

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN  
KHOA ĐIỆN TỬ - VIỄN THÔNG**

## **Bài 2: Điều chế AM**

Đặng Lê Khoa

Bộ môn Viễn thông – Mạng

Class 2

# ***Nội dung***

---

- Lý do của các điều biến
- Các loại điều biến AM
  - AM không sóng mang (DSB – SC)
  - AM quy ước
  - AM đơn dải biên (SSB)
- Tách sóng AM
- Mạch điện tử điều biến và tách sóng AM

# ***Baseband and Carrier Communication***

---

- **Baseband:**

- Diễn tả dải tần số của tín hiệu và hệ thống. Thường được đo từ 0 đến băng thông tối đa hoặc tần số cao nhất của tín hiệu
- Voice: Telephone 0-3.5KHz; CD 0-22.05KHz
- Video: Analog TV 4.5MHz, TV channel là 0-6MHz. Tín hiệu số phụ thuộc vào kích thước, sự chuyển động và số khung trong mỗi giây ...
- Ví dụ: wire, coaxial cable, optical fiber

- **Carrier Communication:**

- **Carrier:** một dạng sóng (thường sinusoidal) được điều chế để biểu diễn thông tin cần truyền. Thường sóng mang có tần số cao hơn tín hiệu thông tin ở dải gốc (modulating signal).
- Modulation: là quá trình thay đổi của carrier signal để sử dụng tín hiệu này mang thông tin.

# ***Modulation***

---

- **Modulation**
  - Một quá trình làm dịch chuyển tần số của tín hiệu.
- **Gain advantages**
  - Kích thước Antenna: tần số tín hiệu phụ thuộc kích thước của antenna. Khoảng vài ngàn dặm để truyền tín hiệu dải gốc
  - Sử dụng hiệu quả băng thông
  - Chống lại can nhiễu liên ký hiệu (inter-symbol-interference)
  - Chống lại lỗi và méo dạng
- **Types**
  - Analog: AM (DSB, SSB, VSB), FM, Delta modulation
  - Digital: ASK, FSK, PSK, QAM, ...
  - Pulse modulation: PCM, PDM, ... Fiber, phone
- **Advanced: CDMA (3G), OFDM (WLAN, WMAN), ....**

# Double Sideband

---

- Modulation:
  - time:  $\varphi(t) = m(t) \cos(w_c t)$
  - freq:  $X(w) = 0.5[M(w - w_c) + M(w + w_c)]$
- DSB-SC: suppressed carrier (triệt sóng mang), không truyền sóng mang
- $W_c \geq$  băng thông của tín hiệu để tránh biệt danh.
- Demodulation:

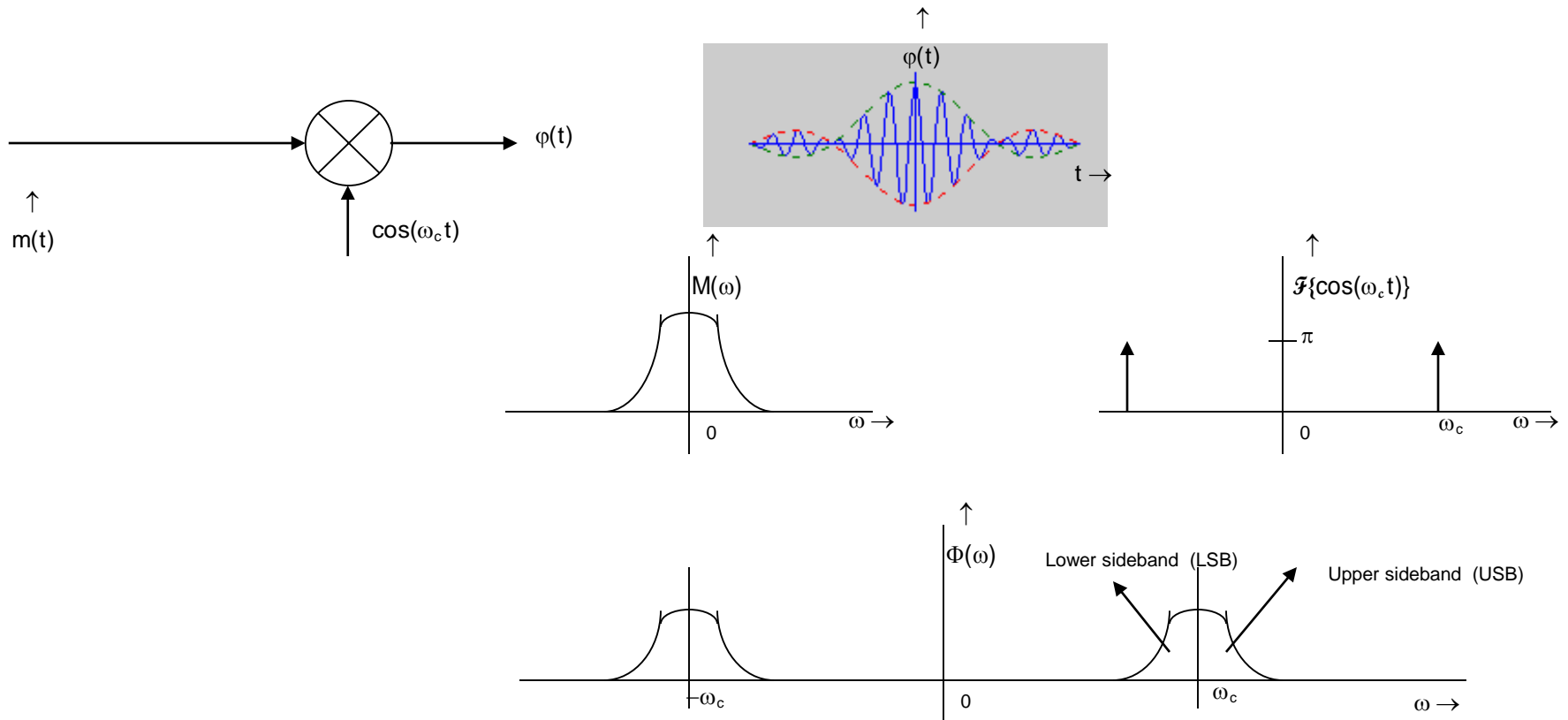
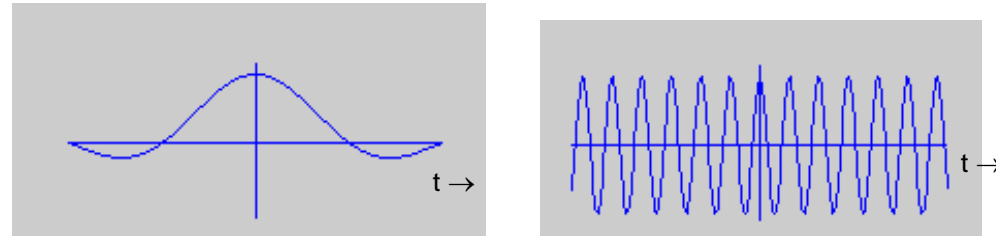
$$e(t) = m(t)(\cos(w_c t))^2 = 0.5(m(t) + m(t)\cos(2w_c t))$$

$$E(w) = 0.5M(w) + 0.25(M(w + 2w_c) + M(w - 2w_c))$$

Dùng lọc thông thấp để loại tần số cao

# DSB-SC

## ● Example



# Frequency Conversion

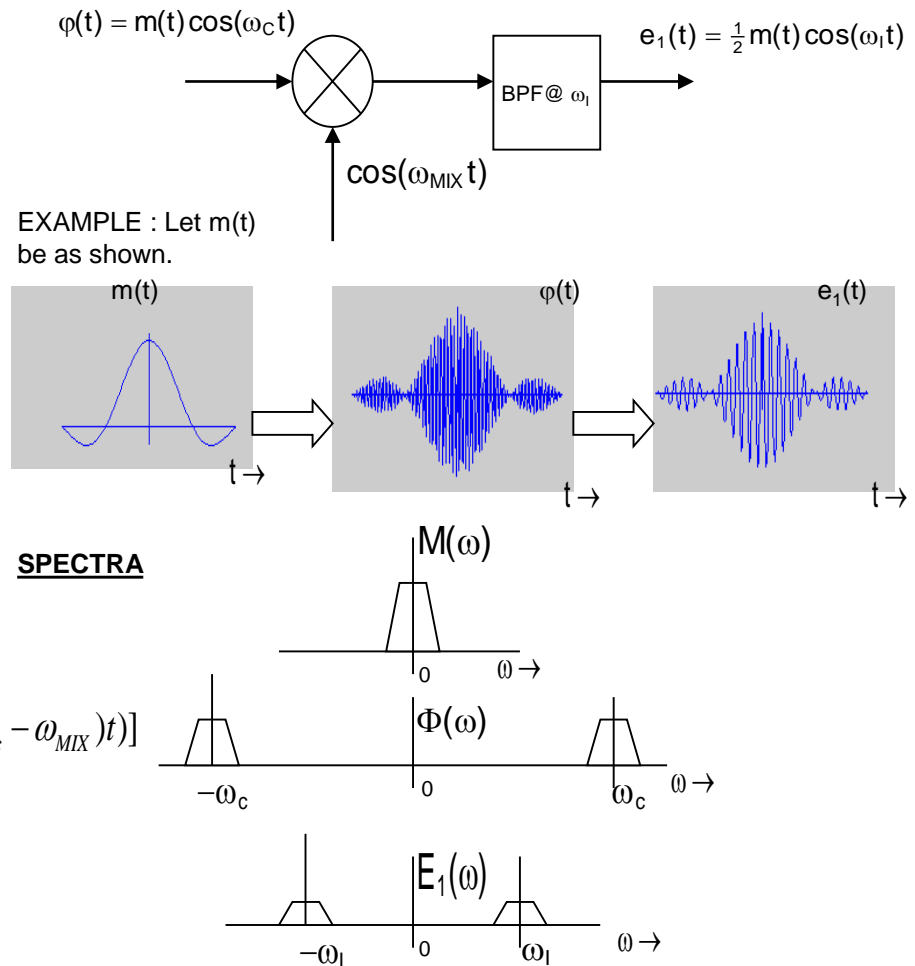
- Di chuyển tín hiệu đến tần số khác
- Nhân hai tín hiệu sin tạo ra hai tần số tổng và hiệu của các tần số |

$$\cos(\alpha t) \cos(\beta t) = \frac{1}{2} [\cos((\alpha + \beta)t) + \cos((\alpha - \beta)t)]$$

- Để thay đổi tần số sóng mang  $\omega_c$  của tín hiệu đến tần số trung tần (IF)  $\omega_I$ . Chúng ta sử dụng một bộ dao động để tạo ra tín hiệu hình sin ở tần số  $\omega_{MIX}$  như vậy:

$$\omega_I = \omega_c - \omega_{MIX}$$

$$\begin{aligned} \text{Then } m(t) \cos(\omega_c t) \cos(\omega_{MIX} t) &= \frac{1}{2} m(t) [\cos((\omega_c + \omega_{MIX})t) + \cos((\omega_c - \omega_{MIX})t)] \\ &= \frac{1}{2} m(t) [\cos((2\omega_c - \omega_I)t) + \cos((\omega_I)t)] \end{aligned}$$

