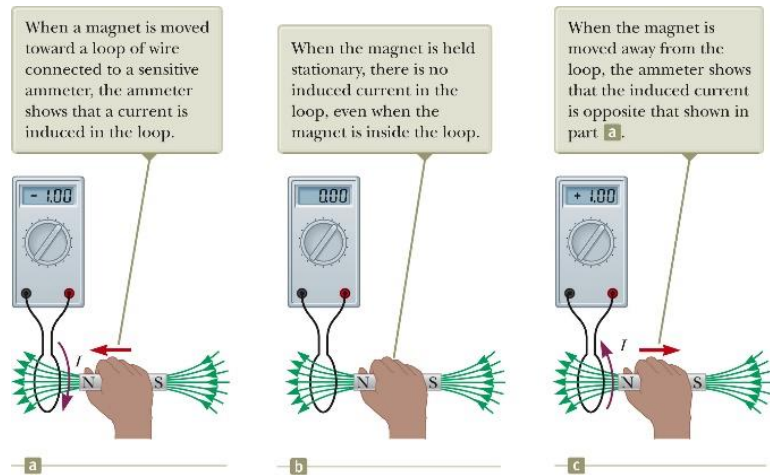


Chương 31: Định luật Faraday

Trong các chương trước, các khảo sát của chúng ta về điện và từ tập trung vào điện trường sinh ra bởi các điện tích đứng yên và từ trường sinh ra do các điện tích chuyển động. Chương này sẽ tìm hiểu các hiệu ứng sinh ra bởi từ trường biến đổi theo thời gian. Các thí nghiệm được thực hiện bởi Michael Faraday ở Anh năm 1831 và cũng được thực hiện độc lập bởi Joseph Henry ở Mỹ trong cùng năm đó đã cho thấy một suất điện động (*electromotive force – emf*) có thể được cảm ứng (sinh ra) trong một mạch điện khi từ trường thay đổi. Kết quả của những thí nghiệm trên dẫn tới một định luật rất cơ bản và quan trọng của điện từ được gọi là *Định luật cảm ứng Faraday*. Một suất điện động (và do đó một dòng điện) có thể được sinh ra trong nhiều quá trình khác nhau trong đó có sự thay đổi của từ trường.

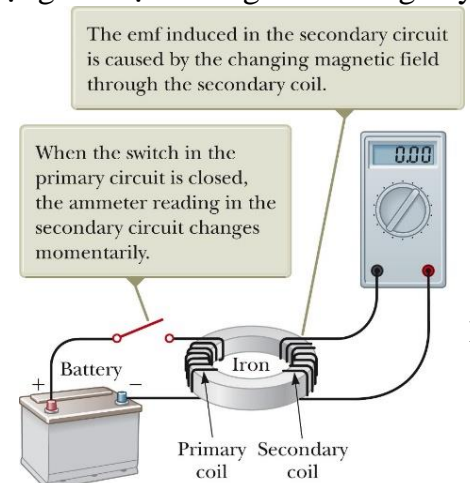
31.1 Định luật cảm ứng Faraday



Hình 31. 1 Thí nghiệm cho thấy dòng điện cảm

31.1.1. Suất điện động được sinh ra khi từ trường thay đổi Một vòng dây được nối với thiết bị nhạy để đo dòng điện (hình 31.1). Khi nam châm di chuyển hướng tới vòng dây, ampere kế bị lệch. Giả sử chiều lệch được chọn là giá trị âm. Khi nam châm đứng yên cố định, ampere kế không bị lệch. Do đó, không xuất hiện dòng cảm ứng (*induced current*) cho dù nam châm ở trong vòng dây. Khi nam châm di chuyển ra xa vòng dây thì ampere kế lệch theo chiều ngược lại.

Kim ampere kế lệch khi nam châm di chuyển hướng lại gần hoặc hướng ra xa vòng dây. Ngược lại, ampere kế cũng lệch khi vòng dây di chuyển lại gần hay hướng ra xa nam châm. Do đó, đối với vòng dây ta nhận thấy rằng nam châm di chuyển cũng liên quan tới nó. Điều này là do sự thay đổi của từ trường. Dòng điện cảm ứng được sinh ra bởi suất điện động cảm ứng.



Hình 31. 2 Thí nghiệm của Faraday

31.1.2 Thí nghiệm định luật Faraday

Cuộn dây sơ cấp (*primary coil*) được nối với 1 công tắc và 1 ắc quy (hình 31.2). Dây được quấn quanh vòng sắt. Một cuộn dây thứ cấp (*secondary coil*) cũng được quấn quanh vành đai thép. Không có ắc-quy nối với cuộn dây thứ cấp. Cuộn dây thứ cấp không nối trực tiếp với cuộn dây sơ cấp.

Ngay khi khóa được đóng, ampe kế thay đổi từ 0 lệch theo một hướng và sau đó quay trở về 0. Khi khóa mở, ampe kế thay đổi theo hướng ngược lại và quay về 0. Ampe kế đọc là 0 khi có dòng ổn định hoặc không có dòng trong cuộn sơ cấp.

Kết luận: Dòng điện cảm ứng chỉ xuất hiện trong vòng dây khi từ trường thay đổi. Dòng điện cảm ứng chỉ tồn tại trong thời gian từ trường đi qua cuộn dây thay đổi. Việc tồn tại từ thông không đủ để sinh ra suất điện động cảm ứng, cần phải có sự thay đổi của từ thông.

31.1.3 Phát biểu định luật Faraday về cảm ứng

Suất điện động cảm ứng trong mạch tỉ lệ với lượng từ thông qua mạch biến thiên theo thời gian.

Biểu thức toán học:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (31.1)$$

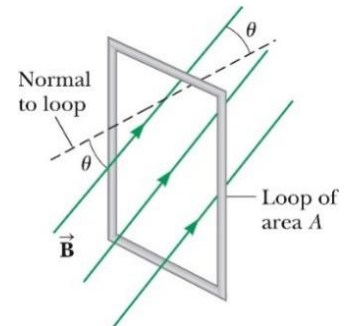
Trong đó $\Phi_B = \int \vec{B}d\vec{A}$ là từ thông xuyên qua vòng dây.

Nếu mạch bao gồm N vòng dây, có cùng diện tích, và nếu phi Φ_B là từ thông qua một vòng dây, mỗi vòng có một suất điện động cảm ứng thì định luật Faraday trở thành:

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (31.2)$$

Giả sử vòng dây có diện tích A, đặt trong từ trường \vec{B} như hình 31. từ thông qua vòng dây bằng $BA \cos \theta$ do đó suất điện động cảm ứng có thể viết thành:

$$\varepsilon = -\frac{d}{dt}(BA \cos \theta) \quad (31.3)$$



Hình 31. 3 Định luật

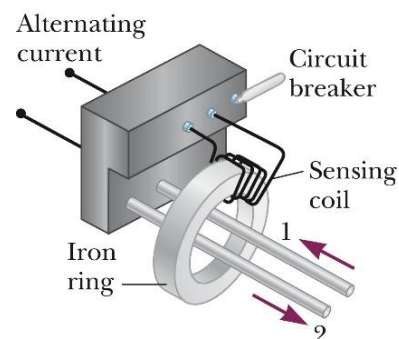
Câu hỏi 31.1: Một vòng dây tròn được giữ trong từ trường đều với mặt phẳng vòng dây vuông góc với các đường cảm ứng từ. Điều nào sau đây *không* gây ra dòng điện cảm ứng trong vòng dây? (a) làm biến dạng vòng dây (b) xoay vòng dây quanh trục vuông góc với các đường sức từ (c) giữ hướng của vòng dây cố định và di chuyển dọc theo đường sức từ (d) kéo vòng dây ra khỏi từ trường.

31.1.4 Cách tạo ra suất điện động cảm ứng

- Từ trường \vec{B} có thể thay đổi theo thời gian.
- Diện tích vòng dây thay đổi theo thời gian.
- Góc θ giữa \vec{B} và pháp tuyến của vòng dây có thể thay đổi theo thời gian.
- Bất kỳ sự kết hợp nào của các điều kiện trên.

