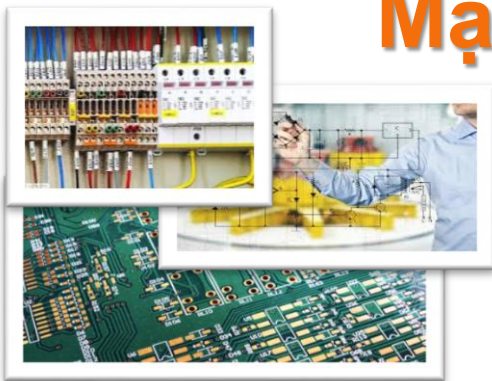


Mạch điện Phi tuyến



Chương 3. Mạch điện phi tuyến ở trạng thái dao động xác lập

- 3.1. Giới thiệu chung
- 3.2. Phương pháp đồ thị - Khuếch đại điện tử và cuộn dây lõi sắt
- 3.3. Phương pháp cân bằng điều hòa
- 3.4. Phương pháp điều hòa tương đương
- 3.5. Phương pháp tuyến tính hóa quanh điểm làm việc
- 3.6. Transistor với tín hiệu biến thiên nhỏ

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.1. Giới thiệu chung

+ Thực tế: nhiều hệ phi tuyến làm việc ở CDDĐ xác lập

→ Nếu không có kích thích chu kỳ: tự dao động phi tuyến

→ Nếu có kích thích chu kỳ: dao động phi tuyến có kích thích

+ Một số tính chất của dao động phi tuyến có kích thích:

→ Dưới kích thích điều hòa tần số ω : đáp ứng của phần tử phi tuyến chứa các tần số bội $m\omega$

$$y(t) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n X_n \cos(n\omega t)$$

→ Dưới kích thích chu kỳ dạng tổng 2 điều hòa ω_1, ω_2 : đáp ứng của phần tử phi tuyến chứa có tần số dạng tổ hợp

$$\omega = m\omega_1 + n\omega_2 \quad (m, n = 0, 1, 2, \dots)$$

→ Dưới kích thích điều hòa tần số ω : đáp ứng có thể chứa ước nguyên của tần số cơ bản ω : $\omega/2; \omega/3; \dots$

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.1. Giới thiệu chung

- + Mạch chứa 2 phần tử L, C lý tưởng, hoặc kích thích thêm 1 nguồn hằng (bù năng lượng mất đi từ các phần tử L, C không lý tưởng) → mạch tự dao động chu kỳ
- + Trong chương này:
 - Xét mạch phi tuyến kích thích bởi nguồn xoay chiều điều hòa
 - Xét mạch phi tuyến kích thích bởi nguồn xoay chiều điều hòa nhỏ + thành phần DC lớn
- + Phương pháp phân tích:
 - Đồ thị
 - Cân bằng điều hòa
 - Điều hòa tương đương
 - Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.2. Phương pháp đồ thị - Khuếch đại điện tử và cuộn dây lõi sắt

3.2.1. Phạm vi áp dụng

+ Phương pháp này sử dụng cho các phương trình mạch phi tuyến đơn giản nhất, dạng:

$$y(t) = f[x(t)]$$

Trong đó: hàm thời gian $x(t)$ và đặc tính $y(x)$ đã cho dưới dạng đồ thị

+ Phương pháp này cũng có thể sử dụng cho các phương trình mạch phi tuyến dạng:

$$y(t) = f[x_1(t), x_2(t)]$$

khi đó ta có họ đường cong, với $x_1(t)$ hoặc $x_2(t)$ cố định

+ Phương pháp cộng, trừ đồ thị như trong chương 2 được áp dụng

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.2. Phương pháp đồ thị - Khuếch đại điện tử và cuộn dây lõi sắt

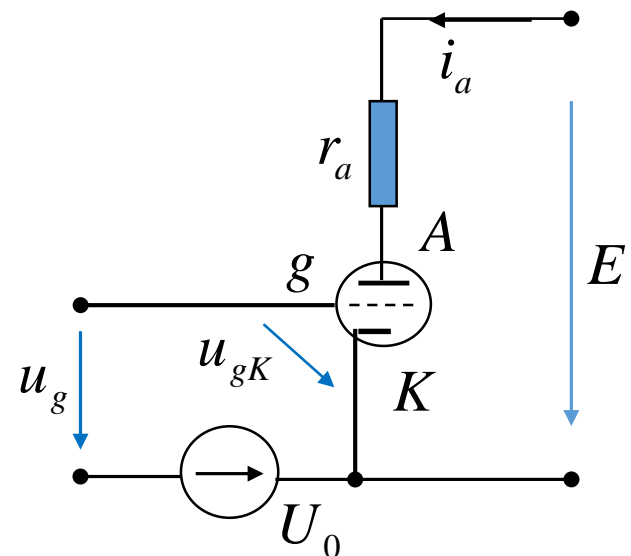
3.2.2. Khuếch đại điện tử

- + **Cửa vào** (cặp cực lưới **g** và ca-tôt **K**): đặt điện áp cần khuếch đại u_g
- + **Cửa ra** (cặp cực a-nôt **A** và ca-tôt **K**): điện áp ra u_{AK}
- + **Điện áp cấp cho mạch**: E (một chiều)
- + **Nguyên tắc hoạt động**:

Để chỉ cho u_g tác động vào đèn:

- **Cấm dòng chảy vào cửa $g-K$** , tức giữ lưới g có điện thế thấp hơn cực K (electron bứt ra từ K sẽ bay về A mà không qua g)
- Thực hiện: đặt trên cửa một **điện áp chỉnh U_0** sao cho

$$u_{g-K} = u_g - U_0 < 0 \rightarrow i_g(t) = 0A$$



- Với điều kiện trên: $u_g(t)$ sẽ có tác dụng **điều khiển dòng a-nôt $i_a(t)$** theo đặc tính $i_a(u_{gK})$

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.2. Phương pháp đồ thị - Khuếch đại điện tử và cuộn dây lõi sắt

3.2.2. Khuếch đại điện tử

+ Vẽ $i_a(t)$ qua đồ thị $i_a(u_{gK})$:

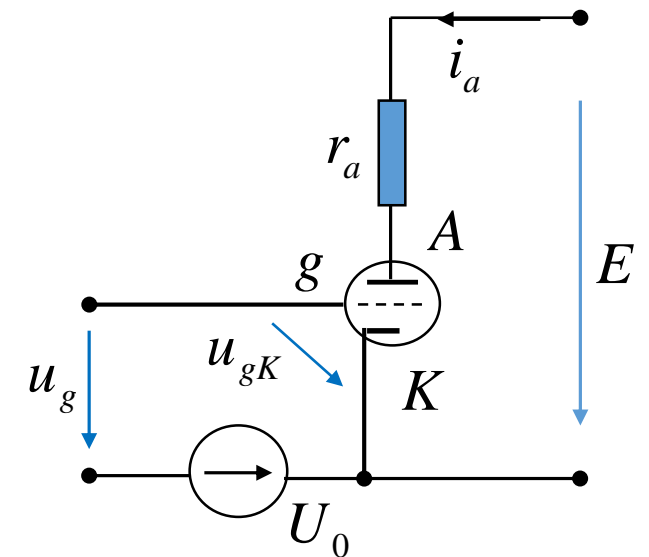
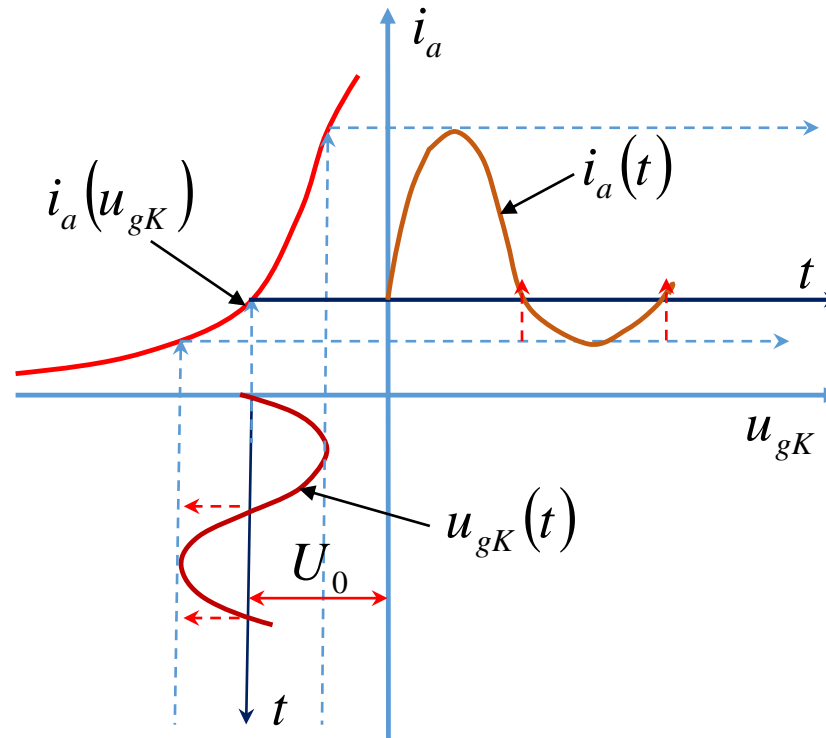
→ điện áp điều khiển $u_{gK}(t)$ được dóng lên đặc tính $i_a(u_{gK})$

→ từ giao điểm dóng song song t_a để có $i_a(t)$

+ Dòng $i_a(t)$ gồm 2 thành phần :

