CHƯƠNG 13

TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

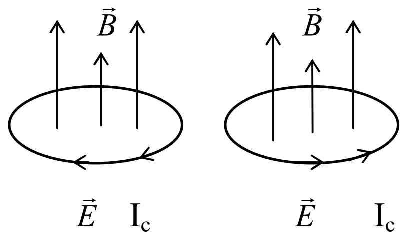
Trong các chương trước ta đã biết, điện tích đứng yên gây ra điện trường tĩnh và dòng điện không đổi gây ra từ trường không đổi. Hai loại trường này tách biệt nhau. Maxwell đã nghiên cứu mối liên hệ giữa hai loại trường này và phát hiện ra rằng, điện trường và từ trường biến đổi theo thời gian có mối liên hệ khăng khít, có thể chuyển hoá lẫn nhau. Tiếp tục đi sâu nghiên cứu các hiện tượng điện từ, Maxwell đã khái quát thành hai luận điểm và xây dựng nên lý thuyết về trường điện từ. Lý thuyết này đã góp phần đắc lực cho việc phát triển ngành điện tử và viễn thông nói riêng và nhận thức về thế giới tự nhiên nói chung.

13.1. LUẬN ĐIỂM THỨ NHẤT CỦA MAXWELL

13.1.1. Phát biểu luận điểm

Như ta đã biết, trong thí nghiệm của Faraday về hiện tượng cảm ứng điện từ, người ta đặt một vòng dây dẫn kín không biến dạng tại một vị trí cố định trong một từ trường biến đổi theo thời gian. Trong vòng dây sẽ xuất hiện một suất điện động cảm ứng, và do đó có dòng điện cảm ứng có chiều tuân theo định luật Lentz. Sự xuất hiện của dòng điện cảm ứng chứng tỏ trong vòng dây đã xuất hiện một điện trường, vectơ cường độ điện trường cùng chiều với dòng điện cảm ứng.

Làm thí nghiệm với nhiều vòng dây dẫn khác nhau, có chất khác nhau, ở nhiệt độ khác nhau, Maxwell đã nhận thấy rằng: suất điện động cảm ứng xuất hiện trong vòng dây dẫn không phụ thuộc vào bản chất của dây dẫn, và cũng không phụ thuộc vào trạng thái của dây dẫn. Điều đó có nghĩa là, vòng dây dẫn không phải là nguyên nhân gây ra điện trường, mà chỉ là phương tiện giúp ta phát hiện ra sự có mặt của điện trường đó.



(a) (b)

Hình 13-1

Sự xuất hiện của điện trường

a) $\vec{B}$ đang tăng

b) $\vec{B}$ đang giảm

Trong hiện tượng cảm ứng điện từ, sự biến đổi của từ thông qua mạch điện là nguyên nhân gây ra suất điện động cảm ứng, tức là gây ra một điện trường. Vì mạch điện đứng yên, không biến dạng và chỉ có từ trường biến đổi theo thời gian, nên từ trường biến đổi theo thời gian đã gây ra sự biến đổi từ thông, vậy ta có thể kết luận rằng: *từ trường biến đổi theo thời gian đã gây ra một điện trường.*

Nếu đường sức của điện trường này cũng hở như đường sức của điện trường tĩnh thì công của lực điện trường này dọc theo một đường cong kín sẽ bằng không (xem chương VII) và như vậy nó không thể làm cho các điện tích chuyển động theo đường cong kín để tạo nên dòng điện cảm ứng trong mạch kín. Muốn làm cho các hạt điện chuyển động theo đường cong kín để tạo thành dòng điện thì đường sức của điện trường này phải là những đường cong kín, và công của lực điện trường này dọc theo đường cong kín phải khác không:

$$\oint_{(C)} q\vec{E}.d\vec{l} \neq 0 \tag{13-1}$$

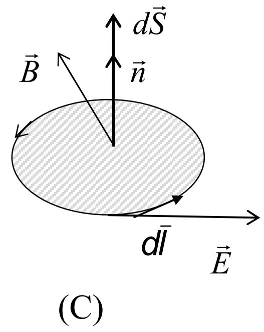
Thực nghiệm đã xác nhận rằng điện trường gây nên suất điện động cảm ứng có những đường sức khép kín. Vì vậy, người ta gọi điện trường này là *điện trường xoáy.*

Trên cơ sở những phân tích trên, Maxwell đã phát biểu một luận điểm tổng quát, gọi là *luận điểm thứ nhất của Maxwell:*

Bất kỳ một từ trường nào biến đổi theo thời gian cũng sinh ra một điện trường xoáy.