31.1.5 Ứng dụng của định luật Faraday- GFCI (Ground Fault Circuit Interrupter)

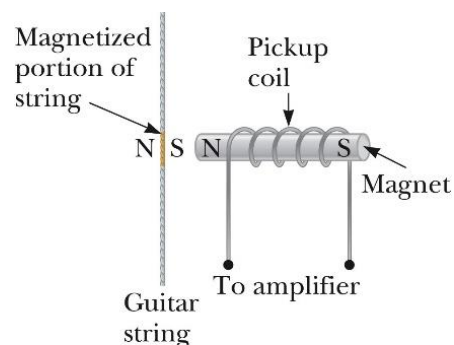
GFCI (ngắt dòng rò nối đất) như hình 31.4 bảo vệ người dùng các dụng cụ điện không bị điện giật. Khi dòng trong sợi dây chạy theo hướng đối diện, cảm ứng từ là zero. Khi dòng đi theo chiều ngược lại trong dây 2 thay đổi, cảm ứng từ không còn là zero nữa. Kết quả là suất điện động cảm ứng có thể dùng để khởi động cầu dao tự động.



Hình 31. 4 Các thành phần cơ bản của một thiết bị ngắt mạch chống rò điện.

31.1.6 Ứng dụng của định luật Faraday – cuộn bắt (Pickup Coil)

Một ứng dụng thú vị khác của định luật Faraday là tạo ra âm thanh trong đàn ghi-ta điện (hình 31.5). Cuộn dây trong trường hợp này được gọi là cuộn bắt, được đặt gần dây đàn ghi-ta được làm từ kim loại dễ nhiễm từ. Một thanh nam châm vĩnh cửu trong cuộn dây từ hóa một phần sợi dây gần nó. Khi dây đàn rung, phần từ hóa sinh ra từ thông thay đổi trong cuộn dây. Từ thông thay đổi sinh ra một suất điện động cảm ứng cấp cho một bộ khuếch đại (amplifier). Đầu ra của bộ khuếch đại đưa tín hiệu đến loa phát ra âm thanh.



Hình 31. 5 Dây đàn trong ghi-ta điện

Bài tập mẫu 31.1:

Một cuộn dây chứa 200 vòng. Mỗi vòng hình vuông cạnh $d = 18 \text{ cm}$, từ trường đều vuông góc với mặt phẳng cuộn dây được bật lên. Nếu từ trường thay đổi tuyến tính từ 0 đến 0,50T trong 0,8 giây. Tính độ lớn của suất điện động cảm ứng trong cuộn dây khi từ trường thay đổi?

Giải

Khái niệm hóa: Từ mô tả trong đề bài, hãy tưởng tượng đường sức từ xuyên qua cuộn dây. Vì từ trường thay đổi độ lớn, một suất điện động cảm ứng được sinh ra trong cuộn dây.

Phân loại: Chúng ta sẽ tính suất điện động bằng cách dùng định Faraday từ mục này, ta có thể xem ví dụ này như một bài toán thay thế.

Từ phương trình 31.2 lưu ý rằng từ trường thay đổi theo thời gian:

$$|\mathcal{E}| = N \frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t} = N \frac{\Delta(BA)}{\Delta t} = NA \frac{\Delta B}{\Delta t} = Nd^2 \frac{B_j B_i}{\Delta t}$$

Thay số vào:

$$|\mathcal{E}| = (200) \cdot (0,18m)^2 = \frac{(0,50T - 0)}{0,80s} = 4,0V$$

Lưu ý: Nếu yêu cầu tính độ lớn của dòng điện cảm ứng trong cuộn dây khi từ trường thay đổi thì sao? Bạn có thể trả lời câu hỏi này không?

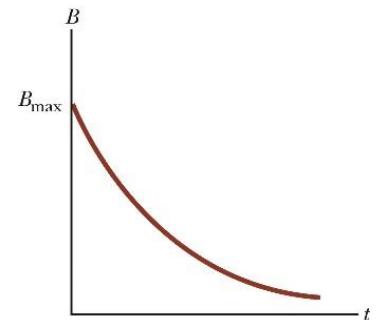
Trả lời: nếu cuộn dây không được nối vào mạch điện, câu trả lời đơn giản: dòng bằng 0!

Để có dòng trong cuộn dây đầu dây phải được nối với mạch ngoài. Chúng ta giả sử rằng cuộn dây được nối với mạch ngoài và điện trở tổng cộng của mạch và cuộn dây là $2,0\Omega$. Khi đó độ lớn của dòng điện cảm ứng trong cuộn dây là:

$$I = \frac{|\mathcal{E}|}{R} = \frac{4,0V}{2,0} = 2,0A$$

Bài tập mẫu 31.2:

Một vòng dây điện tích A được đặt trong từ trường vuông góc với mặt phẳng vòng dây. Độ lớn của \vec{B} thay đổi theo hàm mũ $B = B_{\max} e^{-at}$, trong đó a là hằng số. Tại $t=0$ từ trường là B_{\max} và tại $t>0$ từ trường giảm như hình. 31.6 Tìm biểu thức suất điện động cảm ứng trong cuộn dây theo thời gian?



Hình 31. 6 Bài tập mẫu 31.2

Giải

Khái niệm hóa: Lời giải vật lý trong trường hợp này tương tự như bài tập mẫu 3.1 trừ hai thứ: chỉ có một vòng dây và từ trường thay đổi theo hàm mũ chứ không phải tuyến tính.

Phân loại: Chúng ta sẽ tính giá trị của suất điện động cảm ứng bằng định luật Faraday ta có thể xem bài toán này như một bài toán thay thế.

Phương trình 3.11 cho bài toán này được viết lại dưới dạng:

$$|\mathcal{E}| = N \frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t} = N \frac{\Delta(BA)}{\Delta t} = NA \frac{\Delta B}{\Delta t} = Nd^2 \frac{B_j B_i}{\Delta t}$$

Thay số vào:

$$|\mathcal{E}| = (200) \cdot (0,18m)^2 = \frac{(0,50T - 0)}{0,80s} = 4,0V$$

Suất điện động do chuyển động

Chúng ta sẽ mô tả suất điện động chuyển động (*motional emf*), suất điện động cảm ứng trong dây dẫn di chuyển qua từ trường đều. Các điện tích trong dây dẫn chịu

31.2 tác dụng lực $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ có hướng dọc theo chiều dài l . Dưới tác dụng của lực từ, điện tích dương di chuyển lên đầu phía trên của dây dẫn, còn điện tích âm di chuyển về đầu phía dưới của dây dẫn. Kết quả là có sự phân cực do tích điện, điện trường được sinh ra bên trong vật dẫn. Vùng tích lũy điện tích tại hai đầu của dây dẫn cân bằng theo lực điện và từ. Phương trình diễn tả sự cân bằng: $qE = qvB$

Hay: $E = vB$

Điện trường sinh ra trong dây dẫn tỉ lệ với hiệu điện thế giữa hai đầu dây dẫn theo biểu thức: $\Delta V = El$

Theo điều kiện cân bằng

$$\Delta V = El = Blv \quad (31.4)$$

Do đó, một hiệu điện thế được duy trì giữa hai đầu dây dẫn khi dây vẫn còn di chuyển trong từ trường đều (hình 31.7). Nếu chiều chuyển động của dây ngược lại, chiều của hiệu điện thế cũng ngược lại.

31.2.1 Thanh dẫn trượt

Một mạch điện có một thanh dẫn chiều dài l di chuyển dọc theo hai thanh ray song song cố định như hình 31.8 a. Giả sử thanh có điện trở bằng không và phần đứng yên của mạch có điện trở R .

Từ thông gửi qua mạch là: $\Phi_B = Blx$

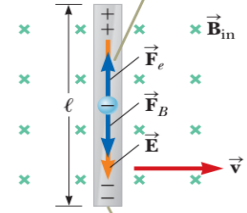
Áp dụng định luật Faraday, suất điện động cảm ứng:

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -Bl \frac{dx}{dt} = -Blv \quad (31.5)$$

Từ đó, điện trở trong mạch là R , dòng điện là:

$$I = \frac{|\mathcal{E}|}{R} = \frac{Blv}{R} \quad (31.6)$$

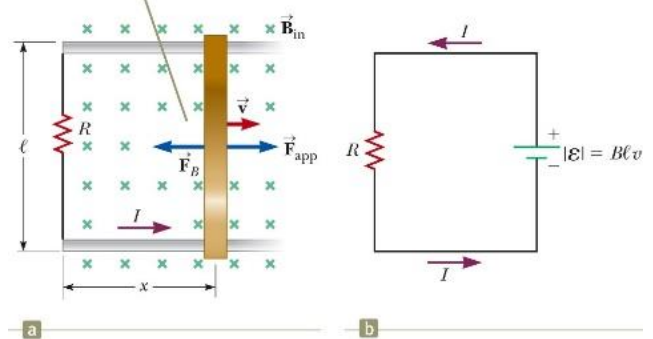
In steady state, the electric and magnetic forces on an electron in the conductor are balanced.