→ Thành phần $i_{a0}(t)$ phụ thuộc độ lớn của U_0

→ Thành phần $i_{at}(t)$ phụ thuộc vào dạng biến thiên của $u_{gK}(t)$



MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

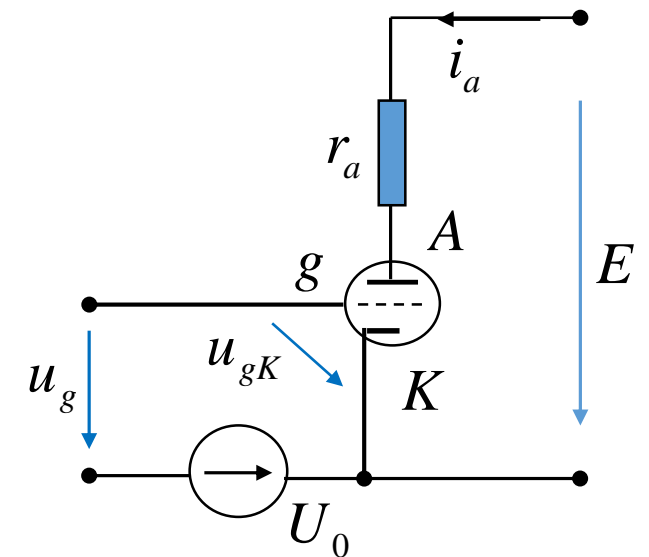
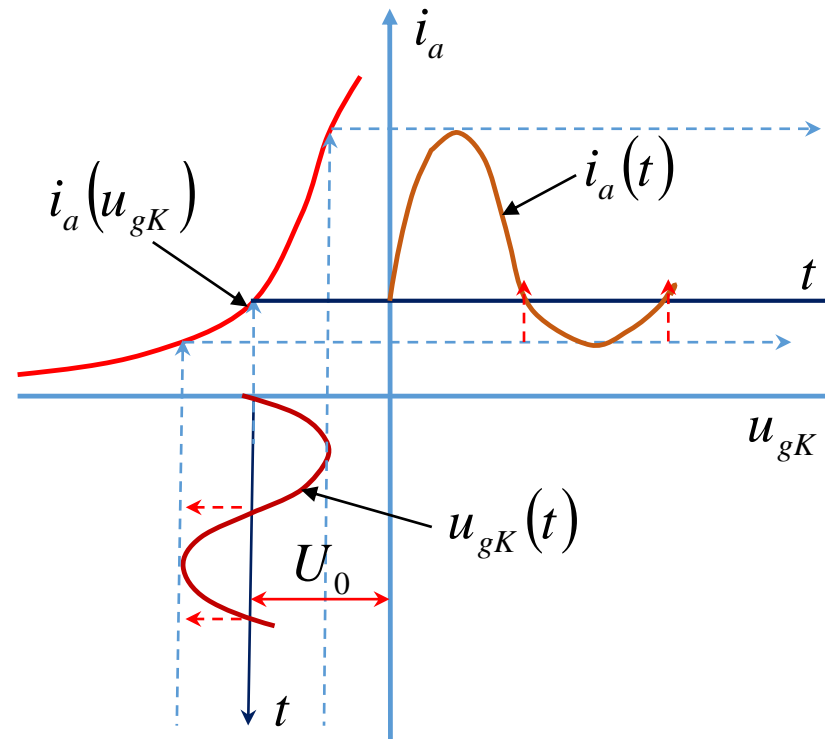
3.2. Phương pháp đồ thị - Khuếch đại điện tử và cuộn dây lõi sắt

3.2.2. Khuếch đại điện tử

+ Nếu biên độ $u_{gK}(t)$ nhỏ ứng với đoạn đồ thị $i_a(u_{gK})$ gần tuyến tính $\rightarrow i_a(t)$ ít méo

+ Nếu biên độ U_0 quá nhỏ hoặc quá lớn ứng với đoạn đồ thị $i_a(u_{gK})$ phi tuyến mạch $\rightarrow i_a(t)$ bị méo

+ Như vậy, tùy độ lớn $u_{gK}(t) \rightarrow i_a(t)$ thay đổi \rightarrow điện áp ra $u_{AK}(t)$ biến thiên \rightarrow điện áp vào $u_{gK}(t)$ được khuếch đại



MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.2. Phương pháp đồ thị - Khuếch đại điện tử và cuộn dây lõi sắt

3.2.3. Cuộn dây lõi sắt

- + **Thường gặp** trong các thiết bị điện như: biến áp, rơ-le, động cơ điện,...
- + **Xét** dạng hàm $i(t)$, $u(t)$ khi một trong các biến đó là điều hòa
- + **Cuộn dây lõi sắt: thường không có quan hệ trực tiếp** $i(t)$ - $u(t)$ mà thường có quan hệ dòng điện – từ thông qua đặc tính phi tuyến $\Psi(i)$

- + **Điện áp trên 2 đầu cuộn dây lõi sắt:**

$$u(t) = \frac{d\psi}{dt}$$

- + **Nếu biết** một hàm, chẳng hạn dòng từ thông $\Psi(t)$ và đặc tính $i(\Psi)$:

→ Có thể dùng phương pháp đồ thị tìm đáp ứng $i(t)$

→ Để tìm $u(t)$ ta thực hiện phép đạo hàm (gần đúng trên đồ thị):

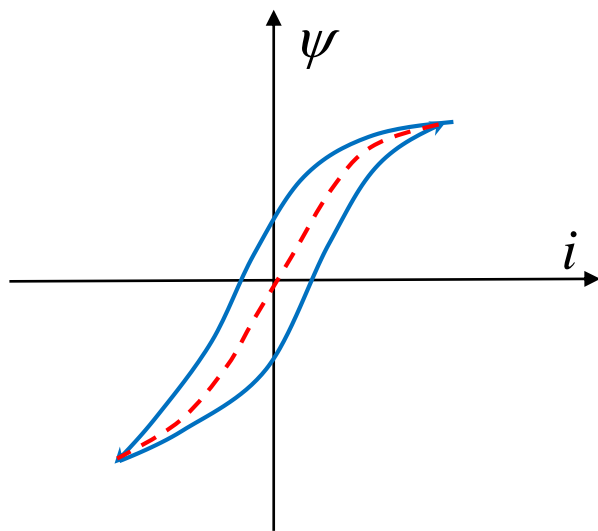
$$u(t) = \frac{d\psi}{dt} = \frac{\Delta\psi}{\Delta t}$$



MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.2. Phương pháp đồ thị - Khuếch đại điện tử và cuộn dây lõi sắt

3.2.3. Cuộn dây lõi sắt



+ Quan hệ $\psi(i)$:

→ có tính chất trễ: các đặc tuyến khi tăng hoặc giảm i không trùng nhau

→ Thường coi đặc tính $\psi(i)$ là 1 đường cong qua gốc tọa độ (bỏ qua tính chất trễ)

→ Ở tần số cao: các đường cong thấp xuống, bè ra và bót nhọn ở đỉnh (gần giống hình ellipse)

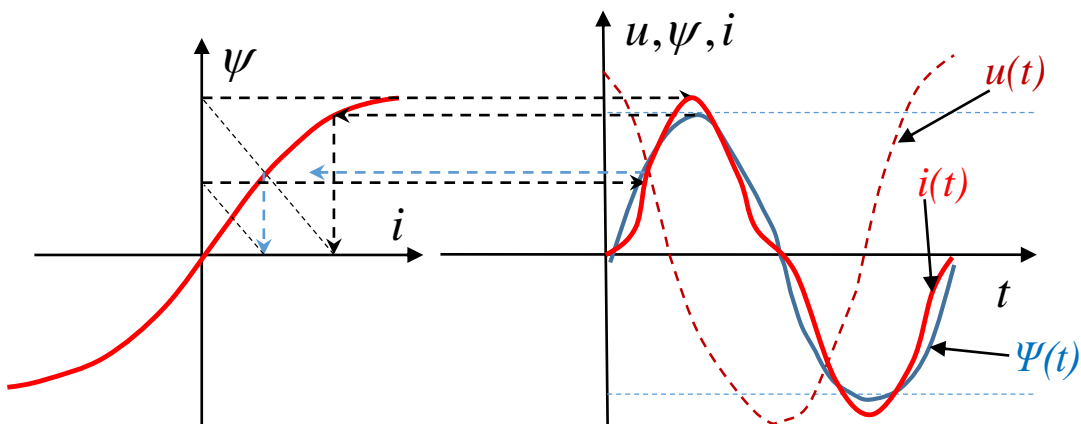
→ Xét cả hai trường hợp $\psi(i)$: bỏ qua tính trễ và kể cả tính trễ

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.2. Phương pháp đồ thị - Khuếch đại điện tử và cuộn dây lõi sắt

3.2.3. Cuộn dây lõi sắt

+ **Đáp ứng $i(t)$** dưới kích thích điều hòa $u(t)$ khi cuộn dây không có từ trễ



→ Kích thích vào cuộn dây bằng 1 điện áp điều hòa:

$$u = U_m \cos(\omega t)$$

→ Từ thông xuyên qua cuộn dây:

$$\psi = -\int u dt = \frac{U_m}{\omega} \sin(\omega t) = \psi_m \sin(\omega t)$$

(vuông pha với điện áp $u(t)$)

→ Dòng $i(t)$ bị méo so với $u(t)$ do đặc tính phi tuyến của $\psi(t)$

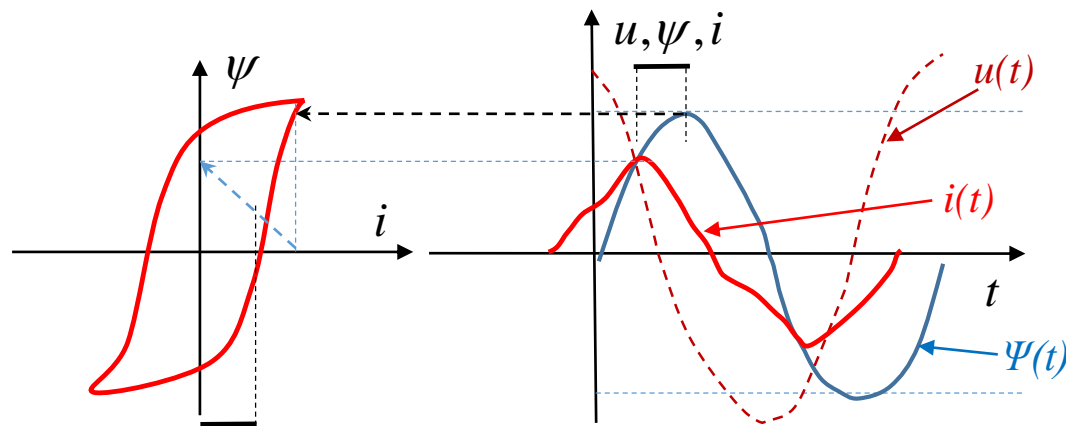
→ Có $i(t)$ và $\psi(t)$ đồng pha nhau và vuông pha với $u(t)$ do cuộn dây phi tuyến không có trễ, đặc tuyến qua gốc tọa độ

