



Chương 4: Điều chế sóng mang liên tục tuyến tính

4.1 Tín hiệu và hệ thống băng dải

4.2 Điều chế DSB

4.3 Điều chế SSB

4.4 Điều chế VSB

4.5 Điều chế AM

4.6 Giải điều chế

4.7 Đổi tần



Quy ước

- Tín hiệu và hệ thống **thực** có phổ đối xứng (liên hiệp phức) nên thường chỉ đề cập phía tần số dương.
 - Phổ biên độ: đối xứng chẵn (qua trục tung)
 - Phổ pha: đối xứng lẻ (qua gốc tọa độ)
- Tín hiệu chuẩn hóa $x(t)$
 - Định nghĩa 1: $|x(t)| \leq 1$ ($\rightarrow P_x = S_x = \langle x^2(t) \rangle \leq 1$)
 - Định nghĩa 2: $\max \{|x(t)|\} = 1$ ($\rightarrow P_x \leq 1$)
 - Định nghĩa 3: $\max \{x(t)\} = 1$ và $\min \{x(t)\} = -1$ ($\rightarrow P_x \leq 1$)
 - Định nghĩa 4: $P_x = 1$



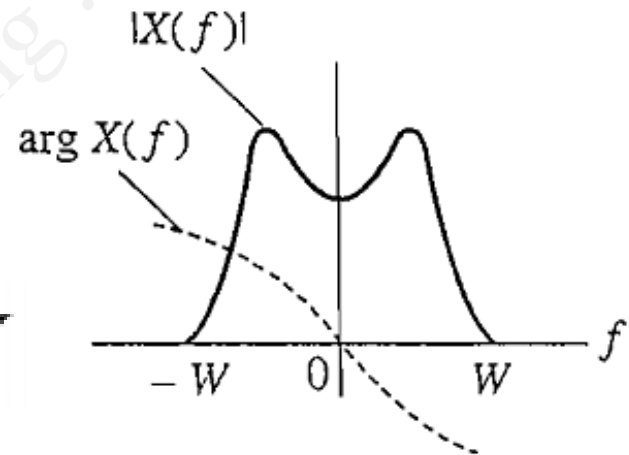
Tín hiệu băng gốc

- Băng thông giới hạn trong phạm vi $[-W \div W]$.

- $F_{\max} = W$

- $F_{\min} = 0$

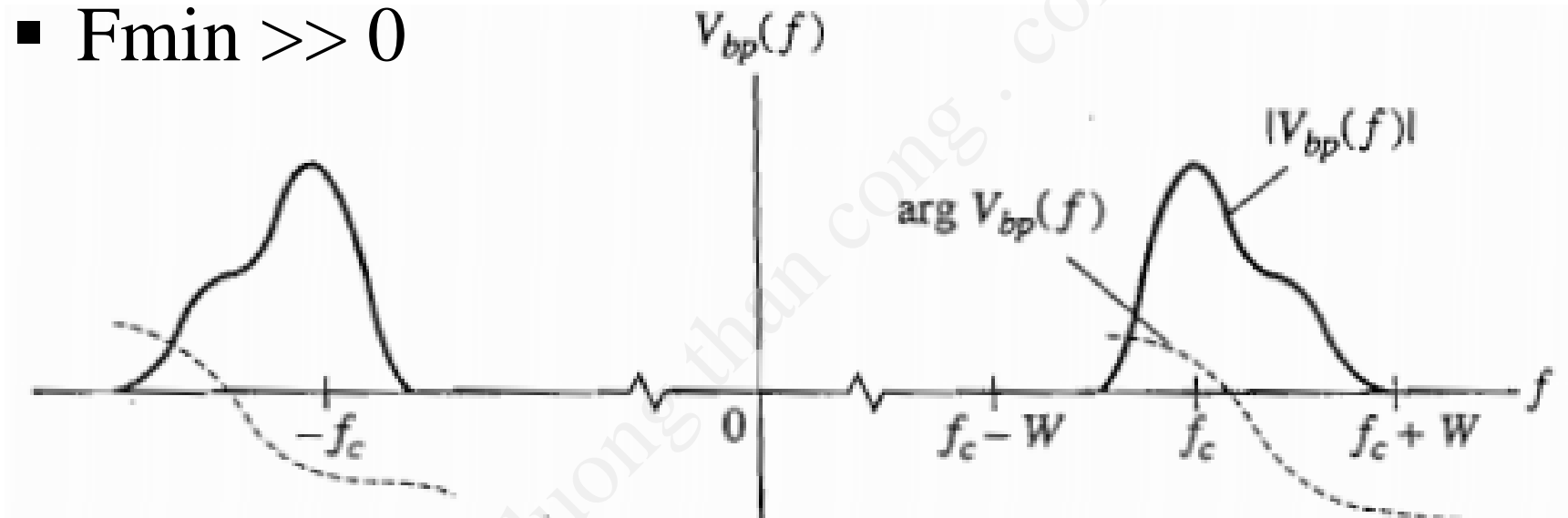
$$X(f) \approx 0 \quad \text{for } |f| > W$$



- Quy ước: trong trường hợp phổ vạch, khi tính băng thông thường xem như tín hiệu thông tin trước điều chế có dạng băng gốc ($F_{\min} = 0$).

4.1 Tín hiệu băng dải (miền tần số)

- $F_{min} \gg 0$

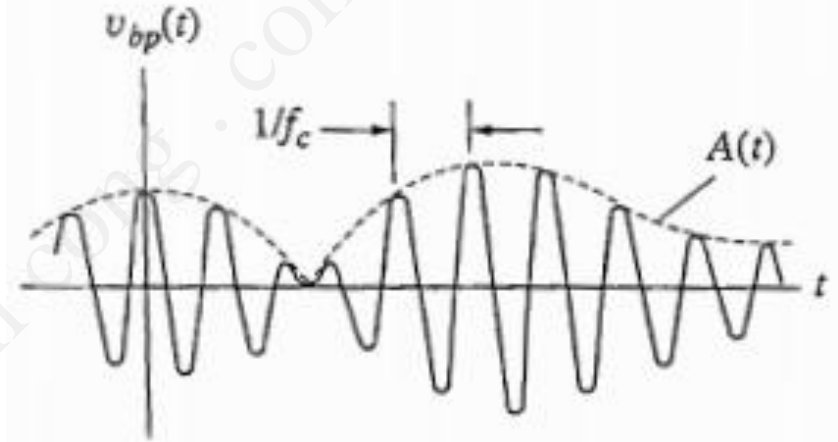


- Tần số giữa (trung tâm): $\omega_c = 2\pi f_c$



Tín hiệu băng dải (miền thời gian)