Due to the magnetic force on electrons, the ends of the conductor become oppositely charged, which establishes an electric field in the conductor.

Hình 31. 7 Một dây điện thẳng chuyển động với vận tốc \vec{v} trong từ trường đều \vec{B} vuông góc với vận

A counterclockwise current I is induced in the loop. The magnetic force \vec{F}_B on the bar carrying this current opposes the motion.



Hình 31. 8 a. Một thanh trượt chuyển động với vận tốc \vec{v} dọc theo hai thanh ray dưới tác động của một lực \vec{F}_{app} , b. Sơ đồ mạch tương đương.

31.2.2 Sự bảo toàn năng lượng

Do không có nguồn trong mạch, chúng ta sẽ thắc mắc về nguồn gốc của dòng điện cảm ứng và nhiệt lượng tỏa ra trên điện trở. Chúng ta có thể hiểu nguồn gốc của dòng điện này và năng lượng bằng cách chú ý đến lực tác dụng đã thực hiện công lên thanh dẫn. Bởi vì thanh di chuyển với vận tốc không đổi, nó xem như một chất điểm cân bằng và lực từ phải bằng và ngược chiều với ngoại lực giữ thanh chuyển động, hay hướng về bên trái như hình 31.8a (nếu \vec{F}_B tác dụng theo chiều chuyển động, nó sẽ làm thanh có gia tốc, vi phạm định luật bảo toàn năng lượng). Công suất của ngoại lực là:

$$P = F_{app}v = (IlB)v = \frac{B^2l^2v}{R} = \frac{\varepsilon^2}{R} \quad (31.7)$$

Câu hỏi 31.2: Trong hình 31.8a, một lực có độ lớn F_{app} gây ra vận tốc v và thực hiện công suất P . Hãy hình dung lực tăng lên làm cho vận tốc của thanh tăng lên gấp đôi thành $2v$. Hãy tìm độ lớn của lực mới và công suất cung cấp? (a) $2F$ và $2P$ (b) $4F$ và $2P$ (c) $2F$ và $4P$ (d) $4F$ và $4P$.

Bài tập mẫu 31.3: Lực từ tác dụng lên thanh chuyển động

Thanh dẫn minh họa trong hình 31.9 di chuyển không ma sát trên hai ray trượt song song trong từ trường đều vuông góc và hướng vào mặt giấy. Thanh có khối lượng m và chiều dài l . Khi $t = 0$ thanh chuyển động qua phải với vận tốc v .

(A) Dùng định luật Newton, tìm vận tốc của thanh theo thời gian.

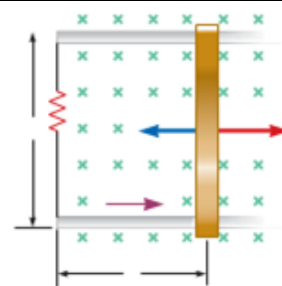
Giải

Khái niệm hóa: Khi thanh di chuyển qua phải như trong hình 31.9, một dòng điện cùng chiều kim đồng hồ được sinh ra trên mạch có chứa thanh, hai ray và điện trở. Dòng hướng lên trong thanh gây ra lực từ hướng về bên trái như hình. Do đó thanh phải chuyển động chậm lại, lời giải toán học sẽ minh họa điều này.

Phân loại: Đề bài đã phân loại bài toán giải bằng cách sử dụng các định luật Newton. Chúng ta xem thanh như một chất điểm chuyển động dưới tác dụng của lực tổng hợp.

Phân tích: Từ phương trình 39.10, lực từ là $F_B = -IlB$ trong đó dấu trừ cho biết lực hướng về bên trái. Lực từ là lực duy nhất trên phương ngang tác dụng lên thanh.

Áp dụng định luật hai Newton cho thanh trên phương ngang:



Hình 31.9 Thanh có chiều dài l chuyển động trên hai ray về bên phải với vận tốc

$$F_x = ma \rightarrow IlB = m \frac{dv}{dt}$$

Từ phương trình 3.6

$$m \frac{dv}{dt} = -\frac{B^2 l^2}{R} v$$

$$\frac{dv}{v} = -\left(\frac{B^2 l^2}{mR}\right) dt$$

Lấy tích phân hai vế theo vận tốc đầu và thời gian:

$$\int_{v_i}^v \frac{dv}{v} = -\frac{B^2 l^2}{mR} \int_0^t dt$$

$$\ln\left(\frac{v}{v_i}\right) = -\left(\frac{B^2 l^2}{mR}\right) t$$

Đặt hằng số: $\tau = mR/B^2 l^2$ và giải tìm vận tốc:

$$(1) v = v_i e^{-t/\tau}$$

Hoàn tất: Biểu thức của v chỉ ra rằng vận tốc của thanh giảm theo thời gian do tác dụng của lực từ như dự đoán ban đầu của chúng ta về bài toán này.

(B) Ta cũng thu được kết quả tương tự bằng cách giải theo năng lượng.

Giải

Phân loại: Đề bài yêu cầu chúng ta dùng phương pháp năng lượng để giải. Chúng ta minh họa mạch điện trong hình 31.9 như một mạch kín.

Phân tích: Xét thanh chuyển động như một thành phần động năng của hệ và đang giảm vì năng lượng mất đi dưới dạng điện năng truyền qua hai ray. Điện trở là một thành phần nội năng của hệ và đang tăng vì năng lượng được truyền vào điện trở. Vì năng lượng không thoát ra khỏi hệ nên tốc độ mất năng lượng của thanh cũng bằng tốc độ nhận năng lượng của điện trở.

Công suất trong điện trở bằng công suất trên thanh:

$$P_{resistor} = -P_b$$

Thay công suất cung cấp cho điện trở và tốc độ thay đổi động năng của thanh:

$$I^2 R = -\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m v^2 \right)$$

Dùng phương trình 31.6 và lấy đạo hàm:

$$\frac{B^2 l^2 v^2}{R} = -mv \frac{dv}{dt}$$

Biến đổi lại:

$$\frac{dv}{v} = -\left(\frac{B^2 l^2}{mR}\right) dt$$

Hoàn tất: Kết quả này tương tự như phần (A).

Lưu ý: Giả sử ta muốn tăng quãng đường thanh di chuyển. Ta có thể thực hiện bằng cách thay đổi một trong ba thông số v, R hoặc B tăng gấp đôi hay giảm một nửa. Thông số nào sẽ tăng khoảng cách lớn nhất? Ta sẽ tăng nó gấp đôi hay giảm còn một nửa?

Trả lời:

Tăng v sẽ làm thanh di chuyển nhanh hơn. Tăng R sẽ làm giảm dòng do đó giảm lực từ làm thanh đi xa hơn. Giảm B sẽ làm giảm lực từ và làm thanh đi xa hơn. Cách nào có hiệu quả nhất, thử nghĩ xem?

Dùng phương trình (1) tìm khoảng cách thanh đi được bằng tích phân:

$$\begin{aligned} v &= \frac{dx}{dt} = v_i e^{-t/\tau} \\ x &= \int_0^\infty v_i e^{-t/\tau} dt \\ &= v_i \left(\frac{mR}{B^2 l^2} \right) \end{aligned}$$

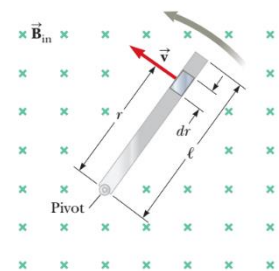
Biểu thức này cho thấy tăng gấp đôi v hoặc R sẽ tăng gấp đôi khoảng cách. Tuy nhiên giảm B phân nửa có thể tăng khoảng cách lên 4 lần.

Bài tập mẫu 31.4: Suất điện động cảm ứng trong thanh chuyển động quay

Một thanh dẫn chiều dài l quay với vận tốc góc không đổi ω quanh trục tại một đầu A. Từ trường đều B vuông góc với mặt phẳng quay như hình 31.10. Tìm suất điện động cảm ứng giữa hai đầu thanh.

Giải

Khái niệm hóa: Thanh quay có bản chất khác với thanh trượt trong hình 31.8. Xét một đoạn nhỏ trên thanh. Đoạn này có chiều dài ngắn di chuyển trong từ trường và có suất điện động ở hai đầu như thanh trượt. Bằng cách xem mỗi đoạn như một nguồn suất điện động, chúng ta thấy rằng tất cả các đoạn mắc nối tiếp và suất điện động sẽ cộng dồn lại.



