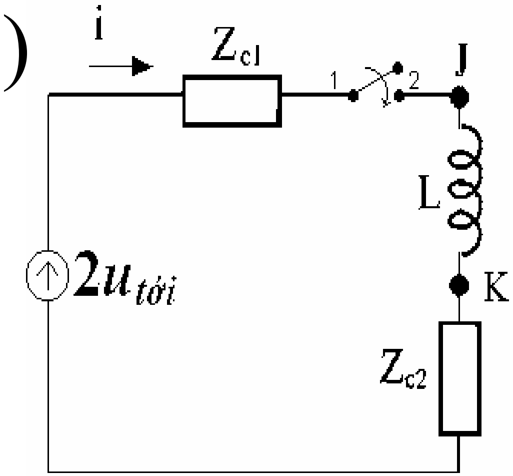
Cuộn cảm & dây dẫn tương đương với cuộn cảm nối tiếp với tải tập trung Z_{c2}

Phương pháp Pêtécsơn (11)

VD4

$Z_{c1} = 500\ \Omega$; $Z_{c2} = 300\ \Omega$; $L = 5\text{mH}$;
$u_{tới} = 500$ kV; Tính U_J, U_J^-, i, i^+, i^-





$$i = i_{xl} + i_{td}; \qquad i_{xl} = \frac{2u_{to'i}}{Z_{c1}+Z_{c2}} = \frac{2.500}{500+300} = 1{,}25\,\text{kA}$$

$$i_{td} = A\exp\left(-\frac{Z_{c1}+Z_{c2}}{L}t\right) = A\exp\left(-\frac{500+300}{5.10^{-3}}t\right) = Ae^{-160000t}$$

$$i(0) = i(-0) = 0\ \text{A}$$

$$\longrightarrow A = -1{,}25$$

$$\rightarrow i = 1{,}25(1-e^{-160000t})\,\text{kA}$$

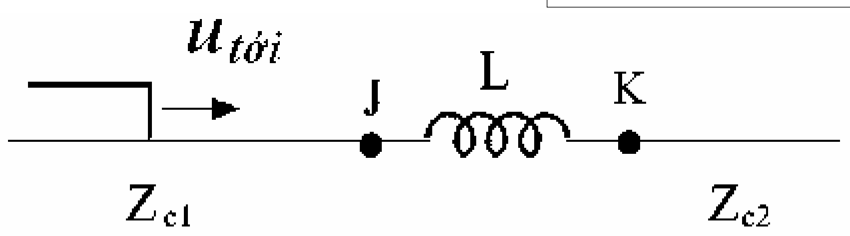
$$\rightarrow U_J = u_L + u_{c2} = Li' + Z_{c2}i =$$

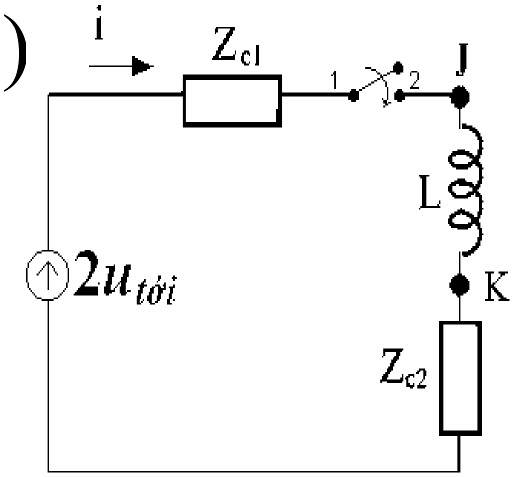
$$= 5.10^{-3}.1{,}25(160000e^{-160000t}) + 300.1{,}25(1-e^{-160000t}) = 375 + 625e^{-160000t}\ \text{kV}$$

Phương pháp Pêtécsơn (12)

VD4

Z_{c1} = 500 Ω; Z_{c2} = 300 Ω; L = 5mH;
$u_{tới}$ = 500 kV; Tính U_J, U_J^-, i, i^-





$$i = 1,25(1 - e^{-160000t})\,\text{kA} \qquad U_J = 375 + 625e^{-160000t}\ \text{kV}$$