- Đường bao: $A(t) \geq 0$
- Pha: $\phi(t)$
- Tín hiệu cùng pha: $v_i(t)$
- Tín hiệu vuông pha: $v_q(t)$



$$v_{bp}(t) = A(t) \cos [\omega_c t + \phi(t)] = v_i(t) \cos \omega_c t - v_q(t) \sin \omega_c t$$

$$v_i(t) \triangleq A(t) \cos \phi(t)$$

$$v_q(t) \triangleq A(t) \sin \phi(t)$$

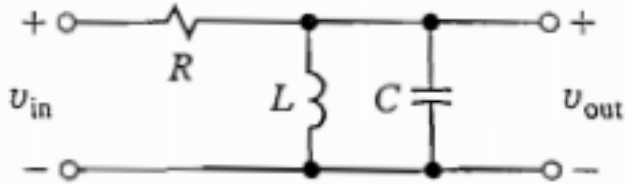
$$A(t) = \sqrt{v_i^2(t) + v_q^2(t)}$$

$$\phi(t) = \arctan \frac{v_q(t)}{v_i(t)}$$

- $A(t)$, $\phi(t)$, $v_i(t)$, $v_q(t)$ là các tín hiệu băng gốc



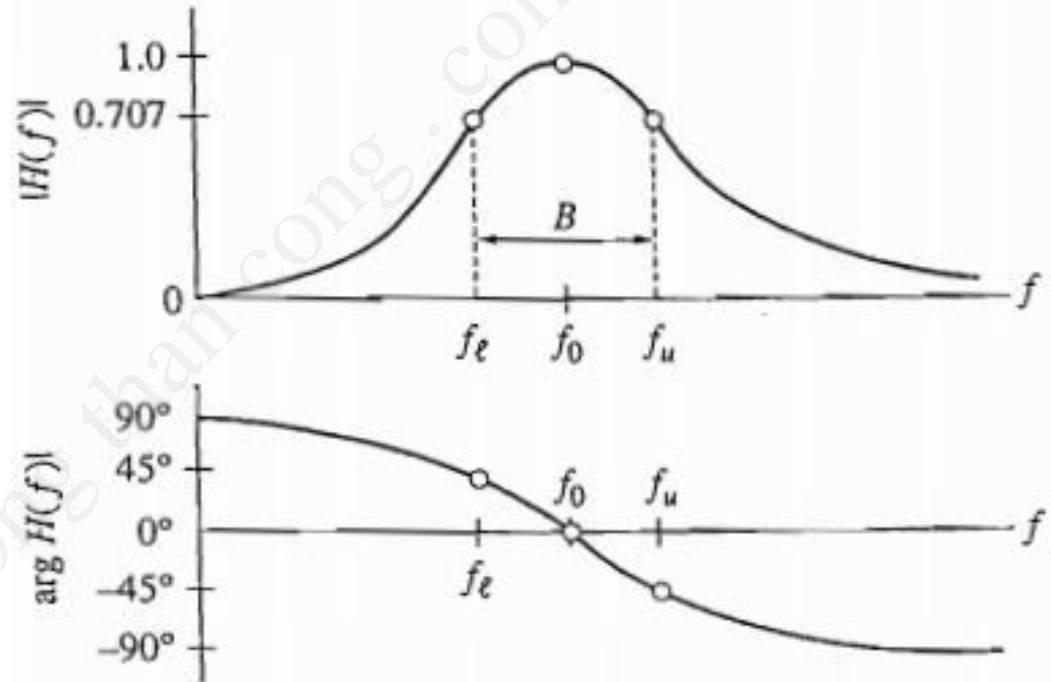
Bộ lọc thu phát thông dải (cộng hưởng)



- Tần số cộng hưởng f_0
- Tần số cắt f_l, f_u
- Băng thông B
- Hệ số phẩm chất Q

$$B = f_u - f_l = \frac{f_0}{Q}$$

$$10 < Q < 100,$$



$$0.01 < \frac{B}{f_c} < 0.1$$



Tính chất điều chế của phổ

$$x(t) \cdot \exp(j2\pi F_0 t) \leftrightarrow X(F - F_0)$$

$$x(t) \cdot 2 \cdot \cos(2\pi F_0 t) \leftrightarrow X(F + F_0) + X(F - F_0)$$

$$x(t) \cdot 2 \cdot \sin(2\pi F_0 t) \leftrightarrow -j \cdot X(F + F_0) + j \cdot X(F - F_0)$$

■ Vẽ phổ của các tín hiệu sau:

1) $x(t) = 1$

2) $x(t) = 2 \cdot \cos(4\pi t)$

3) $x(t) = 4 \cdot \cos(4\pi t) \cdot \cos(6\pi t)$

4) $x(t) = 4 \cdot \cos^2(4\pi t)$



Ví dụ 1

- Cho tín hiệu thực băng gốc có băng thông 4 Hz và kênh truyền có băng thông $[10 \div 20]$ Hz.
 - 1) Trình bày giải pháp kỹ thuật ở khối phát để truyền tín hiệu.
 - 2) Trình bày giải pháp kỹ thuật ở khối thu để nhận được tín hiệu ban đầu.



Điều chế tương tự

- Tín hiệu cần điều chế: $m(t)$ tương tự **băng gốc**
 - Đơn tần
 - Đa tần
 - Bất kì
- Sóng mang: $A_c \cdot \cos(2\pi \cdot F_c \cdot t + \phi_c)$
 - Để đơn giản (nhưng vẫn không mất tính tổng quát): $\phi_c = 0$
- Tín hiệu sau điều chế: $A(t) \cdot \cos(2\pi \cdot f(t) \cdot t + \phi(t))$
 $= A(t) \cdot \cos(\theta(t))$



Yêu cầu với mỗi loại điều chế

- Khái niệm, định nghĩa, thông số
- Biểu thức và dạng sóng
- Phổ và băng thông
- Công suất (trung bình và đỉnh)
- Giải điều chế
- Sơ đồ khối (nguyên lý)
- Nhiễu



4.2 Điều chế DSB

- Biểu thức: $x_c(t) = A_c x(t) \cos \omega_c t$
- Dạng sóng
- Phổ: $X_c(f) = \frac{1}{2} A_c X(f - f_c) \quad f > 0$
- Băng thông: $B_T = 2W$
- Công suất (trung bình): $S_T = 2P_{sb} = \frac{1}{2} A_c^2 S_x$
- Công suất đường bao đỉnh: A_{\max}^2



Ví dụ 2

Cho tín hiệu thông tin $x(t) = 0.5\cos(6\pi t)$ điều chế DSB với sóng mang $10\cos(30\pi t)$.

- 1) Viết biểu thức của tín hiệu sau điều chế DSB.
- 2) Vẽ dạng sóng của tín hiệu sau điều chế DSB.
- 3) Vẽ phổ biên độ của tín hiệu sau điều chế DSB.
- 4) Tính băng thông của tín hiệu sau điều chế DSB.
- 5) Tính công suất của tín hiệu sau điều chế DSB.
- 6) Tính công suất đỉnh của tín hiệu sau điều chế DSB.
- 7) Tính hiệu suất công suất.



Ví dụ 3

Cho tín hiệu thông tin $x(t) = 0.5\cos(6\pi t)$ điều chế DSB với sóng mang $10\sin(30\pi t)$.

- 1) Viết biểu thức của tín hiệu sau điều chế DSB.
- 2) Vẽ dạng sóng của tín hiệu sau điều chế DSB.
- 3) Vẽ phổ biên độ của tín hiệu sau điều chế DSB.
- 4) Tính băng thông của tín hiệu sau điều chế DSB.
- 5) Tính công suất của tín hiệu sau điều chế DSB.
- 6) Tính công suất đỉnh của tín hiệu sau điều chế DSB.
- 7) Tính hiệu suất công suất.



