



Chương 4: Quá trình quá độ trong mạch phi tuyến.

I. Khái niệm chung.

II. Phương pháp tham số bé (nhiều loạn).

III. Phương pháp sai phân liên tiếp.

IV. Phương pháp biên pha biến thiên chậm (hệ số tích phân).

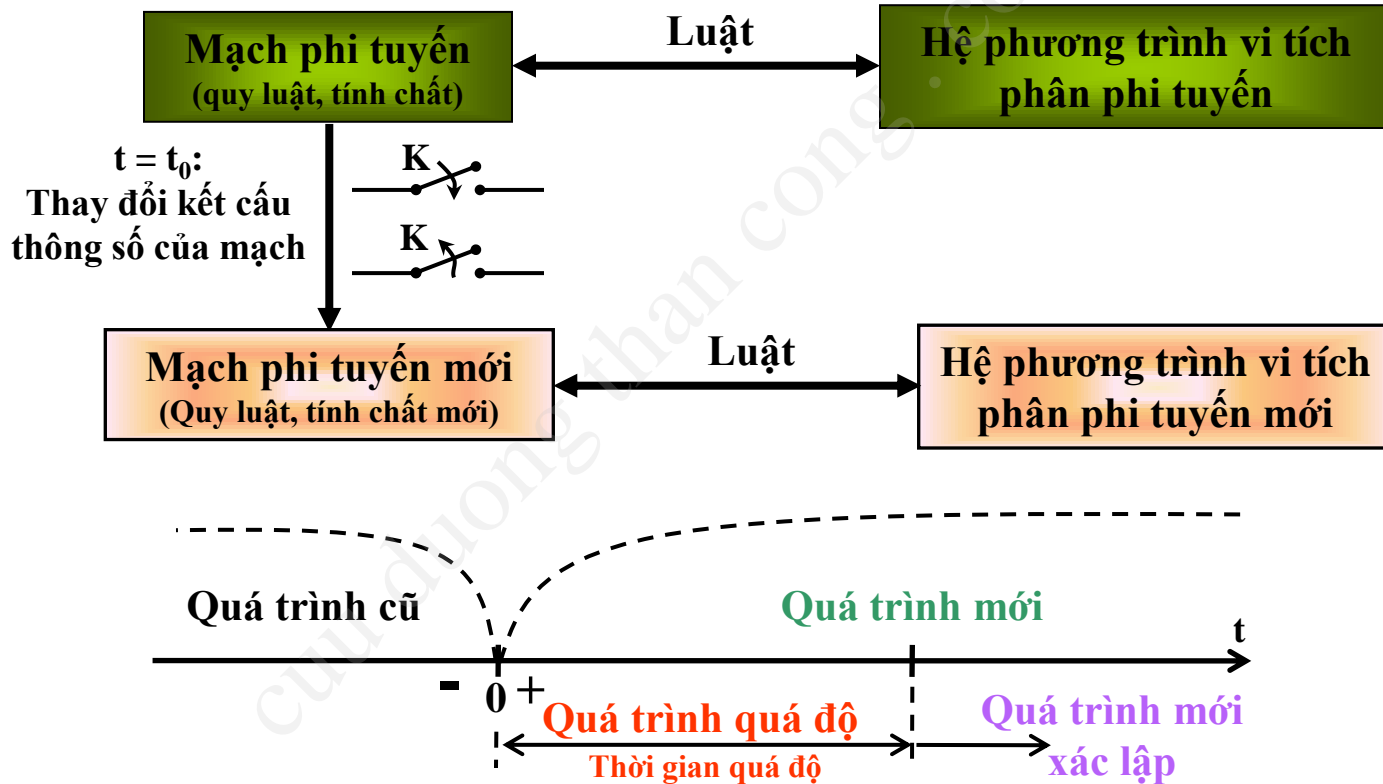
V. Phương pháp tuyến tính hóa từng đoạn.

Bài tập: 2, 3, 7, 13 + bài thêm.

Chương 4 : Quá trình quá độ trong mạch phi tuyến

I. Khái niệm chung

- Mạch phi tuyến được mô tả bởi những hệ phương trình vi tích phân phi tuyến trong miền thời gian.



- Động tác đóng mở kết thúc một quá trình cũ và khởi đầu một quá trình quá độ hiện hành.
- Quá trình quá độ của hệ thống nghiệm đúng hệ phương trình mới, khởi đầu từ thời điểm $t = 0^+$.



Chương 4: Quá trình quá độ trong mạch phi tuyến.

