



Chương 3: Chế độ xác lập dao động trong mạch phi tuyến

I. Khái niệm chung.

II. Phương pháp đồ thị với giá trị tức thời.

III. Phương pháp cân bằng điều hòa.

IV. Phương pháp điều hòa tương đương.

V. Phương pháp tuyến tính hóa quanh điểm làm việc.

Bài tập: 2, 5, 6, 7, 8, 13, 14, 15, 16 + bài thêm

Chương 3 : Chế độ xác lập dao động trong mạch phi tuyến

I. Khái niệm chung

- Xét mạch phi tuyến làm việc ở chế độ dao động xác lập:
 - ❖ Kích thích không chu kỳ \rightarrow tự dao động phi tuyến.
 - ❖ Kích thích chu kỳ \rightarrow dao động cưỡng bức.

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{x}_1 = f_1(x_1, x_2, \dots, x_n, t) \\ \dot{x}_2 = f_2(x_1, x_2, \dots, x_n, t) \\ \dots \\ \dot{x}_n = f_n(x_1, x_2, \dots, x_n, t) \end{array} \right. \xrightarrow{\text{Chế độ xác lập dao động}} \left\{ \begin{array}{l} \dot{x}_1 = f_1(x_1, x_2, \dots, x_n, \omega t) \\ \dot{x}_2 = f_2(x_1, x_2, \dots, x_n, \omega t) \\ \dots \\ \dot{x}_n = f_n(x_1, x_2, \dots, x_n, \omega t) \end{array} \right.$$

Hệ phương trình vi tích phân phi tuyến

Hệ phương trình vi tích phân phi tuyến

- ❖ **Phương pháp giải:** Đồ thị với giá trị tức thời ; Cân bằng điều hòa ; Điều hòa tương đương ; Phương pháp dò ; Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc.



Chương 3: Chế độ xác lập dao động trong mạch phi tuyến

I. Khái niệm chung.

II. Phương pháp đồ thị với giá trị tức thời.

III. Phương pháp cân bằng điều hòa.

IV. Phương pháp điều hòa tương đương.

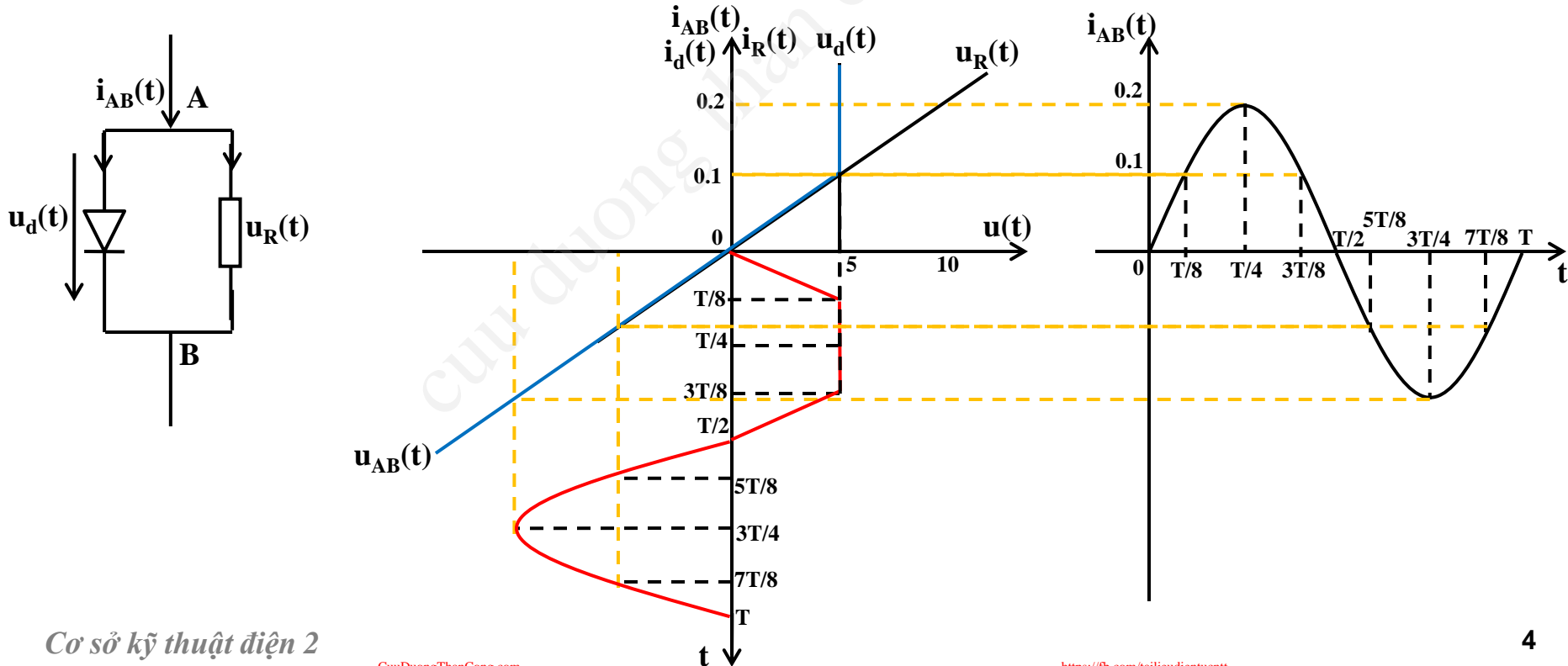
V. Phương pháp tuyến tính hóa quanh điểm làm việc.

Chương 3 : Chế độ xác lập dao động trong mạch phi tuyến

II. Phương pháp đồ thị với giá trị tức thời

- **Nội dung:** Thực hiện bằng đồ thị những phép đại số và giải tích (đạo hàm, tích phân ...) trên các biến thời gian và những hàm đặc tính nhằm giải hệ phương trình vi tích phân phi tuyến của mạch.

Ví dụ 3.1: Cho mạch điện gồm 1 điện trở $R = 50\Omega$ mắc song song với một diode biết đặc tính V-A như hình vẽ. Dòng điện $i_{AB}(t) = 0,2.\sin 1000t$ (A). Vẽ điện áp $u_{AB}(t)$





Chương 3: Chế độ xác lập dao động trong mạch phi tuyến

I. Khái niệm chung.

II. Phương pháp đồ thị với giá trị tức thời.

III. Phương pháp cân bằng điều hòa.

IV. Phương pháp điều hòa tương đương.

V. Phương pháp tuyến tính hóa quanh điểm làm việc.

III. Phương pháp cân bằng điều hòa

➤ Phương pháp cân bằng điều hòa thường sử dụng xét :

- ❖ Mạch tự dao động xác lập (không có kích thích chu kỳ)
- ❖ Mạch dao động phi tuyến kích thích chu kỳ.