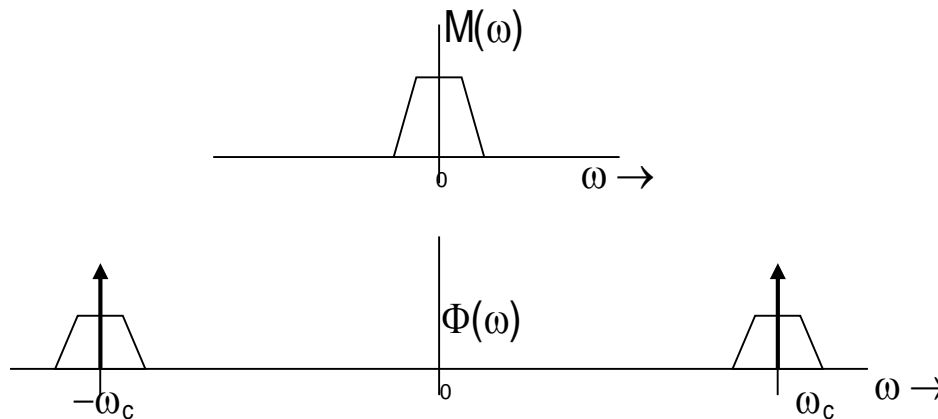


# Amplitude Modulation

- Khó khăn của hệ thống DSB-SC : không biết sóng mang ở bộ nhận
- Đáp ứng xung ở hình bên dưới chỉ ra sóng mang không bị triệt. Đối với  $M()$  cho trước, phổ tần tín hiệu điều chế như sau:

$$\phi_{AM}(t) = [A + m(t)] \cos(\omega_c t)$$

$$\Phi(\omega) = \frac{1}{2} [M(\omega + \omega_c) + M(\omega - \omega_c)] + A\pi [\delta(\omega - \omega_c) + \delta(\omega + \omega_c)]$$

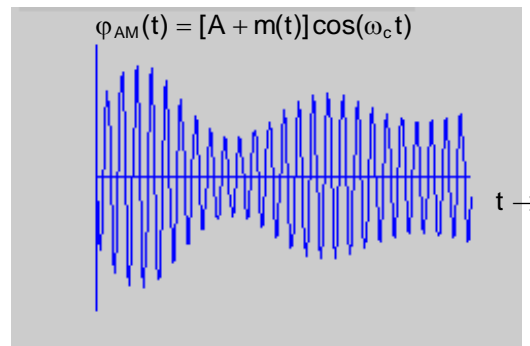
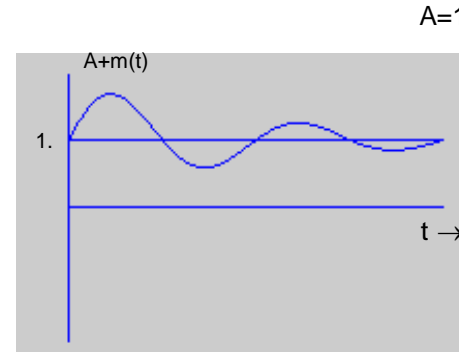
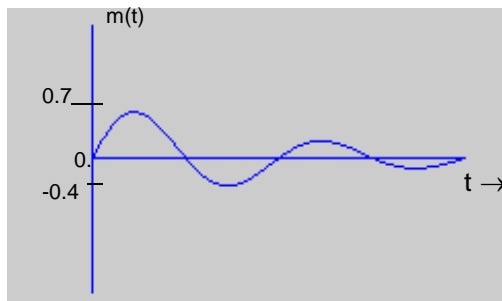


- Với loại điều chế này, việc giải điều chế có thể được thực hiện bằng các dùng hoặc không dùng bộ dao động nội đồng bộ với bộ truyền.



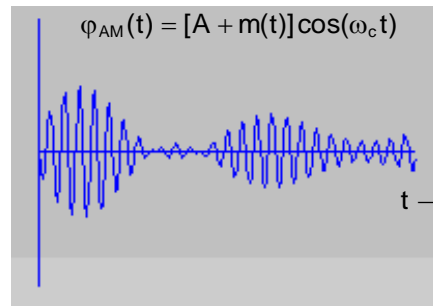
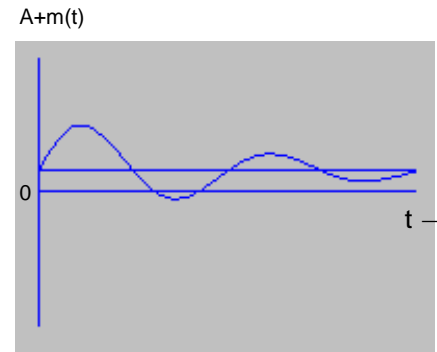
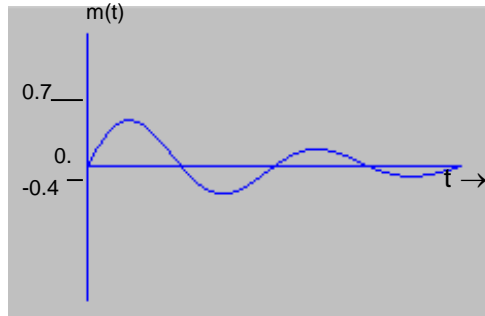
# AM Example

- $m(t)$  có giá trị nhỏ nhất khoảng -0.4. Cộng thêm một thành phần DC có biên độ  $A=1$  cho ra tín hiệu luôn dương  $A+m(t)$ . Vì vậy, đường bao của phần dương là  $A+m(t)$ . Một bộ tách ra đường bao có thể sử dụng để lấy lại tín hiệu gốc.



# AM Example (cont.)

- Việc chọn thành phần DC làm cho  $A+m(t)$  luôn dương. Nếu không, không thể sử dụng bộ tách đường bao nhưng có thể sử dụng kỹ thuật kết hợp (coherent)
- Ví dụ, giá trị nhỏ nhất  $m(t) = -0.4$ . Vì vậy,  $A > |\min(m(t))|$  để dò đường biên thành công. Cái gì xảy ra nếu  $A < |m(t)|$ .
- Xét ví dụ trước nếu  $A=0.3$ .



# Modulation Index

- Gọi  $m_p$  là trị tuyệt đối của đỉnh phần âm của  $m(t)$ .
- EXAMPLE : Điều chế đơn tone. Gọi  $m(t)=2\sin(20t)$

$A \geq m_p$   $A$  is the carrier amplitude.

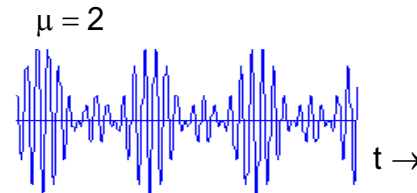
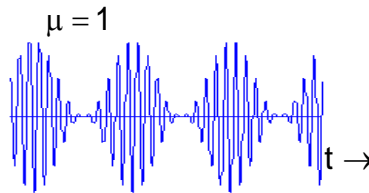
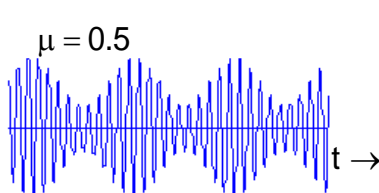
MODULATION INDEX :  $\mu = \frac{m_p}{A}$

Then we see that for  $A \geq m_p$  ,  $0 \leq \mu \leq 1$

When  $\mu > 1$  (or  $A < m_p$  ) the signal is overmodulated, and envelope detection can not be used.  
(However, we can still use synchronous demodulation).

$$m_p = 2; \quad \mu = \frac{m_p}{A} = \frac{2}{A} \quad . \quad \text{i) } \mu = 0.5 \quad A = 4 \quad \text{ii) } \mu = 1 \quad A = 2$$

For dc offset of 1  $\mu = 2$ .



# Sideband and Carrier Power

---

$$\phi_{AM}(t) = A \cos(\omega_c t) + m(t) \cos(\omega_c t)$$

The first term is the carrier and the second term is sidebands which contain the signal itself. The total AM signal power is the sum of carrier power and the sideband power.

$$\text{Carrier power } P_c = \frac{A^2}{2}$$

Sideband power  $P_s = \frac{1}{2} P_m$  where  $P_m$  is the power of  $m(t)$ .

The sideband power is the useful power.

$$\text{Efficiency: } \eta = \frac{\text{useful power}}{\text{Total power}} = \frac{P_s}{P_c + P_s} = \frac{P_m}{A^2 + P_m}.$$

For example, let  $m(t) = B \cos(\omega_m t)$

$$m_p = B, \mu = \frac{B}{A} \text{ or } B = \mu A.$$

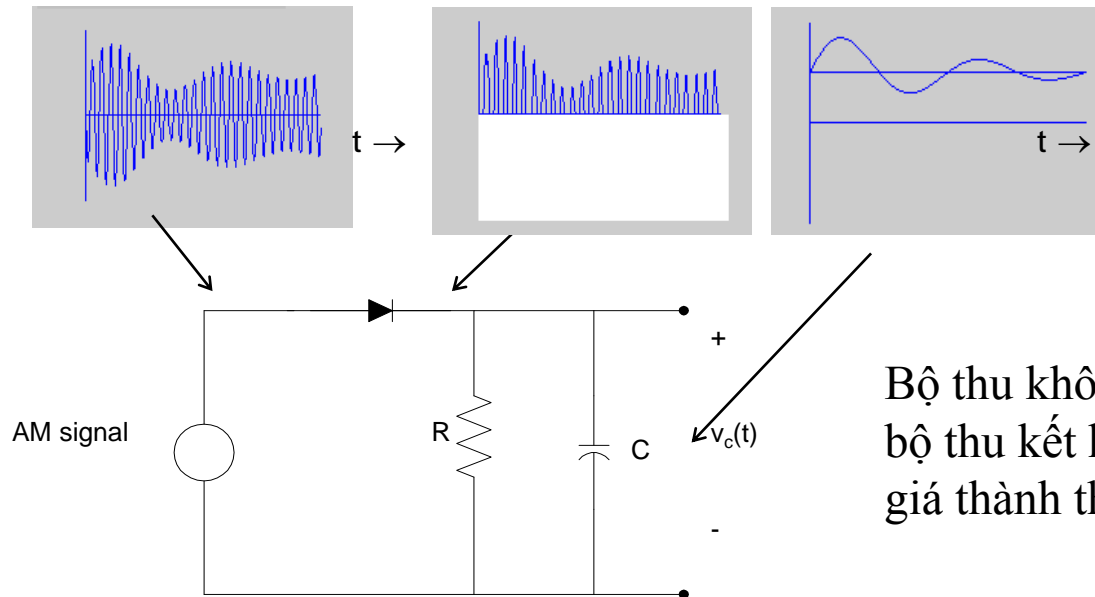
$$P_m = \frac{B^2}{2} = \frac{\mu^2 A^2}{2} \quad \therefore \eta = \frac{\mu^2}{2 + \mu^2} \times 100\%$$