I. Khái niệm chung.

II. Phương pháp tham số bé (nhiều loạn).

III. Phương pháp sai phân liên tiếp.

IV. Phương pháp biên pha biến thiên chậm (hệ số tích phân).

V. Phương pháp tuyến tính hóa từng đoạn.

Chương 4 : Quá trình quá độ trong mạch phi tuyến

II. Phương pháp tham số bé (nhiều loạn).

- **Nội dung:** Được sử dụng để giải các bài toán quá độ của mạch phi tuyến (tính phi tuyến ít) có phương trình mô tả dạng:

$$f(x, x', x'', \dots, t) = \mu \cdot \varphi(x, x', \dots) \quad (*)$$

trong đó: $f(x, x', x'', \dots)$ là những số hạng tuyến tính.

$\mu \cdot \varphi(x, x', \dots)$ là số hạng phi tuyến (ít \rightarrow đủ nhỏ so với số hạng tuyến tính).

➤ **Phương pháp:**

- ❖ Tìm nghiệm của phương trình tuyến tính cốt yếu: $f(x, x', x'', \dots, t) = 0 \rightarrow x_0(t)$.
- ❖ Đặt nghiệm của phương trình (*) dưới dạng các hàm hiệu chỉnh (*số hàm hiệu chỉnh được đặt tùy theo độ chính xác yêu cầu*):

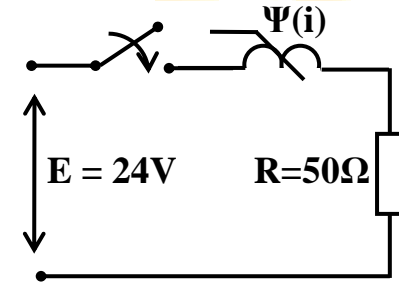
$$x(t) = x_0(t) + \mu \cdot x_1(t) + \mu^2 \cdot x_2(t) + \dots$$

- ❖ Thay vào phương trình (*) và cân bằng theo bậc của μ để tìm các hàm hiệu chỉnh.

Chương 4 : Quá trình quá độ trong mạch phi tuyến

II. Phương pháp tham số bé (nhiều loạn).

Ví dụ 4.1: Dùng phương pháp nhiễu loạn tính dòng quá độ với 1 hàm hiệu chỉnh trong cuộn dây lõi thép đóng vào nguồn áp $E = 24V$, biết đặc tính cuộn dây: $\psi(i) = 2.i - 3,75.i^3$, $R = 50\Omega$.



Giải:

➤ Lập phương trình mạch: $50.i + \frac{\partial \psi}{\partial i} \cdot \frac{\partial i}{\partial t} = 24 \Leftrightarrow 2.i' + 50.i - 24 = 11,25.i^2.i'$ (*) ($\mu = 11,25$)

➤ Đặt nghiệm gần đúng với 1 hàm hiệu chỉnh: $i(t) = i_0(t) + \mu.i_1(t) \rightarrow$

$$i' = i_0' + \mu.i_1'$$

$$i^2 = i_0^2 + \mu^2.i_1^2 + 2.\mu.i_0.i_1$$

➤ Thay vào (*):

$$2.i_0' + 2.\mu.i_1' + 50.i_0 + 50.\mu.i_1 - 24 = \mu.(i_0^2 + \mu^2.i_1^2 + 2.\mu.i_0.i_1)(i_0' + \mu.i_1')$$

$$\rightarrow (2.i_0' + 50.i_0 - 24) + \mu.(2.i_1' + 50.i_1 - i_0^2.i_0') + \mu^2.(...) + \mu^3.(...) = 0$$

➤ Cân bằng theo bậc của μ :

❖ μ bậc 0 (phương trình tuyến tính suy biến)

❖ μ bậc 1:

Cơ sở kỹ thuật điện 2 $2.i_0' + 50.i_0 - 24 = 0$

$$2.i_1' + 50.i_1 - i_0^2.i_0' = 0$$

Chương 4 : Quá trình quá độ trong mạch phi tuyến

II. Phương pháp tham số bé (nhiều loạn).

➤ Xét phương trình tuyến tính suy biến: $2.i_0' + 50.i_0 - 24 = 0$

❖ Sơ kiện: $i(0) = 0$; Nghiệm xác lập: $i = 24/50 = 0,48(\text{A})$

❖ Phương trình đặc trưng: $2.p + 50 = 0 \rightarrow p = -25$

❖ Nghiệm là : $i_0(t) = 0,48.(1 - e^{-25.t}) (\text{A}) = I_0.(1 - e^{-\alpha.t}) (\text{A}) \rightarrow$

$$i_0^2 = I_0^2.(1 - 2.e^{-\alpha.t} + e^{-2.\alpha.t})$$

$$i_0' = \alpha.I_0.e^{-\alpha.t}$$

➤ Xét phương trình μ bậc 1: $2.i_1' + 50.i_1 - i_0^2.i_0' = 0$

❖ Thay vào ta có: $2.i_1' + 50.i_1 = \alpha.I_0^3.(e^{-\alpha.t} - 2.e^{-2.\alpha.t} + e^{-3.\alpha.t})$

