✹ CHƯƠNG 2

ĐỊNH LUẬT VÀ ĐỊNH LÝ MẠCH ĐIỆN

❋ ĐỊNH LUẬT KIRCHHOF

❋ ĐIỆN TRỞ TƯƠNG ĐƯƠNG

❋ ĐỊNH LÝ MILLMAN

❋ ĐỊNH LÝ CHỒNG CHẤT

❋ ĐỊNH LÝ THEVENIN VÀ NORTON

❋ BIẾN ĐỔI Y ↔ Δ (ĐỤNH LÝ KENNELY)

Chương này đề cập đến hai định luật quan trọng làm cơ sở cho việc phân giải mạch, đó là các định luật Kirchhoff.

Chúng ta cũng bàn đến một số định lý về mạch điện. Việc áp dụng các định lý này giúp ta giải quyết nhanh một số bài toán đơn giản hoặc biến đổi một mạch điện phức tạp thành một mạch đơn giản hơn, tạo thuận lợi cho việc áp dụng các định luật Kirchhoff để giải mạch.

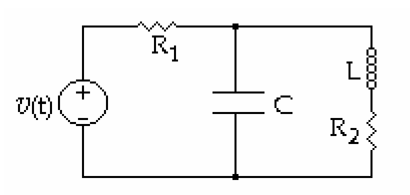
Trước hết, để đơn giản, chúng ta chỉ xét đến **mạch gồm toàn điện trở** và **các loại nguồn**, gọi chung là **mạch DC**. Các phương trình diễn tả cho loại mạch như vậy chỉ là các phương trình đại số (Đối với mạch có chứa L & C, ta cần đến các phương trình vi tích phân)

Tuy nhiên, khi khảo sát và ứng dụng các định lý, chúng ta chỉ chú ý đến cấu trúc của mạch mà không quan tâm đến bản chất của các thành phần, do đó các kết quả trong chương này cũng áp dụng được cho các trường hợp tổng quát hơn.

Trong các mạch DC, đáp ứng trong mạch luôn luôn có dạng giống như kích thích, nên để đơn giản, ta dùng kích thích là các nguồn độc lập có giá trị không đổi thay vì là các hàm theo thời gian.

2.1 định luật kirchhoff

Một mạch điện gồm hai hay nhiều phần tử nối với nhau, các phần tử trong mạch tạo thành những nhánh. Giao điểm của hai hay nhiều nhánh được gọi là nút. Thường người ta coi nút là giao điểm của 3 nhánh trở nên. Xem mạch (H 2.1).



(H 2.1)

- Nếu xem mỗi phần tử trong mạch là một nhánh mạch này gồm 5 nhánh và 4 nút.
- Nếu xem nguồn hiệu thế nối tiếp với R_1 là một nhánh và 2 phần tử L và R_2 là một nhánh (trên các phần tử này có cùng dòng điện chạy qua) thì mạch gồm 3 nhánh và 2 nút.

Cách sau thường được chọn vì giúp việc phân giải mạch đơn giản hơn.

Hai định luật cơ bản làm nền tảng cho việc phân giải mạch điện là:

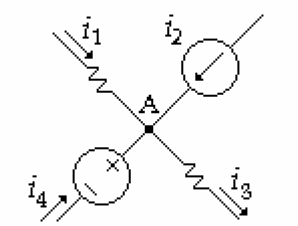
2.1.1. Định luật Kirchhoff về dòng điện : (Kirchhoff's Current Law, KCL)

Tổng đại số các dòng điện tại một nút bằng không .

$$\sum_{j} i_j = 0 \qquad (2.1)$$

i_j là dòng điện trên các nhánh gặp nút j.

Với qui ước: Dòng điện rời khỏi nút có giá trị âm và dòng điện hướng vào nút có giá trị dương (hay ngược lại).



(H 2.2)

Theo phát biểu trên, ta có phương trình ở nút A (H 2.2):

$$i_1 + i_2 - i_3 + i_4 = 0 \qquad (2.2)$$

Nếu ta qui ước dấu ngược lại ta cũng được cùng kết quả:

$$- i_1 - i_2 + i_3 - i_4 = 0 \qquad (2.3)$$

Hoặc ta có thể viết lại:

$$i_3 = i_1 + i_2 + i_4 \qquad (2.4)$$

Và từ phương trình (2.4) ta có phát biểu khác của định luật KCL:

Tổng các dòng điện chạy vào một nút bằng tổng các dòng điện chạy ra khỏi nút đó.

Định luật Kirchhoff về dòng điện là hệ quả của nguyên lý bảo toàn điện tích:

Tại một nút điện tích không được sinh ra cũng không bị mất đi.

Dòng điện qua một điểm trong mạch chính là lượng điện tích đi qua điểm đó trong một đơn vị thời gian và nguyên lý bảo toàn điện tích cho rằng lượng điện tích đi vào một nút luôn luôn bằng lượng điện tích đi ra khỏi nút đó.

2.1.2. Định luật Kirchhoff về điện thế: (Kirchhoff's Voltage Law, KVL).

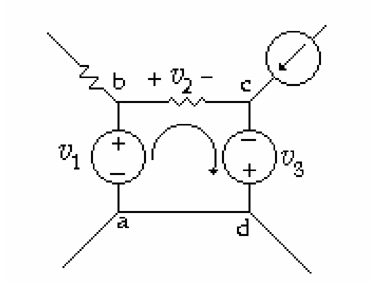
Tổng đại số hiệu thế của các nhánh theo một vòng kín bằng không

$$\sum_{K} v_K(t) = 0 \qquad (2.5)$$

Để áp dụng định luật Kirchhoff về hiệu thế, ta chọn một chiều cho vòng và dùng qui ước: Hiệu thế có dấu (+) khi đi theo vòng theo chiều giảm của điện thế (tức gặp cực dương trước) và ngược lại.

Định luật Kirchhoff về hiệu thế viết cho vòng abcd của (H 2.3).

$$-v_1 + v_2 - v_3 = 0$$



(H 2.3)

Ta cũng có thể viết KVL cho mạch trên bằng cách chọn hiệu thế giữa 2 điểm và xác định hiệu thế đó theo một đường khác của vòng:

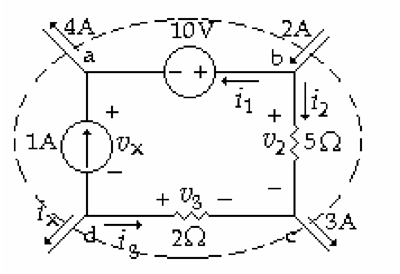
$$v_1 = v_{ba} = v_{bc} + v_{ca} = v_2 - v_3$$

Định luật Kirchhoff về hiệu thế là hệ quả của nguyên lý bảo toàn năng lượng: **Công trong một đường cong kín bằng không**.

Vế trái của hệ thức (2.5) chính là công trong dịch chuyển điện tích đơn vị (+1) dọc theo một mạch kín.

Thí dụ 2.1 .

Tìm i_x và v_x trong (H2.4)



(H 2.4)

Giải:

Áp dụng KCL lần lượt cho các cho nút a, b, c, d

$-i_1 - 1 + 4 = 0 \quad \Rightarrow \quad i_1 = 3A$

$-2A + i_1 + i_2 = 0 \quad \Rightarrow \quad i_2 = -1A$

$-i_3 + 3A - i_2 = 0 \quad \Rightarrow \quad i_3 = 4A$

$i_x + i_3 + 1A = 0 \quad \Rightarrow \quad i_x = -5A$

Áp dụng định luật KVL cho vòng abcd:

$-v_x - 10 + v_2 - v_3 = 0$

Với $v_2 = 5\,i_2 = 5.(-1) = -5V$

$v_3 = 2\,i_3 = 2.(4) = 8V$

$\Rightarrow \quad v_x = -10 - 5 - 8 = -23V$

✷Trong thí dụ trên , ta có thể tính dòng i_x từ các dòng điện ở bên ngoài vòng abcd đến các nút abcd.