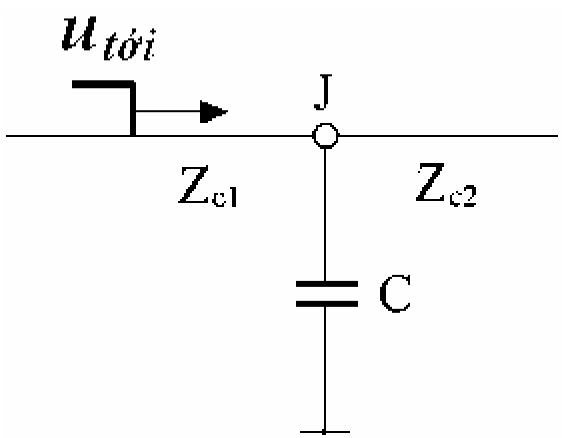
$$U_J = u_{tới} + U_J^-$$

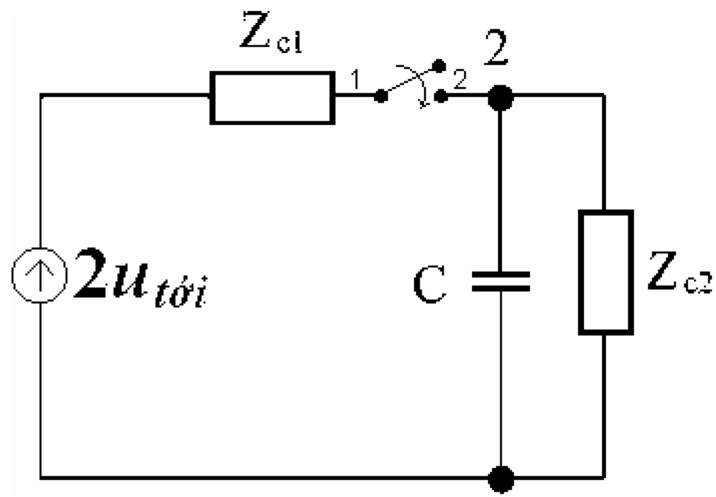
$$\rightarrow U_J^- = U_J - u_{tới} = 375 + 625e^{-160000t} - 500 = -125 + 625e^{-160000t}\ \text{kV}$$

$$i^+ = \frac{u_{tới}}{Z_{c1}} = \frac{500}{500} = 1\,\text{kA}$$

$$i^- = \frac{U_J^-}{Z_{c1}} = \frac{-125 + 625e^{-160000t}}{500} = -0,25 + 1,25e^{-160000t}\ \text{kA}$$

Phương pháp Pêtécsơn (13)





day_c_day_ap_multi_02

Tụ điện & dây dẫn tương đương với tụ điện song song với tải tập trung Z_{c2}

Nội dung

1. Khái niệm
2. Chế độ xác lập điều hoà
3. Quá trình quá độ
    1. Khái niệm
    2. Phương pháp tính
    3. Phương pháp Pêtécsơn
    4. **Phản xạ nhiều lần**
    5. Đóng cắt tải
    6. Phân bố & truyền sóng

Phản xạ nhiều lần (1)

- Xét đường dây dài có đầu 1 nối với máy phát, đầu 2 không tải. Tại thời điểm zero máy phát đưa vào đường dây một điện áp *U* không đổi
- $n_1 = -1$, $n_2 = 1$

phan_xa_nhieu_lan_ap_multi

phan_xa_nhieu_lan_dong_multi

Phản xạ nhiều lần (2)

- Trường hợp đơn giản (hở mạch cuối đường dây), việc xác định áp & dòng tại một vị trí & thời điểm tương đối đơn giản
- Trường hợp cuối đường dây có tải?
- Giải pháp: sơ đồ lưới mắt cáo

VD1 Phản xạ nhiều lần (3)

l = 1,6 km; Z_c = 50 Ω v = 1,6.10^8 m/s;
Z_1 = 0; Z_2 = 200 Ω; U^+ = 1 kV

Tính áp & dòng tại t = 55 μs & x = l/4

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

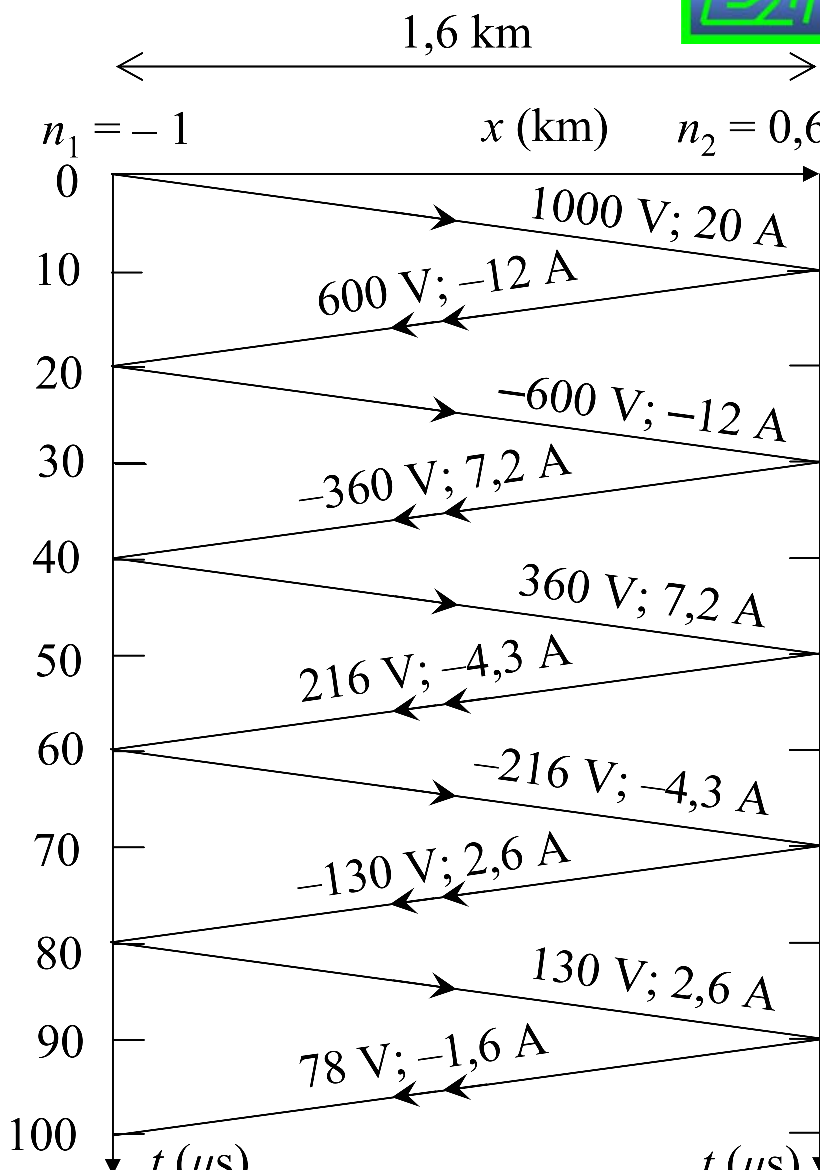
$$n_2 = \frac{Z_2 - Z_c}{Z_2 + Z_c} = \frac{200-50}{200+50} = 0,6$$

