Chương 5: Lý thuyết về mạch có thông số dải - Đường dây dài đều tuyến tính

I. Mô hình đường dây dài đều.

II. Chế độ xác lập điều hòa trên đường dây dài.

III. Quá trình quá độ trên đường dây dài không tiêu tán.

Bài tập: 1 - 7, 10, 11, 19 - 24 + Bài thêm.

Chương 5: Lý thuyết về mạch có thông số dải - Đường dây dài đều tuyến tính

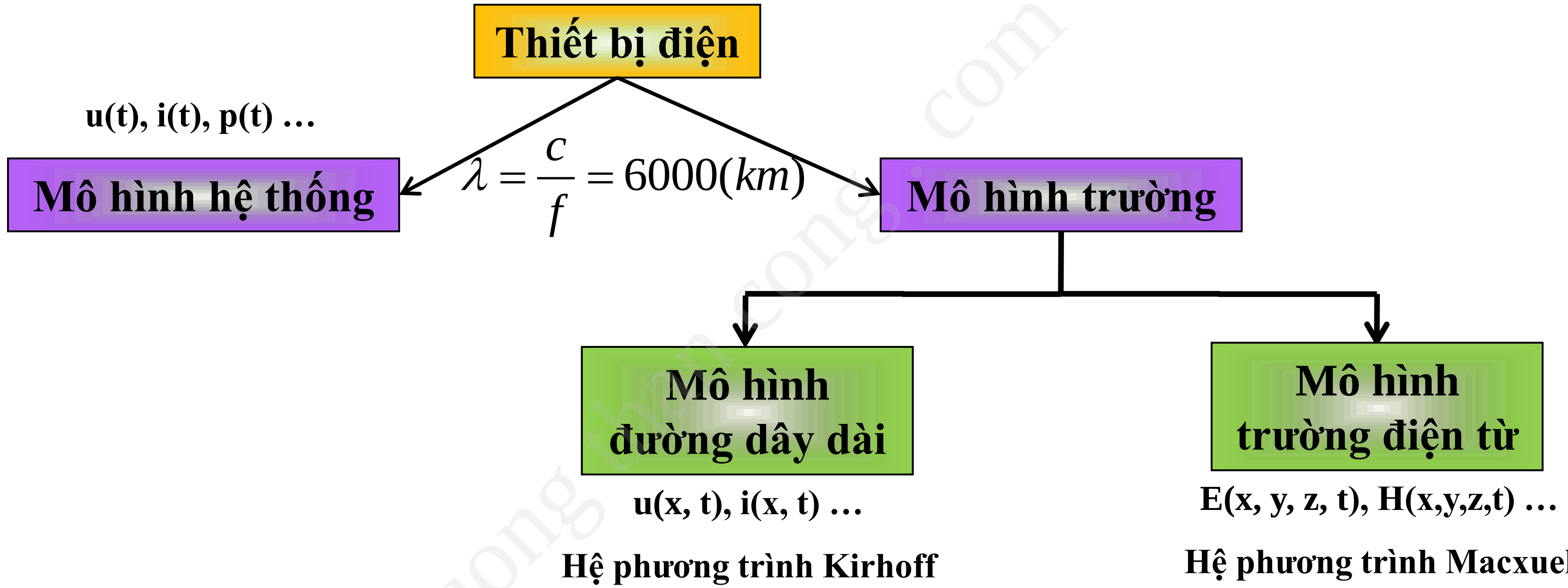
I. Mô hình đường dây dài đều.

II. Chế độ xác lập điều hòa trên đường dây dài.

III. Quá trình quá độ trên đường dây dài không tiêu tán.

Chương 5 : Lý thuyết về mạch có thông số rải
Đường dây dài đều tuyến tính

I. Mô hình đường dây dài đều



- Mô hình đường dây dài mô tả những đường dây trên không, cáp có chiều dài so được với độ dài sóng hoặc độ dài xung: l ~ 1/10 bước sóng.
- Thời gian truyền sóng điện từ dọc đường dây đủ lớn → quá trình dòng điện, điện áp ở hai đầu dây sai khác rõ rệt.
- Không thể mô tả sự phân bố dòng, áp liên tục dọc đường dây bằng một vài phần tử mạch.

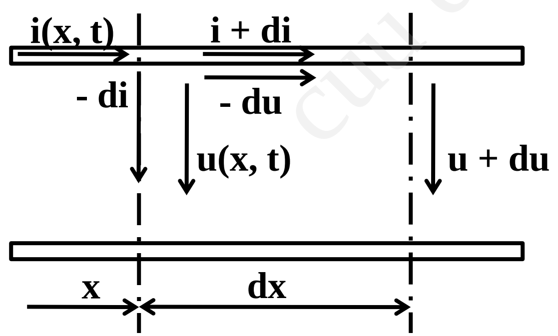
I. Mô hình đường dây dài đều

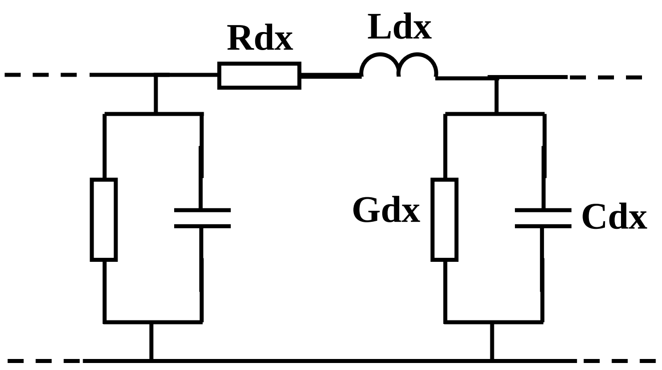
- Trong mô hình đường dây dài: Biến u(x, t), i(x, t) phân bố, truyền dọc đường dây.
- Xét nguyên tố đường dây dx trên đó có cặp i(x, t), u(x, t):
  - **Luật Kirhoff 1:** $-di(x, t) = i(x, t) - i(x+dx, t) = di_C(x, t) + di_g(x, t)$

  Gọi C và G là điện dung và điện dẫn rò tính cho một vi phân đường dây dx.

$$di_g(x,t) = G.u(x,t).dx \qquad di_C(x,t) = C\frac{\partial u(x,t)}{\partial t}dx$$

$$\boxed{-\frac{\partial i(x,t)}{\partial x} = C.\frac{\partial u(x,t)}{\partial t} + G.u(x,t)}$$





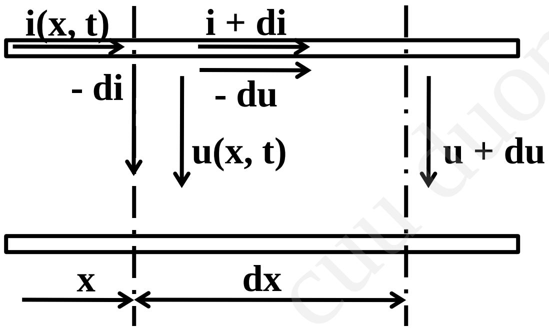
I. Mô hình đường dây dài đều

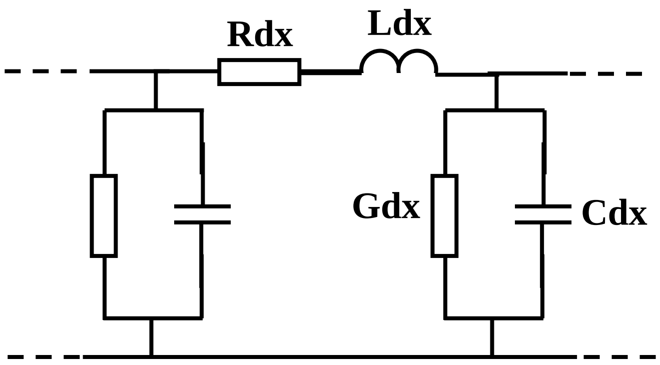
- **Luật Kirhoff 2:** -du(x, t) = u(x, t) – u(x+dx, t) = du_L(x, t) + du_R(x, t)

  Gọi L và R là điện cảm và điện trở tính cho một vi phân đường dây dx.

$$du_L(x,t) = L\frac{\partial i(x,t)}{\partial t}\text{dx} \qquad du_R(x,t) = R.i(x,t)dx$$

$$\boxed{-\frac{\partial u(x,t)}{\partial x} = L.\frac{\partial i(x,t)}{\partial t} + R.i(x,t)}$$





- Mô hình toán học của đường dây dài:

$$\begin{cases} -\dfrac{\partial i(x,t)}{\partial x} = C.\dfrac{\partial u(x,t)}{\partial t} + G.u(x,t) \\ -\dfrac{\partial u(x,t)}{\partial x} = L.\dfrac{\partial i(x,t)}{\partial t} + R.i(x,t) \end{cases}$$

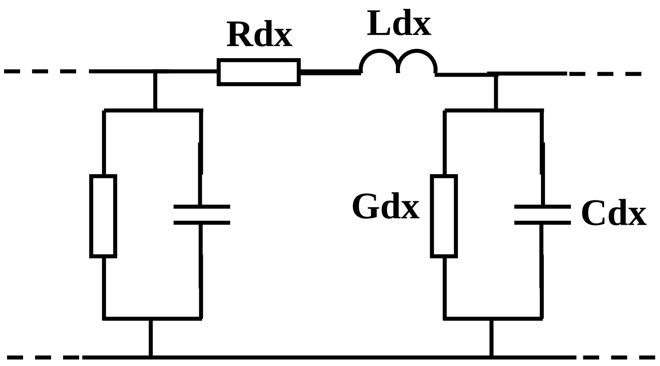
Chương 5 : Lý thuyết về mạch có thông số rải
Đường dây dài đều tuyến tính

I. Mô hình đường dây dài đều

- Mô hình toán học của đường dây dài:

$$\begin{cases} -\dfrac{\partial u(x,t)}{\partial x} = L.\dfrac{\partial i(x,t)}{\partial t} + R.i(x,t) \\ -\dfrac{\partial i(x,t)}{\partial x} = C.\dfrac{\partial u(x,t)}{\partial t} + G.u(x,t) \end{cases}$$

- Hệ phương trình ứng với sơ đồ mạch tạo bởi các phần tử của mạch Kirhoff, nhưng vô cùng nhỏ: Rdx, Ldx, Cdx, Gdx và phân bố rải dọc đường dây.