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.2. Phương pháp đồ thị - Khuếch đại điện tử và cuộn dây lõi sắt

3.2.3. Cuộn dây lõi sắt

+ **Đáp ứng** $i(t)$ dưới kích thích điều hòa $u(t)$ khi cuộn dây có từ trễ



→ Dòng $i(t)$ bị méo so với $u(t)$ do đặc tính phi tuyến của $\Psi(t)$

→ Có $i(t)$ và $\Psi(t)$ không đồng pha nhau và không vuông pha với $u(t)$ do cuộn dây phi tuyến có trễ, đặc tuyến không qua gốc tọa độ → công suất tiêu tán khác không

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.3. Phương pháp cân bằng điều hòa

3.3.1. Nội dung

+ **Phạm vi áp dụng:** Dùng tìm nghiệm chu kỳ của hệ phương trình mạch phi tuyến, xét tự dao động phi tuyến xác lập hoặc dao động phi tuyến có kích thích chu kỳ

+ **Thực hiện:**

1 - Đưa phương trình Kirchhoff mô tả mạch về dạng: $F(x, \dot{x}, \dots, t) = 0$ (1)

2 – Viết nghiệm chu kỳ $x(t)$ theo khai triển Fourier dạng:

$$x(t) = \sum_{k=1}^n A_k \cos(k\omega t) + \sum_{k=1}^n B_k \sin(k\omega t) \quad (2)$$

3 - Thay biểu thức $x(t)$ vào hệ phương trình mô tả mạch dạng (1), nhóm các số hạng cùng điều hòa với nhau, đưa (1) về dạng:

$$\sum_{k=1}^n C_k \cos(k\omega t) + \sum_{k=1}^n S_k \sin(k\omega t) + \sum \text{dieu_hoa_bac_cao} = 0 \quad (3)$$

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.3. Phương pháp cân bằng điều hòa

3.3.1. Nội dung

+ Thực hiện:

$$\sum_{k=1}^n C_k \cos(k\omega t) + \sum_{k=1}^n S_k \sin(k\omega t) + \sum \text{dieu_hoa_bac_cao} = 0 \quad (3)$$

Trong đó:

→ C_k và S_k là hàm của các biên độ A_k và B_k cần tìm trong phương trình nghiệm dạng (2):

$$C_k(A_1, \dots, A_n; B_1, \dots, B_n) \quad S_k(A_1, \dots, A_n; B_1, \dots, B_n)$$

→ Các điều hòa bậc cao là các phép tính phi tuyến (lũy thừa, tích,...) lên $x(t)$ và đạo hàm của nó4 - Đồng nhất bằng không các hệ số của (3) để tìm A_k, B_k :

$$\begin{cases} C_1(A_1, \dots, A_n; B_1, \dots, B_n) = 0 \\ S_1(A_1, \dots, A_n; B_1, \dots, B_n) = 0 \\ \dots \\ S_n(A_1, \dots, A_n; B_1, \dots, B_n) = 0 \end{cases}$$

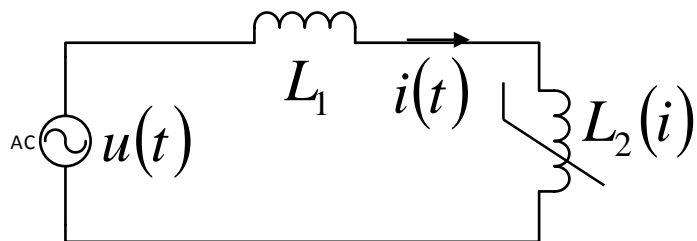
3

MẠCH ĐIỆN PHI TUYẾN

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.3. Phương pháp cân bằng điều hòa

3.3.2. Ví dụ áp dụng



Cho mạch điện như hình vẽ. Trong đó: $L_1 = 0,5\text{H}$; cuộn dây phi tuyến L_2 có đặc tính $\Psi(i)$ trong khoảng $-4\text{A} \leq i \leq 4\text{A}$ là:

$$\psi = ai - bi^3 = 0,5i - 0,01i^3$$

nguồn áp xoay chiều $u(t) = 300\cos(314t)$ V. Tìm điều hòa cơ bản của dòng điện $i(t)$ xác lập?

Giải

+ Ta có phương trình mô tả mạch:

$$u = L_1 \frac{di}{dt} + \frac{d\psi}{dt} = L_1 \frac{di}{dt} + \frac{\partial \psi}{\partial i} \cdot \frac{di}{dt} \Rightarrow u = L_1 \frac{di}{dt} + (a - 3bi^2) \frac{di}{dt} = (L_1 + a - 3bi^2) \frac{di}{dt}$$

$$\Rightarrow -3bi^2 \frac{di}{dt} + (L_1 + a) \frac{di}{dt} - U_m \cos(\omega t) = 0 \quad (1)$$

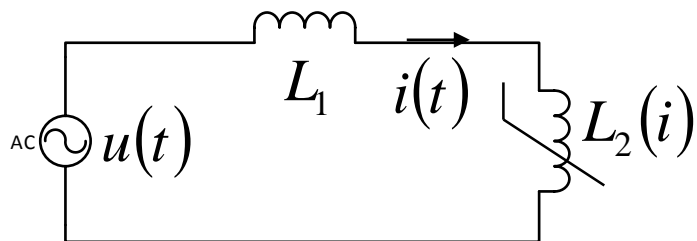
3

MẠCH ĐIỆN PHI TUYẾN

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.3. Phương pháp cân bằng điều hòa

3.3.2. Ví dụ áp dụng



Cho mạch điện như hình vẽ. Trong đó: $L_1 = 0,5\text{H}$; cuộn dây phi tuyến L_2 có đặc tính $\Psi(i)$ trong khoảng $-4\text{A} \leq i \leq 4\text{A}$ là:

$$\psi = ai - bi^3 = 0,5i - 0,01i^3$$

nguồn áp xoay chiều $u(t) = 300\cos(314t)$ V. Tìm điều hòa cơ bản của dòng điện $i(t)$ xác lập?

Giải

+ Do chỉ cần tìm điều hòa cơ bản của dòng điện nên đặt nghiệm dạng:

$$i = A\cos(\omega t) + B\sin(\omega t)$$

+ Mặt khác, $\Psi(i)$ là đường cong qua gốc tọa độ (không trễ) nên $i(t)$ và $u(t)$ vuông pha, tức:

$$i = B\sin(\omega t) \quad (2)$$

+ Thay (2) vào (1), ta có: $-3bB^3 \sin^2(\omega t)\omega \cos(\omega t) + (L_1 + a)B\omega \cos(\omega t) - U_m \cos(\omega t) = 0$

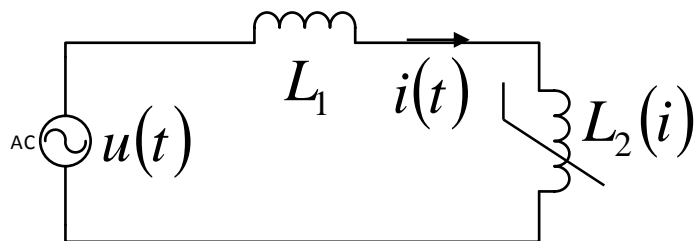
3

MẠCH ĐIỆN PHI TUYẾN

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.3. Phương pháp cân bằng điều hòa

3.3.2. Ví dụ áp dụng



Cho mạch điện như hình vẽ. Trong đó: $L_1 = 0,5\text{H}$; cuộn dây phi tuyến L_2 có đặc tính $\Psi(i)$ trong khoảng $-4\text{A} \leq i \leq 4\text{A}$ là:

$$\psi = ai - bi^3 = 0,5i - 0,01i^3$$

nguồn áp xoay chiều $u(t) = 300\cos(314t)$ V. Tìm điều hòa cơ bản của dòng điện $i(t)$ xác lập?

Giải

$$\Rightarrow -3b\omega B^3 \frac{1 - \cos(2\omega t)}{2} \cos(\omega t) + (L_1 + a)\omega B \cos(\omega t) - U_m \cos(\omega t) = 0$$

$$\Rightarrow \left[-\frac{3}{2}b\omega B^3 + (L_1 + a)\omega B - U_m \right] \cos(\omega t) + \frac{3}{2}b\omega B^3 \cos(2\omega t)\cos(\omega t) = 0 \quad (3)$$

+ Đồng nhất bằng không hệ số thành phần cơ bản của (3): $-\frac{3}{2}b\omega B^3 + (L_1 + a)\omega B - U_m = 0$

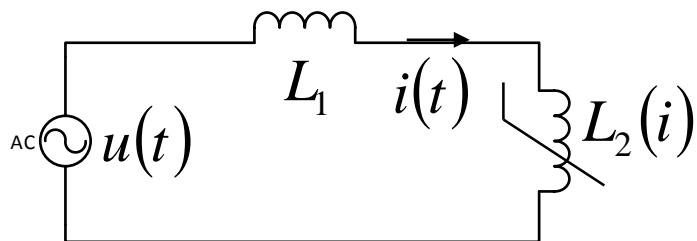
3

MẠCH ĐIỆN PHI TUYẾN

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.3. Phương pháp cân bằng điều hòa

3.3.2. Ví dụ áp dụng



Cho mạch điện như hình vẽ. Trong đó: $L_1 = 0,5H$; cuộn dây phi tuyến L_2 có đặc tính $\Psi(i)$ trong khoảng $-4A \leq i \leq 4A$ là:

$$\psi = ai - bi^3 = 0,5i - 0,01i^3$$

nguồn áp xoay chiều $u(t) = 300\cos(314t)$ V. Tìm điều hòa cơ bản của dòng điện $i(t)$ xác lập?