Ví dụ 4

Cho tín hiệu thông tin $x(t) = 0.5\cos(6\pi t) + 0.5$ điều chế DSB với sóng mang $10\cos(30\pi t)$.

- 1) Viết biểu thức của tín hiệu sau điều chế DSB.
- 2) Vẽ dạng sóng của tín hiệu sau điều chế DSB.
- 3) Vẽ phổ biên độ của tín hiệu sau điều chế DSB.
- 4) Tính băng thông của tín hiệu sau điều chế DSB.
- 5) Tính công suất của tín hiệu sau điều chế DSB.
- 6) Tính công suất đỉnh của tín hiệu sau điều chế DSB.
- 7) Tính hiệu suất công suất.

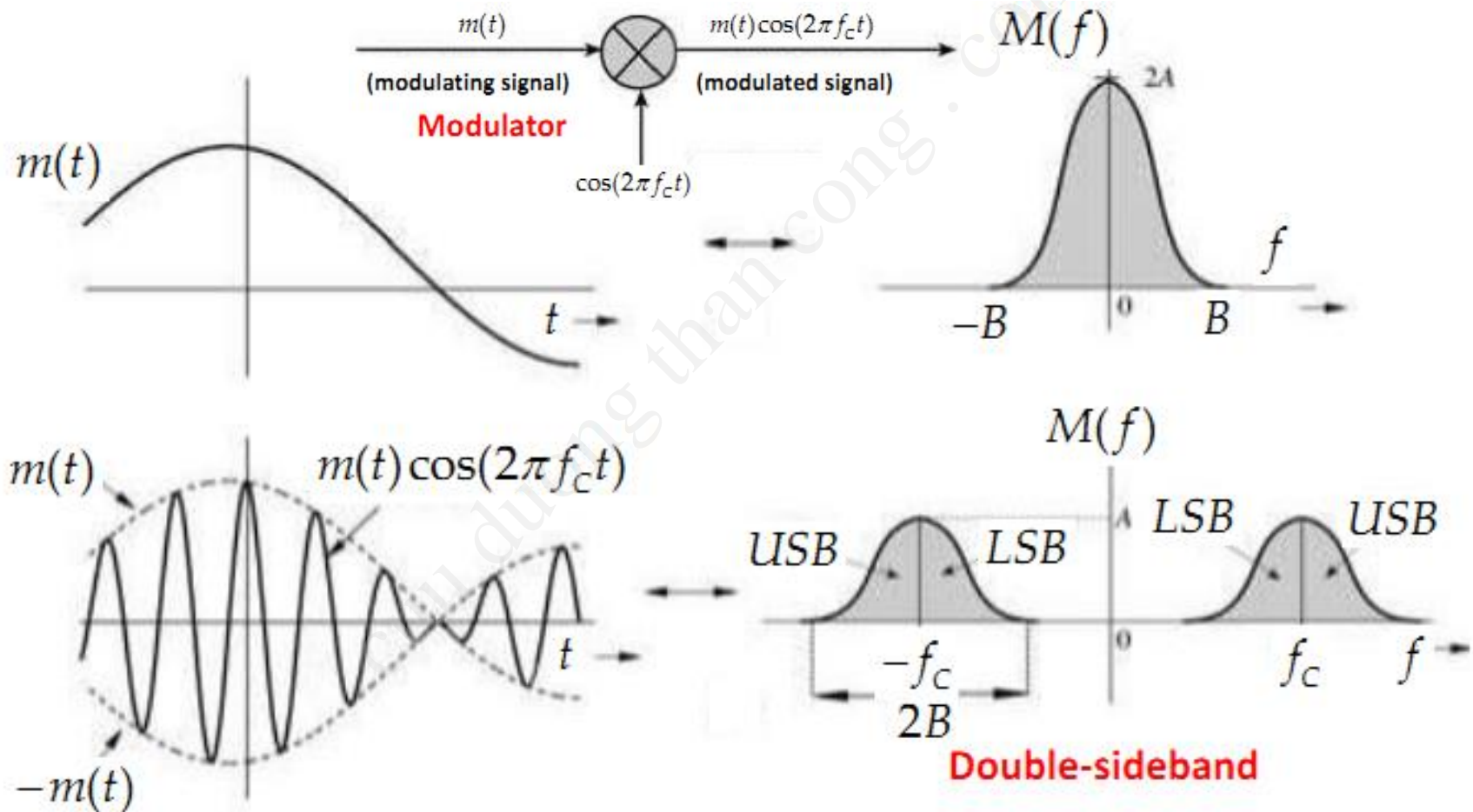


Ví dụ 5

Cho tín hiệu thông tin $x(t) = 0.5\cos(6\pi t) + 0.5\cos(8\pi t)$ điều chế DSB với sóng mang $10\cos(30\pi t)$.

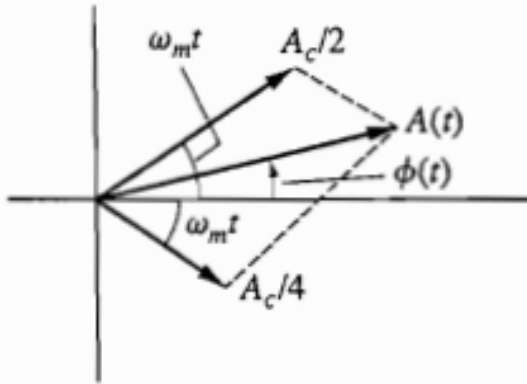
- 1) Viết biểu thức của tín hiệu sau điều chế DSB.
- 2) Vẽ dạng sóng của tín hiệu sau điều chế DSB.
- 3) Vẽ phổ biên độ của tín hiệu sau điều chế DSB.
- 4) Tính băng thông của tín hiệu sau điều chế DSB.
- 5) Tính công suất của tín hiệu sau điều chế DSB.
- 6) Tính công suất đỉnh của tín hiệu sau điều chế DSB.
- 7) Tính hiệu suất công suất.

Biên trên và biên dưới



Ví dụ 6

Draw the phasor diagram for tone-modulated DSB with $A_m = 1$. Then find $A(t)$ and $\phi(t)$ when the amplitude of the lower sideband is cut in half.



$$v_i = \frac{A_c}{2} \cos \omega_m t + \frac{A_c}{4} \cos \omega_m t = \frac{3A_c}{4} \cos \omega_m t$$

$$v_q = \frac{A_c}{2} \sin \omega_m t - \frac{A_c}{4} \sin \omega_m t = \frac{A_c}{4} \sin \omega_m t$$

$$\begin{aligned} A(t) &= \sqrt{\left(\frac{3}{4} A_c \cos \omega_m t\right)^2 + \left(\frac{1}{4} A_c \sin \omega_m t\right)^2} = \frac{A_c}{4} \sqrt{9 \cos^2 \omega_m t + \sin^2 \omega_m t} \\ &= \frac{A_c}{4} \sqrt{8 \cos^2 \omega_m t + 1} = \frac{A_c}{4} \sqrt{5 + 4 \cos 2\omega_m t} \end{aligned}$$

$$\phi(t) = \arctan \frac{A_c/4 \sin \omega_m t}{3A_c/4 \cos \omega_m t} = \arctan \left(\frac{\tan \omega_m t}{3} \right)$$