- Bài toán đường dây dài là bài toán bờ có sơ kiện: Nghiệm được xác định bởi điều kiện bờ hai đầu đường dây ($x = x_1$, $x = x_2$) và sơ kiện tại $t = t_0$.

- ***Đường dây dài đều*** là mô hình đường dây dài có các thông số cơ bản của đường dây (R, L, C, G) không thay đổi theo không gian và thời gian.

- ***Đường dây dài đều không tiêu tán***: R = G = 0 ⟶

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

Chương 5: Lý thuyết về mạch có thông số dải - Đường dây dài đều tuyến tính

I. Mô hình đường dây dài đều.

II. Chế độ xác lập điều hòa trên đường dây dài.

1. Hiện tượng sóng chạy.
2. Các thông số đặc trưng sự truyền sóng trên đường dây.
3. Hiện tượng méo – Đường dây dài không méo.
4. Hiện tượng phản xạ sóng trên đường dây dài.
5. Sự phân bố áp, dòng dạng hàm lượng giác Hypecbol.
6. Đường dây dài đều không tiêu tán.

III. Quá trình quá độ trên đường dây dài không tiêu tán.

II. Chế độ xác lập điều hòa trên đường dây dài

1. Hiện tượng sóng chạy

- Xét đường dây hệ số hằng có kích thích điều hòa:
  - Ở chế độ xác lập điều hòa: Trạng thái dòng, áp trên mỗi vi phân đường dây là một hàm điều hòa có ***biên – pha tùy thuộc vào x***.

$$\begin{cases} u(x,t) = U(x).\sqrt{2}.\sin\left[\omega t + \psi_u(x)\right] \leftrightarrow \left[U(x), \psi_u(x)\right] \\ i(x,t) = I(x).\sqrt{2}.\sin\left[\omega t + \psi_i(x)\right] \leftrightarrow \left[I(x), \psi_i(x)\right] \end{cases}$$

  - Xét trong miền ảnh phức ta có:

$$\begin{cases} u(x,t) \leftrightarrow U(x).e^{j.\psi_u(x)} = \dot{U}(x) \\ i(x,t) \leftrightarrow I(x).e^{j.\psi_i(x)} = \dot{I}(x) \end{cases} \longrightarrow \begin{cases} \dfrac{\partial u(x,t)}{\partial t} \leftrightarrow j.\omega.\dot{U}(x) \\ \dfrac{\partial u(x,t)}{\partial x} \leftrightarrow \dfrac{d\dot{U}(x)}{dx} \end{cases}$$

  - Vậy ta có mô hình toán học trong miền ảnh phức:

$$\begin{cases} -\dfrac{\partial u(x,t)}{\partial x} = L.\dfrac{\partial i(x,t)}{\partial t} + R.i(x,t) \\ -\dfrac{\partial i(x,t)}{\partial x} = C.\dfrac{\partial u(x,t)}{\partial t} + G.u(x,t) \end{cases} \longrightarrow \begin{cases} -\dfrac{d\dot{U}}{dx} = (R + j.\omega.L).\dot{I} = Z.\dot{I} \\ -\dfrac{d\dot{I}}{dx} = (G + j.\omega.C).\dot{U} = Y.\dot{U} \end{cases}$$

II. Chế độ xác lập điều hòa trên đường dây dài

1. Hiện tượng sóng chạy

$$\begin{cases} -\dfrac{d\dot{U}}{dx} = (R + j.\omega.L).\dot{I} = Z.\dot{I} \\ -\dfrac{d\dot{I}}{dx} = (G + j.\omega.C).\dot{U} = Y.\dot{U} \end{cases} \xrightarrow[\text{hai vế phương trình}]{\text{Đạo hàm theo x}} \boxed{\begin{cases} \dfrac{d^2\dot{U}}{dx^2} = Z.Y.\dot{U} = \gamma^2.\dot{U} \\ \dfrac{d^2\dot{I}}{dx^2} = Z.Y.\dot{I} = \gamma^2.\dot{I} \end{cases}}$$

Trong đó:

$Z(j\omega) = R + j.\omega.L$: Tổng trở trên đơn vị dài $\qquad \gamma^2 = Z.Y$

$Y(j\omega) = G + j.\omega.C$: Tổng dẫn trên đơn vị dài $\qquad \gamma = \alpha(\omega) + j.\beta(\omega)$

- Phương trình đặc trưng có dạng: $p^2 - \gamma^2 = 0 \rightarrow p = \pm(\alpha + j.\beta)$

- Vậy nghiệm tổng quát có dạng: $\boxed{\dot{U}(x) = \dot{A}_1.e^{-\gamma.x} + \dot{A}_2.e^{\gamma.x} \quad ; \quad \dot{I}(x) = \dot{B}_1.e^{-\gamma.x} + \dot{B}_2.e^{\gamma.x}}$

- Mặt khác: $\dot{I} = -\dfrac{1}{Z}\dfrac{d\dot{U}}{dx} = \dfrac{\gamma}{Z}\dot{A}_1.e^{-\gamma.x} - \dfrac{\gamma}{Z}\dot{A}_2.e^{\gamma.x} = \dfrac{\dot{A}_1}{\dfrac{Z}{\gamma}}.e^{-\gamma.x} - \dfrac{\dot{A}_2}{\dfrac{Z}{\gamma}}.e^{\gamma.x}$

II. Chế độ xác lập điều hòa trên đường dây dài

1. Hiện tượng sóng chạy

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

- Đặt: $Z_C = \dfrac{Z}{\gamma} = Z_c.e^{j.\theta}$ là tổng trở sóng của đường dây.

- Vậy ta có: $\dot{I} = \dfrac{\dot{A}_1}{\frac{Z}{\gamma}}.e^{-\gamma.x} - \dfrac{\dot{A}_2}{\frac{Z}{\gamma}}.e^{\gamma.x} = \dfrac{\dot{A}_1}{|Z_C|}.e^{-\gamma.x-j.\theta} - \dfrac{\dot{A}_2}{|Z_C|}.e^{\gamma.x-j.\theta}$

Giả sử: $\dot{A}_1 = A_1.e^{j.\varphi_1}$

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

- Thay vào phương trình ta có:

$$\begin{cases} \dot{U}(x) = A_1.e^{-\alpha.x}.e^{-j.\beta.x+j.\varphi_1} + A_2.e^{\alpha.x}.e^{j.\beta.x+j.\varphi_2} \\ \dot{I}(x) = \dfrac{A_1}{|Z_C|}.e^{-\alpha.x}.e^{-j.\beta.x+j.\varphi_1-j.\theta} - \dfrac{A_2}{|Z_C|}.e^{\alpha.x}.e^{j.\beta.x+j.\varphi_2-j.\theta} \end{cases}$$

- Chuyển về miền thời gian ta có:

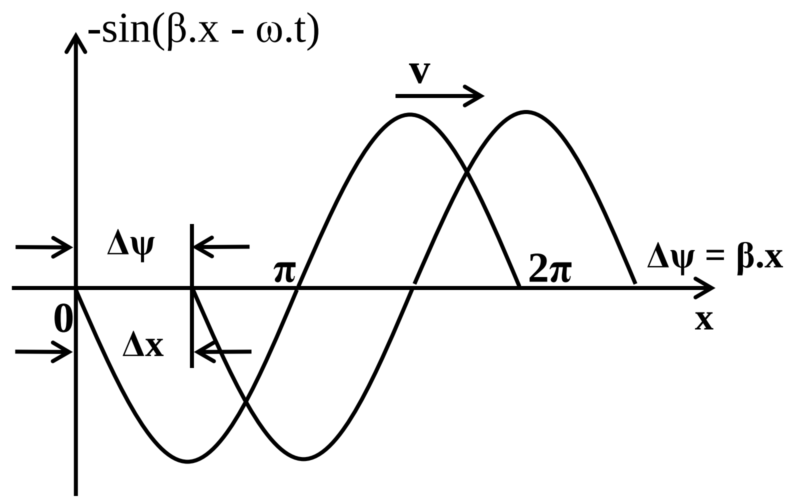
$$\boxed{\begin{cases} u(x,t) = \sqrt{2}.A_1.e^{-\alpha.x}.\sin(\omega t + \varphi_1 - \beta.x) + \sqrt{2}.A_2.e^{\alpha.x}.\sin(\omega t + \varphi_2 + \beta.x) \\ i(x,t) = \sqrt{2}.\dfrac{A_1}{|Z_C|}.e^{-\alpha.x}.\sin(\omega t + \varphi_1 - \theta - \beta.x) - \sqrt{2}.\dfrac{A_2}{|Z_C|}.e^{\alpha.x}.\sin(\omega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

II. Chế độ xác lập điều hòa trên đường dây dài

1. Hiện tượng sóng chạy

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

- Xét hàm sin(ω.t – β.x) = -sin(β.x - ω.t):
  - Tại t = 0: -sin(β.x)
  - Sau khoảng Δt: -sin(β.x- ω.Δt)
  - Sóng truyền đi theo chiều x một đoạn βΔx tương ứng với một đoạn dịch pha của tín hiệu là Δψ = ω.Δt.



$$\beta.\Delta x = \Delta\psi = \omega.\Delta t \rightarrow \Delta x = \frac{\omega}{\beta}.\Delta t$$

