



HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG

Posts & Telecommunications Institute of Technology

CHƯƠNG 1

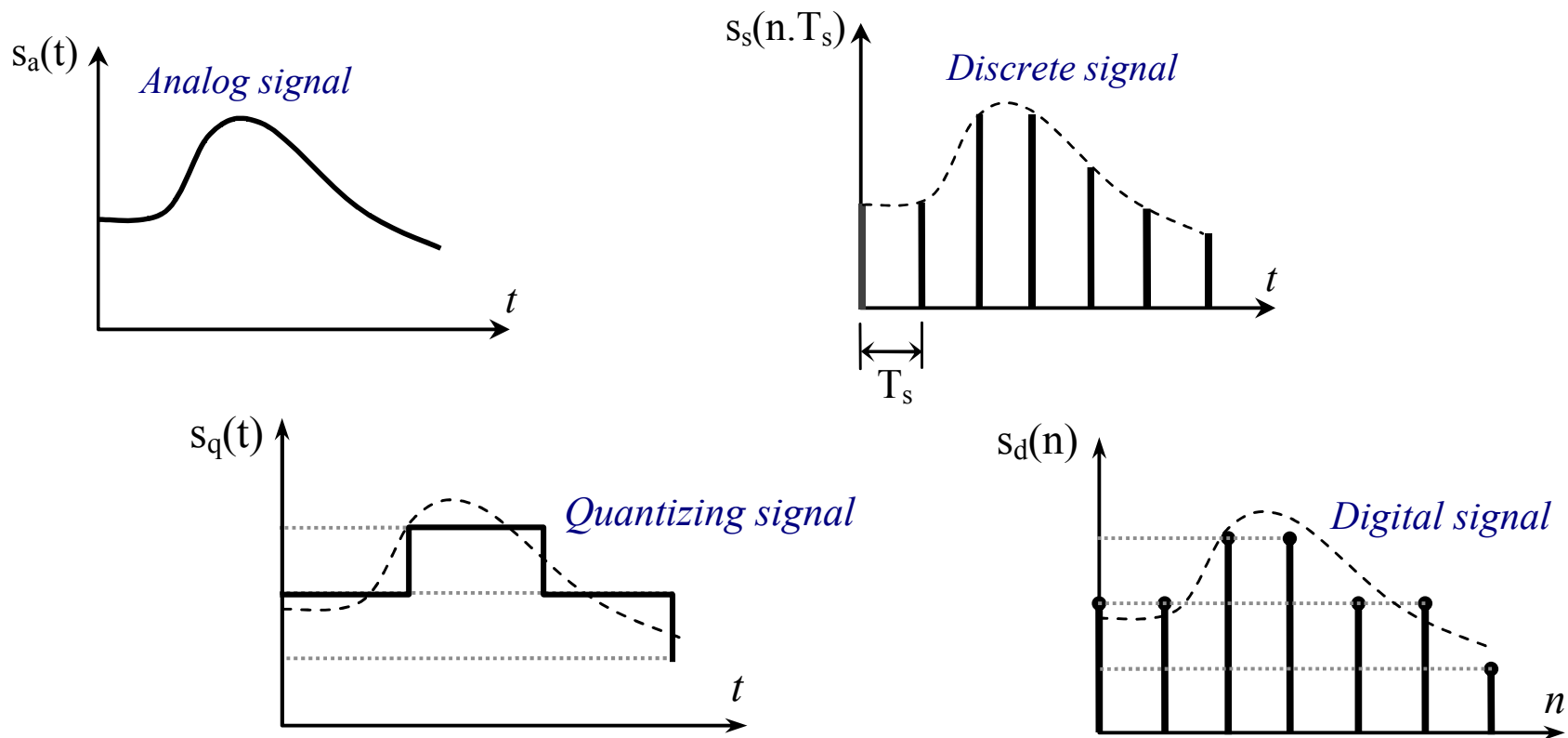
CÁC KHÁI NIỆM, ĐỊNH LUẬT VÀ CÁC PHƯƠNG PHÁP CƠ BẢN PHÂN TÍCH MẠCH ĐIỆN

Nội dung

1. Tổng quan
2. Các thông số tác động và thụ động
3. Biểu diễn phức các tác động điều hòa. Trở kháng và dẫn nạp
4. Các khái niệm cơ bản của mạch điện
5. Các định luật KIRCHHOFF
6. Một số phương pháp phân tích mạch điện.

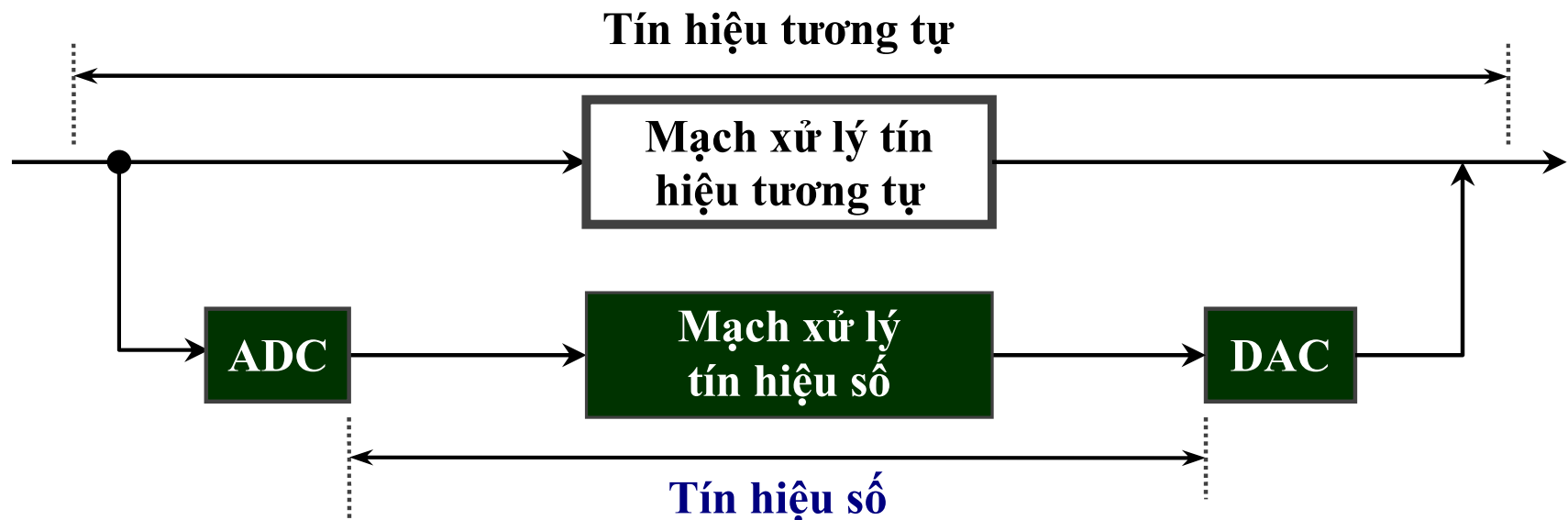
1. Tổng quan (1)

- Sự tạo ra, thu nhận và xử lý tín hiệu là những quá trình phức tạp xảy ra trong các thiết bị & hệ thống khác nhau. Việc phân tích về lý thuyết sẽ được tiến hành thông qua các loại mô hình gọi là mạch điện.
- **Tín hiệu là dạng biểu hiện vật lý của thông tin**, nó quy định tính chất và kết cấu của các hệ thống mạch. Về mặt toán học, tín hiệu được biểu diễn bởi hàm của các biến độc lập $S(x,y,\dots)$.



1. Tổng quan (2)

- Các nguồn tín hiệu trong tự nhiên được biểu diễn theo nhiều dạng khác nhau, ví dụ: âm thanh, hình ảnh, chuyển động cơ học...
- Để xử lý hoặc lưu trữ các tín hiệu đó người ta thường chuyển đổi chúng thành tín hiệu điện - tín hiệu tương tự (điện áp hoặc dòng điện) thông qua **Sensor, detector, or transducer**.
- Mô hình xử lý hai loại tín hiệu



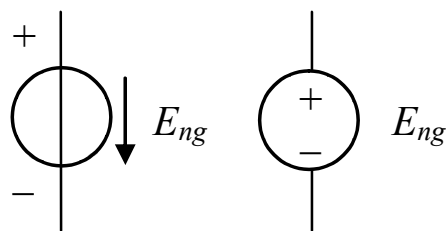
ADC: Analog to Digital Converter

DAC: Digital to Analog Converter

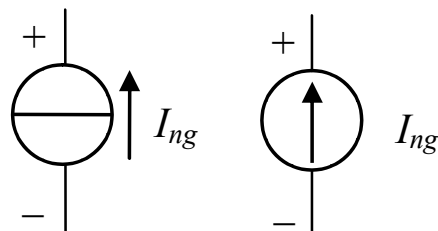
2. Các thông số tác động và thụ động của mạch điện (1)

2.1. Các thông số tác động của mạch điện.

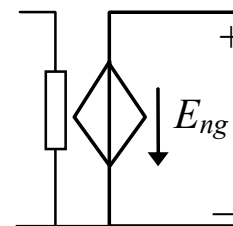
- Thông số tác động còn gọi là thông số **tạo nguồn**. Đó là các thông số đặc trưng cho tính chất **tạo ra tín hiệu và cung cấp năng lượng** của các phần tử mạch điện. Thông số đặc trưng cho nguồn có thể là:
 - **Sức điện động của nguồn**: một đại lượng vật lý có giá trị là điện áp hở mạch của nguồn, đo bằng đơn vị “vôn” và được ký hiệu là V .
 - **Dòng điện của nguồn**: một đại lượng vật lý có giá trị là dòng điện ngắn mạch của nguồn, đo bằng đơn vị “ampe” và được ký hiệu là A .
- Các ký hiệu nguồn



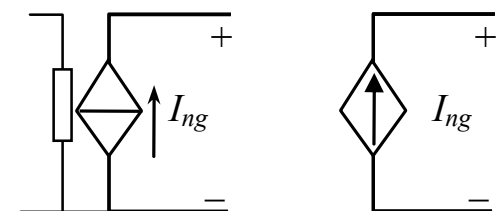
a) Nguồn áp độc lập



b) Nguồn dòng độc lập



c) Nguồn áp phụ thuộc

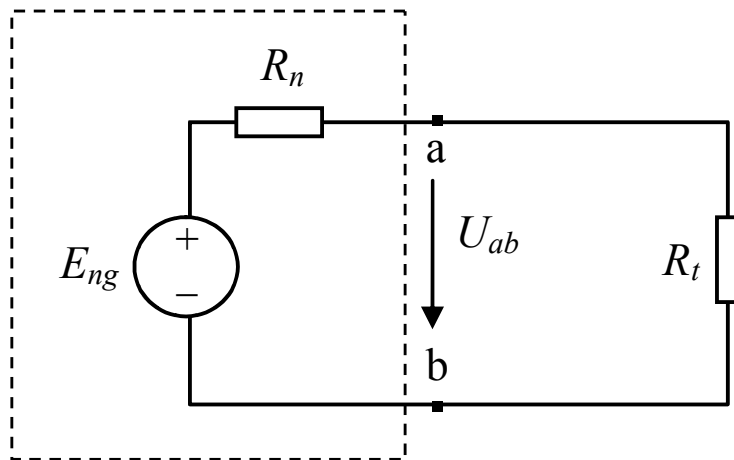


d) Nguồn dòng phụ thuộc

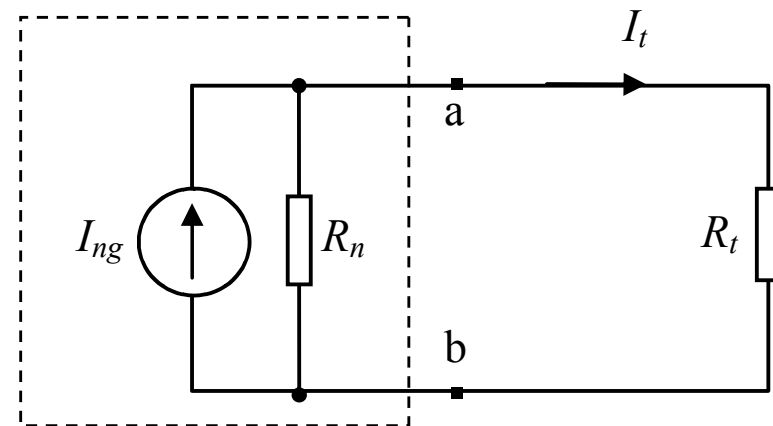
2. Các thông số tác động và thụ động của mạch điện (2)

Nguồn điện lý tưởng là không có tổn hao năng lượng. Nhưng trong thực tế phải tính đến tổn hao, có nghĩa là tồn tại điện trở trong của nguồn R_n .

$$U_{ab} = \frac{E_{ng}}{R_n + R_t} R_t$$



$$I_t = \frac{I_{ng}}{R_n + R_t} R_n$$

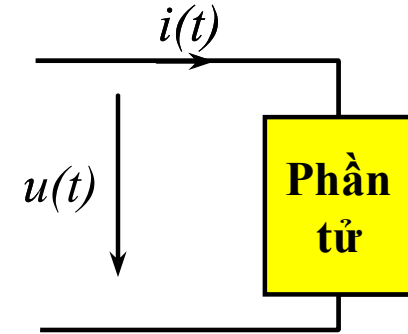


- Yêu cầu: + Với nguồn áp R_n nhỏ ($U_{ab} \rightarrow E_{ng}$)
+ Với nguồn dòng: R_n lớn ($I_t \rightarrow I_{ng}$)

2. Các thông số tác động và thụ động của mạch điện (3)

2.2. Các thông số thụ động của mạch điện.

$$W_T = \int_{t_1}^{t_2} p(t)dt = \int_{t_1}^{t_2} u(t)i(t)dt$$



Trong đó $p(t) = u(t).i(t)$ là công suất tức thời.

- Nếu $u(t)$ và $i(t)$ ngược chiều thì $p(t)$ có giá trị âm \rightarrow phần tử cung cấp năng lượng, nghĩa là phần tử có tính chất tích cực (ví dụ nguồn).
- Nếu $u(t)$ và $i(t)$ cùng chiều thì $p(t)$ có giá trị dương, vậy tại thời điểm đó phần tử nhận năng lượng, nghĩa là phần tử có tính chất thụ động.
- Đặc trưng cho sự tiêu tán và tích lũy năng lượng là các thông số thụ động của phần tử.

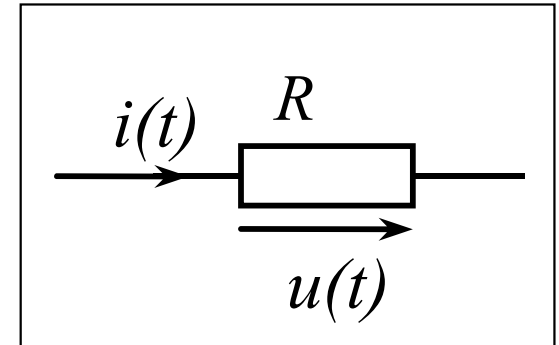
2. Các thông số tác động và thụ động của mạch điện (4)

2.2. Các thông số thụ động của mạch điện.

a. Thông số không quán tính (R).

Thông số không quán tính đặc trưng cho tính chất của phần tử khi điện áp và dòng điện trên nó tỉ lệ trực tiếp với nhau. Nó được gọi là điện trở (R), R là một số thực, và xác định theo công thức:

$$u(t) = R.i(t) \text{ hay } i(t) = \frac{1}{R}u(t) = G.u(t)$$



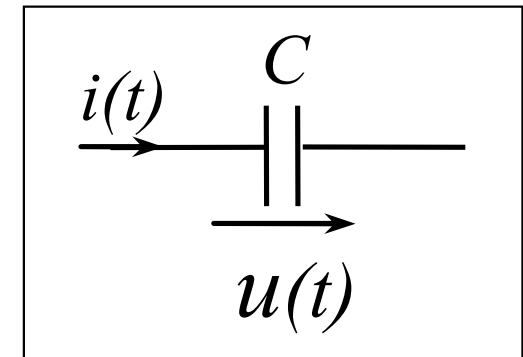
- + $G = 1/R$ gọi là điện dẫn, có đơn vị là $1/\Omega$ hay S (Siemen).
- + Về mặt thời gian, dòng điện và điện áp trên phần tử thuần trở là **trùng pha** nên năng lượng nhận được trên phần tử thuần trở luôn luôn dương, vì vậy R đặc trưng cho sự **tiêu tán năng lượng**.

2. Các thông số tác động và thụ động của mạch điện (5)

b. Thông số có quán tính.