13.1.2. Phương trình Maxwell - Faraday

Giả sử ta xét một vòng dây kín (C) nằm trong từ trường $\vec{B}$ đang biến đổi theo thời gian (hình13-2).



Hình 13-2
Để thiết lập phương trình Maxwell-Faraday

Theo định luật cơ bản của hiện tượng cảm ứng điện từ, suất điện động cảm ứng xuất hiện trong vòng dây đó là:

$$\xi = -\frac{\partial \Phi_m}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial t}\int_{(S)} \vec{B}.d\vec{S} \qquad (13\text{-}2)$$

trong đó $\phi_m = \int_{(S)} \vec{B}.d\vec{S}$ là từ thông gửi qua diện tích S giới hạn bởi vòng dây dẫn kín (C).

Nói chung, từ trường có thể biến đổi theo thời gian và theo không gian, tức là $\vec{B} = \vec{B}$ (x,y,z,t).

Nhưng chỉ khi từ trường biến đổi theo thời gian, thì mới gây ra điện trường xoáy, nên biểu thức (13-2) và các biểu thức sau này ta sẽ phải thay dấu đạo hàm $\frac{d\vec{B}}{dt}$ bằng đạo hàm riêng theo thời gian $\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$.

Theo định nghĩa về suất điện động, ta có:

$$\xi_c = \oint_{(C)} \vec{E}.d\vec{l} \qquad (13\text{-}3)$$

trong đó $\vec{E}$ là vectơ cường độ điện trường xoáy trên đoạn dịch chuyển $d\vec{l}$. So sánh (13-2) với (13-3) ta được:

$$\oint_{(C)} \vec{E}.d\vec{l} = -\frac{\partial}{\partial t}\int_{(S)} \vec{B}.d\vec{S} \qquad (13\text{-}4)$$

Đó là phương trình Maxwell-Faraday dưới dạng tích phân.

Trong giải tích vectơ, người ta đã chứng minh được:

$$\oint_{(C)} \vec{E}.d\vec{l} = \int_{(S)} rot\vec{E}.d\vec{S} \qquad (13\text{-}5)$$

Mặt khác, ta có thể viết:

$$\frac{\partial}{\partial t}\int_{(S)} \vec{B}.d\vec{S} = \int_{(S)} \left(\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}\right).d\vec{S} \qquad (13\text{-}6)$$

Như vậy từ (13-4), (13-5), (13-6) ta suy ra:

$$rot\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \qquad (13\text{-}7)$$

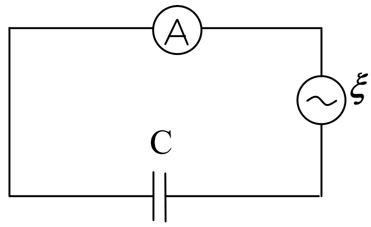
Đó là phương trình Maxwell-Faraday dưới dạng vi phân, có thể áp dụng đối với một điểm bất kỳ trong từ trường. Các phương trình (13-6), (13-7) chứng tỏ: từ trường biến đổi theo thời gian gây ra điện trường xoáy. Nói cách khác, các phương trình này là dạng phát biểu định lượng của luận điểm Maxwell thứ nhất.

13.2. LUẬN ĐIỂM THỨ HAI CỦA MAXWELL

Trong chương X ta đã biết *dòng điện dẫn* (dòng các điện tích chuyển dời có hướng) gây ra từ trường. Dưới đây ta sẽ thấy từ trường còn có nguồn gốc khác.

13.2.1. Khái niệm về dòng điện dịch - Luận điểm thứ hai của Maxwell

Xét mạch điện như hình 13-3. Trên đó, ξ là một nguồn điện xoay chiều, C là một tụ điện, A là một ampe kế xoay chiều. Ampe kế A cho thấy có dòng điện trong mạch. Nhờ một dụng cụ đo từ trường, người ta thấy không chỉ xung quanh dây dẫn có từ trường mà tại các điểm bên trong tụ điện cũng có từ trường. Cần nhớ rằng trong tụ là chất cách điện nên không thể có dòng điện dẫn. Vậy từ trường bên trong tụ phải có nguồn gốc khác.