Hình 31. 10 Bài tập mẫu 31.4

Phân loại: Dựa trên định nghĩa của bài toán, chúng ta tiếp cận ví dụ này như ví dụ 31.3 thêm vào các đoạn ngắn chuyển động trên đường tròn.

Phân tích: Tính độ lớn của suất điện động cảm ứng trong 1 đoạn của thanh có chiều dài dr , vận tốc \vec{v} từ phương trình 31.5:

$$d\varepsilon = Bvdr$$

Tìm suất điện động cảm ứng giữa hai đầu thanh bằng cách cộng suất điện động cảm ứng trên các đoạn

$$\varepsilon = \int Bvdr$$

Vận tốc tiếp tuyến v của một đoạn có liên hệ với vận tốc góc ω theo mối liên hệ $v = R\omega$ Tích phân biểu thức trên:

$$\varepsilon = \int Bvdr = B\omega \int_0^l r dr = \frac{1}{2} B\omega l^2$$

Hoàn tất: Trong phương trình 31.5 cho thanh trượt, chúng ta có thể tăng ε bằng cách tăng B , l hoặc v . Tăng bất kỳ một trong ba thông số trên bao nhiêu lần thì ε cũng tăng bấy nhiêu lần. Do đó ta có thể chọn thông số nào thuận tiện nhất để tăng. Đối với thanh quay, tuy nhiên, tăng chiều dài của thanh để tăng suất điện động thuận lợi hơn vì l là bình phương lên. Tăng gấp đôi chiều dài cho bạn suất điện động tăng 4 lần, trong khi tăng vận tốc góc chỉ tăng lên 2 lần.

Lưu ý: Giả sử rằng sau khi đọc hết ví dụ, ta nảy ra một ý tưởng độc đáo. Một đu quay có các nan kim loại nối giữa tâm và vành. Những nan này chuyển động trong từ trường của trái đất, do đó mỗi nan chuyển động như các thanh trong hình 31.10. Ta dự định dùng những thanh này cấp điện cho các bóng đèn trên đu quay. Ý tưởng này có thực hiện được không?

Trả lời: Hãy tính suất điện động sinh ra trong trường hợp này. Ta biết từ trường của trái đất từ bảng 29.1: $B=0,5 \cdot 10^{-4} T$. Một nan trên đu quay có thể có chiều dài cỡ 10m. Giả sử rằng chu kỳ quay của đu quay là 10s.

$$\text{Xác định vận tốc góc của nan: } \omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{10s} = 0,36s^{-1} \sim 1s^{-1}$$

Giả sử rằng từ trường trái đất nằm ngang tại vị trí đu quay và vuông góc với các nan. Tính suất điện động sinh ra:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{1}{2} B\omega l^2 = \frac{1}{2} (0,5 \cdot 10^{-4} T)(1s^{-1})(10m)^2 \\ &= 2,5 \cdot 10^{-5} V \sim 1mV \end{aligned}$$

Suất điện động này có giá trị rất nhỏ, nhỏ hơn nhiều để thắp sáng bóng đèn.

Một khó khăn nữa có liên quan đến năng lượng. Thậm chí giả sử bạn có thể tìm được bóng đèn có thể hoạt động ở hiệu điện thế cỡ mV, một thanh phải là một phần của mạch cung cấp thế cho bóng đèn, do đó thanh phải có dòng điện. Bởi vì các thanh mang dòng điện này chuyển động trong từ trường, lực từ sẽ tác dụng lên thanh có chiều ngược chiều chuyển động. Do đó, động cơ đu quay phải tốn nhiều năng lượng hơn để chống lại công cản của lực từ. Động cơ cuối cùng vẫn phải cung cấp năng lượng cho các bóng đèn, ta không thể thu được gì mà không phải tốn.

Định luật Lenz

Định luật Faraday chỉ ra rằng suất điện động cảm ứng và sự thay đổi từ thông ngược dấu nhau. Điều này có ý nghĩa vật lý thực tế được biết đến như định luật Lenz:

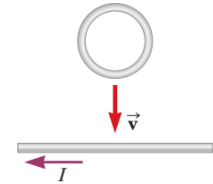
31.3 *Đòng điện cảm ứng trong vòng dây phải có chiều sao cho nó tạo ra một từ trường chống lại sự thay đổi từ thông gửi qua diện tích giới hạn bởi vòng dây đó.*

Dòng điện cảm ứng có khuynh hướng giữ cho lượng từ thông ban đầu xuyên qua mạch không thay đổi.

31.3.1 Ví dụ định luật Lenz

Thanh dẫn trượt trên hai ray dẫn được giữ cố định. Từ thông do từ trường đi qua diện tích giới hạn bởi mạch thay đổi theo thời gian. Dòng điện cảm ứng phải sinh ra từ trường bên ngoài mặt phẳng. Dòng điện cảm ứng phải ngược chiều kim đồng hồ. Nếu thanh di chuyển theo chiều ngược lại, chiều của dòng điện cảm ứng sẽ ngược lại.

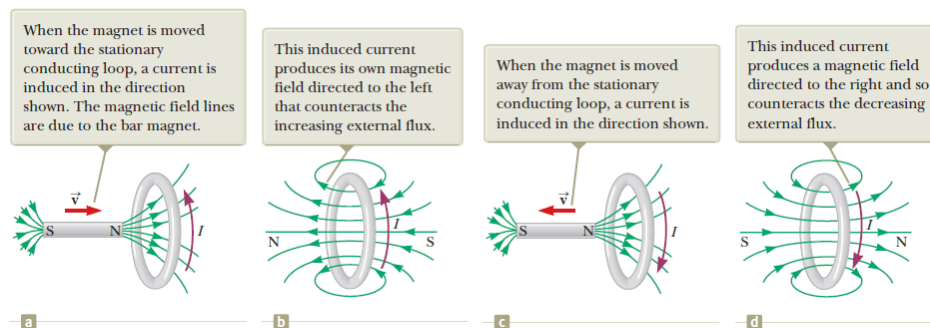
Câu hỏi 31.3: Hình 31.11 cho thấy một vòng dây tròn rơi xuống một dây mang dòng điện hướng về bên trái. Chiều của dòng cảm ứng trên vòng dây? a) cùng chiều kim đồng hồ b) ngược chiều kim đồng hồ c) 0, d) không xác định



Hình 31. 11 Câu hỏi 31.3

31.3.2 Ví dụ dòng điện cảm ứng

Một nam châm được đặt gần vòng kim loại. Xác định chiều của dòng cảm ứng trong vòng kim loại khi nam châm được đẩy hướng về phía vòng kim loại (như hình 31.12 a và b), và chiều của dòng cảm ứng khi nam châm được kéo ra xa khỏi vòng dây (như hình 31.12 c và d).



Hình 31. 12 Sự di chuyển của thanh nam châm gây ra dòng điện cảm ứng trong vòng dây

31.3.3 Dòng điện cảm ứng và điện trường

Điện trường được sinh ra trong vật dẫn là do từ thông biến thiên. Thậm chí không có vòng dây dẫn, từ trường biến thiên cũng sẽ sinh ra điện trường trong không gian. Điện trường cảm ứng này không bảo toàn. Không giống như điện trường tạo bởi điện tích đứng yên. Suất điện động đối với bất kì đường cong kín nào cũng có thể được biểu diễn như là tích phân của $\vec{E}d\vec{s}$ đi qua đường cong đó.

Điện trường cảm ứng:

$$E = -\frac{1}{2\pi R} \frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{r}{2} \frac{dB}{dt} \quad (31.8)$$

Định luật Faraday được viết ở dạng tổng quát:

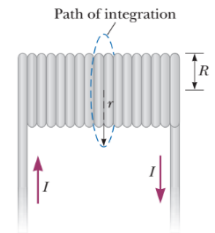
$$\oint \vec{E}d\vec{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (31.9)$$

Điện trường cảm ứng là một trường không bảo toàn được sinh ra bởi từ trường biến thiên. Trường không thể là một trường tĩnh điện vì nếu là trường tĩnh điện, và do đó bảo toàn, thì tích phân của $\vec{E}d\vec{s}$ trên toàn vòng dây kín sẽ là 0.