Giải

+ Thay số, thu được: $-4,71B^3 + 314B - 300 = 0 \Leftrightarrow (B - 0,97)(4,71B^2 + 4,5678B - 309,5680) = 0$

+ Ta có nghiệm:

$$B_1 = 0,97 \quad B_2 = -8,61 \quad B_3 = 7,64$$

+ Do $-4A \leq i \leq 4A$ nên chỉ có B_1 thỏa mãn. Vậy thành phần cơ bản cần tìm của dòng điện $i(t)$ là:

$$i(t) = 0,97 \sin(314t) A$$

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.3. Phương pháp cân bằng điều hòa

3.3.3. Ưu, nhược điểm của phương pháp

❑ Ưu điểm:

+ Có khả năng tìm nghiệm gần đúng cho nhiều bài toán phi tuyến xác lập khác nhau, kể cả tự dao động phi tuyến

❑ Nhược điểm:

+ Là phương pháp giải tích nên các đặc tính phi tuyến cần được xấp xỉ hóa dạng hàm số

+ Độ chính xác không cao nếu nghiệm không lấy tới các thành phần điều hòa bậc cao

+ Khối lượng tính toán lớn, phụ thuộc vào kỹ năng tính toán của người giải, khó áp dụng trực tiếp các công cụ hỗ trợ tính toán trên máy tính để giải

→ *Hiện ít dùng*

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.4. Phương pháp điều hòa tương đương

3.4.1. Nội dung

- + Các phần tử phi tuyến dưới kích thích điều hòa (gần điều hòa): đáp ứng xác lập thường là chu kỳ không điều hòa
- + Nhiều thiết bị điện (máy phát, biến áp, biến dòng, ...): do yêu cầu chế tạo và vận hành → cả kích thích và đáp ứng đều gần điều hòa (mạch phi tuyến có lọc)

❑ Phạm vi áp dụng:

- + Xét mạch điện phi tuyến ở chế độ xác lập, dưới tác dụng của nguồn xoay chiều điều hòa khi **chỉ quan tâm tới giá trị hiệu dụng**
- + Ở đây coi đáp ứng $x(t)$ dao động điều hòa cùng tần số với kích thích, biên độ X và nhiều trường hợp góc pha đầu cũng cần tính tới để đảm bảo tương đương về mặt năng lượng với quá trình xét

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.4. Phương pháp điều hòa tương đương

3.4.1. Nội dung

❑ Thực hiện:

- + Viết hệ phương trình phức mô tả mạch (do coi kích thích và đáp ứng dao động điều hòa cùng tần số ở trạng thái tức thời)
- + Thực hiện phương pháp dò trên hệ phương trình phức (do quan hệ hiệu dụng là phi tuyến):
 - Thường chọn xuất phát từ 1 giá trị dòng, áp phức trên phần tử phi tuyến trong mạch
 - Chú ý quan hệ pha giữa dòng và áp trên các phần tử quán tính khi dò trên hệ phương trình phức
 - Thực hiện so sánh giá trị hiệu dụng (biên độ) giữa kích thích tính được với kích thích đã cho
 - Áp dụng phương pháp nội suy tuyến tính ở bước cuối để tìm GTHD gần đúng của nghiệm
 - Hiệu chỉnh góc pha đầu cho nghiệm tìm được nếu cần

3

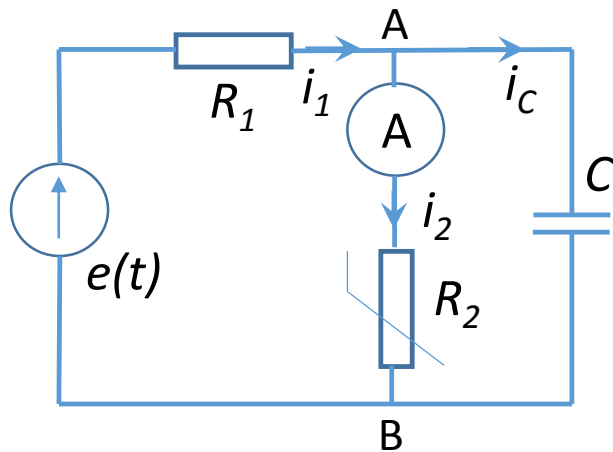
MẠCH ĐIỆN PHI TUYẾN

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.4. Phương pháp điều hòa tương đương

3.4.2. Ví dụ áp dụng

□ Ví dụ 1



Giải

Cho mạch điện như hình vẽ. Trong đó $R_1 = 10\Omega$, $C = 100\mu\text{F}$, $e(t)$ có giá trị hiệu dụng $E = 60\text{V}$, $\omega = 314\text{rad/s}$. R_2 phi tuyến có đặc tính như trong bảng phía dưới. Tính số chỉ của ampe met?

I (A)	1	2	2,6	3	3,3	3,5	3,7
U (V)	4	10	20	30	40	50	60

Do chỉ quan tâm tới GTHD nên có thể dùng phương pháp ĐHTĐ để giải. Ta có hệ phương trình phức mô tả mạch:

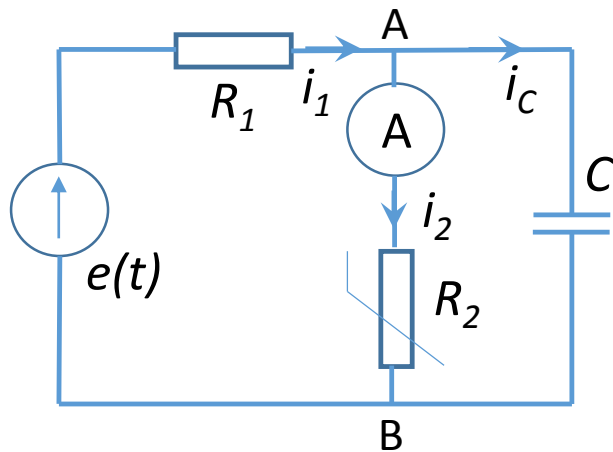
$$\begin{cases} \dot{I}_1 - \dot{I}_2 - \dot{I}_C = 0 \\ R_1 \dot{I}_1 + \dot{U}_{AB} = \dot{E} \\ \dot{U}_C = \dot{U}_2 = \dot{U}_{AB} \end{cases}$$

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.4. Phương pháp điều hòa tương đương

3.4.2. Ví dụ áp dụng

□ Ví dụ 1



Giải

Chu trình dò:

$$\dot{I}_2^{(k)} = I_2^{(k)} \angle 0^\circ \rightarrow \dot{U}_2^{(k)} = U_2^{(k)} \angle 0^\circ \rightarrow \dot{I}_C^{(k)} = j \frac{U_2^{(k)}}{X_C}$$

$$\rightarrow \dot{I}_1^{(k)} = \dot{I}_2^{(k)} + \dot{I}_C^{(k)} \rightarrow \dot{E}_{tt}^{(k)} = R_1 \dot{I}_1^{(k)} + \dot{U}_2^{(k)} = E_{tt}^{(k)} \angle \varphi$$

Bảng các giá trị dò:

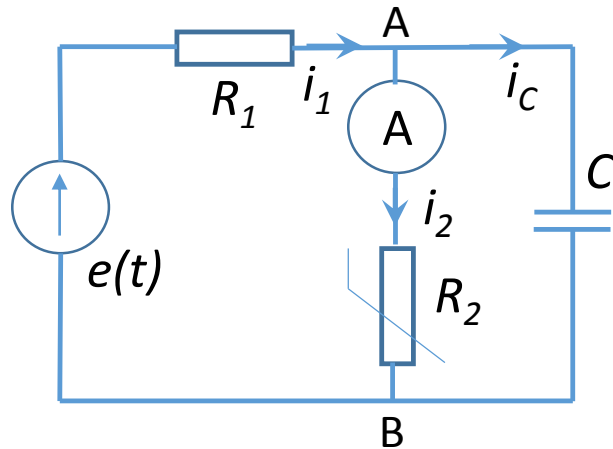
$\dot{I}_2(A)$	2	2,6	3
$\dot{U}_2(V)$	10	20	30
$\dot{I}_C(A)$	j0,314	j0,628	j0,942
$\dot{I}_1(A)$	2+j0,314	2,6+j0,628	3+j0,942
$\dot{E}_{tt}(V)$	30+j3,14	46+j6,28	60+j9,42
$E_{tt}(V)$	30,164	46,427	60,735

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.4. Phương pháp điều hòa tương đương

3.4.2. Ví dụ áp dụng

□ Ví dụ 1



Vậy số chỉ của ampe mét là :

$$I_2 = 2,98A$$

Giải

Nội suy tuyến tính tìm I_2 :

$$\frac{I_2 - 2,6}{3 - 2,6} = \frac{60 - 46,427}{60,735 - 46,427}$$

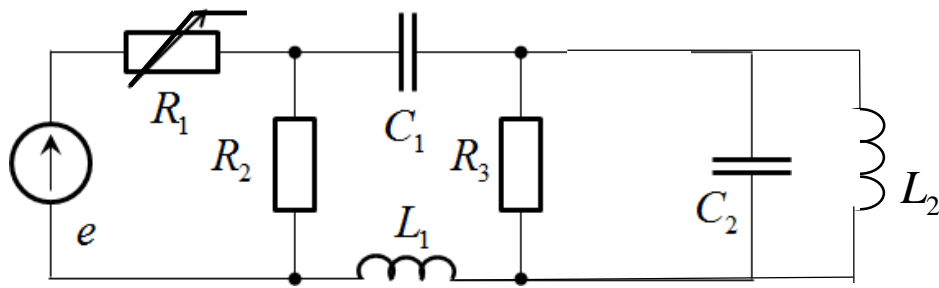
$$\rightarrow I_2 = 2,6 + 0,4 \cdot \frac{60 - 46,427}{60,735 - 46,427} = 2,98A$$

