

Introduction to Electric Circuit Analysis

Huy Vu

Faculty of Electrical and Electronics Engineering
Ho Chi Minh City University of Technology

Ngày 17 tháng 6 năm 2024

Mục lục

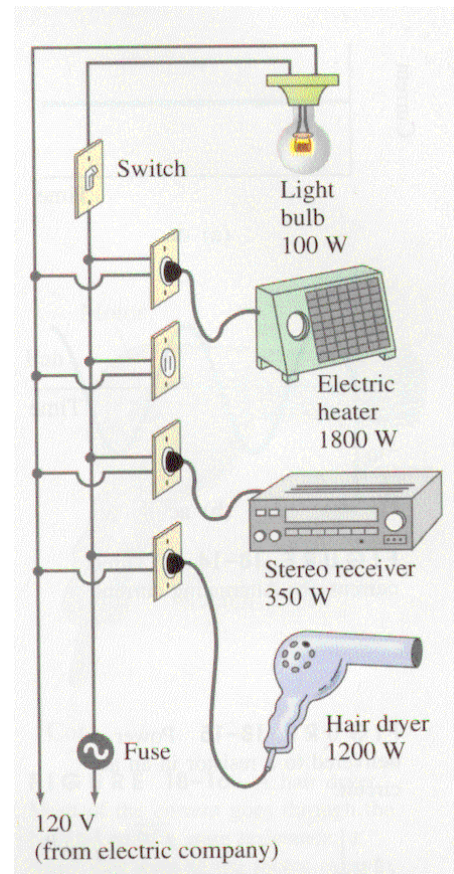
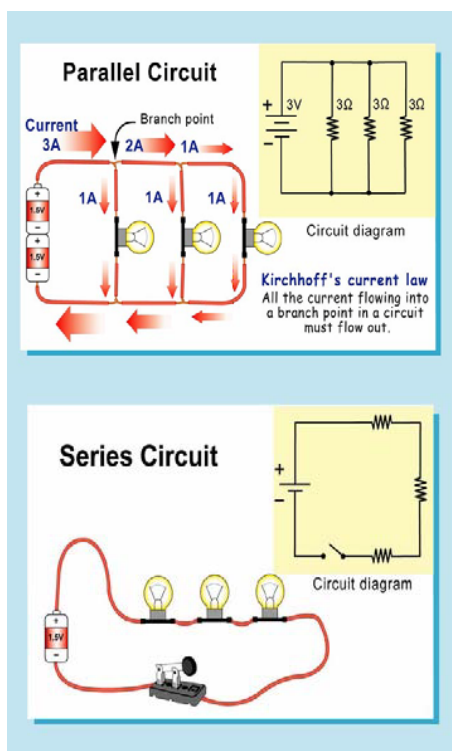
Chapter: 1	Các khái niệm & định luật cơ bản	2
1	Giới hạn và phạm vi ứng dụng của bài toán mạch	2
2	Các phần tử mạch	2
2.1	Điện trở	3
2.2	Điện cảm	3
2.3	Điện trường	3
2.4	Hỗ cảm	4
2.5	Nguồn áp	5
2.6	Nguồn dòng	5
3	Công suất và năng lượng	6
3.1	Công suất	6
3.2	Năng lượng	6
4	Các định luật cơ bản & biến đổi tương đương	6
4.1	Các thuật ngữ	6
4.2	Định luật Kirchhoff 1: KCL (Kirchhoff Current Law)	7
4.3	Định luật Kirchhoff 2: KVL (Kirchhoff Voltage Law)	7
4.4	Hệ PT dòng điện nhánh	8
4.5	Biến đổi nguồn áp lý tưởng:	8
4.6	Biến đổi nguồn dòng lý tưởng:	9
4.7	Biến đổi nguồn thực:	9
4.8	Biến đổi điện trở nối tiếp:	9
4.9	Biến đổi điện trở nối tiếp:	9
4.10	Biến đổi điện trở mắc sao \leftrightarrow tam giác:	10
4.11	Quy tắc phân áp:	10
4.12	Quy tắc phân dòng:	10
Chapter: 2	Mạch xác lập điều hòa	11