❖ Chuyển sang miền ảnh Laplace: $2(p + \alpha).I_1(p) = \alpha.I_0^3.(\frac{1}{p + \alpha} - \frac{2}{p + 2.\alpha} + \frac{1}{p + 3.\alpha})$

$$\rightarrow I_1(p) = \frac{\alpha.I_0^3}{2} \cdot \left[\frac{1}{(p + \alpha)^2} - \frac{2}{(p + 2.\alpha).(p + \alpha)} + \frac{1}{(p + 3.\alpha).(p + \alpha)} \right]$$

➤ Tra bảng Ảnh - Gốc (dùng công thức Hevixaide):

$$i_1(t) = 0,0555. \left[(25.t - 1,5).e^{-25.t} + 2.e^{-50.t} - 0,5.e^{-75.t} \right]$$

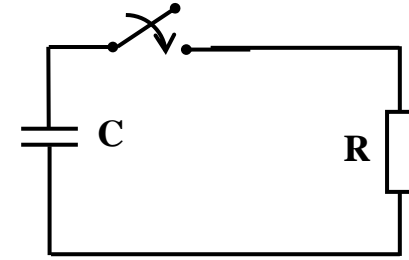
➤ Vậy nghiệm của bài toán là:

$$i(t) = 0,48.(1 - e^{-25.t}) + 0,625. \left[(25.t - 1,5).e^{-25.t} + 2.e^{-50.t} - 0,5.e^{-75.t} \right]$$

Chương 4 : Quá trình quá độ trong mạch phi tuyến

II. Phương pháp tham số bé (nhiều loạn).

Ví dụ 4.2: Dùng phương pháp nhiễu với 1 hàm hiệu chỉnh tính quá trình điện tích khi 1 tụ phi tuyến phóng điện qua 1 điện trở R . Biết sơ kiện $q(0) = Q$ và đặc tính phi tuyến của tụ $u_C(q) = q/C_0 + \alpha q^3$ ($\alpha > 0$)



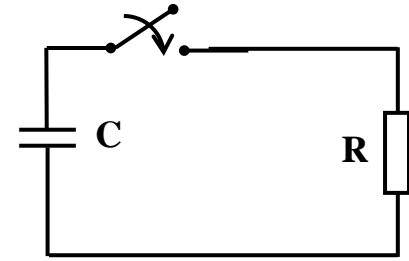
Giải:

- Lập phương trình: $u_C + u_R = 0 \rightarrow \frac{1}{C_0} q + \alpha q^3 + Rq' = 0 \rightarrow Rq' + \frac{1}{C_0} q = -\alpha q^3 = \mu q^3 (*)$
- Đặt nghiệm với 1 hàm hiệu chỉnh: $q(t) = q_0(t) + \mu \cdot q_1(t) \rightarrow q' = q_0' + \mu \cdot q_1'$
- Thay vào (*): $R(q_0' + \mu q_1') + \frac{1}{C_0}(q_0 + \mu q_1) = \mu(q_0 + \mu q_1)^3$
- Cân bằng theo bậc của μ :
 - ❖ μ bậc 0 (phương trình tuyến tính suy biến): $2 \cdot q_0' + \frac{1}{C_0} \cdot q_0 = 0$
 - ❖ μ bậc 1: $R \cdot q_1' + \frac{1}{C_0} q_1 = q_0^3$

Chương 4 : Quá trình quá độ trong mạch phi tuyến

II. Phương pháp tham số bé (nhiều loạn).

Ví dụ 4.2: Dùng phương pháp nhiễu với 1 hàm hiệu chỉnh tính quá trình điện tích khi 1 tụ phi tuyến phóng điện qua 1 điện trở R . Biết sơ kiện $q(0) = Q$ và đặc tính phi tuyến của tụ $u_C(q) = q/C_0 + \alpha q^3$ ($\alpha > 0$)



Giải:

- Xét phương trình tuyến tính suy biến: $2q_0' + \frac{1}{C_0} q_0 = 0$
 - ❖ Phương trình đặc trưng: $Rp + \frac{1}{C_0} = 0 \rightarrow p = -\frac{1}{RC_0} = -\beta \rightarrow q_{0\text{ td}} = Ae^{-\beta t}$
 - ❖ Nghiệm quá độ: $q_{0\text{ qd}} = q_{0\text{ xl}} + q_{0\text{ td}} = Ae^{-\beta t} \xrightarrow[\substack{\text{Sơ kiện} \\ q(0) = Q_0}]{\text{Sơ kiện}} q_{0\text{ qd}} = Q_0 \cdot e^{-\beta t}$
- Xét phương trình μ bậc 1: $q_1' + \beta q_1 = \frac{Q_0^3}{R} e^{-3\beta t} \xrightarrow{\text{Laplace}} (p + \beta)Q_1(p) = \frac{Q_0^3}{R} \frac{1}{p + 3\beta}$

$$\rightarrow Q_1(p) = \frac{Q_0^3}{R(p + 3\beta)(p + \beta)} \xrightarrow{\text{Hevixaide}} q_1(t) = \frac{Q_0^3}{2\beta R} (e^{-\beta t} - e^{-3\beta t})$$

$$\rightarrow q' = q_0' + \mu \cdot q_1' = Q_0 e^{-\beta t} + \frac{\alpha C_0 Q_0^3}{2} e^{-\beta t} - \frac{\alpha C_0 Q_0^3}{2} e^{-3\beta t}$$



Chương 4: Quá trình quá độ trong mạch phi tuyến.

I. Khái niệm chung.

II. Phương pháp tham số bé (nhiều loạn).

III. Phương pháp sai phân liên tiếp.


IV. Phương pháp biên pha biến thiên chậm (hệ số tích phân).

V. Phương pháp tuyến tính hóa từng đoạn.

Chương 4 : Quá trình quá độ trong mạch phi tuyến

III. Phương pháp sai phân liên tiếp

- Là phương pháp gần đúng tính bằng số dùng sai phân hóa để giải bài toán vi tích phân thời gian của các hệ thống phi tuyến và tuyến tính.
- Sai phân hóa là thay thế gần đúng những vi phân của biến thời gian t của ẩn x bằng những vi phân của chúng.
- Phương pháp sai phân liên tiếp chuyển hệ phương trình vi phân thành hệ sai phân gần đúng và dùng phương pháp số để tìm dần từng bước nghiệm gần đúng:

- ❖ Chia trục thời gian t thành những bước $h = \Delta t$. 

$$t_0 = 0 ; t_1 = \Delta t ; t_2 = 2.\Delta t ; \dots ; t_k = k.\Delta t$$

- ❖ Sai phân hóa:

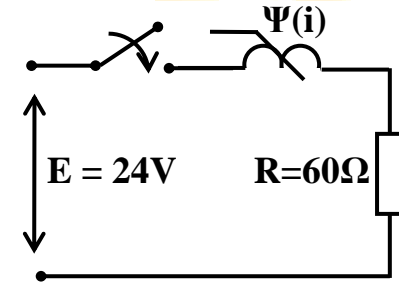
$$\frac{dx}{dt} \approx \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_{k+1} - x_k}{h} \qquad \frac{d^2x}{dt^2} \approx \frac{x_{k+2} - 2.x_{k+1} + x_k}{h^2}$$

- ❖ Sai phân hóa hệ phương trình mạch bằng những biểu thức sai phân \rightarrow thu được một hệ sai phân liên hệ trị x_k ở các bước thời gian liên tiếp \rightarrow biết $x_k \rightarrow$ tính được giá trị x_{k+1}

Chương 4 : Quá trình quá độ trong mạch phi tuyến

IV. Phương pháp sai phân liên tiếp

Ví dụ 4.3: Dùng phương pháp sai phân tính dòng quá độ khi đóng nguồn hằng $E = 24V$ vào mạch gồm cuộn dây có đặc tính $\psi(i) = 1,75i - 2,8.i^3$, mắc nối tiếp với điện trở $R = 60\Omega$.



➤ Lập phương trình mạch: $60.i + \frac{\partial \psi}{\partial i} \cdot \frac{\partial i}{\partial t} = 24 \Leftrightarrow 60.i + (1,75 - 8,4.i^2).i' = 24$

➤ Sai phân hóa phương trình mạch: $60.i_k + (1,75 - 8,4.i_k^2) \cdot \frac{i_{k+1} - i_k}{h} = 24$

$$\rightarrow i_{k+1} = \frac{(24 - 60.i_k).h}{1,75 - 8,4.i_k^2} + i_k$$

➤ Tính bước sai phân: Xét phương trình tuyến tính suy biến:

$$1,75.i' + 60i = 24 \rightarrow 1,75.p + 60 = 0 \rightarrow p = -34,3 \rightarrow \tau = \frac{1}{|p|} = 0,03s \rightarrow h = \frac{1}{10} \cdot 3 \cdot \tau \approx 10ms$$

