



EE 4552

Mạng cảm biến không dây Wireless Sensor Network (WSN)

Minh Thuy LE

Department of Instrumentation and Industrial Informatics (3I),
School of Electrical Engineering (SEE),
Hanoi University of Science and Technology (HUST), Vietnam

thuy.leminh@hust.edu.vn

Tài liệu tham khảo



- [1] Waltenegus Dargie and Christian Poellabauer, Fundamentals of Wireless Sensor Networks: Theory and Practice, Wiley Series on Wireless Communications and Mobile Computing, 2010 John Wiley & Sons Ltd.,
- [2] H. Karl, and A. Willig, Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks, 2007 John Wiley and Sons.
- [3] K. Sohraby Minoli and T. Zanti, Wireless Sensor Networks: Technology, Protocols, and Applications, 2007 John Wiley and Sons.

Bài tập 1-Chương 1

- Chuẩn bị trả lời cho ví dụ 1 ở chương 1.
 1. Theo em dải đo nhiệt độ là bao nhiêu?
 2. Cảm biến nên chọn công nghệ không dây gì?
 3. Cấu hình mạng có thể?

Bài tập 1-Chương 1

- Chuẩn bị trả lời cho ví dụ 1 ở chương 1.
- Gợi ý:
 - ❑ Kho 1000m²
 - ❑ Đo nhiệt độ khoảng từ -10 độ C đến 70 độ C?
 - ❑ Nút cảm biến đo nhiệt độ theo một chu kỳ định trước. Có thể điều khiển để hoạt động ở chế độ tiết kiệm năng lượng. Các nút cảm biến được thiết kế ở chế độ tiết kiệm năng lượng?
 - ❑ Truyền tin BLE/Zigbee/Wi-Fi?
 - ❑ Hệ thống tự động phát hiện việc xuất hiện một cảm biến mới thêm vào hay một cảm biến không còn tồn tại trong mạng => multi-hop?

Bài tập 1-Chương 1

- Chuẩn bị trả lời cho ví dụ 1 ở chương 1.
- Gợi ý: mạng cảm biến không dây được xây dựng dựa trên kiến trúc mạng WSN multi-hop hình cây.
 - ❑ Thành phần mạng gồm có: các nút cảm biến (sensor node), nút điều khiển trung tâm (control node) và các nút chuyển tiếp (relay node) \
 - ❑ Các nút cảm biến: đo nhiệt độ theo một chu kỳ định trước và truyền dữ liệu về cho nút điều khiển.
 - ❑ Các nút chuyển tiếp: sử dụng trong trường hợp nào?
 - ❑ Nút điều khiển: có nhiệm vụ nhận các số liệu đo gửi về từ các nút cảm biến và cập nhật lên máy chủ

Bài tập 1-Chương 1



- Chuẩn bị trả lời cho ví dụ 1 ở chương 1.
- Gợi ý: vẽ mô hình chung của mạng cảm biến?

Bài tập 1-Chương 1



- Chuẩn bị trả lời cho ví dụ 1 ở chương 1.
- Gợi ý: vẽ mô hình chung của mạng cảm biến?

Bài tập 1-Chương 1



- Xét ví dụ trên một nút có địa chỉ logic 3.2.2.1.

Bài tập 1-Chương 1



- Sự định tuyến luồng thông tin trong mạng như sau:

Bài tập 1-Chương 1



- Sự định tuyến luồng thông tin trong mạng như sau:

Let's design your WSN

Nội dung chính

1. Chương 1: Giới thiệu chung về mạng cảm biến không dây
2. Chương 2: Nút cảm biến không dây

Chương 2: Nút cảm biến không dây



- 2.1 Kiến trúc chung của nút cảm biến không dây
- 2.2 Nguồn và vấn đề công suất tiêu thụ của nút cảm biến
- 2.3 Nút cảm biến không dây tự chủ năng lượng
- 2.4 Nút cảm biến không dây công suất thấp
- 2.5 Anten và công nghệ RF trong nút cảm biến không dây
- 2.6 Các công nghệ không dây trong mạng cảm biến

Chương 2: Nút cảm biến không dây



2.1 Kiến trúc chung của nút cảm biến không dây

2.2 Nguồn và vấn đề công suất tiêu thụ của nút cảm biến

2.3 Nút cảm biến không dây tự chủ năng lượng

2.4 Nút cảm biến không dây công suất thấp

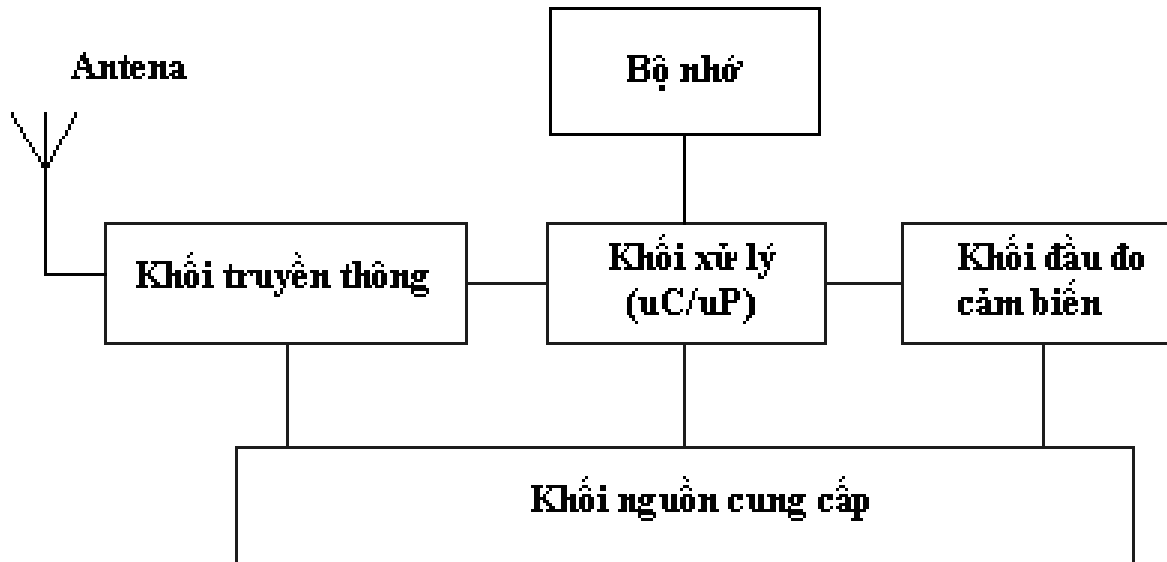
2.5 Anten và công nghệ RF trong nút cảm biến không dây

2.6 Các công nghệ không dây trong mạng cảm biến

2.1 Kiến trúc chung của nút cảm biến không dây



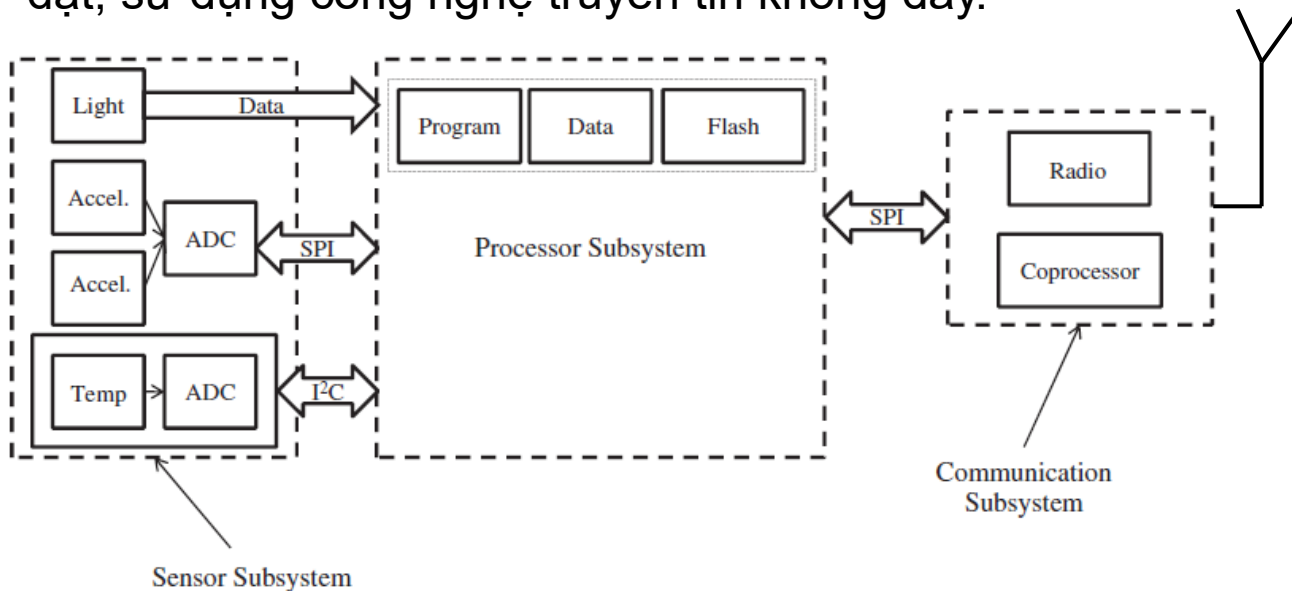
- Một nút cảm biến không dây: bản chất là 1 thiết bị đo Nhỏ gọn, tiêu thụ năng lượng thấp, dễ di chuyển và lắp đặt, sử dụng công nghệ truyền tin không dây.



2.1 Kiến trúc chung của nút cảm biến không dây



- Một nút cảm biến không dây: bản chất là 1 thiết bị đo nhỏ gọn, tiêu thụ năng lượng thấp, dễ di chuyển và lắp đặt, sử dụng công nghệ truyền tin không dây.

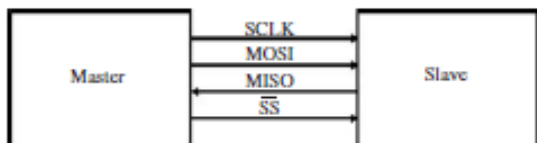


Hình 1: Kiến trúc chung của một nút cảm biến không dây

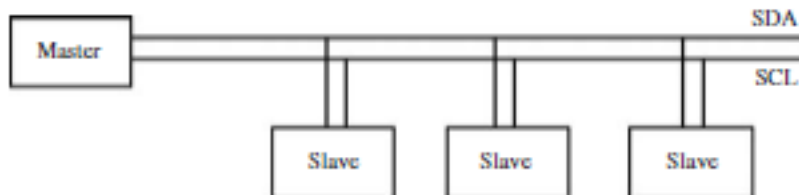
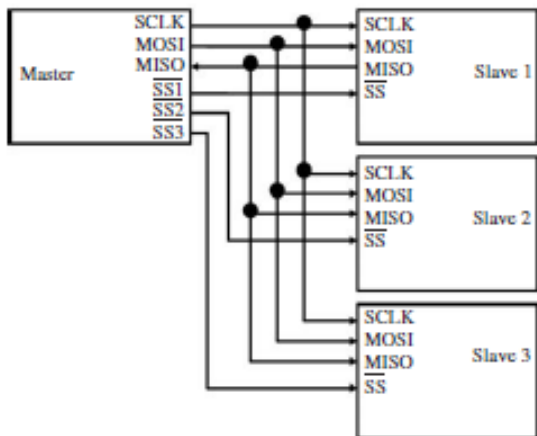
2.1 Kiến trúc chung của nút cảm biến không dây



- Các giao tiếp ngoại vi phổ biến trong cảm biến không dây: SPI (Serial Peripheral Interface), I2C (Inter-Integrated Circuit)



(a)



Hình 3: Kết nối giữa các ngoại vi dùng I2C

Hình 2: Kết nối giữa các ngoại vi dùng SPI

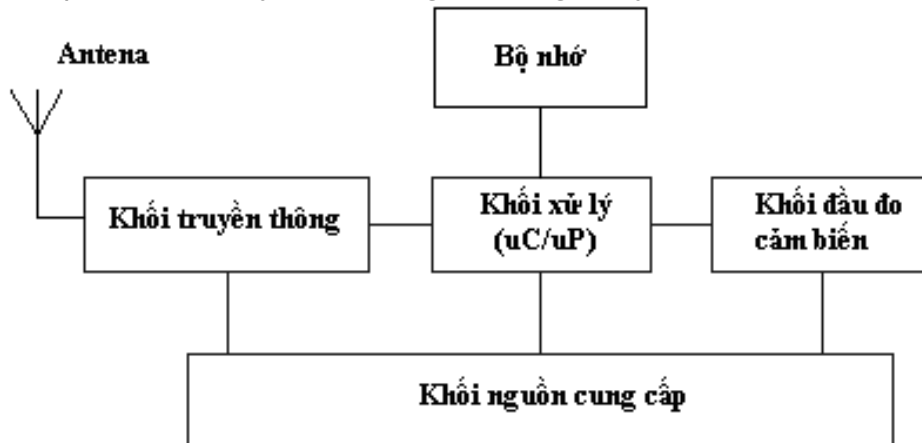
2.1 Kiến trúc chung của nút cảm biến không dây



➤ Một nút cảm biến không dây:

- 1) Khối nguồn cung cấp
- 2) Khối đầu đo cảm biến/cơ cấu chấp hành
- 3) Khối điều khiển (khối xử lý uC/uP)
- 4) Bộ nhớ
- 5) Khối truyền thông không dây

Xu hướng tích hợp khối 2-5 trong 1 IC



2.1 Kiến trúc chung của nút cảm biến không dây



1) Khối nguồn cung cấp:

- Do đặc trưng của nút cảm biến là làm việc độc lập, dễ di chuyển, có thể được gắn ở những vị trí, môi trường làm việc nguy hiểm hay xa trung tâm, vì vậy nguồn sử dụng cho nút cảm biến thường là loại nguồn như pin lithium, ắc quy hoặc pin sạc lại được (sử dụng nguồn năng lượng tái tạo từ môi trường như: mặt trời, nhiệt, ma sát, sóng điện từ....)
- Xu hướng **cảm biến không sử dụng pin**

2.1 Kiến trúc chung của nút cảm biến không dây



1) Khối nguồn cung cấp:

Table 2.3 Comparison of energy sources [667]

Energy source	Energy density
Batteries (zinc-air)	1050–1560 mWh/cm ³
Batteries (rechargeable lithium)	300 mWh/cm ³ (at 3–4 V)
Energy source	Power density
Solar (outdoors)	15 mW/cm ² (direct sun) 0.15 mW/cm ² (cloudy day)
Solar (indoors)	0.006 mW/cm ² (standard office desk) 0.57 mW/cm ² (<60 W desk lamp)
Vibrations	0.01–0.1 mW/cm ³
Acoustic noise	$3 \cdot 10^{-6}$ mW/cm ² at 75 dB $9, 6 \cdot 10^{-4}$ mW/cm ² at 100 dB
Passive human-powered systems	1.8 mW (shoe inserts)
Nuclear reaction	80 mW/cm ³ , 10^6 mWh/cm ³

2.1 Kiến trúc chung của nút cảm biến không dây



2) Khối đầu đo cảm biến/cơ cấu chấp hành

- Được lựa chọn tùy thuộc vào mục đích ứng dụng của nút cảm biến: cảm biến đo nhiệt độ, độ ẩm, ánh sáng, âm thanh, nồng độ khí CO₂, O₂....
- Chọn lựa đầu đo cảm biến có độ nhạy và độ chính xác cao, công suất thấp, tùy theo ứng dụng.

2.1 Kiến trúc chung của nút cảm biến không dây



3) Khối điều khiển (khối xử lý uC/uP) và bộ nhớ:

- ❑ Tín hiệu ra khỏi khối đầu đo cảm biến sẽ được đo, tính toán, lưu trữ (nhờ khối bộ nhớ) và truyền đi nhờ khối xử lý trung tâm.
- ❑ Khối xử lý có nhiệm vụ xử lý tất cả các sự kiện xảy ra đối với nút cảm biến và có ảnh hưởng lớn tới chất lượng, chu kỳ đo, độ chính xác của thiết bị đo.
- ❑ Các MCU hiện nay thường sử dụng: MSP430, STM32, nRF58xx, CC25xx/CC26xx, Atmegaxx, FPGA... tùy theo ứng dụng và vai trò của nút trong mạng. (*chi tiết xem ví dụ mục 2.2*)
- ❑ Sử dụng các hệ điều hành thích hợp trong thiết kế các hệ thống nhúng cỡ nhỏ, không đòi hỏi nhiều tài nguyên như Tiny OS, ngôn ngữ lập trình NesC (*chi tiết mục Hệ điều hành*)

2.1 Kiến trúc chung của nút cảm biến không dây



3) Khối điều khiển (khối xử lý uC/uP) và bộ nhớ:

- Bộ nhớ ROM/EEPROM thường được tích hợp trong MCU, đôi khi không đủ, chúng ta có thể sử dụng thêm khối bộ nhớ ngoài.

2.1 Kiến trúc chung của nút cảm biến không dây



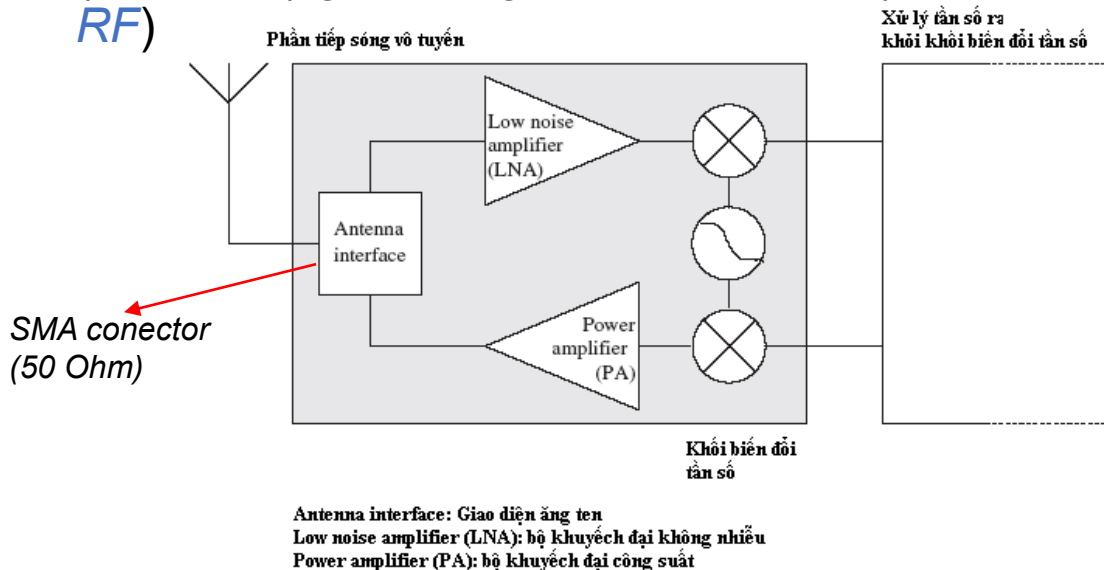
- 4) Khối truyền thông: làm nhiệm vụ truyền-nhận dữ liệu giữa các nút cảm biến với nhau trong mạng cảm biến.
- Nếu mạng cảm biến sử dụng truyền thông bằng dây nối thì các chuẩn truyền thông cấp trường như PLC, CAN, Profibus thường là giải pháp thích hợp được chọn lựa, khi đó các khối truyền thông và giao thức truyền được tích hợp ngay trên chính các bộ vi xử lý của mỗi nút cảm biến.
 - Nếu mạng cảm biến sử dụng truyền thông không dây (WSN), một số giải pháp truyền thông tin không dây như: sử dụng sóng vô tuyến (Radio frequency), truyền thông quang học, sóng siêu âm. Phổ biến là sử dụng sóng radio để mã hoá thông tin và truyền đi (433 MHz- 2.4 GHz).

2.1 Kiến trúc chung của nút cảm biến không dây



4) Khởi truyền thông:

- Trong kỹ thuật truyền tin không dây, khởi truyền-nhận không dây bao gồm bộ truyền (transceivers) và bộ nhận (receivers) gọi chung là transceivers. (*chi tiết ở mục khởi RF*)



2.1 Kiến trúc chung của nút cảm biến không dây



4) Khối truyền thông:

□ Các đặc trưng cơ bản của bộ truyền-nhận không dây cần nắm rõ:

- ✓ Cấu trúc bộ truyền-nhận và các chế độ ngủ/truyền/nhận
- ✓ Điều khiển đa truy cập môi trường truyền (MAC-Medium Access Control): bộ truyền-nhận cung cấp các interface cho phép định dạng khung bản tin cho lớp MAC, hướng truyền...
- ✓ Công suất tiêu thụ và công suất phát của khối truyền-nhận
- ✓ Các kỹ thuật đa truy cập: FDMA, TDMA, CDMA, CSMA/ALOHA
- ✓ Tốc độ truyền
- ✓ Điều chế tín hiệu
- ✓ Mã hóa tín hiệu
- ✓ Điều khiển công suất phát của bộ truyền-nhận (dBm)
- ✓ Ăng-ten: độ lợi (dBi), tần số...
- ✓ Độ nhạy thu (dBm)
- ✓ Tỷ số tín hiệu trên nhiễu

2.2 Công suất tiêu thụ của nút cảm biến không dây



- Để đảm bảo công suất tiêu thụ thấp khi thiết kế, chúng ta cần hiểu rõ về các vấn đề tiêu thụ năng lượng của từng phần tử trong cảm biến và mạng:
- Năng lượng tiêu thụ của mạng: được tính bằng thời gian cảm biến truyền hay nhận hay ngủ.
- Năng lượng tiêu thụ của cảm biến, gồm hai phần:
 - Năng lượng tiêu thụ của mỗi linh kiện cấu tạo nên nút cảm biến.
 - Năng lượng truyền/nhận sóng khi các nút cảm biến trong mạng trao đổi thông tin với nhau (năng lượng cung cấp cho các bộ khuếch đại công suất phía trước ăng ten trong bộ truyền nhận sử dụng sóng vô tuyến, công suất phát lựa chọn, khung bản tin).

2.2 Công suất tiêu thụ của nút cảm biến không dây



- Một nút cảm biến có 3 chế độ hoạt động:
 - Chế độ hoạt động tích cực (Active mode)
 - Chế độ ngủ (Sleep mode)
 - Chế độ nghỉ (Idle)

2.2 Công suất tiêu thụ của nút cảm biến không dây



➤ 3 chế độ hoạt động: **Chế độ hoạt động tích cực**

- ❑ Nút cảm biến thực hiện các nhiệm vụ như đo lường/phát hiện sự kiện, truyền thông tin đi hay nhận thông tin về với các thiết bị khác trong mạng.
- ❑ Ở chế độ này, khối xử lý (MCU) của nút cảm biến luôn luôn hoạt động và gần như tất cả các khối còn lại cũng đều hoạt động: bộ truyền nhận sóng radio, bộ nhớ. Các khối có thể đồng thời cùng hoạt động hoặc hoạt động lần lượt (tùy người thiết kế).
- ❑ Tối ưu công suất tiêu thụ cần được thực hiện ở pha thiết kế firmware
- ❑ Ký hiệu công suất tiêu thụ khi nút cảm biến hoạt động tích cực là P_{active}

2.2 Công suất tiêu thụ của nút cảm biến không dây



- 3 chế độ hoạt động: **Chế độ ngủ (Sleep mode)**
 - Là chế độ mà tại khoảng thời gian ấy nút cảm biến chưa phải thực hiện một nhiệm vụ cảm biến hay truyền thông nào, tuy nhiên nút cảm biến vẫn tham gia hoạt động trong mạng, và sau một thời gian nghỉ t nhất định, nút sẽ hoạt động trở lại.
 - Ở chế độ này, **khối xử lý MCU của nút cảm biến luôn ở trạng thái ngủ**. Các khối còn lại **có thể nghỉ hoặc ngủ**. Thực tế việc chuyển giữa các trạng thái với nhau rất phức tạp bởi vì còn phải tính đến thời gian và năng lượng sử dụng để thực hiện việc chuyển trạng thái.
 - Ký hiệu công suất tiêu thụ khi nút cảm biến ở trạng thái ngủ là P_{sleep}

2.2 Công suất tiêu thụ của nút cảm biến không dây



➤ 3 chế độ hoạt động: **Chế độ nghỉ (Idle)**

- là chế độ mà tại khoảng thời gian ấy nút cảm biến chưa phải thực hiện một nhiệm vụ cảm biến hay truyền thông nào và không tham gia hoạt động trong mạng.
- Ở chế độ này, **khối xử lý MCU của nút cảm biến luôn ở trạng thái ngủ**. Các khối còn lại cũng ở chế độ **ngủ**.