$$\text{For } \mu = 1, \eta_{\max} = \frac{1}{2 + 1} \times 100\% = 33\%$$

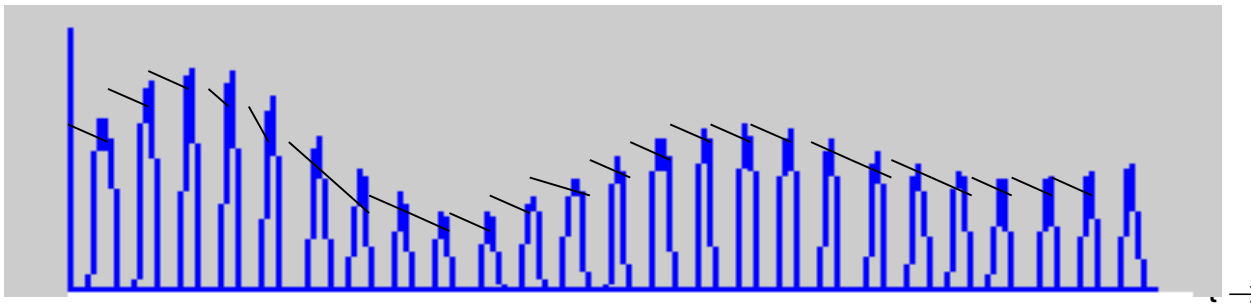
# AM Decoder

- Tách chỉnh lưu: đồng bộ
- Tách đường bao: cận đồng bộ

Tách sóng kết hợp: Bộ nhận có thể khôi phục lại tần số và pha của bộ truyền bằng bộ PLL.

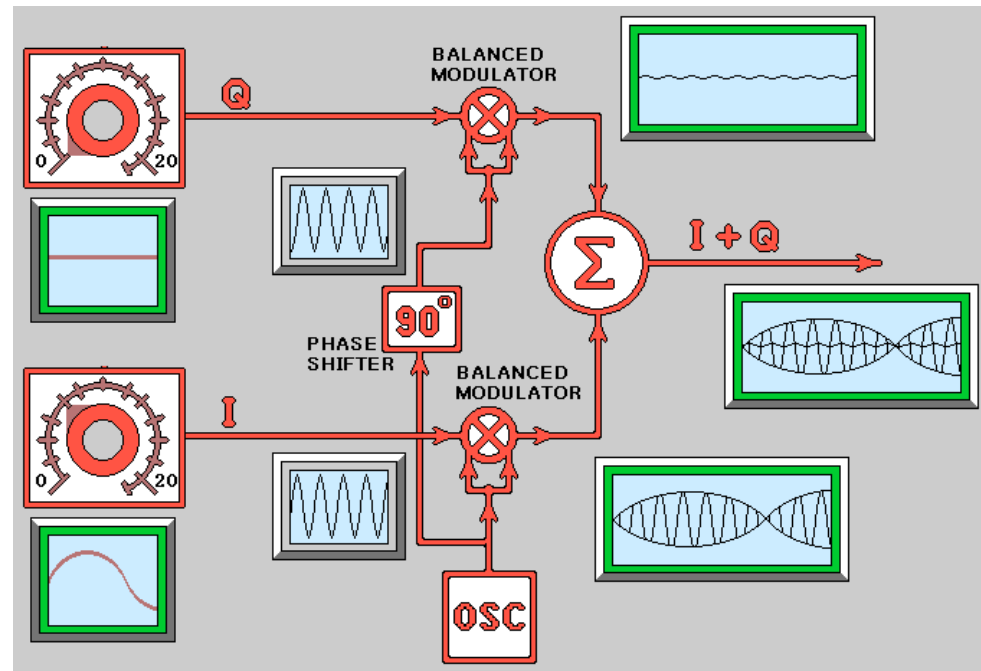


Bộ thu không kết hợp kém hơn 3dB so với bộ thu kết hợp. Bộ thu không kết hợp có giá thành rẻ.



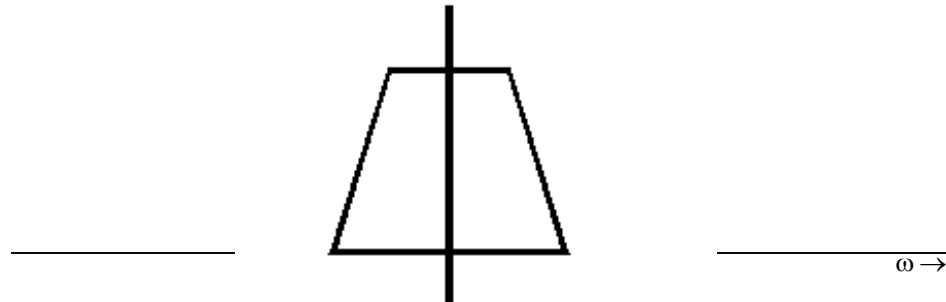
# QAM

- Băng thông tín hiệu AM: Băng thông tín hiệu AM là hai lần băng thông của tín hiệu điều chế. Một tín hiệu 5kHz yêu cầu băng thông 10kHz trong truyền dẫn AM. Nếu tần số sóng mang là 1000 kHz, phổ tần tín hiệu AM là dải tần số từ 995kHz đến 1005 kHz.
- QUADRATURE AMPLITUDE MODULATION là một dạng cho phép hai tín hiệu có thể truyền trên cùng một dải tần số.
- Kết hợp về tần số và pha. Đặc
- TV tương tự
- Phổ biến