Hình 13.3
Dòng điện xoay chiều trong mạch

Vì điện tích trên hai bản của tụ điện biến thiên nên bên trong tụ có điện trường biến thiên. Maxwell đã đưa ra giả thuyết là chính điện trường biến thiên trong lòng tụ điện đã sinh ra từ trường. Để dễ quan niệm, ông cho rằng trong tụ điện đã tồn tại một dòng điện khác. Ông gọi nó là *dòng điện dịch* (để phân biệt với dòng điện dẫn là dòng chuyển dời có hướng của các điện tích tự do); Chính dòng điện dịch đã nối tiếp dòng dẫn trong phần không gian dòng dẫn không qua được (trong lòng tụ điện), nhờ đó dòng điện khép kín trong toàn mạch.

Theo Maxwell, đặc tính duy nhất của dòng điện dịch là tạo ra từ trường như dòng điện dẫn. Từ đó, Maxwell đã phát biểu thành luận điểm:

"*Bất kỳ một điện trường nào biến đổi theo thời gian cũng gây ra một từ trường*".

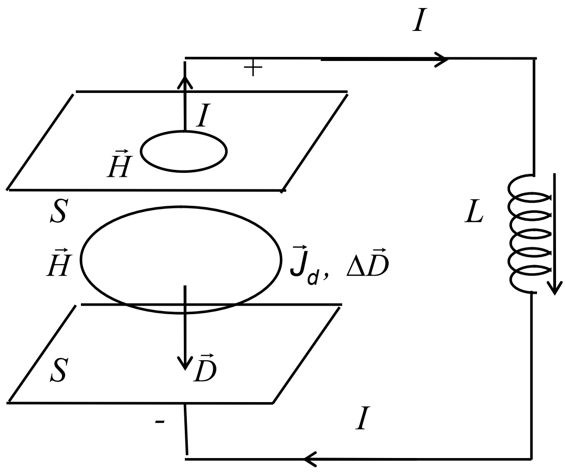
Phát biểu này được gọi là *luận điểm thứ hai* của Maxwell. Luận điểm này đã được thực nghiệm hoàn toàn xác nhận.

13.2.2. Mật độ dòng điện dịch

Về bản chất, dòng điện dịch không phải là dòng chuyển dời có hướng của các điện tích, nó được gọi là dòng điện chỉ vì *nó tương đương với dòng điện dẫn về mặt gây ra từ trường.* Vì vậy nó phải có phương chiều và độ lớn hợp lý.

Để giải quyết vấn đề này, ta xét một mạch điện gồm một tụ điện có điện dung C, và một cuộn dây điện có hệ số tự cảm L mắc nối tiếp với nhau (hình 13-4).

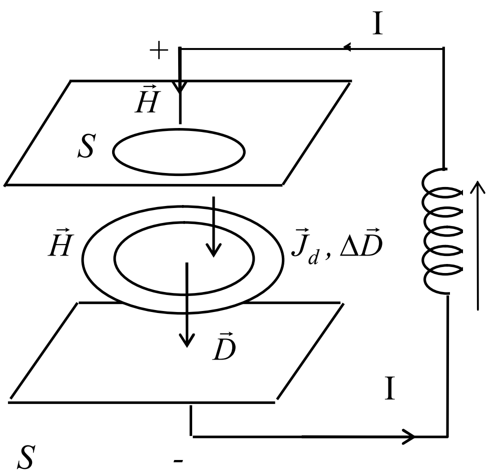
Giả sử lúc đầu tụ điện phóng điện. Điện tích trên hai bản của tụ giảm, ở trong tụ điện véctơ $\vec{D}$ hướng từ bản dương sang bản âm và đang giảm, véctơ $\Delta\vec{D}$ ngược chiều với véctơ $\vec{D}$, nhưng cùng chiều với dòng phóng điện, tức cùng chiều với dòng điện dẫn qua cuộn cảm L. Còn khi điện tích trên tụ tăng (hình 13-5), điện tích trên hai bản của tụ tăng, véctơ $\vec{D}$ ở trong tụ tăng, dòng điện dẫn chạy qua tụ và $\Delta\vec{D}$ ở trong tụ cùng chiều với nhau và cùng chiều với $\vec{D}$.



