



TRƯỜNG ĐẠI HỌC
BÁCH KHOA HÀ NỘI



NGUYỄN CÔNG PHƯƠNG

LÝ THUYẾT MẠCH II

MẠCH PHI TUYẾN

Lý thuyết mạch II

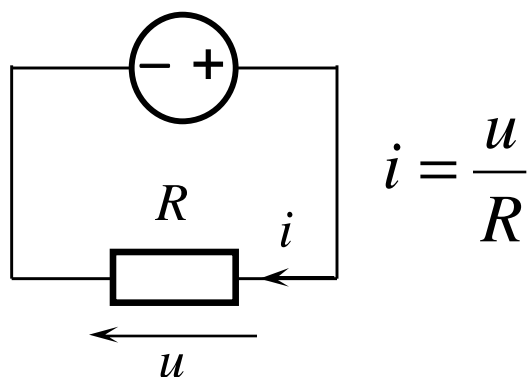
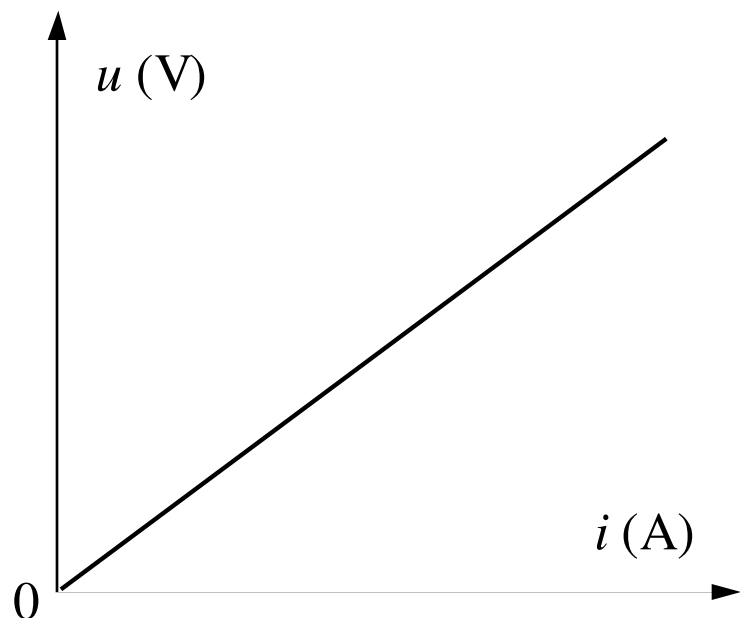
I. Quá trình quá độ

II. Mạch phi tuyến

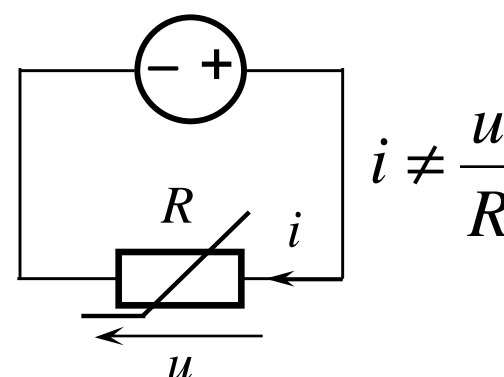
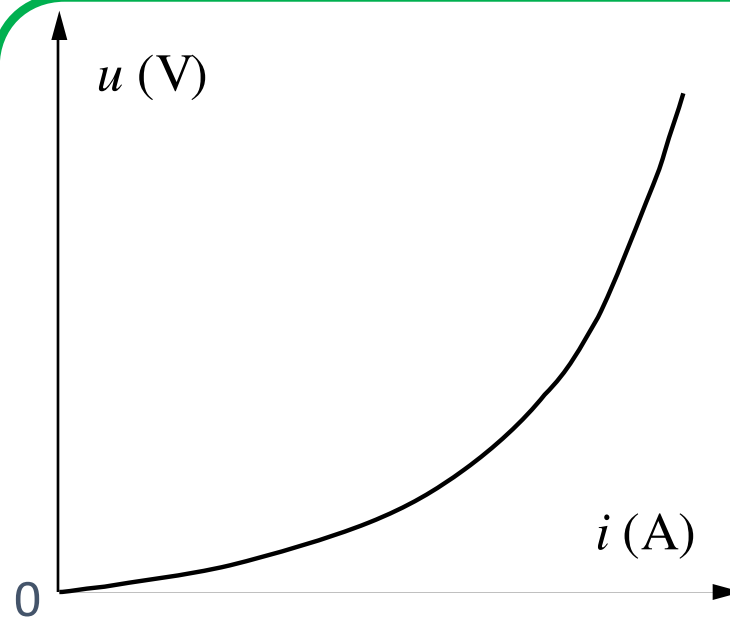
1. Giới thiệu
2. Đặc tính của phần tử phi tuyến
3. Chế độ xác lập
4. Chế độ quá độ
5. Điốt và tranzito

III. Đường dây dài

Giới thiệu (1)


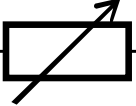
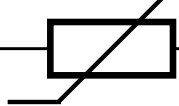




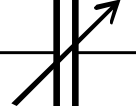
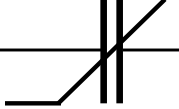


Tuyến tính

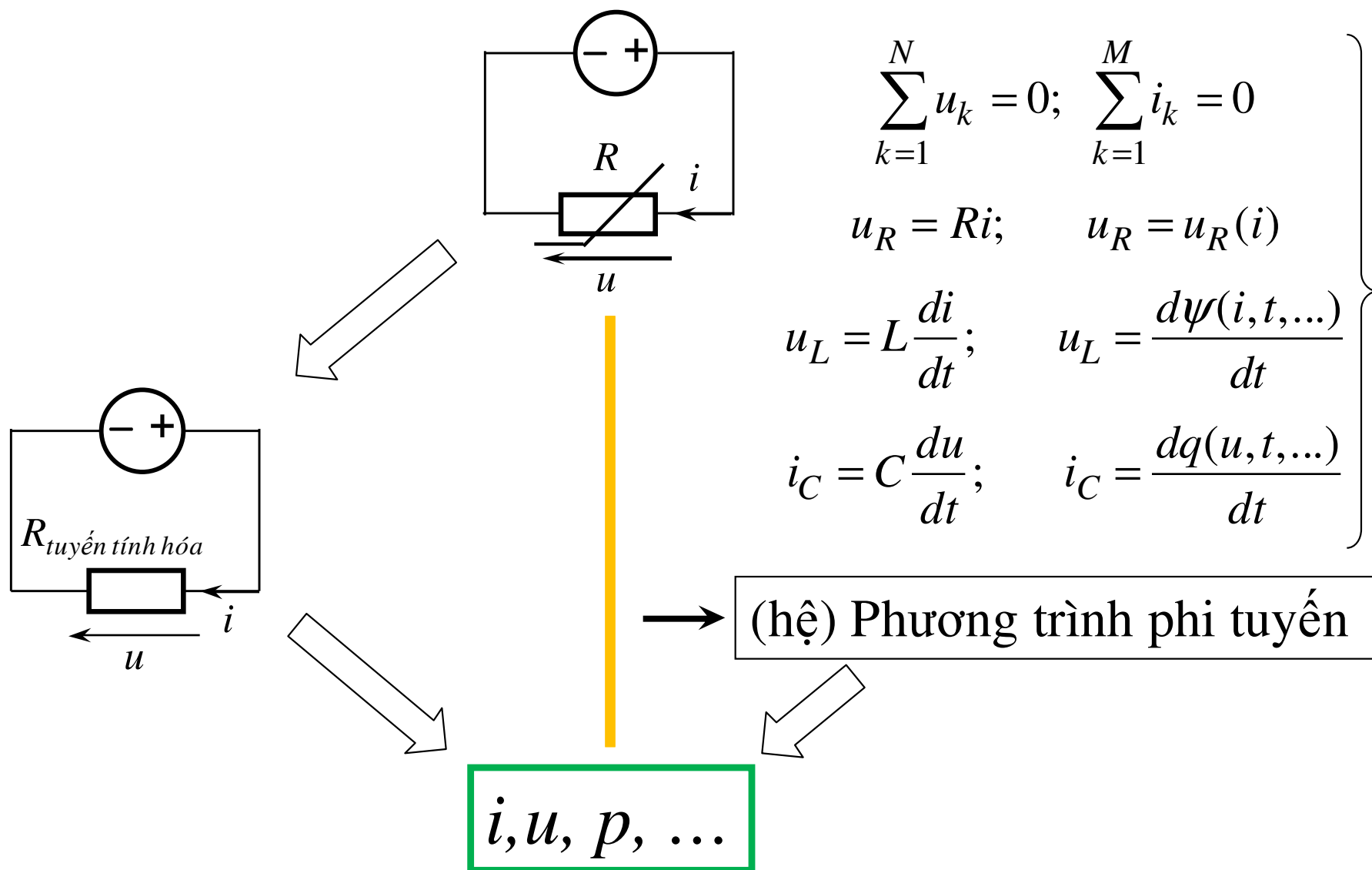


Phi tuyến

Giới thiệu (2)

<i>Tuyến tính</i>	<i>Phi tuyến</i>
$R = \text{const}$ —  —	$R = R(i, t, \dots)$ —  — 
$L = \text{const}$ —  —	$L = L(i, t, \dots)$ —  — 
$C = \text{const}$ —  —	$C = C(u, t, \dots)$ —  — 

Giới thiệu (3)



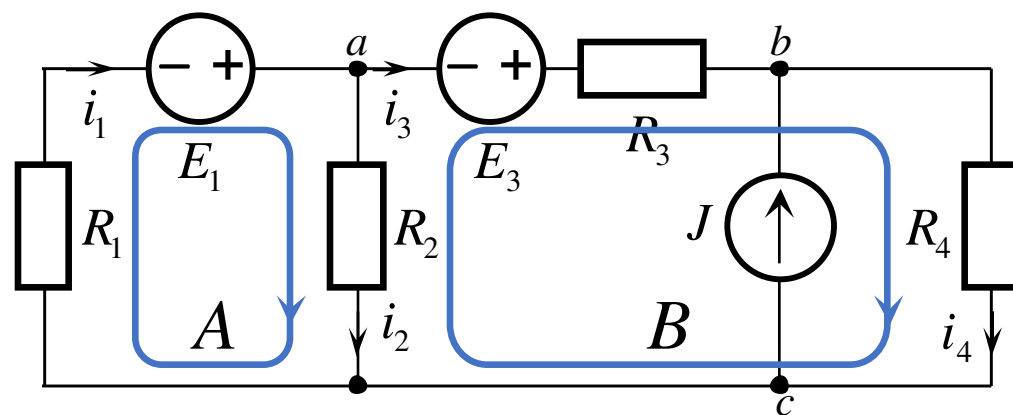
Giới thiệu (4)

VD

$$n_{KD} = 3 - 1 = 2$$

$$n_{KA} = 3 - 2 + 1 = 2$$

$$\begin{cases} a : i_1 - i_2 - i_3 = 0 \\ b : i_3 + J - i_4 = 0 \\ A : R_1 i_1 + R_2 i_2 = E_1 \\ B : -R_2 i_2 + R_3 i_3 + R_4 i_4 = E_3 \end{cases}$$

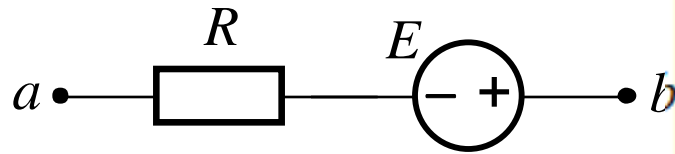


Một mạch điện có n_{KD} phương trình KD và n_{KA} phương trình KA, với:

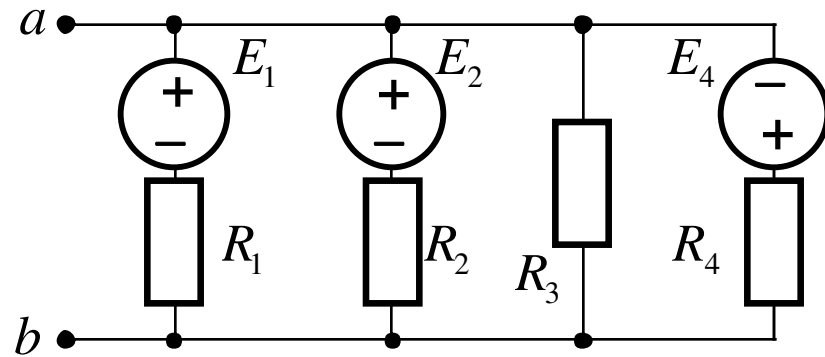
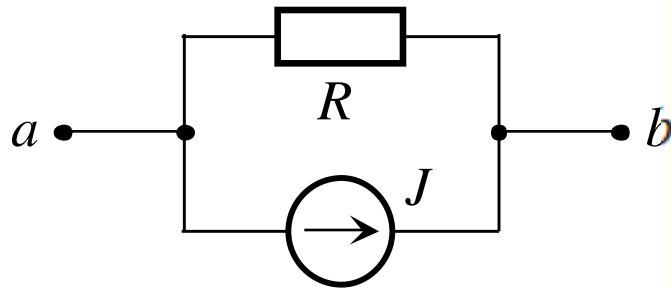
$$n_{KD} = \text{số_nút} - 1$$

$$n_{KA} = \text{số_nhánh} - \text{số_nút} + 1 \text{ (không kể nguồn dòng, nếu có)}$$

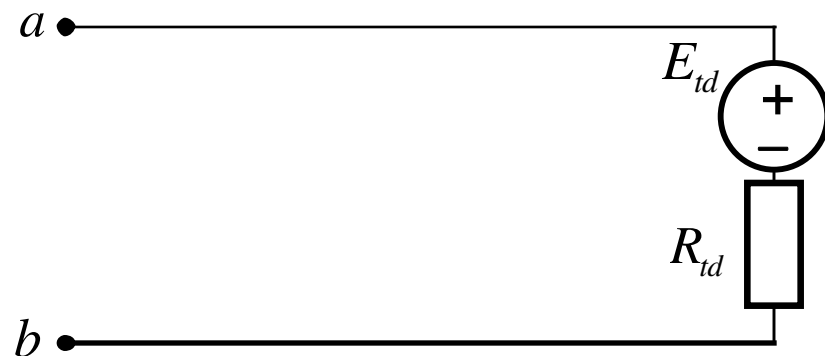
Giới thiệu (5)



$$J = \frac{E}{R} \quad \downarrow \quad \uparrow \quad E = RJ$$



$$R_{td} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} \quad \downarrow \quad E_{td} = \frac{\frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} - \frac{E_4}{R_4}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}}$$



Giới thiệu (6)

- *Mạch phi tuyến*: có ít nhất một phần tử thụ động (tải) phi tuyến.
- *Phần tử thụ động phi tuyến*: đầu vào (ví dụ dòng điện) và đầu ra (ví dụ điện áp) có quan hệ phi tuyến.
- Cách giải:
 - Tuyến tính hóa phần tử phi tuyến & xây dựng (hệ) phương trình tuyến tính & giải, hoặc,
 - Xây dựng (hệ) phương trình phi tuyến & giải.
- Xây dựng (hệ) phương trình:
 - Phương pháp dòng nhánh,
 - Biến đổi tương đương mạch điện.

Lý thuyết mạch II

I. Quá trình quá độ

II. Mạch phi tuyến

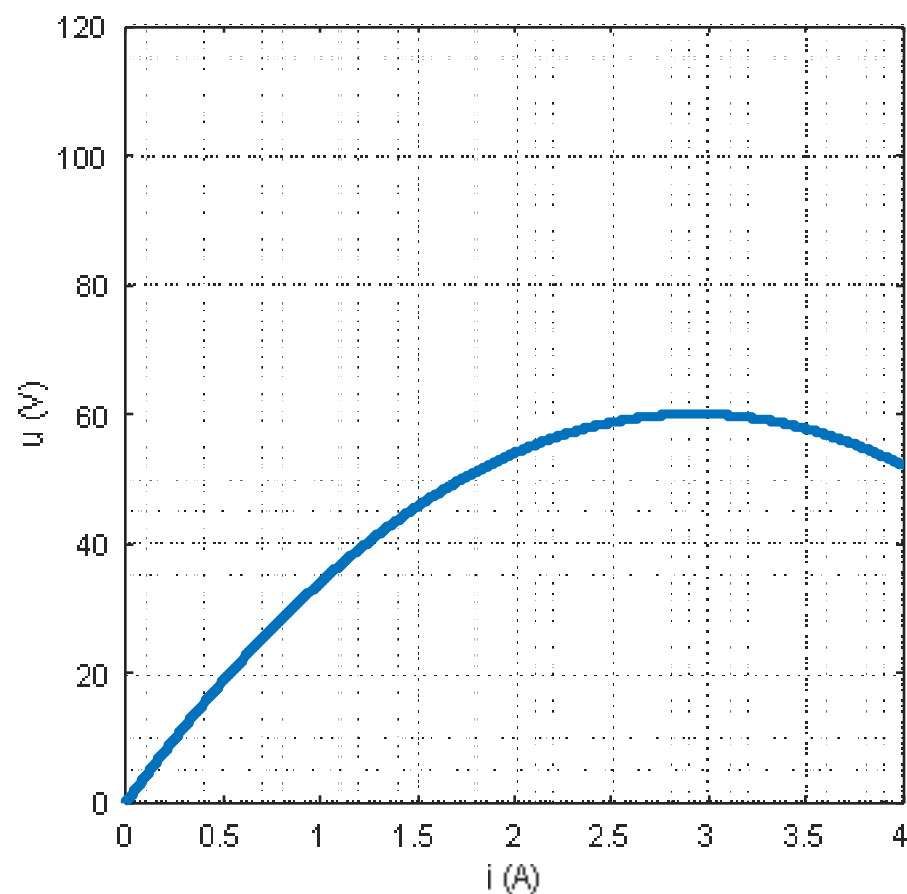
1. Giới thiệu
- 2. Đặc tính của phần tử phi tuyến**
3. Chế độ xác lập
4. Chế độ quá độ
5. Điốt và tranzito

III. Đường dây dài

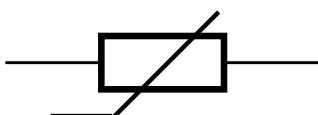

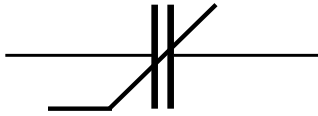
Đặc tính của phần tử phi tuyến (1)

i (A)	1	2	3	4
u (V)	34	54	60	52

$$u(i) = -7i^2 + 41i$$



Đặc tính của phần tử phi tuyến (2)

	$k_{động}(x) = \frac{\partial f(x)}{\partial x}$	$k_{tĩnh}(x) = \frac{f(x)}{x}$
 $u = u(i)$	$R_{đ}(i) = \frac{\partial u(i)}{\partial i}$	$R_t(i) = \frac{u(i)}{i}$
 $\psi = \psi(i)$	$L_{đ}(i) = \frac{\partial \psi(i)}{\partial i}$	$L_t(i) = \frac{\psi(i)}{i}$
 $q = q(u)$	$C_{đ}(u) = \frac{\partial q(u)}{\partial u}$	$C_t(u) = \frac{q(u)}{u}$

Đặc tính của phần tử phi tuyến (3)

VD1

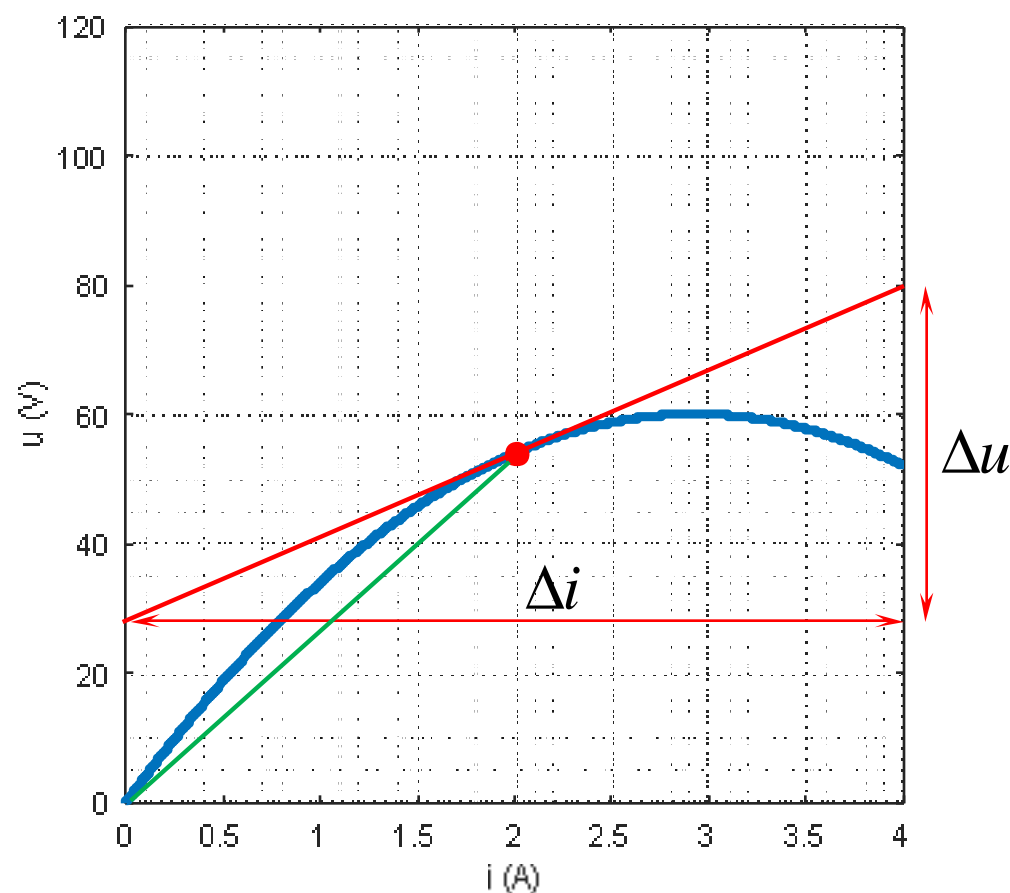
Tính $R_{động}$ & $R_{tĩnh}$ ở $i = 2 \text{ A}$?

$$R_d(i) = \frac{\partial u(i)}{\partial i} = \frac{du(i)}{di}$$

$$R_d(2) \approx \left. \frac{\Delta u}{\Delta i} \right|_{i=2} = \frac{52}{4} = \boxed{13 \text{ } \Omega}$$

$$R_t(i) = \frac{u(i)}{i}$$

$$R_t(2) = \frac{u(2)}{2} = \frac{54}{2} = \boxed{27 \text{ } \Omega}$$



Đặc tính của phần tử phi tuyến (4)

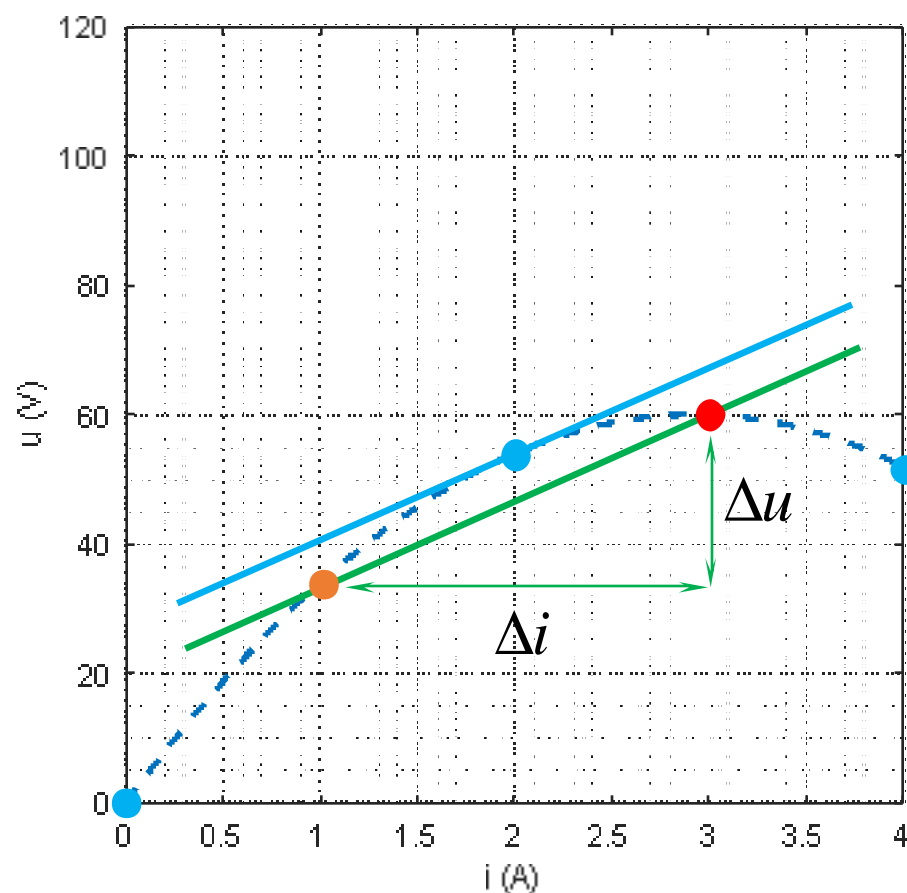
VD2

Tính $R_{động}$ & $R_{tĩnh}$ ở $i = 2$ A?

i (A)	1	2	3	4
u (V)	34	54	60	52

$$R_d(2) \approx \left. \frac{\Delta u}{\Delta i} \right|_{i=2} = \frac{60 - 34}{3 - 1} = \frac{26}{2} = 13 \, \Omega$$

$$R_t(2) = \frac{u(2)}{2} = \frac{54}{2} = 27 \, \Omega$$



Đặc tính của phần tử phi tuyến (5)

VD3

Cho $u(i) = -7i^2 + 41i$ (V-A) Tính $R_{động}$ & $R_{tĩnh}$ ở $i = 2$ A?

$$R_{đ}(i) = \frac{\partial u(i)}{\partial i} = \frac{du(i)}{di} = -14i + 41$$

$$\rightarrow R_{đ}(2) = -14.2 + 41 = \boxed{13 \Omega}$$

$$R_t(2) = \frac{u(2)}{2} = \frac{-7(2)^2 + 41.2}{2} = \boxed{27 \Omega}$$

Lý thuyết mạch II

I. Quá trình quá độ

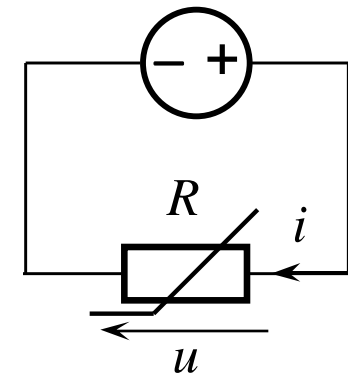
II. Mạch phi tuyến

1. Giới thiệu
2. Đặc tính của phần tử phi tuyến
- 3. Chế độ xác lập**
 - a) **Mạch một chiều**
 - i. Phương pháp đồ thị
 - ii. Phương pháp dò
 - b) Mạch xoay chiều
4. Chế độ quá độ
5. Điốt và tranzito

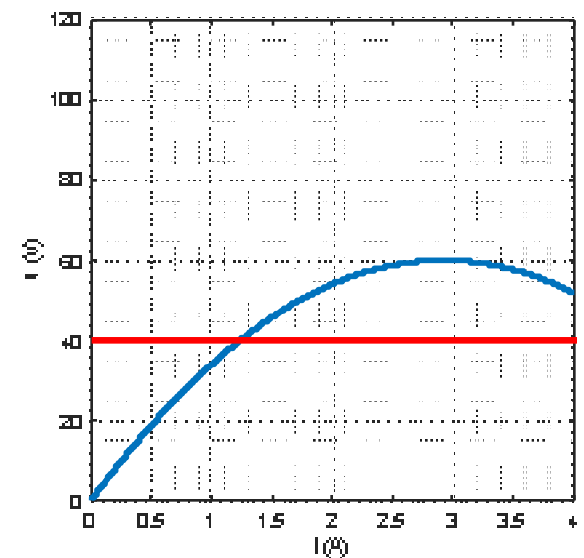
III. Đường dây dài

Phương pháp đồ thị (1)

- Dùng đồ thị trên mặt phẳng 2 chiều (hoặc mặt phẳng trong không gian 3 chiều) để tìm nghiệm.
- Chỉ dùng cho phương trình tối đa 2 ẩn.
- Các phép toán cơ bản trên đồ thị:
 - Cộng,
 - Trừ,
 - Tỉ lệ,
 - Bình phương,
 - Căn,
 - Tìm nghiệm.



$$u(i) = E$$

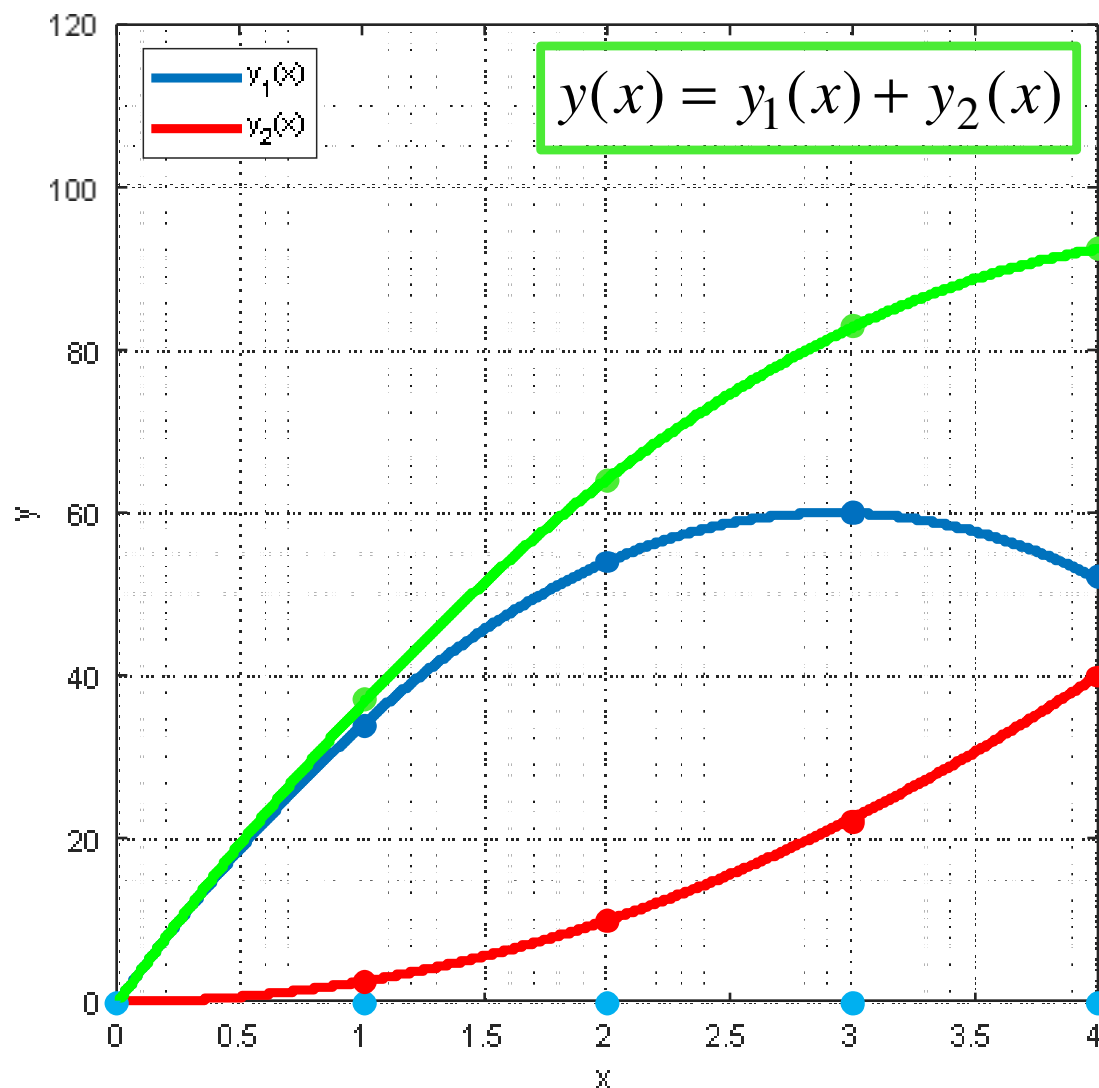


Phương pháp đồ thị (2), cộng

VD1

Vẽ đồ thị của $y(x) = y_1(x) + y_2(x)$?

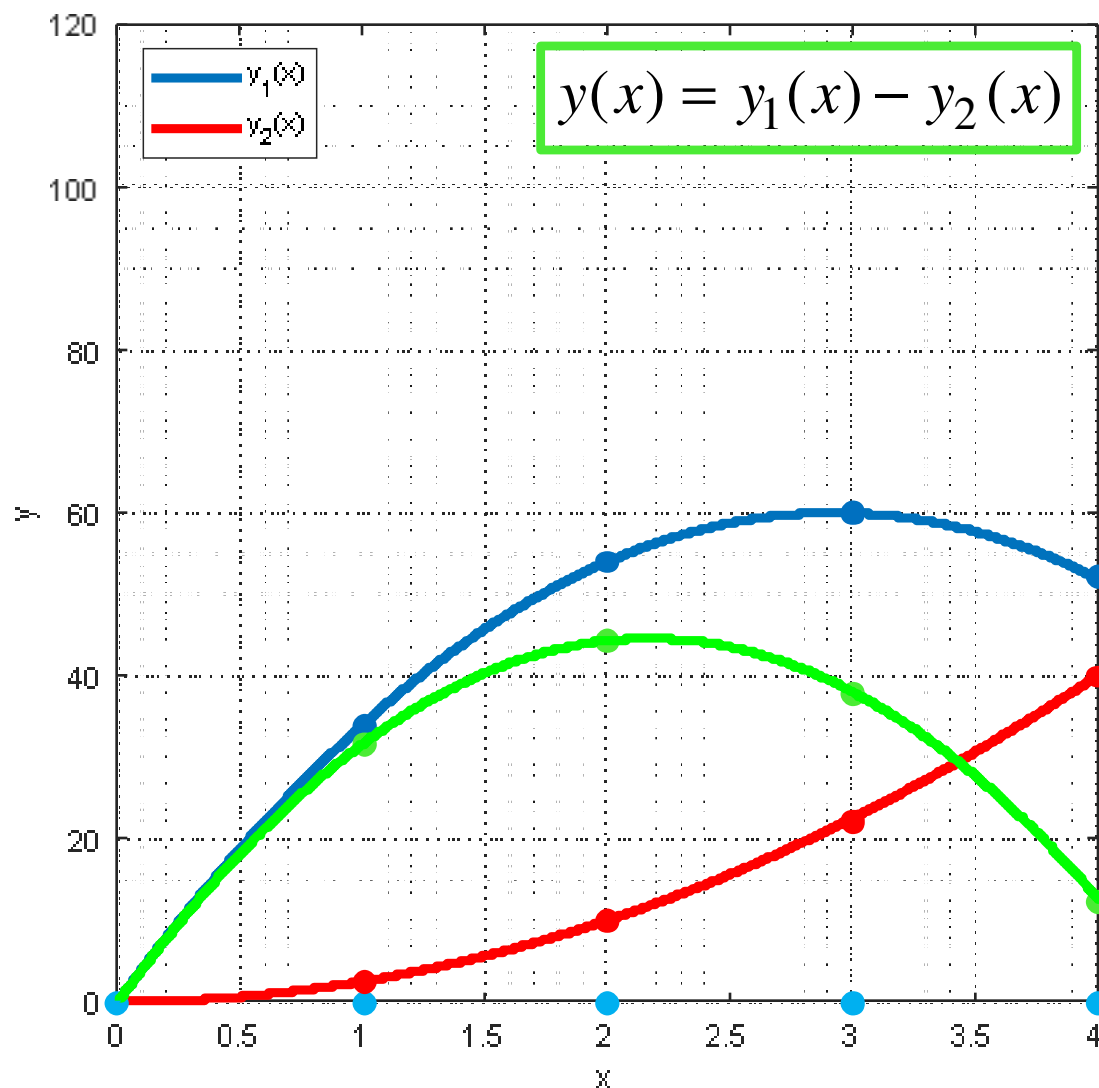
x	$y_1(x)$	$y_2(x)$	$y(x)$
0	0	+0	= 0
1	34,0	+2,5	= 36,5
2	54,0	+10,0	= 64,0
3	60,0	+23,0	= 83,0
4	52,0	+40,0	= 92,0



Phương pháp đồ thị (3), trừ

VD2

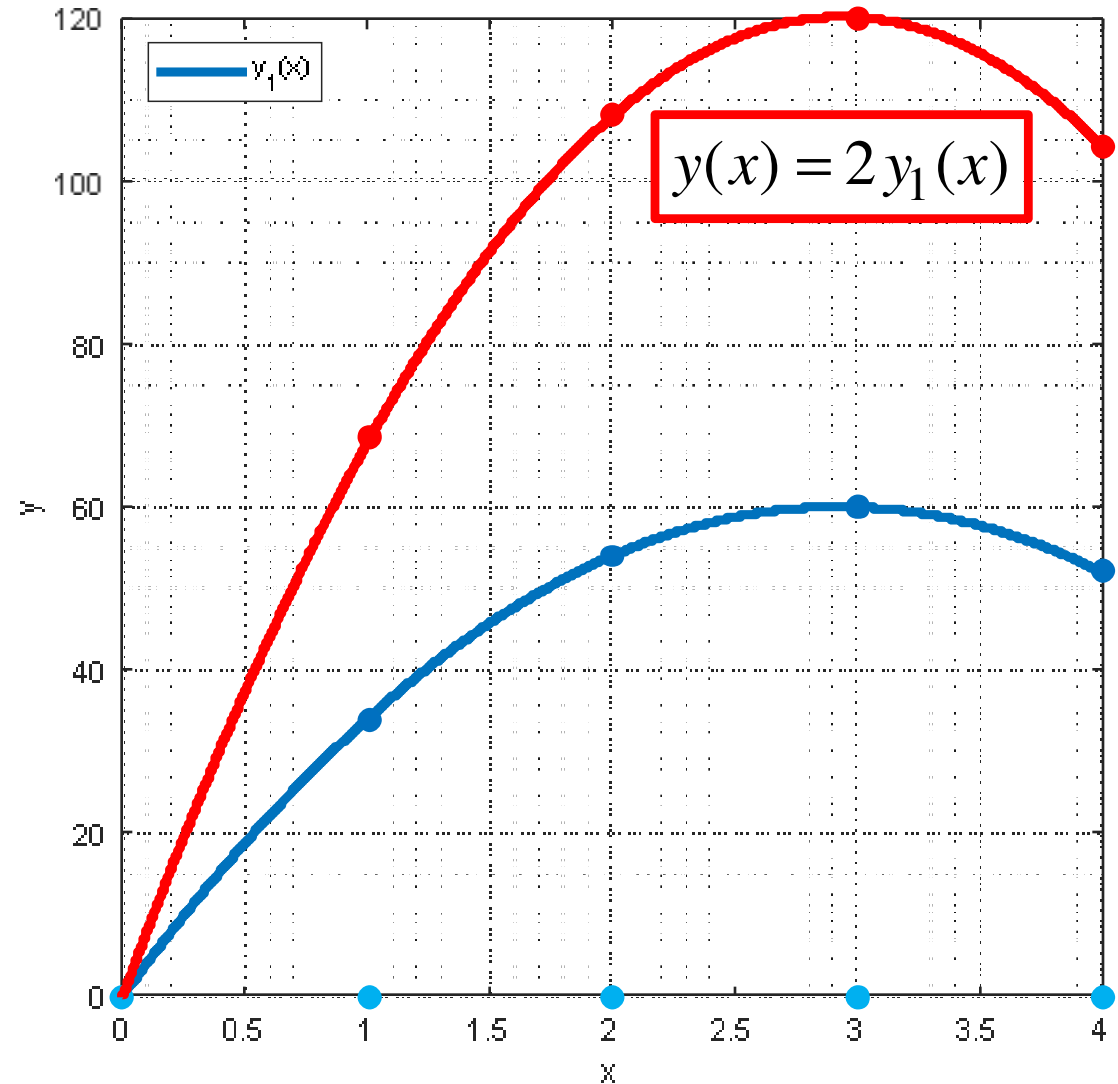
Vẽ đồ thị của $y(x) = y_1(x) - y_2(x)$?



Phương pháp đồ thị (4), tỉ lệ

VD3

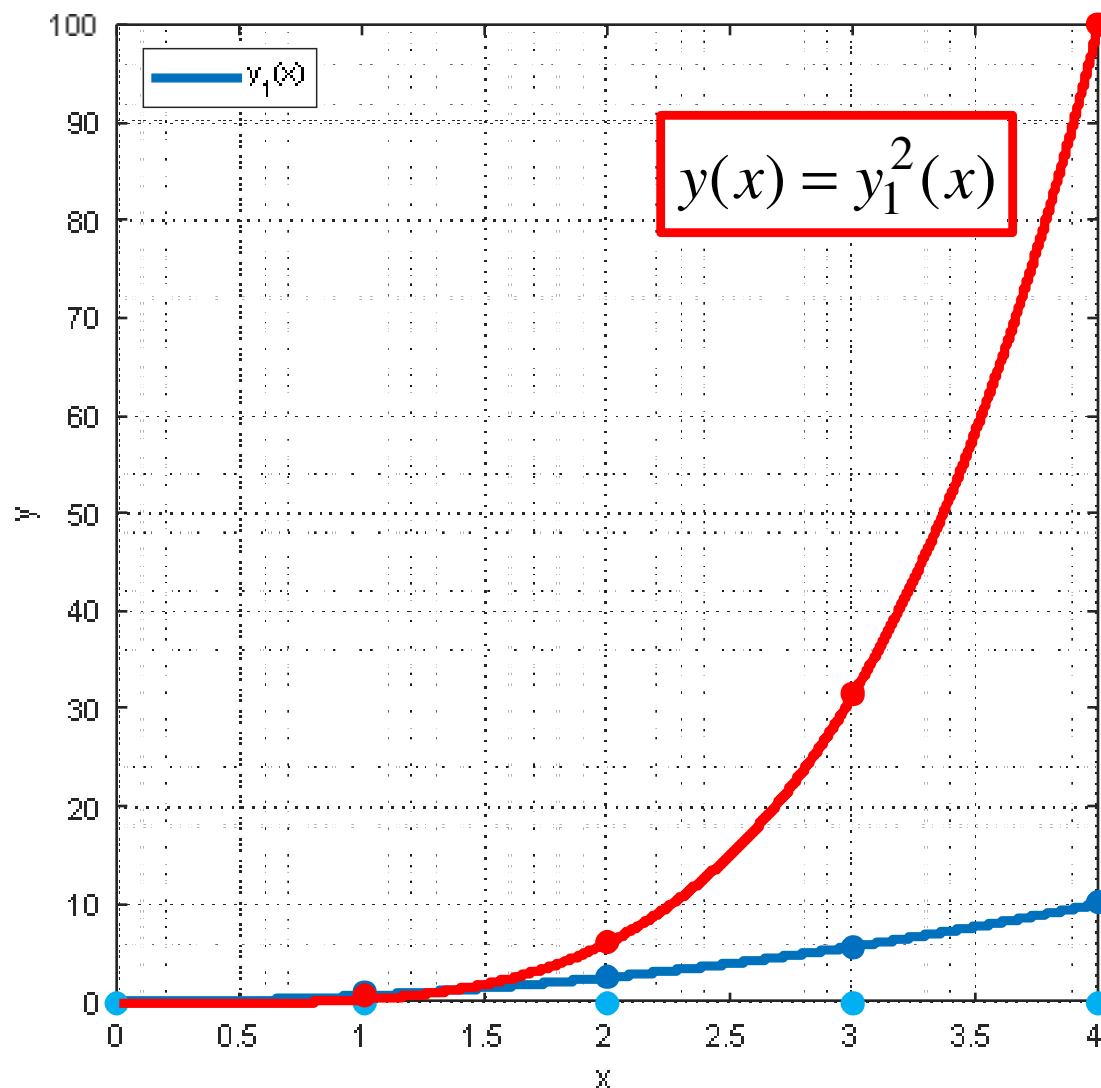
Vẽ đồ thị của $y(x) = 2y_1(x)$?



Phương pháp đồ thị (5), bình phương

VD4

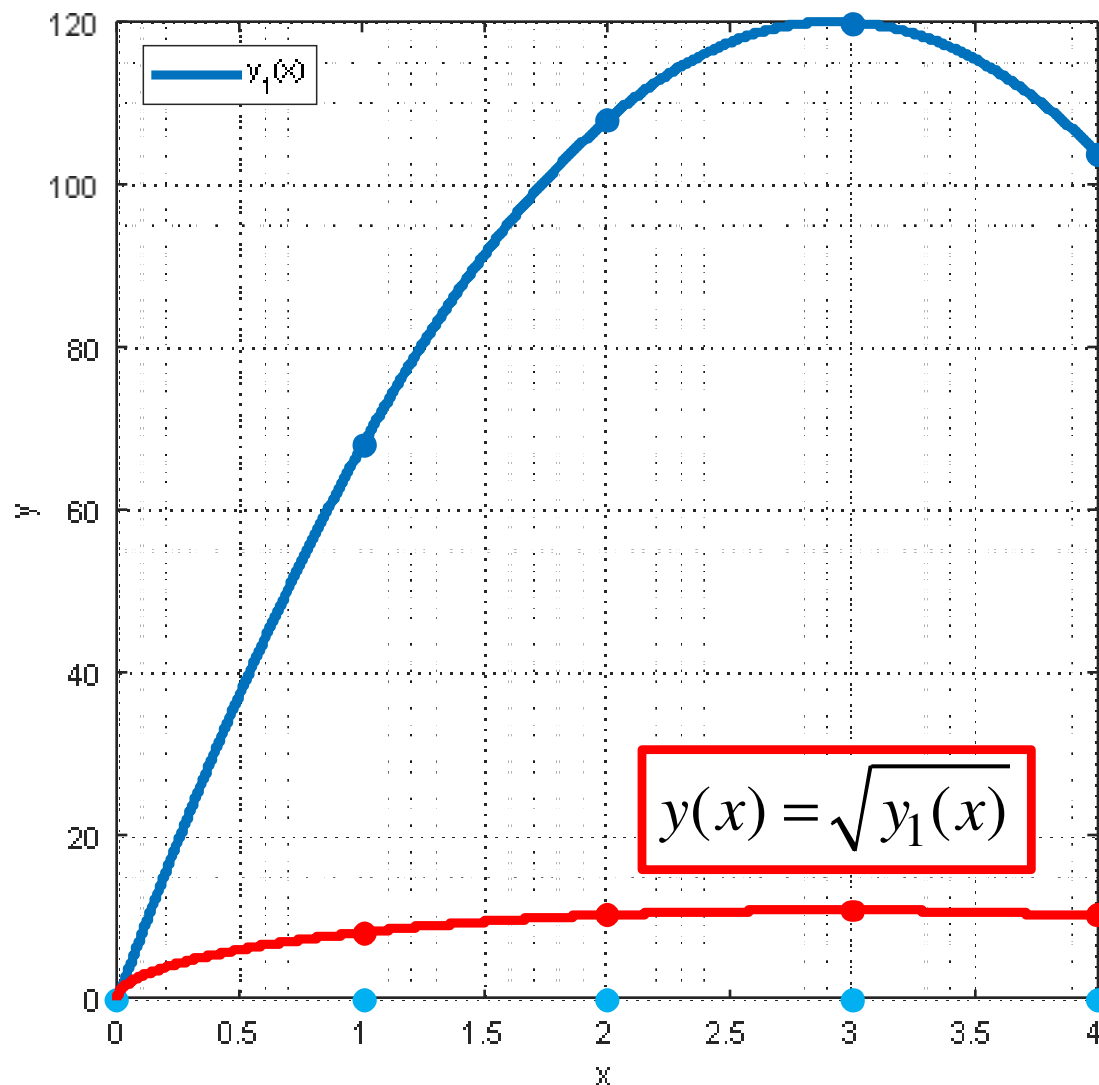
Vẽ đồ thị của $y(x) = y_1^2(x)$?



Phương pháp đồ thị (6), khai căn

VD5

Vẽ đồ thị của $y(x) = \sqrt{y_1(x)}$?

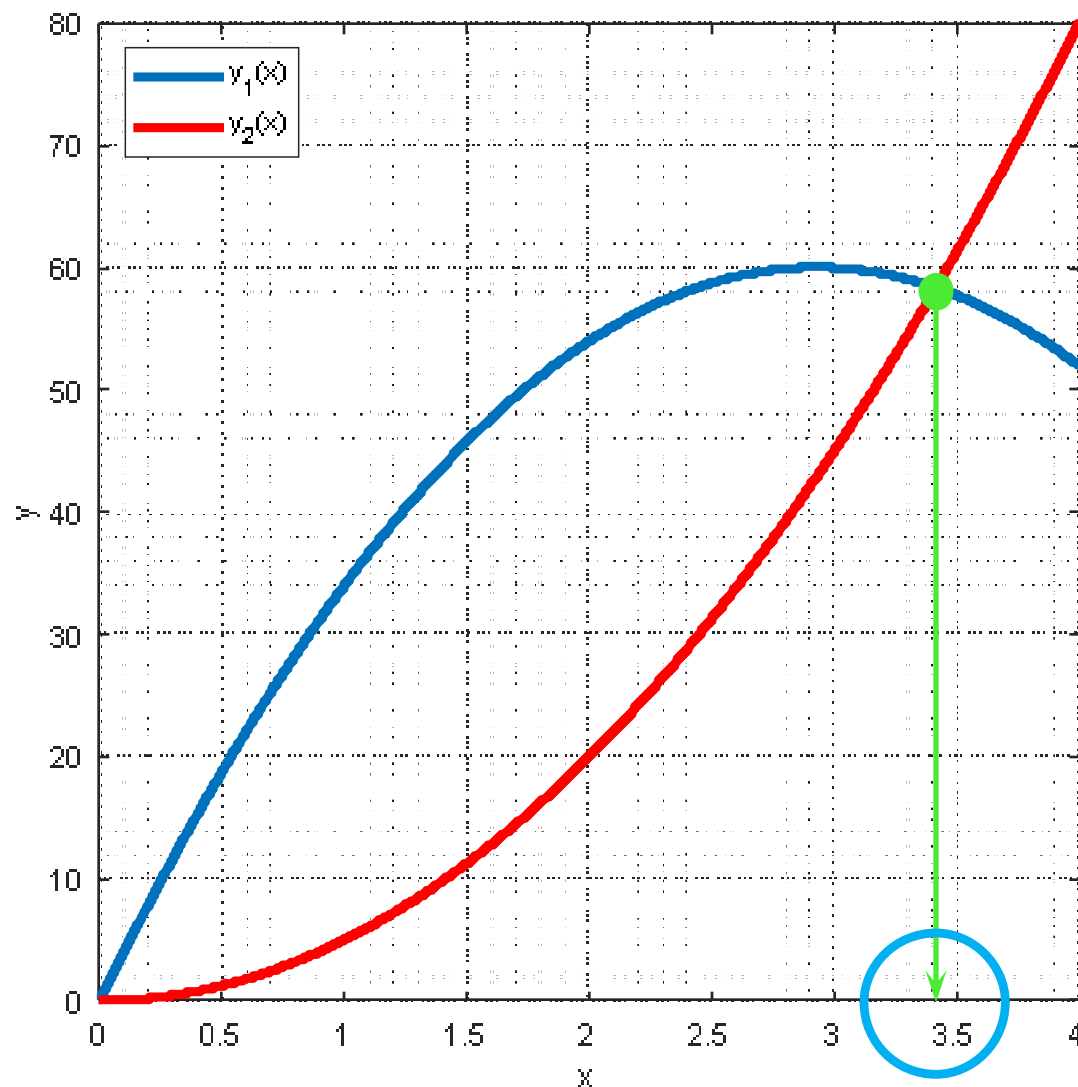


Phương pháp đồ thị (7), tìm nghiệm

VD6

Giải phương trình $y_1(x) = y_2(x)$?

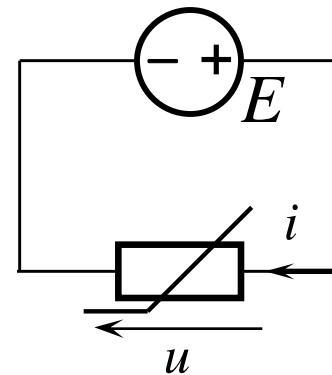
$x = 3,4$



Phương pháp đồ thị (8)

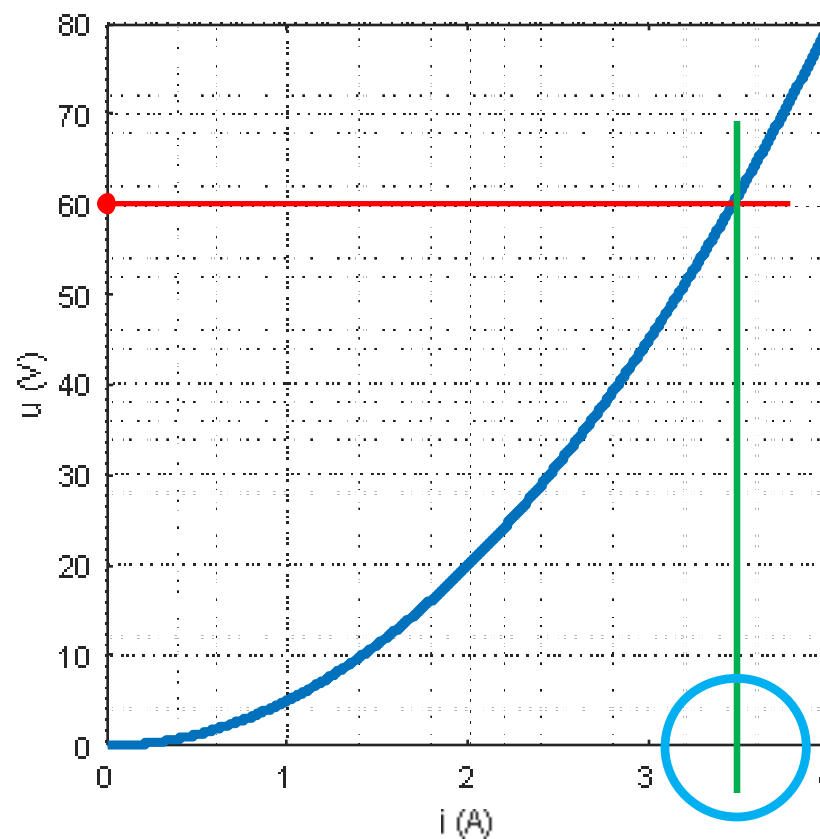
VD7

$E = 60\text{V}$; tính dòng điện?



$$u(i) = E = 60$$

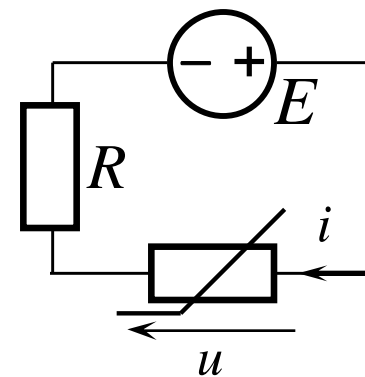
$$\rightarrow i = 3,45 \text{ A}$$



Phương pháp đồ thị (9)

VD8

$E = 90V$; $R = 15 \Omega$; tính dòng điện?



$$\sum_{k=1}^N u_k = 0; \quad \sum_{k=1}^M i_k = 0$$

$$u_R = Ri;$$

$$u_R = u_R(i)$$

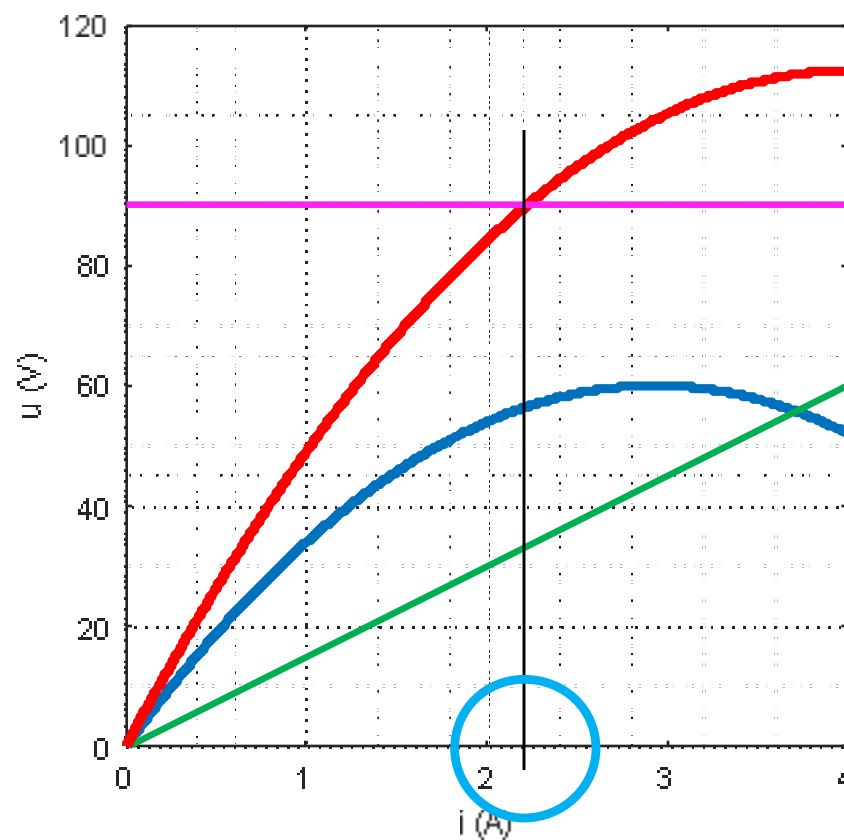
$$u_L = L \frac{di}{dt}; \quad u_L = \frac{d\psi}{dt}$$

$$i_C = C \frac{du}{dt}; \quad i_C = \frac{dq}{dt}$$

$$u(i) + Ri = E$$

$$\rightarrow u(i) + 15i = 90$$

$$\rightarrow i = 2,2 A$$



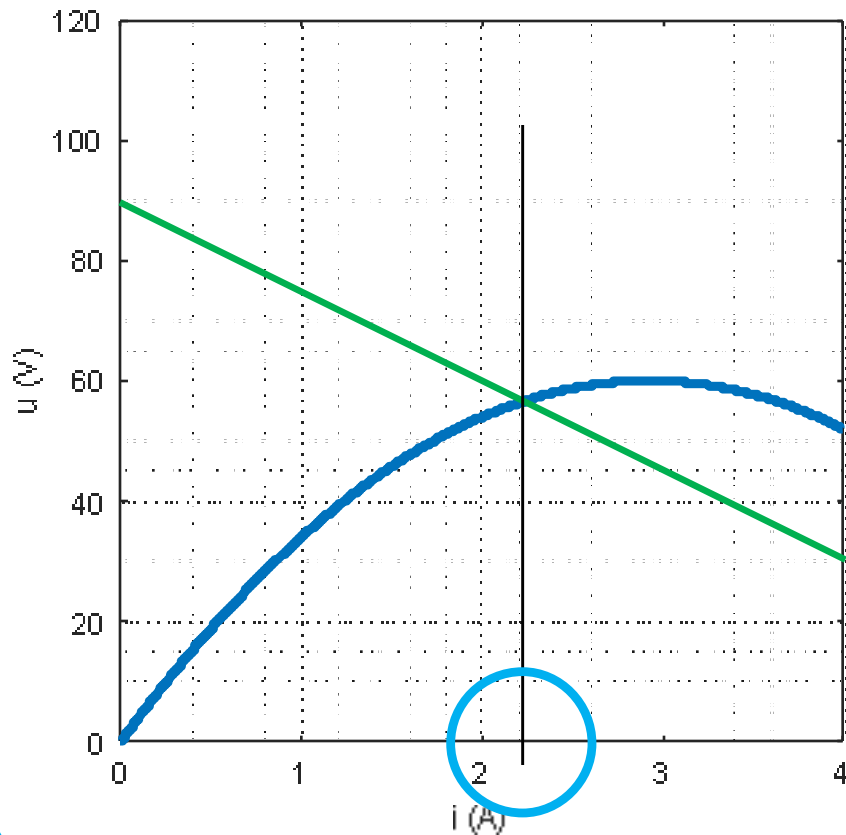
Phương pháp đồ thị (10)

VD8

$E = 90V$; $R = 15 \Omega$; tính dòng điện?