➤ **Nội dung:**

- ❖ Xét hệ phi tuyến có kích thích chu kỳ với tần số cơ bản ω mô tả bởi hệ vi phân :

$$f(x, x', x'', \dots, t) = 0$$

- ❖ Đặt nghiệm cần tìm dạng các hàm điều hòa bội (đến cấp cần thiết) của ω :

$$x(t) = \sum_1^n A_k \cdot \cos k\omega t + \sum_1^n B_k \cdot \sin k\omega t$$

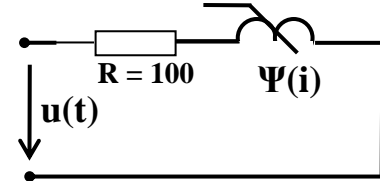
- ❖ Thay nghiệm $x(t)$ vào phương trình mạch và áp dụng nguyên tắc cân bằng điều hòa để tính các giá trị biên độ hiệu dụng A_k, B_k .

➤ **Chú ý:** Cần vận dụng các tính chất của mạch (mạch thuần trở, thuần kháng ...) để đơn giản hóa việc đặt nghiệm.

Chương 3 : Chế độ xác lập dao động trong mạch phi tuyến

III. Phương pháp cân bằng điều hòa

Ví dụ 3.2: Điện cảm có đặc tính phi tuyến $\psi(i) = 2.i - 3,75.i^3$. Dùng phương pháp cân bằng điều hòa tính điều hòa bậc 1 và bậc 3 của áp $u(t)$ nếu biết dòng $i(t) = 0,5\sin 314t$ (A)



➤ Giải:

❖ Lập pt mạch: $u(t) = R.i(t) + \frac{d\psi}{dt} = R.i + \frac{\partial\psi}{\partial i} \cdot \frac{\partial i}{\partial t} \rightarrow u(t) = 100i + 2i' - 11,25i^2i' (*)$

$$i(t) = 0,5 \sin 314t (A) \rightarrow i' = 157 \cos(314t) (A)$$

$$i^2i' = 0,25.157 \sin^2 314t \cdot \cos 314t = 39,25(1 - \cos^2 314t) \cos 314t$$

$$i^2i' = 9,8125 \cos 314t - 9,8125 \cos 942t$$

❖ Đặt nghiệm: $u(t) = A \sin 314t + B \cos 314t + C \sin 942t + D \cos 942t$

❖ Thay vào phương trình (*):

$$VP = 50 \sin 314t + 203,58 \cos 314t + 110,39 \cos 942t \rightarrow \begin{cases} A = 50 \\ B = 203,58 \\ C = 0 \\ D = 110,39 \end{cases}$$

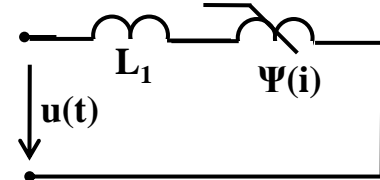
❖ Vậy nghiệm:

$$u(t) = 50 \sin 314t + 203,58 \cos 314t + 110,39 \cos 942t (V)$$

Chương 3 : Chế độ xác lập dao động trong mạch phi tuyến

III. Phương pháp cân bằng điều hòa

Ví dụ 3.3: Xét mạch điện nối tiếp bởi cuộn dây tuyến tính $L_1 = 0,5H$ và một cuộn dây phi tuyến có đặc tính $\psi(i) = a.i - b.i^3 = 0,5.i - 0,01.i^3$ với $-4A < I < 4A$. Cho $u(t) = 300.\cos 314t$ (V). Tìm hàm điều hòa cơ bản của dòng điện xác lập trong mạch.



➤ Giải:

❖ Lập phương trình vi tích phân của mạch:

$$u_{L_1}(t) + u_{L_2}(t) = u(t) \leftrightarrow L_1.i' + \frac{\partial \psi}{\partial i} \cdot \frac{\partial i}{\partial t} = u(t)$$

$$L_1.i' + (a - 3.b.i^2).i' = u(t) \leftrightarrow i' - 0,03.i^2.i' = 300.\cos \omega t$$

❖ Đặt nghiệm: $i(t) = A_m \sin \omega t + B_m \cos \omega t \xrightarrow{\text{Thuần cảm}} i(t) = A_m \sin \omega t$

$$i' = \omega.I_m.\cos \omega t \rightarrow i^2.i' = \omega.I_m^3.\sin^2(\omega t).\cos(\omega t) = 0,5.\omega.I_m^3.\sin(2\omega t).\sin(\omega t)$$

$$i^2 = I_m^2.\sin^2 \omega t \rightarrow i^2.i' = 0,25.\omega.I_m^3.[\cos(\omega t) - \cos(3\omega t)]$$

Chương 3 : Chế độ xác lập dao động trong mạch phi tuyến

III. Phương pháp cân bằng điều hòa

➤ Giải:

❖ Thay vào phương trình:

$$\omega \cdot I_m \cdot \cos \omega t - 0,03 \cdot 0,25 \cdot \omega I_m^3 \cdot [\cos(\omega t) - \cos(3\omega t)] = 300 \cdot \cos(\omega t)$$

❖ Cân bằng điều hòa cùng cấp:

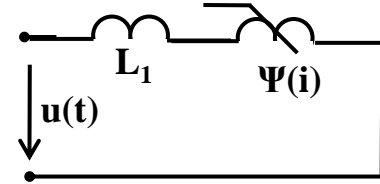
$$\omega \cdot I_m - 0,0075 \cdot \omega \cdot I_m^3 = 300$$

$$3,26 \cdot I_m^3 - 314 \cdot I_m + 300 = 0$$

❖ Giải phương trình ta có: $I_{1m} = 0,96 \text{ (A)}$; $I_{2m} = -10,26 \text{ (A)}$; $I_{3m} = 9,3 \text{ (A)}$