Hình 13-4: Dòng dịch nối tiếp dòng điện dẫn trong mạch kín khi tụ phóng điện

Trong cả hai trường hợp, ta đều thấy véctơ $\Delta\vec{D}$ và dòng điện dẫn ở trên dây dẫn cùng chiều với nhau.

Ta cũng biết rằng trong mạch điện nối tiếp, cường độ dòng điện qua mỗi tiết diện của dây phải bằng nhau. Do đó Maxwell cho rằng: *dòng điện dịch chạy qua toàn bộ không gian giữa hai bản của tụ điện cùng chiều với dòng điện dẫn trong mạch, và có cường độ bằng cường độ của dòng điện dẫn trong mạch đó.*



Hình 13-5

Dòng dịch nối tiếp dòng điện dẫn trong mạch kín khi tụ nạp điện

Từ đó ta suy ra rằng cường độ dòng điện dẫn I trên thành tụ C phải bằng cường độ dòng dịch I_d trong lòng tụ C. Tức là:

$$I = \frac{dq}{dt} = I_d$$

Gọi S là diện tích của bản tụ điện, σ là mật độ điện tích mặt trên bản tụ, điện tích trên bản tụ là q=σ.S. Gọi $\vec{D}$ là vectơ điện cảm trong lòng tụ điện, theo (7-23) chương VII, thì $D=\sigma$. Nói chung, σ và $\vec{D}$ là hàm của không gian và thời gian, nghĩa là $\vec{D}=\vec{D}$(x,y,z,t), σ =σ(x,y,z,t). Để nhấn mạnh rằng chỉ có khi biến đổi theo thời gian thì điện trường mới sinh ra từ trường, ta phải dùng dấu đạo hàm riêng theo thời gian thay cho đạo hàm thường.

Từ đó, ta có:
$$I_d = S\frac{\partial\sigma}{\partial t} = S\frac{\partial D}{\partial t}$$

Gọi J_d là mật độ dòng điện dịch, vì điện trường trong lòng tụ điện là đều nên:

$$J_d = \frac{I_d}{S} = \frac{\partial D}{\partial t} \qquad (13\text{-}8)$$

Từ lập luận trên, vì dòng điện dẫn trong mạch và dòng điện dịch trong tụ cùng chiều, nên véctơ mật độ dòng điện dịch $\vec{J}_d$ bằng:

$$\vec{J}_d = \frac{\partial\vec{D}}{\partial t} \qquad (13\text{-}9)$$

Vậy: *Véctơ mật độ dòng điện dịch bằng tốc độ biến thiên theo thời gian của véctơ cảm ứng điện.*

Mở rộng cho trường hợp một điện trường bất kỳ biến đổi theo thời gian, Maxwell đi tới giả thuyết tổng quát sau đây:

Xét về phương diện sinh ra từ trường, thì bất kỳ điện trường nào biến đổi theo thời gian cũng giống như một dòng điện, gọi là dòng điện dịch, có véctơ mật độ dòng bằng:

$\vec{J}_d = \dfrac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ *, trong đó* $\vec{D}$ *là véctơ cảm ứng điện tại điểm được xét.*

Phương chiều của từ trường do dòng điện dịch gây ra cũng được xác định theo qui tắc vặn nút chai như từ trường của dòng điện dẫn, và cường độ dòng điện dịch qua diện tích S bất kỳ:

$$I_d = \int_{(S)} \vec{J}_d . d\vec{S}$$

tích phân được tính trên toàn bộ diện tích S.

Trong chương điện môi ta đã biết vectơ điện cảm $\vec{D}$ liên hệ với vectơ cường độ điện trường $\vec{E}$ và vectơ phân cực điện môi $\vec{P}_e$ theo biểu thức:

$$\vec{D} = \varepsilon_o \vec{E} + \vec{P}_e$$

Thay $\vec{D}$ ở công thức này vào (13-9), ta được:

$$\vec{J}_d = \varepsilon_o \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \frac{\partial \vec{P}_e}{\partial t} \qquad (13\text{-}10)$$

Trong chân không, $\vec{P}_e = 0$, do đó mật độ dòng điện dịch trong chân không là: $\vec{J}_d = \varepsilon_o \dfrac{\partial \vec{E}}{\partial t}$. Điều này có nghĩa là dòng điện dịch tồn tại ngay cả trong chân không, ở đó không có bất kỳ sự dịch chuyển nào của điện tích. Về bản chất, nó chỉ là điện trường biến thiên theo thời gian.