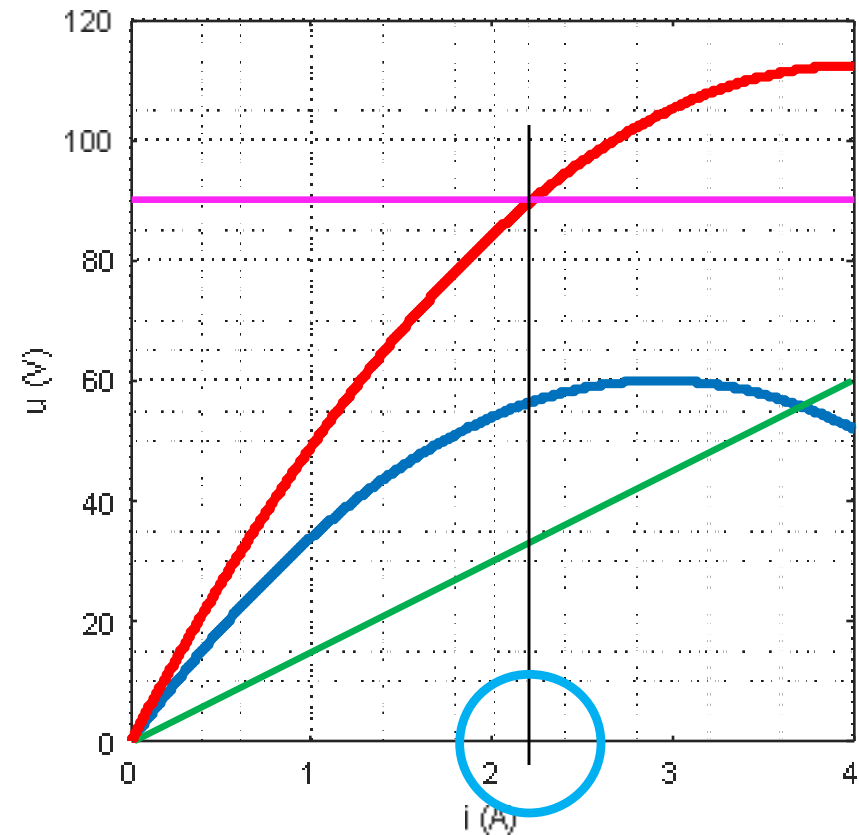
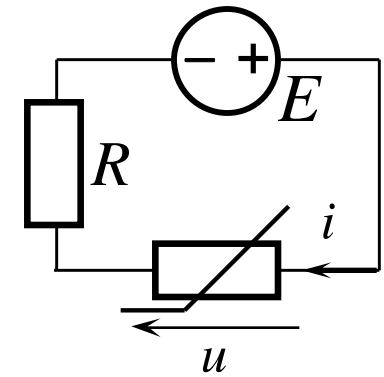
$$u(i) + 15i = 90 \rightarrow u(i) = 90 - 15i$$

$$\rightarrow i = 2,2 A$$



$$u(i) + 15i = 90$$

$$\rightarrow i = 2,2 A$$

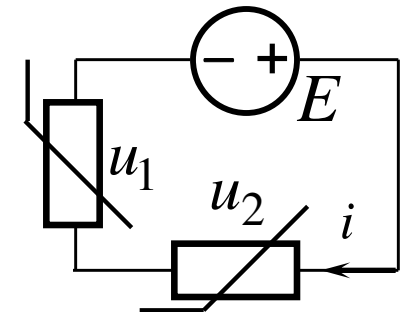




Phương pháp đồ thị (11)

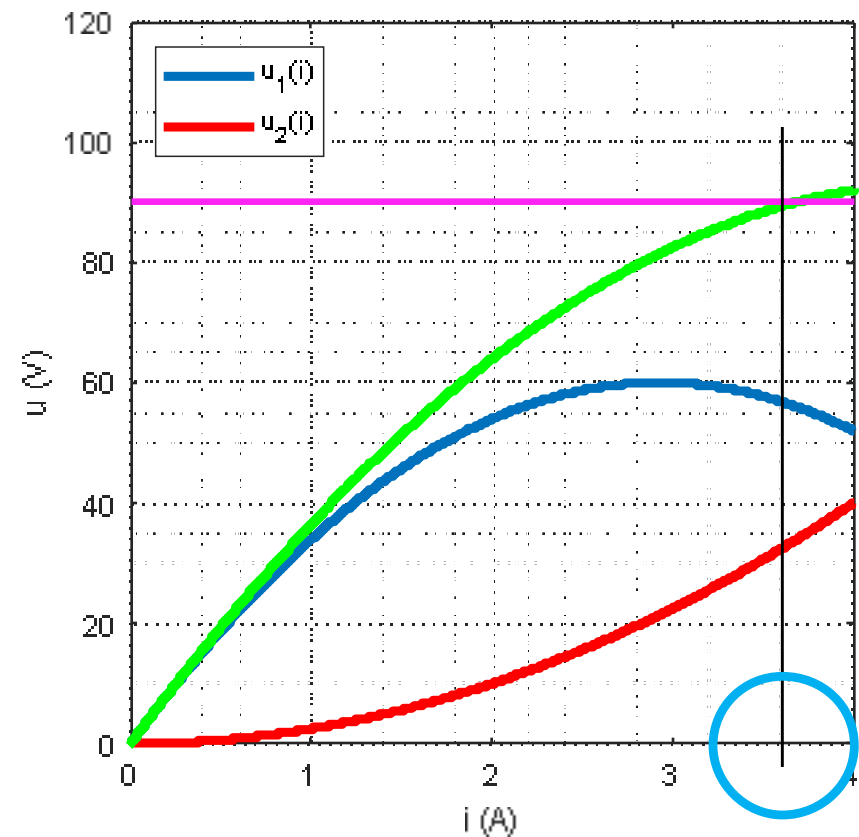
VD9

$E = 90V$, tính dòng điện?



$$u_1(i) + u_2(i) = E = 90$$

$$\rightarrow i = 3,6 \text{ A}$$



Phương pháp đồ thị (12)

VD10

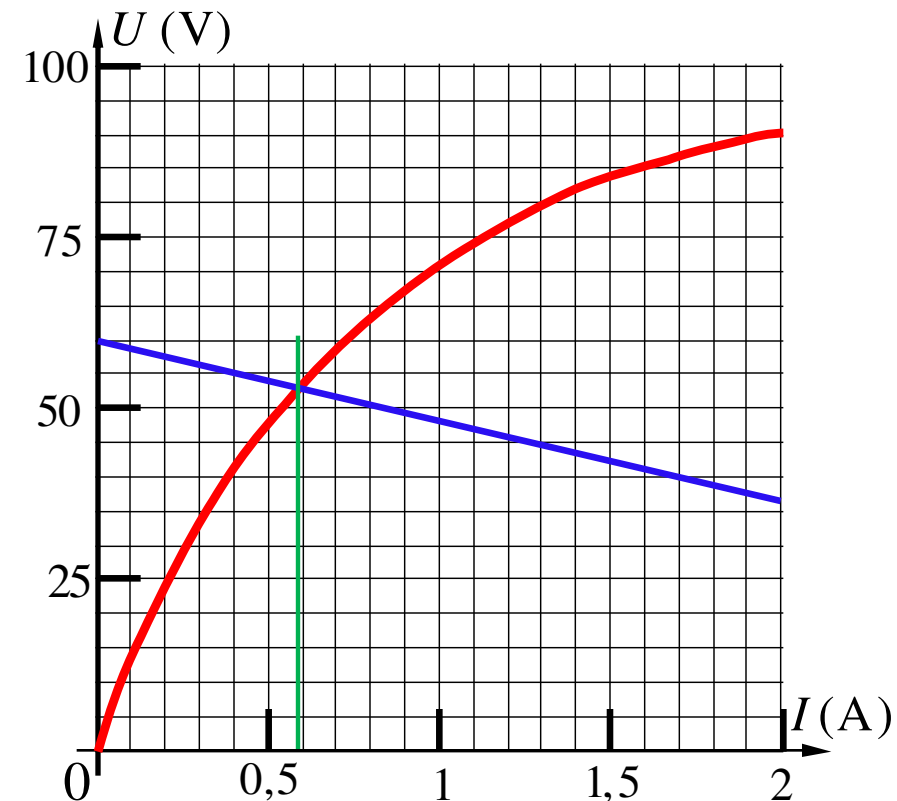
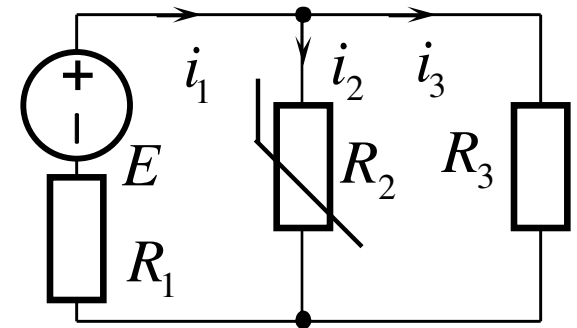
$E = 100\text{V}; R_1 = 20\ \Omega; R_3 = 30\ \Omega$. Tính các dòng điện?

$$\begin{cases} i_1 - i_2 - i_3 = 0 \\ u_2 = R_3 i_3 \\ R_1 i_1 + u_2 = E \end{cases} \rightarrow \begin{cases} i_1 - i_2 - i_3 = 0 \\ u_2 = 30 i_3 \\ 20 i_1 + u_2 = 100 \end{cases}$$

$$\rightarrow \begin{cases} i_1 - i_2 - \frac{u_2}{30} = 0 \\ 20 i_1 + u_2 = 100 \end{cases} \rightarrow 20 \left(i_2 + \frac{u_2}{30} \right) + u_2 = 100$$

$$\rightarrow u_2(i_2) = \boxed{60 - 12 i_2}$$

$$\rightarrow \boxed{i_2 = 0,59\text{ A}} \quad \text{(Cách 1)}$$

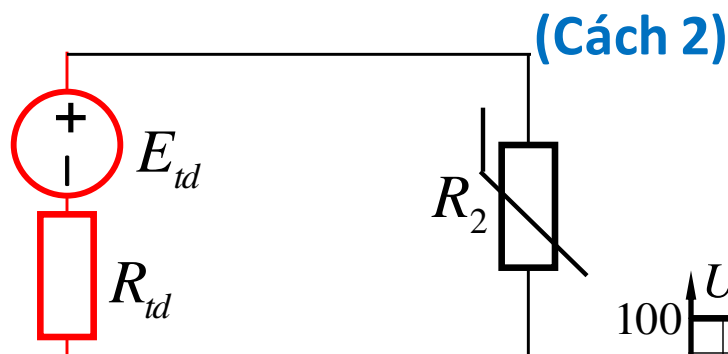


Phương pháp đồ thị (13)

VD10

$E = 100\text{V}; R_1 = 20\ \Omega; R_3 = 30\ \Omega$. Tính các dòng điện?

$$R_{td} = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} = \frac{20 \cdot 30}{20 + 30} = 12\ \Omega$$

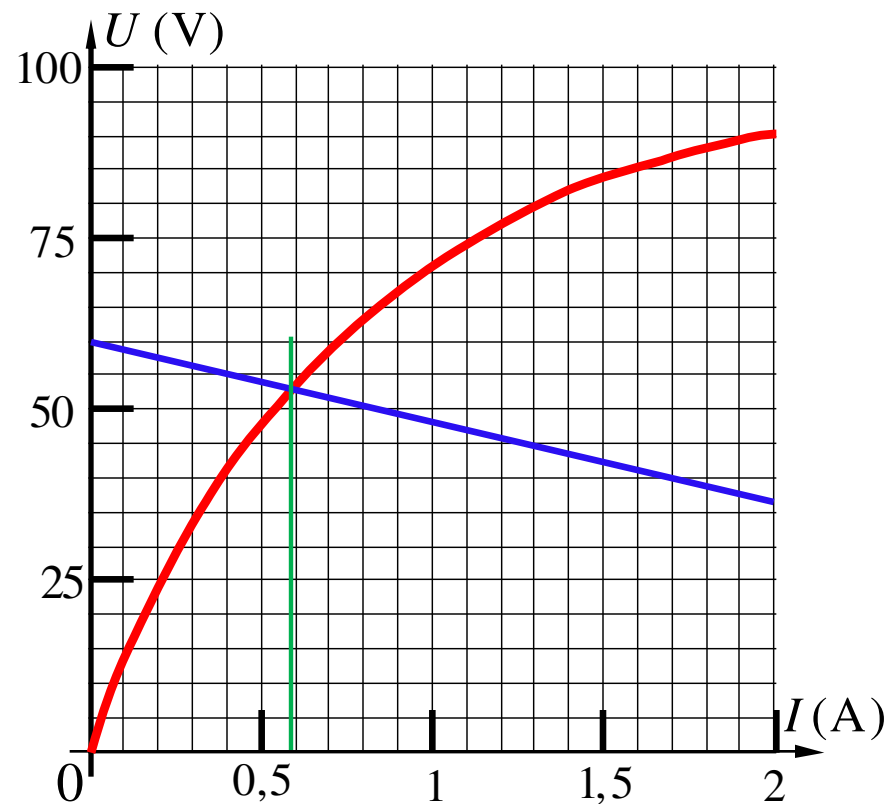
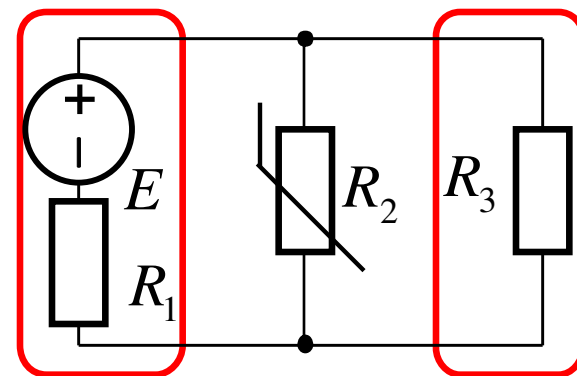


$$E_{td} = \frac{E / R_1}{1 / R_1 + 1 / R_3} = \frac{100 / 20}{1 / 20 + 1 / 30} = 60\text{ V}$$

$$u_2(i_2) + 12i_2 = 60$$

$$\rightarrow u_2(i_2) = 60 - 12i_2$$

$$\rightarrow i_2 = 0,59\text{ A}$$



Phương pháp đồ thị (14)

VD11

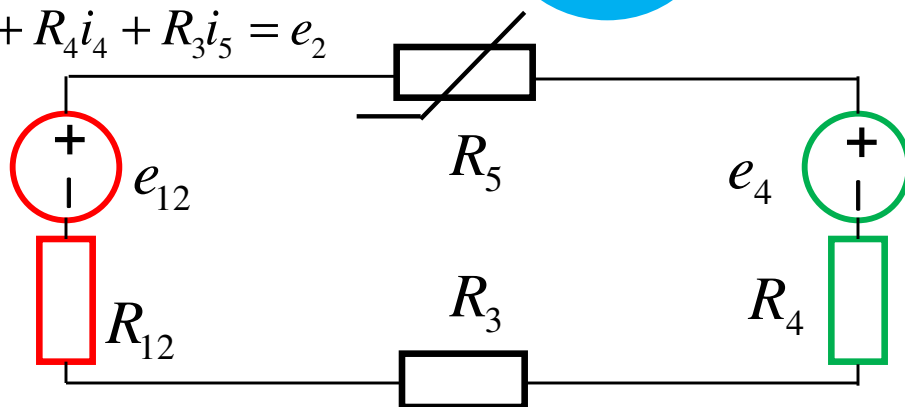
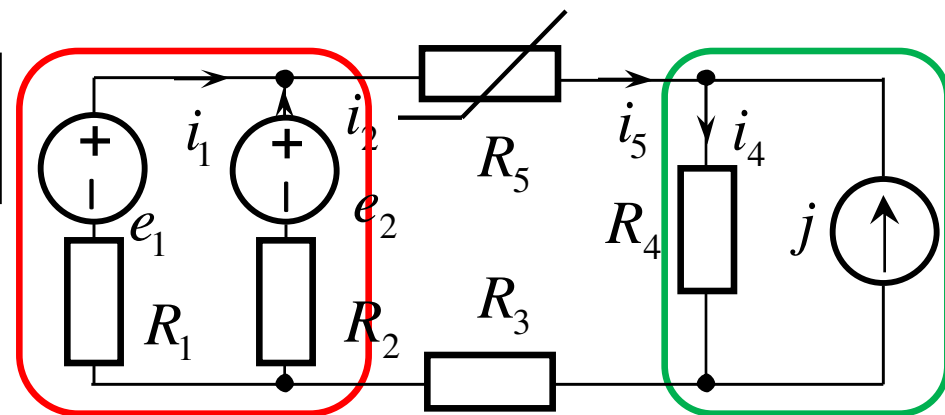
$R_1 = 20\Omega; R_2 = 30\Omega; R_3 = R_4 = 40\Omega; C = 0,4\text{mF};$
 $e_1 = 200\text{ V}; e_2 = 180\text{ V}; j = 2\text{ A}$. Tìm i_5 ?

$$\begin{cases} i_1 + i_2 - i_5 = 0 \\ i_5 - i_4 + j = 0 \end{cases}$$

$$R_1 i_1 - R_2 i_2 = e_1 - e_2$$

$$R_2 i_2 + u_5 + R_4 i_4 + R_3 i_5 = e_2$$

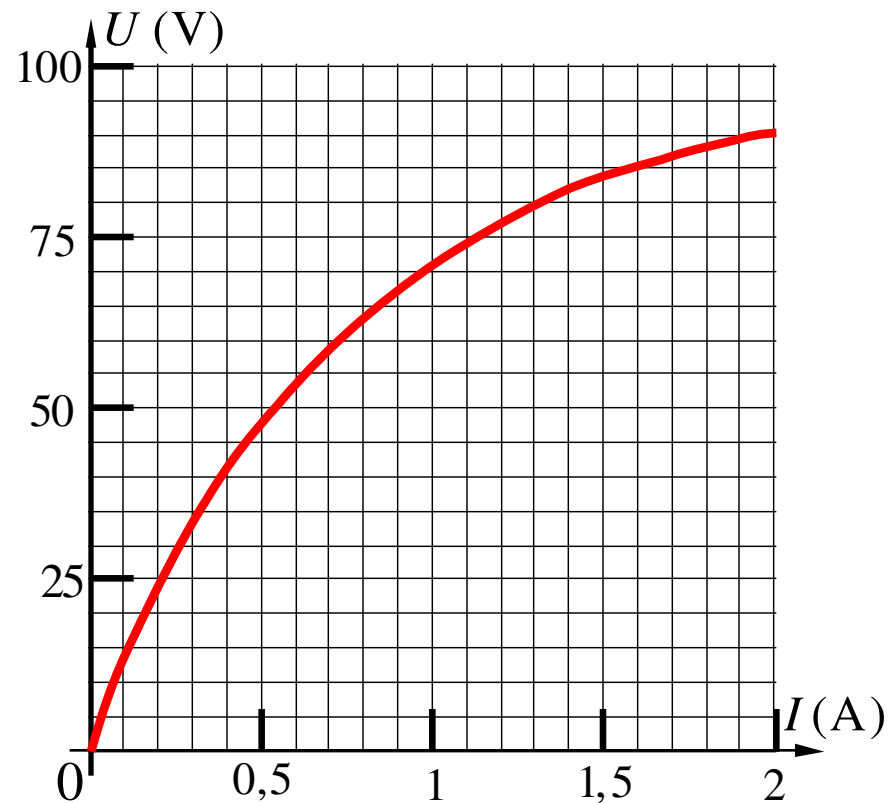
$$\rightarrow u_5(i_5) = A - Bi_5$$



$$R_{12} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{20 \cdot 30}{20 + 30} = 12\Omega$$

$$e_{12} = \frac{e_1 / R_1 + e_2 / R_2}{1 / R_1 + 1 / R_2} = \frac{200 / 20 + 180 / 30}{1 / 20 + 1 / 30} = 192\text{ V}$$

$$e_4 = R_4 j = 40 \cdot 2 = 80\text{ V}$$

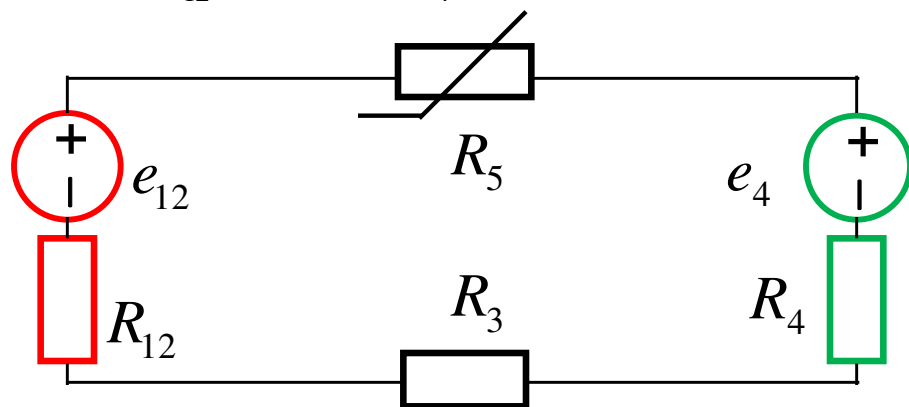


Phương pháp đồ thị (15)

VD11

$R_1 = 20\Omega; R_2 = 30\Omega; R_3 = R_4 = 40\Omega; C = 0,4\text{mF};$
 $e_1 = 200\text{ V}; e_2 = 180\text{ V}; j = 2\text{ A.}$ Tìm i_5 ?

$R_{12} = 12\Omega; e_{12} = 192\text{ V}; e_4 = 80\text{ V}$

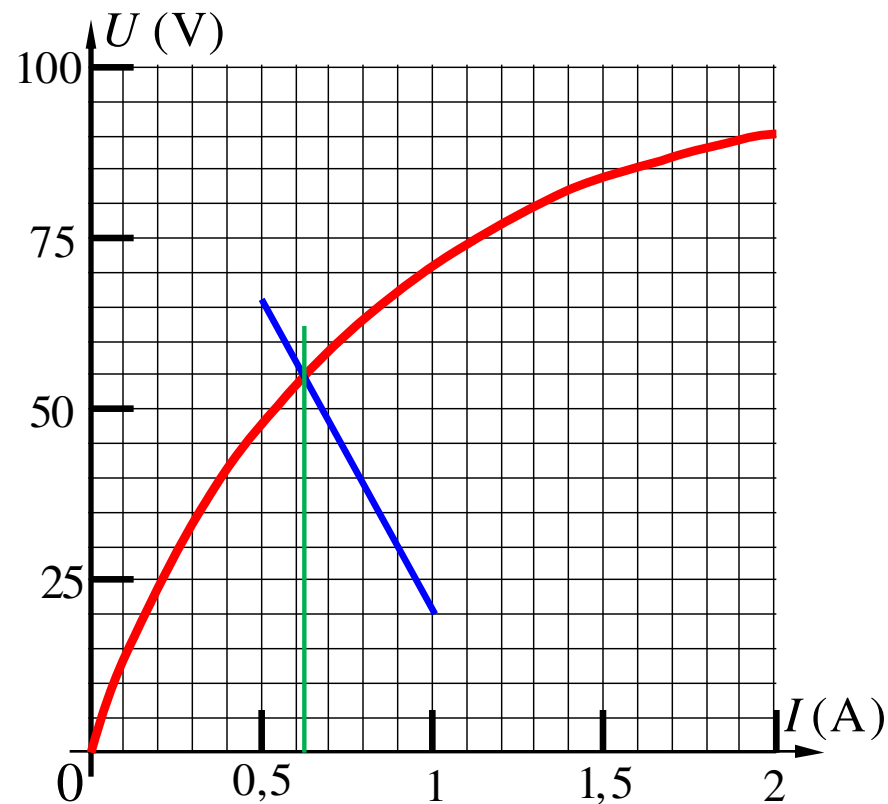
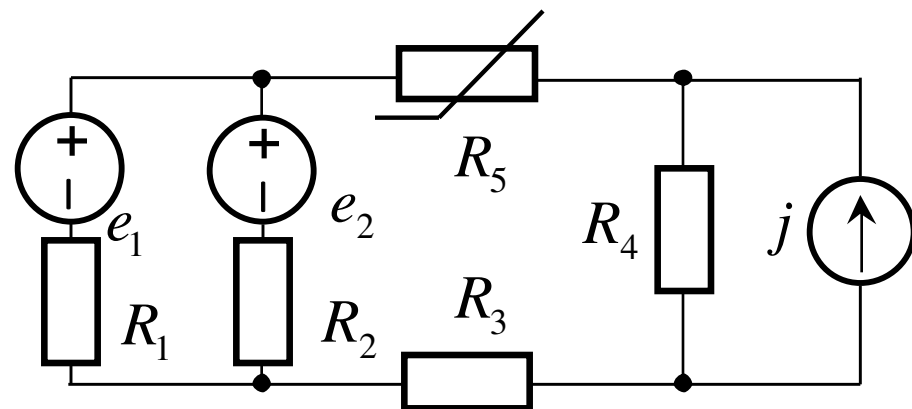


$$u_5(i_5) + (R_{12} + R_3 + R_4)i_5 = e_{12} - e_4$$

$$\rightarrow u_5(i_5) + (12 + 40 + 40)i_5 = 192 - 80$$

$$\rightarrow u_5(i_5) = 112 - 92i_5$$

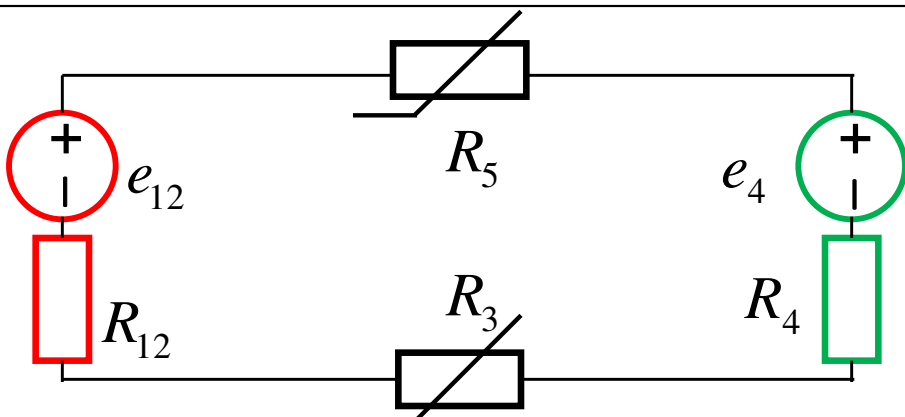
$$\rightarrow i_5 = 0,61\text{ A}$$



Phương pháp đồ thị (16)

VD12

$R_1 = 20\Omega; R_2 = 30\Omega; R_3 = R_4 = 40\Omega; C = 0,4\text{mF};$
 $e_1 = 200\text{ V}; e_2 = 180\text{ V}; j = 2\text{ A}$. Tìm i_5 ?



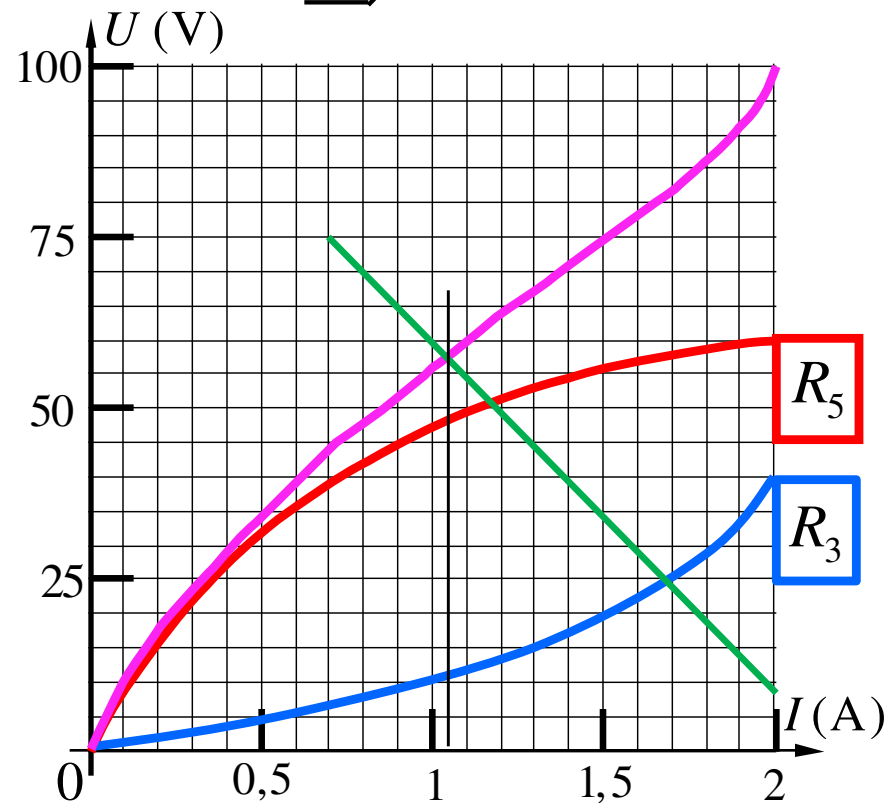
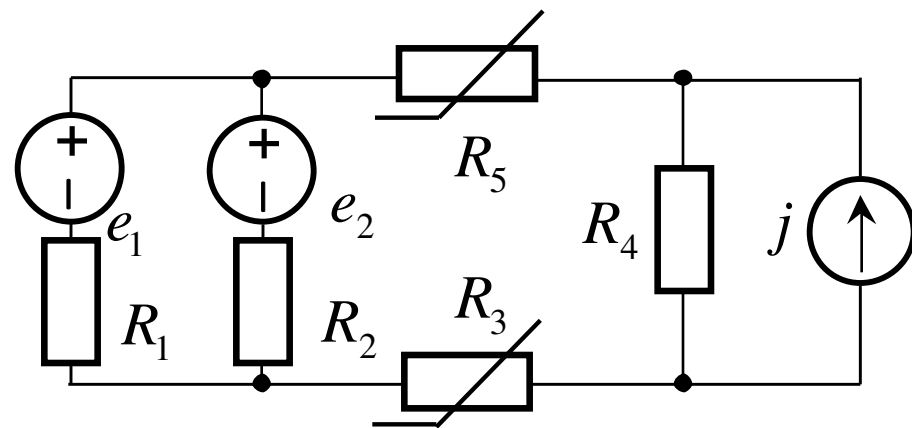
$$R_{12} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{20 \cdot 30}{20 + 30} = 12\Omega$$

$$e_{12} = \frac{e_1 / R_1 + e_2 / R_2}{1 / R_1 + 1 / R_2} = \frac{200 / 20 + 180 / 30}{1 / 20 + 1 / 30} = 192\text{ V}$$

$$e_4 = R_4 j = 40 \cdot 2 = 80\text{ V}$$

$$\rightarrow u_3(i_3) + u_5(i_3) + (12 + 40)i_5 = 192 - 80$$

$$\rightarrow u_3(i_3) + u_5(i_3) = 112 - 52i_3 \rightarrow i_3 = 1,05\text{ A}$$

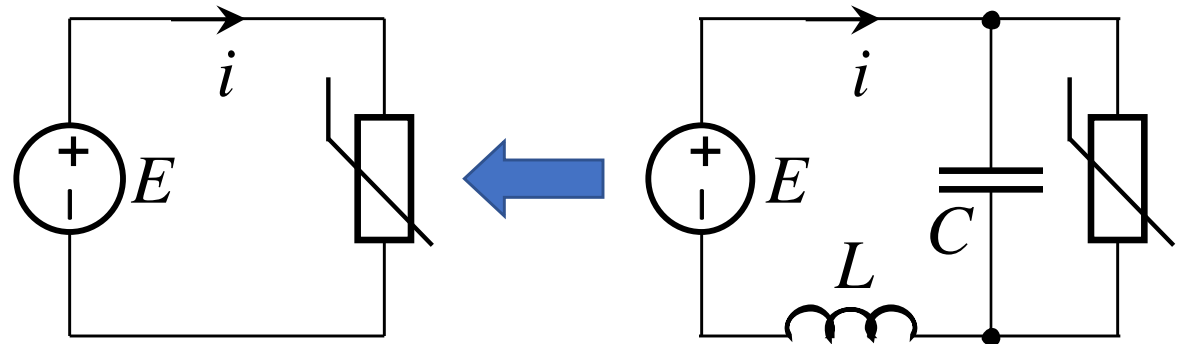


Phương pháp đồ thị (17)

VD13

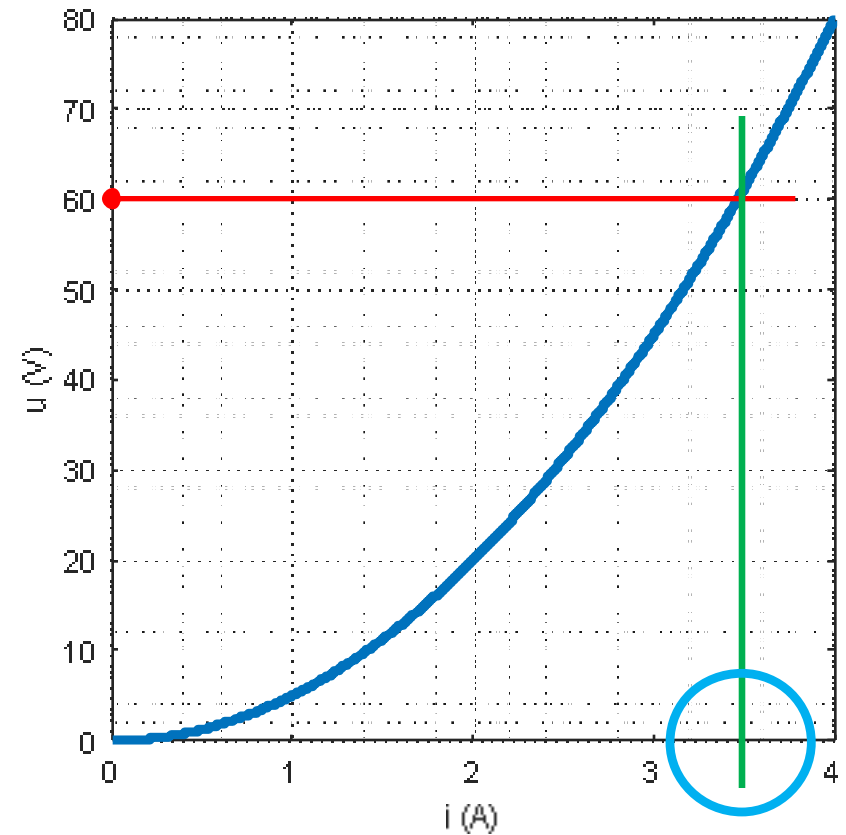
$E = 60\text{V}; L = 2\text{ H}; C = 4\text{ mF}.$

Tính dòng điện i ?



$$u(i) = E = 60$$

$$\rightarrow i = 3,45\text{ A}$$



Phương pháp đồ thị (18)

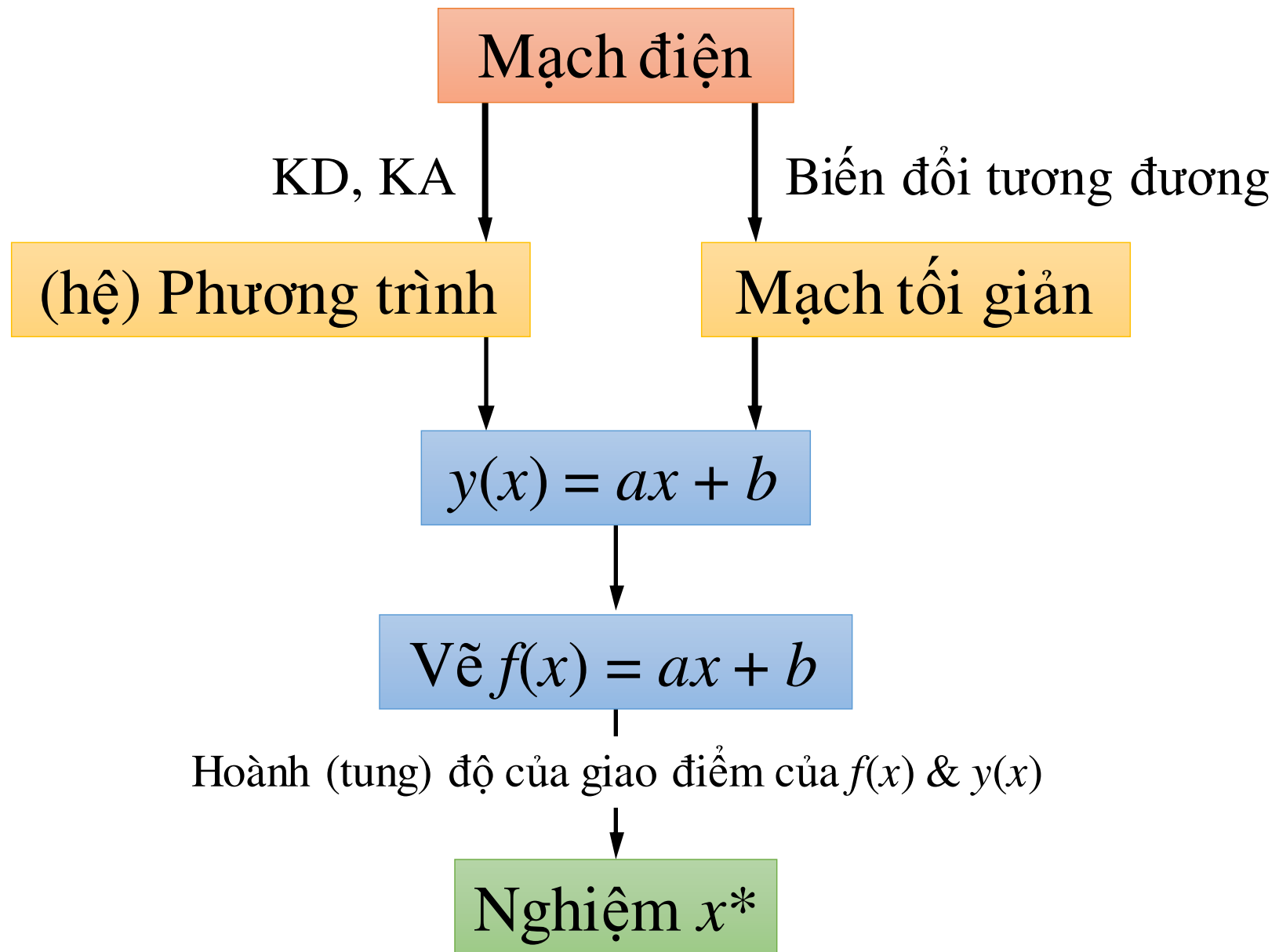
- Dùng đồ thị để giải phương trình một ẩn số:

$$\boxed{y(x) = ax + b} \quad (\alpha)$$

(đường cong $y(x)$ cho trước)

- Áp dụng cho mạch điện có ít phần tử phi tuyến.
- Các bước thực hiện:
 1. Lập 01 phương trình 01 ẩn số (α) bằng một trong hai cách:
 - a) Lập (hệ) phương trình (phương pháp dòng nhánh) mô tả mạch, rồi rút gọn về dạng (α) , hoặc,
 - b) Dùng phương pháp biến đổi tương đương để đưa mạch điện về mạch có tất cả các phần tử nối tiếp với nhau, từ đó lập (α) .
 2. Vẽ đường thẳng $f(x) = ax + b$,
 3. Tìm giao điểm M của đường cong $y(x)$ & đường thẳng $f(x)$, nghiệm của (α) là hoành độ hoặc tung độ của M .

Phương pháp đồ thị (19)



Lý thuyết mạch II

I. Quá trình quá độ

II. Mạch phi tuyến

1. Giới thiệu
2. Đặc tính của phần tử phi tuyến
- 3. Chế độ xác lập**
 - a) **Mạch một chiều**
 - i. Phương pháp đồ thị
 - ii. Phương pháp dò**
 - b) Mạch xoay chiều
4. Chế độ quá độ
5. Điốt và tranzito

III. Đường dây dài

Phương pháp dò (1)

VD1

$E = 90V$; $R = 15 \Omega$; tính dòng điện?

$$u(i) + 15i = 90$$

$i \rightarrow u(i)$, $15i \rightarrow$
 $u(i) + 15i = 90$?

Lập sơ đồ tính

Gán cho nghiệm
một giá trị

Thay vào
sơ đồ tính

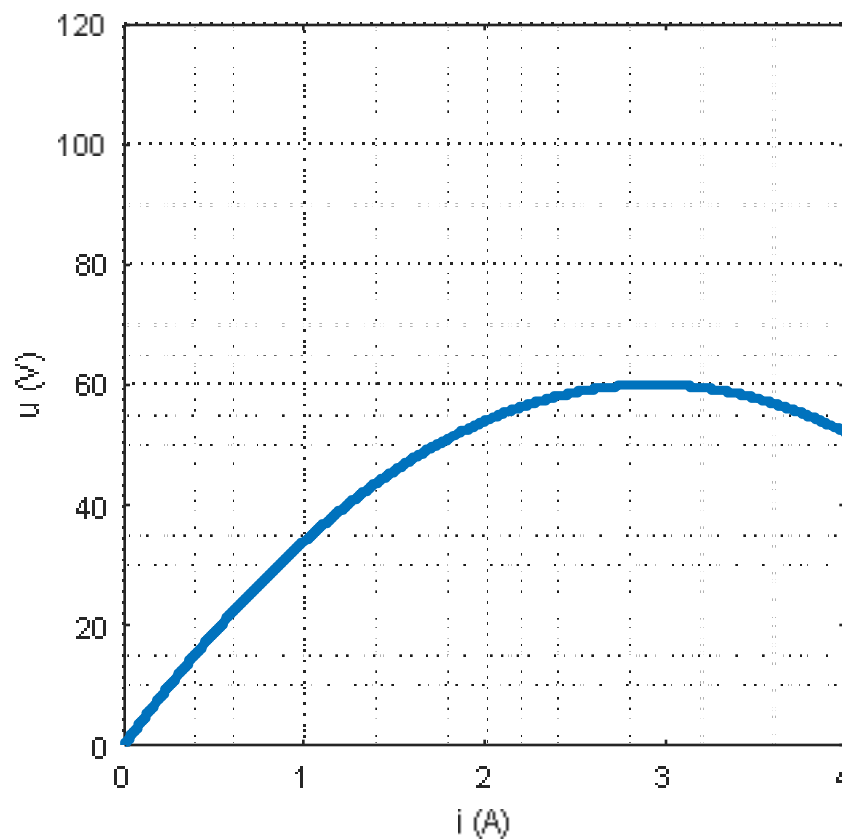
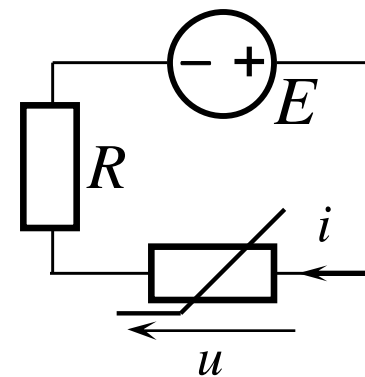
Thoả mãn?

Không

Có

Dừng

$$i^{(*)} = 2,2 \text{ A}$$



Phương pháp dò (2)

VD1

$E = 90V$; $R = 15 \Omega$; tính dòng điện?

$$u(i) + 15i = 90$$

$$i \rightarrow u(i), 15i \rightarrow u(i) + 15i = 90?$$

Lập sơ đồ tính

Gán cho nghiệm một giá trị

$$i^{(2)} = 2,2 \text{ A}$$

$$u^{(2)} = 57 \text{ V}$$

$$15i^{(2)} = 15 \cdot 2,2 = 33 \text{ V}$$

Thay vào sơ đồ tính

$$u^{(2)} + 15i^{(2)} = 90 \text{ V}$$

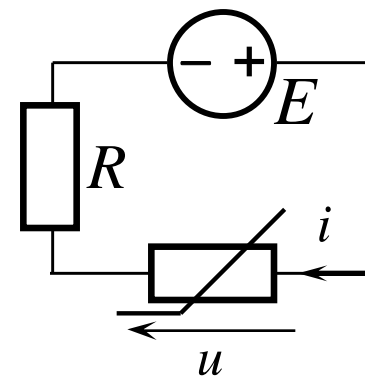
Thoả mãn?

Không

Có

Dừng

$$i^{(*)} = 2,2 \text{ A}$$



$$\frac{\left| \left(u^{(k)} + 15i^{(k)} \right) - 90 \right|}{90} \leq \varepsilon$$

$$\frac{\left| f^{(k)} - \text{const} \right|}{\text{const}} \leq \varepsilon$$

Phương pháp dò (3)

VD1

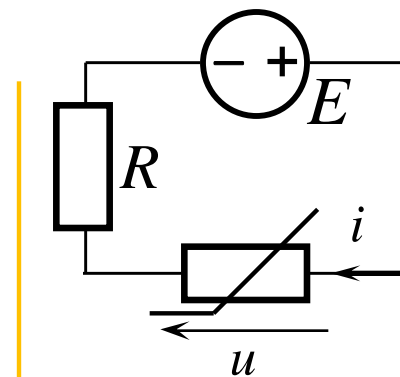
$E = 90V$; $R = 15 \Omega$; tính dòng điện?

$$u(i) + 15i = 90$$

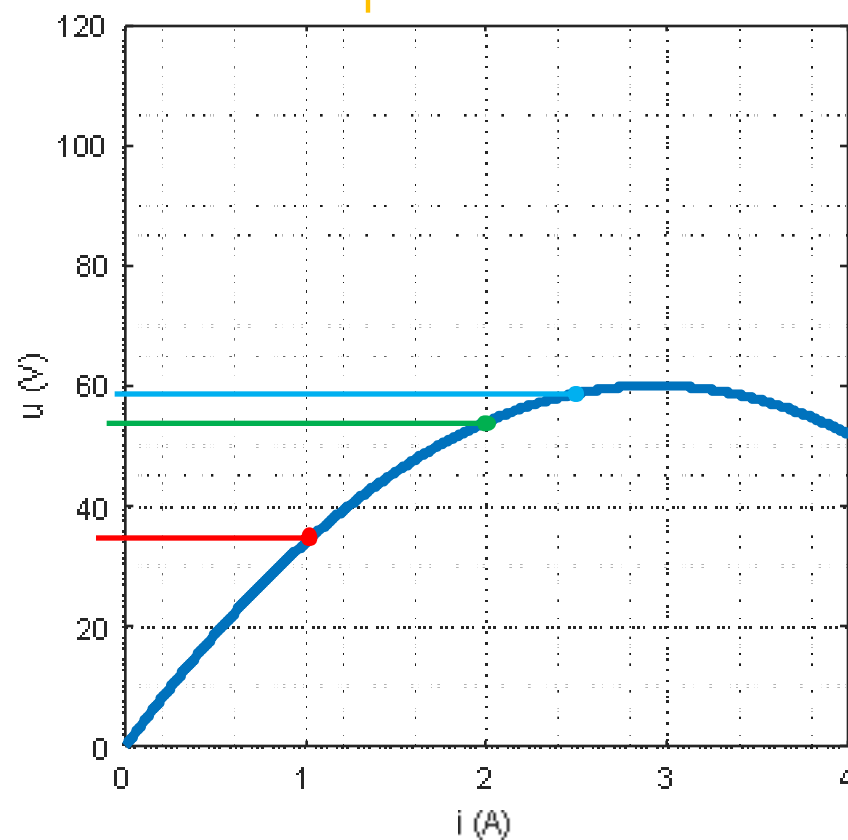
$$i \xrightarrow{\text{đồ thị}} u(i) \text{ \& } 15i \rightarrow E = u(i) + 15i = 90? \quad \varepsilon = \frac{|E^{(k)} - 90|}{90}$$

$$i^{(1)} = 1A \rightarrow u^{(1)} = 35V \rightarrow E^{(1)} = 35 + 15.1 = 50V$$

$$\rightarrow \varepsilon^{(1)} = |50 - 90| / 90 = 44\%$$



k	1	2	3
$i^{(k)} (A)$	1	2	2,5
$u^{(k)} (V)$	35	54	59
$15i^{(k)} (V)$	15	30	37,5
$E^{(k)} (V)$	50	84	96,5
$\varepsilon^{(k)} (\%)$	44,0	6,7	7,2



Phương pháp dò (4)

VD1

$i^{(k)}$ (A)	1	2	2,5
$E^{(k)} = u^{(k)} + 15i^{(k)}$ (V)	5,0	84	96,5

Dò tiếp

$$i^{(4)} = 2,2 \text{ A}$$

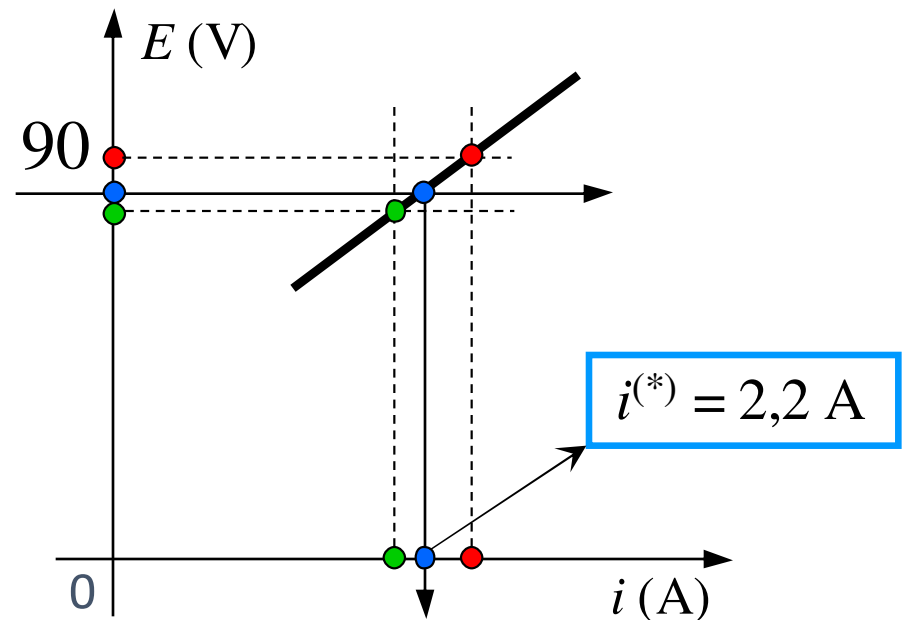
$$u^{(4)} = 57 \text{ V}$$

$$15i^{(4)} = 15 \cdot 2,2 = 33 \text{ V}$$

$$u^{(4)} + 15i^{(4)} = 90 \text{ V}$$

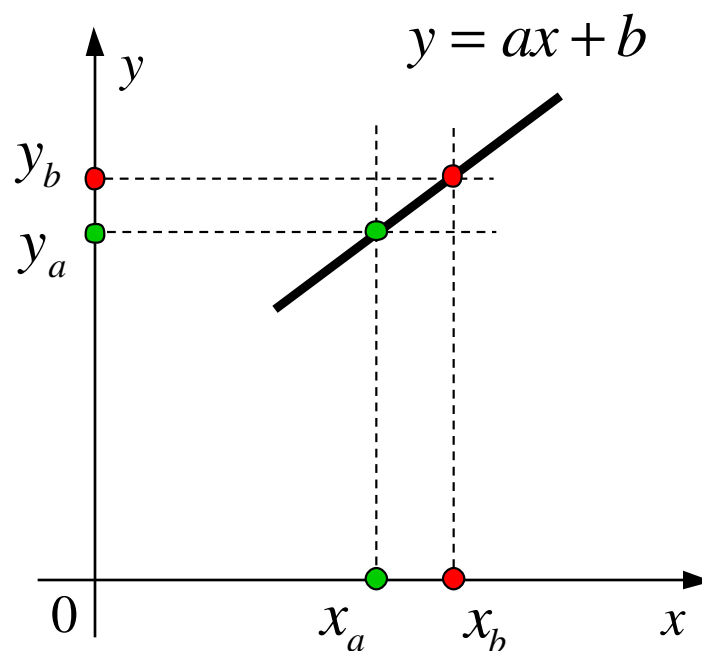
$$i^{(*)} = 2,2 \text{ A}$$

Nội/ngoại suy



Phương pháp dò (5)

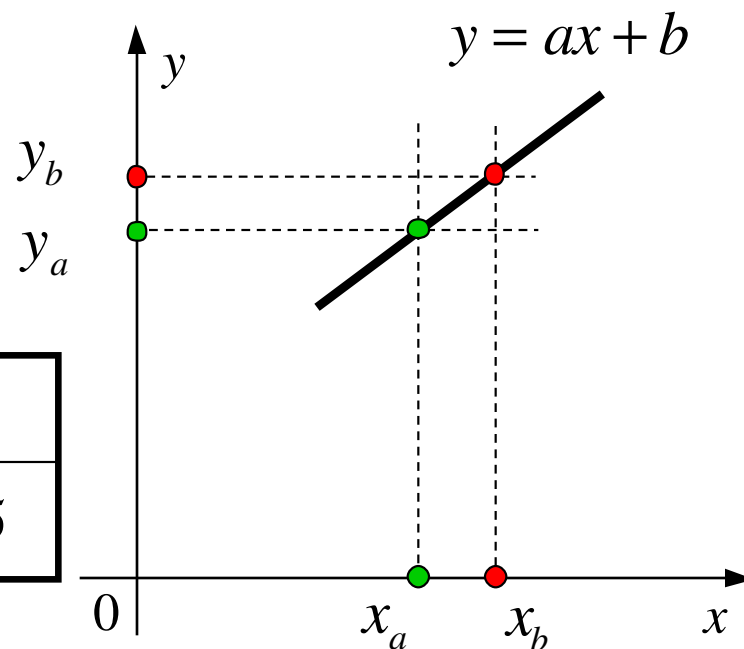
$$\begin{aligned} &\begin{cases} y_a = ax_a + b \\ y_b = ax_b + b \end{cases} \\ \rightarrow &\begin{cases} a = \frac{y_a - y_b}{x_a - x_b} \\ b = \frac{x_a y_b - x_b y_a}{x_a - x_b} \end{cases} \\ \rightarrow &\begin{cases} y = \frac{y_a - y_b}{x_a - x_b} x + \frac{x_a y_b - x_b y_a}{x_a - x_b} \\ x = \frac{x_a - x_b}{y_a - y_b} y - \frac{x_a y_b - x_b y_a}{y_a - y_b} \end{cases} \end{aligned}$$



Phương pháp dò (6)

VD1

$$\begin{cases} y = \frac{y_a - y_b}{x_a - x_b} x + \frac{x_a y_b - x_b y_a}{x_a - x_b} \\ x = \frac{x_a - x_b}{y_a - y_b} y - \frac{x_a y_b - x_b y_a}{y_a - y_b} \end{cases}$$



$i^{(k)}$ (A)	1	2	2,5
$E^{(k)} = u^{(k)} + 15i^{(k)}$ (V)	5,0	84	96,5

$$i = \frac{i_a - i_b}{E_a - E_b} E + \frac{E_a i_b - E_b i_a}{E_a - E_b} = \frac{2 - 2,5}{84 - 96,5} E + \frac{84 \cdot 2,5 - 96,5 \cdot 2}{84 - 96,5} = 0,040E - 1,360$$

$$\rightarrow i^* = i(E = 90) = 0,040 \cdot 90 - 1,360 = \boxed{2,24\text{A}}$$

Phương pháp dò (7)

VD2

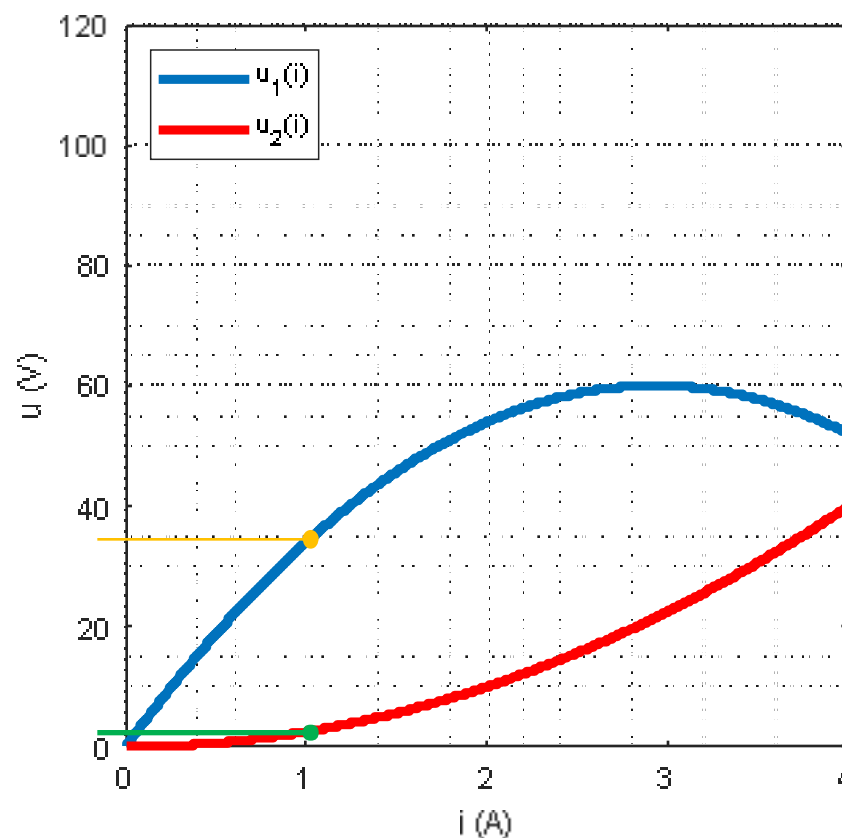
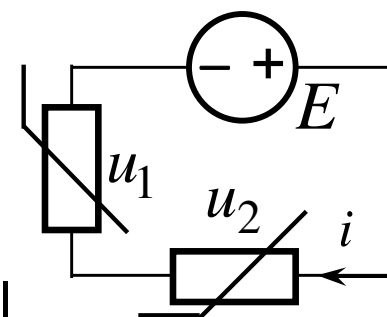
$$E = 90\text{V, tính dòng điện?} \quad u_1(i) + u_2(i) = E = 90$$

$$i \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{đồ thị } u_1(i) \rightarrow u_1(i) \\ \text{đồ thị } u_2(i) \rightarrow u_2(i) \end{array} \right\} \rightarrow E = u_1(i) + u_2(i) = 90? \quad \varepsilon = \frac{|E^{(k)} - 90|}{90}$$

$$i^{(1)} = 1\text{A} \rightarrow u_1^{(1)}(i) = 35\text{V}; u_2^{(1)}(i) = 2,5\text{V}$$

$$\rightarrow E^{(1)} = 35 + 2,5 = 37,5\text{ V}$$

$$\rightarrow \varepsilon^{(1)} = \frac{|37,5 - 90|}{90} = 58,3\%$$

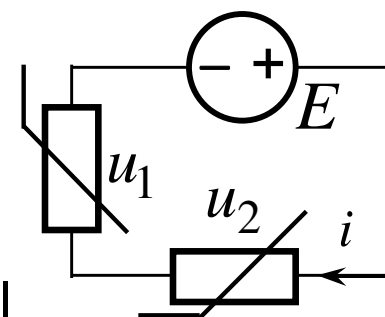


Phương pháp dò (8)

VD2

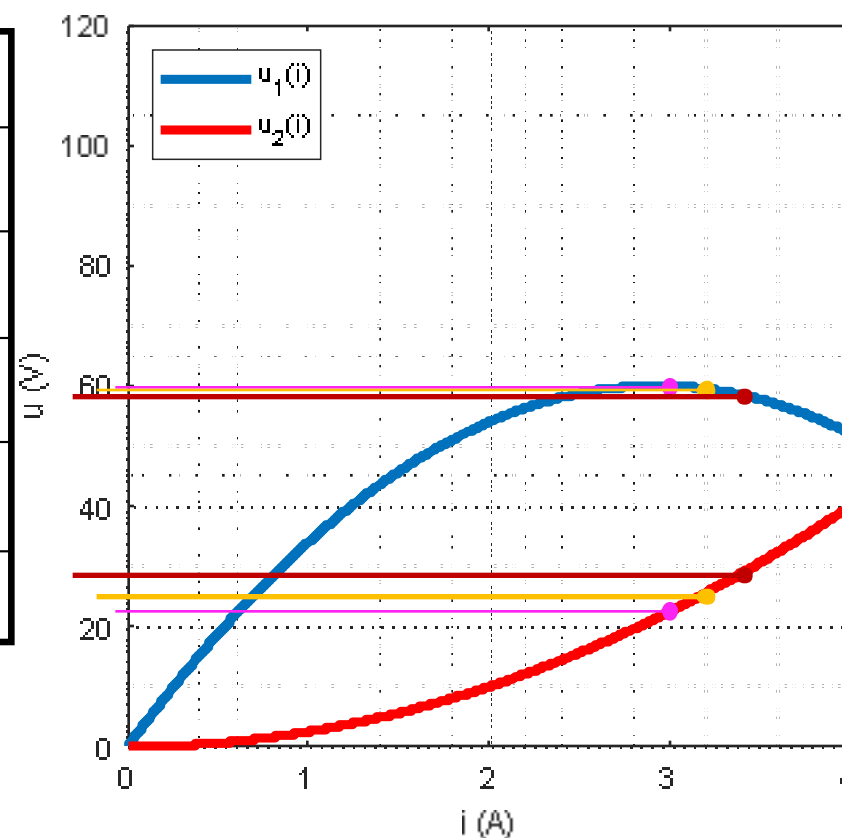
$E = 90V$, tính dòng điện? $u_1(i) + u_2(i) = E = 90$

$$i \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{đồ thị } u_1(i) \rightarrow u_1(i) \\ \text{đồ thị } u_2(i) \rightarrow u_2(i) \end{array} \right\} \rightarrow E = u_1(i) + u_2(i) = 90? \quad \varepsilon = \frac{|E^{(k)} - 90|}{90}$$



k	1	2	3	4
$i^{(k)} (A)$	1	3	3,2	3,4
$u_1^{(k)} (V)$	35	60	59	58
$u_2^{(k)} (V)$	2,5	22,5	25	29
$E^{(k)} = u_1^{(k)} + u_2^{(k)} (V)$	37,5	82,5	84	87
$ E^{(k)} - 90 /90 (\%)$	58,3	8,3	6,7	3,3

$$\rightarrow i = 3,4 A$$



Phương pháp dò (9)

VD3

$E = 100\text{V}; R_1 = 20\ \Omega; R_3 = 30\ \Omega$. Tính các dòng điện?

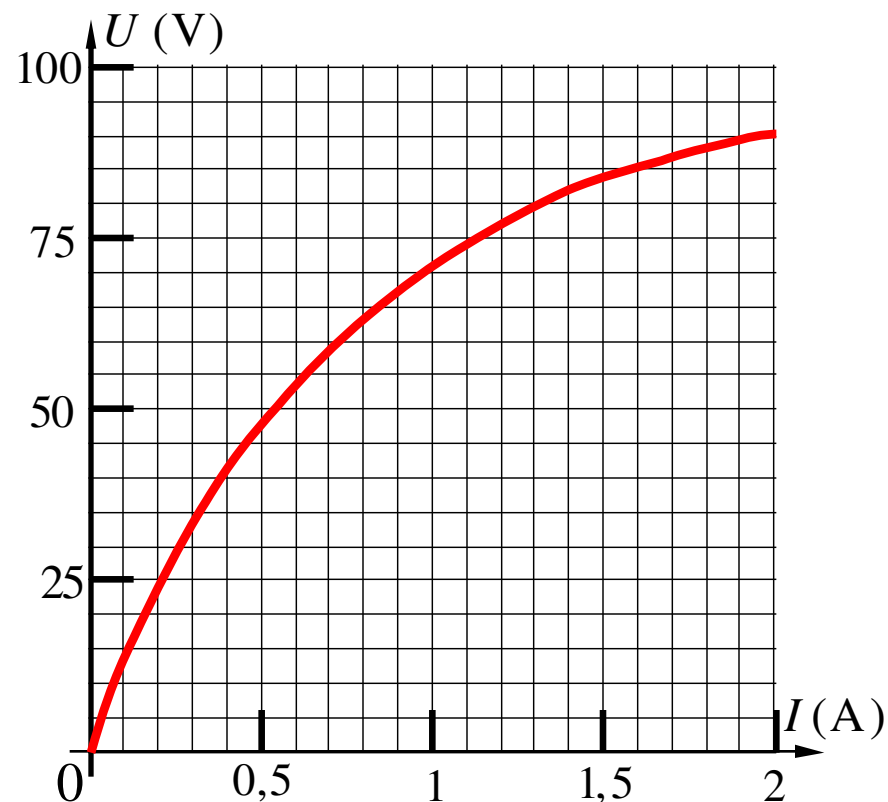
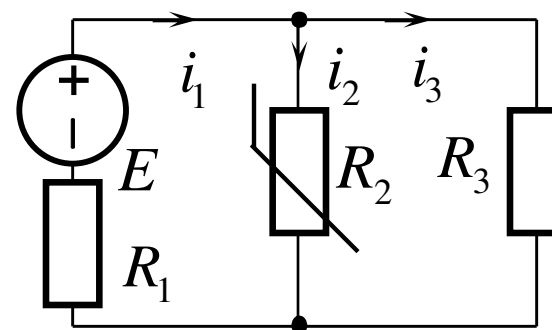
$$\begin{cases} i_1 - i_2 - i_3 = 0 \quad (\alpha) \\ u_2 = R_3 i_3 \quad (\beta) \\ R_1 i_1 + u_2 = E \quad (\gamma) \end{cases}$$

$$i_2 \xrightarrow{\text{đồ thị}} u_2 \xrightarrow{(\beta)} i_3 = \frac{u_2}{R_3}$$

$$\xrightarrow{(\alpha)} i_1 = i_2 + i_3$$

$$\xrightarrow{(\gamma)} E = R_1 i_1 + u_2 = 100?$$

$$\varepsilon = \frac{|E - 100|}{100}$$



Phương pháp dò (10)

VD3

$E = 100\text{V}; R_1 = 20\ \Omega; R_3 = 30\ \Omega$. Tính các dòng điện?

$$i_2 \rightarrow u_2 \rightarrow i_3 = \frac{u_2}{R_3} \rightarrow i_1 = i_2 + i_3$$

$$\rightarrow E = R_1 i_1 + u_2 = 100? \quad \varepsilon = |E - 100| / 100$$

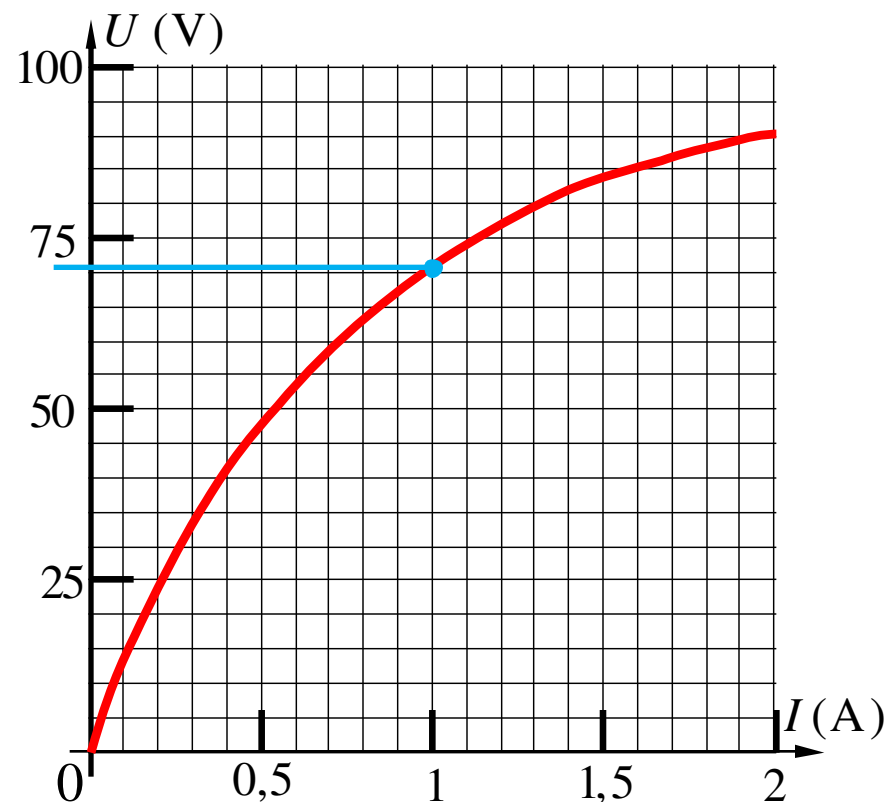
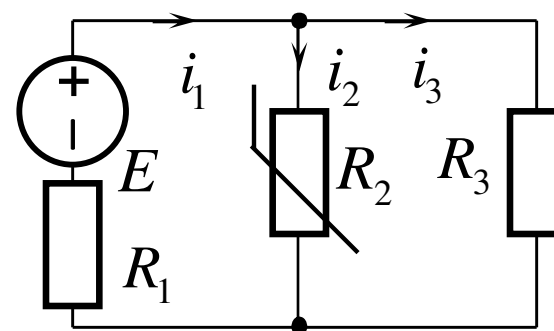
$$i_2^{(1)} = 1\ \text{A} \rightarrow u_2^{(1)} = 71\ \text{V}$$

$$\rightarrow i_3^{(1)} = \frac{71}{30} = 2,37\ \text{A}$$

$$\rightarrow i_1^{(1)} = 1 + 2,37 = 3,37\ \text{A}$$

$$\rightarrow E^{(1)} = 20 \cdot 3,37 + 71 = 138,4\ \text{V}$$

$$\varepsilon^{(1)} = \frac{|138,4 - 100|}{100} = 38\%$$



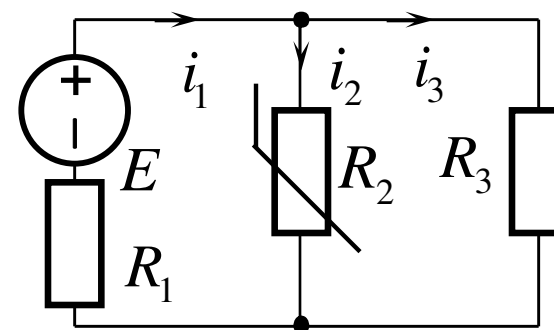
Phương pháp dò (11)

VD3

$E = 100\text{V}; R_1 = 20 \Omega; R_3 = 30 \Omega$. Tính các dòng điện?