$$t_{l/tr} = \frac{l}{v} = \frac{1,6.10^3}{1,6.10^8} = 10\,\mu\text{s}$$

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

$$u^- = n_2 u^+ = 0,6.1 = 0,6\text{ kV}$$

$$i^- = n_2 i^+ = 0,6.20 = 12\text{ A}$$



Sơ đồ lưới mắt cáo

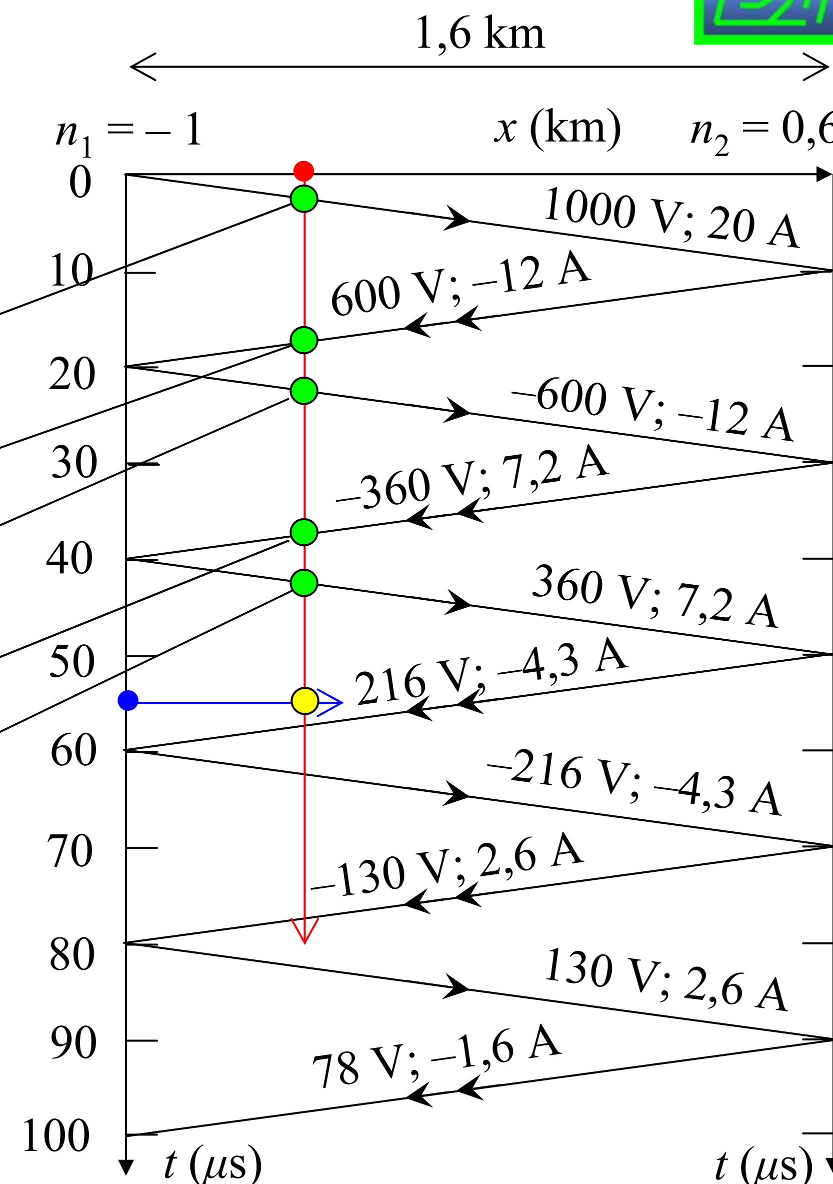
VD1 Phản xạ nhiều lần (4)

