

28 Chương 28: DÒNG ĐIỆN MỘT CHIỀU

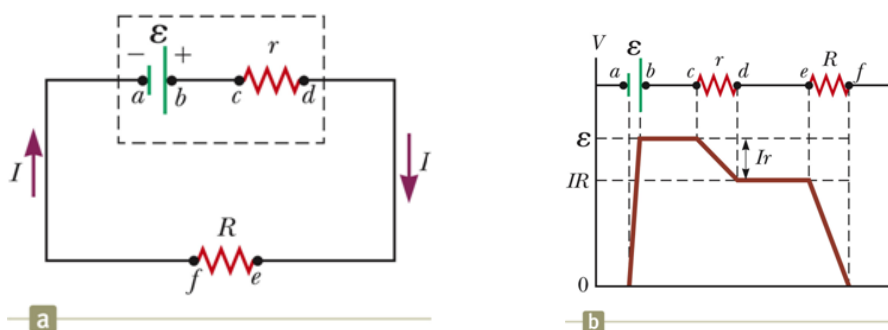
Trong chương này, chúng ta phân tích những mạch điện đơn giản chỉ gồm nguồn điện, điện trở và tụ điện với nhiều cách mắc khác nhau. Ta sẽ đơn giản hóa việc phân tích các mạch điện phức tạp bằng cách dùng các qui tắc Kirchhoff, là kết quả của việc ứng dụng định luật bảo toàn năng lượng và điện tích trong mạch điện. Hầu hết các mạch điện được phân tích được xem là ở trạng thái dừng (steady state), tức là dòng điện trong mạch có độ lớn và chiều không đổi, còn gọi là dòng một chiều (Direct Current – DC). Dòng điện xoay chiều (Alternating Current – AC) sẽ được phân tích trong chương 33.

28.1 Sức điện động

Trong phần 27.8, chúng ta đã thảo luận về một mạch điện mà dòng điện được cung cấp bởi một nguồn điện. Một cách tổng quát, nguồn điện là một nguồn năng lượng đối với các mạch điện mà ta sẽ khảo sát. Vì rằng trong một phần của mạch điện thì độ chênh lệch điện thế giữa các cực của nguồn điện là hằng số nên dòng điện trong mạch không đổi về độ lớn và chiều. Nó được gọi là dòng điện một chiều (DC). Nguồn điện còn được gọi là một nguồn của sức điện động (viết tắt là *emf* trong tiếng Anh)

Suất điện động ϵ của nguồn điện là điện áp (voltage) lớn nhất khả dĩ mà nguồn điện có thể cung cấp giữa hai cực của nó. Ta có thể xem nguồn của sức điện động như là cái “bơm điện tích”. Khi có sự chênh lệch điện thế giữa hai điểm thì nguồn sẽ di chuyển điện tích từ nơi có điện thế thấp đến nơi có điện thế cao.

Thông thường ta bỏ qua điện trở của các dây nối trong mạch điện. Cực dương của nguồn có điện thế cao hơn cực âm nguồn. Bởi vì nguồn điện được làm từ các vật liệu nên nó sẽ có điện trở. Điện trở này được gọi là điện trở trong r . Với một nguồn điện được lý tưởng hóa, điện trở trong xem là bằng 0 thì hiệu điện thế giữa hai cực của nguồn điện đúng bằng sức điện động của nguồn. Đối với các nguồn thực thì hiệu điện thế giữa hai cực của nguồn điện sẽ không bằng sức điện động của nguồn. Để hiểu tại sao, ta xét mạch điện cho trong hình 28.1. Mạch gồm một nguồn điện có sức điện động ϵ và điện trở trong r . Ta xem, nguồn điện này như là gồm một nguồn điện lý tưởng mắc nối tiếp với một điện trở r . Một điện trở R được mắc vào hai cực của nguồn điện. Từ đi theo mạch từ a đến d và đo điện thế tại các điểm khác nhau trên mạch. Từ cực âm đi đến cực dương của nguồn điện, điện thế tăng lên một lượng đúng bằng ϵ . Khi đi qua điện trở r thì điện thế bị giảm một lượng Ir (I là dòng điện đi qua mạch). Khi đó, điện áp giữa hai cực của nguồn là



Hình 28.1: a. Sơ đồ mạch điện của nguồn điện có điện trở trong mắc với một điện trở bên ngoài, b. Đồ thị biểu diễn sự thay đổi điện thế của mạch điện trong hình a.

$$\Delta V = \varepsilon - Ir \quad (28.1)$$

Từ biểu thức này, lưu ý rằng ε là tương đương với *điện áp mạch hở*, tức là điện áp của nguồn khi dòng điện trong mạch bằng 0. Điện áp ΔV phải bằng với điện thế giữa hai đầu điện trở ngoài (điện trở tải) $\Delta V = IR$. Kết hợp với biểu thức (28.1) ta được:

$$\varepsilon = IR + Ir \quad (28.2)$$

Từ đó suy ra:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} \quad (28.3)$$

Phương trình (28.3) cho thấy rằng cường độ dòng điện trong mạch phụ thuộc vào điện trở ngoài R và điện trở trong r . Trong thực tế thì R lớn hơn nhiều so với r nên có thể bỏ qua giá trị của r .

Nhân hai vế của phương trình (28.2) với cường độ dòng điện I , ta được:

$$I\varepsilon = I^2R + I^2r \quad (28.4)$$

Phương trình (28.4) cho thấy rằng công suất $I\varepsilon$ của nguồn điện được phân phối cho điện trở ngoài một lượng I^2R và điện trở trong một lượng I^2r .

Trắc nghiệm nhanh 28.1: Để cực đại hóa phần trăm công suất của sức điện động của nguồn cung cấp cho một thiết bị bên ngoài, điện trở trong của nguồn cần phải như thế nào? resistance of the battery be? (a) Càng nhỏ càng tốt. (b) Càng lớn càng tốt. (c) Tỷ lệ này không phụ thuộc vào điện trở trong của nguồn.

Bài toán mẫu 28.1: Điện áp giữa hai cực của nguồn điện

Một nguồn điện có sức điện động 12,0 V và điện trở trong 0,0500 Ω . Hai cực của nguồn được mắc với một điện trở tải 3,00 Ω .

(A) Hãy tìm cường độ dòng điện và hiệu điện thế giữa các cực của nguồn điện

Giải

Khái niệm hóa: Nghiên cứu hình 28.1 về mạch điện tương tự như bài toán. Nguồn điện cung cấp năng lượng cho điện trở tải.

Phân loại: Bài toán này yêu cầu các phép tính đơn giản đã nêu trong phần này nên ta phân nó vào dạng bài toán chỉ cần thay số vào công thức.

Dùng phương trình (28.3):
$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} = \frac{12,0 \text{ V}}{3,00 \Omega + 0,0500 \Omega} = 3,93 \text{ A} .$$

Dùng phương trình (28.1), ta tìm được điện áp giữa hai cực:

$$\Delta V = \varepsilon - Ir = 12,0 \text{ V} - (3,93 \text{ A})(0,0500 \Omega) = 11,8 \text{ V}$$

(B) Hãy tìm công suất cung cấp cho điện trở tải, cho điện trở trong của nguồn và công suất của nguồn

Giải

Áp dụng các công thức thích hợp, ta được:

$$P_R = I^2 R = (3,93 \text{ A})^2 (3,00 \Omega) = 46,3 \text{ W}$$

$$P_r = I^2 r = (3,93 \text{ A})^2 (0,0500 \Omega) = 0,772 \text{ W}$$

$$P = P_R + P_r = 47,1 \text{ W}$$

Tình huống mở rộng: Sau một thời gian sử dụng thì nguồn điện sẽ bị cũ, điện trở trong tăng lên đến $2,00 \Omega$ ở giai đoạn cuối của thời gian sử dụng. Điều đó làm thay đổi khả năng cung cấp năng lượng của nguồn như thế nào?

Trả lời: Dùng các công thức tương tự như ở trên, ta tìm được:

$$I = \frac{\varepsilon}{R+r} = \frac{12,0 \text{ V}}{3,00 \Omega + 2,00 \Omega} = 2,40 \text{ A}$$

$$\Delta V = \varepsilon - Ir = 12,0 \text{ V} - (2,40 \text{ A})(2,00 \Omega) = 7,20 \text{ V}$$

$$P_R = I^2 R = (2,40 \text{ A})^2 (3,00 \Omega) = 17,3 \text{ W}$$

$$P_r = I^2 r = (2,40 \text{ A})^2 (2,00 \Omega) = 11,5 \text{ W}$$

Ta thấy điện áp hai cực nguồn điện chỉ còn bằng 60% của sức điện động. 40% công suất của nguồn bị hao hụt trên điện trở trong. Với trường hợp (B) thì chỉ có 1,6% công suất là hao phí cho điện trở trong. Như vậy, cho dù sức điện động của nguồn được giữ nguyên thì sự gia tăng của điện trở trong làm giảm đáng kể khả năng cung cấp năng lượng cho mạch ngoài của nguồn điện.

Bài toán mẫu 28.2: Phối hợp điện trở

Hãy tìm điện trở tải R để công suất cung cấp cho nó là lớn nhất.

Giải

Khái niệm hóa: Hãy nghĩ về sự biến thiên của điện trở tải R trong hình 28.1a và ảnh hưởng của nó lên công suất cung cấp cho điện trở tải. Nếu R rất lớn thì dòng điện sẽ rất bé, nên công suất $I^2 R$ sẽ nhỏ. Ngược lại, nếu R rất nhỏ thì công suất tiêu thụ trên R sẽ nhỏ hơn nhiều so với công suất tiêu thụ trên điện trở trong r của nguồn. Với một giá trị phù hợp của R thì công suất trên điện trở tải sẽ lớn nhất.

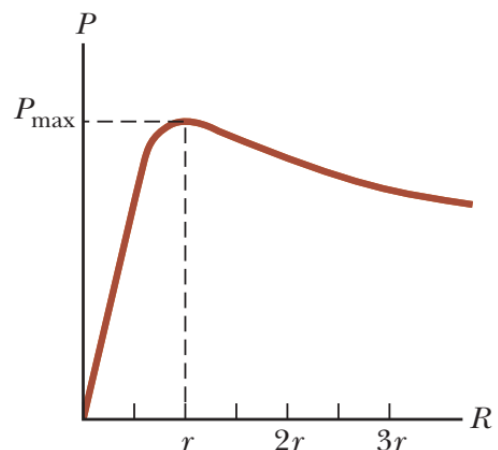
Phân loại: Bài toán này yêu cầu tìm giá trị cực đại của công suất. Giá trị R bây giờ là một biến số.