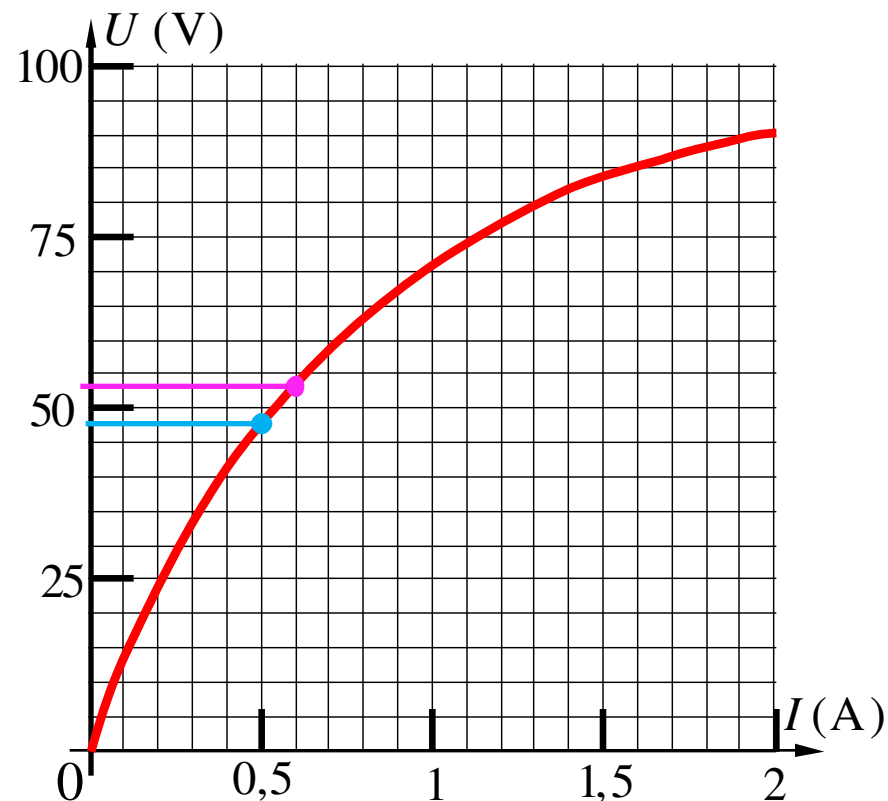
$$i_2 \rightarrow u_2 \rightarrow i_3 = \frac{u_2}{R_3} \rightarrow i_1 = i_2 + i_3$$

$$\rightarrow E = R_1 i_1 + u_2 = 100? \quad \varepsilon = |E - 100| / 100$$



k	1	2	3	
$i_2^{(k)}$ (A)	1	0,5	0,6	
$u_2^{(k)}$ (V)	71	48	53	
$i_3^{(k)}$ (A)	2,37	1,60	1,77	
$i_1^{(k)}$ (A)	3,37	2,10	2,37	
$E^{(k)}$ (V)	138	90	100,3	
$\varepsilon^{(k)}$ (%)	38	10	0,3	

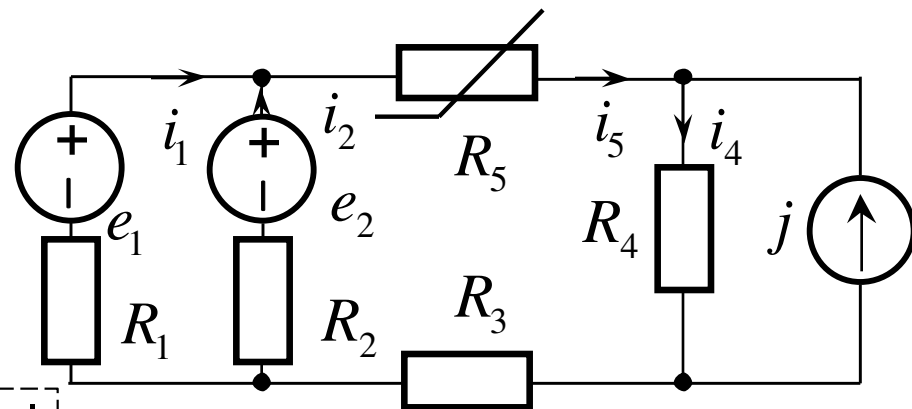
$$\rightarrow i_1 = 2,37 \text{ A}; i_2 = 0,6 \text{ A}; i_3 = 1,77 \text{ A}$$



Phương pháp dò (12)

VD4

$R_1 = 20\Omega; R_2 = 30\Omega; R_3 = R_4 = 40\Omega; C = 0,4\text{mF};$
 $e_1 = 200 \text{ V}; e_2 = 180 \text{ V}; j = 2 \text{ A}$. Tìm i_5 ?



$$\begin{cases} i_1 + i_2 - i_5 = 0 & (\alpha) \end{cases}$$

$$\begin{cases} i_5 - i_4 + j = 0 & (\beta) \end{cases}$$

$$\begin{cases} R_1 i_1 - R_2 i_2 = e_1 - e_2 & (\gamma) \end{cases}$$

$$\begin{cases} R_2 i_2 + u_5 + R_4 i_4 + R_3 i_5 = e_2 & (\delta) \end{cases}$$

$$\mathcal{E} = \frac{|e_1 - 200|}{200}$$

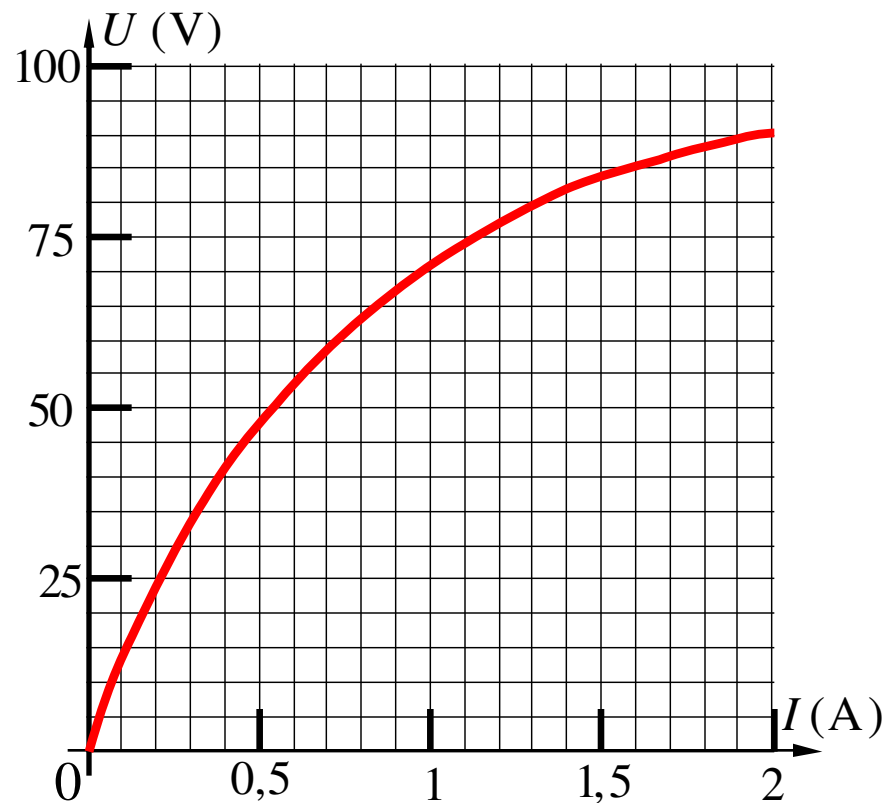
$$i_5 \xrightarrow{\text{đồ thị}} u_5$$

$$\xrightarrow{(\beta)} i_4 = i_5 + j$$

$$\xrightarrow{(\delta)} i_2 = \frac{e_2 - (u_5 + R_4 i_4 + R_3 i_5)}{R_2}$$

$$\xrightarrow{(\alpha)} i_1 = i_5 - i_2$$

$$\xrightarrow{(\gamma)} e_1 = e_2 + R_1 i_1 - R_2 i_2 = 200?$$



Phương pháp dò (13)

VD4

$R_1 = 20\Omega; R_2 = 30\Omega; R_3 = R_4 = 40\Omega; C = 0,4\text{mF};$
 $e_1 = 200 \text{ V}; e_2 = 180 \text{ V}; j = 2 \text{ A}$. Tìm i_5 ?

$$i_5 \rightarrow \begin{cases} u_5 \\ i_4 = i_5 + j \end{cases} \rightarrow i_2 = \frac{e_2 - (u_5 + R_4 i_4 + R_3 i_5)}{R_2}$$

$$\rightarrow i_1 = i_5 - i_2 \rightarrow e_1 = e_2 + R_1 i_1 - R_2 i_2; \varepsilon = |e_1 - 200| / 200$$

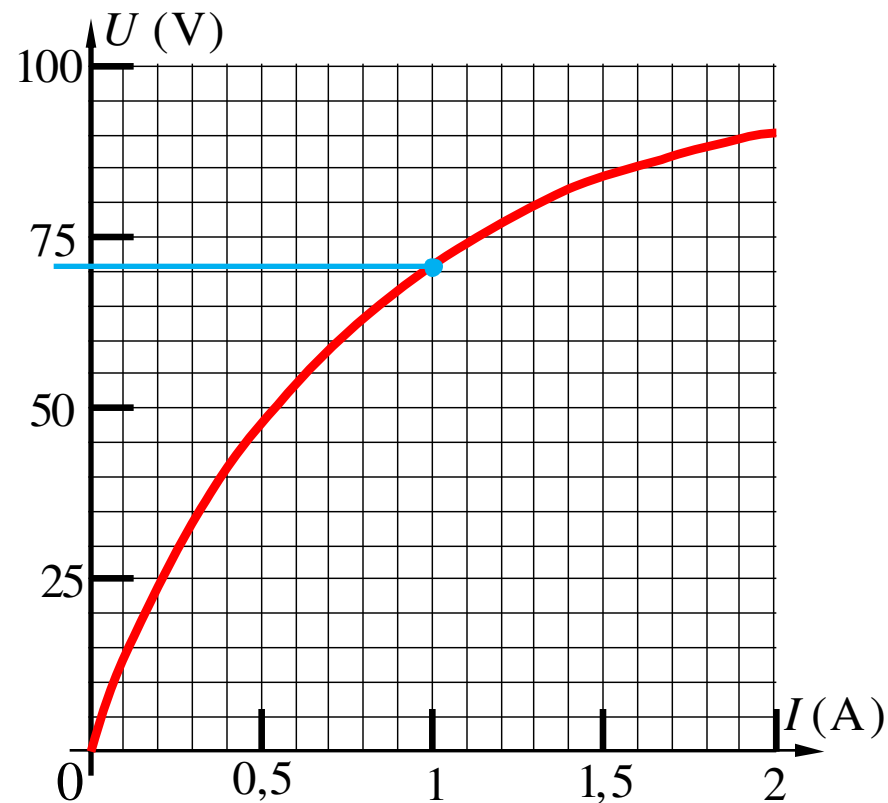
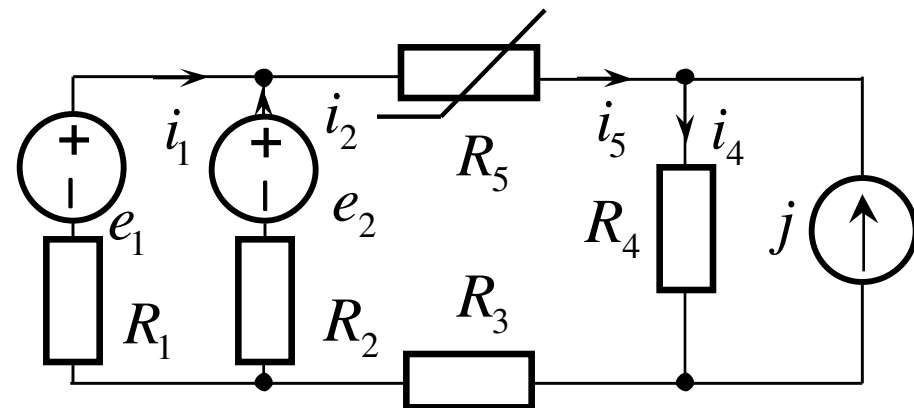
$$i_5^{(1)} = 1 \text{ A} \rightarrow u_5^{(1)} = 71 \text{ V}, i_4 = 1 + 2 = 3 \text{ A}$$

$$\rightarrow i_2^{(1)} = \frac{180 - (71 + 40.3 + 40.1)}{30} = -1,70 \text{ A}$$

$$\rightarrow i_1^{(1)} = 1 - (-1,70) = 2,70 \text{ A}$$

$$\rightarrow e_1^{(1)} = 180 + 20.2,7 - 30(-1,7) = 285 \text{ V}$$

$$\varepsilon^{(1)} = \frac{|285 - 200|}{200} = 43\%$$



Phương pháp dò (14)

VD4

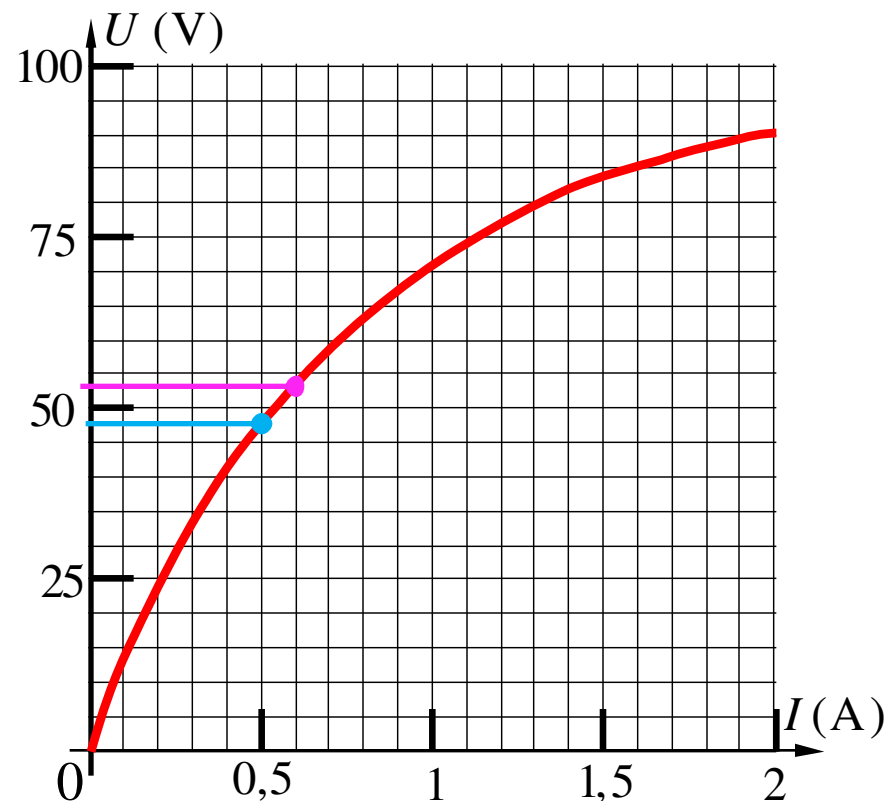
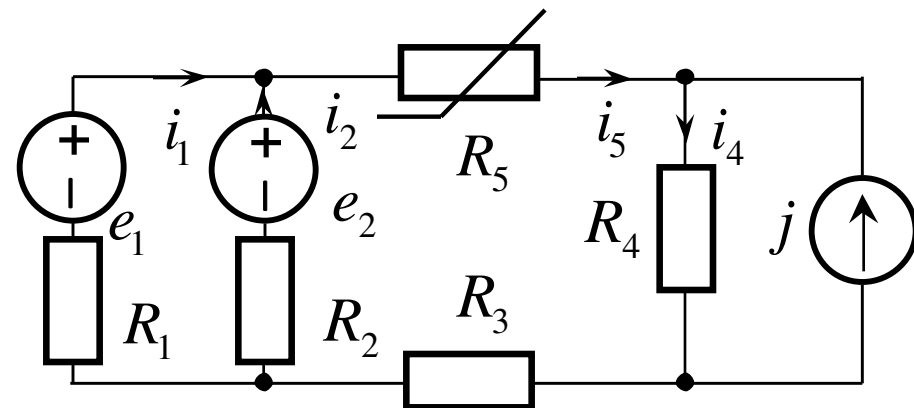
$R_1 = 20\Omega; R_2 = 30\Omega; R_3 = R_4 = 40\Omega; C = 0,4\text{mF};$
 $e_1 = 200 \text{ V}; e_2 = 180 \text{ V}; j = 2 \text{ A}$. Tìm i_5 ?

$$i_5 \rightarrow \begin{cases} u_5 \\ i_4 = i_5 + j \end{cases} \rightarrow i_2 = \frac{e_2 - (u_5 + R_4 i_4 + R_3 i_5)}{R_2}$$

$$\rightarrow i_1 = i_5 - i_2 \rightarrow e_1 = e_2 + R_1 i_1 - R_2 i_2; \varepsilon = |e_1 - 200| / 200$$

k	1	2	3	
$i_5^{(k)} \text{ (A)}$	1	0,5	0,6	
$u_5^{(k)} \text{ (V)}$	71	48	53	
$i_4^{(k)} \text{ (A)}$	3	2,5	2,6	
$i_2^{(k)} \text{ (A)}$	-1,70	0,40	-0,033	
$i_1^{(k)} \text{ (A)}$	2,70	0,10	0,67	
$e_1^{(k)} \text{ (V)}$	285	170	195,33	
$\varepsilon^{(k)} \text{ (%)}$	43	15	2,33	

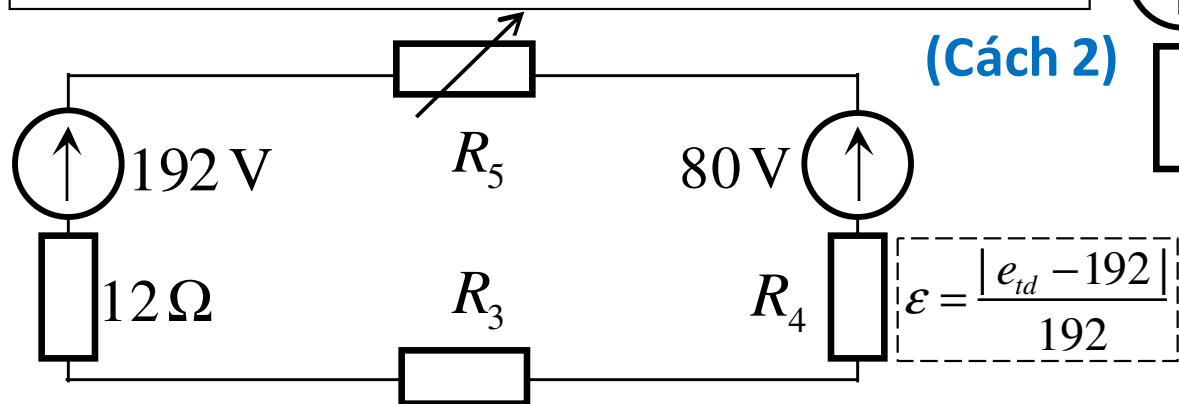
$$\rightarrow i_5 = 0,6 \text{ A (Cách 1)}$$



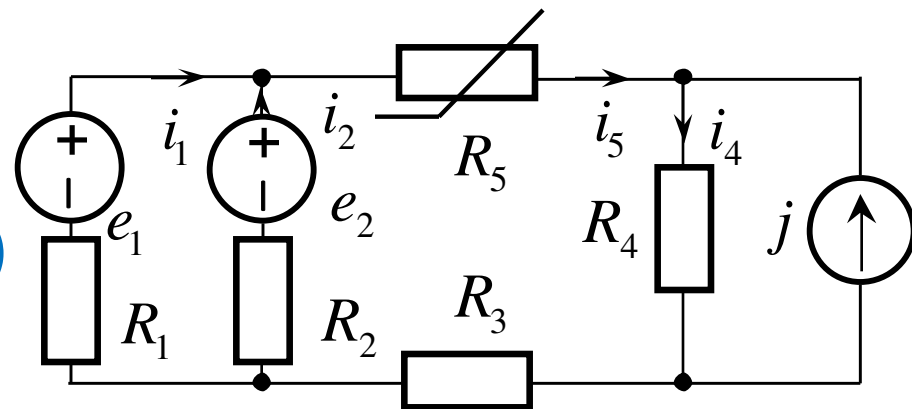
Phương pháp dò (15)

VD4

$R_1 = 20\Omega; R_2 = 30\Omega; R_3 = R_4 = 40\Omega; C = 0,4\text{mF};$
 $e_1 = 200 \text{ V}; e_2 = 180 \text{ V}; j = 2 \text{ A}$. Tìm i_5 ?



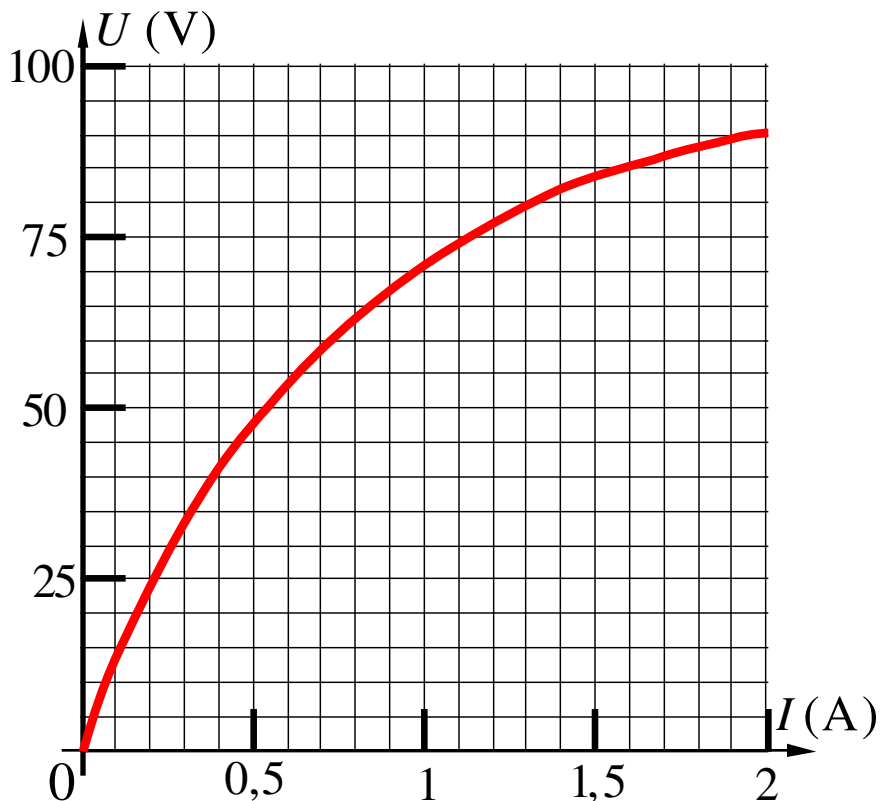
(Cách 2)



$$i_5 \rightarrow u_5 \rightarrow e_{td} = 80 + u_5 + (R_3 + R_4 + 12)i_5$$

k	1	2	3	
$i_5^{(k)} \text{ (A)}$	1	0,5	0,6	
$u_5^{(k)} \text{ (V)}$	71	48	54	
$e_{td}^{(k)} \text{ (V)}$	243	174	189	
$\varepsilon^{(k)} \text{ (%)}$	27	9,4	1,5	

$$\rightarrow i_5 = 0,6 \text{ A}$$



Phương pháp dò (16)

VD5

$E = 60 \text{ V}; R_1 = 20 \Omega; L = 4 \text{ H}; C = 80 \mu\text{F}.$

Tính dòng điện qua điện trở phi tuyến?

$I \text{ (A)}$	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
$U \text{ (V)}$	0	3	6	10	16	30	80

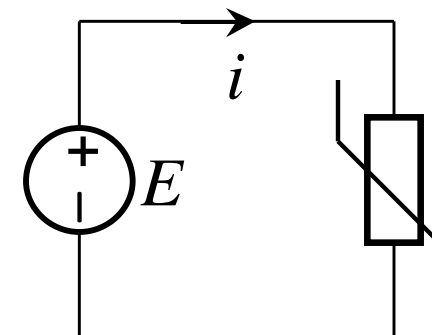
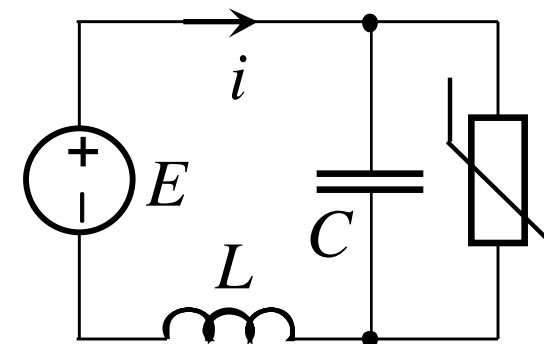
Đặc tính của điện trở phi tuyến

$$R_1 i + u(i) = E \rightarrow 20i + u(i) = 60$$

$$i \xrightarrow{\text{bảng}} u(i) \rightarrow E = 20i + u(i) = 60? \quad \varepsilon = \frac{|E - 60|}{60}$$

$$i^{(1)} = 0,5 \text{ A} \rightarrow u(i) = 3 \text{ V} \rightarrow E^{(1)} = 20 \cdot 0,5 + 3 = 13 \text{ V}$$

$$\varepsilon^{(1)} = \frac{|13 - 60|}{60} = 78\%$$



Phương pháp dò (17)

VD5

$E = 60 \text{ V}; R_1 = 20 \Omega; L = 4 \text{ H}; C = 80 \mu\text{F}.$

Tính dòng điện qua điện trở phi tuyến?

$I \text{ (A)}$	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
$U \text{ (V)}$	0	3	6	10	16	30	80

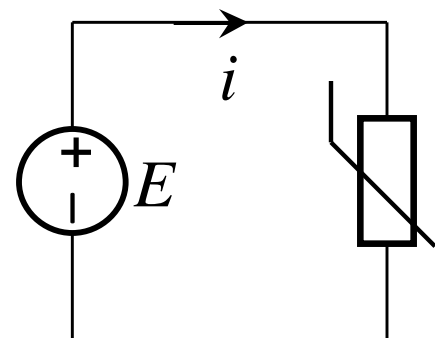
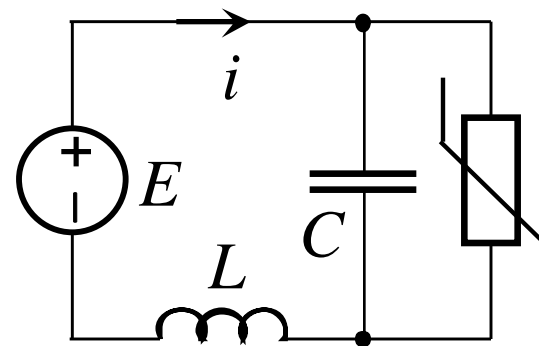
Đặc tính của điện trở phi tuyến

$$i \xrightarrow{\text{bảng}} u(i) \rightarrow E = 20i + u(i) = 60? \quad \varepsilon = \frac{|E - 60|}{60}$$

k	$i^{(k)} \text{ (A)}$	$20i^{(k)} \text{ (V)}$	$u^{(k)}(i) \text{ (V)}$	$e^{(k)} \text{ (V)}$	$\varepsilon \text{ (\%)}$
1	0,5	10	3	13	78
2	2	40	16	56	6,67
3	2,5	50	30	80	33,33

$$i = \frac{2 - 2,5}{56 - 80} E + \frac{56 \cdot 2,5 - 80 \cdot 2}{56 - 80} = 0,021E + 0,83$$

$$\rightarrow i|_{E=60} = 0,021 \cdot 60 + 0,83 = 2,08 \text{ A}$$



Phương pháp dò (18)

VD6

$R_1 = 20\Omega; R_2 = 30\Omega; R_3 = 40\Omega; e_1 = 100 \text{ V};$
 $e_2 = 80 \text{ V}; j = 1,2 \text{ A. Tìm } i_5?$

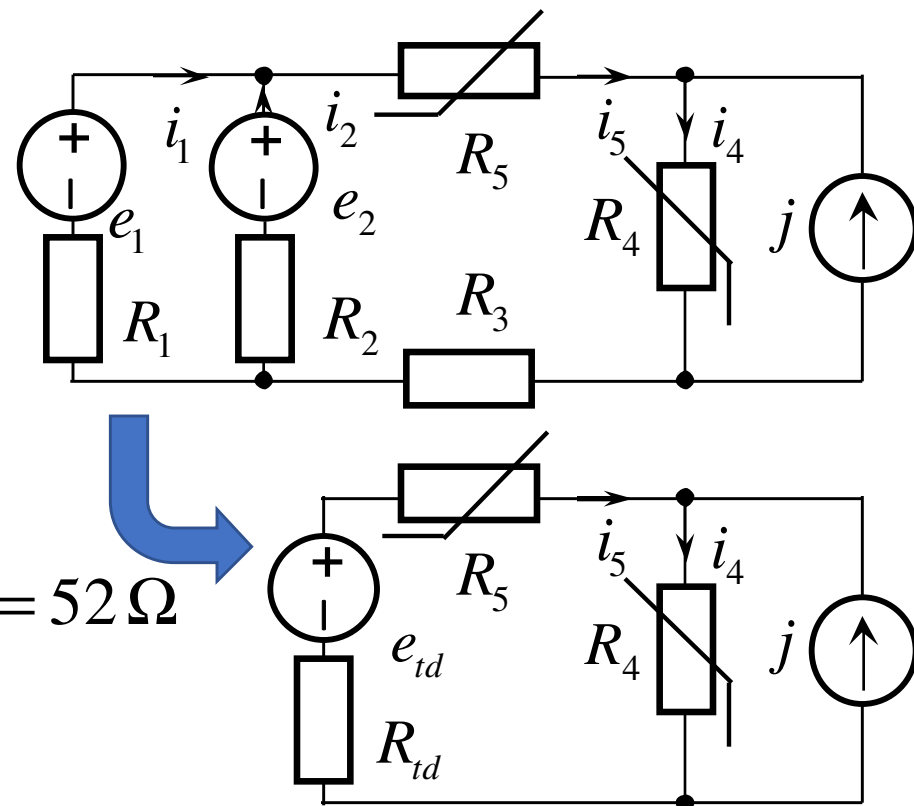
$I \text{ (A)}$	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
$U \text{ (V)}$	0	3	6	10	16	30	80

Đặc tính phi tuyến của R_4 & R_5

$$e_{td} = \frac{\frac{e_1}{R_1} + \frac{e_2}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = 92 \text{ V}; R_{td} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_3 = 52 \Omega$$

$$\begin{cases} i_5 - i_4 + j = 0 \\ u_5(i_5) + u_4(i_4) + R_{td} i_5 = e_{td} \end{cases}$$

$$\left. \begin{array}{l} i_5 \xrightarrow{\text{bảng}} u_5(i_5) \\ \downarrow \\ i_4 = i_5 + j \xrightarrow{\text{bảng}} u_4(i_4) \end{array} \right\} \rightarrow e_{td} = u_5 + u_4 + R_{td} i_5 = 92 ?$$



Phương pháp dò (19)

VD6

$R_1 = 20\Omega; R_2 = 30\Omega; R_3 = 40\Omega; e_1 = 100 \text{ V};$
 $e_2 = 80 \text{ V}; j = 1,2 \text{ A}$. Tìm i_5 ?

$I \text{ (A)}$	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
$U \text{ (V)}$	0	3	6	10	16	30	80

Đặc tính phi tuyến của R_4 & R_5

$$\left. \begin{array}{l} i_5 \xrightarrow{\text{bảng}} u_5(i_5) \\ \rightarrow i_4 = i_5 + j \xrightarrow{\text{bảng}} u_4(i_4) \end{array} \right\}$$

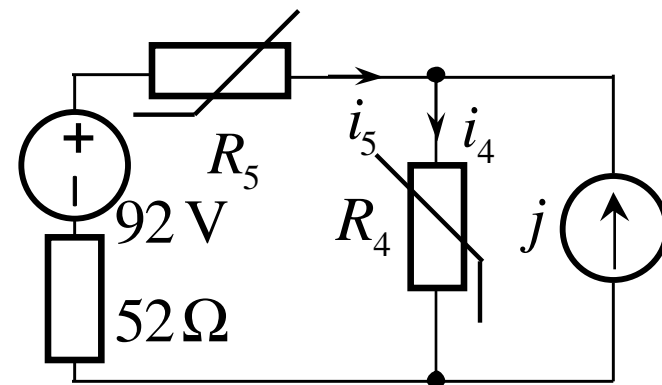
$$\rightarrow e_{td} = u_5 + u_4 + R_{td}i_5 = 92?$$

$$i_5^{(1)} = 1 \rightarrow u_5^{(1)} = 6 \text{ V}; i_4^{(1)} = 1 + 1,2 = 2,2 \text{ A} \xrightarrow{\text{bảng}} u_4$$

$$u_4^{(1)} = \frac{16 - 30}{2 - 2,5} 2,2 + \frac{2,30 - 2,5 \cdot 16}{2 - 2,5} = 21,60 \text{ V}$$

$$\rightarrow e_{td}^{(1)} = 6 + 21,6 + 52 \cdot 1 = 79,6 \text{ V} \rightarrow \varepsilon^{(1)} = |79,6 - 92| / 92 = 13,5\%$$

$$\varepsilon = \frac{|e_{td} - 92|}{92}$$



k	1	
$i_5^{(k)} \text{ (A)}$	1	
$u_5^{(k)} \text{ (V)}$	6	
$i_4^{(k)} \text{ (A)}$	2,20	
$u_4^{(k)} \text{ (V)}$	21,60	
$e_{td}^{(k)} \text{ (V)}$	79,60	
$\varepsilon^{(k)} \text{ (%)}$	13,5	

Phương pháp dò (20)

VD6

$R_1 = 20\Omega; R_2 = 30\Omega; R_3 = 40\Omega; e_1 = 100 \text{ V};$
 $e_2 = 80 \text{ V}; j = 1,2 \text{ A}$. Tìm i_5 ?

$I \text{ (A)}$	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
$U \text{ (V)}$	0	3	6	10	16	30	80

Đặc tính phi tuyến của R_4 & R_5

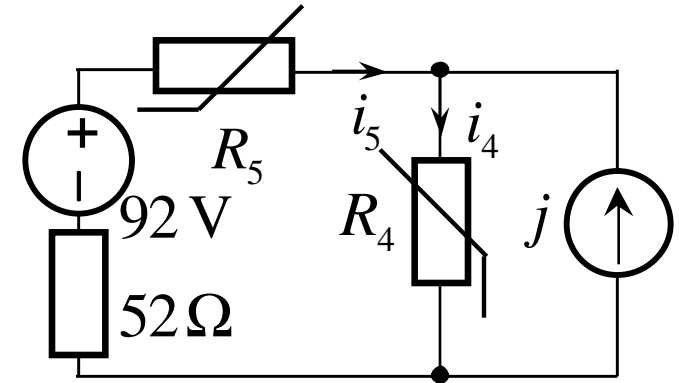
$$\left. \begin{array}{l} i_5 \xrightarrow{\text{bảng}} u_5(i_5) \\ \rightarrow i_4 = i_5 + j \xrightarrow{\text{bảng}} u_4(i_4) \end{array} \right\}$$

$$\rightarrow e_{td} = u_5 + u_4 + R_{td}i_5 = 92?$$

$$i_5^{(2)} = 1,5 \rightarrow u_5^{(1)} = 10 \text{ V}; i_4^{(1)} = 1,5 + 1,2 = 2,7 \text{ A} \xrightarrow{\text{bảng}} u_4$$

$$u_4^{(2)} = \frac{30 - 80}{2,5 - 3} 2,7 + \frac{2,5 \cdot 80 - 3 \cdot 30}{2,5 - 3} = 50,00 \text{ V}$$

$$\rightarrow e_{td}^{(2)} = 10 + 50,0 + 52 \cdot 1,5 = 138 \text{ V} \rightarrow \varepsilon^{(2)} = |138 - 92| / 92 = 50\%$$



$$\varepsilon = \frac{|e_{td} - 92|}{92}$$

k	1	2
$i_5^{(k)} \text{ (A)}$	1	1,5
$u_5^{(k)} \text{ (V)}$	6	10
$i_4^{(k)} \text{ (A)}$	2,20	2,7
$u_4^{(k)} \text{ (V)}$	21,60	50,00
$e_{td}^{(k)} \text{ (V)}$	79,60	138,0
$\varepsilon^{(k)} \text{ (%)}$	13,5	50

Phương pháp dò (21)

VD6

$R_1 = 20\Omega; R_2 = 30\Omega; R_3 = 40\Omega; e_1 = 100 \text{ V};$
 $e_2 = 80 \text{ V}; j = 1,2 \text{ A}$. Tìm i_5 ?

$I \text{ (A)}$	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
$U \text{ (V)}$	0	3	6	10	16	30	80

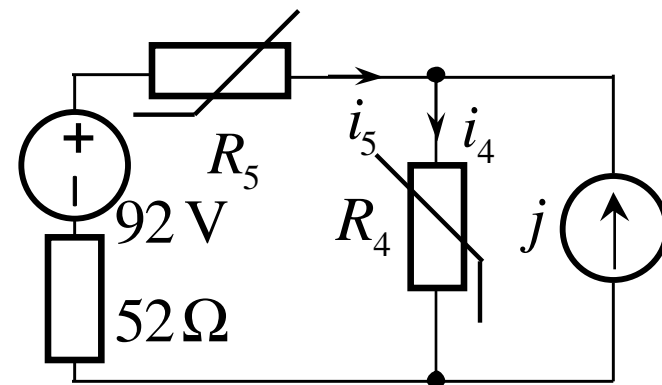
Đặc tính phi tuyến của R_4 & R_5

$$\left. \begin{array}{l} i_5 \xrightarrow{\text{bảng}} u_5(i_5) \\ \rightarrow i_4 = i_5 + j \xrightarrow{\text{bảng}} u_4(i_4) \end{array} \right\}$$

$$\rightarrow e_{td} = u_5 + u_4 + R_{td}i_5 = 92?$$

$$i_5 = \frac{1,5 - 1}{138 - 79,6} 92 + \frac{138 \cdot 1 - 79,6 \cdot 1,5}{138 - 79,6} = 1,11 \text{ A}$$

$$\varepsilon = \frac{|e_{td} - 92|}{92}$$



k	1	2
$i_5^{(k)} \text{ (A)}$	1	1,5
$u_5^{(k)} \text{ (V)}$	6	10
$i_4^{(k)} \text{ (A)}$	2,20	2,7
$u_4^{(k)} \text{ (V)}$	21,60	50,00
$e_{td}^{(k)} \text{ (V)}$	79,60	138,0
$\varepsilon^{(k)} \text{ (%)}$	13,5	50

Phương pháp dò (22)

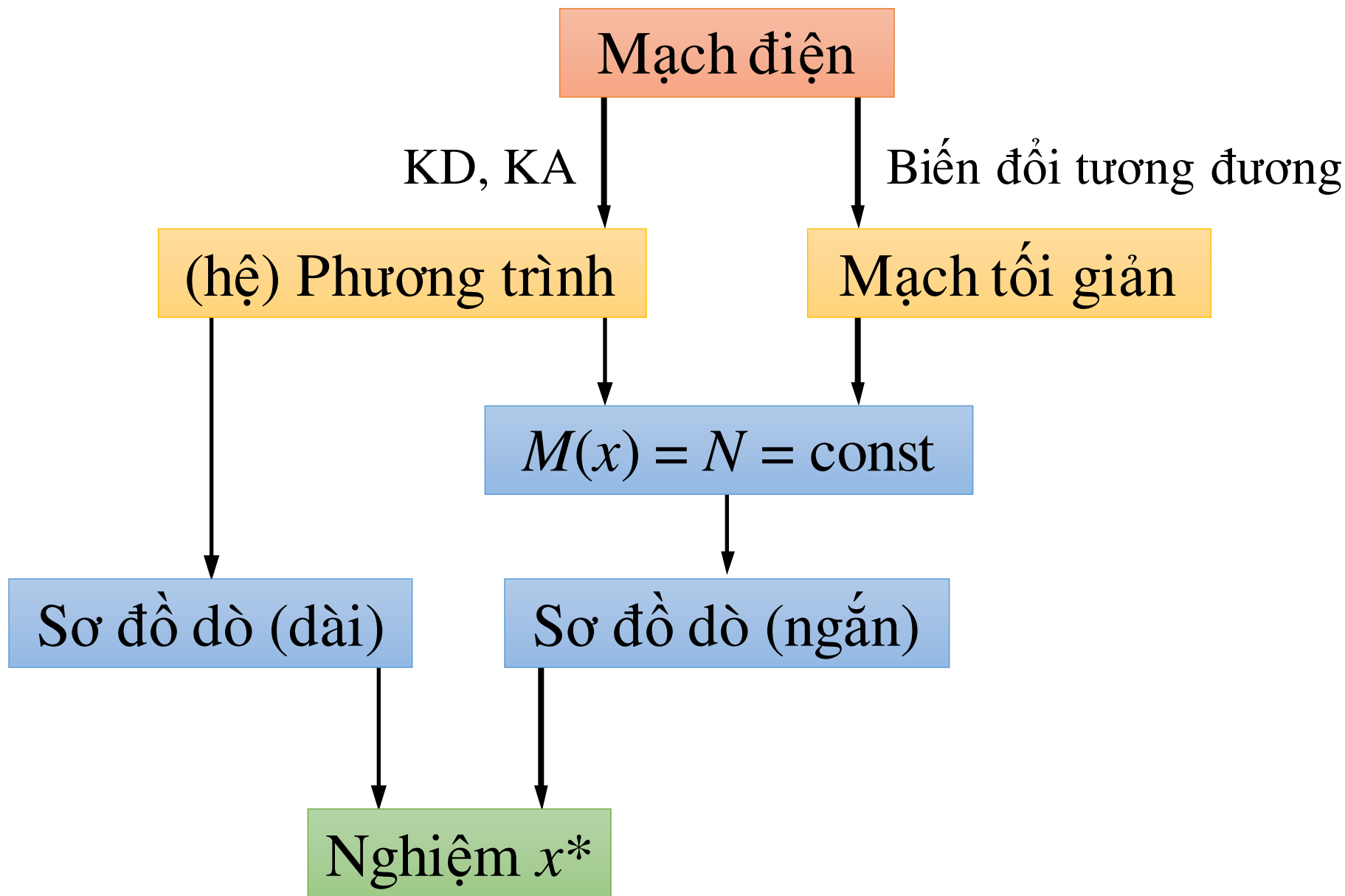
- Tìm nghiệm x của phương trình

$$M(x) = N = \text{const} \quad (\alpha)$$

bằng cách chọn các giá trị x^* khác nhau sao cho sai lệch giữa $M(x^*)$ và N nhỏ hơn một ngưỡng cho trước.

- Nếu không tìm được x^* thỏa mãn điều kiện về sai lệch thì có thể dùng phương pháp nội suy tuyến tính.
- Lập phương trình (α) bằng một trong hai cách:
 1. Lập (hệ) phương trình (phương pháp dòng nhánh) mô tả mạch, rồi rút gọn về dạng (α) , hoặc,
 2. Dùng phương pháp biến đổi tương đương để đơn giản hóa mạch điện, sau đó lập (α) .
- Có thể áp dụng cho mạch điện phức tạp, có nhiều phần tử phi tuyến.

Phương pháp dò (23)



Lý thuyết mạch II

I. Quá trình quá độ

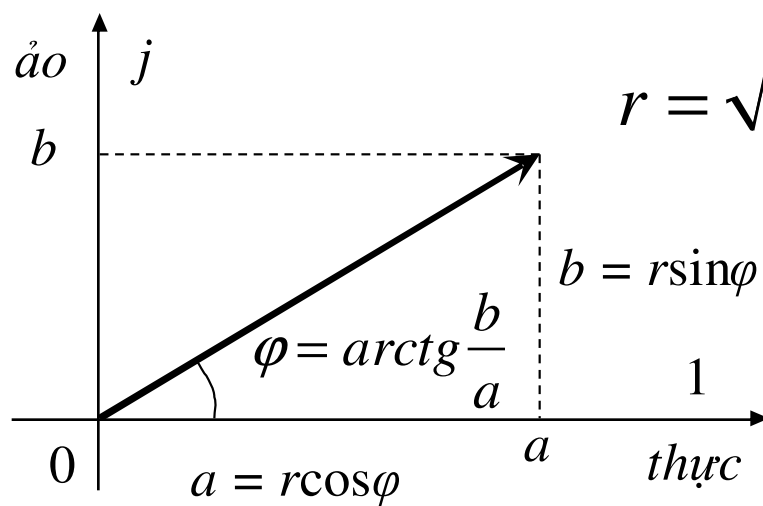
II. Mạch phi tuyến

1. Giới thiệu
2. Đặc tính của phần tử phi tuyến
3. **Chế độ xác lập**
 - a) Mạch một chiều
 - b) **Mạch xoay chiều**
 - i. Cân bằng điều hòa
 - ii. Tuyến tính điều hòa
 - iii. Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc
 - iv. Tuyến tính hóa từng đoạn
 - v. Đồ thị
4. Chế độ quá độ
5. Diốt và tranzito

III. Đường dây dài

Số phức (1)

$$v = a + jb$$



$$r = \sqrt{a^2 + b^2} = |v|$$

Mô đun của số phức v

$$a + jb \quad \Leftrightarrow \quad \underline{r / \varphi} \quad \Leftrightarrow \quad r e^{j\varphi}$$

$$\underline{r / \varphi}$$

$$r \nless \varphi$$

$$r \angle \varphi$$

$$e^{j\varphi} = \cos\varphi + j\sin\varphi \quad (\text{ct. Euler})$$

Số phức (2)

$$z = x + jy; \quad z_1 = x_1 + jy_1 = r_1 \angle \phi_1; \quad z_2 = x_2 + jy_2 = r_2 \angle \phi_2$$

$$z_1 + z_2 = (x_1 + x_2) + j(y_1 + y_2)$$

$$z_1 - z_2 = (x_1 - x_2) + j(y_1 - y_2)$$

$$z_1 z_2 = r_1 r_2 \angle \phi_1 + \phi_2$$

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{r_1}{r_2} \angle \phi_1 - \phi_2$$

$$\frac{1}{z} = \frac{1}{r} \angle -\phi$$

$$\sqrt{z} = \sqrt{r} \angle \phi / 2$$

$$\hat{z} = z^* = x - jy = r \angle -\phi = r e^{-j\phi}$$

Số phức (3)

$$10/\underline{0^\circ} \leftrightarrow 10$$

$$10/\underline{90^\circ} \leftrightarrow j10$$

$$10/\underline{-90^\circ} \leftrightarrow -j10$$

$$10/\underline{180^\circ} = 10/\underline{-180^\circ} \leftrightarrow -10$$

$$A = M/\underline{\varphi}, B = M/\underline{\varphi + 90^\circ} \leftrightarrow B = jA$$

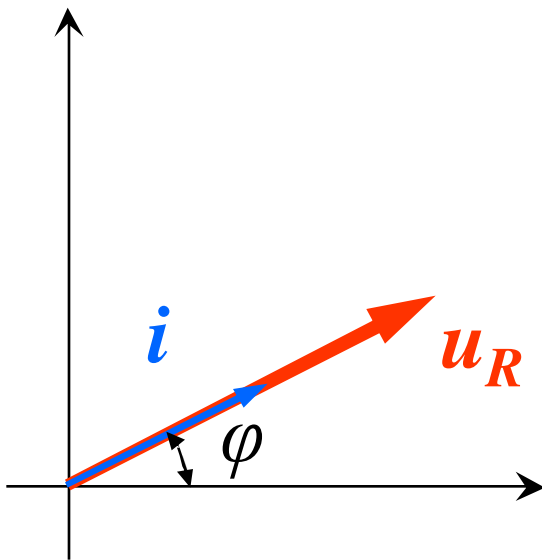
$$A = M/\underline{\varphi}, B = M/\underline{\varphi - 90^\circ} \leftrightarrow B = -jA$$

$$A = M/\underline{\varphi}, B = M/\underline{\varphi \pm 180^\circ} \leftrightarrow B = -A$$

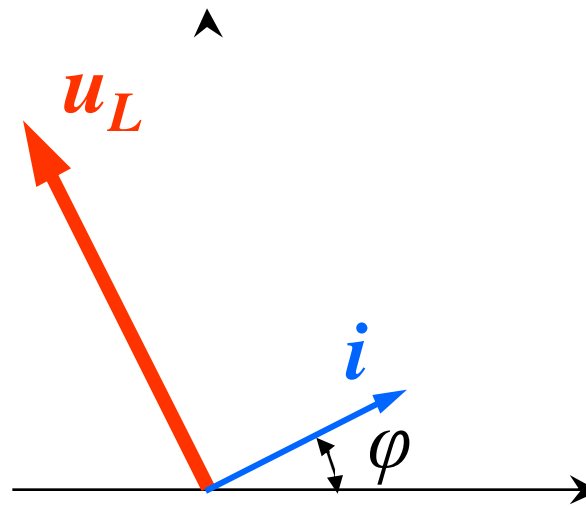
$$\frac{M}{j} = -jM$$

Phản ứng của các phần tử cơ bản

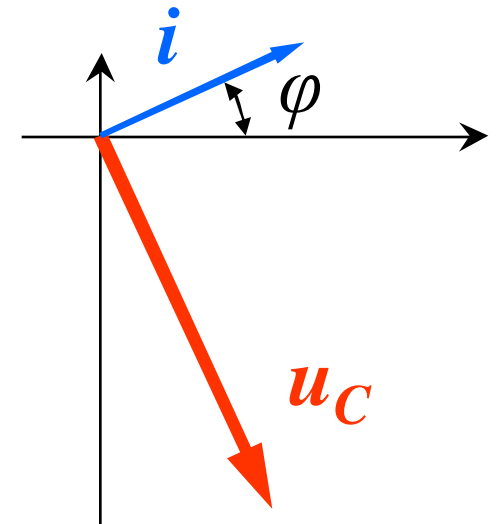
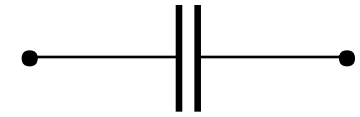
$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$$



$$u_R = RI_m \sin(\omega t + \varphi)$$

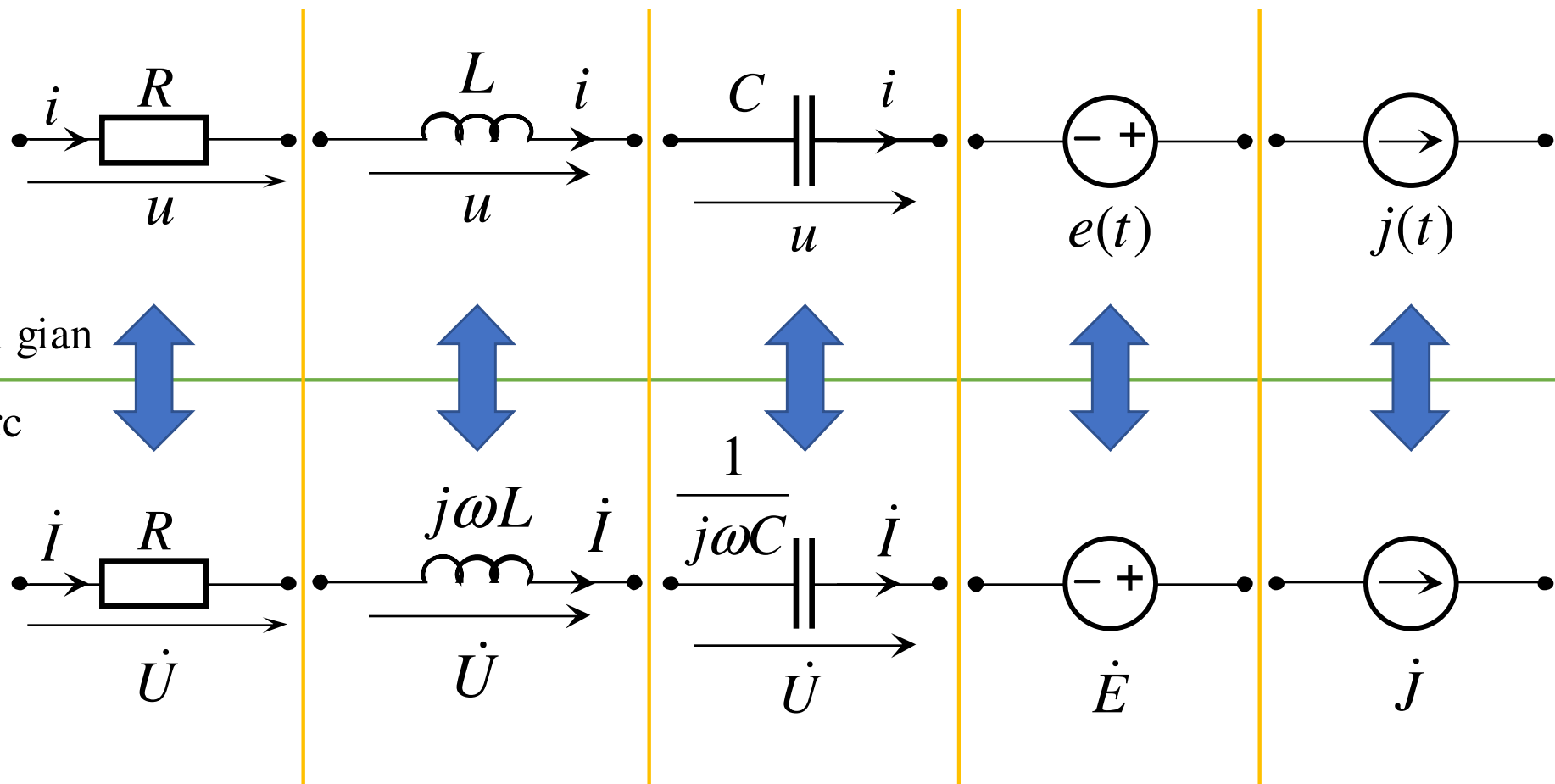


$$u_L = \omega LI_m \sin(\omega t + \varphi + 90^\circ)$$



$$u_C = \frac{I_m}{\omega C} \sin(\omega t + \varphi - 90^\circ)$$

Phức hóa các phần tử cơ bản



$$\dot{U} = R\dot{I}$$

$$\dot{U} = j\omega L\dot{I}$$

$$\dot{U} = \frac{1}{j\omega C}\dot{I}$$

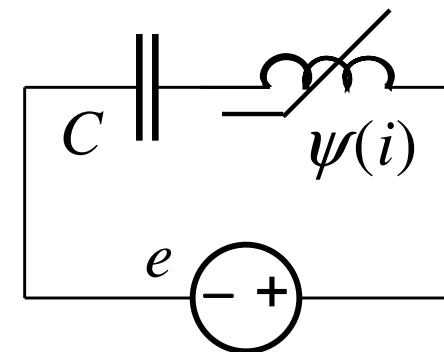
$$X\sqrt{2}\sin(\omega t + \varphi) \leftrightarrow X \angle \varphi$$

$$X_m \sin(\omega t + \varphi) \leftrightarrow X_m \angle \varphi$$

Cân bằng điều hòa (1)

VD1

$$e(t) = 100\sin 314t \text{ (V)}; C = 1\mu\text{F}; \psi(i) = 0,2i - 0,6i^3.$$



$$\sum_{k=1}^N u_k = 0; \quad \sum_{k=1}^M i_k = 0 \quad u_R = Ri; \quad u_R = u_R(i)$$

$$u_L = L \frac{di}{dt}; \quad u_L = \frac{d\psi}{dt} \quad i_C = C \frac{du}{dt}; \quad i_C = \frac{dq}{dt}$$

$$e = u_C + \frac{d\psi}{dt} = \frac{1}{10^{-6}} \int i dt + \frac{\partial \psi}{\partial i} \cdot \frac{di}{dt} = \frac{1}{10^{-6}} \int i dt + (0,2 - 1,8i^2)i'$$

$$\rightarrow 10^{-6} e' = i + 10^{-6} [(0,2 - 1,8i^2)i']'$$

$$\rightarrow 100.314.10^{-6} \cos 314t = i + 10^{-6} (0,2 - 1,8i^2)i'' - 3,6.10^{-6} i(i')^2$$

Cân bằng điều hòa (2)

VD1

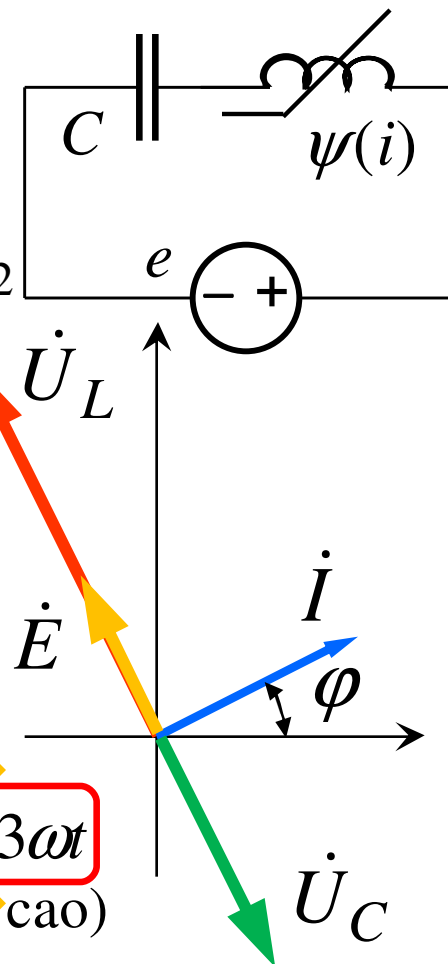
$$e(t) = 100\sin 314t \text{ (V)}; C = 1\mu\text{F}; \psi(i) = 0,2i - 0,6i^3.$$

$$\begin{cases} 100.314.10^{-6} \cos 314t = i + 10^{-6}(0,2 - 1,8i^2)i'' - 3,6.10^{-6}i(i')^2 \\ i = A \sin(314t + \varphi) \rightarrow e = 100 \sin(314t + \varphi + 90^\circ) \\ e = 100 \sin 314t \rightarrow i = A \sin(314t - 90^\circ) \\ = A \cos 314t \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow 0,0314 \cos \omega t &= (0,9803A + 0,0444A^3) \cos \omega t + 0,133A^3 \cos 3\omega t \\ \rightarrow 0,0314 \cos \omega t &\approx (0,9803A + 0,0444A^3) \cos \omega t \end{aligned}$$

$$\rightarrow 0,0314 = 0,9803A + 0,0444A^3 \rightarrow A_1 = 0,032; A_{2,3} = -0,016 \pm j4,70$$

$$\rightarrow i = 0,032 \cos 314t \text{ A}$$

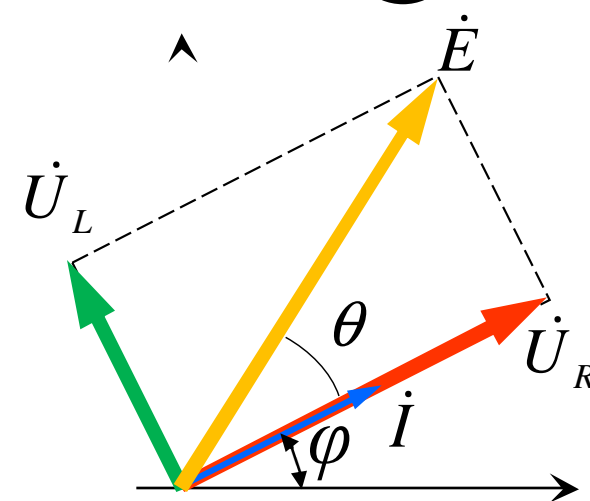
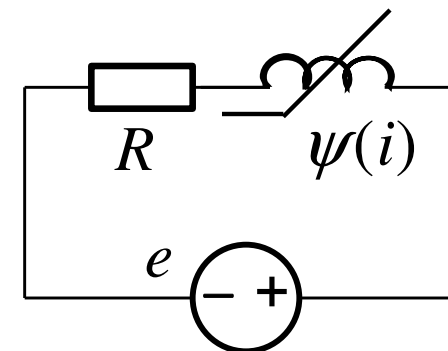


Cân bằng điều hòa (3)

VD2

$$e(t) = 100\sin 314t \text{ (V)}; R = 200 \Omega; \psi(i) = 0,2i - 0,6i^3.$$

$$\begin{cases} e = Ri + \frac{d\psi}{dt} = Ri + \frac{\partial \psi}{\partial i} \cdot \frac{di}{dt} = 200i + (0,2 - 0,6i^2)i' \\ i = I_m \sin(314t + \varphi) \rightarrow e = 100 \sin(314t + \varphi + \theta) \\ e = 100 \sin 314t \rightarrow i = I_m \sin(314t - \theta) \\ e = 100(\sin 314t + \theta) \rightarrow i = I_m \sin 314t \end{cases}$$

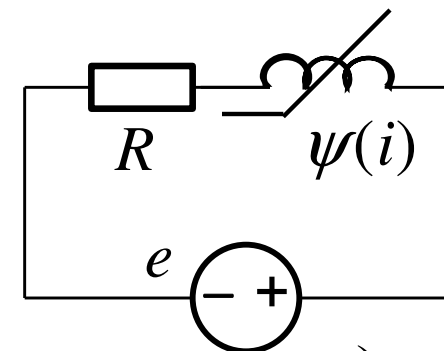


$$\begin{aligned} \rightarrow 100\sin(314t + \theta) &= \sqrt{(200I_m)^2 + (62,8 - 47,1I_m^3)^2} \sin\left(314t + \arctg \frac{62,8 - 47,1I_m^3}{200I_m}\right) \\ &\quad + 47,1I_m^3 \cos(3.314t) \end{aligned}$$

Cân bằng điều hòa (4)

VD2

$$e(t) = 100\sin 314t \text{ (V)}; R = 200 \Omega; \psi(i) = 0,2i - 0,6i^3.$$



$$100\sin(314t + \theta) = \sqrt{(200I_m)^2 + (62,8 - 47,1I_m^3)^2} \sin\left(314t + \arctg \frac{62,8 - 47,1I_m^3}{200I_m}\right) + 47,1I_m^3 \cos(3.314t) \text{ (Điều hoà bậc cao)}$$

$$\rightarrow 100\sin(314t + \theta) = \sqrt{(200I_m)^2 + (62,8 - 47,1I_m^3)^2} \sin\left(314t + \arctg \frac{62,8 - 47,1I_m^3}{200I_m}\right)$$

$$\rightarrow \begin{cases} \sqrt{(200I_m)^2 + (62,8 - 47,1I_m^3)^2} = 100 \\ \theta = \arctg \frac{62,8 - 47,1I_m^3}{200I_m} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} I_{m1} = 0,40 \\ \theta_1 = 1,11^\circ \end{cases}$$

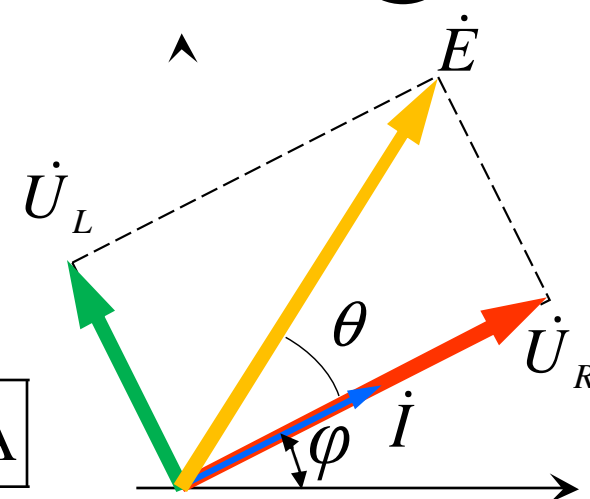
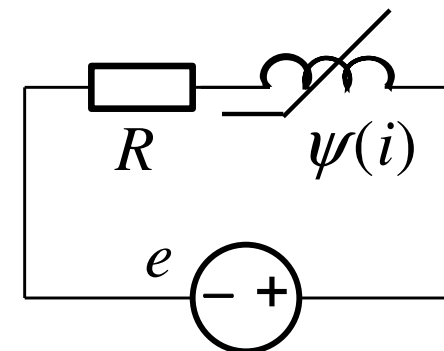
Cân bằng điều hòa (5)

VD2

$$e(t) = 100\sin 314t \text{ (V)}; R = 200 \Omega; \psi(i) = 0,2i - 0,6i^3.$$

$$\begin{cases} e = 100(\sin 314t + \theta) \\ i = I_m \sin 314t \end{cases} \rightarrow \begin{cases} I_{m1} = 0,40 \\ \theta_1 = 1,11^\circ \end{cases}$$

$$e = 100\sin 314t \text{ (V)} \rightarrow i(t) = 0,40\sin(314t - 1,11^\circ) \text{ A}$$



Cân bằng điều hòa (6)

- Chỉ áp dụng nếu mạch rất đơn giản (RL, RC, LC, RLC) & quan hệ phi tuyến là hàm giải tích.
- Các bước thực hiện:
 - Lập phương trình $f(x) = N\sin(\omega t + \varphi)$ trong đó N , ω , & φ đã biết.
 - Đặt $x = M\sin(\omega t + \theta)$ và thay vào phương trình trên và đưa về dạng:
$$A(M, \theta)\sin[\omega t + B(M, \theta)] = N\sin(\omega t + \varphi)$$
 - Giải hệ phương trình:

$$\begin{cases} A(M, \theta) = N \\ B(M, \theta) = \varphi \end{cases} \rightarrow \begin{cases} M \\ \theta \end{cases}$$

Lý thuyết mạch II

I. Quá trình quá độ

II. Mạch phi tuyến

1. Giới thiệu
2. Đặc tính của phần tử phi tuyến
3. **Chế độ xác lập**
 - a) Mạch một chiều
 - b) **Mạch xoay chiều**
 - i. Cân bằng điều hòa
 - ii. **Tuyến tính điều hòa**
 - iii. Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc
 - iv. Tuyến tính hóa từng đoạn
 - v. Đồ thị
4. Chế độ quá độ
5. Điốt và tranzito

III. Đường dây dài

$$e = 80\sqrt{2} \sin 20t \text{ V}; L = 0,5 \text{ H}.$$

$$\dot{U}(I) + j\omega L\dot{I} = \dot{E}$$

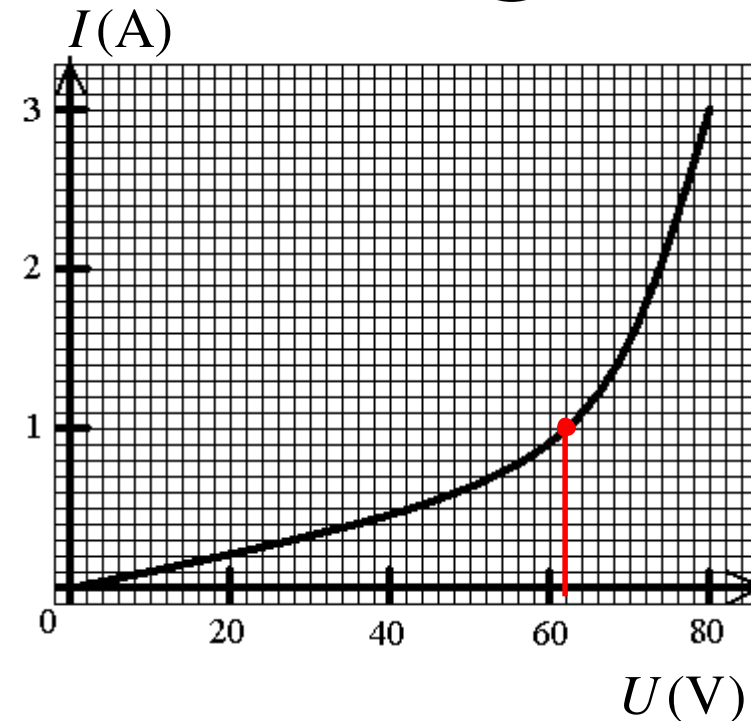
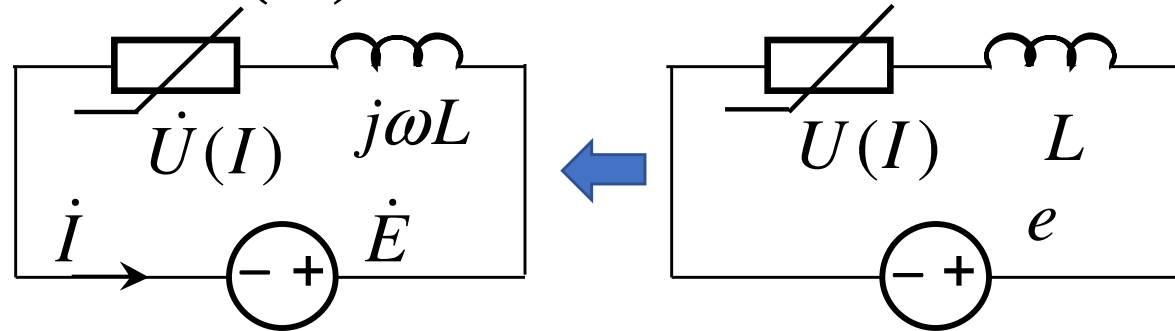
$$\left. \begin{array}{l} I \xrightarrow{\text{đồ thị}} \dot{U}_R = U(I) / \underline{0^\circ} \\ \quad \downarrow \\ \quad \dot{U}_L = j\omega LI \end{array} \right\}$$

$$\rightarrow \dot{E} = \dot{U}(I) + j\omega L \dot{I} \rightarrow E = 80? \quad \varepsilon = \frac{|E - 80|}{80}$$

$$I^{(1)} = 1\text{ A} \quad \rightarrow \dot{U}_R^{(1)} = 62/0^\circ = 62\text{ V}$$

$$\dot{U}_L^{(1)} = j20.0, 5.1 = j10 \text{ V}$$

$$\dot{E}^{(1)} = 62 + j10 = 62,80 \angle 9,16^\circ \text{ V}; \quad \varepsilon^{(1)} = \frac{|62,80 - 80|}{80} = 21,5\%$$



Tuyến tính điều hòa (2)