2.2 Công suất tiêu thụ của nút cảm biến không dây

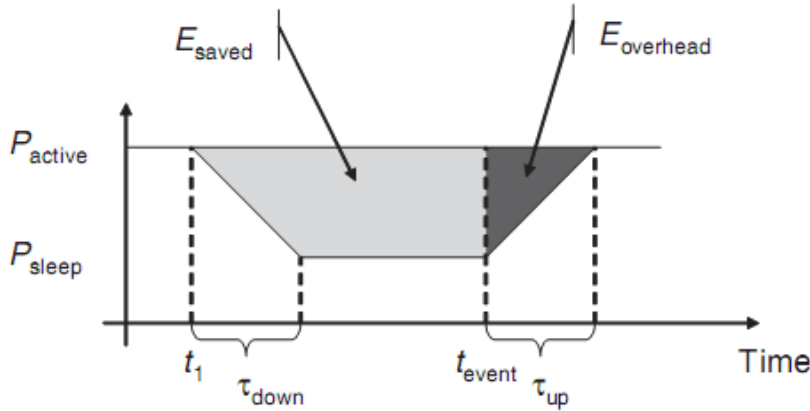


- **Ví dụ 1:** xét một nút cảm biến đang hoạt động tích cực. Tại thời điểm t_1 là thời điểm đưa ra quyết định (event): nút cảm biến vẫn hoạt động tích cực hay chuyển sang trạng thái ngủ để giảm công suất tiêu thụ từ P_{active} sang P_{sleep} :
- Trường hợp 1: nếu nút cảm biến đưa ra quyết định duy trì trạng thái hoạt động tích cực và trạng thái ấy kéo dài đến thời điểm t_{event} thì toàn bộ năng lượng tiêu thụ trong trường hợp không sử dụng trạng thái nghỉ được tính bằng:

$$E_{active} = P_{active} * (t_{event} - t_1) \quad (1)$$

- Trường hợp 2: nếu nút cảm biến đưa ra quyết định rơi vào trạng thái ngủ, và phải mất một khoảng thời gian τ_{down} thì cảm biến mới chuyển hoàn toàn từ trạng thái P_{active} xuống P_{sleep} (hình 5):

2.2 Công suất tiêu thụ của nút cảm biến không dây



Hình 5: Quá trình chuyển trạng thái hoạt động của nút cảm biến

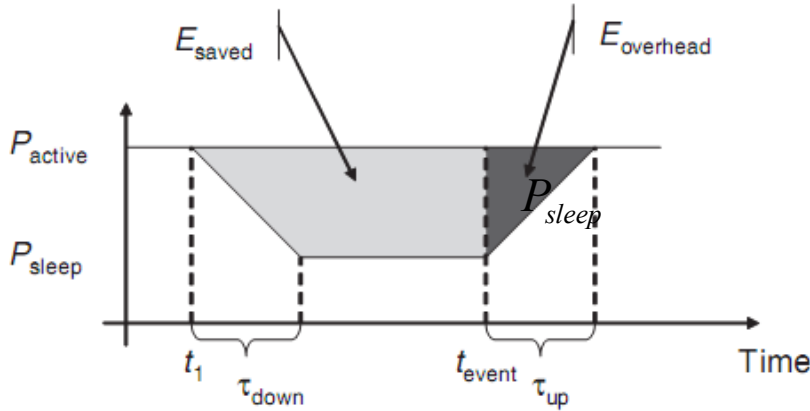
- Giả sử công suất tiêu thụ trung bình trong khoảng thời gian τ_{down} là $(P_{sleep} + P_{active})/2$. Cảm biến ở trạng thái P_{sleep} cho đến thời điểm t_{event} . Công suất tiêu thụ trong toàn bộ trường hợp này là :

$$\tau_{down} * (P_{active} + P_{sleep})/2 + (t_{event} - t_1 - \tau_{down}) * P_{sleep} \quad (2)$$

Năng lượng tiết kiệm được ở TH2 so với TH1 là:

$$E_{saved} = (t_{event} - t_1) * P_{active} - (\tau_{down} * (P_{active} + P_{sleep})/2 + (t_{event} - t_1 - \tau_{down}) * P_{sleep}) \quad (3)$$

2.2 Công suất tiêu thụ của nút cảm biến không dây



Hình 5: Quá trình chuyển trạng thái hoạt động của nút cảm biến

- Tuy nhiên còn có thêm trạng thái tăng tăng then (overhead) xuất hiện để thực hiện quá trình quay trở lại trạng thái tích cực từ trạng thái nghỉ:

$$E_{\text{overhead}} = \tau_{\text{up}} * (P_{\text{active}} + P_{\text{sleep}}) / 2 \quad (4)$$

Thấy rõ là: việc chuyển đổi giữa các trạng thái chỉ được lợi nếu

$$E_{\text{overhead}} < E_{\text{saved}} \quad (5)$$

hoặc:

$$(t_{\text{event}} - t_1) > \frac{1}{2} * \left(\tau_{\text{down}} + \frac{P_{\text{active}} + P_{\text{sleep}}}{P_{\text{active}} - P_{\text{sleep}}} * \tau_{\text{up}} \right) \quad (6)$$

2.2 Công suất tiêu thụ của nút cảm biến không dây



2.2.1. Việc tiêu thụ năng lượng của khối xử lý trung tâm.

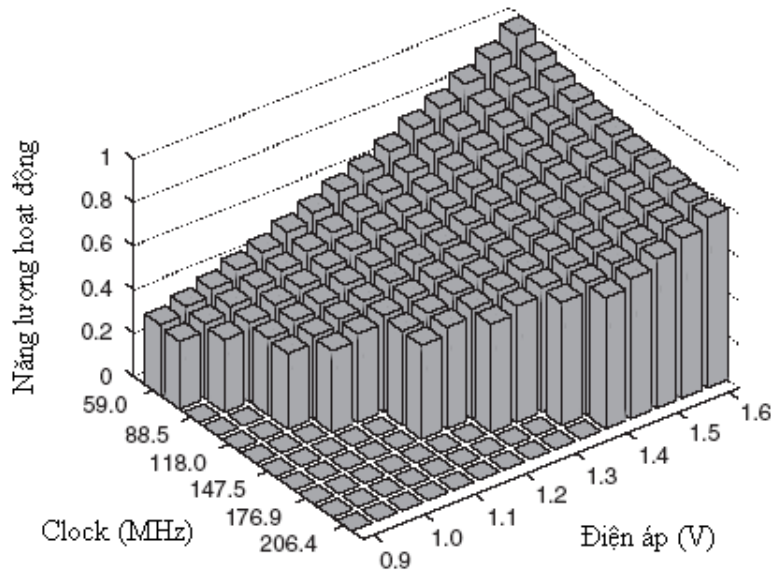
- Được xác định dựa trên datasheet của nhà sản xuất.
- Ví dụ: Intel Strong ARM, cung cấp ba chế độ hoạt động
 - ❑ Chế độ hoạt động (normal mode): tất cả các phần của vi xử lý hoạt động với công suất tối đa. Công suất tiêu thụ lên đến 400mW.
 - ❑ Ở chế độ nghỉ (idle mode): không có xung nhịp đến CPU. Xung nhịp đến các ngoại vi vẫn hoạt động. Bất kỳ một ngắt nào từ ngoại vi cũng sẽ làm cho CPU trở về trạng thái hoạt động bình thường (normal mode). Công suất tiêu thụ lên đến 100mW.
 - ❑ Ở chế độ ngủ (sleep mode): chỉ có xung nhịp thời gian thực (real-time clock) duy trì hoạt động. CPU sẽ được đánh thức bằng ngắt thời gian 160ms. Công suất tiêu thụ lên đến 50uW

2.2 Công suất tiêu thụ của nút cảm biến không dây



2.2.1. Việc tiêu thụ năng lượng của khối xử lý trung tâm.

➤ Ví dụ: Intel Strong ARM



Hình 6: mối liên quan giữa năng lượng tiêu thụ với điện áp hoạt động và xung nhịp clock của Intel StrongARM SA-1100

2.2 Công suất tiêu thụ của nút cảm biến không dây



2.2.1. Việc tiêu thụ năng lượng của khối xử lý trung tâm.

- Được xác định dựa trên datasheet của nhà sản xuất.
- Ví dụ: MSP430 của Texas Instrument, cung cấp các chế độ hoạt động:
 - ❑ Chế độ làm việc với công suất tối đa tiêu thụ công suất khoảng 1.2mW (nguồn cung cấp 3V, tần số hoạt động 1Mhz).
 - ❑ Có 4 chế độ ngủ: Chế độ ngủ tiết kiệm công suất nhất là LPM4 chỉ tiêu thụ 0.3uW. Ở chế độ này bộ điều khiển chỉ được đánh thức bởi ngắt ngoài. Ở chế độ cao hơn, LPM3, xung nhịp đồng hồ vẫn chạy, có thể được lập lịch để được đánh thức. Trong trường hợp này công suất tiêu thụ khoảng 6uW.

2.2 Công suất tiêu thụ của nút cảm biến không dây



2.2.1. Việc tiêu thụ năng lượng của khối xử lý trung tâm.

- Nếu MCU hoạt động ở tốc độ thấp thì công suất tiêu thụ sẽ nhỏ hơn. (xem về Dynamic Voltage Scalling).
- Việc lập trình MCU ở các chế độ hoạt động phù hợp cần được lập lịch và tối ưu khi thiết kế.

2.2 Công suất tiêu thụ của nút cảm biến không dây



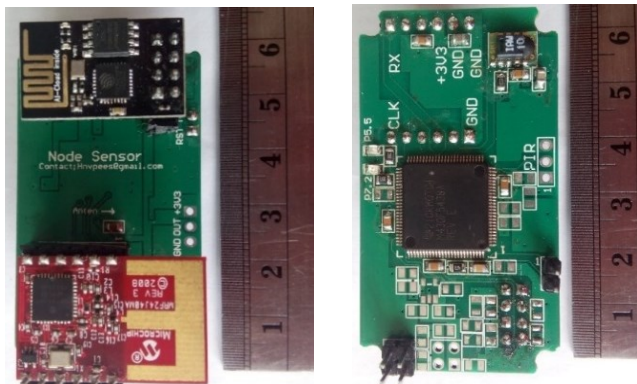
2.2.2. Việc tiêu thụ năng lượng của khối truyền nhận không dây

- Khối truyền nhận có hai chế độ hoạt động: truyền và nhận. Cần xác định rõ công suất tiêu thụ tương ứng ở hai chế độ này (theo datasheet của nhà sản xuất).
- Công suất phát càng lớn thì năng lượng tiêu thụ càng cao.
- Với cùng công suất phát, suy hao trên kết nối và ăng-ten cũng góp phần vào việc làm tăng công suất tiêu thụ.
- Việc lập trình cho khối truyền-nhận ở các chế độ hoạt động phù hợp cần được lập lịch và tối ưu khi thiết kế.

2.4 Một số ví dụ về các nút cảm biến không dây



➤ Ví dụ một nút cảm biến không dây truyền thông



Q1: Hãy tính suất tiêu thụ của nút cảm biến?

- ✓ MCU: MSP430F5438A
- ✓ Vcc: 1.8-3.6 V
- ✓ Tần số hoạt động tối đa: 16MHz
- ✓ Cảm biến: SHT10 và PIR
- ✓ Khối truyền thông: module MRF24J40

2.4 Một số ví dụ về các nút cảm biến không dây



➤ Ví dụ một nút cảm biến không dây truyền thống

Công suất: 2.281 mW -79.372 mW

Công suất tiêu thụ (μ W)		
SHT10	Active	1548.2
MCU	Active	1772.2
	Sleep	15.6
Zigbee	TX	76051.9
	RX	72273.1
	Sleep	717.3

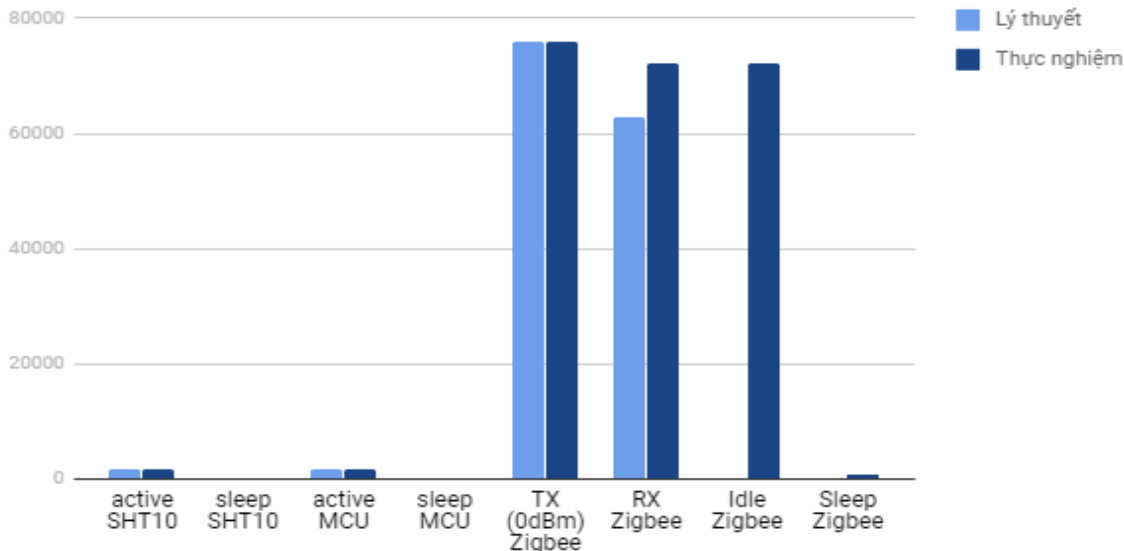
2.4 Một số ví dụ về các nút cảm biến không dây



