

**UBND TỈNH LÂM ĐỒNG  
TRƯỜNG CAO ĐẲNG ĐÀ LẠT**

# **GIÁO TRÌNH**

**MÔN HỌC/MÔ ĐUN: MẠCH ĐIỆN**

**NGÀNH/NGHỀ: ĐIỆN CÔNG NGHIỆP**

**TRÌNH ĐỘ: CAO ĐẲNG VÀ TRUNG CẤP**

**Lâm Đồng, năm 2017**

## **TUYÊN BỐ BẢN QUYỀN**

Tài liệu này thuộc loại sách giáo trình nên các nguồn thông tin có thể được phép dùng nguyên bản hoặc trích dùng cho các mục đích về đào tạo và tham khảo.

Mọi mục đích khác mang tính lệch lạc hoặc sử dụng với mục đích kinh doanh thiếu lành mạnh sẽ bị nghiêm cấm.

## **LỜI GIỚI THIỆU**

*Trong những năm gần đây công tác dạy nghề ngày càng được chú trọng, chương trình modul/ môn học cũng được các nhà trường và giáo quan tâm điều chỉnh cho phù hợp với nhu cầu thực tế của người học cũng như nhu cầu sản xuất của các doanh nghiệp.*

*Việc biên soạn giáo trình phục vụ công tác đào tạo nghề Điện công nghiệp trong những năm qua đã được Khoa Điện – Điện Tử quan tâm chỉ đạo xây dựng cho sát với chương trình môn học. Giáo trình phải được xây dựng theo hướng hạn chế các phạm trù lý thuyết gây mơ hồ cho HSSV và ít được sử dụng trong thực tế mà giáo trình phải trợ giúp cho HSSV rèn luyện kỹ năng thực hành nhiều hơn.*

*Năm học 2017 – 2018 là năm học đầu tiên Trường Cao Đẳng Đà Lạt tổ chức đào tạo theo hình thức tín chỉ thay vì đào tạo theo niên chế như trước đây, do đó giáo trình này được biên soạn dựa trên giáo trình mạch điện cũ đã được nghiệm thu và sử dụng trong những năm qua tại trường nhưng được nhóm tác giả thống nhất điều chỉnh thêm bớt một số nội dung, cách trình bày, phương pháp giảng dạy bám sát với chương trình môn học mạch điện có thời lượng 30 tiết vừa được Khoa xây dựng để đào tạo theo hình thức tín chỉ.*

*Đây là lần đầu tiên nhóm tác giả biên soạn giáo trình mạch điện bám sát theo chương trình môn học được xây dựng để đào tạo theo tín chỉ, do đó có thể có nhiều nội dung trong giáo trình chưa phù hợp, chưa đáp ứng được yêu cầu của mọi người.*

*Rất mong các bạn HSSV, các đồng nghiệp và các đọc giả quan tâm góp ý kiến xây dựng để giáo trình mạch điện ngày càng được hoàn thiện hơn.*

*Xin chân thành cảm ơn./.*

*Đà Lạt, ngày 10 tháng 7 năm 2017*

Tham gia biên soạn

1. Chủ biên Phan Trung Hiếu
2. Nguyễn Trần Kha Ngọc Linh
3. Nguyễn Mạnh Cường

# MỤC LỤC

|          |                                                              |           |
|----------|--------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>A</b> | <b>Nội dung</b> .....                                        | <b>i</b>  |
| <b>1</b> | <b>Các khái niệm cơ bản về mạch điện</b> .....               | <b>1</b>  |
| 1.1      | Mạch điện và mô hình .....                                   | 2         |
|          | Mạch điện .....                                              | 2         |
|          | Các hiện tượng điện từ .....                                 | 2         |
|          | Mô hình mạch điện hay Các phần tử mạch cơ bản .....          | 3         |
| 1.2      | Các đại lượng cơ bản trong mạch điện .....                   | 18        |
|          | Dòng điện và điện áp .....                                   | 18        |
|          | Nguồn điện áp.....                                           | 21        |
|          | Nguồn dòng điện.....                                         | 23        |
| 1.3      | Các phép biến đổi tương đương .....                          | 25        |
|          | Nguồn áp ghép nối tiếp .....                                 | 25        |
|          | Nguồn dòng ghép song song .....                              | 25        |
|          | Điện trở ghép nối tiếp, song song .....                      | 26        |
| 1.4      | Các Câu hỏi ôn tập và bài tập .....                          | 29        |
| <b>2</b> | <b>Mạch điện một chiều</b> .....                             | <b>31</b> |
| 2.1.     | Các định luật và biểu thức cơ bản trong mạch một chiều ..... | 32        |
|          | Tổng quan.....                                               | 32        |
|          | Định luật Ohm .....                                          | 32        |
|          | Công suất và điện năng trong mạch một chiều .....            | 34        |
|          | Định luật Joule - Lenz.....                                  | 35        |
| 2.2.     | Các phương pháp giải mạch một chiều.....                     | 36        |
|          | Phương pháp biến đổi điện trở .....                          | 36        |
|          | Phương pháp ứng dụng định luật Kirchhoff .....               | 42        |
| 2.3.     | Các câu hỏi ôn tập và bài tập .....                          | 54        |
| <b>3</b> | <b>Dòng điện xoay chiều hình sin</b> .....                   | <b>61</b> |
| 3.1.     | Khái niệm về dòng điện xoay chiều .....                      | 62        |
|          | Dòng điện xoay chiều .....                                   | 62        |
|          | Các thông số đặc trưng của đại lượng hình sin.....           | 62        |
|          | Chu kỳ và tần số của dòng điện xoay chiều .....              | 63        |

|          |                                                |           |
|----------|------------------------------------------------|-----------|
| 3.2.     | Giải mạch xoay chiều không phân nhánh .....    | 64        |
|          | Giải mạch R – L – C .....                      | 64        |
|          | Giải mạch có nhiều phần tử mắc nối tiếp .....  | 69        |
| 3.3.     | Giải mạch xoay chiều phân nhánh .....          | 75        |
| 3.4.     | Các câu hỏi ôn tập và bài tập .....            | 81        |
| <b>4</b> | <b>Mạch ba pha.....</b>                        | <b>85</b> |
| 4.1.     | Khái niệm chung về mạng ba pha .....           | 85        |
|          | Hệ thống ba pha cân bằng .....                 | 87        |
| 4.2.     | Sơ đồ đấu dây trong mạng ba pha cân bằng ..... | 88        |
|          | Các định nghĩa.....                            | 88        |
|          | Đấu dây hình sao .....                         | 88        |
|          | Đấu dây hình tam giác .....                    | 92        |
| 4.3.     | Công suất mạng ba pha cân bằng .....           | 94        |
|          | Công suất tác dụng P.....                      | 94        |
|          | Công suất phản kháng Q .....                   | 94        |
|          | Công suất biểu kiến S .....                    | 95        |
| 4.4.     | Các câu hỏi ôn tập và bài tập .....            | 97        |
| <b>B</b> | <b>Phụ lục.....</b>                            | <b>ii</b> |

## **GIÁO TRÌNH MÔN HỌC/MÔ ĐUN**

**Tên môn học/mô đun: MẠCH ĐIỆN**

**Mã môn học/mô đun:**

**Vị trí, tính chất, ý nghĩa và vai trò của môn học/mô đun:**

1. Vị trí: Môn học mạch điện được bố trí học sau các môn học toán, vật lý, an toàn điện và học trước các mô đun như máy điện, trang bị điện, PLC cơ bản, điện tử cơ bản, điều khiển điện khí nén...

2. Tính chất: Là môn học kỹ thuật cơ sở, thuộc các môn học đào tạo nghề bắt buộc.

- Ý nghĩa và vai trò của môn học/mô đun: môn học này nhằm trang bị các kiến thức lý thuyết căn bản và quan trọng của nghề Điện công nghiệp, là tiền đề để người học có thể học tốt các modun tiếp theo và rèn luyện kỹ năng nghề.

**Mục tiêu của môn học/mô đun:**

- Về kiến thức:

- + Hiểu được quy tắc đảm bảo an toàn điện, đo lường điện, vật liệu điện...
- + Tính chất của mạch mắc nối tiếp, mắc song song, áp dụng mắc mạch trong thực tế
- + Hiểu rõ tính chất và đặc điểm của dòng điện một chiều, dòng điện xoay chiều và dòng điện xoay chiều 3 pha.

- Về kỹ năng:

- + Đọc và phân tích được các sơ đồ mạch điện
- + Khả năng phân tích, tính toán mạch điện một chiều và xoay chiều
- + Giải các bài toán về mạch điện một chiều, mạch điện xoay chiều và xoay chiều 3 pha
- + Tính toán công suất của hệ thống điện 3 pha cân bằng

- Về năng lực tự chủ và trách nhiệm:

- + Chủ động lập kế hoạch, dự trù được vật tư, thiết bị.
- + Có khả năng làm việc độc lập hoặc làm việc theo nhóm
- + Phát huy tính tích cực, chủ động, sáng tạo và tư duy khoa học trong công việc

**Nội dung của môn học/mô đun:**

## Các khái niệm cơ bản về mạch điện

Chương này giới thiệu nhiệm vụ, vai trò của các phần tử cấu thành mạch điện như: nguồn điện, dây dẫn, phụ tải, thiết bị đo lường, đóng cắt... cũng như cách xây dựng mô hình mạch điện, các phần tử chính trong mạch điện. Giúp các bạn phân biệt được phần tử lý tưởng và phần tử thực; phân tích và giải thích được các khái niệm cơ bản trong mạch điện, hiểu và vận dụng được các biểu thức tính toán cơ bản...

---

1.1 Mạch điện và mô hình

---

1.2 Các khái niệm cơ bản trong mạch điện

---

1.3 Các phép biến đổi tương đương

---

1.4 Các câu hỏi ôn tập và bài tập

---

## 1.1 Mạch điện và mô hình

### 1. Mạch điện

Mạch điện thực tế là tập hợp các phần tử thực như các thiết bị điện, linh kiện điện,...liên kết với nhau bằng các phần tử dẫn (dây dẫn, đường dây,...) tạo thành vòng khép kín trong đó xảy ra quá trình truyền đạt, biến đổi năng lượng hay tín hiệu điện từ xác định bởi các đại lượng dòng điện, điện áp.

Mạch điện được cấu trúc từ các phần riêng rẽ đủ nhỏ, thực hiện các chức năng xác định được gọi là *các phần tử mạch điện*. Hai loại phần tử chính của mạch điện là *nguồn* và *phụ tải*. Nguồn là các phần tử dùng để cung cấp năng lượng điện hoặc tín hiệu cho mạch điện, ví dụ như máy phát điện (biến đổi cơ năng thành điện năng), ắc qui (biến đổi hóa năng thành điện năng), vv... Phụ tải là các thiết bị nhận năng lượng điện hay tín hiệu điện, ví dụ động cơ điện (biến điện năng thành cơ năng), đèn điện (biến điện năng thành quang năng), vv... Ngoài hai loại chính trên, trong mạch điện còn có nhiều loại phần tử khác nhau như: phần tử dùng để nối nguồn với phụ tải (dây điện, đường dây tải điện,...), phần tử làm thay đổi áp và dòng trong các phần khác của mạch (máy biến áp, máy biến dòng), phần tử làm giảm hoặc tăng cường các thành phần nào đó của tín hiệu (các bộ lọc, bộ khuếch đại,...), vv...

Mô hình mạch điện (được dùng trong lý thuyết mạch điện) còn được gọi là sơ đồ thay thế mạch điện, trong đó kết cấu hình học và quá trình năng lượng giống như ở mạch điện thực tế, song các phần tử của mạch điện thực đã được mô hình bằng các phần tử mạch lý tưởng (phần tử điện trở  $R$ , điện cảm  $L$ , điện dung  $C$ , nguồn  $e; j, \dots$ )

Có nghĩa là mô hình mạch điện là tập hợp các phần tử mạch liên kết lại với nhau trong đó phần tử mạch là những hình vẽ tượng trưng cho thiết bị, linh kiện thực tế đặc trưng bởi một phương trình toán học đại diện tính chất vật lý của thiết bị, linh kiện đó.

Mô hình mạch điện được sử dụng rất thuận lợi trong việc nghiên cứu và tính toán mạch điện và thiết bị điện

Thực tế không có phần tử nào là thuần điện trở  $R$ , thuần dung kháng  $C$ , thuần cảm kháng  $L$  hay thuần nguồn  $e(t), j(t) \dots$ . Để tiện cho tính toán giải mạch điện ta đã chấp nhận sai số mô hình coi các phần tử chỉ mang tính chất đặt trưng của chúng. Do đó khi tính toán trên mô hình có sai số nhỏ, kết quả tính toán trên mô hình mạch điện sẽ khác kết quả đo đạc trên mạch điện thực.

### 2. Các hiện tượng điện từ

#### *Hiện tượng biến đổi năng lượng*

Hiện tượng biến đổi năng lượng chia làm 2 loại:

*Hiện tượng nguồn*: là hiện tượng biến đổi năng lượng điện từ thành

các dạng năng lượng khác như nhiệt năng, cơ năng, hóa năng,... thành năng lượng điện từ.

*Hiện tượng tiêu tán:* là hiện tượng biến đổi năng lượng điện từ thành các dạng năng lượng khác như nhiệt năng, cơ năng, hóa năng,... tiêu tán đi không hoàn trở lại trong mạch nữa.

### ***Hiện tượng tích phóng năng lượng***

Hiện tượng tích phóng năng lượng điện từ là hiện tượng năng lượng điện từ được tích vào một vùng không gian có tồn tại trường điện từ hoặc đưa từ vùng đó trả lại bên ngoài. Để thuận tiện cho việc nghiên cứu, người ta coi sự tồn tại của một trường điện từ thống nhất gồm hai mặt thể hiện: trường điện và trường từ. Vậy hiện tượng tích phóng năng lượng điện từ cũng gồm *hiện tượng tích phóng năng lượng trong trường từ và hiện tượng tích phóng năng lượng trong trường điện*.

Bởi vì dòng điện và trường điện từ có liên quan chặt chẽ với nhau nên trong bất kỳ thiết bị điện nào cũng đều xảy ra cả hai hiện tượng biến đổi và tích phóng năng lượng. Nhưng có thể trong một thiết bị thì hiện tượng năng lượng này xảy ra rất mạnh hơn hiện tượng năng lượng kia. Ví dụ ta xét các phần tử thực là điện trở, tụ điện và cuộn dây.

Trong tụ điện, hiện tượng năng lượng chủ yếu xảy ra là hiện tượng tích phóng năng lượng trường điện. Ngoài ra do điện môi giữa 2 cốt tụ có độ dẫn điện hữu hạn nào đó nên trong tụ cũng xảy ra hiện tượng tiêu tán biến điện năng thành nhiệt năng.

Trong cuộn dây xảy ra chủ yếu là hiện tượng tích phóng năng lượng trường từ. Ngoài ra dòng điện dẫn cũng gây ra tổn hao nhiệt trong dây dẫn của cuộn dây nên trong cuộn dây cũng xảy ra hiện tượng tiêu tán. Trong cuộn dây cũng xảy ra hiện tượng tích phóng năng lượng trường điện nhưng thường rất yếu và có thể bỏ qua nếu tần số làm việc không lớn lắm.

Trong điện trở thực, hiện tượng chủ yếu xảy ra là hiện tượng tiêu tán biến đổi năng lượng trường điện từ thành nhiệt năng. Nếu trường điện từ biến thiên không lớn lắm, có thể bỏ qua dòng điện dịch (giữa các vòng dây quấn hoặc giữa các lớp điện trở) so với dòng điện dẫn và bỏ qua sức điện động cảm ứng so với sụt áp trên điện trở, nói cách khác bỏ qua hiện tượng tích phóng năng lượng điện từ.

### **3. Mô hình mạch điện hay**

*Lưu ý:* Trong mạch điện chúng ta chia ra 2 dạng phần tử chính là *phần tử thụ động* và *phần tử tích cực*.

*Phần tử thụ động* (phụ tải, tải) là phần tử nhận năng lượng của mạch, ví dụ như điện trở R, tụ điện C và cuộn dây L.



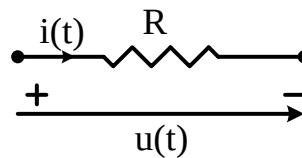
## Các phần tử mạch cơ bản

*Phần tử tích cực* (nguồn điện) là phần tử cấp năng lượng cho mạch ngoài, ví dụ như Pin, Accu, các linh kiện bán dẫn (transistor, opamp, ...). Trên mỗi phần tử thường có các đầu nối ra gọi là *các cực* dùng để nối nó với các phần tử khác. Phần tử có thể có 2 cực, 3 cực, 4 cực hay nhiều cực.

### Phần tử thụ động

#### *Phần tử điện trở (đặc trưng cho hiện tượng tiêu tán năng lượng điện từ)*

Phần tử điện trở là mô hình toán học của linh kiện điện trở có thể biến đổi tín hiệu điện nhờ hiệu ứng cản trở dòng điện với quan hệ áp và dòng trên nó tuân theo định luật Ohm.



**Hình 1.1.1** Phần tử điện trở

Khi cho dòng điện  $i(t)$  chạy qua điện trở như ở hình trên ta thấy xuất hiện điện áp  $u(t)$  cùng chiều với dòng điện và:

$$u(t) = R \cdot i(t). \quad (1.1)$$

Trong đó:  $i(t)$  là dòng điện chạy qua điện trở

$u(t)$  là điện áp ở hai đầu điện trở

$R$  là giá trị điện trở, đơn vị tính bằng Ohm ( $\Omega$ )

Người ta còn dùng các ước số, bội số của Ohm ( $\Omega$ ) trong việc đọc các giá trị điện trở.

|            |           |             |           |          |           |           |           |
|------------|-----------|-------------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| $p\Omega$  | $n\Omega$ | $\mu\Omega$ | $m\Omega$ | $\Omega$ | $K\Omega$ | $M\Omega$ | $G\Omega$ |
| $10^{-12}$ | $10^{-9}$ | $10^{-6}$   | $10^{-3}$ | 1        | $10^3$    | $10^6$    | $10^9$    |

Trong phương trình của điện trở người ta còn dùng:

$$i(t) = \frac{1}{R} u(t) = G \cdot u(t) \quad (1.2)$$

Với:  $G$  là giá trị điện dẫn,  $G = \frac{1}{R}$  có đơn vị là Siemem (S) hay Mho ( $\mathfrak{U}$ ).

$$1S = 1/\Omega = \Omega^{-1} = \mathfrak{U}$$

Mô hình:



**Hình 1.1.2** Mô hình điện trở

Nhận xét:

- Nếu điện trở  $R = 0$  ( $G = \infty$ ) thì  $u(t) = 0$  với mọi  $i(t)$  điều này tương đương với ngắn mạch 2 cực điện trở.

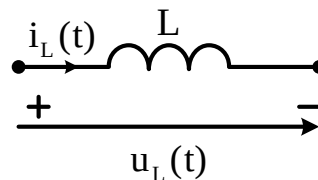
- Nếu điện dẫn  $G = 0$  ( $R = \infty$ ) thì  $i(t) = 0$  và không phụ thuộc vào  $u(t)$  trên nó điều này tương đương với sự hở mạch 2 cực của điện trở.

***Phần tử điện cảm (đặc trưng cho hiện tượng tích phóng năng lượng trường từ)***

Phần tử điện cảm là phần tử 2 cực lý tưởng có thể biến đổi tín hiệu điện dựa vào hiện tượng cảm ứng điện từ với điện áp và dòng điện

$$\text{trên nó tuân theo quy luật: } u_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} \quad (1.3)$$

$$\text{hay: } i_L(t) = \frac{1}{L} \int u_L(t) dt \quad (1.4)$$



**Hình 1.1.3** Phần tử điện cảm

Như ở hình trên khi cho dòng điện  $i_L(t)$  chạy qua cuộn cảm  $L$  thấy xuất hiện điện áp  $u_L(t)$  cùng chiều với dòng điện.

Trong đó:  $i_L(t)$  là dòng điện đi qua cuộn dây  $L$

$u_L(t)$  là điện áp trên 2 đầu cuộn dây  $L$

$L$  là giá trị điện cảm, đơn vị là Henry (H) và có các ước số sau:

|            |           |           |           |   |
|------------|-----------|-----------|-----------|---|
| pH         | nH        | $\mu$ H   | mH        | H |
| $10^{-12}$ | $10^{-9}$ | $10^{-6}$ | $10^{-3}$ | 1 |

**Nhận xét:**

- Nếu dòng điện  $i_L(t)$  chạy qua cuộn cảm không đổi thì điện áp  $u_L(t)$  trên cuộn cảm bằng 0.

- Dòng điện  $i_L(t)$  qua cuộn cảm là hàm liên tục theo thời gian.

- Để giải phương trình vi phân cho cuộn cảm cần biết điều kiện đầu (sơ kiện)  $i_L(0)$ . Lý do vì cuộn dây là phần tích trữ năng lượng nên ở thời điểm  $t = 0$  nào đó có thể đã trữ một năng lượng từ trường ứng với dòng điện  $i_L(0)$ , biểu thức (1.4) được viết lại:

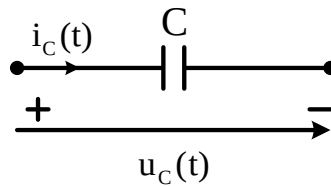
$$i_L(t) = \frac{1}{L} \int_0^t u(t) dt + i_L(0) \quad (1.5)$$

### ***Phần tử điện dung (đặc trưng cho hiện tượng tích phóng năng lượng trường điện)***

Phần tử điện cảm là phần tử 2 cực lý tưởng có thể biến đổi tín hiệu điện dựa vào hiện tượng tích tụ điện tích trên các bản tụ với điện áp

và dòng điện trên nó tuân theo quy luật:  $i_C(t) = C \frac{du_C(t)}{dt}$  (1.6)

$$\text{hay: } u_C(t) = \frac{1}{C} \int i_C(t) dt \quad (1.7)$$



**Hình 1.1.4** Phần tử điện dung

Như ở hình trên khi cho dòng điện  $i_C(t)$  chạy qua tụ điện  $C$  thấy xuất hiện điện áp  $u_C(t)$  cùng chiều với dòng điện.

Trong đó:  $i_C(t)$  là dòng điện đi qua tụ điện  $C$

$u_C(t)$  là điện áp trên 2 đầu tụ điện  $C$

$C$  là giá trị điện dung, đơn vị là Fara (F) và có các ước số sau:

|            |           |           |           |   |
|------------|-----------|-----------|-----------|---|
| pF         | nF        | $\mu$ F   | mF        | F |
| $10^{-12}$ | $10^{-9}$ | $10^{-6}$ | $10^{-3}$ | 1 |

#### Nhận xét:

- Dòng điện  $i_L(t)$  qua tụ tỷ lệ thuận với biến thiên điện áp  $u_C(t)$  trên tụ. Nếu điện áp  $u_C(t)$  không đổi thì dòng điện  $i_C(t)$  bằng 0.
- Điện áp  $u_C(t)$  trên tụ điện biến thiên liên tục theo thời gian.
- Để giải phương trình vi phân trên tụ cần có điều kiện đầu (sơ kiện)  $u_C(0)$ . Lý do vì tụ điện là phần tử tích trữ năng lượng nên ở thời điểm  $t = 0$  nào đó có thể một năng lượng điện trường ứng với hiệu thế  $u(0)$ , biểu thức (1.7) được viết lại như sau:

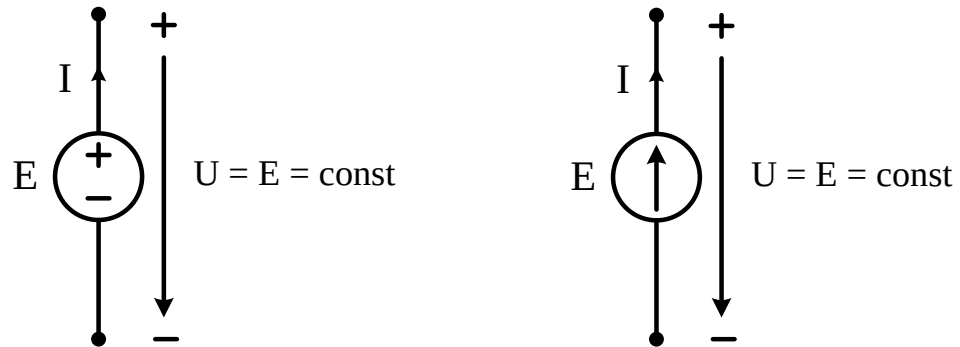
$$u_C(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt + u_C(0) \quad (1.8)$$

**Chú ý:** Trong các hệ thức liên hệ giữa dòng điện và điện áp của các phần tử  $R$ ,  $L$ ,  $C$  nêu trên, nếu đổi chiều dòng điện hay điện áp thì hệ thức đổi dấu.

### **Phần tử tích cực**

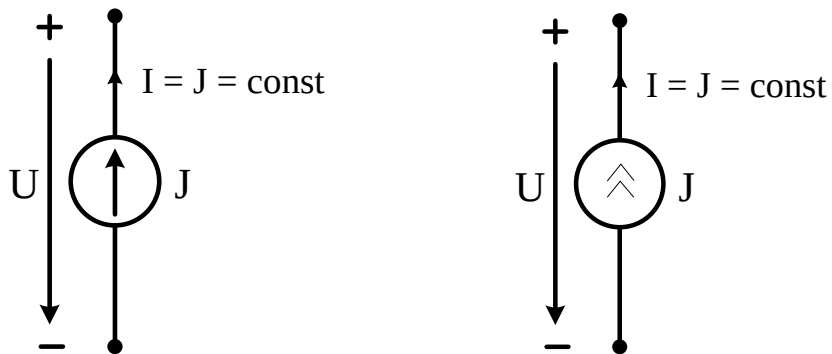
**Phần tử nguồn:** là phần tử đặc trưng cho hiện tượng nguồn. Nếu xét sự phụ thuộc của phần tử nguồn đang xét vào các phần tử nguồn khác trong mạch ta có nguồn độc lập và nguồn phụ thuộc. Ngoài ra thông thường ta có 2 loại phần tử nguồn là phần tử nguồn áp và phần tử nguồn dòng.

- **Nguồn áp độc lập:** là phần tử hai cực, mà điện áp của nó không phụ thuộc vào giá trị dòng điện cung cấp từ nguồn. Điện áp của nguồn áp độc lập bằng chính sức điện động của nguồn  $u(t) \equiv e(t)$



**Hình 1.1.5** Nguồn áp độc lập

- **Nguồn dòng độc lập:** là phần tử hai cực mà dòng điện của nó không phụ thuộc vào điện áp trên hai cực nguồn.  $i(t) \equiv j(t)$

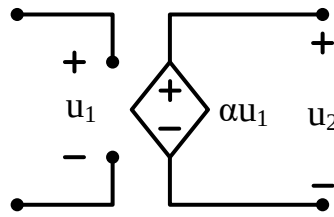


**Hình 1.1.6** Nguồn dòng độc lập

Lưu ý: Khác với các nguồn độc lập là nguồn tạo ra điện áp hoặc dòng điện hoàn toàn không bị ảnh hưởng bởi phần còn lại của mạch, các nguồn phụ thuộc là các phần tử nguồn có tính chất, giá trị của nó phụ thuộc vào một tín hiệu khác (dòng hay áp) có trong mạch. Các đầu vào bên trái tượng trưng cho điện áp hoặc dòng điện điều khiển nguồn phụ thuộc. Các đầu ra bên phải là dòng điện hoặc điện áp bị điều khiển.

Các hằng số  $r, g, \alpha, \beta$  là các hệ số điều khiển.

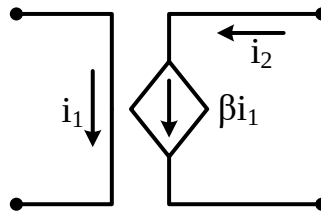
- **Nguồn áp phụ thuộc áp:** (VCVS: Voltage Controlled Voltage Source).



**Hình 1.1.7** Nguồn áp phụ thuộc áp

Phần tử này phát ra điện áp  $u_2$ :  $u_2 = \alpha u_1$  với  $\alpha$  là hệ số điều khiển không có thứ nguyên.

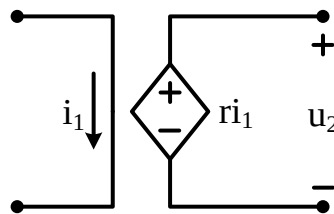
- *Nguồn dòng phụ thuộc dòng*: (CCCS: Current Controlled Current Source).



**Hình 1.1.8** Nguồn dòng phụ thuộc dòng

Phần tử này phát ra dòng điện  $i_2$ :  $i_2 = \beta i_1$  với  $\beta$  là hệ số điều khiển không có thứ nguyên.

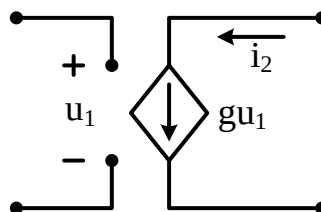
- *Nguồn áp phụ thuộc dòng*: (CCVS: Current Controlled Voltage Source).



**Hình 1.1.9** Nguồn áp phụ thuộc dòng

Phần tử này phát ra điện áp  $u_2$  mà  $u_2$  phụ thuộc vào dòng điện  $i_1$  theo hệ thức:  $u_2 = r i_1$  với  $r$  có đơn vị đo là Ohm ( $\Omega$ ).

- *Nguồn dòng phụ thuộc áp*: (VCCS: Voltage Controlled Current Source).



**Hình 1.1.10** Nguồn dòng phụ thuộc áp

Phần tử này phát ra dòng điện  $i_2$  phụ thuộc vào điện áp  $u_1$  theo hệ thức:  $i_2 = g u_1$  với đơn vị đo của  $g$  là Siemen (S), hoặc Mho ( $\mathfrak{U}$ ).

## Phần tử thật

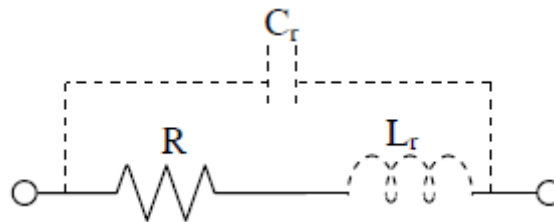
Một phần tử thật của mạch điện có thể được mô hình gần đúng bởi một hay tập hợp nhiều phần tử mạch lý tưởng được ghép nối với nhau theo một cách nào đó để mô tả gần đúng (với độ chính xác nào đó) hoạt động của phần tử thực tế.