Xem vòng abcd được bao bởi một mặt kín (vẽ nét gián đoạn).

Định luật Kirchhoff tổng quát về dòng điện có thể phát biểu cho mặt kín như sau: **Tổng đại số các dòng điện đến và rời khỏi mặt kín bằng không**.

Với qui ước dấu như định luật KCL cho một nút.

Như vậy phương trình để tính i_x là:

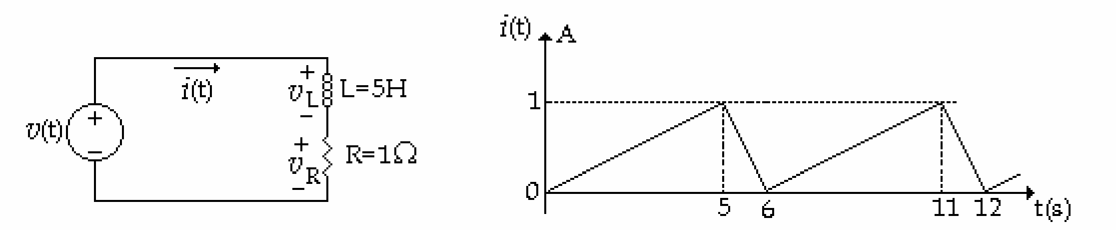
$$- i_x - 4 + 2 - 3 = 0$$

Hay $i_x = - 5$ A

Định luật có thể được chứng minh dễ dàng từ các phương trình viết cho các nút abcd chứa trong mặt kín có dòng điện từ các nhánh bên ngoài đến.

Thí dụ 2.2:

L và R trong mạch (H 2.5a) diễn tả cuộn lệch ngang trong TiVi nếu L = 5H, R = 1Ω và dòng điện có dạng sóng như (H 2.5b). Tìm dạng sóng của nguồn hiệu thế v(t).



(a) (b)

(H 2.5)

Giải:

Định luật KVL cho :

$$- v(t) + v_R(t) + v_L(t) = 0 \qquad (1)$$

hay $$v(t) = v_R + v_L(t) = Ri(t) + L\frac{di(t)}{dt}$$

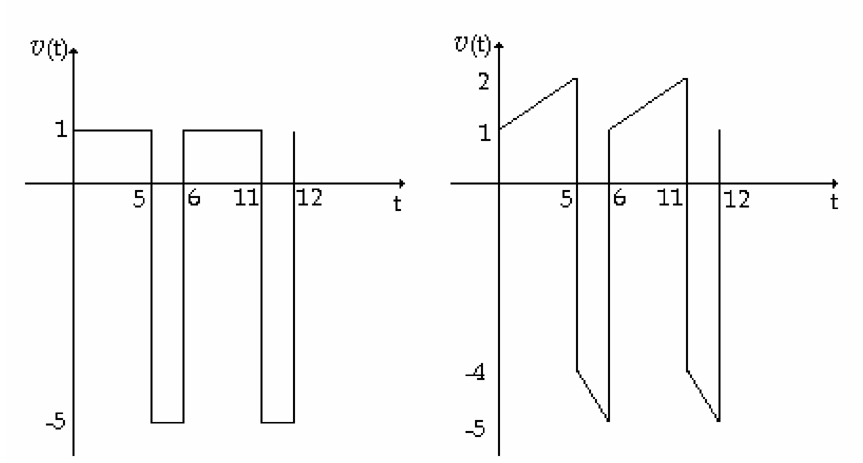
Thay trị số của R và L vào:

$$v_L(t) = 5\frac{di(t)}{dt} \qquad (2)$$

$$v_R(t) = 1.\, i(t) \qquad (3)$$

Và $$v(t) = i(t) + 5\frac{di(t)}{dt} \qquad (4)$$

Dựa vào dạng sóng của dòng điện i(t), suy ra đạo hàm của i(t) và ta vẽ được dạng sóng của v_L(t) (H 2.6a) và v(t) (H 2.6b) từ các phương trình (2), (3) và (4).



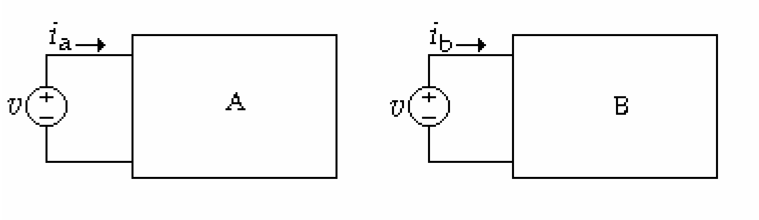
(a) (H 2.6) (b)

2.2 Điện trở tương đương

Hai mạch gọi là tương đương với nhau khi người ta không thể phân biệt hai mạch này bằng cách đo dòng điện và hiệu thế ở những đầu ra của chúng.

Hai mạch lưỡng cực A và B ở (H 2.7) tương đương nếu và chỉ nếu:

$i_a = i_b$ với mọi nguồn v



(H 2.7)

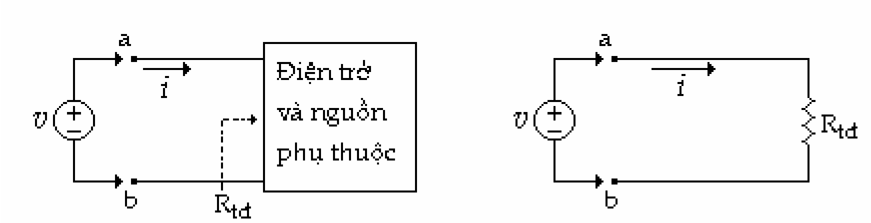
Dưới đây là phát biểu về khái niệm điện trở tương đương:

Bất cứ một lưỡng cực nào chỉ gồm điện trở và nguồn phụ thuộc đều tương đương với một điện trở.

Điện trở tương đương nhìn từ hai đầu a & b của một lưỡng cực được định nghĩa:

$$R_{tđ} = \frac{v}{i} \tag{2.6}$$

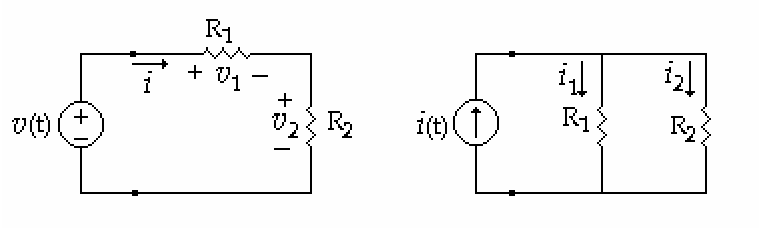
Trong đó v là nguồn bất kỳ nối vào hai đầu lưỡng cực.



(H 2.8)

Thí dụ 2.3:

Mạch (H 2.9a) và (H 2.9b) là cầu chia điện thế và cầu chia dòng điện. Xác định các điện thế và dòng điện trong mạch.