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.4. Phương pháp điều hòa tương đương

3.4.2. Ví dụ áp dụng

□ Ví dụ 2



Cho mạch điện như hình vẽ, đặc tính điện trở phi tuyến cho trong Bảng 1; $R_2 = 10\Omega$; $R_3 = 20\Omega$; $L_1 = 0,4\text{H}$; $L_2 = 2\text{H}$; $C_1 = 2\text{mF}$; $C_2 = 5\text{mF}$. Tính giá trị hiệu dụng của dòng điện qua điện trở phi tuyến khi nguồn áp có giá trị $e = 150\sqrt{2} \sin(10t + 36^\circ)\text{V}$

I (A)	3	4	5	6	7	8
U (V)	15	22	30	40	60	80

Giải

+ Biến đổi tương đương sơ đồ mạch, áp dụng phương pháp ĐHTĐ để giải:

$$Z_{L2,C2} = \frac{j\omega L_2 \frac{1}{j\omega C_2}}{j\omega L_2 + \frac{1}{j\omega C_2}} = \frac{j10.2 \frac{1}{j10.5.10^{-3}}}{j10.2 + \frac{1}{j10.5.10^{-3}}} = \infty$$

$$Z_{C1,R3,L1} = \frac{1}{j\omega C_1} + R_3 + j\omega L_1 = \frac{1}{j10.2.10^{-3}} + 20 + j10.0,4 = 20 - j46 \Omega$$

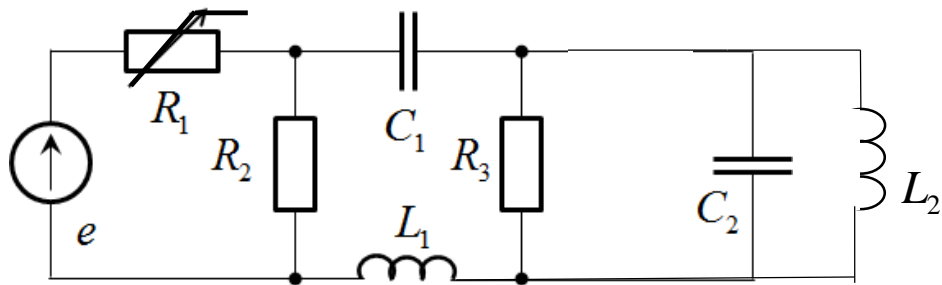
$$Z = \frac{R_2 \cdot Z_{C1,R3,L1}}{R_2 + Z_{C1,R3,L1}} = 15,69 - j4,95 \Omega$$

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.4. Phương pháp điều hòa tương đương

3.4.2. Ví dụ áp dụng

□ Ví dụ 2



Giải

+ Từ mạch sau biến đổi, có chu trình dò như sau:

$$\dot{I}^{(k)} = I^{(k)} \angle 0^\circ \rightarrow \dot{U}_1^{(k)} = U_1^{(k)} \angle 0^\circ \rightarrow \dot{E}_{tt}^{(k)} = Z\dot{I}^{(k)} + \dot{U}_1^{(k)} = E_{tt}^{(k)} \angle \varphi$$

+ Thực hiện dò phức, lập bảng các giá trị dò:

$\dot{I}(A)$	6	7
$\dot{U}_1(V)$	40	60
$\dot{E}_{tt}(V)$	$134,14 - j29,70$	$169,83 - j34,65$
$E_{tt}(V)$	137,41	173,36

+ Nội suy tuyến tính tìm giá trị hiệu dụng của dòng điện qua điện trở phi tuyến:

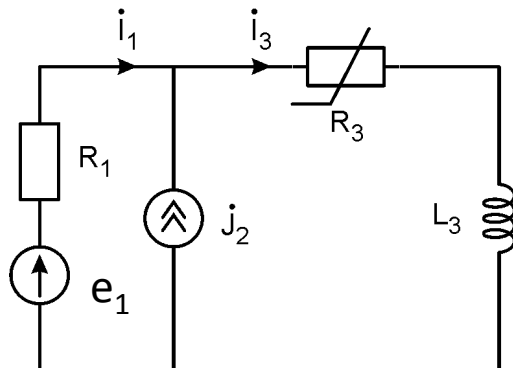
$$\frac{I - 6}{7 - 6} = \frac{150 - 137,41}{173,36 - 137,41} \rightarrow I = 6,35A$$

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.4. Phương pháp điều hòa tương đương

3.4.2. Ví dụ áp dụng

□ Ví dụ 3



Cho mạch điện như hình vẽ bên. Trong đó:

$$\dot{E}_1 = 24 \angle 0^\circ \text{ V} \quad R_1 = 5 \Omega \quad \dot{J}_2 = 2 \angle -30^\circ \text{ A} \quad Z_{L3} = j5 \Omega$$

Điện trở phi tuyến R_3 có đặc tính hiệu dụng: $|\dot{U}| = 6|\dot{I}| + 0,8|\dot{I}|^3$

Tính công suất tác dụng của hai nguồn?

Giải

+ Biến đổi tương đương nhánh 1 và J_2 theo định lý Thevenin:

$$\dot{E}_{td} = R_1 \dot{J}_2 + \dot{E}_1 = 32,66 - j5 = \boxed{33,041 \angle -8,7^\circ \text{ V}} \quad R_{td} = R_1 = 5 \Omega$$

+ Thiết lập chu trình dò từ sơ đồ sau biến đổi:

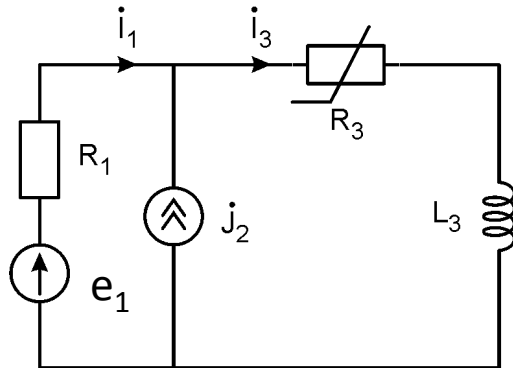
$$\dot{I}_3^{(k)} = I_3^{(k)} \angle 0^\circ \rightarrow \dot{U}_{R3}^{(k)} = U_{R3}^{(k)} \angle 0^\circ \rightarrow \dot{E}_{tt}^{(k)} = R_{td} \dot{I}_3^{(k)} + \dot{U}_{R3}^{(k)} + Z_{L3} \dot{I}_3^{(k)} = E_{tt}^{(k)} \angle \varphi$$

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.4. Phương pháp điều hòa tương đương

3.4.2. Ví dụ áp dụng

□ Ví dụ 3



Giải

+ Thực hiện chu trình dò, ta có bảng các giá trị dò như sau:

$\dot{I}_3 (A)$	1	2	2,2
$\dot{U}_{R1} (V)$	5	10	11
$\dot{U}_{R3} (V)$	6,8	18,4	21,72
$\dot{U}_{L3} (V)$	j5	j10	j11
$\dot{E}_{tt} (V)$	11,8+j5	28,4+j10	32,72+j11
$E_{tt} (V)$	12,816 \angle 22,96 $^\circ$	30,109\angle19,40$^\circ$	34,519\angle18,58$^\circ$

+ Nội suy tuyến tính tìm I_3 :

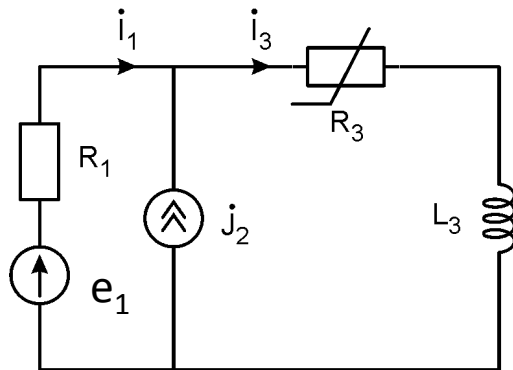
$$\frac{I_3 - 2}{2,2 - 2} = \frac{33,041 - 30,109}{34,519 - 30,109} \rightarrow I_3 = 2,133A$$

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.4. Phương pháp điều hòa tương đương

3.4.2. Ví dụ áp dụng

□ Ví dụ 3



Giải

+ Với I_3 vừa tìm được, ta có:

$$\dot{E}_{tt} = \dot{U}_{R1} + \dot{U}_{R3} + \dot{U}_{L3} = 10,6649 + 20,5611 + j10,6649 = 31,2259 + j10,6649$$

$$\rightarrow \dot{E}_{tt} = 32,9969 \angle 18,86^\circ V \quad \text{So với} \quad \dot{E}_{td} = 33,041 \angle -8,7^\circ V$$

+ Cần chỉnh pha để có kết quả chính xác hơn:

$$\text{Để có: } \dot{E}_{tt} = 32,9969 \angle -8,7^\circ V \quad \text{Cần hiệu chỉnh góc pha đầu cho dòng } I_3 \text{ thành } \dot{I}_3 = 2,133 \angle -27,56^\circ A$$

$$\text{Như vậy: } \dot{U}_{J2} = \dot{U}_{R3} + \dot{U}_{L3} = 20,5611 \angle -27,56^\circ + (j5 \times 2,133 \angle -27,56^\circ) = 23,16 \angle -0,14^\circ V$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_3 - \dot{J}_2 = 2,133 \angle -27,56^\circ - 2 \angle -30^\circ = 0,159 \angle 4,72^\circ A$$