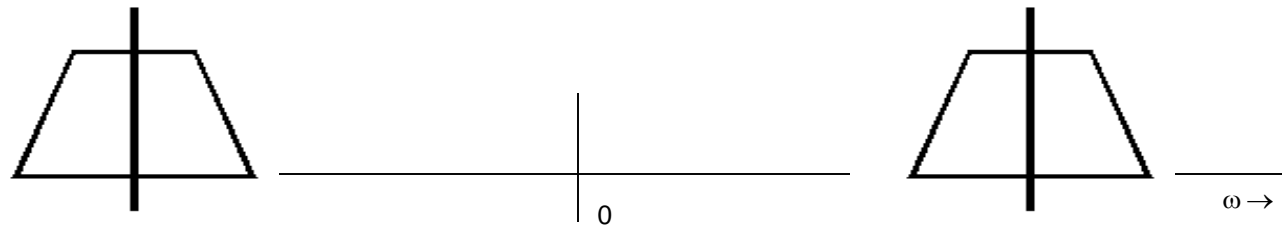


# SSB Frequency

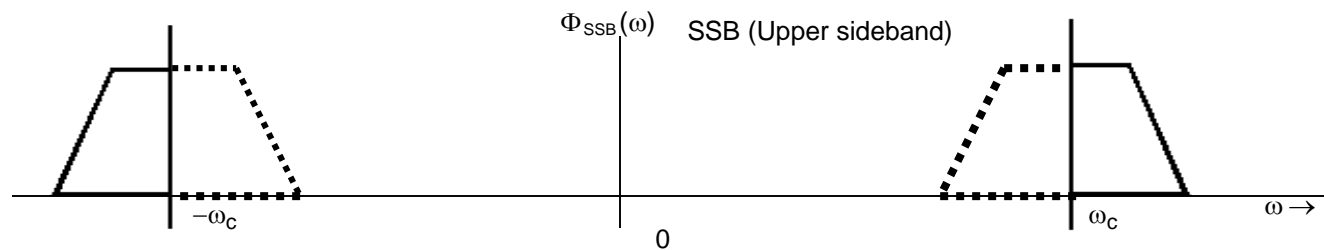
baseband



DSB

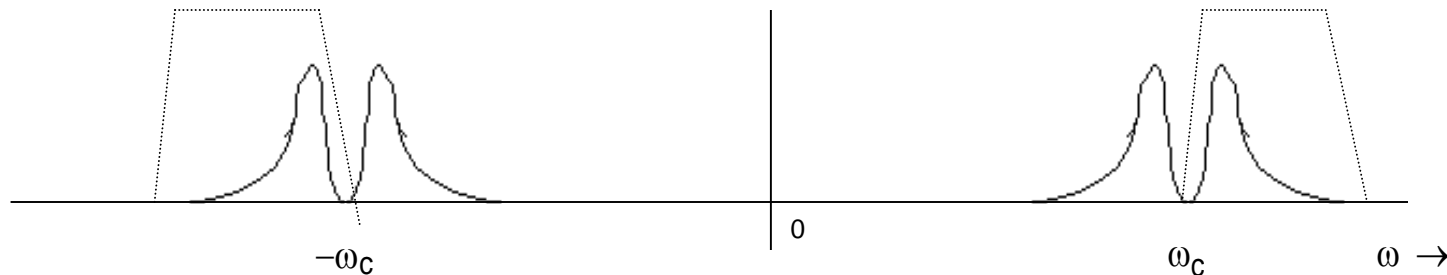


SSB



# SSB Generator

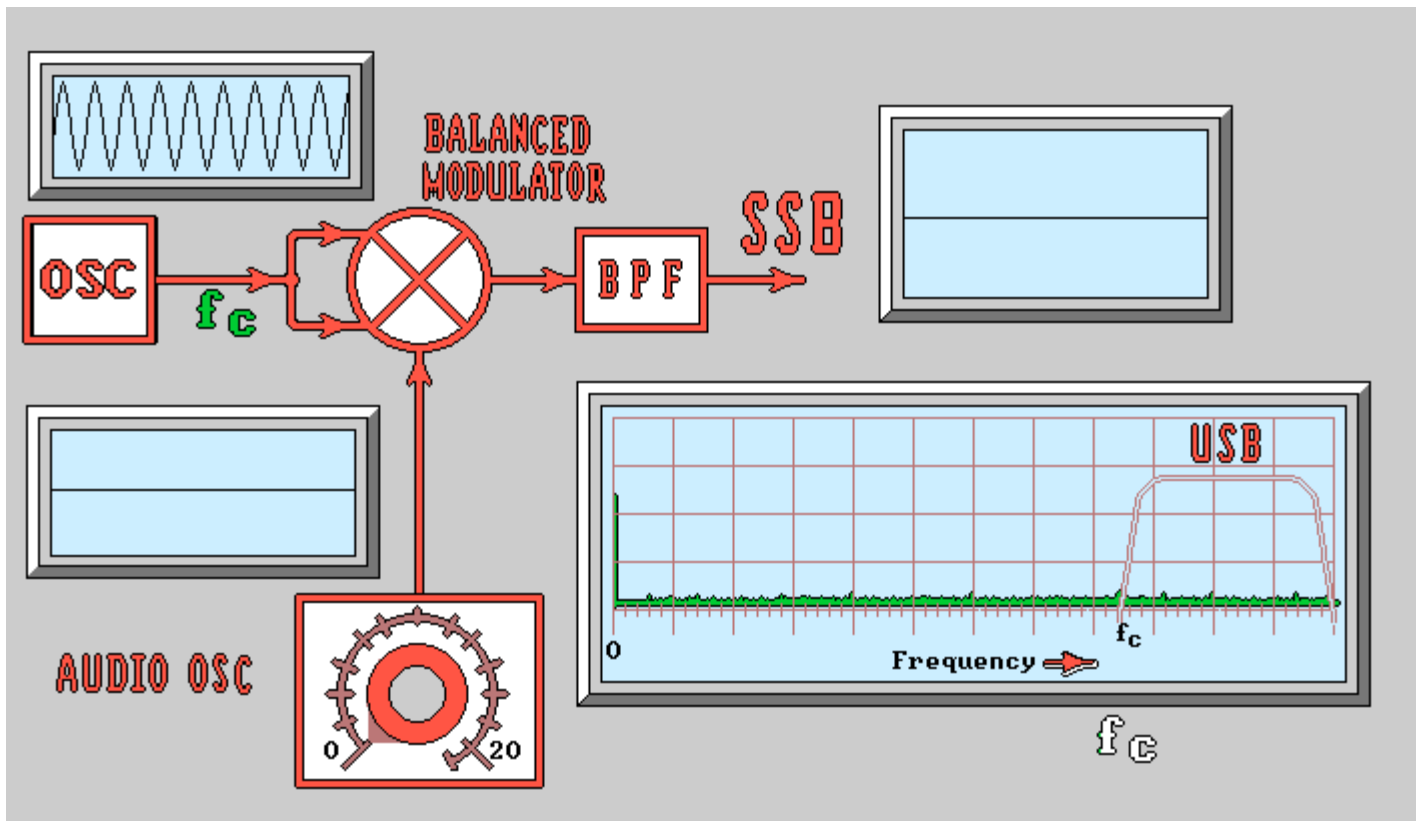
- Dùng một bộ lọc có đặc tính về tần số cắt thích hợp. Rất khó để thiết kế một bộ lọc phù hợp. Phổ tần của tín hiệu âm thanh không có thành phần DC, vì vậy phổ tần của tín hiệu âm thanh bằng không xung quanh tần số sóng mang. Điều này có nghĩa là một bộ lọc chưa lý tưởng có thể đảm nhận tốt việc lọc tín hiệu DSB để tạo ra tín hiệu SSB.
- Tín hiệu dải gốc là dải thông
- Thử thách trong thiết kế lọc
- Không có thành phần tần số thấp





# Single Sideband (SSB)

- Mục đích: cắt giảm yêu cầu băng thông của tín hiệu AM còn phân nửa. Điều này có thể truyền chỉ phần “upper sideband” hoặc “lower sideband” của tín hiệu DSB AM.



# SSB Demodulation

---

Synchronous, SSB-SC demodulation

$$\varphi_{SSB}(t) \cos(\omega_c t) = [m(t) \cos(\omega_c t) \pm jm_h(t) \sin(\omega_c t)] \cos(\omega_c t) = \frac{1}{2} [m(t)(1 + \cos(\omega_c t)) \pm jm_h(t) \sin(2\omega_c t)]$$

A lowpass filter can be used to get  $\frac{1}{2} m(t)$ .

SSB+C, envelop detection

$$\varphi_{SSB+C}(t) = A \cos(\omega_c t) + [m(t) \cos(\omega_c t) + m_h(t) \sin(\omega_c t)]$$

An envelope detector can be used to demodulate such SSB signals .

What is the envelope of  $\varphi_{SSB+C}(t) = (A + m(t)) \cos(\omega_c t) + m_h(t) \sin(\omega_c t) = E(t) \cos(\omega_c t + \theta)$  ?

$$\{\text{Recall } A \cos(\alpha) + B \sin(\alpha) = (A^2 + B^2)^{\frac{1}{2}} \cos(\alpha + \theta), \theta = -\tan^{-1}(\frac{B}{A})\}$$

$$\begin{aligned} E(t) &= ((A + m(t))^2 + m_h^2(t))^{\frac{1}{2}} = ((A^2 + m^2(t)) + m_h^2(t) + 2Am(t))^{\frac{1}{2}} \\ &= A \left( 1 + \frac{m^2(t)}{A^2} + \frac{m_h^2(t)}{A^2} + \frac{2m(t)}{A} \right) \\ &\approx A + m(t) \quad \text{for } A \gg |m(t)|, A \gg |m_h(t)|. \end{aligned}$$

The efficiency of this scheme is very low since A has to be large.

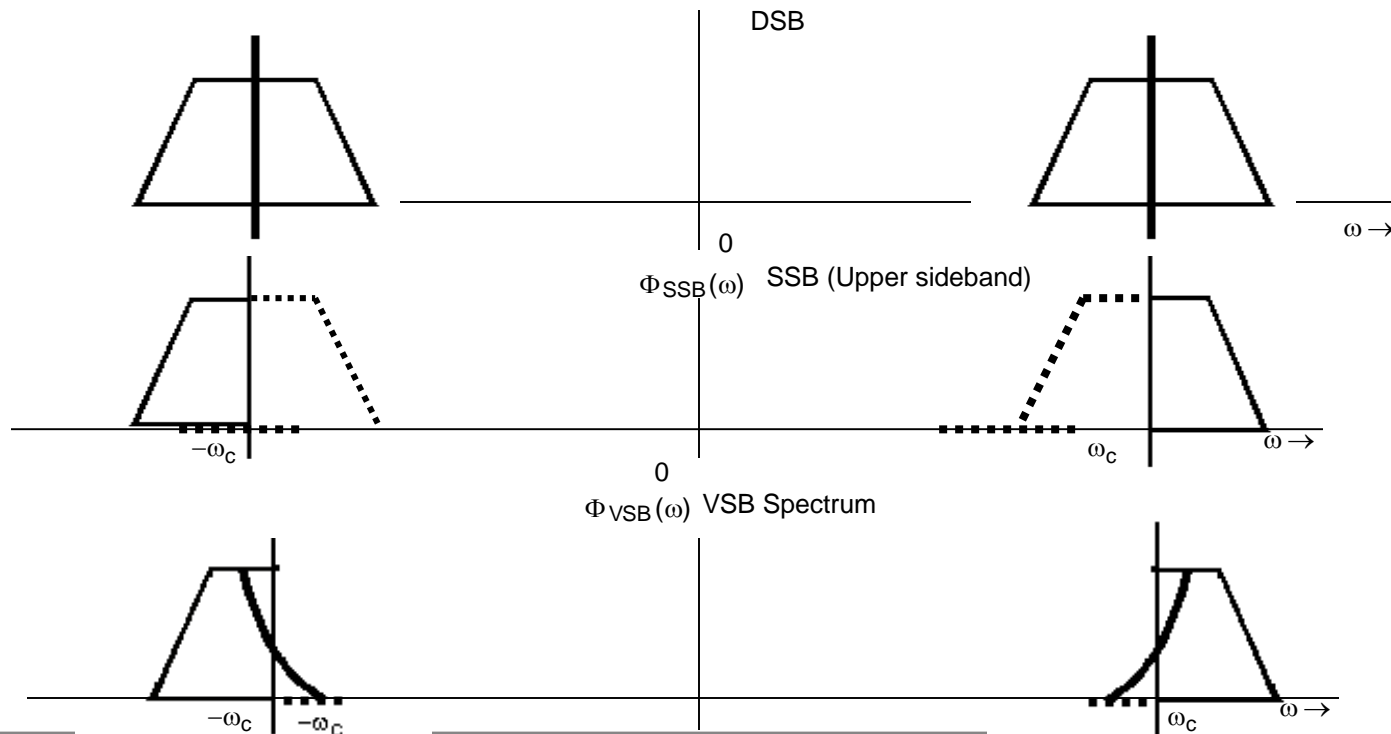
# SSB vs. AM

---

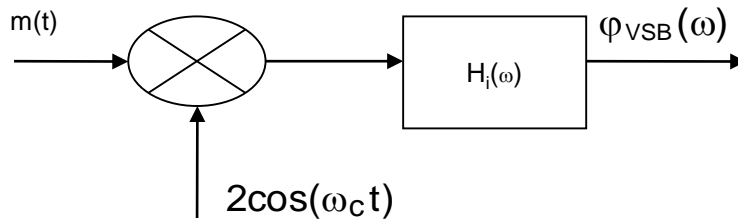
- Do không truyền sóng mang, điều này giảm khoảng 67% của công suất truyền (-4.7dBm). Trong điều chế AM @100: 2/3 công suất gồm sóng mang; phần còn lại (1/3) công suất ở cả hai phía.
- Bởi vì trong SSB, chỉ một phía băng được truyền, điều này giảm khoảng 50% trong công suất truyền.
- Cuối cùng, vì chỉ nhận được một phía băng, băng thông của tín hiệu truyền giảm còn phân nửa— như vậy công suất yêu cầu được giảm 50% so với AM
- $(-4.7\text{dBm} (+) -3\text{dBm} (+) -3\text{dBm} = -10.7\text{dBm})$ .
- Liên quan đến giá thành bộ thu

# Vestigial Sideband (VSB)

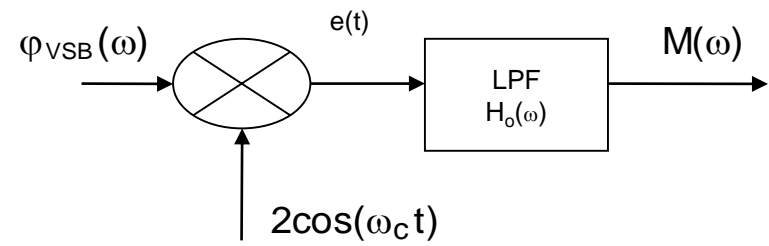
- VSB là một dung hòa giữa DSB và SSB. Để tạo ra tín hiệu SSB từ tín hiệu DSB ta dùng một bộ lọc lý tưởng có tần số cắt ngay tại giữa băng tần của tín hiệu dải qua và lọc còn phân nửa. Trong hệ thống VSB băng thông một bên và một phần của bên còn lại được truyền chung với nhau. Điều này dẫn đến băng thông truyền lớn hơn băng thông của tín hiệu dải gốc nhưng nhỏ hơn tín hiệu DSB.