(a) (H 2.9) (b)

Giải:

a/ (H 2.9a) cho

$v = v_1 + v_2 = R_1\, i + R_2\, i = (R_1 + R_2)\, i$

$\Rightarrow \quad R_{tđ} = \frac{v}{i} = R_1 + R_2$

Từ các kết quả trên suy ra : $i = \frac{v}{R_1 + R_2}$

$$\Rightarrow \quad v_1 = R_1\, i = \frac{R_1}{R_1 + R_2} v \qquad và \qquad v_2 = R_2\, i = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v$$

b/ (H 2.9b) cho

$$i = i_1 + i_2 \qquad \text{hay} \qquad \frac{v}{R_{tâ}} = \frac{v}{R_1} + \frac{v}{R_2}$$

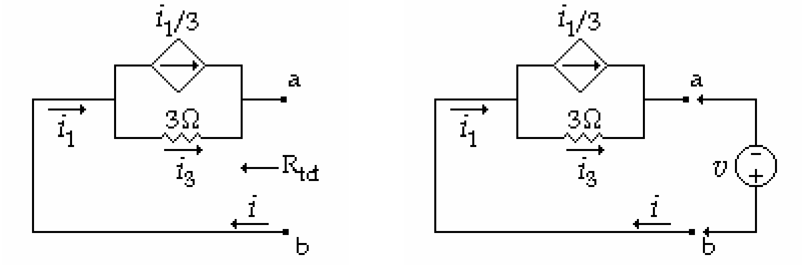
$$\Rightarrow \quad \frac{1}{R_{tâ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \qquad \text{hay} \qquad G_{tđ} = G_1 + G_2$$

Từ các kết quả trên suy ra: $v = \dfrac{1}{G_1 + G_2} i$

$$\Rightarrow \quad i_1 = G_1 v = \frac{G_1}{G_1 + G_2} i = \frac{R_2}{R_1 + R_2} i \qquad và \qquad i_2 = G_2 v = \frac{G_2}{G_1 + G_2} i = \frac{R_1}{R_1 + R_2} i$$

Thí dụ 2.4:

Tính $R_{tđ}$ của phần mạch (H 2.10a)



(a) (b)

(H 2.10)

Giải:

Mắc nguồn hiệu thế v vào hai đầu a và b như (H2.10b) và chú ý $i = i_1$.

Định luật KCL cho $\quad i_1 = i_3 + \dfrac{1}{3} i_1 \Rightarrow i_3 = \dfrac{2}{3} i_1$

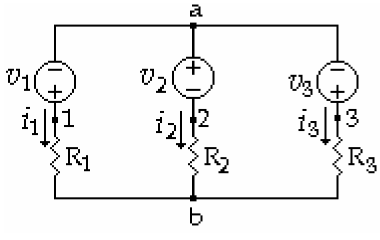
Hiệu thế giữa a &b chính là hiệu thế 2 đầu điện trở 3Ω

$$v = 3i_3 = 2i_1 = 2i \qquad \Rightarrow \qquad R_{tđ} = \frac{v}{i} = 2\Omega$$

2.3. định lý Millman

Định lý Millman giúp ta tính được hiệu thế hai đầu của một mạch gồm nhiều nhánh mắc song song.

Xét mạch (H 2.11), trong đó một trong các hiệu thế $V_{as} = V_a - V_s$ (s = 1,2,3) có thể triệt tiêu.



(H 2.11)

Định lý Millman áp dụng cho mạch (H 2.11) được phát biểu:

$$v_{ab} = \frac{\sum_s v_{as}.G_s}{\sum_s G_s} \qquad (2.7)$$

Với $G_s = \frac{1}{R_s}$ là điện dẫn ở nhánh s.

Chứng minh:

Gọi v_{sb} là hiệu thế hai đầu của R_s: $v_{sb} = v_{ab} - v_{as}$

Dòng điện qua R_s:

$$i_s = \frac{v_{sb}}{R_s} = \frac{v_{ab} - v_{as}}{R_s} = (v_{ab} - v_{as})G_s$$

Tại nút b : $\sum_s i_S = 0$

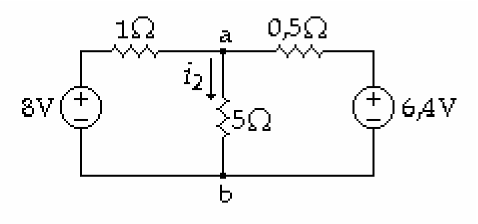
$$\sum_s (v_{ab} - v_{as})G_s = 0$$

Hay $v_{ab}\sum_s G_s = \sum_s v_{as}G_s$

$$v_{ab} = \frac{\sum_s v_{as}G_s}{\sum_s G_s}$$

Thí dụ 2.5

Dùng định lý Millman, xác định dòng điện i_2 trong mạch (H 2.12).



(H 2.12)

ta có $v_{ab} = \dfrac{\frac{8}{1} + \frac{6,4}{0,5}}{1 + \frac{1}{5} + 2} = \dfrac{8 + 12,8}{\frac{16}{5}}$

$v_{ab} = 6,5$ V

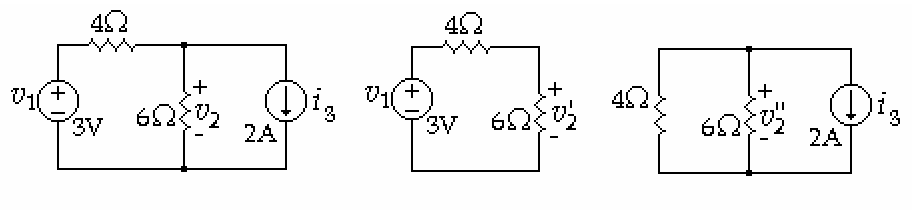
Vậy $i_2 = \dfrac{6,5}{5} = 1,3$ A

2.4. Định lý chồng chất (superposition theorem)

Định lý chồng chất là kết quả của tính chất tuyến tính của mạch: Đáp ứng đối với nhiều nguồn độc lập là tổng số các đáp ứng đối với mỗi nguồn riêng lẻ. Khi tính đáp ứng đối với một nguồn độc lập, ta phải triệt tiêu các nguồn kia (Nối tắt nguồn hiệu thế và để hở nguồn dòng điện, tức cắt bỏ nhánh có nguồn dòng điện), riêng nguồn phụ thuộc vẫn giữ nguyên.

Thí dụ 2.6

Tìm hiệu thế v_2 trong mạch (H 2.13a).



(a) (b) (c)

(H 2.13)

- Cho nguồn i_3 = 0A (để hở nhánh chứa nguồn 3A), ta có mạch (H 2.13b):

$$v'_2 = \frac{6}{4+6}v_1 = 1{,}8\text{V}$$ (dùng cầu phân thế)

- Cho nguồn v_1 = 0V (nối tắt nhánh chứa nguồn 3V), mạch (H 2.13c).

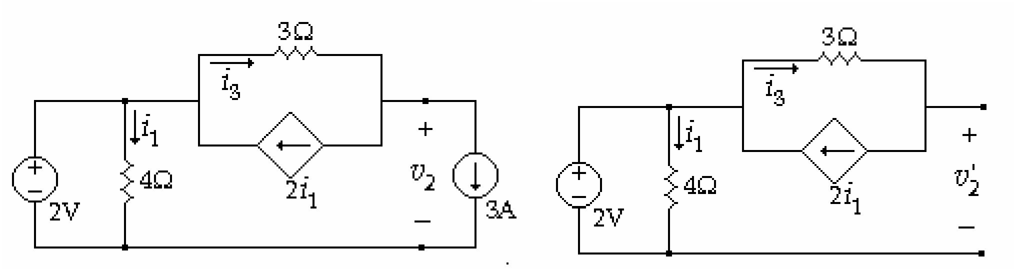
Dòng điện qua điện trở 6Ω: $\frac{4}{6+4}2 = 0{,}8\text{A}$ (dùng cầu phân dòng)

v''_2 = - 0,8 x 6 = - 4,8 V

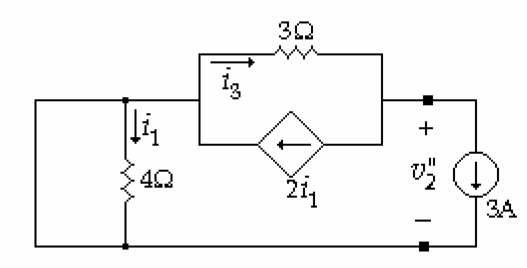
Vậy $v_2 = v'_2 + v''_2$ = 1,8 - 4,8 = - 3V

v_2 = - 3V

Thí dụ 2.7 Tính v_2 trong mạch (H 2.14a).