l = 1,6 km; Z_c = 50 Ω v = 1,6.10^8 m/s;
Z_1 = 0; Z_2 = 200 Ω; U^+ = 1 kV

Tính áp & dòng tại t = 55 μs & x = l/4

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

$$\boxed{= 1000\text{ V}}$$



Sơ đồ lưới mắt cáo

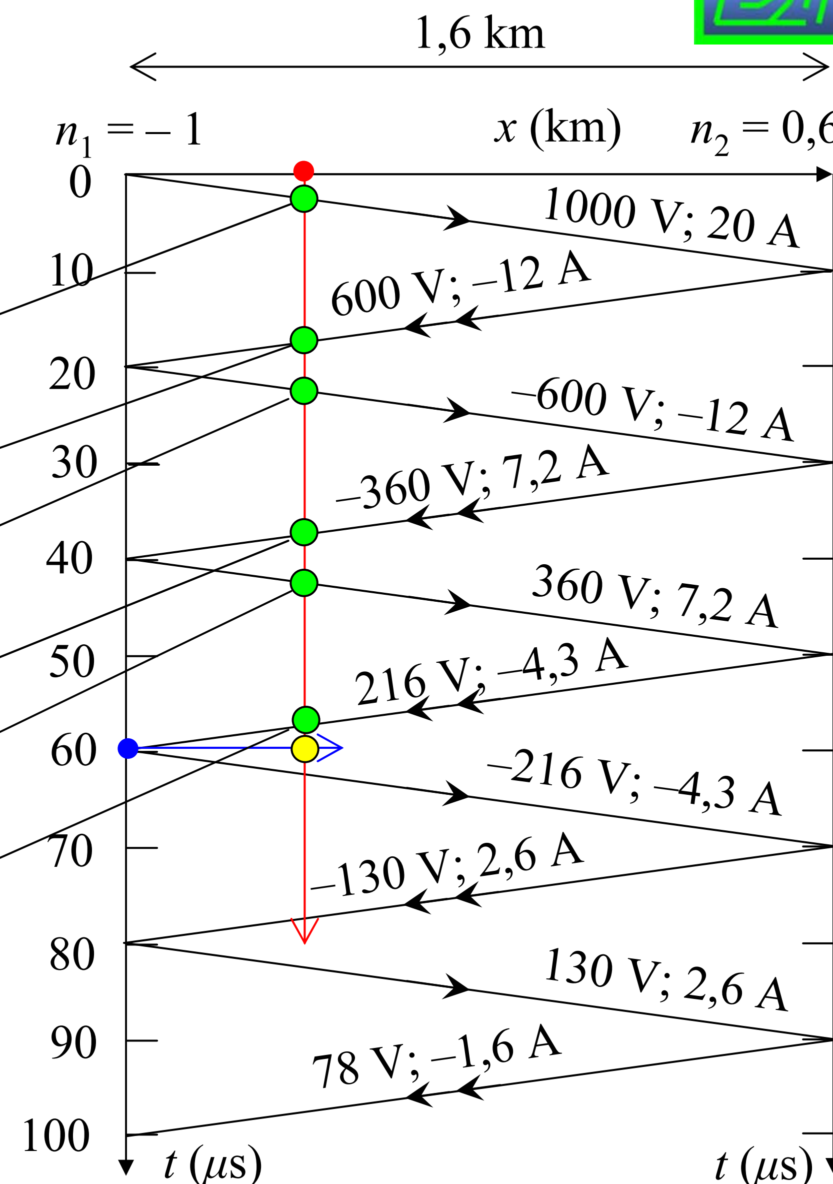
VD2 Phản xạ nhiều lần (5)

l = 1,6 km; Z_c = 50 Ω v = 1,6.10^8 m/s;
Z_1 = 0; Z_2 = 200 Ω; U^+ = 1 kV

Tính áp & dòng tại t = 60 μs & x = l/4

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

$$\boxed{= 1216 \text{ V}}$$



Sơ đồ lưới mắt cáo

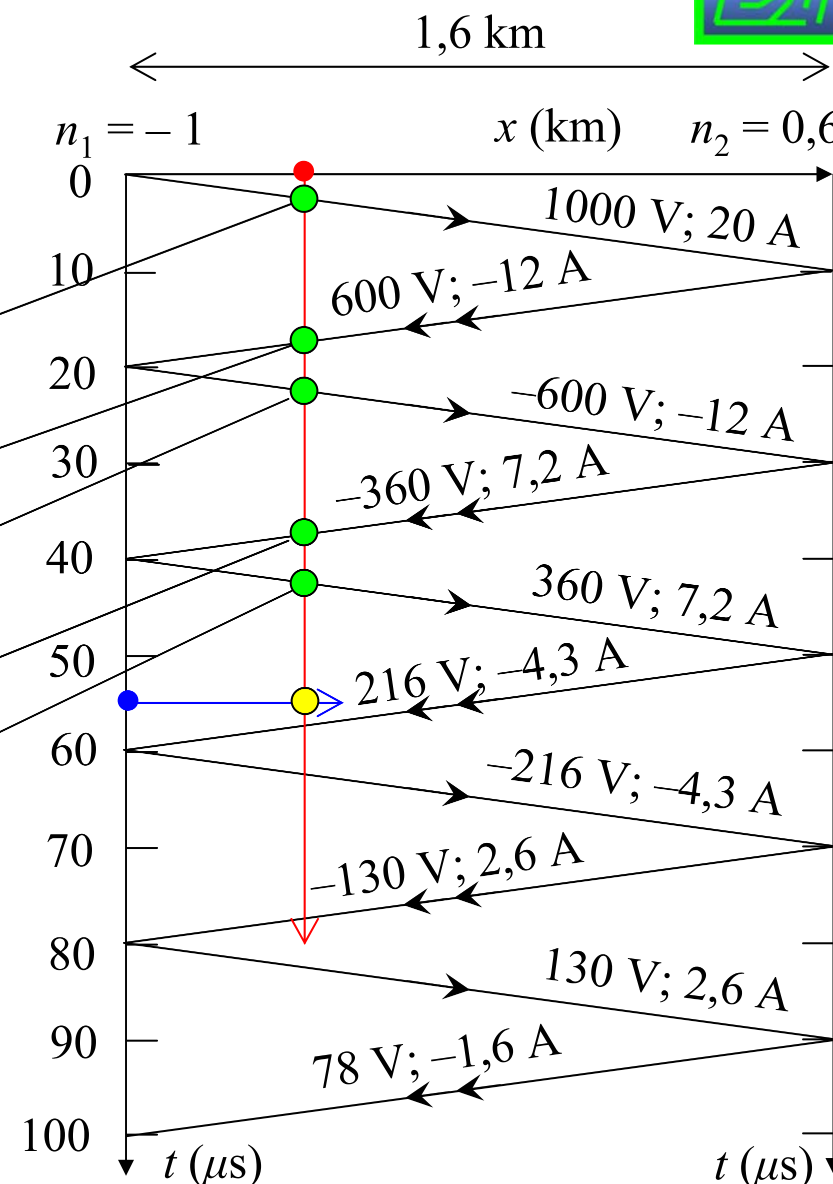
VD1 Phản xạ nhiều lần (6)