Phân tích: Công suất tiêu thụ trên điện trở tải

$$\text{là: } P_R = I^2 R = \frac{\varepsilon^2 R}{(R+r)^2}$$

Lấy đạo hàm biểu thức này theo R và cho đạo hàm này bằng 0 thì ta sẽ tìm được giá trị của R :

$$\frac{dP_R}{dR} = \frac{d}{dR} \left[\frac{\varepsilon^2 R}{(R+r)^2} \right] = \frac{\varepsilon^2 (r-R)}{(R+r)^3} = 0$$



Ta được $R = r$.

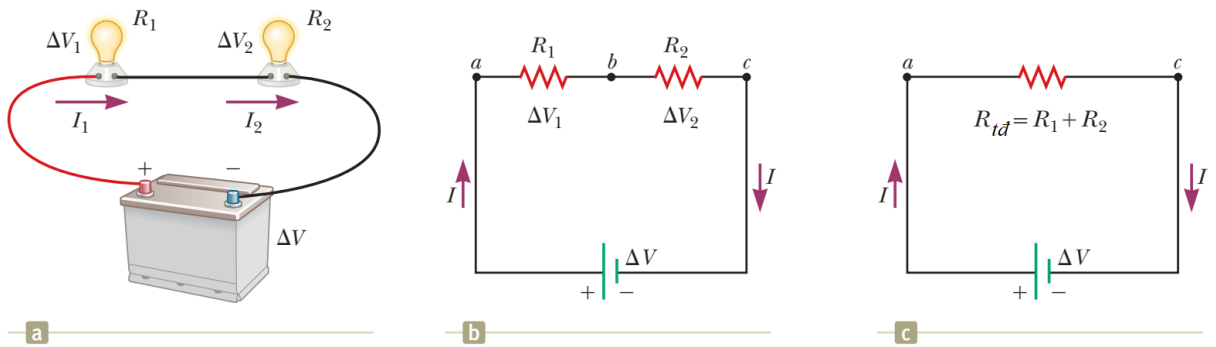
Biện luận: Để kiểm nghiệm kết quả nêu trên, hãy vẽ đồ thị sự phụ thuộc của công suất tiêu thụ trên điện trở tải theo R . Ta được đồ thị như hình 28.2. Đồ thị cho thấy rằng P đạt cực đại tại $R = r$.

Hình 28.2

Giá trị cực đại của công suất này là $P_{R_{max}} = \frac{\mathcal{E}^2}{4r}$

28.2 Điện trở mắc nối tiếp và mắc song song

Nếu mắc hai hoặc nhiều điện trở với nhau như các bóng đèn trong hình 28.3a, ta nói các điện trở này **được mắc nối tiếp**. Ở hình 28.3b là mạch điện đối với mạch gồm các bóng đèn và nguồn điện. Nếu ta muốn thay thế bộ điện trở R_1 và R_2 chỉ bằng một điện trở mà dòng điện qua mạch vẫn không như cũ như ở hình 28.2c thì giá trị của điện trở đó sẽ là bao nhiêu?



Hình 28.2: Hai bóng đèn có điện trở R_1 và R_2 mắc nối tiếp

Do các điện trở được mắc nối tiếp nên nếu có một điện lượng Q đi qua điện trở R_1 thì cũng có một lượng điện tích Q đi qua điện trở R_2 . Nghĩa là dòng điện đi qua 2 điện trở sẽ bằng nhau và bằng dòng điện đi qua nguồn.

$$I = I_1 = I_2$$

Độ chênh lệch điện thế ở hai đầu của bộ điện trở sẽ là:

$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2 = I_1 R_1 + I_2 R_2$$

Hiệu điện thế ở hai đầu **điện trở tương đương** R_{td} sẽ là: $\Delta V = IR_{td}$

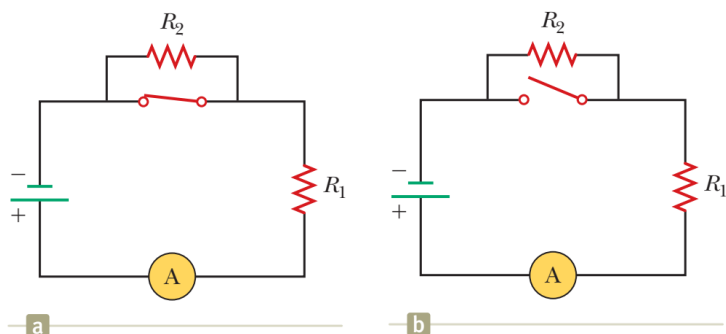
$$\text{Dễ dàng thấy rằng: } R_{td} = R_1 + R_2 \quad (28.5)$$

Nếu có nhiều điện trở mắc nối tiếp với nhau thì điện trở tương đương của cả bộ sẽ là:

$$R_{td} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots \quad (28.6)$$

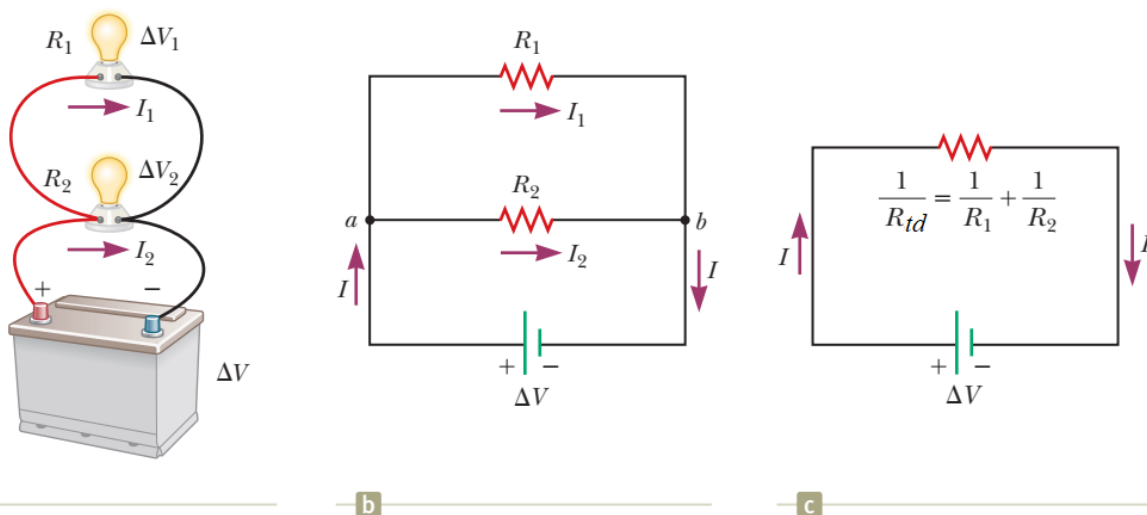
Điện trở tương đương của nhiều điện trở mắc nối tiếp bằng tổng giá trị của từng điện trở trong bộ. Trở lại với phương trình (28.3), ta thấy ở mẫu số của vế bên phải là tổng của điện trở tải và điện trở trong của nguồn điện. Điều này là thích hợp vì điện trở tải và điện trở trong của nguồn được mắc nối tiếp với nhau.

Nếu dây tóc của một bóng đèn nào đó trong hình 28.2 bị đứt (tạo thành mạch hở) thì mạch bị đứt và sẽ không có dòng điện qua mạch. Đối với mạch mắc nối tiếp, một phần tử của mạch bị hở thì toàn bộ mạch sẽ không hoạt động.



Hình 28.4

Trắc nghiệm nhanh 28.2. Với công-tắc trong mạch điện ở hình 28.4a đóng,



không có dòng điện đi qua điện trở R_2 vì điện trở của công-tắc bằng không. Nếu mở công-tắc thì sẽ có dòng của R_2 . Điều gì sẽ xảy ra với số chỉ của am-pe kế trong mạch? (a) Tăng lên; (b) Giảm đi; (c) không thay đổi.

Hình 28.5: Hai bóng đèn với điện trở R_1 và R_2 mắc song song

Xét hai điện trở **mắc song song** như trong hình 28.5. Làm tương tự như với điện trở mắc nối tiếp, lưu ý rằng hiệu điện thế trên mỗi điện trở là bằng nhau nên:

$$\Delta V = \Delta V_1 = \Delta V_2$$

Với ΔV là hiệu điện thế giữa 2 cực của nguồn điện.

Khi các điện tích đi đến điểm a của mạch điện thì chúng sẽ phân ra làm hai nhánh, một số đi qua R_1 và số còn lại đi qua R_2 . Một **nút mạch** là một điểm trên mạch mà ở đó dòng điện bị chia ra. Kết quả là dòng điện qua mỗi điện trở sẽ nhỏ hơn dòng điện đi qua nguồn điện. Do điện tích được bảo toàn nên tại điểm a thì ta có:

$$I = I_1 + I_2 = \frac{\Delta V_1}{R_1} + \frac{\Delta V_2}{R_2}$$

Trong đó I_1 là dòng điện chạy qua R_1 và I_2 là dòng điện chạy qua R_2 . Dòng điện qua bộ điện trở được tính bởi: $I = \frac{\Delta V}{R_{td}}$. Từ các phương trình trên, ta tìm được:

$$\frac{1}{R_{td}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (28.7)$$

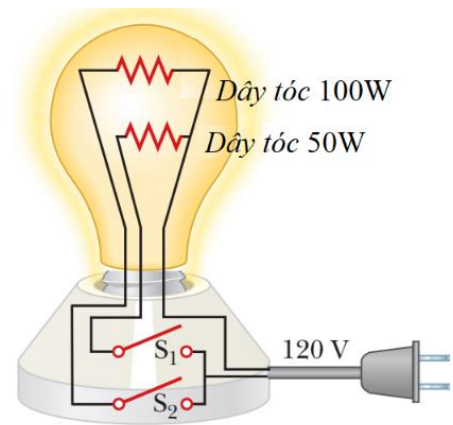
Trường hợp có nhiều hơn 2 điện trở mắc song song với nhau thì:

$$\frac{1}{R_{td}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots \quad (28.8)$$

Từ biểu thức (28.8) có thể nhận thấy rằng đối với mạch gồm nhiều điện trở mắc song song thì giá trị của điện trở tương đương là bé hơn giá trị của bất kỳ điện trở nào trong mạch.

Với các mạch điện dân dụng thì các thiết bị luôn là được mắc song song với nhau. Mỗi thiết bị hoạt động độc lập với các thiết bị khác nên khi tắt một thiết bị thì các thiết bị khác vẫn hoạt động. Ngoài ra, với cách mắc này thì mọi thiết bị đều hoạt động với cùng một điện áp.