(a) (b)



(c)

(H 2.14)

Giải:

- Cắt nguồn dòng điện 3A, ta có mạch(H 2.14b).

$$i_1 = \frac{2}{4} = \frac{1}{2}\text{A}$$

$i_3 = 2i_1 = 1\text{A} \rightarrow v'_2 = 2 - 3i_3 = -1$ V

- Nối tắt nguồn hiệu thế 2 V, ta có mạch (H 2.14c).

Điện trở 4Ω bị nối tắt nên i_1 = 0 A

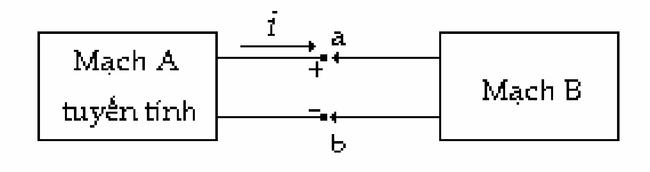
Vậy $i_3 = 3\text{A} \Rightarrow v''_2$ = - 3 x 3 = - 9 V

Vậy $v_2 = v'_2 + v''_2$ = -1 - 9 = -10 V

2.5. Định lý Thevenin và Norton

Định lý này cho phép thay **một phần mạch phức tạp** bằng một **mạch đơn giản** chỉ gồm **một nguồn và một điện trở**.

Một mạch điện giả sử được chia làm hai phần (H 2.15)



(H 2.15)

Định lý Thevenin và Norton áp dụng cho những mạch thỏa các điều kiện sau:

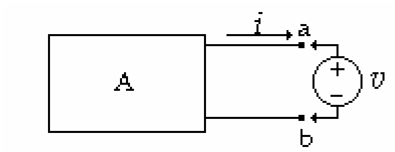
* Mạch A là mạch tuyến tính, chứa điện trở và nguồn.

* Mạch B có thể chứa thành phần phi tuyến.

* Nguồn phụ thuộc, nếu có, trong phần mạch nào thì chỉ phụ thuộc các đại lượng nằm trong phần mạch đó.

Định lý Thevenin và Norton cho phép chúng ta sẽ thay mạch A bằng một nguồn và một điện trở mà không làm thay đổi hệ thức *v* - *i* ở hai cực a & b của mạch .

Trước tiên, để xác định mạch tương đương của mạch A ta làm như sau: Thay mạch B bởi nguồn hiệu thế *v* sao cho không có gì thay đổi ở lưỡng cực ab (H2.16).

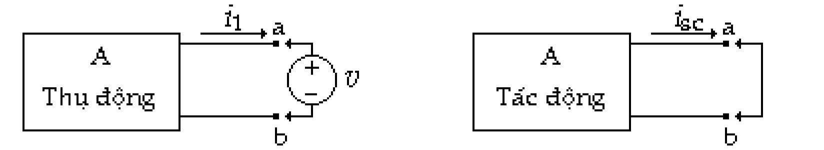


(H 2.16)

Áp dụng định lý chồng chất dòng điện *i* có thể xác địnhbởi:

$$i = i_1 + i_{sc} \qquad (2.8)$$

Trong đó i_1 là dòng điện tạo bởi nguồn và mạch A đã triệt tiêu các nguồn độc lập (H2.17a) và i_{sc} là dòng điện tạo bởi mạch A với nguồn *v* bị nối tắt (short circuit, sc) (H2.17b).



(a) (H 2.17) (b)

- Mạch thụ động A, tương đương với điện trở R_{th}, gọi là điện trở Thevenin, xác định bởi:

$$i_1 = -\frac{v}{R_{th}} \qquad (2.9)$$

Thay (2.9) vào (2.8)

$$i = -\frac{v}{R_{th}} + i_{sc} \qquad (2.10)$$

Hệ thức (2.10) diễn tả mạch A trong trường hợp tổng quát nên nó đúng trong mọi trường hợp.

Trường hợp a, b để hở (Open circuit), dòng $i = 0$ A, phương trình (2.10) thành:

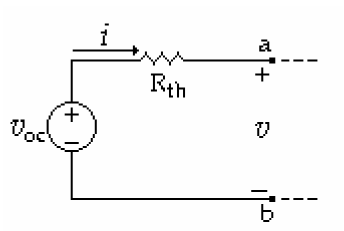
$$0 = -\frac{v_{oc}}{R_{th}} + i_{sc}$$

Hay $v_{oc} = R_{th} \cdot i_{sc}$ (2.11)

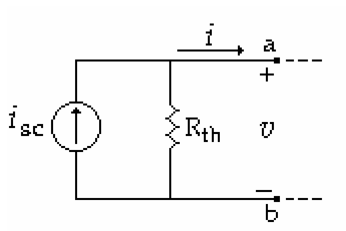
Thay (2.11) vào (2.10):

$$v = -R_{th} \cdot i + v_{oc} \qquad (2.12)$$

Hệ thức (2.12) và (2.10) cho phép ta vẽ các mạch tương đương của mạch A (H 2.18) và (H 2.19)



(H 2.18)



(H 2.19)

* (H 2.18) được vẽ từ hệ thức (2.12) được gọi là mạch tương đương Thevenin của mạch A ở (H 2.15). Và nội dung của định lý được phát biểu như sau:

Một mạch lưỡng cực A có thể được thay bởi một nguồn hiệu thế v_{oc} nối tiếp với một điện trở R_{th}. Trong đó v_{oc} là hiệu thế của lưỡng cực A để hở và R_{th} là điện trở nhìn từ lưỡng cực khi triệt tiêu các nguồn độc lập trong mạch A (Giữ nguyên các nguồn phụ thuộc).

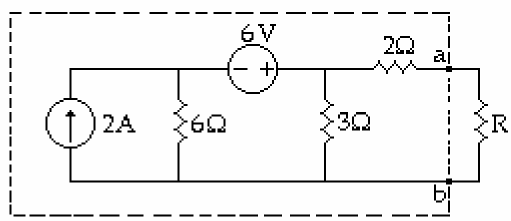
R_{th} còn được gọi là điện trở tương đương của mạch A thụ động.

* (H 2.19) được vẽ từ hệ thức (2.10) được gọi là mạch tương đương Norton của mạch A ở (H 2.15). Và định lý Norton được phát biểu như sau:

Một mạch lưỡng cực A có thể được thay thế bởi một nguồn dòng điện i_{sc} song song với điện trở R_{th}. Trong đó i_{sc} là dòng điện ở lưỡng cực khi nối tắt và R_{th} là điện trở tương đương mạch A thụ động.

Thí dụ 2.8

Vẽ mạch tương đương Thevenin và Norton của phần nằm trong khung của mạch (H2.20).



(H 2.20)

Giải:

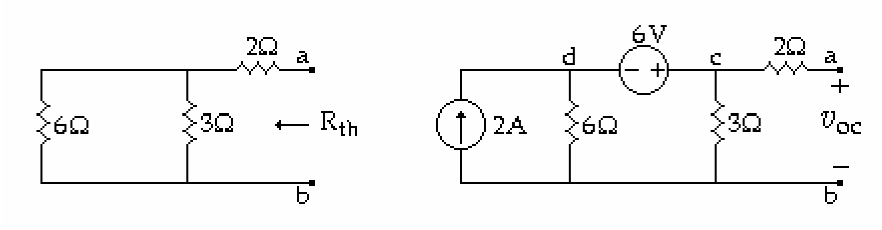
Để có mạch tương đương Thevenin, ta phải xác định được R_{th} và v_{oc}.