l = 1,6 km; Z_c = 50 Ω v = 1,6.10^8 m/s;
Z_1 = 0; Z_2 = 200 Ω; U^+ = 1 kV

Tính áp & dòng tại t = 55 μs & x = l/4

$$i(55\,\mu\text{s}, \frac{l}{4}) = 20 - 12 - 12 + 7{,}2 + 7{,}2$$

$$\boxed{= 10{,}4\ \text{A}}$$



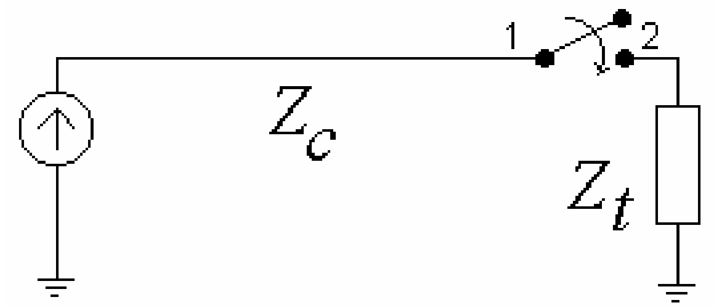
Sơ đồ lưới mắt cáo

Nội dung

Đóng cắt tải (1)

- Đóng tải ở cuối đường dây
- Cắt tải ở cuối đường dây
- Đóng tải ở giữa đường dây

Đóng cắt tải (2)



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

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

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

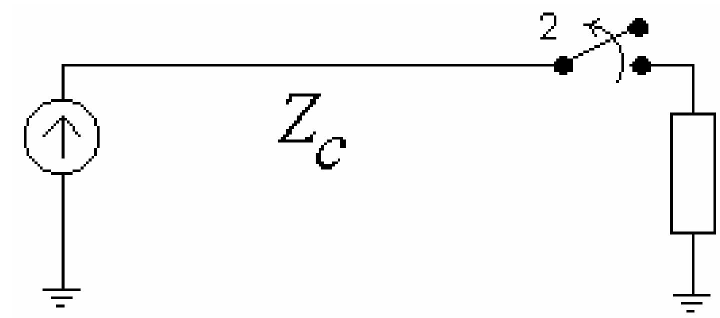
$$\rightarrow i^- = -\frac{U}{Z_c + Z_t}$$

`dong_tai_dong01`

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

`dong_tai_ap01`

Đóng cắt tải (3)



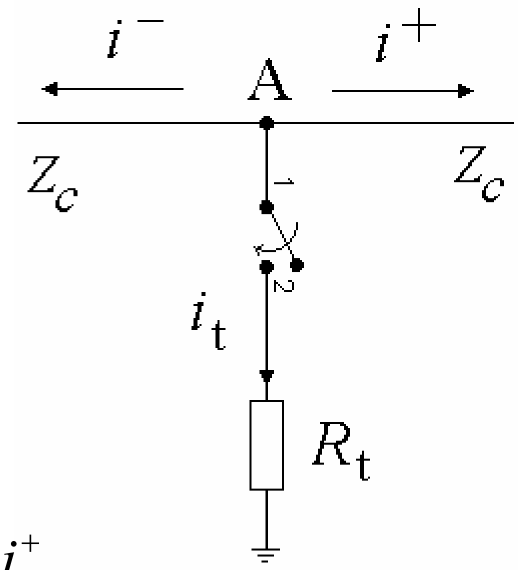
$$\left.\begin{array}{l} n_2 = \dfrac{Z_2 - Z_c}{Z_2 + Z_c} \\ Z_2 \to \infty \end{array}\right\} \to \left.\begin{array}{l} n_2 = 1 \\ n_2 = \dfrac{i_2^-}{i_2^+} \end{array}\right\} \to \left.\begin{array}{l} i_2^- = i_2^+ \\ i_2^+ = I \end{array}\right\} \to i_2^- = I$$

dong_cat_tai_dong01

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

dong_cat_tai_ap01

Đóng cắt tải (4)