# VSB Transceiver



Transmitter



Receiver

$M(\omega)$  is bandlimited to  $2\pi B$  rad/sec

$$\phi_{VSB}(\omega) = [M(\omega - \omega_c) + M(\omega + \omega_c)]H_i(\omega)$$

$$E(\omega) = [\Phi_{VSB}(\omega - \omega_c) + \Phi_{VSB}(\omega + \omega_c)]$$

$$= \underbrace{[H_i(\omega - \omega_c)M(\omega - 2\omega_c) + H_i(\omega + \omega_c)M(\omega)]}_{\text{High freq. term}} + \underbrace{[H_i(\omega - \omega_c)M(\omega) + H_i(\omega + \omega_c)M(\omega + 2\omega_c)]}_{\text{High freq. term}}$$

$$\therefore M(\omega) = E(\omega)H_o(\omega) = [H_i(\omega + \omega_c) + H_i(\omega - \omega_c)]M(\omega)H_o(\omega) + \underbrace{[H_i(\omega - \omega_c)M(\omega - 2\omega_c) + H_i(\omega + \omega_c)M(\omega + 2\omega_c)]H_o(\omega)}_{\text{Lowpass filter removes this.}}$$

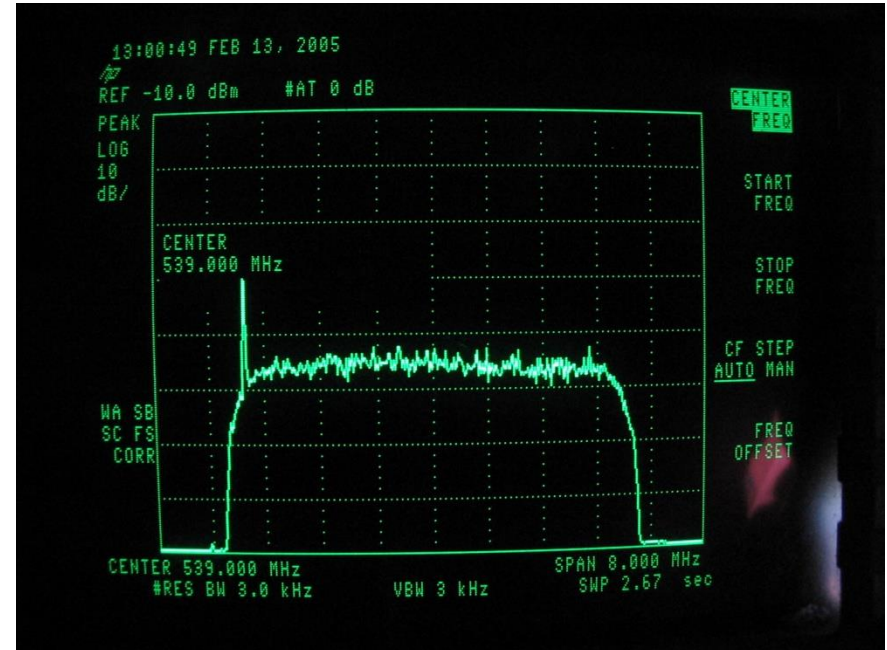
Lowpass filter removes this.

Thus we should have  $[H_i(\omega + \omega_c) + H_i(\omega - \omega_c)]H_o(\omega) = 1$  for  $|\omega| \leq 2\pi B$

$$\text{OR } H_o(\omega) = \frac{1}{H_i(\omega + \omega_c) + H_i(\omega - \omega_c)}$$

# Other Facts about VSB

- Tách sóng đường bao VSB
- TV:
- DSB, SSB và VSB
  - Băng thông của DSB quá lớn
  - SSB: dải gốc có thành phần tần số thấp, giá thành bộ thu
  - Giảm yêu cầu về bộ lọc và băng thông dải gốc nhưng tăng băng thông so với SSB



# Comparison

- Common types & modulated signal

1. AM:  $s_{\text{AM}}(t) = A_c [1 + m(t)] \cos(2\pi f_c t)$

2. DSB:  $s_{\text{DSB}}(t) = A_c m(t) \cos(2\pi f_c t)$

3. QAM:  $s_{\text{QAM}}(t) = A_c m_1(t) \cos(2\pi f_c t) + A_c m_2(t) \sin(2\pi f_c t)$

4. SSB:  $s_{\text{SSB}}(t) = A_c m(t) \cos(2\pi f_c t) \mp A_c \hat{m}(t) \sin(2\pi f_c t)$

5. VSB:  $s_{\text{VSB}}(t) = A_c m(t) \cos(2\pi f_c t) \mp A_c \tilde{m}(t) \sin(2\pi f_c t)$

- Bandwidth:  $B_m \leq B \leq 2B_m$  ( $B_m$ : message bandwidth)

# ***AM Broadcasting***

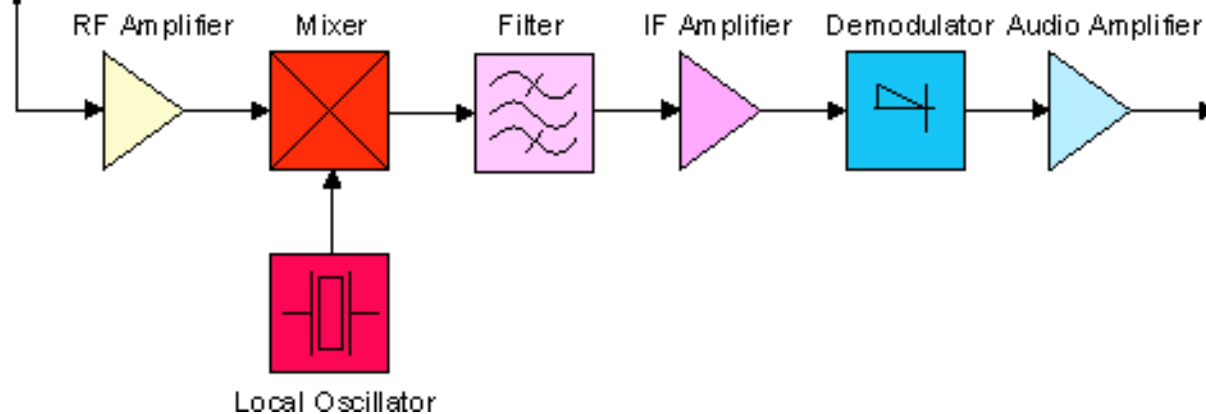
---

- History
- Tần số
  - Long wave: 153-270kHz
  - Medium wave: 520-1,710kHz, AM radio
  - Short wave: 2,300-26,100kHz, long distance, SSB, VOA
- Giới hạn
  - Dễ ảnh hưởng đối với khi quyển
  - Âm thanh chất lượng thấp, trò chuyên và cung cấp tin tức vô tuyến
  - Tốt hơn vào buổi tối, điện ly.



# ***Superheterodyne vs. homodyne***

- Di chuyển tất cả các tần số của các kênh đến một tần số trung tần.
  - Trong bộ thu AM, tần số là 455 kHz,
  - Trong bộ thu FM, thường là 10.7 MHz.



- Quan tâm đến thiết kế bộ lọc
- Thường dùng ở các đài phát thanh
- Edwin Howard Armstrong

# Review

- Common types & modulated signal

1. AM:  $s_{\text{AM}}(t) = A_c [1 + m(t)] \cos(2\pi f_c t)$

2. DSB:  $s_{\text{DSB}}(t) = A_c m(t) \cos(2\pi f_c t)$

3. QAM:  $s_{\text{QAM}}(t) = A_c m_1(t) \cos(2\pi f_c t) + A_c m_2(t) \sin(2\pi f_c t)$

4. SSB:  $s_{\text{SSB}}(t) = A_c m(t) \cos(2\pi f_c t) + A_c \hat{m}(t) \sin(2\pi f_c t)$

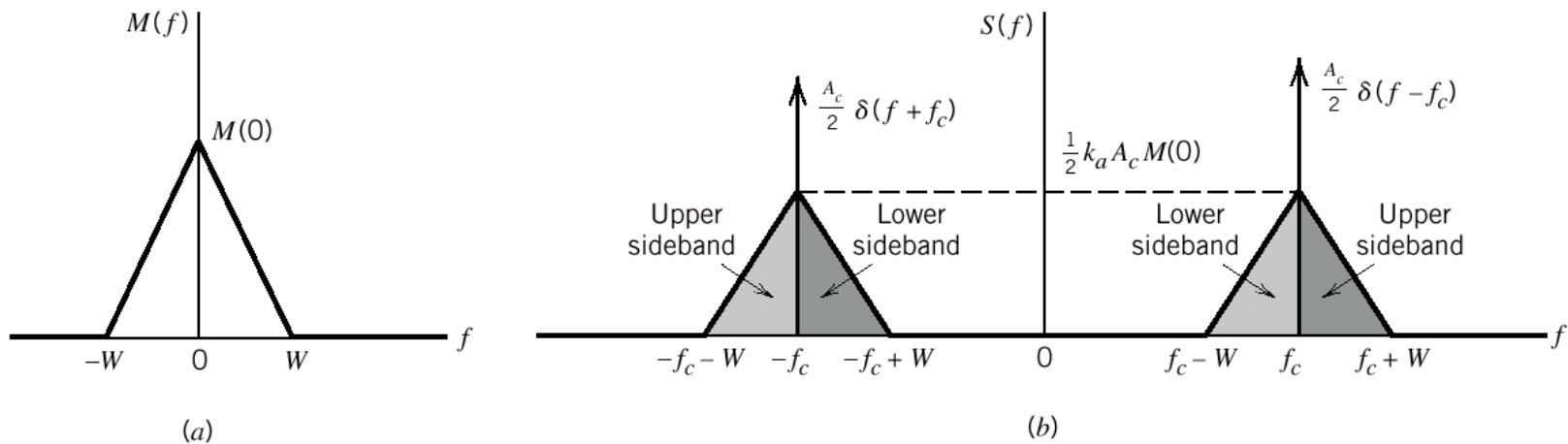
5. VSB:  $s_{\text{VSB}}(t) = A_c m(t) \cos(2\pi f_c t) + A_c \tilde{m}(t) \sin(2\pi f_c t)$