- Thông số điện dung (C) đặc trưng cho tính chất của phần tử khi dòng điện chạy trên nó tỉ lệ với tốc độ biến thiên của điện áp, được xác định theo công thức:

$$i(t) = C \frac{du(t)}{dt} \quad \text{hay} \quad u(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt = \frac{q(t)}{C}$$



$$[C] = \text{F (fara)}.$$

Năng lượng tích lũy trên C: $W_E = \int p(t) dt = \int C \cdot \frac{du}{dt} \cdot u(t) \cdot dt = \frac{1}{2} C u^2$

- Xét về mặt năng lượng, thông số C đặc trưng cho sự tích lũy năng lượng điện trường.
- Xét về mặt thời gian điện áp trên phần tử thuần dung chậm pha so với dòng điện một góc $\pi/2$.

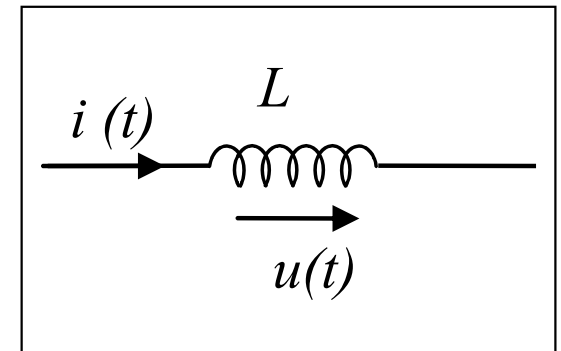
2. Các thông số tác động và thụ động của mạch điện (6)

b. Thông số có quán tính.

- Thông số điện cảm (L) đặc trưng cho tính chất của phần tử mà điện áp trên nó tỉ lệ với tốc độ biến thiên của dòng điện:

$$u(t) = L \frac{di(t)}{dt} \quad \text{hay} \quad i(t) = \frac{1}{L} \int_0^t u(t) dt$$

$$[L] = \text{H (Henry)}.$$



Năng lượng tích lũy trên L:
$$W_H = \int L \frac{di}{dt} i(t) dt = \frac{1}{2} Li^2$$

- Xét về mặt năng lượng, thông số L đặc trưng cho sự tích lũy năng lượng từ trường.
- Xét về mặt thời gian, điện áp trên phần tử thuần cảm nhanh pha so với dòng điện là $\pi/2$.

2. Các thông số tác động và thụ động của mạch điện (7)

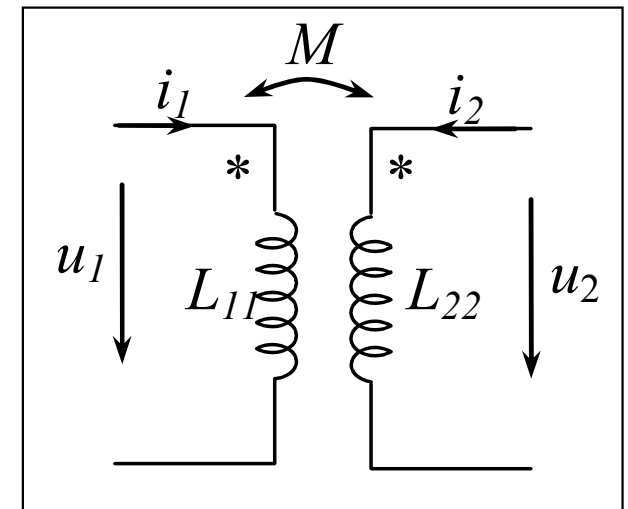
b. Thông số có quán tính.

- Thông số hồ cảm (M) có cùng bản chất vật lý với thông số điện cảm, đặc trưng cho sự ảnh hưởng qua lại của hai phần tử đặt gần nhau, nối hoặc không nối về điện, khi có dòng điện chạy trong chúng:

$$u_{21} = M_{21} \frac{di_1}{dt} \qquad u_{12} = M_{12} \frac{di_2}{dt}$$

$$u_1 = L_{11} \frac{di_1}{dt} \pm M_{12} \frac{di_2}{dt}$$

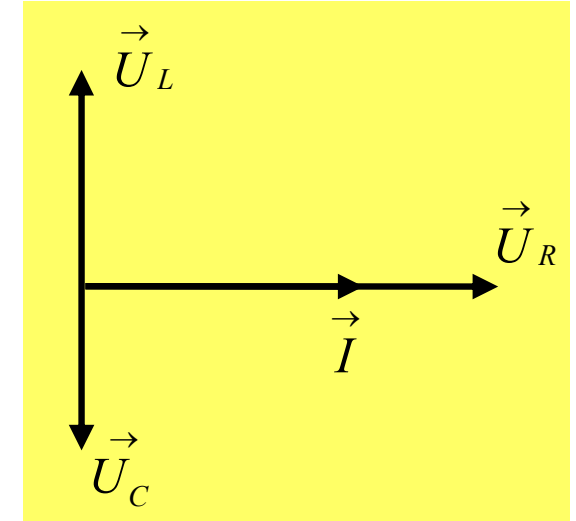
$$u_2 = \pm M_{21} \frac{di_1}{dt} + L_{22} \frac{di_2}{dt}$$



- Trong đó, nếu các dòng điện cùng chảy vào hoặc cùng chảy ra khỏi đầu có đánh dấu * (đầu cùng tên) thì các biểu thức trên lấy dấu '+', nếu ngược lại lấy dấu '-'.

2. Các thông số tác động và thụ động của mạch điện (8)

Quan hệ về pha giữa dòng điện và điện áp trên các phần tử R, L, C



c. Thông số của các phần tử mắc nối tiếp và song song

Khi có k phần tử mắc nối tiếp hoặc song song

Cách mắc	Thông số điện trở	Thông số điện cảm	Thông số điện dung
Nối tiếp	$R = \sum_k R_k$	$L = \sum_k L_k$	$\frac{1}{C} = \sum_k \frac{1}{C_k}$
Song song	$\frac{1}{R} = \sum_k \frac{1}{R_k}$	$\frac{1}{L} = \sum_k \frac{1}{L_k}$	$C = \sum_k C_k$

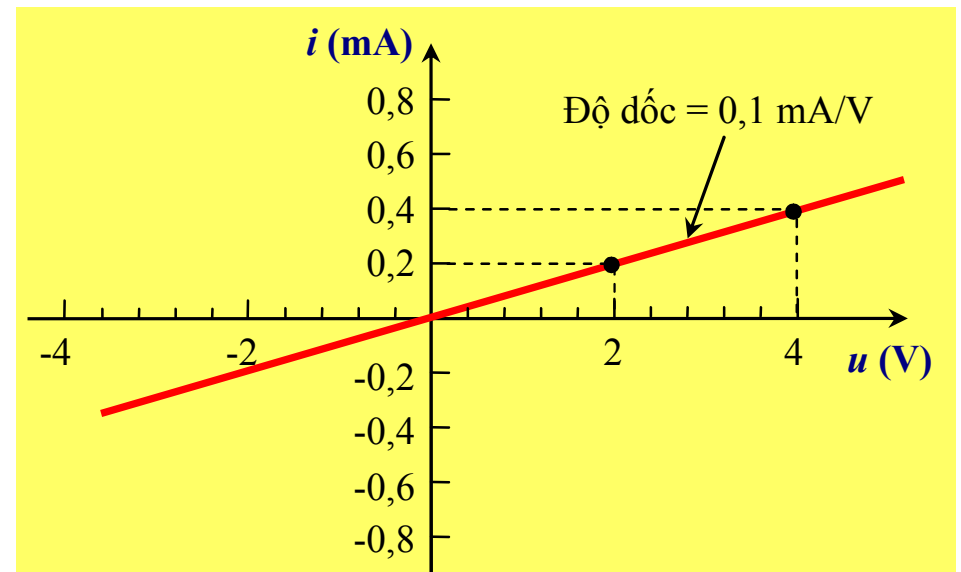
2. Các thông số tác động và thụ động của mạch điện (9)

2.3. Đặc tuyến Điện áp – Dòng điện (Đặc tuyến V-A)

- Đặc tuyến **điện áp – dòng điện** (hay còn gọi là đặc tuyến V-A) của một phần tử mạch điện mô tả mối **quan hệ giữa dòng điện chạy qua phần tử và điện áp rơi trên nó**.
- Đồ thị đặc tuyến V-A của một cấu kiện vẽ tất cả các điểm làm việc của cấu kiện đó.
- Ví dụ một điện trở có đặc tuyến V-A theo định luật Ohm là: $i = u/R$. Độ dốc của đặc tuyến tính được như sau:

$$\frac{di}{du} = \frac{1}{R}$$

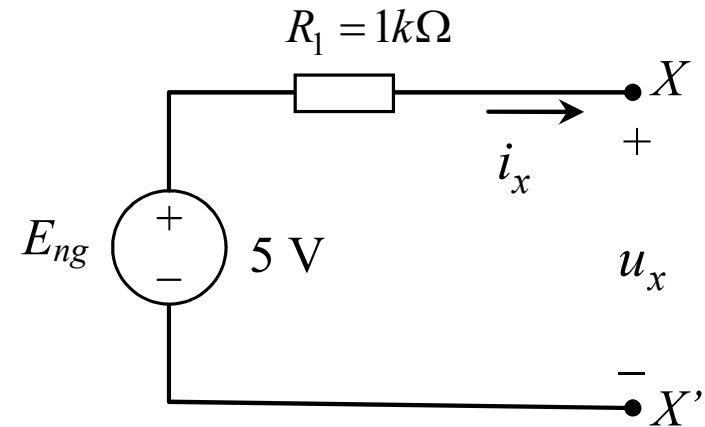
- Ví dụ với điện trở $R = 10k\Omega$, độ dốc của đặc tuyến là $0,1 \text{ mA/V}$



2. Các thông số tác động và thụ động của mạch điện (10)

Ví dụ 1.1.

Vẽ đặc tuyến V-A cho hai điểm $X-X'$ dòng i_x chạy từ X đến X' . Khi có một phần tử nối vào hai điểm đó (ví dụ một điện trở có giá trị trong khoảng $0 < R_L < \infty$).



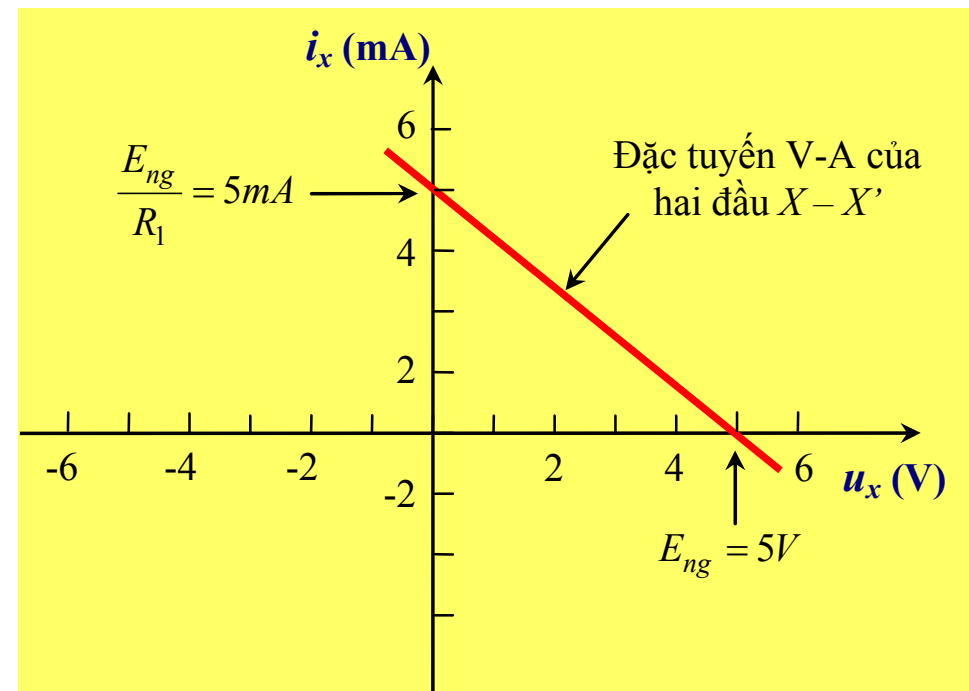
Giải

Ta thấy $u_x = E_{ng} - u_{R1} = E_{ng} - i_x R_1$

$$\rightarrow i_x = \frac{E_{ng} - u_x}{R_1} = -\frac{1}{R_1} u_x + \frac{E_{ng}}{R_1}$$

Độ dốc của đặc tuyến là:

$$\frac{di_x}{du_x} = -\frac{1}{R_1}$$



2. Các thông số tác động và thụ động của mạch điện (11)

Bài tập 1.1

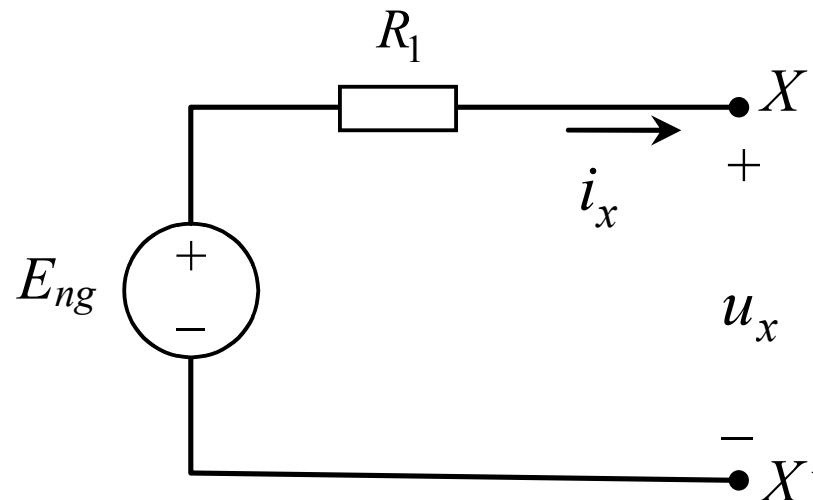
Trên cùng một hệ trục tọa độ, vẽ đặc tuyến V-A của các điện trở có giá trị: $1\text{k}\Omega$, $5\text{k}\Omega$ và 20Ω .

Bài tập 1.2

Vẽ đặc tuyến V-A cho hai điểm $X-X'$ trên hình B1.1 khi $R_1 = 10\text{k}\Omega$, $E_{ng} = 5\text{V}$.

Bài tập 1.3

Vẽ đặc tuyến V-A cho hai điểm $X-X'$ trên hình B1.1 khi $R_1 = 1\text{k}\Omega$, $E_{ng} = 10\text{V}$.



Hình B1.1

3. Biểu diễn phức các tác động điều hòa, trở kháng & dẫn nạp (1)

3.1. Cách biểu diễn phức các tác động điều hòa

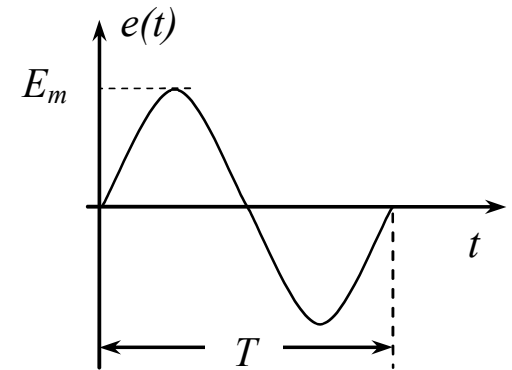
1.3.1. Cách biểu diễn phức các tác động điều hòa

Xét cách biểu diễn phức từ công thức Euler:

$$e^{j\varphi} = \cos \varphi + j \sin \varphi$$

Khi có một dao động điều hòa, ví dụ sức điện động:

$$e(t) = E_m \cos(\omega t + \varphi_u)$$



Ta có thể viết: $e(t) = \operatorname{Re} \mathbf{E}$

Với

$$\mathbf{E} = E_m e^{j(\omega t + \varphi_u)} = E_m e^{j\varphi} e^{j\omega t}$$

$$\mathbf{E}_m = E_m e^{j\varphi_u}$$

Thông thường biên độ phức được tính theo

biên độ hiệu dụng: $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$

Ví dụ: Điện áp

$$u = 220\sqrt{2} \cos(\omega t + 60^\circ)$$

Dạng phức sẽ là:

$$\mathbf{U} = 220 e^{j(\omega t + 60^\circ)}$$

3. Biểu diễn phức các tác động điều hòa, trở kháng & dẫn nạp (2)

3.1. Cách biểu diễn phức các tác động điều hoà (tt)

- Việc biểu diễn tín hiệu tuần hoàn theo dạng phức rất thuận lợi khi ta chuyển các phương trình vi phân, tích phân ở miền thời gian sang các phương trình đại số ở miền tần số.
- Xét tín hiệu tuần hoàn $u(t) = U_M \cos(\omega t)$, biểu diễn dạng phức của nó:

$$\mathfrak{U} = U_M e^{j\omega t}$$

- Với phép đạo hàm: $\frac{d\mathfrak{U}}{dt} = j\omega U_M e^{j\omega t} = j\omega \mathfrak{U}$

- Với phép tích phân: $\int \mathfrak{U} dt = \frac{1}{j\omega} U_M e^{j\omega t} = \frac{1}{j\omega} \mathfrak{U}$

- Hay nói cách khác: $\frac{du}{dt} \longrightarrow j\omega \mathfrak{U}$ $\int u dt \longrightarrow \frac{1}{j\omega} \mathfrak{U}$

3. Biểu diễn phức các tác động điều hòa, trở kháng & dẫn nạp (3)

3.2. Trở kháng và dẫn nạp

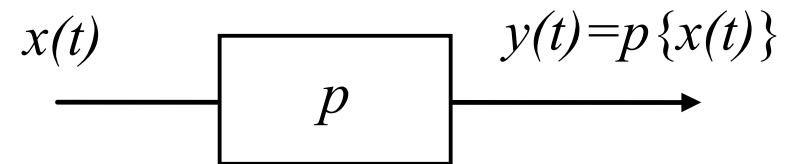
- Trong một mạch điện, thông số của các phần tử xác định mối quan hệ giữa **điện áp** đặt trên và **dòng điện** chạy qua chúng.
- Có thể coi mạch điện thực hiện một toán tử p với các hàm tín hiệu tác động lên nó, toán tử đó thực hiện sự biến đổi **điện áp – dòng điện** hay ngược lại.