➤ Ví dụ một nút cảm biến không dây truyền thống

Công suất: 2.281 mW - 79.372 mW

Công suất tiêu thụ lý thuyết - thực nghiệm

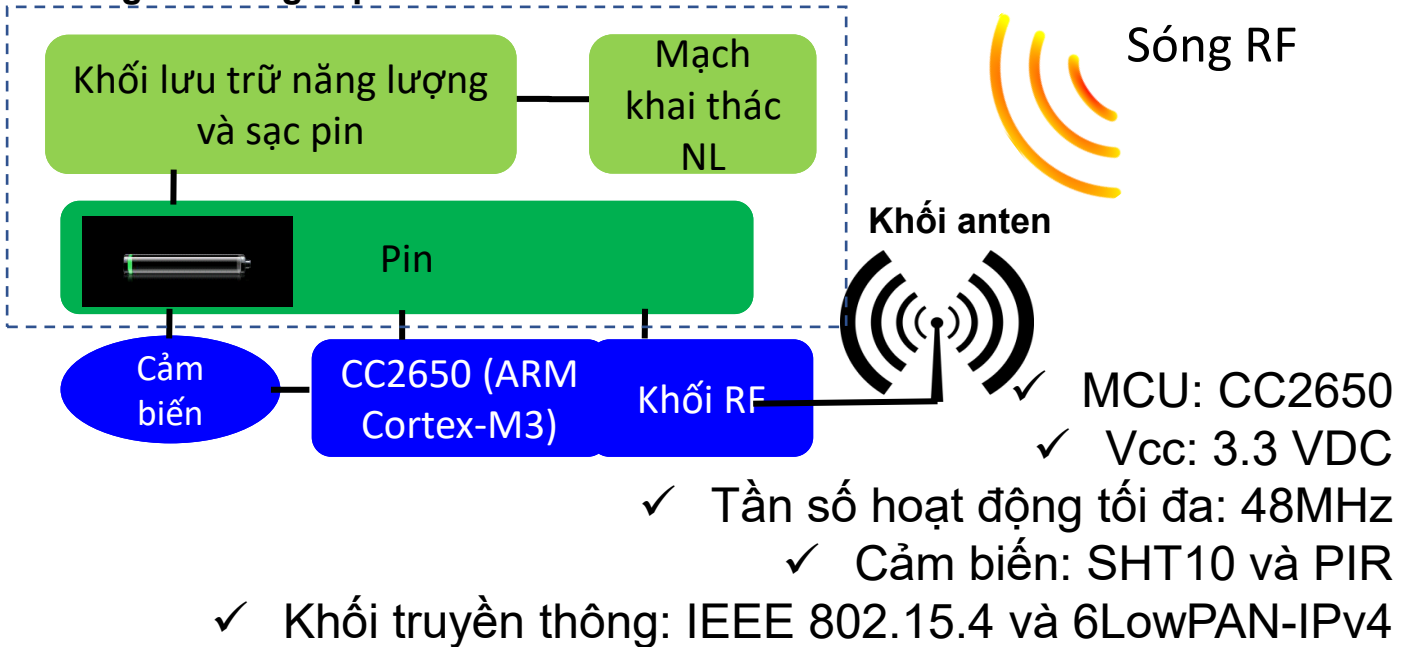


2.4 Nút cảm biến không dây chủ năng lượng



➤ Ví dụ một nút cảm biến không dây hiện nay

Khối nguồn cung cấp

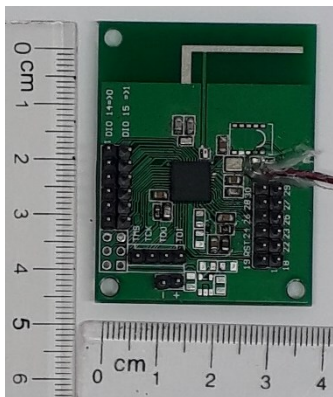


Q2: Hãy tính suất tiêu thụ của nút cảm biến này? ⁴²

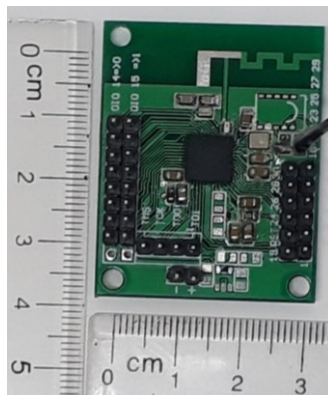
2.4 Một số ví dụ về các nút cảm biến không dây

➤ Nút cảm biến không dây hiện đại

Công suất $0.3 \mu W - 25.37 mW$



Nút cảm biến sử dụng anten IFA



Nút cảm biến sử dụng anten MIFA



Nút cảm biến sử dụng anten ngoài

$I_{\text{sleep}} = 1 \mu A$ $P_{\text{sleep}} = 0.3 \mu W$

Công suất tiêu thụ chế độ ngủ

$I_{\text{adv}} = 7.688 mA$ $P_{\text{adv}} = 25.37 mW$

Công suất tiêu thụ trạng thái quảng bá

$I_{\text{conn}} = 5.889 mA$ $P_{\text{conn}} = 19.433 mW$

Công suất tiêu thụ trạng thái kết nối

Chương 2: Nút cảm biến không dây



2.1 Kiến trúc chung của nút cảm biến không dây

2.2 Nguồn và vấn đề công suất tiêu thụ của nút cảm biến

2.3 Nút cảm biến không dây tự chủ năng lượng

2.4 Nút cảm biến không dây công suất thấp

2.5 Anten và công nghệ RF trong nút cảm biến không dây

2.6 Các công nghệ không dây trong mạng cảm biến

2.5 Anten trong nút cảm biến không dây



2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF

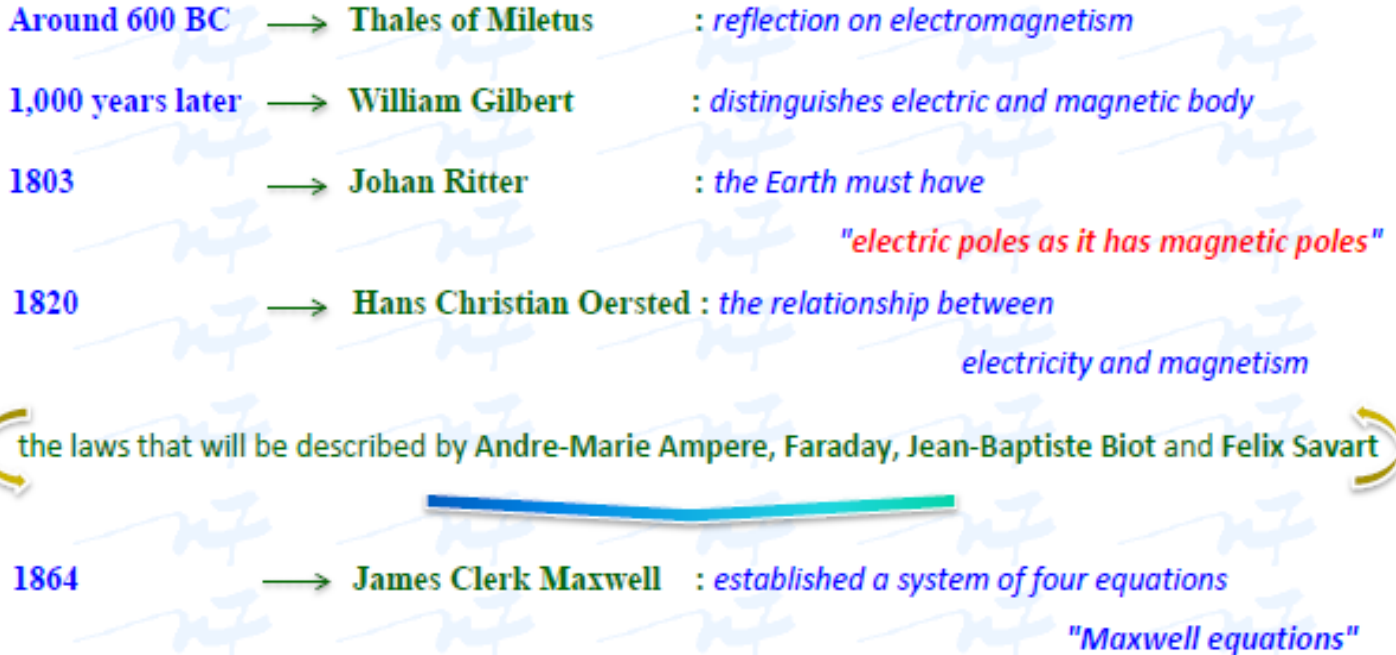
2.5.2 Giới thiệu cơ bản về Anten

2.5.3 Anten trong cảm biến không dây

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF

1. Lịch sử
2. Các luật EM cơ bản
3. Lan truyền sóng EM
4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF

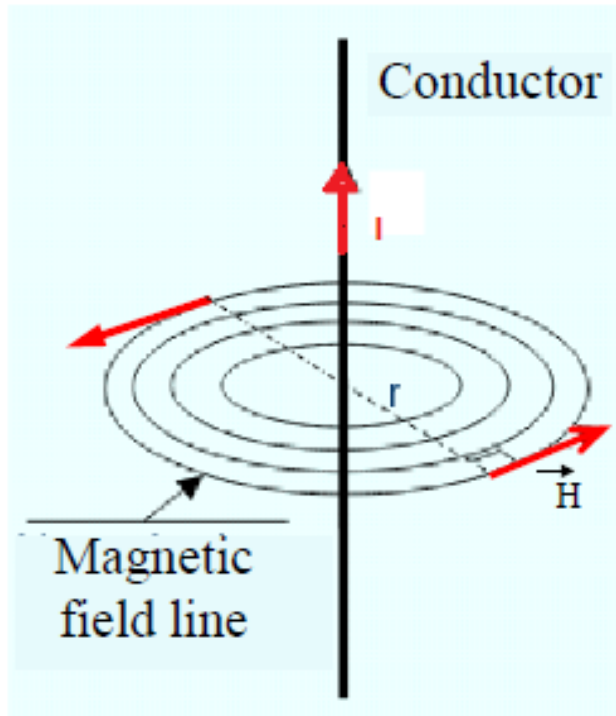


2. Các luật EM cơ bản

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



LAW OF BIOT AND SAVART



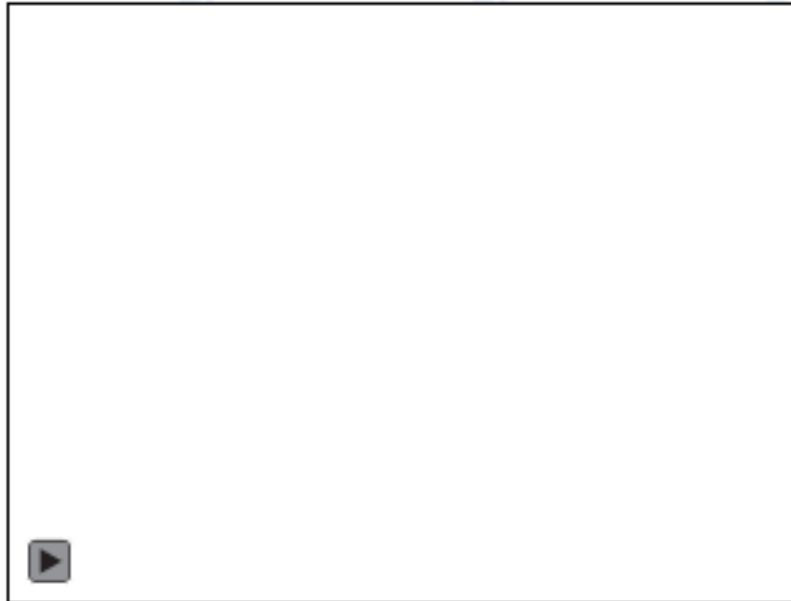
$$\vec{H} = \frac{1}{4\pi} \int_C \frac{I \cdot d\vec{l} \wedge \vec{u}}{r^2}$$

2. Các luật EM cơ bản

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



FARADAY'S LAW



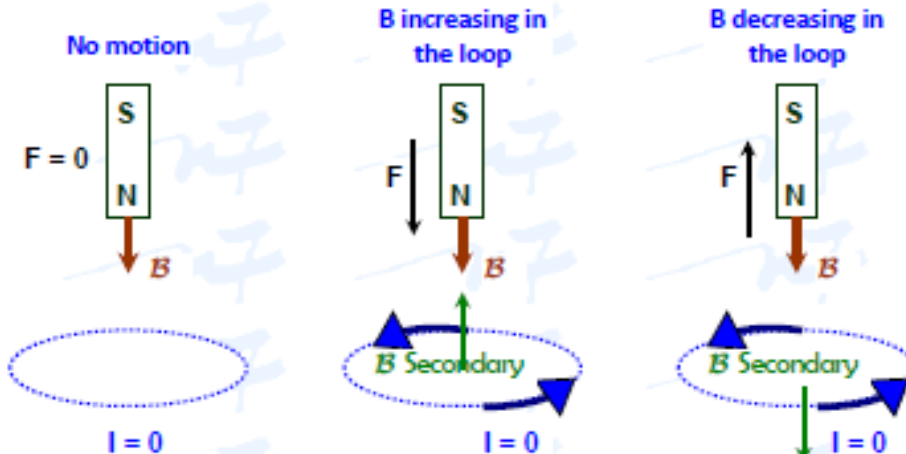
Any flux variation through an unspecified electric circuit generate in this one an induced f.e.m.