+ Từ đó, tính công suất các nguồn:

$$P_{E1} = \text{Re}\{\dot{E}_1 \hat{I}_1\} = \text{Re}\{24 \times 0,159 \angle -4,72^\circ\} = 3,814 W$$

$$P_{J2} = \text{Re}\{\dot{U}_{J2} \hat{J}_2\} = \text{Re}\{23,16 \angle -0,14^\circ \times 2 \angle 30^\circ\} = 40,17 W$$

3

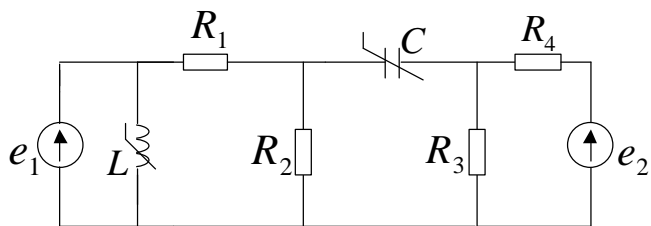
MẠCH ĐIỆN PHI TUYẾN

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.4. Phương pháp điều hòa tương đương

3.4.2. Ví dụ áp dụng

□ Ví dụ 4



Cho mạch điện như hình vẽ với các thông số như sau:

$$\dot{E}_1 = 40\angle 0^\circ \quad \dot{E}_2 = 30\angle 0^\circ \quad R_1 = 5\Omega \quad R_2 = 15\Omega \quad R_3 = R_4 = 30\Omega$$

điện cảm và điện dung phi tuyến có chung đặc tính hiệu dụng như bảng dưới.

Tính giá trị hiệu dụng của dòng điện qua điện dung phi tuyến và công suất tiêu tán trên R_2 ?

Giải

+ Biến đổi tương đương sơ đồ mạch điện:

$$\dot{E}_{td1} = \frac{\dot{E}_1}{R_1 + R_2} \cdot R_2 = 30V \quad R_{td1} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 3,75\Omega \quad \dot{E}_{td2} = \frac{\dot{E}_2}{R_3 + R_4} \cdot R_3 = 15V \quad R_{td2} = \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} = 15\Omega$$

$$\dot{E}_{td} = \dot{E}_{td1} - \dot{E}_{td2} = 15V \quad R_{td} = R_{td1} + R_{td2} = 18,75\Omega$$

+ Phương trình mô tả mạch sau biến đổi: $R_{td} \dot{I} + \dot{U}_C = \dot{E}_{td}$

3

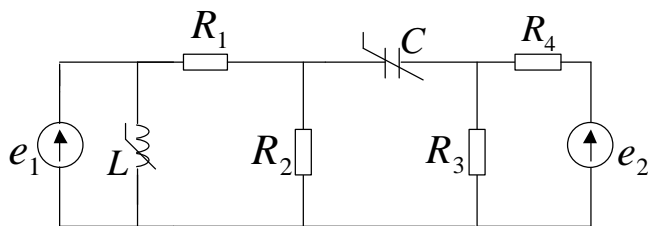
MẠCH ĐIỆN PHI TUYẾN

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.4. Phương pháp điều hòa tương đương

3.4.2. Ví dụ áp dụng

□ Ví dụ 4



Giải

+ Chu trình dò: $\dot{I} = I \angle 0 \rightarrow \dot{U}_C = -jU \rightarrow \dot{E}_{tt} = R_{td} \dot{I} + \dot{U}_C$ So sánh với \dot{E}_{td}

+ Thực hiện các bước dò:

$$\dot{I} = 0,5 \angle 0 \rightarrow \dot{E}_{tt} = 9,375 - j3V \Rightarrow E_{tt} = 9,8433V < 15V = E_{td}$$

$$\dot{I} = 1 \angle 0 \rightarrow \dot{E}_{tt} = 18,75 - j3,5V \Rightarrow E_{tt} = 19,0739V > 15V = E_{td}$$

+ Nội suy tuyến tính tìm giá trị gần đúng của dòng điện : $I = 0,7793A$

+ Nội suy tuyến tính tìm giá trị gần đúng của điện áp trên tụ C : $U_c = 3 + 0,5 \left(\frac{0,7739 - 0,5}{3,5 - 3} \right) = 3,2793V$

+ Chọn nghiệm : $\dot{I} = 0,7793 \angle 0A$ $\dot{U}_c = -j3,2793V$

+ Khi đó :

$$\dot{U}_{R2} = \dot{U}_C + \dot{E}_{td2} \Rightarrow \dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_{R2}}{R_2} = \frac{15 - j3,2793}{15} = 1 - j0,2186A \quad P_{R2} = R_2 I_2^2 = 15,7169W$$

(Có cần chỉnh góc pha đầu của dòng điện hay không?)

3

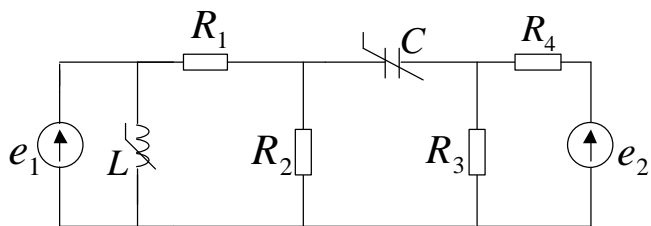
MẠCH ĐIỆN PHI TUYẾN

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.4. Phương pháp điều hòa tương đương

3.4.2. Ví dụ áp dụng

□ Ví dụ 4



Giải

+ Khi lưu ý tới góc pha đầu:

$$\dot{I} = 0,5 \angle 0 \rightarrow \dot{E}_{tt} = 9,375 - j3V \Rightarrow \dot{E}_{tt} = 9,8433 \angle -17,74^\circ V$$

$$\dot{I} = 1 \angle 0 \rightarrow \dot{E}_{tt} = 18,75 - j3,5V \Rightarrow \dot{E}_{tt} = 19,0739 \angle -10,57^\circ V$$

$$\dot{E}_{td} = 15 \angle 0^\circ V$$

+ Khi chọn:

$$\dot{I} = 0,7793 \angle 0^\circ A \quad \dot{U}_C = -j3,2793V$$

$$\rightarrow \dot{E}_{tt} = 14,6119 - j3,2793 \approx 14,9754 \angle -12,65^\circ V$$

+ Khi chỉnh pha đầu dòng điện:

$$\dot{I} = 0,7793 \angle 12,65^\circ A \rightarrow \dot{U}_C = -j3,2793V \times 1 \angle 12,65^\circ = 0,7181 - j3,1997 = 3,2793 \angle -77,35^\circ V \rightarrow (\text{GTHD } U_C \text{ không đổi})$$

$$\rightarrow \dot{E}_{tt} = 14,2572 + j3,1999 + 0,7181 - j3,1997 = 14,9753 + j0,0002 \approx 14,9754 \angle 0,0007^\circ V \rightarrow (\text{chính xác hơn khi không chỉnh pha})$$

$$\dot{U}_{R2} = \dot{U}_C + \dot{E}_{td2} \Rightarrow \dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_{R2}}{R_2} = \frac{15,7181 - j3,1997}{15} = 1,0694 \angle -11,51^\circ A \quad P_{R2} = R_2 I_2^2 = 17,1542W \rightarrow (\text{khác 8,4\% khi không chỉnh pha})$$

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.4. Phương pháp điều hòa tương đương

3.4.3. Ưu, nhược điểm của phương pháp

❑ Ưu điểm:

+ Tiện xét mạch phi tuyến có lọc, ở chế độ xác lập, khi chỉ quan tâm tới giá trị hiệu dụng

❑ Nhược điểm:

+ Không phân tích được mạch tự dao động phi tuyến

+ Không đủ chính xác khi đáp ứng có hài tần số cao, biên độ lớn

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.5. Phương pháp tuyến tính hóa quanh điểm làm việc

3.5.1. Nội dung phương pháp

❑ Phạm vi áp dụng

+ Dùng phân tích mạch phi tuyến mà trạng thái làm việc có một thành phần **hằng lớn**, cùng thành phần **điều hòa nhỏ** tác động đồng thời

→ Trạng thái của phần tử phi tuyến sẽ biến thiên trên một đoạn nhỏ của đặc tính phi tuyến, quanh trạng thái quyết định bởi thành phần DC lớn

❑ Thực hiện

1 - Cho thành phần **hằng lớn** tác động:

→ Giải mạch điện phi tuyến ở trạng thái dừng bằng các phương pháp đồ thị, dò, lặp đã biết

→ Xác định điểm làm việc (giá trị dòng, áp) trên các phần tử phi tuyến trong mạch

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.5. Phương pháp tuyến tính hóa quanh điểm làm việc

3.5.1. Nội dung phương pháp

□ Thực hiện

2 – Tuyến tính hóa các phần tử phi tuyến quanh điểm làm việc (U_0, I_0):

$$R_d = \left. \frac{\partial u}{\partial i} \right|_{i=I_0} \quad L_d = \left. \frac{\partial \psi}{\partial i} \right|_{i=I_0} \quad C_d = \left. \frac{\partial q}{\partial u} \right|_{u=U_0}$$

(lưu ý cách tính gần đúng trên đồ thị hoặc từ bảng số)

3 – Cho thành phần điều hòa nhỏ tác động vào mạch đã tuyến tính hóa:

→ Giải mạch điện tuyến tính ở chế độ xác lập điều hòa

4 – Tổng hợp nghiệm:

→ Chỉ xếp chồng các giá trị tức thời

→ Các giá trị hiệu dụng tính theo GTHD của hàm chu kỳ: $U = \sqrt{U_{DC}^2 + U_{AC}^2} \quad I = \sqrt{I_{DC}^2 + I_{AC}^2}$