Nhắc lại : Mô hình mạch điện còn được gọi là sơ đồ thay thế mạch điện, trong đó kết cấu hình học và quá trình năng lượng giống như ở mạch điện thực, song các phần tử của *mạch điện thực* đã được mô hình bằng các thông số  $R, L, C, M, u, i, j$ .

Thực tế không có phần tử nào là thuần điện trở  $R$ , thuần dung kháng  $C$ , thuần cảm kháng  $L$  hay thuần nguồn  $e(t), j(t) \dots$ . Để tiện cho tính toán giải mạch điện ta đã chấp nhận sai số mô hình coi các phần tử chỉ mang tính chất đặt trưng của chúng.

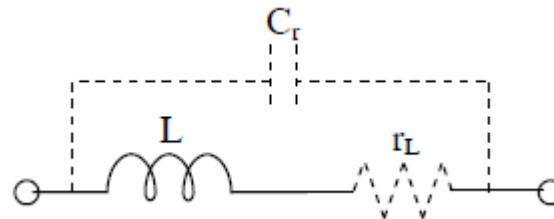
Khi nghiên cứu sâu, mô hình chính xác hơn ta có thể mô phỏng gần đúng các phần tử như sau:

- Mô hình phần tử điện trở:



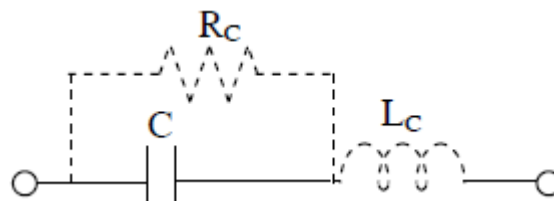
Hình 1.1.11 Điện trở thực

- Mô hình phần tử điện cảm:



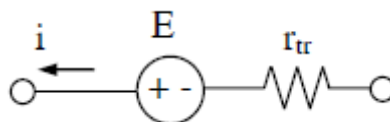
Hình 1.1.12 Tự điện

- Mô hình phần tử điện dung:



Hình 1.1.13 Cuộn dây

- Mô hình phân tử nguồn áp:



**Hình 1.1.14** Nguồn điện áp

$r_{tr}$  : nội trở của nguồn áp (nguồn lý tưởng  $r_{tr} = 0$ )

Các phần tử lý tượng điện cảm  $L$ , điện dung  $C$ , điện trở  $R$  theo thứ tự phản ánh quá trình điện từ cơ bản xảy ra trong cuộn dây, tụ điện, điện trở thực. Ngoài ra trong các điều kiện cụ thể phải lưu ý đến các quá trình phụ (ký sinh) xảy ra trong phần tử thực bằng cách bổ sung thêm vào mô hình các phần tử ký sinh tương ứng:

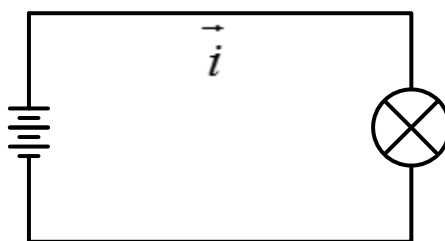
Trong *mô hình cuộn dây*, ngoài phần tử điện cảm  $L$  đặc trưng cho quá trình cơ bản trong cuộn dây là quá trình tích phóng năng lượng trường từ, trong nhiều trường hợp phải lưu ý đến các điện trở  $r_L$  phản ánh tổn hao năng lượng trong cuộn dây và trong lõi. Ở tần số cao còn phải kể đến ảnh hưởng của điện dung ký sinh giữa các vòng dây.

*Mô hình của tụ điện*, trong đa số trường hợp gồm hai phần tử là điện dung  $C$  và điện trở  $r_C$ , trong đó phần tử điện dung là phần tử quan trọng nhất đặc trưng cho quá trình chủ yếu trong tụ điện là quá trình tích phóng năng lượng trường điện, còn điện trở  $r_C$  là tính đến tổn hao trong điện môi. Nếu tần số làm việc rất cao thì cũng phải lưu ý đến điện cảm  $L_C$  của dây nối.

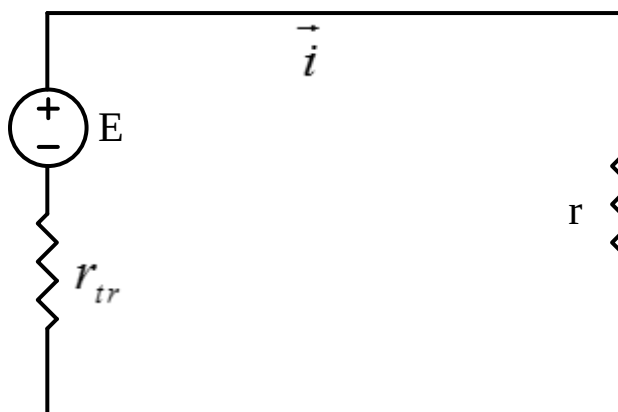
Ở tần số cao trong *mô hình của điện trở thực* cũng phải lưu ý đến các tham số điện cảm  $L_r$ , điện dung  $C_r$  mà trong đa số các trường hợp có thể bỏ qua.

Bởi vì mạch điện thực gồm các phần tử thực ghép nối với nhau theo một sơ đồ nối dây cụ thể nào đó, cho nên từ sơ đồ thay thế của từng phần tử thực và sơ đồ nối dây của mạch điện có thể mô tả hình học mô hình của mạch điện thực bởi một sơ đồ gọi là *sơ đồ thay thế* (hay *sơ đồ tương đương* của phần tử thực) của mạch điện, hay gọi tắt là *sơ đồ mạch*. Kết cấu của sơ đồ thay thế phải giống như kết cấu của mạch điện thực, tuy nhiên mỗi phần tử thực đã được thay bằng sơ đồ thay thế của nó.

Ví dụ hình 1.1.15 là sơ đồ nối dây của một mạch điện đơn giản gồm một ắc quy cung cấp điện năng cho đèn sợi nung. *Sơ đồ mạch* của mạch điện này được vẽ như hình 1.1.16, trong đó ắc quy được mô hình bởi một phần tử nguồn áp  $E$  (đặc trưng cho hiện tượng nguồn trong ắc quy) mắc nối tiếp với một điện trở  $r_{tr}$  (đặc trưng cho tổn hao điện năng trong ắc quy) gọi là *điện trở trong* của nguồn, còn đèn sợi nung chỉ có hiện tượng tiêu tán nên được đặc trưng bằng điện trở  $r$  trên sơ đồ điện (điện trở của dây nối được bỏ qua).



Hình 1.1.15

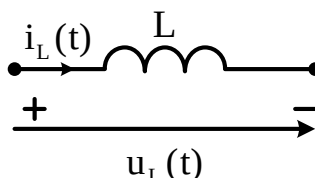


Hình 1.1.16

### Tham khảo

**Hai phân tử điện cảm có ghép hồ cảm:** Phân tử 4 cực này có thể xem như là mô hình lý tưởng của 2 cuộn dây có ghép hồ cảm với nhau nếu ta bỏ qua hiện tượng tiêu tán và hiện tượng tích phóng năng lượng điện trường.

Nhắc lại hiện tượng tự cảm:



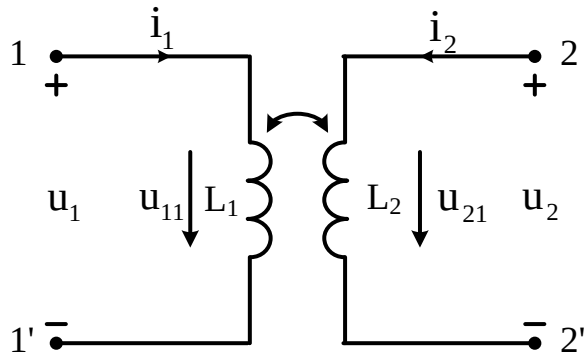
$$u_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} \quad \text{Nếu điện áp } u_L(t) \text{ cùng chiều với dòng điện } i_L(t)$$

Hiện tượng hồ cảm:

Hồ cảm là hiện tượng tương tác từ trường giữa các dòng điện đặt đủ gần nhau, khi đó dòng điện biến thiên chạy trong 1 cuộn dây sẽ tạo ra từ thông móc vòng không những chính bản thân cuộn dây đó mà còn với cả cuộn dây kia và do đó cảm ứng điện áp do dòng điện biến thiên sinh ra không những trong bản thân cuộn dây đó mà ở cả trong cuộn dây kia.

Ta xét hiện tượng hồ cảm giữa các cuộn cảm đặt gần nhau, cụ thể xét 2 cuộn cảm đặt gần nhau có các dòng điện  $i_1$ ,  $i_2$  như hình vẽ:





**Hình 1.1.17** Hai cuộn dây ghép hồ cảm

Nếu cực tính của các điện áp  $u_1$ ,  $u_2$  và chiều dương các dòng điện  $i_1$ ,  $i_2$  được chọn như hình 1.11, ta có:

- *Điện áp tự cảm*:  $u_{11} = L_1 \frac{di_1}{dt}$ ;  $u_{21} = L_2 \frac{di_2}{dt}$  nếu  $u_{11}$ ,  $u_{21}$  lần lượt cùng chiều với  $i_1$  và  $i_2$ .

- *Điện áp hồ cảm*:  $u_{12} = M \frac{di_2}{dt}$ ;  $u_{22} = M \frac{di_1}{dt}$  ở đây  $u_{12}$ ,  $u_{22}$  có thể cùng chiều hay ngược chiều với  $u_{11}$ ,  $u_{21}$ .

- *Điện áp tổng*:

$$u_1 = u_{11} + u_{12} = L_1 \frac{di_1}{dt} \pm M \frac{di_2}{dt} \quad (1.9)$$

$$u_2 = u_{21} + u_{22} = L_2 \frac{di_2}{dt} \pm M \frac{di_1}{dt} \quad (1.10)$$

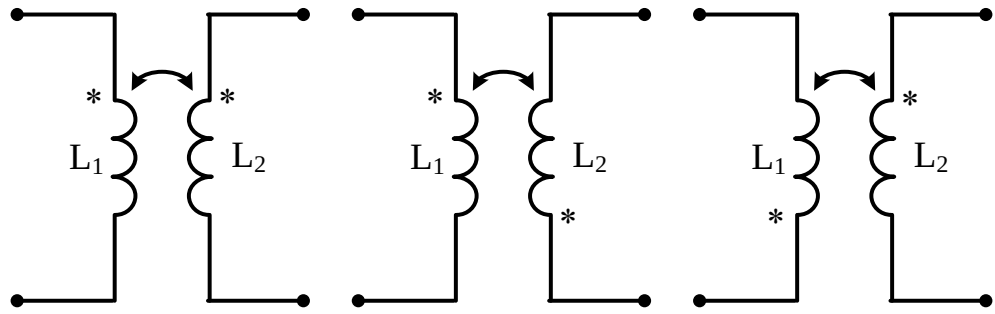
Với:  $L_1$  hệ số tự cảm của cuộn dây 1

$L_2$  hệ số tự cảm của cuộn dây 2

$M$  hệ số hồ cảm giữa 2 cuộn dây 1 và 2

Việc chọn dấu (+) hoặc (-) trước  $M$  trong các biểu thức (1.9) và (1.10) phụ thuộc vào chiều quấn các cuộn dây cũng như vào việc chọn chiều dương của các dòng điện  $i_1$  và  $i_2$ .

*Hai cuộn dây ghép hồ cảm* bỏ qua quá trình tiêu tán và quá trình tích phóng năng lượng điện trường được mô hình bởi 1 phần tử 4 cực và ký hiệu như các hình sau (Hình 1.18).



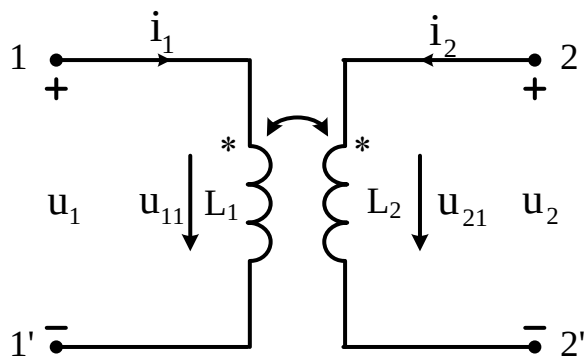
**Hình 1.1.18** Ký hiệu hai cuộn dây ghép hồ cảm

*Cực tính của cuộn dây:* Trên hình 1.1.18 các dấu (\*) hoặc có thể là các dấu (●) dùng để đánh dấu 1 đầu cực tính của cuộn dây (dựa vào chiều quấn các cuộn dây) và được quy ước như sau để xác định dấu (+) hoặc (-) trong biểu thức  $\pm M \frac{di}{dt}$  của điện áp hồ cảm:

Dòng điện ở các cuộn dây có chiều dương cùng đi vào hoặc cùng đi ra ở đầu (\*) hoặc (●) của mỗi cuộn thì chúng cùng cực tính. Nói cách khác đầu (\*) hoặc (●) của mỗi cuộn dây cùng là đầu vào hay đầu ra của dòng điện ở các cuộn dây.

Ta xét các trường hợp sau:

- Hình 1.1.19.



**Hình 1.1.19** Hai cuộn dây ghép hồ cảm *Dạng 1*

Ở cuộn dây  $L_1$  ta có:

+ *Điện áp tự cảm* trên cuộn  $L_1$

Vì  $i_1$  và  $u_{11}$  có cùng chiều nên:  $u_{11} = L_1 \frac{di_1}{dt}$

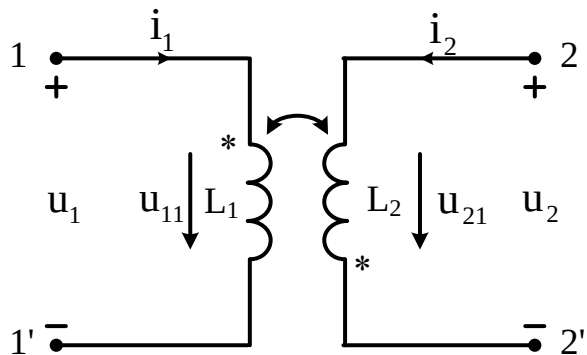
+ *Điện áp hồ cảm* trên cuộn  $L_1$ :  $u_{12} = \pm M \frac{di_2}{dt}$

Vì  $i_1$  và  $i_2$  cùng có chiều dương đi vào đầu (\*) nên chúng có cùng cực tính, ta có  $u_{12} = +M \frac{di_2}{dt}$

+ *Điện áp tổng* trên cuộn  $L_1$ : vì  $u_1$  cùng chiều với  $i_1$  nên ta có:  $u_1 = u_{11} \pm u_{12}$  tương ứng:  $u_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt}$

Tương tự đối với cuộn  $L_2$ , ta có điện áp tổng trên  $L_2$  là:  $u_2 = L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt}$

- Hình 1.1.20.



**Hình 1.1.20** Hai cuộn dây ghép hồ cảm *Dạng 2*

Ở cuộn dây  $L_1$  ta có:

+ *Điện áp tự cảm* trên cuộn  $L_1$

Vì  $i_1$  và  $u_{11}$  có cùng chiều nên:  $u_{11} = L_1 \frac{di_1}{dt}$

+ *Điện áp hồ cảm* trên cuộn  $L_1$ :  $u_{12} = \pm M \frac{di_2}{dt}$

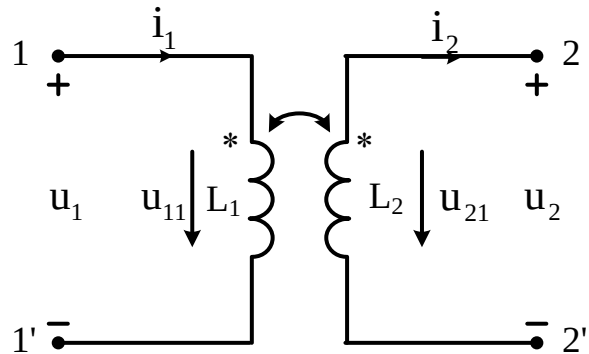
Vì  $i_1$  có chiều dương đi vào đầu (\*) của cuộn dây tuy nhiên  $i_2$  có chiều dương đi ra khỏi đầu (\*) của cuộn dây nên chúng khác cực tính, ta có  $u_{12} = -M \frac{di_2}{dt}$

+ *Điện áp tổng* trên cuộn  $L_1$ : vì  $u_1$  cùng chiều với  $i_1$  nên ta có:  $u_1 = u_{11} \pm u_{12}$  tương ứng:  $u_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt}$

Tương tự đối với cuộn  $L_2$ , ta có điện áp tổng trên  $L_2$  là:

$$u_2 = L_2 \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt}$$

- Hình 1.1.21.



**Hình 1.1.21** Hai cuộn dây ghép hồ cảm *Dạng 3*

Ở cuộn dây  $L_1$  ta có:

+ *Điện áp tự cảm* trên cuộn  $L_1$

Vì  $i_1$  và  $u_{11}$  có cùng chiều nên:  $u_{11} = L_1 \frac{di_1}{dt}$

+ *Điện áp hồ cảm* trên cuộn  $L_1$ :  $u_{12} = \pm M \frac{di_2}{dt}$

Vì  $i_1$  có chiều dương đi vào đầu (\*) của cuộn dây tuy nhiên  $i_2$  có chiều dương đi ra khỏi đầu (\*) của cuộn dây nên chúng khác cực

tính, ta có  $u_{12} = -M \frac{di_2}{dt}$

+ *Điện áp tổng* trên cuộn  $L_1$ : vì  $u_1$  cùng chiều với  $i_1$  nên ta có:  $u_1 =$

$u_{11} \pm u_{12}$  tương ứng:  $u_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt}$

Ở cuộn dây  $L_2$  ta có:

+ *Điện áp tự cảm* trên cuộn  $L_2$

Vì  $i_2$  và  $u_{21}$  ngược chiều nhau nên:  $u_{21} = -L_2 \frac{di_2}{dt}$

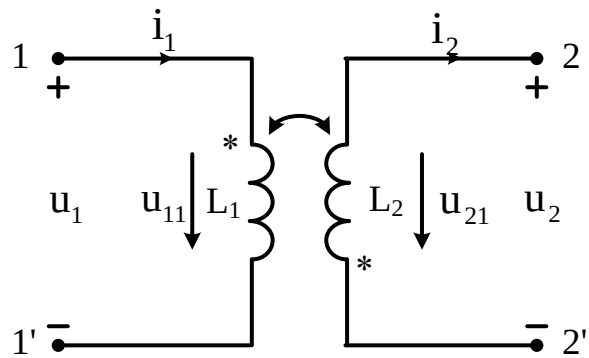
+ *Điện áp hồ cảm* trên cuộn  $L_2$ :  $u_{12} = \pm M \frac{di_2}{dt}$

Vì  $i_1$  có chiều dương đi vào đầu (\*) của cuộn dây tuy nhiên  $i_2$  có chiều dương đi ra khỏi đầu (\*) của cuộn dây nên chúng khác cực

tính, ta có  $u_{22} = -M \frac{di_1}{dt}$

+ *Điện áp tổng* trên cuộn  $L_2$ : vì  $u_2$  ngược chiều với  $i_2$  nên ta có:  $u_2 = u_{21} \mp u_{22}$  tương ứng:  $u_2 = -L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt}$

- Hình 1.1.22.



**Hình 1.1.22** Hai cuộn dây ghép hồ cảm *Dạng 4*

Ở cuộn dây  $L_1$  ta có:

+ *Điện áp tự cảm* trên cuộn  $L_1$

Vì  $i_1$  và  $u_{11}$  có cùng chiều nên:  $u_{11} = L_1 \frac{di_1}{dt}$

+ *Điện áp hồ cảm* trên cuộn  $L_1$ :  $u_{12} = \pm M \frac{di_2}{dt}$

Vì  $i_1$  và  $i_2$  cùng có chiều dương đi vào đầu (\*) nên chúng có cùng cực tính, ta có  $u_{12} = +M \frac{di_2}{dt}$

+ *Điện áp tổng* trên cuộn  $L_1$ : vì  $u_1$  cùng chiều với  $i_1$  nên ta có:  $u_1 = u_{11} \pm u_{12}$  tương ứng:  $u_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt}$

Ở cuộn dây  $L_2$  ta có:

+ *Điện áp tự cảm* trên cuộn  $L_2$

Vì  $i_2$  và  $u_{21}$  ngược chiều nhau nên:  $u_{21} = -L_2 \frac{di_2}{dt}$

+ *Điện áp hồ cảm* trên cuộn  $L_2$ :  $u_{12} = \pm M \frac{di_2}{dt}$

Vì  $i_1$  và  $i_2$  cùng có chiều dương đi vào đầu (\*) nên chúng có cùng cực tính, ta có  $u_{22} = +M \frac{di_1}{dt}$

+ *Điện áp tổng* trên cuộn  $L_2$ : vì  $u_2$  ngược chiều với  $i_2$  nên ta có:  $u_2 = u_{21} \mp u_{22}$  tương ứng:  $u_2 = -L_2 \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt}$

## 1.2 Các đại lượng cơ bản trong mạch điện

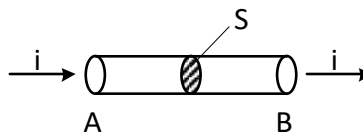
Để tính toán một cách gần đúng các quá trình điện từ trong các thiết bị điện người ta dùng một mô hình toán học đơn giản hóa gọi là mạch điện. Ở đây, người ta chỉ quan tâm đến một số (hữu hạn) các đại lượng là các *dòng điện* và các *điện áp*.

### 1. Dòng điện và điện áp

#### *Dòng điện (hay cường độ dòng điện) $i(t)$*

Trong Hình 1.2.1 vẽ 1 đoạn dây dẫn AB có tiết diện là S. Gọi  $q(t)$  là lượng điện tích dương chuyển động qua tiết diện S theo chiều từ A đến B vào thời điểm  $t$  và  $\Delta q = q(t + \Delta t) - q(t)$  là lượng điện tích chuyển động qua S theo chiều từ A đến B trong khoảng thời gian  $\Delta t$  thì trị số trung bình của cường độ dòng điện theo chiều AB trong  $\Delta t$  là:

$$i_{AB\text{trung bình}}(t) = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$



Hình 1.2.1

Trị số trung bình này càng chính xác nếu ta lấy  $\Delta t$  càng nhỏ. Cho  $\Delta t \rightarrow 0$ , ta định nghĩa *cường độ dòng điện theo chiều AB* tại thời điểm  $t$  là *đạo hàm của lượng điện tích  $q(t)$  theo thời gian*.

$$i_{AB}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq(t)}{dt}$$

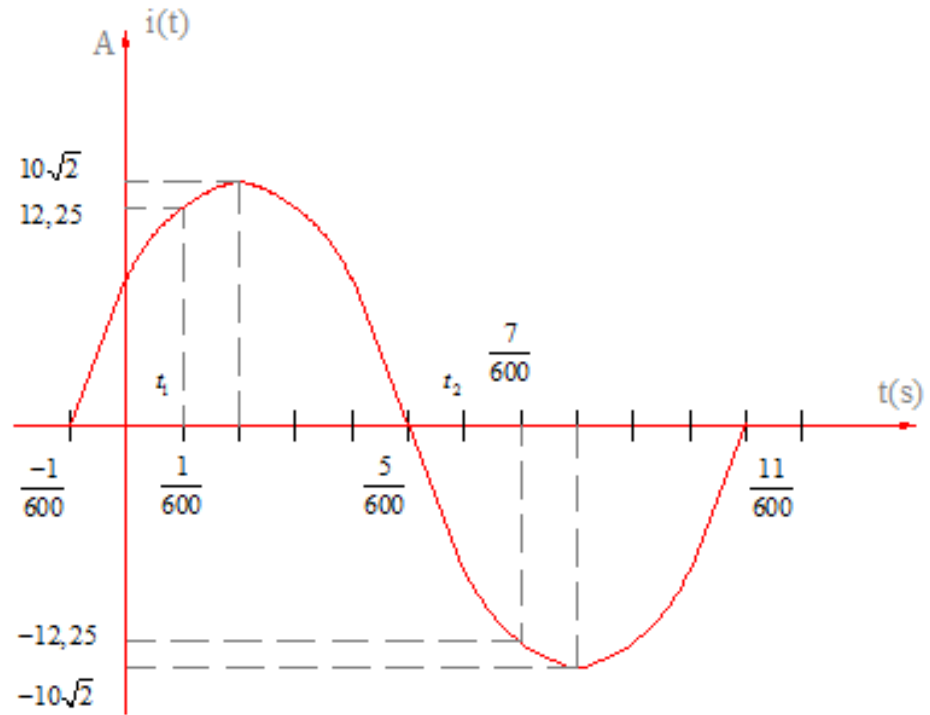
Theo quy ước, người ta lấy chiều của dòng điện là chiều chuyển động của điện tích dương. *Chiều dương của dòng điện* trong mỗi phần tử của mạch điện được vẽ bằng một mũi tên.



Hình 1.2.2

Dòng điện nói chung có trị số thay đổi theo thời gian. Ví dụ:

$i_{AB} = i(t) = 10\sqrt{2} \sin(100\pi t + \frac{\pi}{6})A$  là biểu thức của *một một dòng điện xoay chiều hình sin* (dòng điện xoay chiều), có biên độ là  $10\sqrt{2}A$ . Đường biểu diễn  $i(t)$  được vẽ như sau (Hình 1.2.3):



**Hình 1.2.3**

Tại thời điểm:  $t_1 = \frac{1}{600} \text{ s}$  ta có :

$$\omega t_1 = 100\pi \times \frac{1}{600} = \frac{\pi}{6}$$

và  $i(t_1) = 10\sqrt{2} \sin(\omega t_1 + \frac{\pi}{6}) = 10\sqrt{2} \sin \frac{\pi}{3} = 10\sqrt{2} \times \frac{\sqrt{2}}{2} \approx 14.14 \text{ A}$

Vì  $i(t_1) = 14.14 \text{ A} > 0$  nên tại thời điểm  $t_1$  dòng điện  $i(t)$  có chiều thực trùng với chiều dương của nó, tức là tại thời điểm  $t_1$  dòng điện có trị số là 14.14A và chạy theo chiều từ A đến B.

Tại thời điểm:  $t_2 = \frac{1}{600} \text{ s} + \frac{1}{100} \text{ s} = \frac{7}{600} \text{ s}$

$$\omega t_2 = 100\pi \times \frac{7}{600} = \frac{7\pi}{6}$$

ta có

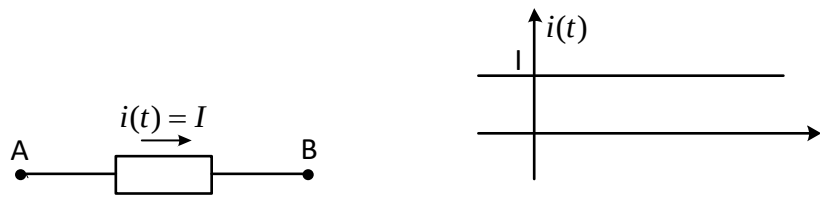
và

$$i(t_2) = 10\sqrt{2} \sin(\omega t_2 + \frac{\pi}{6}) = 10\sqrt{2} \sin \frac{4\pi}{3} = 10\sqrt{2} \times (-\frac{\sqrt{2}}{2}) \approx -14.14 \text{ A}$$

Vì  $i(t_2) = -14.14 \text{ A} < 0$  nên tại thời điểm  $t_2$  dòng điện  $i(t)$  có chiều thực ngược với chiều dương của nó, tức là tại thời điểm  $t_2$  dòng điện có trị số tuyệt đối là 14.14A và chạy theo chiều từ B đến A.



Trong trường đơn giản nhất, dòng điện có chiều và trị số không đổi theo thời gian:  $i(t) = I = \text{const}$  (hằng số), được gọi là *dòng điện không đổi* (*dòng điện một chiều*).



**Hình 1.2.4**

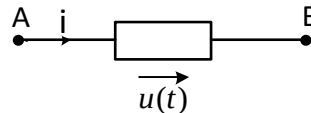
### **Điện áp $u(t)$**

Người ta gọi hiệu số điện thế từ điểm A đến điểm B của một mạch điện là điện áp  $u_{AB}(t)$ .

$$u_{AB}(t) = v_A(t) - v_B(t)$$

Ở đây,  $v_A$  (hoặc  $v_B$ ) là điện thế của điểm A (hoặc điểm B) được tính đối với điện thế của một điểm O nào đó có điện thế chọn bằng không  $v_O = 0$ .

Đơn vị của điện thế và điện áp trong đơn vị quốc tế SI là volt, viết tắt là V. Chiều dương của điện áp  $u_{AB}$  giữa 2 điểm A và B được chỉ bằng một mũi tên hướng từ điểm A đến điểm B vẽ trên đoạn mạch kèm theo ký hiệu  $u(t)$  như Hình vẽ 1.2.5.



**Hình 1.2.5**

Trong trường hợp chung, điện áp giữa 2 điểm của mạch điện là một hàm số của thời gian  $t$ .

Ví dụ:  $u(t) = u_{AB}(t) = 220\sqrt{2} \sin(100\pi t + \frac{\pi}{6})V$  là một điện áp hình sin có biên độ là 220V.

Tại thời điểm:  $t_1 = \frac{1}{600} s$  ta có :

$$u(t_1) = 220\sqrt{2} \sin \frac{\pi}{3} = 269,44V$$

Vì  $u(t_1) = 269,44V > 0$  nên tại thời điểm  $t_1$  điện áp  $u(t_1)$  có chiều thực trùng với chiều dương đã chọn, tức là tại thời điểm  $t_1$  điện thế điểm A cao hơn điện thế điểm B là 269,44V.

