

**LÂM HỒNG THẠCH – HOÀNG PHƯƠNG CHI
NGUYỄN KHUYẾN – VŨ VĂN YÊM**

**TRƯỜNG ĐIỆN TỬ
KIẾN THỨC CĂN BẢN VÀ BÀI TẬP**

NHÀ XUẤT BẢN BÁCH KHOA – HÀ NỘI

Bản quyền thuộc về trường Đại học Bách Khoa Hà Nội.

Mọi hình thức xuất bản, sao chép mà không có sự cho phép bằng văn bản của trường là vi phạm pháp luật.

Mã số: 809 – 2014/CXB/05 – 13/BKHN

Biên mục trên xuất bản phẩm của Thư viện Quốc gia Việt Nam

Trường điện từ - Kiến thức căn bản và bài tập / Lâm Hồng Thạch, Hoàng Phương Chi, Nguyễn Khuyến, Vũ Văn Yên. - H. : Bách khoa Hà Nội, 2014. - 64tr. ; 24cm

Thư mục: tr. 63

ISBN 978-604-938-012-9

1. Điện từ trường 2. Lí thuyết 3. Bài tập
530.141 - dc23

BKG0019p-CIP

LỜI NÓI ĐẦU

Trường điện từ là môn học cơ sở để sinh viên ngành Điện tử Viễn thông nghiên cứu Anten – Truyền sóng, Thông tin quang và Kỹ thuật siêu cao tần. Đặc điểm của môn học Trường điện từ là sử dụng nhiều phương trình toán lý, mà tiêu biểu là hệ phương trình Maxwell. Bên cạnh đó, cả bốn đại lượng cơ bản của trường điện từ $\vec{E}$, $\vec{H}$, $\vec{D}$, $\vec{B}$ đều là những vectơ liên tục biến thiên theo thời gian và thay đổi trong không gian. Điều này khiến một số sinh viên cảm thấy khó khăn.

Để giúp những sinh viên ngành kỹ thuật dễ tiếp cận môn học, chúng tôi biên soạn cuốn sách ***Trường điện từ kiến thức căn bản và bài tập***, với hy vọng, ít nhất, sinh viên cũng nắm được những nét cơ bản của môn học này để học tốt những môn học tiếp theo.

Cuốn sách gồm 5 chương, với ba nội dung chính:

1. Giới thiệu Trường điện từ, bao gồm Trường tĩnh và Trường điện từ biến thiên.
2. Phương pháp khảo sát, đặc điểm lan truyền của sóng điện từ trong không gian và trong đường truyền định hướng.
3. Phương pháp khảo sát bức xạ điện từ. Đặc điểm trường bức xạ của các nguồn bức xạ đơn giản.

Phần đầu giới thiệu trường điện từ gồm hai chương: Trường tĩnh và Trường điện từ biến thiên. Trường tĩnh là trường hợp riêng của Trường điện từ khi các đại lượng cơ bản của nó không thay đổi theo thời gian. Trường điện từ biến thiên là chương bản lề của cuốn sách với nội dung chính là hệ phương trình Maxwell, cơ sở hình thành sóng điện từ. Ở đây sinh viên sẽ tìm được câu trả lời vì sao sóng điện từ lại được con người sử dụng để xây dựng ngành thông tin vô tuyến.

Với quan niệm sử dụng sóng điện từ như một phương tiện mang thông tin, hai chương tiếp theo: Lan truyền của sóng phẳng trong không gian và Sóng điện từ trong các đường truyền định hướng sẽ giúp sinh viên nắm được phương pháp khảo sát và đặc điểm lan truyền của sóng điện từ trong không gian và trong các hệ định hướng, hai con đường mang thông tin từ nơi phát đến nơi thu.

Phần cuối là chương Bức xạ điện từ giới thiệu những kiến thức cơ sở của môn anten về sự hình thành và bức xạ sóng điện từ cũng như phương pháp khảo sát và tính toán trường bức xạ của các nguồn (các anten) đơn giản nhất.

Ở cuối mỗi chương đều có bài tập giải mẫu để sinh viên làm quen.

Mặc dù các tác giả đã hết sức cố gắng nhưng cuốn sách được biên soạn lần đầu chắc chắn không thể tránh khỏi thiếu sót. Rất mong nhận được ý kiến đóng góp của bạn đọc để sách được hoàn thiện hơn. Mọi góp ý xin gửi về địa chỉ:

Lâm Hồng Thạch, Email: thach.lamhong@hust.edu.vn

Hoàng Phương Chi, Email: chi.hoangphuong@hust.edu.vn

Bộ môn Hệ thống Viễn thông, Viện Điện tử – Viễn thông, Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội.

Xin chân thành cảm ơn!