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

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

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

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

dong_tai_giua_day_dong_01

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

dong_tai_giua_day_ap_01

Nội dung

1. Khái niệm
2. Chế độ xác lập điều hoà
3. Quá trình quá độ
    1. Khái niệm
    2. Phương pháp tính
    3. Phương pháp Pêtécsơn
    4. Phản xạ nhiều lần
    5. Đóng cắt tải
    6. **Phân bố & truyền sóng**
        1. Khái niệm
        2. Đường dây vô hạn/tải hoà hợp
        3. Đường dây hữu hạn

Khái niệm (1)

- Đối với đường dây dài không tiêu tán:
  - Vận tốc không đổi
  - Không suy giảm
  - Tính bằng quy tắc Pêtécsơn
- Nếu không thể bỏ qua tiêu tán:
  - Vận tốc thay đổi
  - Suy giảm
  - Không viết được nghiệm ở dạng $f(x \pm vt)$
- → bài toán truyền & phân bố sóng quá độ trên đường dây dài hệ số hằng
- Dùng toán tử Laplace

Khái niệm (2)

- Xét đường dây dài đều, chiều dài *l*, áp kích thích đầu đường dây là u_1(t) = u(0,t), được mô hình hoá bằng hệ:

$$\begin{cases} -\dfrac{dU(x,p)}{dx} = (R+pL)I(x,p) = Z(p)I(x,p) \\ -\dfrac{dI(x,p)}{dx} = (G+pC)U(x,p) = Y(p)U(x,p) \end{cases} (\alpha)\text{ , sơ kiện } \begin{cases} U(0,p) = U_1(p) \\ U(l,p) = Z_2(p)I(l,p) \end{cases}$$

- Đã biết hệ $\begin{cases} -\dfrac{d\dot{U}}{dx} = Z\dot{I} \\ -\dfrac{d\dot{I}}{dx} = Y\dot{U} \end{cases}$ có nghiệm $\begin{cases} \dot{U}(x) = \dot{U}_0 \operatorname{ch}\gamma x - Z_c\dot{I}_0 \operatorname{sh}\gamma x \\ \dot{I}(x) = -\dfrac{\dot{U}_0}{Z_c}\operatorname{sh}\gamma x + \dot{I}_0 \operatorname{ch}\gamma x \end{cases}$

- Suy ra (α) có nghiệm: $\begin{cases} U(x,p) = U_1(p)\operatorname{ch}\gamma(p)x - Z_c(p)I_1(p)\operatorname{sh}\gamma(p)x \\ I(x,p) = -U_1(p)\dfrac{\operatorname{sh}\gamma(p)x}{Z_c(p)} + I_1(p)\operatorname{ch}\gamma(p)x \end{cases}$

trong đó $\gamma(p) = \sqrt{Z(p)Y(p)}, \quad Z_c(p) = \sqrt{\dfrac{Z(p)}{Y(p)}}$

Khái niệm (3)

$$\begin{cases} U(x,p) = U_1(p)\operatorname{ch}\gamma(p)x - Z_c(p)I_1(p)\operatorname{sh}\gamma(p)x \\ I(x,p) = -U_1(p)\dfrac{\operatorname{sh}\gamma(p)x}{Z_c(p)} + I_1(p)\operatorname{ch}\gamma(p)x \end{cases}$$

$$\rightarrow \begin{cases} U_2(p) = U_1\operatorname{ch}\gamma l - Z_c(p)I_1\operatorname{sh}\gamma l \\ I_2(p) = -U_1\dfrac{\operatorname{sh}\gamma l}{Z_c} + I_1\operatorname{ch}\gamma l = \dfrac{U_2(p)}{Z_2} \end{cases} \rightarrow U_1\operatorname{ch}\gamma l - Z_c(p)I_1\operatorname{sh}\gamma l = Z_2(-U_1\dfrac{\operatorname{sh}\gamma l}{Z_c} + I_1\operatorname{ch}\gamma l)$$

$$\rightarrow I_1(p) = \frac{U_1}{Z_c} * \frac{Z_c\operatorname{ch}\gamma l + Z_2\operatorname{sh}\gamma l}{Z_2\operatorname{ch}\gamma l + Z_c\operatorname{sh}\gamma l} = \frac{U_1}{Z_c} * \frac{\operatorname{ch}\gamma l + Z_{2*}\operatorname{sh}\gamma l}{Z_{2*}\operatorname{ch}\gamma l + \operatorname{sh}\gamma l}$$

với $Z_{2*}(p) = \dfrac{Z_2(p)}{Z_c(p)}$

$$\rightarrow \begin{cases} U(x,p) = U_1(p)\dfrac{Z_{2*}\operatorname{ch}\gamma(l-x) + \operatorname{sh}\gamma(l-x)}{Z_{2*}\operatorname{ch}\gamma l + \operatorname{sh}\gamma l} \\ I(x,p) = \dfrac{U_1(p)}{Z_c(p)} * \dfrac{Z_{2*}\operatorname{ch}\gamma(l-x) + \operatorname{sh}\gamma(l-x)}{Z_{2*}\operatorname{ch}\gamma l + \operatorname{sh}\gamma l} \end{cases}$$