Tại thời điểm:  $t_2 = \frac{7}{600} \text{ s}$  ta có :

$$u(t_2) = 220\sqrt{2} \sin \frac{4\pi}{3} = -269,44\text{V}$$

Vì  $u(t_2) = -269,44\text{V} < 0$  nên tại thời điểm  $t_2$  điện áp  $u(t_2)$  có chiều thực ngược với chiều dương đã chọn, tức là tại thời điểm  $t_2$  điện áp  $u(t_2)$  có trị số tuyệt đối là 269,44V nhưng hướng từ B đến A, nói cách khác điện thế điểm B cao hơn điện thế điểm A là 269,44V.

Trong trường hợp đơn giản nhất, một điện áp  $u(t)$  có chiều và trị số không thay đổi theo thời gian:

$u(t) = U = \text{const}$  được gọi là *điện áp không đổi*, thường gọi là *điện áp một chiều*.

Dòng điện  $i(t)$  và điện áp  $u(t)$  là hai biến cơ bản của mạch điện. Các đại lượng khác đều có thể định nghĩa thông qua hai biến cơ bản này.

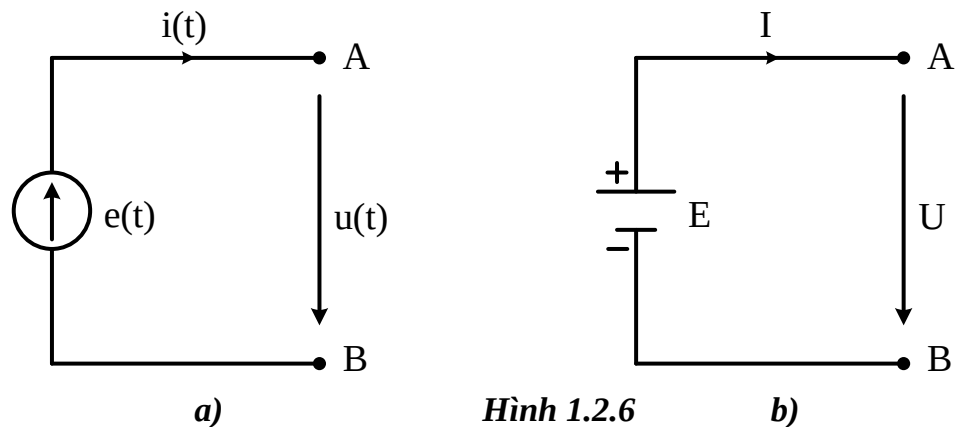
## 2. Nguồn điện áp

***Nguồn điện áp hay nguồn sức điện động.***

Để tạo ra điện áp đặt vào mạch điện, người ta dùng các *nguồn điện*. Ví dụ các pin và ắc quy cung cấp cho ta các điện áp không đổi (theo thời gian). Các máy phát điện xoay chiều cung cấp điện áp hình sin có tần số  $f = 50\text{Hz}$  dùng trong công nghiệp và sinh hoạt.

Trong mạch điện, người ta gọi *nguồn điện áp* (nguồn áp) hay *nguồn sức điện động* (viết tắt là *sđđ*) là *phần tử lí tưởng tạo ra một điện áp  $u(t)$  giữa hai cực của nó là một hàm đã cho của thời gian* (không phụ thuộc vào dòng điện  $i(t)$  đi qua nguồn).

Nguồn điện áp thường được biểu diễn bằng một vòng tròn với một mũi tên như ở Hình 1.2.6.



Hình 1.2.6

Chiều mũi tên là chiều dương của *sđđ*  $e(t)$  hoặc chiều tăng của điện thế. Với chiều dương của *sđđ*  $e(t)$  và chiều dương của điện áp  $u(t)$  chọn như ở Hình 1.2.6.a), ta có:

$$u(t) = u_{AB}(t) = v_A(t) - v_B(t)$$

và 
$$v_A(t) = v_B(t) + e(t)$$

tức là 
$$u(t) = e(t) \text{ thực chất } u(t) \equiv e(t)$$

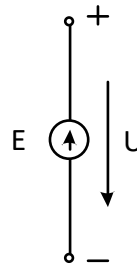
Ví dụ  $u(t) = e(t) = 220\sqrt{2} \sin(100\pi t + \alpha) \text{ V}$  là một nguồn điện áp hình sin có biên độ là  $220\sqrt{2} \text{ V}$  và có tần số  $f = 50\text{Hz}$ .

Đối với các pin hoặc ắc quy là các nguồn điện áp hay nguồn sđđ không đổi theo thời gian ta còn dùng ký hiệu như ở Hình 1.2.6.b).

### Tham khảo

#### *Nguồn điện áp (hay nguồn sức điện động $E$ )*

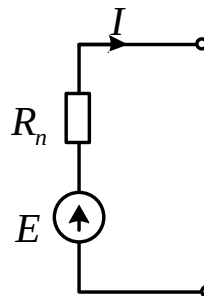
Sức điện động  $E$  trong mô hình mạch điện một chiều: là phần tử lý tưởng, có trị số bằng điện áp  $U$  đo được giữa 2 cực của nguồn khi hở mạch ngoài. Chiều của sức điện động quy ước từ điện thế thấp đến điện thế cao.



**Hình 1.2.7**

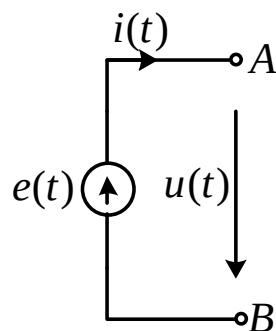
Chiều của điện áp quy ước từ điện thế cao đến điện thế thấp. Và như Hình 2.7 thì  $U = E$

Đối với *nguồn điện áp* trong quá trình thiết lập mô hình mạch điện nó được thay thế bằng một sức điện động  $E$  nối tiếp với điện trở  $R_n$  như Hình 1.2.8.



**Hình 1.2.8**

Nguồn điện áp trong mô hình mạch điện xoay chiều có ký hiệu như Hình 1.2.9:



Hình 1.2.9

Chiều của mũi tên là chiều dương của sức điện động  $e(t)$  hoặc chiều tăng của điện thế. Với chiều dương của sức điện động  $e(t)$  và chiều dương của điện áp  $u(t)$  như Hình 1.2.9, ta có:

$$u(t) = u_{AB}(t) = v_A(t) - v_B(t) \text{ và } v_A(t) = v_B(t) + e(t)$$

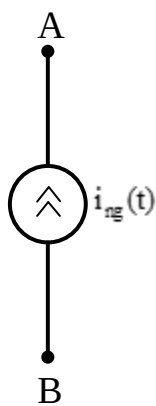
Tức là  $u(t) = e(t)$

### 3. Nguồn dòng điện $i_{ng}(t)$

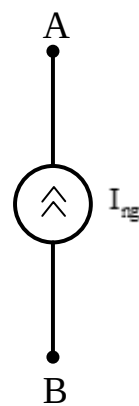
Trong mạch điện người ta định nghĩa *nguồn dòng điện (nguồn dòng)*  $i_{ng}(t)$  là một phân tử lý tưởng tạo ra một dòng điện là một hàm đã cho của thời gian (không phụ thuộc vào điện áp giữa hai cực của nó).

Nguồn dòng điện thường được ký hiệu bằng một vòng tròn trong đó có mũi tên kép cùng với chữ  $i_{ng}(t)$  như ở Hình 1.2.10.a).

Chiều của mũi tên kép chỉ chiều dương của nguồn dòng điện.



a)



b)

Hình 1.2.10

Ví dụ  $i_{ng}(t) = 10\sqrt{2} \sin(100\pi t + \alpha)$  A là một nguồn dòng điện hình sin có biên độ là  $10\sqrt{2}$  A và có tần số  $f = 50\text{Hz}$ .

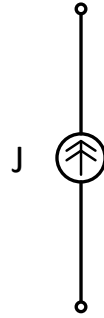
Đối với nguồn dòng không đổi theo thời gian (thường quen gọi là nguồn dòng một chiều), người ta còn dùng ký hiệu như Hình 1.2.10.b).

Khái niệm về nguồn dòng cũng quan trọng như khái niệm về nguồn áp, nhưng nguồn dòng thường ít được dùng trong sách vật lý ở các trường phổ thông. Học sinh, sinh viên các trường kỹ thuật thường gặp khó khăn khi giải các mạch điện có nguồn dòng. Khi đã quen

với nguồn dòng ta sẽ thấy nó rất có ích trong việc lập các phương trình cho mạch điện và trong nhiều trường hợp nó sẽ giúp cho việc tính toán mạch điện được đơn giản và dễ dàng hơn.

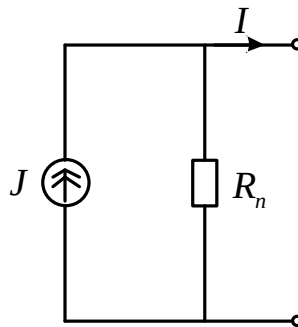
### Tham khảo

**Nguồn dòng điện  $J$**  trong mô hình mạch điện một chiều là phần lý tưởng có trị số bằng dòng điện ngắn mạch giữa 2 cực của nguồn.



Hình 1.2.11

Khi giải mạch điện có các phần tử Transistor, nhiều khi nguồn điện có sơ đồ thay thế là nguồn điện  $J = \frac{E}{R_n}$  như ở hình dưới:



Hình 1.2.12

## 1.3 Các phép biến đổi tương đương

Trong thực tế đôi khi cần làm đơn giản một phần mạch thành một phần mạch tương đương đơn giản hơn. Việc biến đổi mạch tương đương thường được làm để mạch mới có ít phần tử, ít số nút, ít số vòng và nhánh hơn mạch trước đó và do đó làm giảm đi số phương trình phải giải.

Mạch tương đương được định nghĩa: “Hai phần mạch được gọi tương đương nếu quan hệ giữa dòng điện và điện áp trên các cực của hai phần mạch là như nhau”.

Một phép biến đổi tương đương sẽ không làm thay đổi dòng điện và điện áp trên các nhánh ở các phần của sơ đồ không tham gia vào phép biến đổi.

**1. Nguồn áp ghép nối tiếp** Các nguồn áp (sđđ) ghép nối tiếp sẽ tương đương với một nguồn áp (sđđ) duy nhất có trị số bằng tổng đại số các nguồn áp (sđđ) đó.

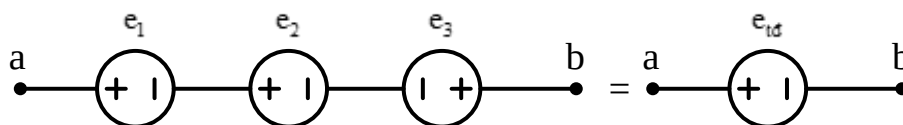
(các  
nguồn  
sđđ mắc  
nối tiếp)

$$e_{td} = \sum \pm e_k \text{ hay } u_{td} = \sum \pm u_k$$

Dấu + nếu  $u_k$  ( $e_k$ ) cùng chiều  $u_{td}$  ( $e_{td}$ )

Dấu – nếu  $u_k$  ( $e_k$ ) ngược chiều  $u_{td}$  ( $e_{td}$ )

Ví dụ:



a) **Hình 1.3.1** Nguồn áp mắc nối tiếp b)

Ta có:  $e_{td} = e_1 + e_2 - e_3$

Và trong cả 2 hình 1.3.1.a và b ta đều có :  $u_{ab} = e_1 + e_2 - e_3$

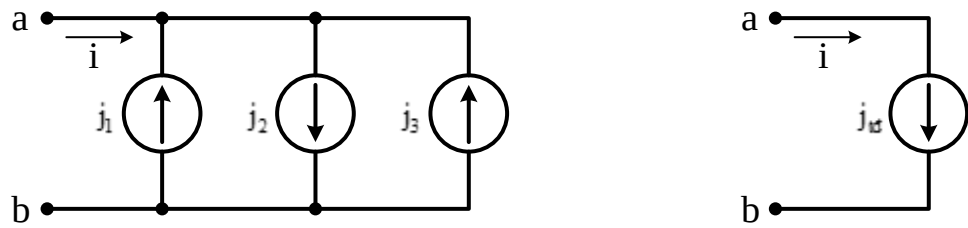
Lưu ý: Các nguồn áp mắc song song *khi và chỉ khi tất cả các nguồn áp thành phần đều bằng nhau.*

**2. Nguồn dòng mắc song song** Các nguồn dòng điện mắc song song sẽ tương đương với một nguồn dòng điện duy nhất có giá trị bằng tổng đại số các nguồn dòng điện đó :

$$j_{td} = \sum \pm j_k$$

Dấu + nếu  $j_k$  cùng chiều  $j_{td}$

Dấu – nếu  $j_k$  ngược chiều  $j_{td}$



a) **Hình 1.3.2** Nguồn dòng mắc song song b)

Ta có:  $j_{td} = -j_1 + j_2 - j_3$

Trong cả Hình 1.3.2a, b ta đều có:  $i = -j_1 + j_2 - j_3$

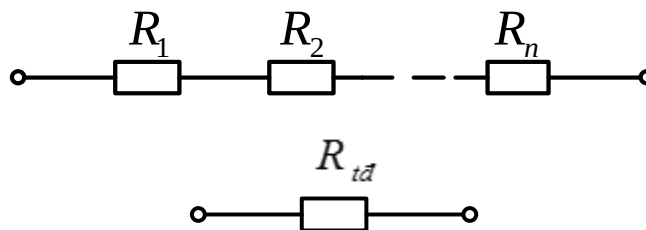
### 3. Điện trở ghép nối tiếp, song song

#### **Các điện trở mắc nối tiếp:**

Các phần tử được gọi là mắc nối tiếp khi chúng có chung một dòng điện chạy qua và điện áp tổng cộng bằng tổng điện áp của từng phần tử.

Điện trở tương đương ( $R_{td}$ ) của các điện trở  $R_1, R_2$ , đến  $R_n$  mắc nối tiếp là:

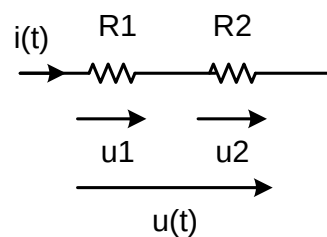
$$R_{td} = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum R_k$$



**Hình 1.3.3** Điện trở mắc nối tiếp và điện trở tương đương

\* Công thức tính toán thông số:

Xét 2 điện trở mắc nối tiếp:



**Hình 1.3.4** Hai điện trở mắc nối tiếp

$$\left. \begin{array}{l} u_1(t) = R_1 i(t) \\ u_2(t) = R_2 i(t) \end{array} \right\} \Rightarrow u(t) = u_1(t) + u_2(t)$$

$$\Rightarrow u(t) = i(t)(R_1 + R_2)$$

$$= i(t)R$$

Trong đó:

$$R = R_1 + R_2$$

\* Trường hợp tổng quát:

- n điện trở mắc nối tiếp

$$R = \sum_{k=1}^n R_k$$

- Với tụ điện mắc nối tiếp:

$$\frac{1}{C} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{C_k}$$

- Với cuộn cảm mắc nối tiếp:

$$L = \sum_{k=1}^n L_k$$

### ***Các điện trở mắc song song:***

Các phần tử được gọi là mắc song song khi chúng có chung một điện áp và dòng điện tổng cộng bằng tổng dòng điện đi qua từng phần tử.

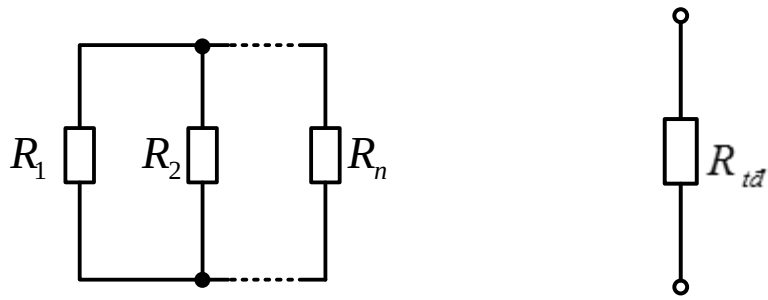
Điện trở tương đương ( $R_{td}$ ) của các điện trở  $R_1, R_2, \dots, R_n$  mắc song song là:

$$\frac{1}{R_{td}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} = \sum \frac{1}{R_k}$$

Hay:

$$G_{td} = \sum G_k \quad \text{với} \quad G = \frac{1}{R}$$

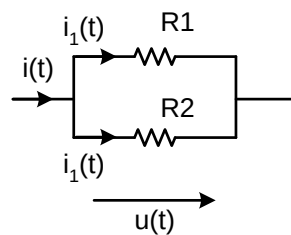




**Hình 1.3.5** Điện trở mắc song song và điện trở tương đương

Khi chỉ có 2 điện trở mắc song song thì điện trở tương đương của

chúng là:  $R_{td} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$



\* Tính toán thông số song song:

$$\begin{aligned} i(t) &= i_1(t) + i_2(t) \\ &= \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) u(t) \\ &= \frac{1}{R} u(t) \end{aligned}$$

\* Trường hợp tổng quát:

- Với n điện trở mắc song song

$$\frac{1}{R} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}$$

- Với n tụ điện mắc song song.

$$C = \sum_{k=1}^n C_k$$

- Với n cuộn cảm mắc song song.

$$\frac{1}{L} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{L_k}$$

## 1.4 Các câu hỏi ôn tập và bài tập

1. Hãy cho biết thế nào là mô hình mạch điện và cách thiết lập mô hình mạch điện? Mô hình mạch điện một chiều và xoay chiều có khác nhau không? Tại sao?

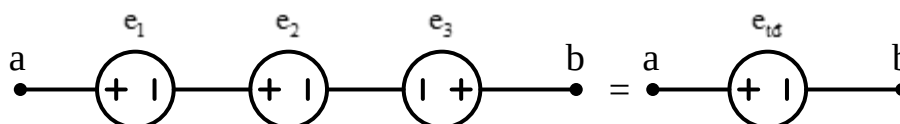
2. Một nguồn điện một chiều có sức điện động  $E = 100V$ , điện trở trong  $R_n = 1\Omega$ , cung cấp điện cho tải có  $R_t = 24\Omega$ ?

Hãy thiết lập mô hình mạch điện và tính dòng điện tải  $I_t$ ?

3. Trình bày hiện tượng biến đổi năng lượng và tích phóng năng lượng?

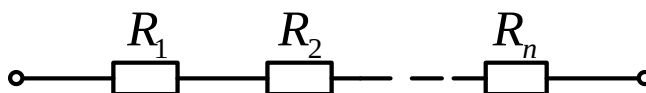
4. Thế nào là phân tử tích cực, thụ động trong mạch điện?

5. Cho các nguồn sđđ một chiều được mắc như hình sau:



Biết:  $e_1 = 100V$ ;  $e_2 = 50V$ ;  $e_3 = 75V$ . Hãy tính nguồn sđđ một chiều tương đương.

6. Cho các điện trở mắc như hình vẽ sau:



Biết:  $R_1 = 5\Omega$ ;  $R_2 = 10\Omega$ . Hãy tính:

a/ Điện trở tương đương  $R_n$ ?

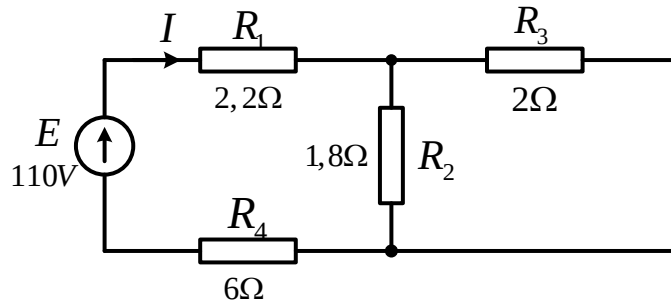
b/ Điện áp trên  $R_1$  và trên  $R_2$  Biết dòng điện tổng chạy trong mạch là  $2A$ ?

7. Cho 2 điện trở mắc song song với  $R_1 = 5\Omega$ ;  $R_2 = 10\Omega$ . Điện áp 2 đầu là  $30V$ . Hãy tính :

a/ Điện trở tương đương  $R_n$ ?

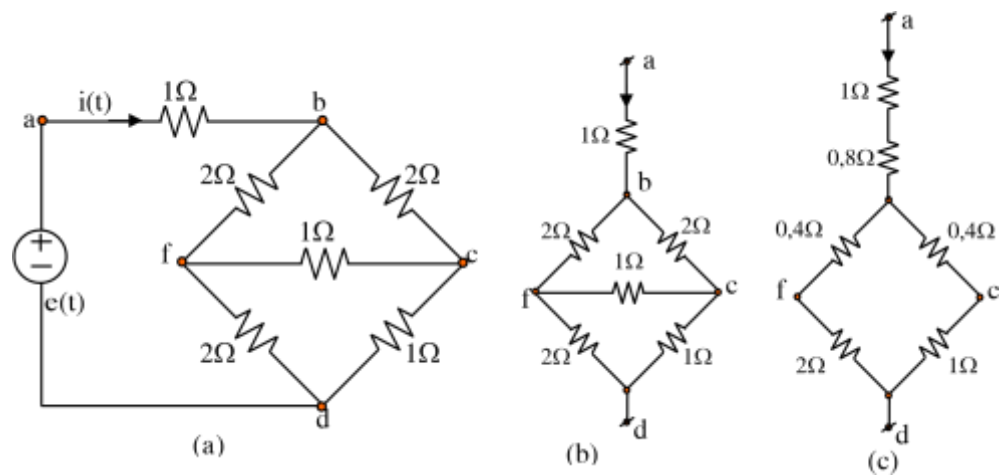
b/ Dòng điện chạy qua  $R_1$  và  $R_2$ ?

8. Tính dòng điện  $I$  trong mạch điện hình sau:



9. Nguồn điện là gì? Tải là gì? Hãy cho các ví dụ về nguồn điện và tải.
10. Mạch điện là gì? Các biến cơ bản của mạch điện là gì?
11. Dòng điện là gì? Chiều dương của dòng điện là gì?
12. Điện áp là gì? Chiều dương của điện áp là gì? Cho một số ví dụ.
13. Nguồn điện áp là gì? Quan hệ giữa điện áp và sức điện động? Cho một số ví dụ về nguồn điện áp.
14. Nguồn dòng điện là gì? Cho một số ví dụ về nguồn dòng điện.
15. Tìm dòng điện  $i(t)$  trong mạch hình dưới.

Với  $e(t)=6\sin(100\pi t)(V)$ . (Gợi ý: Biến đổi theo hình b,c)



## Mạch điện một chiều

# 2

Chương này trình bày, giải thích và cách vận dụng linh hoạt các biểu thức tính toán trong mạch điện một chiều (dòng điện, điện áp, công suất, điện năng, nhiệt lượng...).

Đồng thời trình bày: phương pháp tính toán các thông số (điện trở, dòng điện, điện áp, công suất, điện năng, nhiệt lượng) của mạch DC một nguồn, nhiều nguồn từ đơn giản đến phức tạp; cách phân tích các sơ đồ và chọn phương pháp giải mạch hợp lý; phương pháp lắp ráp, đo đạc các thông số của mạch DC theo yêu cầu.

---

2.1 Các định luật và biểu thức cơ bản trong mạch một chiều

---

2.2 Các phương pháp giải mạch một chiều.

---

2.3 Các câu hỏi ôn tập và bài tập

---

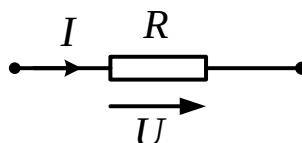
## 2.1 Các định luật và biểu thức cơ bản trong mạch DC

### Tổng quan

- Dòng điện một chiều có trị số và chiều không đổi theo thời gian.
- Các loại nguồn điện một chiều: Pin,Ắc quy, Pin một chiều, Máy phát điện một chiều, Bộ nguồn điện tử công suất (biến nguồn AC sang DC).
- Phụ tải một chiều: là các thiết bị điện tiêu thụ điện năng DC để biến đổi thành các dạng năng lượng khác như: động cơ điện (cơ năng); bàn là điện, bếp điện (nhiệt năng); đèn điện (quang năng),...
- Mạch điện một chiều: là tập hợp các thiết bị điện một chiều (nguồn, tải, dây dẫn) kết nối với nhau thành một mạch kín. Mạch điện một chiều phức tạp có nhiều nhánh, nhiều mạch vòng và nhiều nút.

### 1. Định luật Ohm

#### \* Nhánh thuần điện trở R



Hình 2.1

- Biểu thức tính điện áp qua điện trở:

$$U = R.I$$

- Biểu thức tính dòng điện qua điện trở:

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

Trong đó:

U (Điện áp) – Tính bằng Volt (V)

I (Dòng điện) – Tính bằng Ampe (A)

R (Điện trở) – Tính bằng Ohm ( $\Omega$ )

#### Ví dụ 2.1:

Trong mạch điện hình 2.1, biết  $I = 210mA$ ;  $R = 100\Omega$ . Tính điện áp trên điện trở U.

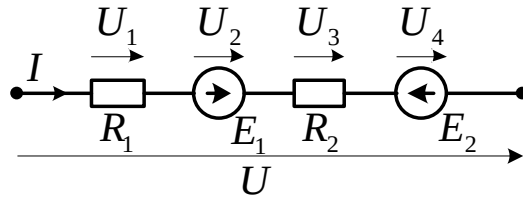
#### Lời giải:

Điện áp trên điện trở:

$$U = R.I = 100 \times 0,21 = 21V$$

#### \* Nhánh có sức điện động E và điện trở R

Xét nhánh có E, R như hình dưới:



Hình 2.2

Biểu thức tính điện áp  $U$ :

$$\begin{aligned} U &= U_1 + U_2 + U_3 + U_4 \\ &= I.R_1 - E_1 + I.R_2 + E_2 \\ &= I(R_1 + R_2) - (E_1 - E_2) \end{aligned}$$

Vậy  $\boxed{U = I(\sum R) - \sum E}$

Sức điện động  $E$  và dòng điện  $I$  có chiều trùng với chiều điện áp  $U$  sẽ lấy dấu dương, ngược lại sẽ lấy dấu âm.

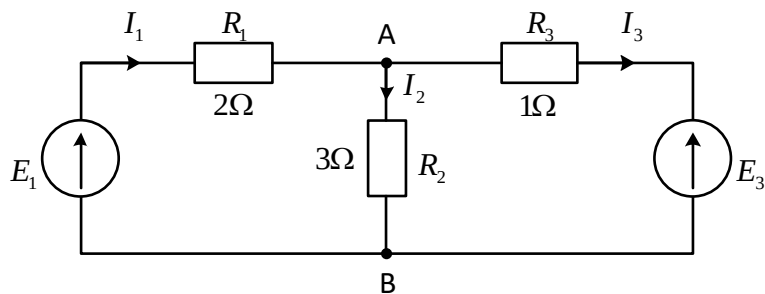
Biểu thức dòng điện:

$$I = \frac{U + \sum E}{\sum R}$$

Trong biểu thức trên quy ước dấu như sau:

Sức điện động  $E$  và điện áp  $U$  có chiều trùng với chiều dòng điện sẽ lấy dấu dương, ngược lại sẽ lấy dấu âm.

Ví dụ 2.2: cho mạch điện như hình 2.3:



Hình 2.3

Biết  $E_1 = 100V$ ;  $E_3 = 115V$ ;  $I_1 = 5A$ .

Tính điện áp  $U_{AB}$  và dòng điện các nhánh  $I_2$ ;  $I_3$ .

Bài giải:

- Tính điện áp  $U_{AB}$ :

$$U_{AB} = E_1 - I_1 R_1 = 100 - 2.5 = 90V$$

- Dòng điện  $I_2$ :

$$I_2 = \frac{U_{AB}}{R_2} = \frac{90}{3} = 30A$$

- Dòng điện  $I_3$ :

$$I_3 = \frac{U_{AB} - E_3}{R_3} = \frac{90 - 115}{1} = -25A$$

Dòng điện  $I_3 < 0$ , chiều thực của dòng điện  $I_3$  ngược với chiều đã vẽ trên hình trên.

## 2. Công suất và điện năng trong mạch một chiều

### \* Điện năng

Khi dòng điện chạy qua các thiết bị như bóng đèn  $\Rightarrow$  làm bóng đèn sáng, chạy qua động cơ  $\Rightarrow$  làm động cơ quay như vậy dòng điện đã sinh ra công. Công của dòng điện gọi là điện năng, ký hiệu là  $W$ , trong thực tế ta thường dùng Wh, KWh ( Kilo wat giờ)

Công thức tính điện năng là :

$$W = U.I.t$$

Trong đó:

- $W$  là điện năng tính bằng Jun (J)
- $U$  là điện áp tính bằng Volt (V)
- $I$  là dòng điện tính bằng Ampe (A)
- $t$  là thời gian tính bằng giây (s)

### \* Công suất

Công suất của dòng điện là điện năng tiêu thụ trong một giây , công suất được tính bởi công thức:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{U.I.t}{t} = U.I$$

Theo định luật ôm ta có:

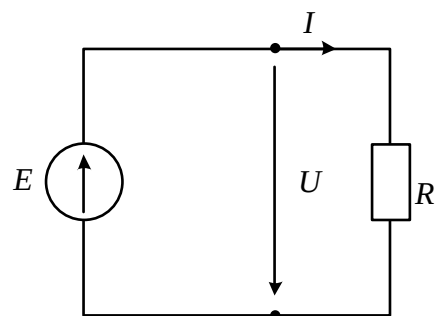
$$P = U.I = \frac{U^2}{R} = R.I^2$$

### Ví dụ 2.3:

Xét mạch điện ở hình 2.4, gồm một điện trở  $R = 10 \text{ Ohm}$  đặt vào nguồn sức điện động  $E = 12V$ .

- Tính điện áp  $U$ , dòng điện  $I$  trên điện trở  $R$ .
- Tính công suất tỏa nhiệt trên điện trở và năng lượng tiêu thụ bởi điện trở trong một giờ.