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



LENZ LAW

An induced **electromotive force (emf)** always gives rise to a current whose magnetic field opposes the original change in **magnetic flux**.



$$e = - \frac{d\phi}{dt}$$

Loi de Lenz ←

→ Loi de Faraday

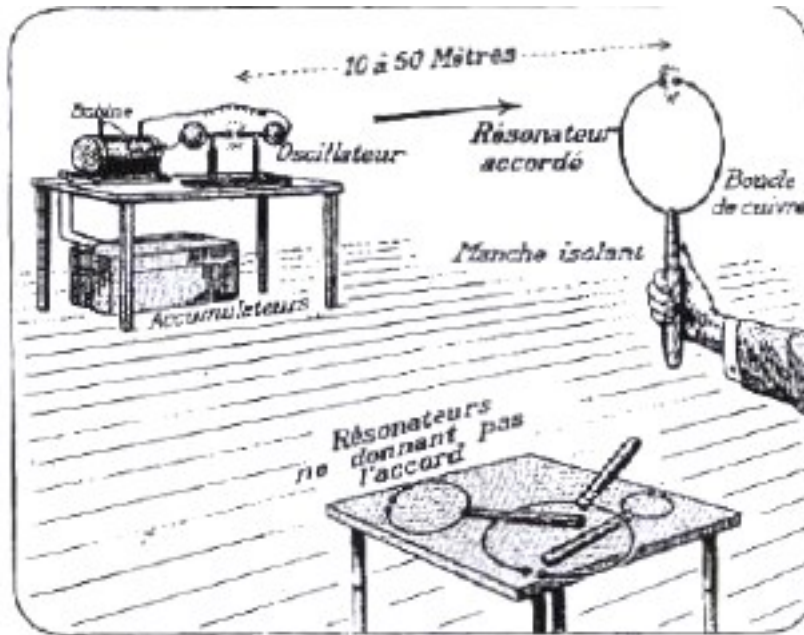
2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF

MAXWELL'S EQUATIONS (variable Modes)

FORME LOCAL	FORME INTEGRALE	
$\text{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon}$	$\phi = \oiint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{q}{\varepsilon_0}$	(1) Theorem of Gauss
$\text{div} \vec{B} = 0$	$\iint_{(S)} \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$	(2) Conservation of the magnetic flux
$\vec{\text{rot}} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	$\oint_{(C)} \vec{E} \cdot d\vec{r} = \iint_{(S)} -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S}$	(3) Law of the electromagnetic induction of Faraday
$\vec{\text{rot}} \vec{B} = \mu \left(\vec{j} + \varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right)$	$\oint_{(C)} \vec{B} \cdot d\vec{r} = \mu_0 \cdot \left(I + \varepsilon_0 \cdot \iint_{(S)} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \cdot d\vec{S} \right)$	(4) Theorem of Ampere modified by the displacement current

3. Lan truyền sóng EM

2.2.1 Giới thiệu cơ bản về RF

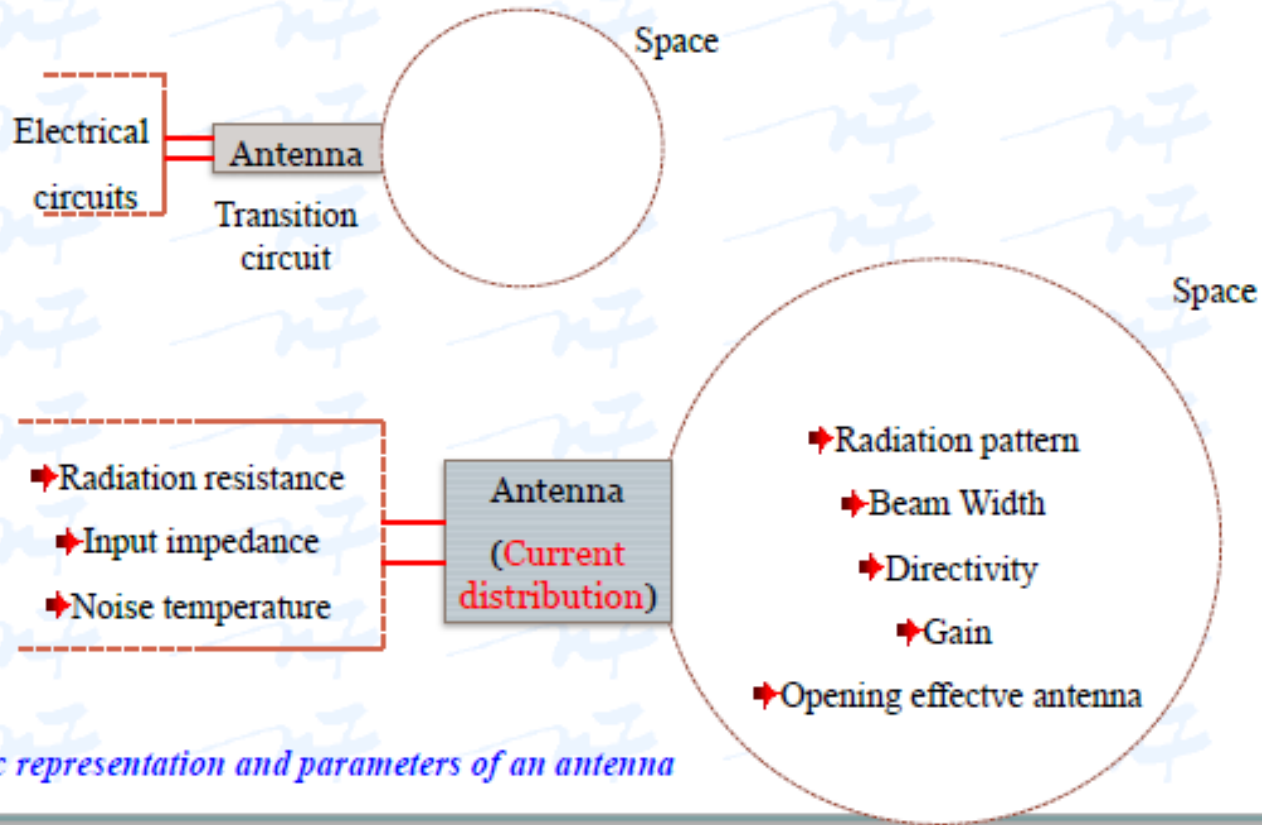


Heinrich HERTZ
1857-1894

Hertz machine for producing an electromagnetic wave producing a spark in a resonator at a distance of up to 50 m

3. Lan truyền sóng EM

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



Schematic representation and parameters of an antenna

3. Lan truyền sóng EM

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF

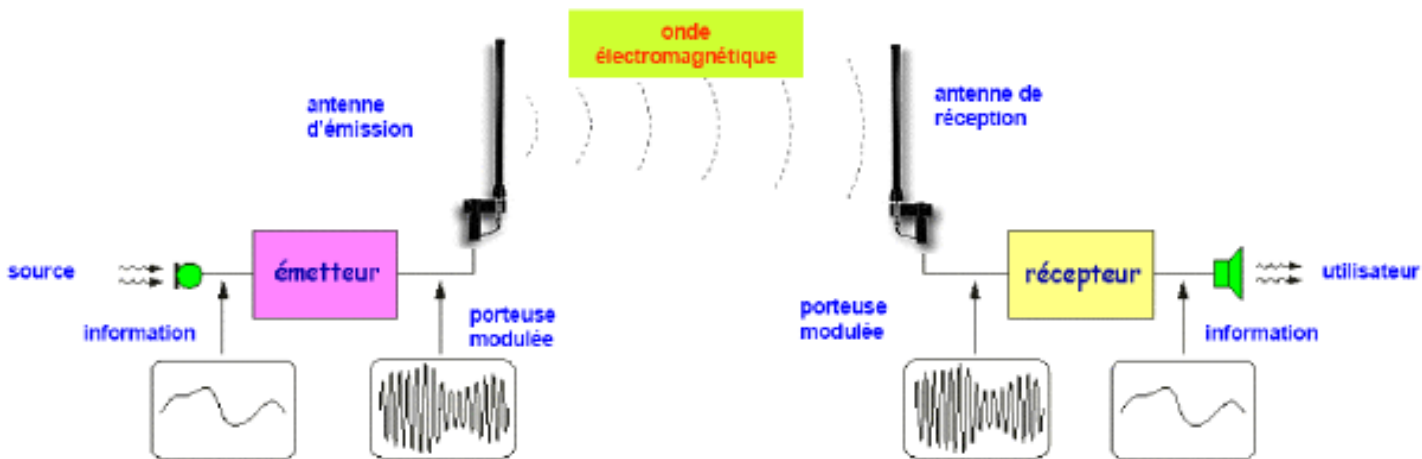


Diagram of a wireless communication system

3. Lan truyền sóng EM

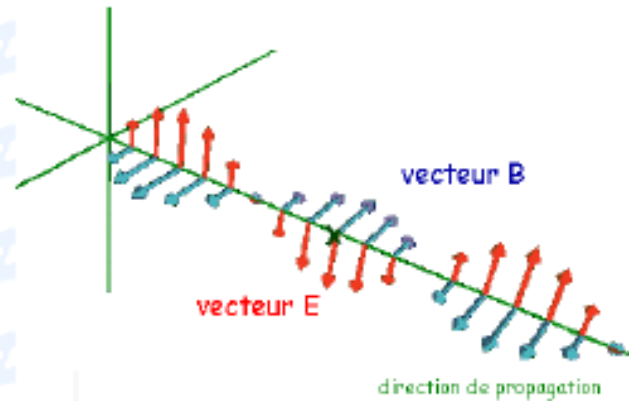
2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



The E and B fields produced by the antenna spread throughout the space surrounding the antenna, in decreasing.

At a distance from the transmitting antenna:

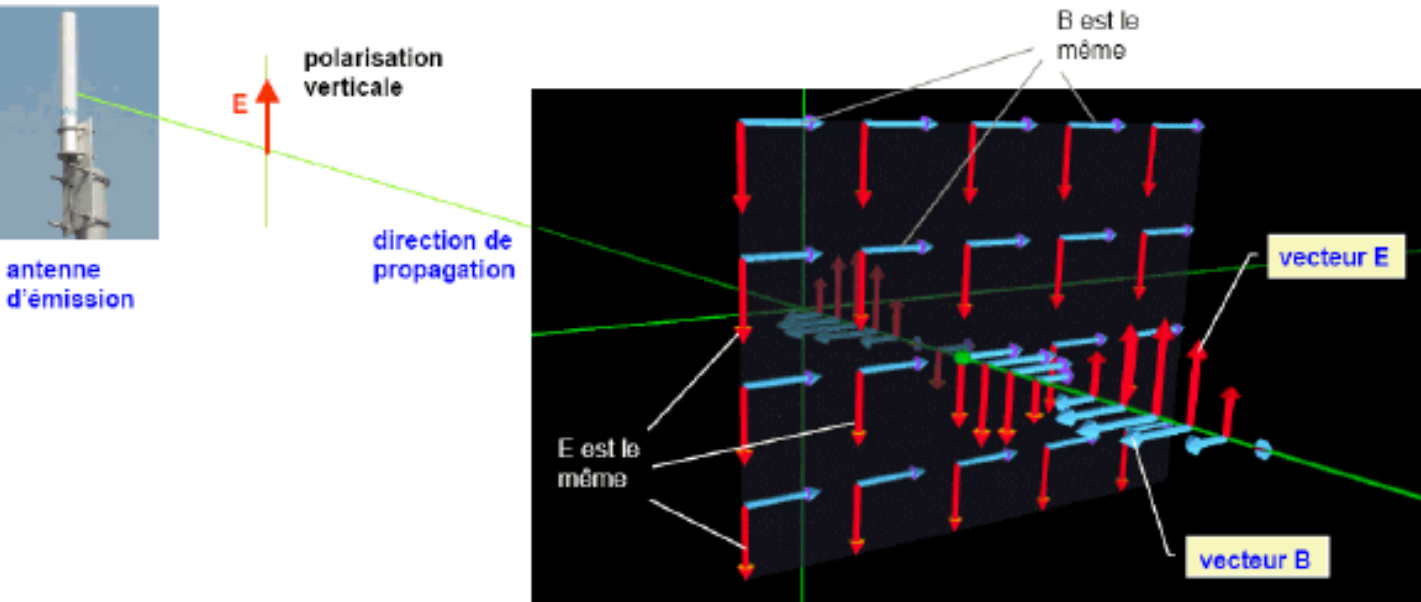
- ✓ vectors E and B are perpendicular to each other
- ✓ vectors E and B are perpendicular to the direction of propagation
- ✓ E and B are out of phase (lagging) with respect to the current that has created



The propagation of electromagnetic waves radiated by an antenna

3. Lan truyền sóng EM

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



The propagation of electromagnetic waves radiated by an antenna

3. Lan truyền sóng EM

2.2.1 Giới thiệu cơ bản về RF



- The electromagnetic wave is propagated in a straight line at the speed of light:

✦ *propagation velocity in vacuum or air:* $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m / s}$

✦ *a dielectric material with a relative permittivity ϵ_r (insulation of the coaxial cable, for example) the speed of propagation is smaller than that of light:*

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{c}{n} \qquad \lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{c}{f} = cT$$

- Radio waves propagate from the transmitting antenna to the receiving antenna in various ways:

- ✦ *direct wave emanating from the transmitter and the receiver arriving without encountering natural obstacles (mountains, atmospheric layers) or artificial (buildings, lines THT)*
- ✦ *by reflected wave, when the wave encounters an obstacle and is returned in its entirety or in part, in a different direction.*

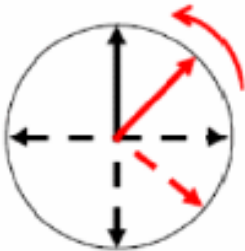
Ionized layers of the atmosphere can be reflective surfaces if $f < 30 \text{ MHz}$