➤ Nghiệm xác lập: $i_{xl} = \frac{24}{60} = 0,4(A)$

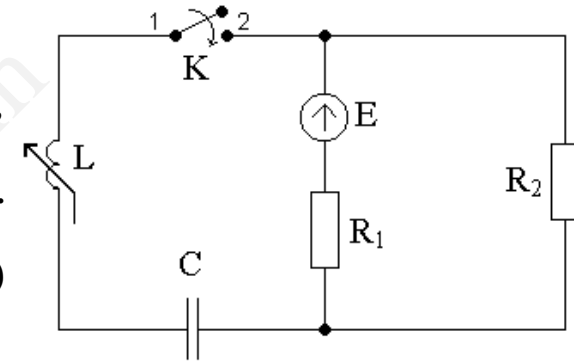
➤ Bảng kết quả:

t(ms)	0	10	20	30	40	50	60	70	80
i(A)	0	0,14	0,24	0,32	0,37	0,4	0,4	0,4	0,4

Chương 4 : Quá trình quá độ trong mạch phi tuyến

IV. Phương pháp sai phân liên tiếp

Ví dụ 4.4: Cho mạch điện, biết $R_1 = 30\Omega$, $R_2 = 40\Omega$, $C = 100\mu F$, $E = 40V$, cuộn dây phi tuyến có đặc tính $\psi(i) = 1,75i - 2,8.i^3$.
 Tính 10 giá trị đầu tiên của dòng quá độ trên tụ C (cho $h = 10ms$)



Giải:

➤ Biến đổi mạch: $R_{12} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 17,14\Omega$ $E_{12} = \frac{E}{R_1 + R_2} R_2 = 22,86V$

➤ Lập phương trình mạch: $u_{R12} + u_L + u_C = E_{12}$

$$\rightarrow R_{12}i + \frac{\partial \Psi}{\partial i} \cdot \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt = R_{12}i + (1,75 - 8,4i^2) \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt = E_{12}$$

➤ Đạo hàm 2 vế của phương trình: $R_{12}i' - 16,8i(i')^2 + (1,75 - 8,4i^2)i'' + \frac{i}{C} = 0$

$$\rightarrow 17,14i' - 16,8i(i')^2 + (1,75 - 8,4i^2)i'' + \frac{i}{10^{-4}} = 0$$

Chương 4 : Quá trình quá độ trong mạch phi tuyến

IV. Phương pháp sai phân liên tiếp

Ví dụ 4.4: Cho mạch điện, biết $R_1 = 30\Omega$, $R_2 = 40\Omega$, $C = 100\mu F$, $E = 40V$, cuộn dây phi tuyến có đặc tính $\psi(i) = 1,75i - 2,8.i^3$.

Tính 10 giá trị đầu tiên của dòng quá độ trên tụ C (cho $h = 10ms$)

Giải:

➤ Sai phân hóa:

$$17,14 \frac{i_{k+1} - i_k}{h} - 16,8 i_k \left(\frac{i_{k+1} - i_k}{h} \right)^2 + (1,75 - 8,4 i_k^2) \frac{i_{k+2} - 2i_{k+1} + i_k}{h^2} + \frac{i_k}{10^{-4}} = 0$$

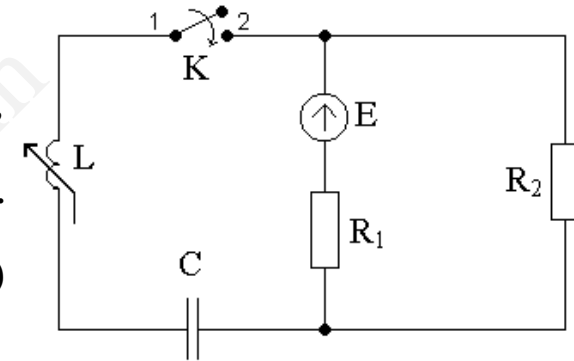
$$\rightarrow i_{k+2} = 2i_{k+1} - i_k - \frac{h^2 i_k + 17,14 \cdot 10^{-4} h (i_{k+1} - i_k) - 16,8 \cdot 10^{-4} i_k (i_{k+1} - i_k)^2}{10^{-4} (1,75 - 8,4 i_k^2)}$$

➤ Tính sơ kiện: $i_0 = i(0) = 0$; $u_C(0) = 0$ $i'(0) \approx \frac{i_1 - i_0}{h} = \frac{i_1 - i(0)}{h} \rightarrow i_1 = i(0) + h i'(0)$

