

## **Bài 3: DÒNG ĐIỆN KHÔNG ĐỔI**

### **3.1 CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN**

- 3.1.1 Dòng điện, chiều của dòng điện
- 3.1.2 Cường độ dòng điện
- 3.1.3 Mật độ dòng điện
- 3.1.4 Nguồn điện, suất điện động

### **3.2 ĐỊNH LUẬT OHM**

- 3.2.1 Dạng vi phân của định luật Ohm
- 3.2.2 Định luật Ohm đối với đoạn mạch đồng chất
- 3.2.3 Định luật Ohm cho toàn mạch (mạch kín)
- 3.2.4 Định luật Ohm tổng quát
- 3.2.5 Ghép các điện trở
- 3.2.6 Ghép các nguồn điện

### **3.3 PHƯƠNG TRÌNH LIÊN TỤC CỦA DÒNG ĐIỆN**

### **3.4 QUI TẮC KIRCHHOFF**

- 3.4.1 Các khái niệm
- 3.4.2 Các quy tắc Kirchhoff
- 3.4.3 Vận dụng quy tắc Kirchhoff để phân giải mạch điện

### **3.5 ĐỊNH LUẬT JOULE - LENZ**

### **3.6 CÔNG VÀ CÔNG SUẤT CỦA DÒNG ĐIỆN**

### **3.7 CÔNG SUẤT VÀ HIỆU SUẤT CỦA NGUỒN ĐIỆN**

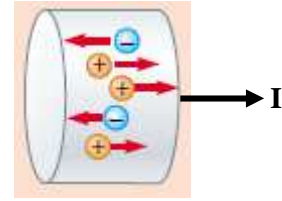
### **3.8 PHÂN GIẢI MỘT SỐ DẠNG MẠCH ĐIỆN**

- 3.8.1 Vận dụng định luật Ohm và quy tắc Kirchhoff
- 3.8.2 Mạch sao – tam giác
- 3.8.3 Mạch cầu
- 3.8.4 Đo điện trở bằng cầu Wheatstone

### 3.1 CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN

#### 3.1.1 Dòng điện, chiều của dòng điện

Trong môi trường dẫn, tức là môi trường có các điện tích tự do, khi không có điện trường ngoài, các hạt mang điện tự do luôn luôn chuyển động nhiệt hỗn loạn. Khi có điện trường ngoài đặt vào, dưới tác dụng của lực điện trường  $\vec{F} = q\vec{E}$ , các điện tích dương sẽ chuyển động theo chiều vectơ cường độ điện trường  $\vec{E}$ , còn các điện tích âm chuyển động ngược chiều với vectơ  $\vec{E}$  tạo nên dòng điện.



**Hình 3.1:** Chiều của dòng điện là chiều chuyển động có hướng của các điện tích dương

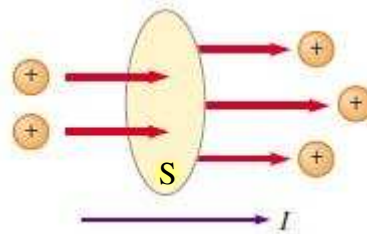
**Vậy,** dòng điện là dòng chuyển dời có hướng của các hạt mang điện. Chiều của dòng điện được quy ước là chiều chuyển động của các hạt mang điện dương.

Trong các môi trường dẫn khác nhau thì bản chất của dòng điện cũng khác nhau. Bản chất của dòng điện trong kim loại là dòng chuyển dời có hướng của các electron tự do; trong chất điện phân là dòng chuyển dời có hướng của các ion dương và ion âm; trong chất khí là dòng chuyển dời có hướng của các electron, các ion dương và âm (khi chất khí bị ion hóa); trong chất bán dẫn là dòng chuyển dời có hướng của các electron và các lỗ trống.

Tuy có bản chất khác nhau, song dòng điện trong mọi môi trường luôn có các tác dụng đặc trưng cơ bản giống nhau, đó là *tác dụng nhiệt, tác dụng từ, tác dụng hóa học và tác dụng sinh lí*.

#### 3.1.2 Cường độ dòng điện

Để định nghĩa cường độ dòng điện một cách chính xác, ta xét diện tích  $S$  vuông góc với hướng chuyển động của các điện tích như hình 3.2 (diện tích  $S$  còn gọi là *tiết diện ngang*). Trong thời gian  $\Delta t$ , nếu điện lượng chuyển qua diện tích  $S$  là  $\Delta Q$  thì tỉ số



**Hình 3.2:** Cường độ dòng điện là đại lượng vô hướng, đo bằng điện lượng chuyển qua tiết diện  $S$  trong một đơn vị thời gian

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (3.1)$$

được gọi là cường độ dòng điện trung bình qua diện tích  $S$ .

Nếu xét trong thời gian  $\Delta t$  đủ nhỏ thì giới hạn của tỉ số  $\Delta Q/\Delta t$  được gọi là *cường độ dòng điện tức thời* qua diện tích  $S$

$$I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt} \quad (3.2)$$

Các công thức định nghĩa (3.1) và (3.2) chứng tỏ rằng, *cường độ dòng điện là đại lượng vô hướng, bằng điện lượng chuyển qua diện tích S trong một đơn vị thời gian*. Trong hệ đơn vị SI, đơn vị đo cường độ dòng điện là ampe (A) – là một trong bảy đơn vị cơ bản của hệ SI.

Đối với dòng điện có chiều không đổi, ta gọi đó là *dòng điện một chiều*. Đối với dòng điện có cường độ I không đổi theo thời gian thì ta gọi đó là *dòng điện không đổi*. Dĩ nhiên, với dòng điện không đổi thì chiều của dòng điện cũng không đổi.

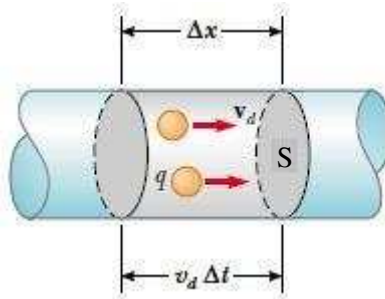
Từ định nghĩa (3.2) suy ra, điện lượng  $\Delta Q$  chuyển qua tiết diện S trong thời gian

$$\Delta t = t_2 - t_1 \text{ là: } \Delta Q = \int_{t_1}^{t_2} I dt \quad (3.3)$$

Đối với dòng điện không đổi, điện lượng  $\Delta Q$  chuyển qua tiết diện S trong thời gian  $\Delta t$  được tính bởi công thức:

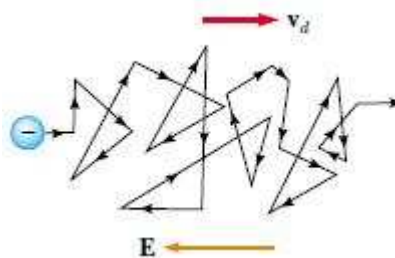
$$\Delta Q = I \Delta t \quad \text{hay} \quad Q = It \quad (3.4)$$

Lưu ý, khi ta nói dòng điện I chạy qua một vật dẫn nào đó, có nghĩa là dòng điện có cường độ I chạy qua tiết diện ngang của vật dẫn đó. Chẳng hạn, nói “dòng điện 5A chạy qua bóng đèn”, có nghĩa là dòng điện có cường độ  $I = 5A$  chạy qua bóng đèn tiết diện ngang của dây tóc bóng đèn.



**Hình 3.3:** Dòng điện chạy qua đoạn dây hình trụ

Cường độ dòng điện liên quan đến chuyển động của các hạt điện. Để tìm mối quan hệ này, ta xét dòng điện không đổi I chạy qua dây dẫn thẳng hình trụ có tiết diện ngang S (hình 3.3). Trong thời gian  $\Delta t$ , số hạt mang điện N chuyển qua tiết diện S phải nằm trong hình trụ có chiều cao  $\Delta x = v_d \Delta t$ , với  $v_d$  là thành phần vận tốc của hạt điện tính dọc theo chiều của dòng điện, còn gọi là vận tốc của *chuyển động có hướng của điện tích* (xem hình 3.4). Gọi  $n_0$  là *mật độ* hay *nồng độ* hạt tải điện của vật dẫn (tức là số hạt tải điện có trong một đơn vị thể tích của vật dẫn),  $\Delta V$  là thể tích của hình trụ đang xét thì



**Hình 3.4:** Vận tốc của chuyển động có hướng của electron

$$N = n_0 \cdot \Delta V = n_0 S \cdot \Delta x = n_0 S v_d \cdot \Delta t$$

Giả sử trong vật dẫn chỉ có một loại hạt tải điện thì điện lượng chuyển qua tiết diện  $S$  trong thời gian  $\Delta t$  là:  $\Delta Q = Nq = n_0 S v_d \cdot \Delta t \cdot q$

Do đó cường độ dòng điện trung bình qua tiết diện  $S$  là:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = n_0 q v_d S \quad (3.5)$$

trong đó,  $q$  là điện lượng của hạt điện.

**Ví dụ 3.1:** Giả sử trong mỗi giây có  $2 \cdot 10^{18}$  ion dương hóa trị 2 và  $4 \cdot 10^{18}$  electron chạy qua một đèn ống. Tính giá trị trung bình của cường độ dòng điện qua đèn. Giả sử tốc độ của các hạt điện khi đập vào các điện cực là  $2 \cdot 10^5$  m/s, đường kính tiết diện của đèn ống là 2cm. Hãy ước tính nồng độ các hạt điện.

### Giải

Ta biết, mỗi electron có điện lượng  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C; mỗi ion dương hóa trị 2 có điện lượng  $2e$ . Điện lượng  $\Delta Q$  chuyển qua tiết diện ngang của đèn bao gồm điện lượng  $Q_+$  của các hạt ion dương và điện lượng  $Q_-$  của các hạt electron. Giá trị các điện lượng này lại tỉ lệ với số hạt ion và electron tương ứng. Do đó, giá trị trung bình của cường độ dòng điện qua đèn là:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{Q_+ + Q_-}{\Delta t} = \frac{N_+ \cdot 2e + N_- \cdot e}{\Delta t} = \frac{(2N_+ + N_-)e}{\Delta t}$$

$$I = \frac{(2 \cdot 2 \cdot 10^{18} + 4 \cdot 10^{18}) \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{1} = 1,28 \text{ A}$$

Gọi  $n_1$  là mật độ hạt electron và  $n_2$  là mật độ ion dương hóa trị 2 có trong bóng đèn. Các điện tích này sinh ra trong quá trình va chạm giữa các ion với nguyên tử chất khí nên thỏa mãn định luật bảo toàn điện tích. Ta có  $n_1 = 2n_2$ .

$$\text{Mặt khác, theo (3.5) ta có } I = (n_1 e + n_2 \cdot 2e) v_d S = 4n_2 e v_d \cdot \pi \frac{d^2}{4}.$$

Do đó, mật độ hạt ion dương hóa trị 2 là:

$$n_2 = \frac{I}{\pi e v_d \cdot d^2} = \frac{1,28}{3,14 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 0,02^2} = 3,2 \cdot 10^{16} \text{ hạt/m}^3.$$

Mật độ hạt electron là  $n_1 = 2n_2 = 6,4 \cdot 10^{16} \text{ hạt/m}^3$ .

### 3.1.3 Mật độ dòng điện

Cường độ dòng điện đặc trưng cho độ mạnh, yếu của dòng điện trên toàn tiết diện  $S$ , mà không diễn tả được độ mạnh, yếu của dòng điện tại từng điểm trên tiết diện  $S$ . Để đặc trưng cho dòng điện tại từng điểm trên tiết diện  $S$ , người ta đưa ra khái niệm *mật độ dòng điện*.

Gọi  $I$  là cường độ dòng điện qua tiết diện  $S$  đặt vuông góc với hướng chuyển động của các điện tích. Tỉ số:

$$j = \frac{I}{S} \quad (3.6)$$

được gọi là *mật độ dòng điện trung bình qua tiết diện ngang  $S$* .

Để tính mật độ dòng điện tại mỗi điểm  $M$  trong chất dẫn điện, ta xét một tiết diện ngang  $\Delta S$  đủ nhỏ bao quanh  $M$  và gọi  $\Delta I$  là cường độ dòng điện qua tiết diện  $\Delta S$  này thì giới hạn của tỉ số  $\Delta I/\Delta S$  khi  $\Delta S$  tiến tới không được gọi là *mật độ dòng điện tại  $M$* :

$$j = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta I}{\Delta S} = \frac{dI}{dS} \quad (3.7)$$

Các công thức định nghĩa (3.6) và (3.7) chứng tỏ rằng, *mật độ dòng điện chính là cường độ dòng điện qua một đơn vị diện tích  $S$  đặt vuông góc với hướng chuyển động của các điện tích*. Trong hệ SI, đơn vị đo mật độ dòng điện là ampe trên mét vuông ( $A/m^2$ ).

Kết hợp các công thức (3.6) và (3.7) với (3.5), suy ra, mật độ dòng điện  $j$  phụ thuộc vào mật độ hạt điện  $n_0$ , điện lượng  $q$  của hạt điện và vận tốc của chuyển động có hướng  $v_d$  của các hạt điện bởi công thức:

$$j = n_0 q v_d \quad (3.8)$$

hay dưới dạng vector:

$$\vec{j} = n_0 q \vec{v}_d \quad (3.9)$$

Vậy, *vector mật độ dòng điện tại mỗi điểm tỉ lệ thuận với vector vận tốc chuyển động có hướng của hạt điện tại điểm đó*.

Nếu biết mật độ dòng điện, ta sẽ tính được cường độ dòng điện qua tiết diện ngang  $S$  theo công thức:

$$I = \int_S dI = \int_S j dS \quad (3.10)$$

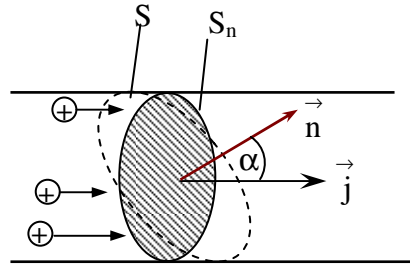
Gọi  $\vec{n}$  là pháp vector đơn vị của diện tích  $dS$  và quy ước  $d\vec{S} = dS \cdot \vec{n}$  thì ta có thể viết (3.10) dưới dạng:

$$I = \int_S \vec{j} \cdot d\vec{S} = \int_S j dS \cdot \cos \alpha \quad (3.11)$$

trong đó,  $\alpha$  là góc tạo bởi vector mật độ dòng điện  $\vec{j}$  với pháp vector đơn vị  $\vec{n}$  của diện tích  $S$ .

Công thức (3.11) có thể dùng để tính cường độ dòng điện qua một mặt cắt có diện tích  $S$  bất kì, không nhất thiết phải là tiết diện ngang.

Trường hợp mật độ dòng điện phân bố đều tại mọi điểm trên diện tích  $S$  (giá trị  $j$  không đổi tại mọi điểm), thì ta có:



$$I = j.S.\cos \alpha = j.S_n \quad (3.12)$$

Hình 3.5: Vector mật độ dòng điện

trong đó,  $S_n$  là hình chiếu của diện tích  $S$  lên phương vuông góc với vector mật độ dòng ( $S_n$  chính là *tiết diện thẳng* hay *tiết diện ngang*).