Chapter 1: Các khái niệm & định luật cơ bản

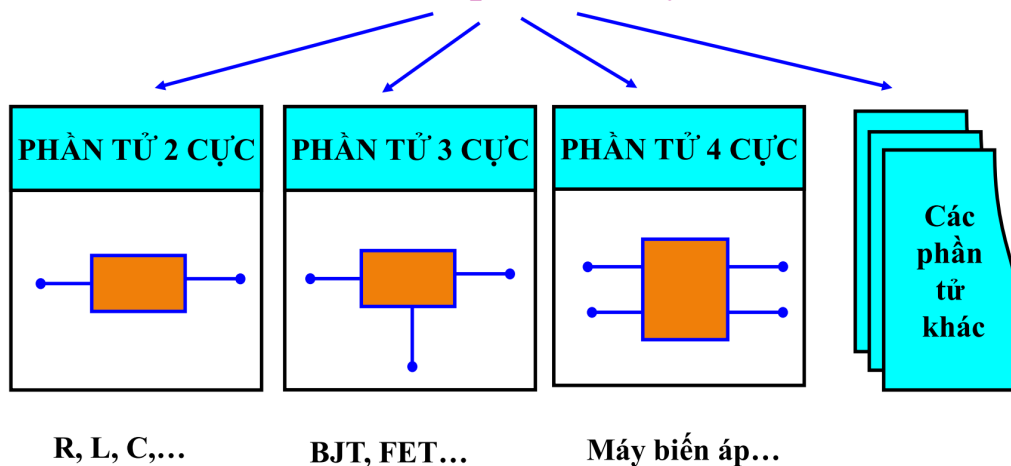
1 Giới hạn và phạm vi ứng dụng của bài toán mạch

2 Các phần tử mạch

Mạch điện: là một hệ gồm các thiết bị điện, điện tử được gắn kết với nhau bằng dây dẫn thành vòng kín trong đó xảy ra các quá trình truyền đạt, biến đổi năng lượng hay các tín hiệu điện từ.



Cấu trúc phân tử mạch

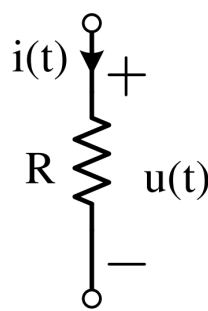


2.1 Điện trở

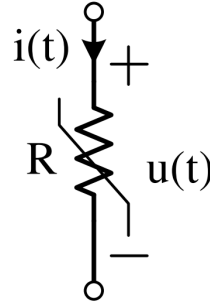
- Đặc trưng cho tổn hao công suất trong mạch điện.
- Quan hệ dòng áp trên 2 cực theo định luật Ohm:

$$u(t) = Ri(t) \quad (1)$$

- R : điện trở đơn vị Ohm (Ω). Ký hiệu trong sơ đồ:



Điện trở tuyến tính



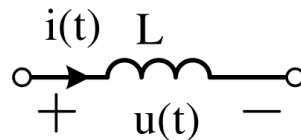
Điện trở phi tuyến

2.2 Điện cảm

- Đặc trưng cho tích phóng năng lượng từ trường.
- Quan hệ dòng áp trên điện cảm tuyến tính:

$$u_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} \quad i_L(t) = \frac{1}{L} \int_{t_0}^t u_L(t) dt \quad (2)$$

- L : điện cảm (độ tự cảm) đơn vị Henry (H). Ký hiệu trong sơ đồ

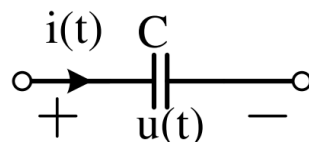


2.3 Điện trường

- Đặc trưng cho tích phóng năng lượng điện trường.
- Quan hệ dòng áp trên điện dung tuyến tính:

$$i_C(t) = C \frac{du_C(t)}{dt} \quad u_C(t) = \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i_C(t) dt \quad (3)$$