❖ Vậy dòng điện trong mạch là:

$$i(t) = 0,96 \cdot \sin(314t) \text{ (A)}$$





Chương 3: Chế độ xác lập dao động trong mạch phi tuyến

I. Khái niệm chung.

II. Phương pháp đồ thị với giá trị tức thời.

III. Phương pháp cân bằng điều hòa.

IV. Phương pháp điều hòa tương đương.

V. Phương pháp tuyến tính hóa quanh điểm làm việc.

IV. Phương pháp điều hòa tương đương

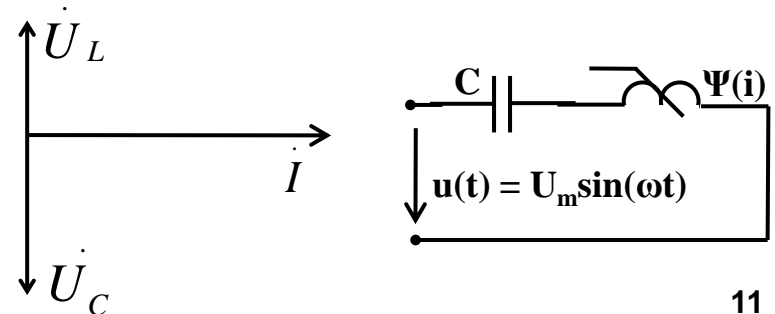
➤ Phương pháp điều hòa tương đương dùng để giải bài toán *phần tử phi tuyến có quán tính*:

- ❖ Với trị tức thời \sim có thể coi phần tử phi tuyến có quán tính như phần tử tuyến tính.
- ❖ Với kích thích điều hòa \rightarrow đáp ứng rất gần với điều hòa.
- ❖ Bỏ qua hiện tượng tạo tần số \rightarrow có thể lập phương trình phức với trị hiệu dụng.

1. Phương pháp đồ thị với trị hiệu dụng:

Ví dụ 3.4: Xét mạch thuần kháng gồm tụ điện C mắc nối tiếp với một cuộn dây phi tuyến có quán tính cung cấp bằng nguồn áp điều hòa.

➤ Phương trình mạch:

$$\dot{U} = \dot{U}_L + \dot{U}_C$$
$$U = |U_L - U_C|$$


Chương 3 : Chế độ xác lập dao động trong mạch phi tuyến

IV. Phương pháp điều hòa tương đương

1. Phương pháp đồ thị với trị hiệu dụng:

- Từ phương trình, ta có đồ thị dạng chữ N.
- Hiện tượng trigơ dòng (đa trạng thái dòng):

❖ **Tăng áp** liên tục từ $0 \rightarrow \infty$:

- ☐ Dòng tăng từ điểm $0 \rightarrow a$.
- ☐ Dòng nhảy từ $a \rightarrow c$.
- ☐ Dòng tăng liên tục từ $c \rightarrow \infty$.

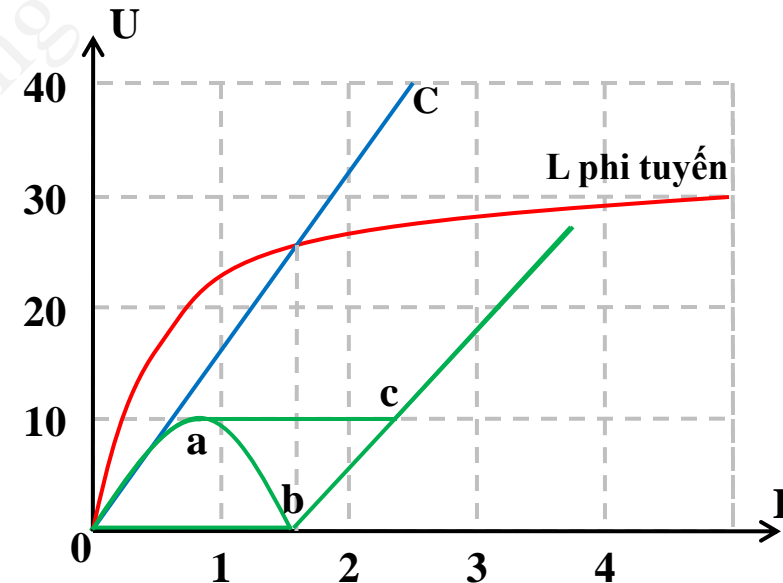
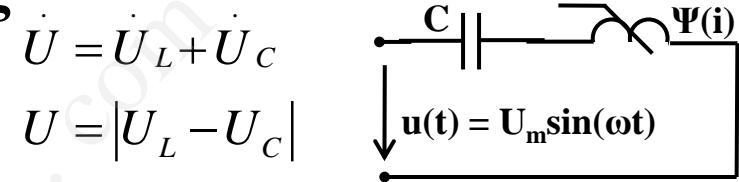
❖ **Giảm áp** liên tục từ $\infty \rightarrow 0$:

- ☐ Dòng giảm từ $\infty \rightarrow c \rightarrow b$.
- ☐ Dòng nhảy từ $b \rightarrow \sim 0$ (do có điện áp rơi trên điện trở của cuộn dây).

❖ **Tăng (giảm) dòng** liên tục từ $0 \rightarrow \infty$ ($\infty \rightarrow 0$): Ta thu được toàn bộ đặc tính chữ N.

➤ Tính chất:

- ❖ Đa trạng thái về dòng điện: một giá trị áp có 2 - 3 trạng thái dòng.
- ❖ Tồn tại 2 trạng thái ổn định của áp: 1 khi áp tăng, 1 khi áp giảm.



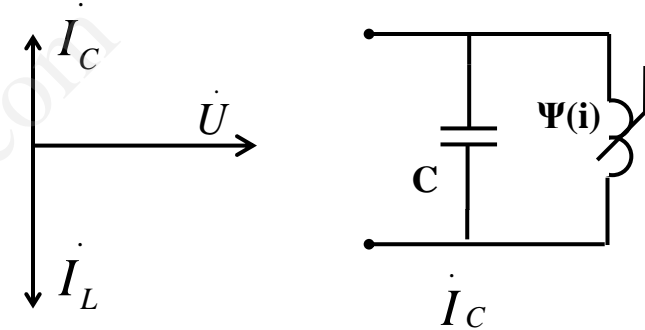
Chương 3 : Chế độ xác lập dao động trong mạch phi tuyến

IV. Phương pháp điều hòa tương đương

1. Phương pháp đồ thị với trị hiệu dụng:

Ví dụ 3.5: Xét mạch thuần kháng gồm tụ C mắc song song với một cuộn dây phi tuyến có quán tính.