+ Trong trường hợp biến đổi **dòng điện – điện áp**, toán tử gọi là trở kháng Z của mạch:

$$\mathbf{U} = \mathbf{Z} \cdot \mathbf{I}$$

+ Trường hợp biến đổi **điện áp – dòng điện**, toán tử gọi là dẫn nạp Y

$$\mathbf{I} = \frac{1}{\mathbf{Z}} \mathbf{U} = \mathbf{Y} \mathbf{U}$$



$$\mathbf{Z} = R + jX = |\mathbf{Z}| e^{j \arg \mathbf{Z}} \quad (\Omega)$$

$$\mathbf{Y} = G + jB = |\mathbf{Y}| e^{j \arg \mathbf{Y}} \quad (\text{S})$$

$$\mathbf{S} = \frac{1}{\Omega}$$

3. Biểu diễn phức các tác động điều hòa, trở kháng & dẫn nạp (4)

3.2. Trở kháng và dẫn nạp (tt)

$$\mathbf{Z} = \frac{\mathbf{U}}{\mathbf{I}} = \frac{Ue^{j(\omega t + \varphi_u)}}{Ie^{j(\omega t + \varphi_i)}} = \frac{U}{I} e^{j(\varphi_u - \varphi_i)}$$

$$\mathbf{Y} = \frac{\mathbf{I}}{\mathbf{U}} = \frac{Ie^{j(\omega t + \varphi_i)}}{Ue^{j(\omega t + \varphi_u)}} = \frac{I}{U} e^{j(\varphi_i - \varphi_u)}$$

$$|\mathbf{Z}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \frac{U}{I}$$

$$\varphi_Z = \arg \mathbf{Z} = \arctg \frac{X}{R} = \varphi_u - \varphi_i$$

$$|\mathbf{Y}| = \sqrt{G^2 + B^2} = \frac{I}{U}$$

$$\varphi_Y = \arg \mathbf{Y} = \arctg \frac{B}{G} = \varphi_i - \varphi_u = -\varphi_Z$$

3. Biểu diễn phức các tác động điều hòa, trở kháng & dẫn nạp (5)

3.2. Trở kháng và dẫn nạp (tt)

- Đối với phần tử thuần trở R : $\mathcal{U}_R = R\mathcal{I} = \mathbf{Z}_R\mathcal{I} \rightarrow \mathbf{Z}_R = R$

- Đối với phần tử thuần dung C :

$$\mathbf{Z}_C = \frac{1}{j\omega C} = -jX_C \rightarrow X_C = \frac{1}{\omega C}$$

$$\mathbf{Y}_C = j\omega C = jB_C \rightarrow B_C = \omega C$$

- Đối với phần tử thuần cảm L :

$$\mathbf{Z}_C = j\omega L = jX_L \rightarrow X_L = \omega L$$

$$\mathbf{Y}_C = \frac{1}{j\omega L} = -jB_L \rightarrow B_L = -\frac{1}{\omega L}$$

3. Biểu diễn phức các tác động điều hòa, trở kháng & dẫn nạp (6)

3.2. Trở kháng và dẫn nạp (tt)

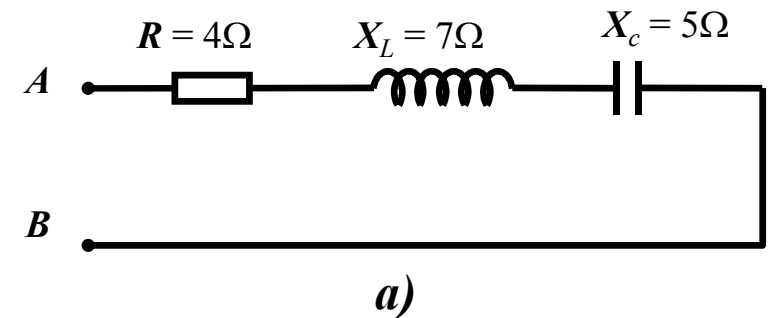
- Trở kháng tương đương của các phần tử mắc **nối tiếp**:

$$\mathbf{Z}_{td} = \sum_k \mathbf{Z}_k$$

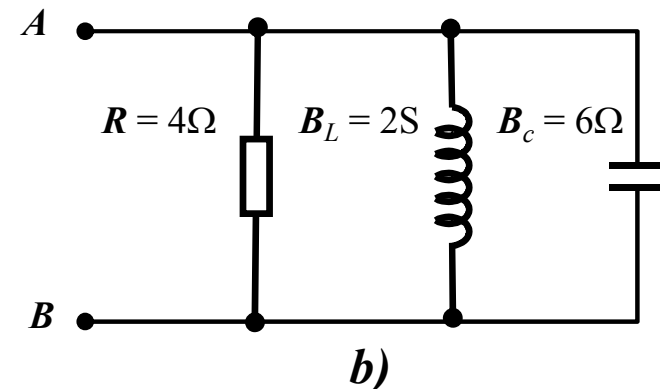
- Trở kháng tương đương của các phần tử mắc **song song**:

$$\mathbf{Y}_{td} = \sum_k \mathbf{Y}_k$$

Ví dụ 1.2: Cho mạch điện như hình vẽ *a*.
Tính trở kháng tương đương \mathbf{Z}_{AB}



Ví dụ 1.3: Cho mạch điện như hình vẽ *b*.
Tính dẫn nạp tương đương \mathbf{Y}_{AB}



3. Biểu diễn phức các tác động điều hòa, trở kháng & dẫn nạp (7)

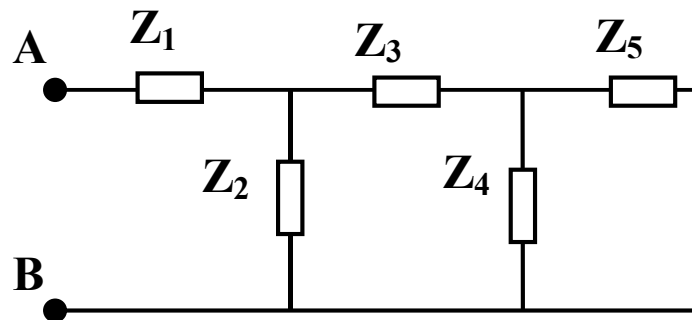
Bài tập 1.4

Cho mạch điện như hình B1.2, biết

$$\mathbf{Z}_1 = (4,55 + 6j)\Omega; \mathbf{Z}_2 = (2,5-j)\Omega; \mathbf{Z}_3 = j\Omega, \mathbf{Z}_4 = (4 + j2)\Omega;$$

$$\mathbf{Z}_5 = (4 - j2)\Omega;$$

- Vẽ sơ đồ tương đương chi tiết theo các tham số r , X_L , X_C
- Đặt lên hai đầu A, B một điện áp phức có giá trị hiệu dụng là 6V, viết biểu thức thời gian của dòng điện chạy trên Z_1 .



Hình B1.2

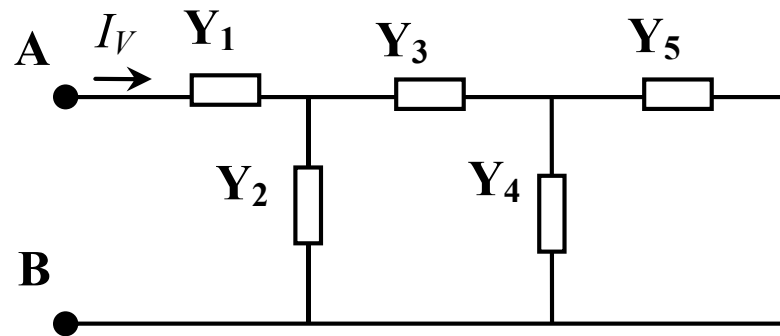
3. Biểu diễn phức các tác động điều hòa, trở kháng & dẫn nạp (8)

Bài tập 1.5

Cho mạch điện như hình B1.3, với

$$\mathbf{Y}_1 = 3 - 3j; \mathbf{Y}_2 = 1 + 3j; \mathbf{Y}_3 = 2 - 2j; \mathbf{Y}_4 = 1 + 4j; \mathbf{Y}_5 = 1 - 2j$$

- Vẽ sơ đồ tương đương chi tiết theo các tham số g , B_L , B_C
- Cho dòng điện vào I_V có giá trị hiệu dụng phức là 3A, hãy viết biểu thức thời gian của điện áp đặt trên hai đầu A và B của mạch điện.



Hình B1.3

4. Mạch tuyến tính và phi tuyến (1)

- **Phần tử tuyến tính (linear):** Là phần tử mà các thông số của nó không phụ thuộc điện áp ở hai đầu hay dòng điện đi qua nó. Ngược lại là **phần tử phi tuyến (non-linear)**. Ví dụ các linh kiện thụ động R, L, C là các linh kiện tuyến tính.
- **Mạch điện tuyến tính:** Là mạch chứa tất cả các phần tử tuyến tính, chỉ cần 1 phần tử trong mạch là phần tử phi tuyến thì mạch sẽ trở thành mạch phi tuyến.
- 4 tính chất của phần tử tuyến tính và phi tuyến:

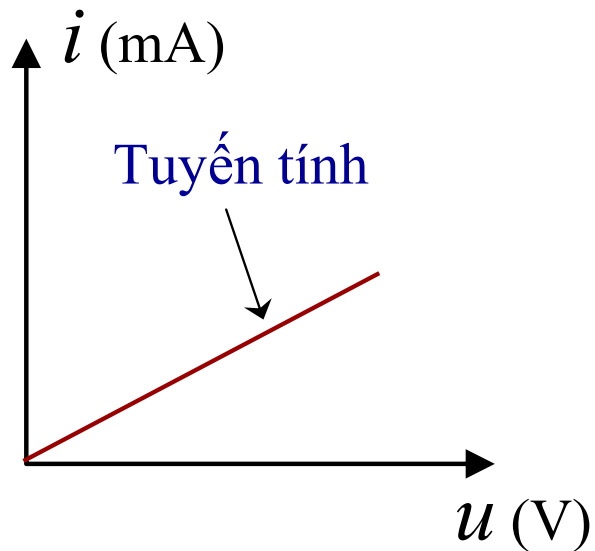
Phần tử tuyến tính

- Đặc tuyến V-A là đường thẳng.
- Phương trình của mạch là phương trình vi phân hệ số hằng.
- Có thể áp dụng nguyên lý xếp chồng.
- Không phát sinh các hài mới khi có tác động của có phổ bất kỳ.

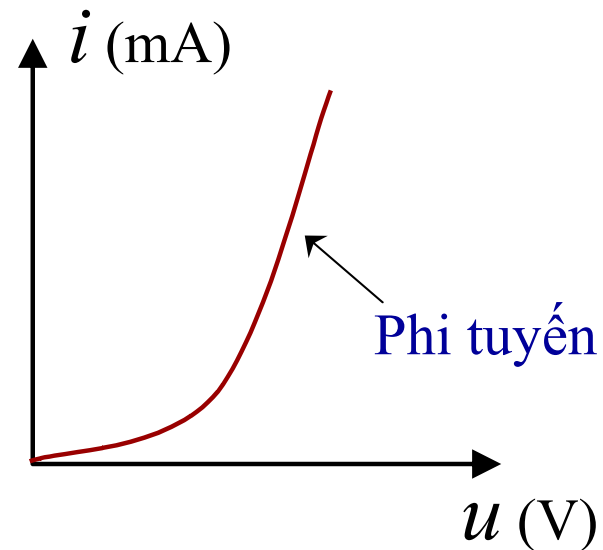
Phần tử phi tuyến

- Đặc tuyến V-A không là đường thẳng.
- Phương trình của mạch là phương trình vi phân phi tuyến.
- Không thể áp dụng nguyên lý xếp chồng.
- Có thể phát sinh các hài mới khi có tác động của có phổ bất kỳ.

4. Mạch tuyến tính và phi tuyến (2)



Đặc tuyến V-A của
điện trở thuần R



Đặc tuyến V-A
của điốt bán dẫn

5. Các khái niệm cơ bản về mạch điện (1)

5.1. Các yếu tố hình học của mạch điện

- **Graph:** của mạch điện là sơ đồ cấu trúc hình học mô tả sự ghép nối giữa các phần tử trong mạch điện.
- **Nhánh:** là phần mạch nằm giữa hai nút và chỉ chứa các phần tử mắc nối tiếp nhau (N_{nh}).
- **Nút:** điểm gặp nhau của 3 nhánh trở lên (N_n).
- **Cây và nhánh cây:** Cây là phần mạch bao gồm một số nhánh đi qua toàn bộ các nút, nhưng không tạo thành vòng kín.