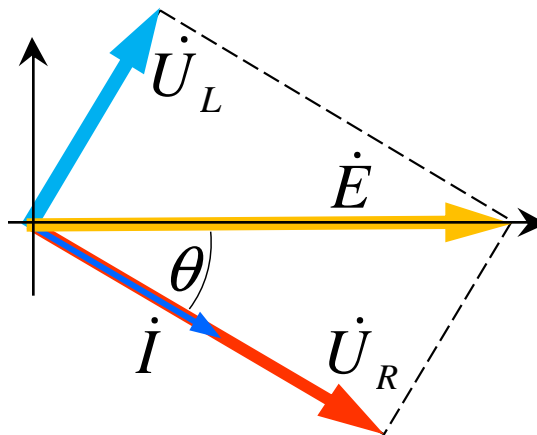
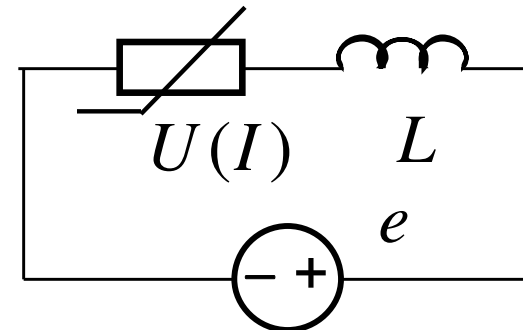
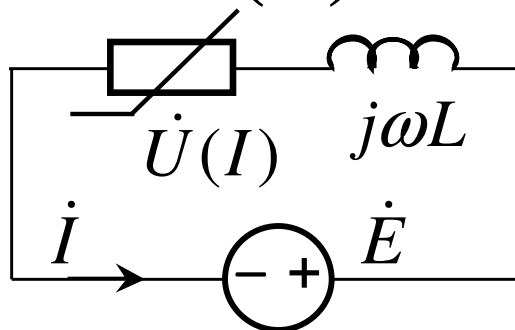
VD1

$$e = 80\sqrt{2} \sin 20t \text{ V}; L = 0,5 \text{ H.}$$

$$\left. \begin{aligned} I &\xrightarrow{\text{đồ thị}} \dot{U}_R = U(I) / 0^\circ \\ &\hookrightarrow \dot{U}_L = j\omega LI \end{aligned} \right\}$$

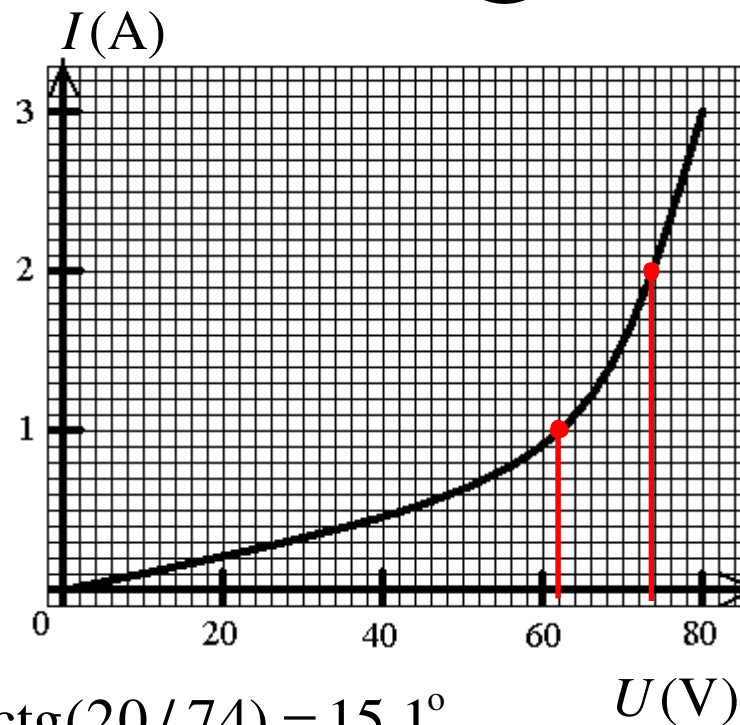
$$\rightarrow \dot{E} = \dot{U}(I) + j\omega L \dot{I} \rightarrow E = 80? \quad \varepsilon = \frac{|E - 80|}{80}$$

k	1	2
$I^{(k)} \text{ (A)}$	1	2
$\dot{U}_R^{(k)} \text{ (V)}$	62	74
$\dot{U}_L^{(k)} \text{ (V)}$	$j10$	$j20$
$E^{(k)} \text{ (V)}$	62,8	76,7
$\varepsilon \text{ (%)}$	21,5	4,1



$$\theta = \arctg(U_L / U_R) = \arctg(20 / 74) = 15,1^\circ$$

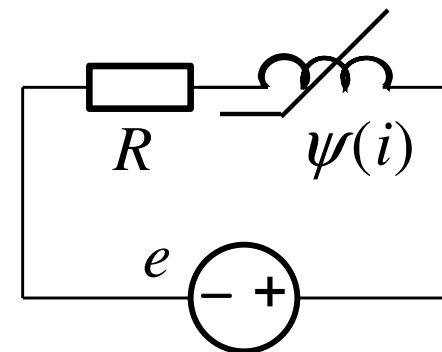
$$\rightarrow i = 2\sqrt{2} \sin(20t - 15,1^\circ) \text{ A}$$



Tuyến tính điều hòa (3)

VD2

$$e = 150 \sin 25t \text{ V}; R = 40\Omega; \psi_m(I_m) = 3I_m + 0,5I_m^3.$$



$$\text{Đặt } \psi(t) = \psi_m \sin(25t + \theta) \rightarrow u_L(t) = \frac{d\psi(t)}{dt} = 25\psi_m \cos(25t + \theta)$$

$$\rightarrow U_{Lm} = 25\psi_m(I_m) = 25(3I_m + 0,5I_m^3)$$

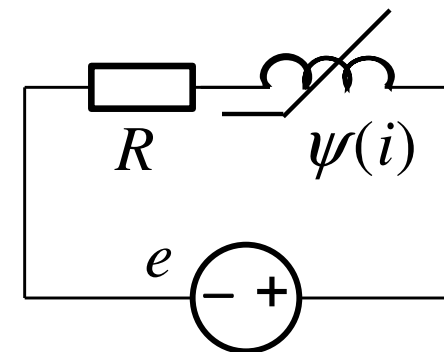
$\sum_{k=1}^N u_k = 0;$	$\sum_{k=1}^M i_k = 0$
$u_R = Ri;$	$u_R = u_R(i)$
$u_L = L \frac{di}{dt};$	$u_L = \frac{d\psi}{dt}$
$i_C = C \frac{du}{dt};$	$i_C = \frac{dq}{dt}$

Tuyến tính điều hòa (4)

VD2

$$e = 150 \sin 25t \text{ V}; R = 40\Omega; \psi_m(I_m) = 3I_m + 0,5I_m^3.$$

(Cách 1)



$$\text{Đặt } \psi(t) = \psi_m \sin(25t + \theta) \rightarrow u_L(t) = \frac{d\psi(t)}{dt} = 25\psi_m \cos(25t + \theta)$$

$$\rightarrow U_{Lm} = 25\psi_m(I_m) = 25(3I_m + 0,5I_m^3)$$

$$RI + \dot{U}_L(I) = \dot{E}$$

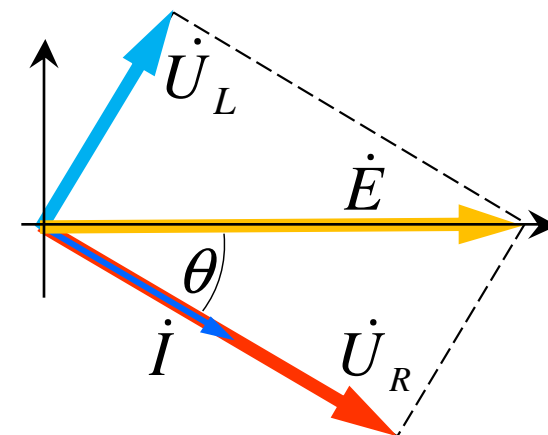
$$\rightarrow (RI_m)^2 + U_{Lm}^2 = E_m^2$$

$$\rightarrow (40I_m)^2 + [25(3I_m + 0,5I_m^3)]^2 = 150^2$$

$$\rightarrow I_m = 1,40$$

$$\theta = \arctg \frac{U_{Lm}}{U_{Rm}} = \arctg \frac{25(3 \cdot 1,40 + 0,5 \cdot 1,40^3)}{40 \cdot 1,40} = 68,1^\circ$$

$$\rightarrow i = 1,40 \sin(25t - 68,1^\circ) \text{ A}$$



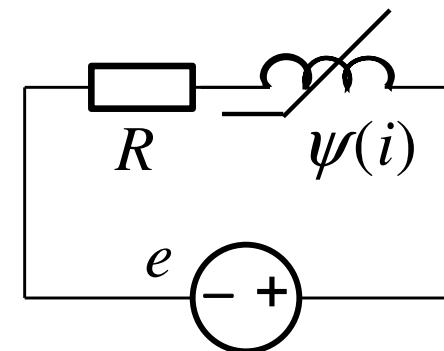
Tuyến tính điều hòa (5)

VD2

$$e = 150 \sin 25t \text{ V}; R = 40\Omega; \psi_m(I_m) = 3I_m + 0,5I_m^3.$$

$$U_{Lm} = 25\psi_m = 25(3I_m + 0,5I_m^3)$$

(Cách 2)



$$R\dot{I} + \dot{U}_L(I) = \dot{E}$$

$$\dot{I} = I_m \angle 0^\circ \rightarrow \begin{cases} \dot{U}_R = 40I_m \\ \dot{U}_L = 25\psi_m \angle 90^\circ = j25\psi_m \end{cases} \rightarrow \dot{E} = \dot{U}_R + \dot{U}_L \rightarrow E_m = 150? \\ \varepsilon = |E_m - 150| / 150$$

$$\dot{I}_m^{(1)} = 1A \rightarrow \begin{cases} \dot{U}_R^{(1)} = 40.1 = 40 \text{ V} \\ \dot{U}_L^{(1)} = j25(3.1 + 0,5.1^3) = j87,5 \text{ V} \end{cases}$$

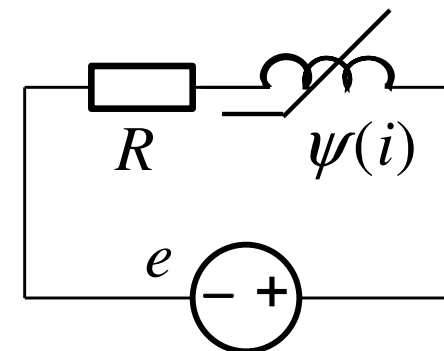
$$\rightarrow \dot{E}^{(1)} = 40 + j87,5 = 96,21 \angle 65,4^\circ \text{ V}$$

$$\varepsilon^{(1)} = \frac{|96,21 - 150|}{150} = 36\%$$

Tuyến tính điều hòa (6)

VD2

$$e = 150 \sin 25t \text{ V}; R = 40\Omega; \psi_m(I_m) = 3I_m + 0,5I_m^3.$$

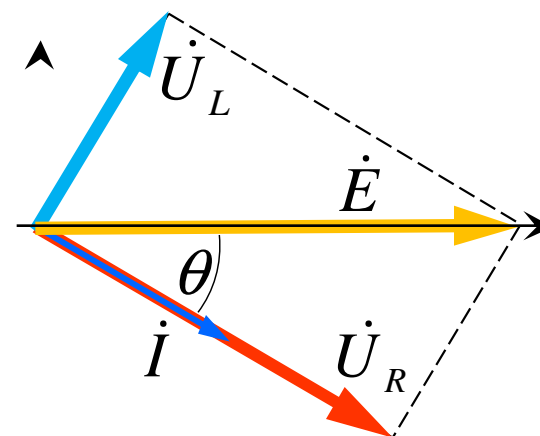


(Cách 2)

$$\dot{I} = I_m \angle 0^\circ \rightarrow \begin{cases} \dot{U}_R = 40I_m \\ \dot{U}_L = j25(3I_m + 0,5I_m^3) \end{cases} \rightarrow \dot{E} = \dot{U}_R + \dot{U}_L \rightarrow E_m = 150? \\ \varepsilon = |E_m - 150| / 150$$

k	1	2	3	4
$I_m^{(k)} \text{ (A)}$	1	2	1,5	1,4
$U_{Rm}^{(k)} \text{ (V)}$	40	80	60	56
$U_{Lm}^{(k)} \text{ (V)}$	87,5	250	154,7	139,3
$E_m^{(k)} \text{ (V)}$	96,2		165,9	150,1
$\varepsilon \text{ (%)}$	36		10,6	0,09

$$\theta = \arctg \frac{U_{Lm}}{U_{Rm}} \\ = \arctg \frac{139,3}{56} \\ = 68,1^\circ$$



$$\rightarrow i = 1,4 \sin(25t - 68,1^\circ) \text{ A}$$

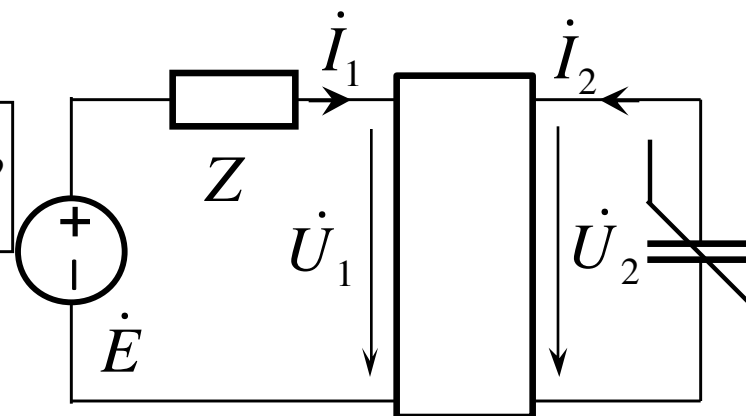
Tuyến tính điều hòa (7)

VD3

$$\dot{E} = 220 \text{ V}; \omega = 314 \text{ rad/s}; Z = 10 + j20 \Omega; \mathbf{Z} = \begin{bmatrix} 30 & j20 \\ j20 & 50 \end{bmatrix} \Omega; \dot{I}_2 = ?$$

Q (mC)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
U (V)	0	3	6	10	16	50	80	120

Đặc tính hiệu dụng của tụ điện phi tuyến



$$q(t) = Q\sqrt{2} \sin(314t + \theta)$$

$$\rightarrow i_c = \frac{dq(t)}{dt} = 314Q\sqrt{2} \cos(314t + \theta)$$

$$\rightarrow I_c = 314Q$$

$$\sum_{k=1}^N u_k = 0; \quad \sum_{k=1}^M i_k = 0$$

$$u_R = Ri; \quad u_R = u_R(i)$$

$$u_L = L \frac{di}{dt}; \quad u_L = \frac{d\psi}{dt}$$

$$i_C = C \frac{du}{dt}; \quad i_C = \frac{dq}{dt}$$

Tuyến tính điều hòa (8)

VD3

$$\dot{E} = 220 \text{ V}; \omega = 314 \text{ rad/s}; Z = 10 + j20 \Omega; \mathbf{Z} = \begin{bmatrix} 30 & j20 \\ j20 & 50 \end{bmatrix} \Omega; \dot{I}_2 = ?$$

Q (mC)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
U (V)	0	3	6	10	16	50	80	120

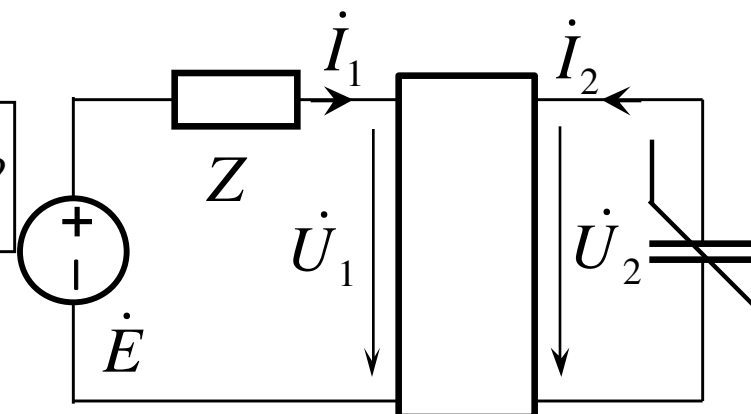
Đặc tính hiệu dụng của tụ điện phi tuyến

$$U_C \xrightarrow{\text{bảng số}} Q \rightarrow \dot{I}_C = 314Q \angle 90^\circ = j314Q$$

$$\xrightarrow{(\beta, \delta)} \dot{I}_1 = \frac{-\dot{U}_C - 50\dot{I}_C}{j20}$$

$$\varepsilon = \frac{|E - 220|}{220}$$

$$\xrightarrow{(\alpha, \gamma)} \dot{E} = (Z + 30)\dot{I}_1 + j20\dot{I}_C \rightarrow E = 220?$$



$$I_C = 314Q$$

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = 30\dot{I}_1 + j20\dot{I}_2 & (\alpha) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{U}_2 = j20\dot{I}_1 + 50\dot{I}_2 & (\beta) \end{cases}$$

$$\begin{cases} Z\dot{I}_1 + \dot{U}_1 = \dot{E} & (\gamma) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{U}_2 = -\dot{U}_C & (\delta) \end{cases}$$

$$U_C^{(1)} = 3 \text{ V} \rightarrow Q^{(1)} = 0,5 \text{ mC} \rightarrow \dot{I}_C^{(1)} = j314 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = j0,157 \text{ A}$$

$$\rightarrow \dot{I}_1^{(1)} = \frac{-3 - 50(j0,157)}{j20} = 0,42 \angle 159,1^\circ \text{ A}$$

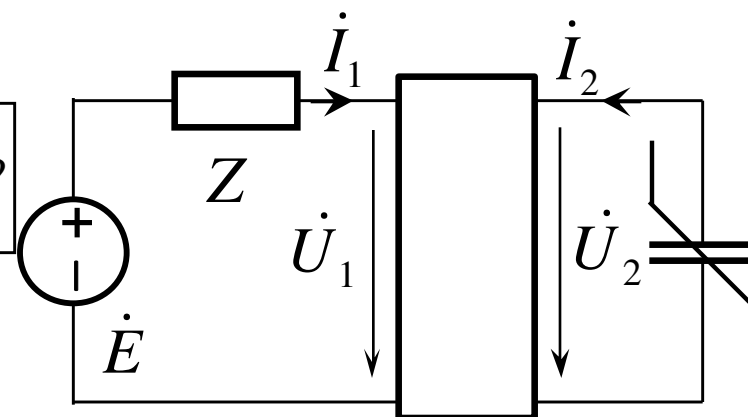
$$\rightarrow \dot{E}^{(1)} = (10 + j20 + 30)0,42 \angle 159,1^\circ + j20(j0,16) = 21,92 \angle -175,2^\circ \text{ V}$$

Tuyến tính điều hòa (9)

VD3

$$\dot{E} = 220 \text{ V}; \omega = 314 \text{ rad/s}; Z = 10 + j20\Omega; \mathbf{Z} = \begin{bmatrix} 30 & j20 \\ j20 & 50 \end{bmatrix} \Omega; \dot{I}_2 = ?$$

Q (mC)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
U (V)	0	3	6	10	16	50	80	120



Đặc tính hiệu dụng của tụ điện phi tuyến

(Cách 1)

$$U_C \xrightarrow{\text{bảng số}} Q \rightarrow \dot{I}_C = j314Q \rightarrow \dot{I}_1 = \frac{-\dot{U}_C - 50\dot{I}_C}{j20} \rightarrow \dot{E} = (Z + 30)\dot{I}_1 + j20\dot{I}_C \rightarrow E = 220?$$

k	$U_C^{(k)}$ (V)	$Q^{(k)}$ (mC)	$\dot{I}_C^{(k)}$ (A)	$\dot{I}_1^{(k)}$ (A)	$\dot{E}^{(k)}$ (V)	ε
1	3	0,5	$j0,16$	$0,42 / 159,1^\circ$	$21,92 / -175,2^\circ$	
2	16	2	$j0,63$	$1,76 / 153,0^\circ$	$91,36 / -179,6^\circ$	
3	50	2,5	$j0,79$	$3,18 / 128,1^\circ$	$156,47 / 157,2^\circ$	29
4	80	3	$j0,94$	$4,64 / 120,5^\circ$	$223,60 / 149,7^\circ$	1,7

$$\dot{I}_C = j0,94 = 0,94 / 90^\circ \text{ A} \rightarrow \dot{E} = 223,60 / 149,7^\circ \text{ V} \rightarrow \varphi_I - \varphi_E = 90^\circ - 149,7^\circ = -59,7^\circ$$

$$\varphi_E = 0 \rightarrow \varphi_I = -59,7^\circ \rightarrow \dot{I}_2 = \dot{I}_C = 0,94 / -59,7^\circ \text{ A}$$

Tuyến tính điều hòa (10)

VD3

$$\dot{E} = 220 \text{ V}; \omega = 314 \text{ rad/s}; Z = 10 + j20 \Omega; \mathbf{Z} = \begin{bmatrix} 30 & j20 \\ j20 & 50 \end{bmatrix} \Omega; \dot{I}_2 = ?$$

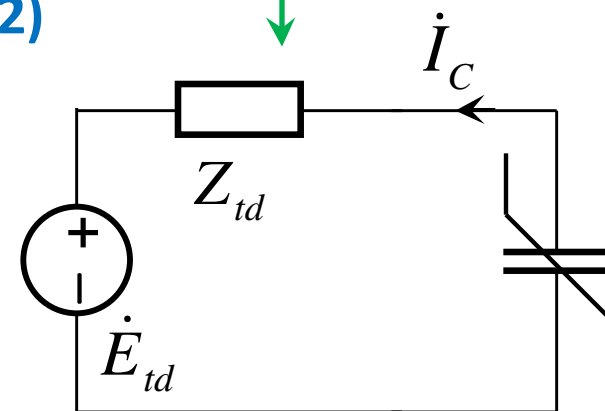
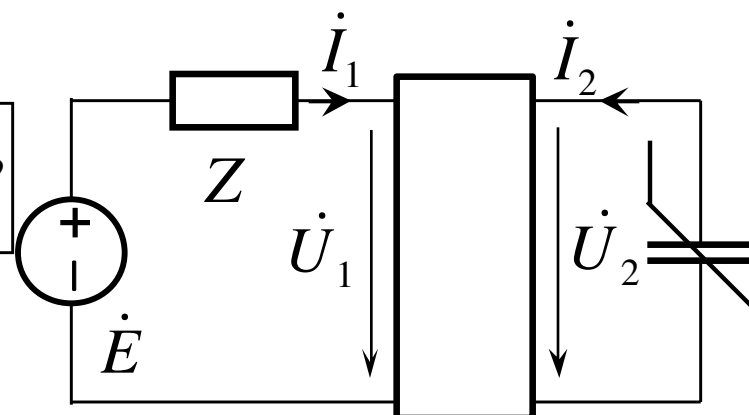
Q (mC)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
U (V)	0	3	6	10	16	50	80	120

Đặc tính hiệu dụng của tụ điện phi tuyến

$$U_C \xrightarrow{\text{bảng số}} Q \rightarrow \dot{I}_C = j314Q \rightarrow \dot{I}_1 = \frac{-\dot{U}_C - 50\dot{I}_C}{j20} \rightarrow \dot{E} = (Z + 30)\dot{I}_1 + j20\dot{I}_C \rightarrow E = 220?$$

(Cách 1)

(Cách 2)



$$U_C \xrightarrow{\text{bảng số}} Q \rightarrow \dot{I}_C = j314Q \rightarrow \dot{E}_{td} = -Z_{td}\dot{I}_1 - \dot{U}_C \rightarrow E_{td} = M?$$

Tuyến tính điều hòa (11)

VD4

$R_1 = 20\Omega$; $R_3 = R_4 = 40\Omega$; $C = 0,4\text{mF}$; $e_1 = 160\sqrt{2} \sin 50t$ (V);
 $e_2 = 80\sqrt{2} \sin(50t + 30^\circ)$ (V); $j = 2\sqrt{2} \sin 50t$ (A). Tìm I_L ?

$$\begin{cases} \dot{I}_1 + \dot{I}_2 - \dot{I}_L = 0 \\ \dot{I}_L - \dot{I}_4 + \dot{j} = 0 \end{cases}$$

$$\dot{I}_L - \dot{I}_4 + \dot{j} = 0$$

$$\begin{cases} R_1 \dot{I}_1 - \frac{1}{j\omega C} \dot{I}_2 = \dot{E}_1 - \dot{E}_2 \end{cases}$$

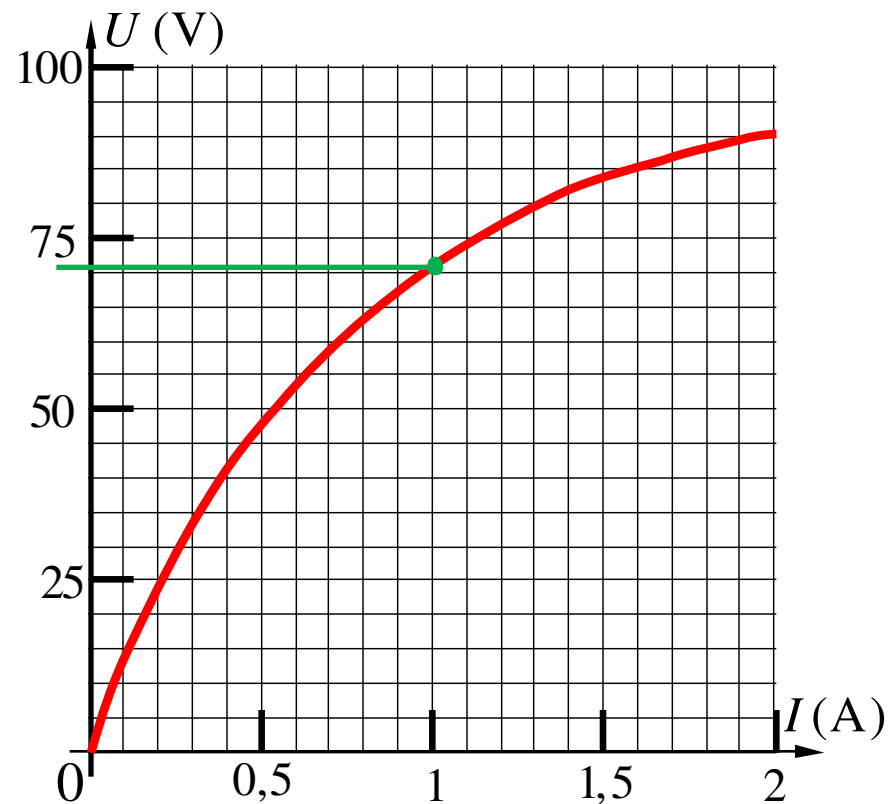
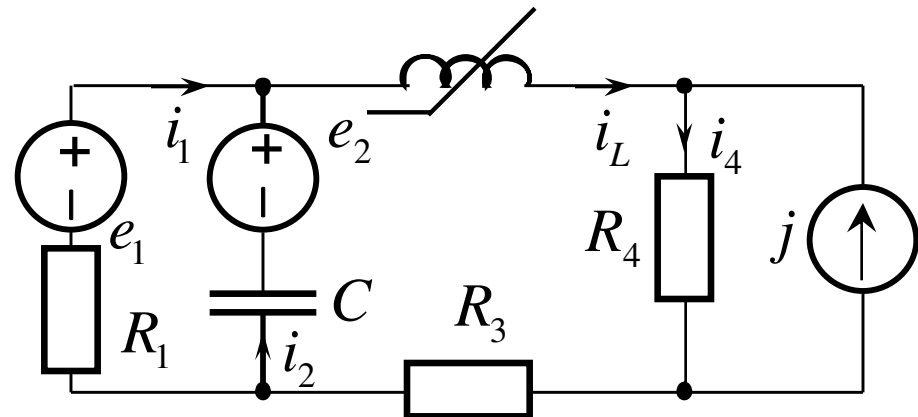
$$\dot{U}_L(I_L) + R_4 \dot{I}_4 + R_3 \dot{I}_L + \frac{1}{j\omega C} \dot{I}_2 = \dot{E}_2$$

$$\dot{I}_L = I_L \rightarrow \begin{cases} \dot{U}_L = jU_L \rightarrow \dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_2 - \dot{U}_L - R_4 \dot{I}_4 - R_3 \dot{I}_L}{1/j\omega C} \\ \dot{I}_4 = \dot{I}_L + \dot{j} \end{cases}$$

$$\rightarrow \dot{I}_1 = \dot{I}_L - \dot{I}_2 \rightarrow \dot{E}_1 = \dot{E}_2 + R_1 \dot{I}_1 - \frac{1}{j\omega C} \dot{I}_2$$

$$\dot{I}_L = 1 \angle 0^\circ \rightarrow \begin{cases} \dot{U}_L = j71 \\ \dot{I}_4 = 1 + 2 \angle ? \end{cases}$$

$$\varphi_j = 0 \rightarrow \varphi_{iL} = \theta; \varphi_{iL} = 0 \rightarrow \varphi_j = ?$$



Tuyến tính điều hòa (12)

VD4

$R_1 = 20\Omega$; $R_3 = R_4 = 40\Omega$; $C = 0,4\text{mF}$; $e_1 = 160\sqrt{2} \sin 50t \text{ (V)}$;
 $e_2 = 80\sqrt{2} \sin(50t + 30^\circ) \text{ (V)}$; $j = 2\sqrt{2} \sin 50t \text{ (A)}$. Tìm I_L ?

$$Z_a = \frac{R_1 Z_C}{R_1 + Z_C} = 17,24 - j6,90 \Omega$$

$$\dot{E}_a = \frac{\dot{E}_1 / R_1 + \dot{E}_2 / Z_C}{1/R_1 + 1/Z_C}$$

$$= 96,28 / -10,9^\circ \text{ V}$$

$$\dot{E}_b = R_4 j = 40 \cdot 2 = 80 \text{ V}$$

$$\dot{U}_L + (Z_a + R_3 + R_4) \dot{I}_L = \dot{E}_a - \dot{E}_b = \dot{E}_{td} = 42,11 / -25,6^\circ$$

$$\rightarrow \dot{E}_{td} = \dot{U}_L + (Z_a + R_3 + R_4) \dot{I}_L$$

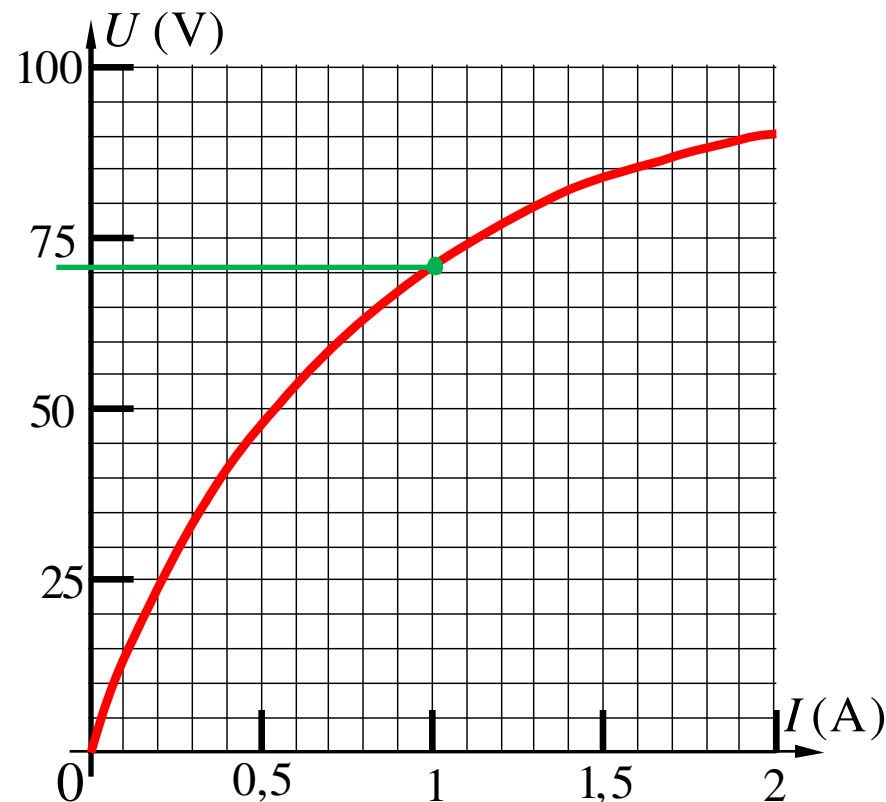
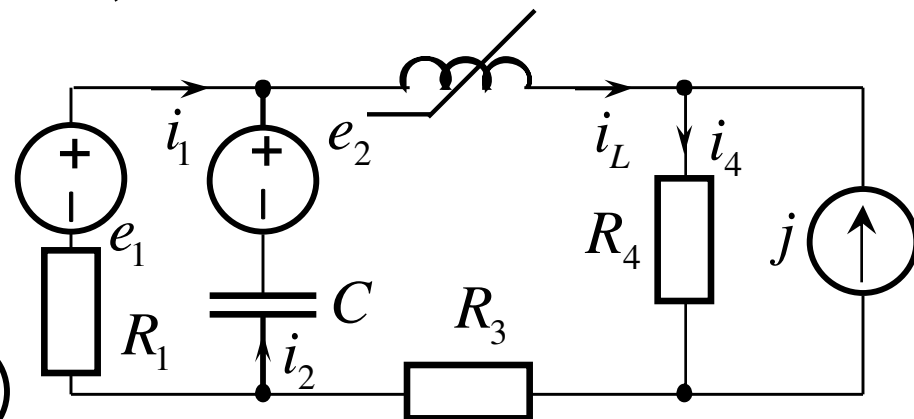
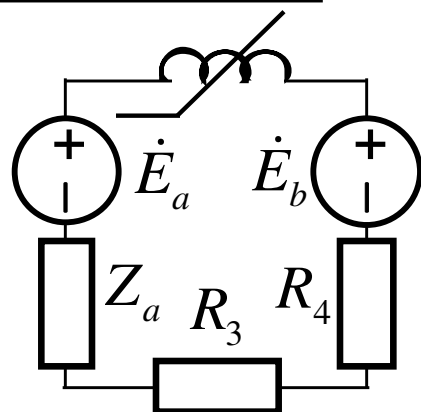
$$\dot{I}_L = I_L \xrightarrow{\text{đồ thị}} \dot{U}_L = jU_L \rightarrow \dot{E}_{td} = \dot{U}_L + (Z_a + R_3 + R_4) \dot{I}_L$$

$$\rightarrow E_{td} = 42,11? \quad \varepsilon = 100 |E_{td} - 42,11| / 42,11$$

$$\dot{I}_L = 1 \xrightarrow{\text{đồ thị}} \dot{U}_L = j71$$

$$\rightarrow \dot{E}_{td} = j71 + (17,24 - j6,90 + 40 + 40)1 = 116,5 / 33,4^\circ$$

$$\rightarrow E_{td} = 116,5 \rightarrow \varepsilon = 100 |116,5 - 42,11| / 42,11 = 177\%$$



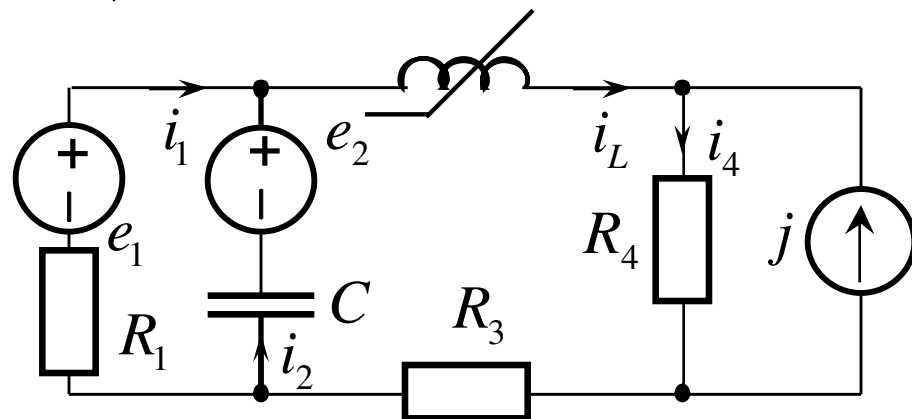
Tuyến tính điều hòa (13)

VD4

$R_1 = 20\Omega$; $R_3 = R_4 = 40\Omega$; $C = 0,4\text{mF}$; $e_1 = 160\sqrt{2} \sin 50t$ (V);
 $e_2 = 80\sqrt{2} \sin(50t + 30^\circ)$ (V); $j = 2\sqrt{2} \sin 50t$ (A). Tìm I_L ?

$$\dot{I}_L = I_L \xrightarrow{\text{đồ thị}} \dot{U}_L = jU_L \rightarrow \dot{E}_{td} = \dot{U}_L + (Z_a + R_3 + R_4)\dot{I}_L$$

$$\rightarrow E_{td} = 42,11? \quad \varepsilon = 100 |E_{td} - 42,11| / 42,11$$

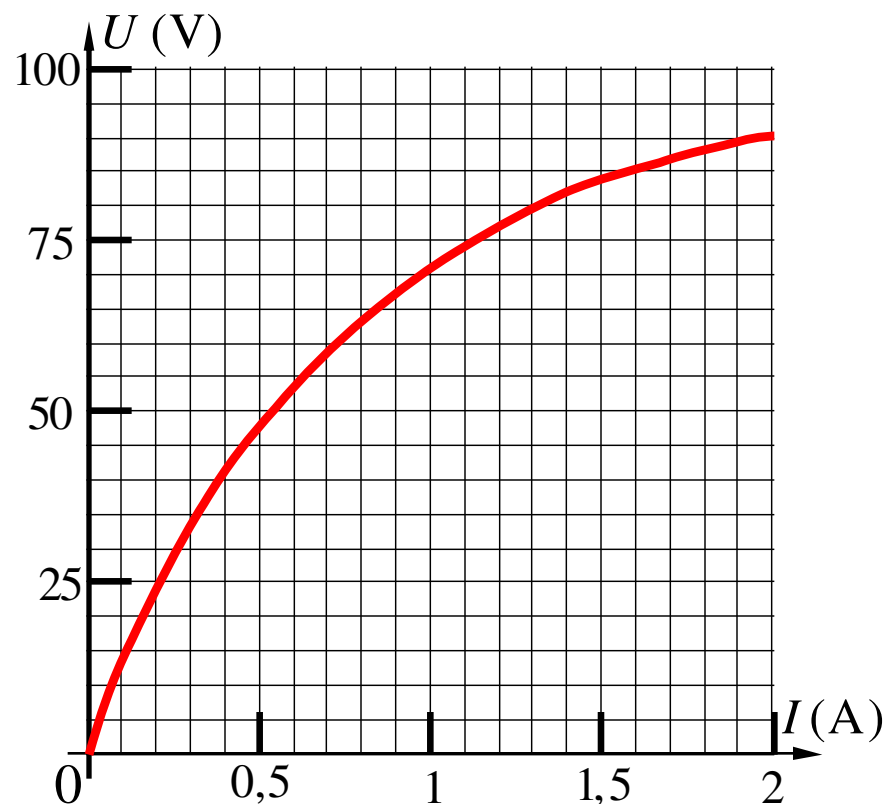


k	I_L (A)	\dot{U}_L (V)	\dot{E}_{td} (V)	ε (%)
1	1	$j71$	$116,5 / 33,4^\circ$	177
2	0,5	$j48$	$65,95 / 42,5^\circ$	57
3	0,3	$j33$	$42,52 / 46,7^\circ$	1,0

$$I_L = 0,3 \text{ A}$$

$$\varphi_{Etd} - \varphi_{IL} = 46,7^\circ = -25,6^\circ - \varphi_{IL} \rightarrow \varphi_{IL} = -72,3^\circ$$

$$\rightarrow i_L(t) = 0,3\sqrt{2} \sin(50t - 72,3^\circ) \text{ A}$$



Tuyến tính điều hòa (14)

VD5

$R_1 = 20\Omega$; $R_3 = R_4 = 40\Omega$; $L = 4H$; $e_1 = 50\sqrt{2} \sin 50t$ (V);
 $e_2 = 100\sqrt{2} \sin(50t + 30^\circ)$ (V); $j = 2\sqrt{2} \sin 50t$ (A). Tìm I_C ?

I (A)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
U (V)	0	3	6	10	16	50	80

$$\dot{E}_{34} = R_4 j = 80 \text{ V}$$

$$Z_{34} = R_3 + R_4 + j\omega L = 80 + j200 \Omega$$

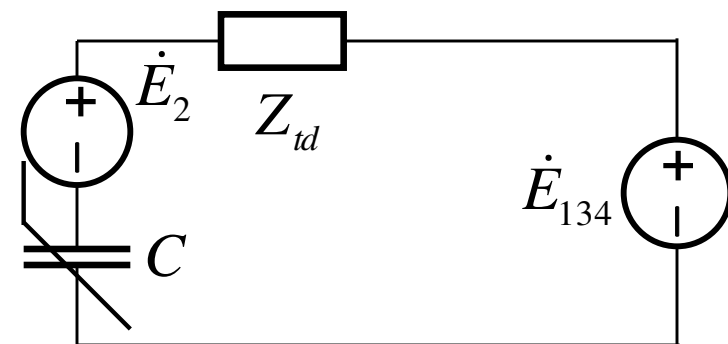
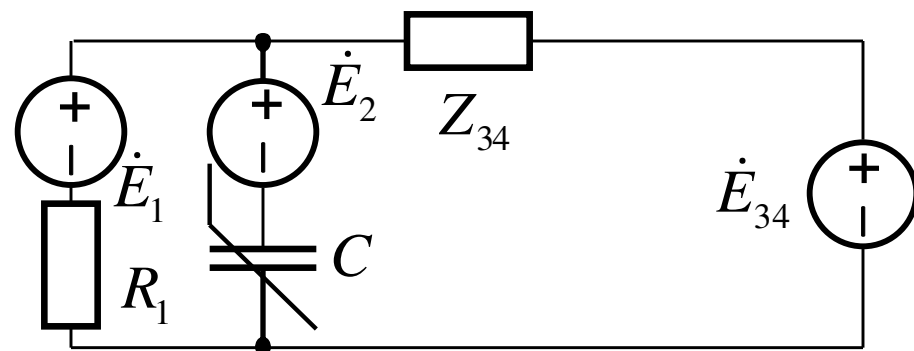
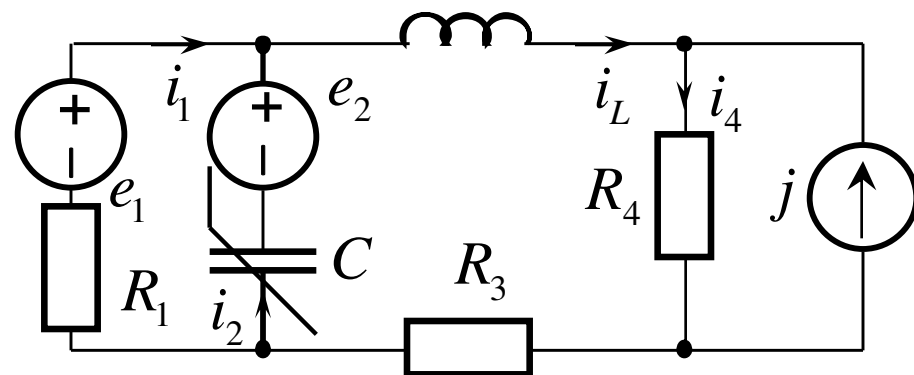
$$Z_{td} = \frac{R_1 Z_{34}}{R_1 + Z_{34}} = 19,20 + j1,60 \Omega$$

$$\dot{E}_{134} = \frac{\dot{E}_1 / R_1 + \dot{E}_{34} / Z_{34}}{1 / R_1 + 1 / Z_{34}} = 51,20 - j2,40 \text{ V}$$

$$Z_{td} \dot{I} + \dot{U}_C = \dot{E}_2 - \dot{E}_{134} = \dot{E}_{td} = 63,24 / 56,0^\circ$$

$$\dot{I}_2 = I \xrightarrow{\text{bảng số}} \dot{U}_C = -jU_C \rightarrow \dot{E}_{td} = \dot{U}_C + Z_{td} \dot{I}_2$$

$$\rightarrow E_{td} = 63,24? \quad \varepsilon = |E_{td} - 63,24| / 63,24$$

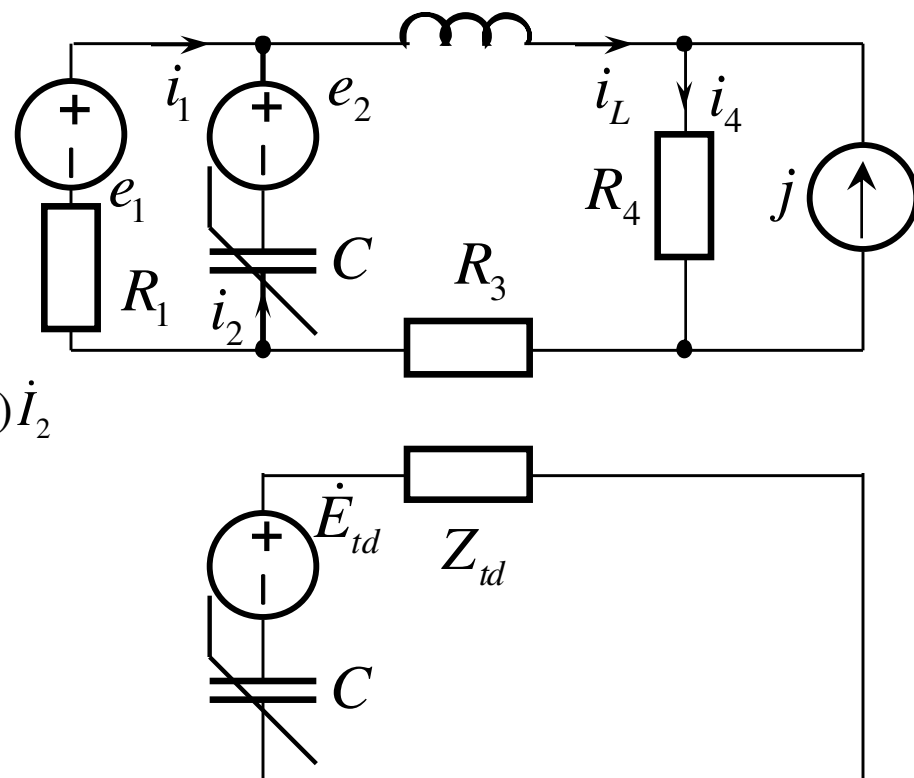


Tuyến tính điều hòa (15)

VD5

$R_1 = 20\Omega$; $R_3 = R_4 = 40\Omega$; $L = 4H$; $e_1 = 50\sqrt{2} \sin 50t$ (V);
 $e_2 = 100\sqrt{2} \sin(50t + 30^\circ)$ (V); $j = 2\sqrt{2} \sin 50t$ (A). Tìm I_C ?

I (A)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
U (V)	0	3	6	10	16	50	80



$$\dot{I}_2 = I \xrightarrow{\text{bảng số}} \dot{U}_C = -jU_C \rightarrow \dot{E}_{td} = \dot{U}_C + (19,20 + j1,60)\dot{I}_2$$

$$\rightarrow E_{td} = 63,24? \quad \varepsilon = |E_{td} - 63,24|/63,24$$

k	1	2	3
\dot{I}_2 (A)	1	2,5	2
\dot{U}_C (V)	$-j6$	$-j50$	$-j16$
\dot{E}_{td} (V)	$19,70 / -12,9^\circ$	$66,48 / -43,8^\circ$	$40,48 / -18,4^\circ$
ε (%)	69	5,1	36

$$I_C = \frac{2,5 - 2}{66,48 - 40,48} 63,24 + \frac{66,48 \cdot 2 - 40,48 \cdot 2,5}{66,48 - 40,48} = \boxed{2,44 \text{ A}}$$

Tuyến tính điều hòa (16)

VD5

$R_1 = 20\Omega; R_3 = R_4 = 40\Omega; L = 4H; e_1 = 50\sqrt{2} \sin 50t \text{ (V)};$
 $e_2 = 100\sqrt{2} \sin(50t + 30^\circ) \text{ (V)}; j = 2\sqrt{2} \sin 50t \text{ (A)}. \text{ Tìm } I_C?$

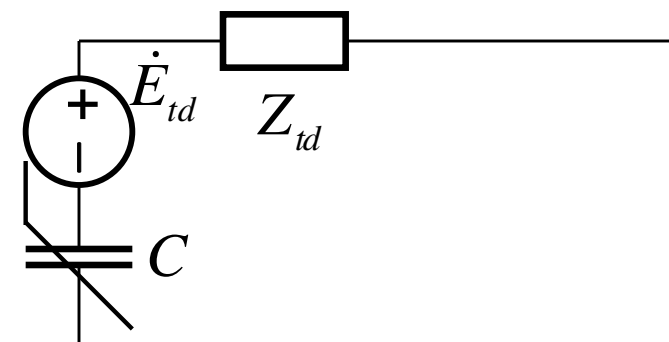
$I \text{ (A)}$	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
$U \text{ (V)}$	0	3	6	10	16	50	80

$$I_C = 2,44 \text{ A}; \dot{E}_{td} = 63,24 / 56,0^\circ \text{ V}$$

$$U_C = \frac{16-50}{2-2,5} 2,44 - \frac{16 \cdot 2,5 - 50 \cdot 2}{2-2,5} = 45,92 \text{ V}$$

$$\dot{I}_C = 2,44 / \varphi \rightarrow \dot{U}_C = 45,92 / \varphi - 90^\circ \rightarrow \dot{E}_{td} = \dot{U}_C + Z_{td} \dot{I}_2 = E_{td} / \varphi_E \rightarrow \varphi_E = 56,0^\circ? \quad \varepsilon = \frac{|\varphi_E - 56,0|}{56,0}$$

k	1	2	3
$\varphi(^\circ)$	10	50	100
$\dot{U}_C \text{ (V)}$	$45,92 / -80^\circ$	$45,92 / -40^\circ$	$45,92 / 10^\circ$
$\dot{E}_{td} \text{ (V)}$	$62,93 / -31,89^\circ$	$62,93 / 8,11^\circ$	$62,93 / 58,11^\circ$
$\varepsilon(\%)$	157	85	3,8



$$i_C(t) = 2,44\sqrt{2} \sin(50t + 100^\circ) \text{ A}$$

$$= 3,45 \sin(50t + 100^\circ) \text{ A}$$

Tuyến tính điều hòa (17)

VD6

$R_1 = 20\Omega; R_4 = R_5 = 40\Omega; L = 0,4H;$
 $e_1 = 250\sqrt{2} \sin 20t \text{ (V)}. \text{ Tìm } I_3?$

$I_3 \text{ (A)}$	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
$U_3 \text{ (V)}$	0	10	20	35	60	90	120

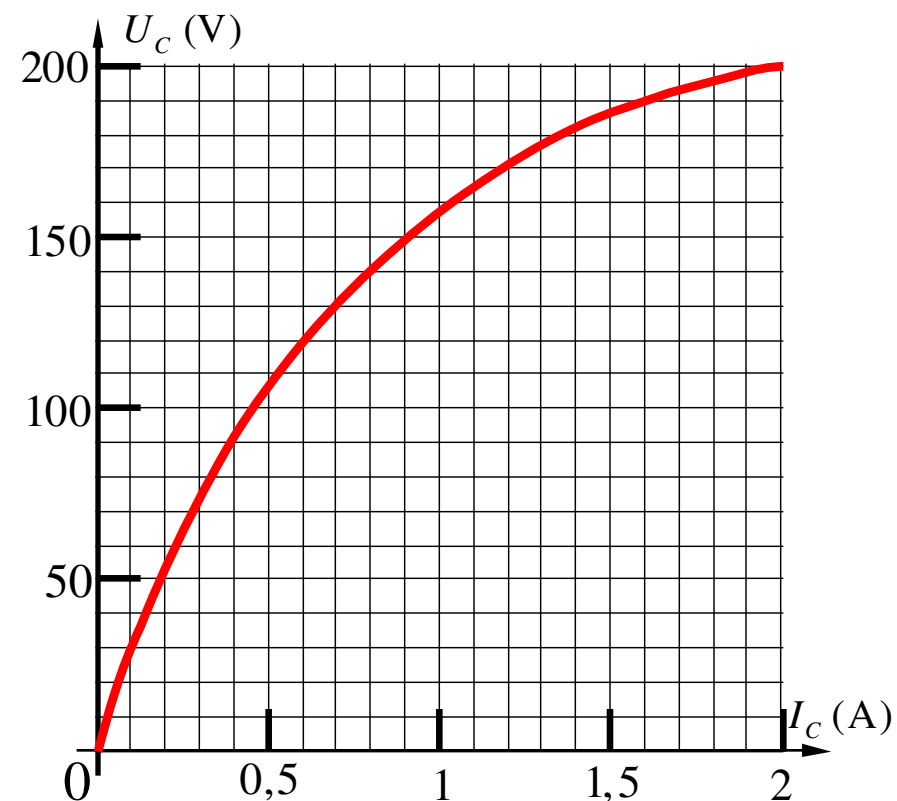
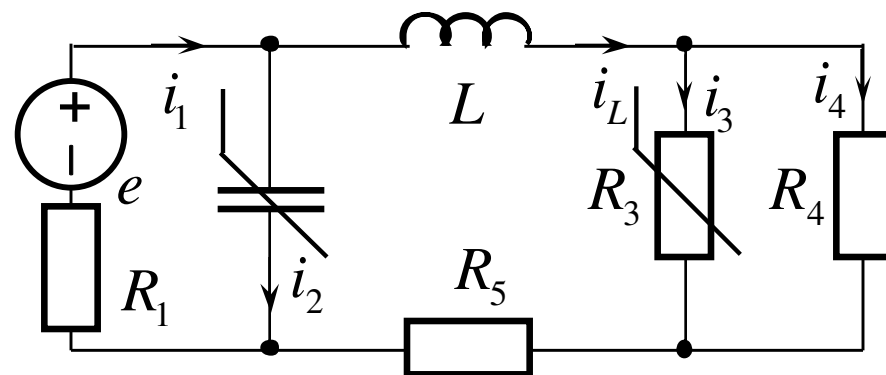
$$\begin{cases} \dot{I}_1 - \dot{I}_2 - \dot{I}_L = 0 & (\alpha) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{I}_L - \dot{I}_3 - \dot{I}_4 = 0 & (\beta) \end{cases}$$

$$\begin{cases} R_1 \dot{I}_1 + \dot{U}_C = \dot{E} & (\gamma) \end{cases}$$

$$\begin{cases} (R_5 + j\omega L) \dot{I}_L + \dot{U}_3 - \dot{U}_C = 0 & (\delta) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{U}_3 = R_4 \dot{I}_4 & (\zeta) \end{cases}$$



$$\dot{I}_2 = I_2 \xrightarrow{\text{đồ thị}} \dot{U}_C = -jU_C \xrightarrow{(\gamma)} \dot{I}_1 = (\dot{E} - \dot{U}_C) / R_1 \rightarrow ?$$

$$\dot{I}_3 = I_3 \xrightarrow{\text{bảng số}} \dot{U}_3 \xrightarrow{(\zeta)} \dot{I}_4 = \dot{U}_3 / R_4 \xrightarrow{(\beta)} \dot{I}_L = \dot{I}_3 + \dot{I}_4$$

$$\xrightarrow{(\delta)} \dot{U}_C = (R_5 + j\omega L) \dot{I}_L + \dot{U}_3 = U_C / \theta \rightarrow U_C \xrightarrow{\text{đồ thị}} I_2$$

$$\rightarrow \dot{I}_2 = I_2 / \theta + 90^\circ \xrightarrow{(\alpha)} \dot{I}_1 = \dot{I}_2 + \dot{I}_L \xrightarrow{(\gamma)} \dot{E} = R_1 \dot{I}_1 + \dot{U}_C$$

$$\rightarrow E = 250? \quad \varepsilon = |E - 250| / 250$$

Tuyến tính điều hòa (18)

VD6

$R_1 = 20\Omega; R_4 = R_5 = 40\Omega; L = 0,4H;$
 $e_1 = 250\sqrt{2} \sin 20t \text{ (V)}. \text{ Tìm } I_3?$

$I_3 \text{ (A)}$	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
$U_3 \text{ (V)}$	0	10	20	35	60	90	120

$\dot{I}_3 = I_3 \xrightarrow{\text{bảng số}} \dot{U}_3 \xrightarrow{(\zeta)} \dot{I}_4 = \dot{U}_3 / R_4 \xrightarrow{(\beta)} \dot{I}_L = \dot{I}_3 + \dot{I}_4$
 $\xrightarrow{(\delta)} \dot{U}_C = (R_5 + j\omega L)\dot{I}_L + \dot{U}_3 = U_C / \theta \rightarrow U_C \xrightarrow{\text{đồ thị}} I_2$
 $\rightarrow \dot{I}_2 = I_2 / \theta + 90^\circ \xrightarrow{(\alpha)} \dot{I}_1 = \dot{I}_2 + \dot{I}_L \xrightarrow{(\gamma)} \dot{E} = R_1 \dot{I}_1 + \dot{U}_C$
 $\rightarrow E = 250? \quad \varepsilon = |E - 250| / 250$

$\dot{I}_3 = 1A \xrightarrow{\text{bảng số}} \dot{U}_3 = 20V \rightarrow \dot{I}_4 = 20 / 40 = 0,5 A$

$\rightarrow \dot{I}_L = 1 + 0,5 = 1,5 A$

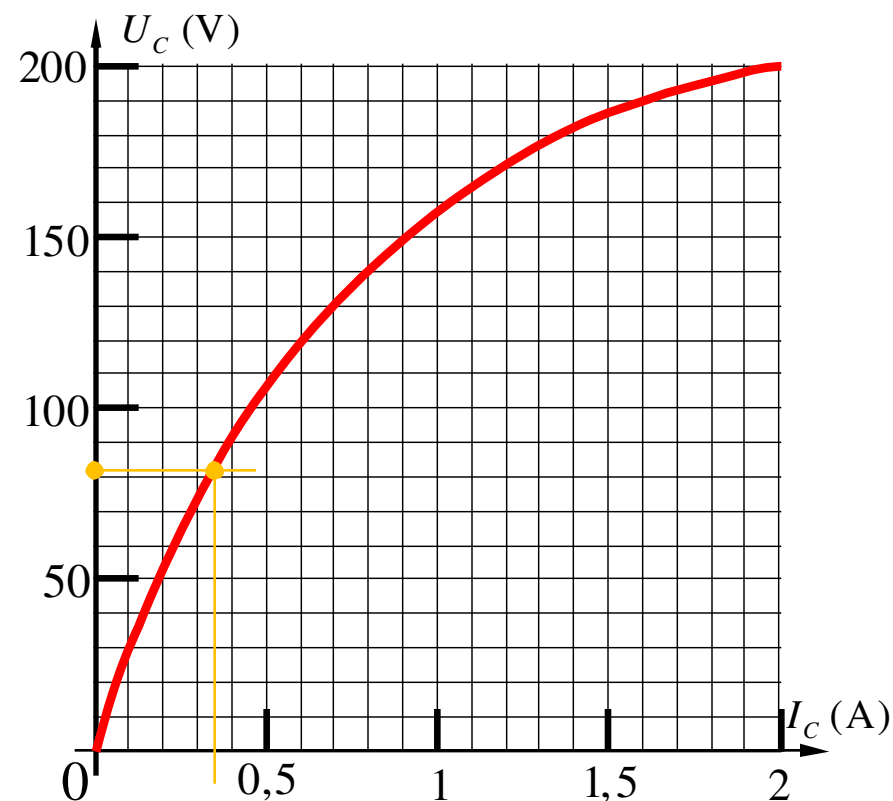
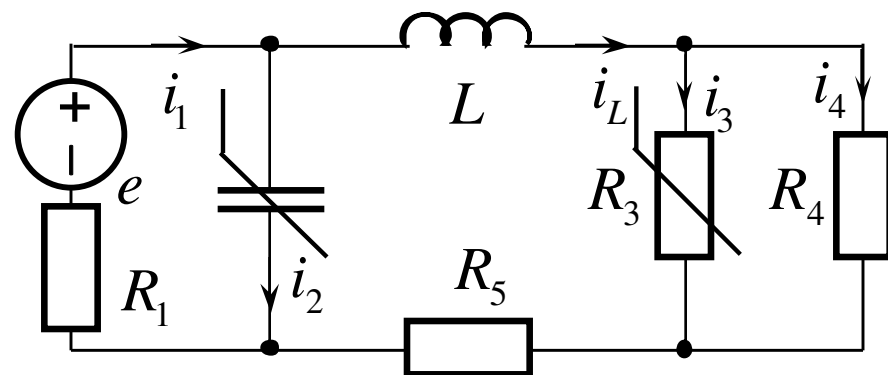
$\rightarrow \dot{U}_C = (40 + j20 \cdot 0,4)1,5 + 20 = 81 / 8,5^\circ \text{ V}$

$\rightarrow U_C = 81V \xrightarrow{\text{đồ thị}} I_2 = 0,34 A$

$\rightarrow \dot{I}_2 = 0,35 / 8,5^\circ + 90^\circ = 0,35 / 98,5^\circ \text{ A}$

$\rightarrow \dot{I}_1 = \dot{I}_2 + \dot{I}_L = 0,34 / 98,5^\circ + 1,5 = 1,49 / 13,1^\circ \text{ A}$

$\rightarrow \dot{E} = 20 \cdot 1,49 / 13,1^\circ + 81 / 8,5^\circ = 110,6 / 10,3^\circ \text{ V}$



Tuyến tính điều hòa (19)

VD6

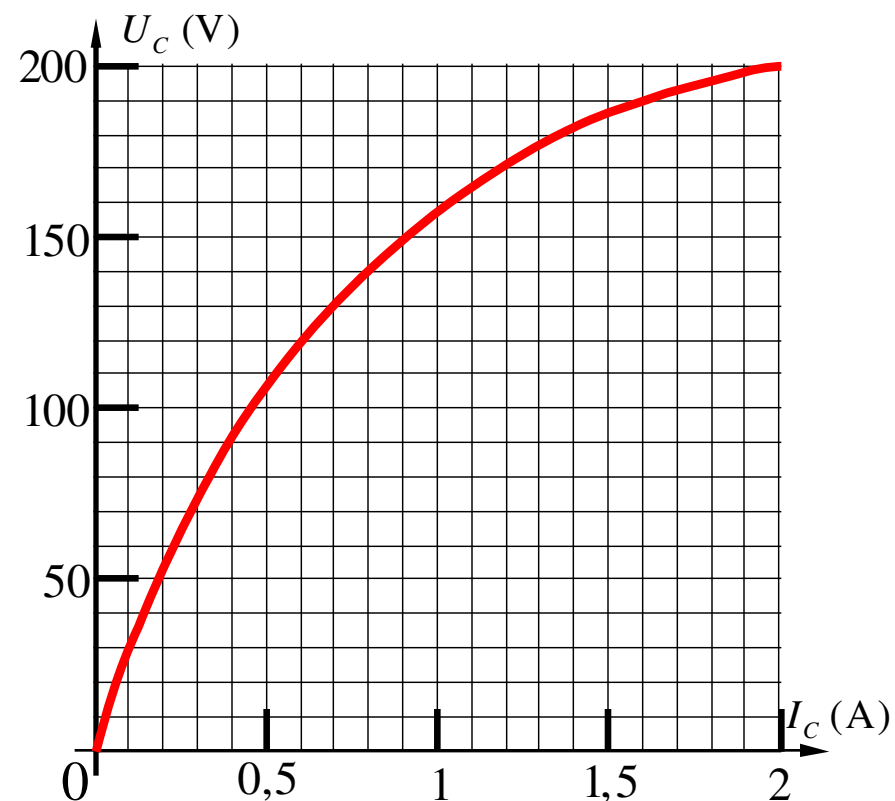
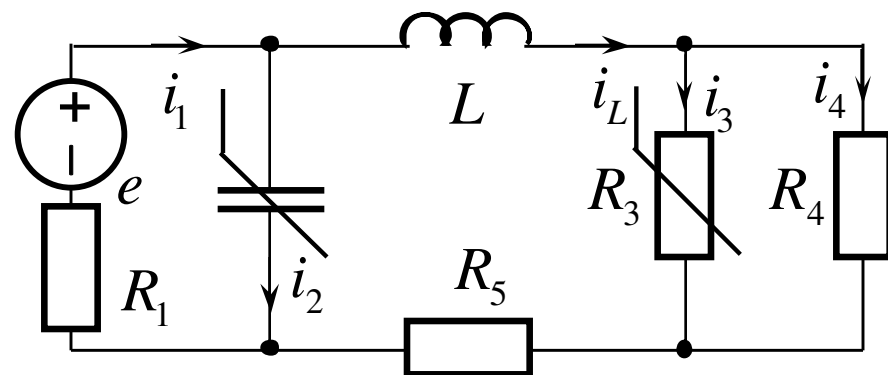
$R_1 = 20\Omega; R_4 = R_5 = 40\Omega; L = 0,4H;$
 $e_1 = 250\sqrt{2} \sin 20t \text{ (V)}. \text{ Tìm } I_3?$

$I_3 \text{ (A)}$	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
$U_3 \text{ (V)}$	0	10	20	35	60	90	120

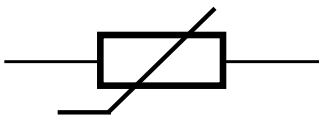

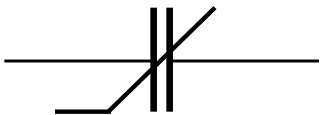
$$\begin{aligned} \dot{I}_3 &= I_3 \xrightarrow{\text{bảng số}} \dot{U}_3 \xrightarrow{(\zeta)} \dot{I}_4 = \dot{U}_3 / R_4 \xrightarrow{(\beta)} \dot{I}_L = \dot{I}_3 + \dot{I}_4 \\ &\xrightarrow{(\delta)} \dot{U}_C = (R_5 + j\omega L) \dot{I}_L + \dot{U}_3 = U_C / \theta \rightarrow U_C \xrightarrow{\text{đồ thị}} I_2 \\ &\rightarrow \dot{I}_2 = I_2 / \theta + 90^\circ \xrightarrow{(\alpha)} \dot{I}_1 = \dot{I}_2 + \dot{I}_L \xrightarrow{(\gamma)} \dot{E} = R_1 \dot{I}_1 + \dot{U}_C \\ &\rightarrow E = 250? \quad \varepsilon = |E - 250| / 250 \end{aligned}$$

k	1	2	3
$\dot{I}_3 \text{ (A)}$	1	1,5	2
$\dot{U}_3 \text{ (V)}$	20	35	60
$\dot{U}_C \text{ (V)}$	$81 / 8,5^\circ$	$131 / 8,3^\circ$	$202 / 8,0^\circ$
$\dot{I}_2 \text{ (A)}$	$0,34 / 98,5^\circ$	$0,70 / 98,3^\circ$	$2 / 98,0^\circ$
$\dot{E} \text{ (V)}$	$110,6 / 10,3^\circ$	$178,5 / 10,6^\circ$	$272,9 / 14,3^\circ$
$\varepsilon \text{ (%)}$		29	9,2

$$I_3 = \frac{1,5 - 2}{178,5 - 272,9} 250 + \frac{178,5 \cdot 2 - 272,9 \cdot 1,5}{178,5 - 272,9} = \boxed{1,86 \text{ A}}$$



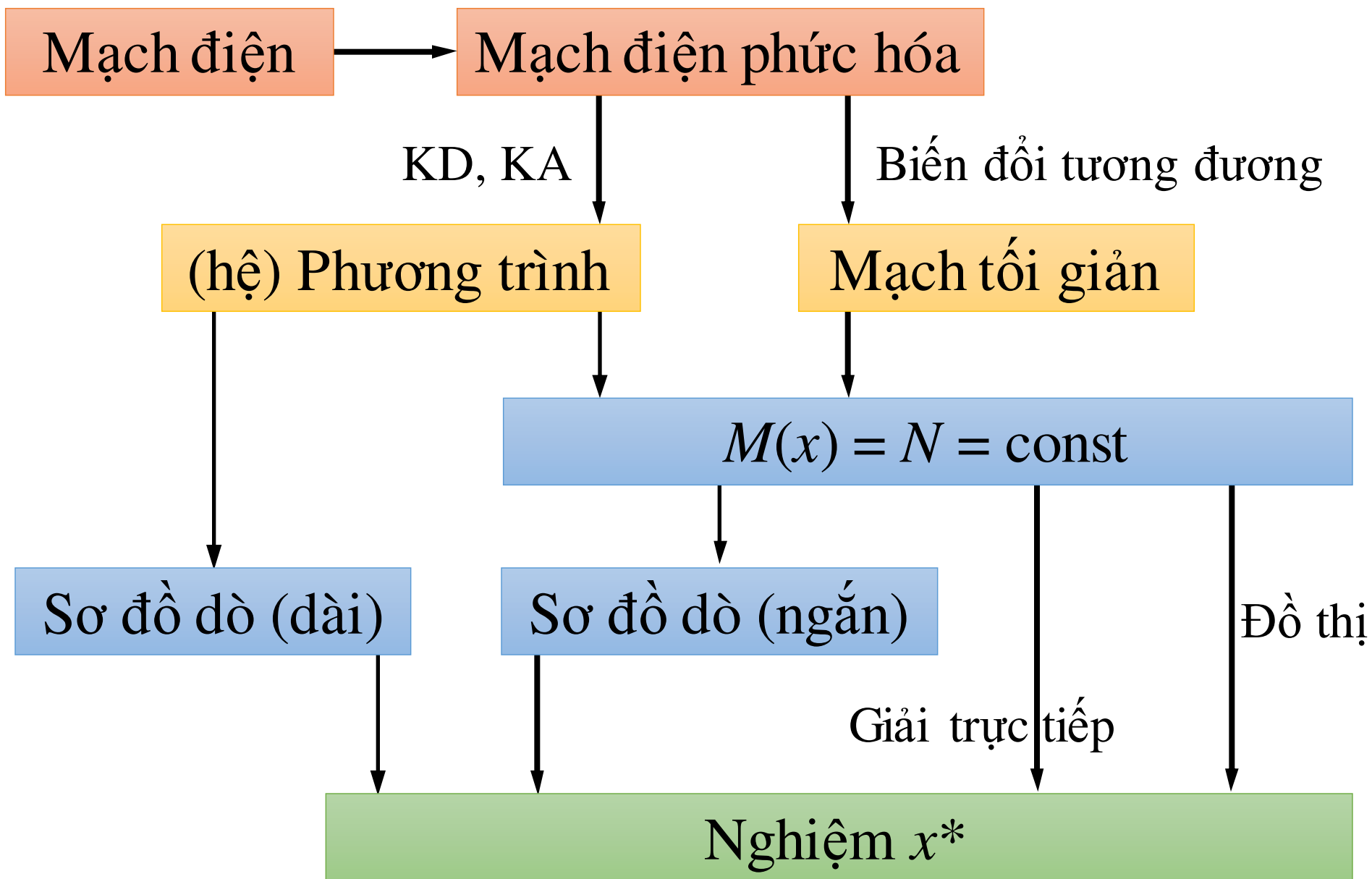
Tuyến tính điều hòa (20)

	$U(I)$	$\dot{I} = I \angle 0^\circ \rightarrow \dot{U}_R = U(I) \angle 0^\circ$
	$U(I)$	$\dot{I} = I \angle 0^\circ \rightarrow \dot{U}_L = U(I) \angle 90^\circ = jU(I)$
	$\psi(I)$	$\dot{I} = I \angle 0^\circ \rightarrow \dot{U}_L = \omega\psi(I) \angle 90^\circ = j\omega\psi(I)$
	$U(I)$	$\dot{I} = I \angle 0^\circ \rightarrow \dot{U}_C = U(I) \angle -90^\circ = -jU(I)$
	$Q(U)$	$\dot{U} = U \angle 0^\circ \rightarrow \dot{I}_C = \omega Q(U) \angle 90^\circ = j\omega Q(U)$

Tuyến tính điều hòa (21)

- Áp dụng khi biết các quan hệ phi tuyến $U(I)$, $\Psi(I)$, $Q(U)$, $U_m(I_m)$, $\Psi_m(I_m)$, $Q_m(U_m)$.
- Các bước thực hiện:
 1. Phức hóa mạch điện,
 2. Lập (hệ) phương trình (phương pháp dòng nhánh) mô tả mạch, rồi rút gọn về dạng $M(X) = N = \text{const}$,
 3. Giải trực tiếp phương trình trên hoặc giải bằng **phương pháp dò**.
- Nếu mạch điện phức tạp thì có thể đơn giản hóa mạch điện trước khi lập phương trình.