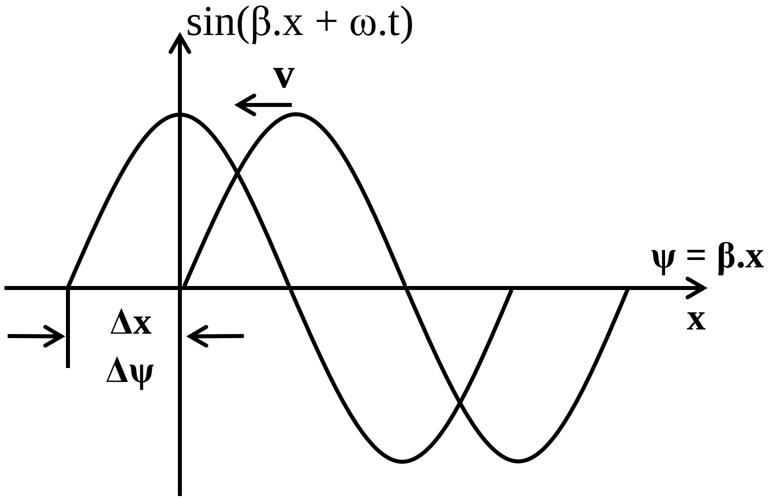
  - Vậy hàm sin(ω.t – β.x) với 2 đối số không gian – thời gian ngược dấu nhau mô tả ***sóng hình sin dịch theo chiều x*** với vận tốc đều: $v = \dfrac{\omega}{\beta}$

II. Chế độ xác lập điều hòa trên đường dây dài

1. Hiện tượng sóng chạy

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

- Xét hàm sin(β.x + ω.t)
  - Tại t = 0: sin(β.x)
  - Sau khoảng Δt: sin(β.x + ω.Δt)
  - Sóng truyền đi theo chiều -x một đoạn βΔx tương ứng với một đoạn dịch pha của tín hiệu là Δψ = ω.Δt.



$$\beta.\Delta x = \Delta\psi = \omega.\Delta t \rightarrow \Delta x = \frac{\omega}{\beta}.\Delta t$$

  - Vậy hàm sin(ω.t + β.x) với 2 đối số không gian – thời gian cùng dấu nhau mô tả ***sóng hình sin chạy theo ngược chiều x*** với vận tốc đều: $v = \dfrac{\omega}{\beta}$

II. Chế độ xác lập điều hòa trên đường dây dài

1. Hiện tượng sóng chạy

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

- Vậy ở chế độ xác lập điều hòa:
  - Sự phân bố dòng, áp trên dây là sự xếp chồng của sóng chạy thuận và sóng chạy ngược

$$\begin{cases} u(x,t) = u^+(x,t) + u^-(x,t) \\ i(x,t) = i^+(x,t) - i^-(x,t) \end{cases} \longrightarrow \boxed{\begin{cases} \dot{U}(x) = \dot{U}^+(x) + \dot{U}^-(x) = \dot{A}_1.e^{-\gamma.x} + \dot{A}_2.e^{\gamma.x} \\ \dot{I}(x) = \dot{I}^+(x) - \dot{I}^-(x) = \dfrac{\dot{U}^+(x)}{Z_C} - \dfrac{\dot{U}^-(x)}{Z_C} \end{cases}}$$

  - Sóng thuận $u^+(x, t)$, $i^+(x, t)$ có dạng hình sin với ***biên độ giảm dần theo chiều truyền sóng*** (chiều x).
  - Sóng ngược $u^-(x, t)$, $i^-(x, t)$ có dạng hình sin với biên độ tăng dần theo chiều x (***giảm dần theo chiều truyền sóng***).

II. Chế độ xác lập điều hòa trên đường dây dài

2. Các thông số đặc trưng sự truyền sóng trên đường dây

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

- **Hệ số tắt α(ω):**
  - Đặc trưng cho tốc độ tắt của biên độ sóng dọc đường dây theo chiều truyền sóng.
  - Xét trên một đơn vị dài đường dây → biên độ sóng giảm đi **exp(α)** lần.

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

[nep/m ; nep/km ; dB]

$1nep = 8,68dB$

- **Hệ số pha β(ω) [rad/m ; rad/km]:**
  - Đặc trưng cho tốc độ biến thiên góc pha của sóng dọc đường dây theo chiều truyền sóng.

II. Chế độ xác lập điều hòa trên đường dây dài

2. Các thông số đặc trưng sự truyền sóng trên đường dây

- **Hệ truyền sóng γ(ω) :**
  - ❖ Đặc trưng cho quá trình truyền sóng (biến thiên về biên độ và góc pha) dọc đường dây theo chiều truyền sóng.

$$\gamma = \alpha + j.\beta = \sqrt{Z.Y}$$

- **Vận tốc truyền sóng v(ω):** $v = \dfrac{\omega}{\beta}$
  - ❖ Đặc trưng cho tốc độ truyền sóng trên đường dây.
  - ❖ Sự phân bố vận tốc truyền sóng theo tần số gọi là ***sự tán sắc vận tốc trong quá trình truyền sóng***.

- **Tổng trở sóng Z_C(ω):** $Z_C = \dfrac{\dot{U}^+}{\dot{I}^+} = \dfrac{\dot{U}^-}{\dot{I}^-} = \dfrac{Z}{\gamma} = \dfrac{Z}{\sqrt{Z.Y}} = \sqrt{\dfrac{Z}{Y}}$

II. Chế độ xác lập điều hòa trên đường dây dài

3. Hiện tượng méo - Đường dây dài không méo

➢ Xét đường dây tiêu tán truyền tín hiệu dòng (áp) gồm phổ sóng điều hòa nhiều tần số.

➢ Do α, v, Z_C là các hàm phụ thuộc vào tần số → các điều hòa sẽ lan truyền:

❖ Vận tốc khác nhau v(ω)		❖ Thay đổi tỷ số biên độ các điều hòa.
❖ Biên độ tắt khác nhau: α(ω)	⟶	❖ Thay đổi vị trí tương đối các điều hòa.
❖ Tổng trở sóng khác nhau: Z_C(ω)		❖ Thay đổi quan hệ sóng áp - sóng dòng.
		Hiện tượng méo tín hiệu

➢ Một đường dây dài có tiêu tán không làm méo tín hiệu nếu các thông số của đường dây thỏa mãn điều kiện: $\frac{R}{L} = \frac{G}{C} \longrightarrow \gamma = \sqrt{R.G} \;;\; v = \frac{1}{\sqrt{L.C}} \;;\; Z_C = \sqrt{\frac{R}{G}}$

➢ Các đường dây thông tin muốn tránh méo phải thực hiện ***Pupin hóa đường dây***: Nối thêm vào đường dây những cuộn cảm tập trung L có giá trị phù hợp.

II. Chế độ xác lập điều hòa trên đường dây dài

4. Hiện tượng phản xạ sóng trên đường dây dài

- Ta coi sóng ngược là kết quả phản xạ của sóng thuận đi tới.

$$\begin{cases} \dot{U}(x) = \dot{U}^+(x) + \dot{U}^-(x) \\ Z_C.\dot{I}(x) = \dot{U}^+(x) - \dot{U}^-(x) \end{cases}$$

- Hệ số phản xạ n(x) tại điểm x là tỉ số của sóng ngược $\dot{U}^-(x)$ và $\dot{I}^-(x)$ với sóng thuận $\dot{U}^+(x)$ và $\dot{I}^+(x)$ ở điểm đó.

$$n(x) = \frac{\dot{U}^-(x)}{\dot{U}^+(x)} = \frac{\dot{I}^-(x)}{\dot{I}^+(x)} = \frac{\dot{U}(x) - Z_C.\dot{I}(x)}{\dot{U}(x) + Z_C.\dot{I}(x)} \xrightarrow{\textbf{Tổng trở vào tại x}} n(x) = \frac{Z(x) - Z_C}{Z(x) + Z_C} \quad \textbf{với} \quad Z(x) = \frac{\dot{U}(x)}{\dot{I}(x)}$$

- Tại vị trí cuối dây (đầu dây) nối tải Z_2 (Z_1) ta có: $n_2 = \dfrac{Z_2 - Z_C}{Z_2 + Z_C}$; $n_1 = \dfrac{Z_1 - Z_C}{Z_1 + Z_C}$

  - Nếu $Z_2 = Z_C$ ($n_2 = 0$) → không có sóng phản xạ (***tải hòa hợp đường dây***)
  - Nếu $Z_2 = \infty$ ($n_2 = 1$) → ***phản xạ toàn phần.***
  - Nếu $Z_2 = 0$ hoặc $Z_1 = 0$ ($n_2 = -1$; $n_1 = -1$) → phản xạ toàn phần có đổi dấu

II. Chế độ xác lập điều hòa trên đường dây dài

5. Sự phân bố áp – dòng dạng hàm lượng giác Hyperbol

$$\begin{cases} \dfrac{d^2\dot{U}}{dx^2} = Z.Y.\dot{U} = \gamma^2.\dot{U} \\ \dfrac{d^2\dot{I}}{dx^2} = Z.Y.\dot{I} = \gamma^2.\dot{I} \end{cases}$$

- Đặt: $\dot{U}(x) = M.ch(\gamma.x) + N.sh(\gamma.x)$

- Ta có: $\dot{I}(x) = -\dfrac{1}{Z}.\dfrac{d\dot{U}}{dx} = -\dfrac{\gamma}{Z}.M.sh(\gamma.x) - \dfrac{\gamma}{Z}.N.ch(\gamma.x) = -\dfrac{1}{Z_C}\left[M.sh(\gamma.x) + N.ch(\gamma.x)\right]$