Hình 2.4

Giải:

Ta có:  $U = E = 12V$

Theo định luật Ohm ta có:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{12V}{10\Omega} = 1,2A$$

Công suất tỏa nhiệt trên điện trở:

$$P = RI^2 = 10.(1,2)^2 = 14,4W$$

$$P = UI = 12.1,2 = 14,4W$$

Điện năng tiêu thụ bởi điện trở này trong thời gian  $t = 1$  giờ là:

$$W = PT = 14,4.60.60 = 51,84.10^3 J$$

### 3. Định luật Joule - Lenz

**Hệ thức định luật:**

$$Q = I^2 Rt$$

Trong đó:

I: Cường độ dòng điện (Ampe: A)

R: Điện trở (Ohm:  $\Omega$ )

t: thời gian (giây: s)

Q: Nhiệt lượng (Joule: J)

**Phát biểu định luật:**

Nhiệt lượng tỏa ra ở dây dẫn khi có dòng điện chạy qua tỉ lệ thuận với bình phương cường độ dòng điện, với điện trở của dây dẫn và thời gian dòng điện chạy qua.

**Ứng dụng:** Định luật xác định nhiệt lượng Q tỏa ra trong dây dẫn khi có dòng điện chạy qua, Q tỉ lệ với bình phương cường độ dòng điện, với điện trở của dây dẫn và thời gian dòng điện chạy qua. Là cơ sở để tính nhiệt lượng tỏa ra trong các dụng cụ và máy móc sử dụng nhiệt của dòng điện, như bàn là, bếp điện, lò điện,...

## 2.2 Các phương pháp giải mạch một chiều

### 1. Nội dung chính

#### Phương pháp biến đổi điện trở

- Thay thế các nhóm điện trở bằng các điện trở tương đương của chúng.

- Biến đổi sơ đồ phức tạp thành sơ đồ tương đương đơn giản.

*Chú ý:* các điểm trên sơ đồ có cùng điện thế thì có thể chập lại với nhau; nhánh nào không có dòng điện đi qua thì có thể bỏ đi.

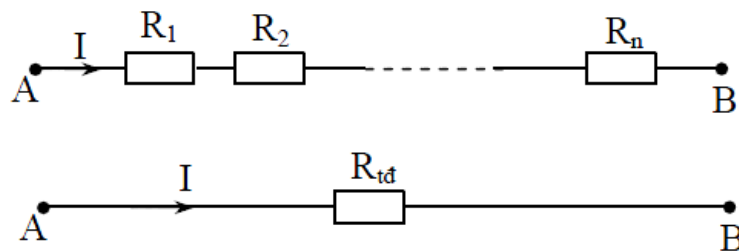
#### **Mạch nối tiếp (Các điện trở mắc nối tiếp)**

Phần tử X được gọi là *ghép nối tiếp* với phần tử Y nếu đầu ra của X được nối trực tiếp ngay vào Y (giữa chúng không có nhánh rẽ).

Nhận xét: *cường độ dòng điện* qua các phần tử mắc nối tiếp thì *bằng nhau*.

Giả sử giữa hai điểm A, B có  $n$  điện trở  $R_1, R_2, \dots, R_n$  ghép nối tiếp. Ta có thể *thay thế  $n$  điện trở* này bằng *một điện trở duy nhất* có vai trò tương đương, nghĩa là cường độ dòng điện trong hai sơ đồ ở hình 2.5 luôn bằng nhau với mọi giá trị của hiệu điện thế  $U_{AB}$ .

Mà: 
$$U_{AB} = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$



Hình 2.5

Suy ra

$$IR_{td} = IR_1 + IR_2 + \dots + IR_n$$

Vậy:

$$R_{td} = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum_{k=1}^n R_k$$

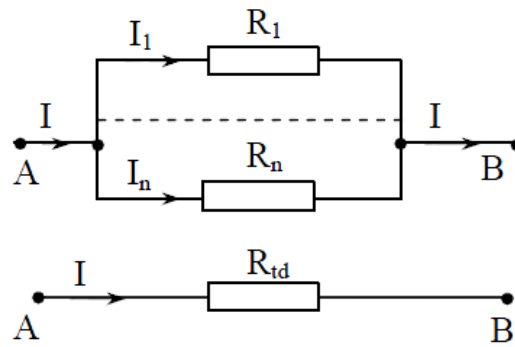
Hệ quả: nếu các điện trở  $R_1 = R_2 = \dots = R_n = R_0$  thì  $R_{td} = nR_0$

#### **Mạch song song (Các điện trở mắc song song)**

Hai phần tử X và Y được gọi là *ghép song song* với nhau nếu chúng có chung điểm đầu và chung điểm cuối. Như vậy, các phần tử mắc song song có cùng hiệu điện thế.

Giả sử giữa hai điểm A, B có  $n$  điện trở  $R_1, R_2, \dots, R_n$  ghép song song. Ta có thể *thay thế  $n$  điện trở* này bằng *một điện trở duy nhất* có vai trò tương đương, nghĩa là cường độ dòng điện mạch chính

trong hai sơ đồ ở hình 2.6 luôn bằng nhau với mọi giá trị của hiệu điện thế  $U_{AB}$ .



Hình 2.6

Mà tại nút A, ta có  $I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$ . Suy ra:

$$\frac{U}{R_{td}} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \dots + \frac{U}{R_n}$$

Vậy:

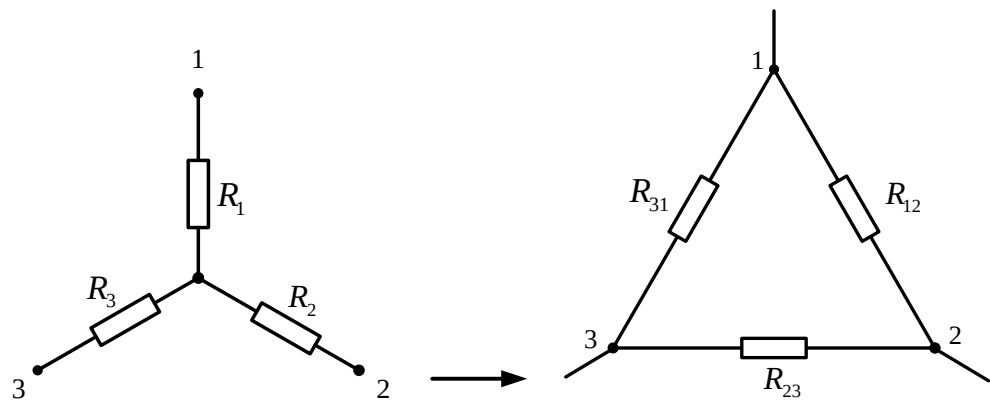
$$\frac{1}{R_{td}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}$$

Hệ quả: nếu các điện trở  $R_1 = R_2 = \dots = R_n = R_0$

Thì:

$$R_{td} = \frac{R_0}{n}$$

### ***Biến đổi Sao thành Tam giác***



Hình 2.7

Giả sử có 3 điện trở  $R_1, R_2, R_3$  nối hình sao. Biến đổi hình sao thành các điện trở nối hình tam giác (Hình 2.7)

Công thức tính các điện trở nối hình tam giác là:

$$R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3}$$

$$R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1}$$

$$R_{31} = R_3 + R_1 + \frac{R_3 R_1}{R_2}$$

Chú ý: khi hình sao đối xứng  $R_1 = R_2 = R_3 = R$  thì ta có

$$R_{12} = R_{23} = R_{31} = 3R$$

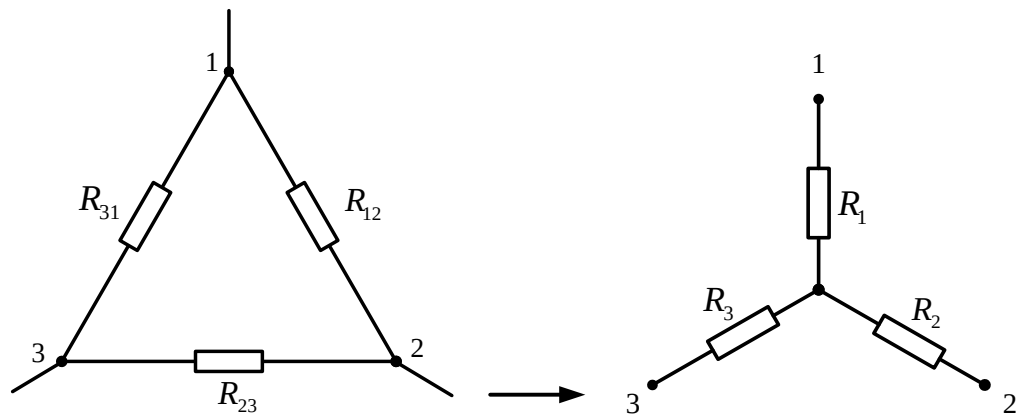
### ***Biến đổi Tam giác thành Sao***

Giả thiết có 3 điện trở  $R_{12}$ ,  $R_{23}$ ,  $R_{31}$  nối hình tam giác. Biến đổi hình tam giác thành hình sao (Hình 2.8), điện trở các cạnh hình sao tính là:

$$R_1 = \frac{R_{12} R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

$$R_2 = \frac{R_{23} R_{12}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

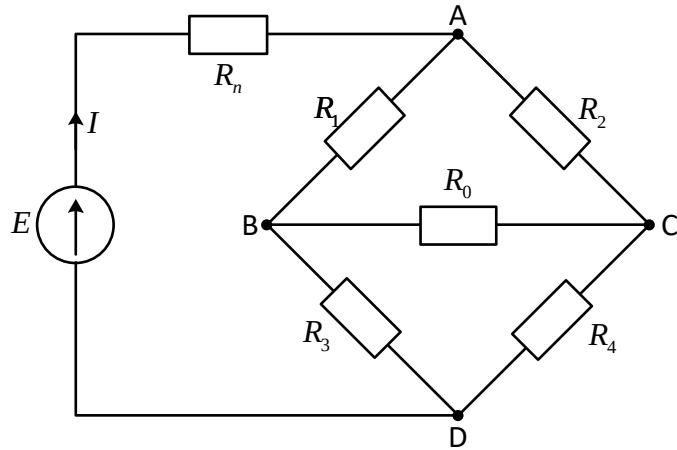
$$R_3 = \frac{R_{31} R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$



Hình 2.8

### Ví dụ 2.4:

Tính dòng điện  $I$  chạy qua nguồn của mạch cầu hình 2.9, biết:  $R_1 = 12\Omega$ ;  $R_2 = R_3 = 6\Omega$ ;  $R_4 = 21\Omega$ ;  $R_0 = 18\Omega$ ;  $E = 240V$ ;  $R_n = 2\Omega$ .



Hình 2.9

Lời giải:

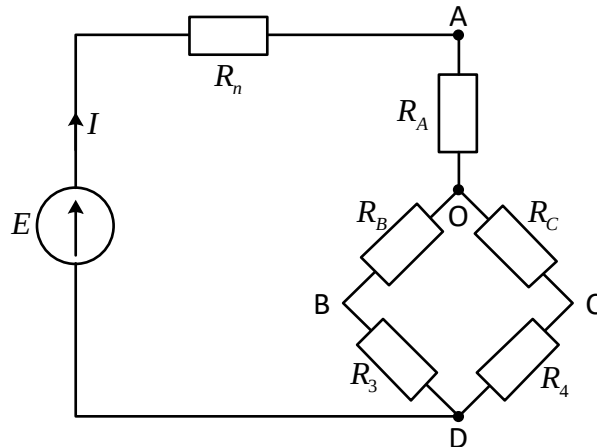
Biến đổi tam giác ABC ( $R_1$ ;  $R_2$ ;  $R_0$ ) thành sao  $R_A$ ;  $R_B$ ;  $R_C$ .

$$R_A = \frac{R_1 R_2}{R_0 + R_1 + R_2} = \frac{12 \cdot 6}{18 + 12 + 6} = 2\Omega$$

$$R_B = \frac{R_0 R_1}{R_0 + R_1 + R_2} = \frac{18 \cdot 12}{18 + 12 + 6} = 6\Omega$$

$$R_C = \frac{R_0 R_2}{R_0 + R_1 + R_2} = \frac{18 \cdot 6}{18 + 12 + 6} = 3\Omega$$

Ta vẽ lại mạch như hình như sau:

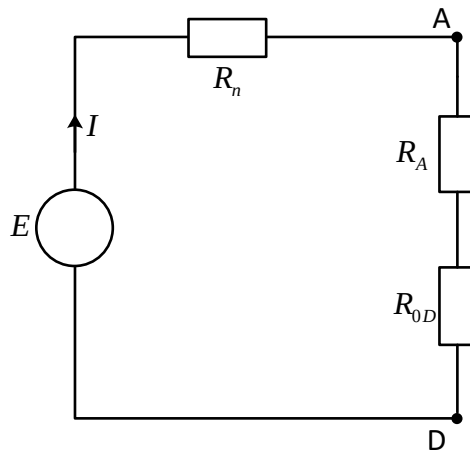


Hình 2.10

Điện trở tương đương  $R_{0D}$  của 2 nhánh song song:

$$R_{0D} = \frac{(R_B + R_3)(R_C + R_4)}{R_B + R_3 + R_C + R_4} = \frac{(6 + 6)(3 + 21)}{6 + 6 + 3 + 21} = 8\Omega$$

Ta vẽ lại mạch như hình như sau:



Hình 2.11

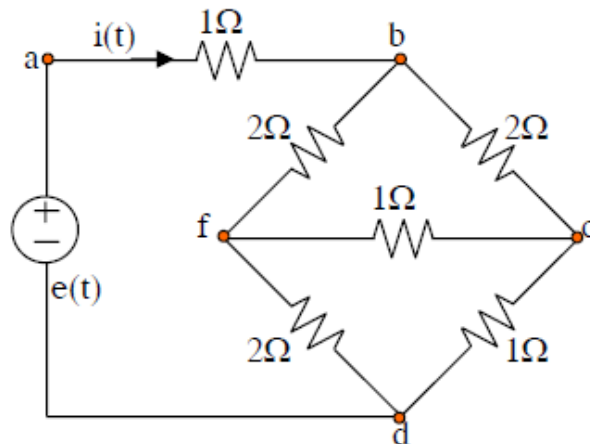
Điện trở tương đương toàn mạch:

$$R_{td} = R_n + R_A + R_{0D} = 2 + 2 + 8 = 12\Omega$$

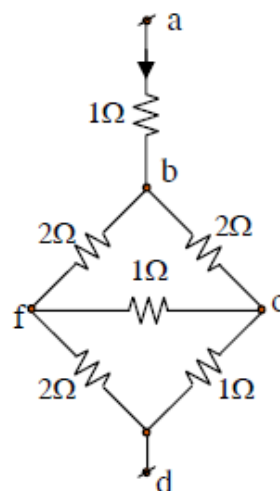
Dòng điện qua nguồn:

$$I = \frac{E}{R_{td}} = \frac{240}{12} = 20A$$

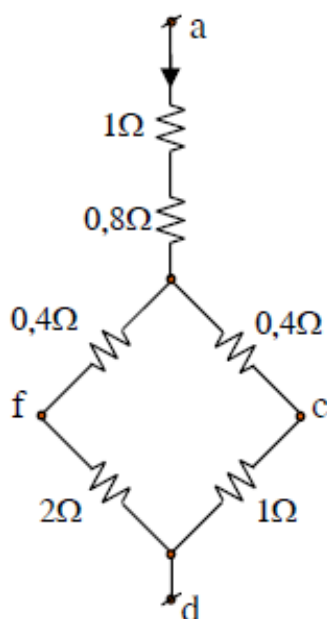
Ví dụ 2.5: Thực hiện biến đổi theo các bước như các hình sau đây:



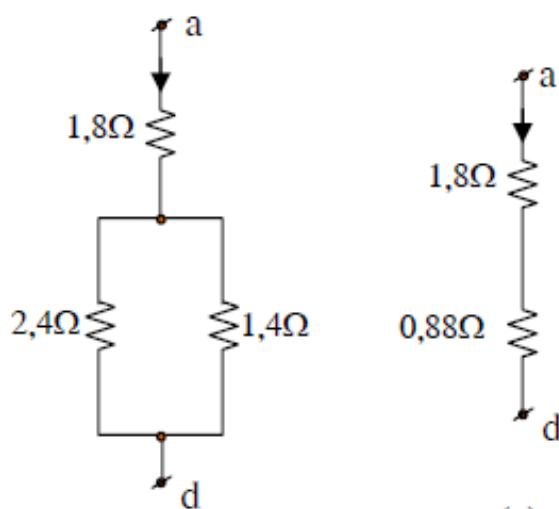
Hình 2.12



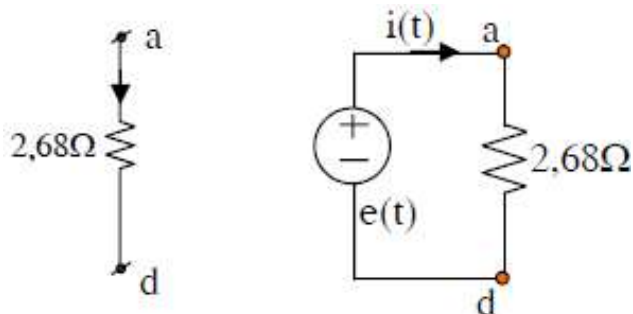
Hình 2.13



Hình 2.14



Hình 2.15



Hình 2.16

Lưu ý: Nếu trong bài toán xoay chiều đề bài cho  $e(t) = 6\sin(100\pi t)(V)$  và bắt đi tìm  $i(t)$  thì ta làm như sau:

$$i(t) = \frac{e(t)}{R_{ad}} = 2,239 \sin(100\pi t)(A)$$

**2. Phương pháp ứng dụng định luật Kirchhoff**

**Các khái niệm nhánh, nút vòng**

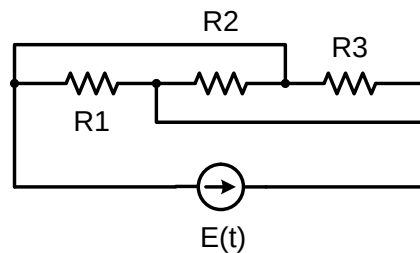
**Nhánh**

Nhánh là một bộ phận của mạch điện gồm 1 hoặc nhiều phần tử mắc nối tiếp có chung một dòng điện, trong đó có ít nhất 1 phần tử thụ động.

Nhánh là phần mạch nằm giữa 2 nút.

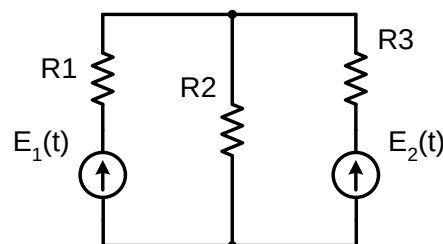
Số nhánh ký hiệu là B.

Ví dụ:



Hình 2.20

⇒ 3 nhánh



Hình 2.21

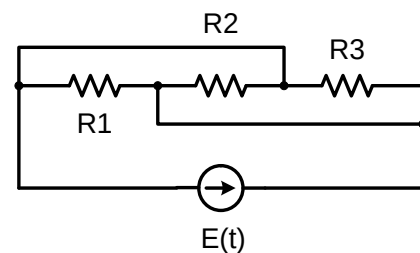
⇒ 3 nhánh

**Nút (đỉnh)**

Nút là giao điểm (điểm chung) của từ 3 nhánh trở lên (hay còn gọi là đỉnh).

Số nút ký hiệu là N. Dễ thấy  $N < B$ .

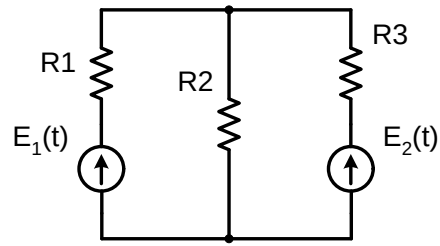
Ví dụ:



Hình 2.22

⇒ 2 nút





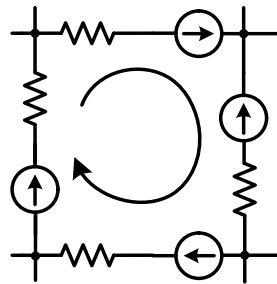
Hình 2.23

⇒ 2 nút

### Vòng

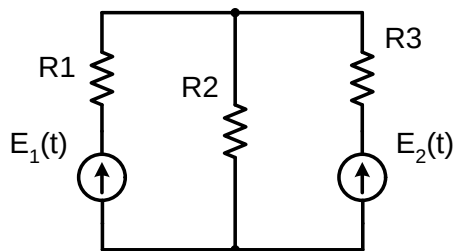
Vòng là một phần của mạch gồm các nhánh và nút tạo thành vòng kín.

Ví dụ:



Hình 2.24

Ví dụ 1 vòng mạch



Hình 2.25

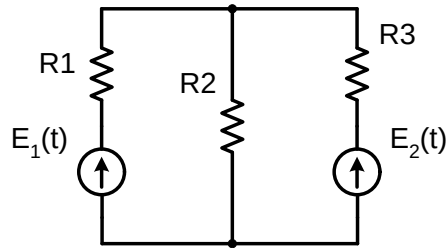
⇒ tổng cộng 3 vòng

### Vòng cơ bản

Vòng cơ bản là một vòng trong tập hợp vòng mà vòng này không thể được tạo thành từ các vòng còn lại.

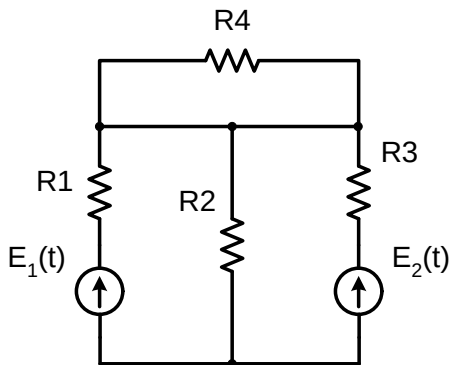
Xét trong mạch có B nhánh và N nút, số vòng cơ bản là  $B - (N - 1)$

Ví dụ:



Hình 2.26

$\Rightarrow B-(N-1) = 2$  vòng cơ bản



Hình 2.27

$\Rightarrow B-(N-1) = 3$  vòng cơ bản

### **Định luật Kirchhoff 1** (Định luật Kirchhoff cho các dòng)

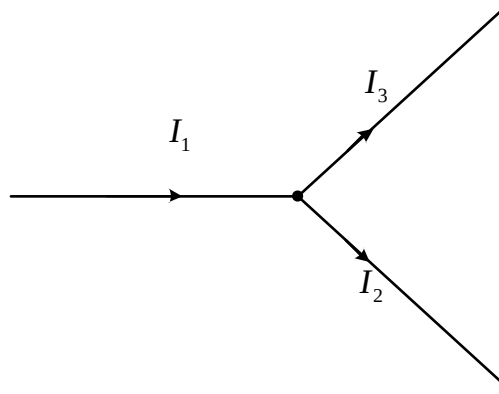
Định luật này cho ta quan hệ giữa các dòng điện tại một nút, được phát biểu như sau:

*Tổng đại số những dòng điện (của các nhánh) ở một nút bằng 0.*

Trong đó quy ước dòng điện đi tới nút lấy dấu dương, dòng điện rời khỏi nút lấy dấu âm.

$$\sum I_{\text{nút}} = 0$$

*(Ở một thời điểm bất kỳ của mạch điện, tổng các dòng điện có chiều dương đi tới nút (đi vào) bằng tổng các dòng điện có chiều dương rời khỏi nút (đi ra)).*



Hình 2.28

Ở hình 2.28 ta có:

$$I_1 + (-I_2) + (-I_3) = 0$$

$$I_1 = I_2 + I_3$$

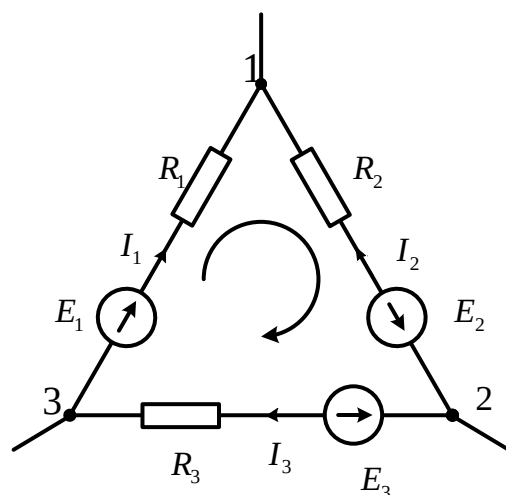
**Định luật Kirchhoff 2** (Định luật Kirchhoff cho các điện áp):

Định luật này cho ta quan hệ giữa sức điện động, dòng điện và điện trở trong một mạch vòng khép kín, được phát biểu như sau:

Đi theo một mạch vòng khép kín theo một chiều tùy ý chọn, *tổng đại số những sức điện động bằng tổng đại số các điện áp rơi trên các điện trở của mạch vòng.*

$$\sum E = \sum IR$$

Quy ước: các sức điện động, dòng điện có chiều trùng với chiều của mạch vòng lấy dấu dương và ngược lại.

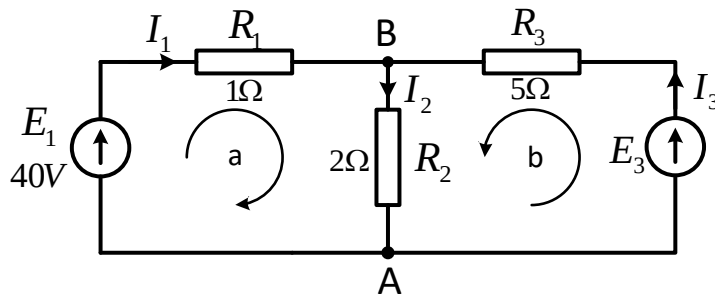


Hình 2.29

Ở mạch vòng hình 2.29 ta có:

$$E_1 + E_2 - E_3 = I_1 R_1 - I_2 R_2 + I_3 R_3$$

Ví dụ 2.7: Tính dòng điện  $I_3$  và các sức điện động  $E_1$  và  $E_3$  trong mạch điện hình 2.30. Biết  $I_2 = 10A$ ;  $I_1 = 4A$ ;  $R_1 = 1\Omega$ ;  $R_2 = 2\Omega$ ;  $R_3 = 5\Omega$ .



Hình 2.30

Bài giải:

Áp dụng định luật Kirchhoff 1 tại nút A ta có:

$$I_2 = I_1 + I_3$$

$$\rightarrow I_3 = I_2 - I_1 = 10A - 4A = 6A$$

Áp dụng định luật Kirchhoff 2 cho mạch vòng a, ta có:

$$E_1 = I_1 R_1 + I_2 R_2 = 4A \cdot 1\Omega + 10A \cdot 2\Omega = 24V$$

Áp dụng định luật Kirchhoff 2 cho mạch vòng b, ta có:

$$E_3 = I_3 R_3 + I_2 R_2 = 6A \cdot 5\Omega + 10A \cdot 2\Omega = 50V$$

### Phương pháp dòng điện nhánh

Ẩn số của hệ phương trình là dòng điện các nhánh.

Phương pháp này ứng dụng trực tiếp 2 định luật Kirchhoff 1 và 2 và thực hiện theo các bước sau:

*Bước 1:* Xác định số nút  $n = \dots\dots$ , số nhánh  $m = \dots\dots$ . Số ẩn của hệ phương trình bằng số nhánh  $m$ .

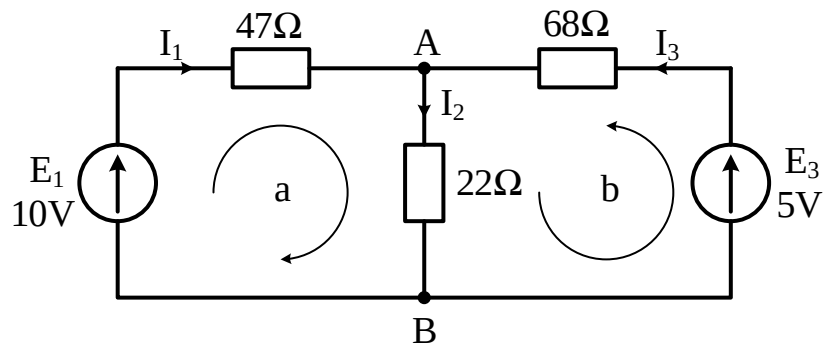
*Bước 2:* Tùy ý vẽ chiều dòng điện mỗi nhánh.

*Bước 3:* Viết phương trình Kirchhoff 1 cho  $(n - 1)$  nút đã chọn.

*Bước 4:* Viết phương trình Kirchhoff 2 cho  $(m - (n - 1)) = (m - n + 1)$  mạch vòng độc lập.

*Bước 5:* Giải hệ thống  $m$  phương trình đã thiết lập, ta có dòng điện các nhánh.

Ví dụ 2.8: Áp dụng phương pháp dòng điện nhánh, tính dòng điện trong các nhánh của mạch điện hình 2.31.



Hình 2.31

Giải:

*Bước 1:*

Mạch điện có 2 nút A và B, số nút  $n = 2$ ; mạch có 3 nhánh 1, 2, 3, số nhánh  $m = 3$ .

*Bước 2:*

Vẽ chiều dòng điện các nhánh  $I_1, I_2, I_3$  như hình 2.31

*Bước 3:*

Số nút cần viết phương trình Kirchhoff 1 là:  $n - 1 = 2 - 1 = 1$ . Chọn nút A. Phương trình Kirchhoff 1 viết cho nút A là:

$$I_1 - I_2 + I_3 = 0 \quad (1)$$

*Bước 4:*

Chọn  $(m - n + 1) = 3 - 2 + 1 = 2$  mạch vòng

Chọn 2 mạch vòng độc lập a, b như hình vẽ. Viết phương trình Kirchhoff 2 cho mạch vòng a và b.

Phương trình Kirchhoff cho mạch vòng a.

$$47I_1 + 22I_2 = 10 \quad (2)$$

Mạch vòng b

$$22I_2 + 68I_3 = 5 \quad (3)$$

*Bước 5:*

Giải hệ 3 phương trình ta có dòng điện các nhánh

$$I_1 = 138\text{mA}$$

$$I_2 = 160\text{mA}$$

$$I_3 = 22\text{mA}$$

Phương pháp dòng điện nhánh giải trực tiếp được các dòng điện các nhánh, song số phương trình bằng số nhánh  $m$ , tương đối lớn, đòi hỏi nhiều thời gian tính toán giải hệ phương trình.

Vì thế dưới đây đưa ra các phương pháp sử dụng các ẩn số trung

gian là dòng điện mạch vòng, điện thế nút, do đó số phương trình sẽ được giảm bớt, nhờ vậy tiết kiệm thời gian tính toán.