Các tác giả

MỤC LỤC

LỜI NÓI ĐẦU	3
CHƯƠNG MỞ ĐẦU	7
0.1. Giới thiệu về trường điện từ	7
0.2. Các phép toán vectơ	7
Chương 1. TRƯỜNG TĨNH.....	10
1.1. Trường tĩnh điện.....	10
1.2. Từ trường tĩnh của dòng điện không đổi.....	11
Câu hỏi và bài tập chương 1.....	13
A. Điện trường tĩnh	13
B. Từ trường tĩnh.....	17
Chương 2. TRƯỜNG ĐIỆN TỪ BIẾN THIÊN.....	21
2.1. Giới thiệu chung.....	21
2.2. Hệ phương trình Maxwell (các phương trình cơ bản của trường điện từ biến thiên).....	21
2.3. Các đặc điểm cơ bản của trường điện từ	22
Câu hỏi và bài tập chương 2.....	23
Chương 3. SỰ LAN TRUYỀN CỦA SÓNG PHẪNG TRONG KHÔNG GIAN...27	27
3.1. Giới thiệu chung.....	27
3.2. Phương pháp khảo sát, đặc điểm lan truyền của sóng điện từ trong không gian.....	27
3.3. Đặc tính phân cực của sóng điện từ.....	29
3.4. Phản xạ và khúc xạ của sóng điện từ khi đi đến mặt phân cách hai môi trường	30
Câu hỏi và bài tập chương 3.....	31

Chương 4. SÓNG PHẪNG LAN TRUYỀN TRÊN ĐƯỜNG TRUYỀN	
ĐỊNH HƯỚNG	36
A. Hệ định hướng.....	36
4.1. Khái niệm hệ định hướng	36
4.2. Đường truyền song hành	37
4.3. Đường truyền đồng trục	37
4.4. Sự lan truyền của sóng điện từ giữa hai mặt phẳng dẫn điện đặt song song ..	37
4.5. Lan truyền của sóng điện từ trong ống dẫn sóng.....	38
B. Đường truyền siêu cao tần.....	40
4.6. Khái niệm	40
4.7. Đặc điểm và phương pháp khảo sát đường truyền siêu cao tần	40
4.8. Phương trình sóng của đường truyền siêu cao tần.....	41
4.9. Các thông số của đường truyền siêu cao tần	42
4.10. Đồ thị Smith	42
4.11. Phối hợp trở kháng (PHTK) cho đường truyền siêu cao tần	43
Câu hỏi và bài tập chương 4.....	44
A. Hệ định hướng	44
B. Đường truyền siêu cao tần	46
Chương 5. BỨC XẠ ĐIỆN TỪ.....	51
5.1. Khái niệm bức xạ điện từ	51
5.2. Phương pháp khảo sát	51
5.3. Trường bức xạ của dòng điện và dòng từ trong không gian tự do	52
5.4. Các nguồn bức xạ đơn giản	53
Câu hỏi và bài tập chương 5.....	58
TÀI LIỆU THAM KHẢO	63

CHƯƠNG MỞ ĐẦU

0.1. GIỚI THIỆU VỀ TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

Trường điện từ là một trong bốn trường lực của tự nhiên, đó là trường lực hấp dẫn, trường lực tương tác mạnh, trường lực tương tác yếu và trường điện từ. Trường lực hấp dẫn có vai trò chủ đạo trong thế giới vĩ mô (thế giới của các thiên thể), trong khi đó trường lực tương tác yếu và trường lực tương tác mạnh đóng vai trò quan trọng trong thế giới vi mô (trong hạt nhân và nguyên tử). Giữa hai thế giới đó là thế giới mà chúng ta đang sống, nơi trường điện từ giữ vị trí quan trọng.

Trường điện từ, thể thống nhất của hai trường lực điện trường và từ trường, là một dạng vật chất đặc biệt, phân bố liên tục trong không gian dưới dạng sóng – hạt. Sóng điện từ lan truyền trong không gian tự do với vận tốc xấp xỉ bằng 3×10^8 m/s. Ánh sáng cũng là một dạng sóng điện từ. Trường điện từ có tác dụng tương hỗ với các hạt và các vật mang điện nằm trong trường. Những đặc tính này là cơ sở để chúng ta xây dựng ngành thông tin vô tuyến.

Trường điện từ phân bố trong không gian ba chiều và liên tục thay đổi theo chiều thời gian. Các đại lượng đặc trưng cho trường đều là các đại lượng vectơ, bởi vậy việc nhìn lại các phép toán vectơ trong hệ tọa độ ba chiều là cần thiết cho việc nghiên cứu trường.