- Tại gốc tọa độ x = 0 có: $\dot{U}_0,\ \dot{I}_0 \longrightarrow \begin{cases} \dot{U}_0 = M.ch0 + N.sh0 = M \\ -Z_C.\dot{I}_0 = M.sh0 + N.ch0 = N \end{cases}$

- Vậy ta có phương trình dạng Hyperbol:

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

II. Chế độ xác lập điều hòa trên đường dây dài

5. Sự phân bố áp, dòng dạng hàm lượng giác Hyperbol

- Khi biết trị số dòng – áp ở đầu dây → gắn gốc tọa độ x = 0 ở đầu dây, hướng chiều x về phía cuối dây. Khi đó ta có hệ phương trình:

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

- Khi biết trị số dòng - áp ở cuối dây → gắn gốc tọa độ x = 0 ở cuối dây, hướng chiều x về phía đầu dây. Khi đó:

$$x = -x$$
$$sh(-\gamma.x) = -sh(\gamma.x)$$
$$ch(-\gamma.x) = ch(\gamma.x)$$

$$\longrightarrow \boxed{\begin{cases} \dot{U}(x) = \dot{U}_2.ch(\gamma.x) + Z_C.\dot{I}_2.sh(\gamma.x) \\ \dot{I}(x) = \dfrac{\dot{U}_2}{Z_C}.sh(\gamma.x) + \dot{I}_2.ch(\gamma.x) \end{cases}}$$

II. Chế độ xác lập điều hòa trên đường dây dài

5. Sự phân bố áp – dòng dạng hàm lượng giác Hyperbol

➢ Mạng hai cửa tương đương của đường dây dài đều:

❖ Khi dùng đường dây dài truyền tải năng lượng, ta quan tâm quan hệ truyền đạt dòng áp giữa 2 đầu đường dây.

❖ Ta coi quá trình truyền đạt của đường dây theo mô hình mạng 2 cửa Kifhoff.

❖ Do kết cấu đối xứng của đường dây, mạng 2 cửa của đường dây dài là đối xứng.

➢ Xét phương trình bộ số A

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = ch(\gamma.l).\dot{U}_2 + Z_C.sh(\gamma.l).\dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 = \dfrac{sh(\gamma.l)}{Z_C}.\dot{U}_2 + ch(\gamma.l).\dot{I}_2 \end{cases} \leftrightarrow \begin{cases} \dot{U}_1 = A_{11}.\dot{U}_2 + A_{12}.\dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 = A_{21}.\dot{U}_2 + A_{22}.\dot{I}_2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} A_{11}.A_{22} - A_{12}.A_{21} = ch^2(\gamma.l) - sh^2(\gamma.l) = 1 \\ A_{11} = A_{22} = ch(\gamma.l) \end{cases} \longrightarrow$$

Mạng 2 cửa tuyến tính, tương hỗ, đối xứng → T, π

II. Chế độ xác lập điều hòa trên đường dây dài

6. Đường dây dài đều không tiêu tán.

➢ Một đường dây dài không tiêu tán nếu các thông số của đường dây thỏa mãn điều kiện:

R << ω.L (R = 0) ; **G << ω.C** (G = 0)

➢ Đặc điểm của đường dây dài không tiêu tán:

❖ Hệ số tắt: α(ω) = 0

❖ Tổng trở sóng: $Z_C(\omega) = \sqrt{L/C}$

❖ Hệ số pha: $\beta(\omega) = \omega.\sqrt{L.C}$

❖ Vận tốc sóng: $v(\omega) = 1/\sqrt{L.C}\,(const)$

❖ Hệ số truyền sóng: $\gamma(\omega) = j.\beta(\omega)$

➢ Phân bố dòng – áp trên đường dây không tiêu tán:

$$\begin{aligned} sh(j\beta x) &= j.\sin(\beta.x) \\ ch(j\beta x) &= \cos(\beta.x) \end{aligned} \longrightarrow \boxed{\begin{cases} \dot{U}(x) = \dot{U}_2.\cos(\beta.x) + j.Z_C.\dot{I}_2.\sin(\beta.x) \\ \dot{I}(x) = j.\dfrac{\dot{U}_2}{Z_C}.\sin(\beta.x) + \dot{I}_2.\cos(\beta.x) \end{cases}}$$

II. Chế độ xác lập điều hòa trên đường dây dài

Ví dụ 5.1: Cho đường dây dài đều $R = 0,3\Omega/Km$, $L = 2,88mH/Km$, $C = 3,85.10^{-9}F/Km$, $G = 0$. Tính hệ số truyền sóng γ, vận tốc truyền sóng υ, bước sóng λ và tổng trở sóng Z_C của đường dây ở tần số $f = 50Hz$.

Giải:

$$Z = R + j\omega L = 0,3 + j0,9\Omega / Km \quad ; \quad Y = G + j\omega C = j1,21.10^{-6} Si / Km$$

- Hệ số truyền sóng:

$$\rightarrow \gamma = \sqrt{Z.Y} = \sqrt{(0,3 + j0,9)\, j1,21.10^{-6}} = (0,18 + j1,09).10^{-3}(1/Km)$$

- Vận tốc truyền sóng:

$$v = \frac{\omega}{\beta} = \frac{2\pi f}{\beta} = \frac{314}{1,09.10^{-3}} = 2,88.10^{5}\, Km/s$$

- Tổng trở sóng:

$$Z_C = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = 886,1\measuredangle -9,2\Omega$$

- Bước sóng:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{2,88.10^{5}}{50} = 5760km$$

II. Chế độ xác lập điều hòa trên đường dây dài

Ví dụ 5.2: Cho đường dây dài đều. Chứng minh rằng:

a. Ở tần số đủ cao: $v \to \frac{1}{\sqrt{LC}}; \beta \to \omega\sqrt{LC}; Z_C \to \sqrt{\frac{L}{C}}$

b. Ở tần số đủ thấp: $\alpha \to \sqrt{RG}; Z_C \to \sqrt{\frac{R}{G}}$

Giải:

a. Ở tần số đủ cao: $\begin{matrix} Z = R + j\omega L \\ Y = G + j\omega C \end{matrix} \to \begin{matrix} Z \simeq j\omega L \\ Y \simeq j\omega C \end{matrix} \quad \to \gamma = \sqrt{Z.Y} = \sqrt{j\omega L.j\omega C} = j\omega\sqrt{LC}$

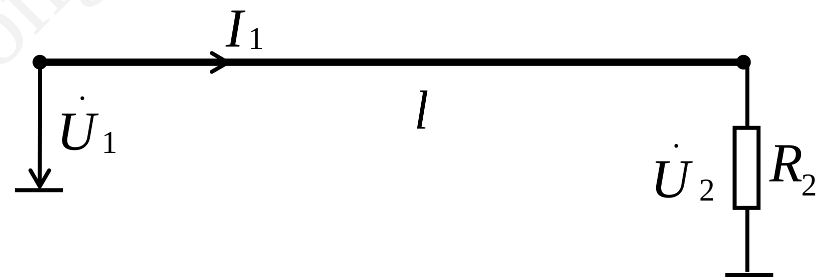
$$\to \beta = \omega\sqrt{LC} \qquad \to Z_C = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{j\omega L}{j\omega C}} = \sqrt{\frac{L}{C}} \qquad \to v = \frac{\omega}{\beta} = \frac{\omega}{\omega\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

b. Ở tần số đủ thấp: $\begin{matrix} Z = R + j\omega L \\ Y = G + j\omega C \end{matrix} \to \begin{matrix} Z \simeq R \\ Y \simeq G \end{matrix} \quad \to \gamma = \sqrt{Z.Y} = \sqrt{R.G} = \alpha$

$$\to Z_C = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{R}{G}}$$

II. Chế độ xác lập điều hòa trên đường dây dài

Ví dụ 5.3: Cho đường dây dài đều không tiêu tán biết hệ số truyền sóng $\gamma = j\beta l$, hệ số phản xạ cuối dây n_2. Đầu dây cung cấp bởi nguồn điều hòa có biên độ U_1, cuối dây nối tải R_2. Coi mọi trạng thái dòng áp trên đường dây là sự xếp chồng của sóng tới và sóng phản xạ.



a. Tính $\dot{U}_1^{+}$ theo $\dot{U}_1, n_2, j\beta l$

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_1^{+} + \dot{U}_1^{-} \rightarrow \dot{U}_1^{+} = \dot{U}_1 - \dot{U}_1^{-}$$

$\dot{U}_1^{-}$ chạy từ phía 2 về 1 $\rightarrow \dot{U}_1^{-} = \dot{U}_2^{-}.e^{-j\beta l}$

Mặt khác: $n_2 = \dfrac{\dot{U}_2^{-}}{\dot{U}_2^{+}} \rightarrow \dot{U}_2^{-} = n_2 \dot{U}_2^{+} \rightarrow \dot{U}_1^{-} = n_2.\dot{U}_2^{+}.e^{-j\beta l}$

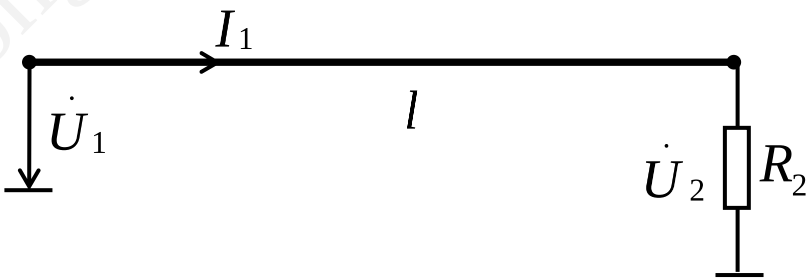
$\dot{U}_2^{+}$ chạy từ phía 1 về 2 $\rightarrow \dot{U}_2^{+} = \dot{U}_1^{+}.e^{-j\beta l} \rightarrow \dot{U}_1^{-} = n_2.\dot{U}_1^{+}.e^{-2j\beta l}$

$$\dot{U}_1^{+} = \dot{U}_1 - \dot{U}_1^{-} = \dot{U}_1 - n_2 \dot{U}_1^{+}.e^{-j2\beta l} \rightarrow \dot{U}_1 = \dot{U}_1^{+}\left(1 + n_2.e^{-j2\beta l}\right) \rightarrow \dot{U}_1^{+} = \frac{\dot{U}_1}{\left(1 + n_2.e^{-j2\beta l}\right)}$$