- Xác định R_{th}

R_{th} là điện trở nhìn từ ab của mạch khi triệt tiêu nguồn độc lập. (H 2.21a).

Từ (H 2.21a) :

$$R_{th} = 2 + \frac{6\text{x}3}{6+3} = 4\Omega$$



(a) (b)

(H 2.21)

✸ Xác định v_{oc}

v_{oc} là hiệu thế giữa a và b khi mạch hở (H 2.21b). Vì a, b hở, không có dòng qua điện trở 2Ω nên v_{oc} chính là hiệu thế v_{cb}. Xem nút b làm chuẩn ta có

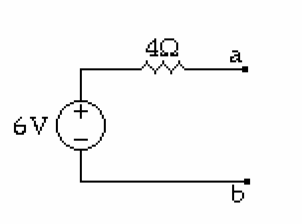
$v_d = - 6 + v_c = - 6 + v_{oc}$

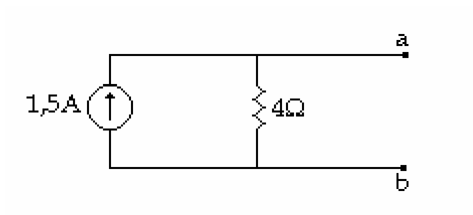
Đ/L KCL ở nút b cho :

$$\frac{v_{oc}}{3} + \frac{v_{oc} - 6}{6} = 2\text{A}$$

Suy ra $v_{oc} = 6$ V

Vậy mạch tương đương Thevenin (H2.22)





(H 2.22) (H 2.23)

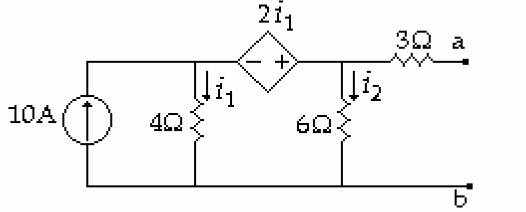
Để có mạch tương đương Norton, R_{th} đã có, ta phải xác định i_{sc}. Dòng i_{sc} chính là dòng qua ab khi nhánh này nối tắt. Ta có thể xác định từ mạch (H 2.20) trong đó nối tắt ab. Nhưng ta cũng có thể dùng hệ thức (2.11) để xác định i_{sc} theo v_{oc}:

$$i_{sc} = \frac{v_{oc}}{R_{th}} = \frac{6}{4} = 1{,}5\text{A}$$

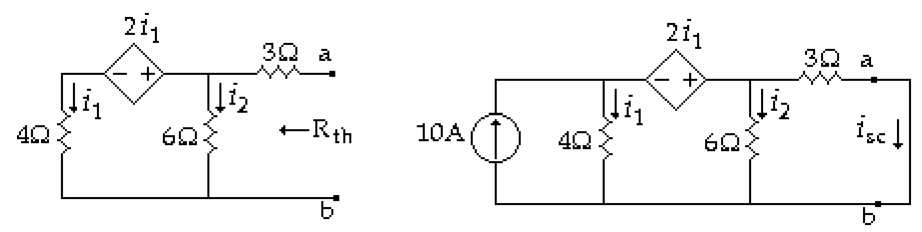
Vậy mạch tương đương Norton (H 2.23)

Thí dụ 2.9

Vẽ mạch tương đương Norton của mạch (H 2.24a).



(a)



(b) (c)

(H 2.24)

Ta tìm i_{sc} từ mạch (H 2.24c)

KCL ở nút b cho:

$$i_1 = 10 - i_2 - i_{sc}$$

Viết KVL cho 2 vòng bên phải:

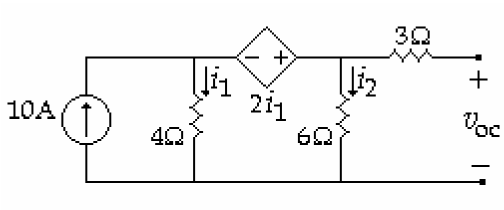
$$-4(10 - i_2 - i_{sc}) - 2i_1 + 6i_2 = 0$$

$$-6i_2 + 3i_{sc} = 0$$

Giải hệ thống cho $i_{sc} = 5$A

Để tính R_{th} ở (H 2.24b), do mạch có chứa nguồn phụ thuộc, ta có thể tính bằng cách áp vào a,b một nguồn v rồi xác định dòng điện i, để có $R_{th} = v/i$ (điện trở tương đương).

Tuy nhiên, ở đây ta sẽ tìm v_{oc} ở ab khi a,b để hở (H 2.25).



(H 2.25)

Ta có $v_{oc} = 6i_2$

Viết định luật KVL cho vòng chứa nguồn phụ thuộc :

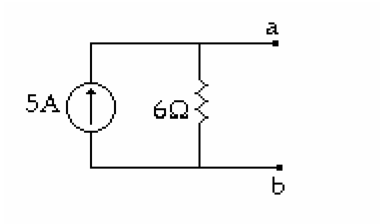
$$-4(10 - i_2) - 2\,i_1 + 6i_2 = 0$$

Hay $\quad i_2 = 5$ A

và $\quad v_{oc} = 6 \times 5 = 30$ V

Vậy $\quad R_{th} = \dfrac{v_{oc}}{i_{sc}} = \dfrac{30}{5} = 6\Omega$

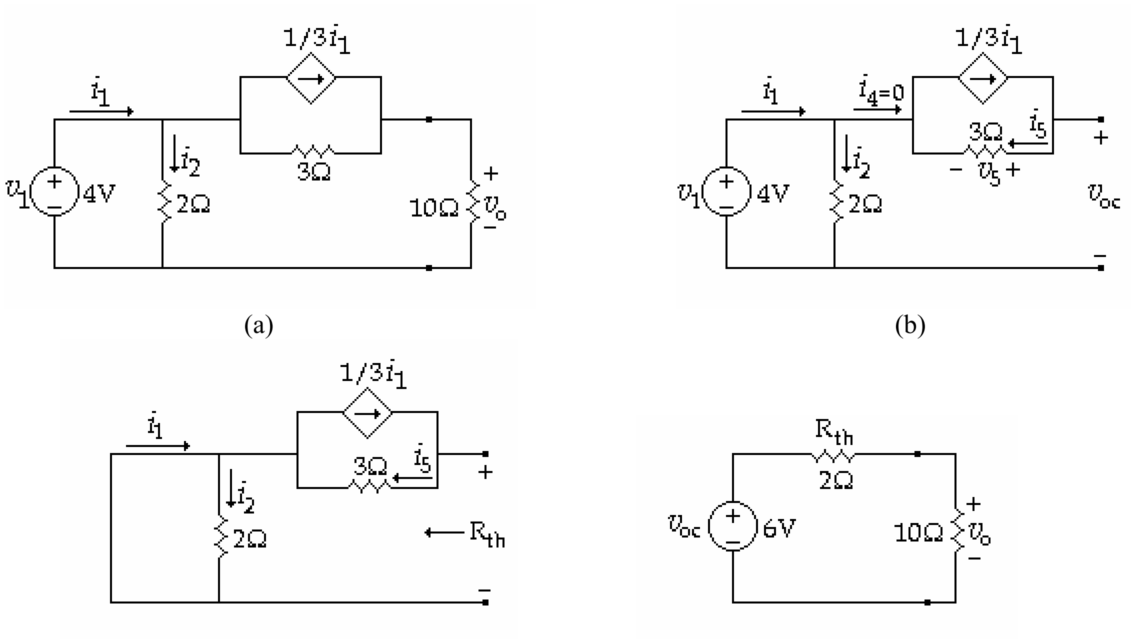
Mạch tương đương Norton:



(H 2.26)

Thí dụ 2.10:

Tính v_o trong mạch (H 2.27a) bằng cách dùng định lý Thevenin



(a) (b)

(c) (H 2.27) (d)

Để có mạch thụ động, nối tắt nguồn v_1 nhưng vẫn giữ nguồn phụ thuộc 1/3 i_1, ta có mạch (H 2.27c). Mạch này giống mạch (H 2.10) trong thí dụ 2.4; R_{th} chính là R_{td} trong thí dụ 2.4.