Tuyến tính điều hòa (22)



Lý thuyết mạch II

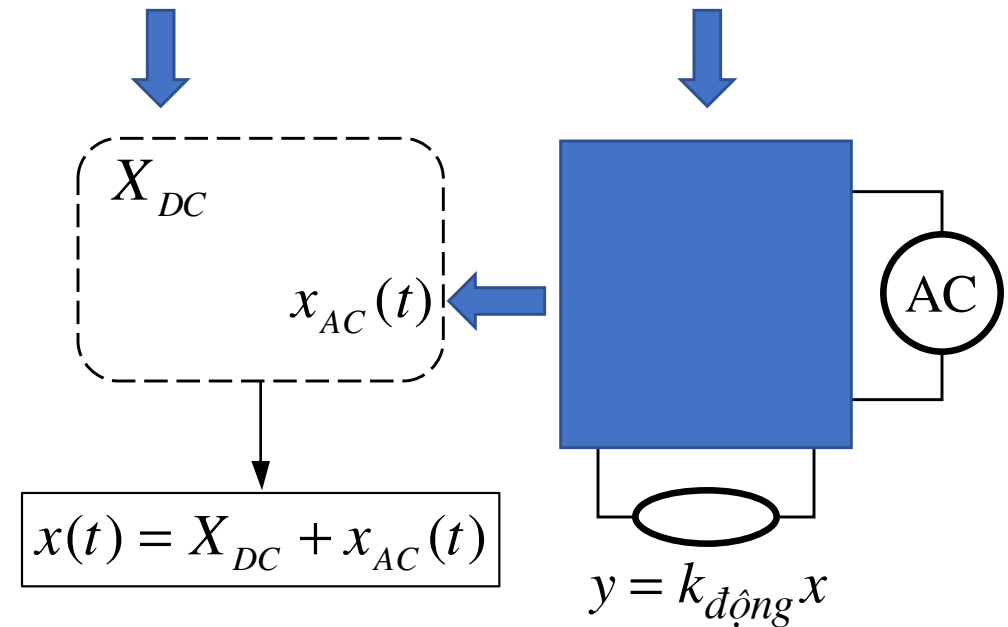
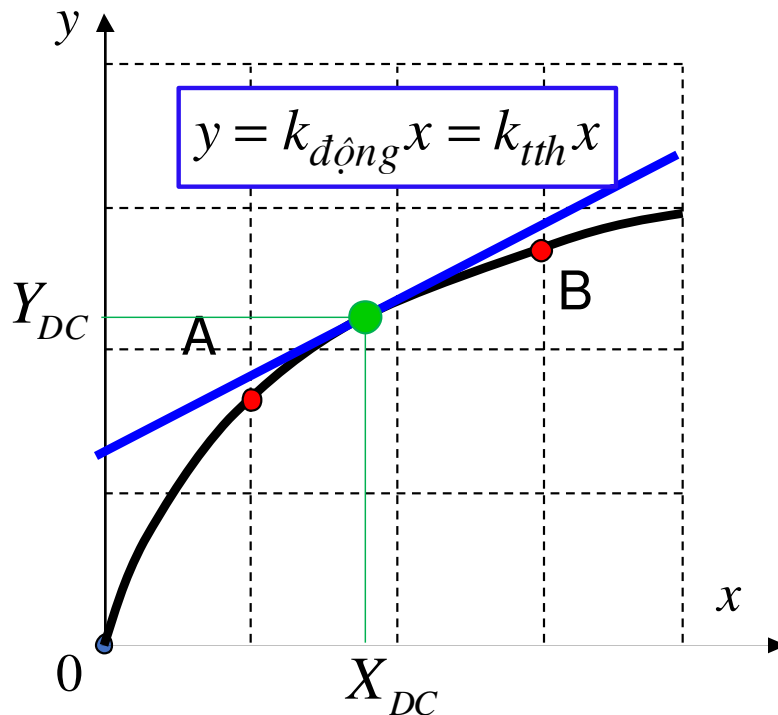
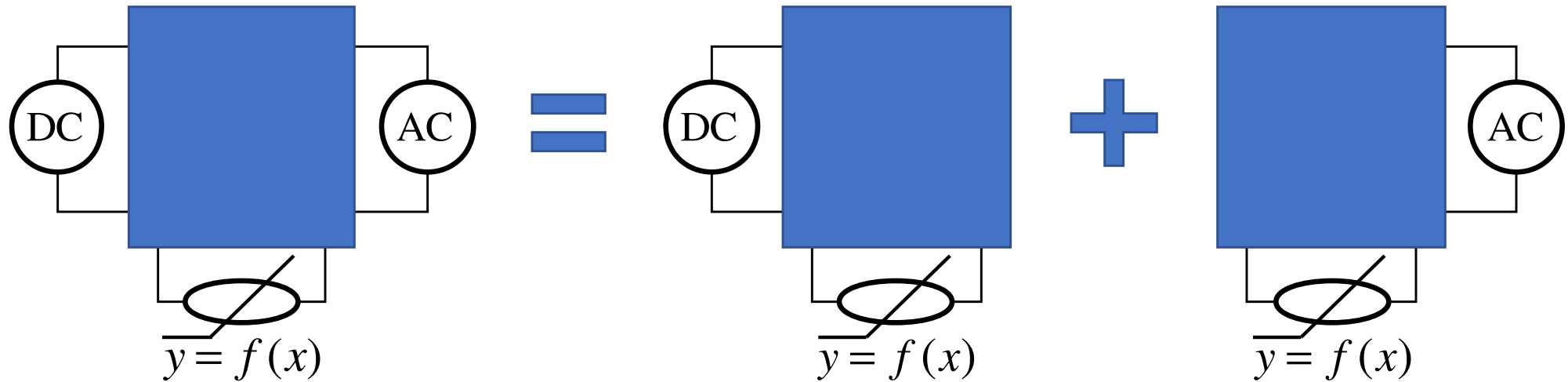
I. Quá trình quá độ

II. Mạch phi tuyến

1. Giới thiệu
2. Đặc tính của phần tử phi tuyến
3. **Chế độ xác lập**
 - a) Mạch một chiều
 - b) **Mạch xoay chiều**
 - i. Cân bằng điều hòa
 - ii. Tuyến tính điều hòa
 - iii. **Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc**
 - iv. Tuyến tính hóa từng đoạn
 - v. Đồ thị
4. Chế độ quá độ
5. Diốt và tranzito

III. Đường dây dài

Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc (1)



Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc (2)

VD1

$$e = 100 + 5 \sin 50t \text{ V}; L = 0,5 \text{ H.}$$

$$E_{\max} = 100 + 5 = 105 \text{ V}$$

$$E_{\min} = 100 - 5 = 95 \text{ V}$$

$$I_{DC} = 1,4 \text{ A}$$

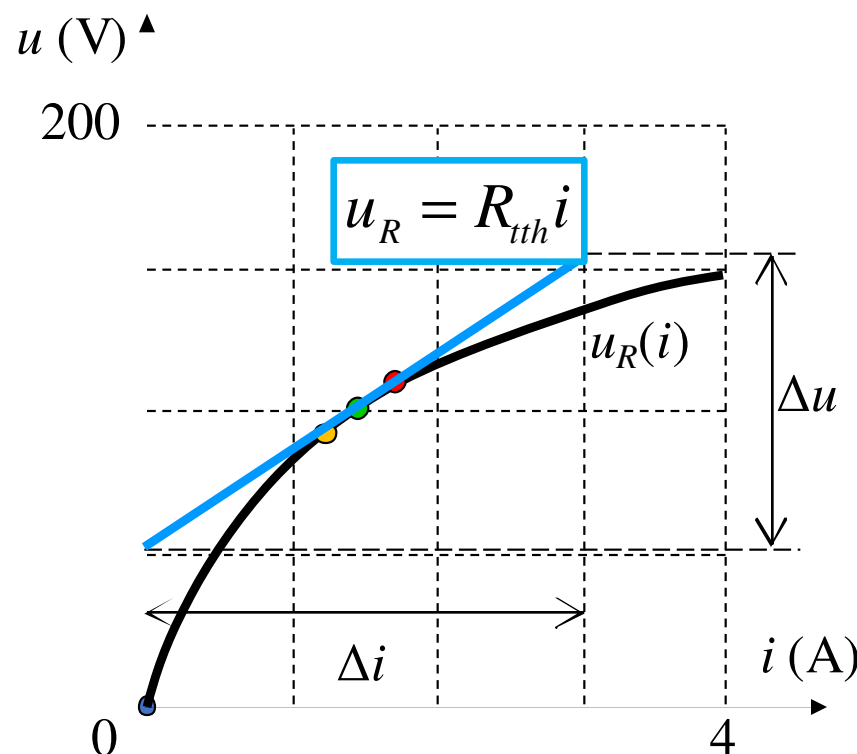
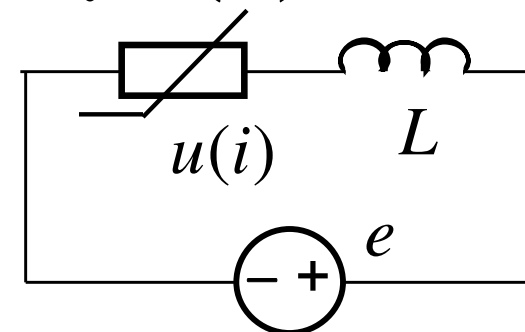
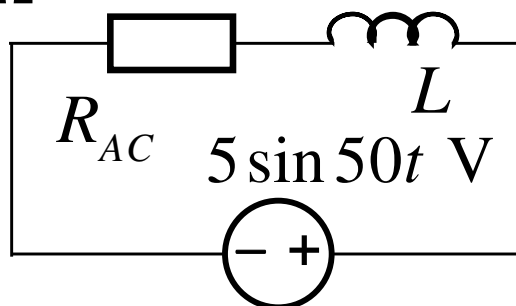
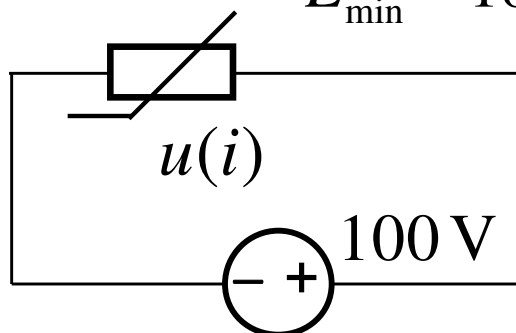
$$u_R = u(i) \approx R_{tth} i$$

$$R_{AC} \approx \frac{\Delta u}{\Delta i} = \frac{105}{3} = 35 \Omega$$

$$\dot{i}_{AC} = \frac{\dot{E}_{AC}}{R_{AC} + j50L}$$

$$= \frac{5/\sqrt{2}}{35 + j50 \cdot 0,5} = 0,067 - j0,048$$

$$= 0,082 / -35,5^\circ \text{ A}$$



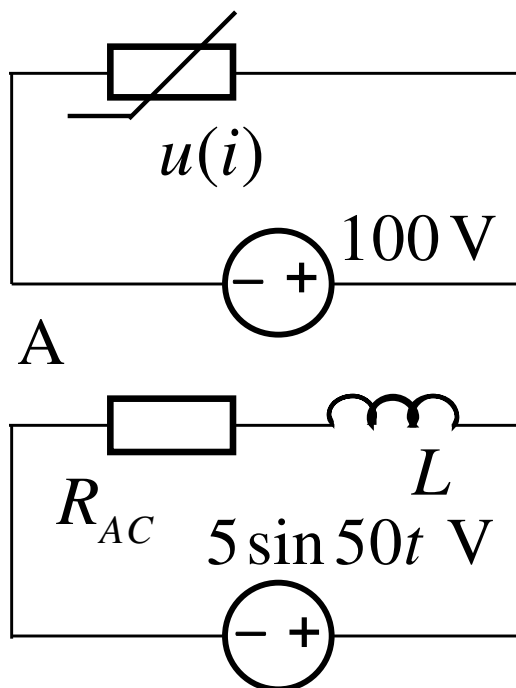
Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc (3)

VD1

$$e = 100 + 5 \sin 50t \text{ V}; L = 0,5 \text{ H.}$$

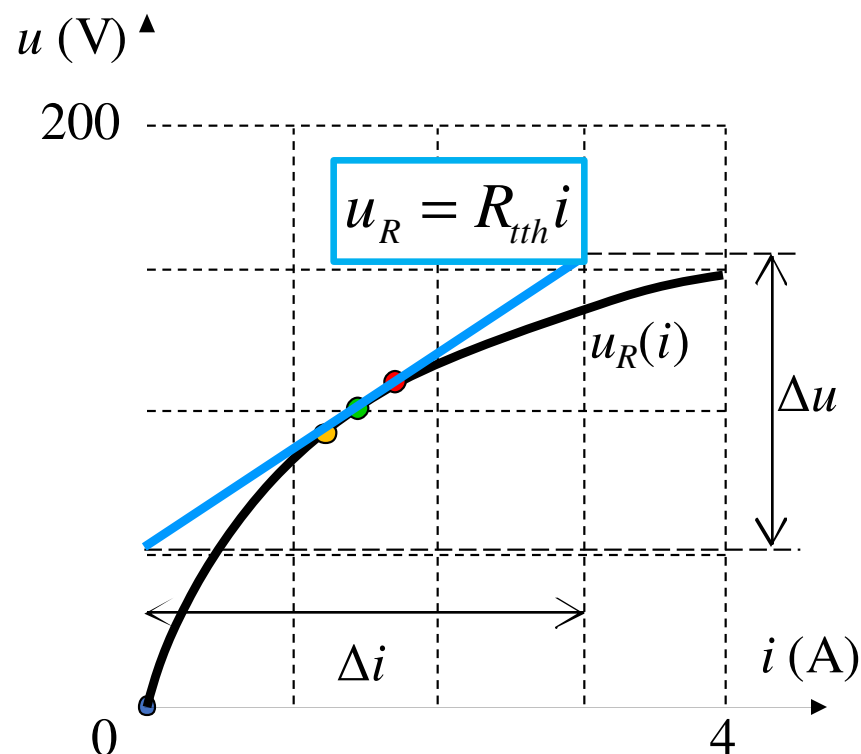
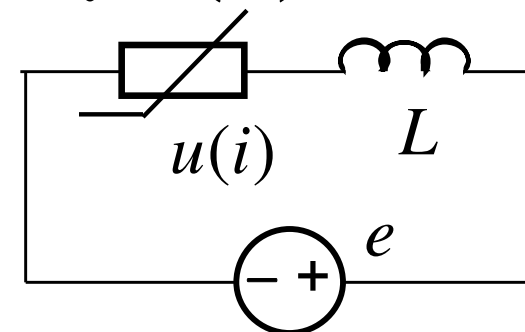
$$I_{DC} = 1,4 \text{ A}$$

$$\dot{I}_{AC} = 0,082 / -35,5^\circ \text{ A}$$



$$\rightarrow i = I_{DC} + i_{AC}$$

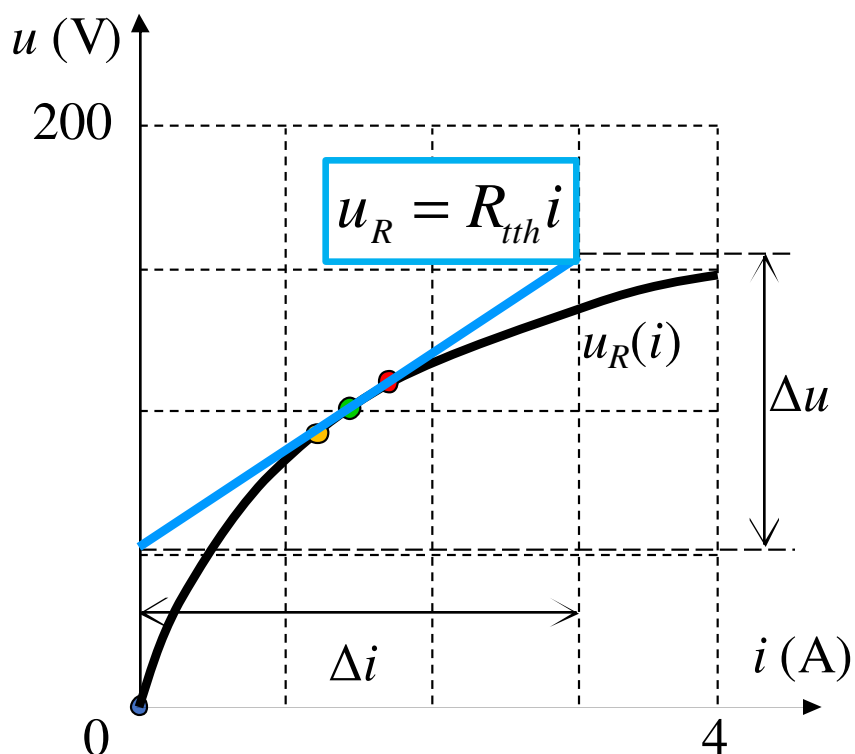
$$= 1,4 + 0,082\sqrt{2} \sin(50t - 35,5^\circ) \text{ A}$$



Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc (4)

VD1

1. Tìm điểm làm việc (do nguồn DC tạo ra),
2. Tuyến tính hóa phần tử phi tuyến (tìm đặc tính động),
3. Giải mạch AC với phần tử phi tuyến đã tuyến tính hóa,
4. Tổng hợp đáp số.

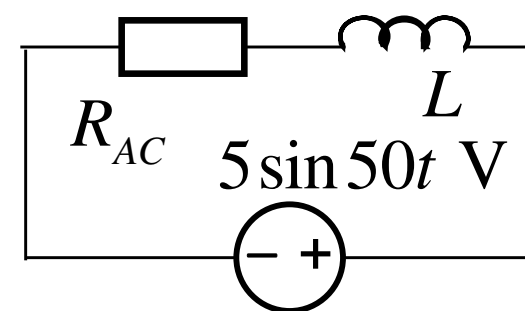
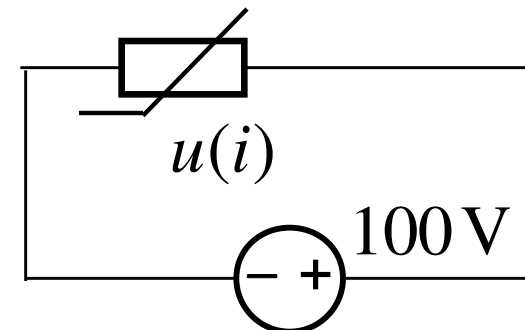
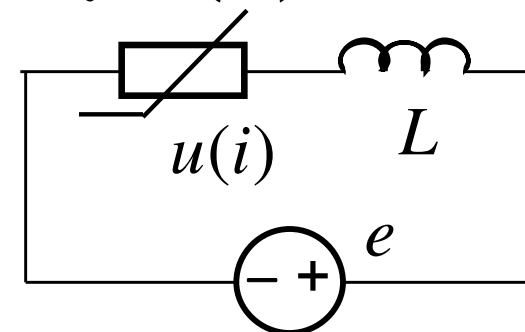


$$1. I_{DC} = 1,4 \text{ A}$$

$$2. R_{AC} \approx \frac{\Delta u}{\Delta i} = 35 \Omega$$

$$3. \dot{I}_{AC} = \frac{\dot{E}_{AC}}{R_{AC} + j50L} = 0,082 / -35,5^\circ \text{ A}$$

$$4. i = I_{DC} + i_{AC} = 1,4 + 0,082\sqrt{2} \sin(50t - 35,5^\circ) \text{ A}$$



Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc (5)

VD2

$$E_1 = 60 \text{ V}; e_2(t) = \sqrt{2} \sin 314t; R = 20 \Omega$$

$$\psi(i) = 0,96e^{0,0020i} - 1,05e^{-0,26i}; q(u) = 10^{-4}u - 0,5 \cdot 10^{-8}u^3$$

Tính dòng điện trên cuộn cảm & điện áp trên tụ điện.

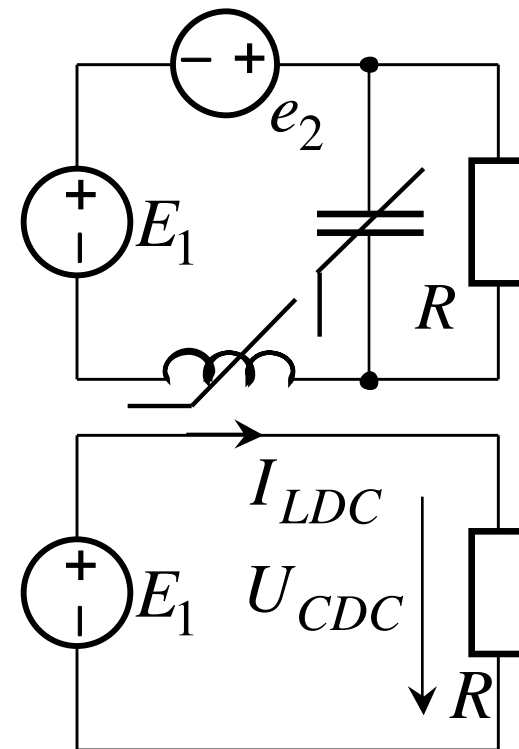
$$I_{LDC} = \frac{E_1}{R} = \frac{60}{20} = 3 \text{ A}; U_{CDC} = E_1 = 60 \text{ V}$$

$$\psi = \psi(i) \approx L_{tth} i$$

$$L_{tth} = \left. \frac{d\psi}{di} \right|_{i=3} = \left(0,96 \cdot 0,002 e^{0,0020i} + 1,05 \cdot 0,26 e^{-0,26i} \right) \Big|_{i=3} = 0,13 \text{ H}$$

$$q = q(u) \approx C_{tth} u$$

$$C_{tth} = \left. \frac{dq}{du} \right|_{u=60} = \left(10^{-4} - 3 \cdot 0,5 \cdot 10^{-8} u^2 \right) \Big|_{u=60} = 46 \mu\text{F}$$



Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc (6)

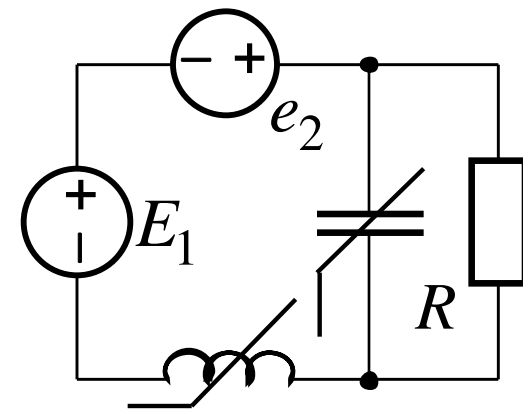
VD2

$$E_1 = 60 \text{ V}; e_2(t) = \sqrt{2} \sin 314t; R = 20 \Omega$$

$$\psi(i) = 0,96e^{0,0020i} - 1,05e^{-0,26i}; q(u) = 10^{-4}u - 0,5 \cdot 10^{-8}u^3$$

Tính dòng điện trên cuộn cảm & điện áp trên tụ điện.

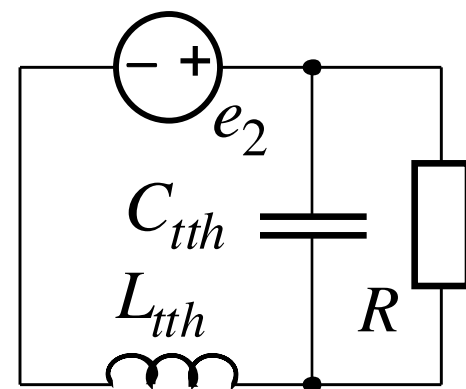
$$I_{LDC} = 3 \text{ A}; U_{CDC} = 60 \text{ V}; L_{tth} = 0,13 \text{ H}; C_{tth} = 46 \mu\text{F}$$



$$\dot{I}_{LAC} = \frac{\dot{E}_2}{j\omega L_{tth} + \frac{R \frac{1}{j\omega C_{tth}}}{R + \frac{1}{j\omega C_{tth}}}} = 0,025 \angle -62,6^\circ \text{ A}; \dot{U}_{CAC} = \frac{R \frac{1}{j\omega C_{tth}}}{R + \frac{1}{j\omega C_{tth}}} \dot{I}_{LAC} = 1 \angle 0^\circ \text{ V}$$

$$i_L(t) = I_{LDC} + i_{LAC}(t) = \boxed{3 + 0,025\sqrt{2} \sin(314t - 62,6^\circ) \text{ A}}$$

$$u_C(t) = U_{CDC} + u_{CAC}(t) = \boxed{60 + \sqrt{2} \sin 314t \text{ V}}$$



Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc (7)

VD3

$e = 60 + \sin 100t$ V; $R_1 = 20 \Omega$; $L = 4$ H; $C = 80 \mu\text{F}$.

Tính dòng điện qua điện trở phi tuyến?

I (A)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
U (V)	0	3	6	10	16	30	80

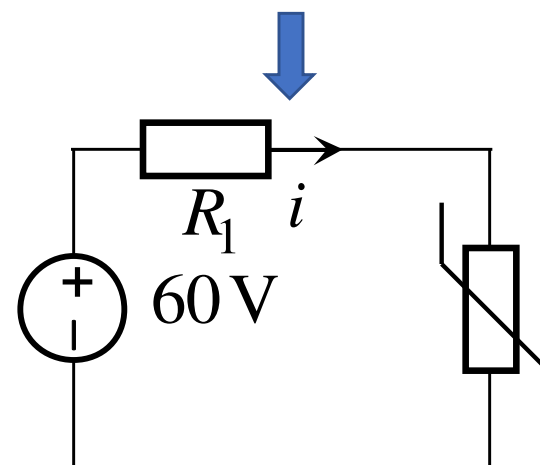
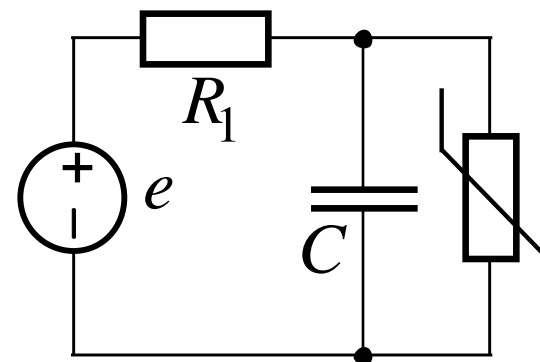
Đặc tính của điện trở phi tuyến

$$i \xrightarrow{\text{bảng}} u(i) \rightarrow E = 20i + u(i) = 60? \quad \varepsilon = \frac{|E - 60|}{60}$$

k	$i^{(k)}$ (A)	$20i^{(k)}$ (V)	$u^{(k)}(i)$ (V)	$e^{(k)}$ (V)	ε (%)
1	0,5	10	3	13	78
2	2	40	16	56	6,67
3	2,5	50	30	80	33,33

$$i = \frac{2 - 2,5}{56 - 80} e + \frac{56 \cdot 2,5 - 80 \cdot 2}{56 - 80} = 0,021e + 0,83$$

$$\rightarrow i|_{e=60} = 0,021 \cdot 60 + 0,83 = 2,08 \text{ A} = I_{DC}$$



Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc (8)

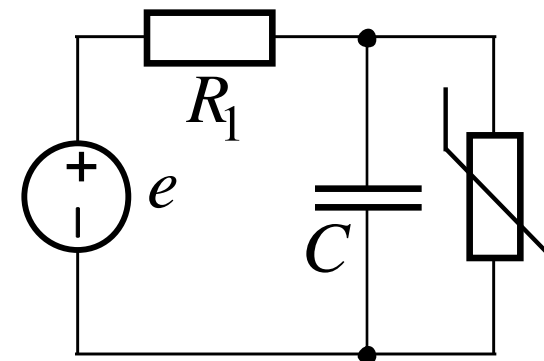
VD3

$e = 60 + \sin 100t$ V; $R_1 = 20 \Omega$; $L = 4$ H; $C = 80 \mu\text{F}$.

Tính dòng điện qua điện trở phi tuyến?

I (A)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
U (V)	0	3	6	10	16	30	80

Đặc tính của điện trở phi tuyến



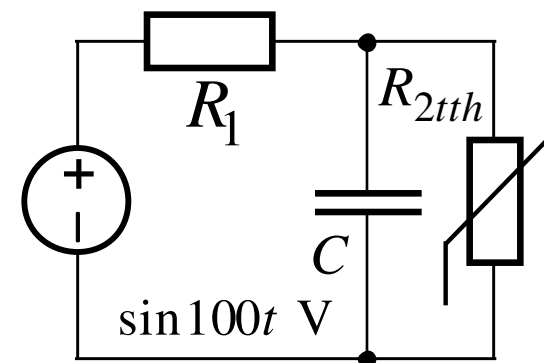
$$i_{DC} = 2,08 \text{ A}$$

$$R_{2th} = \frac{30 - 16}{2,5 - 2} = 28 \Omega$$

$$\dot{U}_{2AC} = Z_{R2C} \frac{\dot{E}_{AC}}{R_1 + Z_{R2C}} = \frac{28 \frac{1}{j100 \cdot 80 \cdot 10^{-3}}}{28 + \frac{1}{j100 \cdot 80 \cdot 10^{-3}}} \cdot \frac{1/\sqrt{2}}{20 + \frac{28 \frac{1}{j100 \cdot 80 \cdot 10^{-3}}}{28 + \frac{1}{j100 \cdot 80 \cdot 10^{-3}}}} = 0,22 - j0,21 \text{ V}$$

$$\dot{i}_{AC} = \frac{\dot{U}_{2AC}}{R_{2th}} = \frac{0,22 - j0,21}{28} = 0,011 / -42,7^\circ \text{ A}$$

$$\rightarrow i_2 = i_{DC} + i_{AC} = 2,08 + 0,011\sqrt{2} \sin(100t - 42,7^\circ) \text{ A}$$

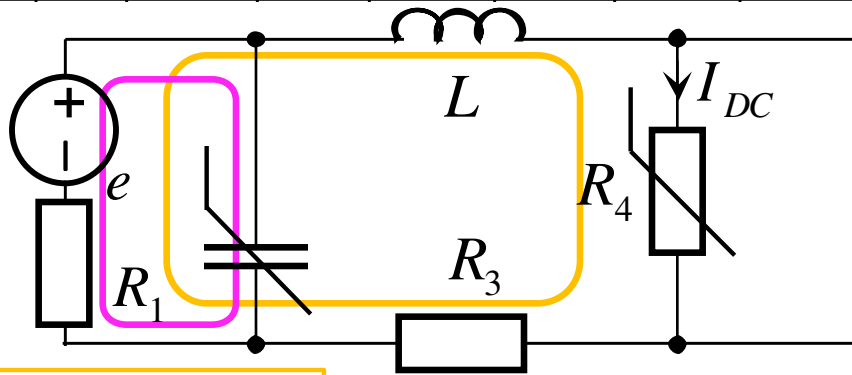


Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc (9)

VD4

$R_1 = 60\Omega$; $R_3 = 40\Omega$; $L = 0,4\text{H}$; $e = 200\text{ V}$ (một chiều); $j = 0,2\sin 2000t\text{ (A)}$. Tìm $i_L(t)$?

$Q\text{ (mC)}$	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
$U\text{ (V)}$	0	20	40	70	120	180	250



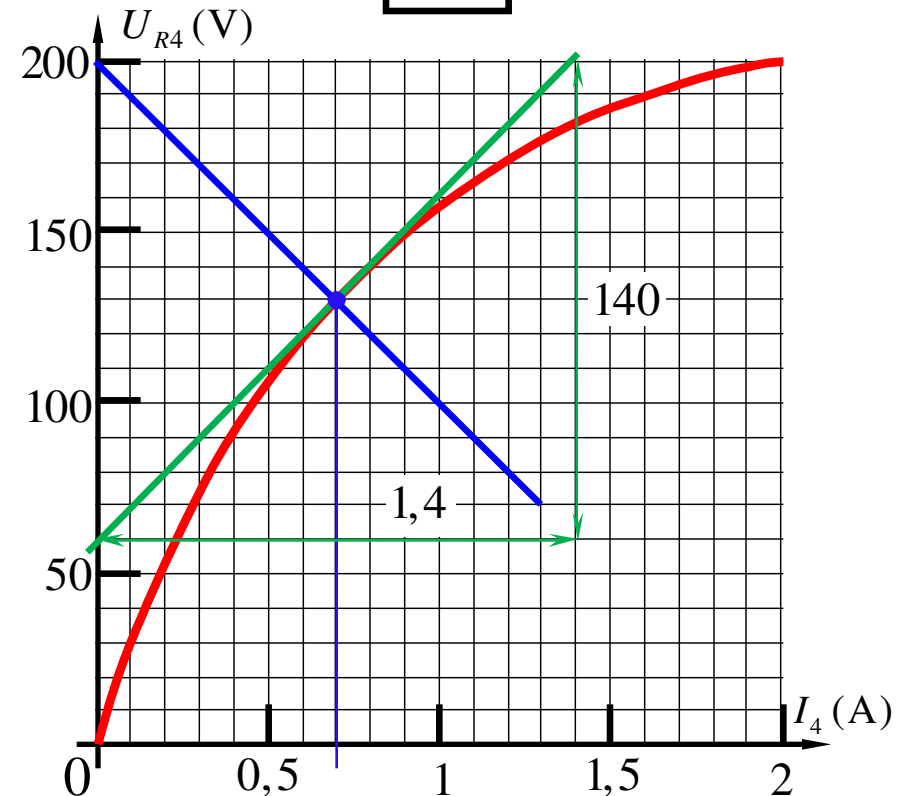
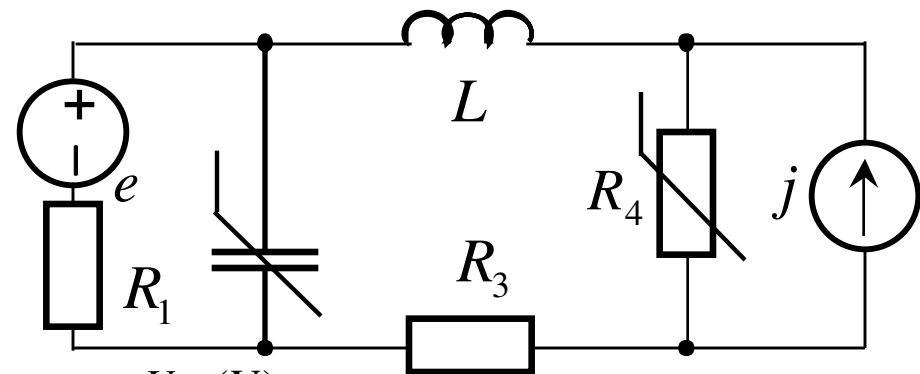
$$(R_1 + R_3)I_{DC} + U_{R4} = e \rightarrow (60 + 40)I_{DC} + U_{R4} = 200$$

$$\rightarrow U_{R4} = 200 - 100I_{DC} \rightarrow I_{DC} = 0,7\text{ A}$$

$$R_1 I_{DC} + U_{CDC} = e \rightarrow U_{CDC} = 200 - 60 \cdot 0,7 = 158\text{ V}$$

$$R_{th} = 140 / 1,4 = 100\ \Omega$$

$$C_{th} = \frac{\Delta Q}{\Delta U} = \frac{(2,5 - 2)10^{-3}}{180 - 120} = 8,33\ \mu\text{F}$$



Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc (10)

VD4

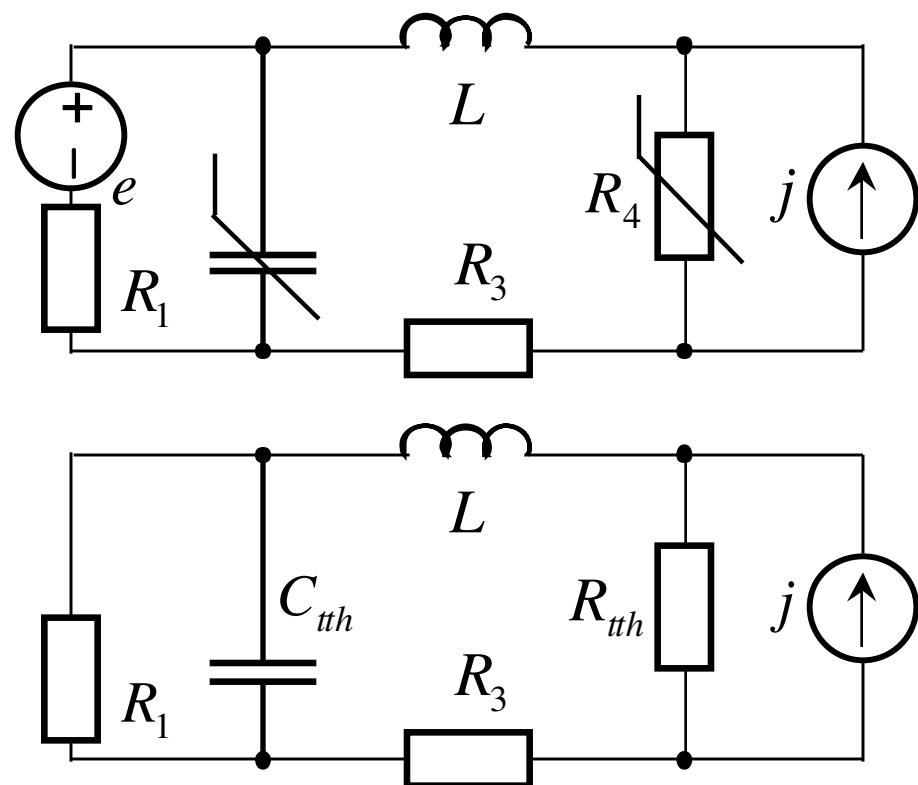
$R_1 = 60\Omega$; $R_3 = 40\Omega$; $L = 0,4\text{H}$; $e = 200\text{ V}$ (một chiều); $j = 0,2\sin 2000t\text{ (A)}$. Tìm $i_L(t)$?

$Q\text{ (mC)}$	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
$U\text{ (V)}$	0	20	40	70	120	180	250

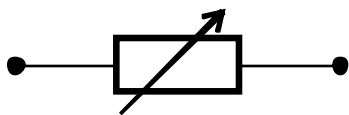

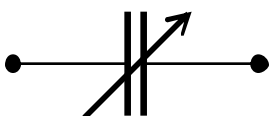
$$I_{DC} = 0,7\text{ A}; R_{th} = 100\Omega; C_{th} = 8,33\mu\text{F}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{AC} &= \frac{R_{th} j}{R_3 + R_{th} + j\omega L + \frac{R_1 \frac{1}{j\omega C_{th}}}{R_1 + \frac{1}{j\omega C_{th}}}} \\ &= 0,0179 / -77,6^\circ \text{ A} \end{aligned}$$

$$i_L(t) = I_{DC} + i_{AC}(t) = \boxed{0,7 - 0,0254 \sin(2000t - 77,6^\circ) \text{ A}}$$



Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc (11)

	Đồ thị	Hàm số	Bảng số
	<p>Vẽ tiếp tuyến ở điểm làm việc</p>	$R_{tth} = \left. \frac{du}{di} \right _{i=I_{DC}}$	$R_{tth} = \frac{U_2 - U_1}{I_2 - I_1}$ $I_1 < I_{DC} < I_2$
		$L_{tth} = \left. \frac{d\psi}{di} \right _{i=I_{DC}}$	$L_{tth} = \frac{\psi_2 - \psi_1}{I_2 - I_1}$ $I_1 < I_{DC} < I_2$
		$C_{tth} = \left. \frac{dq}{du} \right _{u=U_{DC}}$	$C_{tth} = \frac{Q_2 - Q_1}{U_2 - U_1}$ $U_1 < U_{DC} < U_2$

Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc (12)

- Áp dụng khi mạch có nguồn một chiều lớn & nguồn xoay chiều có biên độ nhỏ.
- Các bước thực hiện
 1. Tìm điểm làm việc (do nguồn DC tạo ra),
 2. Tuyến tính hóa phần tử phi tuyến (tìm đặc tính động),
 3. Giải mạch AC với phần tử phi tuyến đã tuyến tính hóa,
 4. Tổng hợp đáp số.

Lý thuyết mạch II

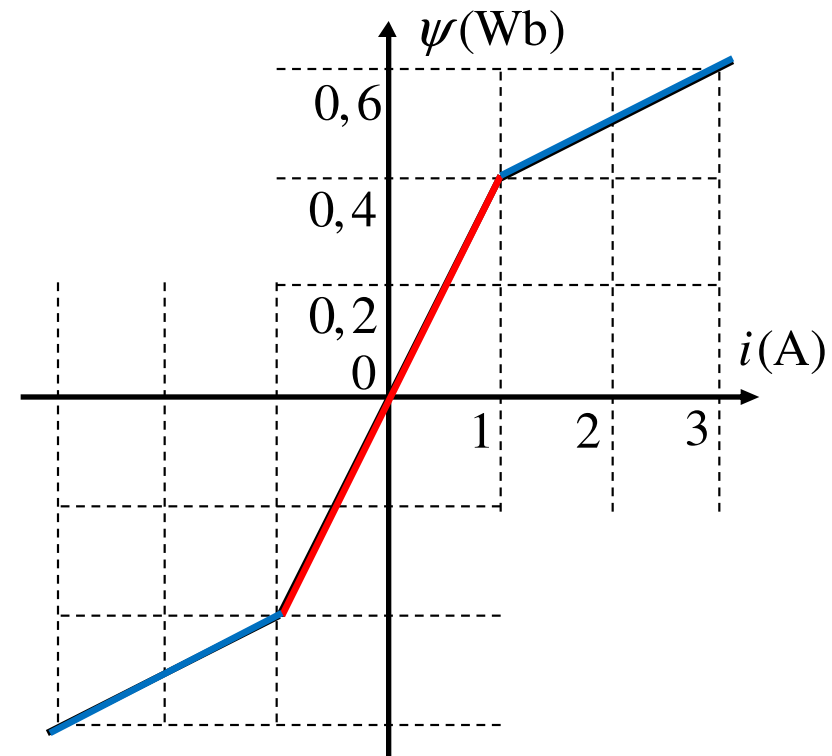
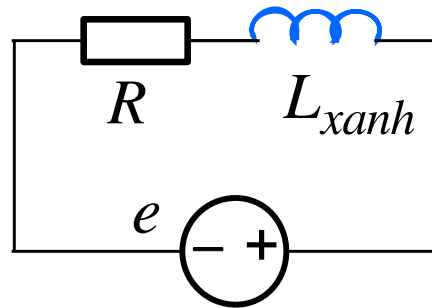
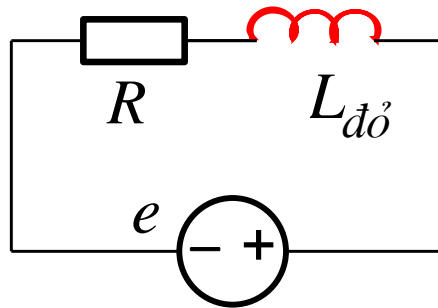
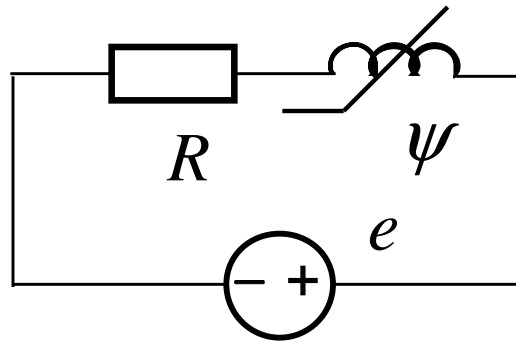
I. Quá trình quá độ

II. Mạch phi tuyến

1. Giới thiệu
2. Đặc tính của phần tử phi tuyến
3. **Chế độ xác lập**
 - a) Mạch một chiều
 - b) **Mạch xoay chiều**
 - i. Cân bằng điều hòa
 - ii. Tuyến tính điều hòa
 - iii. Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc
 - iv. **Tuyến tính hóa từng đoạn**
 - v. Đồ thị
4. Chế độ quá độ
5. Diốt và tranzito

III. Đường dây dài

Tuyến tính hóa từng đoạn (1)

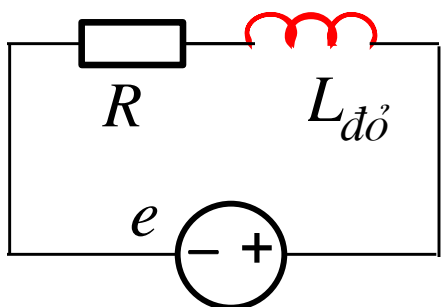


Tuyến tính hóa từng đoạn (2)

VD

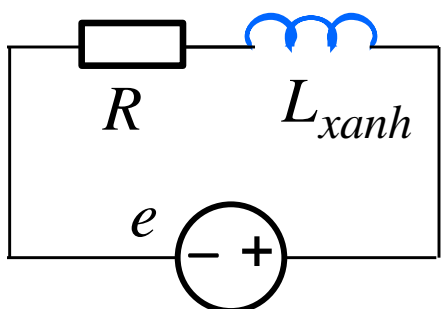
$e = 150 \sin 250t$ V; $R = 50\Omega$; Tính dòng điện trong mạch.

$$i_{\max} < \frac{150}{50} = 3 \text{ A}; i_{\min} > \frac{-150}{50} = -3 \text{ A}$$



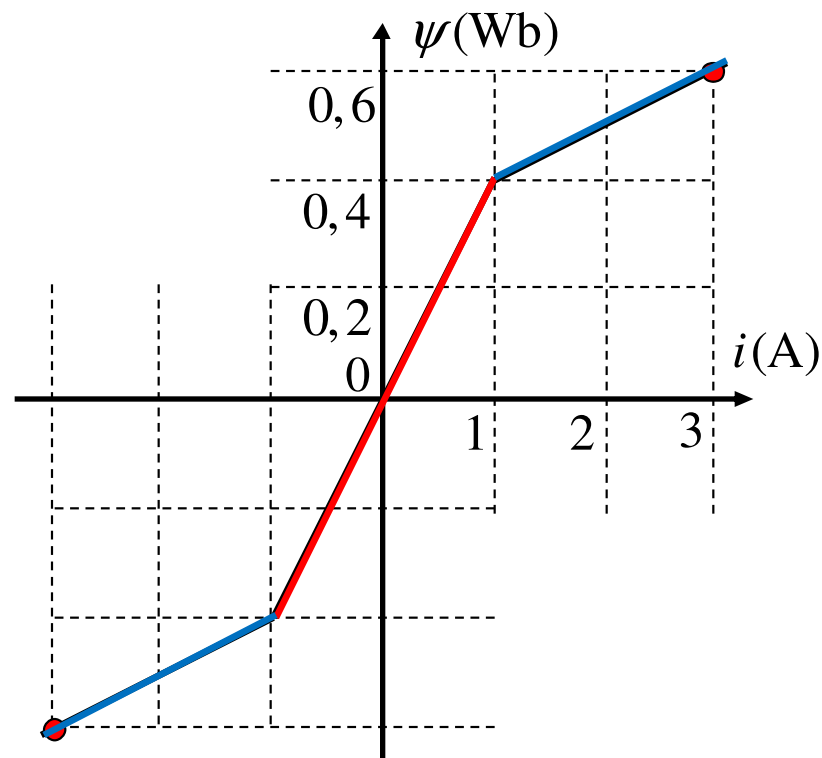
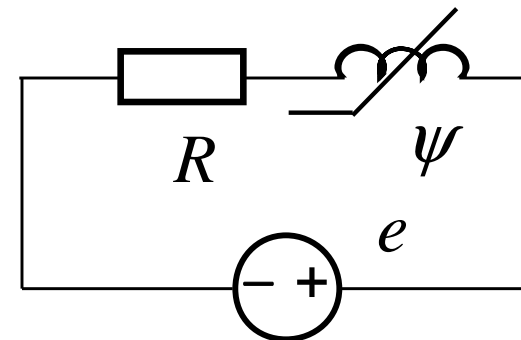
$$L_{\text{đỏ}} = \frac{\Delta \psi}{\Delta i} = \frac{0,4}{1} = 0,4 \text{ H}$$

$$\dot{i}_{\text{đỏ}} = \frac{150}{50 + j250 \cdot 0,4} \rightarrow i_{\text{đỏ}} = 1,34 \sin(250t - 63,4^\circ) \text{ A}$$



$$L_{\text{xanh}} = \frac{\Delta \psi}{\Delta i} = \frac{0,2}{2} = 0,1 \text{ H}$$

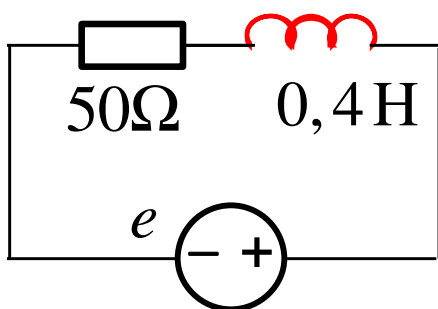
$$\dot{i}_{\text{xanh}} = \frac{150}{50 + j250 \cdot 0,1} \rightarrow i_{\text{xanh}} = 2,68 \sin(250t - 26,6^\circ) \text{ A}$$



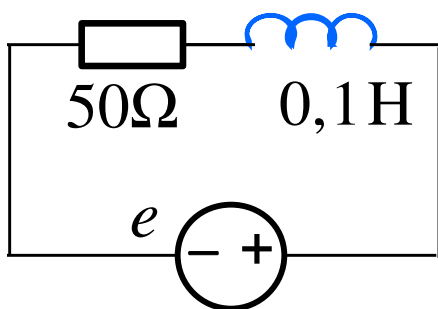
Tuyến tính hóa từng đoạn (3)

VD

$e = 150 \sin 250t$ V; $R = 50\Omega$; Tính dòng điện trong mạch.

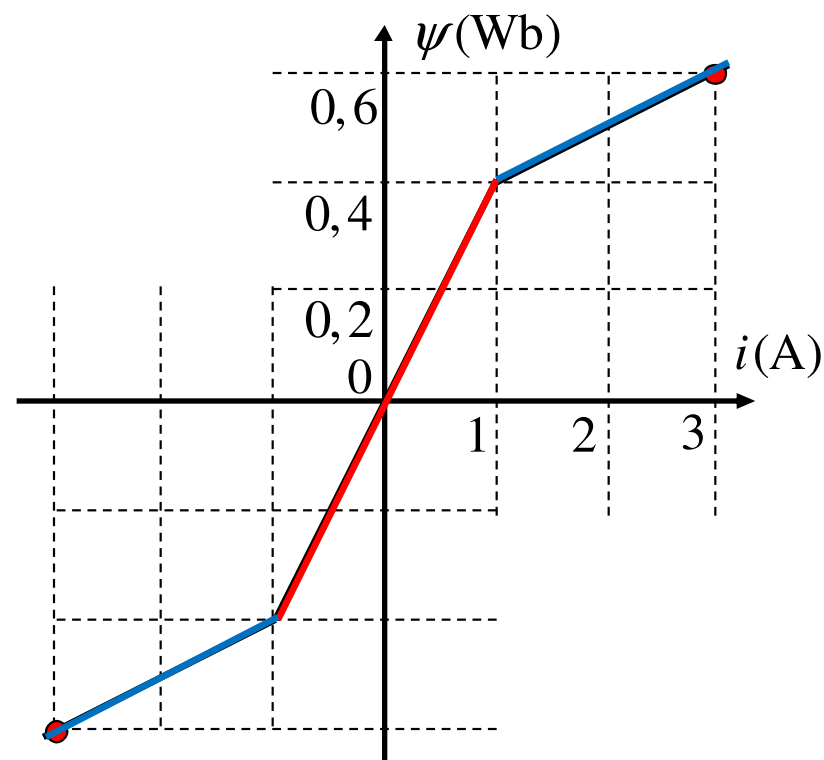
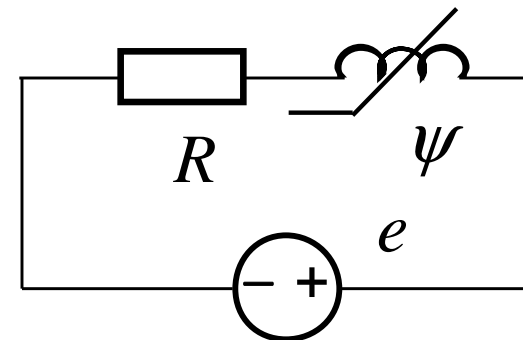


$$i_{đỏ} = 1,34 \sin(250t - 63,4^\circ) \text{ A}$$



$$i_{xanh} = 2,68 \sin(250t - 26,6^\circ) \text{ A}$$

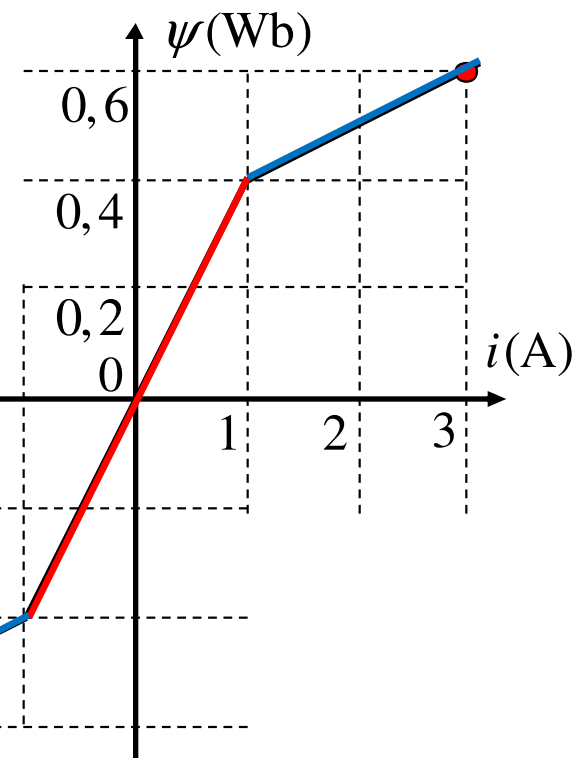
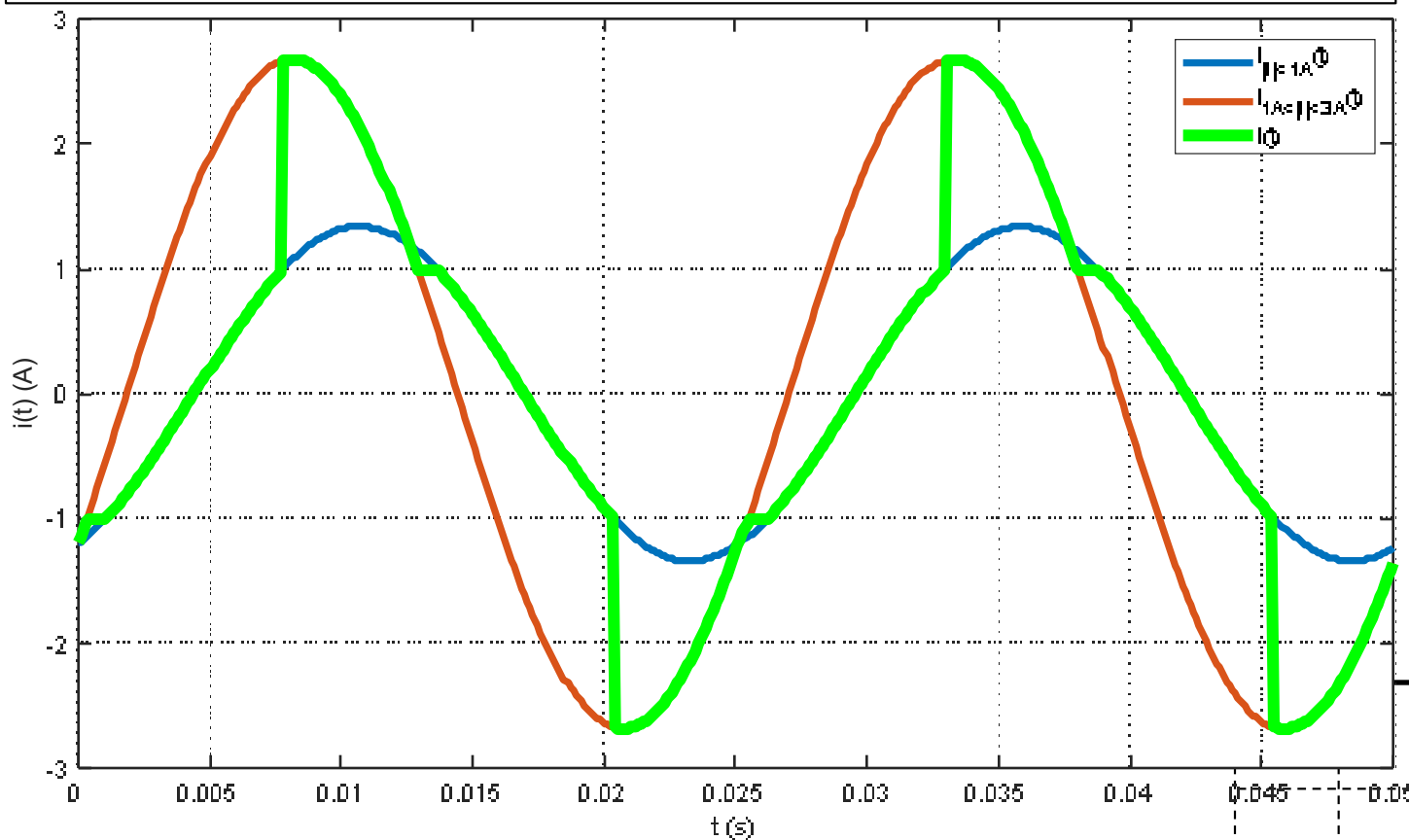
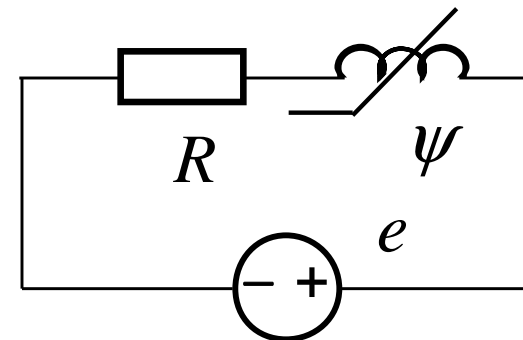
$$\rightarrow \begin{cases} |i| < 1 \text{ A} : i = 1,34 \sin(250t - 63,4^\circ) \text{ A} \\ 1 \text{ A} < |i| < 3 \text{ A} : i = 2,68 \sin(250t - 26,6^\circ) \text{ A} \end{cases}$$



Tuyến tính hóa từng đoạn (4)

VD

$e = 150 \sin 250t$ V; $R = 50\Omega$; Tính dòng điện trong mạch.



$$\begin{cases} |i| < 1\text{ A} : i = 1,34 \sin(250t - 63,4^\circ) \text{ A} \\ 1\text{ A} < |i| < 3\text{ A} : i = 2,68 \sin(250t - 26,6^\circ) \text{ A} \end{cases}$$

Lý thuyết mạch II

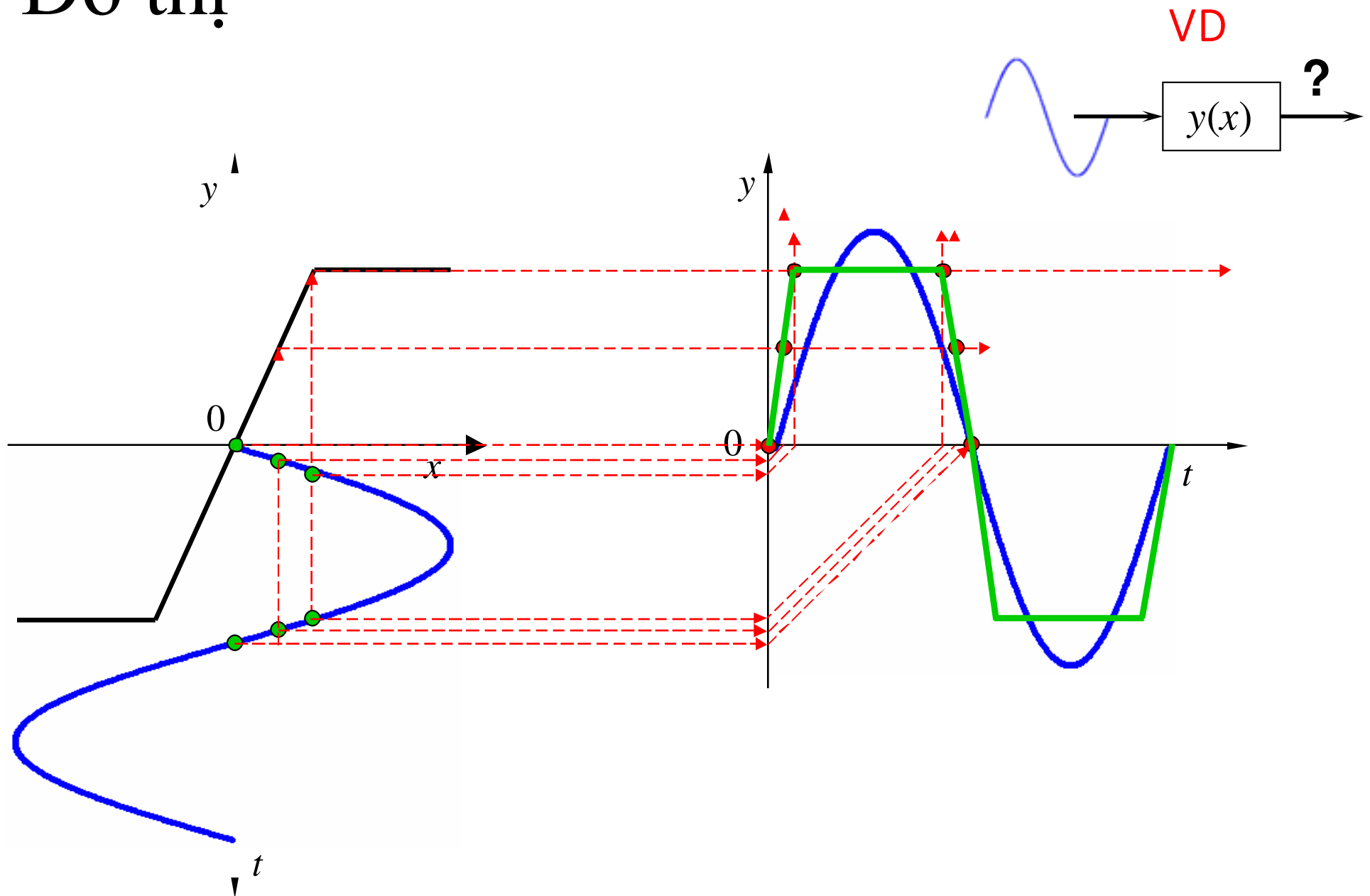
I. Quá trình quá độ

II. Mạch phi tuyến

1. Giới thiệu
2. Đặc tính của phần tử phi tuyến
3. **Chế độ xác lập**
 - a) Mạch một chiều
 - b) **Mạch xoay chiều**
 - i. Cân bằng điều hòa
 - ii. Tuyến tính điều hòa
 - iii. Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc
 - iv. Tuyến tính hóa từng đoạn
 - v. **Đồ thị**
4. Chế độ quá độ
5. Điốt và tranzito