Coherent Decoding and Amplitude Decoding

Demo for AM, DSB-SC via the scope, spectrum analyzer and signal generator

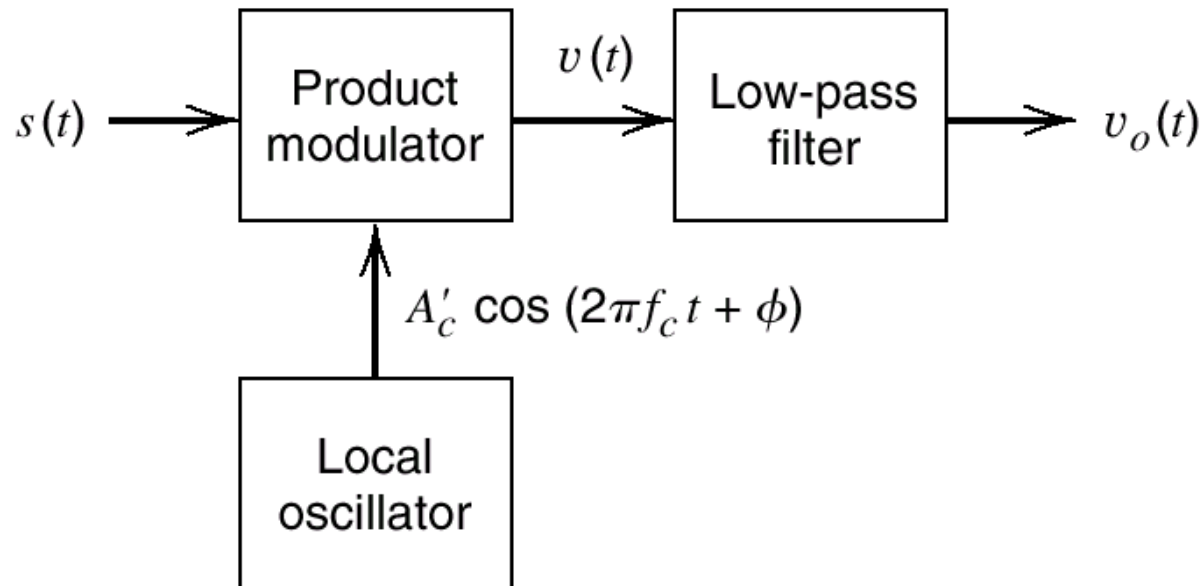
# Figure 2.4

**(a) Spectrum of baseband signal. (b) Spectrum of AM wave.**



---

## ***Coherent detector for demodulating DSB-SC modulated wave.***



# Carrier Recover Error

---

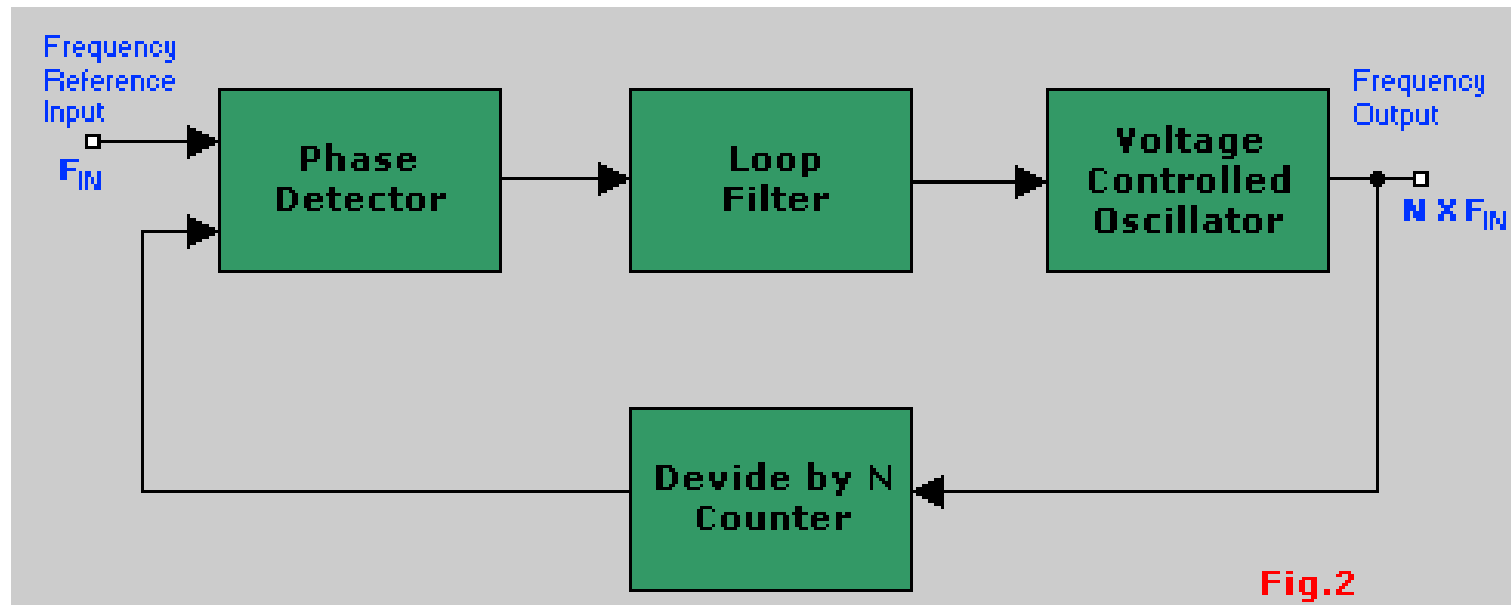
- DSB:  $e(t)=2m(t)\cos(w_c t)\cos((w_c+ \Delta w)t+\delta)$

$$e(t)=m(t) \cos((\Delta w)t+\delta)$$

- Lỗi pha: nếu định thì tương đương với suy giảm
  - Lỗi tần số
- SSB, chỉ thay đổi tần số,  $\Delta f < 30\text{Hz}$ .
- Pilot: một tín hiệu thường ở một tần số đơn truyền trên hệ thống truyền thông để giám sát, điều khiển, cân bằng, đồng bộ...

# Phase-Locked Loop

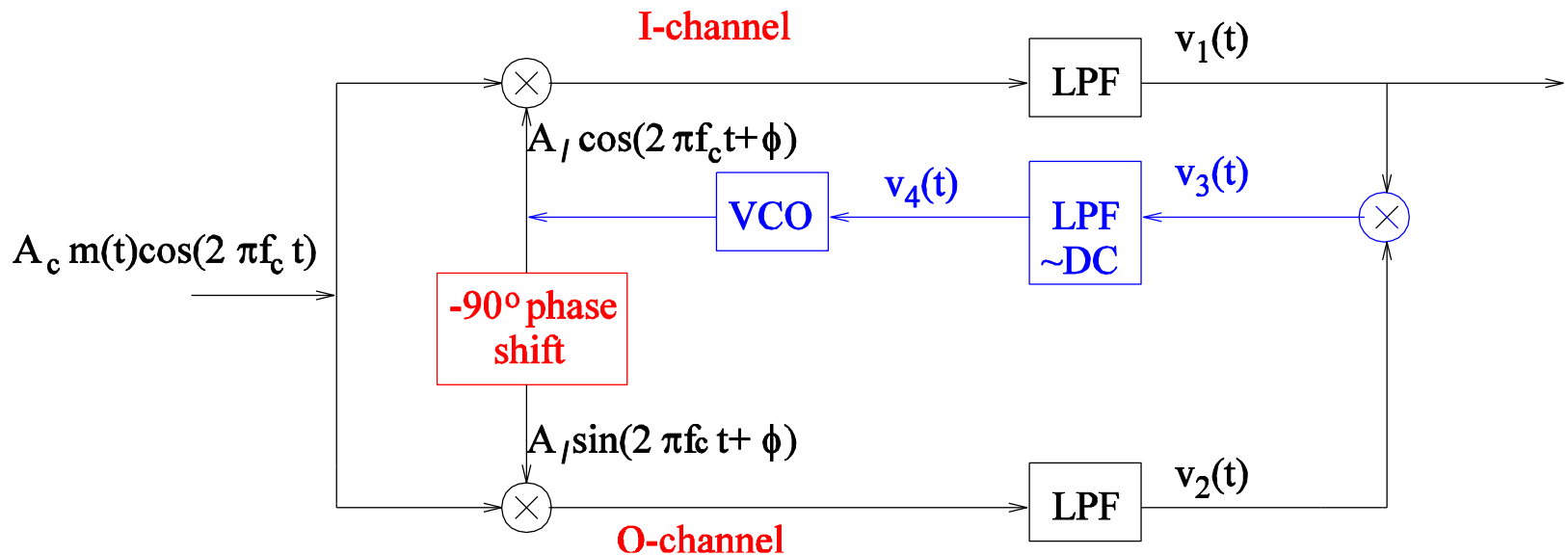
- Phần quan trọng của bộ nhận
- Định nghĩa: một hệ thống điều khiển hồi tiếp vòng. Bộ này có thể phát ra tín hiệu có tần số và pha liên quan đến tín hiệu tham chiếu
- Một mạch vòng khóa pha đáp ứng cả tần số và pha của tín hiệu vào, chúng sẽ tự động điều khiển tăng hoặc giảm tần số của mạch dao động đến khi chúng phù hợp với tín hiệu tham chiếu cả về pha và tần số



# Carrier Acquisition in DSB-SC

- Signal Squaring method

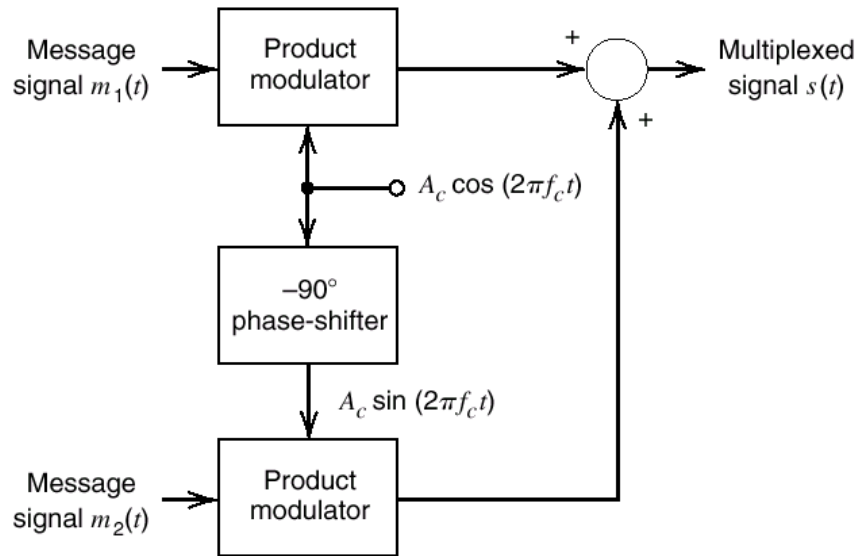
- Costas Loop
 
$$v_1(t) = \frac{1}{2} A_c A_l m(t) \cos \phi, \quad v_2(t) = \frac{1}{2} A_c A_l m(t) \sin \phi$$



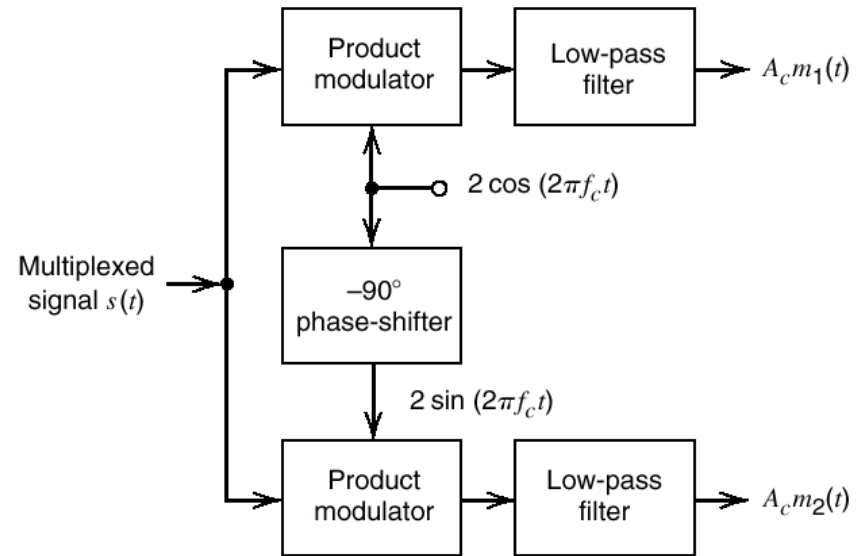
$$v_3(t) = \left[ \frac{1}{2} A_c A_l m(t) \right]^2 \cos \phi \sin \phi = \left[ \frac{1}{2} A_c A_l m(t) \right]^2 \frac{1}{2} \sin 2\phi \quad v_4(t) = K \sin 2\phi$$