- C : điện dung đơn vị Fara (F). Ký hiệu trong sơ đồ

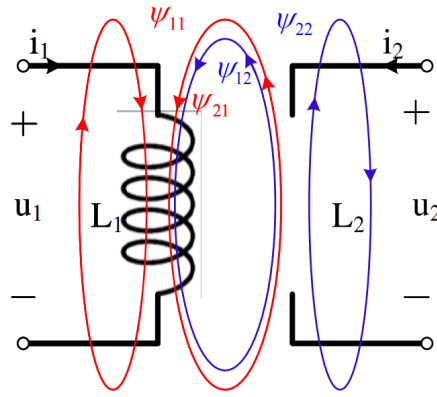


2.4 Hối cảm

- Là hiện tượng xuất hiện từ trường trong cuộn dây do dòng điện trong cuộn dây khác tạo nên.

$$\Psi_{11} = L_1 i_1, \Psi_{22} = L_2 i_2 \Rightarrow \begin{cases} u_1 = \pm \frac{d\Psi_{11}}{dt} \pm \frac{d\Psi_{12}}{dt} \\ u_2 = \pm \frac{d\Psi_{22}}{dt} \pm \frac{d\Psi_{21}}{dt} \end{cases} \quad (4)$$

- Hệ số hồi cảm: $M = \frac{\Psi_{21}}{di_1} = \frac{\Psi_{12}}{di_2}$
- Mức độ ghép giữa 2 cuộn dây xác định thông qua hệ số k . $k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$, $0 < k < 1$.

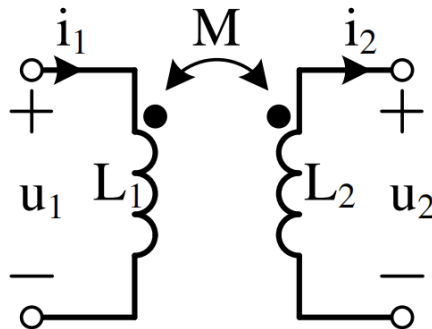


$$\begin{cases} u_1 = \pm L_1 \frac{di_1}{dt} \pm M \frac{di_2}{dt} \\ u_2 = \pm L_2 \frac{di_2}{dt} \pm M \frac{di_1}{dt} \end{cases} \quad (5)$$

Trong đó:

- $\pm L_1 \frac{di_1}{dt}$, $\pm L_2 \frac{di_2}{dt}$: Xét dấu theo chiều dòng điện đang chảy trong cuộn dây đối với chiều sụt áp.
- $\pm M \frac{di_2}{dt}$, $\pm M \frac{di_1}{dt}$: Xét dấu theo vị trí các cực cùng tên đối với chiều các dòng điện.

VD:

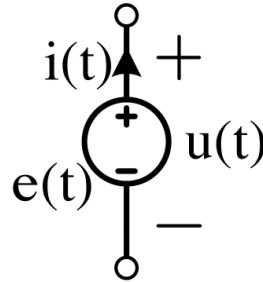


$$u_1 = +L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt}, \quad u_2 = -L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt}$$

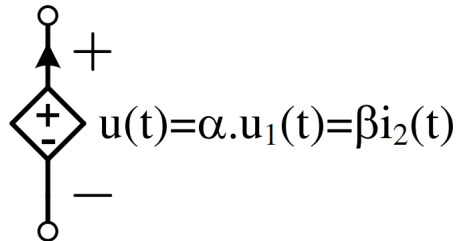
2.5 Nguồn áp

Nguồn áp độc lập:

- Với quan hệ $u(t) = e(t)$.
- Trong đó $u(t)$ không phụ thuộc dòng điện $i(t)$ cung cấp từ nguồn và chính bằng sức điện động của nguồn.



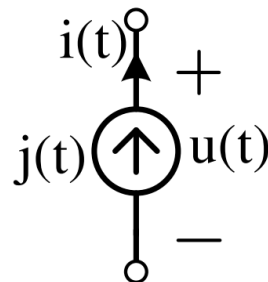
Nguồn áp phụ thuộc: $u(t)$ quan hệ phụ thuộc theo áp hoặc dòng trên một nhánh khác.



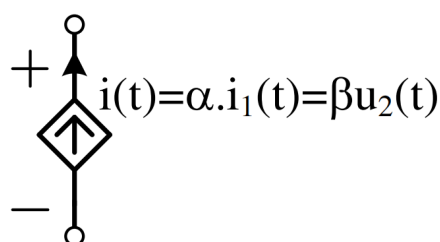
2.6 Nguồn dòng

Nguồn dòng độc lập:

- Với quan hệ $i(t) = j(t)$.
- Trong đó $i(t)$ không phụ thuộc vào điện áp $u(t)$.