Dưới đây là một vài ứng dụng thực tế của mạch mắc nối tiếp và song song. Hình 28.6 minh họa một mạch điện mà bóng đèn hoạt động theo 3 chế độ sáng. Phích cắm của đèn được nối với một công-tắc 3 chế độ đối với các cường độ sáng khác nhau của đèn. Bóng đèn có 2 dây tóc với công suất khác nhau. Khi cắm đèn vào ổ cắm điện thì ta có thể bật công-tắc sao cho từng dây tóc sáng lên riêng rẽ hoặc sáng đồng thời. Nếu bật công-tắc S_1 thì dòng điện chỉ qua dây tóc phía dưới và công suất của đèn là 50 W. Nếu bật công-tắc S_2 thì dòng điện chỉ qua dây tóc phía trên và công suất của đèn là 100 W. Nếu bật cả hai công-tắc thì dòng điện sẽ qua cả hai dây tóc và công suất của đèn là 150 W.

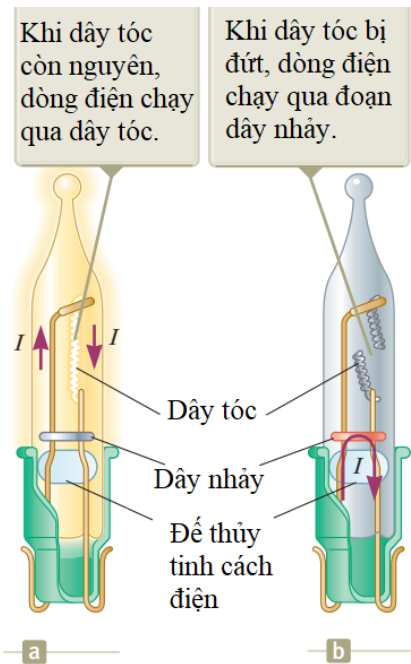


Hình 28.6

Ví dụ thứ hai, xét một dây đèn điện để trang trí vào dịp lễ hội. Qua nhiều năm, cả hai cách mắc nối tiếp và song song đều được sử dụng trong các dây đèn này. Nếu mắc các đèn nối tiếp với nhau thì công suất tiêu thụ sẽ giảm đi và đèn hoạt động với nhiệt độ thấp hơn, do đó sẽ an toàn hơn so với mạch mắc song song khi trang trí trong nhà. Tuy nhiên, nếu bóng đèn bị cháy hoặc bị gỡ ra khỏi mạch thì tất cả các đèn còn lại sẽ bị tắt. Sự phổ dụng của mạch mắc nối tiếp ngày càng giảm vì việc tìm ra một bóng đèn hỏng trong cả dây đèn là rất khó khăn và mất nhiều thời gian.

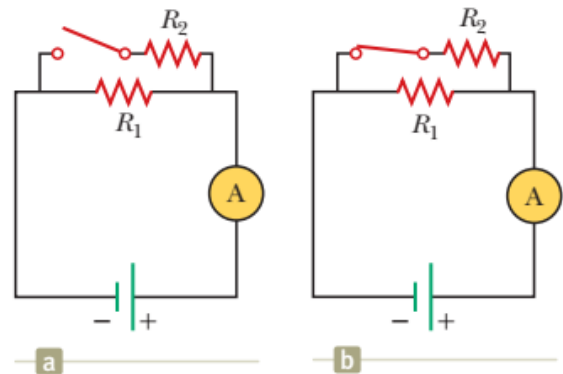
Với các mạch mắc song song thì mỗi bóng đèn hoạt động với hiệu điện thế 120 V. Theo thiết kế, đèn sẽ sáng hơn và nóng hơn so với khi mắc nối tiếp. Do đó, nó ẩn chứa hiểm họa nhiều hơn (ví dụ như gây cháy). Tuy nhiên, nếu một bóng nào đó bị hỏng thì các bóng còn lại vẫn hoạt động.

Để tránh ảnh hưởng của một bóng đèn bị hỏng đối với toàn bộ dây đèn mắc theo kiểu nối tiếp, các bóng đèn được kiểu thiết kế theo một kiểu đặc biệt. Bên trong bóng đèn, ngoài dây tóc thì còn có một đoạn dây nhảy (jumper) được bọc cách điện (hình 28.7). Khi dây tóc bị đứt thì sẽ xuất hiện một tia hồ quang làm chảy lớp cách điện đi và dây nhảy sẽ nối hai chân dây tóc lại với nhau. Dòng điện vẫn chạy qua bóng đèn hỏng này nên các bóng đèn khác của dây đèn vẫn hoạt động. Do đoạn dây nhảy có điện trở nhỏ nên độ sụt áp giữa hai đầu bóng đèn hỏng sẽ rất nhỏ, làm cho các bóng còn lại sáng hơn bình thường. Dòng điện qua dây đèn tăng lên. Nếu càng có nhiều bóng bị hỏng thì tuổi thọ của các bóng đèn sẽ giảm đi. Do đó nếu có bóng hỏng thì phải thay thế ngay khi có thể để kéo dài tuổi thọ của bóng đèn trong dây.



Hình 28.7

Trắc nghiệm nhanh 28.3: Khi công-tắc trong mạch điện ở hình 28.8a được mở ra thì không có dòng điện qua R_2 . Dòng điện qua mạch được đo bằng một ampe kế. Số chỉ của ampe kế sẽ như thế nào nếu đóng công-tắc lại? (a) tăng lên, (b) giảm đi, (c) không thay đổi.



Hình 28.8

Trắc nghiệm nhanh 28.4: Có ba phương án lựa chọn (a) tăng lên, (b) giảm đi và (c) không thay đổi. Hãy chọn phương án đúng cho các tình huống sau đây:

Trong hình 28.3, mắc thêm một điện trở thứ ba nối tiếp với hai điện trở đã có. (i) Dòng điện qua nguồn điện sẽ thế nào? (ii) Điều gì sẽ xảy ra với điện áp giữa hai cực của nguồn điện?

Trong hình 28.5, mắc thêm một điện trở thứ ba song song với hai điện trở đã có. (iii) Dòng điện qua nguồn điện sẽ thế nào? (iv) Điều gì sẽ xảy ra với điện áp hai đầu nguồn điện?

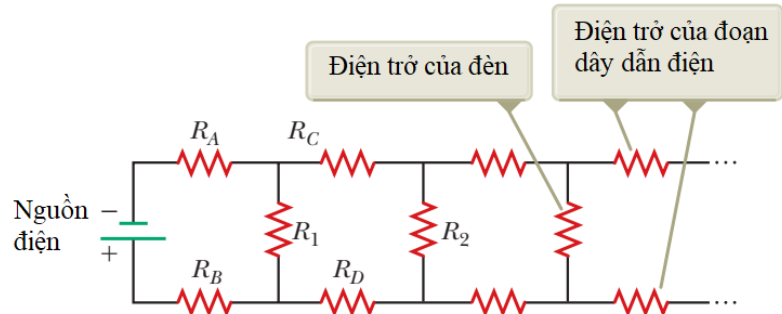
Bài toán mẫu 28.3

Một người muốn lắp đặt một hệ thống chiếu sáng trong vườn nhà. Để tiết kiệm chi phí, anh ta mua dây dẫn điện loại 1,02 mm có điện trở trên một đơn vị chiều dài khá lớn. Dây này có hai sợi bọc cách điện chạy song song với nhau. Anh ta rải 60,0 mét dây từ nguồn điện đến điểm xa nhất mà anh định lắp đèn. Sau đó anh mắc các bóng đèn vào dây sao cho khoảng cách giữa hai đèn gần nhau nhất là 3,00 m và các bóng đèn mắc song song với

nhau. Do có điện trở của dây dẫn nên độ sáng của các bóng đèn không được như mong muốn. Người này gặp phải trở ngại nào sau đây? (a) Tất cả các bóng đèn đều không sáng như là khi sử dụng dây dẫn với điện trở nhỏ hơn; (b) Càng ở xa nguồn điện thì độ sáng của các bóng đèn càng giảm.

Giải:

Sơ đồ mạch điện của hệ thống đèn là như hình 28.9. Các điện trở nằm ngang đại diện cho điện trở của các đoạn dây dẫn, các điện trở nằm thẳng đứng là đại diện cho các điện trở của các bóng đèn.



Hình 28.9

Một phần điện áp của

nguồn điện bị giảm đi trên điện trở R_A và R_B nên điện áp trên đèn R_1 sẽ nhỏ hơn điện áp của hai cực nguồn điện. Tương tự, sẽ có độ sụt áp trên R_C và R_D nên điện áp trên R_2 lại nhỏ hơn điện áp trên R_1 . Hiện tượng sẽ tiếp diễn cho đến cuối mạch điện. Do đó, câu trả lời đúng là phương án (b). Đèn sau lại sáng ít hơn đèn trước một ít.

Bài toán mẫu 28.4 Tìm điện trở tương đương

Có 4 điện trở được mắc với nhau như trong hình 28.10a

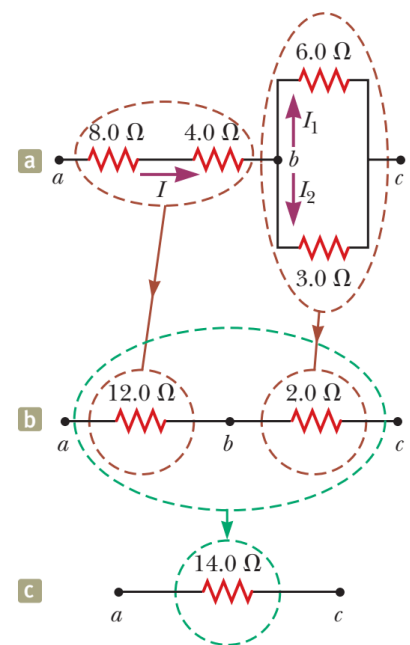
(A) Hãy tìm điện trở tương đương giữa hai điểm a và c .

Giải:

Khái niệm hóa: Tưởng tượng rằng dòng điện đi qua bộ điện trở từ trái sang phải. Tất cả điện tích phải đi đến b qua hai điện trở đầu tiên. Nhưng tại b thì chúng sẽ tách ra và đi theo hai đường khác nhau rồi gặp nhau tại c .

Phân loại: Vì bản chất đơn giản của bộ điện trở, ta phân loại bài toán này vào dạng ta có thể dùng các qui tắc điện trở mắc nối tiếp và song song.

Phân tích: Bộ điện trở có thể được rút gọn qua các bước như trong hình 28.10.