III. Đường dây dài

Đồ thị



Lý thuyết mạch II

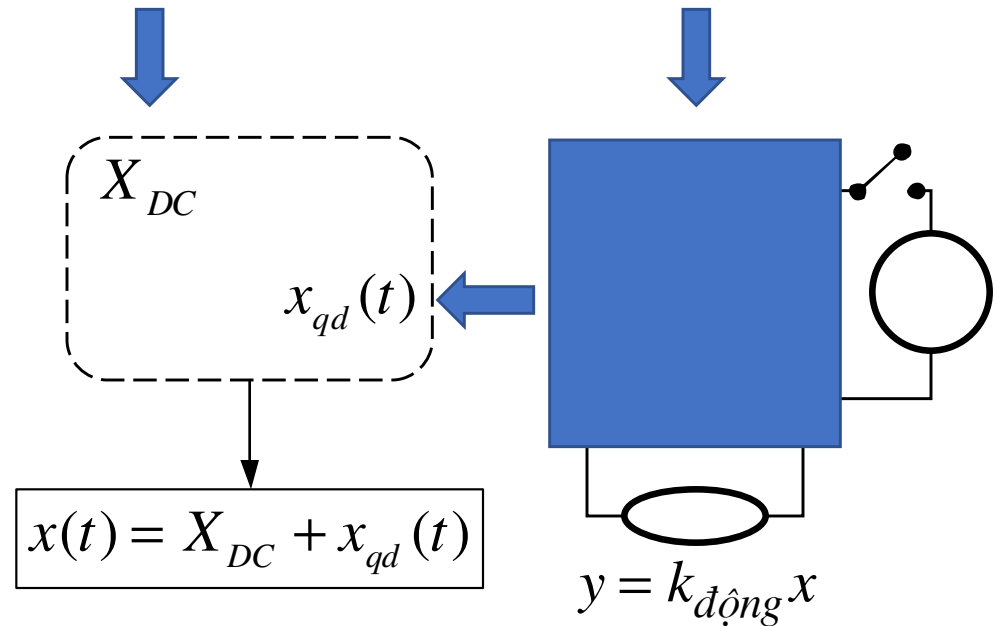
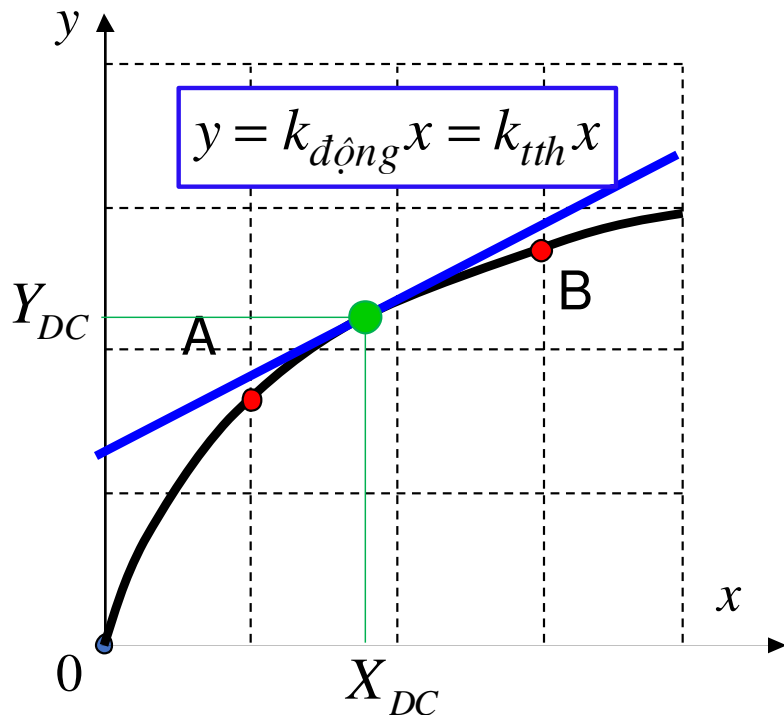
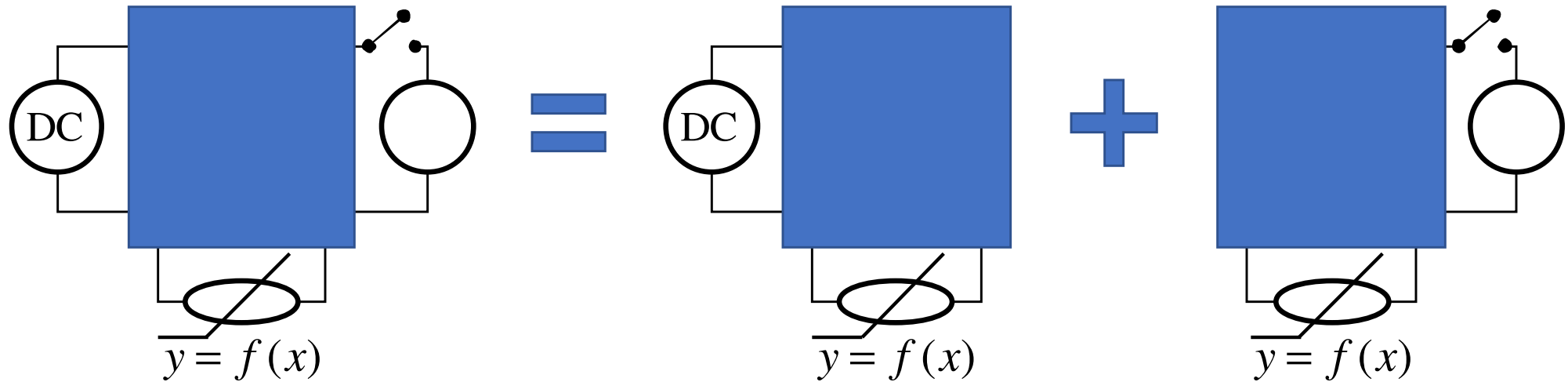
I. Quá trình quá độ

II. Mạch phi tuyến

1. Giới thiệu
2. Đặc tính của phần tử phi tuyến
3. Chế độ xác lập
4. **Chế độ quá độ**
 - a) **Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc**
 - b) **Tuyến tính hóa từng đoạn**
 - c) **Tham số bé**
 - d) **Sai phân**
5. Điốt và tranzito

III. Đường dây dài

Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc (1)



Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc (2)

VD1

$$I_{100V} = 1,4 \text{ A}$$

$$E_{\max} = 100 + 5 = 105 \text{ V}$$

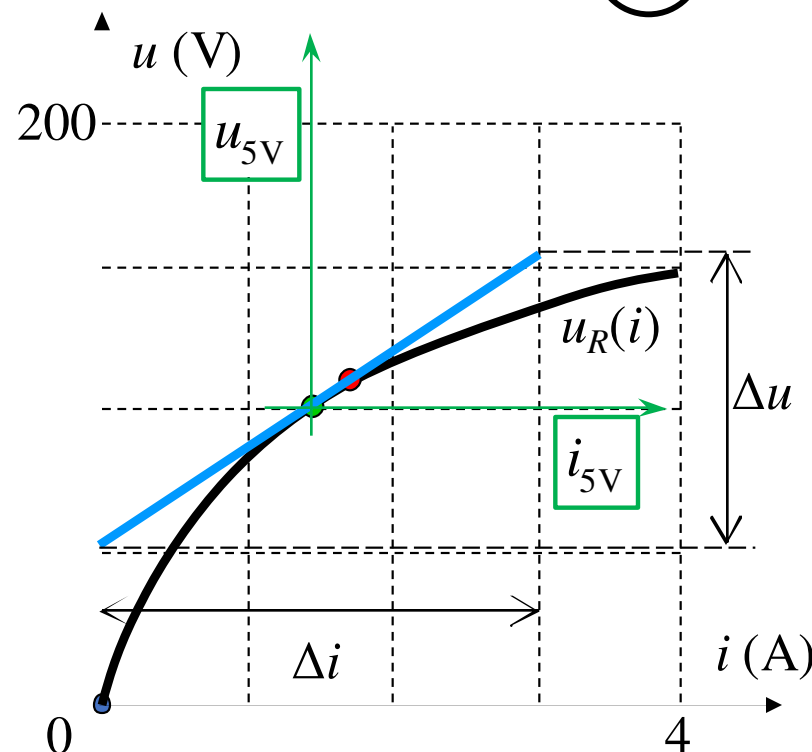
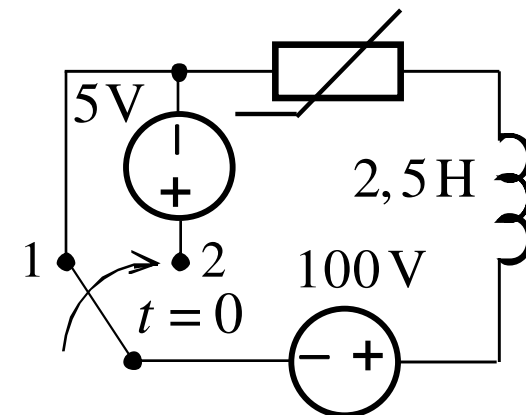
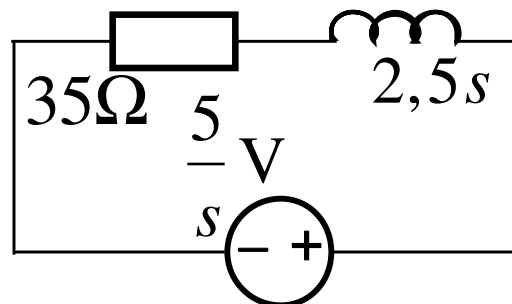
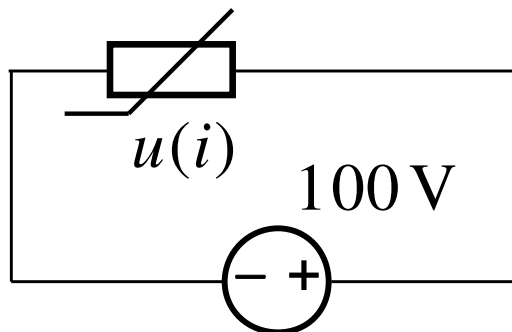
$$R_{5V} \approx \frac{\Delta u}{\Delta i} = \frac{105}{3} = 35 \Omega$$

$$i_{L,5V}(-0) = 0$$

$$\begin{aligned} I_{5V}(s) &= \frac{5/s}{2,5s + 35} \\ &= \frac{2}{s(s + 14)} \text{ A} \end{aligned}$$

$$\rightarrow i_{5V}(t) = 0,14(1 - e^{-14t}) \text{ A}$$

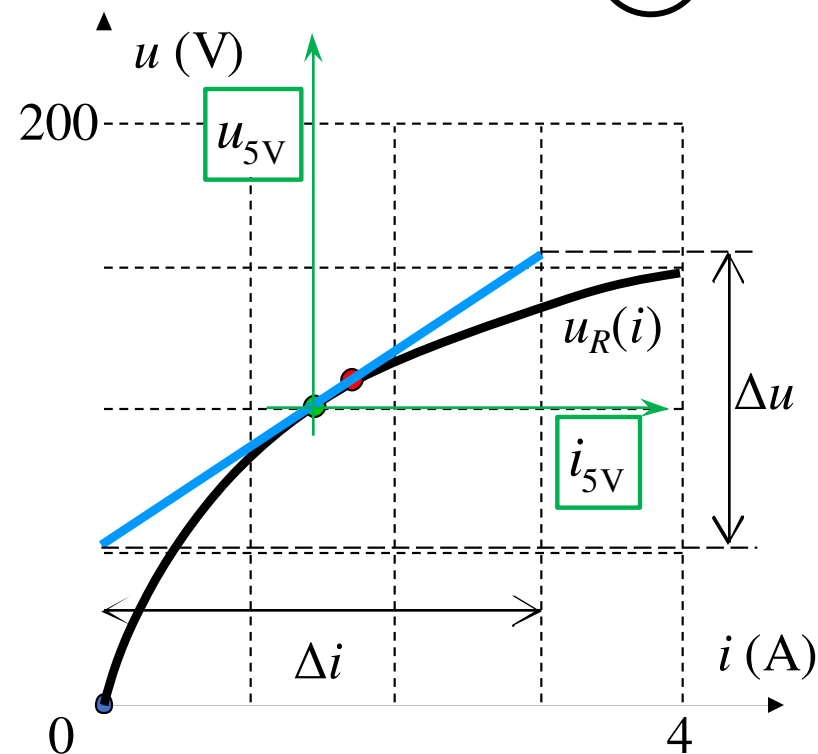
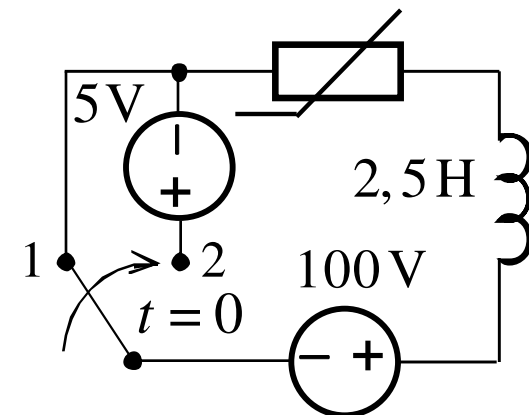
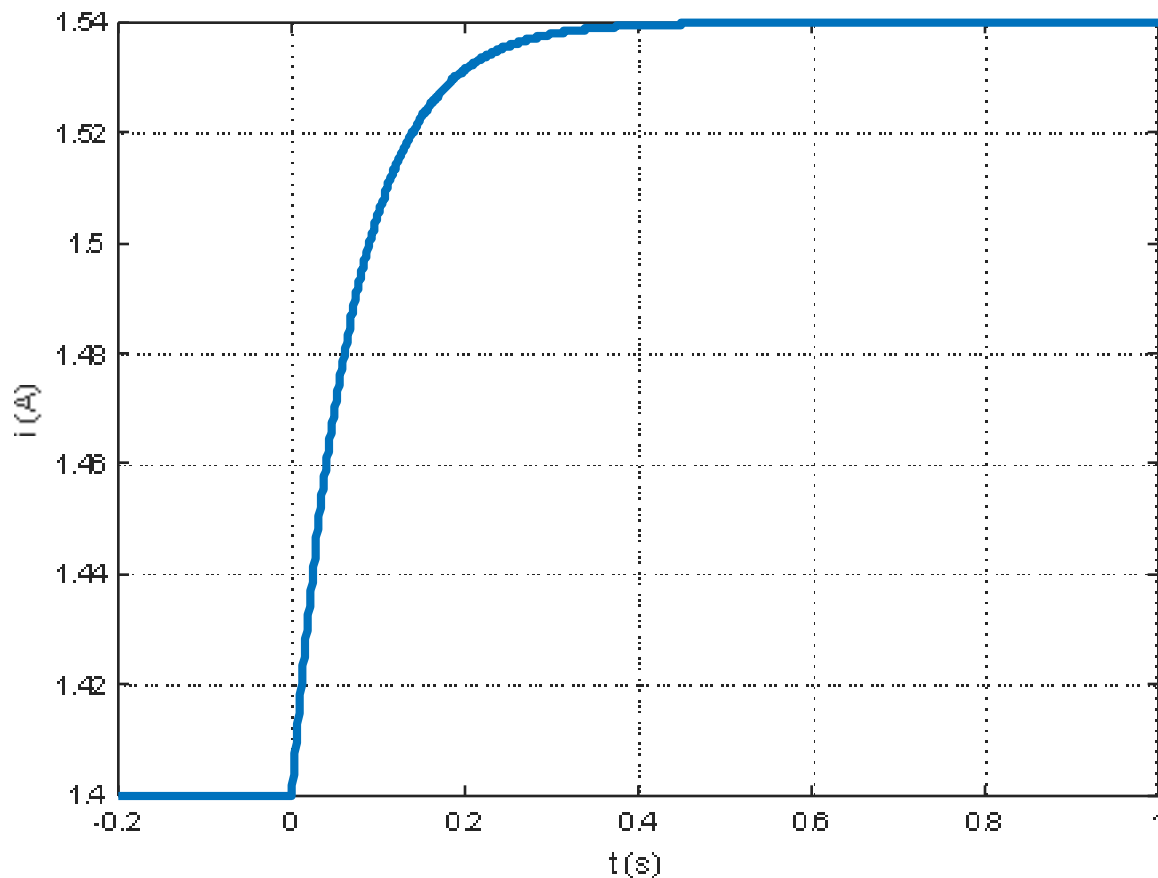
$$\rightarrow i = i_{100V} + i_{5V}(t) = 1,4 + 0,14(1 - e^{-14t}) \text{ A}$$



Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc (3)

VD1

$$i = i_{100V} + i_{5V}(t) = 1,4 + 0,14(1 - e^{-14t}) \text{ A}$$



Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc (4)

VD2

$$I_{DC} = 1,4 \text{ A}$$

$$E_{\max} = 100 + 5 = 105 \text{ V}$$

$$E_{\min} = 100 - 5 = 95 \text{ V}$$

$$R_{AC} \approx \frac{\Delta u}{\Delta i} = \frac{105}{3} = 35 \Omega$$

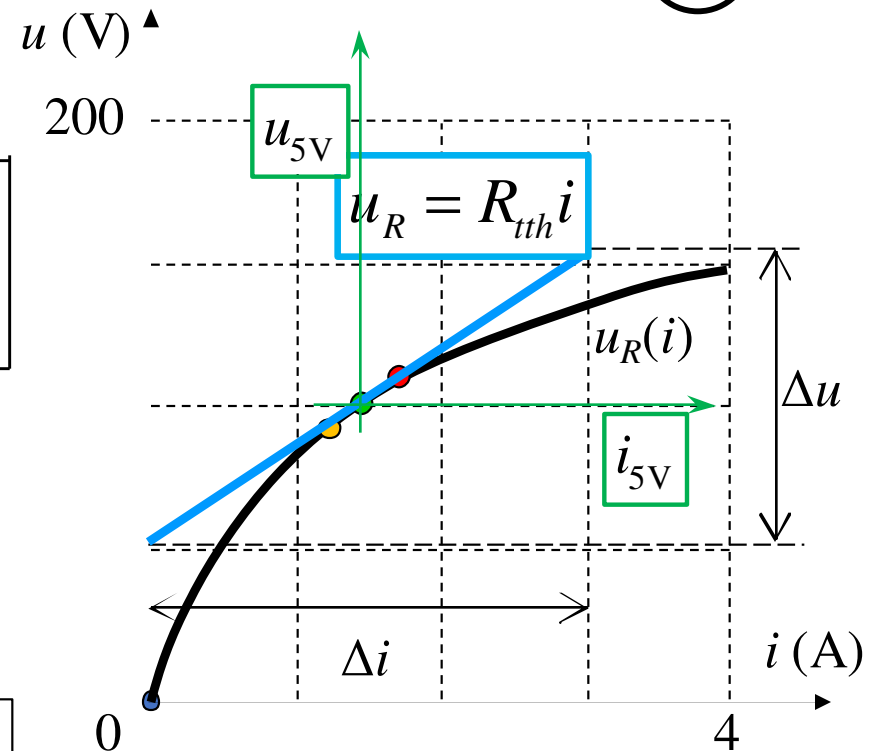
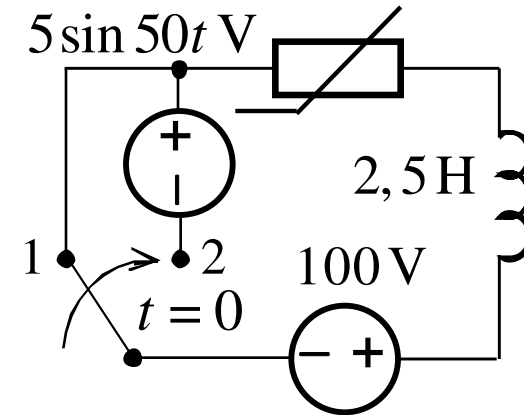
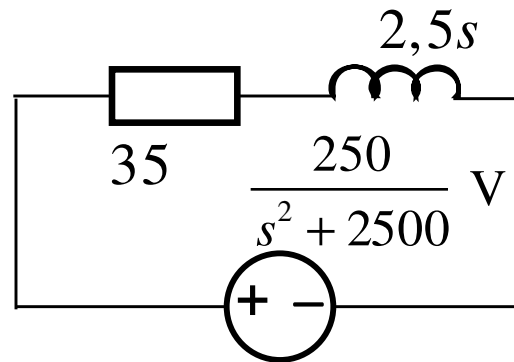
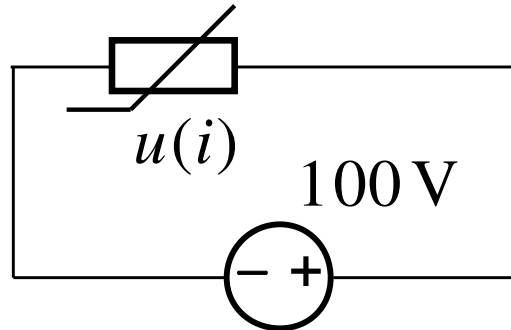
$$i_{L,5V}(-0) = 0$$

$$I_{AC}(s) = \frac{250}{s^2 + 2500} \cdot \frac{250}{s^2 + 2500} \text{ V}$$

$$= \frac{100}{(s^2 + 2500)(s + 14)} \text{ A}$$

$$\rightarrow i_{AC}(t) = 0,045e^{-14t} + 0,14 \sin(50t - 19,7^\circ) \text{ A}$$

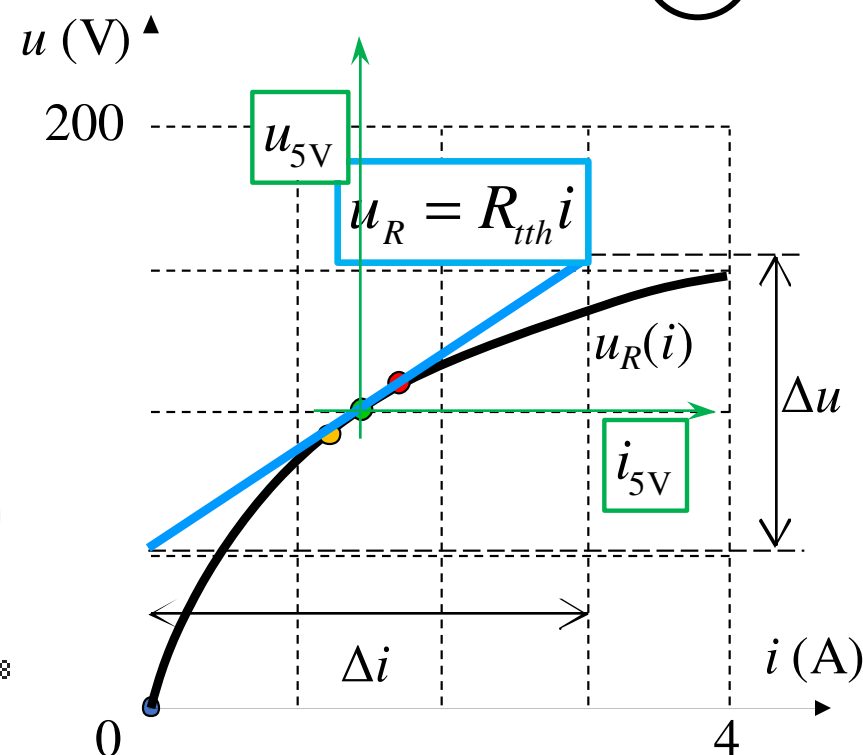
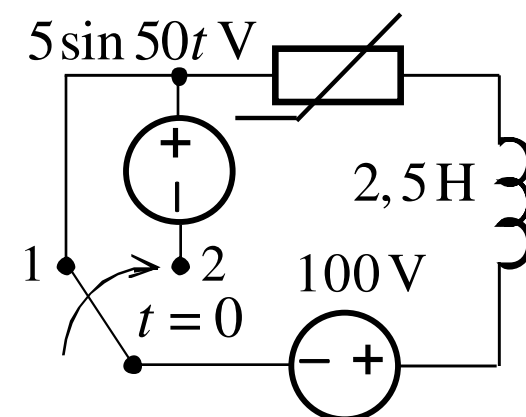
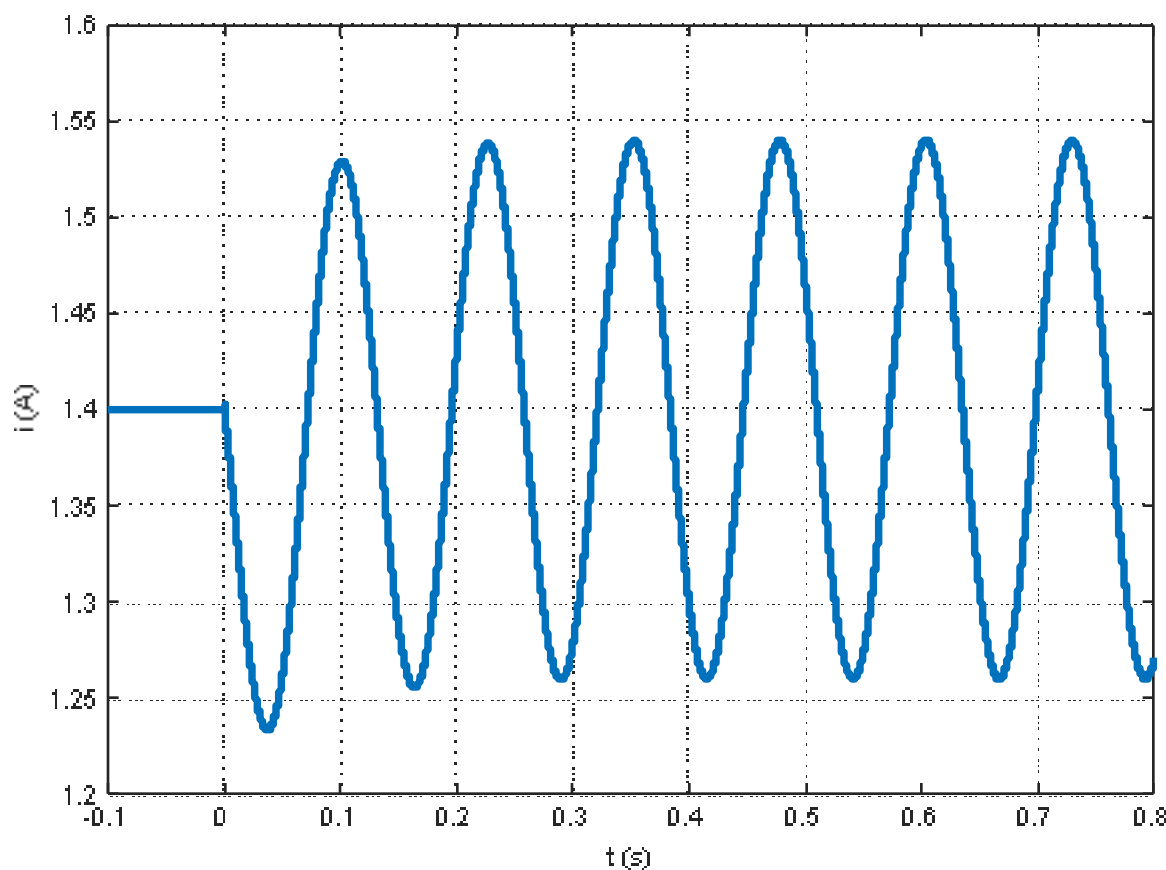
$$\rightarrow i(t) = 1,4 - 0,045e^{-14t} - 0,14 \sin(50t - 19,7^\circ) \text{ A}$$



Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc (5)

VD2

$$i(t) = 1,4 - 0,045e^{-14t} - 0,14 \sin(50t - 19,7^\circ) \text{ A}$$



Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc (6)

VD3

$$E_1 = 60 \text{ V}; e_2(t) = \sqrt{2} \sin 314t; R = 20 \Omega$$

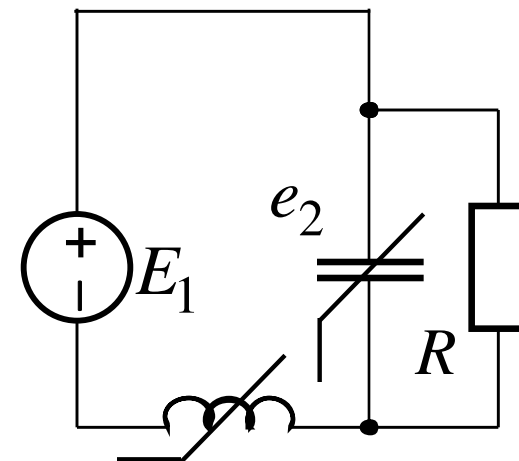
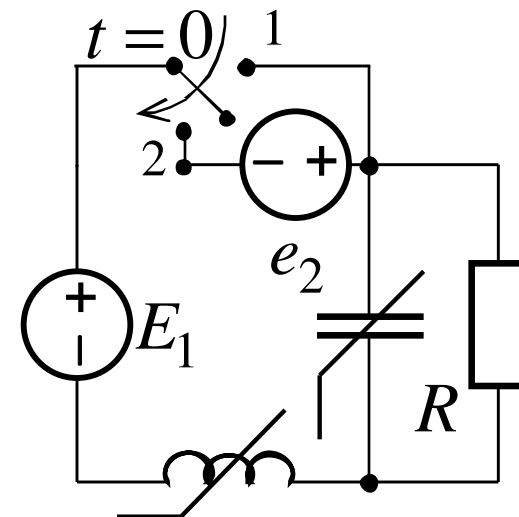
$$\psi(i) = 0,96e^{0,0020i} - 1,05e^{-0,26i}; q(u) = 10^{-1}u - 0,5 \cdot 10^{-5}u^3$$

Tính dòng điện trên cuộn cảm & điện áp trên tụ điện.

$$I_{LDC} = \frac{E_1}{R} = \frac{60}{20} = 3 \text{ A}; U_{CDC} = E_1 = 60 \text{ V}$$

$$L_{tth} = \left. \frac{d\psi}{di} \right|_{i=3} = \left(0,96 \cdot 0,002e^{0,0020i} + 1,05 \cdot 0,26e^{-0,26i} \right) \Big|_{i=3} = 0,13 \text{ H}$$

$$C_{tth} = \left. \frac{dq}{du} \right|_{u=60} = \left(10^{-1} - 3 \cdot 0,5 \cdot 10^{-5}u^2 \right) \Big|_{u=60} = 46 \text{ mF}$$



Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc (7)

VD3

$$E_1 = 60 \text{ V}; e_2(t) = \sqrt{2} \sin 314t; R = 20 \Omega$$

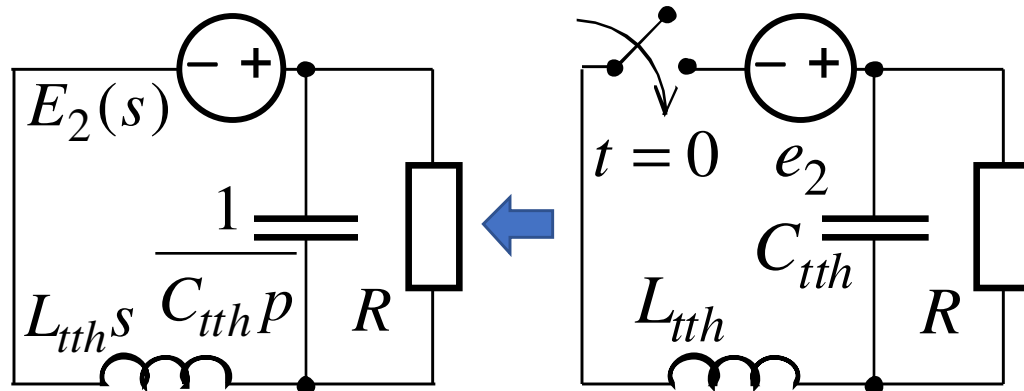
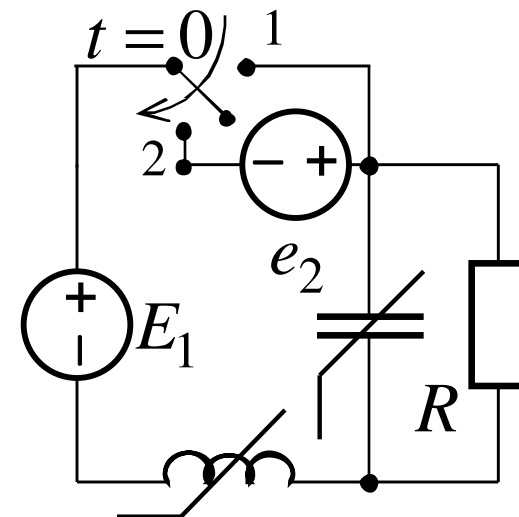
$$\psi(i) = 0,96e^{0,0020i} - 1,05e^{-0,26i}; q(u) = 10^{-1}u - 0,5 \cdot 10^{-5}u^3$$

Tính dòng điện trên cuộn cảm & điện áp trên tụ điện.

$$I_{LDC} = 3 \text{ A}; L_{tth} = 0,13 \text{ H}; C_{tth} = 46 \text{ mF}$$

$$i_{L,e2}(-0) = 0; u_{C,e2}(-0) = 0$$

$$I_{e2}(s) = \frac{314\sqrt{2} / (s^2 + 314^2)}{L_{tth}s + \frac{R(1/C_{tth}s)}{R + 1/C_{tth}s}} = \frac{1,485(2300s + 2500)}{(s^2 + 314^2)(s^2 + 1,087s + 167,22)} \text{ A}$$



Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc (8)

VD3

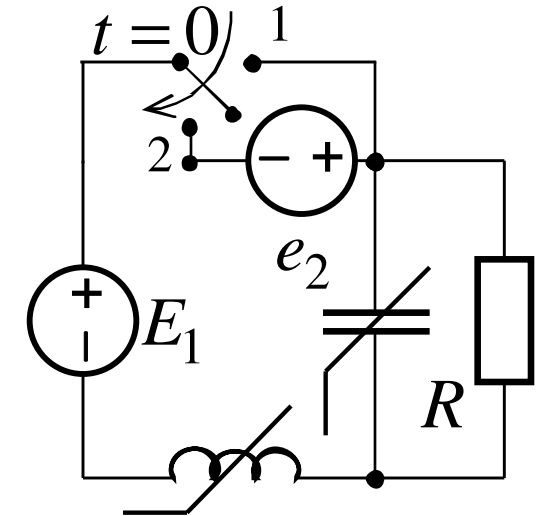
$$E_1 = 60 \text{ V}; e_2(t) = \sqrt{2} \sin 314t; R = 20 \Omega$$

$$\psi(i) = 0,96e^{0,0020i} - 1,05e^{-0,26i}; q(u) = 10^{-1}u - 0,5 \cdot 10^{-5}u^3$$

Tính dòng điện trên cuộn cảm & điện áp trên tụ điện.

$$I_{LDC} = 3 \text{ A}; L_{tth} = 0,13 \text{ H}; C_{tth} = 46 \text{ mF}$$

$$i_{L,e2}(-0) = 0; u_{C,e2}(-0) = 0$$



$$I_{e2}(s) = \frac{314\sqrt{2} / (s^2 + 314^2)}{L_{tth}s + \frac{R(1/C_{tth}s)}{R + 1/C_{tth}s}} = \frac{1,485(2300s + 2500)}{(s^2 + 314^2)(s^2 + 1,087s + 167,22)} \text{ A}$$

$$\rightarrow i_{e2}(t) = 0,0245\sqrt{2} \sin(314t - 90^\circ) + 0,0347e^{-0,54t} \cos(12,92t - 2,4^\circ) \text{ A}$$

$$\rightarrow i(t) = I_{LDC} + i_{e2}(t)$$

$$= 3 + 0,0245\sqrt{2} \sin(314t - 90^\circ) + 0,0347e^{-0,54t} \cos(12,92t - 2,4^\circ) \text{ A}$$

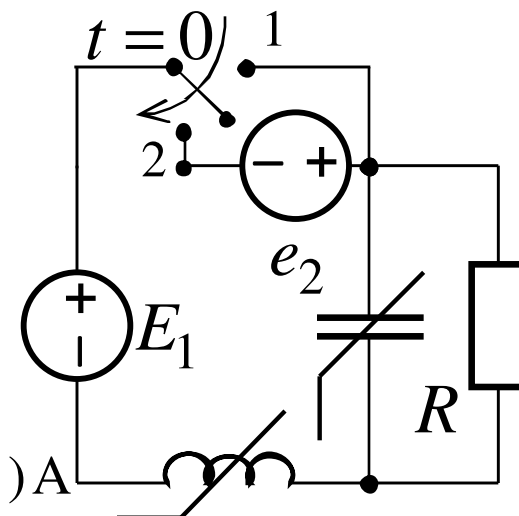
Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc (9)

VD3

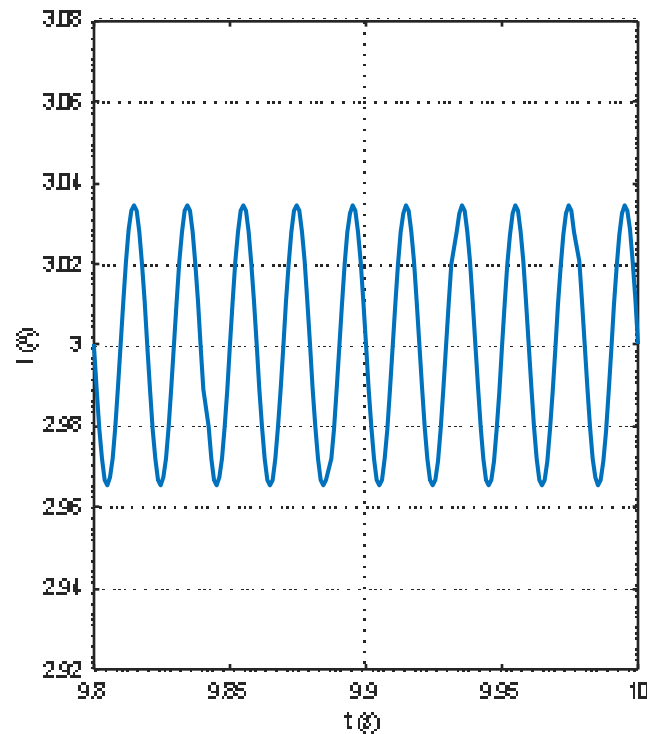
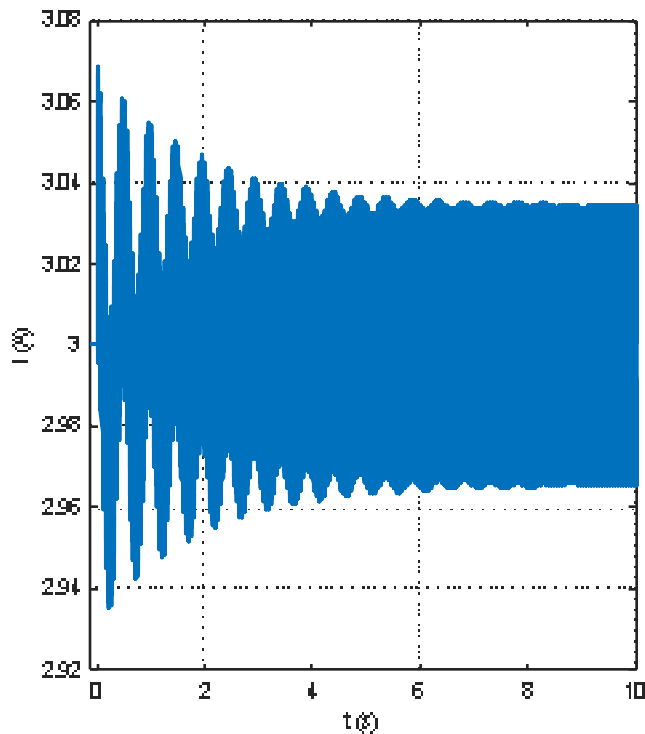
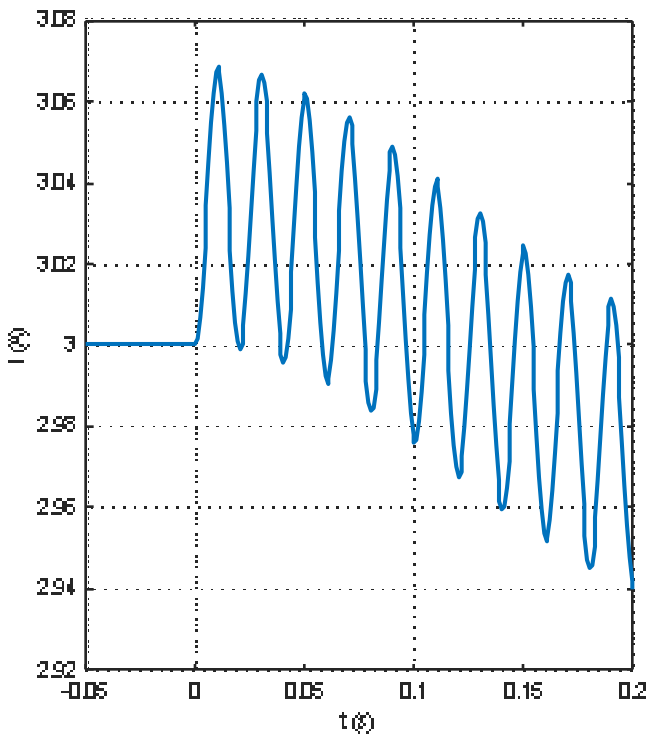
$$E_1 = 60 \text{ V}; e_2(t) = \sqrt{2} \sin 314t; R = 20 \Omega$$

$$\psi(i) = 0,96e^{0,0020i} - 1,05e^{-0,26i}; q(u) = 10^{-1}u - 0,5 \cdot 10^{-5}u^3$$

Tính dòng điện trên cuộn cảm & điện áp trên tụ điện.



$$i(t) = 3 + 0,0245\sqrt{2} \sin(314t - 90^\circ) + 0,0347e^{-0,54t} \cos(12,92t - 2,4^\circ) \text{ A}$$



Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc (10)

VD4

$$e_1 = 60\text{V}; e_2 = 5e^{-100t}\text{ V}; R_1 = 20\ \Omega; C = 0,8\text{ mF}; u_C(t) = ?$$

$I\text{ (A)}$	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
$U\text{ (V)}$	0	3	6	10	16	30	80

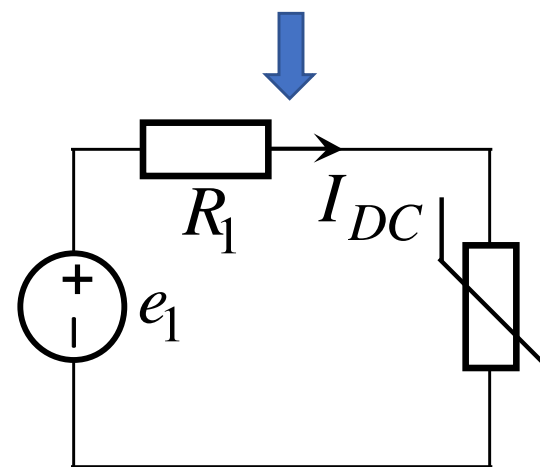
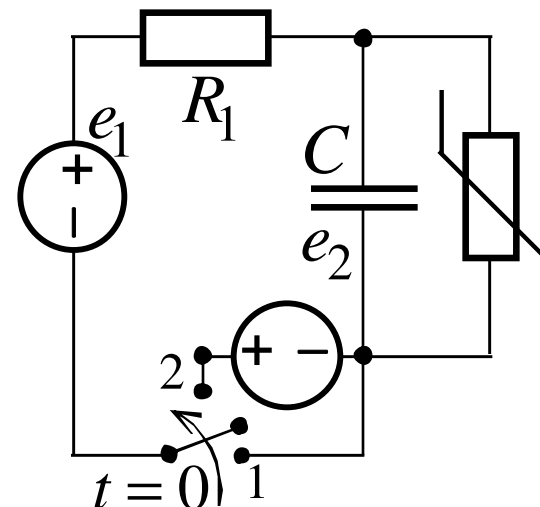
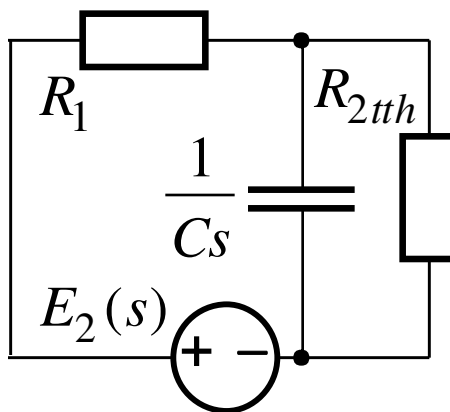
Đặc tính của điện trở phi tuyến

$$I_{DC} = 2,08\text{ A}$$

$$U_{CDC} = e_1 - R_1 I_{DC} = 60 - 20 \cdot 2,08 = 18,4\text{ V}$$

$$R_{2tth} = \frac{30 - 16}{2,5 - 2} = 28\ \Omega$$

$$u_{C,e2}(-0) = 0$$



Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc (11)

VD4

$$e_1 = 60\text{V}; e_2 = 5e^{-100t} \text{ V}; R_1 = 20 \Omega; C = 0,8 \text{ mF}; u_C(t) = ?$$

$I \text{ (A)}$	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
$U \text{ (V)}$	0	3	6	10	16	30	80

Đặc tính của điện trở phi tuyến

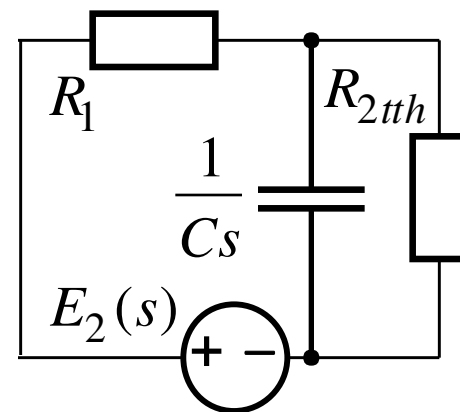
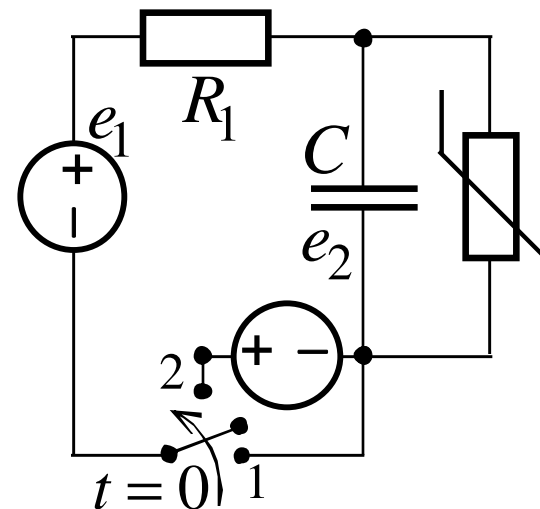
$$U_{CDC} = 18,4 \text{ V}; R_{2tth} = 28 \Omega$$

$$Z_{R2C} = R_{2tth} // C = \frac{R_{2tth} (1 / Cs)}{R_{2tth} + 1 / Cs}$$

$$U_{Ce2}(s) = Z_{R2C} \frac{E_2(s)}{R_1 + Z_{R2C}} = \frac{312,5}{(s + 107)(s + 100)} \text{ V}$$

$$\rightarrow u_{Ce2} = 43,75(e^{-100t} - e^{-107t}) \text{ V}$$

$$\rightarrow u_C = u_{CDC} + u_{Ce2} = \boxed{18,40 + 43,75(e^{-100t} - e^{-107t}) \text{ V}}$$



Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc (12)

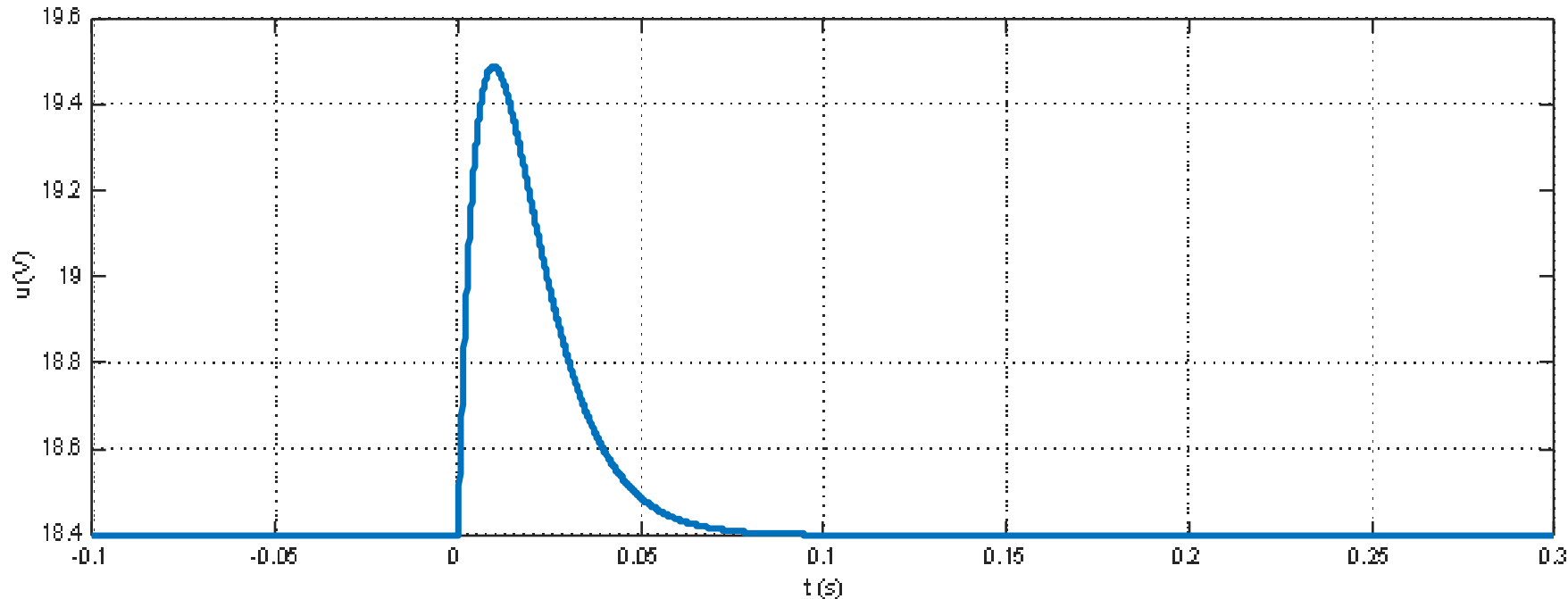
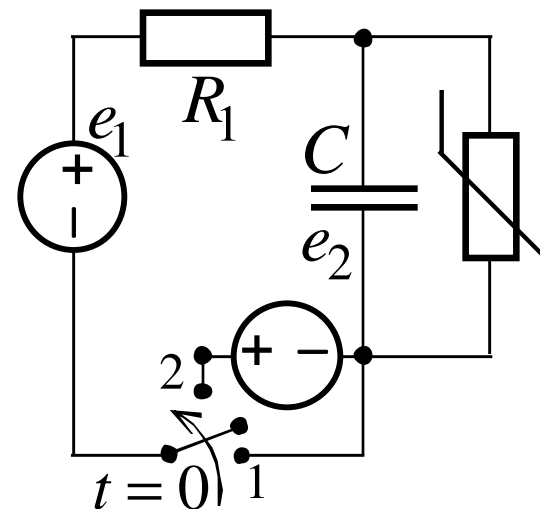
VD4

$$e_1 = 60\text{V}; e_2 = 5e^{-100t} \text{ V}; R_1 = 20 \Omega; C = 0,8 \text{ mF}; u_C(t) = ?$$

$I \text{ (A)}$	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
$U \text{ (V)}$	0	3	6	10	16	30	80

Đặc tính của điện trở phi tuyến

$$u_C = 18,40 + 43,75(e^{-100t} - e^{-107t}) \text{ V}$$



Lý thuyết mạch II

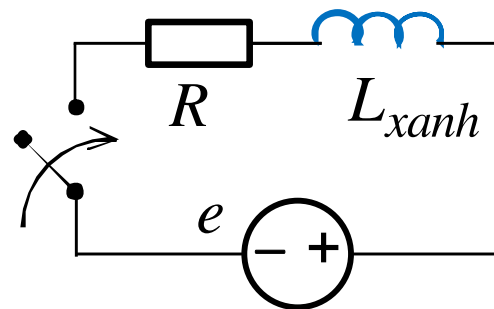
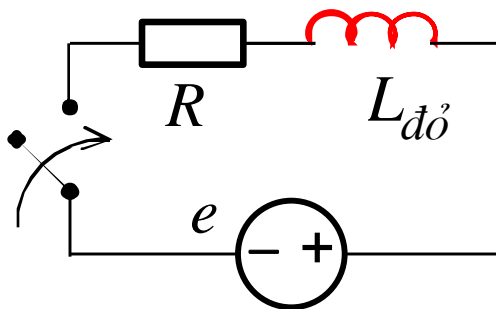
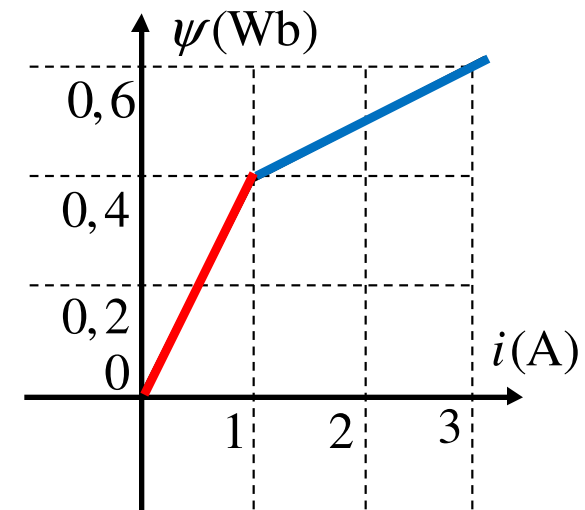
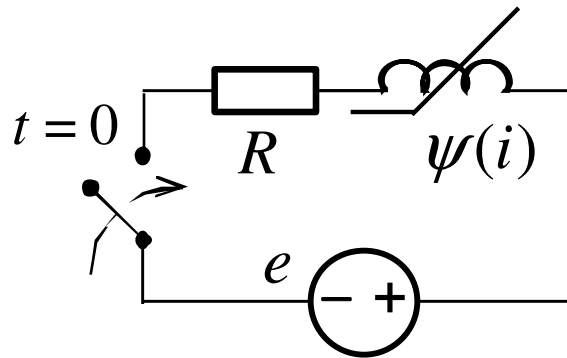
I. Quá trình quá độ

II. Mạch phi tuyến

1. Giới thiệu
2. Đặc tính của phần tử phi tuyến
3. Chế độ xác lập
4. **Chế độ quá độ**
 - a) Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc
 - b) **Tuyến tính hóa từng đoạn**
 - c) Tham số bé
 - d) Sai phân
5. Điốt và tranzito

III. Đường dây dài

Tuyến tính hóa từng đoạn (1)



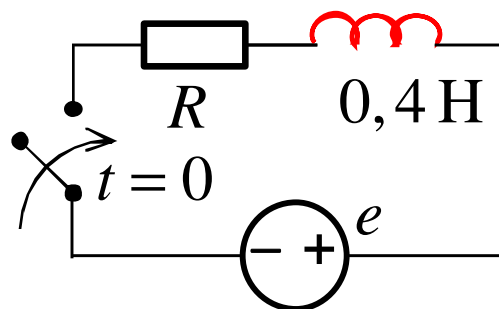
Tuyến tính hóa từng đoạn (2)

VD

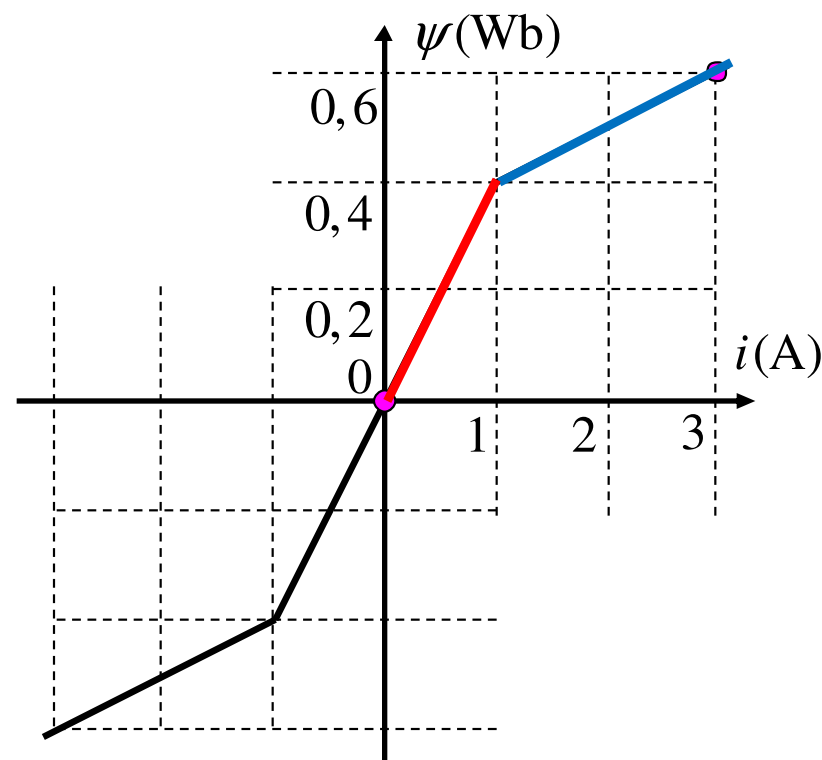
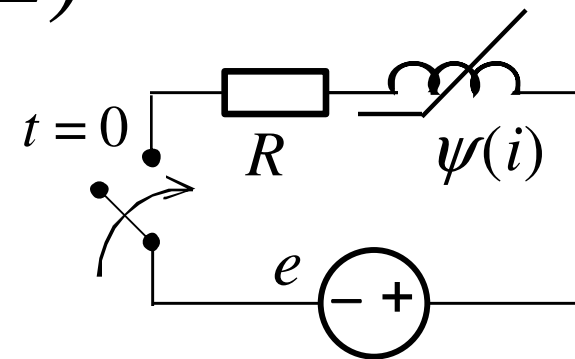
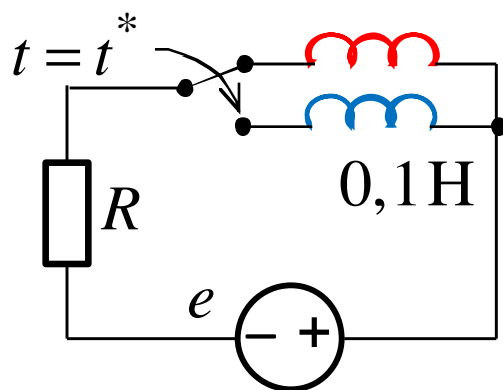
$e = 150 \text{ V}; R = 50 \Omega$; Tính dòng điện trong mạch.

$$i_{\max} = 150 / 30 = 3 \text{ A}; i_{\min} = 0 \text{ A}$$

$$0 < i < 1: L_{\text{đỏ}} = \Delta \psi / \Delta i = 0,4 / 1 = 0,4 \text{ H}$$



$$i > 1: L_{\text{xanh}} = \Delta \psi / \Delta i = 0,2 / 2 = 0,1 \text{ H}$$



Tuyến tính hóa từng đoạn (3)

VD

$e = 150 \text{ V}; R = 50 \Omega$; Tính dòng điện trong mạch.

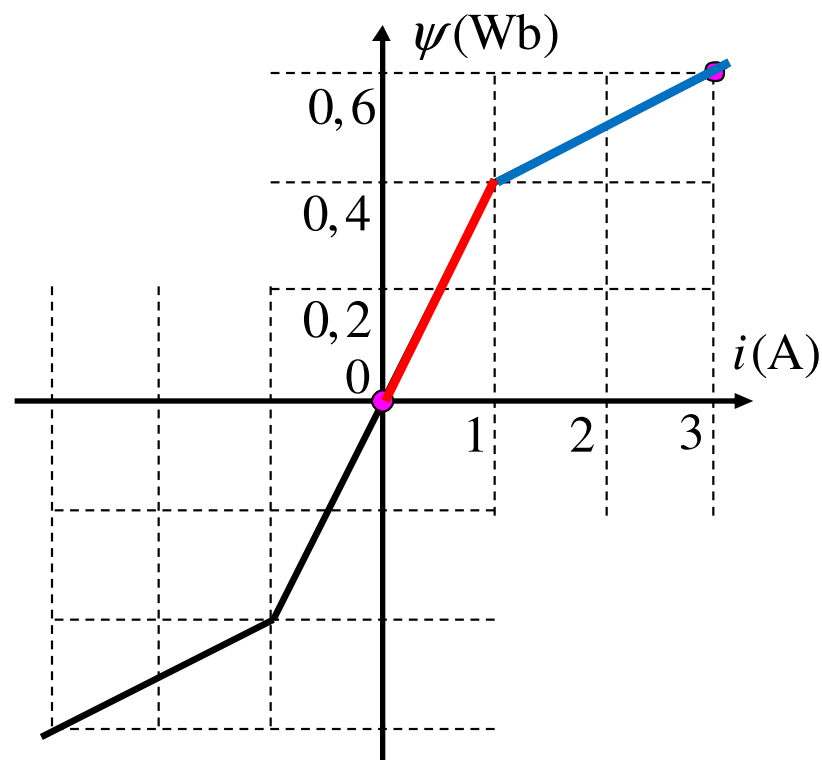
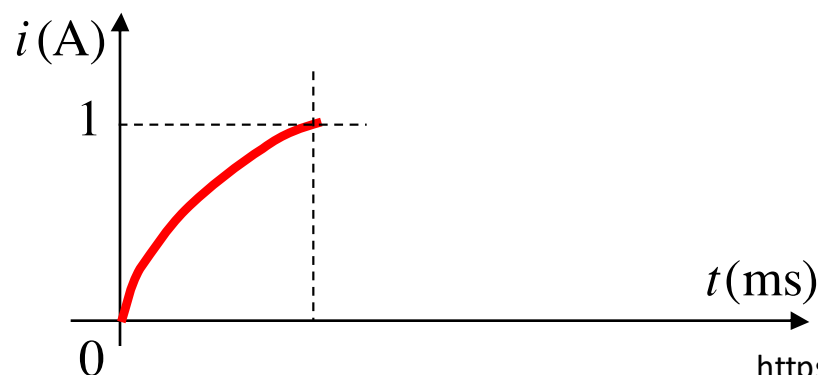
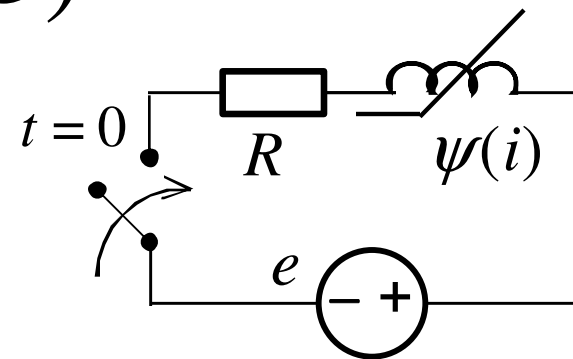
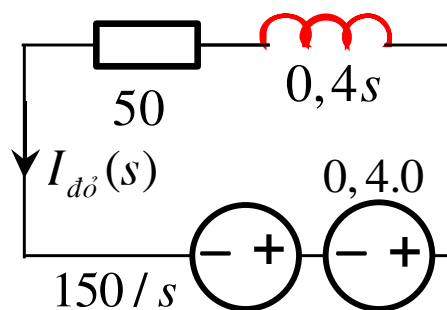
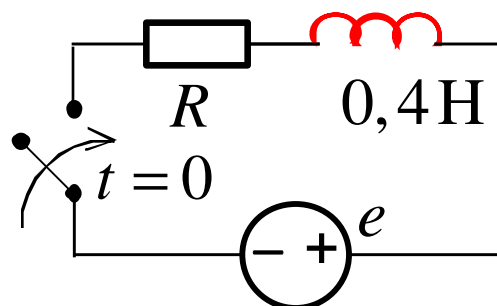
$$i(-0) = 0 \text{ A}$$

$$I_{đo}(s) = \frac{150/s}{0,4s + 50} \text{ A}$$

$$\rightarrow i_{đo}(t) = 3 - 3e^{-125t} \text{ A}$$

$$i_{đo}(t^*) = 3 - 3e^{-125t^*} = 1$$

$$\rightarrow t^* = 3,2 \text{ ms}$$



Tuyến tính hóa từng đoạn (4)

VD

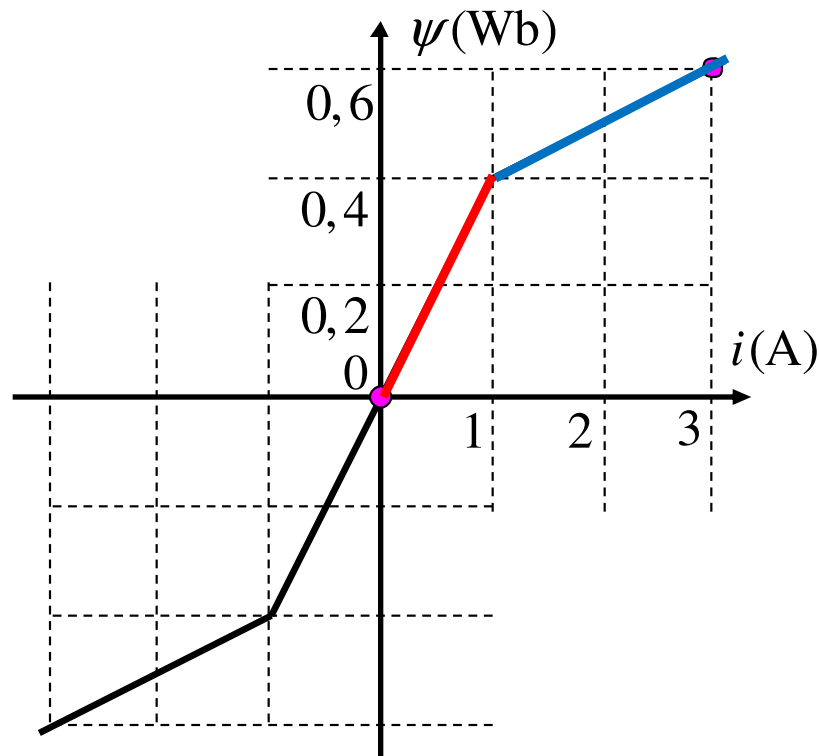
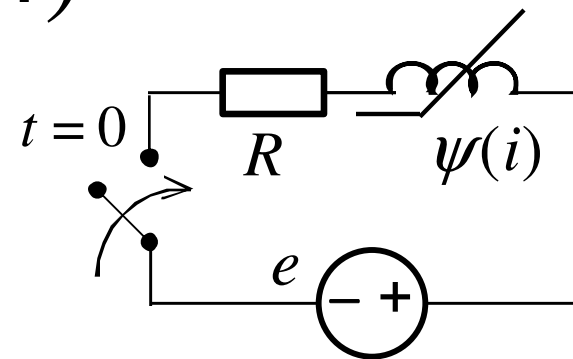
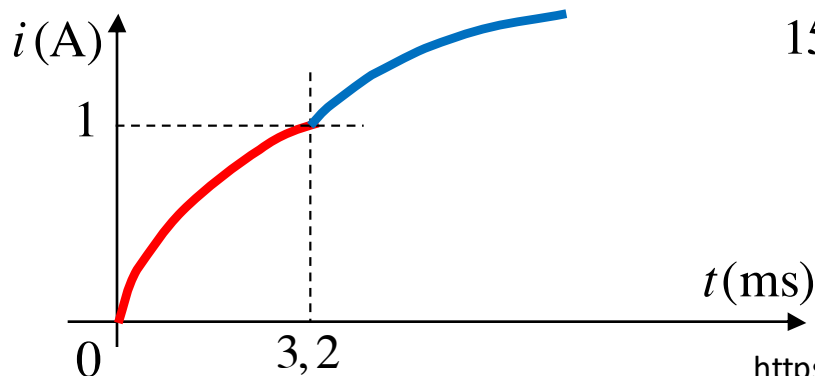
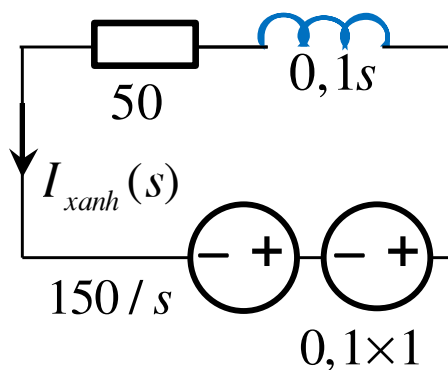
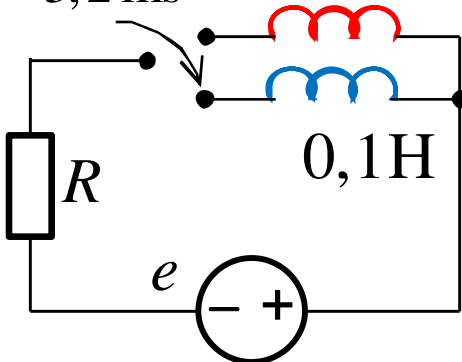
$e = 150 \text{ V}; R = 50 \Omega$; Tính dòng điện trong mạch.

$$i(-0) = 1 \text{ A}$$

$$I_{xanh}(s) = \frac{150 / s + 0,1}{0,1s + 50} \text{ A}$$

$$\rightarrow i_{xanh}(t) = 3 - 2e^{-500t} \text{ A}$$

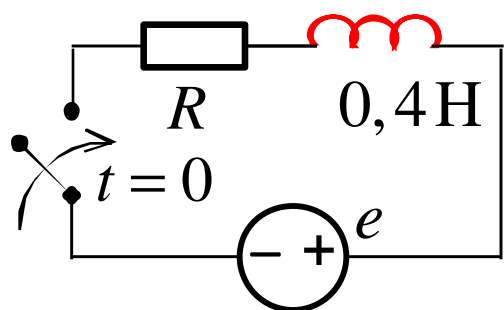
$t = 3,2 \text{ ms}$



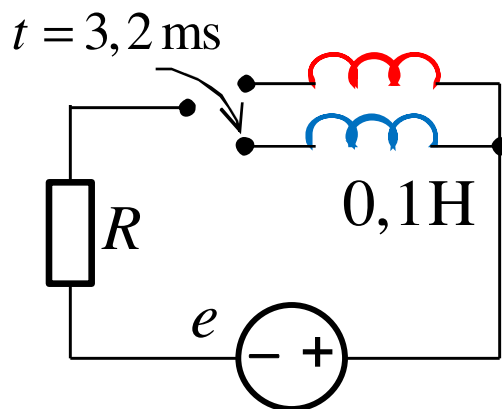
Tuyến tính hóa từng đoạn (5)

VD

$e = 150 \text{ V}; R = 50 \Omega$; Tính dòng điện trong mạch.