- Phương trình mạch: $I = I_L + I_C$; $I = |I_L - I_C|$
- Hiện tượng trigơ áp (đa trạng thái áp):

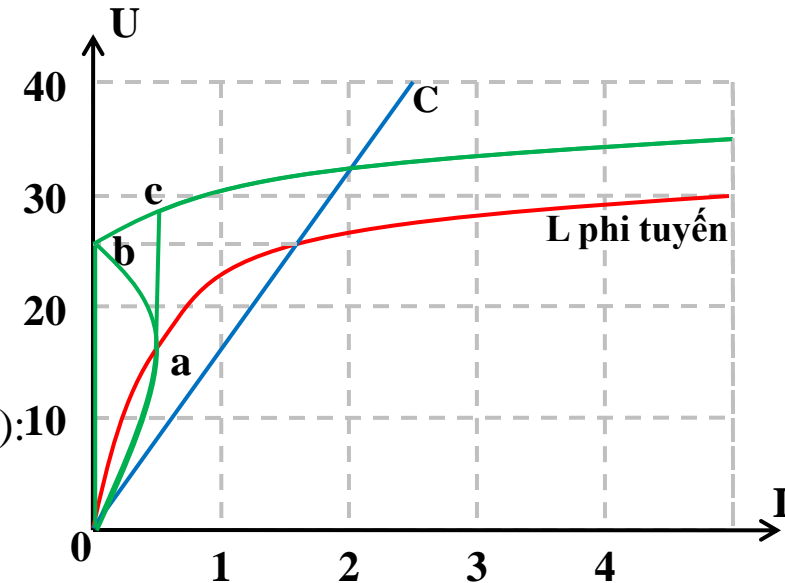


❖ **Tăng dòng** liên tục từ $0 \rightarrow \infty$:

- ☐ Áp tăng từ điểm $0 \rightarrow a$.
- ☐ Áp nhảy từ $a \rightarrow c$.
- ☐ Áp tăng liên tục từ $c \rightarrow \infty$.

❖ **Giảm dòng** liên tục từ $\infty \rightarrow 0$:

- ☐ Áp giảm từ $\infty \rightarrow c \rightarrow b$.
- ☐ Áp nhảy từ $b \rightarrow \sim 0$.
- ☐ **Tăng (giảm) áp** liên tục từ $0 \rightarrow \infty$ ($\infty \rightarrow 0$):
Ta thu được toàn bộ đặc tính.



➤ **Tính chất:**

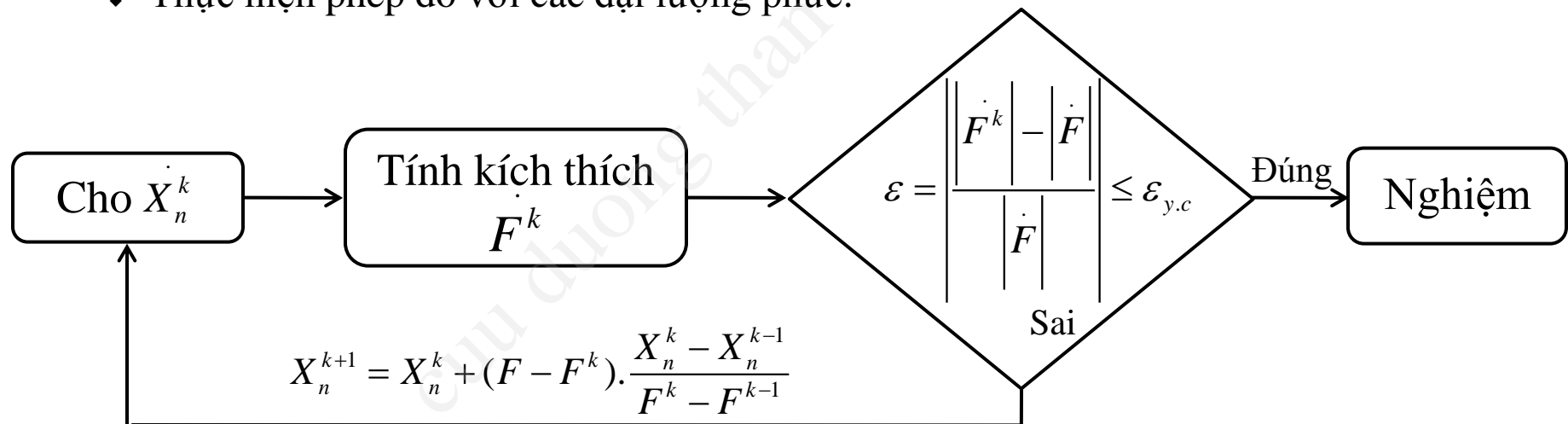
- ❖ Đa trạng thái về điện áp.
- ❖ Tồn tại 2 trạng thái ổn định của dòng.

IV. Phương pháp điều hòa tương đương

2. Phương pháp dò phức:

➤ Nội dung:

- ❖ Thuật toán dò giống với phép dò đã xét.
- ❖ Thực hiện phép dò với các đại lượng phức.

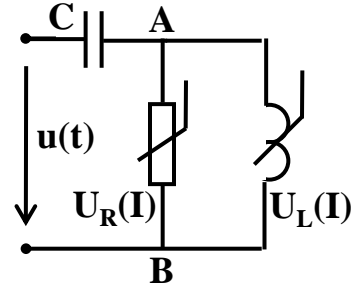


- **Chú ý:** Trong phương pháp dò phức, nói chung góc pha của các đại lượng phức được hiệu chỉnh sau khi dò.

IV. Phương pháp điều hòa tương đương

2. Phương pháp dò phức:

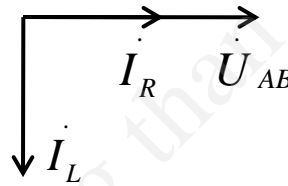
Ví dụ 3.6: Cho mạch điện, biết phần tử phi tuyến có quán tính có đặc tính như hình vẽ. Biết $u(t) = 130\sqrt{2} \sin(10^3 t + 30^\circ) (V)$, tụ điện tuyến tính $C = 20\mu F$. Tìm điện áp trên các phần tử.