$R_{th} = 2\Omega$

Để tính v_{oc}, ta có mạch (H2.27b)

$v_{oc} = v_5 + v_1$

$v_5 = 3i_5$

$i_4 = 0$ A (mạch hở) nên:

$$i_5 = \frac{1}{3}i_1 = \frac{1}{3} \times \frac{v_1}{2} = \frac{1}{3} \times \frac{4}{2} = \frac{2}{3}\text{ A} \Rightarrow \quad v_{oc} = 3\frac{2}{3} + 4 = 6\text{ V}$$

$v_{oc} = 6$ V

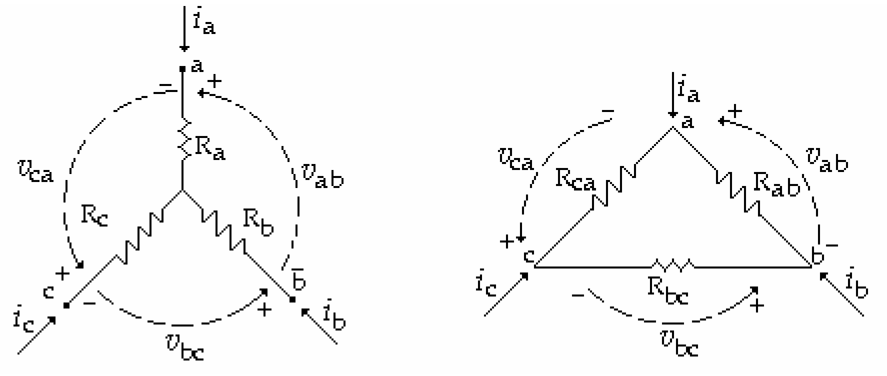
Mạch tương đương Thevenin vẽ ở (H 2.27d).

và $$v_o = \frac{v_{oc}}{2+10}10 = \frac{6}{12}10 = 5\text{ V}$$

$v_o = 5$ V

2.6. Biến đổi Δ - Y (Định lý Kennely).

Coi một mạch gồm 3 điện trở R_a, R_b, R_c nối nhau theo hình (Y), nối với mạch ngoài tại 3 điểm a, b, c điểm chung O (H 2.28a). Và mạch gồm 3 điện trở R_{ab}, R_{bc}, R_{ca} nối nhau theo hình tam giác (Δ), nối với mạch ngoài tại 3 điểm a, b, c (H 2.28b).



(H 2.28)

Hai mạch Δ và Y tương đương khi mạch này có thể thay thế mạch kia mà không ảnh hưởng đến mạch ngoài, nghĩa là các dòng điện i_a, i_b, i_c đi vào các nút a, b, c và các hiệu thế v_{ab},v_{bc}, v_{ca} giữa các nút không thay đổi.

- Biến đổi Δ ↔ Y là thay thế các mạch Δ bằng các mạch Y và ngược lại.

Người ta chứng minh được :

✧ **Biến đổi Y → Δ:**

$$R_{ab} = \frac{R_aR_b + R_bR_c + R_cR_a}{R_c}$$

$$R_{bc} = \frac{R_aR_b + R_bR_c + R_cR_a}{R_a} \qquad (2.13)$$

$$R_{ca} = \frac{R_aR_b + R_bR_c + R_cR_a}{R_b}$$

✧ **Biến đổi Δ → Y:**

$$R_a = \frac{R_{ab}.R_{ca}}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}}$$

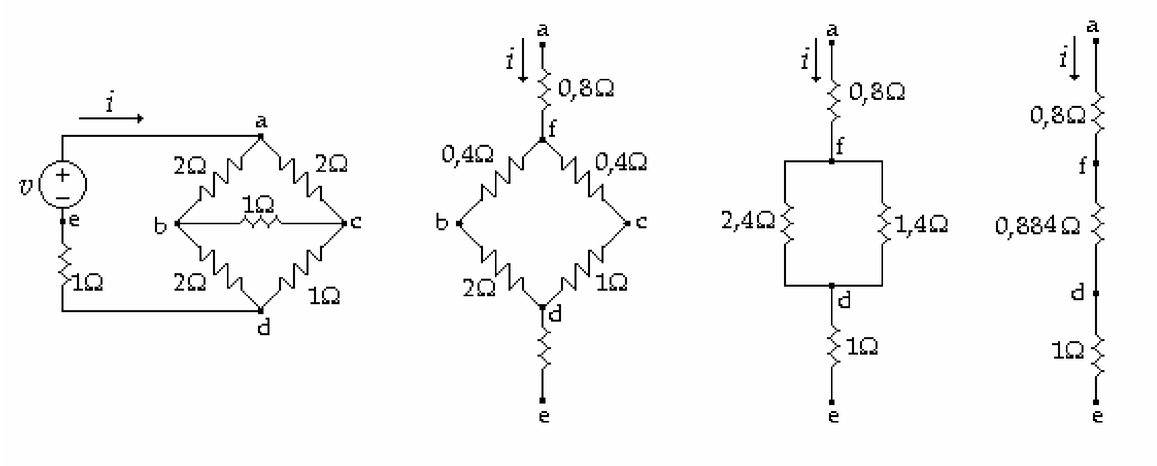
$$R_b = \frac{R_{ab}.R_{bc}}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}} \qquad (2.14)$$

$$R_c = \frac{R_{bc}.R_{ca}}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}}$$

Nên thận trọng khi áp dụng biến đổi Δ ↔ Y. Việc áp dụng đúng phải cho mạch tương đương đơn giản hơn.

Thí dụ 2.11:

Tìm dòng điện *i* trong mạch (H 2.29a).



(a) (b) (c) (d)

(H 2.29)

- Biến đổi tam giác abc thành hình sao, ta được (H 2.29b) với các giá trị điện trở:

$$R_{af} = \frac{2x2}{2+2+1} = \frac{4}{5} = 0{,}8\Omega$$

$$R_{bf} = \frac{2x1}{5} = \frac{2}{5} = 0{,}4\Omega$$

$$R_{cf} = \frac{2x1}{5} = \frac{2}{5} = 0{,}4\Omega$$

- Điện trở tương đương giữa f và d:

$$\frac{1{,}4x2{,}4}{1{,}4+2{,}4} = 0{,}884\ \Omega$$

- Điện trở giữa a và e:

$$R_{ac} = 0{,}8 + 0{,}884 + 1 = 2{,}684\ \Omega$$

và dòng điện *i* trong mạch :

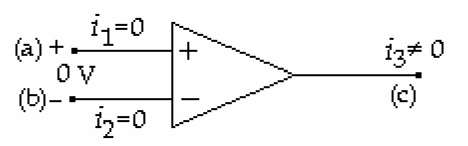
$$i = \frac{v}{R_{ac}} = \frac{v}{2{,}684}\ \text{A}$$

2.7 Mạch khuếch đại thuật toán (Operation amplifier, OPAMP)

Một trong những linh kiện điện tử quan trọng và thông dụng hiện nay là mạch khuếch đại thuật toán (OPAMP).