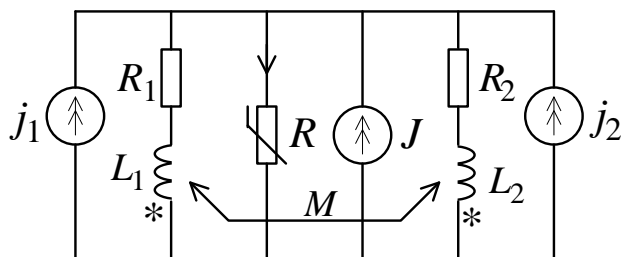
→ Công suất tác dụng bằng tổng công suất các thành phần DC và AC

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.5. Phương pháp tuyến tính hóa quanh điểm làm việc

3.5.2. Ví dụ áp dụng

□ Ví dụ 1



Giải

Áp dụng phương pháp tuyến tính hóa quanh điểm làm việc

+ Cho thành phần nguồn một chiều tác động, áp dụng định lý Thévenin cho phần mạch tuyến tính nối với trở phi tuyến:

$$R_{12} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 25\Omega \quad E_{0td} = R_{12} J = 100V$$

+ Phương trình mô tả mạch sau biến đổi: $R_{12} I_0 + U_R(I_0) = E_{0td} \Leftrightarrow 25I_0 + U_R(I_0) = 100$

Cho mạch điện như hình vẽ bên. Trong đó: $J = 4A$ $j_1 = j_2 = 0,2\sqrt{2} \sin(100t)A$

$R_1 = R_2 = 50\Omega$ $L_1 = 0,1H$ $L_2 = 0,2H$ $M = 0,05H$

điện trở phi tuyến có đặc tính như bảng dưới

U (V)	20	40	60	70	80	100
I (A)	0,2	0,6	1,2	1,8	2,5	4

1 - Tính giá trị hiệu dụng của dòng điện qua điện trở phi tuyến?

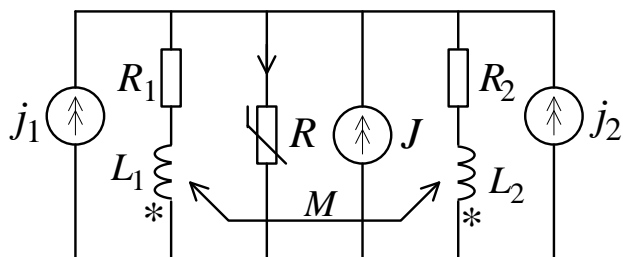
2 - Tính công suất tác dụng truyền bằng hồ cảm giữa L_1 và L_2 ?

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.5. Phương pháp tuyến tính hóa quanh điểm làm việc

3.5.2. Ví dụ áp dụng

□ Ví dụ 1



Giải

+ Chu trình dò như sau: $I_0^{(k)} \rightarrow U_R^{(k)} \rightarrow E_{0td}^{(k)} = R_{12}I_0^{(k)} + U_R^{(k)}$

Bảng kết quả dò:

I_0	0,6	1,2	1,8
U_R	40	60	70
$R_{12}I_0$	15	30	45
E_{0td}	55	90	115

Nội suy tuyến tính tìm được: $I_0 = 1,8 - (1,8 - 1,2) \frac{115 - 100}{115 - 90} = 1,44A$ (thành phần dòng điện một chiều qua trở phi tuyến)

+ Tuyến tính hóa điện trở phi tuyến quanh điểm làm việc:

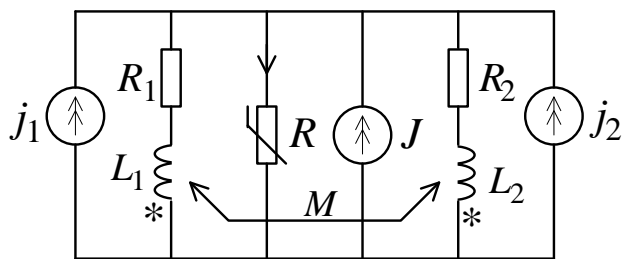
$$R_d \approx \left. \frac{\Delta U}{\Delta I} \right|_{I_0} = \frac{70 - 60}{1,8 - 1,2} \approx 16,67\Omega$$

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.5. Phương pháp tuyến tính hóa quanh điểm làm việc

3.5.2. Ví dụ áp dụng

□ Ví dụ 1



Giải

+ Cho thành phần nguồn xoay chiều nhỏ tác động, giải mạch điện đã tuyến tính hóa ở chế độ xác lập điều hòa:

$$\begin{cases} (Z_1 + R_d)\dot{I}_{v1} + (Z_M + R_d)\dot{I}_{v2} = -R_d(\dot{J}_1 + \dot{J}_2) \\ (Z_M + R_d)\dot{I}_{v1} + (Z_2 + R_d)\dot{I}_{v2} = -R_d(\dot{J}_1 + \dot{J}_2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} (66,67 + j10)\dot{I}_{v1} + (16,67 + j5)\dot{I}_{v2} = -6,6680 \\ (16,67 + j5)\dot{I}_{v1} + (66,67 + j20)\dot{I}_{v2} = -6,6680 \end{cases}$$

Hệ này có nghiệm: $\dot{I}_{v1} = -0,0785 + j0,0110 = 0,0792\angle 172,0314^\circ \text{ A}$

$$\dot{I}_{v2} = -0,0721 + j0,0248 = 0,0763\angle 161,0428^\circ \text{ A}$$

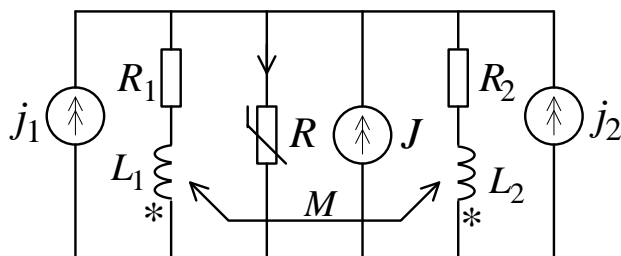
Thành phần dòng xoay chiều qua trở phi tuyến: $\dot{I}_1 = \dot{I}_{v1} + \dot{I}_{v2} + \dot{J}_1 + \dot{J}_2 = 0,2494 + j0,0358 = 0,2591\angle 8,1607^\circ \text{ A}$

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.5. Phương pháp tuyến tính hóa quanh điểm làm việc

3.5.2. Ví dụ áp dụng

□ Ví dụ 1



Giải

+ Vậy, giá trị hiệu dụng của dòng điện qua điện trở phi tuyến bằng:

$$I = \sqrt{(1,44)^2 + (0,2591)^2} = 1,4619A$$

+ Ta có công suất truyền bằng hồ cảm:

$$P_{2M} = \text{Re}\{\dot{U}_{2M} \hat{I}_2\} = \text{Re}\{j\omega M \dot{I}_{v1} \hat{I}_{v2}\} = -0,0058W$$

$$P_{1M} = \text{Re}\{\dot{U}_{1M} \hat{I}_1\} = \text{Re}\{j\omega M \dot{I}_{v2} \hat{I}_{v1}\} = 0,0058W$$

3.5. Phương pháp tuyến tính hóa quanh điểm làm việc

3.5.2. Ví dụ áp dụng

□ Ví dụ 2

Cho mạch điện như hình vẽ với các thông số như sau

$$E_1 = 50V \quad e_2 = \sqrt{2} \sin(100t)V \quad R_1 = 20\Omega \quad R_2 = 30\Omega$$

$$\psi_1(i) = 5,55i - 0,5i^3 \quad \psi_2(i) = 0,28i - 0,5i^3$$

hệ số cặp đôi giữa hai điện cảm phi tuyến là $k = 0,6$

điện trở phi tuyến có: $u(i) = 9i^2 - 6i \quad 0 \leq i \leq 4A$

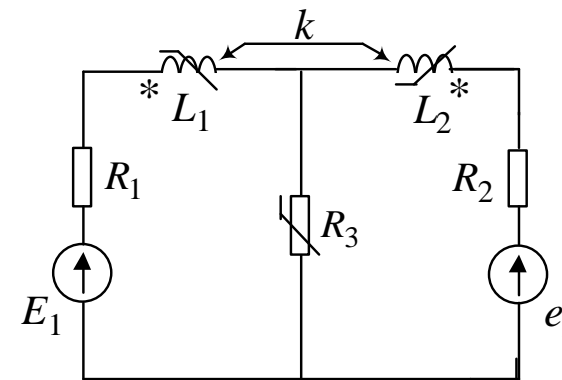
Tính giá trị hiệu dụng của dòng điện qua điện trở phi tuyến và tính công suất tác dụng của các nguồn ?

Giải

Áp dụng phương pháp tuyến tính hóa quanh điểm làm việc

+ Cho thành phần nguồn một chiều tác động, áp dụng định lý Thévenin cho phần mạch tuyến tính nối với trở phi tuyến, ta có:

$$R_{td} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 12\Omega \quad E_{td} = \frac{E_1}{R_1 + R_2} R_2 = 30V$$

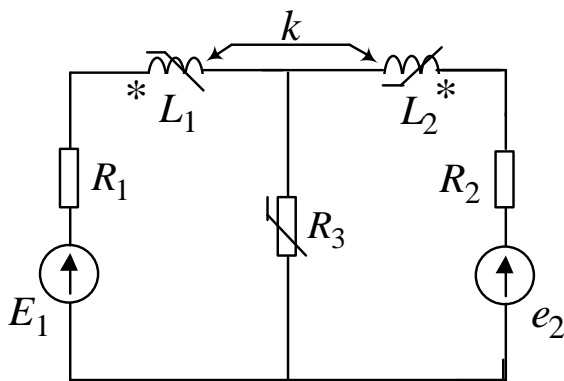


MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.5. Phương pháp tuyến tính hóa quanh điểm làm việc