Giải:

❖ Lập phương trình mạch:

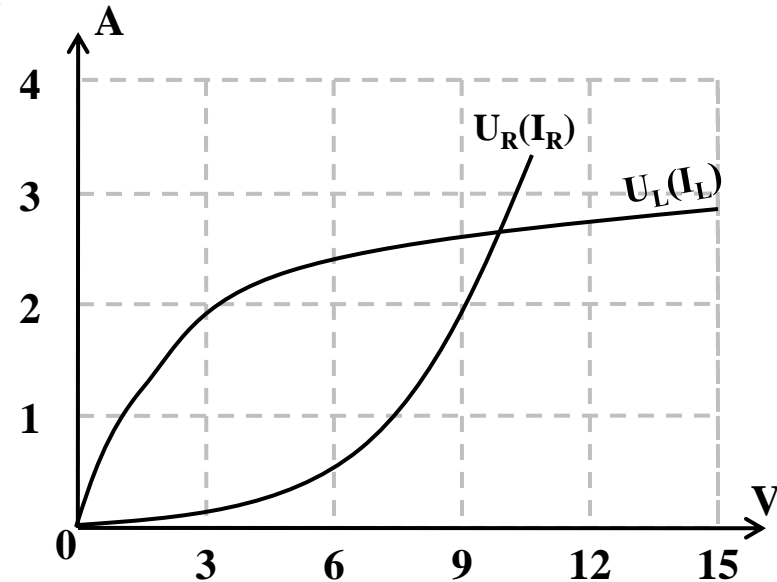
$$\begin{cases} \dot{U}_R = \dot{U}_L = \dot{U}_{AB} \\ \dot{I}_C = \dot{I}_R + \dot{I}_L \end{cases}$$



❖ Các bước dò:

Cho $\dot{U}_{AB} = U_{AB} \angle 0^\circ (V)$ $\xrightarrow{\text{Tra đồ thị}}$ $\begin{cases} \dot{I}_R = I_R \angle 0^\circ (A) \\ \dot{I}_L = I_L \angle -90^\circ (A) \end{cases}$

Tính $\dot{I}_C = I_C \angle \varphi^0 = \dot{I}_R + \dot{I}_L \longrightarrow$ Tính $\begin{cases} \dot{U}_C = \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C} \cdot \dot{I}_C \\ \dot{U} = \dot{U}_C + \dot{U}_{AB} \end{cases} \xrightarrow{\text{So sánh}} |\dot{U}_{\text{tinh}}| = 130$

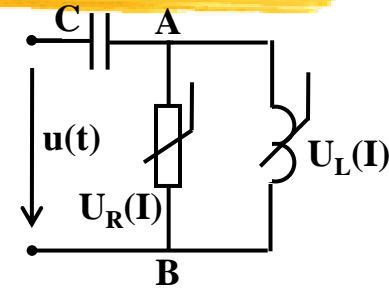


Chương 3 : Chế độ xác lập dao động trong mạch phi tuyến

IV. Phương pháp điều hòa tương đương

2. Phương pháp dò phức:

❖ Bảng kết quả dò:



n	$U_{AB}(V)$	$I_L(A)$	$I_R(A)$	$\dot{I}_C(A)$	$\dot{U}_C(V)$	$\dot{U}_{tinh}(V)$	So sánh
1	$6\angle 0$	$2,3\angle -90$	$0,5\angle 0$	$2,35\angle -77,74$	$117,5\angle -167,74$	$111,64\angle -167,09$	$< 130V$
2	$9\angle 0$	$2,6\angle -90$	$2\angle 0$	$3,28\angle -52,43$	$164\angle -142,43$	$156,97\angle -140,43$	$> 130V$
3	$7,5\angle 0$	$2,5\angle -90$	$1\angle 0$	$2,69\angle -68,2$	$134,5\angle -158,2$	$127,59\angle -156,93$	$\sim 130V$

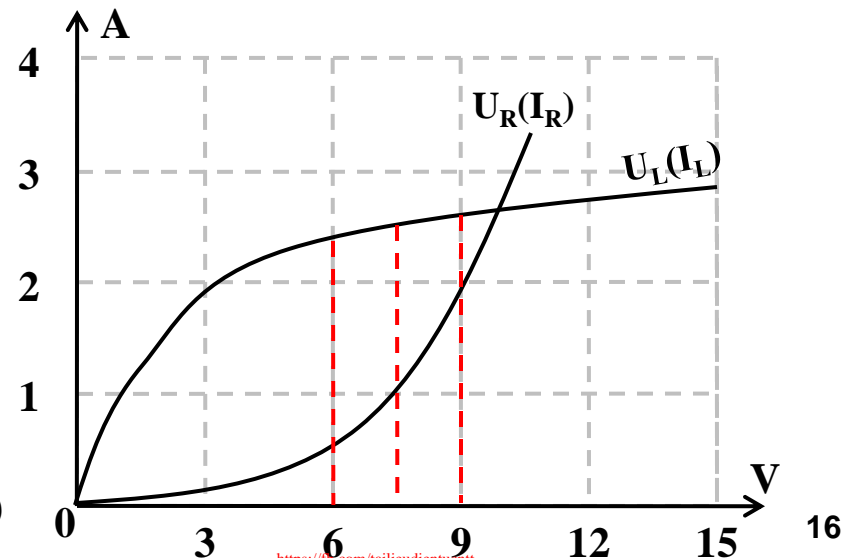
$$\varepsilon\% = \left| \frac{U_{tinh} - U_{cho}}{U_{cho}} \right| = \left| \frac{127,59 - 130}{130} \right| = 1,85\%$$

❖ Hiệu chỉnh góc pha:

$$\dot{U} = 130\angle 30(V) \rightarrow \begin{cases} \dot{U}_{AB} = 7,5\angle 186,93(V) \\ \dot{U}_C = 134,5\angle 28,73(V) \end{cases}$$

$$\rightarrow \dot{I}_L = 2,5\angle 96,93(A) ; \dot{I}_R = 1\angle 186,93(A)$$

$$\dot{I}_C = 2,69\angle 118,73(A)$$

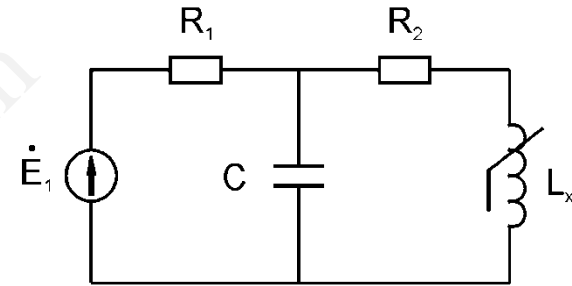


Chương 3 : Chế độ xác lập dao động trong mạch phi tuyến

IV. Phương pháp điều hòa tương đương

2. Phương pháp dò phức:

Ví dụ 3.7: Cho mạch điện, biết nguồn điều hòa $E_1 = 20V$, $\omega = 5 \text{ rad/s}$, $R_1 = 20\Omega$, $R_2 = 10\Omega$, $Z_C = -j10\Omega$. Cuộn dây phi tuyến có đặc tính phi tuyến theo trị hiệu dụng cho theo bảng. Tính công suất phát của nguồn và công suất tiêu tán trên R_1 , R_2 .