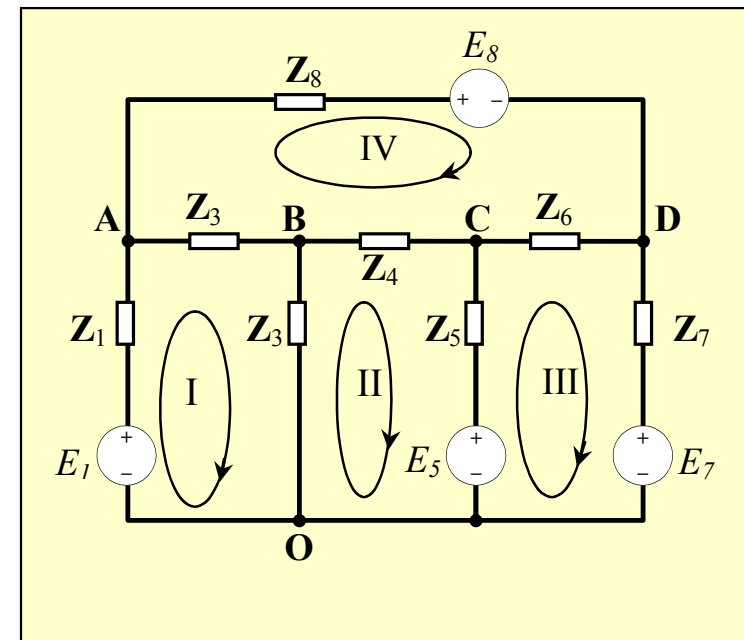
- Nhánh thuộc cây gọi là nhánh cây (N_c)
- Nhánh không thuộc cây gọi là bù cây (N_b)

$$N_c = N_n - 1$$

$$N_b = N_{nh} - N_c$$

- **Vòng:** là phần mạch bao gồm một số nút và một số nhánh tạo thành một vòng kín mà mỗi nhánh và mỗi nút chỉ gặp một lần. **Vòng cơ bản** (ứng với một cây) là vòng chỉ chứa một bù cây (N_v).

$$N_v = N_b = N_{nh} - N_n + 1$$



- $N_n = 5$ (A, B, C, D, O)
- $N_{nh} = 8$
- $N_c = N_n - 1 = 4$
- $N_b = N_{nh} - N_c = 4$
- $N_v = N_b = 4$

5. Các khái niệm cơ bản về mạch điện (2)

5.2. Khái niệm tương hỗ

- **Phần tử tương hỗ** là phần tử có tính chất dẫn điện hai chiều, thoả mãn điều kiện:

$$\mathbf{Z}_{ab} = \mathbf{Z}_{ba}$$

- **Mạch điện tương hỗ** là mạch điện bao gồm các phần tử tương hỗ. Nói một cách tổng quát nó thoả mãn điều kiện:

$$\mathbf{Z}_{pk} = \mathbf{Z}_{kp} \text{ hay } \mathbf{Y}_{MN} = \mathbf{Y}_{NM}$$

- \mathbf{Z}_{pk} (\mathbf{Z}_{kp}): trở kháng chung giữa vòng p và vòng k (vòng k và vòng p).
- \mathbf{Y}_{MN} (\mathbf{Y}_{NM}) dẫn nạp chung giữa nút M và nút N (nút N và nút M).
- Như vậy trong mạch tương hỗ, dòng điện trong vòng p (sinh ra bởi các nguồn đặt trong vòng k) bằng dòng điện trong vòng k (sinh ra bởi chính nguồn đó chuyển sang vòng p).
- Các phần tử tuyến tính và mạch tuyến tính có tính chất tương hỗ (như các phần tử thụ động dẫn điện hai chiều $R, L, C...$)

6. Các định luật Kirchhoff (1)

6.1. Định luật Kirchhoff 1 (định luật Kirchhoff về dòng điện)

- “Tổng các dòng điện đi vào một nút bằng tổng các dòng điện đi ra khỏi nút đó”. Hoặc là: “Tổng đại số các dòng điện tại một nút bằng không”:

$$\sum_k a_k i_k = 0 \quad \begin{cases} a_k = 1 & \text{nếu dòng điện nhánh đi ra khỏi nút đang xét.} \\ a_k = -1 & \text{nếu dòng điện nhánh đi vào nút đang xét.} \\ a_k = 0 & \text{nếu nhánh không thuộc nút đang xét.} \end{cases}$$

6.2. Định luật Kirchhoff 2 (định luật Kirchhoff về điện áp)

- “Tổng đại số các sụt áp trên các phần tử thụ động của một vòng kín bằng tổng đại số các sức điện động có trong vòng kín đó”. Hoặc là: “Tổng đại số các sụt áp của các nhánh trong một vòng kín bằng không”

$$\sum_k b_k u_k = 0 \quad \begin{cases} b_k = 1 & \text{nếu chiều điện áp trên nhánh cùng chiều vòng quy ước.} \\ b_k = -1 & \text{nếu chiều điện áp trên nhánh ngược chiều vòng quy ước} \\ b_k = 0 & \text{nếu nhánh không thuộc vòng đang xét.} \end{cases}$$

6. Các định luật Kirchhoff (2)

6.1. Định luật Kirchhoff 1 (định luật Kirchhoff về dòng điện)

Bài tập 1.6

- Dùng phần mềm CircuitMaker:
 - Quan sát quan hệ pha giữa điện áp và dòng điện trên các phần tử thụ động R, L, C.
 - Kiểm tra các định luật Kirchhoff

7. Các phương pháp cơ bản phân tích mạch điện

7.1. Phương pháp điện áp nút

7.2. Phương pháp dòng điện vòng

7.3. Phương pháp dùng nguyên lý xếp chồng.

7.4. Phương pháp nguồn tương đương (Thevenin)

7.1 Phương pháp điện áp nút (1)

7.1. Phương pháp điện áp nút

- Nội dung phương pháp này dựa trên định luật Kirchhoff 1.
- Các bước của phương pháp:
 - **Bước 1:** Tính số nút N_n của mạch điện cần phân tích, chọn 1 nút làm gốc và coi điện thế của nút đó bằng 0.
 - **Bước 2:** Viết phương trình dòng điện cho $N_n - 1$ còn lại, ta sẽ có một hệ $(N_n - 1)$ phương trình độc lập tuyến tính, với các ẩn số là điện áp tại các nút.

$$[\mathbf{Y}_N] \cdot [\mathbf{U}_N] = [\mathbf{I}_{ng.N}] \quad \text{Size}([\mathbf{Y}_N]) = [(N_n - 1) \times (N_n - 1)].$$

- **Bước 3:** Giải hệ $(N_n - 1)$ phương trình ta sẽ tìm được điện thế tại các nút của mạch điện, và từ đó ta có thể tìm được dòng điện trong tất cả các nhánh của mạch điện.

$$[\mathbf{U}_N] = [\mathbf{Y}_N]^{-1} \cdot [\mathbf{I}_{ng.N}]$$

- Độ phức tạp khi giải mạch điện phụ thuộc vào **số nút** của mạch.

7.1 Phương pháp điện áp nút (2)

Ví dụ 1.4: Tính dòng điện trong tất cả các nhánh của mạch điện như hình vẽ.

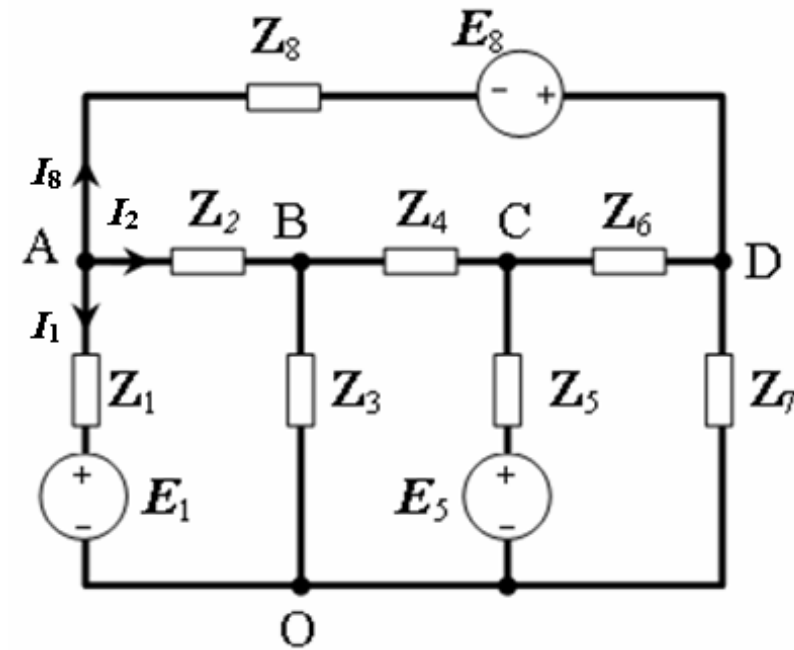
- **Bước 1:** Số nút của mạch là: $N_n = 5$, chọn O làm gốc, coi $U_O = 0$.
- **Bước 2:** Viết phương trình dòng điện cho 4 nút A, B, C và D (có thể quy định chiều các dòng điện tùy ý).
 - Tại nút A: $I_1 + I_2 + I_8 = 0$

$$\text{Hay: } \frac{U_A - E_1}{Z_1} + \frac{U_A - U_B}{Z_2} + \frac{U_A - U_D + E_8}{Z_8} = 0$$

Biến đổi ta được:

$$(\mathbf{Y}_1 + \mathbf{Y}_2 + \mathbf{Y}_3) \cdot U_A - \mathbf{Y}_2 \cdot U_B - 0 \cdot U_C - \mathbf{Y}_8 \cdot U_D = \frac{E_1}{Z_1} - \frac{E_8}{Z_8} = I_{ng1} - I_{ng8} \quad (*)$$

Từ biểu thức (*) sinh viên hãy đưa ra quy tắc viết trực tiếp phương trình điện áp cho các nút của mạch điện?



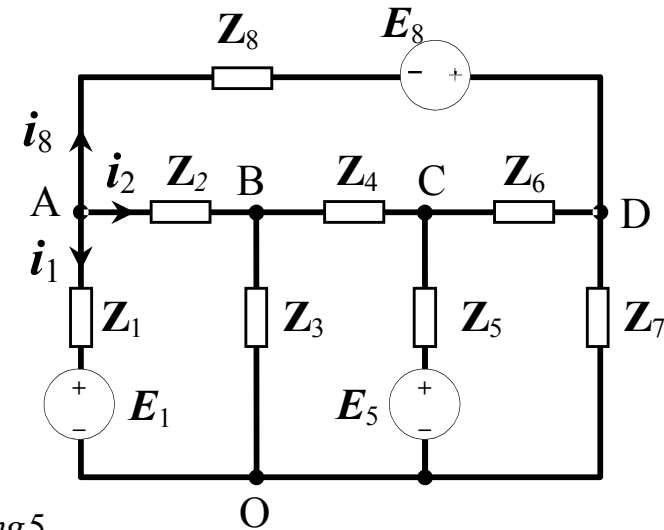
7.1 Phương pháp điện áp nút (3)

Thực hiện tương tự với 3 nút còn lại (B, C và D) ta sẽ có 3 phương trình còn lại.

Nút B: $-Y_2 U_A + (Y_2 + Y_3 + Y_4) \cdot U_B - Y_4 \cdot U_C - 0 \cdot U_D = 0$

Nút C: $0 \cdot U_A - Y_4 \cdot U_B + (Y_4 + Y_5 + Y_6) \cdot U_C - Y_6 \cdot U_D = \frac{E_5}{Z_5} = I_{ng5}$

Nút D: $-Y_8 U_A - 0 \cdot U_B - Y_6 \cdot U_C + (Y_6 + Y_7 + Y_8) \cdot U_D = \frac{E_8}{Z_8} = I_{ng8}$



→ ta sẽ được hệ 4 phương trình độc lập tuyến tính viết dưới dạng ma trận:

$$\begin{pmatrix} Y_1 + Y_2 + Y_8 & -Y_2 & 0 & -Y_8 \\ -Y_2 & Y_2 + Y_3 + Y_4 & -Y_4 & 0 \\ 0 & -Y_4 & Y_4 + Y_5 + Y_6 & -Y_6 \\ -Y_8 & 0 & -Y_6 & Y_6 + Y_7 + Y_8 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} U_A \\ U_B \\ U_C \\ U_D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_{ng1} - I_{ng8} \\ 0 \\ I_{ng5} \\ I_{ng8} \end{pmatrix}$$

$$[Y_N] \cdot [U_N] = [I_{ng.N}]$$

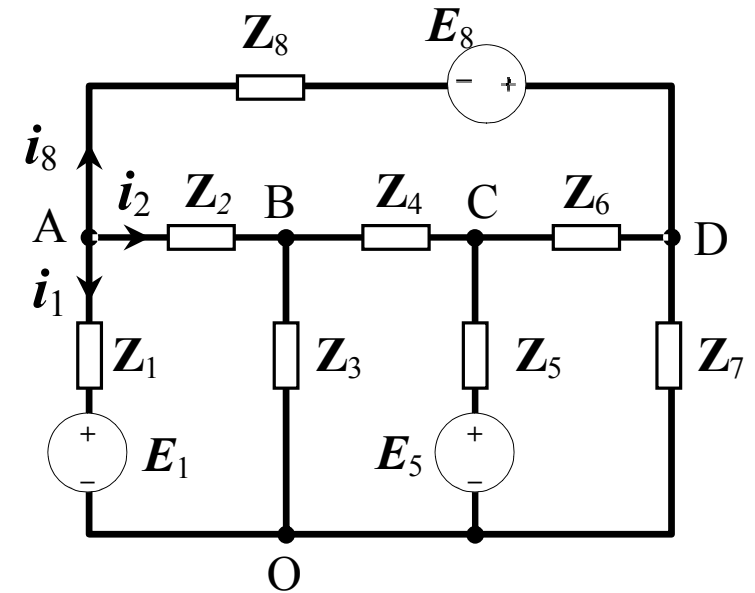
7.1 Phương pháp điện áp nút (4)

- Bước 3:** Giải hệ 4 phương trình 4 ẩn ta sẽ tìm được điện áp tại các nút A, B, C và D của mạch điện.

Khi biết điện áp tại các nút ta có thể dễ dàng tính dòng điện trong các nhánh của mạch.

Ví dụ:

$$I_1 = \frac{U_A - E_1}{Z_1}; \quad I_2 = \frac{U_A - U_B}{Z_2}; \quad I_8 = \frac{U_A - U_D + E_8}{Z_8}$$



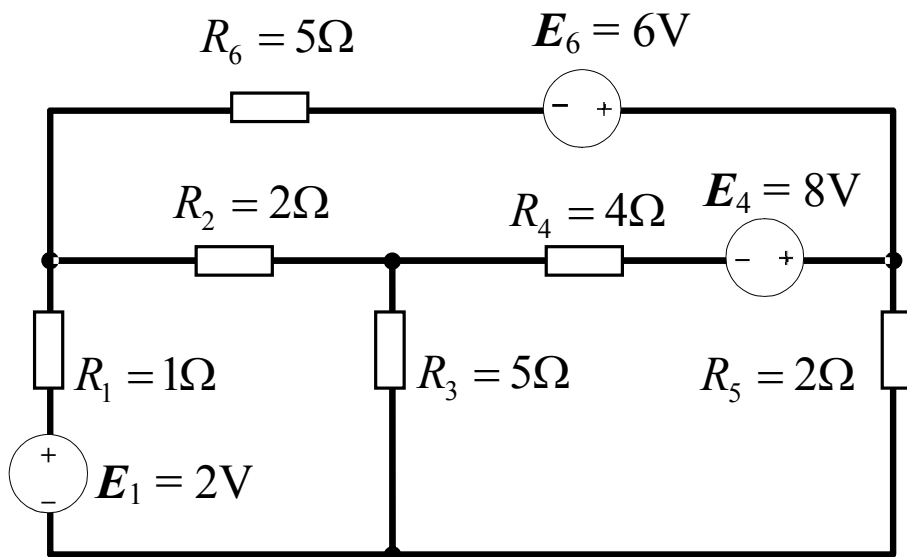
Chú ý:

- Nếu các dòng điện sau tính toán là dòng một chiều và có giá trị (-) thì chiều dòng điện sẽ ngược lại. Còn nếu nó có giá trị (+) thì chiều đó là đúng.
- Nếu các dòng điện là xoay chiều (thể hiện bằng số phức) thì chiều của dòng điện đã được thể hiện ở pha của nó (Arguymen).

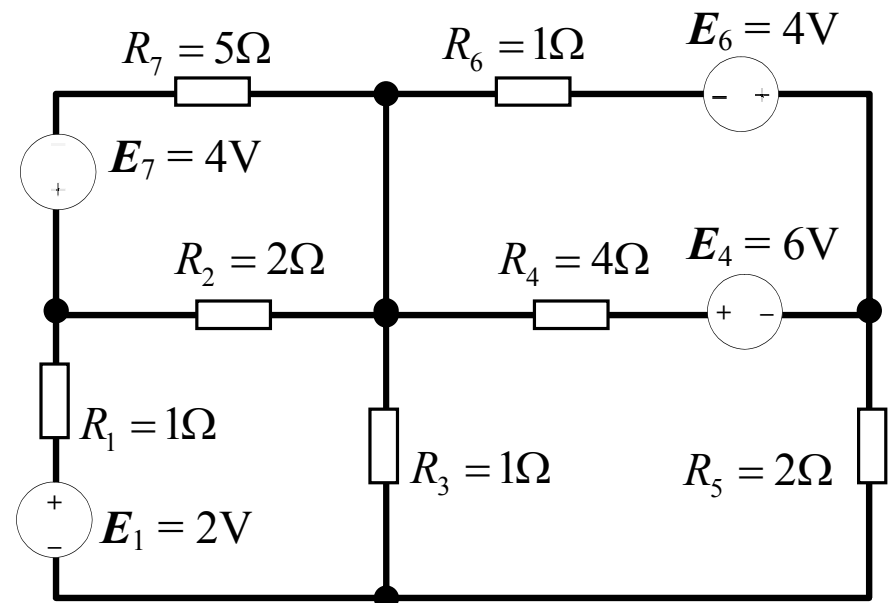
7.1 Phương pháp điện áp nút (5)

Bài tập 1.7

- Tính dòng điện trong các nhánh của mạch điện hình B1.4 và hình B.1.5 bằng phương pháp điện áp nút.
- Kiểm tra kết quả trên phần mềm Circuitmaker.