Bài tập mẫu 31.5: Điện trường cảm ứng bởi từ trường thay đổi trong cuộn dây Solenoid

Một solenoid dài có bán kính R và n vòng dây trên một đơn vị chiều dài mang 1 dòng thay đổi $I = I_{\max} \cos \omega t$, trong đó I_{\max} là dòng lớn nhất và ω là tần số góc của nguồn AC (hình 31.13).

(A) Xác định cường độ điện trường cảm ứng bên ngoài solenoid tại khoảng cách $r > R$ từ trục của nó.



Hình 31.13 Bài tập mẫu 31.5

Giải

Khái niệm hóa: Hình 31.13 minh họa trường hợp vật lý. Khi dòng trong cuộn dây thay đổi, hình dung sự thay đổi từ trường và điện trường tại mọi các điểm trong không gian

Phân loại: Vì dòng thay đổi theo thời gian, từ trường thay đổi, sinh ra điện trường cảm ứng trái với điện trường tĩnh do điện tích đứng yên

Phân tích: Đầu tiên, xét một điểm bên ngoài và cường độ tích phân đường là đường tròn bán kính r có tâm trên solenoid như hình 31.13:

$$(1) \quad -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d}{dt}(B\pi R^2) = -\pi R^2 \frac{dB}{dt}$$

Tính vế phải của phương trình 31.9, chú ý rằng \vec{B} vuông góc với đường tròn bao quanh đường cong tích phân và từ trường chỉ tồn tại trong solenoid.

Tính từ trường trong solenoid:

$$(2) \quad B = \mu_0 n I = \mu_0 n I_{\max} \cos \omega t$$

Thay (1) vào (2):

$$(3) \quad -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\pi R^2 \mu_0 n I_{\max} \frac{d}{dt}(\cos \omega t) = \pi R^2 \mu_0 n I_{\max} \omega (\sin \omega t)$$

Tính về trái của phương trình 31.9, chú ý rằng độ lớn của \vec{E} không đổi trên đường cong tích phân và \vec{E} là tiếp tuyến của đường cong:

$$(4) \quad \oint \vec{E} d\vec{s} = E(2\pi r)$$

Thay phương trình (3) và (4) vào phương trình 31.9

$$E(2\pi r) = -\pi R^2 \mu_0 n I_{\max} \omega \sin \omega t$$

Giải cho kết quả cường độ điện trường:

$$E = \frac{\mu_0 n I_{\max} \omega R^2}{2r} \sin \omega t \quad (r > R)$$

Hoàn tất: Kết quả này cho thấy độ lớn của điện trường bên ngoài solenoid giảm theo $1/r$ và thay đổi hình sin theo thời gian. Như ta sẽ học ở chương 34, điện trường thay đổi theo thời gian tạo thêm một thành phần tăng cường từ trường. Từ trường khi đó mạnh hơn chúng ta vừa đưa ra lúc đầu, cả bên trong và ngoài solenoid. Sự hiệu chỉnh từ trường khá nhỏ nếu tần số góc ω nhỏ. Với tần số cao, một hiện tượng khác ảnh hưởng lớn hơn: điện trường và từ trường, chúng chuyển hóa qua lại lẫn nhau, chúng ta sẽ khảo sát ở chương 34.

(B) Tính độ lớn của điện trường cảm ứng bên trong solenoid, khoảng cách r tính từ trục:

Giải

Phân tích: Với mỗi điểm bên trong ($r < R$), từ thông qua một vòng được cho bởi:

$$\Phi_B = B\pi r^2$$

Tính về phải của phương trình 31.9:

$$(5) \quad -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d}{dt}(B\pi r^2) = -\pi r^2 \frac{dB}{dt}$$

Trừ phương trình (2) cho phương trình (5).

$$(6) \quad -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\pi r^2 \mu_0 n I_{\max} \frac{d}{dt}(\cos \omega t) = \pi r^2 \mu_0 n I_{\max} \omega \sin \omega t$$

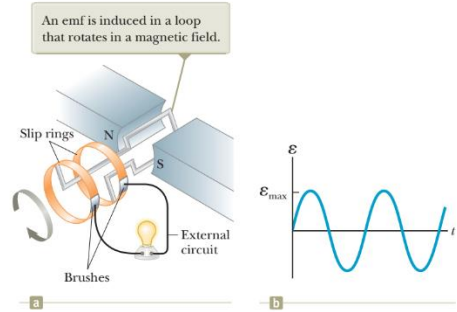
Giải cho kết quả cường độ điện trường:

$$E = \frac{\mu_0 n I_{\max} \omega R^2}{2} r \sin \omega t \quad (\text{for } r < R)$$

Hoàn tất: Kết quả này cho thấy độ lớn của điện trường cảm ứng trong solenoid bởi sự biến thiên từ thông qua solenoid tăng tuyến tính với r và biến đổi hình sin theo thời gian.

Máy phát điện và động cơ điện

Máy phát điện (*generator*) khi hoạt động sẽ dẫn và truyền năng lượng vào bộ truyền dẫn điện. Máy phát điện xoay chiều AC (*Alternating-Current Generator*) bao gồm một vòng dây quay bởi một số tác nhân bên ngoài và đặt trong từ trường (hình 31.4).



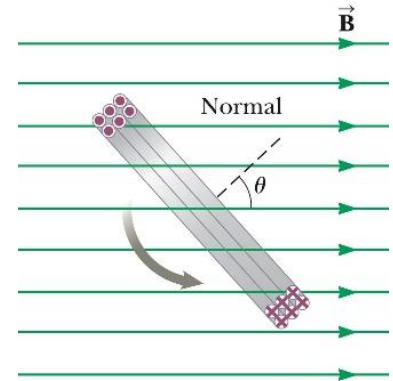
Hình 31. 14 (a) Sơ đồ máy phát điện xoay chiều. (b) Suất điện động cảm ứng như một hàm của thời gian.

31.4.1. Khung dây quay

Giả sử một khung dây có N vòng và tất cả các vòng dây đều có cùng diện tích quay trong từ trường đều. Từ thông qua khung tại cùng thời điểm t là

$$\Phi_B = BA \cos \theta = BA \cos \omega t. \quad (31.10)$$

Mặt cắt vòng dây tiết diện A chứa N vòng, quay với vận tốc không đổi ω trong từ trường. Suất điện động cảm ứng trong vòng dây thay đổi hình sin theo thời gian (hình 31.15).



Hình 31. 15 Khung dây quay

31.4.2 Suất điện động cảm ứng trong khung dây quay

Suất điện động cảm ứng trong khung:

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi_B}{dt} = NAB \omega \sin \omega t \quad (31.11)$$

Đây là dạng hàm sin, với $\omega_{\max} = NAB\omega$ (hình 31.6b).

$$\omega = \omega_{\max} \text{ khi } \omega t = 90^\circ \text{ hay } 270^\circ$$

Điều này xảy ra khi từ trường nằm trong mặt phẳng khung dây và tốc độ biến thiên theo thời gian của từ thông là lớn nhất.

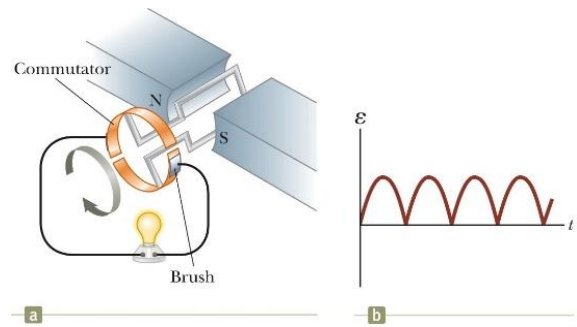
$$\omega = 0 \text{ khi } \omega t = 0^\circ \text{ hay } 180^\circ$$

Điều này xảy ra khi từ trường trực giao với mặt phẳng của khung dây và tốc độ biến thiên theo thời gian của từ thông là bằng không.

Câu hỏi 31.4: Trong một máy phát điện AC một cuộn dây với N vòng quay trong từ trường. Trong các lựa chọn sau, điều nào không làm tăng suất điện động sinh ra trong cuộn dây? (a) thay cuộn dây bằng cuộn có điện trở thấp hơn (b) quay cuộn dây nhanh hơn (c) tăng từ trường (d) tăng số vòng trên cuộn dây.

31.4.3 Máy phát điện một chiều

Máy phát điện một chiều DC (*Direct-Current Generator*) (hình 31.16 a) cũng cần phải có các bộ phận như máy phát điện AC. Sự khác biệt chính là chỗ tiếp xúc với khung quay được làm bằng một vành đai tách rời thành hai vành khuyên được gọi là bộ chuyển mạch.