Cấu tạo bên trong mạch sẽ được giới thiệu trong một giáo trình khác. Ở đây chúng ta chỉ giới thiệu mạch OPAMP được dùng trong một vài trường hợp phổ biến với mục đích xây dựng những mạch tương đương dùng nguồn phụ thuộc cho nó từ các định luật Kirchhoff .

OPAMP là một mạch đa cực, nhưng để đơn giản ta chỉ để ý đến các ngõ vào và ngõ ra (bỏ qua các cực nối nguồn và Mass...). Mạch có hai ngõ vào (a) là ngõ vào không đảo, đánh dấu (+) và (b) là ngõ vào đảo đánh dấu (-), (c) là ngõ ra.



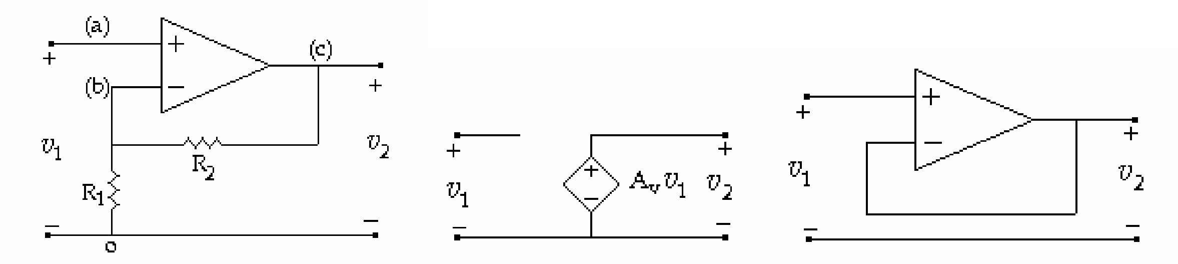
(H 2.30)

Mạch có nhiều đặc tính quan trọng , ở đây ta xét mạch trong điều kiện lý tưởng: i_1 và i_2 dòng điện ở các ngõ vào bằng không (tức tổng trở vào của mạch rất lớn) và hiệu thế giữa hai ngõ vào cũng bằng không .

Lưu ý là ta không thể dùng định luật KCL tổng quát cho mạch (H 2.30) được vì ta đã bỏ qua một số cực do đó mặc dù $i_1 = i_2 = 0$ nhưng $i_3 \neq 0$.

Mạch OPAMP lý tưởng có độ lợi dòng điện $\rightarrow \infty$ nên trong thực tế khi sử dụng người ta luôn dùng mạch hồi tiếp.

Trước tiên ta xét mạch có dạng (H 2.31a), trong đó R_2 là mạch hồi tiếp mắc từ ngõ ra (c) trở về ngã vào đảo (b), và mạch (H 2.31b) là mạch tương đương .



(a) (b) (c)

(H 2.31)

Để vẽ mạch tương đương ta tìm liên hệ giữa v_2 và v_1.

Áp dụng cho KVL cho vòng obco qua v_2

$v_{bc} + v_2 - v_{bo} = 0$

Hay $v_{bc} = v_{bo} - v_2 = v_1 - v_2$ ($v_{bo} = v_1$)

Áp dụng KCL ở nút b:

$$\frac{v_{bo}}{R_1} + \frac{v_{bc}}{R_2} = \frac{v_1}{R_1} + \frac{v_1 - v_2}{R_2} = 0$$

Giải phương trình cho: $v_2 = A_v v_1$ với $A_v = 1 + \dfrac{R_2}{R_1}$

Ta có mạch tương đương (H 2.31b), trong đó A_v là độ lợi điện thế.

Xét trường hợp đặc biệt $R_2 = 0\Omega$ và $R_1 = \infty$, $A_v = 1$ và $v_2 = v_1$ (H 2.31c) mạch không có tính khuếch đại và được gọi là mạch đệm (Buffer), có tác dụng biến đổi tổng trở.

Một dạng khác của mạch OP-AMP vẽ ở (H 2.32a)

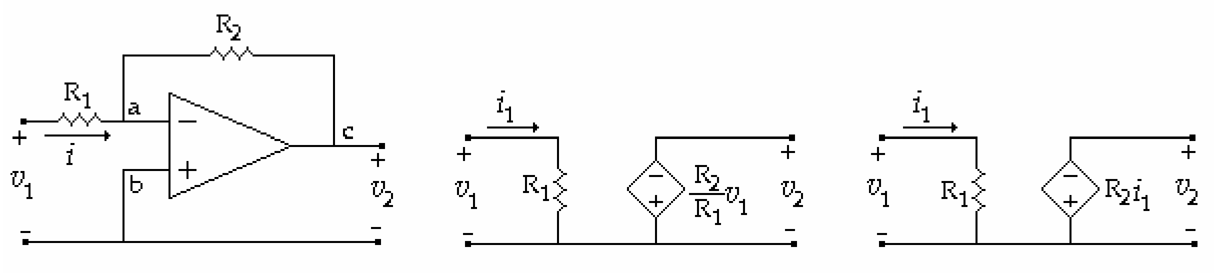
Ap dụng KCL ở ngã vào đảo.

$$-\frac{v_1}{R_1} - \frac{v_2}{R_2} = 0 \text{ hay } v_2 = -\frac{R_2}{R_1} v_1$$

Ta thấy v_2 có pha đảo lại so với v_1 nên mạch được gọi là mạch đảo.

Mạch tương đương vẽ ở (H 2.31b), dùng nguồn hiệu thế phụ thuộc hiệu thế .

Nếu thay $\frac{v_1}{R_1} = i_1$, ta được mạch tương đương (H 2.32c), trong đó nguồn hiệu thế phụ thuộc hiệu thế đã được thay bằng nguồn hiệu thế phụ thuộc dòng điện .



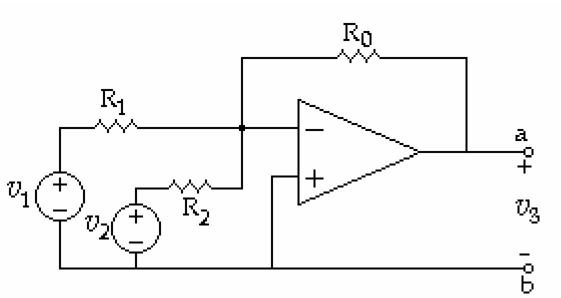
(a) (b) (c)

(H 2.32)

BÀI TẬP

--o0o--

2.1. Cho mạch (H P2.1)

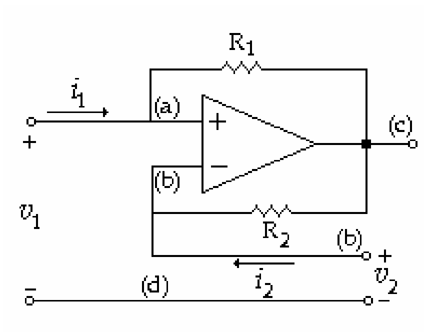


(H P2.1)

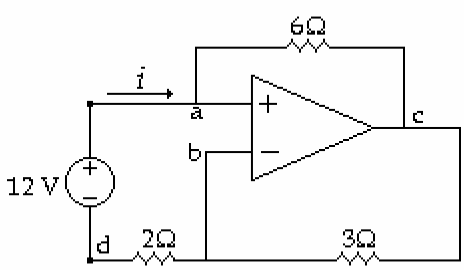
Chứng minh: $v_3 = -R_0\left(\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2}\right)$

Lưu ý là v_3 không phụ thuộc vào thành phần mắc ở a, b.
Đây là một trong các mạch làm toán và có tên là **mạch cộng**.