II. Chế độ xác lập điều hòa trên đường dây dài

Ví dụ 5.3: Cho đường dây dài đều không tiêu tán biết hệ số truyền sóng $\gamma = j\beta l$, hệ số phản xạ cuối dây n_2. Đầu dây cung cấp bởi nguồn điều hòa có biên độ U_1, cuối dây nối tải R_2. Coi mọi trạng thái dòng áp trên đường dây là sự xếp chồng của sóng tới và sóng phản xạ.

b. Tính $\dot{U}_2^+, \dot{U}_2^-, K_U$



$$\dot{U}_2^+ = \dot{U}_1^+ e^{-j\beta l} = \frac{\dot{U}_1 e^{-j\beta l}}{1+n_2 e^{-j2\beta l}}$$

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_2^+ + \dot{U}_2^- = \frac{\dot{U}_1 e^{-j\beta l}}{1+n_2 e^{-j2\beta l}}(1+n_2)$$

$$\rightarrow K_U = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{(1+n_2)e^{-j\beta l}}{1+n_2 e^{-j2\beta l}}$$

II. Chế độ xác lập điều hòa trên đường dây dài

Ví dụ 5.4: Cho đường dây dài đều không tiêu tán có kích thước $l = 10Km$, biết thông số đặc trưng $L_0 = 10^{-6}H/m$, $C_0 = 2{,}8.\ 10^{-11}F/m$ làm việc ở tần số $\omega = 3.10^4\ rad/s$. Cuối đường dây nối tải gồm $R_2 = 200\Omega$ mắc nối tiếp với $L_2 = 0{,}01H$. Điện áp thuận cuối đường dây $\dot{U}_2^+ = 56V$

a. Tính các thông số truyền sóng trên đường dây (γ, α, β, Z_C, v)

$$\gamma = \sqrt{Z.Y} = j\omega\sqrt{LC} = j.1{,}59.10^{-4} \rightarrow \begin{cases} \alpha = 0 \\ \beta = 1{,}59.10^{-4}\ rad/m \end{cases}$$

$$Z_C = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{L}{C}} = 189\Omega \qquad v = \frac{\omega}{\beta} = \frac{\omega}{\omega\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{LC}} = 1{,}89.10^8\ m/s$$

b. Tính dòng điện và điện áp đầu đường dây.

- Tổng trở tải ở cuối dây: $Z_T = R_2 + j\omega L_2 = 200 + j300\Omega$
- Hệ số phản xạ cuối dây: $n_2 = \dfrac{Z_T - Z_C}{Z_T + Z_C} = 0{,}39 + j0{,}47$

II. Chế độ xác lập điều hòa trên đường dây dài

Ví dụ 5.4: Cho đường dây dài đều không tiêu tán có kích thước $l = 10Km$, biết thông số đặc trưng $L_0 = 10^{-6} H/m$, $C_0 = 2,8.\ 10^{-11} F/m$ làm việc ở tần số $\omega = 3.10^4\ rad/s$. Cuối đường dây nối tải gồm $R_2 = 200\Omega$ mắc nối tiếp với $L_2 = 0,01H$. Điện áp thuận cuối đường dây $\dot{U}_2^+ = 56V$

b. Tính dòng điện và điện áp đầu đường dây.

➢ Điện áp cuối dây: $\dot{U}_2 = (1+n_2)\dot{U}_2^+ = \begin{matrix} 77,84 + j26,32 \\ 82,17\measuredangle 18,68 \end{matrix} V$

➢ Dòng điện cuối dây: $I_2 = \dfrac{\dot{U}}{Z_2} = \begin{matrix} 0,18 - j0,14 \\ 0,23\measuredangle -37,63 \end{matrix} A$

➢ Do đường dây dài không tiêu tán, quan hệ điện áp, dòng điện đầu dây với cuối dây là:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \dot{U}_2 \cos\beta l + jZ_C \dot{I}_2 \sin\beta l \\ \dot{I}_1 = j\dfrac{\dot{U}_2}{Z_C}\sin\beta l + \dot{I}_2 \cos\beta l \end{cases} \xrightarrow{\beta l = 1,59 rad = \frac{1,59.180}{\pi}} \begin{cases} \dot{U}_1 = \begin{matrix} -27,61 + j77,39 \\ 82,17\measuredangle 109,64 \end{matrix} V \\ \dot{I}_1 = \begin{matrix} -0,14 + j0,41 \\ 0,44\measuredangle 108,96 \end{matrix} A \end{cases}$$

Chương 5: Lý thuyết về mạch có thông số dải - Đường dây dài đều tuyến tính

I. Mô hình đường dây dài đều.

II. Chế độ xác lập điều hòa trên đường dây dài.

III. Quá trình quá độ trên đường dây dài không tiêu tán.

1. Khái niệm.

2. Phương pháp Petecxen.

3. Phản xạ nhiều lần trên đường dây.

III. Quá trình quá độ trên đường dây dài không tiêu tán.

1. Khái niệm

- Xét sự truyền sóng dạng bất kỳ trên đường dây dài không tiêu tán khi có một kích thích tác động lên đường dây (đóng 1 nguồn áp, xung sét đánh hoặc cảm ứng vào đường dây).

- Xét phương trình cơ bản của đường dây không tiêu tán:

$$\begin{cases} -\dfrac{\partial u(x,t)}{\partial x} = L.\dfrac{\partial i}{\partial t} \\ -\dfrac{\partial i(x,t)}{\partial x} = C.\dfrac{\partial u}{\partial t} \end{cases} \xrightarrow[\text{ảnh Laplace}]{\text{Chuyển sang miền}} \begin{cases} -\dfrac{dU(x,p)}{dx} = p.L.I(x,p) - L.i(x,0) \\ -\dfrac{dI(x,p)}{dx} = p.C.U(x,p) - C.u(x,0) \end{cases}$$

- Giả thiết tại t = 0, trên đường dây không có dòng và áp: u(x, 0) = 0; i(x, 0) = 0

$$\begin{cases} -\dfrac{dU(x,p)}{dx} = p.L.I(x,p) \\ -\dfrac{dI(x,p)}{dx} = p.C.U(x,p) \end{cases} \xrightarrow[\text{theo x}]{\text{Đạo hàm}} \begin{cases} \dfrac{d^2U(x,p)}{dx^2} = p^2.L.C.U(x,p) = \gamma^2.U(x,p) \\ \dfrac{d^2I(x,p)}{dx^2} = p^2.L.C.I(x,p) = \gamma^2.I(x,p) \end{cases}$$

III. Quá trình quá độ trên đường dây dài không tiêu tán.

1. Khái niệm

- Nghiệm của phương trình có dạng:

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

- Biến đổi ngược từ ảnh ra gốc, đặt:

$$U(x,p) \leftrightarrow u(x,t) \;\; ; \;\; A_1(x,p) \leftrightarrow f_1(x,t)$$
$$I(x,p) \leftrightarrow i(x,t) \;\; ; \;\; A_2(x,p) \leftrightarrow f_2(x,t)$$

Dịch gốc $\longrightarrow$

$$A_1(x,p).e^{-p.\sqrt{L.C}.x} \leftrightarrow f_1(t-\sqrt{L.C}.x)$$
$$A_2(x,p).e^{p.\sqrt{L.C}.x} \leftrightarrow f_2(t+\sqrt{L.C}.x)$$

- Đặt: $\sqrt{L.C} = \dfrac{1}{v}$; $\sqrt{\dfrac{L}{C}} = Z_C$

- Vậy nghiệm tổng quát của phương trình là:

$$\boxed{\begin{cases} u(x,t) = f_1(t-\dfrac{x}{v}) + f_2(t+\dfrac{x}{v}) = u^+(t-\dfrac{x}{v}) + u^-(t+\dfrac{x}{v}) \\ i(x,t) = \dfrac{1}{Z_C}.u^+(t-\dfrac{x}{v}) - \dfrac{1}{Z_C}.u^-(t+\dfrac{x}{v}) = i^+(t-\dfrac{x}{v}) - i^-(t+\dfrac{x}{v}) \end{cases}}$$

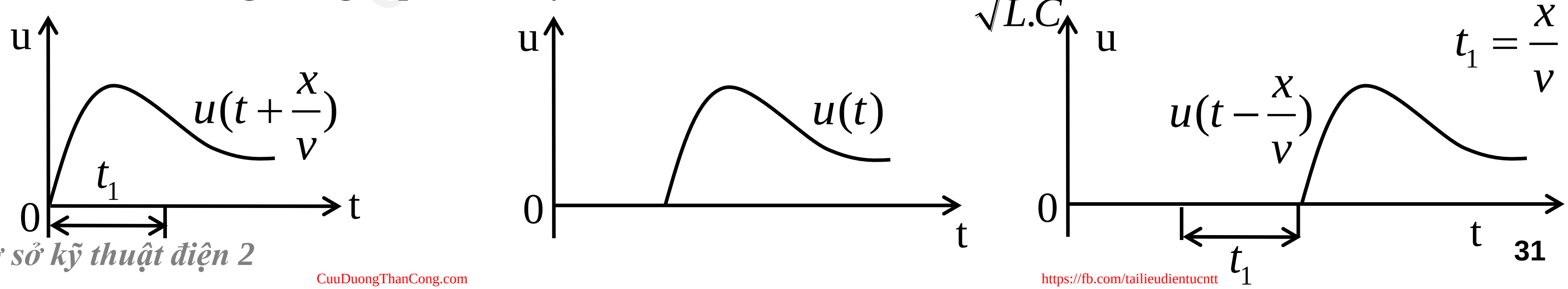
III. Quá trình quá độ trên đường dây dài không tiêu tán.