Giải:

❖ Các bước dò:

$$\begin{aligned} \text{Cho } \dot{I}_L = I_L \angle 0^\circ &\rightarrow \dot{U}_L = \omega \frac{\psi}{I} I \angle 90^\circ \rightarrow \dot{U}_{R2} = R_2 I_L \angle 0^\circ \rightarrow \dot{U}_C = \dot{U}_{R2} + \dot{U}_L \\ &\rightarrow \dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C}{Z_C} \rightarrow \dot{I}_{R1} = \dot{I}_{R2} + \dot{I}_C \rightarrow \dot{E}_{1\text{tính}} = R_1 \cdot \dot{I}_{R1} + \dot{U}_C \end{aligned}$$

❖ Bảng kết quả dò:

n	\dot{I}_L	\dot{U}_L	\dot{U}_{R2}	\dot{U}_C	\dot{I}_C	\dot{I}_{R1}	$\dot{E}_{1\text{tính}}$
1	$0.5 \angle 0^\circ$	$4.5 \angle 90^\circ$	$5 \angle 0^\circ$	$6.73 \angle 41.99^\circ$	$0.67 \angle 131.99^\circ$	$0.5 \angle 84.06^\circ$	$15.71 \angle 67.39^\circ$
2	$0.75 \angle 0^\circ$	$7 \angle 90^\circ$	$7.5 \angle 0^\circ$	$10.26 \angle 43.03^\circ$	$1.03 \angle 133.03^\circ$	$0.75 \angle 86.41^\circ$	$23.56 \angle 69.01^\circ$

Chương 3 : Chế độ xác lập dao động trong mạch phi tuyến

IV. Phương pháp điều hòa tương đương

2. Phương pháp dò phức:

❖ Bảng kết quả dò:

$$X_n^{k+1} = X_n^k + (F - F^k) \cdot \frac{X_n^k - X_n^{k-1}}{F^k - F^{k-1}}$$

n	\dot{I}_L	\dot{U}_L	\dot{U}_{R2}	\dot{U}_C	\dot{I}_C	\dot{I}_{R1}	$\dot{E}_{1\text{tính}}$
1	0.5 0°	4.5 90°	5 0°	6.73 41.99°	0.67 131.99°	0.5 84.06°	15.71 67.39°
2	0.75 0°	7 90°	7.5 0°	10.26 43.03°	1.03 133.03°	0.75 86.41°	23.56 69.01°
3	0.64 0°	5.9 90°	6.4 0°	8.7 42.67°	0.87 132.67°	0.64 85.53°	20.11 68.41°

❖ Áp dụng công thức nội suy tuyến tính:

$$|\dot{I}_L| = 0,5 + (20 - 15,71) \frac{0,5 - 0,75}{15,71 - 23,56} = 0,64 \quad |\dot{U}_L| = 4,5 + (0,64 - 0,5) \frac{7 - 4,5}{0,75 - 0,5} = 5,9$$

❖ Công suất phát của nguồn:

$$P_{E_1} = \text{Re}(\dot{E}_1 \cdot \dot{I}_{R1}^*) = \text{Re}(20,11 \angle 68,41^\circ \cdot 0,64 \angle -85,53^\circ) = 12,30(W)$$

❖ Công suất tiêu tán trên điện trở:

$$P_{R_1} = R_1 |\dot{I}_{R1}|^2 = 20 \cdot 0,64^2 = 8,19(W) \quad P_{R_2} = R_2 |\dot{I}_{R2}|^2 = 10 \cdot 0,64^2 = 4,10(W)$$



Chương 3: Chế độ xác lập dao động trong mạch phi tuyến

I. Khái niệm chung.

II. Phương pháp đồ thị với giá trị tức thời.

III. Phương pháp cân bằng điều hòa.

IV. Phương pháp điều hòa tương đương.

V. Phương pháp tuyến tính hóa quanh điểm làm việc.

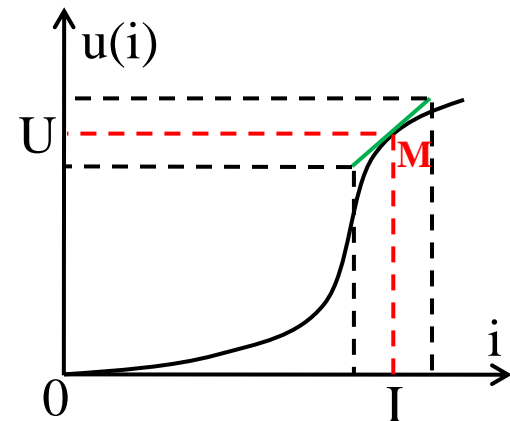
V. Phương pháp tuyến tính hóa quanh điểm làm việc

1. Khái niệm:

- Phương pháp tuyến tính hóa quanh điểm làm việc là phương pháp tìm cách thay thế đặc tính phi tuyến của một phần tử phi tuyến bằng đoạn thẳng tuyến tính tại điểm làm việc của phần tử phi tuyến đó.
- Quá trình tuyến tính hóa đặc tính phi tuyến tại điểm 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, tại vị trí điểm làm việc M, mạch phi tuyến được xét như một mạch tuyến tính.