Trong chất điện môi, mật độ dòng điện dịch gồm hai thành phần:

– $\vec{J}_d = \varepsilon_o \dfrac{\partial \vec{E}}{\partial t}$ là dòng điện dịch trong chân không, không liên quan đến bất kỳ sự dịch chuyển nào của hạt điện.

– $\dfrac{\partial \vec{P}_e}{\partial t}$ là mật độ dòng điện phân cực, liên quan đến sự quay của các lưỡng cực phân tử hoặc sự dịch chuyển của các trọng tâm các điện tích dương và trọng tâm của các điện tích âm trong các phân tử không phân cực của chất điện môi dưới tác dụng của điện trường ngoài biến thiên. Do có sự dịch chuyển này, Maxwell đã gọi chung (13-10) là mật độ dòng điện dịch. Tuy nhiên cần chú ý rằng khác với sự dịch chuyển của các điện tích tự do tạo nên dòng điện dẫn, ở dòng điện phân cực chỉ là sự quay hướng hoặc sự dịch chyển tại chỗ của các điện tích liên kết khi có điện trường ngoài biến thiên, chứ không có sự dịch chuyển tự do của các phân tử điện môi.

13.2.3. Phương trình Maxwell-Ampère

Với giả thuyết của Maxwell, tại một vị trí nào đó của môi trường, nếu đồng thời có dòng điện dẫn và dòng điện dịch, thì từ trường do cả dòng điện dẫn và dòng điện dịch gây ra, do đó Maxwell đã đưa ra khái niệm *dòng điện toàn phần là tổng của dòng điện dẫn và dòng điện dịch.*

Gọi $\vec{J}$ là véctơ mật độ dòng điện dẫn, véctơ mật độ dòng điện toàn phần ở đó là:

$$\vec{J}_{tp} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \tag{13-11}$$

Cường độ dòng điện toàn phần qua một diện tích S giới hạn bởi đường cong kín (C) nào đó sẽ bằng:

$$I_{tp} = \int_{(S)} \vec{J}_{tp}.d\vec{S} = \int_{(S)} (\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}).d\vec{S} \tag{13-12}$$

Theo định lý về dòng điện toàn phần (định lý Ampère), trong môi trường như vậy ta có biểu thức:

$$\oint_{(C)} \vec{H}.d\vec{l} = I_{tp} = \int_{(S)} (\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}).d\vec{S} \tag{13-13}$$

Phương trình (13-13) được gọi là *phương trình Maxwell-Ampère dạng tích phân.*

Từ (13-13), ta dễ dàng suy ra:

$$rot\vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}. \tag{13-14}$$

Đó là phương trình Maxwell-Ampère ở dạng vi phân, áp dụng được với từng điểm của không gian. Các phương trình (13-13), (13-14) nêu lên mối liên hệ định lượng giữa cường độ từ trường H với các dòng điện dẫn và dòng điện dịch. Nó cũng cho thấy dòng điện dẫn và dòng điện dịch đều gây ra từ trường.

13.3. TRƯỜNG ĐIỆN TỪ VÀ HỆ CÁC PHƯƠNG TRÌNH MAXWELL

13.3.1. Trường điện từ

Theo hai luận điểm của Maxwell, từ trường biến đổi theo thời gian gây ra điện trường, và ngược lại điện trường biến đổi theo thời gian thì gây ra từ trường. Như vậy, trong không gian, điện trường và từ trường có thể đồng thời tồn tại, duy trì lẫn nhau và liên hệ chặt chẽ với nhau, tạo nên một trường thống nhất. Từ đó ta có định nghĩa:

Điện trường và từ trường đồng thời tồn tại trong không gian tạo thành một trường thống nhất gọi là trường điện từ.

Trường điện từ là một dạng đặc biệt của vật chất. Người ta đã chứng minh rằng nó có năng lượng, khối lượng và động lượng. Năng lượng đó định xứ trong khoảng không gian có trường điện từ. Mật độ năng lượng của trường điện từ bằng tổng mật độ năng lượng điện trường và mật độ năng lượng từ trường:

$$\omega = \omega_e + \omega_m = \frac{1}{2}(\varepsilon_0.\varepsilon.E^2 + \mu_0.\mu.H^2) = \frac{1}{2}(\vec{E}.\vec{D} + \vec{B}.\vec{H}) \tag{13-15}$$

và do đó năng lượng của trường điện từ là:

$$\mathrm{W} = \int_V \omega.dV = \frac{1}{2}\int_{(V)} (\varepsilon_0\varepsilon E^2 + \mu_0\mu H^2)dV = \frac{1}{2}\int_{(V)} (\vec{E}.\vec{D} + \vec{B}.\vec{H}).dV \tag{13-16}$$

Tích phân phải thực hiện đối với toàn bộ thể tích V của khoảng không gian có trường điện từ.