Hình 28.10

Tìm điện trở tương đương cho đoạn ab :

$$R_{ab} = 8,00\Omega + 4,00\Omega = 12,0\Omega$$

Tìm điện trở tương đương cho đoạn bc :

$$\frac{1}{R_{bc}} = \frac{1}{6,00\Omega} + \frac{1}{3,00\Omega} = \frac{3}{6,00\Omega} \Rightarrow R_{bc} = 2,00\Omega$$

Điện trở tương đương của đoạn ac : $R_{ac} = 12,00\Omega + 2,00\Omega = 14,0\Omega$

(B) Tìm dòng điện chạy qua mỗi điện trở nếu giữa a và c có một hiệu điện thế 42,0 V

Giải: Dòng điện qua điện trở 8,00 Ω và 4,00 Ω là bằng nhau do chúng được mắc nối tiếp. Dòng điện này cũng là dòng điện qua điện trở tương đương giữa hai điểm a và c :

$$I = \frac{\Delta V_{ac}}{R_{ac}} = \frac{42 \text{ V}}{14,0\Omega} = 3,00 \text{ A}$$

Hai điện trở giữa b và c mắc song song nên:

$$\Delta V_1 = \Delta V_2 \rightarrow (6,00\Omega)I_1 = (3,00\Omega)I_2 \rightarrow I_2 = 2I_1$$

$$\text{Mà } I = I_1 + I_2 = 3,00 \text{ A} \rightarrow I_1 = 1,00 \text{ A}; I_2 = 2,00 \text{ A}$$

Bài toán mẫu 28.5 Ba điện trở mắc song song

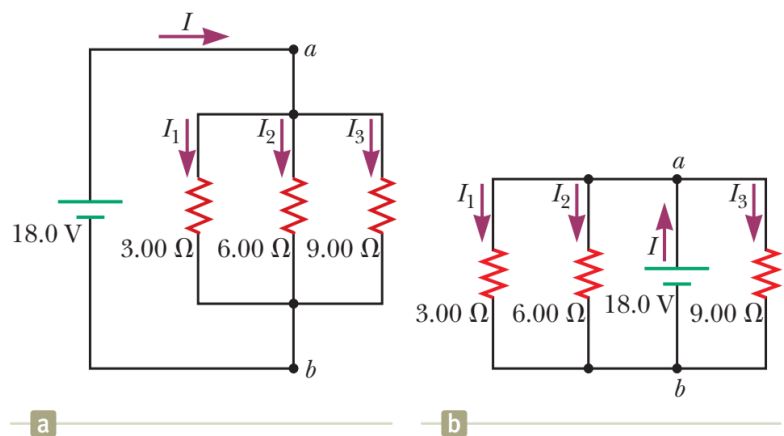
Cho mạch điện gồm một nguồn điện và 3 điện trở mắc song song với nhau như hình 28.11. Hiệu điện thế giữa hai điểm a và b là 18,0 V.

(A) Hãy tìm điện trở tương đương của bộ 3 điện trở mắc song song

Giải:

Khái niệm hóa: Hình 28.11a cho thấy ta đang xử lý mạch điện có 3 điện trở mắc song song đơn giản. Chú ý rằng dòng điện I được chia thành I_1 , I_2 và I_3 trong các điện trở.

Phân loại: Có thể giải bài toán này với các qui tắc mà ta đã xây dựng trong phần này. Do đó ta xem bài toán này là bài toán điện số. Do ba điện trở mắc song song nên chỉ cần dùng qui tắc tìm điện trở tương đương của các điện trở mắc song song để tìm điện trở tương đương.



Hình 28.11

Sử dụng công thức (22.8): $\frac{1}{R_{td}} = \frac{1}{3,00\Omega} + \frac{1}{6,00\Omega} + \frac{1}{9,00\Omega} = \frac{11}{18,0\Omega} \Rightarrow R_{td} = 1,64\Omega$

(B) Tìm dòng điện qua từng điện trở.

Giải:

Áp dụng công thức: $\Delta V = IR$ ta tìm được dòng điện qua các điện trở:

$$I_1 = \frac{\Delta V}{R_1} = \frac{18,0 \text{ V}}{3,00 \Omega} = 6,00 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{\Delta V}{R_2} = \frac{18,0 \text{ V}}{6,00 \Omega} = 3,00 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{\Delta V}{R_3} = \frac{18,0 \text{ V}}{9,00 \Omega} = 2,00 \text{ A}$$

(C) Tính công suất tiêu thụ trên mỗi điện trở

Áp dụng công thức: $P = I^2 R$ ta tìm được công suất tiêu thụ trên các điện trở:

$$P_1 = I_1^2 R_1 = (6,00 \text{ A})^2 (3,00 \Omega) = 108 \text{ W}$$

$$P_2 = I_2^2 R_2 = (3,00 \text{ A})^2 (6,00 \Omega) = 54,0 \text{ W}$$

$$P_3 = I_3^2 R_3 = (2,00 \text{ A})^2 (9,00 \Omega) = 36,0 \text{ W}$$

Ta có thể kiểm chứng công suất tiêu thụ của toàn mạch là

$$P = \Delta V^2 / R_{\text{td}} = (18,0 \text{ V})^2 / (1,64 \Omega) = 198 \text{ W}$$

28.3 Các định luật Kirchhoff

Như đã xét ở phần trước, có thể giản lược một tổ hợp điện trở bằng cách sử dụng biểu thức $\Delta V = IR$ và các qui tắc biến đổi tương đương cho mạch mắc nối tiếp và song song. Tuy nhiên, thường thì khó giản lược các mạch điện thành một mạch chỉ có một vòng đơn bằng cách dùng các qui tắc này. Ta có thể phân tích các mạch phức tạp hơn bằng cách sử dụng 2 định luật Kirchhoff như sau:

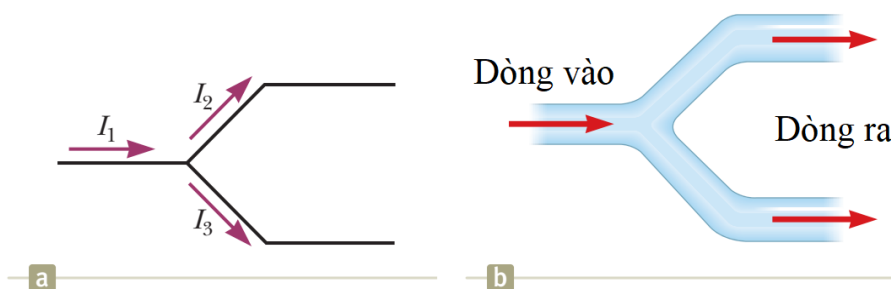
+ Định luật cho nút mạch: tại một nút bất kỳ, tổng của các dòng điện phải bằng 0.

$$\sum_{\text{nút}} I = 0 \quad (28.9)$$

Định luật vòng kín: tổng hiệu điện thế ở hai đầu của các phần tử trong một vòng mạch điện kín thì bằng 0.

$$\sum_{\text{vòng}} \Delta V = 0 \quad (28.10)$$

Định luật Kirchhoff thứ nhất là một cách phát biểu của định luật bảo toàn điện tích. Tổng điện tích ra khỏi một nút mạch phải bằng với tổng điện tích đi đến nút đó do điện tích không được sinh ra hoặc mất đi tại đó. Các dòng điện đi vào một nút được tính là dương (+) và dòng điện đi ra khỏi nút được tính là âm (-).



Hình 28.12: a. Định luật nút, b. Mô hình tương đương

Với nút mạch như trong hình 28.12a thì định luật thứ nhất được viết là: $I_1 - I_2 - I_3 = 0$

Hình 28.12b cho thấy một sự tương tự trong cơ học đối với tình huống này. Dòng nước chảy qua một ống phân nhánh không bị hao hụt đi. Vì rằng nước không được sinh ra hoặc mất đi trong ống nên dòng chảy ở ống bên trái bằng tổng các dòng chảy ở hai ống bên phải.

Định luật Kirchhoff thứ hai về vòng kín chính là định luật bảo toàn năng lượng trong hệ cô lập. Hãy xét việc dịch chuyển một điện tích theo một vòng khép kín trong mạch. Khi điện tích này trở về vị trí ban đầu thì hệ điện tích – mạch điện phải có tổng năng lượng bằng với tổng năng lượng trước khi điện tích dịch chuyển. Tổng của phần năng lượng được gia tăng hụt khi điện tích đi qua một số phần tử của mạch phải đúng bằng tổng của phần năng lượng bị hao hụt khi nó đi qua các phần tử khác của mạch. Thế năng của hệ sẽ giảm mỗi khi điện tích di chuyển qua một độ giảm thế $-IR$ trên một điện trở hoặc đi qua một nguồn điện từ cực dương đến cực âm. Thế năng của hệ sẽ tăng khi đi qua một nguồn điện từ cực âm đến cực dương.

Khi áp dụng định luật Kirchhoff thứ 2, hãy hình dung về sự di chuyển quanh vòng mạch và để ý đến *điện thế* thay vì *sự thay đổi của thế năng* như vừa đề cập. Ví dụ như trong hình 28.13, giả sử rằng chiều của vòng mạch là từ trái sang phải (không nhất thiết phải là chiều thực của dòng điện) và hiệu điện thế sẽ được tính là $\Delta V = V_b - V_a$

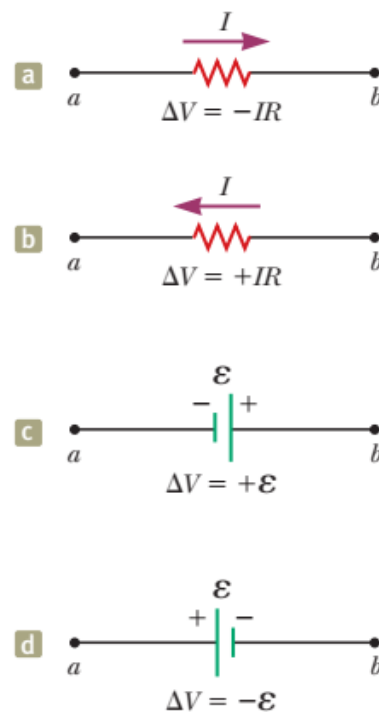
Các qui ước về dấu khi áp dụng định luật Kirchhoff thứ 2:

- + Hạt mang điện chuyển động từ nơi có điện thế cao về nơi có điện thế thấp. Nên nếu đi từ đầu này đến đầu kia của điện trở *thuận theo* chiều dòng điện thì $\Delta V = -IR$ (hình 28.13a) và nếu *ngược với* chiều dòng điện thì $\Delta V = +IR$ (hình 28.13b)
- + Nếu đi từ cực âm sang cực dương của một nguồn điện (không có điện trở trong) thì hiệu điện thế là $\Delta V = +\varepsilon$ (hình 28.13c)
- + Nếu đi từ cực dương sang cực âm của một nguồn điện (không có điện trở trong) thì hiệu điện thế là $\Delta V = -\varepsilon$ (hình 28.13d).