Hình B1.4



Hình B1.5

7.2. Phương pháp dòng điện vòng (1)

- Nội dung phương pháp này dựa trên định luật **Kirchhoff 2**.
- Các bước của phương pháp:
 - **Bước 1**: Tính số vòng độc lập của mạch điện cần phân tích, chọn chiều cho dòng điện trên các vòng. (Về nguyên tắc chọn một cây của mạch, sau đó thêm vào các bù cây, cứ mỗi bù cây thêm vào sẽ cho 1 vòng độc lập)
 - **Bước 2**: Viết phương trình điện áp cho N_b vòng, ta sẽ có một hệ N_b phương trình độc lập tuyến tính, với các ẩn số là các dòng điện của các vòng.

$$[\mathbf{Z}_v] \cdot [\mathbf{I}_v] = [\mathbf{E}_{ng}] \quad \text{Size}([\mathbf{Z}_v]) = [N_b \times N_b].$$

- **Bước 3**: Giải hệ N_b phương trình ta sẽ tìm được dòng điện trên các, và từ đó ta có thể tìm được dòng điện trong tất cả các nhánh của mạch điện.

$$[\mathbf{I}_v] = [\mathbf{Z}_v]^{-1} \cdot [\mathbf{E}_{ng}]$$

- Độ phức tạp khi giải mạch điện phụ thuộc vào **số bù cây** của mạch.

7.2. Phương pháp dòng điện vòng (2)

Ví dụ 1.5: Dùng phương pháp dòng điện vòng để phân tích mạch điện như hình vẽ.

- **Bước 1:** Chọn các vòng kín và đánh dấu chiều dòng điện như trên hình.
- **Bước 2:** Viết phương trình điện áp cho 4 vòng I, II, III và IV.

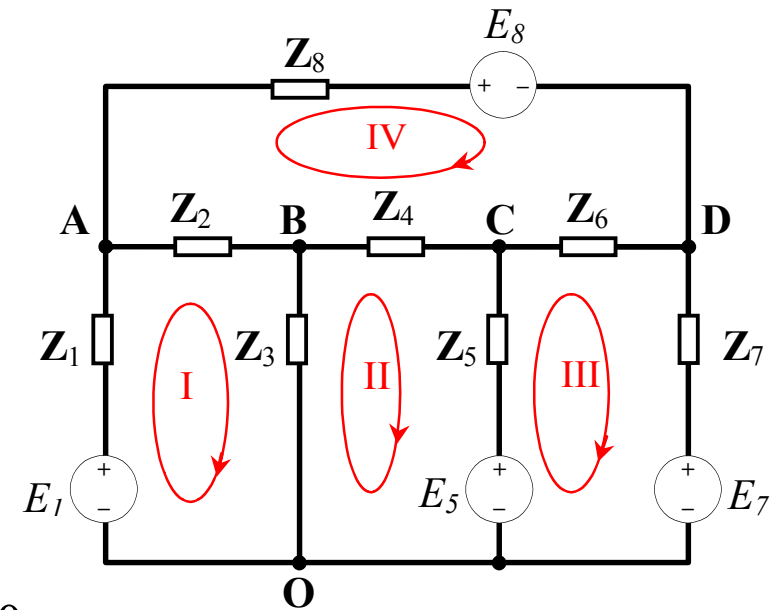
– Vòng I: $U_{Z1} + U_{Z2} + U_{Z3} - E_1 = 0$

Hay: $Z_1 I_I + Z_2 (I_I - I_{IV}) + Z_3 (I_I - I_{II}) - E_1 = 0$

Biến đổi ta được:

$$(Z_1 + Z_2 + Z_3) \cdot I_I - Z_3 \cdot I_{II} - 0 \cdot I_{III} - Z_2 \cdot I_{IV} = E_1 \quad (**)$$

Từ biểu thức (**) sinh viên hãy đưa ra quy tắc viết trực tiếp phương trình cho các vòng còn lại của mạch điện?



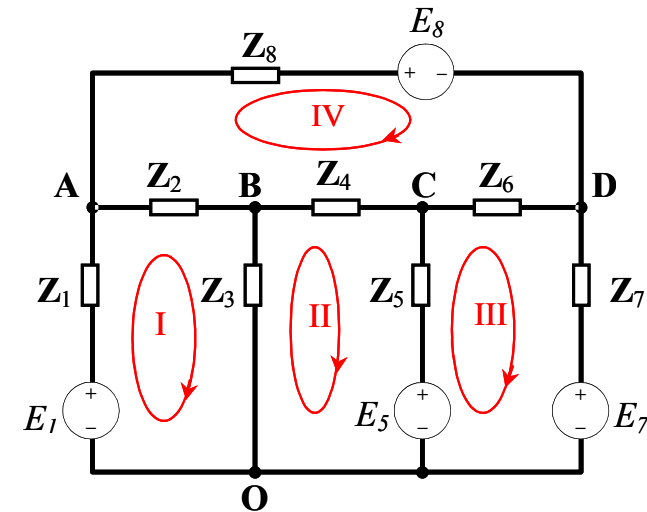
7.2. Phương pháp dòng điện vòng (3)

Thực hiện tương tự với 3 vòng II, III, IV ta sẽ có 3 phương trình còn lại:

$$\text{Vòng II: } -Z_3 I_I + (Z_3 + Z_4 + Z_5) I_{II} - Z_5 I_{III} - Z_4 I_{IV} = -E_5$$

$$\text{Vòng III: } -0 \cdot I_I - Z_5 I_{II} + (Z_5 + Z_6 + Z_7) I_{III} - Z_6 I_{IV} = -E_7 + E_5$$

$$\text{Vòng IV: } -Z_2 I_I - Z_4 I_{II} - Z_6 I_{III} + (Z_2 + Z_4 + Z_6 + Z_8) I_{IV} = -E_8$$



→ ta sẽ được hệ 4 phương trình độc lập tuyến tính viết dưới dạng ma trận:

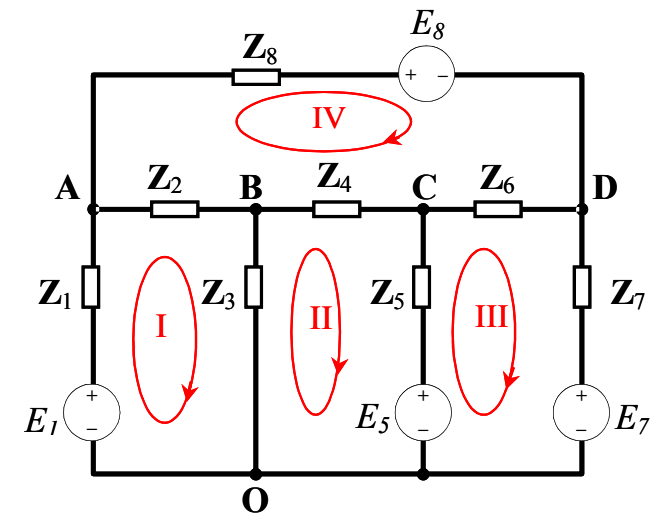
$$\begin{pmatrix} Z_1 + Z_2 + Z_3 & -Z_3 & 0 & -Z_2 \\ -Z_3 & Z_3 + Z_4 + Z_5 & -Z_5 & -Z_4 \\ 0 & -Z_5 & Z_5 + Z_6 + Z_7 & -Z_6 \\ -Z_2 & -Z_4 & -Z_6 & Z_2 + Z_4 + Z_6 + Z_8 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} I_I \\ I_{II} \\ I_{III} \\ I_{IV} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_1 \\ -E_5 \\ -E_7 + E_5 \\ -E_8 \end{pmatrix}$$

$$[Z_v] \cdot [I_v] = [E_{ng}]$$

7.2. Phương pháp dòng điện vòng (4)

- Bước 3:** Giải hệ 4 phương trình 4 ẩn ta sẽ tìm được các dòng điện trong các vòng, và có thể dễ dàng tính dòng điện trong các nhánh của mạch. Ví dụ:

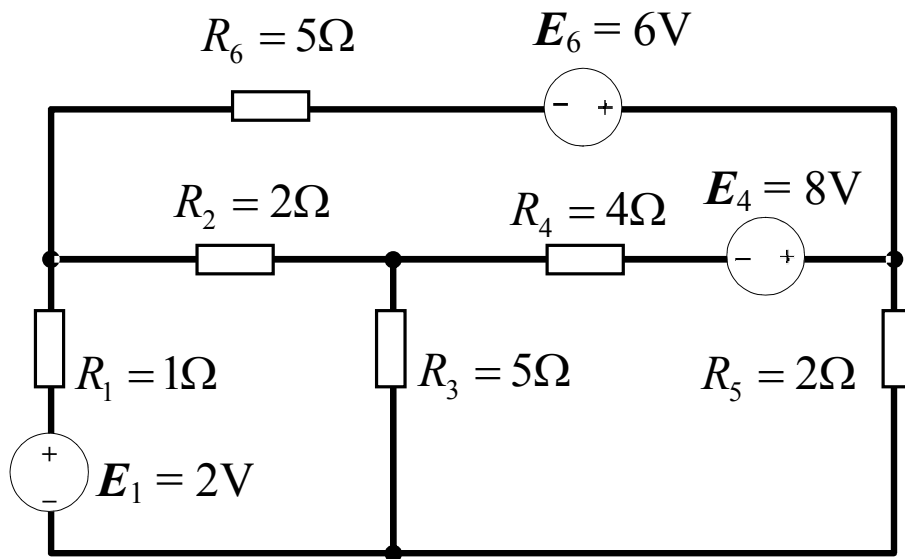
$$\mathbf{I}_{Z1} = \mathbf{I}_I; \quad \mathbf{I}_{Z2} = \mathbf{I}_I - \mathbf{I}_{IV}; \quad \mathbf{I}_{Z3} = \mathbf{I}_I - \mathbf{I}_{II};$$



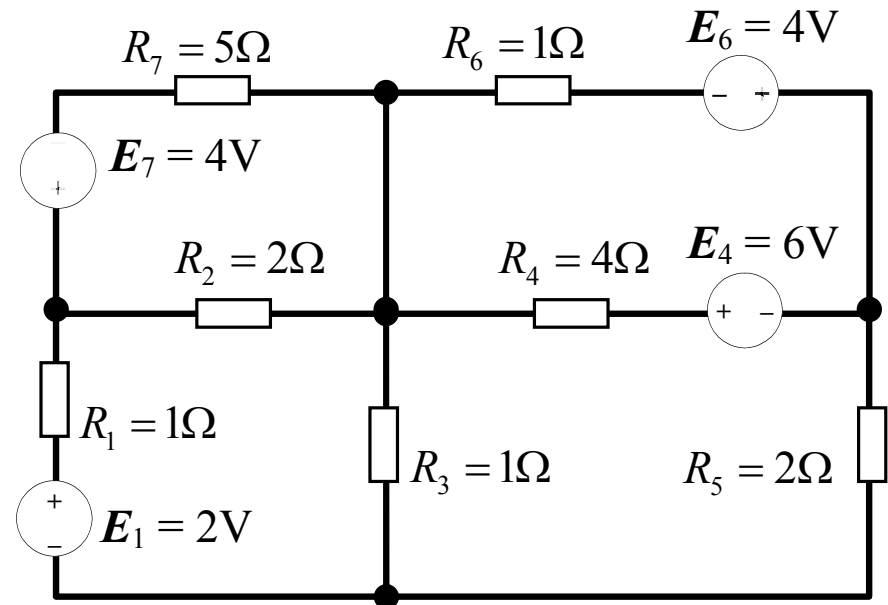
7.2. Phương pháp dòng điện vòng (5)

Bài tập 1.8

- Tính dòng điện trong các nhánh của mạch điện hình B1.6 và hình B.1.7 bằng phương pháp dòng điện vòng.
- Kiểm tra kết quả trên phần mềm Circuitmaker.



Hình B1.6



Hình B1.7

7.3. Phương pháp dùng nguyên lý xếp chồng (1)

Nguyên lý xếp chồng trong các mạch điện tuyến tính

- Thông thường đặc tuyến V-A của một phần tử tuyến tính có dạng:

$$u = ai_1 + bi_2 \textbf{ hay } i = cu_1 + du_2; \quad (a, b, c, d = \textit{const})$$

- Tổng quát các phần tử có đặc tuyến V-A có dạng sau cũng là phần tử tuyến tính:

$$u = a \frac{di_1}{dt} + b \int i_2 dt$$

- Có thể áp dụng nguyên lý xếp chồng (***superposition***) cho các phần tử tuyến tính : **Đáp ứng của một mạch tuyến tính cho trước với tổng các đầu vào bằng tổng các đáp ứng của mạch đó với từng đầu vào riêng lẻ.**
- Ví dụ: giả sử i_1 và i_2 là các đáp ứng của một mạch khi có các điện áp tác động tương ứng u_1, u_2 . Tức là: $i_1 = f(u_1)$ và $i_2 = f(u_2)$.

Nếu ta đồng thời cho cả hai điện áp u_1, u_2 tác động thì sẽ được dòng điện i_3 .
Nếu mạch là tuyến tính ta sẽ có:

$$i_3 = f(u_1 + u_2) = f(u_1) + f(u_2) = i_1 + i_2$$

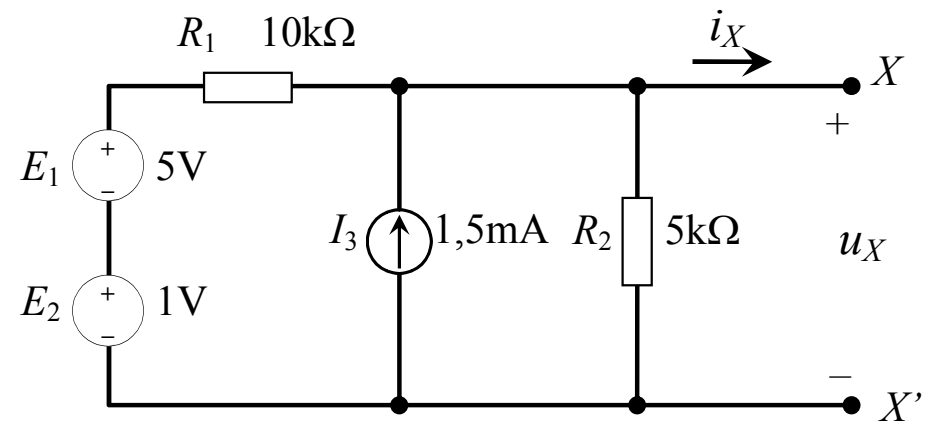
7.3. Phương pháp dùng nguyên lý xếp chồng (2)

Chú ý:

- Khi áp dụng nguyên lý xếp chồng cho một mạch có nhiều nguồn tác động thì nếu các nguồn không làm việc là nguồn sức điện động thì sẽ bị ngắn mạch còn các nguồn là nguồn dòng sẽ bị hở mạch.

Ví dụ 1.6.

- Dùng nguyên lý xếp chồng, tính u_{ab} trong mạch hình bên?
- Vẽ đặc tuyến V-A khi có tải mắc vào hai điểm X, X'?



7.3. Phương pháp dùng nguyên lý xếp chồng (3)

Giải:

a) Lần lượt cho 3 nguồn: E_1 , E_2 và I_3 tác động vào mạch.