**Ví dụ 3.2:** Một dây chì tiết diện ngang  $S = 2\text{mm}^2$ , có dòng điện  $I = 5\text{A}$  chạy qua. Tính mật độ dòng điện qua dây chì. Dây chì này có thể chịu được dòng điện tối đa là bao nhiêu, nếu mật độ dòng cho phép là  $450\text{A/cm}^2$ ? Một động cơ điện có giới hạn dòng là  $18\text{A}$  thì phải dùng dây chì có đường kính tiết diện ngang bao nhiêu để bảo vệ động cơ?

**Giải**

Mật độ dòng điện qua dây chì:  $j = \frac{I}{S} = \frac{5\text{A}}{2\text{mm}^2} = 2,5 (\text{A/mm}^2) = 2,5.10^6 (\text{A/m}^2)$ .

Dòng điện tối đa cho phép qua dây chì này:

$$I_{\max} = j_{\text{gh}}.S = 450(\text{A} / \text{cm}^2).0,02(\text{cm}^2) = 9(\text{A}).$$

Nếu động cơ có giới hạn dòng  $I_{\max} = 18\text{A}$  thì tiết diện ngang của dây chì là:

$$S = \frac{I_{\max}}{j_{\text{gh}}} = \frac{18\text{A}}{450(\text{A} / \text{cm}^2)} = 0,04\text{cm}^2 = 4\text{mm}^2.$$

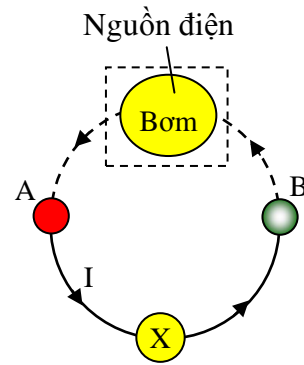
Để bảo vệ động cơ, phải dùng dây chì có đường kính tiết diện ngang là:

$$S = \pi \frac{d^2}{4} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4.4}{3,14}} = 2,26\text{mm}.$$

### 3.1.4 Nguồn điện, suất điện động

Xét vật A tích điện dương và vật B tích điện âm. Dùng dây dẫn, nối A với B thông qua một bóng đèn như hình 3.4. Do giữa AB có sự chênh lệch điện thế nên có dòng điện  $I$  chạy qua bóng đèn làm đèn sáng. Tuy nhiên, trong thời gian *tích tắc*, A và B sẽ cân bằng về điện thế và dòng điện sẽ không còn nữa.

Để duy trì dòng điện qua đèn lâu dài, ta phải giữ cho A luôn có điện thế cao hơn B. Muốn vậy, ta phải “*bơm*” các điện tích dương chạy ngược từ B về A. Vì lực điện trường không thể làm các điện tích dương chạy từ nơi có điện thế thấp về nơi có điện thế cao nên việc *bơm* các điện tích dương chạy ngược từ B trở về A được thực hiện bởi các nguồn lực bên ngoài như lực từ, lực hóa học... ta gọi đó là những lực “*lạ*”. Cơ cấu tạo ra trường lực lạ đó gọi là *nguồn điện*. B và A được gọi là hai cực của nguồn điện, B có điện thế thấp nên gọi là cực âm, A có điện thế cao nên gọi là cực dương.



**Hình 3.6:** Nguồn điện

Vậy, *nguồn điện là cơ cấu tạo ra trường lực lạ để duy trì dòng điện.*

Đặc trưng cho mỗi nguồn điện đó là “*sức mạnh*” của nguồn điện hay *khả năng bơm các điện tích* mạnh hay yếu, ta gọi đó là suất điện động của nguồn điện, và được định nghĩa là:

$$\xi = \frac{A^*}{q} = \int_B^A \vec{E}^* \cdot d\vec{\ell} \quad (3.13)$$

trong đó,  $A^*$  là công của trường lực lạ sinh ra khi dịch chuyển điện tích  $q$  từ B đến A;  $\vec{E}^*$  là cường độ của trường lực lạ;  $d\vec{\ell}$  là vi phân của đường đi; tích phân đường (3.13) được lấy từ cực âm đến cực dương của nguồn điện.

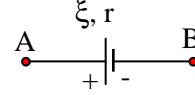
Vậy, *suất điện động của nguồn điện là đại lượng đặc trưng cho khả năng sinh công của nguồn điện, đo bằng công của trường lực lạ khi dịch chuyển một đơn vị điện tích dương từ cực âm sang cực dương của nguồn điện.*

Trong hệ đơn vị SI, đơn vị đo suất điện động là vôn (V), trùng với đơn vị đo điện thế, hiệu điện thế.

Khi nguồn điện làm việc, các điện tích dương sẽ được bơm từ cực âm sang cực dương, nghĩa là có dòng điện chạy qua nguồn điện. Dòng điện này sẽ làm nguồn điện nóng lên. Nói cách khác, các nguyên tử, phân tử của chất cấu tạo nên nguồn

điện đã cản trở dòng điện qua nguồn điện. Như vậy, mỗi nguồn điện, ngoài suất điện động  $\xi$  đều có điện trở nội  $r$ .

Trên sơ đồ mạch điện, nguồn điện được kí hiệu như hình 3.7



Hình 3.7: Kí hiệu nguồn điện

### 3.2. ĐỊNH LUẬT OHM

#### 3.2.1 Dạng vi phân của định luật Ohm

Mật độ dòng điện  $\vec{j}$  trong các chất phụ thuộc vào cường độ điện trường  $\vec{E}$  và bản chất của các chất đó. Đối với một số chất, đặc biệt là kim loại, *mật độ dòng điện tại mỗi điểm trong chất dẫn điện tỉ lệ thuận với cường độ điện trường tại điểm đó:*

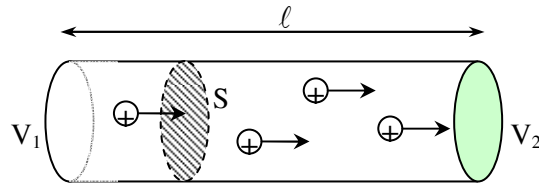
$$\vec{j} = \sigma \vec{E} \quad (3.14)$$

Hệ số tỉ lệ  $\sigma$  trong (3.14) đặc trưng cho khả năng dẫn điện của chất khảo sát nên gọi là *điện dẫn suất* của chất đó.

Sự tỉ lệ thuận giữa mật độ dòng  $j$  và cường độ điện trường  $E$  đối với kim loại ở một nhiệt độ nhất định đã được phát hiện vào năm 1827 bởi George Simon Ohm (1787 – 1854), nhà vật lý học người Đức, nên được gọi là *định luật Ohm*. Các chất tuân theo định luật Ohm được gọi là *chất dẫn điện tuyến tính* hay *thuận trở*; trái lại là *chất dẫn điện phi tuyến* hay *không thuận trở*.

#### 3.2.2 Định luật Ohm đối với đoạn mạch đồng chất

Xét một đoạn mạch đồng chất có dạng hình trụ, tiết diện ngang  $S$ , chiều dài  $\ell$  (hình 3.8). Gọi  $U$  là hiệu điện thế đặt vào hai đầu đoạn mạch thì điện trường trong lòng hình trụ là điện trường đều, có cường độ  $E = \frac{U}{\ell}$ . Do đoạn mạch



Hình 3.8: Định luật Ohm đối với đoạn mạch đồng chất, tiết diện đều



là đồng chất nên mật độ dòng điện phân bố đều trên tiết diện ngang  $S$  của đoạn mạch, ta có  $j = \frac{I}{S}$ . Thay vào (3.14), ta có  $\frac{I}{S} = \sigma \frac{U}{\ell}$ , hay

$$I = \left( \frac{\sigma S}{\ell} \right) U = kU = \frac{U}{R} \quad (3.15)$$

$$\text{trong đó, } k \text{ là hệ số tỉ lệ, } R = \frac{1}{k} = \frac{\ell}{\sigma S} \quad (3.16)$$

gọi là điện trở đoạn mạch đang xét.

Vậy, cường độ dòng điện qua một đoạn mạch tỉ lệ thuận với hiệu điện thế hai đầu đoạn mạch.

Biểu thức (3.15) là định luật Ohm đối với một đoạn mạch đồng chất, nó cũng được dùng để định nghĩa điện trở của một đoạn mạch bất kì. Điện trở của một đoạn mạch là tỉ số giữa hiệu điện thế áp vào hai đầu mạch với cường độ dòng điện qua nó:

$$R = \frac{U}{I} \quad (3.17)$$

Đối với một đoạn mạch hay dây dẫn đồng chất tiết diện đều, điện trở được tính bởi

$$\text{công thức: } R = \frac{\ell}{\sigma S} = \rho \frac{\ell}{S} \quad (3.18)$$

trong đó,  $\rho = 1/\sigma$  là điện trở suất của chất cấu tạo nên đoạn mạch hay dây dẫn đang xét.

Trong hệ SI, đơn vị đo điện trở là ôm ( $\Omega$ ), đơn vị đo điện trở suất là ôm mét ( $\Omega\text{m}$ ), đơn vị đo điện dẫn suất là  $(\Omega\text{m})^{-1}$ .

Điện trở suất của các kim loại phụ thuộc vào nhiệt độ theo quy luật:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t) \quad (3.19)$$

và do đó, điện trở của vật dẫn cũng biến thiên theo nhiệt độ:

$$R = R_0(1 + \alpha t) \quad (3.20)$$

trong đó,  $\alpha$  là hệ số nhiệt điện trở, có đơn vị đo là  $(1/^\circ\text{C}$  hay  $^\circ\text{C}^{-1}$ );  $\rho_0$ ,  $R_0$  là điện trở suất, điện trở ở  $0^\circ\text{C}$ ;  $\rho$ ,  $R$  là điện trở suất, điện trở ở  $t^\circ\text{C}$ .

Bảng 3.1 cho biết điện trở suất và hệ số nhiệt điện trở của một số chất.

**Bảng 3.2:** Điện trở suất ở  $20^{\circ}\text{C}$  và hệ số nhiệt điện trở của một số chất

Chất	Điện trở suất $\rho$ ( $\Omega\text{m}$ )	Hệ số nhiệt điện trở $\alpha$ ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ )
Vàng (Gold)	$2,44.10^{-8}$	$3,4.10^{-3}$
Bạc (Silver)	$1,59.10^{-8}$	$3,8.10^{-3}$
Đồng (Copper)	$1,7.10^{-8}$	$3,9.10^{-3}$
Nhôm (Aluminum)	$2,82.10^{-8}$	$3,9.10^{-3}$
Sắt (Iron)	$10.10^{-8}$	$5,0.10^{-3}$
Chì (Lead)	$22.10^{-8}$	$3,9.10^{-3}$
Tungsten	$5,6.10^{-8}$	$4,5.10^{-3}$
Platin (Platinum)	$11.10^{-8}$	$3,92.10^{-3}$
Silic (Silicon)	640	$-75.10^{-3}$

**Ví dụ 3.3:** Một cuộn dây điện dài 200 mét, tiết diện đều, bằng nhôm. Tính điện trở của cuộn dây này, biết đường kính tiết diện ngang của dây là 0,8 milimét. Nếu nối hai đầu dây với hiệu điện thế  $U = 6\text{V}$  thì cường độ và mật độ dòng điện trong sợi dây là bao nhiêu? Cho biết điện trở suất của nhôm là  $2,82.10^{-8}\Omega\text{m}$ .

**Giải**

Cho:  $\ell = 200\text{m}$ ;  $d = 0,8\text{mm} = 8.10^{-4}\text{m}$ ;  $U = 6\text{V}$ ;  $\rho = 2,82.10^{-8}\Omega\text{m}$ .

Hỏi:  $R$ ,  $I$ ,  $j$ ?

Diện tích tiết diện ngang của dây:

$$S = \pi \frac{d^2}{4} = 3,14 \cdot \frac{(8.10^{-4})^2}{4} = 5,024.10^{-7}\text{m}^2.$$

$$\text{Điện trở của cuộn dây: } R = \rho \frac{\ell}{S} = 2,82.10^{-8} \cdot \frac{200}{5,024.10^{-7}} \approx 11,23\Omega.$$

$$\text{Cường độ dòng điện qua dây dẫn: } I = \frac{U}{R} = \frac{6}{11,23} \approx 0,534\text{A}.$$

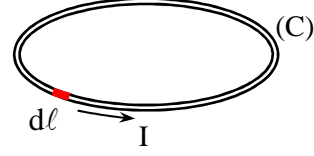
Mật độ dòng điện trong sợi dây:

$$j = \frac{I}{S} = \frac{0,534}{5,024 \cdot 10^{-7}} \approx 1,063 \cdot 10^6 (\text{A} / \text{m}^2) = 1,063 (\text{A} / \text{mm}^2).$$

### 3.2.3 Định luật Ohm đối với mạch điện kín

Xét một mạch điện kín (C) như hình 3.9. Ta viết lại

$$(3.14) \text{ dưới dạng: } \rho \vec{j} = \vec{E} \quad (3.21)$$



Nhân cả hai vế của (3.21) với độ dời  $d\vec{\ell}$  theo chiều dòng điện, rồi lấy tích phân trên toàn mạch kín, ta có:

**Hình 3.9:** Định luật Ohm cho mạch kín (C)

$$\oint_{(C)} \rho \vec{j} d\vec{\ell} = \oint_{(C)} \vec{E} d\vec{\ell} \quad \text{hay:} \quad \oint_{(C)} \rho j d\ell = \oint_{(C)} \vec{E} d\vec{\ell}$$

Gọi I là cường độ dòng điện trong mạch thì tại mỗi điểm trên tiết diện S, mật độ dòng điện có giá trị  $j = \frac{I}{S}$ . Do đó ta có:

$$\oint_{(C)} \vec{E} d\vec{\ell} = \oint_{(C)} \rho \cdot \frac{I}{S} d\ell = I \oint_{(C)} \rho \frac{d\ell}{S} = IR_{\text{tm}} \quad (3.22)$$

$$\text{trong đó} \quad R_{\text{tm}} = \oint_{(C)} \rho \frac{d\ell}{S} \quad (3.23)$$

là điện trở của toàn mạch.

(3.22) chứng tỏ rằng  $\oint_{(C)} \vec{E} d\vec{\ell} \neq 0$ . Nói cách khác, trong mạch kín phải tồn tại thêm một trường lực “lạ”, khác với lực điện trường (vì nếu chỉ có điện trường thì  $\oint_{(C)} \vec{E} d\vec{\ell} = 0$ ). Chính trường lực lạ này sinh ra công để duy trì dòng điện. Nguồn sinh ra trường lực lạ trong mạch được gọi là *nguồn điện*.

Gọi  $\vec{E}_e$  là cường độ điện trường và  $\vec{E}^*$  là cường độ trường lực lạ thì:

$$\oint_{(C)} \vec{E} d\vec{\ell} = \oint_{(C)} \vec{E}_e d\vec{\ell} + \oint_{(C)} \vec{E}^* d\vec{\ell} = 0 + \oint_{(C)} \vec{E}^* d\vec{\ell} = \xi \quad (3.24)$$

trong đó 
$$\xi = \oint_{(C)} \vec{E}^* \cdot d\vec{\ell} \quad (3.25)$$

được gọi là suất điện động của toàn mạch.