Chương 3 : Chế độ xác lập dao động trong mạch phi tuyến



V. Phương pháp tuyến tính hóa quanh điểm làm việc

2. Nội dung

- Phương pháp tuyến tính hóa quanh điểm làm việc thường được sử dụng giải mạch phi tuyến có nguồn kích thích chu kỳ (1 chiều + xoay chiều điều hòa các tần số) trong đó thành phần 1 chiều có biên độ lớn hơn nhiều so với thành phần điều hòa.
 - ❖ Xét thành phần *1 chiều* : Tìm *điểm làm việc* của mạch.
 - ❖ Xét *thành phần điều hòa*:
 - ☐ Gây ra *dao động nhỏ xung quanh điểm làm việc*.
 - ☐ Thay thế phần tử phi tuyến bằng **hệ số động K_d** .
 - ☐ Xét và giải mạch tuyến tính.
 - ❖ Tổng hợp nghiệm.

V. Phương pháp tuyến tính hóa quanh điểm làm việc

Ví dụ 3.8: Cho mạch điện biết $e_1(t) = \sqrt{2} \sin 10^3 t (V)$. Điện trở phi tuyến có đặc tính $U(I)$ như hình vẽ. Tính dòng điện qua nhánh không nguồn.

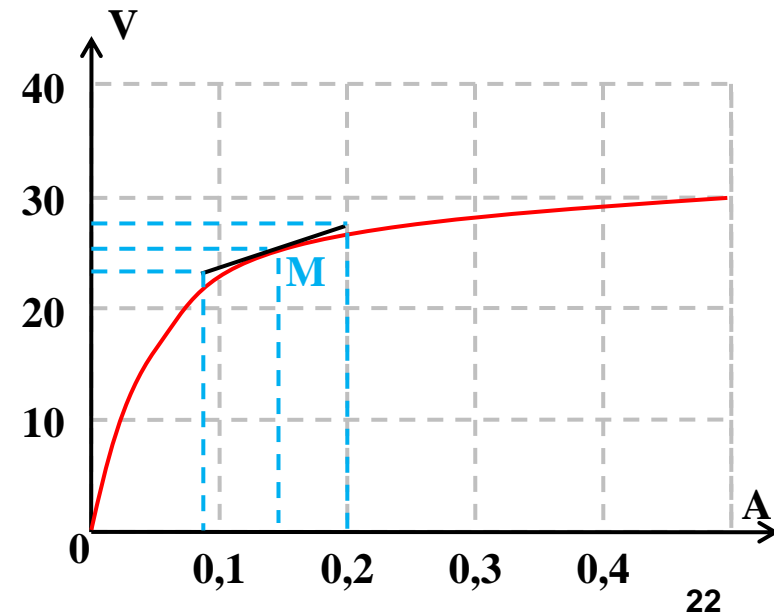
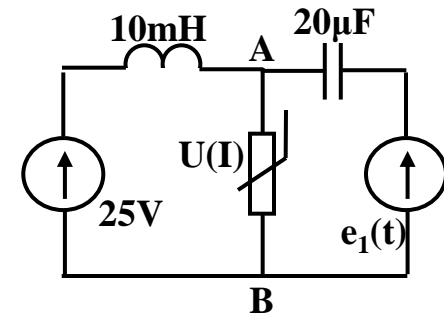
Giải:

➤ **Xét thành phần 1 chiều:** $U(I) = 25V \rightarrow$ dùng phương pháp đồ thị xác định được điểm làm việc $M(0,14A ; 25V)$.

➤ **Xét thành phần xoay chiều:**

- Kẻ tiếp tuyến của đặc tính tại điểm làm việc M
- Thay điện trở phi tuyến bằng hệ số động R_d

$$R_d = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{27 - 22}{0,2 - 0,09} \approx 46\Omega$$



Chương 3 : Chế độ xác lập dao động trong mạch phi tuyến

V. Phương pháp tuyến tính hóa quanh điểm làm việc

Giải:

➤ Xét thành phần xoay chiều:

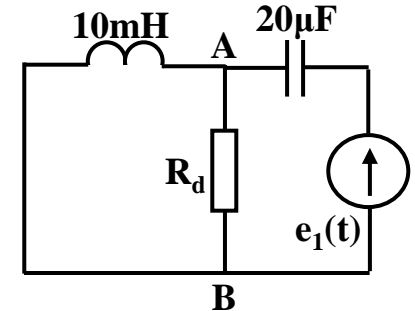
❖ Tính dòng điện trong các nhánh

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{E}_1}{Z_C + \frac{R_d \cdot Z_L}{R_d + Z_L}} = \frac{1 \angle 0^\circ}{2,0758 - j \cdot 40,4513} = 0,0013 + j \cdot 0,0247(A)$$

$$\dot{I}_R = \frac{Z_L}{R + Z_L} \dot{I}_C = \frac{-0,0051 + j \cdot 0,0014}{0,0052 \angle 165^\circ} (A)$$

➤ Tổng hợp nghiệm:

$$i_R(t) = i_0 + i_1(t) = 0,14 + 0,0052 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(10^3 t + 165^\circ)(A)$$

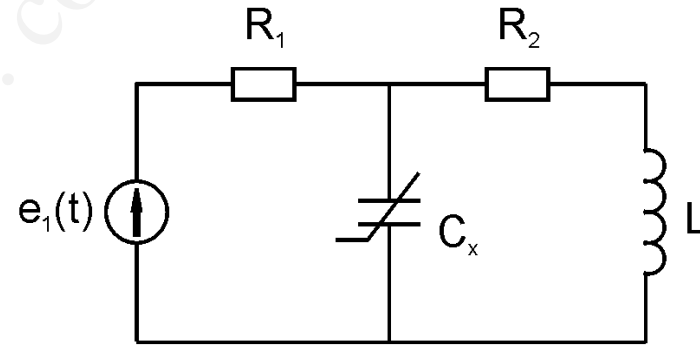


V. Phương pháp tuyến tính hóa quanh điểm làm việc

Ví dụ 3.9: Cho mạch điện biết $e_1(t) = 50 + 2\sin 5.t(V)$, $R_1 = 10\Omega$, $R_2 = 15\Omega$, $L = 0.1H$, tụ điện phi tuyến C_x có đặc tính $q = 10^{-3}u + 10^{-5}u^3$. Tính công suất trên R_1 , R_2 .