### Phương pháp dòng điện vòng

Ở phương pháp này, ẩn số trong hệ phương trình không phải là dòng điện các nhánh, mà là một dòng điện mạch vòng mang ý nghĩa về toán học, vì nếu biết được chúng, có thể dễ dàng tính dòng điện các nhánh.

Các bước giải theo phương pháp này như sau:

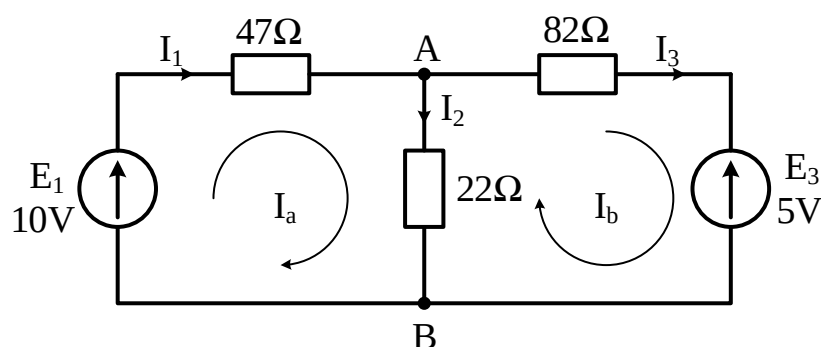
*Bước 1:* Xác định  $(m - n + 1)$  mạch vòng độc lập và tùy ý vẽ chiều dòng điện mạch vòng, thông thường nên chọn chiều các dòng điện mạch vòng giống nhau, thuận tiện cho lập hệ phương trình.

*Bước 2:* Viết phương trình Kirchoff 2 cho mỗi mạch vòng theo các dòng điện mạch vòng đã chọn.

*Bước 3:* Giải hệ phương trình vừa thiết lập, ta có dòng điện mạch vòng.

*Bước 4:* Tính dòng điện các nhánh theo dòng điện mạch vòng như sau: dòng điện mỗi nhánh bằng tổng đại số dòng điện mạch vòng chạy qua nhánh ấy.

Ví dụ 2.9: Áp dụng phương pháp dòng điện vòng, tính dòng điện trong các nhánh của mạch điện hình 2.32.



Hình 2.32

Giải:

*Bước 1:*

Số mạch vòng độc lập.

$$m - n + 1 = 3 - 2 + 1 = 2 \text{ mạch vòng}$$

Vẽ chiều dòng điện mạch vòng  $I_a$ ,  $I_b$  như hình vẽ 2.32.

*Bước 2:*

Viết chương trình Kirchhoff 2 cho các mạch vòng.

$$\begin{aligned} \text{Mạch vòng a} \quad (47 + 22)I_a - 22I_b &= 10 \\ 69I_a - 22I_b &= 10 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Mạch vòng b} \quad -22I_a + (22 + 82)I_b &= -5 \\ -22I_a + 104I_b &= -5 \end{aligned} \quad (2)$$

*Bước 3:*

Giải hệ phương trình đã thiết lập

$$\begin{cases} 69I_a & -22I_b & = 10 \\ -22I_a & +104I_b & = -5 \end{cases}$$

Có thể viết lại như sau

$$\begin{bmatrix} 69 & -22 \\ -22 & +104 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10 \\ -5 \end{bmatrix}$$

detA

$$\det A = \begin{vmatrix} 69 & -22 \\ -22 & +104 \end{vmatrix} = 69 \times 104 - (-22)(-22) = 6692$$

Sử dụng phương pháp ma trận

$$I_a = \frac{\begin{vmatrix} 10 & -22 \\ -5 & +104 \end{vmatrix}}{\det A} = \frac{10 \times 104 - (-5)(-22)}{6692} = 0,139A$$

$$I_b = \frac{\begin{vmatrix} 69 & 10 \\ -22 & -5 \end{vmatrix}}{\det A} = \frac{69(-5) - (-22)(10)}{6692} = -0,0187A$$

*Bước 4:*

Tính dòng điện nhánh

$$I_1 = I_a = 139mA$$

$$I_2 = I_a - I_b = 139 - (-18,7) = 158mA$$

$$I_3 = I_b = -18,7mA$$

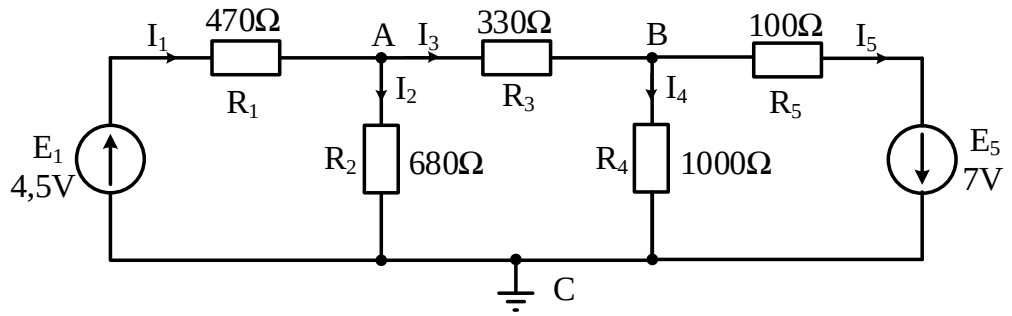
Dòng điện  $I_3 < 0$ , do đó  $I_3$  có chiều ngược lại với chiều đã vẽ.

### Phương pháp điện thế nút

Phương pháp này sử dụng ẩn số trung gian là điện thế các nút để thiết lập hệ phương trình.

Biết điện thế các nút, ta dễ dàng tính dòng điện các nhánh.

Xét mạch điện hình 2.33



Hình 2.33

Tùy ý chọn trước điện thế một điểm coi là biết trước. Thường lấy điện thế điểm ấy bằng không.

Ở đây chọn điện thế điểm C bằng không:  $\varphi_C = 0$

Dựa vào định luật Ohm ta có dòng điện các nhánh

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{E_1 - \varphi_A}{R_1}; & I_4 &= \frac{\varphi_B}{R_4} \\ I_2 &= \frac{\varphi_A}{R_2}; & I_5 &= \frac{E_5 + \varphi_B}{R_5} \\ I_3 &= \frac{\varphi_A - \varphi_B}{R_3} \end{aligned}$$

Định luật Kirchhoff 1 tại nút A:

$$\begin{aligned} I_1 - I_2 - I_3 &= 0 \\ \frac{E_1 - \varphi_A}{R_1} - \frac{\varphi_A}{R_2} - \frac{\varphi_A - \varphi_B}{R_3} &= 0 \\ \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \varphi_A - \left( \frac{1}{R_3} \right) \varphi_B &= \left( \frac{1}{R_1} \right) E_1 \end{aligned}$$

Định luật Kirchhoff 1 tại điểm B

$$\begin{aligned} I_3 - I_4 - I_5 &= 0 \\ \frac{\varphi_A - \varphi_B}{R_3} - \frac{\varphi_B}{R_4} - \frac{E_5 + \varphi_B}{R_5} &= 0 \\ \left( -\frac{1}{R_3} \right) \varphi_A + \left( \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} \right) \varphi_B &= -\left( \frac{1}{R_5} \right) E_5 \end{aligned}$$



Gọi:

$$G_A = \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) : \text{Tổng dẫn của các nhánh nối với nút A}$$

$$G_B = \left( \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} \right) : \text{Tổng dẫn của các nhánh nối với nút B}$$

$$G_{AB} = \left( \frac{1}{R_3} \right) : \text{Tổng dẫn chung giữa 2 nút A và B}$$

$$G_1 = \frac{1}{R_1} : \text{Điện dẫn nhánh 1}$$

$$G_5 = \frac{1}{R_5} : \text{Điện dẫn nhánh 5}$$

Hệ phương trình điện thế nút sẽ là:

$$\begin{aligned} G_A \varphi_A - G_{AB} \varphi_B &= G_1 E_1 \\ -G_{AB} \varphi_A + G_B \varphi_B &= -G_5 E_5 \end{aligned}$$

Giải hệ phương trình ta sẽ có điện thế các nút, và từ đó tính được dòng điện các nhánh.

Các bước để giải mạch điện theo phương pháp điện thế nút là:

*Bước 1:* Xác định số nút n.

*Bước 2:* Chọn một nút bất kỳ có điện thế biết trước.

*Bước 3:* Tính tổng dẫn của các nhánh nối với mỗi nút  $G_A$ ,  $G_B$ ... và tổng dẫn chung của các nhánh giữa 2 nút  $G_{AB}$ ... và điện dẫn nhánh có nguồn G.

*Bước 4:* Lập hệ phương trình điện thế nút.

*Bước 5:* Giải hệ phương trình ta có điện thế nút của mỗi nút.

*Bước 6:* Sử dụng định luật Ohm tính dòng điện mỗi nhánh.

Ví dụ 2.10: Giải mạch điện ở hình 2.33

$$G_A = \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) = \left( \frac{1}{470} + \frac{1}{680} + \frac{1}{330} \right) = 0,00663$$

$$G_B = \left( \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} \right) = \left( \frac{1}{330} + \frac{1}{1000} + \frac{1}{100} \right) = 0,01403$$

$$G_{AB} = \left( \frac{1}{R_3} \right) = \frac{1}{330} = 0,00303$$

$$G_1 = \frac{1}{R_1} = \frac{1}{470}$$

$$G_5 = \frac{1}{R_5} = \frac{1}{100}$$

Hệ phương trình điện thế nút:

$$0,00663\varphi_A - 0,00303\varphi_B = \frac{4,5}{470}$$

$$-0,00303\varphi_A + 0,01403\varphi_B = \frac{-7}{100}$$

Giải hệ phương trình ta có:

$$\varphi_A = -0,928V$$

$$\varphi_B = -5,19V$$

Từ đó tính được dòng điện các nhánh:

$$I_1 = \frac{E_1 - \varphi_A}{R_1} = \frac{4,5 + 0,928}{470} = 0,01155A$$

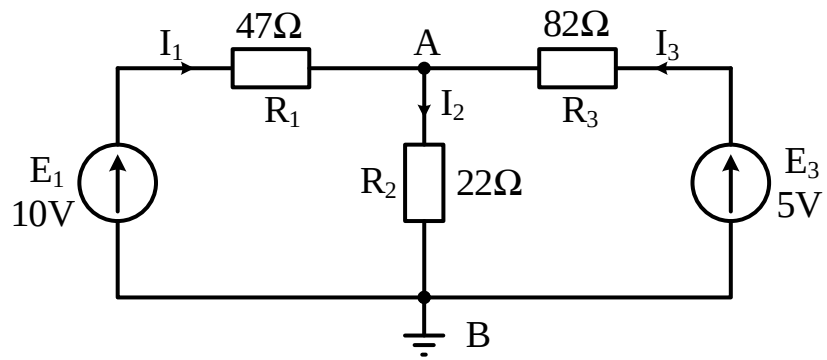
$$I_2 = \frac{\varphi_A}{R_2} = \frac{-0,928}{680} = -0,00136A$$

$$I_3 = \frac{\varphi_A - \varphi_B}{R_3} = \frac{-0,928 + 5,19}{330} = 0,01291A$$

$$I_4 = \frac{\varphi_B}{R_4} = \frac{-5,19}{1000} = -0,00519A$$

$$I_5 = \frac{E_5 + \varphi_B}{R_5} = \frac{7 - 5,19}{100} = 0,0181A$$

Phương pháp điện thế nút được sử dụng khi mạch điện có *nhiều nhánh, ít nút*. Đặc biệt khi mạch chỉ có 2 nút (hình 2.34), ta dễ dàng tính điện thế của nút.



Hình 2.34

Chọn  $\varphi_B = 0$ , vậy chỉ còn điện thế nút A là ẩn số.

$$G_A \varphi_A = G_1 E_1 + G_3 E_3$$

$$G_A = \frac{1}{47} + \frac{1}{22} + \frac{1}{82} = 0,07892$$

$$G_1 = \left( \frac{1}{R_1} \right) = \frac{1}{47}$$

$$G_3 = \left( \frac{1}{R_3} \right) = \frac{1}{82}$$

$$G_1 E_1 + G_3 E_3 = 0,27374$$

Vậy phương trình điện thế nút là:

$$0,07892 \varphi_A = 0,27374$$

Giải ra ta có:

$$\varphi_A = 3,468V$$

Dòng điện các nhánh:

$$I_1 = \frac{E_1 - \varphi_A}{R_1} = \frac{10 - 3,468}{47} = 0,139A$$

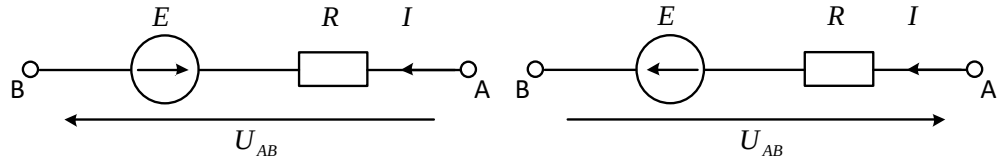
$$I_2 = \frac{\varphi_A}{R_2} = \frac{3,468}{22} = 0,158A$$

$$I_3 = \frac{E_3 - \varphi_A}{R_3} = \frac{5 - 3,468}{82} = 0,0187A$$

## 1.4 Các câu hỏi ôn tập và bài tập

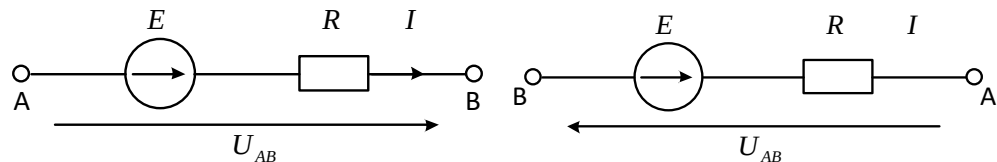
**BT1.** Phát biểu định luật Ohm.

**BT2.** Cho  $E = 100\text{V}$ ;  $R = 10\Omega$ ;  $I = 5\text{A}$ . Tính điện áp  $U$  trong 2 sơ đồ hình B2.1:



Hình B2.1

**BT3.** Cho  $E = 50\text{V}$ ;  $R = 5\Omega$ ;  $U = 40\text{V}$ . Tính dòng điện  $I$  trong 2 sơ đồ hình B2.2:



Hình B2.2

**BT4.** Một tải có điện trở  $R = 19\Omega$  đấu vào nguồn điện một chiều có  $E = 100\text{V}$ , điện trở trong  $R_{tr} = 1\Omega$ . Tính dòng điện  $I$ , điện áp  $U$  và công suất  $P$  của tải.

ĐS:  $I = 5\text{A}$ ;  $U = 95\text{V}$ ;  $P = 475\text{W}$ .

**BT5.** Cho một nguồn điện một chiều có sức điện động  $E = 50\text{V}$ ; điện trở trong  $R_{tr} = 0,1\Omega$ . Nguồn điện cung cấp điện cho tải có điện trở  $R$ . Biết công suất tổn hao trong nguồn điện là  $10\text{W}$ . Tính dòng điện  $I$ , điện áp  $U$  giữa 2 cực của nguồn điện, điện trở  $R$  và công suất  $P$  tải tiêu thụ.

ĐS:  $I = 10\text{A}$ ;  $U = 49\text{V}$ ;  $R = 4,9\Omega$ ;  $P = 490\text{W}$ .

**BT6.** Một nguồn điện có sức điện động  $E$  và điện trở trong  $R_{tr} = 0,5\Omega$ , cung cấp điện cho tải có điện trở  $R$ . Biết điện áp của tải  $U = 95\text{V}$ ; công suất tải tiêu thụ  $P = 950\text{W}$ . Tính  $E$ ,  $R$ .

ĐS:  $E = 100\text{V}$ ;  $R = 9,5\Omega$

**BT7.** Bốn điện trở  $R_1, R_2, R_3, R_4$  mắc nối tiếp đầu vào nguồn điện áp  $U = 12\text{V}$  (điện trở trong bằng không). Dòng điện trong mạch  $I = 25\text{mA}$ , điện áp trên các điện trở  $R_1, R_2, R_3$  là  $2,5\text{V}$ ;  $3\text{V}$ ;  $4,5\text{V}$ .

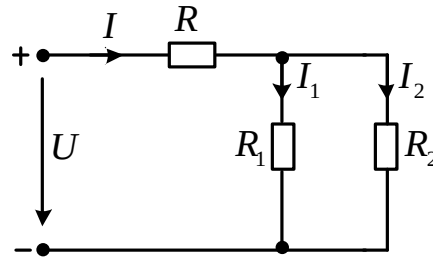
Vẽ sơ đồ cách đấu dây, cách mắc ampe kế, vôn kế để đo các đại lượng trên. Tính điện áp  $U_4$  trên điện trở  $R_4$ . Tính  $R_1, R_2, R_3, R_4$ .

**BT8.** Để có điện trở tương đương là  $150\Omega$ , người ta đấu song song hai điện trở  $R_1 = 330\Omega$  và  $R_2$ .

Hãy tính  $R_2$ .

**BT9.** Hai điện trở  $R_1 = 100\Omega$  và  $R_2 = 47\Omega$ , biết dòng điện ở mạch chính  $I = 100\text{mA}$ . Tính dòng điện qua các điện trở  $R_1, R_2$ .

**BT10.** Dùng phép biến đổi tương đương, tính dòng điện trong các nhánh trên sơ đồ hình B2.3. Tính công suất nguồn và công suất trên các điện trở. Cho  $U = 80\text{V}$ ;  $R = 1,25\Omega$ ;  $R_1 = 6\Omega$ ;  $R_2 = 10\Omega$ .



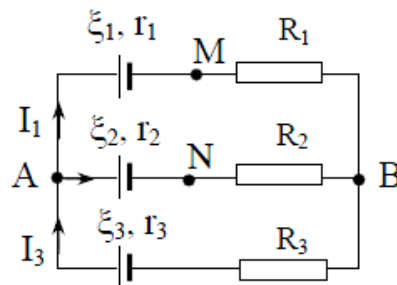
Hình B2.3

### Bài tập tham khảo

**TK1:** Mạch tổng hợp

Cho mạch điện như hình B2.6:  $\xi_1 = 10\text{ V}$ ;  $r_1 = 1\Omega$ ;  $\xi_2 = 20\text{V}$ ;  $r_2 = 2\Omega$ ;  $\xi_3 = 30\text{V}$ ;  $r_3 = 3\Omega$ ;  $R_1 = 4\Omega$ ,  $R_2 = 3\Omega$ ,  $R_3 = 7\Omega$ .

Tính hiệu điện thế giữa hai điểm A, B và M, N. Nguồn nào phát, thu?



Hình B2.6

Giả sử dòng điện trong các nhánh có chiều như hình vẽ. Áp dụng định luật Ohm tổng quát cho các nhánh, ta có:

$$U_{AB} = \xi_1 + I_1(r_1 + R_1) = 10 + 5I_1 \quad (1)$$

$$U_{AB} = \xi_2 + I_2(r_2 + R_2) = 20 + 5I_2 \quad (2)$$

$$U_{AB} = \xi_3 + I_3(r_3 + R_3) = 30 - 5I_3 \quad (3)$$

Mặt khác, tại điểm A, ta có:  $I_3 = I_1 + I_2$  (4)

Rút  $I_1, I_2, I_3$  từ các phương trình (1), (2), (3) rồi thay vào (4), giải ra ta có:

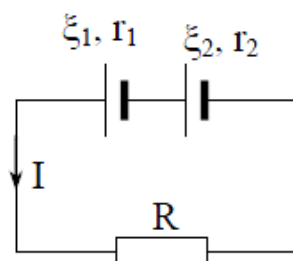
$$U_{AB} = 20\text{ V}; I_1 = 2\text{A}; I_2 = 0\text{A}; I_3 = 2\text{A}$$

$$U_{MN} = U_{MB} + U_{BN} = I_1R_1 - I_2R_2 = 2 \cdot 4 - 0 = 8\text{V}$$

Do  $I_1, I_2 > 0$  nên dòng điện trong các nhánh  $R_1, R_2$  có chiều đúng như đã chọn trên hình vẽ. Vậy nguồn 3 đang phát điện, nguồn 1

đang thu điện và nguồn 2 không làm việc ( $I_2 = 0$ ).

**BT 2:** Cho hai nguồn điện suất điện động  $\xi_1, \xi_2$ , điện trở trong  $r_1, r_2$  mắc nối tiếp, cấp điện ra mạch ngoài là một điện trở  $R$  (hình B2.7). Tính cường độ dòng điện qua  $R$  và tìm một nguồn thay thế tương đương với hai nguồn đó. Mở rộng trong trường hợp có  $n$  nguồn mắc nối tiếp.



Hình B2.7

Áp dụng định luật Ohm cho mạch kín, ta có cường độ dòng điện qua điện trở  $R$  là:

$$I = \frac{\xi_1 + \xi_2}{R + r_1 + r_2}$$

Nếu ta thay hai nguồn trên bằng một nguồn có suất điện động  $\xi$ , điện trở trong  $r$  thì cường độ dòng điện qua  $R$  là:

$$I' = \frac{\xi}{R + r}$$

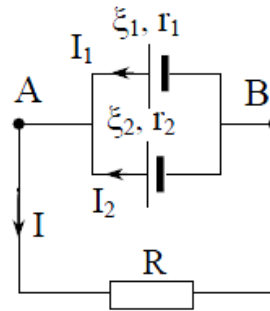
Nguồn  $\xi$  được gọi là tương đương với hai nguồn  $\xi_1$  và  $\xi_2$  khi và chỉ khi  $I' = I$  với mọi giá trị của  $R$ .

Suy ra:  $\xi = \xi_1 + \xi_2$  và  $r = r_1 + r_2$ .

Mở rộng: nếu có  $n$  nguồn mắc nối tiếp thì suất điện động và điện trở trong tương đương của bộ nguồn đó là:

$$\xi = \sum_{i=1}^n \xi_i \quad ; \quad r = \sum_{i=1}^n r_i$$

**BT3:** Cho hai nguồn điện suất điện động  $\xi_1, \xi_2$ , điện trở trong  $r_1, r_2$  mắc song song, cấp điện ra mạch ngoài là một điện trở  $R$  hình B2.8. Tính cường độ dòng điện qua  $R$  và tìm một nguồn thay thế tương đương với hai nguồn đó. Mở rộng trong trường hợp có  $n$  nguồn mắc song song.



Hình B2.8

Bài giải:

Áp dụng định luật Ohm tổng quát cho đoạn mạch AB:

$$U_{AB} = \xi_1 - I_1 r_1 \quad (1)$$

$$U_{AB} = \xi_2 - I_2 r_2 \quad (2)$$

$$U_{AB} = IR \quad (3)$$

$$\text{Mặt khác: } I_1 + I_2 = I \quad (4)$$

Rút  $I_1, I_2, I$  từ (1), (2), (3) rồi thay vào (4), ta được:

$$\begin{aligned} \frac{\xi_1 - U_{AB}}{r_1} + \frac{\xi_2 - U_{AB}}{r_2} &= \frac{U_{AB}}{R} \\ \Rightarrow U_{AB} \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) &= \frac{\xi_1}{r_1} + \frac{\xi_2}{r_2} \end{aligned}$$

Vậy cường độ dòng điện qua R là:

$$I = \frac{U_{AB}}{R} = \frac{\frac{\xi_1}{r_1} + \frac{\xi_2}{r_2}}{1 + R \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)}$$

Nếu ta thay hai nguồn trên bằng một nguồn có suất điện động  $\xi$ , điện trở trong  $r$  thì cường độ dòng điện qua R là:

$$I' = \frac{\xi}{R + r} = \frac{\frac{\xi}{r}}{1 + R \cdot \frac{1}{r}}$$

Nguồn  $\xi$  được gọi là tương đương với hai nguồn  $\xi_1$  và  $\xi_2$  khi và chỉ khi  $I' = I$  với mọi giá trị của R. Suy ra:

$$\begin{cases} \frac{\xi}{r} = \frac{\xi_1}{r_1} + \frac{\xi_2}{r_2} \\ \frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \end{cases}$$

Mở rộng: nếu có n nguồn mắc song song thì suất điện động  $\xi$  và điện trở trong  $r$  tương đương của bộ nguồn được xác định bởi:

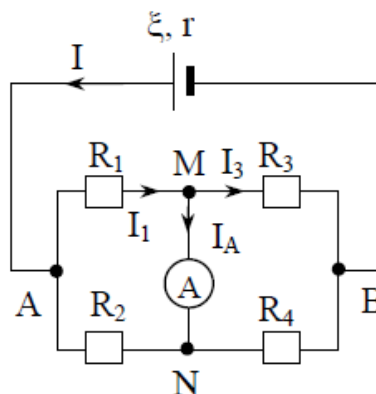
$$\begin{cases} \frac{\xi}{r} = \sum_{i=1}^n \frac{\xi_i}{r_i} \\ \frac{1}{r} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i} \end{cases}$$

Hệ quả: nếu có n nguồn giống nhau, mỗi nguồn có suất điện động  $\xi_0$  và điện trở trong  $r_0$  thì khi ghép song song, bộ nguồn này tương đương với một nguồn có suất điện động và điện trở trong là:

$$\begin{cases} \xi = \xi_0 \\ r = \frac{r_0}{n} \end{cases}$$

**BT4**: Cho mạch điện như hình B2.9, trong đó nguồn có suất điện động  $\xi = 8,2V$ , điện trở trong  $r = 0,5\Omega$ ;  $R_1 = R_2 = R_3 = 3\Omega$ ,  $R_4 = 6\Omega$ ; điện trở của ampe kế và dây nối không đáng kể.

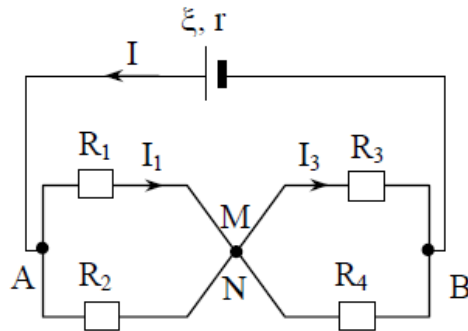
- Tính số chỉ của ampe kế. Nói rõ chiều dòng điện qua ampe kế.
- Thay ampe kế bằng vôn kế có điện trở rất lớn thì vôn kế chỉ bao nhiêu? Nút (+) của vôn kế nối vào điểm M hay N?



Hình B2.9

- Giả sử chiều dòng điện trong các nhánh như hình B2.10. Vì điện trở của ampe kế bằng không nên  $U_{MN} = I_A \cdot R_A = 0$ . Suy ra M và N có cùng điện thế. Ta chập M và N lại, vẽ lại mạch tương đương như hình:





Hình B2.10

$$R_{12} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 1,5\Omega$$

$$R_{34} = \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} = 2\Omega$$

$$R_{AB} = R_{12} + R_{34} = 1,5 + 2 = 3,5\Omega$$

$$I = \frac{\xi}{R_{AB} + r} = \frac{8,2}{3,5 + 0,5} = 2,05A$$

$$U_{AM} = I \cdot R_{12} = 2,05 \cdot 1,5 = 3,075V$$

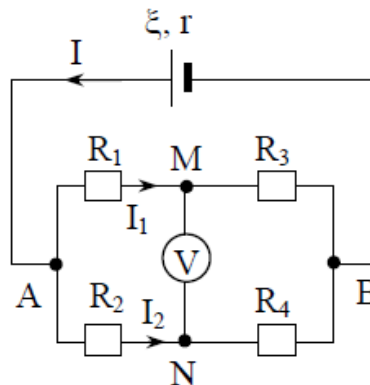
$$\Rightarrow I_1 = \frac{U_{AM}}{R_1} = \frac{3,075}{3} = 1,025A$$

$$U_{MB} = I \cdot R_{34} = 2,05 \cdot 2 = 4,1V \Rightarrow I_3 = \frac{U_{MB}}{R_3} = \frac{4,1}{3} = 1,367A$$

Tại nút M suy ra:  $I_A = I_1 - I_3 = 1,025 - 1,367 = -0,342A$

Vậy ampe kế chỉ 0,342A và dòng điện qua ampe kế có chiều từ N đến M (ngược với chiều trên hình vẽ).

b) Thay ampe kế bằng vôn kế có điện trở vô cùng lớn thì dòng điện không đi qua vôn kế. Ta gỡ bỏ vôn kế. Lúc đó  $(R_1 \text{ nối tiếp } R_3) // (R_2 \text{ nối tiếp } R_4)$ .



Hình B2.11

Ta có  $R_{13} = R_1 + R_3 = 6\Omega$ ;  $R_{24} = R_2 + R_4 = 9\Omega$

$$R_{AB} = \frac{R_{13} \cdot R_{24}}{R_{13} + R_{24}} = \frac{6 \cdot 9}{6 + 9} = 3,6\Omega$$

$$I = \frac{\xi}{R_{AB} + r} = \frac{8,2}{3,6 + 0,5} = 2A$$

$$U_{AB} = IR_{AB} = 2 \cdot 3,6 = 7,2V$$

$$I_1 = \frac{U_{AB}}{R_{13}} = \frac{7,2}{6} = 1,2A ; I_2 = \frac{U_{AB}}{R_{24}} = \frac{7,2}{9} = 0,8A$$

$$\Rightarrow U_{MN} = U_{MB} + U_{BN} = I_1 R_3 - I_2 R_4 = 1,2 \cdot 3 - 0,8 \cdot 6 = -1,2V$$

Vậy vôn kế chỉ 1,2V và núm (+) của vôn kế phải nối vào điểm N.

## Dòng điện xoay chiều hình sin

Chương này trình bày, giải thích các khái niệm cơ bản trong mạch điện xoay chiều (AC) như: chu kỳ, tần số, pha, sự lệch pha, trị biên độ, trị hiệu dụng,... đồng thời phân tích các đặc điểm cơ bản giữa dòng điện một chiều và dòng điện xoay chiều.

Đồng thời trình bày:

- Các bước biểu diễn lượng hình sin bằng đồ thị vector hoặc bằng phương pháp biên độ phức.
- Công thức và các bước tính toán các thông số (tổng trở, dòng điện, điện áp) của mạch điện AC một pha không phân nhánh và phân nhánh.
- Các bước giải bài toán cộng hưởng điện áp, cộng hưởng dòng điện.