Kết hợp (3.25) với (3.22) ta có biểu thức của định luật Ohm đối với mạch điện kín

như sau: 
$$I = \frac{\xi}{R_{\text{tm}}} \quad (3.26)$$

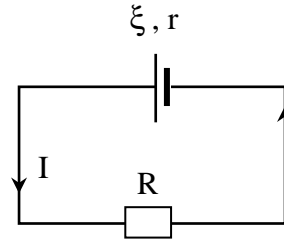
Đối với một mạch điện kín đơn giản như hình 3.10, ta có:

$$I = \frac{\xi}{R_{\text{tm}}} = \frac{\xi}{R + r} \quad (3.27)$$

trong đó,  $R$  là điện trở tương đương của mạch ngoài và  $r$  là điện trở nội hay điện trở trong của nguồn điện;  $\xi$  là suất điện động của nguồn điện.

Trường hợp mạch kín có nhiều nguồn mắc nối tiếp thì:

$$I = \frac{\sum_i \xi_i}{R + \sum_i r_i} \quad (3.28)$$



**Hình 3.10:** Sơ đồ mạch kín đơn giản

Trong (3.28), nếu dòng điện đi ra từ cực dương của nguồn nào thì suất điện động của nguồn đó có dấu dương, trái lại là dấu âm.

**Ví dụ 3.4:** Cho mạch điện kín như hình 3.11. Trong đó,  $\xi_1 = 12\text{V}$ ,  $r_1 = 2\Omega$ ,  $\xi_2 = 3\text{V}$ ,  $r_2 = 1\Omega$ ,  $R_1 = 5\Omega$ ,  $R_2 = 7\Omega$ . Tính cường độ dòng điện trong mạch, độ giảm thế trên các điện trở và hiệu điện thế  $U_{AB}$ ,  $U_{AM}$ ,  $U_{BM}$ .

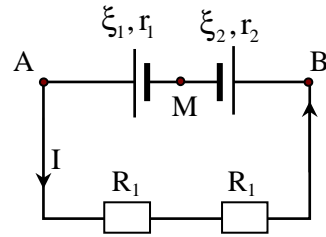
**Giải**

Áp dụng định luật Ohm mạch kín, ta có cường độ dòng điện trong mạch là:

$$I = \frac{\sum_i \xi_i}{R + \sum_i r_i} = \frac{\xi_1 - \xi_2}{R_1 + R_2 + r_1 + r_2} = \frac{12 - 3}{5 + 7 + 2 + 1} = 0,6\text{A}.$$

Độ giảm thế trên điện trở  $R_1$ :  $U_1 = IR_1 = 0,6 \cdot 5 = 3\text{V}$ .

Độ giảm thế trên điện trở  $R_2$ :  $U_2 = IR_2 = 0,6 \cdot 7 = 4,2\text{V}$ .



**Hình 3.11**

Hiệu điện thế giữa hai điểm A, B:  $U_{AB} = U_1 + U_2 = 7,2V$ .

Để tính hiệu điện thế giữa hai điểm A, M hoặc giữa hai điểm B, M ta áp dụng định luật Ohm tổng quát (xem mục 3.2.4):

$$U_{AM} = \xi_1 - Ir_1 = 12 - 0,6.2 = 10,8V.$$

$$U_{BM} = \xi_2 + Ir_2 = 3 - 0,6.1 = 3,6V.$$

### 3.2.4 Định luật Ohm tổng quát (đối với đoạn mạch bất kì)

Xét một đoạn mạch AB bất kì có thể có nhiều dòng điện và nhiều nguồn điện. Ta cũng nhân cả hai vế của (3.21) với độ dời  $d\vec{\ell}$ , rồi lấy tích phân trên đoạn AB, ta có:

$$\int_{(AB)} \vec{E} d\vec{\ell} = \int_{(AB)} (\vec{E}_e + \vec{E}^*) d\vec{\ell} = \int_{(AB)} \vec{E}_e d\vec{\ell} + \int_{(AB)} \vec{E}^* d\vec{\ell} = \int_{(AB)} \rho \frac{I}{S} d\ell$$

Số hạng  $\int_{(AB)} \vec{E}^* d\vec{\ell} = \sum_i \xi_i$  chính là tổng đại số suất điện động của các nguồn điện

trên đoạn AB; số hạng  $\int_{(AB)} \vec{E}_e d\vec{\ell} = V_A - V_B = U_{AB}$  là hiệu điện thế giữa hai điểm

A và B; số hạng  $\int_{(AB)} \rho \frac{I}{S} d\ell = \int_{(AB)} I \rho \frac{d\ell}{S} = \sum_i I_i R_i$  là tổng đại số các độ giảm thế

trên mỗi điện trở. Do đó, ta có:  $U_{AB} + \sum_i \xi_i = \sum_i I_i R_i$  (3.29a)

trong đó,  $\sum_i \xi_i$  là tổng đại số các suất điện động và  $\sum_i I_i R_i$  là tổng đại số các độ giảm thế trên các điện trở.

Trong (3.29a), suất điện động  $\xi_i$  sẽ có dấu dương khi chiều lấy tích phân đi xuyên từ cực âm sang cực dương của nguồn điện. Để thuận tiện, ta viết:

$$U_{AB} = \sum_i \xi_i + \sum_i I_i R_i \quad (3.29b)$$

với quy ước như sau: Đi từ A đến B, nếu gặp cực dương của nguồn nào trước thì suất điện động của nguồn đó lấy dấu dương, trái lại lấy dấu âm; nếu đi cùng chiều dòng điện của nhánh nào thì cường độ dòng điện của nhánh đó lấy dấu dương; trái lại lấy dấu âm.

Dễ dàng nghiệm ra rằng, trong trường hợp đoạn mạch AB chỉ có một dòng điện duy nhất và không có nguồn điện ( $\xi_i = 0$ ) thì từ (3.29) ta tìm được định luật Ohm

cho đoạn mạch thuần trở:  $U_{AB} = I \sum_i R_i = IR$ . Nếu mạch kín, A trùng với B và  $U_{AB} = 0$  thì từ (3.29) ta tìm được định luật Ohm cho mạch kín. Tóm lại (3.29) được áp dụng cho một đoạn mạch bất kì. Chính vì vậy nó được gọi là định luật Ohm tổng quát.

Áp dụng định luật Ohm, ta có thể phân giải được các mạch điện phức tạp.

**Ví dụ 3.5:** Cho mạch điện như hình 3.12. Biết  $\xi_1 = 10V$ ;  $r_1 = 1\Omega$ ;  $\xi_2 = 20V$ ;  $r_2 = 2\Omega$ ;  $\xi_3 = 30V$ ;  $r_3 = 3\Omega$ ;  $R_1 = 4\Omega$ ,  $R_2 = 3\Omega$ ,  $R_3 = 7\Omega$ . Tính hiệu điện thế giữa hai điểm A, B và hai điểm M, N. Nguồn nào phát điện, nguồn nào thu điện?

**Giải**

Giả sử dòng điện trong các nhánh có chiều như hình vẽ. Áp dụng định luật Ohm tổng quát lần lượt cho các nhánh 1, 2, 3, ta có:

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

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

$$U_{AB} = \xi_3 - I_3(r_3 + R_3) = 30 - 10I_3 \quad (3)$$

$$\text{Mặt khác, tại điểm A, ta có: } I_3 = I_1 + I_2 \quad (4)$$

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

$$\frac{30 - U_{AB}}{10} = \frac{U_{AB} - 10}{5} + \frac{U_{AB} - 20}{5}$$

$$\text{hay: } 30 - U_{AB} = 2U_{AB} - 20 + 2U_{AB} - 40$$

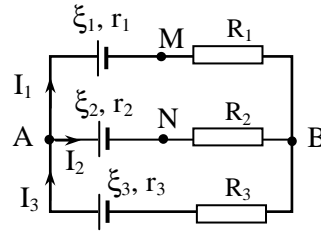
Từ đó ta có:  $U_{AB} = 18V$ . Thay vào các phương trình (1), (2), (3) ta được:

$$I_1 = 1,6A; I_2 = -0,4A; I_3 = 1,2A$$

Hiệu điện thế giữa hai điểm M, N:

$$U_{MN} = U_{MB} + U_{BN} = I_1R_1 - I_2R_2 = 1,6 \cdot 4 - (-0,4) \cdot 3 = 7,8V$$

Do  $I_1, I_3 > 0$  nên dòng điện trong các nhánh  $R_1, R_3$  có chiều đúng như đã chọn trên hình vẽ. Vậy nguồn 3 đang phát điện, nguồn 1 đang thu điện. Dòng  $I_2 < 0$  nên dòng điện qua nguồn 2 có chiều ngược với trên hình vẽ. Vậy, nguồn 2 đang phát điện. (Lưu ý, dòng điện đi ra từ cực dương của nguồn nào thì đó là nguồn phát, trái lại là nguồn thu).



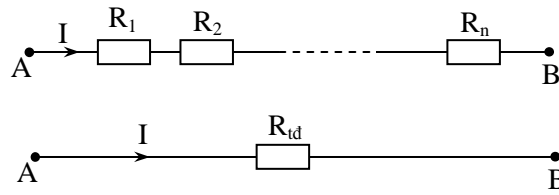
**Hình 3.12**

Vận dụng định luật Ohm ta có thể thay thế các điện trở ghép phức tạp thành một *điện trở tương đương*, hoặc thay thế các nguồn ghép phức tạp bằng một nguồn duy nhất tương đương với nguồn đã cho.

### 3.2.5 Ghép các điện trở

#### a) Ghép 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. Do tính liên tục của dòng điện nên cường độ dòng điện qua các phần tử mắc nối tiếp thì bằng nhau.



**Hình 3.13:** Đoạn mạch nối tiếp

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 3.13 luôn bằng nhau với mọi giá trị của hiệu điện thế  $U_{AB}$ .

Ta có:  $U_{AB} = U_1 + U_2 + \dots + U_n$ .

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

Vậy  $R_{td} = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum_{k=1}^n R_k$  (3.30)

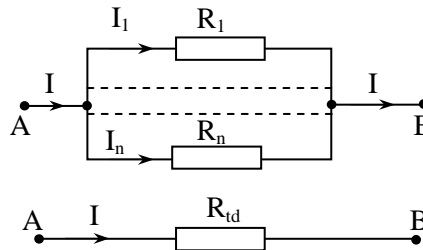
*Hệ quả:* Nếu  $R_1 = R_2 = \dots = R_n = R_0$  thì  $R_{td} = nR_0$  (3.31)

Tóm lại, đoạn mạch gồm các điện trở ghép nối tiếp thì:

- Cường độ dòng điện qua mỗi điện trở thì bằng nhau;
- Điện áp hai đầu mạch bằng tổng các điện áp rơi trên các điện trở;
- Điện trở tương đương của đoạn mạch bằng tổng các điện trở thành phần.

#### b) Mạch 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,



**Hình 3.14:** Đoạn mạch song song

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 3.14 luôn bằng nhau với mọi giá trị của hiệu điện thế  $U_{AB}$ .

Vì điện tích được bảo toàn nên tại điểm A ta có  $I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$

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

$$\text{Vậy: } \frac{1}{R_{td}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k} \quad (3.32)$$

Hệ quả:

$$\text{- Nếu } R_1 = R_2 = \dots = R_n = R_0 \text{ thì } R_{td} = \frac{R_0}{n} \quad (3.33)$$

- Nếu chỉ có hai điện trở  $R_1$  và  $R_2$  mắc song song với nhau thì

$$R_{td} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (3.34)$$

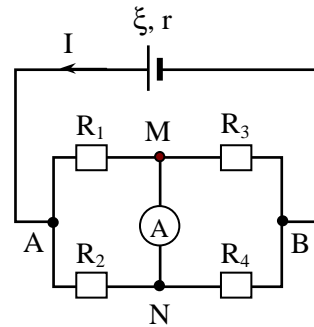
Tóm lại, đối với đoạn mạch gồm các điện trở ghép song song thì:

- Cường độ dòng điện qua đoạn mạch (mạch chính) bằng tổng cường độ dòng điện trong các nhánh;
- Điện áp hai đầu mỗi điện trở là bằng nhau;
- Nghịch đảo điện trở tương đương của đoạn mạch bằng tổng nghịch đảo các điện trở thành phần.

Từ (3.30) và (3.32) suy ra, khi ghép nối tiếp thì điện trở tương đương tăng, còn khi ghép song song thì điện trở tương đương giảm so với các điện trở thành phần.

**Ví dụ 3.6:** Cho mạch điện như hình 3.15, 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.

- a) Tính số chỉ của ampe kế. Nói rõ chiều dòng điện qua ampe kế.



Hình 3.15



- b) Thay ampe kế bằng vôn kế có điện trở rất lớn thì vôn kế chỉ bao nhiêu?  
Núm (+) của vôn kế nối vào điểm M hay N?

**Giải**

a) Giả sử chiều dòng điện trong các nhánh có chiều như hình 3.16. 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 3.17.

$$\text{Ta có: } R_{12} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{3.3}{3+3} = 1,5\Omega$$

$$R_{34} = \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} = \frac{3.6}{3+6} = 2\Omega$$

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

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

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

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

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

Tại điểm M trên hình 3.16, ta có:  $I_A = I_1 - I_3 = 1,025 - 1,367 = -0,342A$

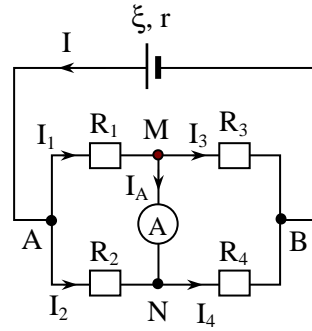
Vậy ampe kế chỉ 0,342A và dòng điện qua ampe kế có chiều từ N đến M (ngược với chiều trên hình 3.16).

b) Thay ampe kế bằng vôn kế (hình 3.18).

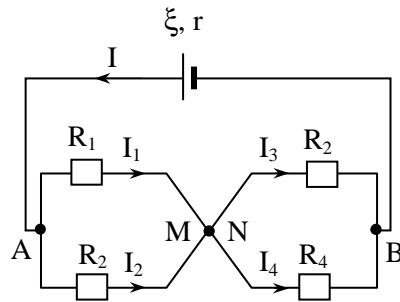
Do vôn kế có điện trở vô cùng lớn nên dòng điện không đi qua vôn kế. Ta gỡ bỏ vôn kế ra khỏi mạch (hình 3.19).

Ta có:  $(R_1 \text{ nối tiếp } R_3) // (R_2 \text{ nối tiếp } R_4)$ .

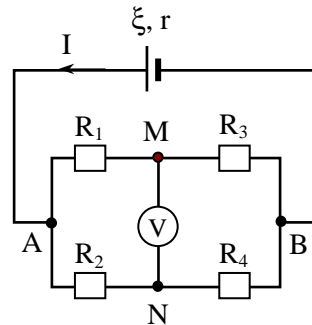
Ta có  $R_{13} = R_1 + R_3 = 6\Omega$ ;  $R_{24} = R_2 + R_4 = 9\Omega$



**Hình 3.16**



**Hình 3.17**



**Hình 3.18**

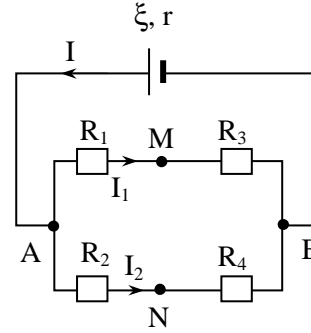
$$R_{AB} = \frac{R_{13} \cdot R_{24}}{R_{13} + R_{24}} = \frac{6 \cdot 9}{6 + 9} = 3,6 \Omega$$

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

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

$$I_1 = \frac{U_{AB}}{R_{13}} = \frac{7,2}{6} = 1,2A ;$$

$$I_2 = \frac{U_{AB}}{R_{24}} = \frac{7,2}{9} = 0,8A$$



Hình 3.19

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

Ta có  $U_{MN} = V_M - V_N < 0$  nên  $V_N > V_M$ : điểm N có điện thế cao hơn điểm M. Vậy vôn kế chỉ 1,2V và núm (+) của vôn kế phải nối vào điểm N.