4.3 Điều chế SSB

- Thông số: U hay L

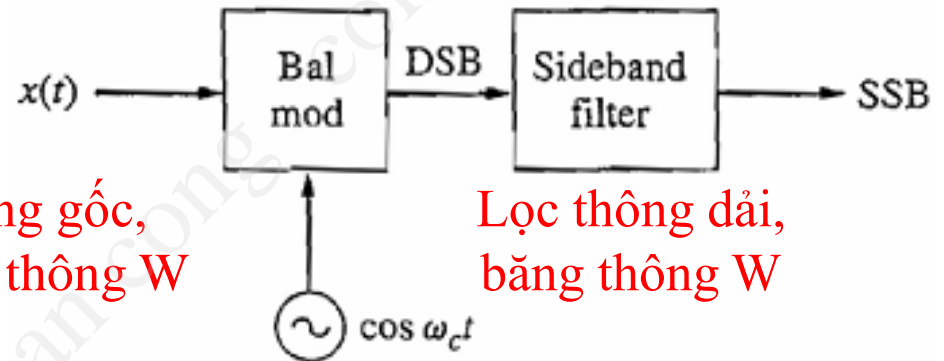
- Biểu thức

- Dạng sóng

- Phổ

- Băng thông $B_T \cong W$

- Công suất $S_T = P_{SB} = \frac{1}{4} A_c^2 S_x$



$$x(t) = A_m \cos \omega_m t$$

$$x_c(t) = \frac{A_c A_m}{2} \cos(\omega_c \pm \omega_m) t$$



Ví dụ 7

Cho tín hiệu thông tin $x(t) = 0.5\sin(8\pi t)$ điều chế USSB với sóng mang $10\cos(30\pi t)$.

- 1) Viết biểu thức của tín hiệu sau điều chế USSB.
- 2) Vẽ dạng sóng của tín hiệu sau điều chế USSB.
- 3) Vẽ phổ biên độ của tín hiệu sau điều chế USSB.
- 4) Tính băng thông của tín hiệu sau điều chế USSB.
- 5) Tính công suất của tín hiệu sau điều chế USSB.
- 6) Tính công suất đỉnh của tín hiệu sau điều chế USSB.
- 7) Tính hiệu suất công suất.



Ví dụ 8

Cho tín hiệu thông tin $x(t) = 0.5\cos(6\pi t) - 0.5\sin(8\pi t)$ điều chế USSB với sóng mang $10\cos(30\pi t)$.

- 1) Viết biểu thức của tín hiệu sau điều chế USSB.
- 2) Vẽ dạng sóng của tín hiệu sau điều chế USSB.
- 3) Vẽ phổ biên độ của tín hiệu sau điều chế USSB.
- 4) Tính băng thông của tín hiệu sau điều chế USSB.
- 5) Tính công suất của tín hiệu sau điều chế USSB.
- 6) Tính công suất đỉnh của tín hiệu sau điều chế USSB.
- 7) Tính hiệu suất công suất.



Ví dụ 9

Cho tín hiệu thông tin $x(t) = 0.5\cos(6\pi t) - 0.5\sin(8\pi t)$ điều chế LSSB với sóng mang $10\cos(30\pi t)$.

- 1) Viết biểu thức của tín hiệu sau điều chế LSSB.
- 2) Vẽ dạng sóng của tín hiệu sau điều chế LSSB.
- 3) Vẽ phổ biên độ của tín hiệu sau điều chế LSSB.
- 4) Tính băng thông của tín hiệu sau điều chế LSSB.
- 5) Tính công suất của tín hiệu sau điều chế LSSB.
- 6) Tính công suất đỉnh của tín hiệu sau điều chế LSSB.
- 7) Tính hiệu suất công suất.



Ví dụ 10

Cho tín hiệu thực có phổ biên độ hình tam giác đối xứng từ $[-4 \ 4]$ KHz. Vẽ phổ biên độ trong các trường hợp sau:

- 1) Điều chế LSSB với sóng mang 10 KHz.
- 2) Điều chế LSSB với sóng mang 5 KHz.
- 3) Điều chế hai lần liên tiếp LSSB với sóng mang 5 KHz.
- 4) Điều chế LSSB với sóng mang 4 KHz.
- 5) Điều chế LSSB với sóng mang 3 KHz.

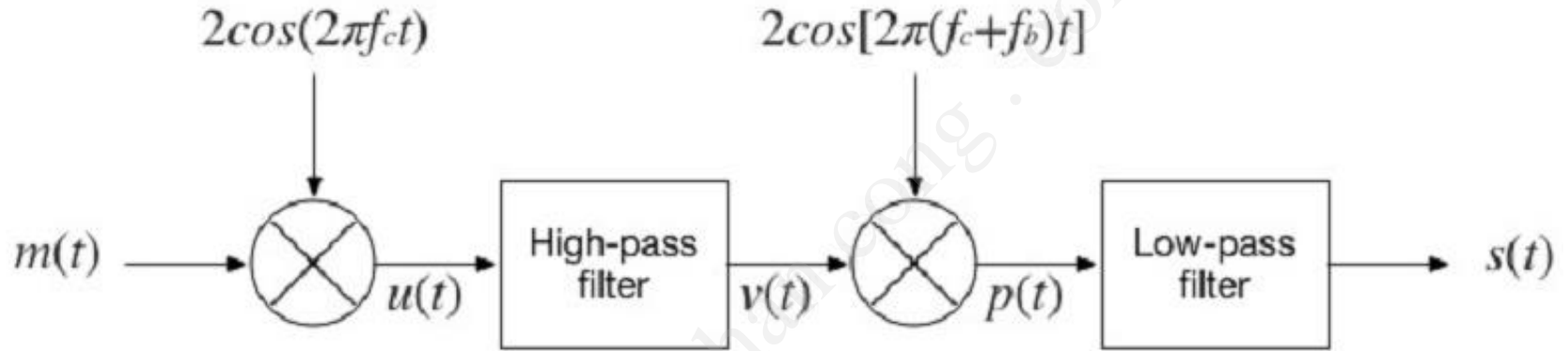




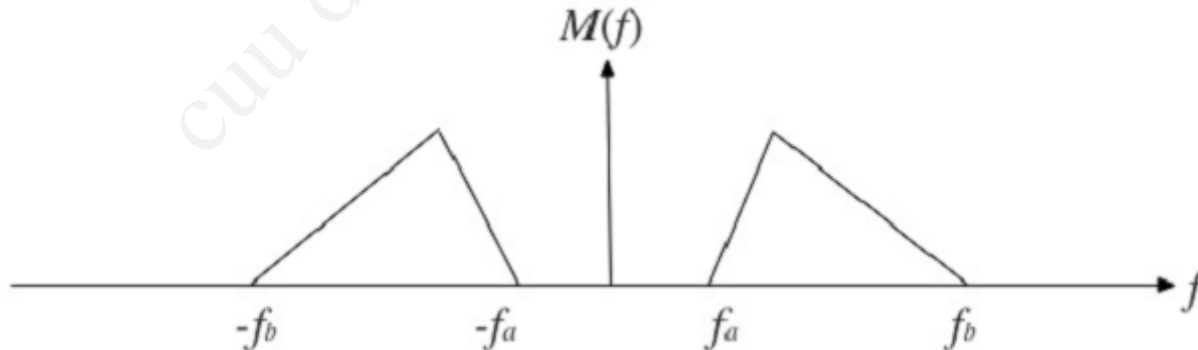
Ví dụ 11

Cho tín hiệu thực có phổ biên độ hình tam giác đối xứng từ $[-4 \ 4]$ KHz. Vẽ phổ biên độ trong các trường hợp sau:

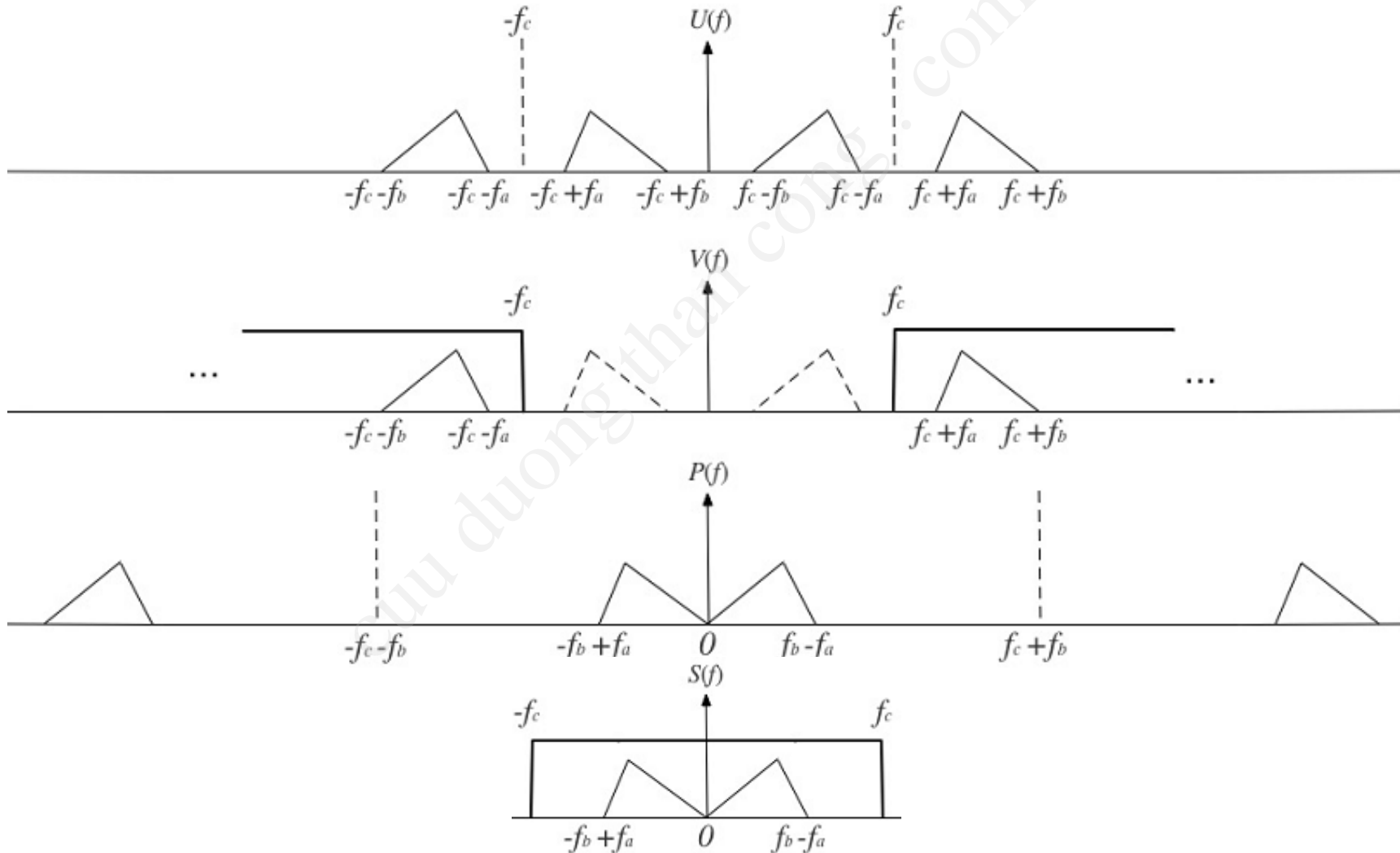
- 1) Điều chế USSB, sau đó lấy kết quả điều chế LSSB với cùng sóng mang 5KHz.
- 2) Điều chế LSSB, sau đó lấy kết quả điều chế USSB với cùng sóng mang 5KHz.
- 3) Điều chế LSSB với sóng mang 5KHz, sau đó lấy kết quả điều chế USSB với sóng mang 10KHz.
- 4) Điều chế USSB với sóng mang 10KHz, sau đó lấy kết quả điều chế LSSB với sóng mang 5KHz.



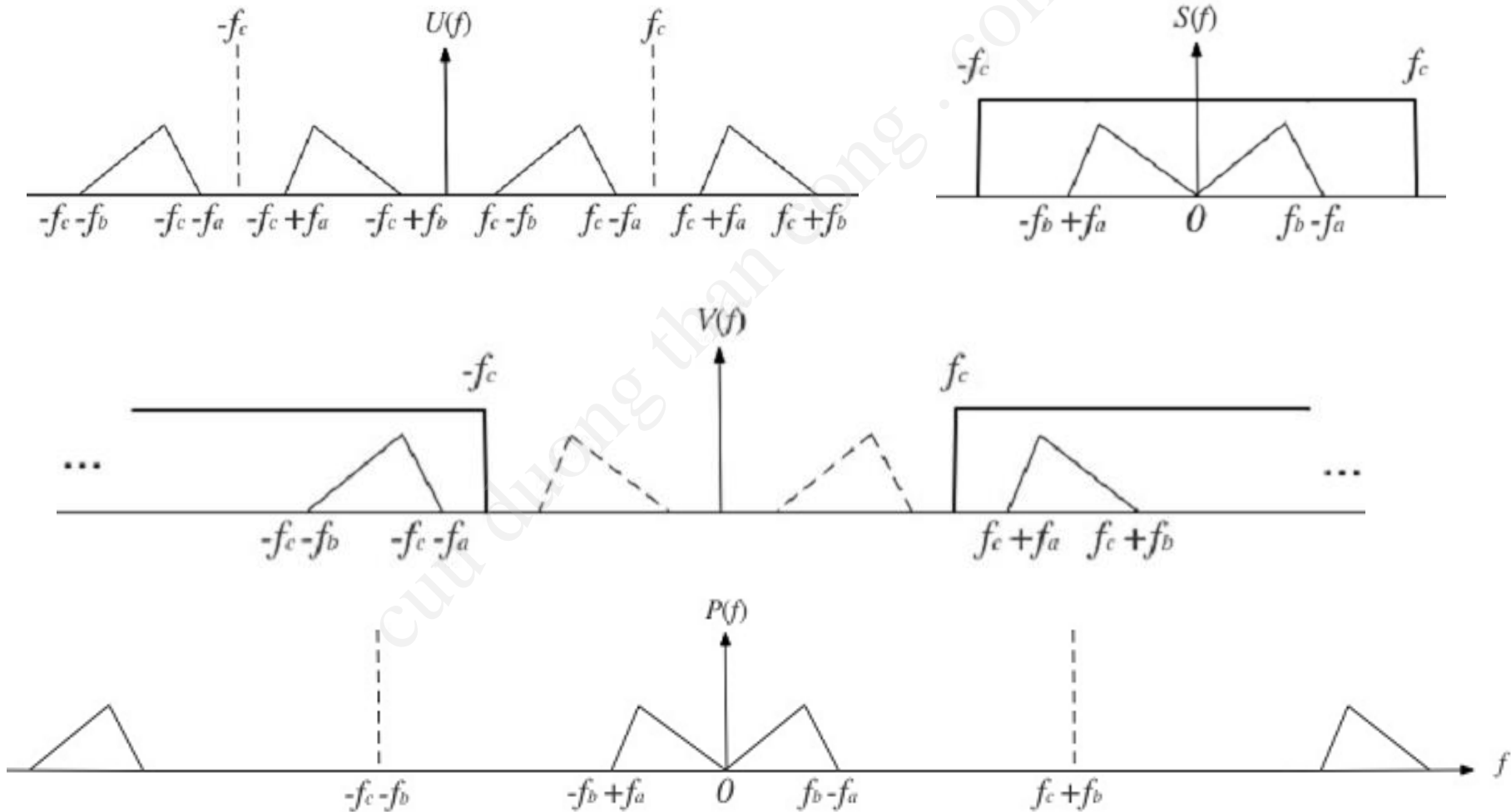
- The high-pass and low-pass filters have the same cutoff frequency at f_c (assume that $f_c > f_b$)