3.5.2. Ví dụ áp dụng

□ Ví dụ 2



Giải

+ Sau phép biến đổi sơ đồ, phương trình mô tả mạch có dạng:

$$R_{td}I_0 + U_{R3}(I_0) = E_{td} \Leftrightarrow 12I_0 + 9I_0^2 - 6I_0 = 30$$

thu được nghiệm: $I_{01} = 1,5226A$ loại $I_{02} = -2,1893A$

+ Vậy ta có :

$$I_{30} = I_{01} = 1,5226A \Rightarrow U_{R3} = 9.1,5226^2 - 6.1,5226 = 11,7289V$$

$$I_{20} = \frac{U_{R3}}{R_2} = \frac{11,7289}{30} = 0,3910A \quad I_{10} = I_{20} + I_{30} = 1,9136A$$

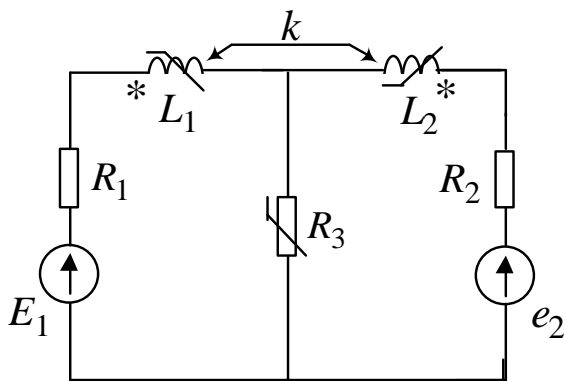
+ Công suất tác dụng của nguồn một chiều: $P_{E1} = E_1 I_{10} = 50.1,9136 = 95,68W$

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.5. Phương pháp tuyến tính hóa quanh điểm làm việc

3.5.2. Ví dụ áp dụng

□ Ví dụ 2



Giải

+ Tuyến tính hóa các phần tử phi tuyến quanh điểm làm việc:

$$R_{3d} = \frac{\partial u}{\partial i} \Big|_{I_{30}} = 18I_{30} - 6 = 21,4066\Omega \quad L_{1d} = \frac{\partial \psi_1}{\partial i} \Big|_{I_{10}} = 5,55 - 1,5(1,9136)^2 = 0,0572H$$

$$L_{2d} = \frac{\partial \psi_2}{\partial i} \Big|_{I_{20}} = 0,28 - 1,5(0,3910)^2 = 0,0507H$$

+ Hệ số hồ cảm giữa hai cuộn dây đã tuyến tính hóa: $M_d = k\sqrt{L_{1d}L_{2d}} = 0,6\sqrt{0,0572 \cdot 0,0507} = 0,0323H$

+ Cho thành phần xoay chiều tác động, áp dụng phương pháp dòng vòng:

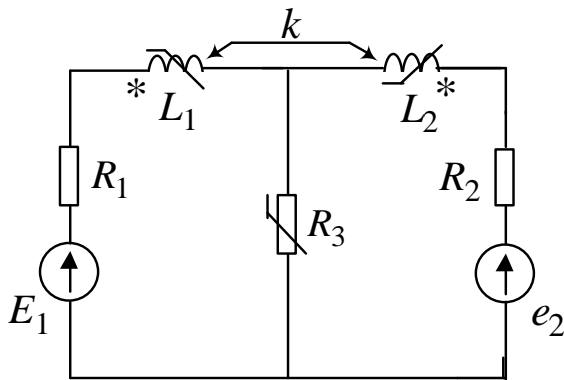
$$\begin{cases} (R_1 + R_{3d} + j\omega L_{1d})\dot{I}_{v1} + (R_{3d} + j\omega M_d)\dot{I}_{v2} = 0 \\ (R_{3d} + j\omega M_d)\dot{I}_{v1} + (R_2 + R_{3d} + j\omega L_{2d})\dot{I}_{v2} = \dot{E}_2 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} (41,4066 + j5,72)\dot{I}_{v1} + (21,4066 + j3,23)\dot{I}_{v2} = 0 \\ (21,4066 + j3,23)\dot{I}_{v1} + (51,4066 + j5,07)\dot{I}_{v2} = 1 \end{cases}$$

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.5. Phương pháp tuyến tính hóa quanh điểm làm việc

3.5.2. Ví dụ áp dụng

□ Ví dụ 2



Giải

+ Thu được nghiệm:

$$\dot{I}_{v1} = -0,0128 + j0,0009A \quad \dot{I}_{v2} = 0,0246 - j0,0020A$$

$$\dot{I}_{31} = \dot{I}_{v1} + \dot{I}_{v2} = 0,0119 - j0,0011A \quad \dot{I}_{21} = \dot{I}_{v2}$$

→ công suất tác dụng của nguồn xoay chiều:

$$P_{E2} = \text{Re}\{\dot{E}_2 \hat{I}_{21}\} = \text{Re}\{1 \cdot (0,0246 + j0,0020)\} = 0,0246W$$

+ Tổng hợp kết quả:

a) Giá trị hiệu dụng của dòng điện qua điện trở phi tuyến: $I_3 = \sqrt{I_{30}^2 + I_{31}^2} = \sqrt{1,5226^2 + 0,0119^2} \approx 1,5226A$

b) Công suất tác dụng của các nguồn áp:

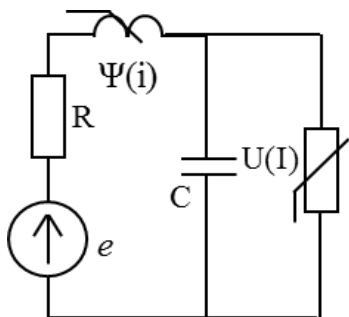
$$P_{E1} = 95,68W \quad P_{E2} = 0,0246W$$

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.5. Phương pháp tuyến tính hóa quanh điểm làm việc

3.5.2. Ví dụ áp dụng

□ Ví dụ 3



Cho mạch điện phi tuyến, biết đặc tính điện trở phi tuyến như trong Bảng 1, cùng các thông số:

$$e = 27 + 2\sqrt{2} \sin(100t + 30^\circ) V \quad R = 20\Omega \quad C = 5mF \quad \psi(i) = 0,05i + 0,7i^3 (Wb)$$

Bảng 1: Đặc tính của điện trở phi tuyến

I(A)	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4
U(V)	0	10	15	22	30	40	60	80

Tìm biểu thức tức thời của điện áp trên tụ điện C?

Đáp số

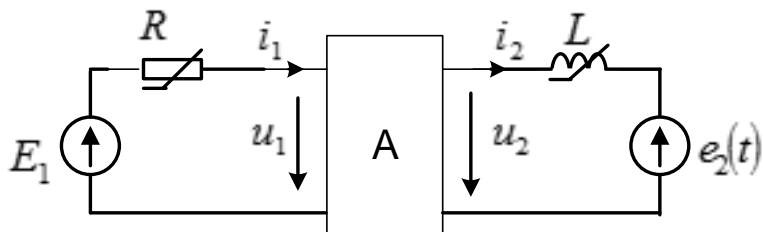
$$u_C(t) = 17,555 + 0,036\sqrt{2} \sin(100t - 38,96^\circ) V$$

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.5. Phương pháp tuyến tính hóa quanh điểm làm việc

3.5.2. Ví dụ áp dụng

□ Ví dụ 4



Cho mạch điện như hình vẽ với các thông số như sau:

$$E_1 = 50V \quad e_2 = \sqrt{2} \sin(100t)V$$

mạng hai cửa thuần trở có bộ số đặc trưng $A = \begin{bmatrix} 2 & 30 \\ 0,1 & 2 \end{bmatrix}$

điện cảm phi tuyến có đặc tính $\psi(i) = 0,6i + 0,05i^3$

điện trở phi tuyến có đặc tính $u(i) = 9i^2 - 6i \quad 0 \leq i \leq 4A$ Tính công suất tác dụng của các nguồn áp?

Đáp số

$$P_{E1} = 95,475W \quad P_{E2} = 0,0031W$$

Gợi ý giải:

Cách 1: sử dụng bộ số A và các phương trình mạch ngoài, áp dụng phương pháp TTHQĐLV để giải

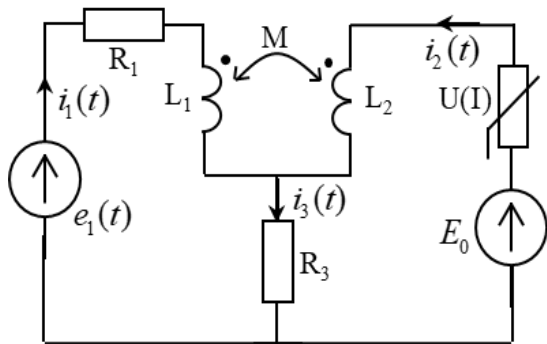
Cách 2: đưa về mạng hình T tương đương, áp dụng phương pháp TTHQĐLV để giải

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.5. Phương pháp tuyến tính hóa quanh điểm làm việc

3.5.2. Ví dụ áp dụng

□ Ví dụ 5



Cho mạch điện hình vẽ, biết

$$E_0 = 20V \quad e_1 = 2\sqrt{2} \sin(1000t)V; \quad R_1 = R_3 = 10\Omega; \quad L_1 = L_2 = 12mH; \quad M = 6mH$$

Điện trở phi tuyến có đặc tính như trong dưới

U(V)	0	3	5	8	12	14
I(A)	0	1	2	3	4	5

Tính dòng điện $i_3(t)$ và công suất tiêu tán trên điện trở R_3 ?

Đáp số

$$i_3(t) = I_{30} + i_{31}(t) = 1,3125 + 0,077\sqrt{2} \sin(1000t - 53,87^\circ)A$$

$$P_3 = P_{30} + P_{31} = R_3(I_{30}^2 + I_{31}^2) = 17,29W$$

MĐPT ở trạng thái dao động xác lập

3.5. Phương pháp tuyến tính hóa quanh điểm làm việc

3.5.3. Ưu, nhược điểm của phương pháp

☐ Ưu điểm:

+ Tiện xét mạch phi tuyến ở chế độ xác lập có chế độ làm việc với kích thích hằng lớn, xoay chiều nhỏ

☐ Nhược điểm:

+ Không tiện xét mạch khi kích thích xoay chiều so được với kích thích DC