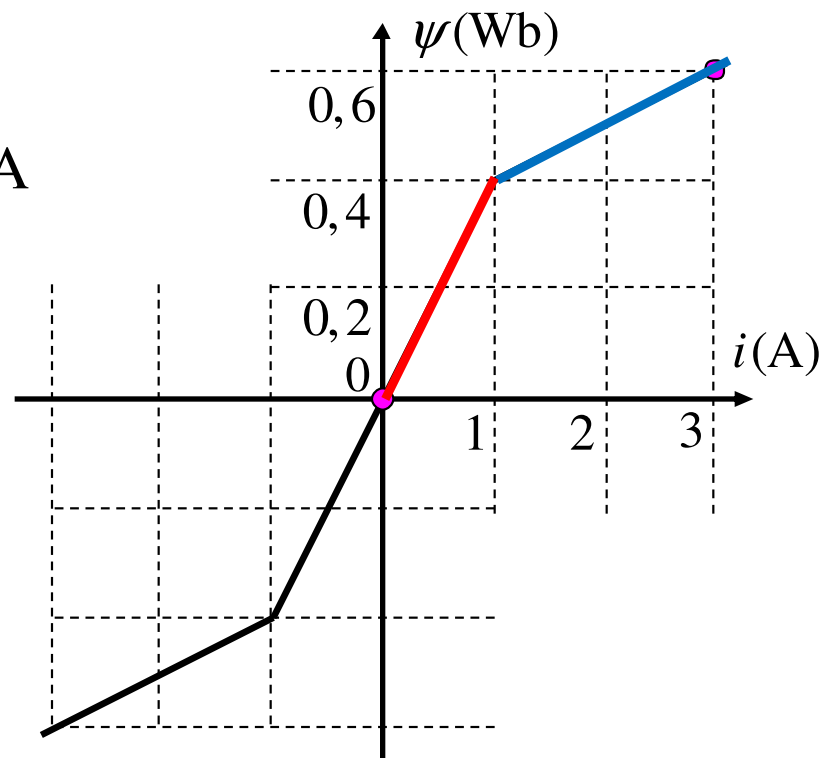
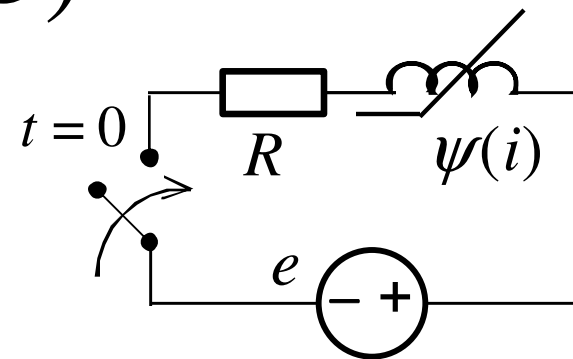
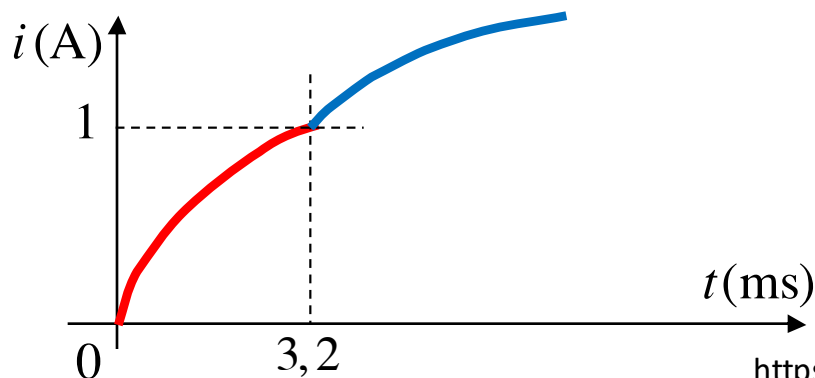


$$i_{đỏ}(t) = 3 - 3e^{-125t} \text{ A}$$



$$i_{xanh}(t) = 3 - 2e^{-500(t-3,2 \cdot 10^{-3})} \text{ A}$$

$$\rightarrow \begin{cases} 0 < t < 3,2 \text{ ms}: & i(t) = 3 - 3e^{-125t} \text{ A} \\ t > 3,2 \text{ ms}: & i(t) = 3 - 2e^{-500(t-3,2 \cdot 10^{-3})} \text{ A} \end{cases}$$



Lý thuyết mạch II

I. Quá trình quá độ

II. Mạch phi tuyến

1. Giới thiệu
2. Đặc tính của phần tử phi tuyến
3. Chế độ xác lập
4. **Chế độ quá độ**
 - a) Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc
 - b) Tuyến tính hóa từng đoạn
 - c) **Tham số bé**
 - d) Sai phân
5. Điốt và tranzito

III. Đường dây dài

Tham số bé (1)

VD

$$Ri + \frac{d\Psi}{dt} = u \rightarrow Ri + \frac{\partial \Psi}{\partial i} \cdot \frac{di}{dt} = u$$

$$\rightarrow 250i + (2 - 11,25i^2)i' = 120$$

$$\rightarrow 250i + 2i' - 11,25i^2i' = 120$$

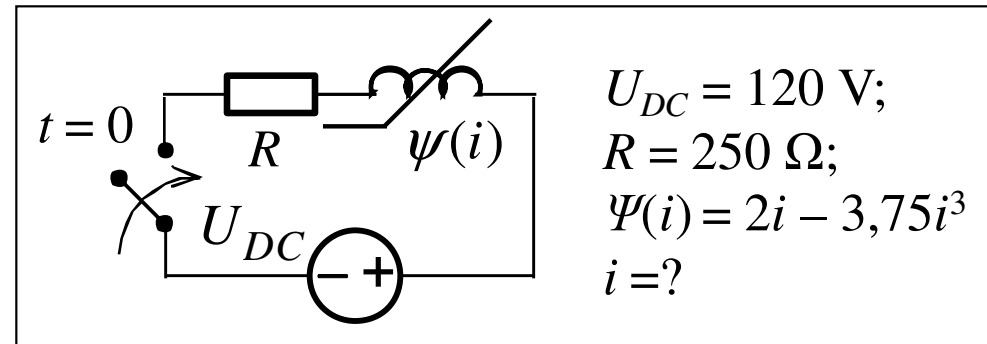
Đặt $\mu = 11,25$

$$\left. \begin{array}{l} \rightarrow 250i + 2i' - 11,25i^2i' = 120 \\ \text{Đặt } \mu = 11,25 \end{array} \right\} \rightarrow 250i + 2i' - \mu i^2i' = 120$$

$$\left. \begin{array}{l} \rightarrow 250i + 2i' - 120 = \mu i^2i' \\ \text{Đặt } i = i_0(t) + \mu i_1(t) \end{array} \right\} \rightarrow$$

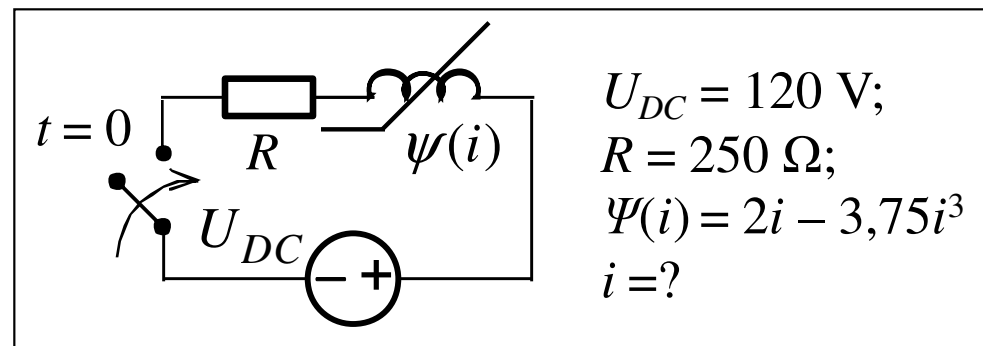
$$\rightarrow (250i_0 + 2i'_0 - 120) + \mu(250i_1 + 2i'_1 - i_0^2i'_0) -$$

$$-\mu^2(2i_0i_1i'_0 + i_0^2i'_1) - \mu^3(2i_0i_1i'_1 + i_1^2i'_0) - \mu^4i_1^2i'_1 = 0$$



Tham số bé (2)

VD



$$(250i_0 + 2i'_0 - 120) + \mu(250i_1 + 2i'_1 - i_0^2 i'_0) - \mu^2(2i_0 i_1 i'_0 + i_0^2 i'_1) - \mu^3(2i_0 i_1 i'_1 + i_1^2 i'_0) - \mu^4 i_1^2 i'_1 = 0$$

$$\rightarrow \begin{cases} 250i_0 + 2i'_0 - 120 = 0 \\ 250i_1 + 2i'_1 - i_0^2 i'_0 = 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$(1a) \rightarrow 250I_0(p) + 2pI_0(p) - 2i_0(-0) - \frac{120}{p} = 0 \rightarrow I_0(p) = \frac{\frac{120}{p} + 2i_0(-0)}{2p + 250} = \frac{60}{p(p + 125)}$$

$$\rightarrow i_0(t) = 0,48(1 - e^{-125t}) \text{ A}$$

Tham số bé (3)

VD

$$\begin{cases} 250i_0 + 2i_0' - 120 = 0 \\ 250i_1 + 2i_1' - i_0^2 i_0' = 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$(1a) \rightarrow i_0(t) = 0,48(1 - e^{-125t}) \text{ A}$$

$$(1b) \rightarrow 250i_1 + 2i_1' - [0,48(1 - e^{-125t})]^2 60e^{-125t} = 0$$

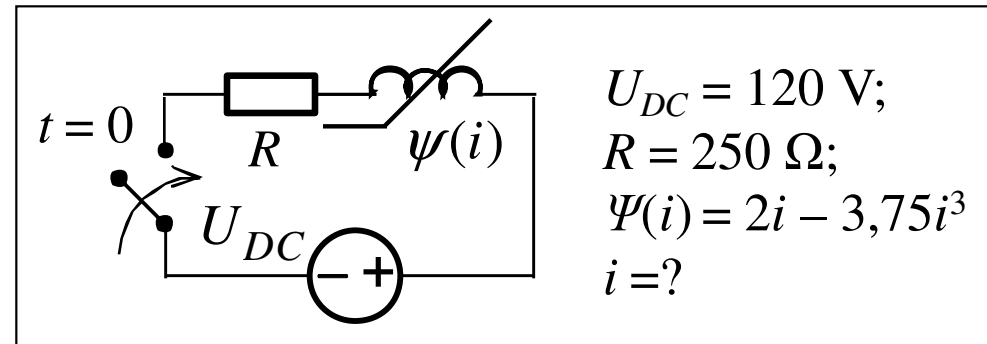
$$\rightarrow 250i_1 + 2i_1' - 13,824(e^{-125t} - 2e^{-250t} + e^{-375t}) = 0$$

$$\rightarrow 250I_1(p) + 2pI_1(p) - 2i_1(-0) - 13,824 \left(\frac{1}{p+125} - \frac{2}{p+250} + \frac{1}{p+375} \right) = 0$$

$$\rightarrow I_1(p) = 13,824 \frac{\frac{1}{p+125} - \frac{2}{p+250} + \frac{1}{p+375}}{2p+250} =$$

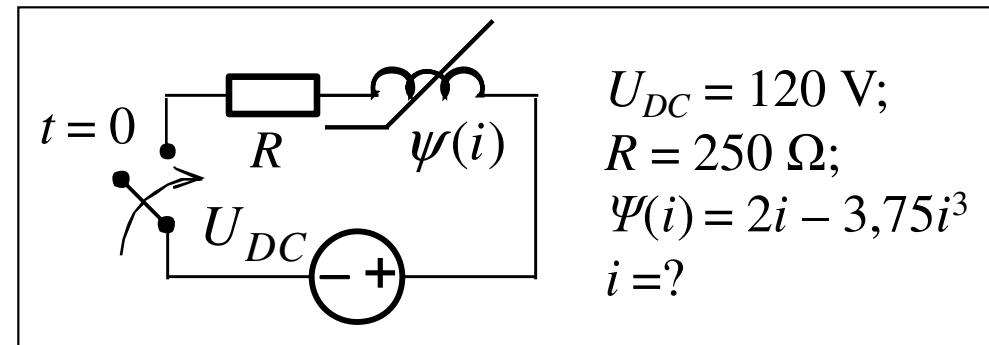
$$= 6,912 \left[\frac{1}{(p+125)^2} - \frac{2}{(p+125)(p+250)} + \frac{1}{(p+125)(p+375)} \right]$$

$$\rightarrow i_1(t) = 6,912(te^{-125t} - 0,012e^{-125t} + 0,016e^{-250t} - 0,004e^{-375t}) \text{ A}$$



Tham số bé (4)

VD



$$i = i_0(t) + \mu \dot{i}_1(t)$$

$$i_0(t) = 0,48(1 - e^{-125t}) \text{ A}$$

$$i_1(t) = 6,912(te^{-125t} - 0,012e^{-125t} + 0,016e^{-250t} - 0,004e^{-375t}) \text{ A}$$

$$\rightarrow i(t) = 0,48(1 - e^{-125t}) + \mu 6,912(te^{-125t} - 0,012e^{-125t} + 0,016e^{-250t} - 0,004e^{-375t}) \text{ A} \left\{ \begin{array}{l} \mu = 11,25 \end{array} \right. \rightarrow$$

$$\rightarrow i(t) = 0,48(1 - e^{-125t}) + 11,25 \cdot 6,912(te^{-125t} - 0,012e^{-125t} + 0,016e^{-250t} - 0,004e^{-375t}) \text{ A}$$

$$= \boxed{0,48 + (77,76t - 1,41)e^{-125t} + 1,24e^{-250t} - 0,31e^{-375t} \text{ A}}$$

Lý thuyết mạch II

I. Quá trình quá độ

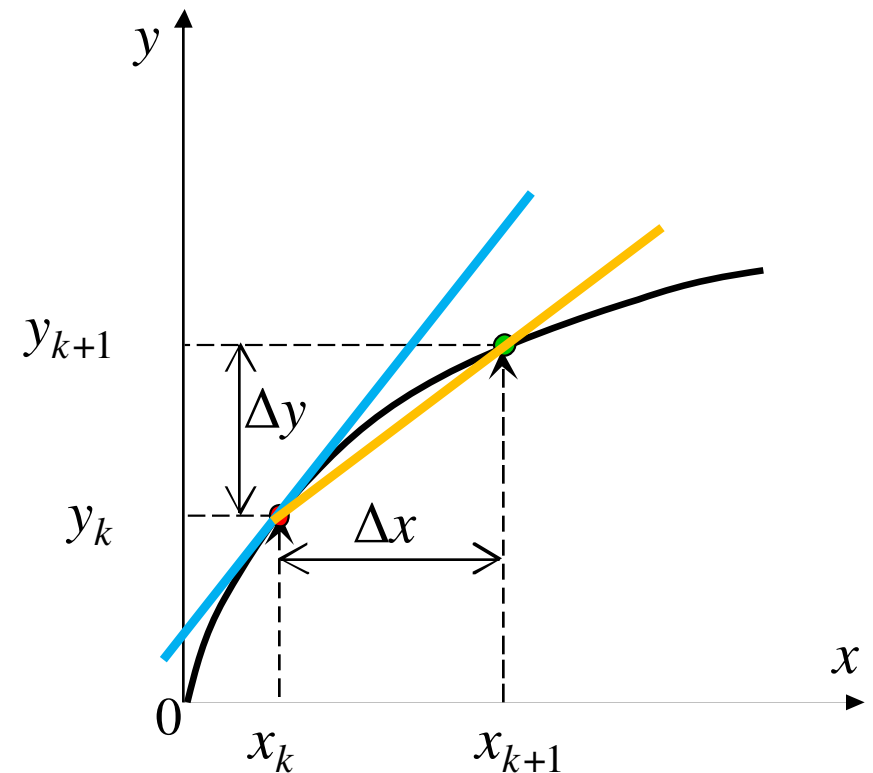
II. Mạch phi tuyến

1. Giới thiệu
2. Đặc tính của phần tử phi tuyến
3. Chế độ xác lập
- 4. Chế độ quá độ**
 - a) Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc
 - b) Tuyến tính hóa từng đoạn
 - c) Tham số bé
 - d) Sai phân**
5. Điốt và tranzito

III. Đường dây dài

Sai phân (1)

$$\boxed{\frac{dy}{dx}} \begin{matrix} \longrightarrow \Delta y \\ \longrightarrow \Delta x \end{matrix} \longrightarrow \boxed{\frac{\Delta y}{\Delta x}}$$

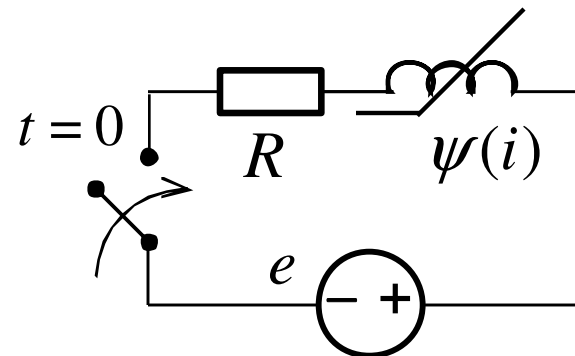


$$\frac{dy}{dx} \approx \frac{\Delta y}{\Delta x}; \quad \frac{di_k}{dt} \approx \frac{\Delta i}{\Delta t} = \frac{i_{k+1} - i_k}{t_{k+1} - t_k} = \frac{i_{k+1} - i_k}{h}; \quad \frac{du_k}{dt} \approx \frac{u_{k+1} - u_k}{h}$$

Sai phân (2)

VD1

$e = 24\text{V}$ (DC); $R = 60\ \Omega$; $\Psi(i) = 1,75i - 2,8i^3$; bước sai phân $h = 2\text{ms}$.
Tính dòng điện quá độ trong mạch?



$$Ri + \frac{d\Psi}{dt} = e \rightarrow 60i + \frac{d\Psi}{dt} = 24 \rightarrow 60i + \frac{\partial\Psi}{\partial i} \cdot \frac{di}{dt} = 24$$

$$\rightarrow 60i + (1,75 - 8,4i^2)i' = 24 \rightarrow 60i_k + (1,75 - 8,4i_k^2)i'_k = 24$$

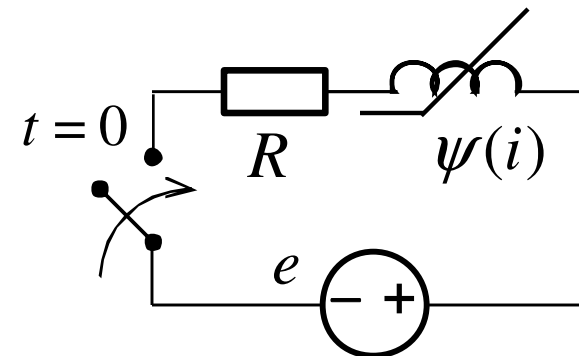
$$\rightarrow \left. \begin{aligned} i'_k &= \frac{24 - 60i_k}{1,75 - 8,4i_k^2} \\ i'_k &= \frac{i_{k+1} - i_k}{0,002} \end{aligned} \right\} \rightarrow \frac{i_{k+1} - i_k}{0,002} = \frac{24 - 60i_k}{1,75 - 8,4i_k^2}$$

$$\rightarrow i_{k+1} = i_k + 0,002 \frac{24 - 60i_k}{1,75 - 8,4i_k^2}$$

Sai phân (3)

VD1

$e = 24V$ (DC); $R = 60 \Omega$; $\Psi(i) = 1,75i - 2,8i^3$; bước sai phân $h = 2ms$.
Tính dòng điện quá độ trong mạch?



$$Ri + \frac{d\Psi}{dt} = e \rightarrow i_{k+1} = i_k + 0,002 \frac{24 - 60i_k}{1,75 - 8,4i_k^2}$$

$$\left. \begin{array}{l} i_1 = i_0 + 0,002 \frac{24 - 60i_0}{1,75 - 8,4i_0^2} \\ i_0 = i_L(-0) = 0 \end{array} \right\} \rightarrow i_1 = 0 + 0,002 \frac{24 - 60 \cdot 0}{1,75 - 8,4 \cdot 0^2} = 0,0274A$$

$$i_2 = i_1 + 0,002 \frac{24 - 60i_1}{1,75 - 8,4i_1^2} = 0,0274 + 0,002 \frac{24 - 60 \cdot 0,0274}{1,75 - 8,4 \cdot 0,0274^2} = 0,0530A$$

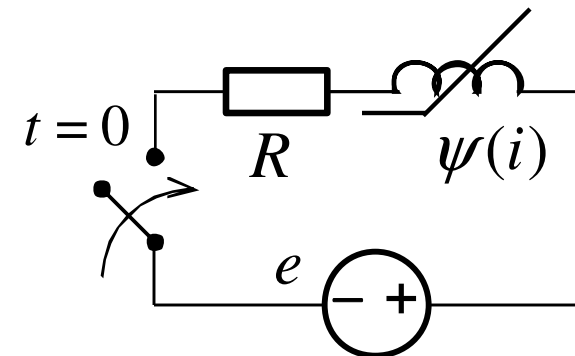
$$i_3 = i_2 + 0,002 \frac{24 - 60i_2}{1,75 - 8,4i_2^2} = 0,0530 + 0,002 \frac{24 - 60 \cdot 0,0530}{1,75 - 8,4 \cdot 0,0530^2} = 0,0771A$$

k	0	1	2	3
i_k (A)	0	0,0274	0,0530	0,0771

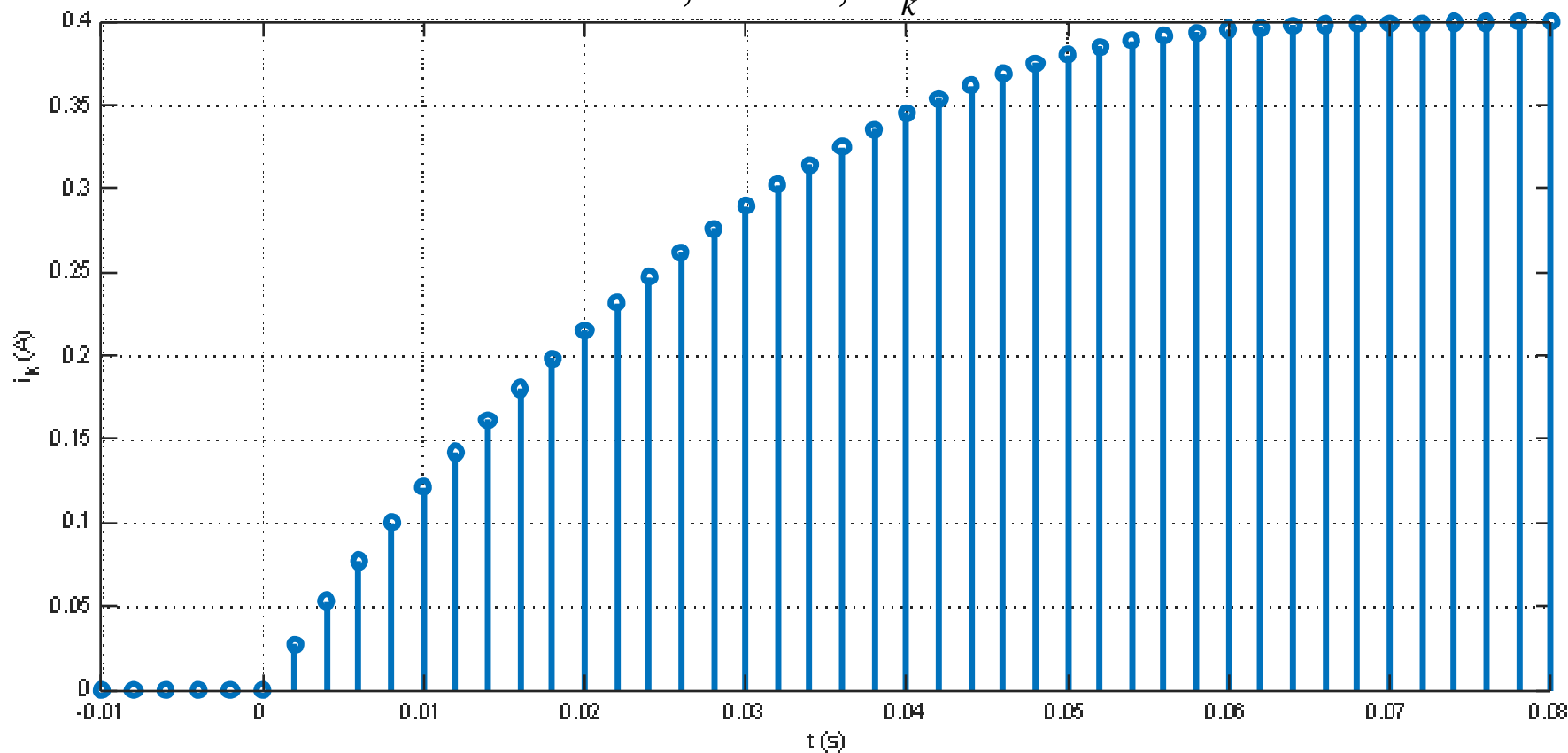
Sai phân (4)

VD1

$e = 24\text{V}$ (DC); $R = 60\ \Omega$; $\Psi(i) = 1,75i - 2,8i^3$; bước sai phân $h = 2\text{ms}$.
Tính dòng điện quá độ trong mạch?



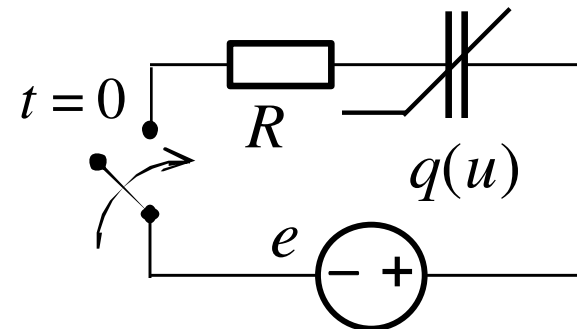
$$Ri + \frac{d\Psi}{dt} = e \rightarrow i_{k+1} = i_k + 0,002 \frac{24 - 60i_k}{1,75 - 8,4i_k^2}$$



Sai phân (5)

VD2

$e = 60 \text{ V (DC)}$; $R = 20 \Omega$; $q(u) = 10^{-4}u - 0,5 \cdot 10^{-8}u^3$;
Bước sai phân 1ms. Tính điện áp trên tụ điện.



$$Ri + u = e \rightarrow 20i + u = 60 \rightarrow 20 \frac{dq}{dt} + u = 60$$

$$\rightarrow 20 \frac{\partial q}{\partial u} \cdot \frac{du}{dt} + u = 60 \rightarrow 20(10^{-4} - 1,5 \cdot 10^{-8}u^2)u' + u = 60$$

$$\rightarrow 20(10^{-4} - 1,5 \cdot 10^{-8}u_k^2)u'_k + u_k = 60$$

k	$u_k \text{ (V)}$
0	$u_C(-0) = 0$
1	30,00
2	47,34

$$u_1 = u_0 + \frac{0,001(60 - u_0)}{20(10^{-4} - 1,5 \cdot 10^{-8}u_0^2)}$$

$$u_2 = u_1 + \frac{0,001(60 - u_1)}{20(10^{-4} - 1,5 \cdot 10^{-8}u_1^2)}$$

$$\left. \begin{aligned} \rightarrow u'_k &= \frac{60 - u_k}{20(10^{-4} - 1,5 \cdot 10^{-8}u_k^2)} \\ u'_k &= \frac{u_{k+1} - u_k}{0,001} \end{aligned} \right\}$$

$$\rightarrow \frac{u_{k+1} - u_k}{0,001} = \frac{60 - u_k}{20(10^{-4} - 1,5 \cdot 10^{-8}u_k^2)}$$

$$\rightarrow u_{k+1} = u_k + \frac{0,001(60 - u_k)}{20(10^{-4} - 1,5 \cdot 10^{-8}u_k^2)}$$

Sai phân (6)

$$x'_k \approx \frac{\Delta x_k}{\Delta t} = \frac{x_{k+1} - x_k}{h}$$

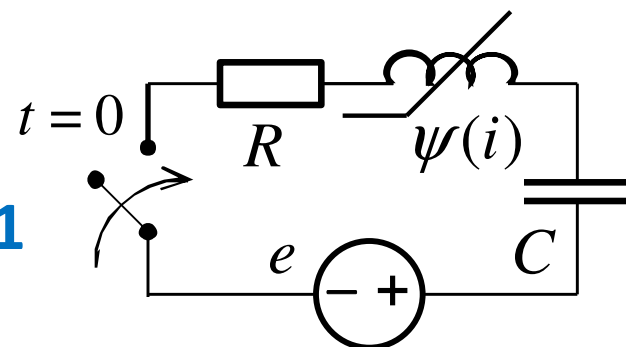
$$\left. \begin{aligned} x''_k &= \frac{d^2 x_k}{dt^2} = \frac{dx'_k}{dt} \approx \frac{\Delta x'_k}{h} = \frac{x'_{k+1} - x'_k}{h} \\ x'_k &\approx \frac{\Delta x_k}{\Delta t} = \frac{x_{k+1} - x_k}{h} \\ x'_{k+1} &\approx \frac{\Delta x_{k+1}}{\Delta t} = \frac{x_{k+2} - x_{k+1}}{h} \end{aligned} \right\} \rightarrow x''_k \approx \frac{\frac{x_{k+2} - x_{k+1}}{h} - \frac{x_{k+1} - x_k}{h}}{h} \approx \boxed{\frac{x_{k+2} - 2x_{k+1} + x_k}{h^2}}$$

Sai phân (7)

VD3

$e = 24\text{V}$; $R = 60\ \Omega$; $\Psi(i) = 1,75i - 2,8i^3$; $C = 25\ \mu\text{F}$;
bước sai phân $h = 2\text{ms}$. Tính dòng điện quá độ trong mạch?

Cách 1



$$60i + \frac{d\Psi}{dt} + u = 24 \rightarrow 60i + \frac{\partial\Psi}{\partial i} \cdot \frac{di}{dt} + u = 24$$

$$\rightarrow 60i + (1,75 - 8,4i^2)i' + u = 24 \rightarrow i'_k = \frac{24 - u_k - 60i_k}{1,75 - 8,4i_k^2}$$

$$i = Cu' = 25 \cdot 10^{-6} u' \rightarrow u'_k = \frac{i_k}{25 \cdot 10^{-6}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{i_{k+1} - i_k}{0,002} = \frac{24 - u_k - 60i_k}{1,75 - 8,4i_k^2} \\ \frac{u_{k+1} - u_k}{0,002} = \frac{i_k}{25 \cdot 10^{-6}} \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} i_{k+1} = i_k + 0,002 \frac{24 - u_k - 60i_k}{1,75 - 8,4i_k^2} \\ u_{k+1} = u_k + \frac{0,002i_k}{25 \cdot 10^{-6}} \end{array} \right.$$

k	$i_k (\text{A})$	$u_k (\text{V})$
0	$i_L(-0) = 0$	$u_C(-0) = 0$
1	0,0274	0
2	0,0530	2,192

$$\left\{ \begin{array}{l} i_1 = i_0 + 0,002 \frac{24 - u_0 - 60i_0}{1,75 - 8,4i_0^2} \\ u_1 = u_0 + \frac{0,002i_0}{25 \cdot 10^{-6}} \\ i_2 = i_1 + 0,002 \frac{24 - u_1 - 60i_1}{1,75 - 8,4i_1^2} \\ u_2 = u_1 + \frac{0,002i_1}{25 \cdot 10^{-6}} \end{array} \right.$$

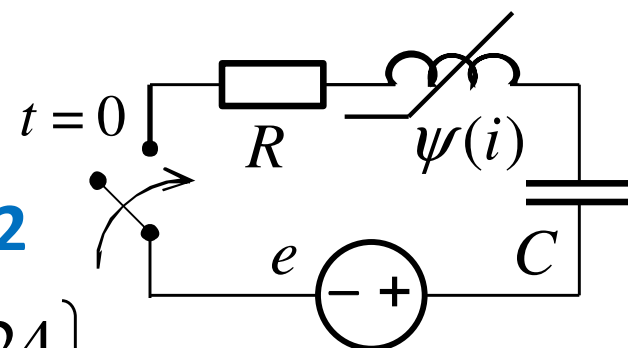
$$\rightarrow \left\{ \begin{array}{l} i_{k+1} = i_k + 0,002 \frac{24 - u_k - 60i_k}{1,75 - 8,4i_k^2} \\ u_{k+1} = u_k + \frac{0,002i_k}{25 \cdot 10^{-6}} \end{array} \right.$$

Sai phân (8)

VD3

$e = 24\text{V}; R = 60 \Omega; \Psi(i) = 1,75i - 2,8i^3; C = 25 \mu\text{F};$
 bước sai phân $h = 2\text{ms}$. Tính dòng điện quá độ trong mạch?

Cách 2



$$\left. \begin{aligned} 60i + \frac{d\Psi}{dt} + u &= 24 \rightarrow 60i + (1,75 - 8,4i^2)i' + u = 24 \\ i &= Cu' \end{aligned} \right\}$$

$$\rightarrow 60(Cu') + [1,75 - 8,4(Cu')^2](Cu')' + u = 24$$

$$\rightarrow 60Cu' + [1,75 - 8,4C^2(u')^2]Cu'' + u = 24$$

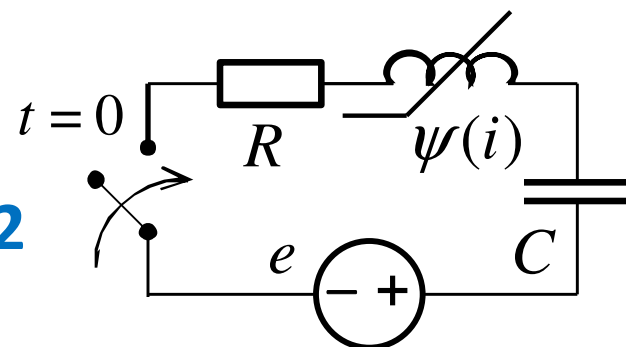
$$\rightarrow u'' = \frac{24 - u - 60Cu'}{C[1,75 - 8,4C^2(u')^2]}$$

Sai phân (9)

VD3

$e = 24\text{V}$; $R = 60\ \Omega$; $\Psi(i) = 1,75i - 2,8i^3$; $C = 25\ \mu\text{F}$;
bước sai phân $h = 2\text{ms}$. Tính dòng điện quá độ trong mạch?

Cách 2



$$u'' = \frac{24 - u - 60Cu'}{C[1,75 - 8,4C^2(u')^2]}$$

$$u_k'' = \frac{u_{k+2} - 2u_{k+1} + u_k}{h^2}; \quad u_k' = \frac{u_{k+1} - u_k}{h}$$

$$\rightarrow \frac{u_{k+2} - 2u_{k+1} + u_k}{h^2} = \frac{24 - u_k - 60C \frac{u_{k+1} - u_k}{h}}{C \left[1,75 - 8,4C^2 \left(\frac{u_{k+1} - u_k}{h} \right)^2 \right]}$$

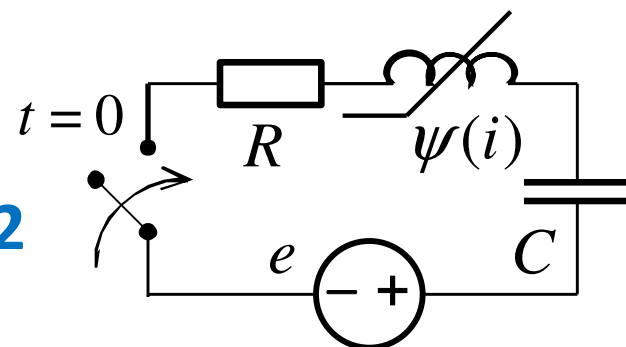
$$\rightarrow u_{k+2} = 2u_{k+1} - u_k + h^2 \frac{24 - u_k - 60C(u_{k+1} - u_k)/h}{C \left[1,75 - 8,4C^2(u_{k+1} - u_k)^2 / h^2 \right]}$$

Sai phân (10)

VD3

$e = 24\text{V}$; $R = 60\ \Omega$; $\Psi(i) = 1,75i - 2,8i^3$; $C = 25\ \mu\text{F}$;
bước sai phân $h = 2\text{ms}$. Tính dòng điện quá độ trong mạch?

Cách 2



$$u_{k+2} = 2u_{k+1} - u_k + h^2 \frac{24 - u_k - 60C(u_{k+1} - u_k)/h}{C[1,75 - 8,4C^2(u_{k+1} - u_k)^2/h^2]}$$

$$u_2 = 2u_1 - u_0 + h^2 \frac{24 - u_0 - 60C(u_1 - u_0)/h}{C[1,75 - 8,4C^2(u_1 - u_0)^2/h^2]}$$

$$\left. \begin{aligned} u'_k &= \frac{u_{k+1} - u_k}{h} \rightarrow u'_0 = \frac{u_1 - u_0}{h} = u'(0) \rightarrow u_1 = u_0 + hu'(0) \\ i &= Cu' \rightarrow i(0) = Cu'(0) \rightarrow u'(0) = \frac{i(0)}{C} = 0 \end{aligned} \right\} \rightarrow u_1 = 0$$

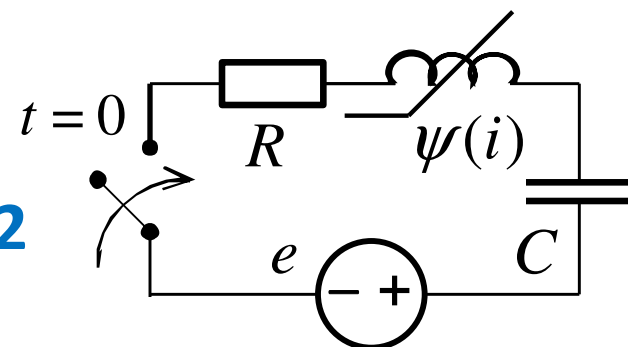
$$i = Cu' \rightarrow i_k = C \frac{u_{k+1} - u_k}{h}$$

Sai phân (11)

VD3

$e = 24\text{V}$; $R = 60\ \Omega$; $\Psi(i) = 1,75i - 2,8i^3$; $C = 25\ \mu\text{F}$;
bước sai phân $h = 2\text{ms}$. Tính dòng điện quá độ trong mạch?

Cách 2



$$u_{k+2} = 2u_{k+1} - u_k + h^2 \frac{24 - u_k - 60C(u_{k+1} - u_k)/h}{C[1,75 - 8,4C^2(u_{k+1} - u_k)^2/h^2]}$$

$$i_k = C(u_{k+1} - u_k)/h; \quad u_0 = 0; \quad u_1 = 0$$

$$u_2 = 2u_1 - u_0 + h^2 \frac{24 - u_0 - 60C(u_1 - u_0)/h}{C[1,75 - 8,4C^2(u_1 - u_0)^2/h^2]}$$

$$= 2,0 - 0 + (2 \cdot 10^{-3})^2 \frac{24 - 0 - 60(25 \cdot 10^{-6})(0 - 0)/(2 \cdot 10^{-3})}{25 \cdot 10^{-6} [1,75 - 8,4(25 \cdot 10^{-6})^2(0 - 0)^2/(2 \cdot 10^{-3})]}$$

$$= 2,1943\text{ V}$$

$$i_1 = C \frac{u_2 - u_1}{h} = 25 \cdot 10^{-6} \frac{2,1943 - 0}{2 \cdot 10^{-3}} = 0,0274\text{ A}$$

Sai phân (12)

Mạch điện phi tuyến

(hệ) Phương trình phi tuyến

$$\begin{cases} x' = f(x, y) \\ y' = g(x, y) \end{cases}$$

$$\begin{cases} (x_{k+1} - x_k) / h = f(x_k, y_k) \\ (y_{k+1} - y_k) / h = g(x_k, y_k) \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_{k+1} = x_k + hf(x_k, y_k) \\ y_{k+1} = y_k + hg(x_k, y_k) \end{cases}$$

$$y'' = f(x, y, x', y')$$

$$\frac{y_{k+2} - 2y_{k+1} + y_k}{h^2} = f(x, y, x', y')$$

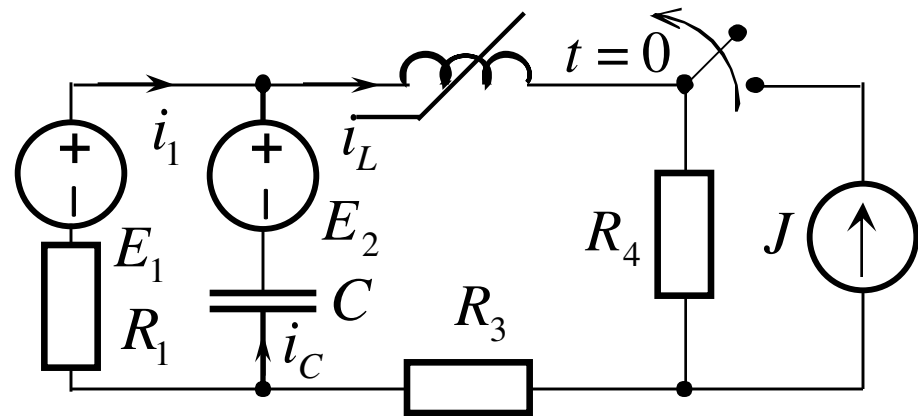
$$y_{k+2} = 2y_{k+1} - y_k + h^2 f(x, y, x', y')$$

Sai phân (13)

VD4

$R_1 = 20\Omega$; $R_3 = R_4 = 40\Omega$; $\Psi(i) = 2i + 8i^3$; $C = 20\mu\text{F}$;
 $E_1 = 50\text{V}$; $E_2 = 100\text{V}$; $J = 2\text{A}$; $h = 1\text{ms}$. Tìm i_L ?

$$i_L(0) = i_1 = \frac{E_1 - R_4 J}{R_1 + R_3 + R_4} = \frac{50 - 40 \cdot 2}{20 + 40 + 40} = -0,3\text{A}$$



$$R_1 i_1 - u_C(0) = E_1 - E_2 \rightarrow u_C(0) = E_2 - E_1 + R_1 i_1 = 50 - 100 + 20(-0,3) = -56\text{ V}$$

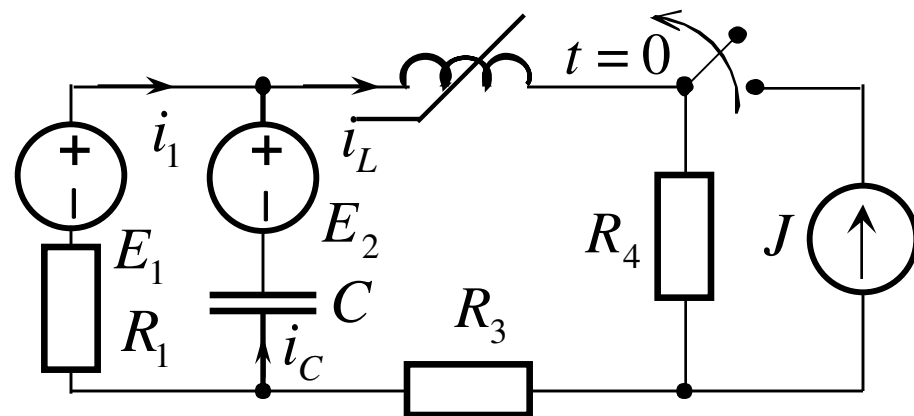
$$\begin{cases} i_1 + i_C - i_L = 0 \\ u_C + u_L + (R_3 + R_4)i_L = E_2 \\ R_1 i_1 - u_C = E_1 - E_2 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} i_1 + Cu'_C - i_L = 0 \\ u_C + \frac{\partial \Psi}{\partial i} \cdot \frac{di}{dt} + (R_3 + R_4)i_L = E_2 \\ R_1 i_1 - u_C = E_1 - E_2 \end{cases}$$

$$\rightarrow \begin{cases} i_1 + Cu'_C - i_L = 0 \\ u_C + (2 + 24i_L^2)i'_L + (R_3 + R_4)i_L = E_2 \\ R_1 i_1 - u_C = E_1 - E_2 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \frac{E_1 - E_2 + u_C}{R_1} + Cu'_C - i_L = 0 \\ u_C + (2 + 24i_L^2)i'_L + (R_3 + R_4)i_L = E_2 \end{cases}$$

Sai phân (14)

VD4

$R_1 = 20\Omega$; $R_3 = R_4 = 40\Omega$; $\Psi(i) = 2i + 8i^3$; $C = 20\mu\text{F}$;
 $E_1 = 50\text{V}$; $E_2 = 100\text{V}$; $J = 2\text{A}$; $h = 1\text{ms}$. Tìm i_L ?



$$\begin{cases} \frac{E_1 - E_2 + u_C}{R_1} + Cu'_C - i_L = 0 \\ u_C + (2 + 24i_L^2)i'_L + (R_3 + R_4)i_L = E_2 \end{cases}$$

$$\rightarrow \begin{cases} u'_C = \frac{i_L}{C} - \frac{E_1 - E_2 + u_C}{R_1 C} \\ i'_L = \frac{E_2 - u_C - (R_3 + R_4)i_L}{(2 + 24i_L^2)} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \frac{u_{k+1} - u_k}{h} = \frac{i_k}{C} - \frac{E_1 - E_2 + u_k}{R_1 C} \\ \frac{i_{k+1} - i_k}{h} = \frac{E_2 - u_k - (R_3 + R_4)i_k}{(2 + 24i_k^2)} \end{cases}$$

$$\rightarrow \begin{cases} u_{k+1} = u_k + h \left(\frac{i_k}{C} - \frac{E_1 - E_2 + u_k}{R_1 C} \right) = u_k + 10^{-3} \left(\frac{i_k}{20 \cdot 10^{-6}} - \frac{50 - 100 + u_k}{20 \cdot 20 \cdot 10^{-6}} \right) \\ i_{k+1} = i_k + h \frac{E_2 - u_k - (R_3 + R_4)i_k}{(2 + 24i_k^2)} = i_k + 10^{-3} \frac{100 - u_k - (40 + 40)i_k}{(2 + 24i_k^2)} \end{cases}$$

Sai phân (15)

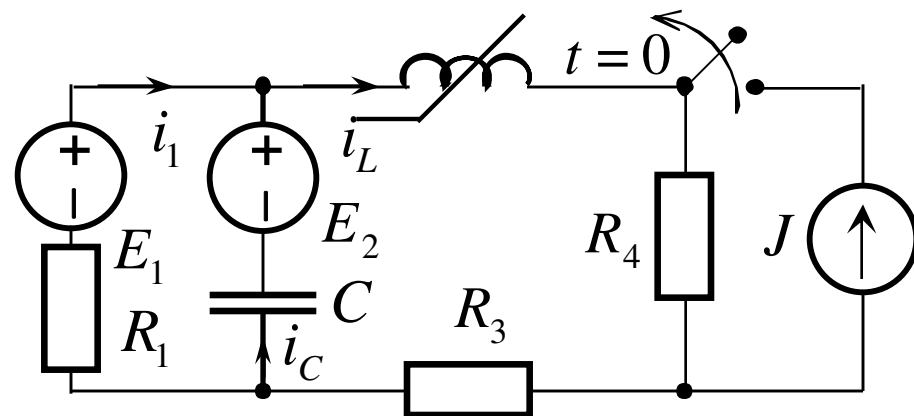
VD4

$R_1 = 20\Omega$; $R_3 = R_4 = 40\Omega$; $\Psi(i) = 2i + 8i^3$; $C = 20\mu\text{F}$;
 $E_1 = 50\text{V}$; $E_2 = 100\text{V}$; $J = 2\text{A}$; $h = 1\text{ms}$. Tìm i_L ?

$$i_L(0) = -0,3\text{A}; u_C(0) = -56\text{V}$$

$$\begin{cases} u_{k+1} = u_k + 10^{-3} \left(\frac{i_k}{20 \cdot 10^{-6}} - \frac{50 - 100 + u_k}{20 \cdot 20 \cdot 10^{-6}} \right) \\ i_{k+1} = i_k + 10^{-3} \frac{100 - u_k - (40 + 40)i_k}{(2 + 24i_k^2)} \end{cases}$$

$$\begin{cases} u_1 = u_0 + \frac{i_0}{0,02} + \frac{50 - u_0}{0,4} = 194 \\ i_1 = i_0 + \frac{100 - u_0 - 80i_0}{(2 + 24i_0^2)1000} = -0,26 \end{cases} \quad \left| \quad \begin{cases} u_2 = u_1 + \frac{i_1}{0,02} + \frac{50 - u_1}{0,4} = -178,8 \\ i_2 = i_1 + \frac{100 - u_1 - 80i_1}{(2 + 24i_1^2)1000} = -0,28 \end{cases}$$



k	0	1	2	3	4
u_C (V)	-56	194	-178,8		
i_L (A)	-0,3	-0,26	-0,28		

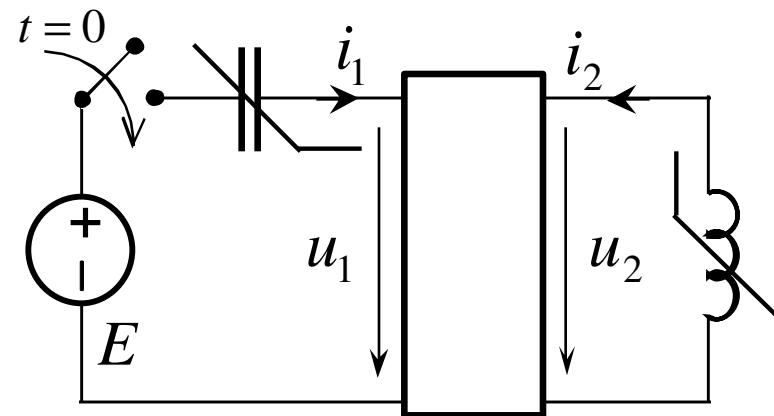
Sai phân (16)

VD5

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} 30 & 20 \\ 20 & 50 \end{bmatrix}; \quad E = 24 \text{ V (DC)};$$

$$\Psi(i) = 2i - 3,33i^3;$$

$$q_C = 10^{-5}u_C - 5 \cdot 10^{-10}u_C^3; \quad h = 0,2\text{ms}; \quad \text{tính } i_2?$$



$$u_C + u_1 = 24 \rightarrow u_1 = 24 - u_C$$

$$u_2 = -\frac{d\Psi}{dt} = -\frac{\partial\Psi}{\partial i_2} \cdot \frac{di_2}{dt} = -(2 - 9,99i_2^2)i_2'$$

$$\left\{ \begin{array}{l} u_1 = 30i_1 + 20i_2 \\ u_2 = 20i_1 + 50i_2 \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 24 - u_C = 30i_1 + 20i_2 \\ (9,99i_2^2 - 2)i_2' = 20i_1 + 50i_2 \end{array} \right\}$$

$$i_1 = \frac{dq}{dt} = \frac{\partial q}{\partial u_C} \cdot \frac{du_C}{dt} = (10^{-5} - 15 \cdot 10^{-10}u_C^2)u_C'$$

$$\rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 24 - u_C = 30(10^{-5} - 15 \cdot 10^{-10}u_C^2)u_C' + 20i_2 \\ (9,99i_2^2 - 2)i_2' = 20(10^{-5} - 15 \cdot 10^{-10}u_C^2)u_C' + 50i_2 \end{array} \right.$$

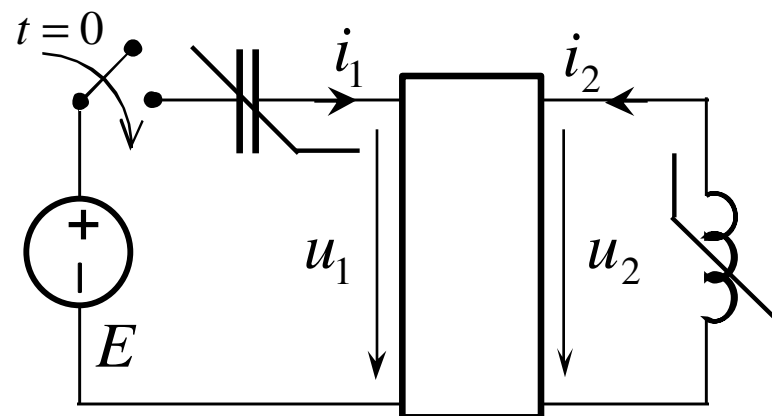
Sai phân (17)

VD5

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} 30 & 20 \\ 20 & 50 \end{bmatrix}; \quad E = 24 \text{ V (DC)};$$

$$\Psi(i) = 2i - 3,33i^3;$$

$$q_C = 10^{-5}u_C - 5 \cdot 10^{-10}u_C^3; \quad h = 0,2\text{ms}; \quad \text{tính } i_2?$$



$$\begin{cases} 24 - u_C = 30(10^{-5} - 15 \cdot 10^{-10} u_C^2) u_C' + 20i_2 \\ (9,99i_2^2 - 2)i_2' = 20(10^{-5} - 15 \cdot 10^{-10} u_C^2) u_C' + 50i_2 \end{cases}$$

$$\rightarrow \begin{cases} u' = \frac{24 - u - 20i}{30(10^{-5} - 15 \cdot 10^{-10} u^2)} \\ i' = \frac{20(10^{-5} - 15 \cdot 10^{-10} u^2) u' + 50i}{9,99i^2 - 2} \end{cases}$$

$$\begin{cases} u_k' = \frac{u_{k+1} - u_k}{h} \\ i_k' = \frac{i_{k+1} - i_k}{h} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \frac{u_{k+1} - u_k}{h} = \frac{24 - u_k - 20i_k}{30(10^{-5} - 15 \cdot 10^{-10} u_k^2)} \\ \frac{i_{k+1} - i_k}{h} = \frac{20(10^{-5} - 15 \cdot 10^{-10} u_k^2) \frac{u_{k+1} - u_k}{h} + 50i_k}{9,99i_k^2 - 2} \end{cases}$$

$$\begin{cases} u_{k+1} = h \frac{24 - u_k - 20i_k}{30(10^{-5} - 15 \cdot 10^{-10} u_k^2)} + u_k \\ i_{k+1} = \frac{20(10^{-5} - 15 \cdot 10^{-10} u_k^2)(u_{k+1} - u_k) + 50hi_k}{9,99i_k^2 - 2} + i_k \end{cases}$$

Sai phân (18)

VD5

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} 30 & 20 \\ 20 & 50 \end{bmatrix}; \quad E = 24 \text{ V (DC)};$$

$$\Psi(i) = 2i - 3,33i^3;$$

$$q_C = 10^{-5}u_C - 5 \cdot 10^{-10}u_C^3; \quad h = 0,2\text{ms}; \quad \text{tính } i_2?$$

$$u_C + u_1 = 24$$

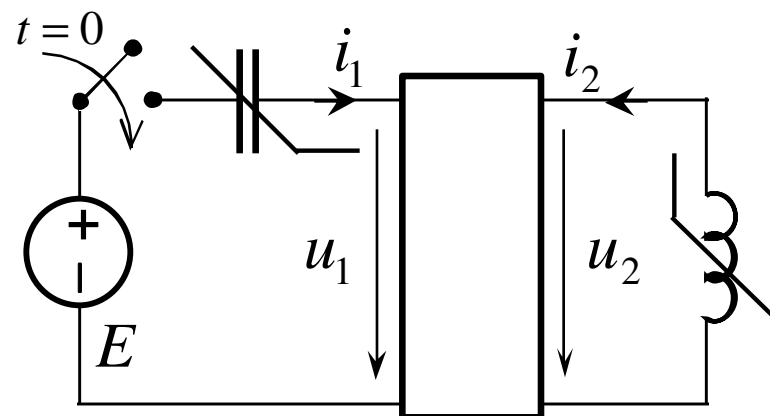
$$u_2 = -\frac{d\Psi}{dt}$$

$$u_1 = 30i_1 + 20i_2$$

$$u_2 = 20i_1 + 50i_2$$

$$i_1 = \frac{dq}{dt}$$

$$\left. \begin{array}{l} u_C + u_1 = 24 \\ u_2 = -\frac{d\Psi}{dt} \\ u_1 = 30i_1 + 20i_2 \\ u_2 = 20i_1 + 50i_2 \\ i_1 = \frac{dq}{dt} \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} u_{k+1} = h \frac{24 - u_k - 20i_k}{30(10^{-5} - 15 \cdot 10^{-10}u_k^2)} + u_k \\ i_{k+1} = \frac{20(10^{-5} - 15 \cdot 10^{-10}u_k^2)(u_{k+1} - u_k) + 50hi_k}{9,99i_k^2 - 2} + i_k \end{array} \right.$$



$$u_0 = u_C(0) = 0$$

$$i_0 = i_L(0) = 0$$

k	0	1	2	
u_k (V)	0	16,00	21,57	
i_k (A)	0	-0,0016	-0,0021	

Sai phân (19)

VD6

$R_1 = 20\Omega$; $R_3 = R_4 = 40\Omega$; $\Psi(i) = 2i + 0,8i^3$; $C = 2\text{mF}$;
 $h = 1\text{ms}$; $e_1 = 50\sin(25t) \text{ V}$; $e_2 = 100\sin(25t + 45^\circ) \text{ V}$;
 $j = 2\sin 25t \text{ A}$. Tìm i_L ?