Scrambler (2)



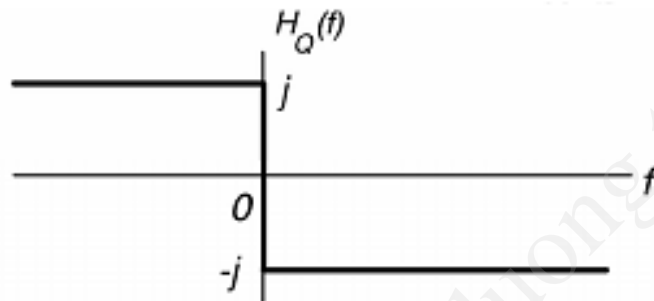
Scrambler (3)





Biến đổi Hilbert

$$H_Q(f) = -j \operatorname{sgn} f = \begin{cases} -j & \text{for } f > 0 \\ +j & \text{for } f < 0 \end{cases} \quad h_Q(t) = \frac{1}{\pi t}$$



-90° Phase-shift for $f > 0$

90° Phase-shift for $f < 0$

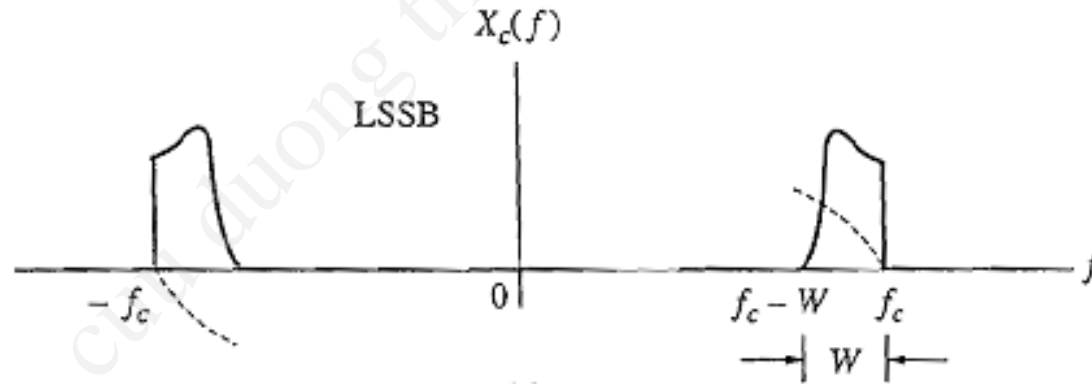
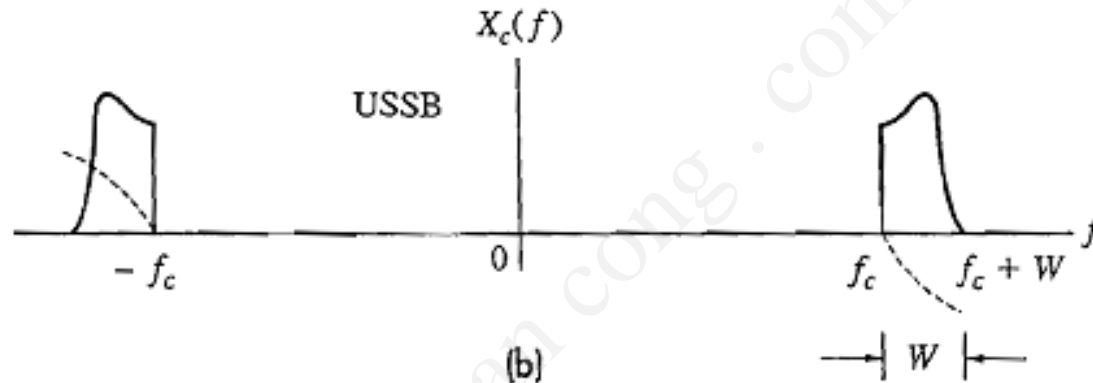
$$|H_Q(f)| = 1 \quad \text{for all frequencies}$$

$$\hat{x}(t) = x(t) * h_Q(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x(\lambda)}{t - \lambda} d\lambda$$