Nguồn dòng phụ thuộc: $i(t)$ quan hệ phụ thuộc theo áp hoặc dòng trên một nhánh khác.



3 Công suất và năng lượng

3.1 Công suất

Công suất tức thời:

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) \quad (6)$$

Công suất trung bình:

$$P = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} p(t) dt \quad [W] \quad (7)$$

3.2 Năng lượng

Năng lượng được hấp thu bởi phần tử mạch trong khoảng vô cùng bé dt được xác định bởi:

$$dW = u dq = u \cdot i \cdot dt \quad (8)$$

Năng lượng hấp thu bởi mạch trong khoảng thời gian $t_0 + t_0 + \Delta t$

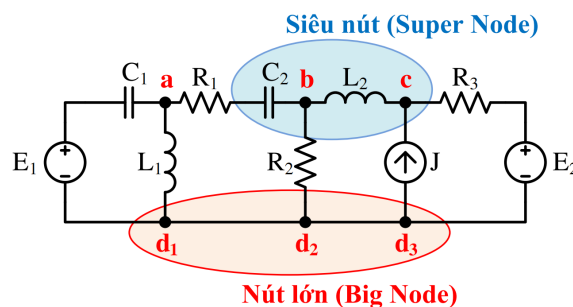
$$W = \int_{t_0}^{t_0+\Delta t} u \cdot i \cdot dt \quad [J] \quad (9)$$

Phần tử	Công suất trung bình	Năng lượng
Điện trở	$P_R = RI^2$	$W_R = R \int_{t_0}^{t_0+\Delta t} i^2 dt$
Điện dung	$P_C = 0$	$W_C = \frac{1}{2} C u_C^2$
Điện cảm	$P_L = 0$	$W_L = \frac{1}{2} L i_L^2$
Hỗ cảm	$P_M = 0$	$W_M = \frac{1}{2} L_1 i_1^2 + \frac{1}{2} L_2 i_2^2 \pm M i_1 i_2$

4 Các định luật cơ bản & biến đổi tương đương

4.1 Các thuật ngữ

- Kích thích, tác động: nguồn áp, dòng, tín hiệu vào ...
- Đáp ứng: dòng, áp trên các nhánh, tín hiệu ngõ ra.
- Nhánh: tập hợp các phần tử mạch mắc nối tiếp nhau có cùng dòng điện chảy qua.
- Nút (đỉnh): giao điểm ghép nối các phần tử mạch, giao điểm các nhánh (qui ước trong bài toán mạch chọn giao điểm từ 3 nhánh trở lên).
- Vòng: tập hợp nhiều nhánh nối tiếp nhau thành vòng kín.
- Mắt lưới: là vòng nhỏ nhất không chứa vòng nào khác bên trong nó.



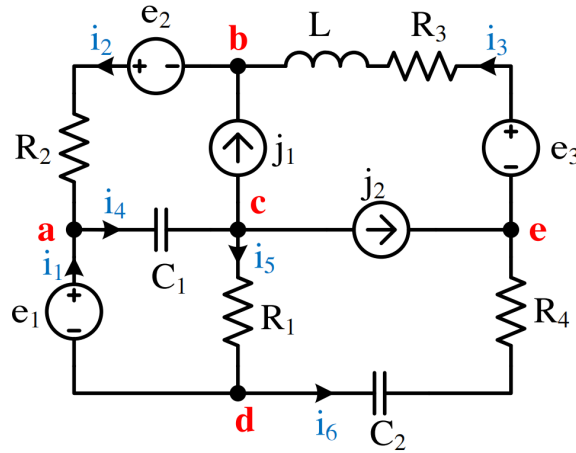
4.2 Định luật Kirchhoff 1: KCL (Kirchhoff Current Law)

$$\sum_{k=1}^n \pm i_k = 0 \quad (10)$$

$k=1$ (nút)

Qui ước:

- Dòng điện đi vào nút giá trị dương.
- Dòng ra khỏi nút mang giá trị âm.



