

Tổng hợp kiến thức Sóng điện từ: Sự lan truyền và các dải tần số

1. Sóng điện từ và đặc điểm

a. Định nghĩa

Sóng điện từ là quá trình lan truyền trong không gian của điện từ trường biến thiên tuần hoàn theo thời gian. Khi một điện tích điểm dao động, nó sẽ tạo ra một điện trường biến thiên xung quanh. Điện trường biến thiên này lại sinh ra một từ trường biến thiên, và từ trường biến thiên này lại sinh ra điện trường biến thiên. Cứ như thế, điện từ trường lan truyền đi xa trong không gian dưới dạng sóng.

b. Đặc điểm của sóng điện từ

- **Là sóng ngang:** Vectơ cường độ điện trường **E** và vectơ cảm ứng từ **B** luôn vuông góc với nhau và vuông góc với phương truyền sóng (**v**). Ba vectơ này tạo thành một tam diện thuận.
- **Lan truyền trong chân không:** Sóng điện từ có thể lan truyền trong chân không với tốc độ lớn nhất, bằng tốc độ ánh sáng **$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$** . Trong các môi trường khác, tốc độ truyền sóng (**v**) nhỏ hơn **c** (**$v < c$**).
- **Dao động đồng pha:** Tại một điểm trên phương truyền sóng, dao động của điện trường và từ trường luôn cùng pha với nhau.

- **Mang năng lượng:** Sóng điện từ mang năng lượng, được xác định bởi mật độ năng lượng điện từ. Năng lượng này tỉ lệ với bình phương biên độ của cường độ điện trường và cảm ứng từ.
- **Tuân theo các định luật truyền sóng:** Sóng điện từ cũng có các tính chất như phản xạ, khúc xạ, nhiễu xạ và giao thoa, tương tự như sóng cơ học và sóng ánh sáng.

c. Công thức liên quan

Mối liên hệ giữa bước sóng (λ), tần số (f), chu kỳ (T) và tốc độ truyền sóng (v):

$$\lambda = v.T = v/f$$

Trong chân không, tốc độ truyền sóng $v = c$:

$$\lambda = c.T = c/f$$

Trong đó:

- **λ** (lambda): Bước sóng (m)
- **c** : Tốc độ ánh sáng trong chân không (3.10^8 m/s)
- **f** : Tần số của sóng (Hz)
- **T** : Chu kỳ của sóng (s)

Ví dụ minh họa:

1. **Ví dụ 1:** Một sóng điện từ có tần số $f = 100$ MHz (MegaHertz) truyền trong chân không. Tính bước sóng của nó.

Giải:

Đổi tần số: $f = 100 \text{ MHz} = 100.10^6 \text{ Hz} = 10^8 \text{ Hz}$.

Áp dụng công thức: $\lambda = c/f = (3.10^8) / (10^8) = 3 \text{ m}$.

2. **Ví dụ 2:** Một đài phát thanh phát ra sóng có bước sóng 300 m. Tính tần số của sóng này.

Giải:

Áp dụng công thức: $f = c/\lambda = (3.10^8) / 300 = 10^6 \text{ Hz} = 1 \text{ MHz}$.

2. Nguyên tắc thông tin liên lạc bằng sóng vô tuyến

Để truyền tải thông tin (âm thanh, hình ảnh) đi xa, người ta phải dùng các sóng điện từ cao tần (gọi là sóng mang) và "gửi" tín hiệu âm tần hoặc thị tần vào sóng mang đó. Quá trình này gọi là biến điệu sóng.

a. Sơ đồ khối máy phát thanh vô tuyến đơn giản

1. **Micro:** Chuyển dao động âm thanh thành dao động điện có cùng tần số (tín hiệu âm tần).
2. **Mạch phát sóng điện từ cao tần:** Tạo ra dao động điện từ có tần số cao (sóng mang).
3. **Mạch biến điệu:** Trộn tín hiệu âm tần với sóng mang.
4. **Mạch khuếch đại:** Tăng công suất của tín hiệu đã biến điệu lên nhiều lần.
5. **Anten phát:** Bức xạ sóng điện từ đã được biến điệu ra không gian.

b. Sơ đồ khối máy thu thanh vô tuyến đơn giản

1. **Anten thu:** Thu nhận toàn bộ sóng điện từ từ không gian, tạo ra một suất điện động cảm ứng biến thiên.