Giải:

➤ Xét thành phần 1 chiều: $E_{10} = 50V$



$$I_1 = \frac{E_{10}}{R_1 + R_2} = \frac{50}{25} = 2(A) \quad \rightarrow \text{Điểm làm việc của } C_x : U_C = U_{R_2} = R_2 I_1 = 30(V)$$

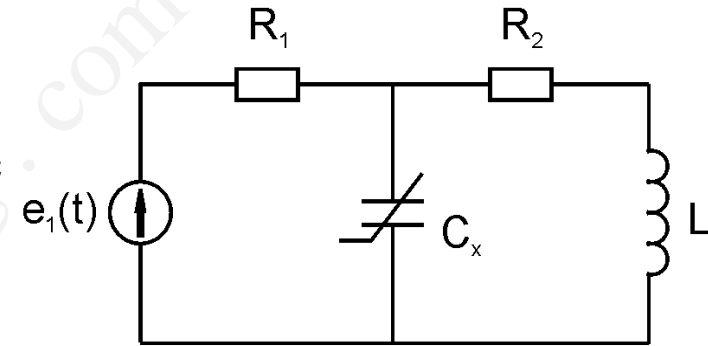
Tuyến tính hóa tụ phi tuyến bằng hệ số động:

$$C_d = q'(u) \Big|_{u=30} = \left(10^{-3} + 10^{-5} \cdot 3u^2 \right) \Big|_{u=30} = 0,028(F)$$

Chương 3 : Chế độ xác lập dao động trong mạch phi tuyến

V. Phương pháp tuyến tính hóa quanh điểm làm việc

Ví dụ 3.9: Cho mạch điện biết $e_1(t) = 50 + 2 \sin 5.t(V)$, $R_1 = 10\Omega$, $R_2 = 15\Omega$, $L = 0.1H$, tụ điện phi tuyến C_x có đặc tính $q = 10^{-3}u + 10^{-5}u^3$. Tính công suất trên R_1 , R_2 .



Giải:

➤ Xét thành phần xoay chiều: $\dot{E}_{11} = \sqrt{2} \angle 0^\circ V$

$$Z_L = j\omega L = j.5.0,1 = j0,5\Omega \quad ; \quad Z_{C_d} = -j \frac{1}{\omega C} = -j \frac{1}{5.0,028} = -j7,14\Omega$$

$$Z_{td} = R_1 + [Z_{C_d} // (R_2 + Z_L)] = 14,12 \angle -24,61^\circ \Omega$$

$$\rightarrow \dot{I}_{R1} = \frac{\dot{E}_{11}}{Z_{td}} = 0,1 \angle 24,61^\circ A \quad \rightarrow \dot{I}_{R2} = \frac{Z_{C_d}}{Z_{C_d} + R_2 + Z_L} \dot{I}_{R1} = 0,044 \angle -41,51^\circ A$$

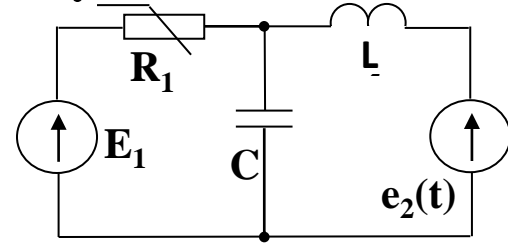
$$P_{R_1} = 10.2^2 + 10.0,1^2 = 40,10(W)$$

$$P_{R_2} = 15.2^2 + 15.0,044^2 = 60,03(W)$$

Chương 3 : Chế độ xác lập dao động trong mạch phi tuyến

V. Phương pháp tuyến tính hóa quanh điểm làm việc

Ví dụ 3.10: Cho mạch phi tuyến ở chế độ xác lập điều hòa. Biết $E_1 = 15V$ (1 chiều), $C = 20\mu F$, $L = 20mH$, $e_2(t) = 2\sqrt{2} \sin 1000t(V)$, điện trở phi tuyến có đặc tính cho trong bảng. Tính áp $u_C(t)$ và công suất của nguồn.



I(A)	0	0.4	1.6	2	2.5	3
U(V)	0	13.5	16.5	20	22	23

Giải:

➤ Xét thành phần 1 chiều:

Đoạn chứa điểm làm việc: $(0.4A ; 13.5V) - (1.6A ; 16.5V)$

$$I = 1.6 + (15 - 16.5) \cdot \frac{1.6 - 0.4}{16.5 - 13.5} = 1(A) \rightarrow \text{Điểm làm việc: } (1A ; 15V)$$

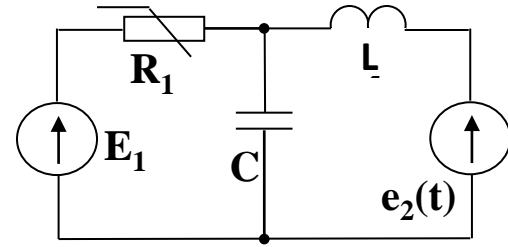
Tuyến tính hóa điện trở phi tuyến bằng hệ số động:

$$R_d = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{16.5 - 13.5}{1.6 - 0.4} = 2.5\Omega$$

Chương 3 : Chế độ xác lập dao động trong mạch phi tuyến

V. Phương pháp tuyến tính hóa quanh điểm làm việc

Ví dụ 3.10: Cho mạch phi tuyến ở chế độ xác lập điều hòa. Biết $E_1 = 15V$ (1 chiều), $C = 20\mu F$, $L = 20mH$, $e_2(t) = 2\sqrt{2}\sin 1000t(V)$, điện trở phi tuyến có đặc tính cho trong bảng. Tính áp $u_C(t)$ và công suất của nguồn.



I(A)	0	0.4	1.6	2	2.5	3
U(V)	0	13.5	16.5	20	22	23

Giải:

➤ Xét thành phần xoay chiều:

$$\dot{U}_C = \frac{\frac{\dot{E}_2}{Z_L}}{\frac{1}{R_d} + \frac{1}{Z_C} + \frac{1}{Z_L}} = 0.2493 \angle -85.7212^\circ$$

Vậy áp $u_C(t)$ là:

$$u_C(t) = 0.2493\sqrt{2} \cdot \sin(1000t - 85.7212^\circ)(V)$$

$$\dot{I}_L = \frac{\dot{E}_2}{Z_L + (R_d // Z_C)} = 0.1 \angle -82.8678^\circ$$

Công suất nguồn 1 chiều:

$$P_{E1} = 15.1 = 15W$$

Công suất nguồn xoay chiều: $P_{E2} = \text{Re}(\dot{E}_2 \cdot \dot{I}_L^*) = 0.0249(W)$