---

### 3.1 Khái niệm về dòng điện xoay chiều

---

### 3.2 Giải mạch xoay chiều không phân nhánh

---

### 3.3 Giải mạch xoay chiều phân nhánh

---

### 3.4 Bài tập

---

### 3.1 Khái niệm về dòng điện xoay chiều

**1. Dòng điện xoay chiều** Dòng **điện xoay chiều** là dòng điện có chiều và cường độ biến thiên theo thời gian. Dòng điện xoay chiều thường được tạo ra từ các máy phát điện xoay chiều hoặc được biến đổi từ nguồn điện một chiều bởi một mạch điện tử thường gọi là bộ nghịch lưu dùng các Thyristor.

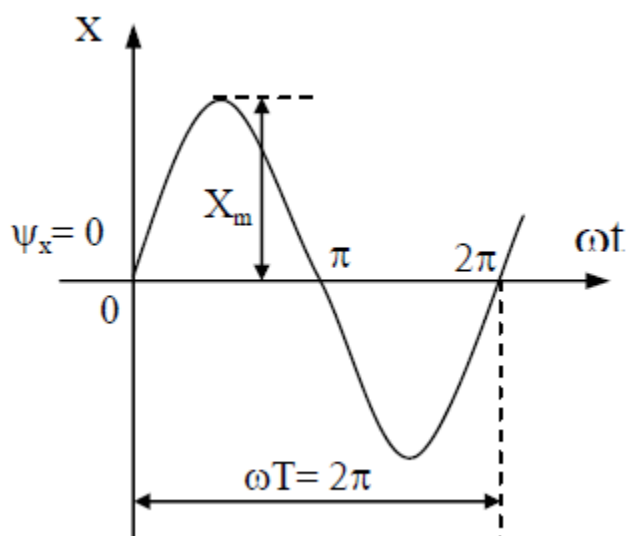
Trong kỹ thuật điện, nguồn xoay chiều được viết tắt tiếng Anh là AC (viết tắt của **A**lternating **C**urrent) và được ký hiệu bởi hình ~ (dấu ngã - tượng trưng cho dạng sóng hình sin).

Trong mạch điện điện tử, sóng sin được dùng để ám chỉ Điện xoay chiều đặt trên những linh kiện điện tử vì sóng Sin là một dạng sóng tuần hoàn điều hòa.

#### Dạng tổng quát của đại lượng hình sin

Trị số của đại lượng hình sin ở một thời điểm  $t$  được gọi là trị số tức thời và được biểu diễn dưới dạng tổng quát là:

$$x = X_m \sin(\omega t + \psi_x)$$



Hình 3.1

Ví dụ 3.1: Đại lượng hình sin là:

Dòng điện:  $i = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$

Điện áp:  $u = U_m \sin(\omega t + \psi_u)$

Sức điện động:  $e = E_m \sin(\omega t + \psi_e)$

#### 2. Các thông số đặc trưng

**Biên độ của đại lượng hình sin  $X_m$ :** Giá trị cực đại của đại lượng hình sin, nó nói lên đại lượng hình sin đó lớn hay bé. Để phân biệt, trị số tức thời được ký hiệu bằng chữ in thường  $x(i, u, e, \dots)$ , biên độ được ký hiệu bằng chữ in hoa  $X_m (I_m, U_m, E_m, \dots)$

**của đại  
lượng  
hình sin**

**Góc pha** ( $\omega t + \psi_x$ ) (hay còn gọi là pha) là xác định chiều và trị số của đại lượng hình sin ở thời điểm  $t$  nào đó.

**Pha ban đầu**  $\psi_x$  : xác định chiều và trị số của đại lượng hình sin ở thời điểm  $t = 0$ . Hình 3.1 vẽ đại lượng hình sin với pha ban đầu bằng 0.

**Chu kỳ T của đại lượng hình sin:** là khoảng thời gian ngắn nhất để đại lượng hình sin lặp lại về chiều và trị số. Từ hình 3.1, ta có  $\omega t = 2\pi$ . Vậy chu kỳ T là:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \text{ (s)}$$

- **Tần số f:** Số chu kỳ của đại lượng hình sin trong một giây. Đơn vị của tần số là Hertz, ký hiệu là Hz.

$$f = \frac{1}{T} \text{ (Hz)}$$

- **Tần số góc  $\omega$  (rad/s):** Tốc độ biến thiên của góc pha trong một giây.

$$\omega = 2\pi f \text{ (rad/s)}$$

**3. Chu kỳ  
và tần số  
của dòng  
điện xoay  
chiều**

*Chu kỳ T là khoảng thời gian ngắn nhất để dòng điện xoay chiều lặp lại trị số và chiều biến thiên.*

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \text{ (s)}$$

Tần số f là số chu kỳ của dòng điện trong 1 giây.

$$f = \frac{1}{T} \text{ (Hz)}$$

Tần số góc  $\omega$  là tốc độ biến thiên của dòng điện hình sin, đơn vị là rad/s.

Quan hệ giữa tần số góc  $\omega$  và tần số f

$$\omega = 2\pi f \text{ (rad/s)}$$

**Ví dụ 3.2:** Dòng điện xoay chiều trong sản xuất và sinh hoạt ở nước ta có tần số  $f = 50\text{Hz}$ . Tính chu kỳ T và tần số góc  $\omega$ .

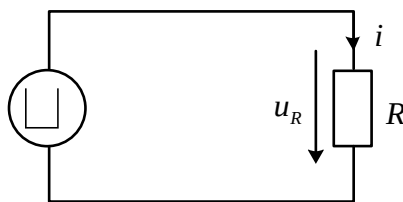
$$\text{Chu kỳ của dòng điện: } T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0,02\text{s}$$

$$\text{Tần số góc của dòng điện: } \omega = 2\pi f = 2\pi \times 50 = 100\pi = 314 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

## 3.2 Giải mạch xoay chiều không phân nhánh

### 1. Giải mạch Nhánh thuần điện trở R

R – L – C



Hình 3.12

Khi có dòng điện  $i = I\sqrt{2}\sin\omega t$  chạy qua điện trở R hình trên, áp dụng định luật Ôm, ta có điện áp trên điện trở là:

$$u_R = Ri = R.I\sqrt{2}\sin\omega t = U_R\sqrt{2}\sin\omega t$$

Trong đó  $U_R$  là trị số hiệu dụng của điện áp trên điện trở R.

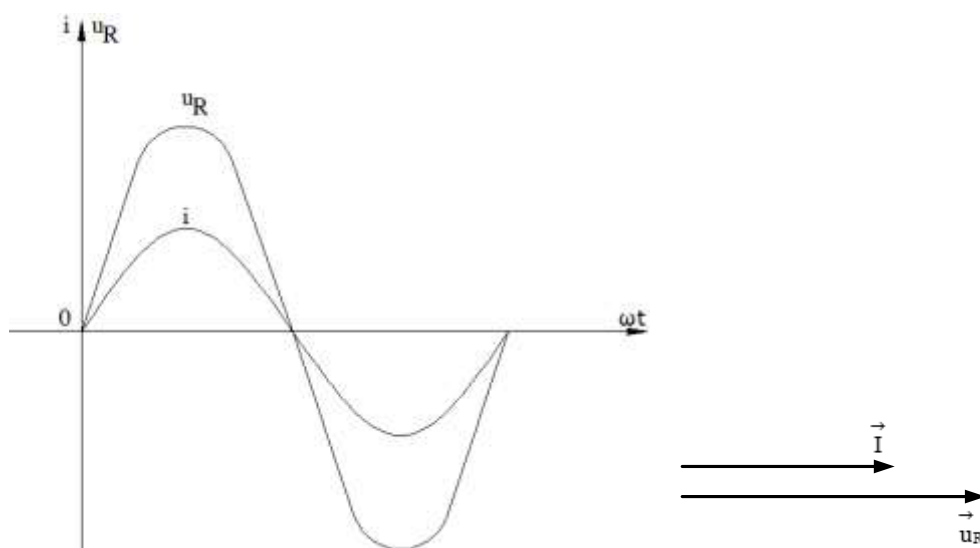
So sánh biểu thức của  $i$  và  $u_R$  ta thấy:

*Quan hệ giữa trị số hiệu dụng của điện áp và dòng điện (định luật Ôm cho trị số hiệu dụng).*

$$U_R = RI$$

$$I = \frac{U_R}{R}$$

Dòng điện và điện áp có cùng tần số và trùng pha nhau. Góc lệch pha giữa điện áp và dòng điện  $\varphi = \Psi_u - \Psi_i = 0$ . Đồ thị vector dòng điện, điện áp vẽ như hình 3.13.



Hình 3.13

Ví dụ 3.9: một bàn là điện có điện trở  $R = 48,4\Omega$ , đầu vào nguồn điện xoay chiều có điện áp  $U = 220V$ . Tính trị số dòng điện hiệu dụng  $I$  và công suất bàn là tiêu thụ. Vẽ vector dòng điện, điện áp.

Giải:

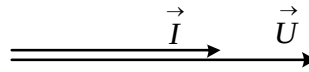
Trị số hiệu dụng của dòng điện:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{48,4} = 4,55A$$

Công suất bàn là tiêu thụ:

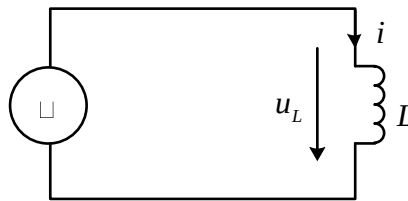
$$P = UI = 220.4,55 = 1001W$$

Đồ thị vectơ hình 3.14 trong đó dòng điện trùng pha với điện áp.



Hình 3.14

**Nhánh thuần điện cảm L**



Hình 3.15

Ta xét một cuộn dây thuần điện cảm L (coi điện trở R của cuộn dây bằng 0). Khi cho dòng điện xoay chiều chạy qua cuộn dây, sẽ có từ thông biến thiên xuyên qua cuộn dây, trong cuộn dây sẽ cảm ứng sức điện động tự cảm  $e_L$  và giữa 2 cực của cuộn dây sẽ có điện áp cảm ứng  $u_L$  hình trên.

$$u_L = \frac{L di}{dt}$$

Nếu như dòng điện:

$$i = I\sqrt{2}\sin\omega t$$

thì

$$u_L = L \frac{d}{dt}(I\sqrt{2}\sin\omega t) = \omega LI\sqrt{2}\cos\omega t$$

$$u_L = \omega LI\sqrt{2}\cos\omega t = \omega LI\sqrt{2}\sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) = U_L\sqrt{2}\sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

So sánh biểu thức của i và  $u_L$  ta thấy:

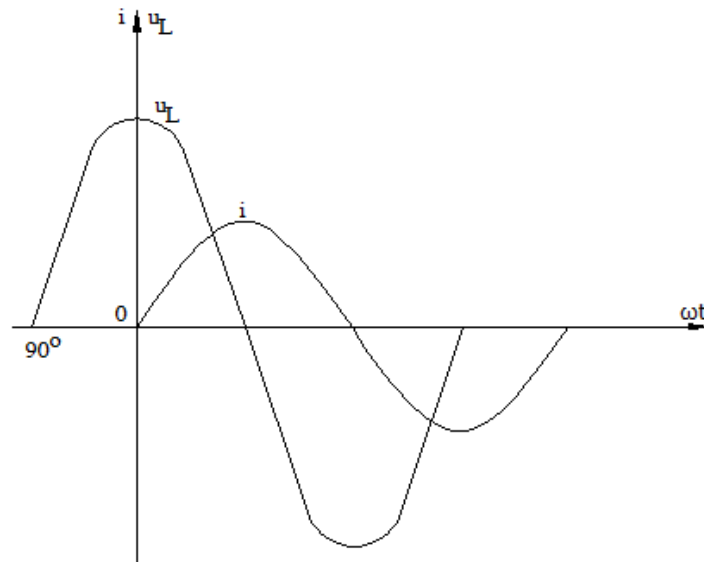
*Quan hệ giữa trị số hiệu dụng của điện áp và dòng điện*

$$U_L = \omega LI$$

$$I = \frac{U_L}{\omega L} = \frac{U_L}{X_L}$$

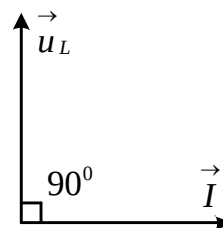
Đại lượng  $\omega L$  có thứ nguyên của điện trở, được gọi là cảm kháng  $X_L$  có đơn vị là ohm ( $\Omega$ );  $X_L = \omega L$

Dòng điện  $i$  và điện áp  $u_L$  có cùng tần số, song điện áp vượt trước dòng điện 1 góc pha  $\frac{\pi}{2}$  như hình 3.16.



Hình 3.16

Đồ thị vectơ điện áp và dòng điện vẽ như hình 3.17:



Hình 3.17

Ví dụ 3.10:

Một cuộn dây thuần điện cảm  $L = 0,015\text{H}$  đóng vào nguồn điện có điện áp  $u = 100\sqrt{2}\sin(314t + \frac{\pi}{3})\text{V}$ .

Tính trị số hiệu dụng  $I$  và góc pha ban đầu của dòng điện  $\Psi_i$ . Vẽ đồ thị vector dòng điện, điện áp.

Giải:

Điện kháng của cuộn dây:  $X_L = \omega L = 314 \cdot 0,015 = 4,71\Omega$

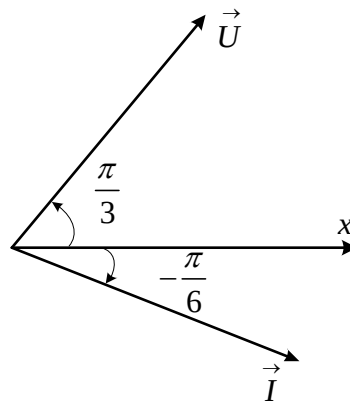
Trị số hiệu dụng của dòng điện:  $I = \frac{U_L}{\omega L} = \frac{U_L}{X_L} = \frac{100}{4,71} = 21,23\text{A}$

Góc pha ban đầu của dòng điện:  $\Psi_i = \Psi_u - \frac{\pi}{2} = \frac{\pi}{3} - \frac{\pi}{2} = -\frac{\pi}{6}$



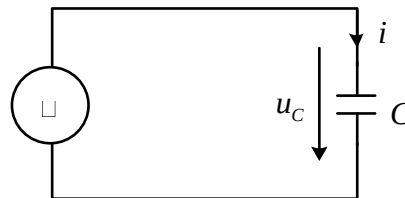
Trị số tức thời của dòng điện:  $i = 21,23\sqrt{2}\sin(314t - \frac{\pi}{6})$

Vẽ đồ thị vector của dòng điện và điện áp, hình 3.18:



Hình 3.18

### Nhánh thuần điện dung C



Hình 3.19

Khi đặt điện áp xoay chiều lên một tụ điện thuần điện dung C hình 3.19, điện áp trên tụ điện là  $u_c$ .

$$u_c = U_c \sqrt{2} \sin \omega t$$

Tụ điện được nạp điện tích  $dq = Cdu_c$  và dòng điện chạy qua tụ điện là:

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{Cdu_c}{dt} = C \frac{d}{dt} (U_c \sqrt{2} \sin \omega t) = \omega C U_c \sqrt{2} \cos \omega t = \omega C U_c \sqrt{2} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

$$i = I \sqrt{2} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

So sánh biểu thức dòng điện và điện áp ta thấy:

*Quan hệ giữa trị số hiệu dụng của dòng điện và điện áp là*

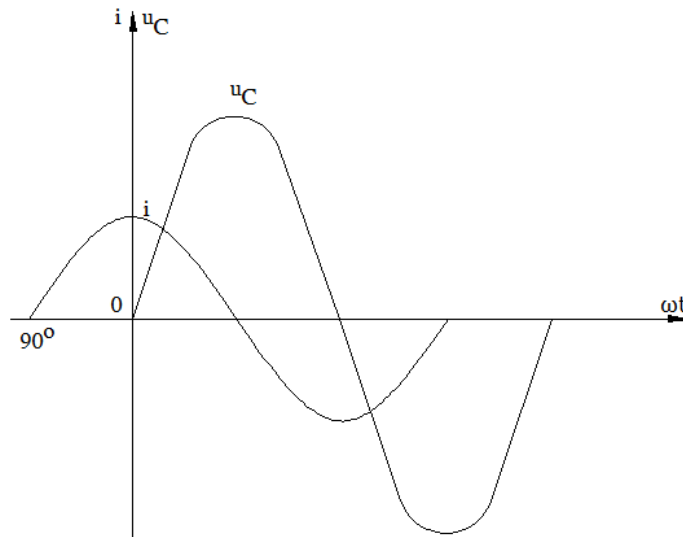
$$I = \omega C U_c = \frac{U_c}{\frac{1}{\omega C}} = \frac{U_c}{X_c}$$

$$U_c = I X_c$$

$$X_c = \frac{1}{\omega C}$$

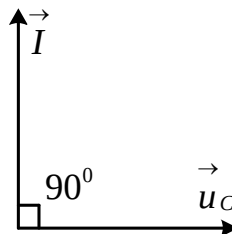
Đại lượng  $X_C = \frac{1}{\omega C}$  có thứ nguyên của điện trở được gọi là dung kháng, đơn vị là ohm ( $\Omega$ ).

Dòng điện và điện áp có cùng tần số, song điện áp  $u_C$  chậm sau dòng điện  $i$  một góc pha  $\frac{\pi}{2}$  (hoặc dòng điện  $i$  vượt trước điện áp  $u_C$  một góc  $\frac{\pi}{2}$ ) như hình 3.20:



Hình 3.20

Đồ thị vectơ dòng điện và điện áp vẽ như hình 3.21:



Hình 3.21

Ví dụ 3.11:

Trị số tức thời của dòng điện chạy qua tụ điện có điện dung  $C = 2.10^{-3}F$  là  $i = 100\sqrt{2}\sin(314t + \frac{\pi}{4}) A$ .

Tính trị số hiệu dụng và pha ban đầu của điện áp đặt lên tụ điện.

Giải:

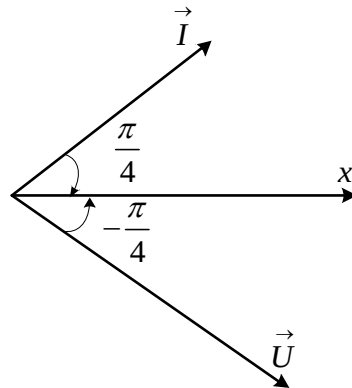
Dung kháng của tụ điện:  $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{314.2.10^{-3}} = \frac{10^3}{628} = 1,59\Omega$

Trị số hiệu dụng điện áp trên tụ điện:  $U_C = IX_C = 100.1,59 = 159V$

Góc pha ban đầu của điện áp trên tụ điện:

$$\Psi_u = \Psi_i - \frac{\pi}{2} = \frac{\pi}{4} - \frac{\pi}{2} = -\frac{\pi}{4}$$

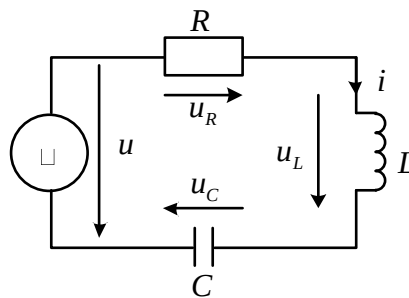
Đồ thị vector dòng điện và điện áp như hình 3.22:



Hình 3.22

## 2. Giải mạch có nhiều phần tử mắc nối tiếp

Mạch có điện trở, điện cảm, điện dung mắc nối tiếp



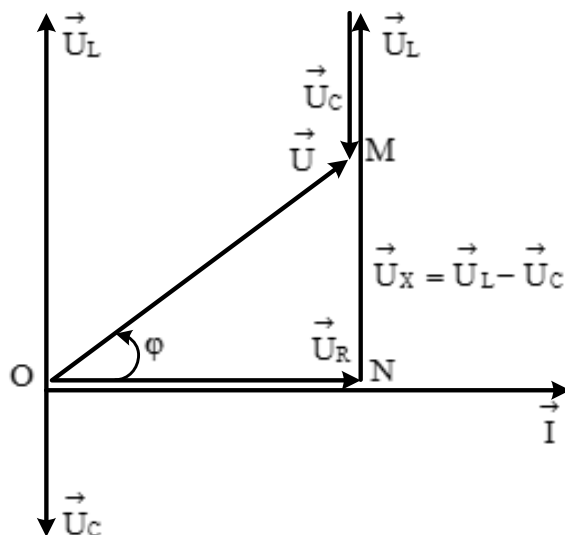
Hình 3.23

Khi dòng điện  $i = I\sqrt{2}\sin\omega t$  chạy trong nhánh có L, R, C mắc nối tiếp, sẽ gây ra điện áp rơi trên điện trở  $u_R$ , trên điện dung  $u_C$ , trên điện cảm  $u_L$  như hình trên.

Trị số tức thời của điện áp u ở hai đầu nhánh là:  $u = u_R + u_L + u_C$

Biểu diễn bằng vector ta có:  $\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L + \vec{U}_C$

Để vẽ đồ thị vector của mạch, trước hết ta vẽ vector dòng điện  $\vec{I}$  trùng với trục ox (vì pha ban đầu của dòng điện bằng 0), sau đó, dựa vào các quan hệ của vectơ trong các nhánh thuần R, L, C vẽ vector  $\vec{U}_R$  có độ lớn  $U_R = IR$  và trùng pha với dòng điện, vectơ  $\vec{U}_L$  có độ lớn  $U_L = IX_L$  và vượt trước dòng điện  $\vec{I}$  một góc  $90^\circ$ , vectơ  $\vec{U}_C$  có độ lớn  $U_C = IX_C$  và chậm sau dòng điện  $\vec{I}$  một góc  $90^\circ$ . Cuối cùng ta tiến hành cộng hình học các vector  $\vec{U}_R$ ,  $\vec{U}_L$ ,  $\vec{U}_C$  ta được  $\vec{U}$ .



Hình 3.24

Từ tam giác vuông OMN ta có:

Trị số hiệu dụng của điện áp:

$$U = OM = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = \sqrt{(IR)^2 + (IX_L - IX_C)^2} = I\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = Iz$$

Góc lệch pha giữa điện áp  $\vec{U}$  và dòng điện  $\vec{I}$  là:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_L - U_C}{U_R} = \frac{IX_L - IX_C}{IR} = \frac{X_L - X_C}{R}$$

$$\varphi = \operatorname{artg} \frac{X_L - X_C}{R}$$

Ta có kết luận sau:

*Quan hệ giữa trị số hiệu dụng của điện và dòng điện trong nhánh R, L, C nối tiếp là:*

$$U = Iz$$

$$I = \frac{U}{z}$$

Trong đó:  $z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$  gọi là tổng trở của nhánh R, L, C nối tiếp.

$X = X_L - X_C = \omega L - \frac{1}{\omega C}$  gọi là điện kháng.

\* Khi  $X_L > X_C$  nhánh có tính cảm kháng,  $\varphi > 0$ , điện áp vượt trước dòng điện.

\* Khi  $X_L < X_C$  nhánh có tính dung kháng,  $\varphi < 0$ , điện áp chậm sau

dòng điện.

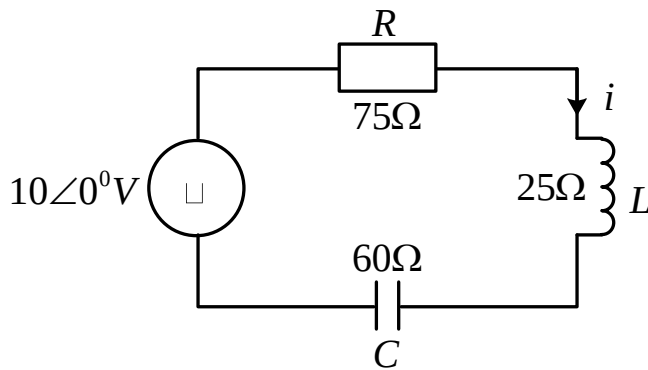
\* Khi  $X_L = X_C$ ,  $X = X_L - X_C = 0$ ,  $\varphi = 0$ , điện áp trùng pha với dòng điện. Nhánh R, L, C lúc này có hiện tượng cộng hưởng nối tiếp, dòng điện trong mạch có giá trị lớn nhất  $I = \frac{U}{R}$  và trùng pha với điện áp.

\* Khi  $X_L = X_C \gg R$  thì trị số hiệu dụng điện áp  $U_L$ ,  $U_C$  lớn hơn điện áp U rất nhiều.

Điều kiện để cộng hưởng nối tiếp là:  $\omega L = \frac{1}{\omega C}$

Tần số góc cộng hưởng là:  $\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$

Ví dụ 3.12: Cho mạch điện có R, L, C mắc nối tiếp như hình 3.25:



Hình 3.25

Tính dòng điện I và điện áp trên các phần tử  $U_R$ ,  $U_L$ ,  $U_C$ . Vẽ đồ thị vector mạch điện.

Giải:

Tổng trở của mạch có R, L, C mắc nối tiếp

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{75^2 + (25 - 60)^2} = 82,8$$

Dòng điện I chạy trong mạch

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{10}{82,8} = 0,121A$$

Điện áp trên các phần tử

$$U_R = RI = 75.0,121 = 9,08V$$

$$U_L = X_L I = 25.0,121 = 3,03V$$

$$U_C = X_C I = 60.0,121 = 7,27V$$

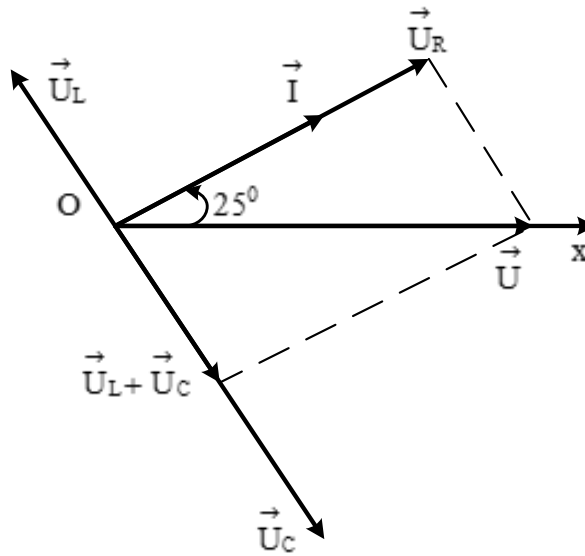
Góc lệch pha giữa điện áp và dòng điện

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X_L - X_C}{R} = \frac{25 - 60}{75} = -0,466$$

$$\varphi = -25^\circ$$

$\varphi < 0$  cho ta biết dòng điện vượt trước điện áp

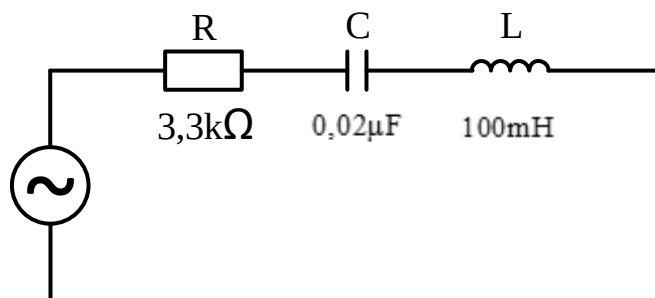
Để vẽ đồ thị vector (hình 3.26), trước hết vẽ vector điện áp trùng với trục  $ox$  sau đó vẽ vector dòng điện  $I$  vượt trước điện áp  $U$  một góc  $25^\circ$ . Vector  $U_R$  trùng với vector  $I$ , vector  $U_L$  vượt trước vector  $I$  một góc  $90^\circ$ , vector  $U_C$  chậm sau vector  $I$  một góc  $90^\circ$ .



Hình 3.26

Ví dụ 3.13: Một mạch điện  $R, L, C$  nối tiếp như hình 3.27.

Điện áp đầu cực của nguồn  $U = 20V$ , tính dòng điện trong mạch khi tần số  $f = 1kHz$  và  $f = 2kHz$ .



Hình 3.27

Giải:

**Khi  $f = 1kHz$**

$$X_L = 2\pi fL = 2\pi \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-3} = 628\Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-8}} = 7960\Omega$$

$$z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{3300^2 + (628 - 7960)^2} = 8040\Omega$$

$$I = \frac{U}{z} = \frac{20}{8,04.10^3} = 2,48.10^{-3}A$$

**Khi  $f = 2kHz$**

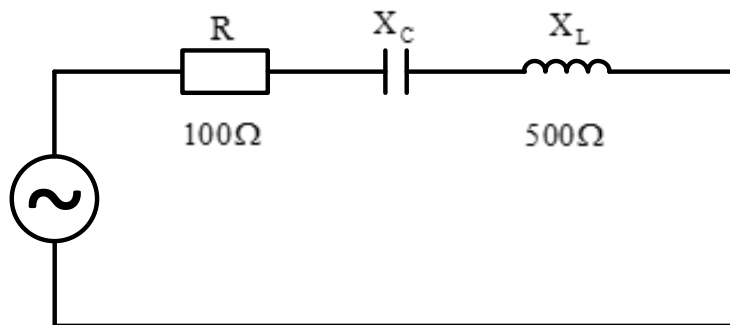
$$X_L = 2\pi fL = 2\pi.2.10^3.100.10^{-3} = 1260\Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi.2.10^3.2.10^{-8}} = 3980\Omega$$

$$z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{3300^2 + (1260 - 3980)^2} = 4280\Omega$$

$$I = \frac{U}{z} = \frac{20}{4,28.10^3} = 4,67.10^{-3}A$$

Ví dụ 3.14: Một mạch điện R, L, C nối tiếp như hình 3.28. Điện áp nguồn  $U = 200V$ ;  $f = 50Hz$ . Xác định C để mạch có cộng hưởng nối tiếp. Tính dòng điện I và điện áp trên các phần tử  $U_R$ ,  $U_L$ ,  $U_C$ .