3. Lan truyền sóng EM

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF

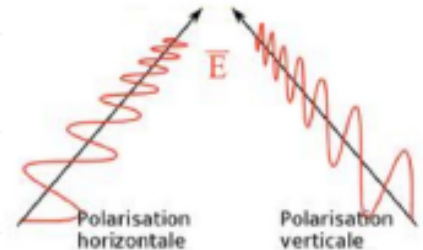


The polarization of a wave is the plan in which varies the electric field

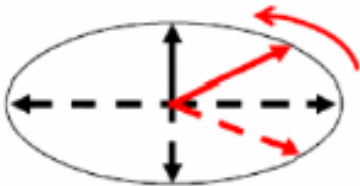


Vertical rectilinear polarization

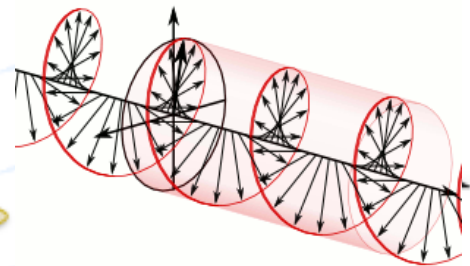
Horizontal rectilinear polarization



Right or left circular polarization

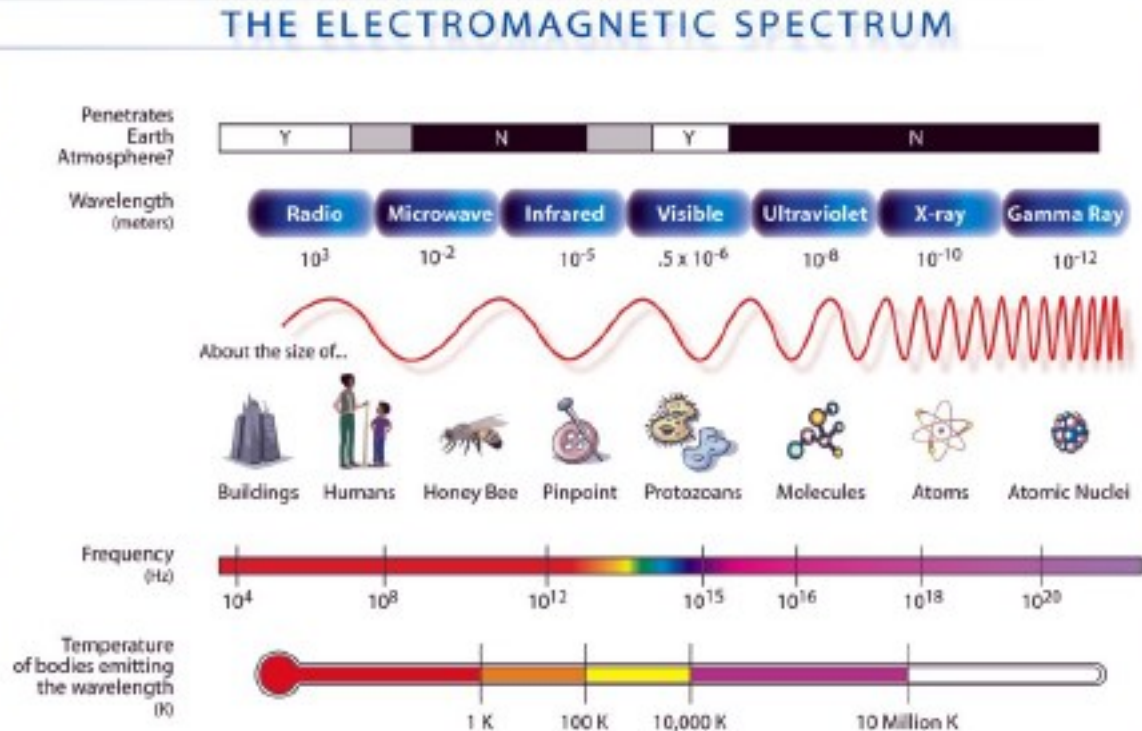


Right or left elliptic polarization



3. Lan truyền sóng EM

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



3. Lan truyền sóng EM

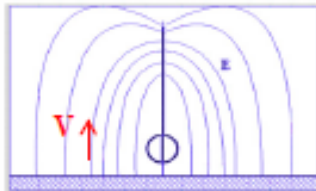
2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



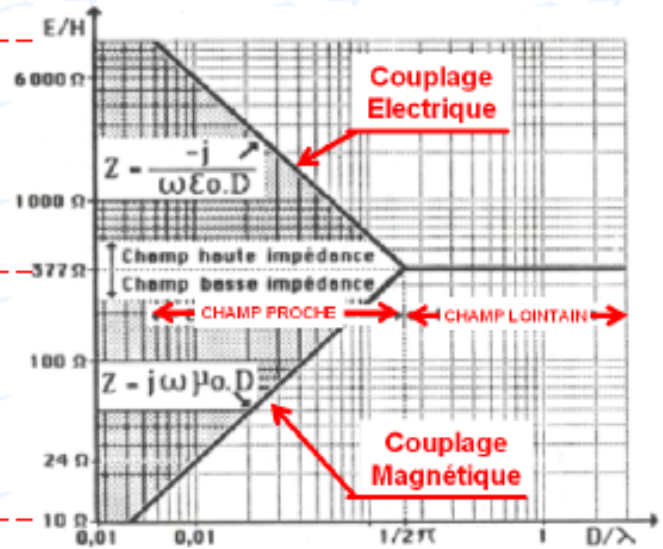
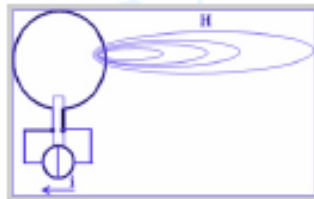
Ratio E/H is conditioned by two parameters:

- The distance to the source.
- The nature of the source.

Antenna high impedance,
field E dominating at
short distance (dipole
antenna)

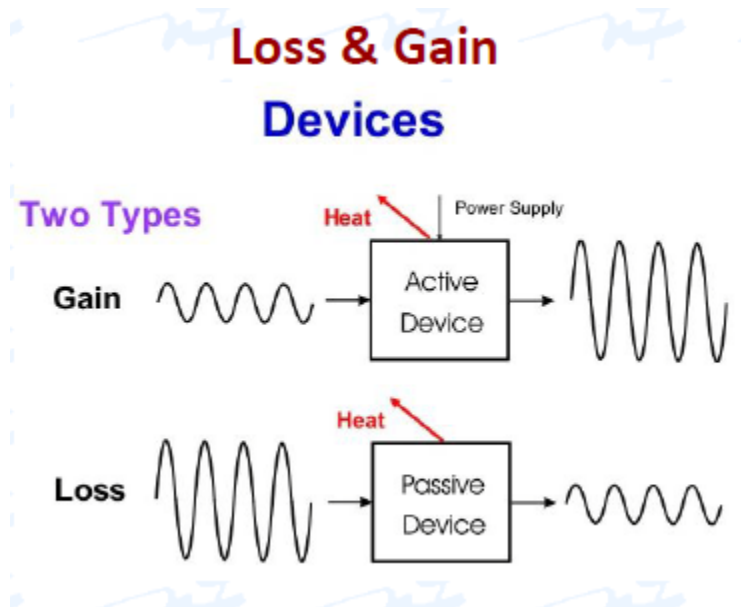


Antenna low impedance,
field H is dominating at
short distance (loop antenna)



4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



Loss & Gain

Vocabulary

- ♦ Gain: Also called *amplification & power gain*
- ♦ Loss: Also called *insertion loss & attenuation*



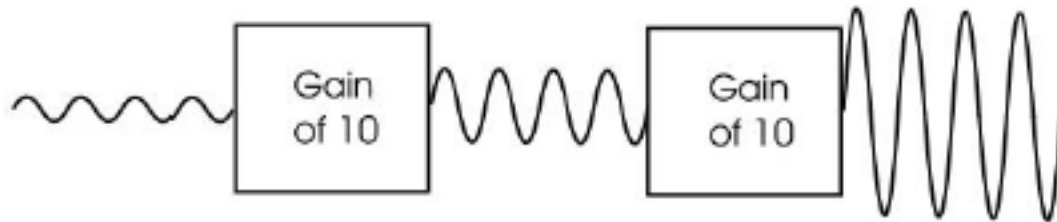
4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



Loss & Gain

Are Cumulative



Total gain = 100

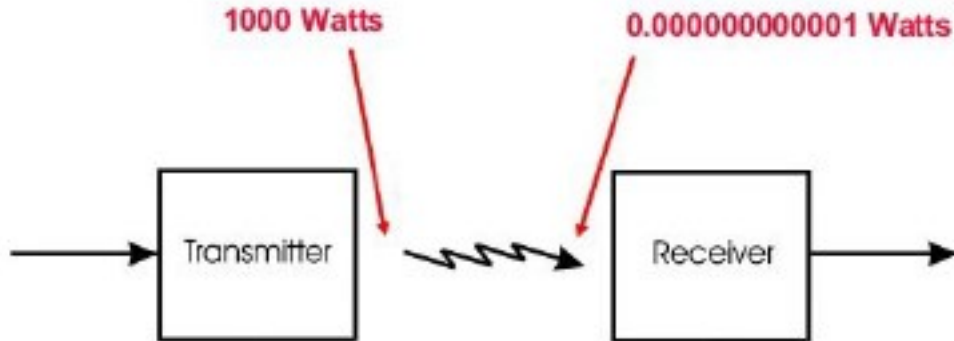
4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



Decibels

What's The Problem?



4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



Decibels

The Basics

- ◆ Measure a change (e.g. output vs input)
- ◆ Bigger (i.e, gain), decibels are positive
- ◆ Smaller (i.e., loss) , decibels are negative
- ◆ Decibels are abbreviated "dB"

$$Decibel = 10 * \log_{10} \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right)$$

4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



Decibels

The Only Math You'll Need To Know

- ◆ +3dB means 2 times bigger
- ◆ +10 dB means 10 times bigger
- ◆ -3dB means 2 times smaller
- ◆ -10 dB means 10 times smaller
- ◆ Add and subtract decibels only

4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



Decibel Conversion

Examples

Change	Factors	Decibels
4000	$2 \times 2 \times 10 \times 10 \times 10$	$3 + 3 + 10 + 10 + 10 = 36$
-4000	$- 2 \times 2 \times 10 \times 10 \times 10$	$3 + 3 + 10 + 10 + 10 = - 36$
5000	$10 \times 10 \times 10 \times 10 / 2$	$10 + 10 + 10 + 10 - 3 = 37$
6000		
8000	$2 \times (2 \times 2 \times 10 \times 10 \times 10)$	$3 + 36 = 39$

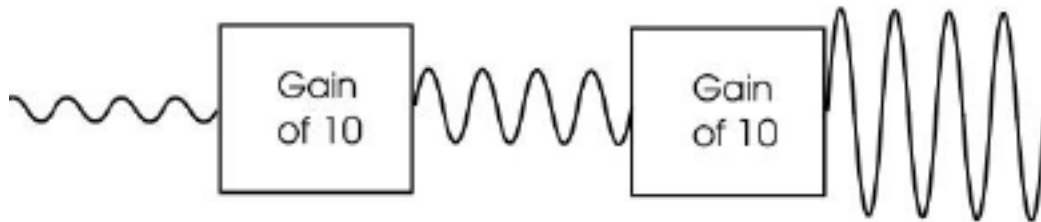
4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



Summing Decibels

Recall From Before



Total gain = 100

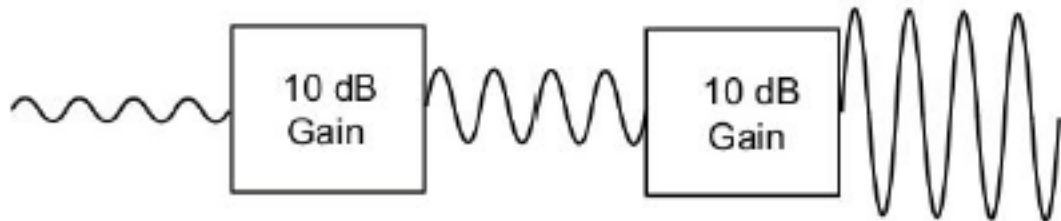
4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



Summing Decibels

Now With dB



Total gain = 20 dB

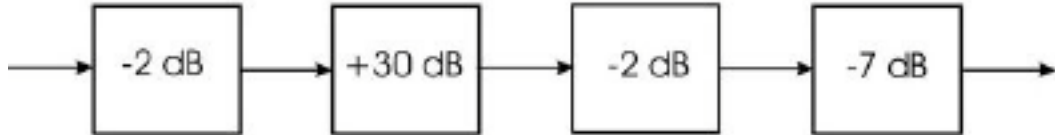
4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



Summing Decibels

One More Example



Total change = +19 dB

4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



dBm

What Is It?