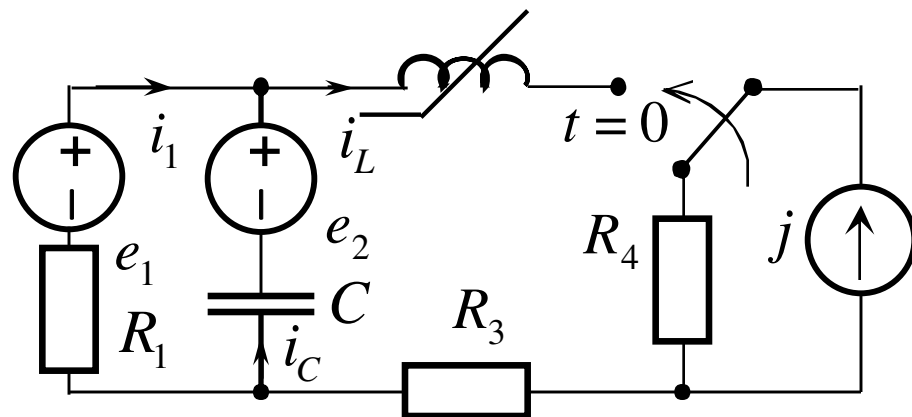
$$i_L(0) = 0$$

$$\dot{U}_C = \frac{\dot{E}_1 - \dot{E}_2}{R_1 + 1/(j\omega C)} \frac{1}{j\omega C} = 52,10 / -151,32^\circ \text{ V}$$

$$\rightarrow u_C(t) = 52,10 \sin(25t - 151,32^\circ) \text{ V} \rightarrow u_C(0) = 52,10 \sin(-151,32^\circ) = -25,00 \text{ V}$$

$$\begin{cases} i_1 + i_C - i_L = 0 \\ u_C + u_L + (R_3 + R_4)i_L = e_2 \\ R_1 i_1 - u_C = e_1 - e_2 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} i_1 + Cu'_C - i_L = 0 \\ u_C + \frac{\partial \Psi}{\partial i} \cdot \frac{di}{dt} + (R_3 + R_4)i_L = e_2 \\ R_1 i_1 - u_C = e_1 - e_2 \end{cases}$$

$$\rightarrow \begin{cases} i_1 + Cu'_C - i_L = 0 \\ u_C + (2 + 2,4i_L^2)i'_L + (R_3 + R_4)i_L = e_2 \\ R_1 i_1 - u_C = e_1 - e_2 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \frac{e_1 - e_2 + u_C}{R_1} + Cu'_C - i_L = 0 \\ u_C + (2 + 2,4i_L^2)i'_L + (R_3 + R_4)i_L = e_2 \end{cases}$$

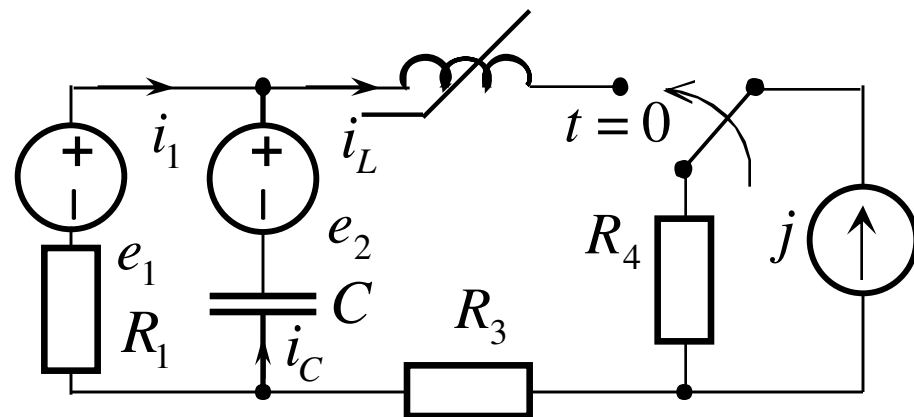


Sai phân (20)

VD6

$R_1 = 20\Omega$; $R_3 = R_4 = 40\Omega$; $\Psi(i) = 2i + 0,8i^3$; $C = 2\text{mF}$;
 $h = 1\text{ms}$; $e_1 = 50\sin(25t) \text{ V}$; $e_2 = 100\sin(25t + 45^\circ) \text{ V}$;
 $j = 2\sin 25t \text{ A}$. Tìm i_L ?

$$i_L(0) = 0 \text{ A}; u_C(0) = -25,00 \text{ V}$$



$$\begin{cases} \frac{e_1 - e_2 + u_C}{R_1} + Cu'_C - i_L = 0 \\ u_C + (2 + 2,4i_L^2)i'_L + (R_3 + R_4)i_L = e_2 \end{cases}$$

$$\rightarrow \begin{cases} u'_C = \frac{i_L}{C} - \frac{e_1 - e_2 + u_C}{R_1 C} \\ i'_L = \frac{e_2 - u_C - (R_3 + R_4)i_L}{(2 + 2,4i_L^2)} \end{cases}$$

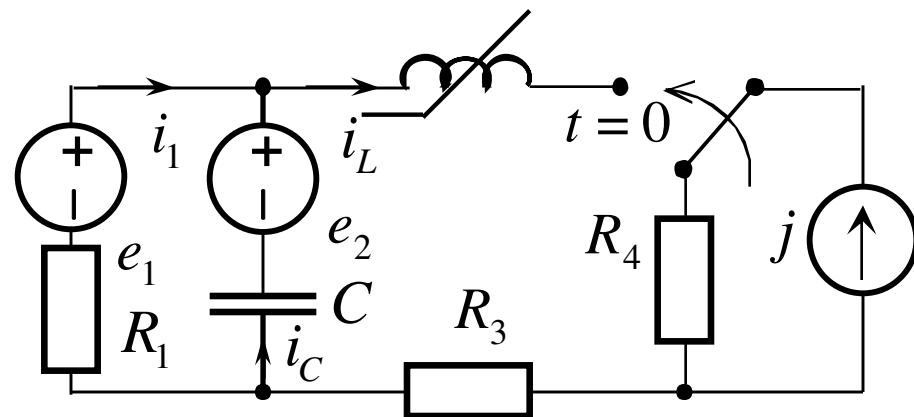
$$\rightarrow \begin{cases} \frac{u_{k+1} - u_k}{h} = \frac{i_k}{C} - \frac{e_1 - e_2 + u_k}{R_1 C} \\ \frac{i_{k+1} - i_k}{h} = \frac{e_2 - u_k - (R_3 + R_4)i_k}{(2 + 2,4i_k^2)} \end{cases}$$

Sai phân (21)

VD6

$R_1 = 20\Omega$; $R_3 = R_4 = 40\Omega$; $\Psi(i) = 2i + 0,8i^3$; $C = 2\text{mF}$;
 $h = 1\text{ms}$; $e_1 = 50\sin(25t) \text{ V}$; $e_2 = 100\sin(25t + 45^\circ) \text{ V}$;
 $j = 2\sin 25t \text{ A}$. Tìm i_L ?

$$i_L(0) = 0 \text{ A}; u_C(0) = -25,00 \text{ V}$$



$$\begin{cases} \frac{u_{k+1} - u_k}{h} = \frac{i_k}{C} - \frac{e_1 - e_2 + u_k}{R_1 C} \\ \frac{i_{k+1} - i_k}{h} = \frac{e_2 - u_k - (R_3 + R_4)i_k}{(2 + 2,4i_k^2)} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} u_{k+1} = u_k + h \left(\frac{i_k}{C} - \frac{e_1 - e_2 + u_k}{R_1 C} \right) \\ i_{k+1} = i_k + h \frac{e_2 - u_k - (R_3 + R_4)i_k}{(2 + 2,4i_k^2)} \end{cases}$$

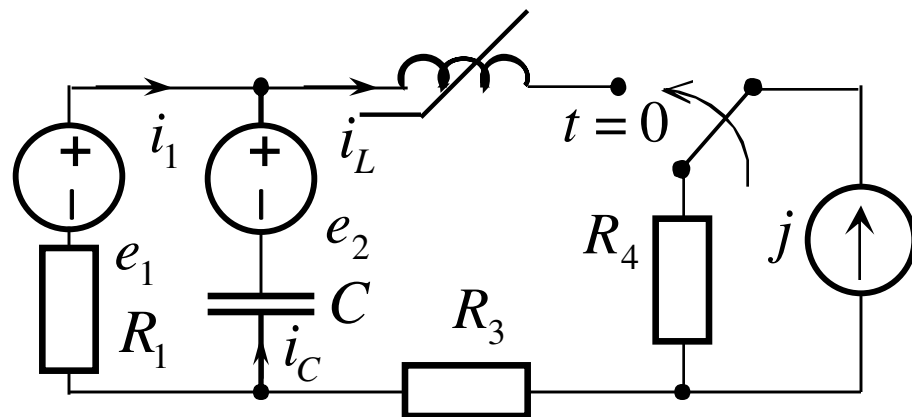
$$\rightarrow \begin{cases} u_{k+1} = u_k + 10^{-3} \left[\frac{i_k}{2 \cdot 10^{-3}} - \frac{50\sin(25 \cdot 10^{-3}k) - 100\sin(25 \cdot 10^{-3}k + \pi/4) + u_k}{20 \cdot 2 \cdot 10^{-3}} \right] \\ i_{k+1} = i_k + 10^{-3} \frac{100\sin(25 \cdot 10^{-3}k + \pi/4) - u_k - (40 + 40)i_k}{(2 + 2,4i_k^2)} \end{cases}$$

Sai phân (22)

VD6

$R_1 = 20\Omega$; $R_3 = R_4 = 40\Omega$; $\Psi(i) = 2i + 0,8i^3$; $C = 2\text{mF}$;
 $h = 1\text{ms}$; $e_1 = 50\sin(25t)$ V; $e_2 = 100\sin(25t + 45^\circ)$ V;
 $j = 2\sin 25t$ A. Tìm i_L ?

$$i_L(0) = 0 \text{ A}; u_C(0) = -25,00 \text{ V}$$



$$\begin{cases} u_{k+1} = u_k + 10^{-3} \left[\frac{i_k}{2 \cdot 10^{-3}} - \frac{50\sin(25 \cdot 10^{-3}k) - 100\sin(25 \cdot 10^{-3}k + \pi/4) + u_k}{20 \cdot 2 \cdot 10^{-3}} \right] \\ i_{k+1} = i_k + 10^{-3} \frac{100\sin(25 \cdot 10^{-3}k + \pi/4) - u_k - (40 + 40)i_k}{(2 + 2,4i_k^2)} \end{cases}$$

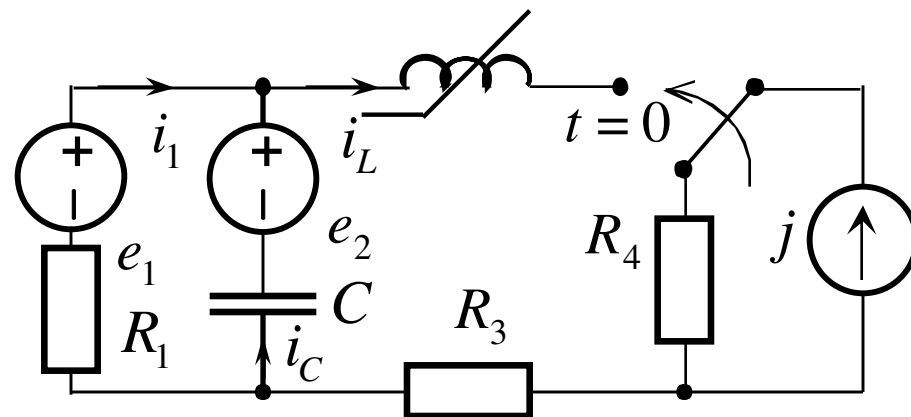
$$\rightarrow \begin{cases} u_{k+1} = u_k + \frac{i_k}{2} - \frac{50\sin(0,025k) - 100\sin(0,025k + \pi/4) + u_k}{40} \\ i_{k+1} = i_k + \frac{100\sin(0,025k + \pi/4) - u_k - 80i_k}{(2 + 2,4i_k^2)10^3} \end{cases}$$

Sai phân (23)

VD6

$R_1 = 20\Omega$; $R_3 = R_4 = 40\Omega$; $\Psi(i) = 2i + 0,8i^3$; $C = 2\text{mF}$;
 $h = 1\text{ms}$; $e_1 = 50\sin(25t) \text{ V}$; $e_2 = 100\sin(25t + 45^\circ) \text{ V}$;
 $j = 2\sin 25t \text{ A}$. Tìm i_L ?

$$i_L(0) = 0 \text{ A}; u_C(0) = -25,00 \text{ V}$$



$$\begin{cases} u_{k+1} = u_k + \frac{i_k}{2} - \frac{50\sin(0,025k) - 100\sin(0,025k + \pi/4) + u_k}{40} \\ i_{k+1} = i_k + \frac{100\sin(0,025k + \pi/4) - u_k - 80i_k}{(2 + 2,4i_k^2)10^3} \end{cases}$$

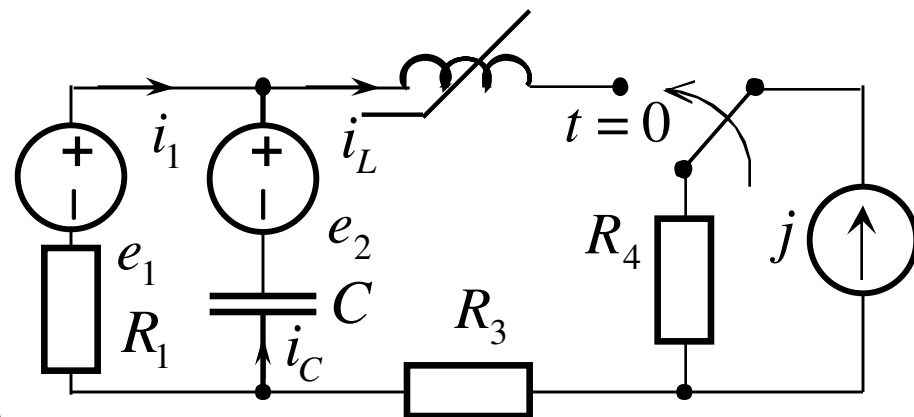
$$\begin{cases} u_1 = u_0 + \frac{i_0}{2} - \frac{50\sin(0,025.0) - 100\sin(0,025.0 + \pi/4) + u_0}{40} \\ i_1 = i_0 + \frac{100\sin(0,025.0 + \pi/4) - u_0 - 80i_0}{(2 + 2,4i_0^2)10^3} \end{cases}$$

k	$i_k \text{ (A)}$	$u_k \text{ (V)}$
0	0	-25,00
1		

Sai phân (24)

VD6

$R_1 = 20\Omega$; $R_3 = R_4 = 40\Omega$; $\Psi(i) = 2i + 0,8i^3$; $C = 2\text{mF}$;
 $h = 1\text{ms}$; $e_1 = 50\sin(25t) \text{ V}$; $e_2 = 100\sin(25t + 45^\circ) \text{ V}$;
 $j = 2\sin 25t \text{ A}$. Tìm i_L ?



$$i_L(0) = 0 \text{ A}; u_C(0) = -25,00 \text{ V}$$

$$\begin{cases} u_{k+1} = u_k + \frac{i_k}{2} - \frac{50\sin(0,025k) - 100\sin(0,025k + \pi/4) + u_k}{40} \end{cases}$$

$$\begin{cases} i_{k+1} = i_k + \frac{100\sin(0,025k + \pi/4) - u_k - 80i_k}{(2 + 2,4i_k^2)10^3} \end{cases}$$

$$\begin{cases} u_1 = u_0 + \frac{i_0}{2} - \frac{50\sin(0,025.0) - 100\sin(0,025.0 + \pi/4) + u_0}{40} = -22,61 \end{cases}$$

$$\begin{cases} i_1 = i_0 + \frac{100\sin(0,025.0 + \pi/4) - u_0 - 80i_0}{(2 + 2,4i_0^2)10^3} = 0,0479 \end{cases}$$

$$\begin{cases} u_2 = u_1 + \frac{i_1}{2} - \frac{50\sin(0,025.1) - 100\sin(0,025.1 + \pi/4) + u_1}{40} = -20,24 \end{cases}$$

$$\begin{cases} i_2 = i_1 + \frac{100\sin(0,025.1 + \pi/4) - u_1 - 80i_1}{(2 + 2,4i_1^2)10^3} = 0,0933 \end{cases}$$

k	$i_k \text{ (A)}$	$u_k \text{ (V)}$
0	0	-25,00
1	0,0479	-22,61
2	0,0933	-20,24
3	0,1364	-17,89
4	0,1769	-15,58

Lý thuyết mạch II

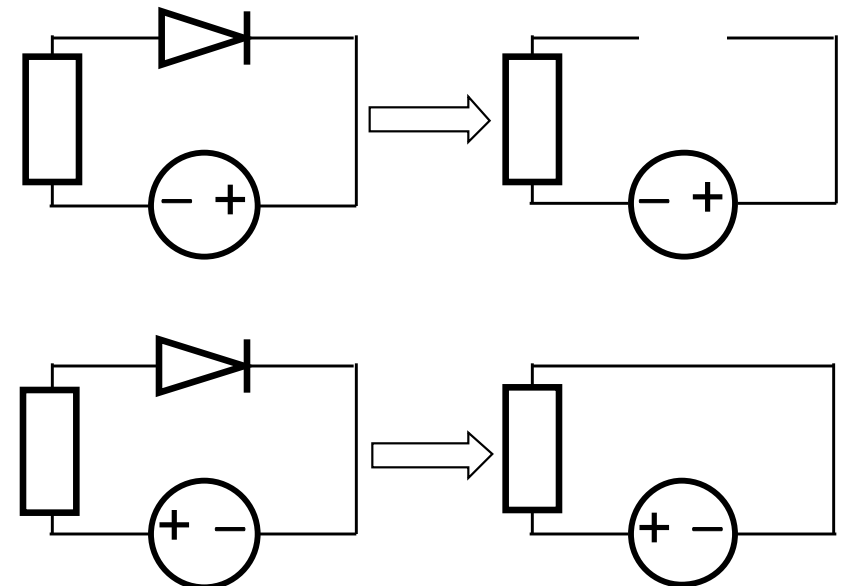
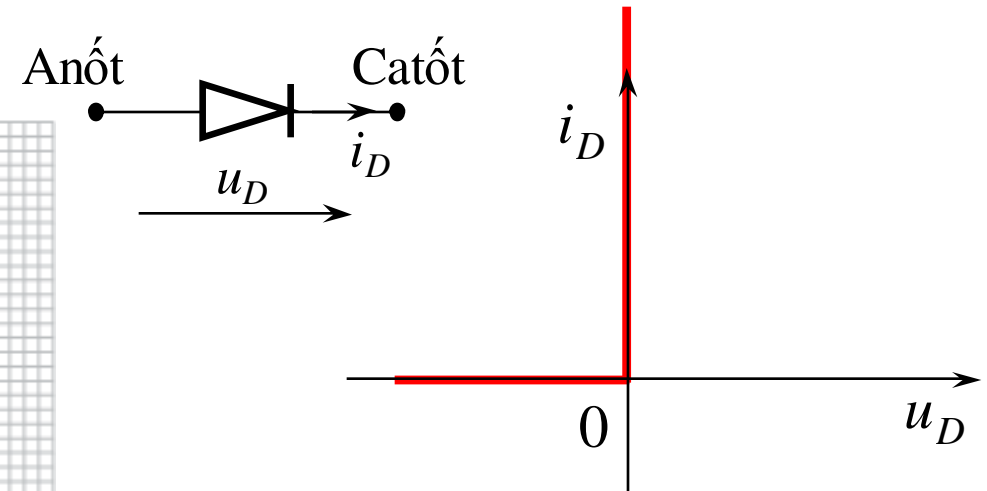
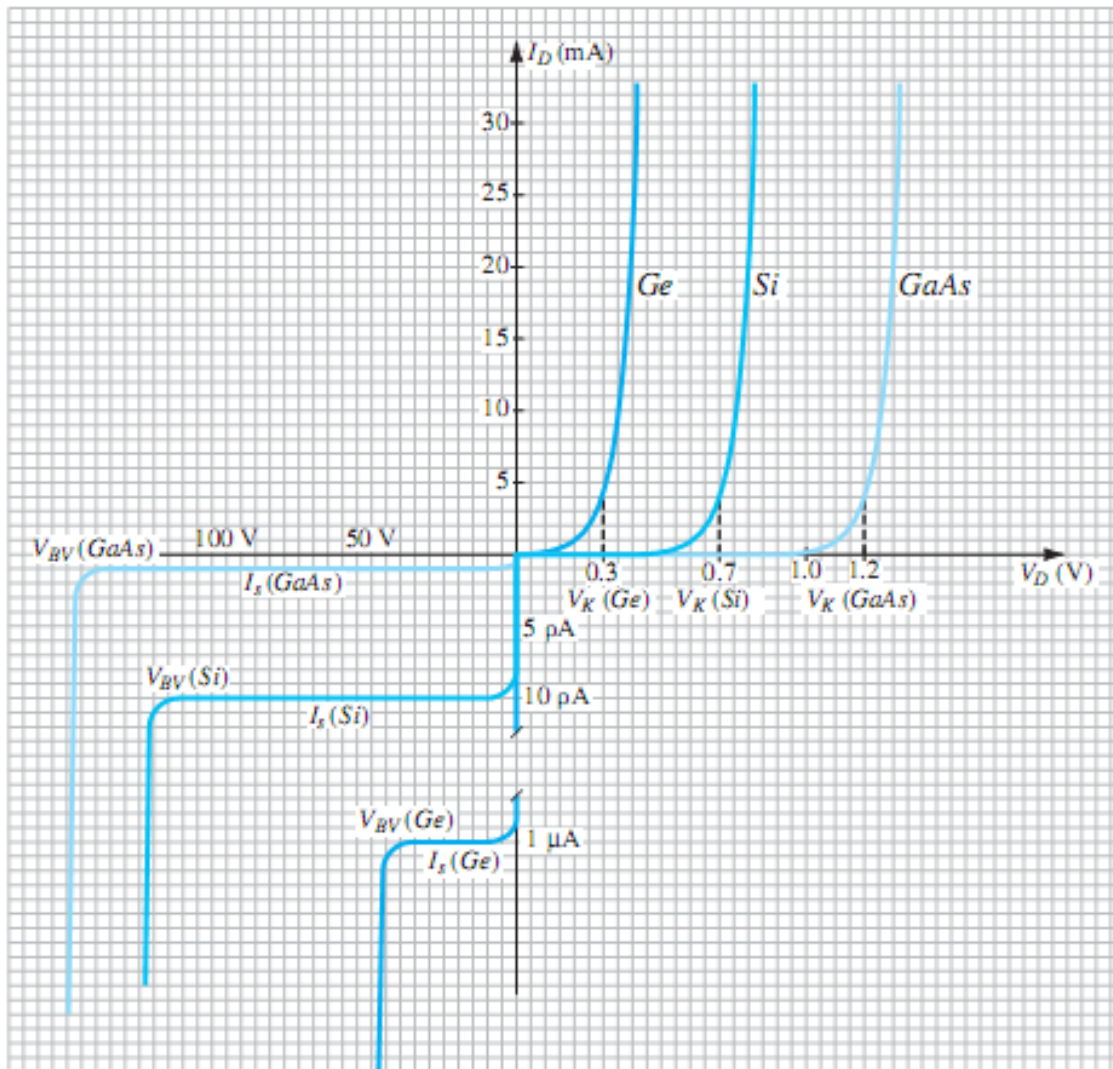
I. Quá trình quá độ

II. Mạch phi tuyến

1. Giới thiệu
2. Đặc tính của phần tử phi tuyến
3. Chế độ xác lập
4. Chế độ quá độ
- 5. Điốt và tranzito**
 - a) Điốt
 - b) Tranzito

III. Đường dây dài

Điốt (1)



Điốt (2)

VD1

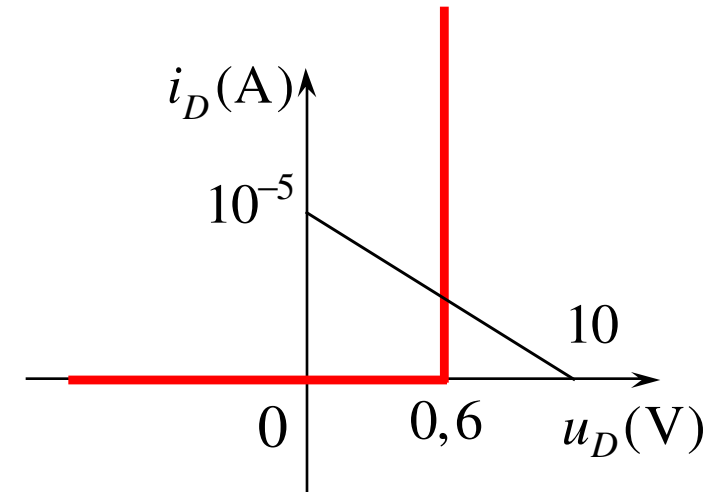
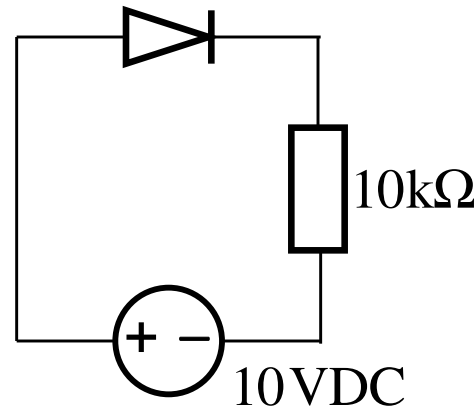
Tìm dòng điện trong mạch.

$$u_D(i) + 10^4 i = 10$$

$$\rightarrow u_D(i) = 10 - 10^4 i$$

$$\rightarrow u_D(i) = 0,6V$$

$$\rightarrow i = \frac{10 - 0,6}{10^4} = \boxed{9,4 \cdot 10^{-4} A}$$



Điốt (3)

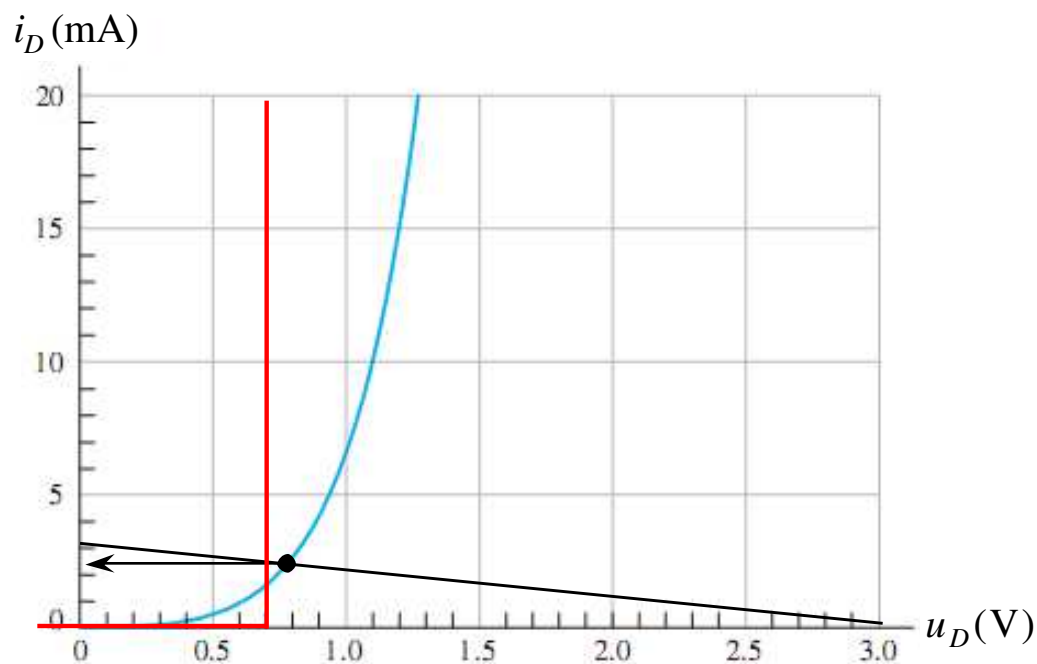
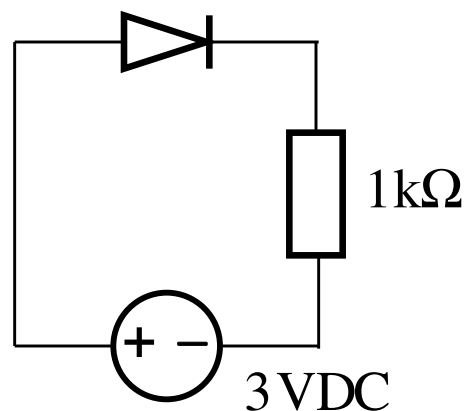
VD2

Tìm dòng điện trong mạch.

$$u_D(i) + 1000i = 3$$

$$\rightarrow u_D(i) = 3 - 1000i$$

$$\rightarrow i = \boxed{2,4 \text{ mA}}$$



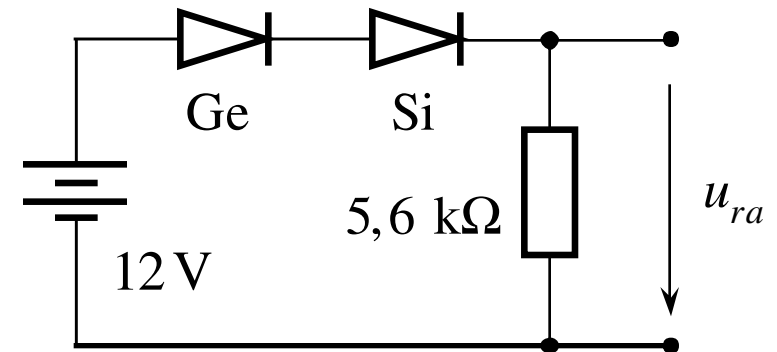
$$0,7 + 1000i = 3$$

$$\rightarrow i = \frac{3 - 0,7}{1000} = \boxed{2,3 \text{ mA}}$$

Điốt (4)

VD3

Tìm dòng qua điốt & điện áp ra.



$$0,3 + 0,7 + u_{ra} = 12$$

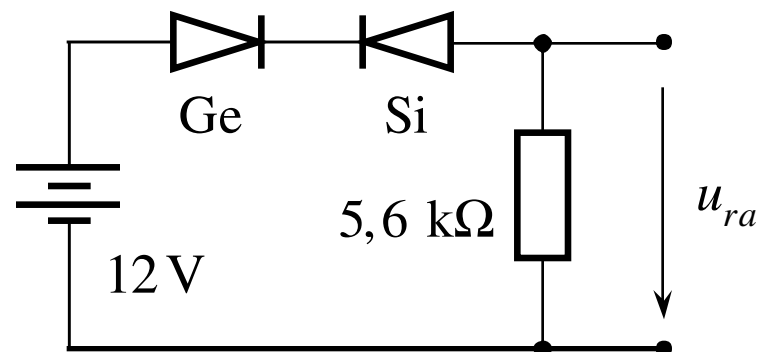
$$\rightarrow u_{ra} = 11\text{V}$$

$$i_D = i_R = \frac{11}{5600} = 1,96\text{mA}$$

Điốt (5)

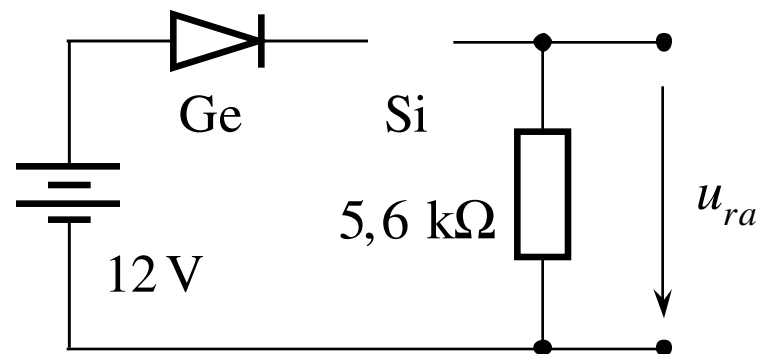
VD4

Tìm dòng qua điốt & điện áp ra.



$$u_{ra} = 0$$

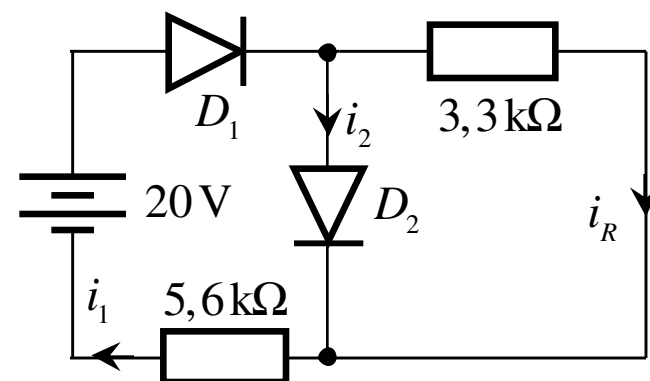
$$i_D = 0$$



Điốt (6)

VD5

Tính các dòng điện trong mạch.



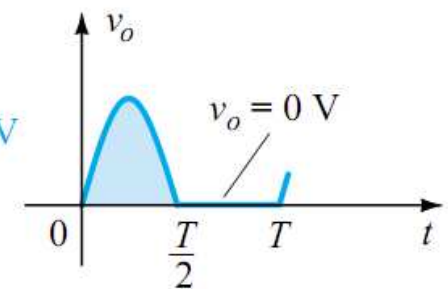
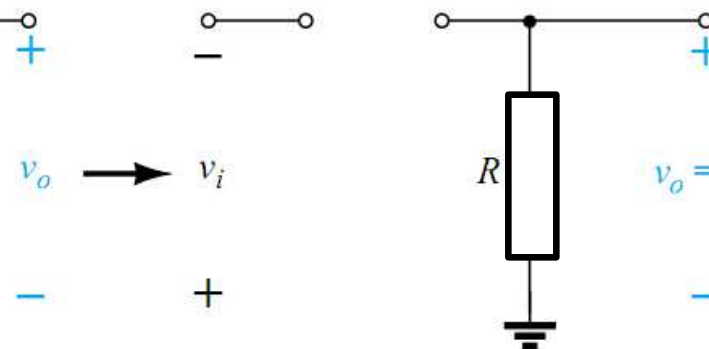
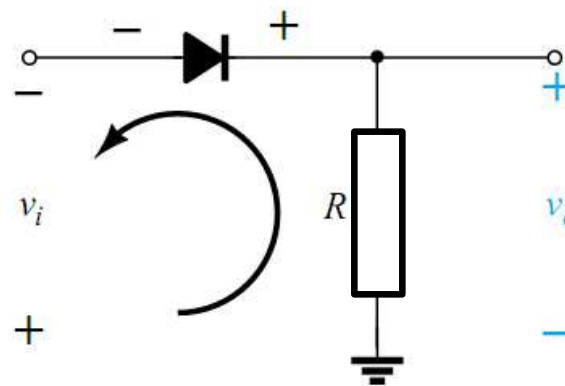
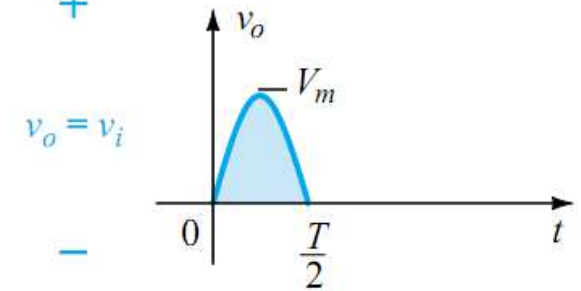
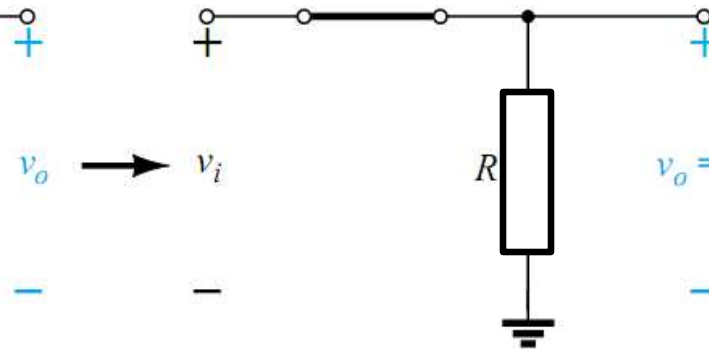
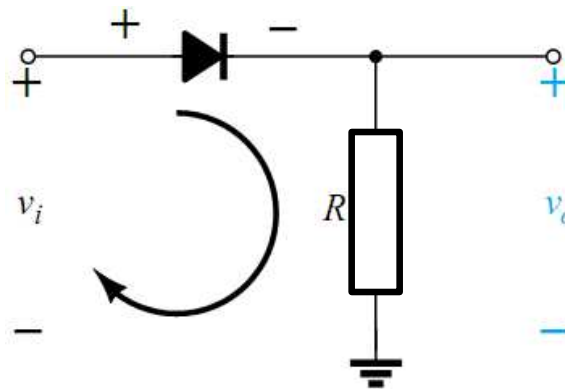
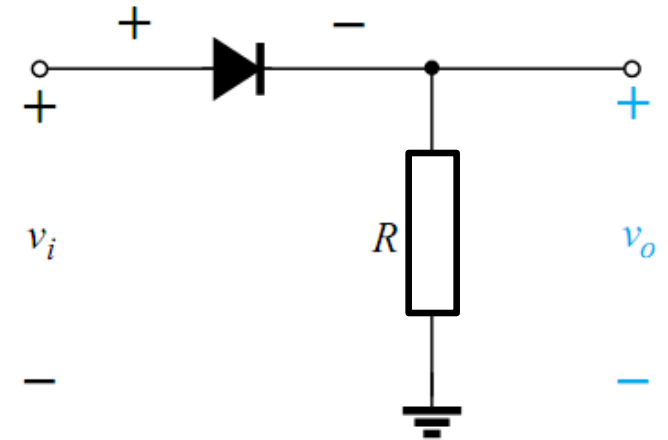
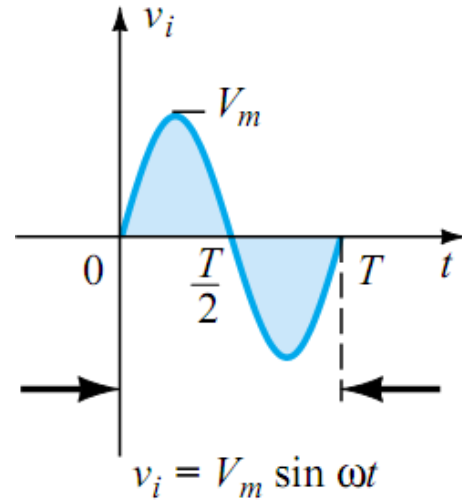
$$i_R = \frac{0,7}{3300} = 0,212\text{mA}$$

$$5600i_1 + 0,7 + 0,7 = 20$$

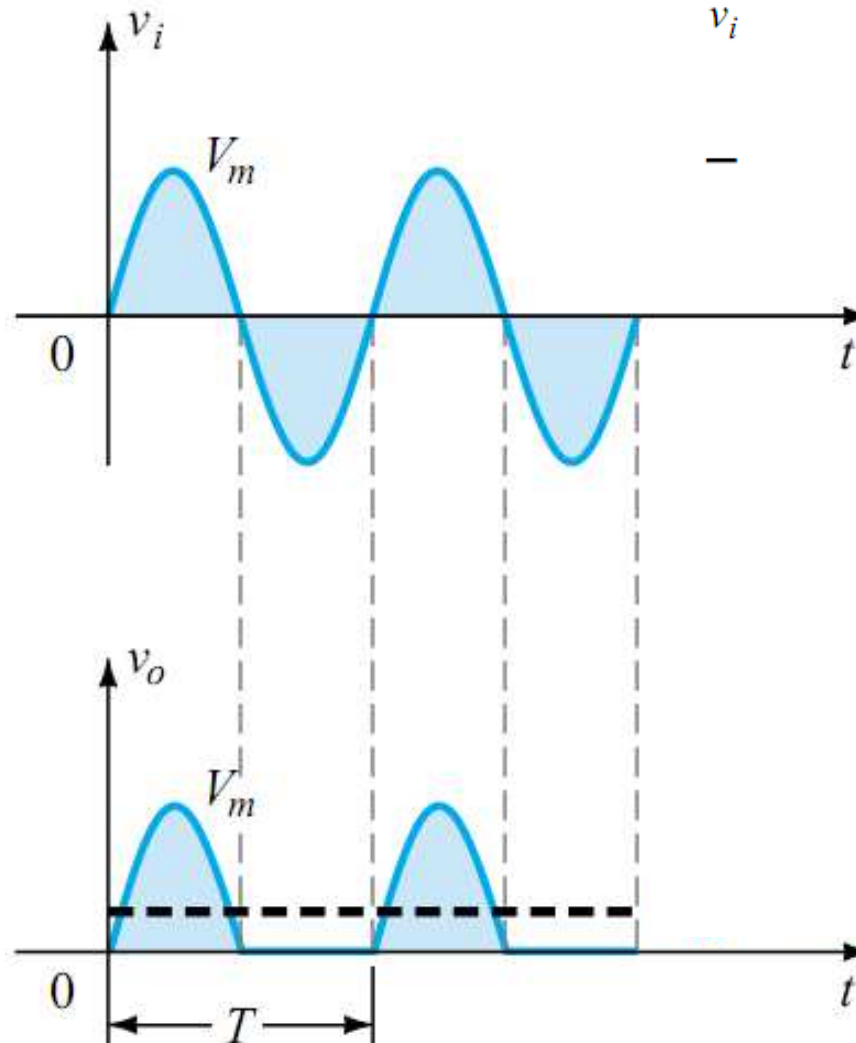
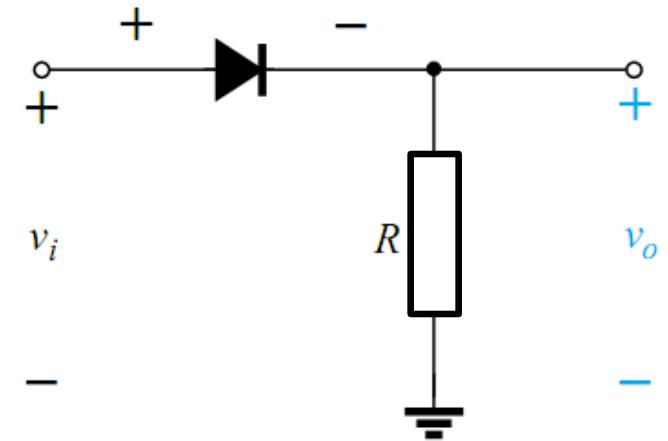
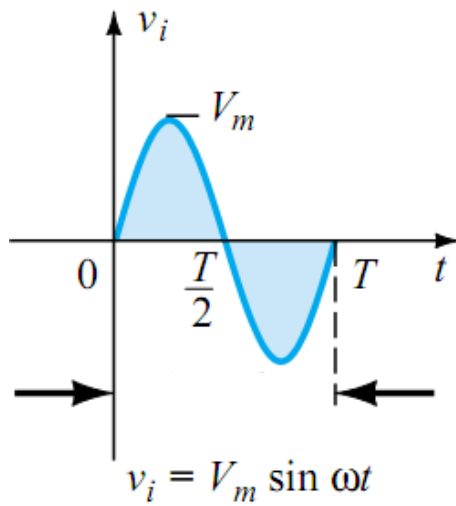
$$\rightarrow i_1 = \frac{20 - 0,7 - 0,7}{5600} = 3,32\text{mA}$$

$$i_2 = i_1 - i_R = 3,32 - 0,212 = 3,108\text{mA}$$

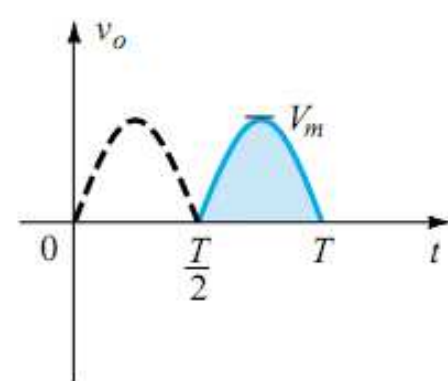
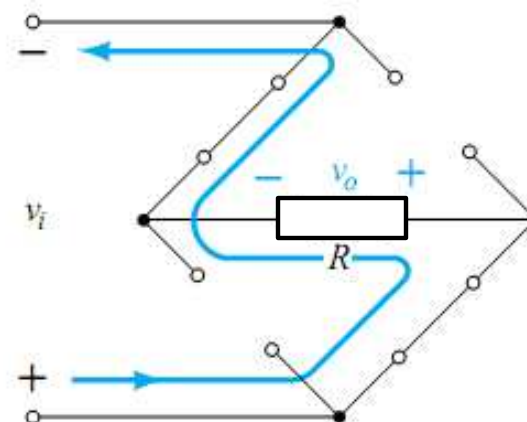
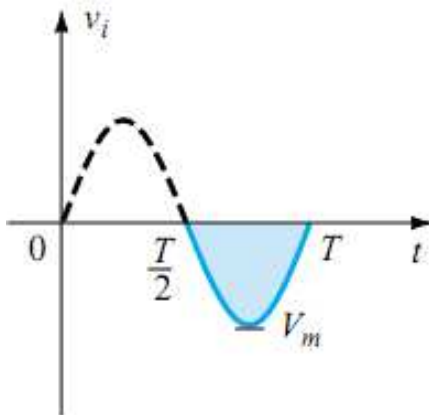
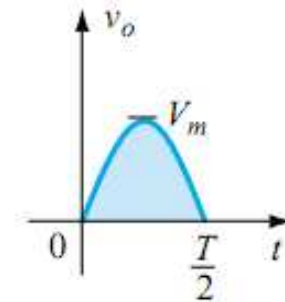
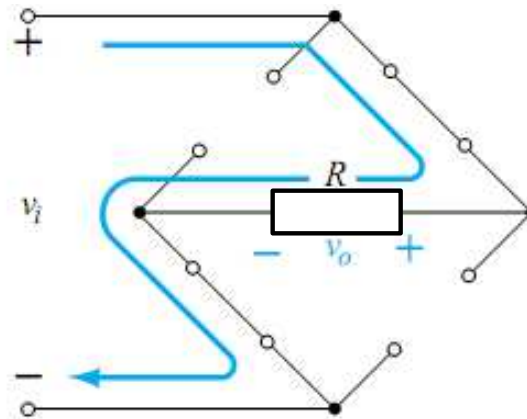
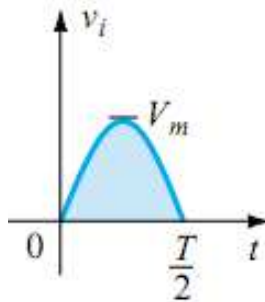
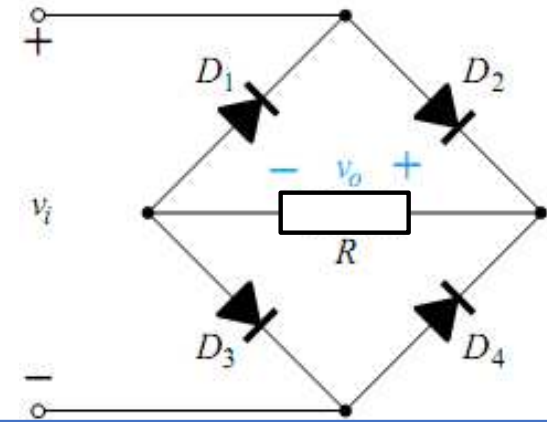
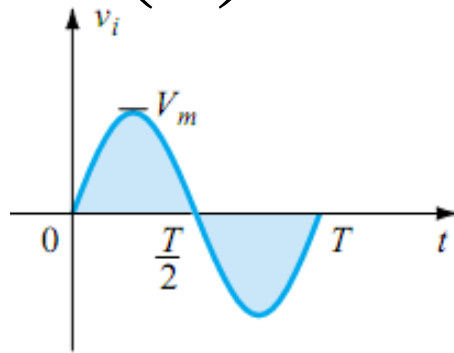
Điốt (7)



Điốt (8)



Điốt (9)



Lý thuyết mạch II

I. Quá trình quá độ

II. Mạch phi tuyến

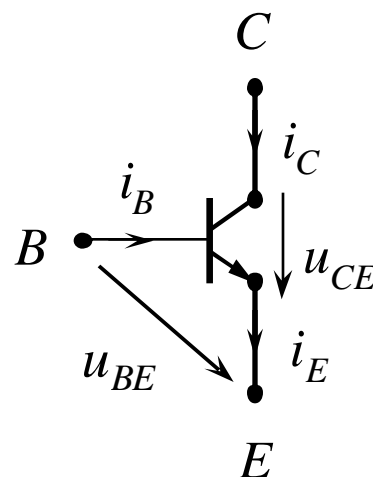
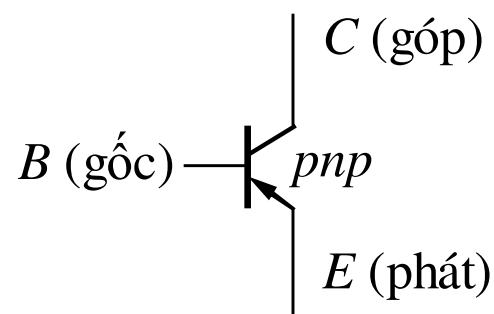
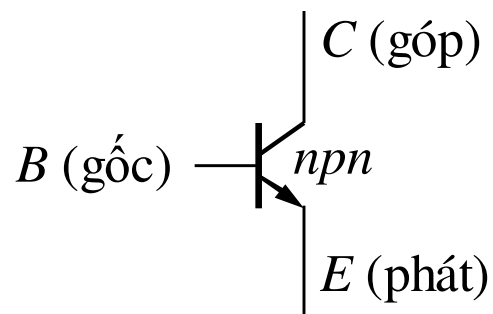
1. Giới thiệu
2. Đặc tính của phần tử phi tuyến
3. Chế độ xác lập
4. Chế độ quá độ

5. Điốt và tranzito

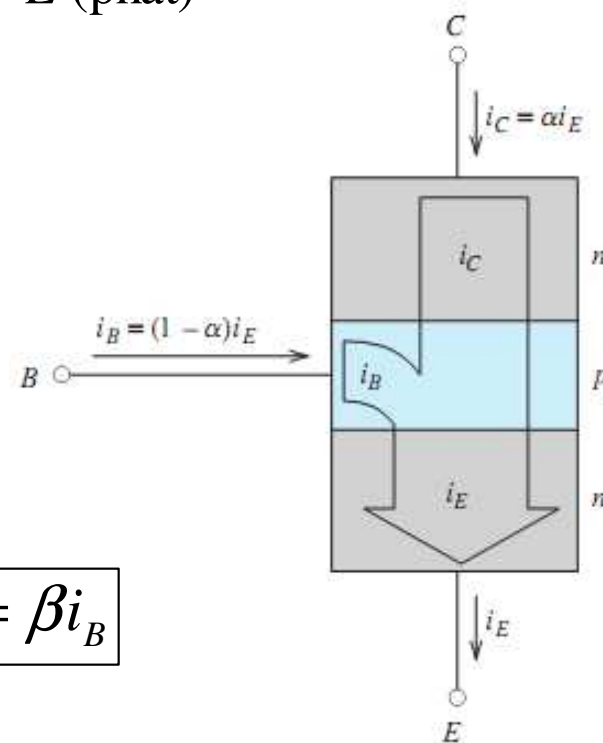
- a) Điốt
- b) Tranzito

III. Đường dây dài

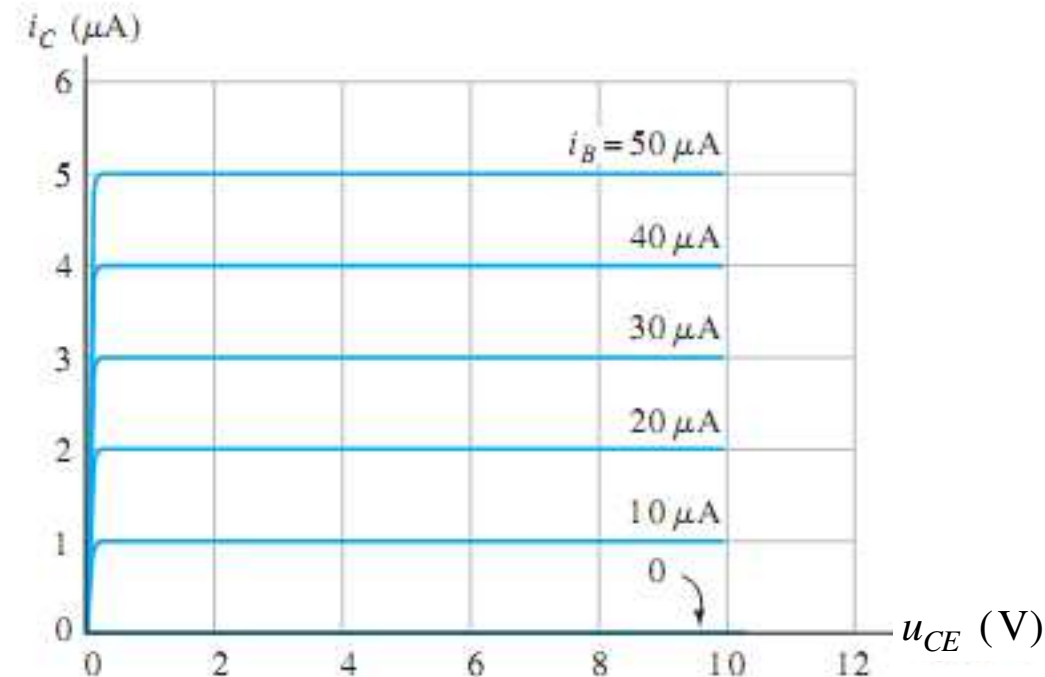
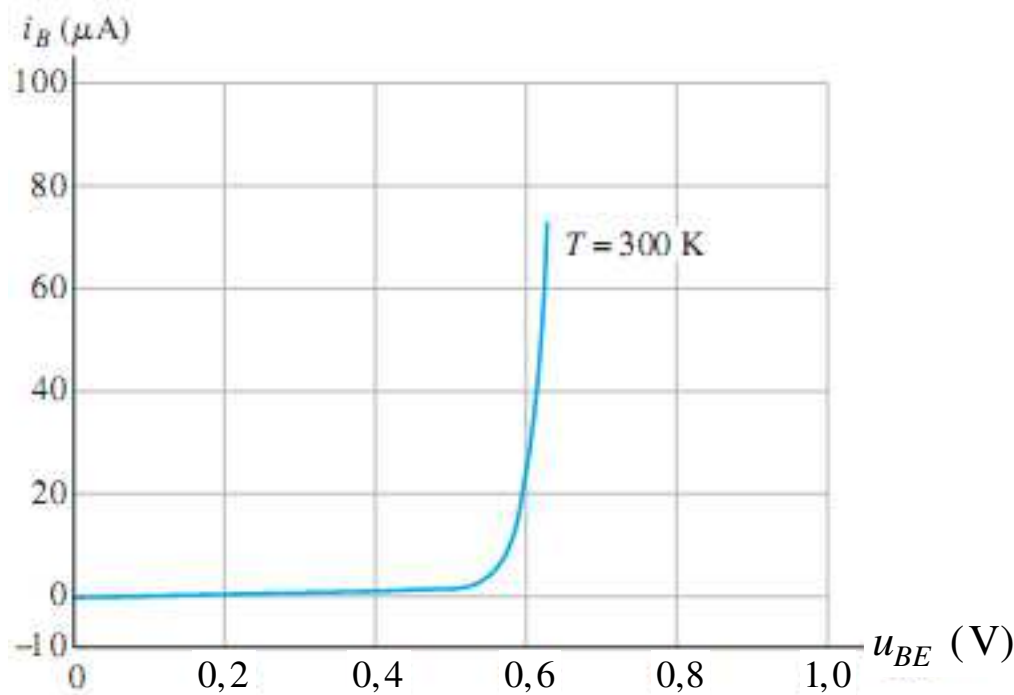
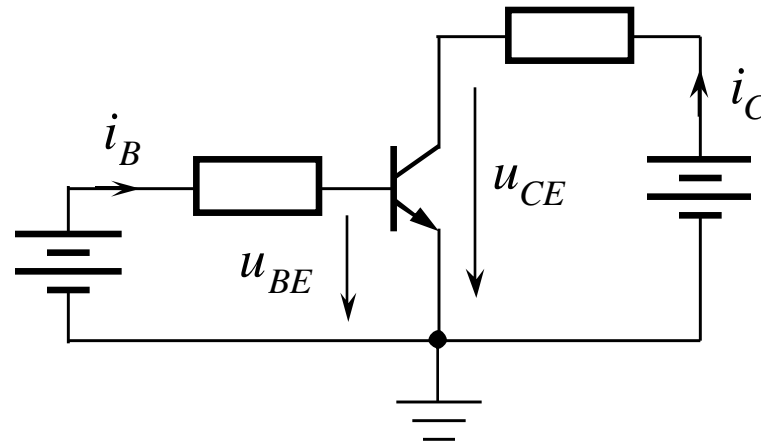
Tranzito (1)



$$i_C = \beta i_B$$



Tranzito (2)



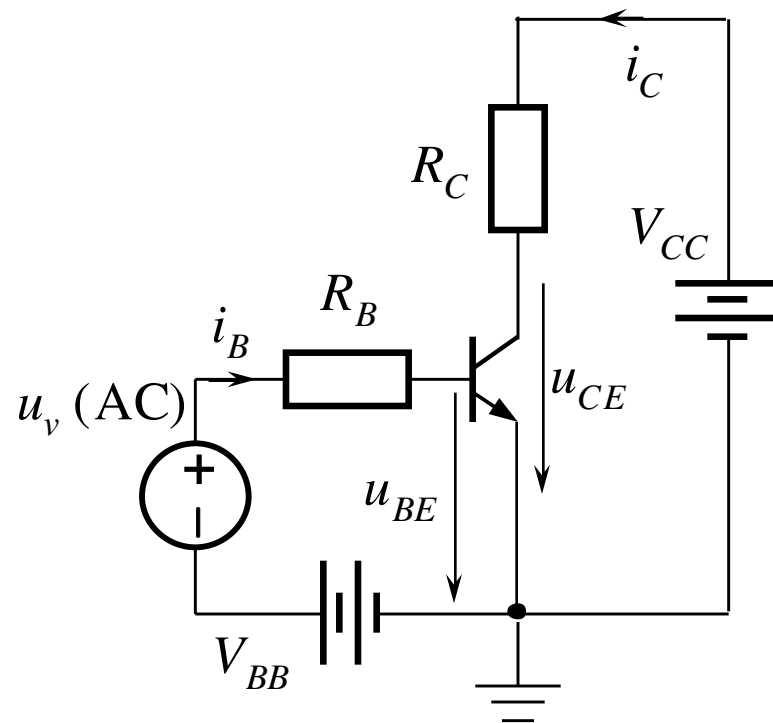
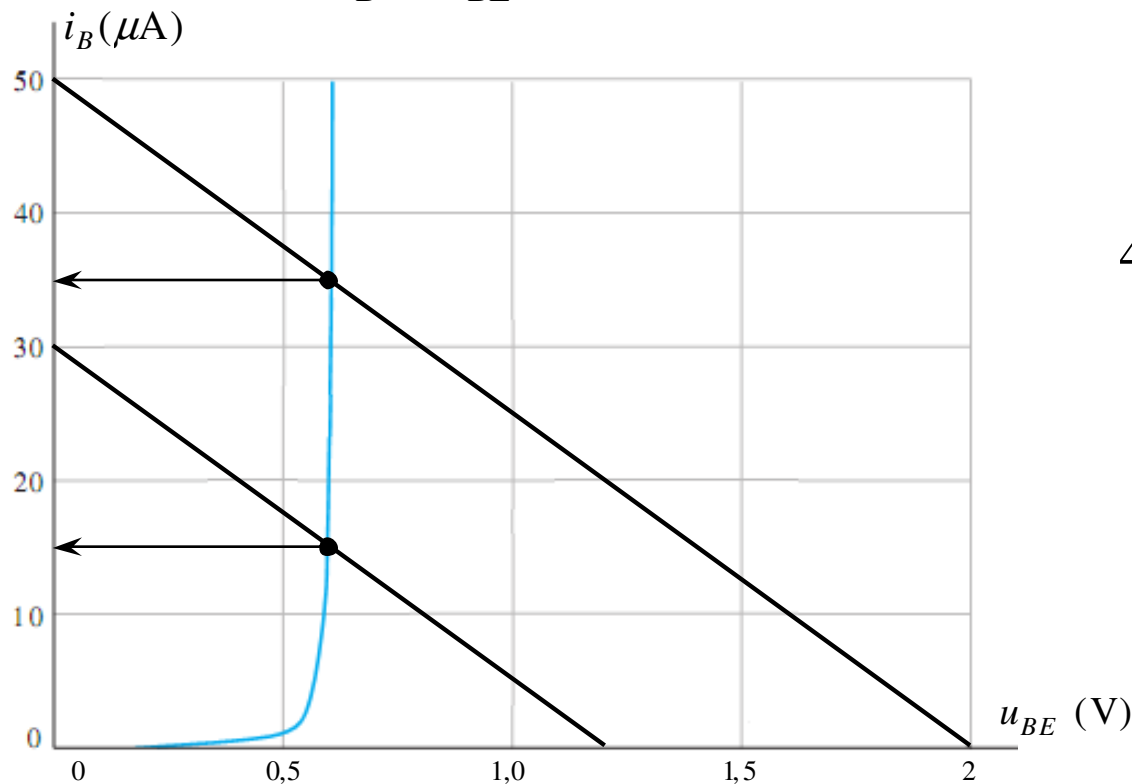
Tranzito (3)

VD

$V_{CC} = 10V$; $V_{BB} = 1,6V$; $R_B = 40k\Omega$; $R_C = 2k\Omega$;
 $u_v = 0,4\sin(2000\pi t)$ V. Tính u_{CEmin} , u_{CEmax} ?

$$R_B i_B + u_{BE} = V_{BB} + u_v$$

$$\rightarrow 40 \cdot 10^3 i_B + u_{BE} = 1,6 + 0,4 \sin(2000\pi t)$$



$$40 \cdot 10^3 i_{B \max} + u_{BE \max} = 1,6 + 0,4 = 2,0$$

$$\rightarrow u_{BE \max} = 2,0 - 4 \cdot 10^4 i_{B \max}$$

$$\rightarrow i_{B \max} = 35 \mu A$$

$$40 \cdot 10^3 i_{B \min} + u_{BE \min} = 1,6 - 0,4 = 1,2$$

$$\rightarrow u_{BE \min} = 1,2 - 4 \cdot 10^4 i_{B \min}$$

$$\rightarrow i_{B \min} = 15 \mu A$$

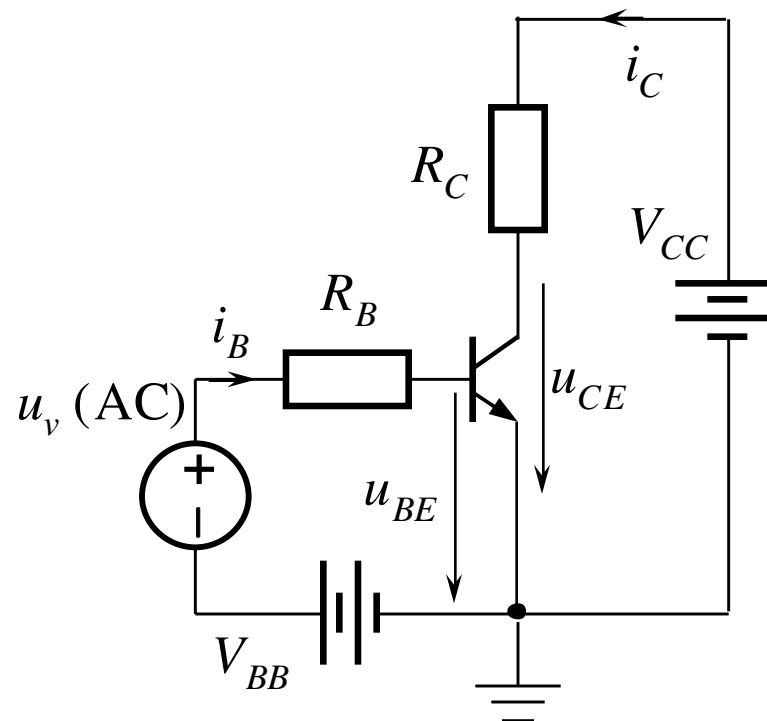
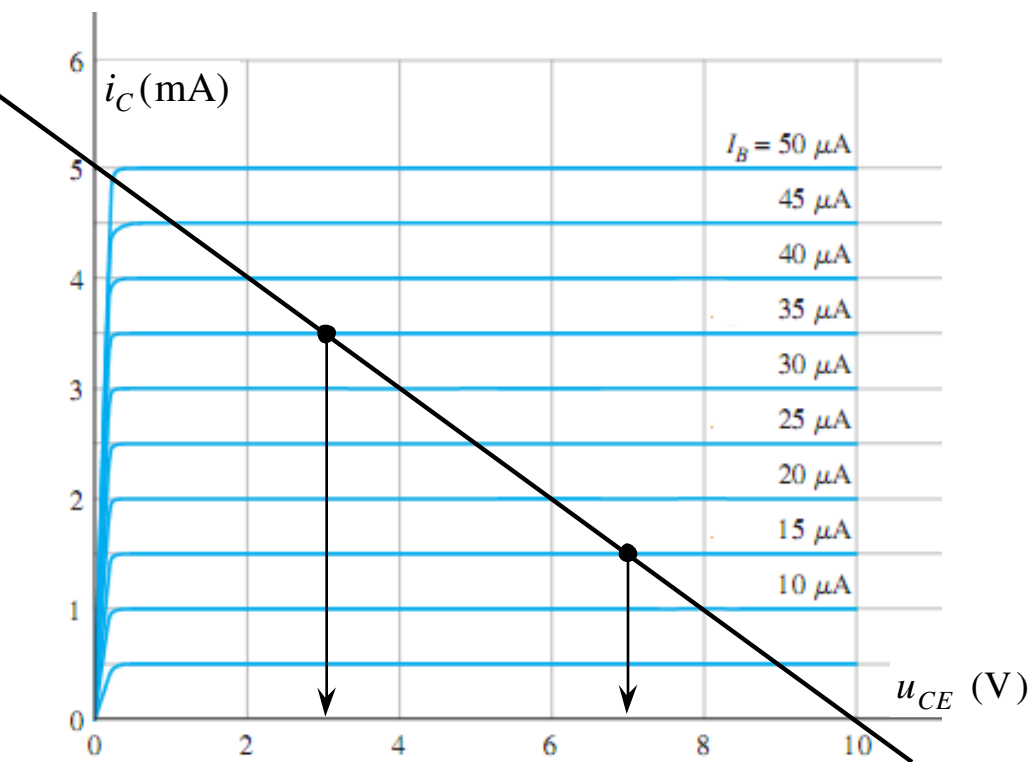
Tranzito (4)

VD

$V_{CC} = 10V$; $V_{BB} = 1,6V$; $R_B = 40k\Omega$; $R_C = 2k\Omega$;
 $u_v = 0,4\sin(2000\pi t)$ V. Tính u_{CEmin} , u_{CEmax} ?

$$i_{Bmax} = 35\mu A; \quad i_{Bmin} = 15\mu A$$

$$R_C i_C + u_{CE} = V_{CC} \rightarrow 2000i_C + u_{CE} = 10$$



$$u_{CE} = 10 - 2000i_C$$

$$i_{Bmax} = 35\mu A \rightarrow u_{CEmin} = 3V$$

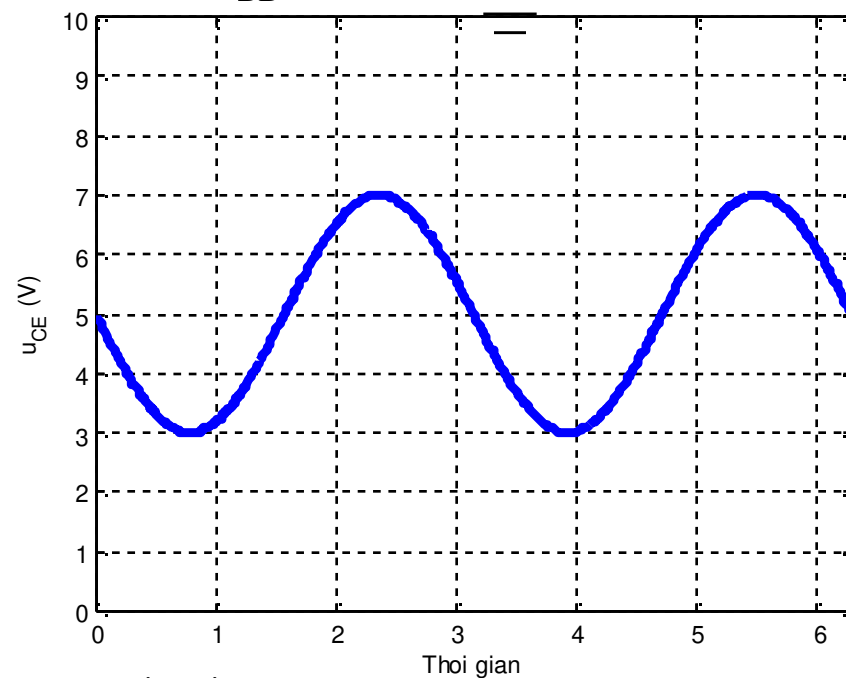
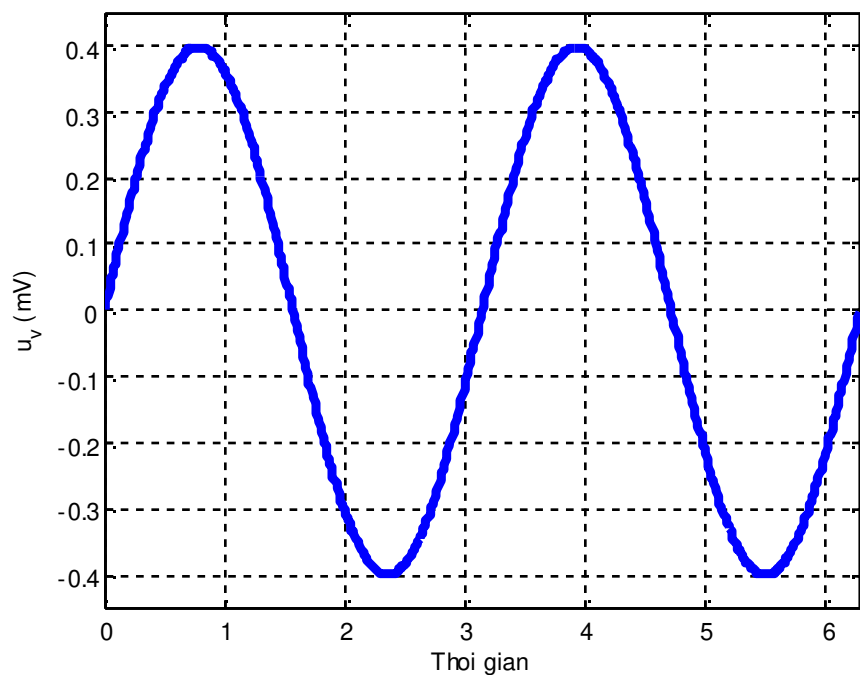
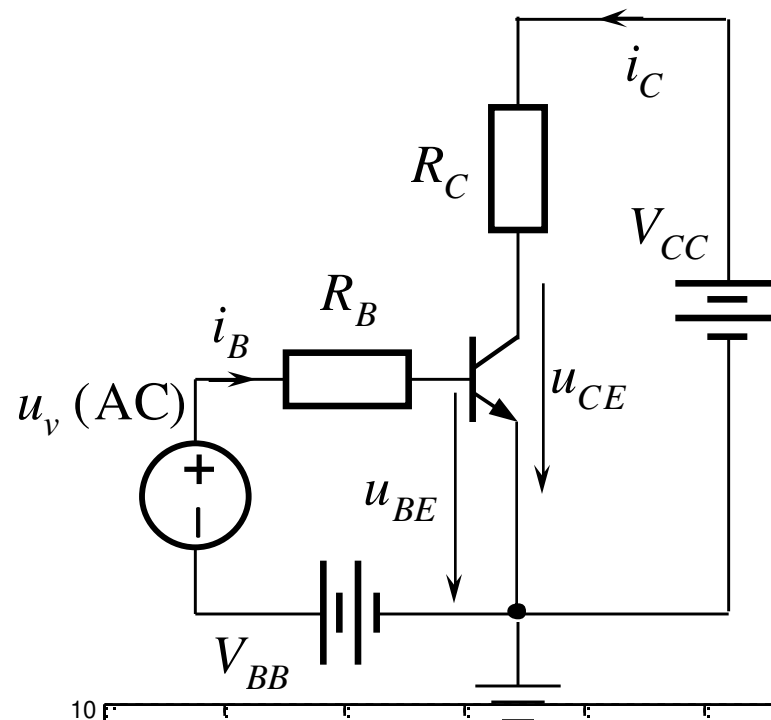
$$i_{Bmin} = 15\mu A \rightarrow u_{CEmax} = 7V$$

Tranzito (5)

VD

$V_{CC} = 10V$; $V_{BB} = 1,6V$; $R_B = 40k\Omega$; $R_C = 2k\Omega$;
 $u_v = 0,4\sin(2000\pi t)$ V. Tính u_{CEmin} , u_{CEmax} ?

$$u_{CEmin} = 3V; \quad u_{CEmax} = 7V$$



Lý thuyết mạch II

I. Quá trình quá độ

II. Mạch phi tuyến

1. Giới thiệu
2. Đặc tính của phần tử phi tuyến
3. Chế độ xác lập
4. Chế độ quá độ
5. Điốt và tranzito

III. Đường dây dài