1. Khái niệm

- Nghiệm tổng quát của phương trình:

$$\boxed{\begin{cases} u(x,t) = f_1(t-\frac{x}{v}) + f_2(t+\frac{x}{v}) = u^+(t-\frac{x}{v}) + u^-(t+\frac{x}{v}) \\ i(x,t) = \frac{1}{Z_C}.u^+(t-\frac{x}{v}) - \frac{1}{Z_C}.u^-(t+\frac{x}{v}) = i^+(t-\frac{x}{v}) - i^-(t+\frac{x}{v}) \end{cases}}$$

- Nhận xét:
  - Sự phân bố áp là tổng 2 thành phần: Áp thuận $u^+(t-\frac{x}{v})$ và áp ngược $u^-(t+\frac{x}{v})$
  - Sự phân bố dòng là hiệu 2 thành phần: Dòng thuận $i^+(t-\frac{x}{v})$ và dòng ngược $i^-(t+\frac{x}{v})$
  - Các sóng dòng, áp đều truyền với vận tốc đều: $v = \frac{1}{\sqrt{L.C}}$



III. Quá trình quá độ trên đường dây dài không tiêu tán.

2. Phương pháp Petecxen:

- Dùng tính dòng, áp cuối dây trong chế độ quá độ trên đường dây dài không tiêu tán.
- Xét một sóng tới $u_{tới}$ từ phía đầu dây truyền tới, đập vào tải tập trung Z_2:
  - Gặp 1 điều kiện bờ mới, tạo trên tải Z_2 một hàm $u_2(t) = Z_2.i_2$.
  - Tại thời điểm đó và xuất phát từ vị trí tải sẽ có một sóng phản xạ ngược lại $u_{phản}$ sao cho hợp với $u_{tới}$ vừa bằng u_2.
- Gắn gốc tọa độ vào cuối dây, và chọn gốc thời gian là thời điểm sóng tới đập vào cuối dây, khi đó:
  - Tại tải tập trung, có quan hệ: $\mathbf{u_2(t) = u_{2tới} + u_{2ph}}$, $\mathbf{i_2(t) = i_{2tới} - i_{2ph}}$
  - Quan hệ sóng tới, sóng phản: $\mathbf{Z_C.\ i_{2tới} = u_{2tới}}$, $\mathbf{Z_C.\ i_{2ph} = u_{2ph}}$

$$\longrightarrow \quad \mathbf{u_2(t) = u_{2tới} + Z_C.i_{2ph}}$$

$$\mathbf{u_2(t) = u_{2tới} + Z_C.(i_{2tới} - i_2)}$$

$$\mathbf{u_2(t) = 2.u_{2tới} - Z_C.i2}$$

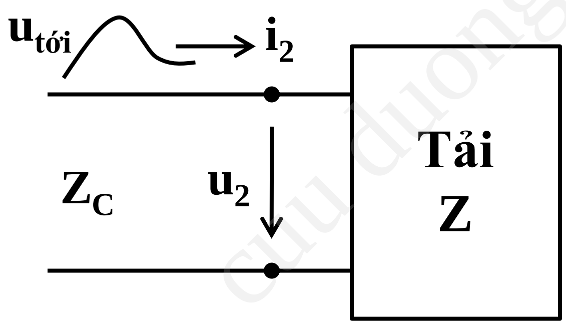
$$\boxed{\mathbf{2.u_{2tới} = (Z_C + Z_2)\ i_2}}$$

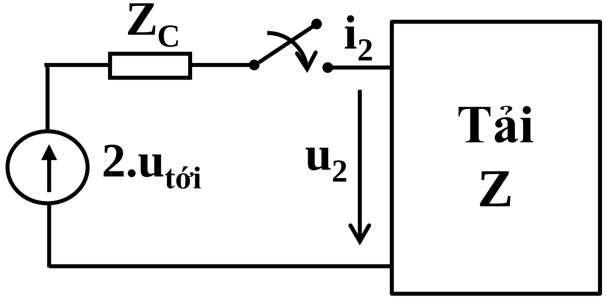
III. Quá trình quá độ trên đường dây dài không tiêu tán.

2. Phương pháp Petecxen:

$$\boxed{2.u_{2tới} = (Z_C + Z_2)\, i_2}$$

- Dòng, áp cuối dây $u_2(t)$, $i_2(t)$ được tính theo một sơ đồ tập trung gồm:
  - 01 nguồn áp bằng 2 lần sóng tới: $2.u_{tới}$
  - Tổng trở trong của nguồn có giá trị bằng tổng trở sóng Z_C của đường dây tới.
  - Đóng mạch vào tải tập trung ở cuối đường dây.





Sơ đồ Petecxen

  - Dòng, áp phản xạ truyền về phía đầu dây:

$$u_{2ph}(t) = u_2 - u_{2tới} \qquad u_{ph}(x',t) = u_{2ph}(t - x'/v)$$

$$i_{2ph}(t) = i_{2tới} - i_2 = u_{2ph} / Z_C \qquad i_{ph}(x',t) = i_{2ph}(t - x'/v)$$

(Gốc: x'=0 ở cuối dây)

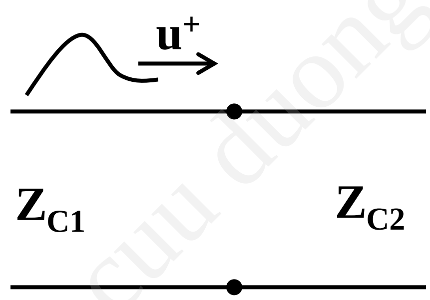
III. Quá trình quá độ trên đường dây dài không tiêu tán.

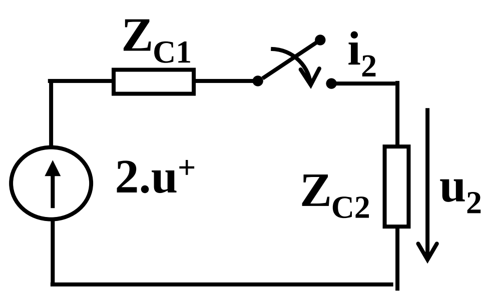
2. Phương pháp Petecxen:

➢ Xét đường dây Z_{C1} nối với đường dây Z_{C2}:

❖ Sóng từ đường dây 1 đến điểm nối sẽ sinh ra sóng phản xạ và tín hiệu $u_2(t)$, $i_2(t)$ truyền (***khúc xạ***) vào đường dây 2 (***sóng khúc xạ*** u_{kx}, i_{kx})

❖ Khi sóng khúc xạ chưa truyền tới cuối đường dây 2 (chưa có sóng phản xạ lại) thì chúng liên hệ với nhau qua Z_{C2}: $\mathbf{u_{2kx}(t) = Z_{C2}.i_{2kx}(t)}$



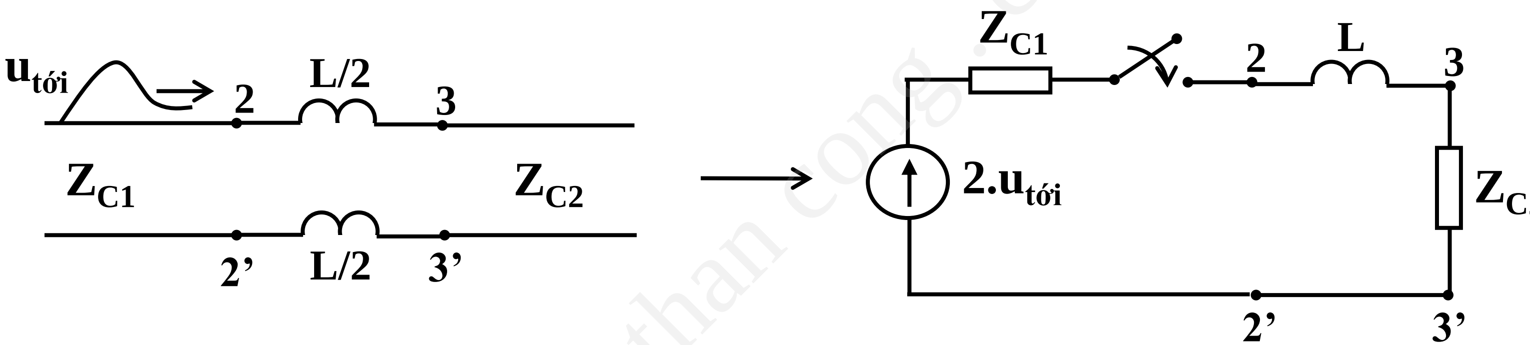


Sơ đồ Petecxen

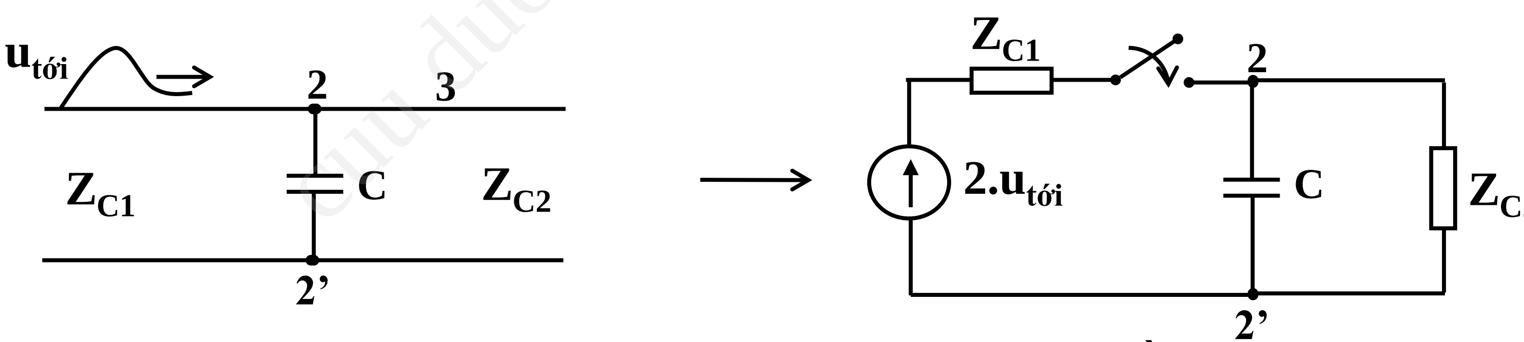
❖ Nếu tại điểm nối giữa 2 đường dây có thêm các tải tập trung (L, C, …) thì trong sơ đồ Petecxen cần bổ sung các phần tử tập trung đó.