$$x(t) = A \cos(\omega_0 t + \phi)$$

$$F[\hat{x}(t)] = (-j \operatorname{sgn} f) X(f)$$

$$\hat{x}(t) = A \sin(\omega_0 t + \phi)$$



$$\frac{A_c}{2} (x(t) \cos \omega_c t \mp \hat{x}(t) \sin \omega_c t)$$



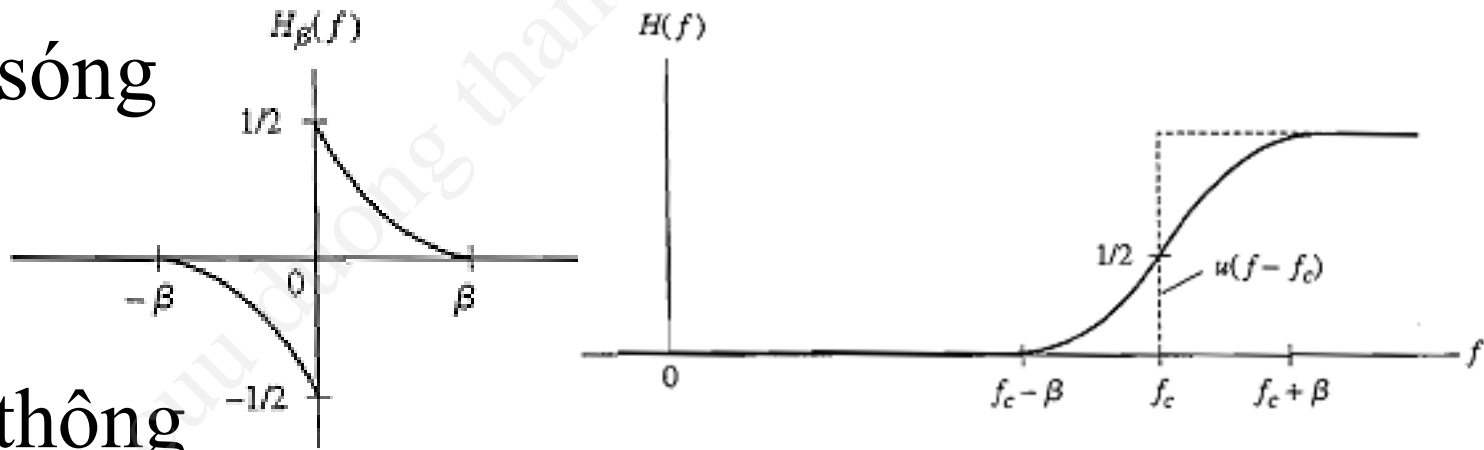
$$x_q(t) = \hat{x}(t) + x_\beta(t)$$

4.4 Điều chế VSB

- Thông số: $\beta > 0$ $x_\beta(t) = j2 \int_{-\beta}^{\beta} H_\beta(f) X(f) e^{j\omega t} df$
- Biểu thức $x_c(t) = \frac{A_c}{2} (x(t) \cos \omega_c t - x_q(t) \sin \omega_c t)$

- Dạng sóng

- Phổ



- Băng thông

- Công suất

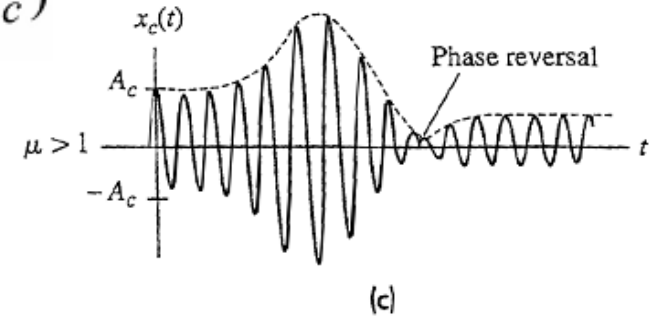
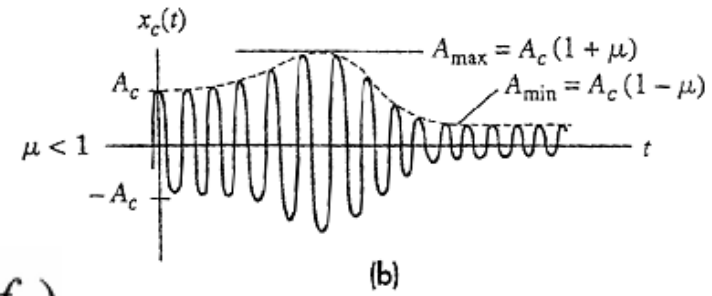
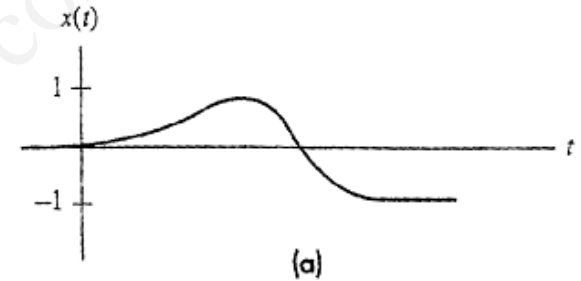
$$\beta \ll W \quad \frac{1}{4} A_c^2 S_x \leq S_T \leq \frac{1}{2} A_c^2 S_x \quad \beta = W$$

(SSB) (DSB)



4.5 Điều chế AM

- Biểu thức: $x_c(t) = A_c(1 + \mu x(t)) \cos \omega_c t$
- Thông số: chỉ số điều chế $\mu > 0$
- Dạng sóng
 - **Quá điều chế**: đường bao sau điều chế bị méo dạng so với tín hiệu gốc.
- Phổ $X_c(f) = \frac{1}{2} A_c \delta(f - f_c) + \frac{\mu}{2} A_c X(f - f_c)$
- Băng thông $B_T = 2W \quad f > 0$
- Công suất $S_T = \frac{1}{2} A_c^2 (1 + \mu^2 S_x)$





Ví dụ 12

Cho tín hiệu thông tin $x(t) = 0.5\cos(6\pi t)$ điều chế AM 80% với sóng mang $10\cos(30\pi t)$.

- 1) Viết biểu thức của tín hiệu sau điều chế AM.
- 2) Vẽ dạng sóng của tín hiệu sau điều chế AM.
- 3) Vẽ phổ biên độ của tín hiệu sau điều chế AM.
- 4) Tính băng thông của tín hiệu sau điều chế AM.
- 5) Tính công suất của tín hiệu sau điều chế AM.
- 6) Tính công suất đỉnh của tín hiệu sau điều chế AM.
- 7) Tính hiệu suất công suất.



Ví dụ 13

Cho tín hiệu thông tin $x(t) = 0.5\cos(6\pi t) + 0.5\sin(8\pi t)$ điều chế AM 80% với sóng mang $10\cos(30\pi t)$.

- 1) Viết biểu thức của tín hiệu sau điều chế AM.
- 2) Vẽ dạng sóng của tín hiệu sau điều chế AM.
- 3) Vẽ phổ biên độ của tín hiệu sau điều chế AM.
- 4) Tính băng thông của tín hiệu sau điều chế AM.
- 5) Tính công suất của tín hiệu sau điều chế AM.
- 6) Tính công suất đỉnh của tín hiệu sau điều chế AM.
- 7) Tính hiệu suất công suất.



Ví dụ 14

Cho tín hiệu thông tin $x(t) = 0.5\cos(6\pi t) + 0.5$ điều chế AM 80% với sóng mang $10\cos(30\pi t)$.

- 1) Viết biểu thức của tín hiệu sau điều chế AM.
- 2) Vẽ dạng sóng của tín hiệu sau điều chế AM.
- 3) Vẽ phổ biên độ của tín hiệu sau điều chế AM.
- 4) Tính băng thông của tín hiệu sau điều chế AM.
- 5) Tính công suất của tín hiệu sau điều chế AM.
- 6) Tính công suất đỉnh của tín hiệu sau điều chế AM.
- 7) Tính hiệu suất công suất.