• Khi nguồn E_1 tác động (hình a)

$$u'_X = R_2 i_2 = R_2 \frac{E_1}{R_1 + R_2} = 1,67V$$

• Khi nguồn E_2 tác động (hình b)

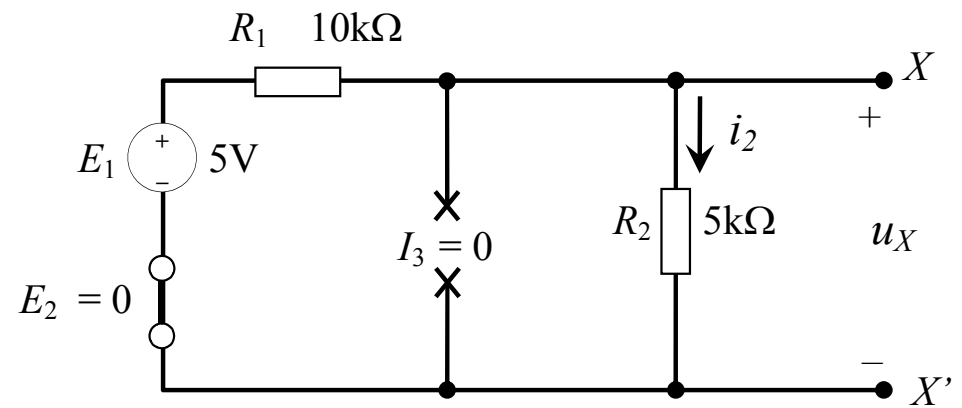
$$u''_X = R_2 i_2 = R_2 \frac{E_2}{R_1 + R_2} = 0,33V$$

• Khi nguồn I_3 tác động (hình c)

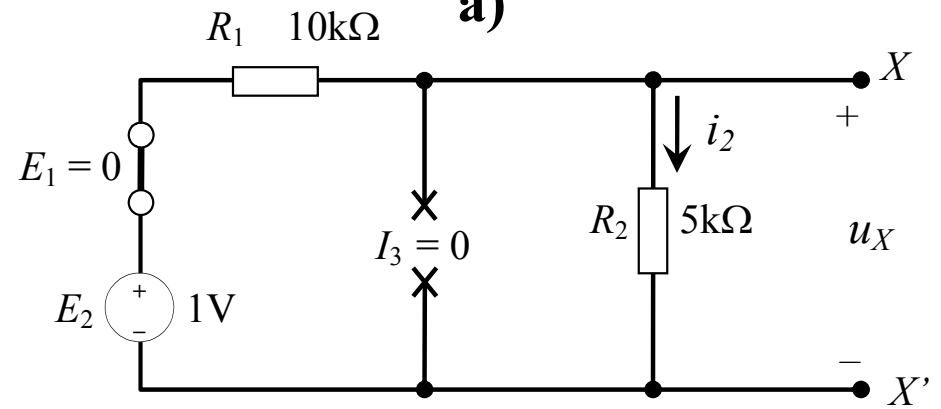
$$u'''_X = I_3 (R_1 // R_2) = 5V$$

• Xếp chồng kết quả:

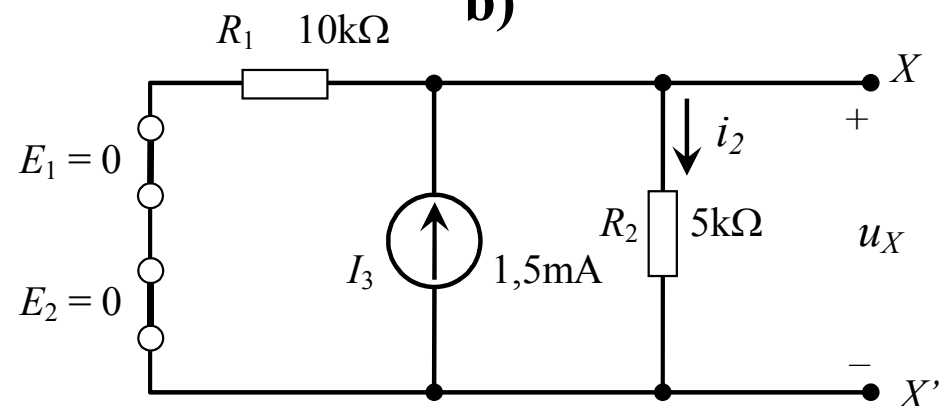
$$u_X = u'_X + u''_X + u'''_X = 7V$$



a)



b)



c)

7.3. Phương pháp dùng nguyên lý xếp chồng (4)

Đặc tuyến V-A của hai đầu X và X'

- Do mạch điện là tuyến tính nên đặc tuyến sẽ là đường thẳng.
- Điện áp $u_X = 7V$ là điện áp hở mạch, ứng với $i_X = 0$. (ký hiệu u_{OC}).
- Điểm đặc tuyến cắt trục tung là dòng ngắn mạch i_{SC} ứng với $u_X = 0$.

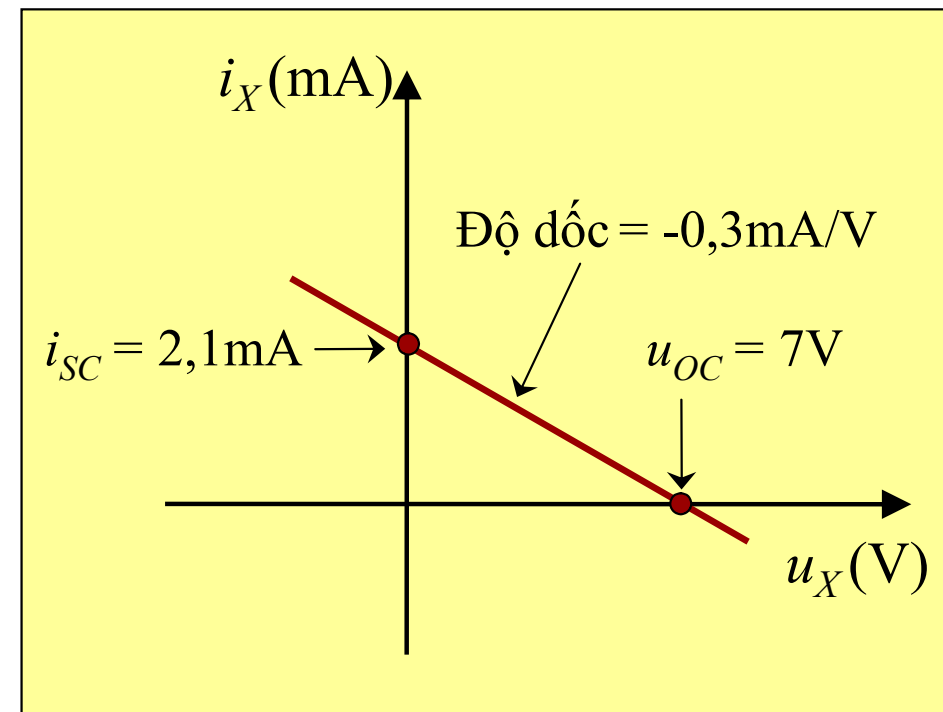
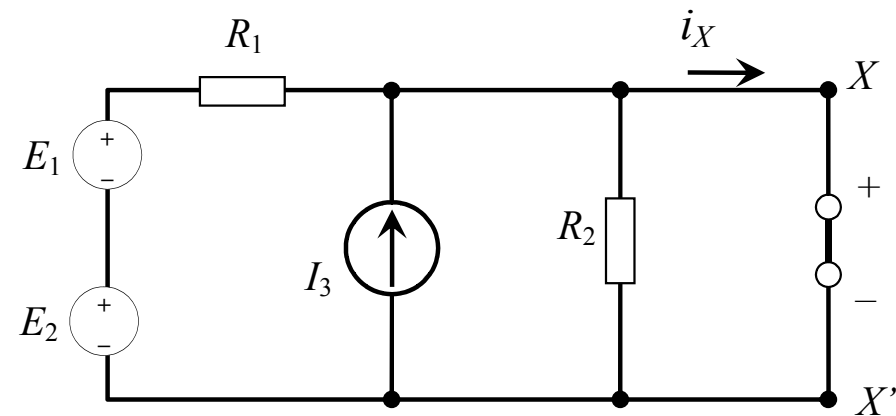
$$i_{SC} = i_X|_{u_X=0} = I_3 + \frac{E_1 + E_2}{R_1} = 2,1mA$$

- Độ dốc đặc tuyến:

$$m = \frac{\Delta i_X}{\Delta u_X} = -\frac{i_{SC}}{u_{OC}} = \frac{-2,1mA}{7V} = -0,3mA/V$$

- Phương trình đặc tuyến:

$$i_X = mu_X + i_{SC} = (-0,3mA/V)u_X + 2,1mA$$



7.3. Phương pháp dùng nguyên lý xếp chồng (5)

Bài tập 1.9

Tìm điện áp u_x trong hình B1.8 với

$$E_1 = 10\text{V}, E_2 = 4\text{V},$$

$$I_3 = 4\text{mA}, R_1 = R_2 = 10\text{k}\Omega.$$

Bài tập 1.10

Tìm điện áp u_x trong hình B1.8 với

$$E_1 = 10\text{V}, E_2 = 4\text{V},$$

$$I_3 = -4\text{mA}, R_1 = R_2 = 10\text{k}\Omega.$$

Bài tập 1.11

Tìm dòng điện qua R_2 trong hình B1.8 với hai trường hợp:

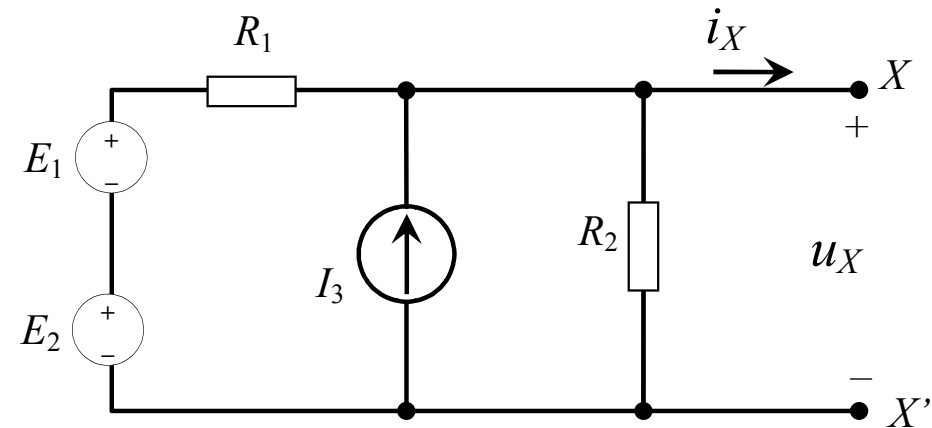
- $E_1 = 8\text{V}, E_2 = 4\text{V}, I_3 = 4\text{mA}, R_1 = R_2 = 10\text{k}\Omega.$

- $E_1 = 8\text{V}, E_2 = 4\text{V}, I_3 = -4\text{mA}, R_1 = R_2 = 10\text{k}\Omega.$

Bài tập 1.12

Vẽ đặc tuyến V-A ở hai đầu X-X' của mạch điện hình B1.8 với $E_1 = 4\text{V},$

$$E_2 = 10\text{V}, I_3 = 4\text{mA}, R_1 = R_2 = 10\text{k}\Omega.$$



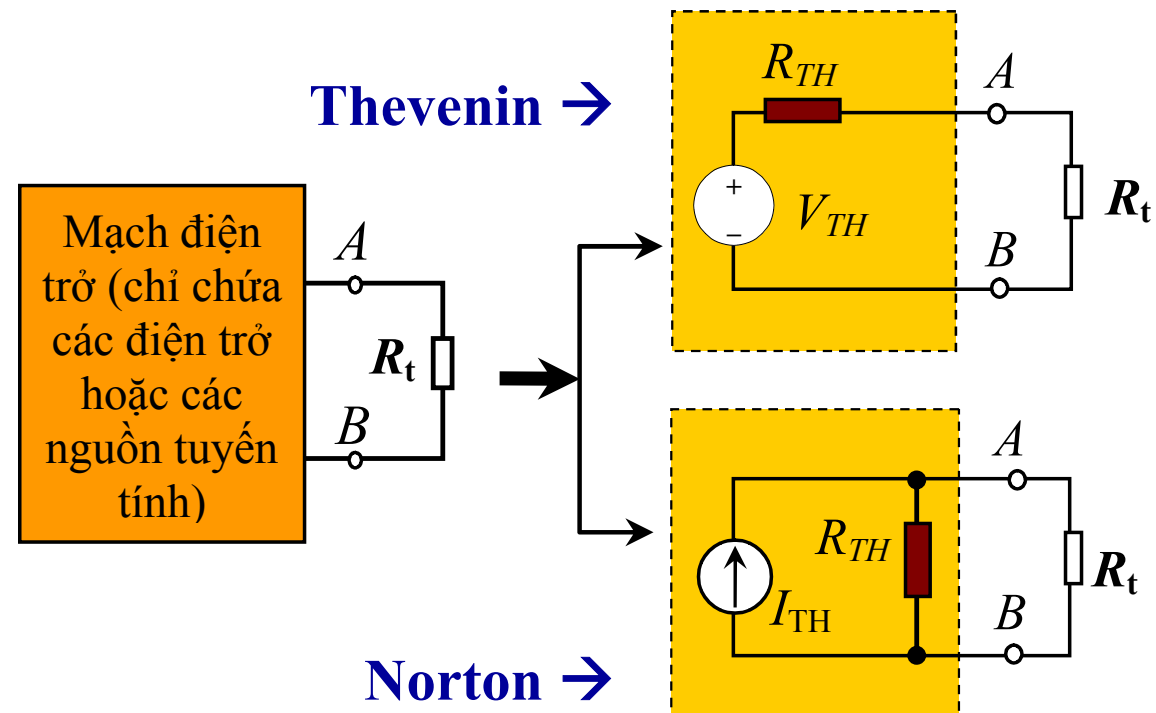
Hình B1.8

7.4. Phương pháp nguồn tương đương Thevenin – Norton (1)

Trong mạch điện, phần mạch AB có chứa nguồn (và nối với phần còn lại Z của mạch tại cặp điểm AB, đồng thời giữa hai phần không có ghép hồ cảm với nhau), có thể được thay thế tương đương bằng một:

- Nguồn điện áp V_{TH} có sức điện động bằng điện áp **hở mạch** trên cặp điểm AB (**Thevenin**) hoặc một nguồn dòng I_{TH} có dòng điện nguồn bằng **dòng điện ngắn mạch** trên cặp điểm AB (**Norton**).

Trở kháng trong của nguồn R_{TH} bằng trở kháng tương đương nhìn từ cặp điểm AB với nguyên tắc ngắn mạch nguồn suất điện động và hở mạch nguồn dòng có trong phần mạch này.



7.4. Phương pháp nguồn tương đương Thevenin – Norton (2)

Ví dụ 1.7

Tính dòng điện trên R_3 của mạch điện hình vẽ bên bằng phương pháp nguồn tương đương.

Giải:

- Xác định điện áp hở mạch trên cặp điểm AB, chính là V_{TH} (loại bỏ R_3)

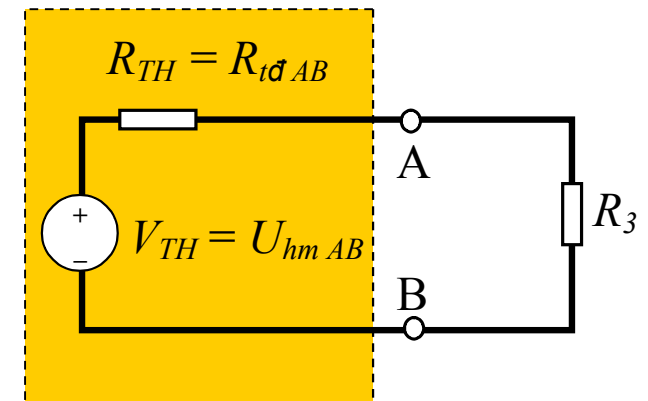
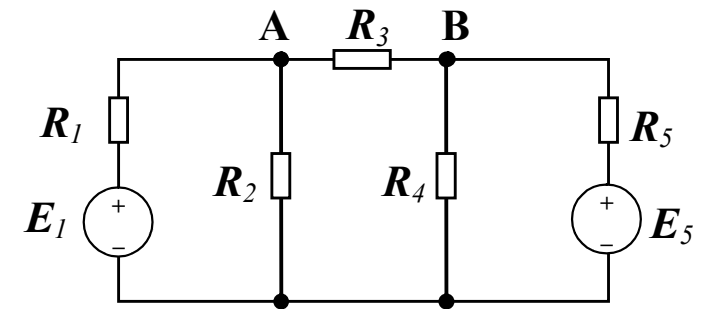
$$V_{TH} = U_A - U_B = \frac{E_1}{R_1 + R_2} R_2 - \frac{E_5}{R_4 + R_5} R_4$$

- Xác định R_{tdAB} nhìn từ cặp điểm AB, chính là R_{TH} .

$$R_{TH} = R_{tdAB} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_4 R_5}{R_4 + R_5}$$

- tính được i_3

$$I_3 = \frac{u_{TH}}{R_{TH} + R_3}$$



7.4. Phương pháp nguồn tương đương Thevenin – Norton (3)

Bài tập 1.13

Tính dòng điện trên R của mạch điện hình B1.9 bằng phương pháp nguồn tương đương Thevenin.

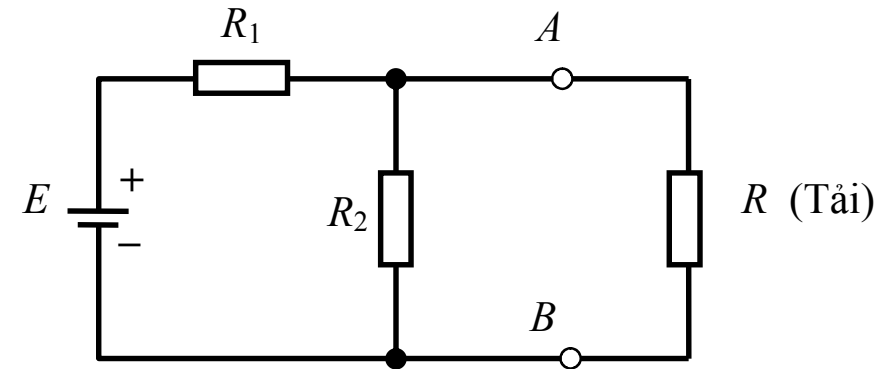
Bài tập 1.14

Tìm nguồn tương đương Thevenin và nguồn tương đương Norton tại hai điểm A, B của mạch điện hình B1.10.