- SSB-SC not working

## ***Quadrature-carrier multiplexing system. (a) Transmitter. (b) Receiver.***



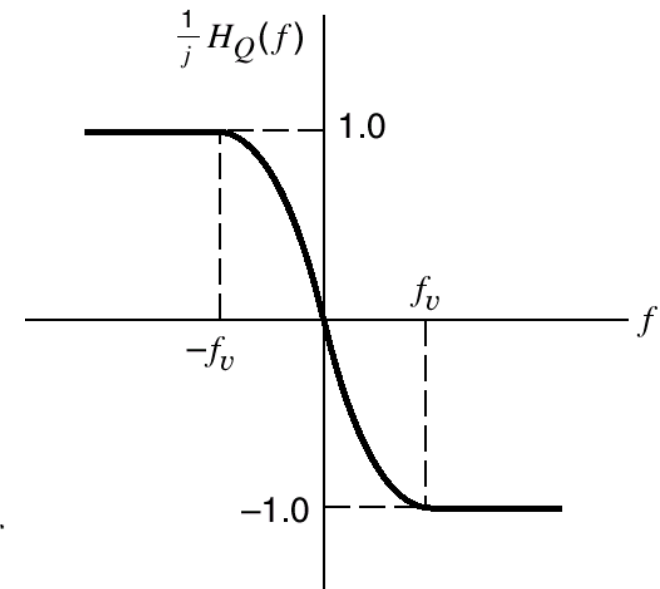
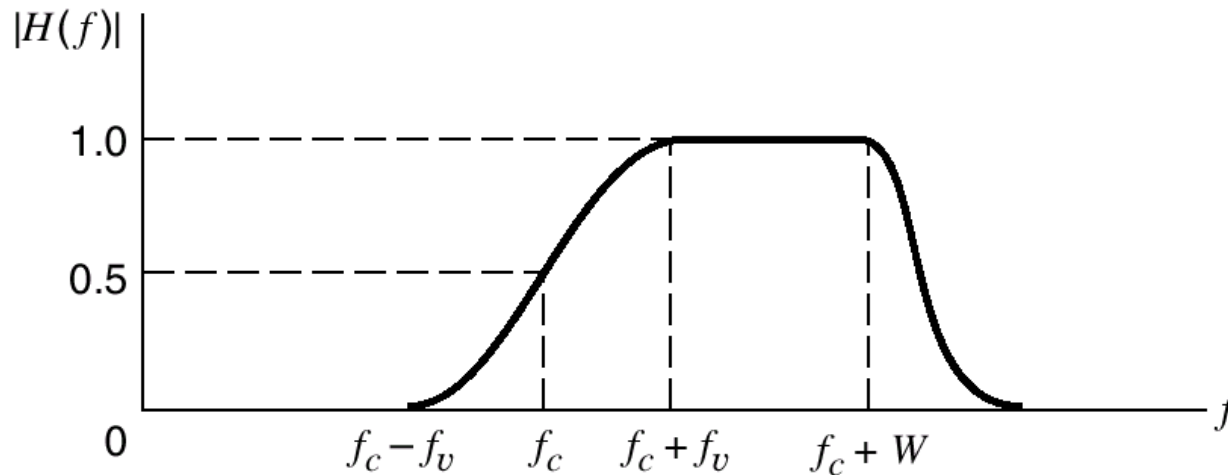
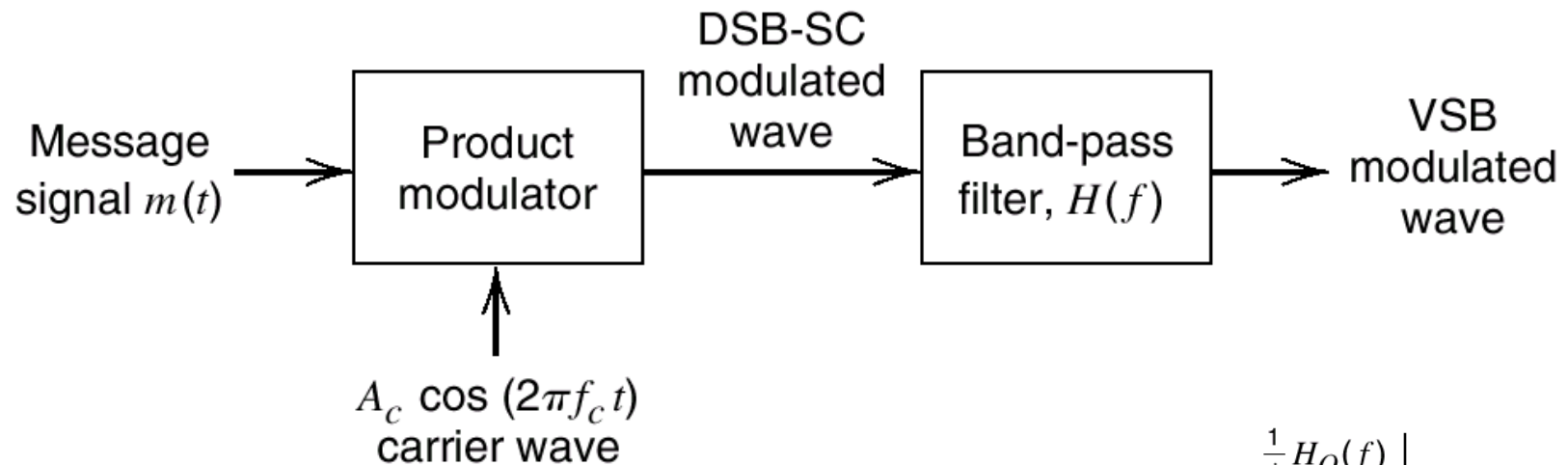
(a)



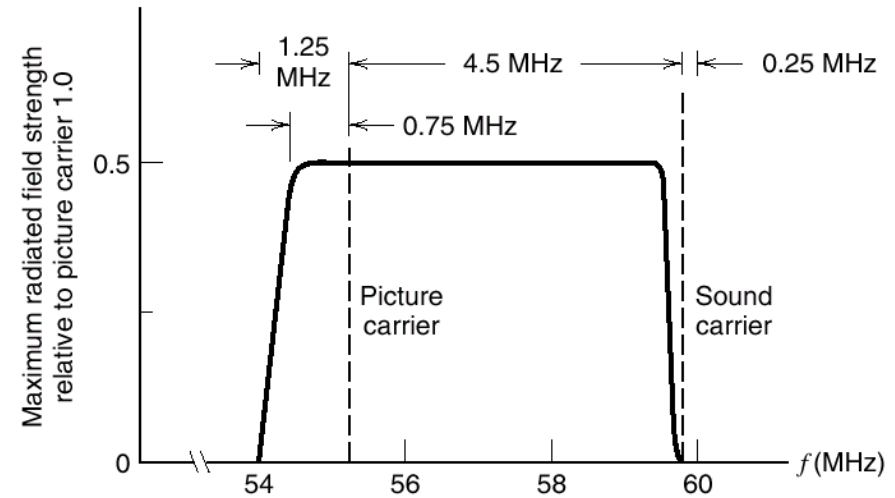
(b)



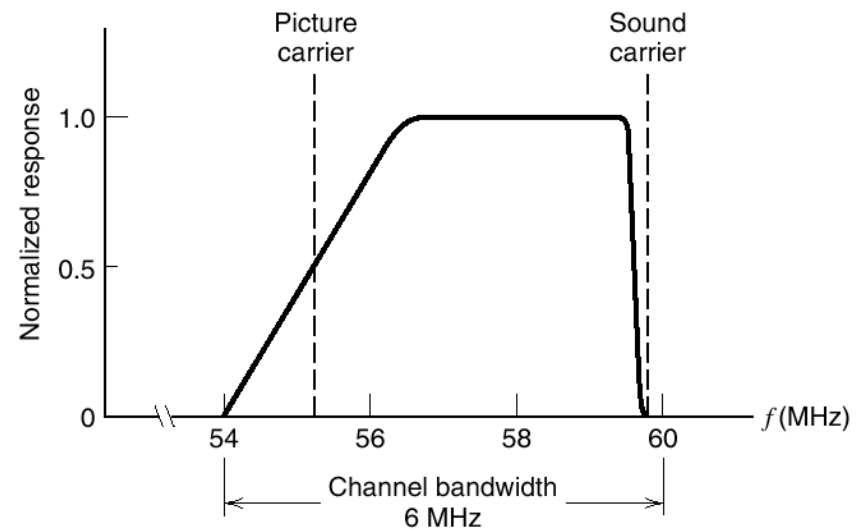
## *Filtering scheme for the generation of VSB modulated wave.*



**Figure 2.15**  
**(a) Idealized magnitude spectrum of a transmitted TV signal. (b) Magnitude response of VSB shaping filter in the receiver.**



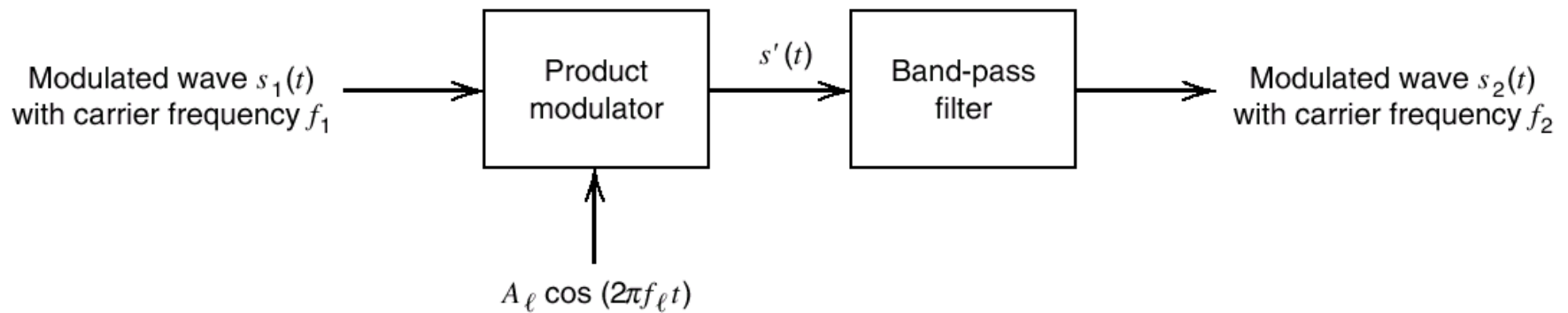
(a)