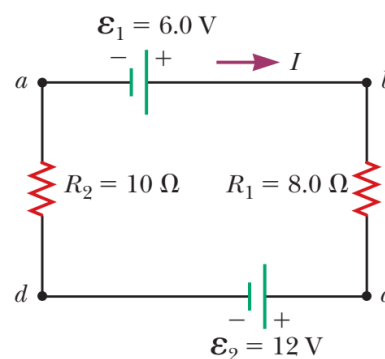
Bài tập mẫu 28.6: Một mạch điện có 1 vòng gồm 2 điện trở và 2 nguồn điện như hình 28.14. Bỏ qua điện trở trong của các nguồn điện. Hãy tìm cường độ dòng điện trong mạch.

Giải:

Khái niệm hóa: Hình vẽ cho thấy cực của các nguồn điện và một dự đoán về chiều của dòng điện trong mạch. Nguồn điện 12 V là mạnh hơn nguồn còn lại. Do đó, có thể chiều dòng điện dự đoán là sai so với thực tế. Nhưng ta vẫn tiếp tục để xem dự đoán sai này thể hiện như thế nào trong kết quả cuối cùng.



Hình 28.13



Hình 28.14

Phân loại: Có thể không cần dùng định luật Kirchhoff đối với mạch đơn giản này nhưng ta vẫn dùng để minh họa cho việc áp dụng định luật. Do không có nút mạch nào nên dòng điện qua các điện trở là như nhau.

Phân tích: Giả sử dòng điện là cùng chiều kim đồng hồ như trong hình 28.14. Chọn chiều đi trong mạch vòng này theo chiều kim đồng hồ, bắt đầu từ a . Áp dụng các qui tắc về dấu của hiệu điện thế đã nêu ta có:

$$\sum \Delta V = 0 \rightarrow \varepsilon_1 - IR_1 - \varepsilon_2 - IR_2 = 0$$

Từ đó, ta tìm được cường độ dòng điện qua mạch:

$$I = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{R_1 + R_2} = \frac{6,00 \text{ V} - 12,00 \text{ V}}{8,00 \Omega + 10,00 \Omega} = -0,33 \text{ A}$$

Biện luận: Dấu âm trong kết quả phép tính cho thấy chiều dòng điện trong thực tế ngược với chiều đã chọn. Các sức điện động trong mạch ngược chiều nhau nên xuất hiện dấu trừ trong biểu thức cường độ dòng điện. Trong mẫu số, các điện trở được cộng với nhau do chúng được mắc nối tiếp.

Tình huống mở rộng: Nếu nguồn điện 12,0 V có chiều ngược lại thì sẽ ảnh hưởng thế nào đến mạch điện.

Trả lời: Lúc này, dấu của các nguồn điện là như nhau nên phương trình cuối ở phần trên trở thành

$$I = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{R_1 + R_2} = \frac{6,00 \text{ V} + 12,00 \text{ V}}{8,00 \Omega + 10,00 \Omega} = 1,00 \text{ A}$$

Bài tập mẫu 28.7: Một mạch điện có 2 vòng gồm 3 điện trở và 2 nguồn điện như hình 28.15. Bỏ qua điện trở trong của các nguồn điện. Hãy tìm cường độ dòng điện I_1 , I_2 và I_3 .

Khái niệm hóa: Hãy thử vẽ lại mạch điện bằng cách dùng các bộ điện trở mắc song song hoặc nối tiếp. Ta sẽ thấy là không thể làm như vậy.

Phân loại: Do không thể tối giản hóa mạch điện nên ta phải dùng các định luật Kirchhoff để giải bài toán này.

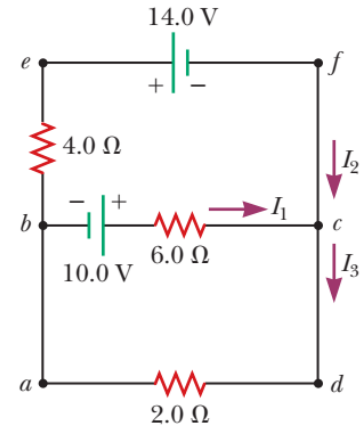
Phân tích: Áp dụng định luật Kirchhoff cho nút mạch c ta có

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0.$$

Tức là ta có một phương trình với 3 ẩn số. Từ hình vẽ thì ta có thể sử dụng ba vòng mạch $abcd$, $befcb$ và $aefda$. Tuy nhiên, ta chỉ cần thêm 2 phương trình là đủ để giải 3 ẩn này nên chỉ cần dùng 2 vòng mạch. Chọn chiều cho các vòng mạch là theo chiều kim đồng hồ.

Với vòng $abcd$ ta có: $10,0 \text{ V} - (6,0 \Omega)I_1 - (2,0 \Omega)I_3 = 0$

Với vòng $befcb$ ta có: $-(4,0 \Omega)I_2 - 14,0 \text{ V} + (6,0 \Omega)I_1 - 10,0 \text{ V} = 0$ hay:



Hình 28.15

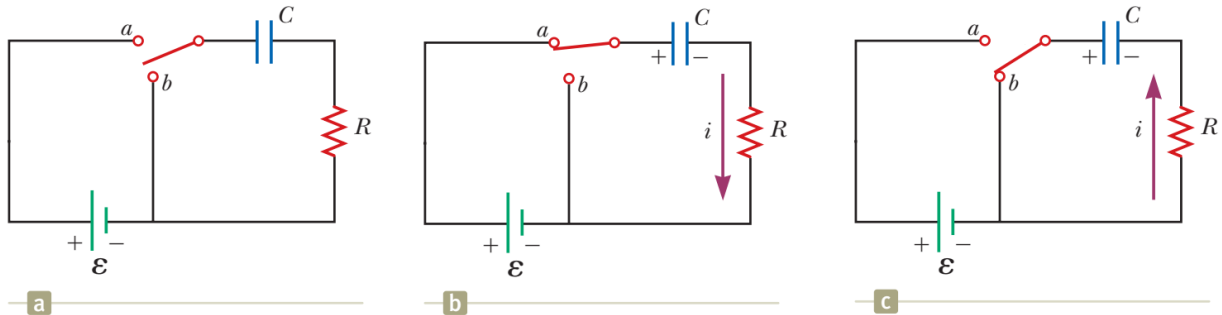
$$-24,0 \text{ V} + (6,0 \Omega)I_1 - (4,0 \Omega)I_2 = 0$$

Giải hệ 3 phương trình này, ta tìm được $I_1 = 3,0 \text{ A}$; $I_2 = -2,0 \text{ A}$; $I_3 = -1,0 \text{ A}$

Biện luận: Trong kết quả nêu trên, ta thấy có hai cường độ dòng điện nhận giá trị âm. Điều đó cho thấy rằng trong thực tế thì dòng điện I_2, I_3 có chiều ngược với chiều giả định trong hình 28.15. Lưu ý rằng khi giải phương trình mà thu được một giá trị âm cho cường độ dòng điện thì vẫn sử dụng nó cho các phép tính tiếp theo. Chỉ điều chỉnh chiều của các dòng điện sau khi đã có kết quả của tất cả các giá trị cường độ dòng điện

28.4 Mạch điện RC

Nếu trong mạch điện một chiều có chứa các điện trở thì dòng điện luôn có chiều không đổi như cường độ dòng điện có thể thay đổi theo thời gian. Mạch điện có chứa một tổ hợp gồm điện trở và tụ điện được gọi là **mạch điện RC**.



Hình 28.16

28.4.1 Nạp điện cho một tụ điện

Hình 28.16 là một mạch RC đơn giản, giả sử ban đầu tụ không được tích điện. Trong mạch không có dòng điện khi khóa ở vị trí a (hình 28.16a). Khi khóa được đóng sang vị trí b thì tụ điện bắt đầu được tích điện. Các điện tích không thể xuyên qua khoảng không giữa hai bản của tụ điện. Các điện tích chỉ được trao đổi từ các bản tụ và dây nối do có điện trường tạo bởi các nguồn điện.

Trong quá trình tích điện thì điện thế giữa hai bản cực của tụ điện tăng dần lên. Giá trị điện thế cực đại trên các bản tụ phụ thuộc vào điện áp của nguồn điện. Khi đạt được giá trị lớn nhất này thì dòng điện trong mạch sẽ bằng không do hiệu điện thế giữa hai bản tụ bằng điện áp cung cấp bởi nguồn điện.

Áp dụng định luật Kirchhoff cho vòng kín (hình 28.16b) theo chiều kim đồng hồ, ta có:

$$\varepsilon - \frac{q}{C} - iR = 0 \quad (28.11)$$

Trong đó q/C là hiệu điện thế hai đầu tụ điện và iR là hiệu điện thế trên điện trở. Các dấu + hoặc - trong phương trình này là do áp dụng qui tắc của định luật Kirchhoff. Và vì rằng điện tích và cường độ dòng điện biến thiên theo thời gian nên ta dùng các chữ thường q và i để nhấn mạnh tính tức thời của các giá trị này.