2. **Mạch chọn sóng:** Dùng mạch dao động LC có tần số riêng có thể điều chỉnh được. Khi tần số riêng của mạch bằng tần số của sóng cần thu (hiện tượng cộng hưởng), máy sẽ thu được sóng đó.
3. **Mạch tách sóng:** Tách tín hiệu âm tần ra khỏi sóng mang.
4. **Mạch khuếch đại âm tần:** Tăng công suất của tín hiệu âm tần vừa tách được.
5. **Loa:** Chuyển dao động điện âm tần thành dao động âm thanh có cùng tần số.

c. Công thức liên quan (Mạch chọn sóng)

Mạch chọn sóng là một mạch dao động LC. Nó thu được sóng điện từ có bước sóng λ khi tần số riêng của mạch bằng tần số f của sóng.

Tần số riêng của mạch: **$f = 1 / (2\pi\sqrt{LC})$**

Bước sóng mà mạch thu được: **$\lambda = c/f = c.2\pi\sqrt{LC}$**

Trong đó:

- **L:** Độ tự cảm của cuộn cảm (H - Henry)
- **C:** Điện dung của tụ điện (F - Farad)

Ví dụ minh họa:

1. **Ví dụ 1:** Mạch chọn sóng của một máy thu vô tuyến có cuộn cảm $L = 2 \mu\text{H}$ và tụ điện $C = 2000 \text{ pF}$. Tính bước sóng mà máy thu được.

Giải:

Đổi đơn vị: $L = 2.10^{-6} \text{ H}$; $C = 2000.10^{-12} \text{ F} = 2.10^{-9} \text{ F}$.

Áp dụng công thức: $\lambda = c.2\pi\sqrt{LC} = 3.10^8 \cdot 2\pi \cdot \sqrt{(2.10^{-6} \cdot 2.10^{-9})} \approx 119 \text{ m}$.

2. **Ví dụ 2:** Để thu được sóng có bước sóng 50 m, một máy thu có cuộn cảm $L = 5 \mu\text{H}$. Hỏi phải điều chỉnh tụ điện có điện dung là bao nhiêu?

Giải:

Từ công thức $\lambda = c.2\pi\sqrt{LC}$, ta có $C = \lambda^2 / (c^2.4\pi^2.L)$

$$C = 50^2 / ((3.10^8)^2 \cdot 4\pi^2 \cdot 5.10^{-6}) \approx 1,4.10^{-10} \text{ F} = 140 \text{ pF}.$$

3. Phân loại và đặc điểm truyền sóng vô tuyến

Sóng vô tuyến là các sóng điện từ có tần số trong khoảng từ vài chục kHz đến vài chục GHz, được sử dụng trong thông tin liên lạc. Dựa vào bước sóng, chúng được chia thành các dải chính sau:

Loại sóng	Tần số (f)	Bước sóng (λ)	Đặc điểm truyền sóng	Ứng dụng chính
Sóng dài	3 - 300 kHz	> 1000 m	Ít bị nước hấp thụ, năng lượng thấp, truyền ổn định theo đường cong mặt đất (sóng đất).	Thông tin liên lạc dưới nước (tàu ngầm).
Sóng trung	0.3 - 3 MHz	100 m - 1000 m	Ban ngày bị tầng điện li hấp thụ mạnh, chỉ truyền gần. Ban đêm phản xạ tốt ở tầng điện li nên truyền đi xa hơn.	Phát thanh quảng bá trong nước (radio AM).
Sóng ngắn	3 - 30 MHz	10 m - 100 m	Năng lượng lớn, phản xạ rất tốt trên tầng điện li và mặt đất. Có thể truyền đi rất xa.	Truyền thanh đối ngoại, thông tin liên lạc cự ly xa (hàng hải, hàng không).
Sóng cực ngắn	> 30 MHz	10 m	Năng lượng rất lớn, không bị tầng điện li phản xạ hay hấp thụ mà truyền thẳng (xuyên qua tầng điện li).	Truyền hình, radio FM, radar, thông tin liên lạc vệ tinh, điện thoại di động, Wifi, Bluetooth.