Phương trình mạch ở chế độ mới:

$$R_{12} i + (1,75 - 8,4 i^2) i'(t) + u_C(t) = E_{12} \rightarrow 17,14 i(0) + [1,75 - 8,4 i^2(0)] i'(0) + u_C(0) = 22,86$$

$$\rightarrow i'(0) = 13,06(A/s) \rightarrow i_1 = i(0) + h i'(0) = 13.06h$$

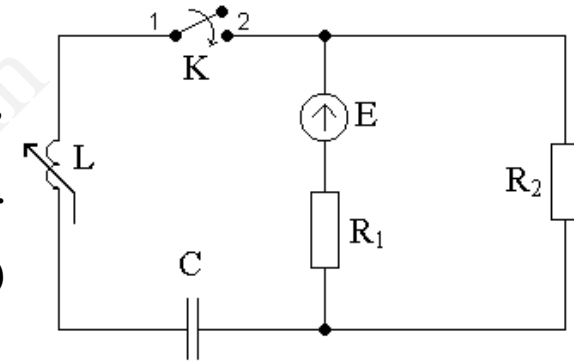


Chương 4 : Quá trình quá độ trong mạch phi tuyến

IV. Phương pháp sai phân liên tiếp

Ví dụ 4.4: Cho mạch điện, biết $R_1 = 30\Omega$, $R_2 = 40\Omega$, $C = 100\mu F$, $E = 40V$, cuộn dây phi tuyến có đặc tính $\psi(i) = 1,75i - 2,8.i^3$.
 Tính 10 giá trị đầu tiên của dòng quá độ trên tụ C (cho $h = 10ms$)

Giải:



➤ Phương trình sai phân:

$$\rightarrow i_{k+2} = 2i_{k+1} - i_k - \frac{h^2 i_k + 17,14.10^{-4} h(i_{k+1} - i_k) - 16,8.10^{-4} i_k (i_{k+1} - i_k)^2}{10^{-4} (1,75 - 8,4i_k^2)}$$

$$i_0 = 0$$

➤ Bảng kết quả: $i_1 = 13.06h$

t(ms)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
i(A)	0	0,0131	0,0260	0,0387	0,0513	0,0635	0,0754	0,0869	0,0979	0,1084



Chương 4: Quá trình quá độ trong mạch phi tuyến.

I. Khái niệm chung.

II. Phương pháp tham số bé (nhiều loạn).

III. Phương pháp sai phân liên tiếp.

IV. Phương pháp biên pha biến thiên chậm (hệ số tích phân).

V. Phương pháp tuyến tính hóa từng đoạn.

Chương 4 : Quá trình quá độ trong mạch phi tuyến

V. Phương pháp biên pha biến thiên chậm

➤ Nội dung:

- ❖ Phương pháp biên pha biến thiên chậm (phương pháp biến thiên hệ số tích phân) thường được dùng để xét bài toán mạch phi tuyến Kirchoff cấp 2 với chế độ tự dao động phi tuyến:

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x - \mu f(x, \dot{x}) = 0$$

- ❖ Nghiệm của phương trình xét có tính dao động, nhưng do tính chất phi tuyến nên dao động **rất gần với điều hòa** → được biểu diễn toán học bằng các hàm điều hòa có **biên độ** và **góc pha biến thiên**.

$$x(t) = A(t) \cdot \cos[\omega_0 t + \theta(t)] = B(t) \cdot \cos \omega_0 t + C(t) \sin \omega_0 t$$

- ❖ Với những dao động gần với điều hòa, các cặp $A(t)$, $\theta(t)$ hay $B(t)$, $C(t)$ sẽ biến thiên chậm: $\frac{dA(t)}{dt} = \dot{A}(t)$ và $\frac{d\theta(t)}{dt} = \dot{\theta}(t)$ đủ nhỏ → gia tốc và lũy thừa của tốc độ rất nhỏ, có thể bỏ qua.

Chương 4 : Quá trình quá độ trong mạch phi tuyến

V. Phương pháp biên pha biến thiên chậm

➤ Nội dung:

- ❖ Do nghiệm của bài toán rất gần với điều hòa \rightarrow có thể coi nghiệm $x(t)$ chuyển dần từ nghiệm dao động điều hòa $x_0(t)$ của phương trình dao động tuyến tính suy biến:

$$x_0(t) = A_0 \cdot \cos(\omega_0 t + \theta_0)$$

- ❖ Nghiệm $x(t)$ của bài toán sẽ có dạng:

$$x(t) = \left[A_0 + \int_0^t \dot{A}(t) dt \right] \cdot \cos \left[\omega_0 t + \theta_0 + \int_0^t \dot{\theta}(t) dt \right] = A(t) \cdot \cos \psi(t)$$