### 3.2.6 Ghép các nguồn điện

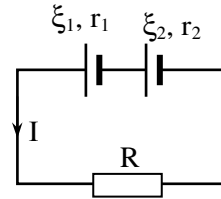
#### a) Ghép nối tiếp

**Đặt vấn đề:** Cho hai nguồn điện có 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 3.20). Tìm một nguồn thay thế tương đương với hai nguồn đó. Mở rộng trong trường hợp có n nguồn mắc nối tiếp.

**Giải**

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

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



Hình 3.20

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, nghĩa là:

$$I = \frac{\xi_1 + \xi_2}{R + r_1 + r_2} = \frac{\xi}{R + r_1 + r_2} \text{ với mọi giá trị của R.}$$

$$\text{Suy ra:} \quad \xi = \xi_1 + \xi_2 \quad \text{và} \quad r = r_1 + r_2 \quad (3.35)$$

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

$$\xi = \sum_{i=1}^n \xi_i ; \quad r = \sum_{i=1}^n r_i \quad (3.36)$$

**Chú ý:** trong (3.36), nếu có một nguồn nào mắc ngược cực thì suất điện động của nguồn đó có dấu âm.

**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 nối tiếp, bộ nguồn này tương đương với một nguồn có suất điện động và điện trở trong là:

$$\xi = n\xi_0; \quad r = nr_0 \quad (3.37)$$

#### b) Ghép song song

**Đặt vấn đề:** 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 3.21). Tìm một nguồn thay thế tương đương với hai nguồn đó. Mở rộng trong trường hợp có  $n$  nguồn mắc song song.

#### Giải

Giả sử dòng điện qua các nguồn và qua mạch chính được mô tả như trên hình 3.21. Áp dụng định luật Ohm tổng quát cho các đoạn mạch AB chứa nguồn  $\xi_1, \xi_2$  và chứa  $R$  ta có:

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

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

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

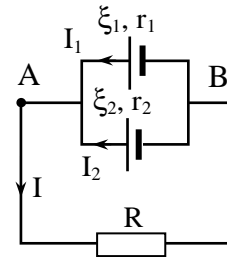
$$\text{Mặt khác: } I_1 + I_2 = I \quad (4)$$

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

$$\frac{\xi_1 - U_{AB}}{r_1} + \frac{\xi_2 - U_{AB}}{r_2} = \frac{U_{AB}}{R} \quad \text{hay: } U_{AB} \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) = \frac{\xi_1}{r_1} + \frac{\xi_2}{r_2}.$$

$$\text{Rút ra: } U_{AB} = \frac{\frac{\xi_1}{r_1} + \frac{\xi_2}{r_2}}{\frac{1}{R} + \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}} \quad (3.38)$$

Thay vào (3), ta suy ra được cường độ dòng điện qua  $R$  là:



Hình 3.21

$$I = \frac{U_{AB}}{R} = \frac{\frac{\xi_1}{r_1} + \frac{\xi_2}{r_2}}{1 + R \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)} \quad (3.39)$$

Nếu ta thay hai nguồn trên bằng một nguồn có suất điện động  $\xi$ , điện trở trong  $r$  thì

$$\text{cường độ dòng điện qua } R \text{ là: } I' = \frac{\xi}{R + r} = \frac{\frac{\xi}{r}}{1 + R \cdot \frac{1}{r}} \quad (3.40)$$

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  $R$ . Từ (3.39) và (3.40) suy ra:

$$\begin{cases} \frac{\xi}{r} = \frac{\xi_1}{r_1} + \frac{\xi_2}{r_2} \\ \frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \end{cases} \quad (3.41)$$

Công thức (3.41) cho phép xác định suất điện động và điện trở trong của một nguồn điện tương đương với hai nguồn mắc song song.

*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:

$$\begin{cases} \frac{\xi}{r} = \sum_{i=1}^n \frac{\xi_i}{r_i} \\ \frac{1}{r} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i} \end{cases} \quad (3.42)$$

*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:

$$\begin{cases} \xi = \xi_0 \\ r = \frac{r_0}{n} \end{cases} \quad (3.43)$$

Từ (3.37) và (3.43) suy rộng ra, trong trường hợp các nguồn giống nhau, ghép thành  $n$  dãy song song, trong mỗi dãy có  $m$  nguồn nối tiếp (ghép hỗn hợp đối xứng) thì suất điện động và điện trở trong tương đương của bộ nguồn là:

$$\begin{cases} \xi = m\xi_0 \\ r = \frac{mr_0}{n} \end{cases} \quad (3.44)$$

**Ví dụ 3.7:** Có 15 pin giống nhau, mỗi pin có suất điện động 12V, điện trở trong  $3\Omega$ . Hỏi có bao nhiêu cách ghép các pin này thành một bộ hỗn hợp đối xứng? Tính suất điện động và điện trở trong tương đương của bộ nguồn trong mỗi cách ghép đó.

### Giải

Giả sử các pin được mắc thành  $n$  dãy song song, mỗi dãy có  $m$  pin nối tiếp. Suất điện động của bộ nguồn được tính theo (3.44). Do  $m$  và  $n$  là các số nguyên dương nên ta có bốn trường hợp sau:

Số dãy song song: $n$	1	3	5	15
Số pin một dãy: $m$	15	5	3	1
Suất điện động của bộ nguồn: $\xi = m\xi_0$	180V	60V	36V	12V
Điện trở trong của bộ nguồn: $r = \frac{mr_0}{n}$	$45\Omega$	$5\Omega$	$1,8\Omega$	$0,2\Omega$

### 3.3 PHƯƠNG TRÌNH LIÊN TỤC CỦA DÒNG ĐIỆN

Xét một mặt kín ( $S$ ) trong môi trường có mật độ dòng điện  $\vec{j}$  (hình 3.22). Điện lượng di chuyển qua mặt kín ( $S$ ) trong một đơn vị thời gian là:  $\oint_{(S)} \vec{j} \cdot d\vec{S}$ . Gọi  $q$  là điện tích chứa trong mặt kín ( $S$ ) thì theo định luật bảo toàn điện tích, ta có:

$$\left| \oint_{(S)} \vec{j} \cdot d\vec{S} \right| = \left| \frac{dq}{dt} \right| \quad (3.45)$$

Theo quy ước, pháp tuyến tại mỗi điểm của mặt kín (S) luôn hướng ra ngoài. Do đó

$\vec{j} \cdot d\vec{S}_1 > 0$  và  $\vec{j} \cdot d\vec{S}_2 < 0$ . Mặt khác,

theo hình 3.22, tại  $dS_1$  dòng điện đi ra khỏi mặt kín (S) và tại  $dS_2$ , dòng điện đi vào mặt kín (S). Vì vậy, căn

cứ vào dấu của  $\oint_{(S)} \vec{j} \cdot d\vec{S}$  ta có thể

biết được chiều biến thiên của điện tích q trong mặt kín (S). Cụ thể, nếu

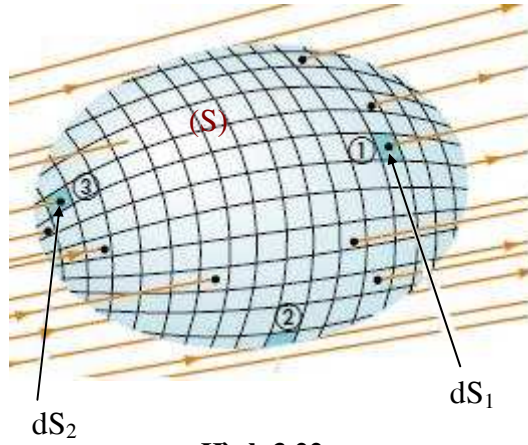
$\oint_{(S)} \vec{j} \cdot d\vec{S} > 0$  thì điện lượng đi ra

khỏi mặt (S) lớn hơn điện lượng đi vào, do đó điện lượng q chứa trong

mặt kín (S) sẽ giảm và  $\frac{dq}{dt} < 0$ ;

ngược lại, nếu  $\oint_{(S)} \vec{j} \cdot d\vec{S} < 0$  thì điện lượng đi vào (S) sẽ lớn hơn điện lượng đi ra

khỏi (S), khi đó  $\frac{dq}{dt} > 0$ .



Hình 3.22

Tóm lại, phương trình (3.45) trở thành:  $\oint_{(S)} \vec{j} \cdot d\vec{S} = -\frac{dq}{dt}$  (3.46)

Gọi  $\rho$  là mật độ điện tích thì  $q = \int_V \rho dV$  và  $\frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \int_V \rho dV \right) = \int_V \frac{\partial \rho}{\partial t} dV$

Vận dụng định lý Gauss trong toán học, biến tích phân mặt về tích phân khối, ta có:

$\oint_{(S)} \vec{j} \cdot d\vec{S} = \int_{(V)} \text{div } \vec{j} dV$ . Do đó (3.46) trở thành:  $\int_{(V)} \text{div } \vec{j} dV = -\int_V \frac{\partial \rho}{\partial t} dV$ .

Biểu thức này đúng với mọi thể tích V.

Vì thế ta có:  $\text{div } \vec{j} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$  hay  $\text{div } \vec{j} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$  (3.47)

(3.47) diễn tả định luật bảo toàn điện tích ở dạng vi phân, nó còn được gọi là phương trình liên tục của dòng điện.

Trong trường hợp dòng điện không đổi (dòng dừng) thì  $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ , ta có:

$$\operatorname{div} \vec{j} = 0 \quad (3.48)$$

Phương trình (3.48) cho biết, với bất kì mặt kín (S) nào trong môi trường có dòng dừng thì trong cùng một khoảng thời gian, điện lượng đi vào (S) luôn bằng điện lượng đi ra khỏi (S).

### 3.4 QUY TẮC KIRCHHOFF

Để tìm được cường độ dòng điện trong các nhánh của một mạch điện phức tạp, ta có thể vận dụng các định luật có tính chất tổng quát về dòng điện – đó là định luật Ohm và định luật Kirchhoff. Các định luật Kirchhoff thực chất chỉ là hệ quả của định luật Ohm tổng quát và định luật bảo toàn điện tích, nên gọi chính xác đó là những quy tắc Kirchhoff.

#### 3.4.1 Các khái niệm

*Mạch phân nhánh* là mạch điện gồm nhiều nhánh, mỗi nhánh có một hay nhiều phần tử (nguồn, điện trở, máy thu, ...) mắc nối tiếp. Trong mỗi nhánh, dòng điện chạy theo một chiều với cường độ xác định. Nói chung, dòng điện trong các nhánh khác nhau thì khác nhau.

*Nút mạng* là chỗ nối của các đầu nhánh – giao điểm của ba nhánh trở lên.

*Vòng kín (mắt mạng)* là tập hợp các nhánh liên tiếp tạo thành đường khép kín trong mạch điện.

#### 3.4.2 Các qui tắc Kirchhoff

**a) Quy tắc thứ nhất** (về nút mạng): Tổng dòng điện đi tới một nút mạng bất kỳ bằng tổng dòng điện đi ra khỏi nút mạng đó:

$$\sum I_{\text{in}} = \sum I_{\text{out}} \quad (3.49)$$

Quy tắc này được suy ra từ định luật bảo toàn điện tích.

**b) Quy tắc thứ hai** (về mắt mạng): Trong một mắt mạng bất kì, tổng đại số các suất điện động và các độ giảm thế trên các điện trở luôn bằng không:

$$\sum \xi_i + \sum I_i R_i = 0 \quad (3.50)$$

Trong (3.50), ta quy ước về dấu như sau: Chọn một chiều đi tùy ý. Theo chiều đi đó, nếu gặp cực dương của nguồn nào trước thì suất điện động của nguồn đó mang dấu dương; nếu đi cùng chiều dòng điện của nhánh nào thì cường độ dòng điện

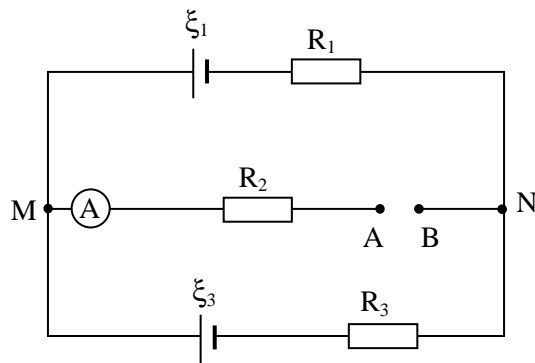
của nhánh đó mang dấu dương. Trái lại chúng mang dấu âm. (3.50) chính là hệ quả của định luật Ohm tổng quát.

### 3.4.3 Vận dụng quy tắc Kirchhoff để phân giải mạch điện

Vận dụng quy tắc Kirchhoff để phân giải mạch điện, ta tiến hành tuần tự các bước sau:

1. Giả định *chiều* cho dòng điện trong mỗi nhánh, giả thiết *cách mắc cực* của các nguồn chưa biết. Từ đó xác định số ẩn số phải tìm. Nếu có  $N$  ẩn số, phải thiết lập  $N$  phương trình độc lập.
2. Thành lập hệ phương trình Kirchhoff:
  - Viết các phương trình cho nút mạng: Nếu có  $m$  nút, ta viết  $(m - 1)$  phương trình (vì nếu viết  $m$  phương trình thì phương trình cuối cùng sẽ là hệ quả của các phương trình trước).
  - Viết các phương trình cho mắt mạng: Còn lại  $[N - (m - 1)]$  phương trình cho các mắt mạng. Để các phương trình độc lập nhau thì mỗi mắt mạng sau phải chứa ít nhất một nhánh mới. Thường ta viết cho các mắt mạng đơn giản nhất.
3. Giải hệ  $N$  phương trình và biện luận kết quả: Nếu nghiệm  $I$  hoặc suất điện động  $\xi$  mang dấu dương thì chiều hoặc cách mắc của nó trùng với giả định ban đầu, trái lại thì ngược với chiều giả định ban đầu.

**Ví dụ 3.8:** Cho mạch điện như hình 3.23, trong đó các nguồn có suất điện động  $\xi_1 = 8V$ ,  $\xi_3 = 5V$ ;  $R_1 = 2\Omega$ ,  $R_2 = 4\Omega$ ,  $R_3 = 3\Omega$ ; bỏ qua điện trở của các dây nối và điện trở trong của các nguồn điện. Phải mắc nguồn  $\xi_2$  có suất điện động bao nhiêu và mắc như thế nào vào hai điểm A, B để ampe kế chỉ 1A và dòng điện qua ampe kế có chiều từ M đến N ?



Hình 3.23

**Giải :**

Giả sử cực dương của nguồn  $\xi_2$  mắc vào điểm A và dòng điện trong các nhánh có chiều như trên hình 3.24. Bài toán có 3 ẩn số là  $I_1$ ,  $I_3$  và  $\xi_2$ , vậy ta cần lập 3 phương trình.