Giải thích chi tiết và ví dụ

a. Sóng dài

Do có bước sóng rất lớn nên sóng dài có năng lượng thấp và ít bị các vật cản trên mặt đất hấp thụ. Đặc biệt, nó có khả năng truyền đi trong môi trường nước, điều mà các sóng khác không làm được. Tuy nhiên, việc xây dựng anten phát sóng dài rất cồng kềnh và tốn kém.

- **Ví dụ:** Một tàu ngầm ở độ sâu 50m cần liên lạc với trung tâm chỉ huy trên đất liền. Họ sẽ sử dụng sóng dài có tần số khoảng 20 kHz để tín hiệu có thể xuyên qua nước biển.

b. Sóng trung

Sóng trung truyền theo hai cách: sóng đất (truyền dọc bề mặt đất) và sóng trời (phản xạ từ tầng điện li). Ban ngày, lớp D của tầng điện li (lớp thấp nhất) hấp thụ mạnh sóng trung, nên chủ yếu chỉ có sóng đất truyền đi được vài trăm km. Ban đêm, lớp D biến mất, sóng trung có thể phản xạ trên các lớp cao hơn (E, F) và truyền đi xa hàng nghìn km.

- **Ví dụ:** Đài phát thanh AM phát ở tần số 873 kHz. Vào ban ngày, người dân ở thành phố cách đài 200 km có thể nghe rõ. Vào ban đêm, người ở cách xa 1000 km cũng có thể bắt được tín hiệu này do sóng phản xạ từ tầng điện li.

c. Sóng ngắn

Với năng lượng lớn, sóng ngắn có thể phản xạ nhiều lần giữa tầng điện li và mặt đất/mặt biển, cho phép nó truyền đi vòng quanh Trái Đất. Đây là phương thức liên lạc vô tuyến cự ly xa hiệu quả nhất trước khi có vệ tinh.

- **Ví dụ:** Một chương trình phát thanh đối ngoại của đài BBC (Anh) sử dụng sóng ngắn có bước sóng 31m để phát sóng đến các nước ở châu Á. Sóng này sẽ phản xạ nhiều lần trên tầng điện li và đại dương để đến được với người nghe.

d. Sóng cực ngắn

Do truyền thẳng và có khả năng xuyên qua tầng điện li, sóng cực ngắn là phương tiện duy nhất để liên lạc với các vật thể ngoài không gian như vệ tinh, tàu vũ trụ. Để truyền sóng cực ngắn trên mặt đất, các trạm phát và thu phải "nhìn thấy" nhau. Vì Trái Đất cong, người ta phải xây dựng các tháp anten cao hoặc các trạm tiếp sóng.

- **Ví dụ 1 (Truyền hình):** Một đài truyền hình mặt đất phát sóng bằng sóng cực ngắn. Để phủ sóng một khu vực rộng lớn, người ta phải đặt anten phát trên một ngọn tháp rất cao, và các anten thu của hộ gia đình cũng phải đặt trên nóc nhà và hướng về phía tháp phát.
- **Ví dụ 2 (GPS):** Hệ thống định vị toàn cầu (GPS) hoạt động nhờ các vệ tinh liên tục phát sóng cực ngắn xuống Trái Đất. Thiết bị GPS trong điện thoại của bạn nhận tín hiệu từ các vệ tinh này để xác định vị trí. Sóng phải có khả năng xuyên qua tầng điện li để thực hiện được điều này.