Ta có thể dùng phương trình (28.11) để tìm giá trị ban đầu của cường độ dòng điện cũng như giá trị cực đại của điện tích trên hai bản của tụ điện. Tại thời điểm ban đầu ($t = 0$), điện tích ở tụ điện bằng 0 nên dòng điện có cường độ lớn nhất,

$$I_i = \frac{\varepsilon}{R} \quad (28.12)$$

Cường độ dòng điện giảm dần trong quá trình tích điện cho tụ điện và bằng 0 khi tụ được tích điện tối đa,

$$Q_{max} = C\varepsilon \text{ (tích điện tối đa)} \quad (28.13)$$

Để tìm được sự phụ thuộc của điện tích tụ điện và cường độ dòng điện theo thời gian, ta thay $i = \frac{dq}{dt}$ vào phương trình (28.11), ta được:

$$\frac{dq}{dt} = \frac{\varepsilon}{R} - \frac{q}{RC} = -\frac{q - C\varepsilon}{RC}$$

Biến đổi phương trình này, ta được

$$\frac{dq}{q - C\varepsilon} = -\frac{1}{RC} dt$$

Lấy tích phân phương trình này với chú ý là $q = 0$ lúc $t = 0$, ta được:

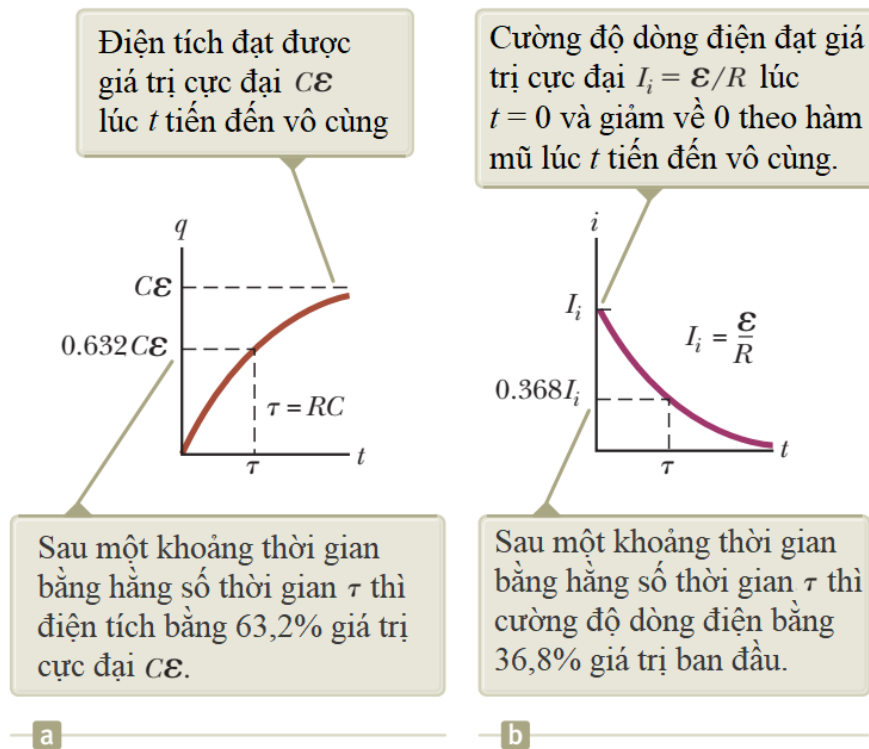
$$\int_0^q \frac{dq}{q - C\varepsilon} = -\frac{1}{RC} \int_0^t dt$$

$$\ln\left(\frac{q - C\varepsilon}{-C\varepsilon}\right) = -\frac{t}{RC}$$

Suy ra:

$$q(t) = C\varepsilon(1 - e^{-t/RC}) = Q_{max}(1 - e^{-t/RC}) \quad (28.14)$$

Ta tìm được biểu thức của cường độ dòng điện bằng cách lấy đạo hàm phương trình (28.14) theo thời gian:



Hình 28.16 Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của điện tích của tụ điện và cường độ dòng điện trong mạch theo thời gian.

$$i(t) = \frac{\varepsilon}{R} e^{-t/RC} \quad (28.15)$$

Hình 28.17 cho thấy sự phụ thuộc thời gian của điện tích tụ điện (hình 28.17a) và cường độ dòng điện trong mạch (hình 28.17b). Tại thời điểm ban đầu ($t = 0$) điện tích trên tụ bằng 0 và tăng dần đến giá trị lớn nhất $C\varepsilon$ khi $t \rightarrow \infty$. Còn cường độ dòng điện trong mạch có giá trị lớn nhất $I_i = \varepsilon/R$ tại thời điểm ban đầu và giảm theo hàm số mũ khi $t \rightarrow \infty$. Đại lượng RC trong các phương trình nêu trên được gọi là **hằng số thời gian** τ của mạch điện:

$$\tau = RC \quad (28.16)$$

Có thể kiểm chứng được ra rằng đại lượng τ có thứ nguyên thời gian.

28.4.2 Quá trình phóng điện của tụ điện

Giả sử tụ điện ở hình 28.16 được tích đầy điện. Lúc này, hiệu điện thế trên hai bản tụ là Q_i/C , còn điện thế hai đầu điện trở bằng 0 vì dòng điện $i = 0$. Bây giờ bật khóa sang vị trí (b) (coi là thời điểm ban đầu $t = 0$) như hình 28.16c, khi đó tụ điện bắt đầu phóng điện tích qua điện trở. Giả sử tại thời điểm t , dòng điện trong mạch là i , điện tích của tụ là q , áp dụng định luật Kirchoff cho vòng kín, ta được:

$$-\frac{q}{C} - IR = 0 \quad (28.17)$$

Thay $i = dq/dt$ vào biểu thức này, ta được: $-R \frac{dq}{dt} = \frac{q}{C} \rightarrow -\frac{dq}{q} = \frac{dt}{RC}$. Lấy tích phân biểu thức này với chú ý là lúc $t = 0$ thì $q = Q_i$

$$\int_{Q_i}^q \frac{dq}{q} = -\frac{1}{RC} \int_0^t dt \rightarrow \ln\left(\frac{q}{Q_i}\right) = -\frac{t}{RC}$$

$$q(t) = Q_i e^{-t/RC} \quad (28.18)$$

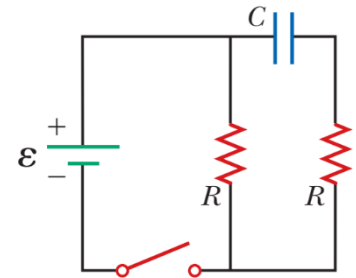
Đạo hàm biểu thức này theo thời gian, ta được biểu thức của cường độ dòng điện:

$$i(t) = -\frac{Q_i}{RC} e^{-t/RC} \quad (28.19)$$

Trong đó $Q_i/RC = I_i$ là cường độ dòng điện tại thời điểm ban đầu ($t = 0$, lúc bật khóa sang vị trí b), Dấu (-) cho thấy tụ đang phóng điện. Trong cả hai trường hợp tích và phóng điện tích của tụ thì cường độ dòng điện trong mạch đều giảm theo hàm số mũ với tốc độ giảm là hằng số thời gian $\tau = RC$.

Câu hỏi nhanh 28.5 Xét mạch điện trong hình 28.18, giả sử nguồn điện không có điện trở trong. (i) Ngay sau khi đóng công-tắc điện, dòng điện qua nguồn điện là bao nhiêu?

(a) 0; (b) $\varepsilon/2R$; (c) $2\varepsilon/R$; (d) ε/R (e) không thể xác định được. (ii) Sau một thời gian rất dài, cường độ dòng điện qua nguồn điện sẽ là bao nhiêu? Chọn trong các phương án đã nêu trên.



Hình 28.18

Bài tập mẫu 28.8 Cần gạt nước ngắt quãng

Nhiều xe ô-tô được trang bị cần gạt nước ở kính lái. Cần gạt nước hoạt động ngắt quãng khi có mưa nhẹ. Hoạt động của cần gạt này phụ thuộc như thế nào vào sự nạp điện và phóng điện của một tụ điện?

Giải: Cần gạt là một phần của mạch điện RC mà hằng số thời gian của mạch này có thể thay đổi tùy theo giá trị được chọn của R bởi một công-tắc có nhiều điểm tiếp xúc. Khi điệp áp trên tụ tăng lên thì tụ điện sẽ đạt đến một điểm mà nó phóng điện và kích hoạt cần gạt. Mạch điện lại khởi đầu một chu trình nạp điện mới. Khoảng thời gian giữa hai lần quét của cần gạt được xác định từ giá trị của hằng số thời gian của mạch điện.

Bài tập mẫu 28.9 Nạp điện cho tụ điện trong mạch điện RC

Một tụ điện chưa được nạp điện và một điện trở được mắc nối tiếp với một nguồn điện như trong hình 28.16. Cho $\varepsilon = 12,0 \text{ V}$; $C = 5,00 \text{ mF}$ và $R = 8,00 \times 10^5 \Omega$. Bật công-tắc qua vị trí a. Hãy tìm hằng số thời gian của mạch điện, điện tích lớn nhất trên tụ, dòng điện cực đại và điện tích và dòng điện như là các hàm theo thời gian.

Giải:

Khái niệm hóa: Xem xét hình 28.16 và hình dung là công-tắc đóng về vị trí a. Tụ điện sẽ được nạp điện.

Phân loại: Bài toán này thuộc loại áp dụng công thức:

Hằng số thời gian của mạch điện: $\tau = RC = (8,00 \times 10^5 \Omega)(5,00 \times 10^{-5} \text{ F}) = 4,00 \text{ S}$

Điện tích lớn nhất mà tụ điện tích được: $Q_{max} = C\varepsilon = (5,00 \mu\text{F})(12,0 \text{ V}) = 60,0 \mu\text{C}$

Cường độ dòng điện cực đại: $I_i = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{12,0\text{V}}{8,00 \times 10^5 \Omega} = 15,0 \mu\text{A}$.

Thay các kết quả này vào phương trình của q và i ta được:

$$q(t) = 60,0(1 - e^{-t/4,00}) \mu\text{C} \text{ và } i(t) = 15,0e^{-t/4,00} \mu\text{A}$$

Bài tập mẫu 28.10 Sự phóng điện của tụ điện trong mạch điện RC

Xét tụ điện có điện dung C phóng điện qua một điện trở R như trong hình 28.16c

(A) Sau bao nhiêu lần của hằng số thời gian thì điện tích trên tụ còn $\frac{1}{4}$ giá trị ban đầu?

Khái niệm hóa: Xem xét hình 28.16 và hình dung là công-tắc đóng về vị trí b . Tụ điện sẽ phóng điện.

Phân loại: Bài toán này thuộc loại áp dụng công thức

Phân tích: Thay giá trị của điện tích $q(t) = \frac{1}{4}Q_i$ vào phương trình (28.18)

$$\frac{Q_i}{4} = Q_i e^{-t/RC} \rightarrow \frac{1}{4} = e^{-t/RC} \rightarrow -\ln 4 = -\frac{t}{RC} \rightarrow t = RC \ln 4 = 1,39 \tau$$

(B) Năng lượng của tụ điện giảm đi khi tụ điện phóng điện. Sau bao nhiêu lần của hằng số thời gian thì năng lượng trên tụ còn $\frac{1}{4}$ giá trị ban đầu?