Trong hình 31.16b, hiệu điện thế đầu ra luôn luôn có một chiều và cũng dao động theo thời gian. Một dòng DC dạng xung không phù hợp cho hầu hết các ứng dụng. Để thu được các dòng DC ổn định hơn, máy phát điện DC thương mại dùng nhiều cuộn dây và chuyển mạch phân bố sao cho các xung hình sin của các cuộn khác nhau sẽ khác pha nhau. Khi các xung này chồng chất, đầu ra DC hầu như không nhấp nhô.

Hình 31. 16 a. Sơ đồ máy phát điện DC, b. Độ lớn của suất điện động cảm ứng thay đổi theo thời gian nhưng các cực thì không thay

31.4.4 Động cơ điện (motor)

Mô tơ là một thiết bị mà năng lượng được chuyển từ điện năng ra công. Nó thực chất là cách vận hành máy phát điện đảo ngược. Thay vì sinh ra dòng điện bằng cách quay cuộn dây, một dòng điện được cấp cho cuộn dây bởi một nguồn và mômen tác dụng lên cuộn dây mang dòng điện làm nó quay.

Công cơ học có ích có thể thực hiện bằng cách gắn cuộn dây quay với các thiết bị bên ngoài. Khi cuộn dây quay trong từ trường, tuy nhiên, sự thay đổi từ thông lại gây ra suất điện động cảm ứng trong cuộn dây; suất điện động cảm ứng này luôn làm giảm dòng trong cuộn dây. Nếu không có hiện tượng này định luật Lenz sẽ bị vi phạm. Suất điện động ngược (*back emf*) tăng khi tốc độ quay của cuộn dây tăng. Vì hiệu điện thế gây ra dòng bằng sự chênh lệch giữa hiệu điện thế của nguồn và suất điện động ngược, dòng trong cuộn dây quay bị giới hạn bởi suất điện động ngược.

Khi động cơ chạy, ban đầu chưa có suất điện động ngược và dòng rất lớn vì nó chỉ bị giới hạn bởi điện trở của cuộn dây. Khi cuộn dây bắt đầu quay, suất điện động cảm ứng ngược chiều nguồn cung cấp và dòng trong cuộn dây giảm. Nếu tải cơ học tăng, động cơ sẽ chậm lại, làm cho suất điện động ngược giảm. Sự giảm này làm tăng dòng trong cuộn dây và do đó làm tăng công suất từ nguồn ngoài. Vì vậy, công suất cần cho động cơ hoạt động với các tải lớn nhiều hơn tải nhỏ. Nếu động cơ chạy không tải, suất điện động ngược giảm dòng đến giá trị vừa đủ thắng ma sát và mất mát năng lượng do tỏa nhiệt. Nếu tải quá nặng làm động cơ không quay được, do không có suất điện động ngược có thể dẫn đến dòng quá lớn gây hại đến dây của động cơ.

31.4.5 Hệ thống lái xăng và điện

Trong ngành ô tô với hệ thống điều khiển hỗn hợp (*hybrid drive system*), động cơ xăng và động cơ điện được kết hợp để tăng hiệu quả về kinh tế và giảm khí thải của nó. Năng lượng truyền tới các bánh xe không chỉ dùng động cơ xăng mà còn dùng động cơ điện. Khi xe chạy bình thường, mô tơ điện tăng tốc từ lúc nghỉ đến lúc di chuyển ở tốc độ 15 dặm/h. Trong suốt thời gian tăng tốc, động cơ không vận hành, vì thế xăng không sử dụng và không có khí thải. Ở vận tốc cao, động cơ điện và xăng cùng hoạt động để động cơ xăng luôn hoạt động ở tốc độ có hiệu suất cao nhất. Khi xe thắng lại, động cơ điện hoạt động như máy phát điện và chuyển một phần động năng của xe thành điện năng trở lại acqy dự trữ. Trong các xe thông thường, động năng này không thu lại được vì nó chuyển thành nội năng cho thắng và mặt đường. Kết quả là tổng số quãng đường đi được của ô tô khi dùng xăng và động cơ điện cao hơn một cách đáng kể khi dùng xăng theo cách truyền thống.

Bài tập mẫu 31.6: Dòng cảm ứng trong động cơ

Một động cơ có cuộn dây điện trở tổng cộng là 10Ω và được cung cấp thế 120V. Khi động cơ hoạt động với vận tốc cực đại, suất điện động ngược là 70V.

(A) Tìm dòng trong cuộn dây ngay lúc động cơ được mở.

Giải

Khái niệm hóa: Xét động cơ ngay lúc vừa được khởi động. Động cơ chưa chuyển động. Không có suất điện động ngược. Do đó, dòng trong động cơ tăng. Sau khi động cơ bắt đầu hoạt động suất điện động ngược sinh ra và dòng giảm.

Phân loại: Chúng ta cần kết hợp kiến thức mới về động cơ với các hệ thức giữa dòng, thế và điện trở.

Dòng trong cuộn dây không có suất điện động ngược:

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{120V}{10\Omega} = 12A$$

(B) Tìm dòng trong cuộn dây khi động cơ đạt vận tốc cực đại.

Giải

Tính dòng trong cuộn dây khi suất điện động ngược cực đại

$$I = \frac{\varepsilon - \varepsilon_{back}}{R} = \frac{120V - 70V}{10\Omega} = 5,0A$$

Dòng chạy trong động cơ khi vận hành ở vận tốc cực đại thấp hơn đáng kể so với trước khi nó bắt đầu chạy.

Lưu ý: Giả sử động cơ này trong một cái cửa tròn. Khi chúng ta vận hành cửa, lưỡi cửa bắt đầu kẹt trong miếng gỗ và động cơ không thể hoạt động. Có bao nhiêu phần trăm công suất đưa vào động cơ khi nó bị kẹt?

Trả lời:

Bạn có thể có nhiều kinh nghiệm về việc động cơ trở nên nóng lên khi chúng bị kẹt. Điều đó là do công suất vào động cơ tăng lên. Tốc độ truyền năng lượng vào động cơ cao làm tăng nội năng trong cuộn dây và các hậu quả không mong muốn.

Lập tỉ số công suất cấp cho động cơ khi bị kẹt, sử dụng các tính toán trong phần (A), và khi không bị kẹt phần (B).

$$\frac{P_{\text{jammed}}}{P_{\text{not jammed}}} = \frac{I_A^2 R}{I_B^2 R} = \frac{I_A^2}{I_B^2}$$

Thay số vào:

$$\frac{P_{\text{jammed}}}{P_{\text{not jammed}}} = \frac{(12A)^2}{(50A)^2} = 5,76$$

Kết quả cho thấy tăng 476% công suất. Công suất cao cung cấp cho động cơ có thể làm cuộn dây quá nóng gây nguy hiểm.

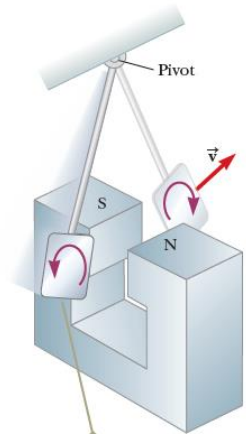
DÒNG ĐIỆN XOÁY

31.5 Như chúng ta đã biết, suất điện động và dòng cảm ứng trong mạch xuất hiện khi thay đổi từ thông. Với cùng cách đó, các dòng điện kín (*circulating current*) được gọi là các dòng điện xoáy (*eddy current*) cảm ứng trong mảnh kim loại dạng khối khi di chuyển trong từ trường như trên hình 31.17. Các dòng điện xoáy hướng ngược lại hướng di chuyển vào hay ra khỏi từ trường. Dòng điện xoáy thường không có ích vì chúng là kết quả của sự biến đổi năng lượng cơ sang nội năng.