Có 2 nút mạng M và N, nên ta viết được 1 phương trình cho nút:  $I_1 + I_2 = I_3$

hay  $I_3 - I_1 = 1 \quad (1)$



Chọn chiều đi ngược chiều kim đồng hồ, ta viết được hai phương trình cho hai mắt (1) và (2) :

$$-\xi_1 + \xi_2 - I_1 R_1 + I_2 R_2 = 0$$

$$\text{hay } -8 + \xi_2 - 2I_1 + 4 = 0 \quad (2)$$

$$-\xi_2 + \xi_3 - I_2 R_2 - I_3 R_3 = 0$$

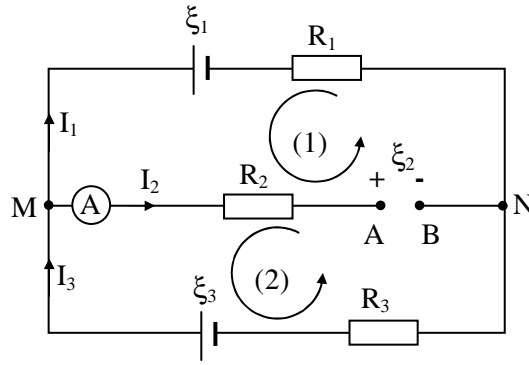
$$\text{hay } -\xi_2 + 5 - 4 - 3I_3 = 0 \quad (3)$$

Giải (1), (2), (3) ta được:

$$\xi_2 = +1,6\text{V} ;$$

$$I_1 = -1,2\text{A} ; I_3 = -0,2\text{A} .$$

**Vậy:** nguồn  $\xi_2 = 1,6\text{V}$ , mắc như giả thiết ban đầu: cực (+) nối vào A, cực âm nối vào B; dòng  $I_1 = 1,2\text{A}$ ; dòng  $I_3 = 0,2\text{A}$  và có chiều ngược với chiều trên hình 3.24.



Hình 3.24

### 3.5 ĐỊNH LUẬT JOULE – LENZ

Dòng điện chạy qua vật dẫn làm vật dẫn nóng lên. Đó là tác dụng nhiệt của dòng điện. Nhiệt lượng tỏa ra được xác định bởi định luật Joule – Lenz:

*Nhiệt lượng tỏa ra trên một đoạn mạch tỉ lệ thuận với bình phương cường độ dòng điện, với điện trở của đoạn mạch và thời gian dòng điện chạy qua.*

$$Q = I^2 R t \quad (3.51)$$

### 3.6 CÔNG VÀ CÔNG SUẤT CỦA DÒNG ĐIỆN

Dòng điện chạy qua một đoạn mạch nào đó sẽ sinh ra công. Công của dòng điện sinh ra trên đoạn mạch MN chính là công của lực điện trường làm di chuyển điện tích  $q$  giữa hai điểm đó.

$$\text{Ta có } A_{MN} = qU_{MN}, \text{ thay } q = It, \text{ ta có: } A = UI t \quad (3.52)$$

$$\text{Công suất của dòng điện trên đoạn mạch MN là: } P = \frac{A}{t} = UI \quad (3.53)$$

Trong (3.52) và (3.53) thì  $U$  là điện áp hai đầu mạch và  $I$  là cường độ dòng điện qua mạch.

Trong hệ SI, đơn vị đo công là jun (J), đơn vị đo công suất là oát (W). Trong thực tế, người ta còn dùng đơn vị kilô oát giờ (kWh) để đo điện năng hay công của dòng điện. Ta có:  $1\text{kWh} = 10^3 \text{ W} \times 3600\text{s} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ (J)}$ .

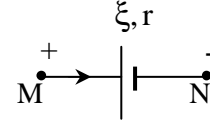
\* **Đối với đoạn mạch thuần trở:** ta có  $U = IR$ , do đó công suất là:

$$P = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (3.54)$$

\* **Đối với đoạn mạch chỉ chứa máy thu:** Máy thu điện là thiết bị dự trữ điện năng như pin, acqui đang được sạc điện (hình 3.25). Từ định luật Ohm tổng quát suy ra  $U_{MN} = \xi + Ir$ . Do đó công suất tiêu thụ của máy thu là:

$$P = \xi I + I^2 r \quad (4.55)$$

Số hạng  $\xi I$  chính là công suất chuyển hoá điện năng thành dạng năng lượng khác (ví dụ hóa năng); còn số hạng  $I^2 r$  chính là công suất tỏa nhiệt trên máy thu. Trong trường hợp này,  $\xi$  còn được gọi là *suất phản điện* của máy thu điện.



**Hình 3.25:** Đoạn mạch chỉ chứa máy thu

\* **Đối với mạch kín:** Nguồn điện cung cấp năng lượng cho mạch ngoài hoạt động, đồng thời dòng điện trong mạch cũng làm nguồn điện nóng lên (tỏa nhiệt trên nguồn). Do đó công suất của dòng điện sinh ra trong toàn mạch kín là:

$$P = UI + I^2 r = I^2 (R + r) \quad (3.56)$$

### 3.7 CÔNG SUẤT VÀ HIỆU SUẤT CỦA NGUỒN ĐIỆN

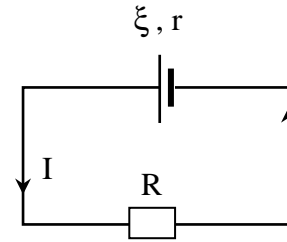
Xét mạch kín như hình 3.26. Trường lực lạ sinh công để "bơm" dòng điện chạy trong mạch. Công của nguồn điện chính là công của trường lực lạ và công này chuyển hoá thành công của dòng điện. Do đó, công suất của nguồn điện bằng công suất của dòng điện trong toàn mạch:

$$P_n = P_{\text{toàn mạch}} = UI + I^2 r = I^2 (R + r)$$

Mà theo định luật Ohm mạch kín:  $I = \frac{\xi}{R + r}$

Do đó công suất của nguồn điện là:

$$P_n = \xi I \quad (3.57)$$



**Hình 3.26:** Sơ đồ mạch kín đơn giản

Vậy, công suất của một nguồn điện bằng tích suất điện động của nguồn với cường độ dòng điện qua nguồn đó.

Khi nguồn phát điện, một phần năng lượng của nguồn cung cấp cho mạch ngoài hoạt động – năng lượng này là có ích; một phần năng lượng chuyển thành nhiệt làm nóng nguồn (do nguồn có điện trở nội) – năng lượng này là vô ích. Gọi  $P_n$  là công suất của nguồn điện,  $P_{hi}$  là công suất hữu ích thì tỉ số

$$H = \frac{P_{hi}}{P_n} \quad (3.58)$$

được gọi là *hiệu suất của nguồn điện*.

$$\text{Ta có: } H = \frac{P_{hi}}{P_n} = \frac{P_n - I^2 r}{P_n} = \frac{\xi I - I^2 r}{\xi I} = \frac{\xi - Ir}{\xi} = \frac{R}{R + r} \quad (3.59)$$

Từ (3.59) suy ra, hiệu suất của nguồn điện càng cao khi điện trở nội  $r$  của nguồn càng nhỏ.

Vấn đề đặt ra bây giờ là với một nguồn điện có suất điện động  $\xi$  và điện trở trong  $r$  cho trước thì nó có thể cấp ra mạch ngoài một công suất tối đa là bao nhiêu? Khảo sát vấn đề này, ta thiết lập mạch kín như hình 3.26. Công suất mà nguồn phát ra chính là công suất tiêu thụ ở mạch ngoài:

$$P = I^2 R = \frac{\xi^2}{(R + r)^2} \cdot R = \frac{\xi^2}{\left(\sqrt{R} + \frac{r}{\sqrt{R}}\right)^2} \quad (3.60)$$

Áp dụng bất đẳng thức Cauchy:  $\sqrt{R} + \frac{r}{\sqrt{R}} \geq 2\sqrt{r}$ , dấu “=” khi  $R = r$ .

$$\text{Do đó: } P \leq \frac{\xi^2}{4r} \quad (3.61)$$

Vậy, công suất lớn nhất mà nguồn có thể phát ra mạch ngoài là:

$$P_{\max} = \frac{\xi^2}{4r} \quad (3.62)$$

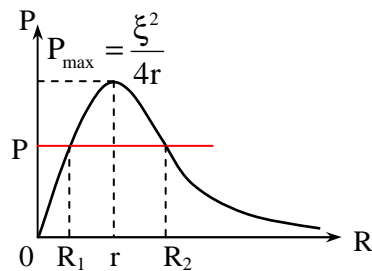
khi điện trở mạch ngoài bằng với điện trở trong của nguồn điện.

Công thức (3.62) cho phép ta ước tính số nguồn ít nhất để có thể cung cấp cho một mạch hoạt động bình thường. Ví dụ, phải dùng ít nhất bao nhiêu pin loại (6V – 1Ω) để có thể thắp sáng bình thường bóng đèn (6V – 24W)? Để trả lời câu hỏi này, trước tiên ta tính công suất lớn nhất mà mỗi pin có thể

cung cấp là  $P_{\max} = \frac{\xi^2}{4r} = \frac{6^2}{4 \cdot 1} = 9\text{W}$ . Mà đèn

sáng bình thường thì nó phải tiêu thụ công suất 24W. Vậy số pin không thể nhỏ hơn 3.

Sự biến thiên công suất  $P$  mà nguồn cấp ra

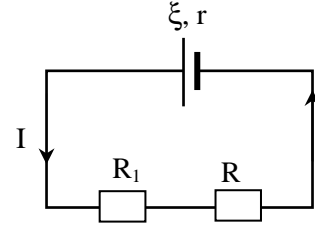


**Hình 3.27:** Công suất tiêu thụ của mạch ngoài biến thiên theo giá trị  $R$

mạch ngoài được biểu diễn trên đồ thị hình 3.27. Theo đó ta nhận thấy:

- Khi giá trị điện trở  $R$  của mạch ngoài tăng từ 0 đến  $r$  thì công suất tăng từ 0 đến giá trị cực đại, rồi giảm dần đến 0 khi  $R$  rất lớn.
- Luôn có hai giá trị điện trở  $R_1, R_2$  của mạch ngoài cùng tiêu thụ cùng một công suất  $P < P_{\max}$ . Hai giá trị đó chính là nghiệm của phương trình (3.60). Để dàng ta chứng minh được:  $R_1 \cdot R_2 = r^2$  (3.63)

**Ví dụ 3.9:** Cho mạch điện như hình 3.28, trong đó nguồn điện có suất điện động  $\xi = 12V$ , điện trở trong  $r = 3\Omega$ ; điện trở  $R_1 = 1\Omega$  và điện trở  $R$  thay đổi được.



Hình 3.28

- Tìm  $R$  để công suất tiêu thụ của mạch ngoài đạt giá trị cực đại; tính giá trị cực đại đó và tính hiệu suất của nguồn điện khi đó.
- Tìm  $R$  để công suất tiêu thụ trên  $R$  là cực đại, tính giá trị cực đại đó.
- Tìm  $R$  biết công suất tiêu thụ của mạch ngoài là  $9W$ .

**Giải**

a) Công suất tiêu thụ của mạch ngoài đạt giá trị cực đại khi điện trở mạch ngoài bằng điện trở trong của nguồn điện:  $R + R_1 = r$ .

Do đó:  $R = r - R_1 = 3 - 1 = 2\Omega$ .

Công suất cực đại mà mạch ngoài tiêu thụ là:  $P_{\max} = \frac{\xi^2}{4r} = \frac{12^2}{4 \cdot 3} = 12W$ .

Hiệu suất của nguồn điện khi đó:  $H = \frac{R}{R + r} = \frac{r}{2r} = 0,5 = 50\%$ .

b) Công suất tiêu thụ của  $R$ :

$$P_R = I^2 R = \frac{\xi^2}{(R + R_1 + r)^2} \cdot R = \frac{\xi^2}{(\sqrt{R} + \frac{R_1 + r}{\sqrt{R}})^2} \leq \frac{\xi^2}{4(R_1 + r)}$$

Do đó, giá trị lớn nhất  $P_{R\max} = \frac{\xi^2}{4(R_1 + r)} = \frac{12^2}{4 \cdot 4} = 9W$  khi  $R = R_1 + r = 4\Omega$ .

c) Khi công suất của mạch ngoài là  $9W$ , ta có:

$$P = I^2 (R + R_1) = \frac{\xi^2 (R + R_1)}{(R + R_1 + r)^2} \Leftrightarrow 9 = \frac{12^2 \cdot (R + 1)}{(R + 4)^2} \text{ hay } R^2 - 8R = 0.$$

Suy ra  $R = 8\Omega$ .

Vậy, khi  $R = 8\Omega$  thì công suất tiêu thụ ở mạch ngoài là  $9W$ .

### 3.8 PHÂN GIẢI MỘT SỐ MẠCH ĐIỆN

#### 3.8.1 Vận dụng định luật Ohm và quy tắc Kirchhoff

Mọi bài toán về mạch điện đều được phân giải dựa vào định luật Ohm và quy tắc Kirchhoff, như đã trình bày trong mục 3.4.3. Sau đây là một ví dụ minh họa thêm cho điều đó.

**Ví dụ 3.10:** Cho sơ đồ mạch điện như hình 3.10. Biết  $\xi_1 = 25\text{V}$ ,  $\xi_2 = 16\text{V}$ ,  $r_1 = r_2 = 2\Omega$ ;  $R_1 = R_2 = 10\Omega$ ,  $R_3 = R_4 = 5\Omega$ ,  $R_5 = 8\Omega$ . Tính cường độ dòng điện qua mỗi nhánh và các hiệu điện thế  $U_{AB}$ ,  $U_{AN}$ ,  $U_{BN}$ .

#### Giải

Giả sử dòng điện trong các nhánh có chiều như hình vẽ. Ta có 6 ẩn số là  $I_1, I_2, \dots, I_6$  nên phải thiết lập 6 phương trình độc lập.