Hình 3.28

Giải:

Để có cộng hưởng nối tiếp thì  $X_C = X_L = 500\Omega$

Điện dung C của mạch điện

$$C = \frac{1}{2\pi fX_C} = \frac{1}{2\pi.50.500} = 6,37.10^{-6}F$$

Dòng điện khi cộng hưởng

$$I = \frac{U}{R} = \frac{200}{100} = 2A$$

Điện áp trên điện trở bằng điện áp nguồn

$$U_R = U = 200V$$

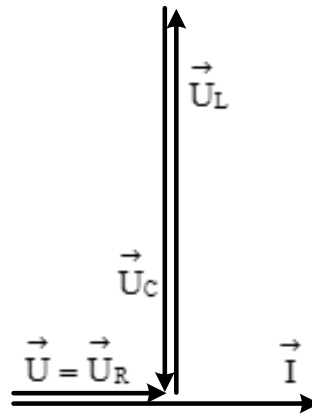
Điện áp trên điện cảm

$$U_L = X_L I = 500.2 = 1000V$$

Điện áp trên điện dung

$$U_C = X_C I = 500.2 = 1000V$$

Đồ thị vector của mạch điện khi cộng hưởng vẽ trên hình 3.29.



Hình 3.29

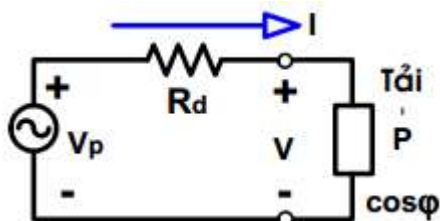


### 3.3 Giải mạch xoay chiều phân nhánh

#### 3.3.1. Giải mạch xoay chiều phân nhánh bằng phương pháp nâng cao hệ số công suất.

TỒN THẤT ĐIỆN NĂNG TRONG QUÁ TRÌNH CHUYỂN TẢI:

Xét một mạch truyền tải như hình 3.42



Hình 3.42

- +  $R_d$ : là điện trở của toàn bộ đường dây truyền tải.
- +  $P$ : là công suất tác dụng cấp đến tải.
- +  $V$ : là áp đặt ngang qua hai đầu tải.
- +  $\cos\varphi$  là hệ số công suất tải.
- +  $I$  là dòng hiệu dụng qua tải xác định theo quan hệ:

$$I = \frac{P}{V \cos\varphi}$$

Tổn thất điện năng trên đường dây là:

$$P_d = R_d I^2$$

Hay:

$$P_d = \frac{R_d P^2}{V^2 \cos^2 \varphi}$$

Công suất tác dụng từ nguồn cấp đến tải có tính đến tổn thất điện năng trên đường dây truyền tải là:  $P_p = P + P_d$ . Hiệu suất truyền tải được xác định như sau:

$$\eta = \frac{P}{P_p} = \frac{P}{P + P_d}$$

Hay:

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{R_d P}{V^2 \cos^2 \varphi}}$$

Từ các quan hệ trên rút ra kết luận sau:

+ Với công suất tác dụng  $P$ , điện áp  $V$  và giá trị điện trở đường dây  $R_d$  cho trước; khi hệ số công suất tải giảm đi 2 lần tổn hao trên đường dây tăng 4 lần.

+ Khi hệ số công suất giảm thấp, hiệu suất truyền tải giảm thấp.

*Tóm lại*, khi hệ số công suất tải giảm thấp tổn thất điện năng trên đường dây truyền tải gia tăng và hiệu suất truyền tải giảm thấp. Do đó cần thực hiện các biện pháp cải thiện và nâng cao hệ số công suất tải.

***Phương pháp điều chỉnh hệ số công suất dùng tụ ghép song song với tải:***

Đối với các tải vận hành trong lưới điện hạ thế; để nâng cao hệ số công suất ta ghép song song tụ điện  $C$  với tải.

+ Với biện pháp này; hệ số công suất tải cũng như công suất tác dụng tiêu thụ trên tải vẫn duy trì giá trị hiện có nhưng hệ số công suất của tải tổng hợp (tải và tụ  $C$ ) sẽ thay đổi.

+ Khi thực hiện biện pháp trên, công suất tác dụng của tải tổng hợp không thay đổi, nhưng công suất phản kháng sẽ thay đổi.

*Tóm lại* sau khi lắp tụ  $C$ , công suất biểu kiến cấp cho tải tổng hợp sẽ thấp hơn công suất biểu kiến cấp đến tải trước khi lắp tụ  $C$ .

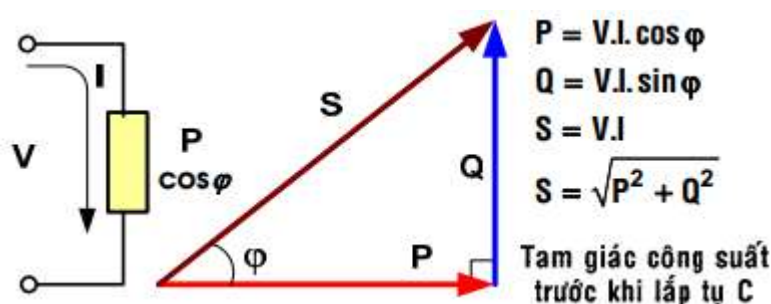
Khi xác định tụ điện dùng điều chỉnh hệ số công suất, ta cần tìm các thông số sau đây:

+ Điện dung  $C$

+ Công suất phản kháng  $Q_C$

+ Điện áp hiệu dụng  $V$  đặt ngang qua hai đầu tụ.

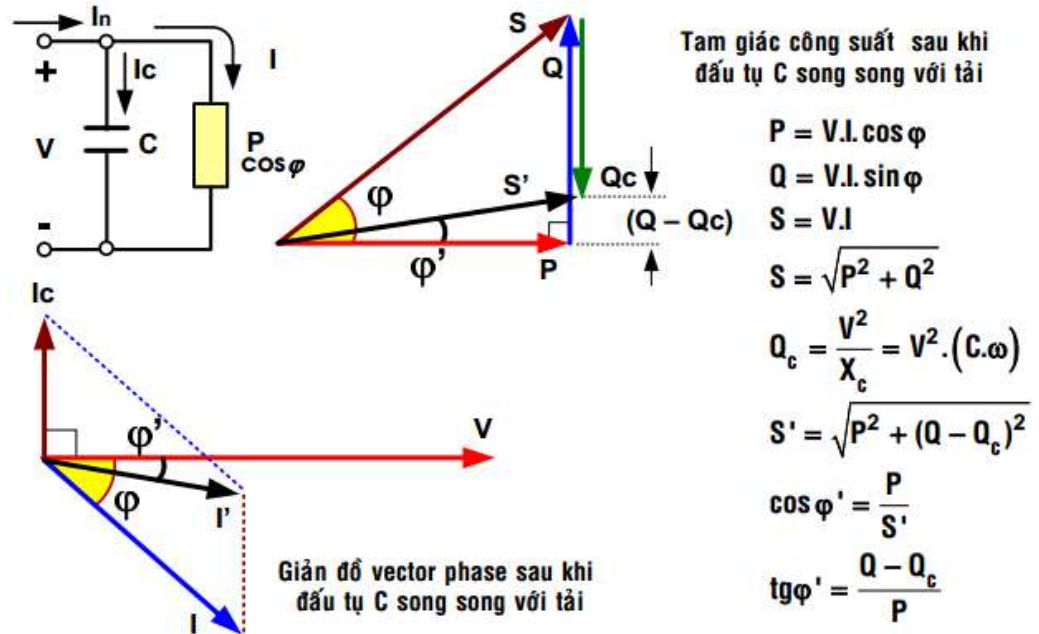
Trong Hình 3.43 trình bày tam giác công suất của tải (trước khi ghép song song tụ điện  $C$  để nâng cao hệ số công suất). Giả sử tải có tính cảm (dòng  $I$  qua tải chậm pha hơn áp  $V$  đặt ngang qua hai đầu tải). Sau khi lắp tụ điện  $C$  song song với tải, trong nhánh chứa tụ  $C$  có dòng  $I_C$  sớm pha hơn áp  $V$  góc  $90^\circ$ ; dòng từ nguồn cấp vào cho các tải là  $I_n$ .



Hình 3.43

Ta có gặp một trong hai trường hợp sau:

+ Dòng tổng  $I_n$  chậm pha hơn áp  $V$ ; tải tổng hợp (tụ  $C$  + Tải) có tính cảm nhưng hệ số công suất của tải tổng hợp gia tăng, xem hình 3.44.

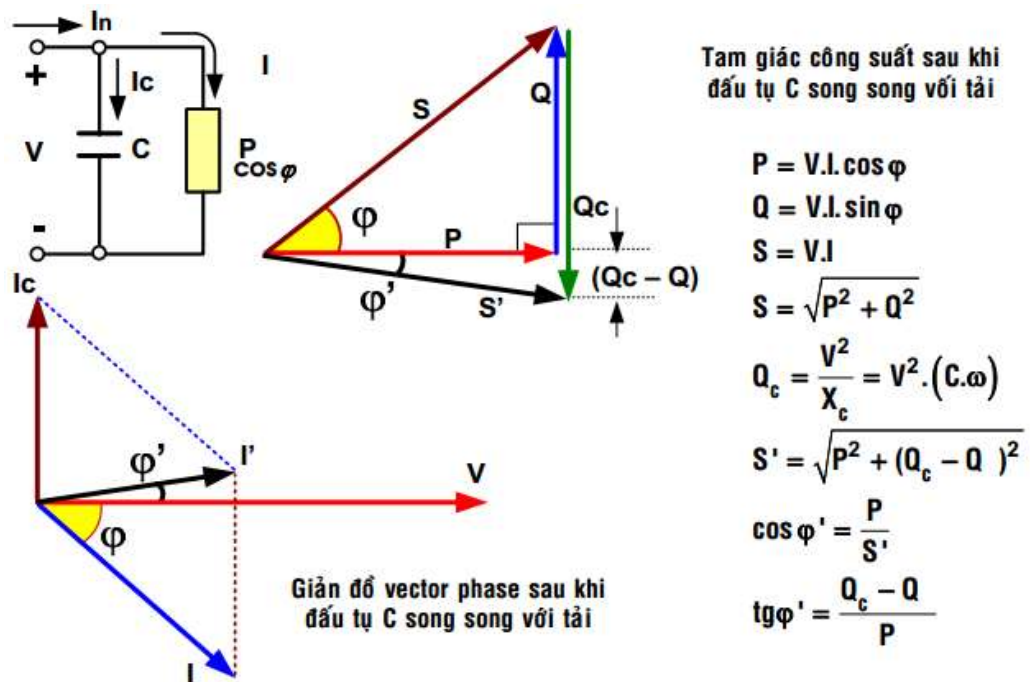


Hình 3.44

+ Dòng tổng  $I_n$  sớm pha hơn áp  $V$ ; tải tổng hợp (tụ  $C$  + Tải) có tính dung nhưng hệ số công suất của tải tổng hợp gia tăng, xem hình 3.45.

Chú ý:

Phương pháp đấu song song tụ  $C$  với tải để điều chỉnh hệ số công suất trong Kỹ Thuật gọi là phương pháp dùng tụ bù điều chỉnh hệ số công suất.



Hình 3.45

### 3.3.2. Giải mạch xoay chiều phân nhánh bằng phương pháp tổng dẫn và cộng hưởng dòng điện

Ví dụ 3.17:

Cho tải 1 pha tiêu thụ công suất tác dụng  $P = 15\text{KW}$ ; hệ số công suất  $\cos \varphi = 0,6$  trễ. Biết nguồn cung cấp đến tải có áp hiệu dụng  $U = 220\text{V}$ ; tần số  $f = 50\text{Hz}$ .

a/ Tính dung lượng của tụ C đầu song song với tải để nâng hệ số công suất đến giá trị  $\cos \varphi' = 0,9$  chú ý đến các trường hợp  $\cos \varphi'$  trễ và sớm.

b/ Suy ra các giá trị điện dung C cho mỗi trường hợp.

Giải:

TRƯỜNG HỢP SAU KHI BÙ TẢI TỔNG HỢP CÓ TÍNH CẢM ( $\cos \varphi'$  trễ hình 3.44):

Quan hệ giữa các thành phần công suất tác dụng P và phản kháng Q trước khi dùng tụ bù:

$$Q = P \cdot \tan \varphi$$

Quan hệ giữa các thành phần công suất sau khi dùng tụ bù:

$$Q - Q_c = P \cdot \tan \varphi'$$

Hay:

$$P \cdot \tan \varphi - Q_c = P \cdot \tan \varphi'$$

$$Q_c = P \cdot (\tan \varphi - \tan \varphi')$$

Áp dụng bằng số với  $\cos\varphi = 0,6$  và  $\cos\varphi' = 0,9$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\sin\varphi}{\cos\varphi} = \frac{\sqrt{1-\cos^2\varphi}}{\cos\varphi} = \frac{\sqrt{1-0,6^2}}{0,6} = \frac{0,8}{0,6} = \frac{4}{3} = 1,3333$$

$$\operatorname{tg}\varphi' = \frac{\sin\varphi'}{\cos\varphi'} = \frac{\sqrt{1-\cos^2\varphi'}}{\cos\varphi'} = \frac{\sqrt{1-0,9^2}}{0,9} = \frac{0,43589}{0,9} = 0,48432$$

Suy ra:

$$Q_C = P.(\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\varphi') = 15000.(1,3333 - 0,48432) = 12735,15\text{VAR}$$

*Dung lượng của tụ bù trong trường hợp này là:  $Q_C = 12,74\text{ kVAR}$ .*

Vì:

$$Q_C = \frac{U^2}{X_C} = U^2.(C\omega)$$

Suy ra:

$$C = \frac{Q_C}{\omega U^2} = \frac{Q_C}{2\pi f U^2}$$

Trong đó đơn vị đo:

$$[C] = [F]; [f] = [Hz]; [Q_C] = [\text{VAR}]; [U] = [V];$$

$$C = \frac{Q_C}{2\pi f U^2} = \frac{12735,15}{2\pi.50.220^2} = 0,00083755F = 837,55\mu F$$

TRƯỜNG HỢP SAU KHI BÙ TẢI TỔNG HỢP CÓ TÍNH DUNG ( $\cos\varphi'$  sớm hình 3.45):

Quan hệ giữa các thành phần công suất tác dụng  $P$  và phản kháng  $Q$  trước khi dùng tụ bù:

$$Q = P.\operatorname{tg}\varphi$$

Quan hệ giữa các thành phần công suất sau khi dùng tụ bù:

$$Q_C - Q = P.\operatorname{tg}\varphi'$$

Hay:

$$Q_C - P.\operatorname{tg}\varphi = P.\operatorname{tg}\varphi'$$

$$Q_C = P.(\operatorname{tg}\varphi + \operatorname{tg}\varphi')$$

Áp dụng bằng số với  $\cos\varphi = 0,6$  và  $\cos\varphi' = 0,9$

$$Q_C = P.(tg\varphi + tg\varphi') = 15000(1,3333 + 0,48432) = 27264,75\text{VAR}$$

Dung lượng của tụ bù trong trường hợp này là:  $Q_c = 27,265 \text{ kVAR}$ .  
 Tính tương tự như trên, ta có kết quả như sau:

$$C = \frac{Q_C}{2\pi f U^2} = \frac{27264,75}{2\pi \cdot 50 \cdot 220^2} = 0,001793\text{F} = 1793\mu\text{F}$$

### 3.4 Các câu hỏi ôn tập và bài tập

**BT1.** Dòng điện xoay chiều hình sin là gì? Biểu thức trị số tức thời, trị số hiệu dụng? Ý nghĩa trị số hiệu dụng?

**BT2.** Định nghĩa góc pha dòng điện – điện áp và góc lệch pha. Đại lượng nào phụ thuộc vào chọn gốc tọa độ? Đại lượng nào phụ thuộc vào thông số R, X của mạch?

**BT3.** Hãy viết biểu thức I,  $\varphi$  vẽ đồ thị vector cho các nhánh sau: R; L; C; RL; RC; LC; RLC mắc nối tiếp.

**BT4.** Các biểu thức tính công suất tác dụng P? P là công suất tiêu thụ của phần tử nào trong mạch điện? Ý nghĩa của công suất tác dụng P? Đơn vị của P?

**BT5.** Các biểu thức tính công suất phản kháng Q? Q là công suất tiêu thụ của phần tử nào trong mạch điện? Ý nghĩa của công suất phản kháng Q? Đơn vị của Q?

**BT6.** Các biểu thức tính công suất biểu kiến S? Ý nghĩa của công suất biểu kiến S? Đơn vị của S?

**BT7.** Nêu cách biểu diễn dòng điện và điện áp hình sin bằng vector?

**BT8.** Nêu cách biểu diễn dòng điện và điện áp hình sin bằng số phức?

**BT9.** Sử dụng các phương pháp giải mạch điện đã xét ở mạch điện một chiều vào giải mạch điện xoay chiều hình sin cần chú ý gì?

**BT10.** Biểu thức trị số tức thời của dòng điện và điện áp một nhánh là:

$$i = 10\sqrt{2}\sin(\omega t - 15^\circ)$$

$$u = 200\sqrt{2}\sin(\omega t + 25^\circ)$$

Hãy xác định  $I_{\max}$ ;  $U_{\max}$ ; I; U;  $\Psi_i$ ;  $\Psi_u$ ;  $\varphi$ . Đây là nhánh có tính chất gì?

**BT11.** Hãy biểu diễn vector, số phức dòng điện và điện áp ở bài BT10. Xác định z, R, X, Z của nhánh.

**BT12.** Nguồn điện  $U = 230V$  đấu vào mạch điện có  $R = 57\Omega$ ;  $X_L = 100\Omega$  mắc nối tiếp.

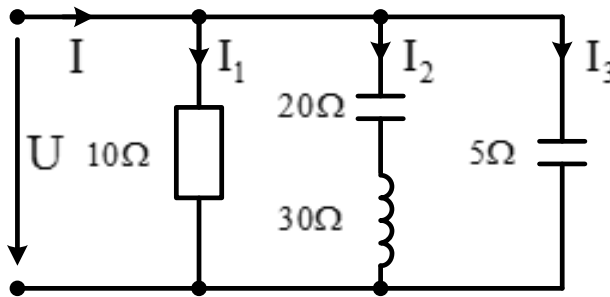
Tính I,  $U_R$ ,  $U_L$ ,  $\cos\varphi$ , P, Q của mạch.

**BT13.** Một nguồn điện  $U = 15V$ ;  $f = 10kHz$  cung cấp điện cho tải có  $C = 0,005\mu F$ ,  $R = 1\Omega$  nối tiếp. Tính I,  $\cos\varphi$ , P, Q,  $U_C$ ,  $U_R$ .

**BT14.** Một nguồn điện có điện áp U, cung cấp điện cho tải có  $R =$

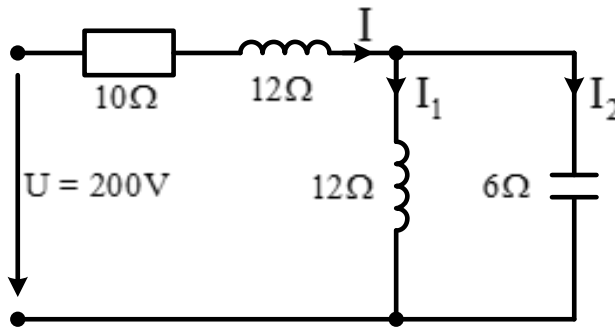
$15\Omega$ ;  $X_C = 20\Omega$  mắc nối tiếp. Biết công suất tác dụng của mạch điện  $P = 240W$ . Tính  $I$ ,  $U_C$ ,  $U_R$ ,  $\cos\varphi$ ,  $Q$  của mạch điện.

**BT15.** Cho mạch điện trên như hình 3.48. Cho biết  $U_L = 150V$ . Tính  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ,  $I$ ,  $P$ ,  $Q$ ,  $U$ ,  $\cos\varphi$  của mạch.



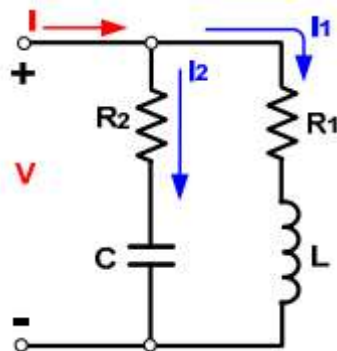
Hình 3.48

**BT16.** Cho mạch điện trên như hình 3.49. Tính dòng điện  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I$ ,  $U_{AB}$  của mạch.



Hình 3.49

**BT17.** Cho mạch điện trên như hình 3.50. Biết:  $R_1 = 10\Omega$ ;  $R_2 = 2\Omega$ ;  $C = 2500/\pi$  ( $\mu F$ );  $u(t) = 50\sqrt{2}\sin(100\pi t)$  V.



Hình 3.50

Xác định:

a/ Dòng điện hiệu dụng:  $I_1$ ,  $I_2$

b/ Vẽ giản đồ vector phase cho toàn mạch; suy ra dòng hiệu dụng  $I$  từ nguồn cấp đến tải.



c/ Tổng trở tương đương của tải tổng hợp.

d/ Hệ số công suất của tải tổng hợp.

e/ Công suất tác dụng tiêu thụ trên  $R_1$  và  $R_2$ ; suy ra công suất tác dụng tổng tiêu thụ trên tải tổng hợp.

**BT18.** Cho mạch điện trên như hình 3.51. Biết:  $R_1 = 10\Omega$ ;  $R_2 = 5\Omega$ ;  $L = 1/10\pi$  (H);  $u(t) = 100\sqrt{2}\sin(100\pi t)$  V .

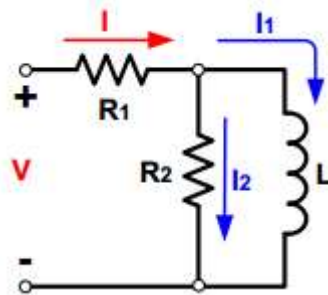
Xác định:

a/ Vẽ giản đồ vector phase cho toàn mạch.

b/ Tính các dòng điện hiệu dụng trên mạch.

c/ Tính Hệ số công suất của toàn mạch.

d/ Tính công suất tác dụng tiêu thụ trên toàn hệ thống.



Hình 3.51

**BT19.** Cho mạch điện trên như hình 3.52. Biết:  $R_1 = 5\Omega$ ;  $R_2 = 2\Omega$ ;  $L = 1/50\pi$  (H);  $C = 10^4/3\pi$  ( $\mu$ F); nguồn áp xoay chiều cấp vào 2 đầu mạch có áp hiệu dụng là U và tần số  $f = 50\text{Hz}$ . Nếu áp hiệu dụng đo được trên hai đầu điện trở  $R_2$  là 45V, xác định:

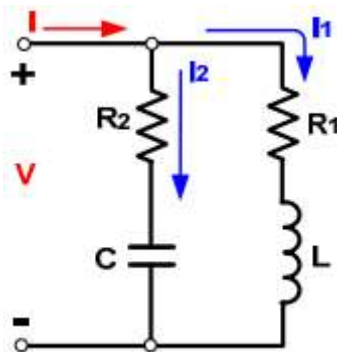
a/ Vẽ giản đồ vector phase cho toàn mạch.

b/ Tính các dòng điện hiệu dụng:  $I$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ .

c/ Tính hệ số công suất của toàn mạch.

d/ Tính công suất tác dụng tiêu thụ trên mạch.

e/ Tính công suất biểu kiến từ nguồn cấp đến mạch.



Hình 3.52

**BT20.** Cho mạch điện xoay chiều hình sin như hình 3.53. Biết

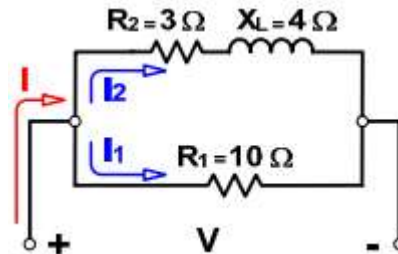
công suất tác dụng tổng tiêu thụ trong mạch là 2200W. Xác định:

a/ Công suất tác dụng tiêu thụ trên điện trở  $R_1$  và  $R_2$ .

b/ Áp hiệu dụng  $V$  đặt ngang qua hai đầu mạch.

c/ Dòng hiệu dụng  $I$  trên nhánh chính.

d/ Hệ số công suất của toàn mạch.



Hình 3.53

**BT21.** Cho một nhóm động cơ điện xoay chiều có công suất tác dụng tổng là 5KW, hệ số công suất trung bình toàn nhóm là:  $\cos\varphi = 0,7$  trễ.

Muốn nâng hệ số công suất của toàn bộ tải lên đến giá trị  $\cos\varphi' = 0,9$  trễ chúng ta mắc song song tụ  $C$  với nhóm tải động cơ. Cho áp hiệu dụng của nguồn là  $V = 220V$  và  $f = 50\text{ Hz}$ .

a/ Xác định điện dung  $C$  và công suất phản kháng của tụ điện.

b/ Suy ra công suất biểu kiến cấp cho toàn bộ tải sau khi dùng tụ điện  $C$  nâng hệ số công suất.

## Mạch ba pha

Chương này trình bày, phân tích các khái niệm đặc điểm và ý nghĩa mạch xoay chiều ba pha.

Đồng thời trình bày:

- Các dạng sơ đồ đấu dây và các bước đấu dây trong mạng 3 pha.
- Công thức và các bước tính toán các bài toán về mạng ba pha cân bằng.

---

4.1 Khái niệm chung về mạng ba pha

---

4.2 Sơ đồ đấu dây trong mạng ba pha cân bằng

---

4.3 Công suất mạng ba pha cân bằng

---

## 4.1 Khái niệm chung về mạng 3 pha

### 1. Khái niệm chung

Ngày nay dòng điện xoay chiều ba pha được sử dụng rộng rãi trong các ngành sản xuất vì:

- + Động cơ điện 3 pha có cấu tạo đơn giản và đặc tính tốt hơn động cơ điện 1 pha.
- + Truyền tải điện năng bằng mạch điện 3 pha tiết kiệm dây dẫn, giảm bớt tổn thất điện năng và tổn thất điện áp so với truyền tải điện năng bằng dòng điện 1 pha.

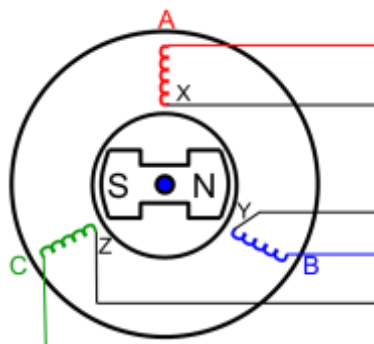
Mạng điện 3 pha bao gồm nguồn điện 3 pha, đường dây truyền tải và các tải 3 pha.

### 2. Nguồn điện 3 pha

Để tạo ra dòng điện xoay chiều ba pha dùng máy phát điện xoay chiều ba pha.

Máy phát điện ba pha:

- Cấu tạo hình 4.1



Hình 4.1 Cấu tạo máy phát đồng bộ

+ Gồm 3 dây quấn AX, BY, CZ và nam châm điện N – S (còn gọi là rotor: phần quay)

+ Các dây quấn AX (pha A), BY (pha B), CZ (pha C) có cùng số vòng dây, đặt lệch nhau một góc  $2/3\pi$  ( $120^\circ$  điện) trong không gian.

*Dây quấn pha A ký hiệu là AX.*

*Dây quấn pha B ký hiệu là BY.*

*Dây quấn pha C ký hiệu là CZ.*

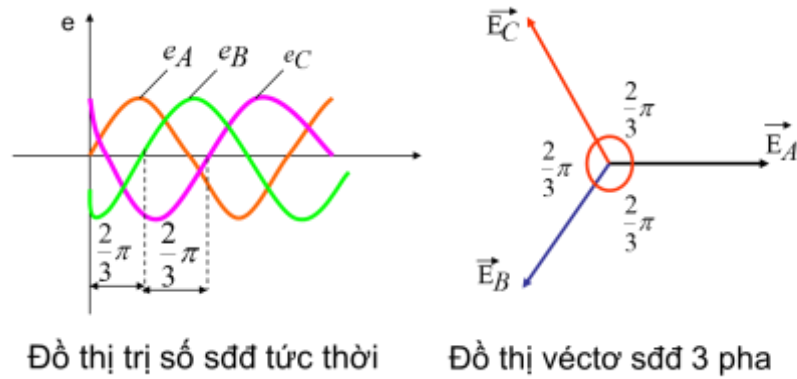
*A, B, C là các điểm đầu dây quấn.*

*X, Y, Z là các điểm cuối dây quấn.*

- Nguyên lý làm việc

Khi quay nam châm với tốc độ không đổi, từ trường sẽ lần lượt quét qua các dây quấn và cảm ứng vào trong dây quấn các sức điện động

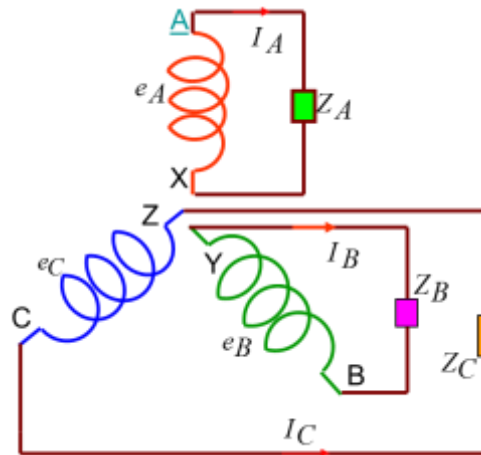
xoay chiều cùng biên độ, tần số và lệch pha nhau 1 góc  $2/3\pi$ .



Hình 4.2

### 3. Tải ba pha

- + Thường là: động cơ điện 3 pha, lò điện 3 pha...
- + Tổng trở của các pha A, B, C của tải là  $Z_A, Z_B, Z_C$ .



Hình 4.3 Mạch điện 3 pha nối riêng tải

### **1. Hệ thống 3 pha cân bằng**

**Hệ thống 3 pha cân bằng** (Nguồn áp 3 pha cân bằng hay nguồn áp 3 pha đối xứng) là tập hợp bao gồm 3 nguồn áp xoay chiều hình sin: cùng biên độ; cùng tần số; lệch pha thời gian từng đôi  $120^\circ$ .

#### ***Phân loại:***

- + Nguồn áp 3 pha thứ tự thuận.
- + Nguồn áp 3 pha thứ tự nghịch.