- ❖ Vậy ta có:

$$\dot{x} = \dot{A} \cdot \cos \psi - A \cdot (\omega_0 + \dot{\theta}) \cdot \sin \psi \xrightarrow[\text{hạng nhỏ}]{\text{Bỏ qua những số}} \dot{x} \approx -\omega_0 \cdot A \cdot \sin \psi$$

$$\ddot{x} = \ddot{A} \cdot \cos \psi - \dot{A} \cdot (\omega_0 + \dot{\theta}) \cdot \sin \psi - \ddot{\theta} \cdot A \cdot \sin \psi - (\omega_0 + \dot{\theta}) \cdot \dot{A} \cdot \sin \psi - (\omega_0 + \dot{\theta})^2 \cdot A \cdot \cos \psi$$

$$\xrightarrow[\text{hạng nhỏ}]{\text{Bỏ qua những số}} \ddot{x} \approx -2 \cdot \omega_0 \cdot \dot{A} \cdot \sin \psi - (\omega_0^2 + 2 \cdot \omega_0 \cdot \dot{\theta}) \cdot A \cdot \cos \psi$$

Chương 4 : Quá trình quá độ trong mạch phi tuyến

V. Phương pháp biên pha biến thiên chậm

Ví dụ 4.5: Cho phương trình Vanderpol $\ddot{x} + x - \mu.(1 + x^2).\dot{x} = 0$ (*)

Sơ kiện $x(0) = X_0$ và $\dot{x}(0) = 0$

➤ Phân tích phương trình: $\underbrace{\ddot{x} + x}_{\text{tuyến tính}} - \underbrace{\mu.(1 + x^2).\dot{x}}_{\text{phi tuyến}} = 0$

➤ Xét phương trình tuyến tính: $\ddot{x} + x = 0 \rightarrow$ đa thức đặc trưng $p^2 + 1 = 0 \rightarrow p = \pm j$

\rightarrow Nghiệm: $x_0(t) = A_0.\cos(t + \varphi_0) \rightarrow dx_0/dt = -A_0.\sin(t + \varphi_0)$

Xét tại $t = 0$: $\begin{cases} X_0 = A_0.\cos \varphi_0 \\ 0 = -A_0.\sin \varphi_0 \end{cases} \rightarrow x_0(t) = X_0.\cos(t)$

➤ Nghiệm của phương trình (*) là: $x(t) = \left[X_0 + \int_0^t \dot{A} dt \right] . \cos \left[t + \int_0^t \dot{\theta} dt \right] = A(t). \cos \psi(t)$

Chương 4 : Quá trình quá độ trong mạch phi tuyến

V. Phương pháp biên pha biến thiên chậm

Ví dụ 4.5:

- Thay vào phương trình (*):

$$-2.\dot{A}.\sin \psi - (1 + 2.\dot{\theta}).A.\cos \psi + A.\cos \psi + \mu.(1 + A^2.\cos^2 \psi).A.\sin \psi = 0$$

- Biến đổi lượng giác:

$$-2.\dot{A}.\sin \psi - 2.\dot{\theta}.A.\cos \psi = -\mu.A.\sin \psi + \frac{\mu.A^3}{4}\sin \psi + \frac{\mu.A^3}{4}.\sin 2\psi$$

- Cân bằng các điều hòa cùng cấp:

$$\begin{cases} -2.\dot{A} = \frac{\mu.A^3}{4} - \mu.A \\ 2.\dot{\theta}.A = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \dot{A} = -\frac{1}{2}\left(\frac{\mu.A^3}{4} - \mu.A\right) \\ \dot{\theta} = 0 \quad \text{do } A \neq 0 \end{cases}$$

- Vậy nghiệm là:

$$x(t) = \left[X_0 - \int_0^t \frac{1}{2} \left(\frac{\mu.A^3}{4} - \mu.A \right) dt \right] \cos t$$



Chương 4: Quá trình quá độ trong mạch phi tuyến.

I. Khái niệm chung.

II. Phương pháp tham số bé (nhiều loạn).

III. Phương pháp sai phân liên tiếp.

IV. Phương pháp biên pha biến thiên chậm (hệ số tích phân).

V. Phương pháp tuyến tính hóa từng đoạn.

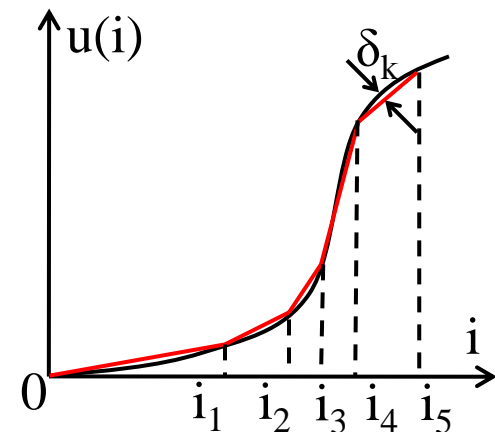
Chương 4 : Quá trình quá độ trong mạch phi tuyến