Ví dụ dòng điện xoáy :

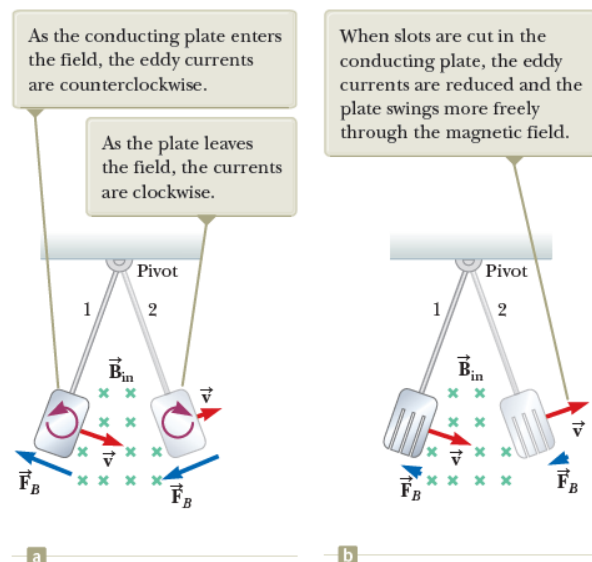
Từ trường song song với mặt phẳng của bản. Dòng điện xoáy cảm ứng ngược chiều kim đồng hồ khi bản kim loại đi vào từ trường. Và ngược lại, theo chiều kim đồng hồ khi hướng ra từ trường. Dòng xoáy cảm ứng sinh ra một lực từ làm chậm lại và cuối cùng làm cho bản kim loại chuyển động nhịp nhàng đến lúc dừng.

Để giảm đi sự mất mát năng lượng, người ta thay tấm kim loại liền khối (hình 31.18 a) bằng tấm kim loại có rãnh xẻ (hình 31.18 b). Lúc này, điện trở tấm kim loại đối với dòng xoáy tăng làm cho cường độ dòng điện xoáy



As the plate enters or leaves the field, the changing magnetic flux induces an emf, which causes eddy currents in the plate.

Hình 31. 17 Cách tạo dòng điện xoáy chiều



Hình 31. 18 Khi tấm kim loại di chuyển trong từ trường, lực từ \vec{F}_B ngược chiều với vector vận tốc, và nó chỉ chuyển động trong thời gian ngắn rồi dừng lại

giảm. Ngoài ra có thể dùng những lá thép mỏng phủ sơn cách điện ghép sát với nhau. Cấu trúc lớp này chống lại các vòng lớn và giới hạn có hiệu quả dòng thành các vòng nhỏ trong các lớp mỏng. Bằng cách này tuy không khử được triệt để dòng điện xoáy nhưng cũng làm giảm cường độ của nó một cách đáng kể. Cấu trúc lớp này được sử dụng trong các lõi máy biến thế và động cơ để làm giảm các dòng xoáy và do đó tăng hiệu suất của các thiết bị.

Tóm tắt chương 31

Khái niệm và nguyên lý:

Định luật cảm ứng Faraday phát biểu rằng suất điện động cảm ứng trong một vòng dây tỉ lệ với tốc độ thay đổi từ thông qua vòng dây.

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (31.1)$$

Khi một thanh dẫn điện chiều dài l chuyển động với vận tốc v qua từ trường \vec{B} , trong đó \vec{B} vuông góc với thanh và \vec{v} , suất điện động chuyển động cảm ứng trong thanh là:

$$\varepsilon = -Blv \quad (31.5)$$

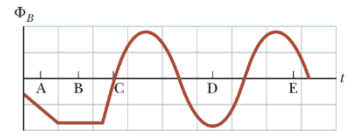
Định luật Lenz phát biểu rằng dòng điện và suất điện động cảm ứng có chiều sinh ra từ trường sao cho chống lại nguyên nhân sinh ra chúng.

Dạng tổng quát của định luật cảm ứng Faraday là:

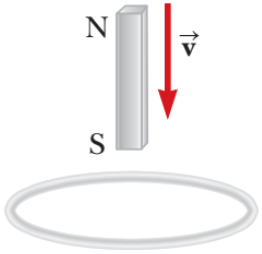
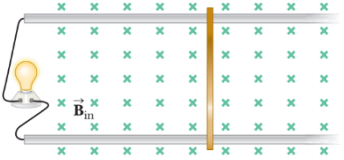
$$\oint \vec{E} d\vec{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (31.9)$$

Câu hỏi lý thuyết chương 23

- Hình bên là đồ thị của từ thông qua một cuộn dây theo thời gian trong khoảng thời gian theo thứ tự sau: bán kính cuộn dây tăng lên, cuộn dây quay 1.5 vòng và nguồn bên ngoài của từ trường được tắt đi. Sắp xếp suất điện động cảm ứng trong cuộn dây tại các điểm từ A \rightarrow E theo thứ tự từ dương lớn nhất đến âm nhỏ nhất. Trong đó, chú ý các trường hợp bằng nhau và các điểm suất điện động có giá trị bằng 0.
- Vòng dây dẫn chữ nhật đặt gần một dây dài mang dòng điện I như hình. Nếu I giảm theo thời gian, có thể kết luận gì về dòng điện cảm ứng trong vòng dây? a) chiều dòng điện phụ thuộc vào kích thước vòng dây. b) Dòng điện cùng chiều kim đồng hồ. c) Dòng điện ngược chiều kim đồng hồ. d) Dòng điện bằng 0. e) Không thể kết luận gì về dòng điện trong vòng dây nếu không

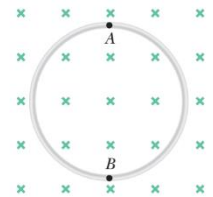


có thêm thông tin.

- Một thanh nam châm được giữ thẳng đứng ở trên vòng dây nằm trong mặt phẳng nằm ngang như hình. Đầu nam của thanh nam châm hướng về vòng dây. Sau khi thả thanh nam châm rơi, điều nào sau đây là đúng cho dòng điện cảm ứng trong vòng dây khi nhìn từ trên xuống? a) Nó có chiều kim đồng hồ khi thanh nam châm rơi hướng xuống vòng dây b) Nó ngược chiều kim đồng hồ khi thanh nam châm rơi hướng xuống vòng dây c) Nó có chiều kim đồng hồ sau khi thanh nam châm rời khỏi vòng dây d) Nó luôn có chiều kim đồng hồ e) Đầu tiên nó ngược chiều kim đồng hồ khi thanh nam châm đến vòng dây và sau đó theo chiều kim đồng hồ khi thanh nam châm rời khỏi vòng dây.
- 
- Một mạch điện có một thanh dẫn và một bóng đèn nối với hai ray dẫn như hình. Từ trường ngoài vuông góc với mặt phẳng mạch điện. Điều nào sau đây làm bóng đèn sáng? Có thể có nhiều câu đúng (a) Thanh chạy qua trái b) Thanh chạy qua phải c) Độ lớn từ trường tăng lên d) Độ lớn từ trường giảm xuống. e) thanh nâng khỏi ray.
- 
- Một thanh nam châm được thả rơi hướng vào một chiếc nhẫn. Nó có thể rơi như vật rơi tự do không? Giải thích.
 - Một phi thuyền vòng quanh trái đất có một cuộn dây trong nó. Phi hành gia đo được một dòng điện nhỏ trong cuộn dây mặc dù không có nam châm trong phi thuyền. Điều gì gây ra dòng điện?
 - Một miếng nhôm được thả rơi thẳng đứng xuống giữa hai cực của một nam châm điện. Từ trường có làm ảnh hưởng đến vận tốc của miếng nhôm không?

Bài tập chương 31:

- Một vòng dây thẳng có diện tích là $8,00\text{cm}^2$ đặt vuông góc với từ trường thay đổi đều từ $0,500\text{T}$ đến $2,50\text{T}$ trong 1s . Dòng điện cảm ứng trong cuộn dây là bao nhiêu nếu điện trở của vòng dây là $2,00\Omega$?
ĐS: $8,00\text{mA}$.
- Một cuộn dây tròn 25 vòng dây đường kính 1m được đặt sao cho trục của nó dọc theo chiều của từ trường trái đất có giá trị $50,0\mu\text{T}$ và sau đó trong $0,200\text{s}$ nó được xoay lại 180° . Một suất điện động cảm ứng có độ lớn bao nhiêu được sinh ra trong cuộn dây?
ĐS: $9,82\text{mV}$.
- Một vòng dây uốn được trong hình có bán kính $12,0\text{cm}$ đặt trong từ trường có độ lớn $0,15\text{T}$. Vòng dây được kéo tại điểm A và B và kéo đến khi diện tích gần bằng 0. Nếu cần $0,200\text{s}$ để đóng vòng dây, độ lớn trung bình của suất điện động cảm ứng trong vòng dây trong khoảng thời gian này là bao nhiêu?
ĐS: $33,9\text{mV}$.