## 4.2 Sơ đồ đấu dây trong mạng ba pha cân bằng

### 1. Các định nghĩa

Đối với mạng điện 3 pha cân bằng, thực tế thường 3 pha của nguồn điện nối với nhau, ba pha của tải nối với nhau và có đường dây 3 pha nối nguồn với tải, dẫn điện năng từ nguồn tới tải.

Thông thường dùng 2 cách nối: nối hình sao ký hiệu là Y và nối hình tam giác ký hiệu là  $\Delta$ .

*Sức điện động, điện áp, dòng điện mỗi pha* của nguồn điện (hoặc tải) gọi là *sức điện động pha* ký hiệu là  $E_p$ , *điện áp pha* ký hiệu là  $U_p$ , *điện áp pha* ký hiệu là  $I_p$ .

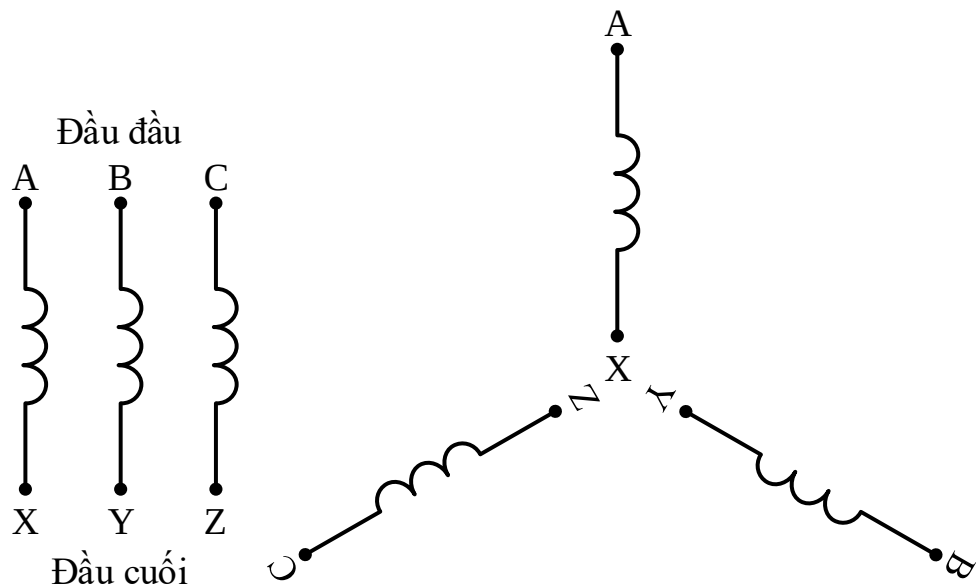
*Dòng điện chạy trên đường dây pha* từ nguồn đến tải gọi là *dòng điện dây* ký hiệu là  $I_d$ , *điện áp giữa các đường dây pha* gọi là *điện áp pha* ký hiệu là  $U_d$ .

Các quan hệ giữa đại lượng pha và đại lượng dây phụ thuộc vào cách nối (hình sao hay tam giác) sẽ xét kỹ ở các phần tiếp theo sau.

### 2. Đấu dây hình sao

#### Cách nối

Mỗi pha của nguồn (hoặc tải) có đầu và cuối. Thường quen ký hiệu đầu pha là A, B, C và cuối pha là X, Y, Z như hình 4.7.

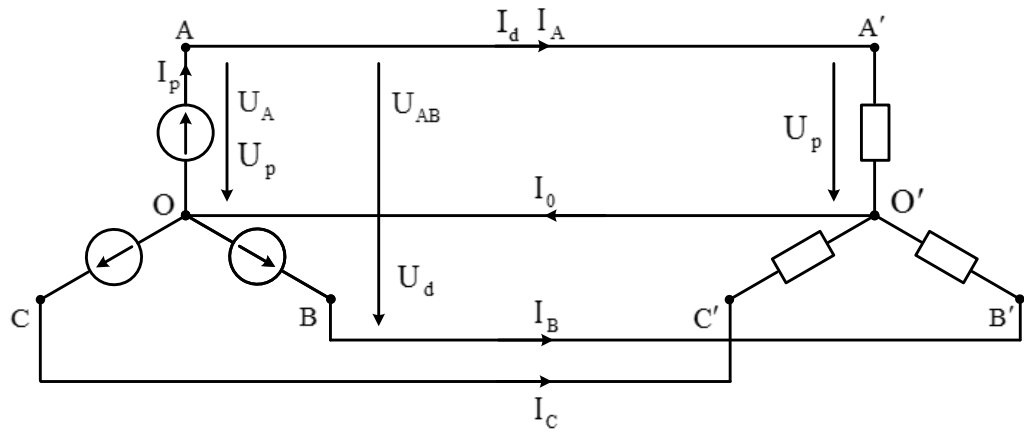


Hình 4.7

Muốn nối hình sao (Y) ta nối 3 điểm cuối của pha với nhau tạo thành điểm trung tính (Hình 4.8).

+ Đối với nguồn, 3 điểm cuối X, Y, Z nối với nhau thành điểm trung tính 0 của nguồn.

+ Đối với tải, 3 điểm cuối X', Y', Z' nối với nhau thành điểm trung tính 0' của tải.



Hình 4.8

- + Ba dây nối 3 điểm đầu A, B, C của nguồn với 3 điểm đầu A', B', C' của tải gọi là *3 dây pha*.
- + Dây dẫn nối điểm trung tính O của nguồn tới điểm trung tính O' của tải gọi là *dây trung tính*.

### ***Các quan hệ giữa đại lượng dây và pha khi đối xứng***

- + Quan hệ giữa dòng điện dây và dòng điện pha

Dòng điện pha  $I_p$  là dòng điện chạy trong mỗi pha của nguồn (hoặc tải). Dòng điện  $I_d$  chạy trong các dây pha nối từ nguồn tới tải (xem hình 4.8)

Khi pha đối xứng ta có:  $I_p = I_d$

- + Quan hệ giữa điện áp dây và điện áp pha

Điện áp  $U_p$  là điện áp giữa điểm đầu và điểm cuối của mỗi pha (hoặc giữa điểm đầu của mỗi pha và điểm trung tính, hoặc giữa dây pha và dây trung tính).

Điện áp  $U_d$  là điện áp giữa 2 điểm đầu của 2 pha (hoặc điện áp giữa 2 dây pha), ví dụ điện áp dây  $U_{AB}$  (giữa pha A và pha B),  $U_{BC}$  (giữa pha B và pha C),  $U_{CA}$  (giữa pha C và pha A).

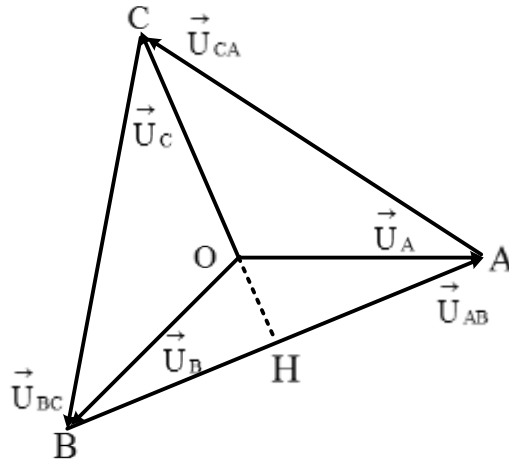
Theo định nghĩa điện áp dây ta có:

$$\vec{U}_{AB} = \vec{U}_A - \vec{U}_B$$

$$\vec{U}_{BC} = \vec{U}_B - \vec{U}_C$$

$$\vec{U}_{CA} = \vec{U}_C - \vec{U}_A$$

Để vẽ đồ thị vector điện áp dây, trước hết vẽ đồ thị vector điện áp pha  $U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_C$ , sau đó dựa vào công thức để vẽ đồ thị vector điện áp dây như hình 4.9 và 4.10



Hình 4.9

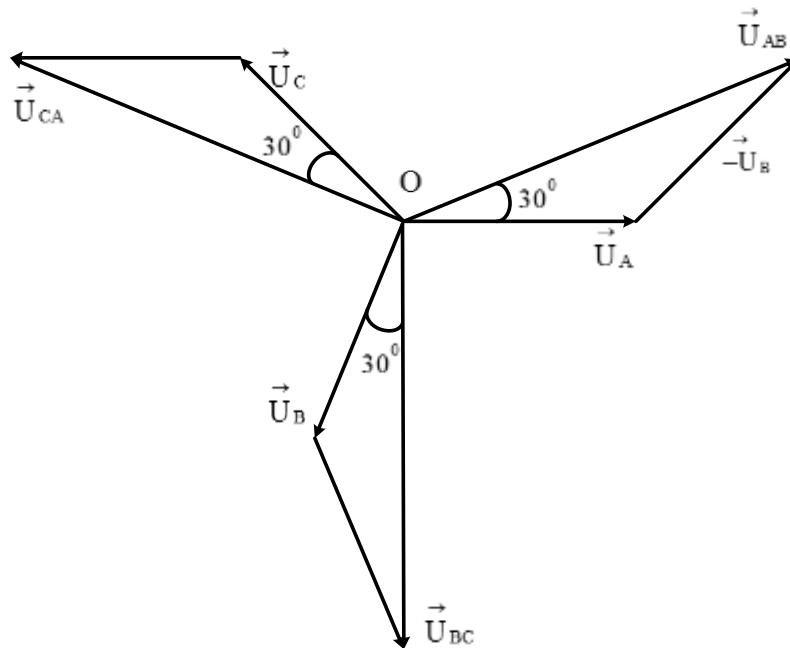
Xét tam giác OAB hình 4.9.

$$AB = 2 AH = 2 OA \cos 30^\circ = 2 OA \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} OA$$

$$U_d = \sqrt{3} U_p$$

AB là điện áp dây  $U_d$

OA là điện áp pha  $U_p$



Hình 4.10

Từ đồ thị vector ta thấy: Khi điện áp pha đối xứng, thì điện áp dây đối xứng.

Về trị số hiệu dụng :  $U_d = \sqrt{3} U_p$

Về pha: điện áp dây vượt trước điện áp pha tương ứng 1 góc  $30^\circ$  ( $U_{AB}$  vượt trước  $U_A$  một góc  $30^\circ$ ,  $U_{BC}$  vượt trước  $U_B$  một góc  $30^\circ$ ,  $U_{CA}$  vượt trước  $U_C$  một góc  $30^\circ$ ).



Khi tải đối xứng:  $I_A, I_B, I_C$ , tạo thành hình sao đối xứng, dòng điện trong dây trung tính bằng 0.

$$I_0 = I_A + I_B + I_C = 0$$

Trong trường hợp này có thể không cần dây trung tính, ta có mạch 3 pha 3 dây.

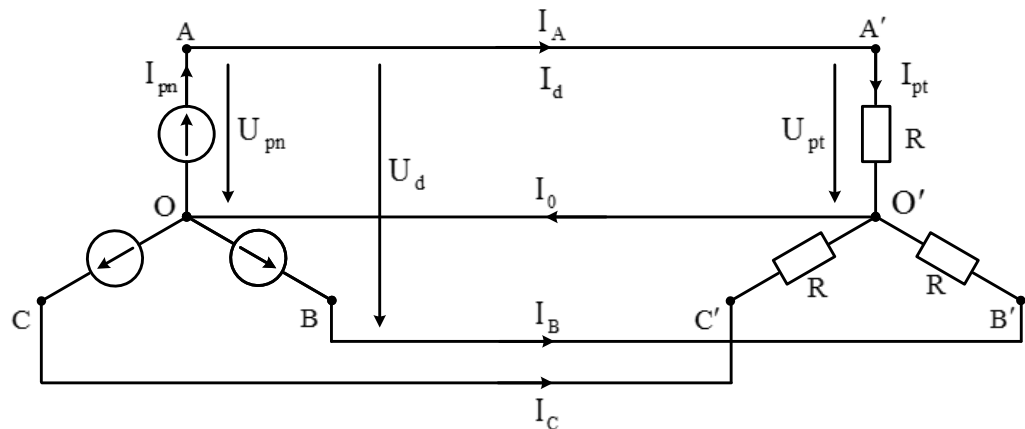
Động cơ điện 3 pha là tải đối xứng, chỉ cần đưa 3 dây pha đến động cơ 3 pha.

Khi tải 3 pha không đối xứng, ví dụ như tải sinh hoạt của tập thể, các gia đình,...dây trung tính có dòng điện  $I_0$  bằng

$$I_0 = I_A + I_B + I_C$$

Ví dụ 4.1: Một nguồn điện 3 pha đối xứng nối hình sao, điện áp pha nguồn  $U_{pn} = 220V$ .

Nguồn cung cấp điện cho tải R 3 pha đối xứng (hình 4.11). Biết dòng điện dây  $I_d = 10A$ . Tính điện áp dây  $U_d$ , điện áp pha  $U_p$  của tải, dòng điện pha của tải và của nguồn. Vẽ đồ thị vector.



Hình 4.11

Giải:

Nguồn nối hình sao, áp dụng công thức tính điện áp dây là:

$$U_d = \sqrt{3}U_p = \sqrt{3}.220 = 380V$$

Tải nối hình sao, biết  $U_d = 380V$ , theo công thức tính điện áp pha của tải là:

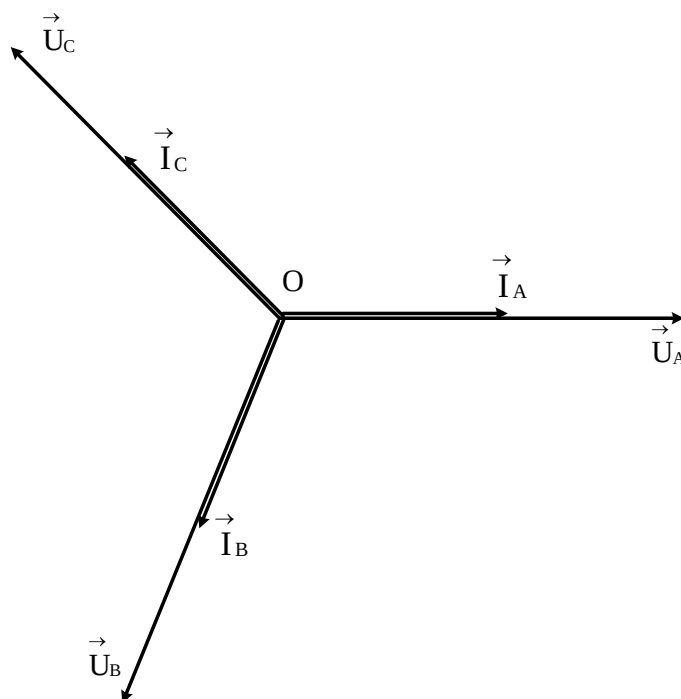
$$U_{pt} = U_d/\sqrt{3} = 380/\sqrt{3} = 220V$$

Nguồn nối sao, tải nối sao, áp dụng công thức

Dòng điện pha nguồn:  $I_{pn} = I_d = 10A$

Dòng điện pha tải:  $I_{pt} = I_d = 10A$

Vì tải thuần điện trở  $R$ , điện áp pha của tải trùng với dòng điện pha của tải  $I_{pt}$  như hình 4.12.



Hình 4.12

### 3. Đấu dây hình tam giác

#### Cách nối

Muốn nối hình tam giác ( $\Delta$ ), ta lấy *đầu* pha này nối với *cuối* pha kia. Ví dụ A nối với Z; B nối với X; C nối với Y như hình 4.13. Cách đấu tam giác không có dây trung tính.

#### Các quan hệ giữa đại lượng dây và pha khi đối

Khi giải mạch điện nối tam giác ta thường quen quy ước: chiều dương dòng điện các pha  $I_p$  của nguồn ngược chiều quay kim đồng hồ, chiều dương dòng điện pha của tải cùng chiều quay kim đồng hồ (Hình 4.13)

Các đại lượng dây và pha được ký hiệu trên hình 4.13

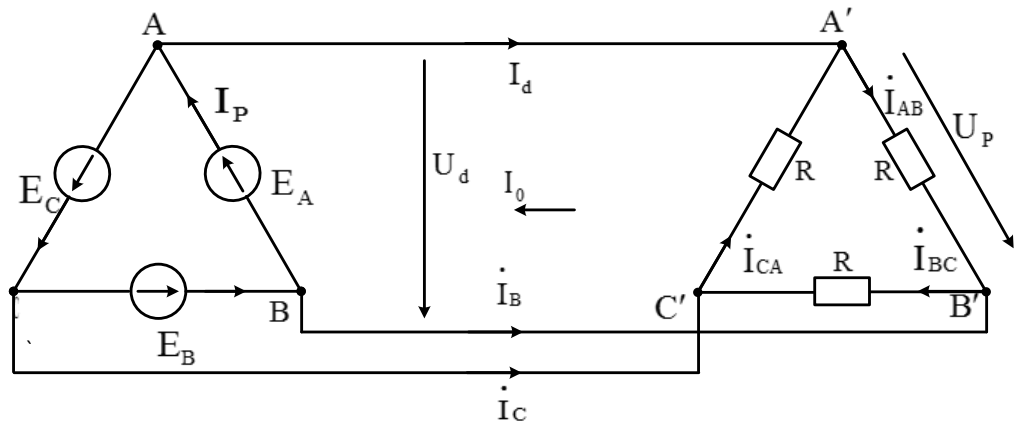
+ Quan hệ giữa điện áp dây và điện áp pha

Nhìn vào mạch điện nối tam giác ta thấy:  $U_d = U_p$

+ Quan hệ giữa dòng điện dây và dòng điện pha

Khi dòng điện pha đối xứng thì dòng điện dây đối xứng và trị số hiệu dụng:  $I_d = \sqrt{3}I_p$

Về pha: dòng điện dây chậm sau dòng điện pha tương ứng góc  $30^\circ$  ( $I_A$  chậm pha  $I_{AB}$  một góc  $30^\circ$ ,  $I_B$  chậm pha  $I_{BC}$  một góc  $30^\circ$ ,  $I_C$  chậm pha  $I_{CA}$  một góc  $30^\circ$ ).



Hình 4.13

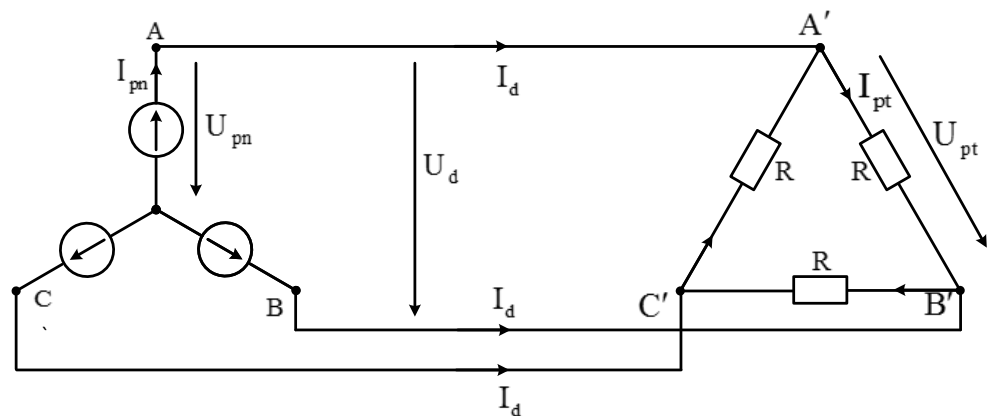
Ví dụ 4.2: Một mạch điện ba pha, nguồn điện nối sao, tải nối hình tam giác. Biết điện áp pha của nguồn  $U_{pn} = 2\text{kV}$ , dòng điện pha của nguồn  $I_{pn} = 20\text{A}$ .

a/ Hãy vẽ sơ đồ nối dây mạch ba pha và trên sơ đồ ghi rõ các đại lượng pha và dây.

b/ Hãy xác định dòng điện pha và điện áp pha của tải  $I_{pt}$ ,  $U_{pt}$ .

Giải:

a/ Sơ đồ nối dây mạch điện vẽ ở hình 4.14



Hình 4.14

b/ Vì nguồn nối hình sao nên dòng điện dây bằng dòng điện pha

$$I_d = I_{pn} = 20\text{A}$$

Điện áp dây bằng  $\sqrt{3}$  lần điện áp pha nguồn

$$U_d = \sqrt{3}U_{pn} = \sqrt{3} \cdot 2 = 3,464\text{kV}$$

Vì tải nối hình tam giác, nên điện áp pha của tải  $U_{pt}$  bằng điện áp dây

$$U_{pt} = U_d = 3,464\text{kV}$$

Dòng điện pha của tải nhỏ hơn dòng điện dây  $\sqrt{3}$  lần

$$I_{pt} = I_d / \sqrt{3} = 20 / \sqrt{3} = 11,547\text{A}$$

## 4.3 Công suất mạng ba pha cân bằng

### 1. Công suất tác dụng P

Công suất tác dụng P của mạch ba pha bằng tổng công suất tác dụng của các pha cộng lại. Gọi  $P_A$ ,  $P_B$ ,  $P_C$  tương ứng là công suất tác dụng của pha A, B, C ta có:

$$P = P_A + P_B + P_C$$

$$P = U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C$$

Khi ba pha đối xứng

+ Điện áp pha:  $U_A = U_B = U_C = U_P$

+ Dòng điện pha:  $I_A = I_B = I_C = I_P$

+ Hệ số công suất:  $\cos \varphi_A = \cos \varphi_B = \cos \varphi_C = \cos \varphi$

Ta có  $P = 3U_P I_P \cos \varphi$

Hoặc  $P = 3R_P I_P^2$

Trong đó  $R_P$  là điện trở của tải.

Thay đại lượng pha bằng đại lượng dây:

Đối với cách nối hình sao:  $I_P = I_d$ ;  $U_P = U_d/\sqrt{3}$

Đối với hình tam giác:  $I_P = I_d/\sqrt{3}$ ;  $U_P = U_d$

Công thức viết theo đại lượng dây

$$P = \sqrt{3} U_d I_d \cos \varphi$$

Trong đó:  $\varphi$  là góc lệch pha giữa điện áp pha và dòng điện pha tương ứng

$$\cos \varphi = \frac{R_P}{\sqrt{R_P^2 + X_P^2}}$$

### 2. Công suất phản kháng Q

Công suất phản kháng Q của ba pha là tổng công suất phản kháng của các pha cộng lại.

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C$$

$$Q = U_A I_A \sin \varphi_A + U_B I_B \sin \varphi_B + U_C I_C \sin \varphi_C$$

Khi mạch đối xứng ta có:

$$Q = 3U_P I_P \sin \varphi$$

Hoặc  $Q = 3X_P I_P^2$

Trong đó:  $X_P$  – là điện kháng pha của tải.

Nếu tính theo các đại lượng dây

### 3. Công suất biểu kiến S

$$Q = \sqrt{3} U_d I_d \sin \varphi$$

$$S = 3 U_p I_p$$

Hoặc

$$S = \sqrt{3} U_d I_d$$

Hoặc

$$S = \sqrt{3} Z_d I_d^2$$

Ví dụ 4.3: Một động cơ điện ba pha có công suất định mức  $P_{dm} = 14\text{kW}$ , hiệu suất định mức  $\eta_{dm} = 0,89$ , hệ số công suất định mức  $\cos \varphi_{dm} = 0,88$ . Dây quấn động cơ điện nối hình sao, điện áp dây mạng điện  $U_d = 380\text{V}$ .

a/ Tính điện áp đặt lên mỗi pha dây quấn.

b/ Tính dòng điện dây và dòng điện pha của động cơ điện.

Giải:

a/ Vì dây quấn động cơ nối hình sao nên điện áp pha đặt vào mỗi dây quấn pha là :

$$U_p = \frac{U_d}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220\text{V}$$

b/ Đối với động cơ điện, công suất định mức  $P_{dm}$  là công suất cơ có ích ở trục động cơ, vậy công suất điện động cơ tiêu thụ là:

$$P_{\text{điện}} = P_{dm} / \eta_{dm}$$

Theo công thức

$$P_{\text{điện}} = \sqrt{3} U_d I_d \cos \varphi$$

Vậy dòng điện của động cơ là:

$$I_d = \frac{P_{\text{điện}}}{\sqrt{3} U_d \cos \varphi} = \frac{P_{dm}}{\sqrt{3} U_d \cos \varphi_{dm} \eta_{dm}} = \frac{14 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,88 \cdot 0,89} = 27,16\text{A}$$

Vì dây nối hình sao nên

$$I_p = I_d = 27,16\text{ A}$$

Ví dụ 4.4 : Một mạch điện ba pha đối xứng  $U_d = 380\text{V}$  cung cấp điện cho 2 tải đối xứng: Tải 1 tiêu thụ  $P_1 = 6\text{kW}$  ;  $Q = 4\text{kVAr}$ . Tải 2 tiêu thụ  $P_2 = 8\text{kW}$  ;  $Q_2 = 2\text{kVAr}$ .

a/ Tính dòng điện dây của mỗi tải.

b/ Tính dòng điện dây  $I_d$  của nguồn cung cấp cho 2 tải trên.

Giải :

a/ Công suất biểu kiến tải 1

$$S_1 = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2} = \sqrt{6^2 + 4^2} = 7,211\text{kVA}$$

Công suất biểu kiến tải 2

$$S_2 = \sqrt{P_2^2 + Q_2^2} = \sqrt{8^2 + 2^2} = 8,246 \text{kVA}$$

Theo công thức  $S = \sqrt{3} U_d I_d$  dòng điện dây của tải 1 là:

$$I_1 = \frac{S_1}{\sqrt{3} U_d} = \frac{7211}{\sqrt{3} \cdot 380} = 10,956 \text{A}$$

dòng điện dây của tải 2 là:

$$I_2 = \frac{S_2}{\sqrt{3} U_d} = \frac{8246}{\sqrt{3} \cdot 380} = 12,528 \text{A}$$

Để tính dòng điện  $I_d$  của nguồn cung cấp cho tải, ta cần tính công suất của nguồn.

Công suất tác dụng nguồn cung cấp cho 2 tải:

$$P = P_1 + P_2 = 6 + 8 = 14 \text{kW}$$

Công suất phản kháng nguồn cung cấp cho 2 tải:

$$Q = Q_1 + Q_2 = 4 + 2 = 6 \text{kVAr}$$

Công suất biểu kiến của nguồn:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{14^2 + 6^2} = 15,231 \text{kVAr}$$

Vậy ta có dòng điện dây nguồn cung cấp cho 2 tải:

$$I_d = \frac{S}{\sqrt{3} U_d} = \frac{15231}{\sqrt{3} \cdot 380} = 23,14 \text{A}$$

## 4.5 Các câu hỏi ôn tập và bài tập

**BT1.** Nêu những ưu điểm của mạch điện ba pha.

**BT2.** Các đặc điểm của mạch điện ba pha đối xứng?

**BT3.** Định nghĩa điện áp pha, điện áp dây; dòng điện pha, dòng điện dây và quan hệ giữa chúng khi nối sao và nối tam giác.

**BT4.** Trình bày các bước giải mạch điện ba pha đối xứng?

**BT5.** Các biểu thức tính công suất  $P$ ,  $Q$ ,  $S$  trong mạch ba pha đối xứng?

**BT6.** Vai trò của dây trung tính trong mạch điện ba pha tải không đối xứng?

**BT7.** Một nguồn điện ba pha nối sao,  $U_{pn} = 120V$  cung cấp điện cho tải nối sao có dây trung tính. Tải có điện trở pha  $R_p = 180\Omega$ .

Tính  $U_d$ ,  $I_d$ ,  $I_p$ ,  $P$  của mạch ba pha.

**BT8.** Một nguồn điện ba pha đối xứng đấu sao cung cấp điện cho tải ba pha đối xứng đấu tam giác. Biết dòng điện pha của nguồn  $I_{pn} = 17,32A$ , điện trở mỗi pha của tải  $R_p = 38\Omega$ . Tính điện áp pha của nguồn và công suất  $P$  của nguồn cung cấp cho tải ba pha.

**BT9.** Một tải ba pha đối xứng đấu hình tam giác, biết  $R_p = 15\Omega$ ;  $X_p = 6\Omega$ , đấu vào mạng điện ba pha  $U_d = 380V$ . Tính  $I_p$ ,  $I_d$ ,  $P$ ,  $Q$  của tải.

**BT10.** Một động cơ điện ba pha đấu sao đấu vào mạng ba pha  $U_d = 380V$ , biết dòng điện dây  $I_d = 26,81A$ ; hệ số công suất  $\cos\varphi = 0,85$ . Tính dòng điện pha của động cơ, công suất điện động cơ tiêu thụ.

## Tài liệu tham khảo

- [1]. PGS.TS. Đặng Văn Đào, PGS. TS. Lê Văn Doanh, *Giáo trình Điện Kỹ thuật*, NXB Giáo dục 2002.
- [2]. *Giáo trình Khí cụ điện*, NXB Đại học Quốc gia TP HCM 2003
- [3]. Phương Xuân Nhân, Hồ Anh Túy, *Lý thuyết mạch*, NXB Khoa học và kỹ thuật 2006
- [4]. PGS.TS. Đặng Văn Đào, PGS. TS. Lê Văn Doanh, *Giáo trình kỹ thuật điện*, NXB Giáo dục 2006
- [5]. Bài giảng Kỹ thuật Điện – Điện tử, Đại học Bách khoa TP HCM, 2009
- [6]. *Giáo trình linh kiện điện tử và ứng dụng* – tác giả TS Nguyễn Viết Nguyên – Nhà xuất bản Giáo dục.
- [7]. *Kỹ thuật mạch điện tử* – tác giả Phạm Xuân Khánh, Bò Quốc Bảo, Nguyễn Viết Tuyền, Nguyễn Thị Phước Vân – Nhà xuất bản Giáo dục.
- [8]. *Căn bản điện tử* – Tác giả Đỗ Thanh Hải – nhà xuất bản Thanh niên.
- [9]. Fleeman - *Electronic Devices, Discrete and Intergrated* - Printice - Hall International-1998.
- [10]. Boylestad and Nashelky - *Electronic Devices and Circuit Theory* - Printice - Hall International 1998.
- [11]. J. Millman - *Micro electronics, Digital and Analog, Circuits and Systems* - Mc.Graw.Hill Book Company - 1979.
- [12]. Nguyễn Hữu Phương - *Điện tử trung cấp* - Sở Giáo Dục & Đào Tạo TP HCM-1992.