Giải: Dùng các phương trình 26.11 và 28.18 để tìm năng lượng lưu trữ trong tụ điện

$$U(t) = \frac{q^2}{2C} = \frac{Q_i^2}{2C} e^{-2t/RC}$$

Thay $U(t) = \frac{1}{4} \frac{Q_i^2}{2C}$ vào phương trình này, ta được

$$\frac{1}{4} \frac{Q_i^2}{2C} = \frac{Q_i^2}{2C} e^{-2t/RC} \rightarrow -\ln 4 = -\frac{2t}{RC} \rightarrow t = \frac{1}{2} RC \ln 4 = 0,693 \tau.$$

Tình huống mở rộng: Nếu muốn biểu diễn mạch điện theo khoảng thời gian cần thiết để điện tích của tụ điện giảm còn $\frac{1}{2}$ giá trị ban đầu – thường gọi là *chu kỳ bán rã* $t_{1/2}$ thì chu kỳ bán rã này bằng bao nhiêu?

Trả lời: Trong một chu kỳ bán rã thì điện tích của tụ điện giảm một nửa

$$\frac{Q_i}{2} = Q_i e^{-t_{1/2}/RC} \rightarrow \frac{1}{2} = e^{-t_{1/2}/RC} \rightarrow -\ln 2 = -\frac{t_{1/2}}{RC} \rightarrow t_{1/2} = RC \ln 2 = 0,693 \tau.$$

Khái niệm *chu kỳ bán rã* là một khái niệm quan trọng trong nghiên cứu về phân rã hạt nhân trong chương 44. Về toán học, sự phân rã phóng xạ của một mẫu vật không bền diễn ra tương tự như sự phóng điện của tụ điện trong mạch điện RC.

Bài tập mẫu 28.11 Năng lượng cung cấp cho một điện trở

Một tụ điện $5,00 \mu\text{F}$ được tích điện đến hiệu điện thế 800V và sau đó phóng điện qua một điện trở. Năng lượng được cung cấp cho điện trở cho đến khi tụ phóng hết điện là bao nhiêu?

Giải:

Khái niệm hóa: Trong ví dụ 28.10, ta đã xét trường hợp năng lượng của tụ điện giảm do phóng một phân điện tích của nó. Trong bài này, ta xét trường hợp tụ điện phóng hết điện.

Phân loại: Ta sẽ giải bài toán theo hai cách: cách thứ nhất là xem mạch điện như là một hệ cô lập về năng lượng. Vì năng lượng của một hệ cô lập được bảo toàn nên toàn bộ năng lượng điện ban đầu trên tụ được cung cấp cho điện trở. Cách thứ hai là xem điện trở là một hệ không cô lập về năng lượng. Năng lượng đi vào điện trở bởi sự truyền điện từ tụ điện sẽ trở thành nội năng của điện trở.

Phân tích: Ta sẽ bắt đầu theo cách thứ nhất: Năng lượng của hệ bảo toàn nên:

$$\Delta U + \Delta E_{\text{int}} = 0$$

Thay các giá trị năng lượng ở trạng thái đầu và cuối của hệ:

$$(0 - U_E) + (E_{\text{int}} - 0) = 0 \rightarrow E_R = U_E$$

Thay công thức năng lượng của tụ điện vào, ra được: $E_R = \frac{1}{2} C \epsilon^2$. Thay số, ta được:

$$E_R = \frac{1}{2} (5.00 \times 10^{-6} \text{ F})(800 \text{ V})^2 = 1,60 \text{ J}$$

Theo cách thứ hai, khó hơn nhiều nhưng có lẽ là có tính kiến tạo hơn, là lưu ý rằng tụ điện phóng điện qua điện trở với tốc độ cung cấp năng lượng là $i^2 R$, trong đó i là cường độ dòng điện tức thời, cho bởi phương trình 28.19.

$$P = \frac{dE}{dt} \rightarrow E_R = \int_0^\infty P dt$$

Thay biểu thức của công suất vào, ta được: $E_R = \int_0^\infty i^2 R dt$.

Sử dụng phương trình 28.19, ta có:

$$E_R = \int_0^\infty \left(-\frac{Q_i}{RC} e^{-t/RC} \right)^2 R dt = \frac{Q_i^2}{RC^2} \int_0^\infty e^{-2t/RC} dt = \frac{\epsilon^2}{R} \int_0^\infty e^{-2t/RC} dt = \frac{\epsilon^2}{R} \frac{RC}{2} = \frac{1}{2} C \epsilon^2$$

Biện luận: Kết quả thu được từ hai cách làm là giống nhau. Ta có thể dùng cách thứ hai để tìm tổng năng lượng đã cung cấp cho điện trở tại một thời điểm bất kỳ sau khi công-tắc đóng mạch bằng cách thay cận trên của tích phân bởi giá trị cụ thể của t .

28.5 LẮP MẠCH ĐIỆN GIA ĐÌNH VÀ AN TOÀN ĐIỆN

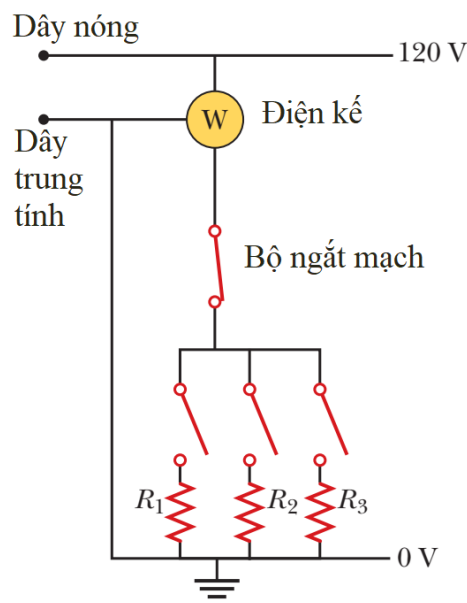
28.5.1 Lắp mạch điện gia đình

Theo cách lắp đặt thông thường, công ty điện lực sẽ cung cấp điện năng cho các gia đình bằng một đôi dây, mỗi nhà được mắc song song với các nhà khác. Một sợi dây được gọi là dây nóng (live wire) và một dây trung tính (neutral wire). Hiệu điện thế giữa hai dây vào khoảng 120 V hoặc 220 V tùy theo quốc gia. Điện áp này biến thiên theo thời gian và điện thế của dây nóng dao động tương đối so với chỗ tiếp đất. (Dòng điện xoay chiều sẽ được đề cập đến trong chương 33).

Để đo điện năng tiêu thụ của hộ gia đình thì một điện kế sẽ được mắc nối tiếp với dây nóng đi vào nhà. Phía sau điện kế, dây sẽ được chia thành nhiều nhánh riêng để tạo thành các mạch điện mắc song song với nhau, phân bố trong toàn bộ ngôi nhà. Mỗi mạch điện sẽ có một bộ ngắt điện (trong kiểu mắc cũ thì là cầu chì). Bộ ngắt điện là một công-tắc đặc biệt sẽ tự ngắt mạch điện khi dòng điện qua nó vượt quá giá trị cài đặt. Phải chọn bộ ngắt điện phù hợp với tổng công suất của mạch điện mà nó bảo vệ. Nếu chỉ là mạch điện thấp sáng thì chỉ cần bộ ngắt điện với dòng điện tối đa khoảng 20 A. Nếu mạch điện có lò nướng, lò vi ba, máy pha cà phê chẳng hạn (như trên hình 28.19), coi R_1 , R_2 , R_3 là các thiết bị sử dụng điện. Ta có thể tính được dòng điện hoạt động trong mỗi thiết bị qua công thức $P = I \Delta V$, giả sử lò nướng có công suất $P = 1000$ W, với điện áp nguồn là 120 V thì dòng điện khi nó hoạt động là $I = 1000/120 = 8,33$ A, giả sử đối với lò vi ba là $1300/120 = 10,8$ A, và đối với máy pha cà phê là $I = 800/120 = 6,67$ A. Khi cả ba thiết bị này cùng hoạt động một lúc thì chúng cần dòng điện tới 25,8 A. Như vậy, ta cần một bộ ngắt điện khoảng 30 A.

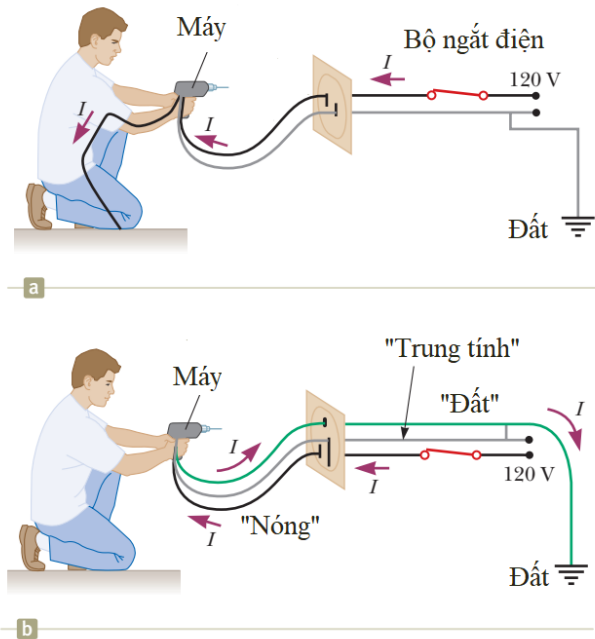
28.5.2 An toàn điện

Khi dây nóng của một ổ cắm bị nối trực tiếp với đất thì hiện tượng *đoản mạch* sẽ xảy ra. Một đoạn mạch bị nối tắt như vậy có điện trở gần như bằng không giữa hai điểm có điện áp lớn, kết quả là dòng điện sẽ rất lớn. Nếu điều này xảy ra một cách tình cờ thì một bộ ngắt điện hoạt động tốt sẽ ngắt mạch và không có thiệt hại nào xảy ra. Tuy nhiên, nếu một người nào đó đang tiếp xúc với đất (mang giày dép ướt hoặc chạm vào ống dẫn nước bằng kim loại) mà chạm vào dây nóng không được bọc cách điện hoặc một vật dẫn điện bị hở thì sẽ bị giật điện. Phải tránh tình huống bằng mọi giá.



Hình 28.19

Hiện tượng giật điện có thể gây bỏng nghiêm trọng hoặc làm tổn hại nội tạng như tim chẳng hạn. Mức độ tổn hại phụ thuộc vào cường độ dòng điện và thời gian dòng điện chạy qua cơ thể cũng như bộ phận tiếp xúc với dây nóng và bộ phận có dòng điện chạy qua. Nếu dòng điện lớn hơn 10 mA thì cơ sẽ bị co lại và có khả năng là người đó bị dính vào dòng điện. Nếu dòng điện khoảng 100 mA chạy qua trong vài giây thì hậu quả sẽ nghiêm trọng. Dòng điện như vậy sẽ làm tê liệt các cơ hô hấp làm cho người không thở được. Trong một vài trường hợp, dòng điện khoảng 1 A sẽ gây cháy nghiêm trọng. Trên thực tế, không có sự tiếp xúc với điện nào là an toàn nếu điện áp lớn hơn 24 V.