- ◆ A measure of power NOT change

In The RF World

- ◆ The "standard" unit of power is *1 milliwatt*

Definition

- ◆ dBm = "dB above 1 milliwatt"

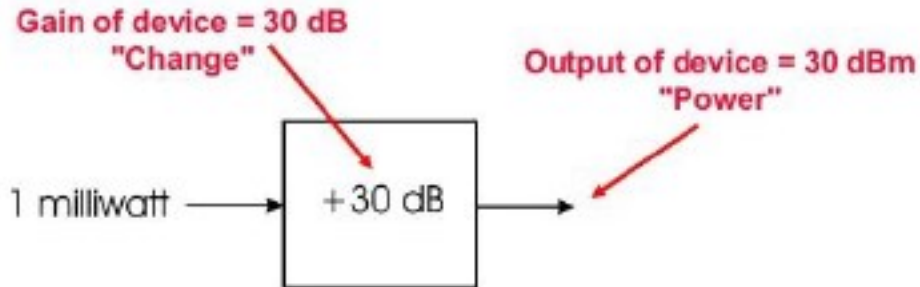
4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



dBm

Example



Output = 30 dB above 1 milliwatt = 30 dBm

4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



dBm Conversion

TRANSMITTER POWER	1 Megawatt	90 dBm
	1 Kilowatt	60 dBm
	1 watt	30 dBm
REFERENCE LEVEL	1 milliwatt	0 dBm
	1 microwatt	-30 dBm
LOWEST MEASURABLE SIGNAL	1 nanowatt	-60 dBm
	1 picowatt	-90 dBm
RECEIVED SIGNAL	1 femtowatt	-120 dBm

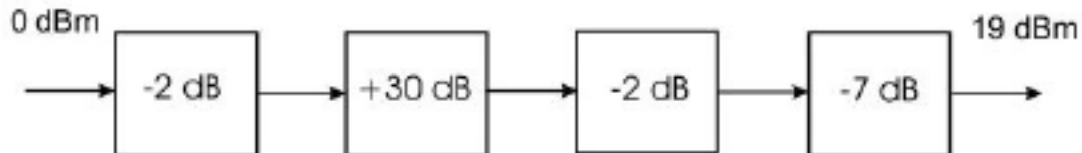
4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



dBm

Recall From Before



Input = 0 dBm = 1 milliwatt

Total change = +19 dB

Output = 19 dBm ≈ 100 milliwatts

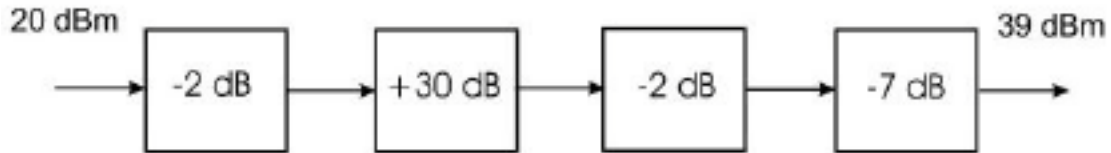
4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



dBm

Another Example



Input = 20 dBm = 100 milliwatt

Total change = +19 dB

Output = 39 dBm ≈ 10 watts

4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



Bandwidth

What Is It?

- ◆ A range of frequencies (in Hertz)
- ◆ Defined by the highest & lowest frequency

Where Is It Used?

- ◆ Components
- ◆ Wireless applications

4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



Bandwidth

What Is It?

- ◆ A range of frequencies (in Hertz)
- ◆ Defined by the highest & lowest frequency

Where Is It Used?

- ◆ Components
- ◆ Wireless applications

4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



Bandwidth

Example 1

An amplifier provides 30 dB of gain from 75 MHz to 125 MHz. What is its bandwidth?

Highest frequency = 125 MHz

Lowest frequency = 75 MHz

Difference = 50 MHz = Bandwidth

4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



Bandwidth

Example 2

Cellular telephony in the US operates between 824 MHz and 894 MHz. What is the bandwidth?

Highest frequency = 894 MHz

Lowest frequency = 824 MHz

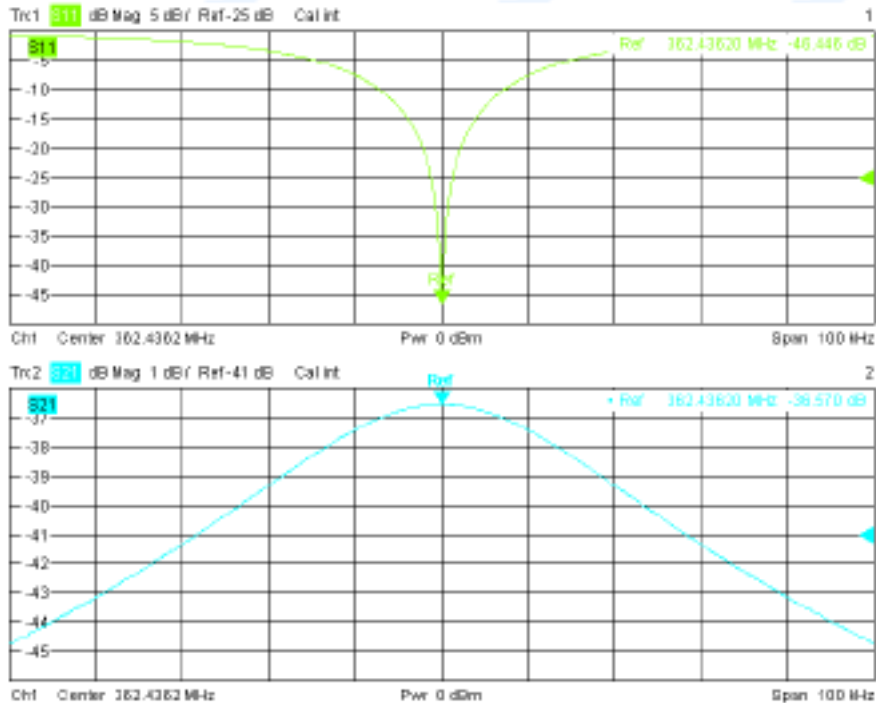
Difference = 70 MHz = Bandwidth

4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



Bandwidth



4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.2.1 Giới thiệu cơ bản về RF



Percentage Bandwidth (BW)

What Is It?

♦ Another way to describe bandwidth

How To Calculate It (*from previous example*)

1. Bandwidth = 70 MHz
2. Ave frequency = $(824 + 894)/2 = 859$ MHz
3. %BW = $70 \text{ MHz} / 859 \text{ MHz} \times 100\% = 8\%$

4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



Bandwidth

Ways To Describe It

- ◆ Narrowband: $\%BW < 50\%$
- ◆ Wideband: $\%BW > 50\%$
- ◆ Octave: Highest frequency = 2x lowest frequency
- ◆ Decade: Highest frequency = 10x lowest frequency

4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



RF in The Environment

Free Space Loss (FSL)

Formula

FSL = A function of Frequency and Distance

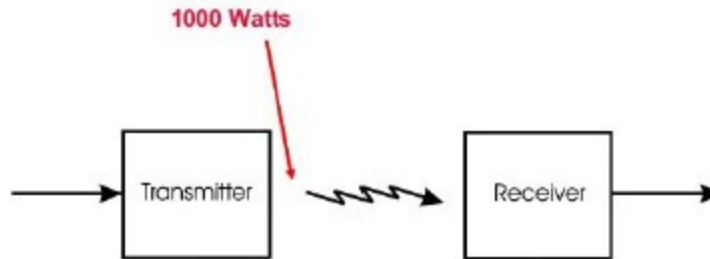
4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



Free Space Loss

Recall From Before



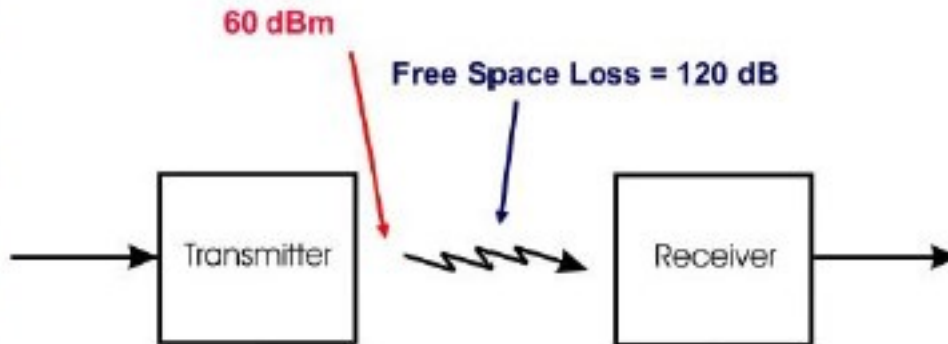
4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



Free Space Loss

Recall From Before



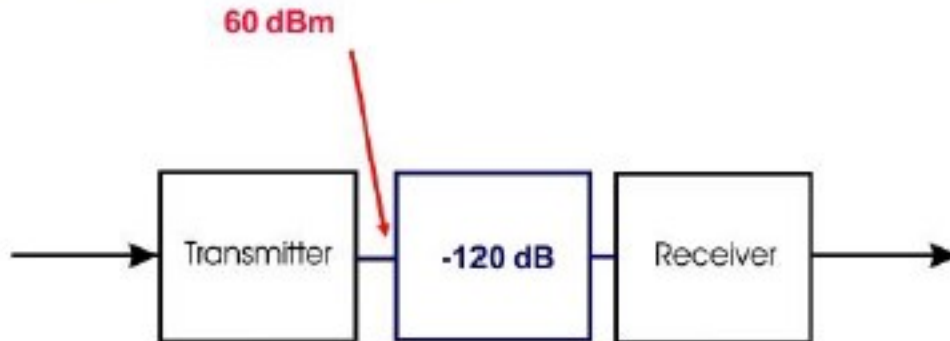
4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



Free Space Loss

Recall From Before



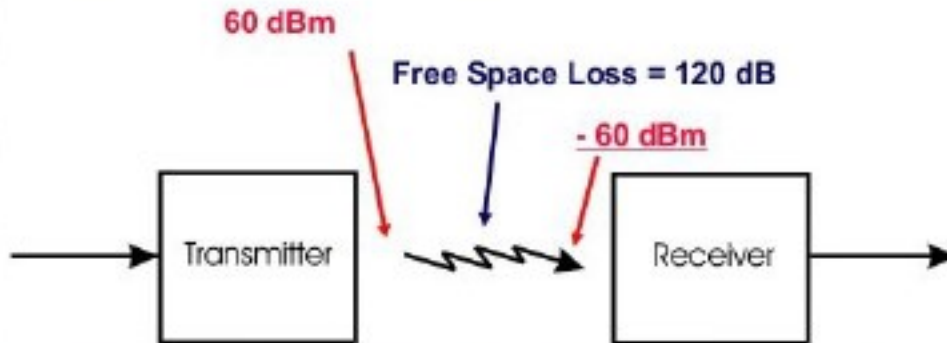
4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



Free Space Loss

Recall From Before



4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

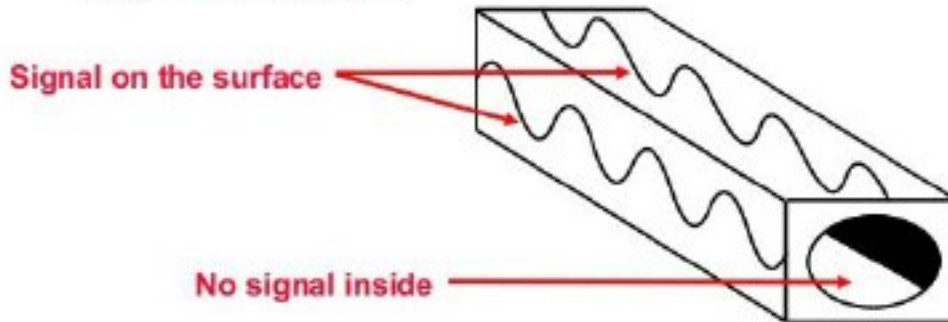
2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



Skin Effect

What Is It?

- ◆ When an RF signal is on a conductor, it resides only on the surface



4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

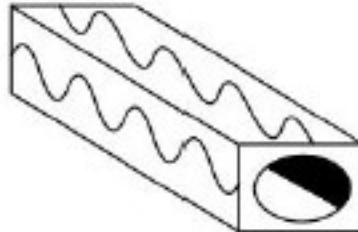
2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



Skin Effect

What Is The Implication?

- ♦ RF signals can't penetrate conductors (e.g. metal)
- ∴ Metal can be used to control airborne RF waves



4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



Absorption

What Is It?