III. Quá trình quá độ trên đường dây dài không tiêu tán.

2. Phương pháp Petecxen:



Sơ đồ Petecxen

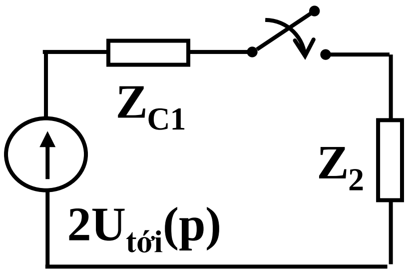


Sơ đồ Petecxen

III. Quá trình quá độ trên đường dây dài không tiêu tán.

2. Phương pháp Petecxen:

Ví dụ 5.5: Cho đường dây có $Z_{C1} = 300\Omega$ nối với máy phát $Z_2 = 1200\ \Omega$. Sóng áp hình chữ nhật $U = 1000kV$ đánh vào đường dây.



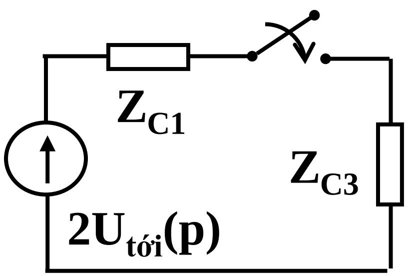
a. Tính sóng khúc xạ vào máy phát.

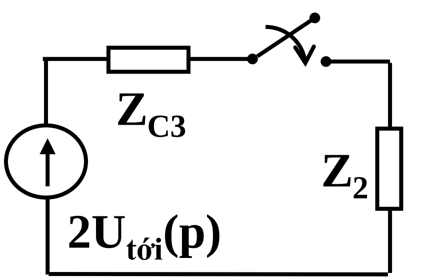
$$U_{kx\ máy}(p) = \frac{2U_{tới}(p)}{Z_{C1}+Z_2}Z_2 = \frac{2000}{p(300+1200)}1200 = \frac{1600}{p}kV \rightarrow U_{kx\ máy} = 1600kV$$

b. Giữa dây và máy có cáp $Z_{C3} = 60\Omega$. Tính sóng khúc xạ từ dây vào cáp, từ cáp vào máy.

$$U_{kx\ cáp}(p) = \frac{2U_{tới}(p)}{Z_{C1}+Z_{C3}}Z_{C3} = \frac{333}{p}kV$$

$$\rightarrow U_{kx\ cáp} = 333kV$$

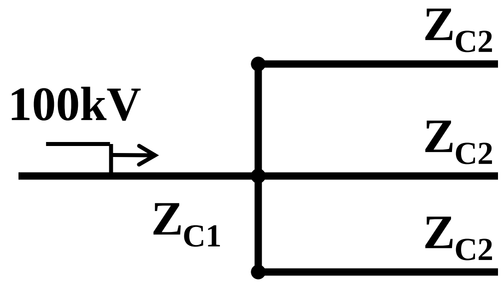




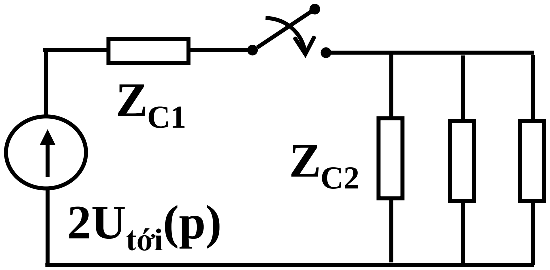
$$U_{kx\ máy}(p) = \frac{2U_{tới}(p)}{Z_{C3}+Z_2}Z_2 = \frac{635}{p}kV \rightarrow U_{kx\ may} = 635kV$$

III. Quá trình quá độ trên đường dây dài không tiêu tán.

2. Phương pháp Petecxen:



Ví dụ 5.6: Cho đường dây có $Z_{C1} = 400\Omega$ nối nối tiếp với 3 đường dây song song có $Z_{C2} = 300\Omega$. Sóng áp hình chữ nhật $U = 100kV$ đánh vào đường dây thứ nhất. Tính dòng, áp khúc xạ, phản xạ.



Giải:

- Áp dụng phương pháp Petecxen ta có sơ đồ:

$$I_{kx}(p) = \frac{2U_{tới}(p)}{Z_{C1} + \frac{Z_{C2}}{3}} = \frac{2.100}{p(400+100)} = \frac{0,4}{p}kA$$

$$\rightarrow I_{kx} = 0,4kA$$

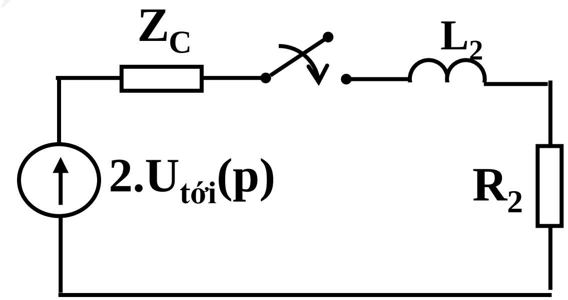
$$\rightarrow I_{kx\ mỗi\ đường} = \frac{0,4}{3} = 133A$$

$$U_{kx} = I_{kx\ mỗi\ đường}.Z_{C2} = 133.300 = 40kV \rightarrow U_{phản\ xạ} = U_{kx} - U_{tới} = 40 - 100 = -60kV$$

$$\rightarrow I_{phản\ xạ} = \frac{U_{phản\ xạ}}{Z_{C1}} = \frac{-60}{400} = -0,15kA$$

III. Quá trình quá độ trên đường dây dài không tiêu tán.

2. Phương pháp Petecxen:



Ví dụ 5.7: Cho đường dây có l > 30km, $Z_C = 400\Omega$, tải tập trung có $R_2 = 100\Omega$, $L_2 = 0,5H$, đóng vào một nguồn áp hằng *35kV*. Sau khi sóng phản xạ đã chạy được *30km* tính dòng áp khúc xạ, phản xạ tại cuối dây ?

➢ Áp dụng phương pháp Petecxen ta có sơ đồ:

$$I_{kx}(p) = \frac{2U_{tới}(p)}{Z_C + R_2 + pL_2} = \frac{70}{p(500+0,5p)} = \frac{140}{p(p+1000)} \rightarrow i_{kx}(t) = 0,14\left(1-e^{-1000t}\right)kA$$

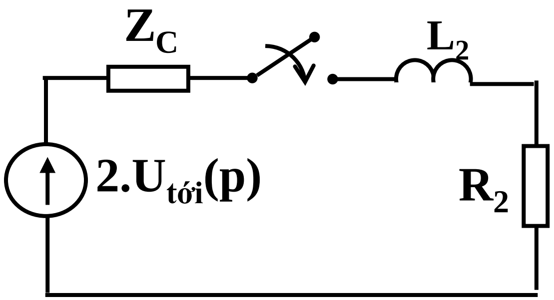
$$U_{kx}(p) = \frac{70(100+0,5p)}{p(0,5p+500)} = \frac{140(0,5p+100)}{p(p+1000)} = \frac{14000}{p(p+1000)} + \frac{70}{p+1000}$$

$$\rightarrow u_{kx}(t) = 14 + 56e^{-1000t}(kV) \qquad \rightarrow u_{phản}(t) = u_{kx}(t) - u_{tới}(t) = -21 + 56e^{-1000t}(kV)$$

III. Quá trình quá độ trên đường dây dài không tiêu tán.

2. Phương pháp Petecxen:

Ví dụ 5.7: Cho đường dây có l > 30km, $Z_C = 400\Omega$, tải tập trung có $R_2 = 100\Omega$, $L_2 = 0{,}5H$, đóng vào một nguồn áp hằng *35kV*. Sau khi sóng phản xạ đã chạy được *30km* tính dòng áp khúc xạ, phản xạ tại cuối dây ?



$$\rightarrow i_{phản}(t) = \frac{u_{phản}(t)}{Z_C} = -52{,}5 + 140e^{-1000t} A$$

- Coi vận tốc truyền sóng v = 3.10^8 m/s → thời gian sóng chạy 30km là:

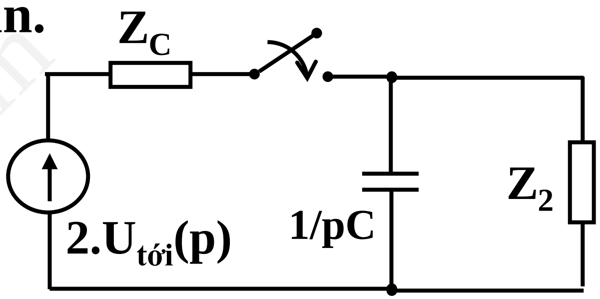
$$T = \frac{30.10^3}{3.10^8} = 10^{-4} s$$

- Vậy ta có:

$$\rightarrow \begin{cases} u_{kx}(t=T) = 64{,}67kV \\ i_{kx}(t=T) = 13{,}3A \end{cases} \qquad \rightarrow \begin{cases} u_{phản}(t=T) = 29{,}67kV \\ i_{phản}(t=T) = 74{,}18A \end{cases}$$

III. Quá trình quá độ trên đường dây dài không tiêu tán.

2. Phương pháp Petecxen:



Ví dụ 5.8: Cho đường dây dài $Z_C = 400\Omega$. Cuối đường dây nối tụ $C = 0{,}5\mu F$ song song với máy phát $Z_2 = 1000\Omega$. Tại $t = 0$, một sóng hình chữ nhật $U = 200kV$ chạy tới cuối đường dây. Tính sóng khúc xạ, phản xạ của dòng, áp vào máy.