2.2. Cho mạch (H P2.2a)



(H P2.2a)

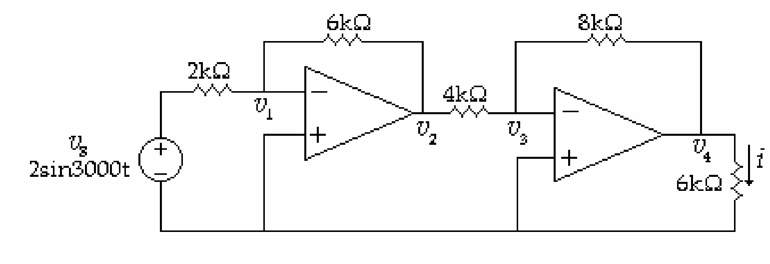


(H P2.2b)

Chứng minh rằng ta luôn có: $v_1 = v_2$ và $i_1 = \frac{R_2}{R_1} i_2$

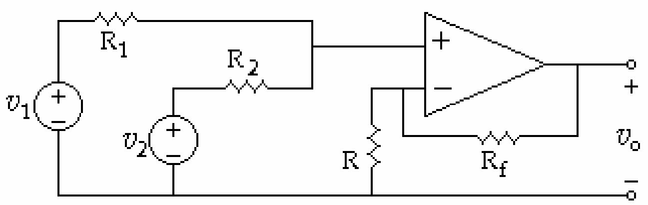
Với bất kỳ thành phần nối vào b,d.
Áp dụng kết quả trên vào mạch (H P2.2b) để xác định dòng điện *i*.

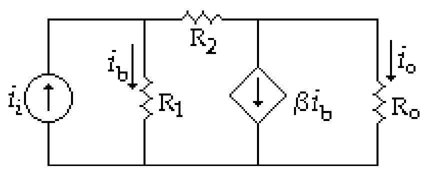
2.3. Tìm dòng điện *i* trong mạch (H P2.3).



(H P2.3)

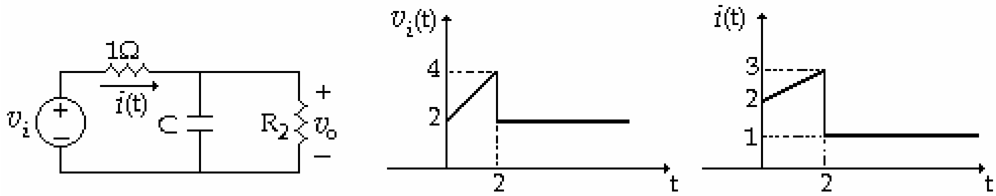
2.4. Cho mạch (H P2.4)
a/ Tính v_o.
b/ Áp dụng bằng số v_1 = 3 V, v_2 = 2 V, R_1 = 4KΩ, R_2 = 3KΩ, R_f = 6KΩ và R = 1KΩ.
2.5. (H P2.5) là mạch tương đương của một mạch khuếch đại transistor.
Dùng định lý Thevenin hoặc Norton để xác định i_o/i_i (độ lợi dòng điện).





(H P2.4) (H P2.5)

2.6. Cho mạch (H P2.6a). Tìm các giá trị C và R_2 nếu $v_i(t)$ và $i(t)$ có dạng như (H P2.6b) và (H P2.6c).

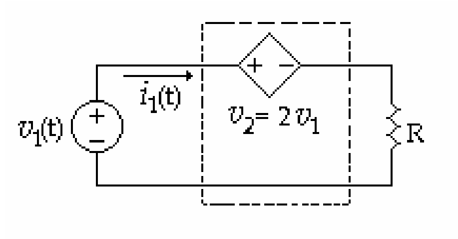


(a) (b) (c)

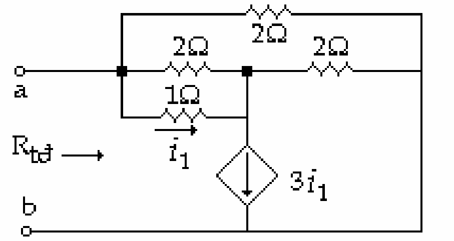
(H P2.6)

2.7 Tính $\frac{v_1(t)}{i_1(t)}$ trong mạch (H P2.7) và thử đặt tên cho phần mạch nằm trong khung kẻ nét gián đoạn.

2.8. Tính R_{td} của (H P2.8).



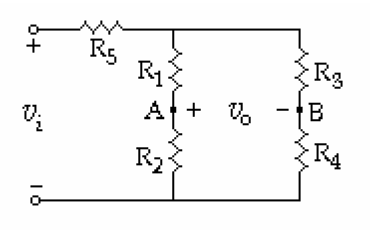
(H P2.7)



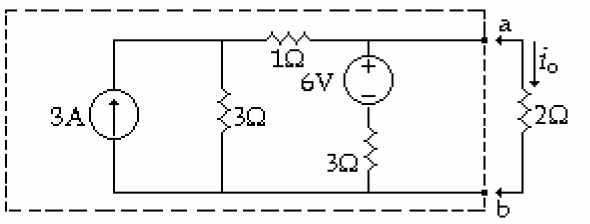
(H P2.8)

2.9. Cho mạch (H P2.9), tìm điều kiện để $v_o = 0$.

2.10. Thay thế mạch điện trong khung của (H P2.10) bằng mạch tương đương Thevenin sau đó tính i_o.



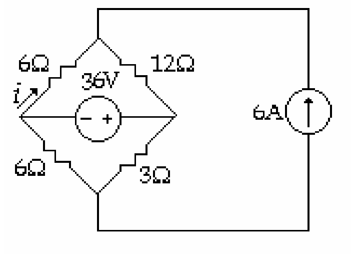
(H P2.9)



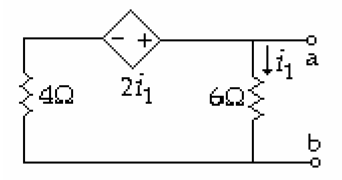
(H P2.10)

2.11. Dùng định lý chồng chất xác định dòng *i* trong mạch (H P2.11).

2.12 Tìm mạch tương đương của mạch (H P2.12).

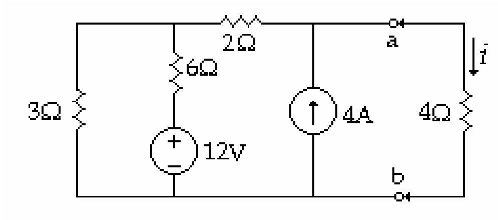


(H P2.11)

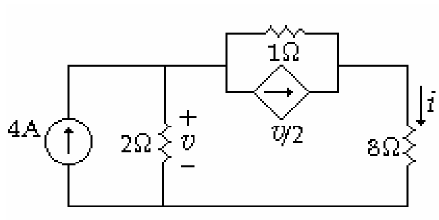


(H P2.12)

2.13. Dùng định lý Thevenin xác định dòng *i* trong mạch (H P2.14).



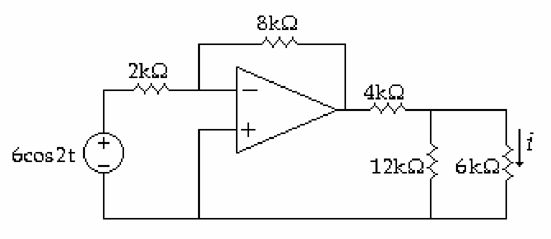
(H P2.13)



(H P2.14)

2.14. Dùng định lý Norton xác định dòng *i* của mạch (H P2.1).

2.15. Dùng định lý Norton (hay Thevenin) xác định dòng *i* trong mạch (H P2.16).



(H P2.15)