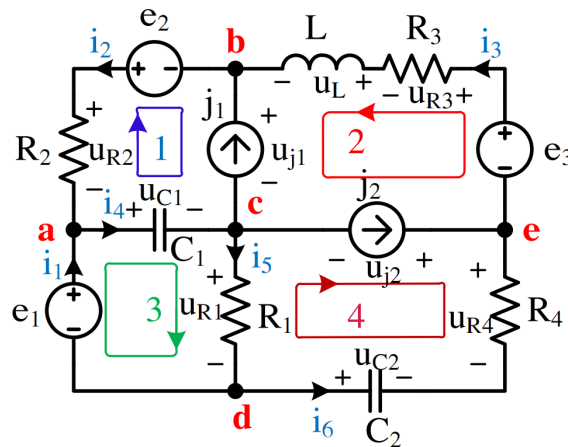
4.3 Định luật Kirchhoff 2: KVL (Kirchhoff Voltage Law)

$$\sum_{k=1}^n \pm u_k = 0 \quad (11)$$

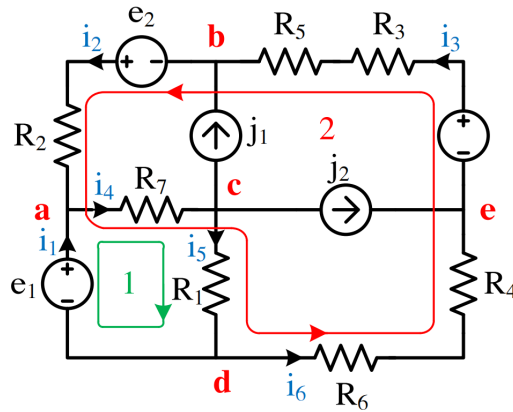
$k=1$ (vòng)

Qui ước:

- Điện áp dương khi cùng chiều vòng.
- Điện áp âm khi ngược chiều vòng.



4.4 Hệ PT dòng điện nhánh



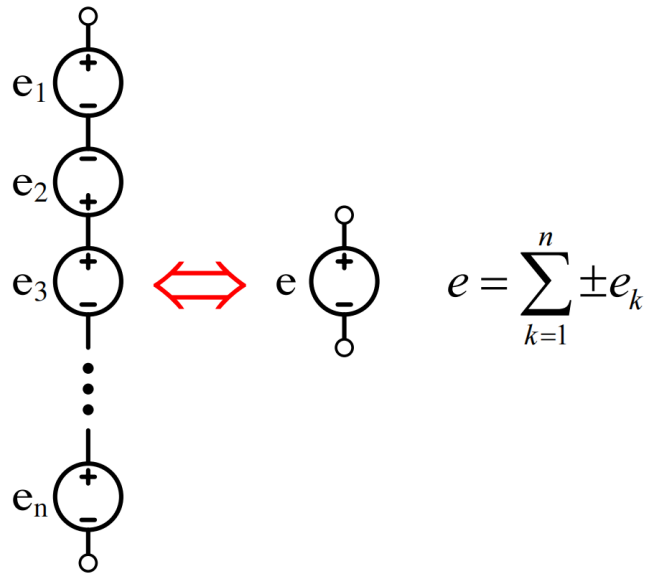
Trong đó:

- d: số nút
- n: số nhánh
- k: số nguồn dòng

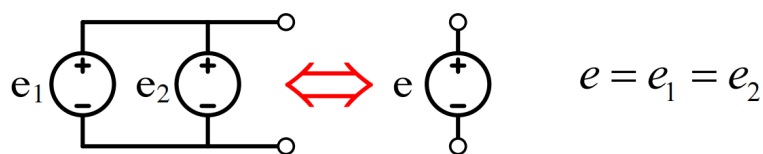
(ẩn số là dòng điện trong các nhánh):

- d-1: phương trình từ KCL.
- n-d+1-k: phương trình từ KVL.