Nội dung

1. Khái niệm
2. Chế độ xác lập điều hoà
3. Quá trình quá độ
   1. Khái niệm
   2. Phương pháp tính
   3. Phương pháp Pêtécsơn
   4. Phản xạ nhiều lần
   5. Đóng cắt tải
   6. Phân bố & truyền sóng
      1. Khái niệm
      2. **Đường dây vô hạn/tải hoà hợp**
      3. Đường dây hữu hạn

Đường dây dài vô hạn/tải hoà hợp (1)

- Dài vô hạn: $\gamma l \rightarrow \infty$
- Tải hoà hợp: $Z_{2*}(p) = 1 \qquad (Z_2 = Z_c)$

$$\begin{cases} U(x,p) = U_1(p)\dfrac{Z_{2*}\,\mathrm{ch}\,\gamma(l-x) + \mathrm{sh}\,\gamma(l-x)}{Z_{2*}\,\mathrm{ch}\,\gamma l + \mathrm{sh}\,\gamma l} \\ I(x,p) = \dfrac{U_1(p)}{Z_c(p)} * \dfrac{Z_{2*}\,\mathrm{ch}\,\gamma(l-x) + \mathrm{sh}\,\gamma(l-x)}{Z_{2*}\,\mathrm{ch}\,\gamma l + \mathrm{sh}\,\gamma l} \end{cases}$$

$$\rightarrow \begin{cases} U(x,p) = U_1(p)e^{-\gamma x} = U_1(p)e^{-x\sqrt{(pL+R)(pC+G)}} \\ I(x,p) = \dfrac{U_1(p)}{Z_c(p)}e^{-\gamma x} = U_1(p)\sqrt{\dfrac{pC+G}{pL+R}}e^{-x\sqrt{(pL+R)(pC+G)}} \end{cases}$$

Đường dây dài vô hạn/tải hoà hợp (2)

$$\begin{cases} U(x,p) = U_1(p)e^{-\gamma x} = U_1(p)e^{-x\sqrt{(pL+R)(pC+G)}} \\ I(x,p) = \dfrac{U_1(p)}{Z_c(p)}e^{-\gamma x} = U_1(p)\sqrt{\dfrac{pC+G}{pL+R}}e^{-x\sqrt{(pL+R)(pC+G)}} \end{cases}$$

- Xét các trường hợp:
  - Không tiêu tán: $\gamma(p) = p\sqrt{LC}, \quad Z_c(p) = \sqrt{\dfrac{L}{C}}$
  - Không méo: $\dfrac{R}{L} = \dfrac{G}{C} = \alpha$
  - Dây cáp: $L = G = 0$

Đường dây dài vô hạn/tải hoà hợp (3)

$$\left.\begin{array}{l}\begin{cases}U(x,p)=U_1(p)e^{-\gamma x}=U_1(p)e^{-x\sqrt{(pL+R)(pC+G)}}\\ I(x,p)=\dfrac{U_1(p)}{Z_c(p)}e^{-\gamma x}=U_1(p)\sqrt{\dfrac{pC+G}{pL+R}}e^{-x\sqrt{(pL+R)(pC+G)}}\end{cases}\\ \text{Không tiêu tán: } \gamma(p)=p\sqrt{LC},\quad Z_c(p)=\sqrt{\dfrac{L}{C}}\end{array}\right\}\rightarrow$$

$$\rightarrow U(x,p)=U_1(p)e^{-p\sqrt{LC}x}\quad\leftrightarrow u(x,t)=u_1(t-x\sqrt{LC}),\quad t>x\sqrt{LC}$$

$$\rightarrow i(x,t)=\sqrt{\frac{C}{L}}u_1(t-x\sqrt{LC}),\quad t>x\sqrt{LC}$$

Đường dây dài vô hạn/tải hoà hợp (4)

$$\left\{\begin{aligned} U(x,p) &= U_1(p)e^{-\gamma x} = U_1(p)e^{-x\sqrt{(pL+R)(pC+G)}} \\ I(x,p) &= \frac{U_1(p)}{Z_c(p)}e^{-\gamma x} = U_1(p)\sqrt{\frac{pC+G}{pL+R}}e^{-x\sqrt{(pL+R)(pC+G)}} \end{aligned}\right.$$

Không méo: $\frac{R}{L} = \frac{G}{C} = \alpha \rightarrow \left\{\begin{aligned} \gamma(p) &= p\sqrt{(p+\frac{R}{L})L(p+\frac{G}{C})C} = (p+\alpha)\sqrt{LC} \\ Z_c(p) &= \sqrt{\frac{pL+R}{pC+G}} = \sqrt{\frac{L}{C}} \end{aligned}\right.$ $\rightarrow$

$$\rightarrow U(x,p) = U_1(p)e^{-(p+\alpha)\sqrt{LC}x} \leftrightarrow u(x,t) = e^{-\alpha\sqrt{LC}x}u_1(t - x\sqrt{LC}), \quad t > x\sqrt{LC}$$

$$\rightarrow i(x,t) = \sqrt{\frac{C}{L}}u_1(t - x\sqrt{LC}), \quad t > x\sqrt{LC}$$