V. Phương pháp tuyến tính hóa từng đoạn

- Phương pháp tuyến tính hóa từng đoạn là phương pháp tìm cách thay thế từng đoạn đặc tính làm việc của một phần tử phi tuyến bằng nhiều đoạn thẳng tuyến tính
- Quá trình tuyến tính hóa từng đoạn đặc tính làm việc phải đảm bảo sai số giữa đường cong phi tuyến và đường thẳng tuyến tính luôn nhỏ hơn sai số yêu cầu:

$$\delta_k < \gamma_{y.c}$$

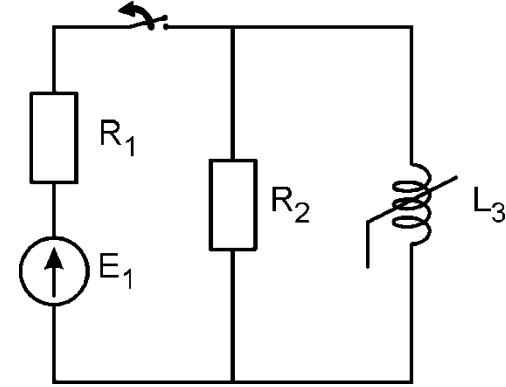
- Sau khi tuyến tính hóa, trong mỗi khoảng tuyến tính hóa, mạch phi tuyến được xét như một mạch tuyến tính.



Chương 4 : Quá trình quá độ trong mạch phi tuyến

V. Phương pháp tuyến tính hóa từng đoạn

Ví dụ 4.6: Cho mạch điện phi tuyến. Tại $t = 0$, khóa mở ra. Sử dụng phương pháp tuyến tính hóa từng đoạn, tính dòng qua cuộn dây phi tuyến trong quá trình quá độ. Biết $E_1 = 12V$ (một chiều), $R_1 = 5\Omega$, $R_2 = 8\Omega$, cuộn dây phi tuyến có đặc tính cho theo bảng.



$\Psi(I)$	0	2	3
I	0	1	3

Giải:

- Sơ kiện: $i_L(-0) = \frac{E_1}{R_1} = 2,4A$
- Tại thời điểm bắt đầu quá độ, điểm làm việc của cuộn dây thuộc đoạn $i \in [1, 3] \rightarrow$ cuộn dây có giá trị tương đương cuộn dây tuyến tính:

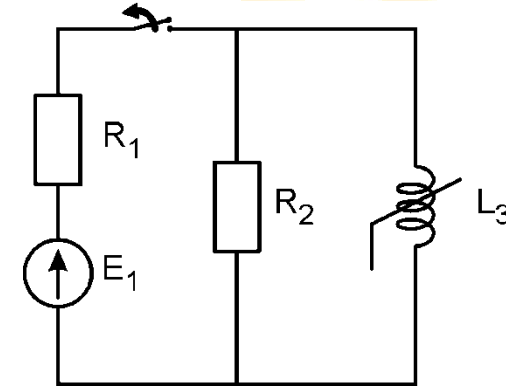
$$L_d = \frac{\Delta \Psi}{\Delta I} = \frac{3-2}{3-1} = 0,5H$$

- Khi đó dòng điện trên cuộn dây phi tuyến là: $i_{L_3}(t) = i_{L_3}(-0).e^{-\frac{R}{L_d}t} = 2,4.e^{-16t}$

Chương 4 : Quá trình quá độ trong mạch phi tuyến

V. Phương pháp tuyến tính hóa từng đoạn

Ví dụ 4.6: Cho mạch điện phi tuyến. Tại $t = 0$, khóa mở ra. Sử dụng phương pháp tuyến tính hóa từng đoạn, tính dòng qua cuộn dây phi tuyến trong quá trình quá độ. Biết $E_1 = 12V$ (một chiều), $R_1 = 5\Omega$, $R_2 = 8\Omega$, cuộn dây phi tuyến có đặc tính cho theo bảng.



Giải:

- Thời điểm dòng điện cuộn dây giảm về $I = 1(A)$: $t_1 = \frac{\ln(1/2,4)}{-16} = 0,0547(s)$
- Khi đó, điểm làm việc của cuộn dây thuộc đoạn $i \in [0, 1] \rightarrow$ cuộn dây có giá trị tương đương cuộn dây tuyến tính:

$$L_d = \frac{\Delta \Psi}{\Delta I} = \frac{2}{1} = 2H$$

- Khi đó dòng điện trên cuộn dây phi tuyến là: $i_{L_3}(t) = i_{L_3}(-0) \cdot e^{-\frac{R}{L_d}(t-0,0547)} = e^{-4(t-0,0547)}$

- Tổng hợp nghiệm:
$$i_{L_3}(t) = \begin{cases} 2,4 & \text{khi } t \leq 0 \\ 2,4e^{-16t} & \text{khi } 0 \leq t \leq 0,0547 \\ e^{-4(t-0,0547)} & \text{khi } 0,0547 \leq t \end{cases}$$