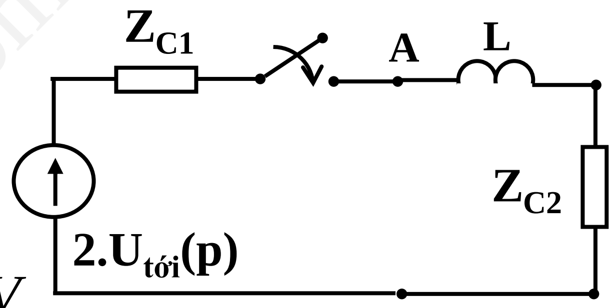
$$F_2 = 0 \rightarrow \begin{cases} p_1 = 0 \\ p_2 = -7000 \end{cases}$$

$$U_{kx}(p) = \frac{2U_{tới}(p)}{Z_C + \left(\frac{1}{pC}//Z_2\right)}\left(\frac{1}{pC}//Z_2\right) = \frac{2.10^6}{p(p+7000)} = \frac{F_1(p)}{F_2(p)} \qquad F_2' = 2p + 7000$$

- Áp dụng công thức Hevixaide: $u_{kx}(t) = 285{,}71(1 - e^{-7000t})kV$
- Dòng khúc xạ vào máy: $i_{kx}(t) = \frac{u_{kx}(t)}{Z_2} = 285{,}71(1 - e^{-7000t})A$
- Áp phản xạ: $u_{ph}(t) = u_{kx}(t) - u_{tới}(t) = 85{,}71 - 285{,}71e^{-7000t}kV$
- Dòng phản xạ: $i_{ph}(t) = \frac{u_{ph}(t)}{Z_C} = \frac{85{,}71 - 285{,}71e^{-7000t}}{400} = 214{,}28 - 714{,}28e^{-7000t}A$

III. Quá trình quá độ trên đường dây dài không tiêu tán.

2. Phương pháp Petecxen:



Ví dụ 5.9: Đường dây dài $Z_{C1} = 500\Omega$ nối với một đường dây dài có $Z_{C2} = 300\Omega$. Giữa 2 đường dây nối điện cảm $L = 5mH$. Tính áp khúc xạ, phản xạ khi có áp $u(t) = 500\left(1 - e^{-25.10^3 t}\right) kV$ truyền từ đường dây 1 tới

$$2U_{tới}(p) = \frac{25.10^6}{p(p+25.10^3)}$$

- Dòng điện khúc xạ:

$$I_{kx}(p) = \frac{2U_{tới}(p)}{Z_{C1} + pL + Z_{C2}} = \frac{5.10^9}{p(p+160.10^3)(p+25.10^3)} = \frac{F_1(p)}{F_2(p)}$$

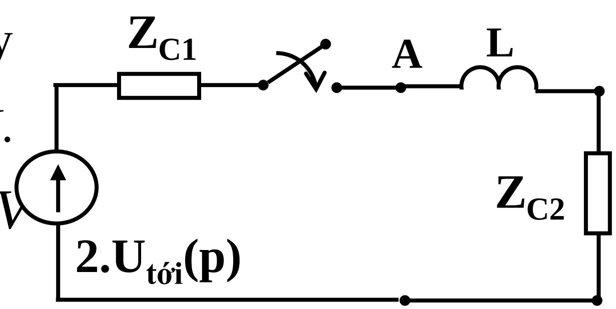
- Áp dụng công thức Hevixaide: $i_{kx}(t) = 1,25 + 0,23.e^{-160.10^3 t} - 1,48.e^{-25.10^3 t} kA$

- Áp khúc xạ vào đường dây 2: $u_{kx}(t) = Z_{C2}.i_{kx}(t) = 375 + 69.e^{-160.10^3 t} - 444.e^{-25.10^3 t} kV$

III. Quá trình quá độ trên đường dây dài không tiêu tán.

2. Phương pháp Petecxen:

Ví dụ 5.9: Đường dây dài $Z_{C1} = 500\Omega$ nối với một đường dây dài có $Z_{C2} = 300\Omega$. Giữa 2 đường dây nối điện cảm $L = 5mH$. Tính áp khúc xạ, phản xạ khi có áp $u(t) = 500\left(1 - e^{-25.10^3 t}\right) kV$ truyền từ đường dây 1 tới



- Ta có: $U_A(p) = (Z_{C2} + pL)I_{kx}(p) = 5.10^{-3}(p + 60.10^3).I_{kx}(p)$

$$\rightarrow u_A(t) = 375 - 259.e^{-25.10^3 t} - 115,7.e^{-160.10^3 t} kV$$

- Áp phản xạ trở lại đường dây 1:

$$u_{ph}(t) = u_A(t) - u_{tới}(t) = -125 + 241.e^{-25.10^3 t} - 115,7.e^{-160.10^3 t} kV$$

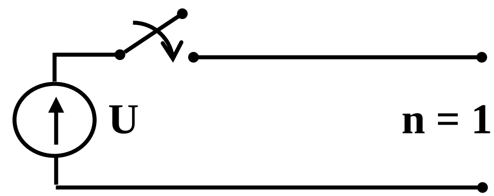
- Dòng phản xạ trở lại đường dây 1:

$$i_{ph}(t) = \frac{u_{ph}(t)}{Z_{C1}} = -0,25 + 0,482.e^{-25.10^3 t} - 0,23e^{-160.10^3 t} A$$

III. Quá trình quá độ trên đường dây dài không tiêu tán.

3. Phản xạ nhiều lần trên đường dây:

- Tại t = 0, xét một nguồn áp hằng U đóng vào đường dây không tiêu tán có chiều dài l, không nối với tải ($Z_2 = \infty$).



$$n_2 = \frac{Z_2 - Z_C}{Z_2 + Z_C} = 1 \longrightarrow \begin{cases} U_{ng1} = n_2.U_{th1} = U \\ I_{ng1} = n_2.I_{th1} = I \end{cases}$$

$$U = U_{th1} + U_{ng1} = 2.U$$

$$I = I_{th1} - I_{ng1} = 0$$

$$\begin{cases} n_1 = \dfrac{Z_1 - Z_C}{Z_1 + Z_C} = -1 \\ U_{th2} = n_1.U_{ng1} = -U \\ I_{th2} = n_1.I_{ng1} = -I \end{cases}$$

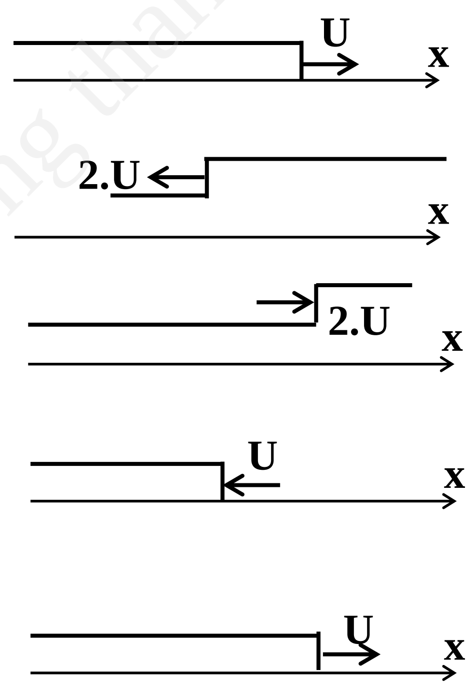
$$0 \le t < \frac{l}{v}:$$

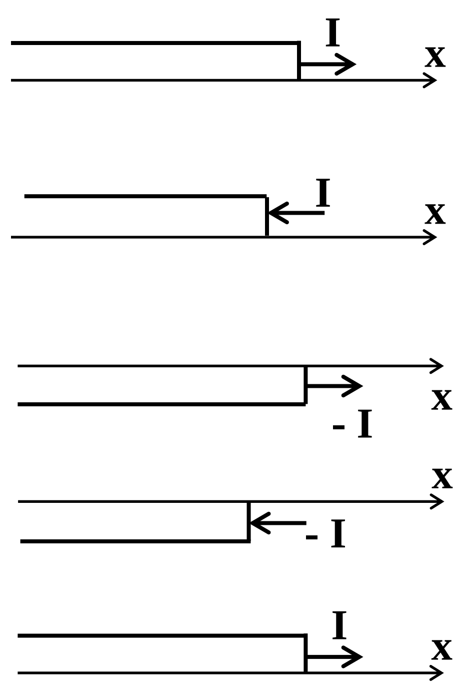
$$\frac{l}{v} \le t < \frac{2.l}{v}:$$

$$\frac{2.l}{v} \le t < \frac{3.l}{v}:$$

$$\frac{3.l}{v} \le t < \frac{4.l}{v}:$$

$$\frac{4.l}{v} \le t < \frac{5.l}{v}:$$





Chu kỳ: $\boxed{T = \dfrac{4.l}{v}}$