Đường dây dài vô hạn/tải hoà hợp (5)

$$\begin{cases} U(x,p) = U_1(p)e^{-\gamma x} = U_1(p)e^{-x\sqrt{(pL+R)(pC+G)}} \\ I(x,p) = \dfrac{U_1(p)}{Z_c(p)}e^{-\gamma x} = U_1(p)\sqrt{\dfrac{pC+G}{pL+R}}e^{-x\sqrt{(pL+R)(pC+G)}} \end{cases}$$

Dây cáp: $L = G = 0 \rightarrow \begin{cases} \gamma(p) = p\sqrt{(pL+R)(pC+G)} = \sqrt{pRC} \\ Z_c(p) = \sqrt{\dfrac{pL+R}{pC+G}} = \sqrt{\dfrac{R}{pC}} \end{cases}$

Phức tạp vì vận tốc pha & tổng trở sóng phụ thuộc tần số
→ chỉ xét các trường hợp đơn giản:

- Kích thích Dirac $\delta(t)$

- Kích thích Heavyside $1(t)$

Đường dây dài vô hạn/tải hoà hợp (6)

$$\left.\begin{array}{l}\begin{cases}U(x,p)=U_1(p)e^{-\gamma x}=U_1(p)e^{-x\sqrt{(pL+R)(pC+G)}}\\ I(x,p)=\dfrac{U_1(p)}{Z_c(p)}e^{-\gamma x}=U_1(p)\sqrt{\dfrac{pC+G}{pL+R}}e^{-x\sqrt{(pL+R)(pC+G)}}\end{cases}\\ \text{Kích thích Dirac: } u_1(t)=\delta(t)\leftrightarrow U_1(\mathrm{p})=1\end{array}\right\}\rightarrow$$

$$\rightarrow\begin{cases}U(x,p)=1e^{-\sqrt{p}x\sqrt{LC}}\\ I(x,p)=\sqrt{\dfrac{C}{R}}\sqrt{p}e^{-\sqrt{p}x\sqrt{LC}}\end{cases}$$

$$U(x,p)=1e^{-\sqrt{p}x\sqrt{LC}}\longleftrightarrow u(x,t)=\frac{x\sqrt{RC}}{2\sqrt{\pi t^3}}e^{-\frac{x^2RC}{4t}}$$

$$\left.\begin{array}{l}I(x,p)=\sqrt{\dfrac{C}{R}}\sqrt{p}e^{-\sqrt{p}x\sqrt{LC}}\\ \dfrac{1}{\sqrt{p}}e^{-\alpha\sqrt{p}}\leftrightarrow\dfrac{1}{\sqrt{\pi t}}e^{-\frac{\alpha^2}{4t}}\end{array}\right\}\rightarrow i(x,t)=C\frac{x^2-\dfrac{2t}{RC}}{4t^2\sqrt{\pi t}}\exp\left(-\frac{x^2RC}{4t}\right)$$

Đường dây dài vô hạn/tải hoà hợp (7)

$$\left.\begin{array}{l}\begin{cases} U(x,p) = U_1(p)e^{-\gamma x} = U_1(p)e^{-x\sqrt{(pL+R)(pC+G)}} \\ I(x,p) = \dfrac{U_1(p)}{Z_c(p)}e^{-\gamma x} = U_1(p)\sqrt{\dfrac{pC+G}{pL+R}}e^{-x\sqrt{(pL+R)(pC+G)}} \end{cases} \\ \text{Kích thích Heavyside: } u_1(t) = \delta(t) \leftrightarrow U_1(\mathrm{p}) = 1/p \end{array}\right\} \rightarrow$$

$$\rightarrow \begin{cases} U(x,p) = \dfrac{1}{p}e^{-\sqrt{p}x\sqrt{LC}} \\ I(x,p) = \sqrt{\dfrac{C}{R}} * \dfrac{1}{\sqrt{p}}e^{-\sqrt{p}x\sqrt{LC}} \end{cases}$$

Nội dung

1. Khái niệm
2. Chế độ xác lập điều hoà
3. Quá trình quá độ
    1. Khái niệm
    2. Phương pháp tính
    3. Phương pháp Pêtécsơn
    4. Phản xạ nhiều lần
    5. Đóng cắt tải
    6. Phân bố & truyền sóng
        1. Khái niệm
        2. Đường dây vô hạn/tải hoà hợp
        3. **Đường dây hữu hạn**

Đường dây hữu hạn

- Dây cáp ngắn mạch
- Đường dây không tiêu tán có tải thuần trở

Nội dung

1. Khái niệm
2. Chế độ xác lập điều hoà
   1. Khái niệm
   2. Phương pháp tính
   3. Hiện tượng sóng chạy
   4. Thông số đặc trưng cho sự truyền sóng
   5. Phản xạ sóng
   6. Phân bố dạng hyperbol
   7. Đường dây dài đều không tiêu tán
   8. Mạng hai cửa tương đương
3. Quá trình quá độ
   1. Khái niệm
   2. Phương pháp tính
   3. Phương pháp Pêtécsơn
   4. Phản xạ nhiều lần
   5. Đóng cắt tải
   6. Phân bố & truyền sóng