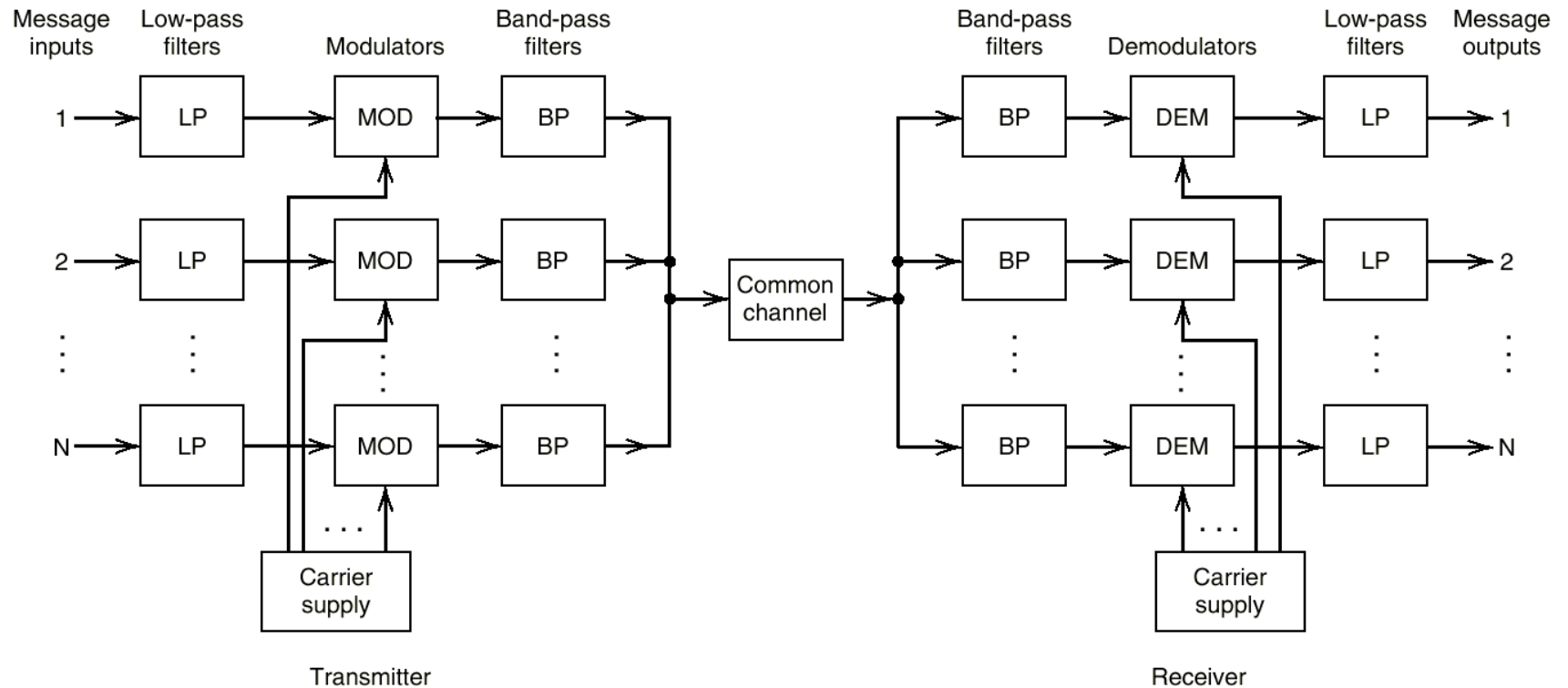
(b)

---

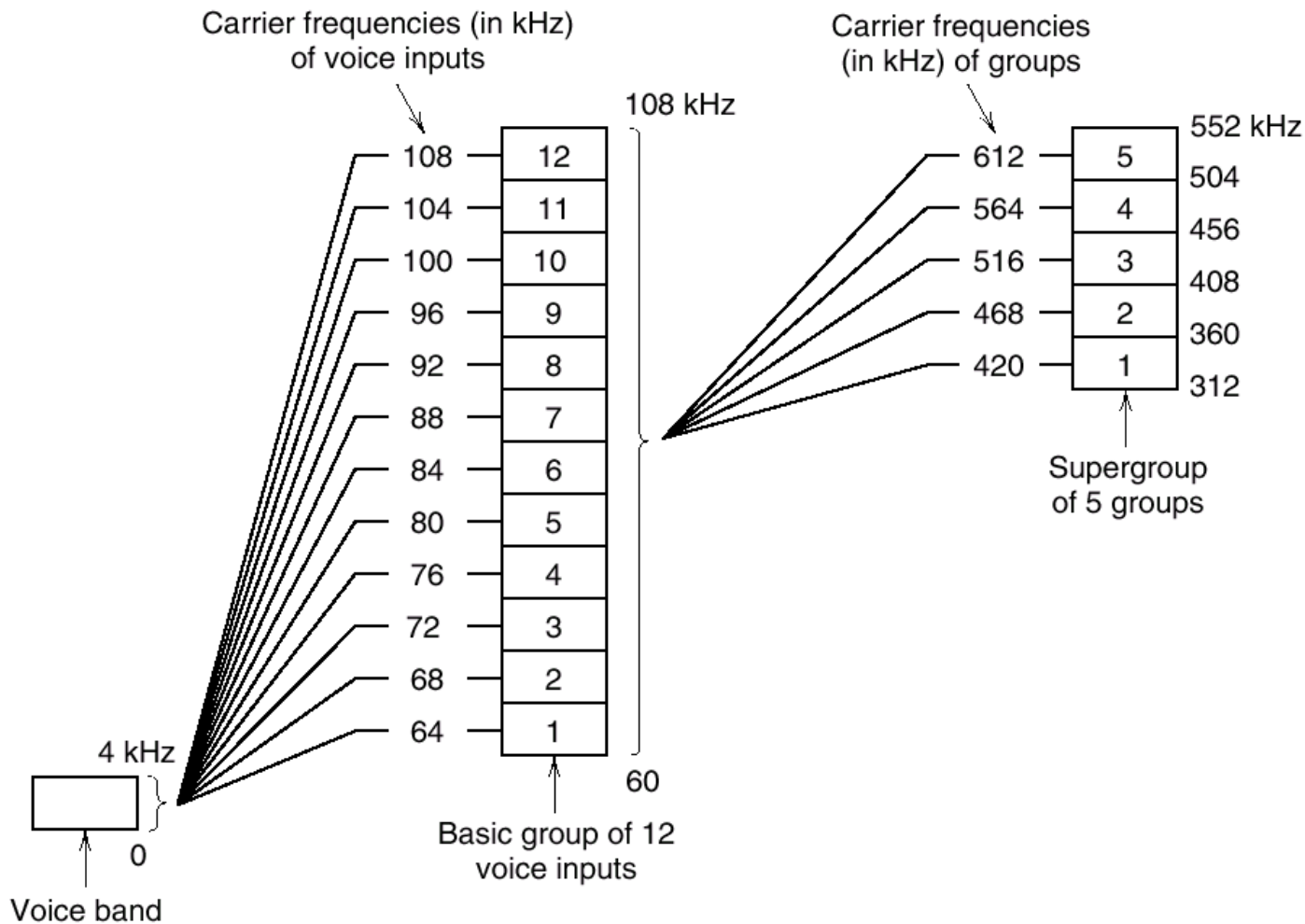
**Figure 2.16**  
**Block diagram of mixer.**



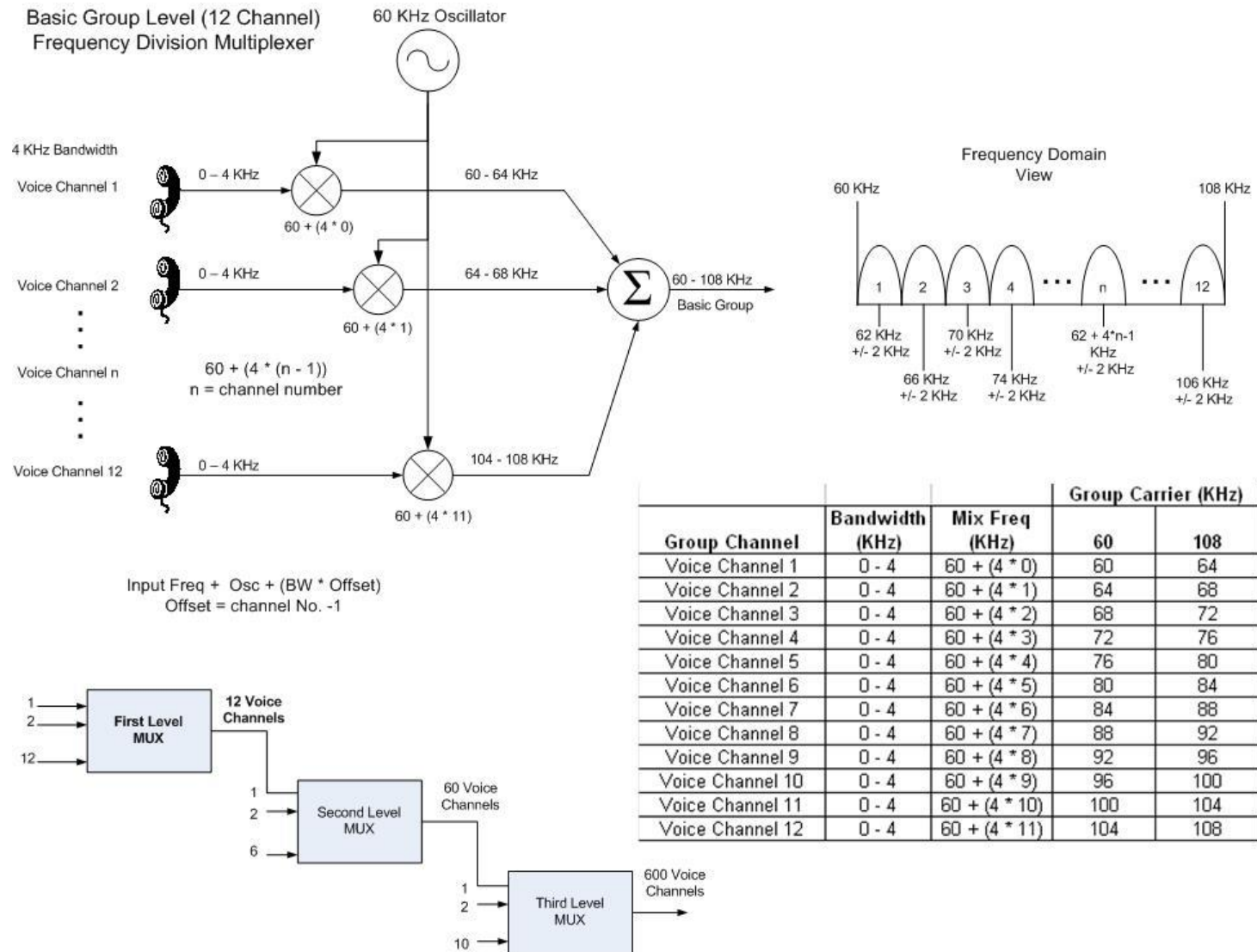
# ***Block diagram of FDM system.***



## *Illustrating the modulation steps in an FDM system*



# FMA of SSB for Telephone Systems



# ***Homework***

---

- 4.2-1, 4.2-4, 4.3-2, 4.3-3