Lần lượt viết các phương trình cho nút A, B, M ta có:

$$I_6 = I_1 + I_5$$

$$\text{hay } I_1 + I_5 - I_6 = 0 \quad (1)$$

$$I_2 + I_5 = I_4$$

$$\text{hay } I_2 + I_5 - I_4 = 0 \quad (2)$$

$$I_1 = I_2 + I_3$$

$$\text{hay } I_1 - I_2 - I_3 = 0 \quad (3)$$

Chọn chiều đi là chiều kim đồng hồ, lần lượt viết các phương trình cho mắt (1), (2), (3) ta có:

$$-\xi_2 + I_1 R_1 + I_3 R_3 + I_6 r_2 = 0 \quad \text{hay } -16 + 10I_1 + 5I_3 + 2I_6 = 0 \quad (4)$$

$$I_2 R_2 + I_4 R_4 - I_3 R_3 = 0 \quad \text{hay } 10I_2 + 5I_4 - 5I_3 = 0 \quad (5)$$

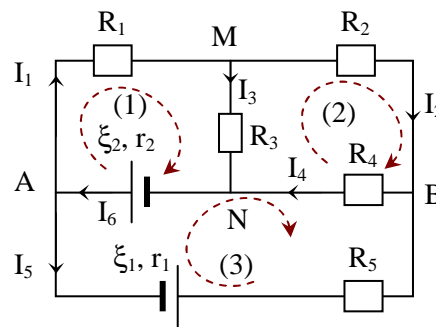
$$\xi_1 + \xi_2 - I_5(R_5 + r_1) - I_6 r_2 - I_4 R_4 = 0 \quad \text{hay } 41 - 10I_5 - 2I_6 - 5I_4 = 0 \quad (6)$$

Từ (1), (2), (3), (4), (5), (6) ta có hệ 6 phương trình. Để giải hệ này ta có thiết lập một ma trận 6 dòng 7 cột, rồi dùng các phép biến đổi sơ cấp đưa về dạng ma trận bậc thang. Từ đó tìm được nghiệm của hệ phương trình:

$$I_1 = 0,5\text{A}; I_2 = -0,5\text{A}; I_3 = 1\text{A}; I_4 = 2\text{A}; I_5 = 2,5\text{A}; I_6 = 3\text{A}$$

(dòng điện  $I_2$  có chiều ngược với chiều đã chọn)

Vận dụng định luật Ohm tổng quát, ta tính được các hiệu điện thế:



Hình 3.29

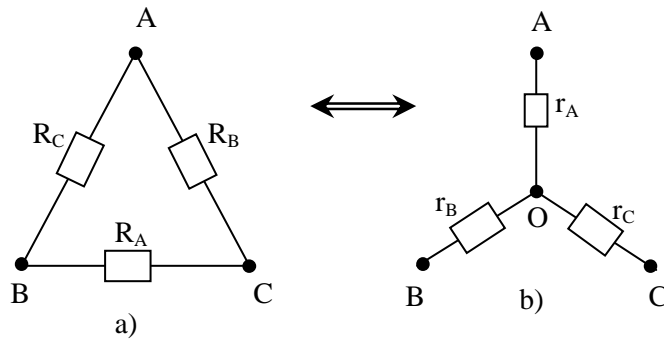
$$U_{AB} = -\xi_1 + I_5(r_1 + R_5) = -25 + 2,5.(2 + 8) = 0 \text{ V};$$

$$U_{AN} = \xi_2 - I_6 r_2 = 16 - 3.2 = 10 \text{ V}; \quad U_{BN} = I_4 R_4 = 2.5 = 10 \text{ V}.$$

### 3.8.2 Mạch tam giác – sao

Việc vận dụng các quy tắc Kirchhoff để giải mạch điện, đôi khi dẫn đến giải một hệ rất lớn các phương trình. Trong một số trường hợp, chúng ta có thể dùng các phương pháp biến đổi mạch tương đương trước khi vận dụng các quy tắc Kirchhoff để giảm bớt số lượng các phương trình. Một trong những phép biến mạch tương đương đó là chuyển mạch từ dạng *hình sao* sang *hình tam giác* và ngược lại.

Một mạch điện có dạng như hình 3.30a) gọi là *mạch tam giác* ( $\Delta$ ), như hình 3.30b) là *mạch sao* (Y). Trong một số trường hợp ta phải chuyển đổi qua lại giữa hai mạch này. Muốn vậy chúng phải tương đương nhau, nghĩa là điện trở của hai nút bất kì trong hai sơ đồ phải bằng nhau.



**Hình 3.30:** a) mạch tam giác; b) mạch sao.

$$\text{Ta có: } \begin{cases} R_{AB/\Delta} = R_{AB/Y} \\ R_{AC/\Delta} = R_{AC/Y} \\ R_{BC/\Delta} = R_{BC/Y} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \frac{R_C(R_A + R_B)}{R_A + R_B + R_C} = r_A + r_B \\ \frac{R_B(R_A + R_C)}{R_A + R_B + R_C} = r_A + r_C \\ \frac{R_A(R_B + R_C)}{R_A + R_B + R_C} = r_B + r_C \end{cases} \quad (3.64)$$

(3.64) diễn tả quan hệ giữa các điện trở của mạch tam giác và mạch sao tương đương. Nếu cho trước ba điện trở của mạch này, ta sẽ tìm được ba điện trở của mạch kia.

Giả sử ba điện trở của mạch ( $\Delta$ ) đã biết, để tìm ba điện trở của mạch (Y) tương đương, giải hệ phương trình (3.64), ta được:

$$\begin{cases} r_A = \frac{R_B R_C}{R_A + R_B + R_C} \\ r_B = \frac{R_C R_A}{R_A + R_B + R_C} \\ r_C = \frac{R_A R_B}{R_A + R_B + R_C} \end{cases} \quad (3.65)$$

Trường hợp đặc biệt: Nếu  $R_A = R_B = R_C = R_0$  thì  $r_A = r_B = r_C = \frac{R_0}{3}$  (3.66)

### 3.8.3 Mạch cầu

Nếu đoạn mạch AB có dạng như hình 3.31 thì ta gọi đó là mạch cầu. Giả sử các giá trị điện trở đã biết, ta phải tính cường độ dòng điện qua điện trở  $R_5$  theo cường độ mạch chính  $I$ .

Chọn chiều dòng điện trong mỗi nhánh như trong hình 3.32. Lần lượt áp dụng quy tắc Kirchhoff thứ nhất cho các nút A, B, M ta được:

$$I_2 = I - I_1 \quad (1)$$

$$I_4 = I - I_3 \quad (2)$$

$$I_1 = I_3 + I_5 \quad (3)$$

Áp dụng quy tắc Kirchhoff thứ hai cho các mắt mạng (1) và (2) ta được:

$$I_2 R_2 - I_5 R_5 - I_1 R_1 = 0 \quad (4)$$

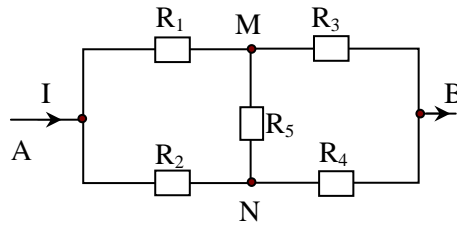
$$I_5 R_5 + I_4 R_4 - I_3 R_3 = 0 \quad (5)$$

Thay (1), (2), (3) vào (4) và (5) ta được hệ phương trình:

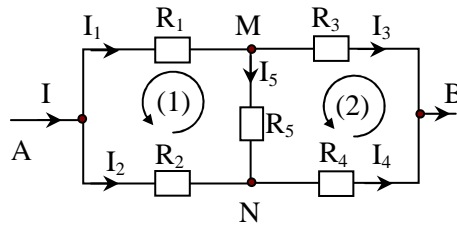
$$\begin{cases} (I - I_3 - I_5) R_2 - I_5 R_5 - (I_3 + I_5) R_1 = 0 \\ I_5 R_5 + (I - I_3) R_4 - I_3 R_3 = 0 \end{cases}$$

$$\text{hay} \quad \begin{cases} I_3 (R_1 + R_2) + I_5 (R_1 + R_2 + R_5) = I R_2 \\ I_3 (R_3 + R_4) - I_5 R_5 = I R_4 \end{cases} \quad (6)$$

Giải (6) ta tìm được cường độ dòng điện qua điện trở  $R_5$  là:



Hình 3.31: Mạch cầu



Hình 3.32

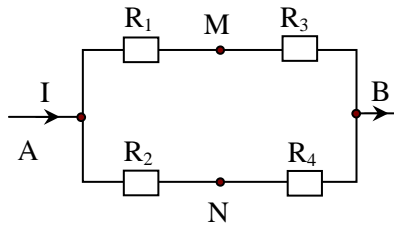
$$I_5 = I \frac{R_2 R_3 - R_1 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4) + R_5(R_1 + R_2 + R_3 + R_4)} \quad (3.67)$$

Giá trị của dòng điện qua *nhánh cầu*  $R_5$  phụ thuộc vào quan hệ giữa các giá trị của các điện trở khác trong mạch. Từ kết quả (3.67), ta đưa ra cách giải bài toán mạch cầu như sau:

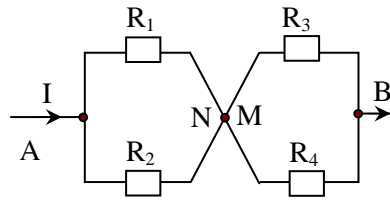
**a) Trường hợp 1**

Nếu  $R_2 R_3 - R_1 R_4 = 0$  hay  $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$  (3.68)

thì  $I_5 = 0$  và điện thế  $V_M = V_N$ . Ta nói mạch cầu đang ở trạng thái *cân bằng* và (3.68) được gọi là *điều kiện cân bằng của mạch cầu*.



Hình 3.33

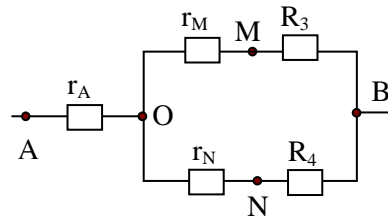


Hình 3.34

Trường hợp này ta có thể biến đổi mạch cầu về các mạch đơn giản như sau: hoặc là bỏ  $R_5$  ra khỏi mạch điện và để được sơ đồ như hình (3.33); hoặc là chập M với N để được sơ đồ như hình (3.34). Với các sơ đồ (3.33) hoặc (3.34), việc phân giải là đơn giản, bạn đọc tự làm tiếp.

**b) Trường hợp 2:**  $\frac{R_1}{R_2} \neq \frac{R_3}{R_4}$ , mạch cầu không cân bằng.

Ta có thể biến đổi ba nút A, M, N từ dạng *mắc tam giác* sang *mắc hình sao* và do đó, mạch cầu được đưa về dạng như hình 3.35, trong đó  $r_A, r_M, r_N$  liên hệ với  $R_1, R_2, R_5$  bởi (3.65). Việc phân giải mạch (3.35) cũng rất đơn giản, bạn đọc tự làm tiếp.



Hình 3.35

**Ví dụ 3.11:** Cho mạch cầu như sơ đồ hình 3.31, trong đó  $R_1 = 10\Omega$ ,  $R_2 = 20\Omega$ ,  $R_3 = 4\Omega$ ,  $R_4 = 60\Omega$ ,  $R_5 = 10\Omega$ ,  $U_{AB} = 12V$ . Tính điện trở tương đương của đoạn mạch AB, cường độ dòng điện qua mỗi điện trở.

**Giải**



Để thấy mạch cầu không cân bằng. Ta chuyển mạch về sơ đồ hình 3.35.

$$\text{Ta có: } r_A = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_5} = \frac{10 \cdot 20}{10 + 20 + 10} = 5\Omega$$

$$r_M = \frac{R_1 R_5}{R_1 + R_2 + R_5} = \frac{10 \cdot 10}{10 + 20 + 10} = 2,5\Omega$$

$$r_N = \frac{R_5 R_2}{R_1 + R_2 + R_5} = \frac{10 \cdot 20}{10 + 20 + 10} = 5\Omega$$

Với sơ đồ hình (3.5) ta có:

$$R_{OB} = \frac{(r_M + R_3)(r_N + R_4)}{r_M + R_3 + r_N + R_4} = \frac{(2,5 + 4)(5 + 60)}{2,5 + 4 + 5 + 60} = \frac{65}{11} \approx 5,91\Omega$$

$$R_{AB} = r_A + R_{OB} = 5 + 5,91 = 10,91\Omega.$$

$$\text{Cường độ dòng điện qua } r_A: I = \frac{U_{AB}}{R_{AB}} = \frac{12}{10,91} = 1,1A$$

$$\text{Hiệu điện thế giữa hai điểm O, B: } U_{OB} = IR_{OB} = 1,1 \cdot 5,91 = 6,5V$$

$$\text{Cường độ dòng điện qua } R_3: I_3 = \frac{U_{OB}}{r_M + R_3} = \frac{6,5}{2,5 + 4} = 1A$$

$$\text{Cường độ dòng điện qua } R_4: I_4 = \frac{U_{OB}}{r_N + R_4} = \frac{6,5}{5 + 60} = 0,1A$$

$$\text{Hiệu điện thế giữa hai điểm A, M: } U_{AM} = Ir_A + I_3 r_M = 1,1 \cdot 5 + 1 \cdot 2,5 = 8V$$

$$\text{Cường độ dòng điện qua } R_1: I_1 = \frac{U_{AM}}{R_1} = \frac{8}{10} = 0,8A$$

$$\text{Hiệu điện thế giữa hai điểm A, N: } U_{AN} = Ir_A + I_4 r_N = 1,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 = 6V$$

$$\text{Cường độ dòng điện qua } R_2: I_2 = \frac{U_{AN}}{R_2} = \frac{6}{20} = 0,3A$$

Hiệu điện thế giữa hai điểm M, N:

$$U_{MN} = U_{MA} + U_{AN} = -U_{AM} + U_{AN} = -8 + 6 = -2V$$

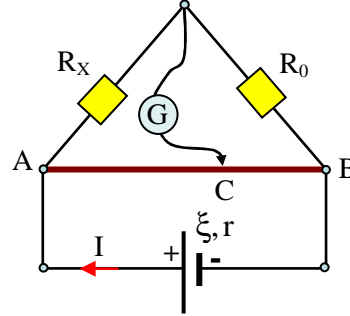
Điều này chứng tỏ điểm N cao thế hơn điểm M và dòng điện qua  $R_5$  có chiều từ N đến M.

$$\text{Cường độ dòng điện qua } R_5: I_5 = \frac{U_{NM}}{R_5} = \frac{2}{10} = 0,2A$$

### 3.8.4 Đo điện trở bằng cầu Wheatstone

Một trong những ứng dụng của mạch cầu là đo điện trở. Để đo giá trị của điện trở  $R_x$ , ta mắc thành mạch cầu Wheatstone như hình 3.36, trong đó  $R_0$  là điện trở mẫu đã biết giá trị, AB là một đoạn dây dẫn đồng chất tiết diện đều, G là một điện kế hoặc ampe kế. Di chuyển con chạy C trượt từ từ trên đoạn AB, ta sẽ xác định được vị trí mà tại đó điện kế chỉ số không. Lúc này mạch cầu đang cân bằng, ta có tỉ số:

$$\frac{R_x}{R_{AC}} = \frac{R_0}{R_{BC}} \text{ hay } R_x = R_0 \frac{R_{AC}}{R_{BC}}$$



**Hình 3.36:** Đo điện trở bằng cầu Wheatstone

Do dây dẫn AB là đồng chất, tiết diện đều nên điện trở  $R_{AC}$  và  $R_{BC}$  tỉ lệ thuận với chiều dài của chúng. Do đó ta có:

$$R_x = R_0 \frac{R_{AC}}{R_{BC}} = R_0 \frac{AC}{BC} \quad (3.69)$$

Đo chiều dài AC, BC ta sẽ tính được  $R_x$ .

**Ví dụ 3.12:** Dùng mạch cầu Wheatstone như hình 3.36 để đo điện trở  $R_x$ . Biết  $R_0 = 60\Omega$ , dây AB dài 100cm. Dịch chuyển con chạy C đến khi điện kế G chỉ số không, đo khoảng cách  $AC = 40\text{cm}$ . Tính giá trị của  $R_x$ .