Hình 28.21: An toàn điện

Nhiều ổ cắm 120 V được thiết kế để dùng đầu dây điện 3 chân. Một trong các chân này được nối với dây nóng với điện thế thông thường 120 V. Chân thứ hai nối với dây trung tính. Chân thứ 3 là chân nối đất. Đây là dây nối đất an toàn và thường là không có dòng điện chạy qua. Dây này nối vỏ của thiết bị điện với đất. Nếu bị rò điện từ dây nóng thì dòng điện sẽ chạy qua dây này xuống đất (hình 28.21b).

Tóm tắt chương 28

Định nghĩa:

Sức điện động (emf) của một nguồn điện bằng điện áp giữa hai cực của nguồn khi dòng điện qua nguồn bằng không. Tức là sức điện động bằng điện áp mạch hở của một nguồn điện.

Khái niệm và nguyên lý:

Điện trở tương đương của một bộ điện trở mắc nối tiếp

$$R_{td} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots \quad (28.6)$$

Điện trở tương đương của một bộ điện trở mắc song song

$$\frac{1}{R_{td}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots \quad (28.8)$$

Các định luật Kirchhoff được dùng để giải toán mạch điện có nhiều vòng mạch.

Định luật nút mạch $\sum_{vong} \Delta V = 0$ (28.9)

Định luật vòng mạch $\sum_{vong} \Delta V = 0$ (28.10)

Nếu đi từ đầu này đến đầu kia của điện trở *thuận theo* chiều dòng điện thì $\Delta V = -IR$ và nếu *ngược với* chiều dòng điện thì $\Delta V = +IR$

+ Nếu đi từ cực âm sang cực dương của một nguồn điện (không có điện trở trong) thì hiệu điện thế là $\Delta V = +\varepsilon$.

+ Nếu đi từ cực dương sang cực âm của một nguồn điện (không có điện trở trong) thì hiệu điện thế là $\Delta V = -\varepsilon$.

Nếu một tụ điện được tích điện bởi một nguồn điện thông qua một điện trở R thì điện tích của tụ được xác định bởi:

$$q(t) = Q_{max} (1 - e^{-t/RC}) \quad (23.14)$$

Dòng điện nạp cho tụ biến thiên theo thời gian theo qui luật:

$$i(t) = \frac{\varepsilon}{R} e^{-t/RC} \quad (23.15)$$

Nếu một tụ điện có điện dung C phóng điện qua một điện trở R thì điện tích của tụ cũng như dòng điện qua điện trở giảm theo thời gian theo các biểu thức sau:

$$q(t) = Q_i e^{-t/RC} \quad (23.19)$$

$$i(t) = -\frac{Q_i}{RC} e^{-t/RC} \quad (23.19)$$

Bài tập chương 28:

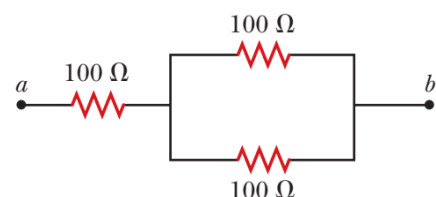
- Một nguồn điện có sức điện động là 15,0 V. Điện áp giữa hai cực của nguồn là 11,6 V khi nó cung cấp công suất 20,0 W cho một điện trở R . (a) Giá trị của R là bao nhiêu? (b) Điện trở trong của nguồn điện là bao nhiêu?

Đáp số: a) 6,73 Ω b) 1,97 Ω

- Một nguồn điện của ô-tô có sức điện động 12,6 V và điện trở trong là 0,0800 Ω . Các bóng đèn pha của xe có điện trở tương đương là 5,00 Ω (giả sử là không đổi). Hiệu điện thế ở hai cực của đèn là bao nhiêu (a) nếu chúng là tải duy nhất đối với nguồn điện và (b) khi động cơ khởi động của xe hoạt động và có dòng điện 35,0 A chạy qua động cơ?

Đáp số: a) 12,4 V b) 9,65 V

- Ba điện trở 100 Ω được mắc với nhau như hình vẽ. Công suất cực đại có thể cung cấp cho một điện trở là 25,0 W. (a) Hiệu điện thế cực đại có thể đặt vào hai điểm a và b là bao nhiêu? (b) Với điện áp tìm được ở câu (a) thì công suất cung cấp



cho mỗi điện trở là bao nhiêu? (c) Công suất tổng cung cấp cho bộ điện trở là bao nhiêu?

Đáp số:

a) 75,0 V

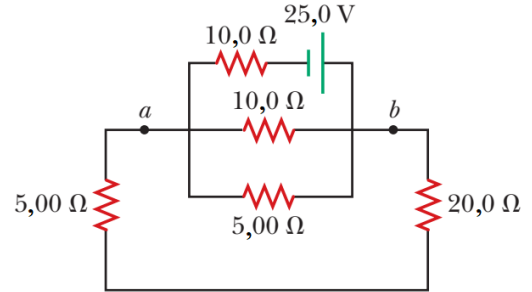
b) 25,0 W cho điện trở thứ nhất và 6,25 W cho mỗi điện trở trong 2 điện trở mắc song song

c) 37,5 W.

4. Xét mạch điện như hình vẽ bên. Hãy tìm

(a) dòng điện đi qua điện trở 20,0 Ω và (b) hiệu điện thế giữa hai điểm *a* và *b*.

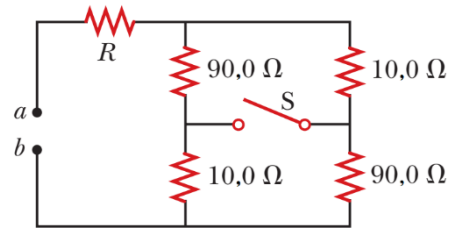
Đáp số: a) 227 mA; b) 5,68 V



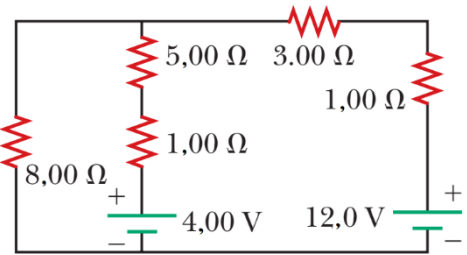
5. (a) Khi đóng khóa S trong hình bên thì điện trở tương đương giữa hai điểm *a* và *b* tăng lên hay giảm đi? Tại sao? (b) Giả sử điện trở tương đương giảm 50,0 % khi S đóng. Hãy tìm giá trị của *R*

Đáp số: a) Giảm đi. Lập công thức tính điện trở tương đương trong 2 trường hợp và so sánh với nhau.

b) $R = 14,0 \Omega$



6. Hãy chỉ ra cách mắc vừa đủ các ampe kế và vôn kế để đo cường độ dòng điện qua mỗi điện trở và hiệu điện thế ở hai đầu của chúng.



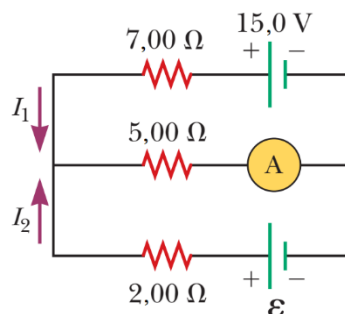
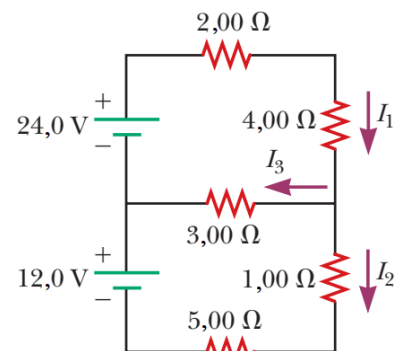
7. Số chỉ của ampe kế trong mạch điện dưới đây là 2,00 A. Hãy tìm (a) I_1 (b) I_2 và (c) \mathcal{E} .

Đáp số:

a) $I_1 = 0,714 \text{ A}$ b) $I_2 = 1,29 \text{ A}$ c) $\mathcal{E} = 12,6 \text{ V}$

8. Có thể biến đổi mạch điện ở hình bên cạnh thành một mạch chỉ gồm 1 điện trở mắc với 1 nguồn điện hay không? Tại sao? Hãy tìm (a) I_1 (b) I_2 và (c) I_3 .

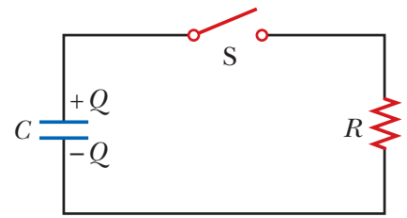
Đáp số:



a) $I_1 = 3,50 \text{ A}$ b) $I_2 = 2,50 \text{ A}$

c) $I_3 = 1,00 \text{ A}$

9. Một tụ đã tích điện được nối với một điện trở và một khóa S như hình bên. Mạch điện có hằng số thời gian là 1,50 s. Sau khi đóng khóa S, điện tích trên tụ chỉ còn 75% so với ban đầu. (a) Hãy tìm thời gian cần để tụ có giá trị điện tích nói trên. (b) Nếu $R = 250 \text{ k}\Omega$ thì C có giá trị là bao nhiêu?



Đáp số: a) 0,432 s b) 6,00 μF

10. Một máy sưởi điện có công suất $1,50 \times 10^3 \text{ W}$, một máy nướng bánh mì lát có công suất 750 W và một lò nướng điện có công suất $1,00 \times 10^3 \text{ W}$. Ba thiết bị này hoạt động với điện áp thông thường là 120 V của hộ gia đình. (a) Dòng điện qua mỗi thiết bị này là bao nhiêu? (b) Nếu mạch điện được bảo vệ bằng bộ ngắt điện 25,0 A thì bộ ngắt điện có hoạt động không? Giải thích.

Đáp số: a) 12,5 A; 6,25 A và 8,33 A

- b) Cường độ dòng điện tổng cộng lớn hơn giá trị cho phép của bộ ngắt điện nên mạch điện sẽ bị ngắt.

11. Bộ phận sưởi của một lò nướng được thiết kế để nhận 3000 W khi mắc vào nguồn điện 240 V. Giả sử giá trị của điện trở là không đổi, hãy tính cường độ dòng điện qua bộ phận sưởi nếu mắc lò nướng vào hiệu điện thế 120 V. b) Tính công suất tiêu thụ của lò với điện áp này.

Đáp số: a) 6,25 A b) 750 W