4.5 Biến đổi nguồn áp lý tưởng:



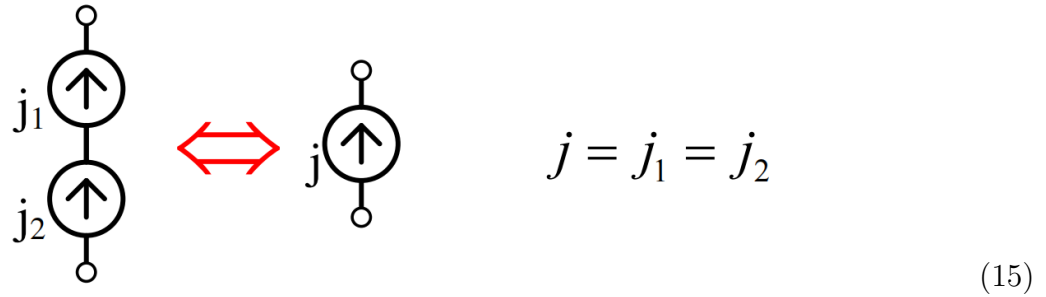
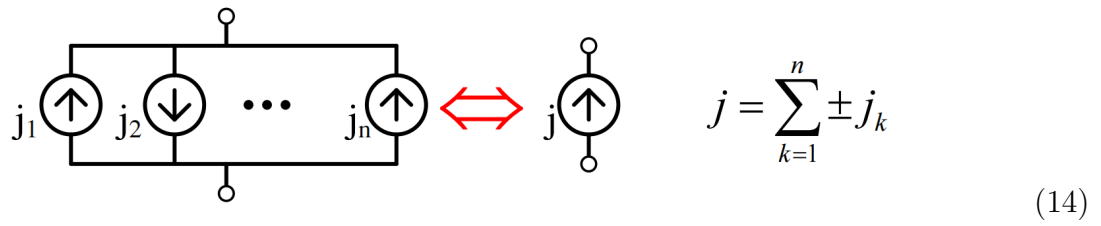
(12)



(13)

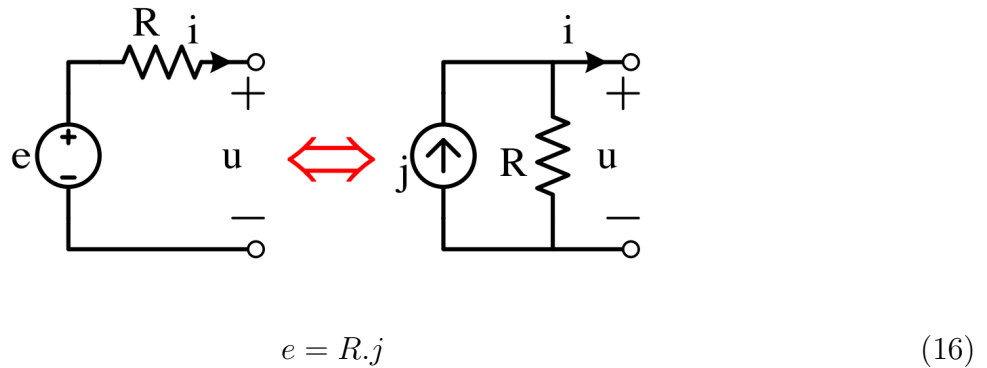
Lưu ý: không tồn tại khi $e_1 \neq e_2$.

4.6 Biến đổi nguồn dòng lý tưởng:

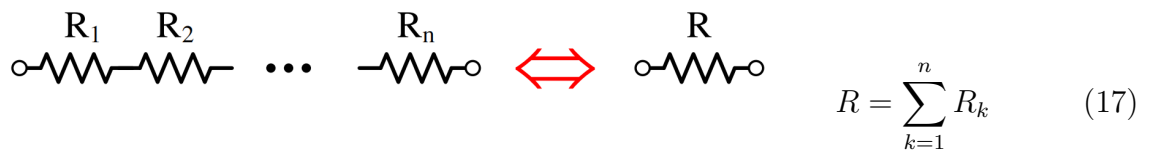


Lưu ý: không tồn tại khi \$j_1 \neq j_2\$.