4. Một vòng dây tròn bán kính 12,0cm được đặt trong từ trường đều vuông góc với mặt phẳng vòng dây như hình bài 2. Nếu từ trường giảm với tốc độ 0.050T/s, tìm độ lớn của suất điện động cảm ứng trong vòng dây.

ĐS: 2,26mV.

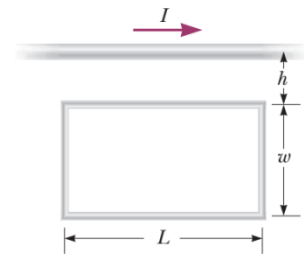
5. Để kiểm tra hô hấp của bệnh nhân trong bệnh viện, một đai mỏng được quấn quanh ngực bệnh nhân. Đai là một cuộn dây có 200 vòng. Khi bệnh nhân hít vào, diện tích giới hạn bởi cuộn dây tăng 39,0 cm². Độ lớn từ trường trái đất là 50,0μT và tạo một góc 28,0° với mặt phẳng cuộn dây. Giả sử bệnh nhân cần 1,80s để hít vào, tìm suất điện động cảm ứng trung bình trong cuộn dây.

ĐS: -10,2μV.

6. Một nam châm điện sinh ra từ trường đều 1,60T xuyên qua một tiết diện 0,200 m². Một cuộn dây có 200 vòng và điện trở tổng cộng 20,0Ω đặt vòng quanh nam châm. Dòng điện trong nam châm được giảm đều về 0 trong 20,0ms. Tính suất điện động cảm ứng trong cuộn dây.

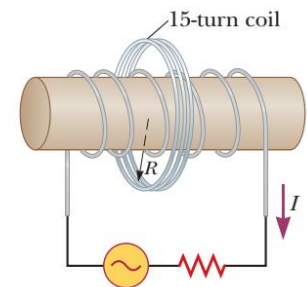
ĐS: 160A.

7. Một vòng dây hình chữ nhật chiều rộng ω và chiều dài L và một dây thẳng dài có mang dòng điện I nằm trên mặt bàn như hình. (a) Xác định từ thông qua vòng dây do dòng điện I . (b) Giả sử dòng điện thay đổi theo thời gian theo công thức $I = a + bt$ trong đó a, b là hằng số. Xác định suất điện động cảm ứng trong vòng dây nếu $b = 10,0A/s, h = 10,0cm, \omega = 10,0cm$ và $L = 1,00m$. (c) Chiều của dòng điện cảm ứng trong hình chữ nhật?



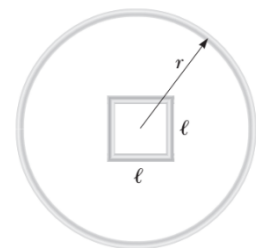
ĐS: (a) $\Phi_B = \int_h^{h+\omega} \frac{\mu_0 I L}{2\pi x} dx = \frac{\mu_0 I L}{2\pi} \ln\left(\frac{h+\omega}{2\pi h}\right)$, (b) 4,80μV, (c) Ngược chiều kim đồng hồ.

8. Một cuộn dây 15 vòng có bán kính 10,0 cm được quấn quanh một solenoid bán kính 2,00 cm và 1,00.10³ vòng/mét như hình. Dòng điện trong solenoid thay đổi theo thời gian $I = 5,00\sin 120t$ trong đó I có đơn vị là amperes và t là giây. Tìm suất điện động cảm ứng trong cuộn dây 15 vòng theo thời gian.



ĐS: $\epsilon = (1,42 \cdot 10^{-2})\cos 120t$, trong đó t có đơn vị là giây và ϵ đơn vị là V.

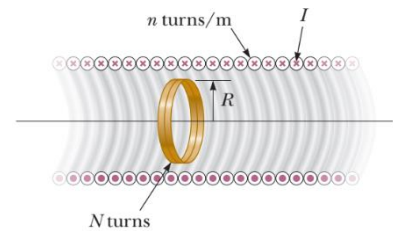
9. Một vòng dây hình vuông cạnh $l = 1,00cm$ đặt trong một cuộn solenoid có bán kính tiết diện tròn $r = 3,00cm$ như hình. Solenoid dài 20,0cm và được quấn 100 vòng. (a) Nếu dòng điện trong solenoid là 3,00A, từ thông qua vòng hình vuông là bao nhiêu? (b)



Nếu dòng điện trong solenoid giảm về 0 trong 3,00s, độ lớn của suất điện động cảm ứng trung bình trong vòng hình vuông là bao nhiêu?

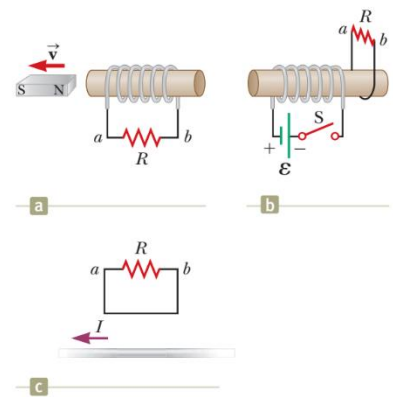
ĐS: (a) $1,88 \cdot 10^{-7} \text{T} \cdot \text{m}^2$, (b) $6,28 \cdot 10^{-8} \text{V}$.

10. Một cuộn solenoid dài có $n=400$ vòng/m và mang một dòng điện $I = 30,0 \cdot (1 - e^{-1,60t})$, trong đó I tính bằng ampe và t bằng s. Trong solenoid và đồng trục với nó là cuộn dây có bán kính $R = 6,00 \text{cm}$ và có tổng $N = 250$ vòng dây như hình. Suất điện động cảm ứng trong cuộn dây khi dòng điện thay đổi là bao nhiêu?



ĐS: $\varepsilon = 68,2e^{-1,60t}$ trong đó t tính bằng giây và ε tính bằng mV.

11. Dùng định luật Lenz để trả lời các câu hỏi có liên quan đến chiều của dòng điện cảm ứng sau: Trình bày câu trả lời bằng các ký tự a, b trong mỗi phần của hình (a) Chiều của dòng điện cảm ứng trong điện trở R trong hình a khi thanh nam châm chạy qua trái? (b) Chiều của dòng điện cảm ứng trong điện trở R ngay sau khi công tắc S hình b đóng. (c) Chiều của dòng điện cảm ứng trong điện trở R khi dòng điện I trong hình c giảm đột ngột về 0.



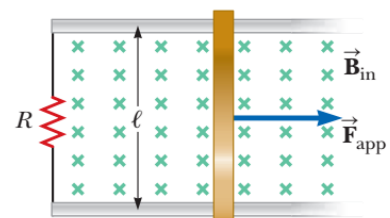
12. Một xe tải chở một xà thép chiều dài 15,0m trên đường cao tốc. Tai nạn làm xà rơi khỏi xe và trượt ngang dọc theo đường với vận tốc 25,0m/s. Vận tốc của khối tâm xà theo hướng bắc trong khi toàn xà giữ nguyên phương đông-tây. Thành phần thẳng đứng của từ trường trái đất tại đó có độ lớn 35,0μT. Tính độ lớn suất điện động cảm ứng giữa 2 đầu xà.

ĐS: $\varepsilon = 13,1 \text{mV}$.

13. Một máy bay nhỏ với sải cánh 14,0m đang bay đúng hướng bắc với vận tốc 70,0m/s qua một vùng thành phần thẳng đứng của từ trường trái đất là 1,20μT hướng xuống. (a) Tính hiệu điện thế giữa hai đầu cánh. (b) Đầu nào có điện thế cao hơn? (c) Câu trả lời cho câu a và b thay đổi như thế nào nếu máy bay chuyển hướng đúng hướng đông? (d) Suất điện động cảm ứng có thể được dùng để thắp sáng bóng đèn trong khoang hành khách? Giải thích câu trả lời.

ĐS: (a) 11,8mV, (b) Bên trái phi công có điện thế cao hơn, (c) Không thay đổi, (d) Không thể.

14. Xét một hệ như hình. Giả sử $R = 6,00\Omega$, $l = 1,20 \text{m}$, từ trường đều hướng vào có độ lớn là 2,50T. Hãy tính tốc độ di chuyển của thanh để tạo ra một dòng điện 0,500A trong điện trở.



ĐS: 1,00m/s

15. Một máy phát điện phát 24,0V khi quay với vận tốc 900v/p. Hỏi suất điện động máy phát ra khi quay 5000 v/p?

ĐS: $\varepsilon_2/\varepsilon_1 = \omega_2/\omega_1$.