13.3.2. Hệ các phương trình Maxwell

Để mô tả trường điện từ, Maxwell đã nêu ra hệ các phương trình cơ bản sau đây, gọi là hệ các phương trình Maxwell về trường điện từ. Hệ gồm các phương trình đã được thành lập trong các phần trước đây và phần trước của chương này.

a. Phương trình Maxwell -Faraday

Là các phương trình diễn tả định lượng luận điểm thứ nhất của Maxwell: *Mọi biến đổi của từ trường theo thời gian đều làm xuất hiện một điện trường xoáy.*

Dạng tích phân

$$\oint_{(C)} \vec{E}.d\vec{l} = -\int_{(S)} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}.d\vec{S} \qquad (13\text{-}17)$$

Dạng vi phân

$$rot\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \qquad (13\text{-}18)$$

b. Phương trình Maxwell- Ampère

Là các phương trình biểu diễn định lượng luận điểm thứ hai của Maxwell và định lý Ampère về dòng điện toàn phần: *Dòng điện dẫn và điện trường biến thiên theo thời gian đều gây ra từ trường.*

$$\oint_{(C)} \vec{H}.d\vec{l} = \int_{(S)} (\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}).d\vec{S} \qquad (13\text{-}19)$$

$$rot\vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \qquad (13\text{-}20)$$

c. Định lý Ôxtrôgrtxki-Gauss đối với điện trường

Định lý này diễn tả tính chất không khép kín của các đường sức điện trường tĩnh. Các đường sức điện trường tĩnh là những đường cong không kín, luôn xuất phát từ các điện tích dương và tận cùng trên các điện tích âm; Nó chứng tỏ rằng điện trường tĩnh là "trường có nguồn".

Dạng tích phân $\iint_S \vec{D}.d\vec{S} = q$ (13-21)

Dạng vi phân $\mathrm{div}\,\vec{D} = \rho$ (13-22)

d. Định lý Oxtrogratxki-Gauss đối với từ trường

Định lý này diễn tả tính khép kín của các đường sức từ, các đường sức từ không có điểm xuất phát và không có điểm tận cùng, chứng tỏ trong thiên nhiên không tồn tại những "từ tích" hay: từ trường không có "điểm nguồn".

Dạng tích phân $\iint_S \vec{B}.d\vec{S} = 0$ (13-23)

Dạng vi phân $\mathrm{div}\,\vec{B} = 0$ (13-24)

e. Các phương trình liên hệ các đại lượng đặc trưng cho trường với tính chất của môi trường

Trong môi trường đồng chất và đẳng hướng, có các mối liên hệ sau:

- Môi trường điện môi $\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \vec{E}$
- Môi trường dẫn điện $\vec{J} = \sigma \vec{E}$
- Môi trường từ môi $\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}$

Trong các phương trình trên, các đại lượng đặc trưng cho trường đều được xác định tại từng điểm trong không gian và nói chung đều biến đổi theo thời gian, nói cách khác chúng đều là các hàm của x, y, z, t.

Các phương trình Maxwell bao hàm tất cả các hiện tượng cơ bản về điện và từ. Điện trường tĩnh, từ trường không đổi theo thời gian (từ trường dừng), sóng điện từ là những trường hợp riêng của trường điện từ.

13.3.3. Ý nghĩa của hệ các phương trình Maxwell

Các phương trình Maxwell là các phương trình bao hàm tất cả các định luật cơ bản về điện và từ. Các phương trình diễn tả các hiện tượng thuộc về trường tĩnh điện và từ trường của dòng không đổi đều là những trường hợp riêng của hệ các phương trình Maxwell.