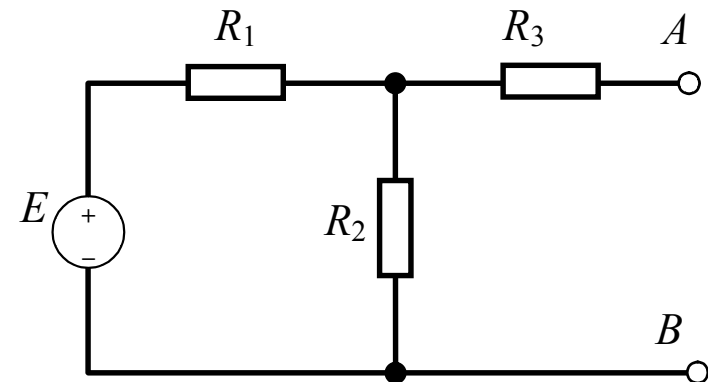
Bài tập 1.15

Sử dụng phương pháp nguồn tương đương để vẽ đặc tuyến V-A tại hai điểm A và B của mạch điện hình B1.10.

Nếu $E = 6V$, $R_1 = 2k\Omega$, $R_2 = 4k\Omega$ và $R_3 = 5k\Omega$



Hình B1.9



Hình B1.10

7.5. Quy tắc phân áp và phân dòng (1)

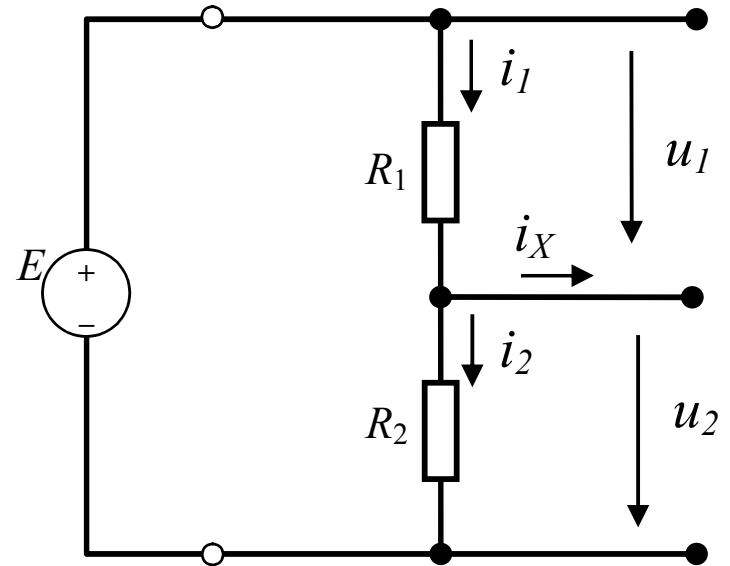
a) Quy tắc phân áp

- Quy tắc phân áp dùng để tính cho các mạch chỉ chứa các điện trở mắc nối tiếp.
- Nếu biết trước E và $i_x = 0$, ta có:

$$i_1 = i_2 = \frac{E}{R_1 + R_2}$$

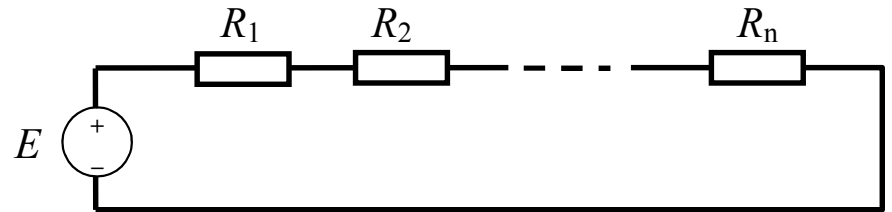
- Do $u_1 = i_1 R_1$, $u_2 = i_2 R_2$ nên:

$$u_1 = E \frac{R_1}{R_1 + R_2}; \quad u_2 = E \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$



Tổng quát: Khi có nhiều điện trở mắc nối tiếp và biết điện áp E trên toàn bộ các điện trở đó thì điện áp rơi trên một điện trở bất kỳ sẽ bằng điện áp E nhân với giá trị điện trở đó và chia cho tổng tất cả các điện trở.

$$u_{R_k} = \frac{E \cdot R_k}{\sum_{j=1}^n R_j}$$



7.5. Quy tắc phân áp và phân dòng (2)

- Lưu ý:** Quy tắc phân áp **chỉ có thể** áp dụng khi không có phần tử nào mắc với điện trở mà nguồn cung cấp năng lượng (Hay dòng i_x phải bằng 0)

Bài tập 1.16

Tìm điện áp u_1 và u_2 trên hình B1.11 khi:

$$E = 12\text{V}, R_1 = 22\text{k}\Omega; R_2 = 33\text{k}\Omega.$$

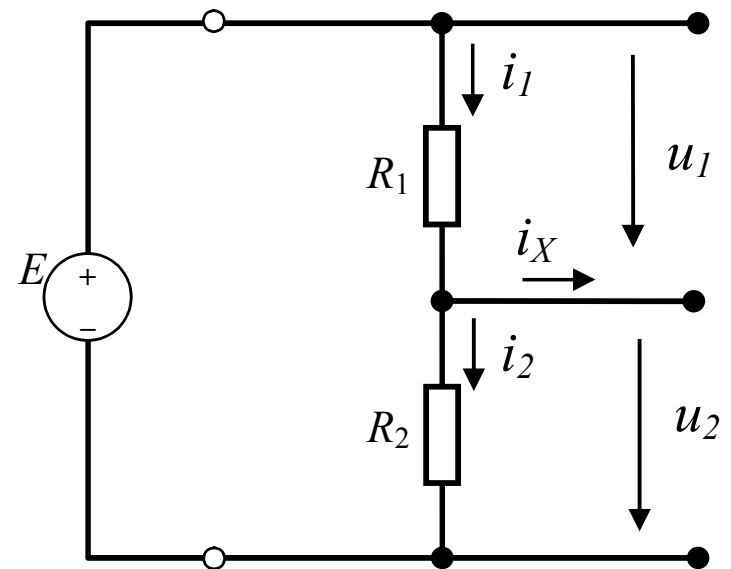
(đáp số $u_1 = 4,8\text{V}$, $u_2 = 7,2\text{V}$)

Bài tập 1.17

Tìm điện áp u_1 và u_2 trên hình B1.11 khi:

$$E = -6\text{V}, R_1 = 18\text{k}\Omega; R_2 = 27\text{k}\Omega.$$

(đáp số $u_1 = -2,4\text{V}$, $u_2 = -3,6\text{V}$)



Hình B1.11

7.5. Quy tắc phân áp và phân dòng (3)

b) Quy tắc phân dòng

- Tương tự như quy tắc phân áp, quy tắc phân dòng dùng cho các mạch chứa hai điện trở mắc song song.
- Nếu biết trước I_0 tại nút N ta có:

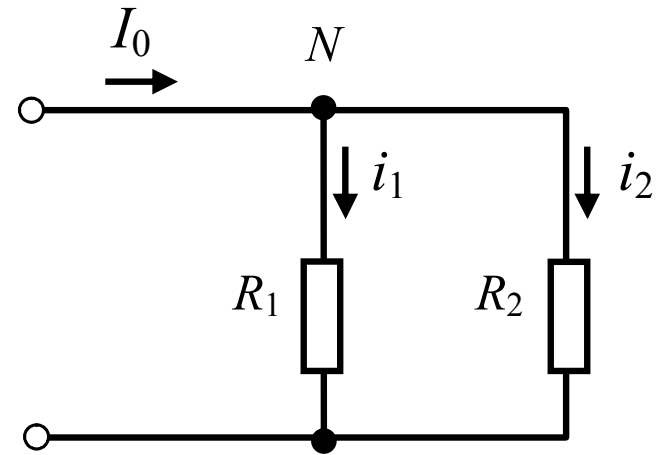
$$i_2 = I_0 - i_1$$

- Điện áp trên R_1 và R_2 phải bằng nhau:

$$i_1 R_1 = i_2 R_2 \rightarrow i_1 = i_2 \frac{R_2}{R_1}$$

- Ta có:

$$i_2 = I_0 - i_1 \frac{R_2}{R_1}$$



Hay:

$$i_2 = \frac{I_0 R_1}{R_1 + R_2}$$

$$i_1 = \frac{I_0 R_2}{R_1 + R_2}$$

7.5. Quy tắc phân áp và phân dòng (4)

Bài tập 1.18

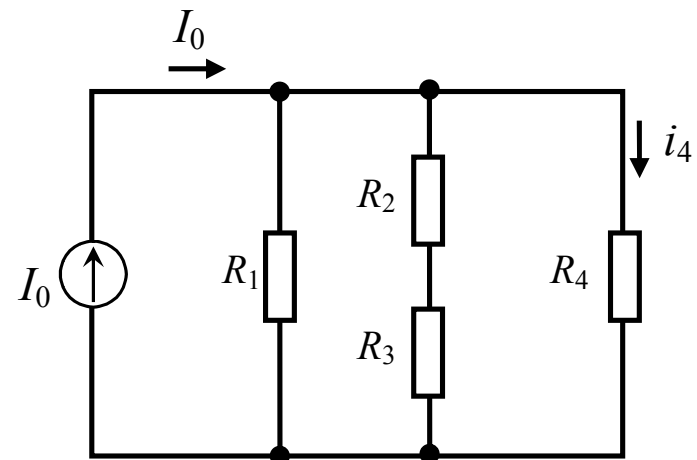
Tìm dòng điện i_4 qua R_4 trên hình B1.12 nếu: $I_0 = 12\text{mA}$, $R_1 = 2\text{k}\Omega$; $R_2 = 1\text{k}\Omega$, $R_3 = 1\text{k}\Omega$ và $R_4 = 4\text{k}\Omega$. (Đáp số 2,4mA).

Bài tập 1.19

Tìm điện áp trên R_4 trên hình B1.12 nếu: $I_0 = 10\text{mA}$, $R_1 = 2\text{k}\Omega$; $R_2 = 5\text{k}\Omega$, $R_3 = 1\text{k}\Omega$ và $R_4 = 2\text{k}\Omega$. (Đáp số $\approx 8,6\text{V}$).

Bài tập 1.20

Tìm dòng điện i_1 qua R_1 trên hình B1.12 nếu: $I_0 = 6\text{mA}$, $R_1 = 2\text{k}\Omega$; $R_2 = 250\Omega$, $R_3 = 750\text{k}\Omega$ và $R_4 = 2\text{k}\Omega$. (Đáp số 2,4mA).

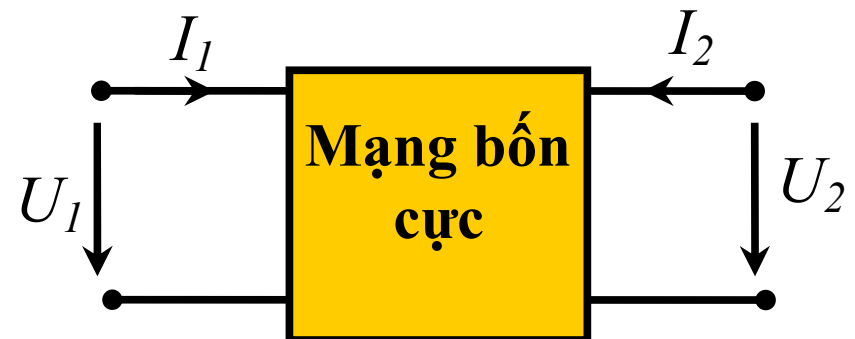


Hình B1.12

8. Mạng bốn cực (1)

- Mạng bốn cực (còn gọi là mạch hai cửa) là mô hình của các phần tử và các phần mạch điện thường gặp trong thực tế (như mô hình biến áp, transistor...).
- Các định luật tổng quát dùng cho mạch tuyến tính đều có thể áp dụng cho bốn cực tuyến tính, nhưng lý thuyết mạng bốn cực chủ yếu đi sâu vào phân tích mạch điện theo hệ thống, lúc ấy có thể không cần quan tâm tới mạch cụ thể nữa mà coi chúng như một hộp đen và vấn đề người ta cần đến là mối quan hệ dòng và áp ở hai cửa của mạch.
- Lý thuyết mạng bốn cực cho phép nghiên cứu các mạch điện phức tạp như là sự ghép nối của các bốn cực đơn giản theo nhiều cách khác nhau, nó là một trong những phương pháp hữu hiệu dùng để phân tích và tổng hợp mạch.

U_1, I_1 : điện áp và dòng điện tại cửa 1
 U_2, I_2 : điện áp và dòng điện tại cửa 2



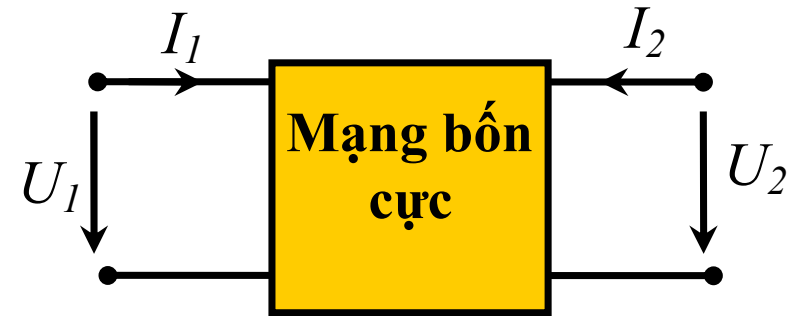
8. Mạng bốn cực (2)

8.1. Các hệ phương trình đặc tính của bốn cực.

- Hệ phương trình đặc tính trở kháng $[Z]$

$$\begin{cases} U_1 = z_{11}I_1 + z_{12}I_2 \\ U_2 = z_{21}I_1 + z_{22}I_2 \end{cases} \longrightarrow \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = [Z] \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

Ma trận trở kháng: $[Z] = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix}$



$$z_{11} = \left. \frac{U_1}{I_1} \right|_{I_2=0}$$

$$z_{22} = \left. \frac{U_2}{I_2} \right|_{I_1=0}$$

$$z_{12} = \left. \frac{U_1}{I_2} \right|_{I_1=0}$$

$$z_{21} = \left. \frac{U_2}{I_1} \right|_{I_2=0}$$

- Đối với trường hợp bốn cực tương hỗ ta có:

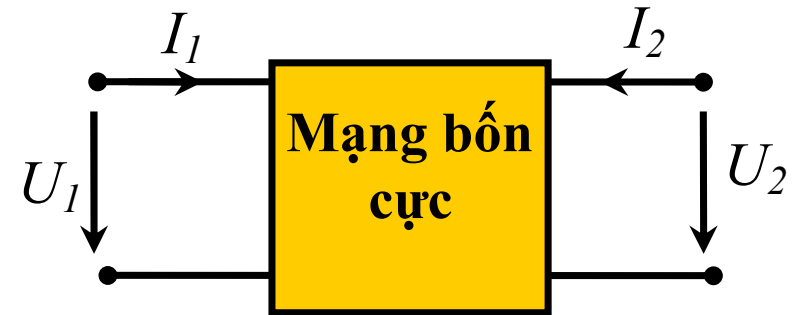
$$z_{12} = z_{21}$$

8. Mạng bốn cực (3)

8.1. Các hệ phương trình đặc tính của bốn cực.

- Hệ phương trình đặc tính dẫn nạp $[Y]$

$$\begin{cases} I_1 = y_{11}U_1 + y_{12}U_2 \\ I_2 = y_{21}U_1 + y_{22}U_2 \end{cases} \longrightarrow \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = [Y] \cdot \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix}$$



Ma trận dẫn nạp $[Y] = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{bmatrix}$

$$y_{11} = \left. \frac{I_1}{U_1} \right|_{U_2=0}$$

$$y_{22} = \left. \frac{I_2}{U_2} \right|_{U_1=0}$$

$$y_{12} = \left. \frac{I_1}{U_2} \right|_{U_1=0}$$

$$y_{21} = \left. \frac{I_2}{U_1} \right|_{U_2=0}$$

- Đối với trường hợp bốn cực tương hỗ ta có:

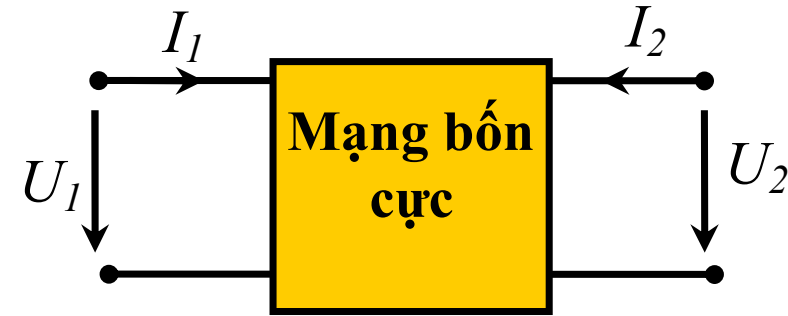
$$y_{12} = y_{21}$$

8. Mạng bốn cực (4)

8.1. Các hệ phương trình đặc tính của bốn cực.

- Hệ phương trình đặc tính truyền đạt $[A]$

$$\begin{cases} U_1 = a_{11}U_2 + a_{12}I_2 \\ I_1 = a_{21}U_2 + a_{22}I_2 \end{cases} \longrightarrow \begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} U_2 \\ I_2 \end{bmatrix}$$



Ma trận truyền đạt $[A] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}$

$$a_{11} = \left. \frac{U_1}{U_2} \right|_{I_2=0} \quad a_{22} = \left. \frac{I_1}{I_2} \right|_{U_2=0} \quad a_{12} = \left. \frac{U_1}{I_2} \right|_{U_2=0} \quad a_{21} = \left. \frac{I_1}{U_2} \right|_{I_2=0}$$

- Đối với trường hợp bốn cực tương hỗ ta có:

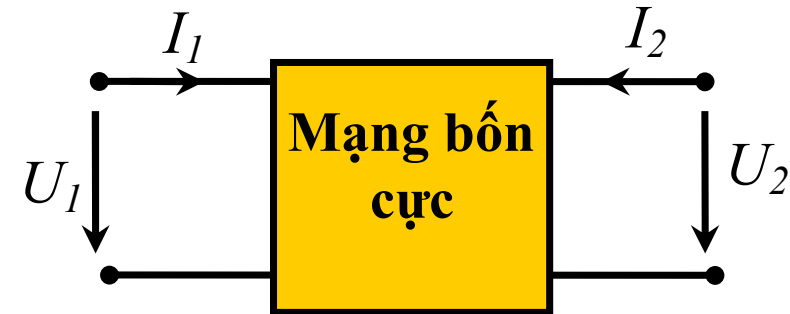
$$\Delta A = -1$$

8. Mạng bốn cực (5)

8.1. Các hệ phương trình đặc tính của bốn cực.

- Hệ phương trình đặc tính truyền đạt ngược **[B]**

$$\begin{cases} U_2 = b_{11}U_1 + b_{12}I_1 \\ I_2 = b_{21}U_1 + b_{22}I_1 \end{cases} \longrightarrow \begin{bmatrix} U_2 \\ I_2 \end{bmatrix} = [\mathbf{B}] \begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix}$$



Ma trận truyền đạt ngược **[B]** = $\begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix}$

$$b_{11} = \left. \frac{U_2}{U_1} \right|_{I_1=0}$$

$$b_{22} = \left. \frac{I_2}{I_1} \right|_{U_1=0}$$

$$b_{12} = \left. \frac{U_2}{I_1} \right|_{U_1=0}$$

$$b_{21} = \left. \frac{I_2}{U_1} \right|_{I_1=0}$$

- Đối với trường hợp bốn cực tương hỗ ta có:

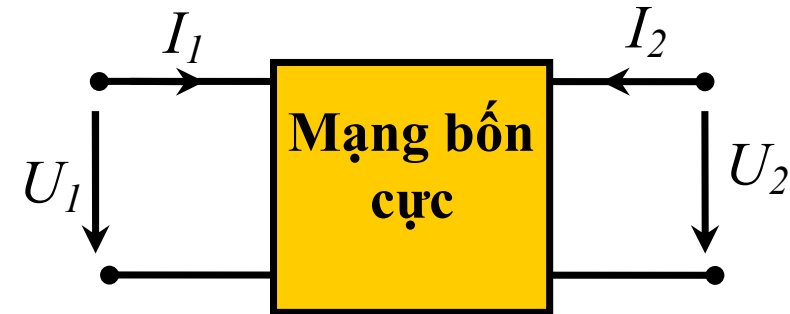
$$\Delta \mathbf{B} = -1$$

8. Mạng bốn cực (6)

8.1. Các hệ phương trình đặc tính của bốn cực.

- Hệ phương trình đặc tính hỗn hợp **[H]**

$$\begin{cases} U_1 = h_{11}I_1 + h_{12}U_2 \\ I_2 = h_{21}I_1 + h_{22}U_2 \end{cases} \longrightarrow \begin{bmatrix} U_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = [\mathbf{H}] \begin{bmatrix} I_1 \\ U_2 \end{bmatrix}$$



Ma trận hỗn hợp: $[\mathbf{H}] = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix}$

$$h_{11} = \left. \frac{U_1}{I_1} \right|_{U_2=0}$$

$$h_{22} = \left. \frac{I_2}{U_2} \right|_{I_1=0}$$

$$h_{12} = \left. \frac{U_1}{U_2} \right|_{I_1=0}$$

$$h_{21} = \left. \frac{I_2}{I_1} \right|_{U_2=0}$$

- Đối với trường hợp bốn cực tương hỗ ta có:

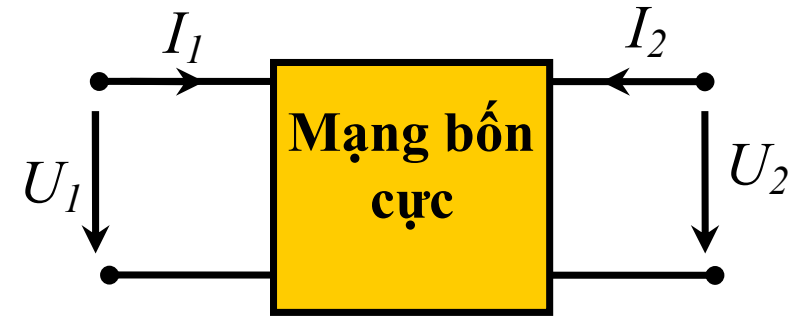
$$h_{12} = -h_{21}$$

8. Mạng bốn cực (7)

8.1. Các hệ phương trình đặc tính của bốn cực.

- Hệ phương trình đặc tính hỗn hợp ngược [G]

$$\begin{cases} I_1 = g_{11}U_1 + g_{12}I_2 \\ U_2 = g_{21}U_1 + g_{22}I_2 \end{cases} \longrightarrow \begin{bmatrix} I_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = [\mathbf{G}] \times \begin{bmatrix} U_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$



Ma trận hỗn hợp ngược:

$$[\mathbf{G}] = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{bmatrix}$$

$$g_{11} = \left. \frac{I_1}{U_1} \right|_{I_2=0}$$

$$g_{22} = \left. \frac{U_2}{I_2} \right|_{U_1=0}$$

$$g_{12} = \left. \frac{I_1}{I_2} \right|_{U_1=0}$$

$$g_{21} = \left. \frac{U_2}{U_1} \right|_{I_2=0}$$

- Đối với trường hợp bốn cực tương hỗ ta có:

$$g_{12} = -g_{21}$$

8. Mạng bốn cực (8)

8.2. Các phương pháp ghép nối mạng bốn cực.

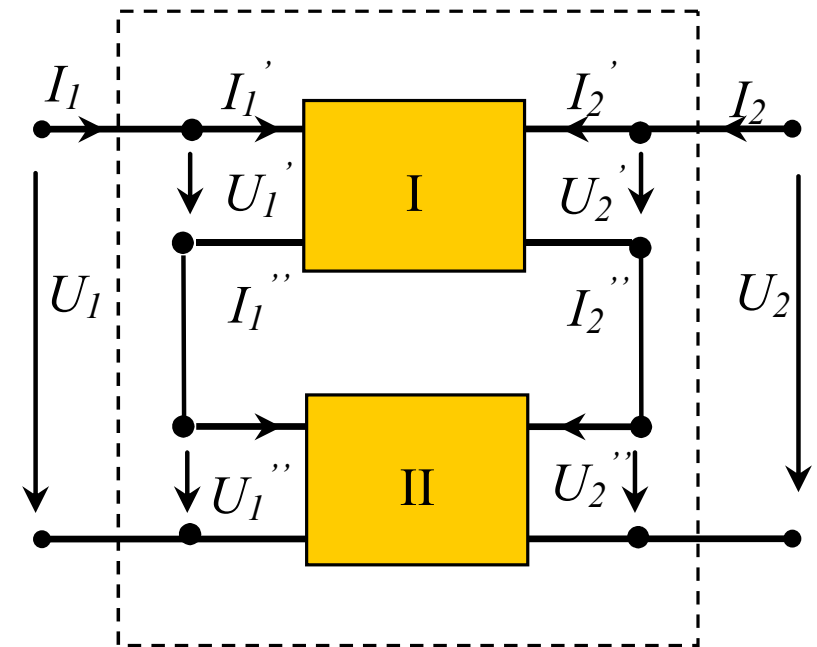
a) Ghép nối tiếp – nối tiếp

Ghép **nối tiếp** ở cả hai cửa I và II

Mạng 4 cực mới, có ma trận

trở kháng $[Z]$ như sau:

$$[Z] = [Z'] + [Z'']$$



Tổng quát khi có k mạng 4 cực mắc **nối tiếp – nối tiếp**:

$$[Z] = \sum_{k=1}^n [Z_k]$$

8. Mạng bốn cực (9)

8.2. Các phương pháp ghép nối mạng bốn cực.

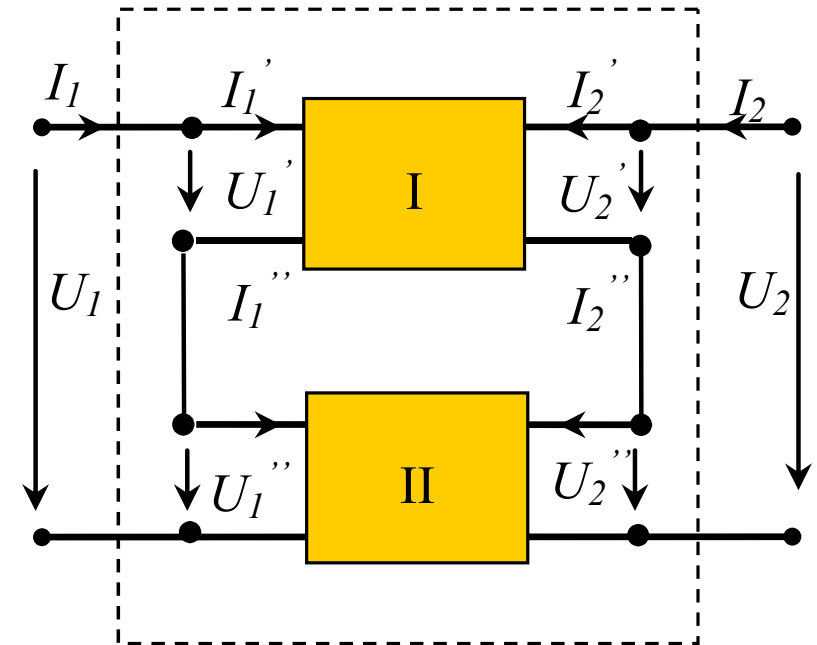
a) Ghép song song – song song

Ghép song song ở cả hai cửa I và II

Mạng 4 cực mới, có ma trận

dẫn nạp $[Y]$ như sau:

$$[Y] = [Y'] + [Y'']$$



Tổng quát khi có k mạng 4 cực mắc song song – song song:

$$[Y] = \sum_{k=1}^n [Y_k]$$

8. Mạng bốn cực (10)

8.2. Các phương pháp ghép nối mạng bốn cực.

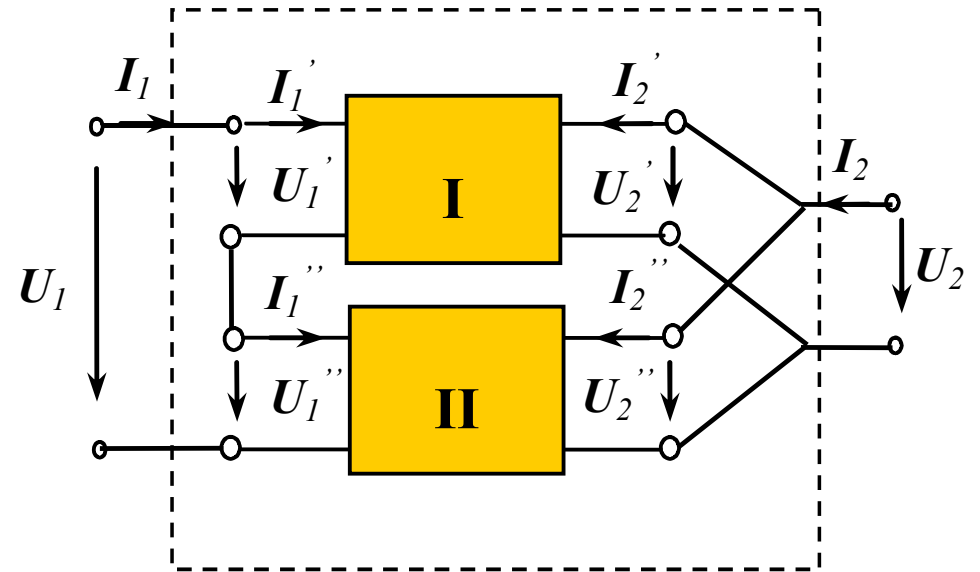
a) Ghép nối tiếp – song song

Ghép nối tiếp ở cửa I và song song ở cửa II

Mạng 4 cực mới, có ma trận

hỗn hợp $[\mathbf{H}]$ như sau:

$$[\mathbf{H}] = [\mathbf{H}'] + [\mathbf{H}'']$$



Tổng quát khi có k mạng 4 cực mắc nối tiếp – song song:

$$[\mathbf{H}] = \sum_{k=1}^n [\mathbf{H}_k]$$

8. Mạng bốn cực (11)

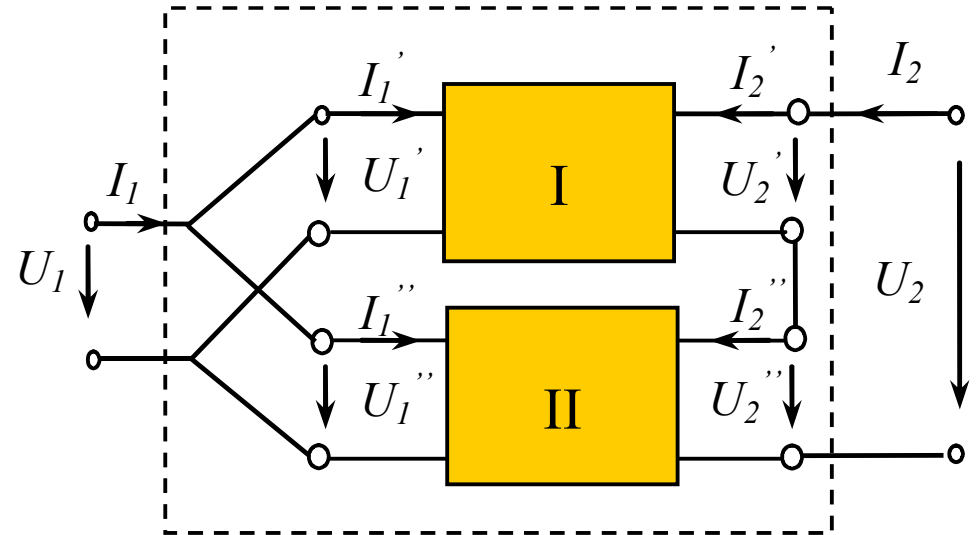
8.2. Các phương pháp ghép nối mạng bốn cực .

a) Ghép song song – nối tiếp

Ghép song song ở cửa I và nối tiếp ở cửa II

Mạng 4 cực mới, có ma trận
hỗn hợp ngược $[G]$ như sau:

$$[G] = [G'] + [G'']$$



Tổng quát khi có k mạng 4 cực mắc song song – nối tiếp:

$$[G] = \sum_{k=1}^n [G_k]$$