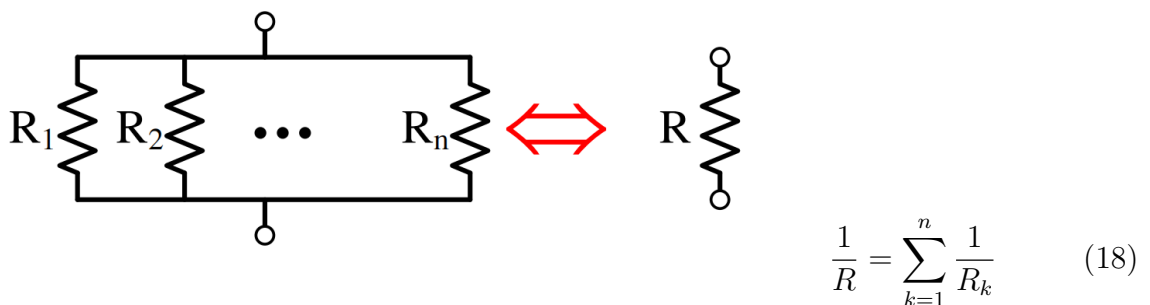
4.7 Biến đổi nguồn thực:



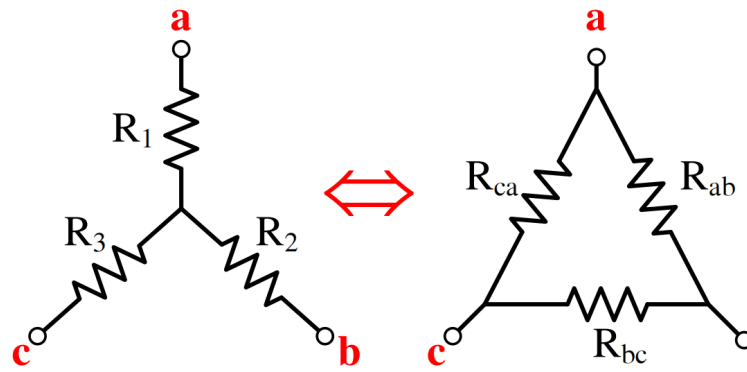
4.8 Biến đổi điện trở nối tiếp:



4.9 Biến đổi điện trở nối tiếp:

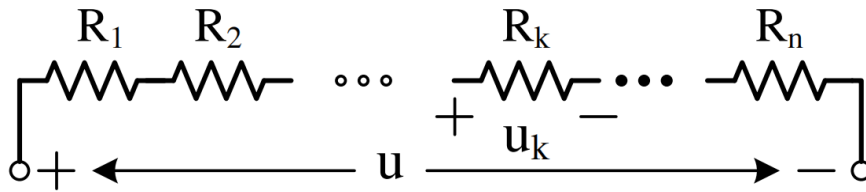


4.10 Biến đổi điện trở mắc sao \leftrightarrow tam giác:



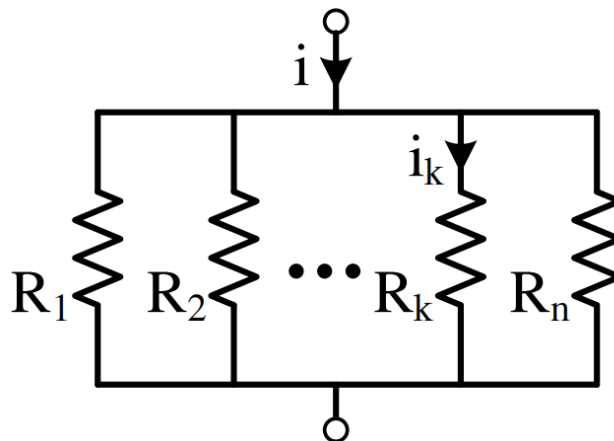
$$R_{Y(node)} = \frac{R_{\Delta 1} R_{\Delta 2} (to - node)}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}} \quad R_{\Delta} = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_Y (facing - node)} \quad (19)$$

4.11 Quy tắc phân áp:



$$u_k = \left(\frac{R_k}{\sum R} \right) u \quad (20)$$

4.12 Quy tắc phân dòng:



$$i_k = \left(\frac{\frac{1}{R_k}}{\sum \frac{1}{R}} \right) i \quad (21)$$

Chapter 2: Mạch xác lập điều hòa