Từ các phương trình này, và từ giả thuyết về dòng điện dịch, Maxwell đã đoán nhận trước được những hiện tượng hoàn toàn mới rất quan trọng, cụ thể là:

- Maxwell đã đoán nhận trước sự tồn tại của sóng điện từ, tức là sự lan truyền trong không gian của một trường điện từ biến đổi theo thời gian.
- Maxwell đã xây dựng nên thuyết điện từ về ánh áng. Theo thuyết này ánh sáng thấy được là những sóng điện từ có bước sóng từ 0,38μm đến 0,76μm.

Khoảng 20 năm sau khi lý thuyết của Maxwell ra đời, thí nghiệm của Hertz và những phát minh của Pôpôp về việc phát và thu sóng điện từ đã xác nhận sự tồn tại của loại sóng này. Những thí nghiệm về quang học của Young, Fresnel, của Aragô v.v...và những ứng dụng thực tế hiện nay đã xác nhận sự đúng đắn của sự tồn tại sóng điện từ và thuyết điện từ ánh sáng. Tóm lại, toàn bộ lý thuyết của Maxwell về trường điện từ đã thành công rực rỡ.

HƯỚNG DẪN HỌC CHƯƠNG 13

I. MỤC ĐÍCH, YÊU CẦU

Sau khi nghiên cứu chương này, yêu cầu sinh viên:

1. Hiểu được hai luận điểm Maxwell. Thành lập được phương trình Maxwell-Faraday, phương trình Maxwell-Ampère dạng tích phân và dạng vi phân.

2. Nắm được khái niệm trường điện từ và năng lượng của trường điện từ.

II. TÓM TẮT NỘI DUNG

1. Nghiên cứu bản chất của các hiện tượng điện từ, Maxwell nhận thấy điện trường và từ trường biến thiên theo thời gian có thể chuyển hoá lẫn nhau. Từ đó ông khái quát thành hai luận điểm.

Luận điểm 1: *"Mọi từ trường biến đổi theo thời gian đều làm xuất hiện một điện trường xoáy"*. Đường sức điện trường xoáy là những đường cong kín. Các điện tích nằm trong điện trường xoáy sẽ dịch chuyển theo những đường cong kín để tạo thành dòng điện. Dòng điện này được gọi là dòng điện cảm ứng. Hiện tượng này đã được thực nghiệm xác nhận.

Luận điểm 1 được biểu diễn định lượng bởi phương trình Maxwell-Faraday:

Dạng tích phân $$\oint_{(C)} \vec{E}.d\vec{l} = -\int_{(S)} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}.d\vec{S}$$

Dạng vi phân $$rot\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

Luận điểm 2: *"Mọi điện trường biến thiên theo thời gian đều làm xuất hiện một từ trường"*. Xét về mặt gây ra từ trường thì điện trường biến đổi theo thời gian tương đương với một dòng điện. Maxwell gọi dòng điện này là dòng điện dịch. Trong mạch điện xoay chiều, trong lòng tụ điện, dòng điện dịch nối tiếp dòng điện dẫn làm cho dòng điện khép kín trong toàn mạch.

Luận điểm 2 được biểu diễn định lượng bởi phương trình Maxwell-Ampère:

Dạng tích phân $$\oint_{(C)} \vec{H}.d\vec{l} = \int_{(S)} (\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}).d\vec{S}$$

Dạng vi phân $$rot\vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

2. Điện trường và từ trường biến thiên theo thời gian chuyển hóa lẫn nhau và tạo thành trường thống nhất, gọi là trường điện từ. Trường điện từ được biểu diễn định lượng bởi hệ các phương trình Maxwell. Hệ phương trình Maxwel bao hàm tất cả mọi hiện tượng điện từ. Điện trường tĩnh và từ trường dừng chỉ là trường hợp riêng của trường điện từ.

3. Trường điện từ lan truyền trong không gian tạo thành sóng điện từ. Sóng điện từ lan truyền trong chân không với vận tốc $c = 3.10^8$m/s và lan truyền trong môi trường với vận tốc $v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}}$. Sóng điện từ là sóng ngang, hai vectơ $\vec{E}, \vec{H}$ vuông góc với nhau và với phương truyền sóng $\vec{v}$, sao cho $\vec{E}, \vec{H}, \vec{v}$ theo thứ tự hợp thành một tam diện thuận.

III. CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Phát biểu luận điểm Maxwell. Phân biệt sự khác nhau giữa trường tĩnh điện và điện trường xoáy.