0.2. CÁC PHÉP TOÁN VÉCTƠ

0.2.1. Tích vô hướng của hai vectơ

Tích vô hướng của hai vectơ $\vec{A}$ và $\vec{B}$ cho ta một đại lượng vô hướng:

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = |\vec{A}| \cdot |\vec{B}| \cdot \cos \theta = A \cdot B \cdot \cos \theta \quad (0.1)$$

Ở đây θ là góc giữa hai vectơ $\vec{A}$ và $\vec{B}$. Theo luật giao hoán:

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = \vec{B} \cdot \vec{A} \quad (0.2)$$

0.2.2. Tích có hướng của hai vectơ

Tích có hướng của hai vectơ là một vectơ:

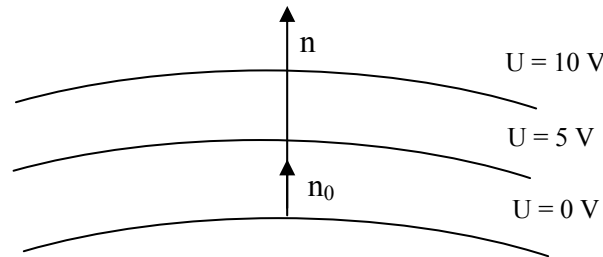
$$\vec{A} \times \vec{B} = \vec{C} = \vec{n} \cdot A \cdot B \cdot \sin \theta \quad (0.3)$$

Ở đây: $\vec{n}$ là vectơ đơn vị có phương vuông góc với mặt phẳng chứa hai vectơ $\vec{A}$ và $\vec{B}$, có chiều sao cho $\vec{A}, \vec{B}$ và $\vec{C}$ tạo thành một tam diện thuận. Ta có:

$$\vec{A} \times \vec{B} = -\vec{B} \times \vec{A} \quad (0.4)$$

0.2.3. Gradient của một đại lượng vô hướng

Gradient của một đại lượng vô hướng, ví dụ đại lượng thế, là một vectơ, có hướng vuông góc với mặt đẳng thế, có chiều theo chiều tăng của thế và có độ lớn bằng sự thay đổi của thế trên một đơn vị dịch chuyển (hình 0.1).



Hình 0.1

$$\text{grad}U = \frac{dU}{dn} \vec{n}_0 = \nabla U \quad (0.5)$$

Trong hệ tọa độ Đềcác ta có:

$$\text{grad}U = \frac{dU}{dx} \vec{x}_0 + \frac{dU}{dy} \vec{y}_0 + \frac{dU}{dz} \vec{z}_0$$

Ở đây:

$$\nabla = \frac{d}{dx} \vec{x}_0 + \frac{d}{dy} \vec{y}_0 + \frac{d}{dz} \vec{z}_0 \quad \text{được gọi là toán tử Nabla}$$

0.2.4. Thông lượng của một trường vectơ qua mặt S

Thông lượng của trường vectơ $\vec{A}$ qua một mặt S được xác định theo công thức:

$$\phi_S^A = \int_S \vec{A} \cdot d\vec{s} \quad (0.6)$$

0.2.5. Divergence của một trường vectơ

$$\text{div} \vec{A} = \lim_{V \rightarrow 0} \frac{\int_S \vec{A} \cdot d\vec{s}}{V} \quad (0.7)$$

Tính chất:

- Nếu $\text{div}\vec{A} = 0$ thì trường vectơ $\vec{A}$ không có nguồn tại vị trí khảo sát.
- Nếu $\text{div}\vec{A} \neq 0$ thì trường vectơ $\vec{A}$ có nguồn tại vị trí khảo sát.

Trong hệ tọa độ Đềcác ta có: $\text{div}\vec{A} = \nabla \cdot \vec{A} = \frac{dA_x}{dx} + \frac{dA_y}{dy} + \frac{dA_z}{dz}$ (0.8)

0.2.6. Rotasion của một trường vectơ

$$\text{div}\vec{A} = \lim_{S \rightarrow 0} \frac{\oint \vec{A} \cdot d\vec{l}}{S} \quad (0.9)$$

Tính chất:

- Nếu $\text{rot}\vec{A} = 0$ thì trường vectơ $\vec{A}$ là trường không xoáy, đường sức của trường không khép kín trong không gian.
- Nếu $\text{rot}\vec{A} \neq 0$ thì trường vectơ $\vec{A}$ là trường xoáy, đường sức của trường không khép kín trong không gian.

Trong hệ tọa độ Đềcác ta có:

$$\text{rot}\vec{A} = \nabla \times \vec{A} = \begin{vmatrix} \vec{x}_0 & \vec{y}_0 & \vec{z}_0 \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ A_x & A_y & A_z \end{vmatrix} \quad (0.10)$$

0.2.7. Hai công thức chuyển đổi tích phân

a) Công thức Gauss–Otrôgatski

$$\oint_S \vec{A} \cdot d\vec{s} = \int_V \text{div}\vec{A} \cdot dV \quad (0.11)$$

b) Công thức Stoke

$$\oint_L \vec{A} \cdot d\vec{l} = \int_S \text{rot}\vec{A} \cdot d\vec{s} \quad (0.12)$$