#### Giải

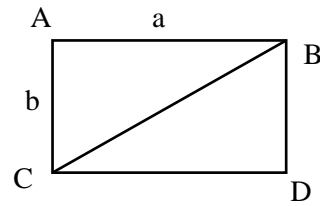
Thiết lập điều kiện cân bằng của mạch cầu, ta rút ra công thức 3.39. Từ đó tính

$$\text{được giá trị } R_x = R_0 \frac{AC}{BC} = 60 \cdot \frac{40}{100 - 40} = 60\Omega.$$

## BÀI TẬP

**B3.1** Một dây đồng chất, điện trở suất là  $\rho$ , tiết diện đều  $S$ , được uốn thành mạch điện hình chữ nhật cạnh  $a, b$ , đường chéo  $BC$  như hình 3.37. Tính điện trở của mạch điện khi:

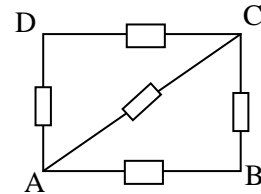
- Dòng điện vào  $C$ , ra  $B$ .
- Dòng điện vào  $C$  ra  $D$ .
- Dòng điện vào  $A$ , ra  $D$ .
- Xét lại các trường hợp trên khi  $a = b$ .



Hình 3.37

**B3.2** Cho sơ đồ mạch điện như hình 3.38, mỗi điện trở có giá trị  $R$ . Tính điện trở tương đương của mạch theo  $R$  khi:

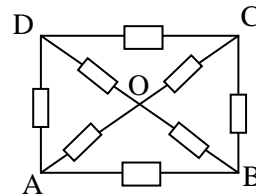
- Dòng điện vào  $A$  ra  $C$ .
- Dòng điện vào  $A$  ra  $B$ .
- Dòng điện vào  $B$  ra  $D$ .



Hình 3.38

**B3.3** Cho sơ đồ mạch điện như hình 3.39, mỗi điện trở có giá trị  $R$ . Tính điện trở tương đương của mạch theo  $R$  khi:

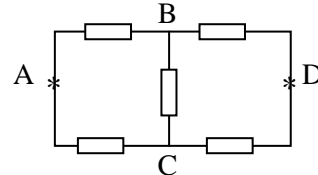
- Dòng điện vào  $A$  ra  $C$ .
- Dòng điện vào  $A$  ra  $B$ .
- Dòng điện vào  $A$  ra  $O$ .



Hình 3.39

**B3.4** Cho sơ đồ mạch điện như hình 3.40, mỗi điện trở có giá trị  $R$ . Tính điện trở tương đương của mạch theo  $R$  khi:

- Dòng điện vào  $A$  ra  $D$ .
- Dòng điện vào  $A$  ra  $B$ .
- Dòng điện vào  $B$  ra  $C$ .

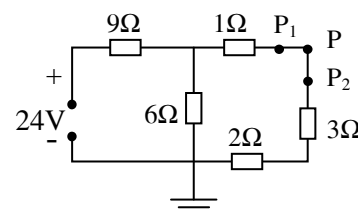


Hình 3.40

**B3.5** Cho đoạn mạch như hình 3.41. Tính điện thế tại điểm  $P_1, P_2$  trước và sau khi đứt mạch tại  $P$ .

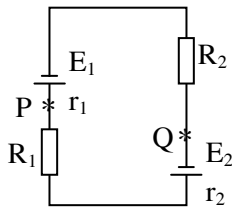
**B3.6** Cho mạch điện như hình 3.42:  $E_1 = 3V$ ,  $E_2 = 12V$ ,  $R_1 = 4\Omega$ ,  $r_1 = r_2 = 1\Omega$ ,  $R_2 = 3\Omega$ . Tính độ giảm thế ở hai đầu các điện trở  $R_1, R_2$  và hiệu điện thế giữa hai điểm  $PQ$ .

**B3.7** Cho mạch điện như hình 3.43:  $E = 12V$ ,  $r = 2\Omega$ ,  $R_V$  rất lớn,  $R_1 = 8\Omega$ ,  $R_2 = 16\Omega$ ,  $R_3 = 2\Omega$ . Tính số chỉ của vôn kế khi  $R_4 = 4\Omega$  và khi  $R_4 = 10\Omega$ .

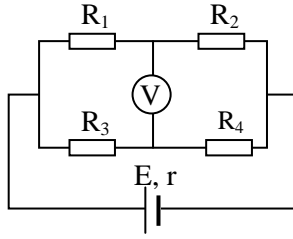


Hình 3.41

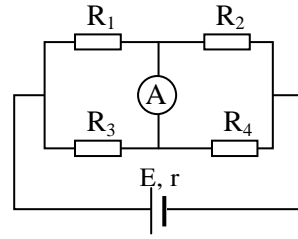
**B3.8** Cho mạch điện như hình 3.44:  $E = 9V$ ,  $r = 2,1\Omega$ ,  $R_A = 0$ ,  $R_1 = 6\Omega$ ,  $R_2 = 15\Omega$ ,  $R_3 = 4\Omega$ ; Tính số chỉ của ampe kế khi  $R_4 = 10\Omega$  và khi  $R_4 = 15\Omega$ .



Hình 3.42

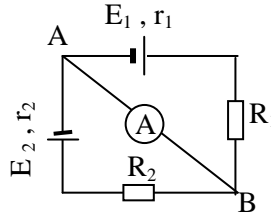


Hình 3.43

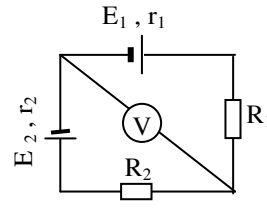


Hình 3.44

**B3.9** Cho mạch điện như hình 3.45, trong đó:  $E_1 = 3V$ ,  $r_1 = 1\Omega$ ,  $E_2 = 6V$ ,  $r_2 = 1\Omega$ ,  $R_1 = R_2 = 5\Omega$ .  $R_A = 0\Omega$ . Tính số chỉ của ampe kế. Đảo cực nguồn  $E_1$ , tìm lại số chỉ của ampe kế.

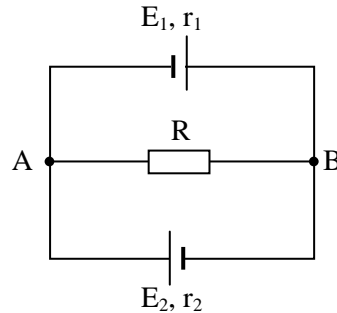


Hình 3.45



Hình 3.46

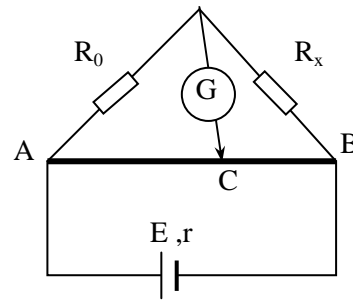
**B3.10** Cho mạch điện như hình 3.46:  $E_1 = 3V$ ,  $r_1 = 1\Omega$ ,  $E_2 = 6V$ ,  $r_2 = 1\Omega$ ,  $R_1 = R_2 = 5\Omega$ ,  $R_V$  rất lớn. Tính số chỉ của vôn kế. Đảo cực nguồn  $E_1$ , tìm lại số chỉ của vôn kế.



Hình 3.47

**B3.11** Cho mạch điện như hình 3.47:  $E_1 = 9V$ ,  $E_2 = 3V$ ,  $r_1 = r_2 = 1\Omega$ ,  $R = 2\Omega$ . Tính cường độ dòng điện qua các nhánh và hiệu điện thế giữa hai điểm A, B. Tìm lại kết quả trên, nếu đảo cực nguồn  $E_1$ .

**B3.12** Hình 3.48 là sơ đồ đo điện trở bằng cầu Wheatstone.  $R_0$  là một điện trở mẫu đã biết,  $R_x$  là điện trở cần đo, AB là một thanh kim loại đồng chất, tiết điện đều. Di chuyển con chạy C đến khi điện kế G chỉ số 0, đo chiều dài AC = 20cm; BC = 40cm. Tính  $R_x$ , biết  $R_0 = 10\Omega$ .



Hình 3.48

**B3.13** Cần ghép ít nhất bao nhiêu nguồn loại 6V,  $1\Omega$  và ghép như thế nào để thấp sáng bình thường một bóng đèn 6V – 24W?

**B3.14** Acqui có suất điện động 12V, điện trở

trong  $3\Omega$  thì có thể thấp sáng bình thường tối đa bao nhiêu đèn loại  $6V - 3W$ , mắc chúng như thế nào?

**B3.15** Một acqui có suất điện động  $24V$ , điện trở trong  $6\Omega$ , dùng để thấp sáng bình thường 6 bóng đèn loại  $6V - 3W$ . Hỏi phải mắc các đèn như thế nào để chúng sáng bình thường? Cách mắc nào có hiệu suất cao nhất.

**B3.16** Có 10 pin giống nhau, mỗi pin có suất điện động  $3V$ , điện trở trong  $1\Omega$ , ghép thành bộ hỗn hợp đối xứng để cấp điện ra mạch ngoài là một điện trở  $R = 2,5\Omega$ . Xác định cách ghép để bộ nguồn phát ra mạch ngoài dòng điện lớn nhất. Tính cường độ dòng điện đó.

**B3.17** Ghép song song  $R_1 = 2\Omega$  và  $R_2 = 8\Omega$  rồi mắc nối tiếp chúng với điện trở  $R_x$  sau đó mắc chúng vào một nguồn điện có suất điện động  $E = 12V$  và điện trở trong  $r = 4\Omega$ . a) Tính  $R_x$  để công suất toả nhiệt ở mạch ngoài là lớn nhất. Tính giá trị lớn nhất đó. b) Tính  $R_x$  để công suất toả nhiệt trên  $R_x$  là lớn nhất. Tính giá trị lớn nhất đó.

## CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM

### Kiến thức cốt lõi

**3.1** Chọn phát biểu SAI:

- A) Dòng điện là dòng chuyển dời có hướng của các hạt mang điện.
- B) Dòng điện không đổi là dòng điện có chiều và cường độ không đổi theo thời gian.
- C) Dòng điện trong kim loại là dòng chuyển dời có hướng của các electron tự do.
- D) Chiều của dòng điện là chiều chuyển động của các hạt mang điện.

**3.2** Đơn vị đo cường độ dòng điện trong hệ SI là:

- A) coulomb (C).
- B) ampe (A).
- C) vôn (V).
- D) ampe trên mét vuông ( $A/m^2$ ).

**3.3** Đơn vị đo mật độ dòng điện trong hệ SI là:

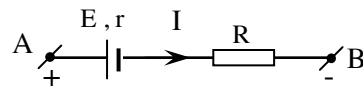
- A) coulomb (C).
- B) ampe (A).
- C) vôn (V).
- D) ampe trên mét vuông ( $A/m^2$ ).

**3.4** Đèn ống (đèn neon) phát sáng là do các phân tử khí bị ion hoá thành các ion<sup>+</sup>, ion<sup>-</sup> và electron; các điện tích này chuyển động về các điện cực, trên đường đi chúng tái hợp với nhau, va chạm với nguyên tử, phân tử khí, với chất huỳnh quang trên thành trong của đèn ống và phát sáng. Giả sử trong quá trình ion hoá do va chạm, chỉ sinh ra các ion một điện tích. Tính cường độ dòng điện qua đèn, biết rằng cứ mỗi giây có  $1,1 \cdot 10^{18}$  ion<sup>+</sup> đồng thời có  $3,1 \cdot 10^{18}$  ion<sup>-</sup> và electron về đến các điện cực.

- A) 0,18A
- B) 0,32A
- C) 0,5A
- D) 0,68A

- 3.5** Trong 5 giây, có điện lượng 2C chuyển qua tiết diện thẳng của dây dẫn. Tính giá trị trung bình của cường độ dòng điện trong dây dẫn.  
A) 2,5 A.      B) 0,4 A.      C) 10 A.      D) 0 A.
- 3.6** Một dòng điện không đổi  $I = 10A$  chạy qua một dây dẫn. Tính điện lượng chuyển qua dây dẫn đó trong 5 phút.  
A) 50 C.      B) 3000 C.      C) 30 C.      D) 0,5 C.
- 3.7** Một dòng điện không đổi  $I = 10A$  chạy qua dây dẫn có tiết diện thẳng  $2mm^2$ . Tính mật độ dòng điện trung bình qua dây dẫn.  
A) 5 A/m<sup>2</sup>.      B) 20 A/mm<sup>2</sup>.      C) 5 A/mm<sup>2</sup>.      D) 0,2 A/mm<sup>2</sup>.
- 3.8** Cầu chì có dây chì tiết diện ngang  $2mm^2$  sẽ bị đứt khi dòng điện qua nó là bao nhiêu, nếu mật độ dòng điện giới hạn của chì là  $450A/cm^2$ ?  
A) 5 A      B) 9 A      C) 10 A      D) 12A
- 3.9** Cầu chì sẽ bị đứt ngay khi mật độ dòng điện qua dây chì là  $450A/cm^2$ . Một động cơ điện có dòng giới hạn là 9A. Hỏi phải dùng dây chì có đường kính bao nhiêu để bảo vệ động cơ?  
A) 2,25 mm      B) 1,6 mm      C) 2 mm      D) 2,5 mm
- 3.10** Hai cuộn dây dẫn đồng chất, tiết diện dây ở cuộn 1 lớn gấp 2 lần tiết diện dây ở cuộn 2. Điện trở của cuộn 1 là  $R_1 = 10\Omega$  và cuộn 2 là  $R_2 = 15\Omega$ . Tính chiều dài mỗi cuộn dây, biết chúng hơn kém nhau 20m.  
A)  $\ell_1 = 60\text{ m}; \ell_2 = 80\text{ m}$       B)  $\ell_1 = 80\text{m}; \ell_2 = 60\text{m}$   
C)  $\ell_1 = 40\text{ m}; \ell_2 = 20\text{ m}$       D)  $\ell_1 = 20\text{ m}; \ell_2 = 40\text{ m}$
- 3.11** Hai điện trở  $R_1 = 20\Omega, R_2 = 30\Omega$  ghép nối tiếp. Điện trở tương đương của chúng là bao nhiêu?  
A) 50 $\Omega$ .      B) 12 $\Omega$ .      C) 10 $\Omega$ .      D) 25 $\Omega$ .
- 3.12** Hai điện trở  $R_1 = 20\Omega, R_2 = 30\Omega$  ghép song song. Điện trở tương đương của chúng là bao nhiêu?  
A) 50 $\Omega$ .      B) 12 $\Omega$ .      C) 120 $\Omega$ .      D) 10 $\Omega$ .
- 3.13** Hai điện trở  $R_1 = 20\Omega, R_2 = 30\Omega$  ghép nối tiếp vào nguồn điện  $U = 24V$ . Tính điện áp  $U_1, U_2$  ở hai đầu  $R_1, R_2$ .  
A)  $U_1 = U_2 = 12V$ .      B)  $U_1 = 9,6V; U_2 = 14,4V$ .  
C)  $U_1 = 14,4V; U_2 = 9,6V$ .      D)  $U_1 = U_2 = 24V$ .
- 3.14** Hai điện trở  $R_1 = 20\Omega, R_2 = 30\Omega$  ghép song song vào nguồn điện  $U = 24V$ . Tính cường độ dòng điện  $I_1, I_2$  qua  $R_1, R_2$ .  
A)  $I_1 = I_2 = 0,48A$ .      B)  $I_1 = 1,2A; I_2 = 0,8A$ .  
C)  $I_1 = 0,8A; I_2 = 1,2A$ .      D)  $I_1 = I_2 = 2A$ .
- 3.15** Có 5 điện trở giống nhau, mỗi điện trở có giá trị  $10\Omega$ , ghép thành mạch cầu. Tính điện trở của mạch cầu đó.  
A) 5 $\Omega$       B) 10 $\Omega$       C) 20 $\Omega$       D) 7,5  $\Omega$