◆ When RF waves travel through the air, some things they encounter cause attenuation

- Air
- Rain
- Foliage



4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

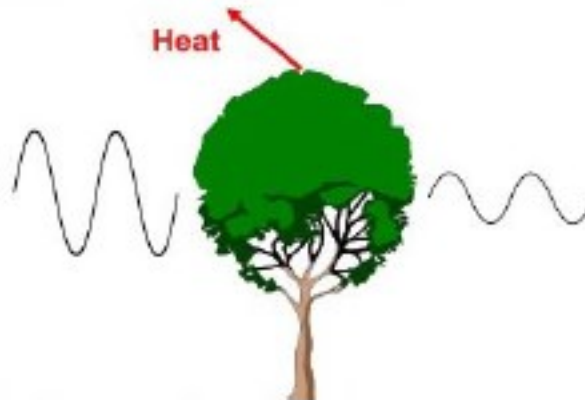
2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



Absorption

And

◆ Absorbed energy gets converted to heat



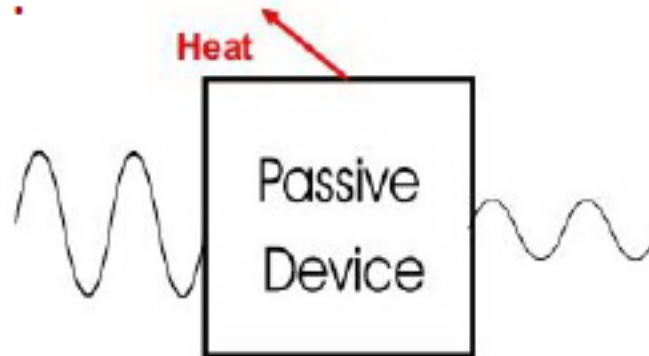
4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



Absorption

Look familiar :



What else ?

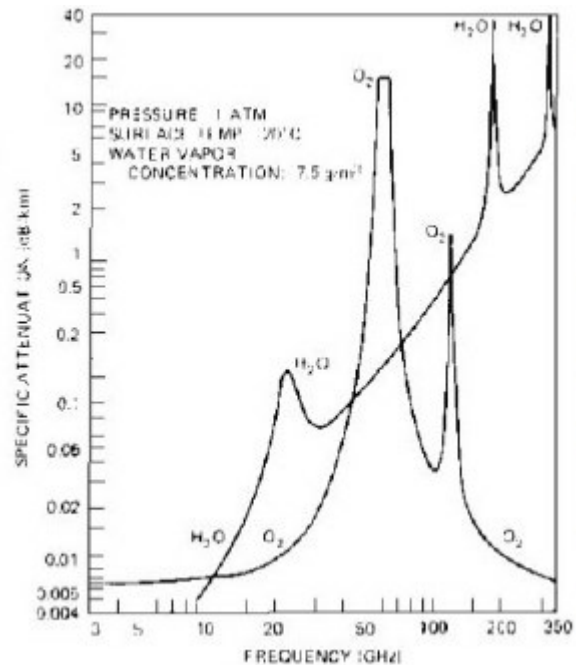
- ✚ Also called « Atmospheric attenuation
- ✚ Mesured in dB

4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



Atmospheric Absorption



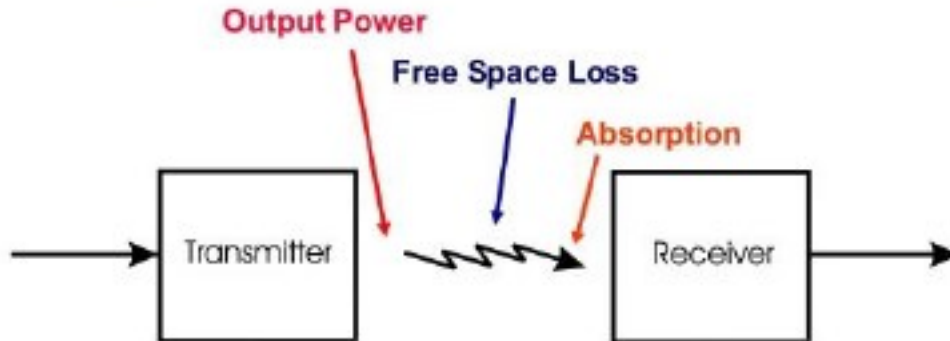
4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



Absorption

Recall From Before



4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF

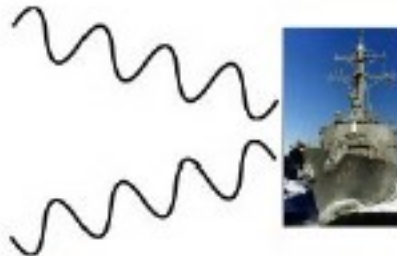


Reflection

What Is It?

◆ When RF waves travel through the air, some things they encounter cause the signal to be reflected

- **Buildings**
- **Mountains**
- **Automobiles**



4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2,5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



Reflection

In Fact

- ◆ Some materials reflect the RF completely
 - Metal
- ◆ Some reflect the RF only partially
 - Wood
 - Concrete

4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



Reflection

What Does That Mean?

- ◆ Some materials absorb AND reflect RF waves

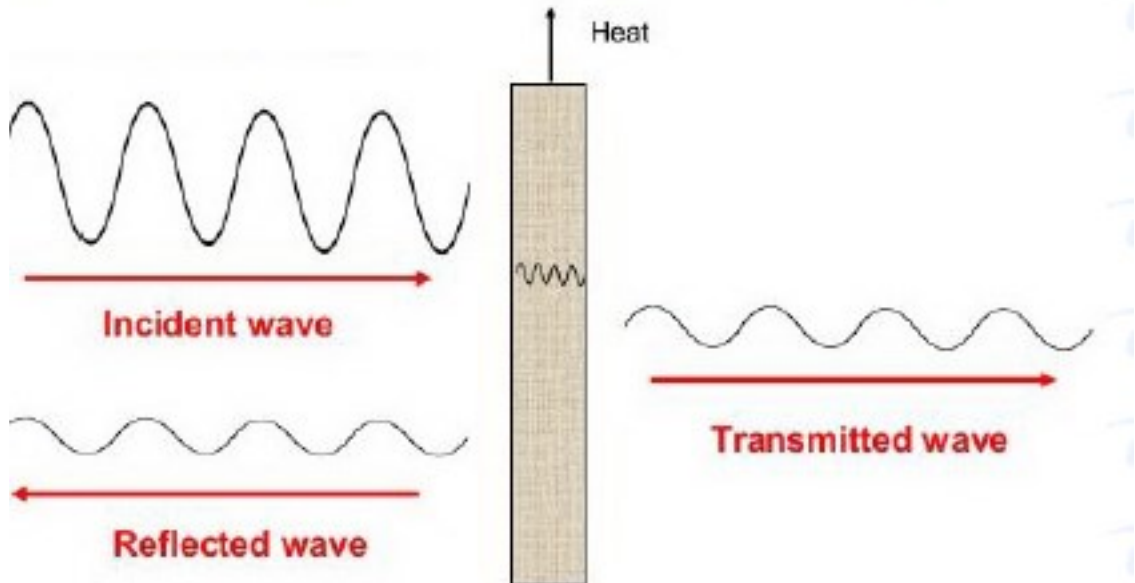


4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.2.1 Giới thiệu cơ bản về RF



Refletion & Absorption



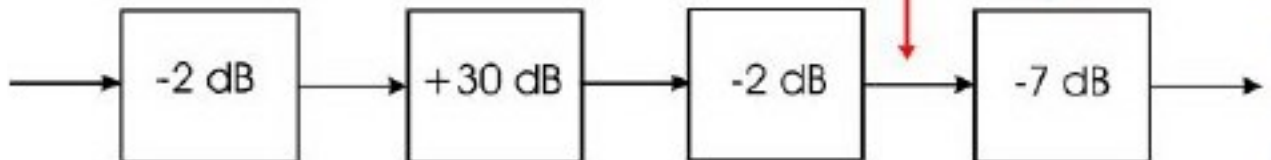
4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



impedance matching

- ◆ Components have *impedance*
- ◆ Conductors have impedance
- ◆ Conductors connect components



2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



Impedance

- ◆ Components & conductors should have the same impedance
 - 50 ohms
- ◆ But they don't
 - Their impedances don't "match"

4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



Why Don't Things Match?

◆ Different standards

- 50 ohms in the RF world
- 75 ohms in the video world

◆ Impedance varies

- Over frequency
- From unit to unit



2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



impedance matching

What are the consequences ?

- ◆ The RF signal gets reflected
 - The bigger the mismatch, the greater the reflection
- ◆ If too much signal gets reflected
 - Adverse effects

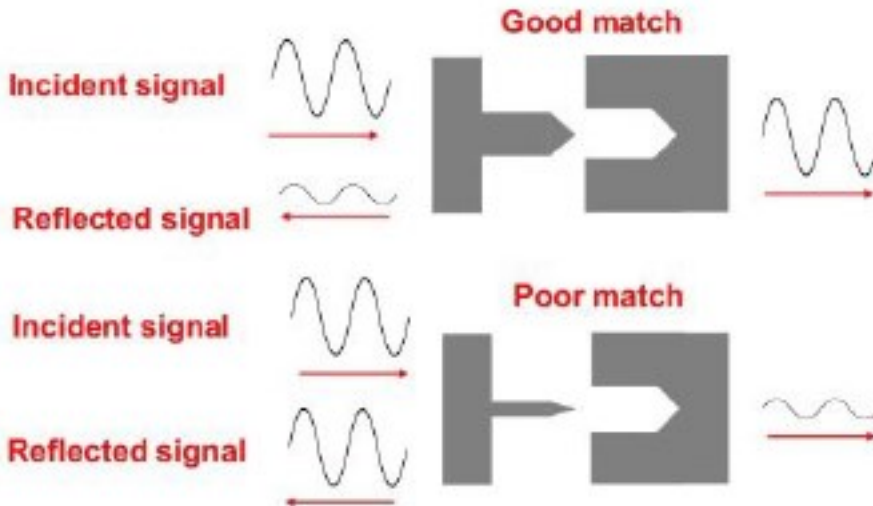
4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



impedance matching

Mismatch



2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



impedance matching

How is Match measured ?

◆ Two ways

- VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)
- Return loss (RL)

4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



impedance matching

VSWR

VSWR	Meaning
1.0:1	Perfect match
1.4:1	Excellent match
2.0:1	Good match
10:1	Poor match
∞	Special cases

4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



impedance matching

VSWR Special Cases

$\infty:1$ (*VSWR is infinite*)

1) Perfect open

- Conductor/component left unattached

2) Perfect short

- Conductor/component short circuited

ALL RF ENERGY REFLECTED

4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



Return Loss

Meaning

- ♦ "The loss that the return (reflected) signal experiences"
 - **Big RL = small reflected signal** **Good**
 - **Small RL = big reflected signal** **Bad**
- ♦ Measured in dB
 - **Just like insertion loss**

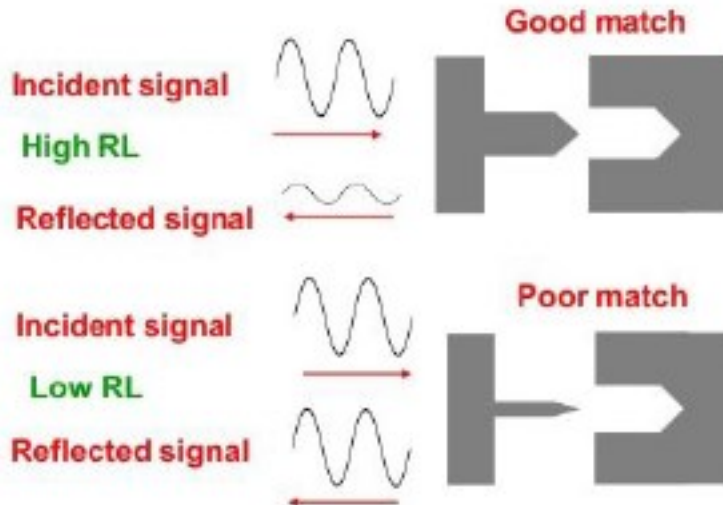
4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



impedance matching

Return Loss



2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



impedance matching

Return Loss vs VSWR

VSWR	Return Loss
1.0:1	∞
1.4:1	15.6 dB
2.0:1	9.5 dB
10:1	1.7 dB
∞ :1	0 dB

4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



impedance matching

How To Deal With Mismatch

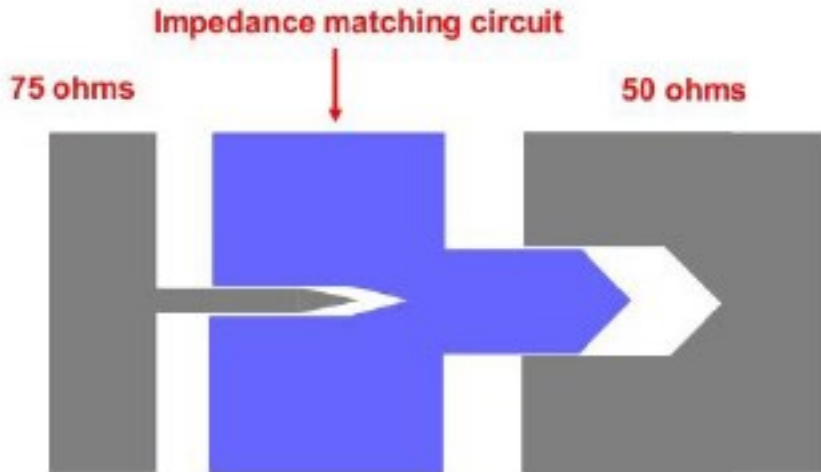
- ◆ If the mismatch is small
 - Do nothing
- ◆ If the mismatch is large
 - Impedance matching circuit

4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



Impedance Matching



4. Các đặc trưng của tín hiệu RF

2.5.1 Giới thiệu cơ bản về RF



➤ Impedance matching