2. Thành lập phương trình Maxwell – Faraday dưới dạng tích phân và dạng vi phân.

3. Chiều của điện trường $\vec{E}$ và chiều của dòng điện cảm ứng thay đổi thế nào khi tốc độ biến thiên của cảm ứng từ $\frac{\Delta \vec{B}}{\Delta t}$ thay đổi (xét khi $\frac{\Delta \vec{B}}{\Delta t} > 0$ và $\frac{\Delta \vec{B}}{\Delta t} < 0$).

4. Phát biểu luận điểm 2 của Maxwell. Dòng điện dịch là gì? Nêu sự khác nhau và giống nhau giữa dòng điện dịch và dòng điện dẫn.

5. Chứng tỏ rằng dòng điện dịch đã nối tiếp dòng dẫn trong khoảng không gian giữa hai bản tụ điện.

6. Thành lập phương trình Maxwell – Ampère dưới dạng tích phân và dạng vi phân.

7. Nêu chiều của cảm ứng từ $\vec{B}$ thay đổi thế nào khi tốc độ biến thiên $\frac{\Delta\vec{E}}{\Delta t}$ thay đổi (xét khi $\frac{\Delta\vec{E}}{\Delta t} > 0$ và $\frac{\Delta\vec{E}}{\Delta t} < 0$).

8. Trường điện từ là gì? Sóng điện từ là gì?

IV. BÀI TẬP

1. Một tụ điện có hằng số điện môi $\varepsilon = 6$ được mắc vào một hiệu điện thế xoay chiều $U = U_o \cos\omega t$ với U_o = 300 V, chu kì T = 0,01s. Tìm giá trị của mật độ dòng điện dịch, biết rằng hai bản tụ cách nhau 0,4 cm.

Đáp số: $\left|\vec{J}_{di}\right| = \frac{\varepsilon_o \varepsilon U_o}{d}\omega.\sin\omega t = \frac{8{,}85.10^{-12}.6.300.200\pi}{4.10^{-3}}.\sin 200\pi$ A/m^2.

$$\left|\vec{J}_{di}\right| = 2{,}51.10^{-3}.\sin 200\pi \ (\text{A/m}^2)$$

2. Điện trường trong một tụ điện phẳng biến đổi theo quy luật $E = E_o \sin\omega t$ với E_o=200V/cm và tần số f = 50Hz, khoảng cách giữa 2 bản d = 2cm, điện dung của tụ điện C = 2000 ρF . Tìm giá trị cực đại của dòng điện dịch.

Đáp số:

$$\left|i_{di}\right|_{max} = CdE_o.2\pi f = 2000.10^{-12}.2.10^{-2}.200.10^2 2\pi.50 = 2{,}512.10^{-4} \text{ mA.}$$

3. Xác định mật độ dòng điện dịch trong một tụ điện phẳng khi hai bản được dịch chuyển song song với nhau và xa nhau với vận tốc tương đối u, nếu:

a) Điện tích trên mỗi bản không đổi.

b) Hiệu điện thế U trên hai bản không đổi.

Khoảng cách d giữa hai bản trong khi dịch chuyển rất nhỏ so với kích thước hai bản.

Đáp số:

a. Đã biết: $\left|\vec{J}_{di}\right| = \frac{\partial\vec{D}}{\partial t} = \varepsilon\varepsilon_o\left|\frac{\partial\vec{E}}{\partial t}\right| = \varepsilon\varepsilon_o\frac{\partial}{\partial t}\left|\frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_o}\right|$,trong đó: $\sigma = \frac{q}{S}$. Vì q không đổi và khi dịch chuyển hai bản luôn luôn song song với nhau, nên S không đổi, do đó σ không đổi. Vậy trong trường hợp này $\left|\vec{J}_{di}\right| = 0$.

b. Nếu trong khi hai bản dịch chuyển, hiệu điện thế U giữa hai bản không đổi thì: $\left|\vec{J}_{di}\right| = \frac{\partial\vec{D}}{\partial t} = \varepsilon\varepsilon_o\left|\frac{\partial\vec{E}}{\partial t}\right| = \varepsilon\varepsilon_O.\frac{\partial}{\partial t}\left|\frac{U}{d}\right|$

$$j_{di} = \varepsilon\varepsilon_o U.\frac{1}{d^2}.\frac{\partial}{\partial t}(d) = \frac{\varepsilon\varepsilon_o U}{d^2}u$$