- 3.16** Tính điện trở của 100m dây dẫn đồng chất, tiết diện ngang  $1\text{mm}^2$ , điện trở suất  $1,6 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$   
 A)  $1,6 \Omega$ . B)  $1,6 \cdot 10^{-6} \Omega$ . C)  $16 \Omega$ . D)  $0,16 \Omega$ .
- 3.17** Một dây dẫn đồng chất, tiết diện ngang  $2\text{mm}^2$ , có dòng điện  $I = 16\text{A}$  chạy qua. Tính vận tốc của chuyển động có hướng của các electron trong dây dẫn. Giả sử rằng, mật độ electron tự do trong dây dẫn là  $2 \cdot 10^{22}$  hạt/ $\text{cm}^3$ .  
 A)  $2,5 \text{ m/s}$ . B)  $2,5 \text{ cm/s}$ . C)  $2,5 \text{ mm/s}$ . D)  $5 \text{ mm/s}$ .
- 3.18** Nguồn điện có suất điện động  $12\text{V}$  có thể cung cấp một dòng điện lớn nhất là  $15\text{A}$ . Tính điện trở trong của nguồn.  
 A)  $0,8\Omega$  B)  $1,25\Omega$  C)  $0,5\Omega$  D)  $1,5\Omega$
- 3.19** Pin có suất điện động  $1,5\text{V}$ , điện trở trong  $1\Omega$  thì có thể cung cấp một dòng điện có cường độ lớn nhất bao nhiêu?  
 A)  $0,5\text{A}$  B)  $1\text{A}$  C)  $1,5\text{A}$  D)  $2\text{A}$
- Xét đoạn mạch như hình 3.49. Biết:  $R = 8\Omega$ ;  $r = 2\Omega$ ;  $E = 6\text{V}$ ;  $I = 2\text{A}$ . Trả lời các câu 3.20 – 3.24.
- 3.20** Công suất của dòng điện trên đoạn mạch AB là:  
 A)  $52\text{W}$  B)  $40\text{W}$   
 C)  $12\text{W}$  D)  $32\text{W}$
- 3.21** Hiệu điện thế  $U_{AB}$  là:  
 A)  $10\text{V}$  B)  $6\text{V}$  C)  $16\text{V}$  D)  $20\text{V}$
- 3.22** Nguồn điện đang phát hay thu công suất bao nhiêu?  
 A) Phát công suất  $P = 12\text{W}$ . B) Thu công suất  $P = 12\text{W}$ .  
 C) Phát công suất  $P = 20\text{W}$ . D) Thu công suất  $P = 20\text{W}$ .
- 3.23** Công suất tỏa nhiệt của đoạn mạch AB là:  
 A)  $40\text{W}$  B)  $52\text{W}$  C)  $32\text{W}$  D)  $8\text{W}$
- 3.24** Công suất tỏa nhiệt trên nguồn là:  
 A)  $12\text{W}$  B)  $40\text{W}$  C)  $8\text{W}$  D)  $20\text{W}$
- 3.25** Dòng điện có cường độ  $I = 1\text{A}$  đang nạp vào acqui có suất phản điện  $E = 3\text{V}$ , điện trở trong là  $r$ . Hiệu điện thế giữa hai cực của acqui là  $U_{AB} = 4\text{V}$ . Bỏ qua điện trở dây dẫn. Tính công suất tiêu thụ của acqui.  
 A)  $4\text{W}$  B)  $3\text{W}$  C)  $2\text{W}$  D)  $7\text{W}$
- 3.26** Một acqui có dung lượng  $12\text{Ah}$ . Giả sử ban đầu acqui chưa có điện, người ta nạp điện cho acqui với dòng điện không đổi  $I = 2\text{A}$ . Hỏi sau bao lâu acqui sẽ “no” điện?  
 A)  $6 \text{ h}$  B)  $12 \text{ h}$  C)  $24 \text{ h}$  D)  $3 \text{ h}$
- 3.27** Một acqui có dung lượng  $12\text{Ah}$ . Giả sử ban đầu acqui đã “no” điện, cho acqui phóng điện qua một biến trở với dòng điện không đổi  $I = 0,5\text{A}$ . Hỏi sau bao lâu acqui sẽ hết điện?



Hình 3.49

- A) 6 h      B) 12 h      C) 24 h      D) 48 h

**3.28** Một acqui có suất điện động  $E = 12V$ , điện trở trong  $r = 3\Omega$  thì nó có khả năng phát ra mạch ngoài một công suất cực đại là:

- A) 9W      B) 12W      C) 48W      D) 4W

**3.29** Một acqui có suất điện động  $E$ , điện trở trong  $4\Omega$ , phát điện ra mạch ngoài là một biến trở  $R$ . Khi  $R = R_1$  và  $R = R_2$  thì công suất mạch ngoài là bằng nhau. Tính  $R_2$ , biết  $R_1 = 2\Omega$ .

- A)  $2\Omega$       B)  $4\Omega$       C)  $8\Omega$       D)  $16\Omega$

**3.30** Có 20 pin giống nhau, mỗi pin có suất điện động  $12V$ , điện trở trong  $1\Omega$ , ghép thành bộ đối xứng để cấp điện ra mạch ngoài. Có mấy cách ghép? Tính suất điện động nhỏ nhất của bộ nguồn trong các cách ghép đó.

- A) 4 cách;  $12V$     B) 4 cách ;  $60V$     C) 6 cách;  $12V$     D) 6 cách;  $48V$

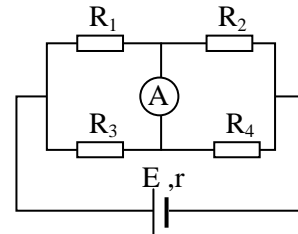
**3.31** Một acqui có suất điện động  $12V$ , điện trở trong  $3\Omega$ , đang được nạp điện với dòng nạp là  $2A$ . Dung lượng của acqui là  $10Ah$  (ampe giờ =  $3600C$ ). Tính thời gian nạp và điện năng mà nguồn đã cung cấp cho acqui khi acqui đã “no”.

- A) 5 giờ,  $432 kJ$       B) 5 giờ,  $648 kJ$   
C) 10 giờ,  $432 kJ$       D) 10 giờ,  $648 kJ$

**Kiến thức nâng cao**

**3.32** Cho mạch điện như hình 3.50:  $E = 6V$ ,  $r = 0,4\Omega$ ,  $R_A = 0$ ,  $R_1 = 8\Omega$ ,  $R_2 = 4\Omega$ ,  $R_3 = 2\Omega$ ; Số chỉ của ampe kế là  $0,45A$  và dòng điện qua ampe kế có chiều từ dưới lên. Tính  $R_4$

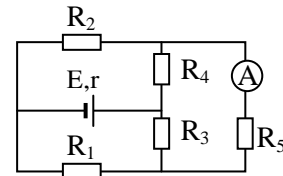
- A)  $4\Omega$     B)  $1,12\Omega$     C)  $2\Omega$     D)  $5\Omega$



**Hình 3.50**

**3.33** Cho mạch điện như hình 3.51:  $E = 12V$ ,  $r = 0.5\Omega$ ,  $R_A = 0\Omega$ ,  $R_1 = 1\Omega$ ,  $R_2 = 3\Omega$ ,  $R_3 = 2\Omega$ ,  $R_4 = 6\Omega$ ,  $R_5 = 2\Omega$ . Tính số chỉ của ampe kế.

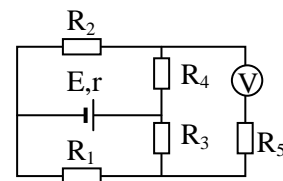
- A) 1A      B) 2A  
C) 0A      D) 3A



**Hình 3.51**

**3.34** Cho mạch điện như hình 3.52:  $E = 12V$ ,  $r = 0.5\Omega$ ,  $R_V$  rất lớn,  $R_1 = 5\Omega$ ,  $R_2 = 3\Omega$ ,  $R_3 = 15\Omega$ ,  $R_5 = 2\Omega$ . Vôn kế chỉ số 0. Tính  $R_4$ .

- A)  $10\Omega$     B)  $15\Omega$     C)  $25\Omega$     D)  $9\Omega$



**Hình 3.52**

**3.35** Cho mạch điện như hình 3.53:  $E_1 = 9V$ ,  $E_2 = 6V$ ,  $r_1 = r_2 = 1\Omega$ ,  $R_1 = 2\Omega$ ,  $R_2 = 6\Omega$ ,  $R_A = 0$ ,  $R_V = \infty$ . Tính số chỉ của ampe kế.

- A) 0A      B) 1A  
C)  $1,5A$       D)  $2A$



**3.36** Cho mạch điện hình 3.53:  $E_1 = 9V$ ,  $E_2 = 6V$ ,  $r_1 = r_2 = 1\Omega$ ,  $R_1 = 2\Omega$ ,  $R_2 = 6\Omega$ ,  $R_A = 0$ ,  $R_V = \infty$ . Tính số chỉ của vôn kế.

- A) 9V                      B) 8V  
C) 6V                      D) 9 V

**3.37** Một biến trở  $R$  mắc vào hai cực của nguồn điện có suất điện động  $E$  và điện trở trong  $r$ . Hiệu điện thế giữa hai cực của nguồn sẽ:

- A) luôn tăng khi  $R$  tăng.  
B) luôn giảm khi  $R$  tăng.  
C) không phụ thuộc  $R$ .  
D) tăng hoặc giảm tùy theo  $R$ .

**3.38** Cho sơ đồ hình 3.54:  $E = 68V$ ,  $r = 4\Omega$ ,  $R_1 = 2\Omega$ ,  $R_2 = 8\Omega$ ,  $R_3 = 58,4\Omega$ ,  $R_4 = 60\Omega$ ,  $R_A = 0\Omega$ . Ampe kế chỉ

- A) 2A                      B) 1A  
C) 0,8A                      D) 1,2A

**3.39** Cho sơ đồ hình 3.54:  $E = 68V$ ,  $r = 4\Omega$ ,  $R_1 = 2\Omega$ ,  $R_2 = 8\Omega$ ,  $R_3 = 58,4\Omega$ ,  $R_4 = 60\Omega$ ,  $R_A = 0\Omega$ . Hiệu điện thế giữa hai cực của nguồn điện là

- A) 68V                      B) 60V  
C) 64V                      D) 50V

**3.40** Một acqui có suất điện động 12V, điện trở trong  $3\Omega$ , đang được nạp điện với dòng nạp là 2A. Tính hiệu suất nạp điện của acqui .

- A) 75%    B) 67%    C) 50%    D) 40%

**3.41** Cho mạch điện như hình 3.55:  $\xi_1 = 6V$ ;  $\xi_2 = 3V$ ;  $r_1 = 1\Omega$ ;  $r_2 = 1\Omega$ ;  $C_1 = 3\mu F$ ;  $C_2 = 6\mu F$ ;  $R = 10\Omega$ . Tính điện tích của tụ điện  $C_1$  khi K đóng và khi K mở.

- A)  $15\mu C$  và  $16,6\mu C$ .    B)  $13,5\mu C$  và  $15\mu C$ .  
C)  $15\mu C$  và  $13,5\mu C$ .    D)  $16,6\mu C$  và  $13,5\mu C$ .

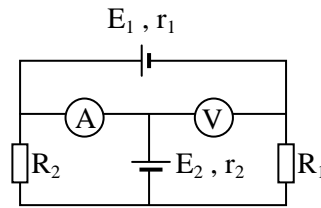
**3.42** Cho mạch điện như hình 3.56:  $\xi_1 = 1,3V$ ;  $\xi_2 = 1,5V$ ;  $\xi_3 = 2V$ ;  $r_1 = r_2 = r_3 = 0,2\Omega$ ;  $R = 0,55\Omega$ . Tính cường độ dòng điện qua nguồn  $\xi_1$ .

- A) 4A    B) 2,5 A    C) 1,5A    D) 0 A

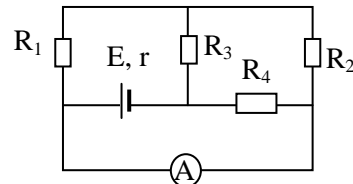
**3.43** Có hai loại điện trở loại  $R_1 = 3\Omega$  và loại  $R_2 = 5\Omega$ .

Hỏi phải cần mỗi loại mấy cái để khi ghép nối tiếp, chúng có điện trở tương đương là  $55\Omega$ ?

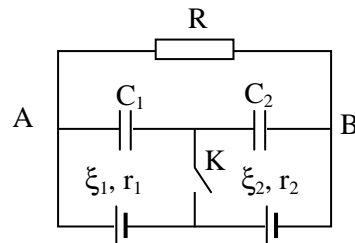
- A)  $5R_1$  và  $8R_2$                       B)  $10R_1$  và  $5R_2$   
C)  $15R_1$  và  $2R_2$                       D) A, B, C đều đúng.



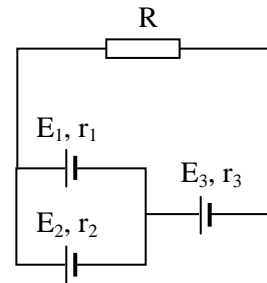
Hình 3.53



Hình 3.54



Hình 3.55

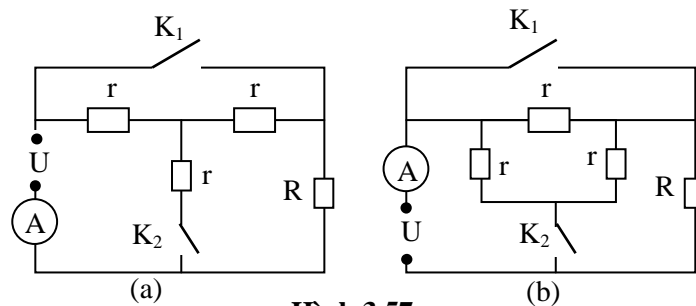


Hình 3.56

**3.44** Một đoạn dây dẫn đồng chất, tiết diện đều, điện trở  $100\Omega$ . Người ta cắt ra thành 100 đoạn nhỏ để làm ba loại điện trở: loại  $5\Omega$ , loại  $3\Omega$  và loại  $\frac{1}{3}\Omega$ . Hỏi có mỗi loại có mấy cái?

- A) 4 cái  $5\Omega$ , 18 cái  $3\Omega$  và 78 cái  $\frac{1}{3}\Omega$ .
- B) 8 cái  $5\Omega$ , 11 cái  $3\Omega$  và 81 cái  $\frac{1}{3}\Omega$ .
- C) 12 cái  $5\Omega$ , 4 cái  $3\Omega$  và 84 cái  $\frac{1}{3}\Omega$ .
- D) A, B, C đều đúng.

**3.45** Cho hai mạch điện (a) và (b) như hình 3.57. Trong mỗi sơ đồ, hiệu điện thế  $U$  luôn không đổi, điện trở của ampe kế và dây nối không đáng kể. Tính  $R$  theo  $r$  để khi  $K_1$  đóng,  $K_2$  mở hoặc khi  $K_1$  mở,  $K_2$  đóng thì số chỉ của ampe kế trong mỗi sơ đồ đều không thay đổi.



Hình 3.57