Ví dụ 15

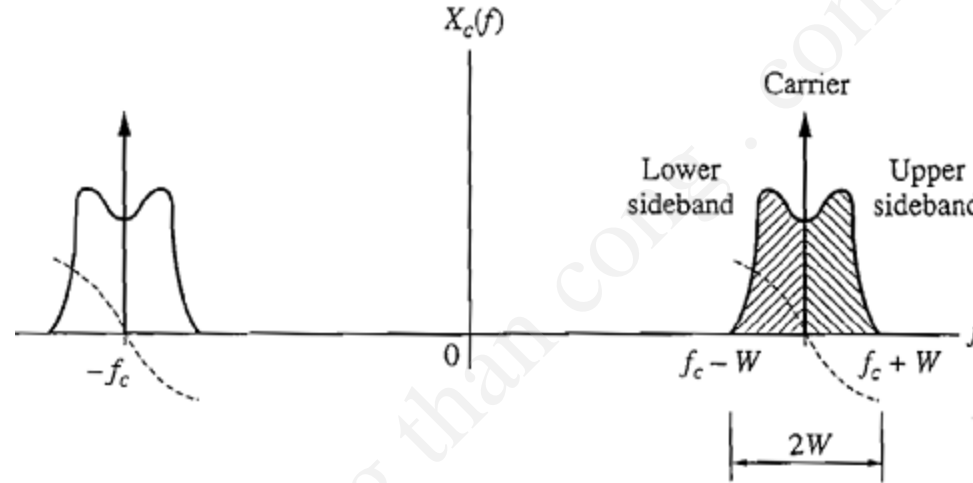
Suppose a voice signal has $|x(t)|_{\max} = 1$ and $S_x = 1/5$. Calculate the values of S_T and A_{\max}^2 needed to get $P_{sb} = 10$ W for DSB and for AM with $\mu = 1$.

$$\text{DSB: } S_T = 2P_{sb} = 20 \text{ W, } A_{\max}^2 = \frac{P_{sb}}{S_x/4} = 200 \text{ W}$$

$$\text{AM: } P_c = \frac{P_{sb}}{\frac{1}{2} \mu^2 S_x} = 100 \text{ W} \Rightarrow S_T = P_c + 2P_{sb} = 120 \text{ W and}$$

$$A_{\max}^2 = \frac{P_{sb}}{S_x/16} = 800 \text{ W}$$

Đánh giá điều chế AM

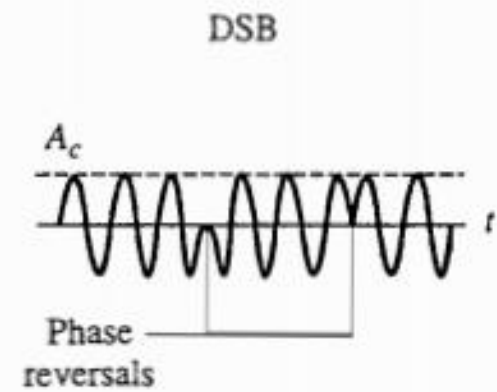
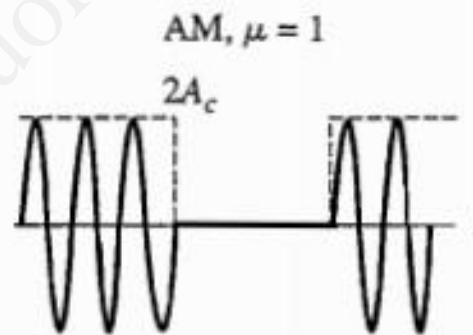
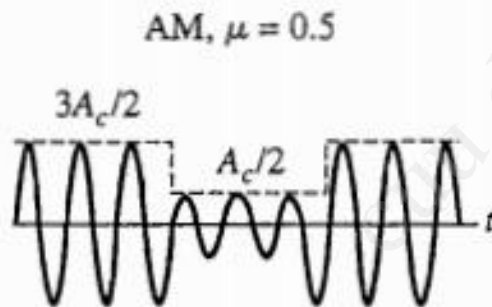


$$S_T = P_c + 2P_{sb} = \frac{1}{2} A_c^2 + 2 \left(\frac{\mu^2}{2} S_x P_c \right)$$

- Lãng phí công suất
- Lãng phí băng thông

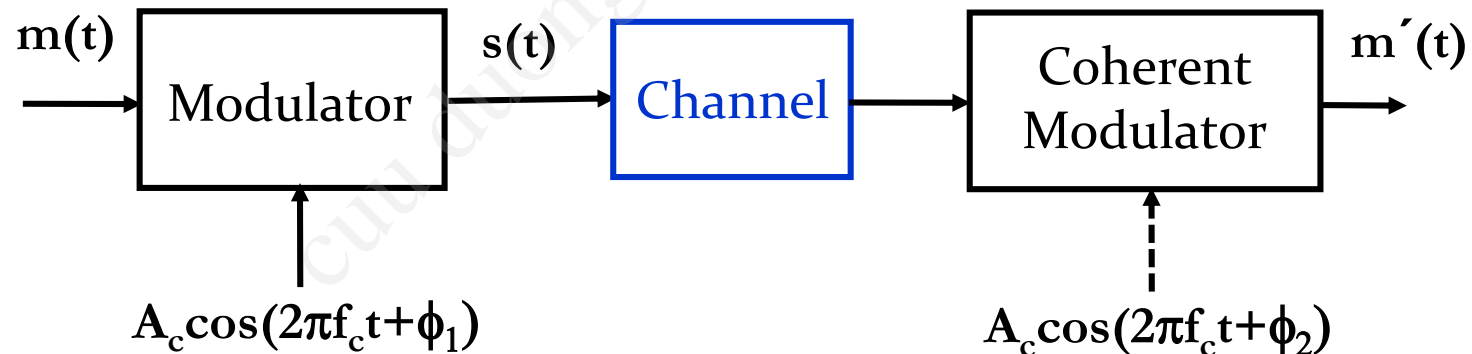
Ví dụ 16

Let the modulating signal be a *square wave* that switches periodically between $x(t) = +1$ and $x(t) = -1$. Sketch $x_c(t)$ when the modulation is AM with $\mu = 0.5$, AM with $\mu = 1$, and DSB. Indicate the envelopes by dashed lines.

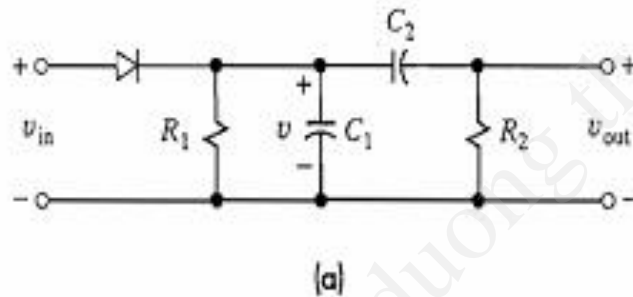


4.6 Giải điều chế

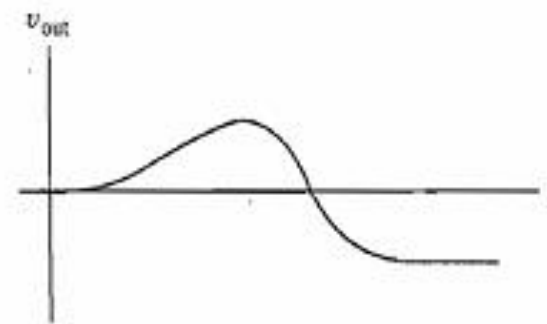
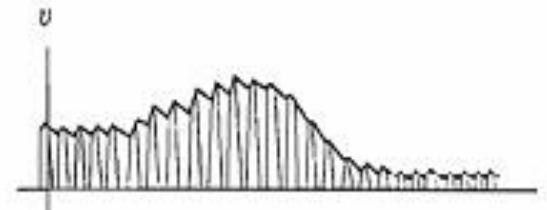
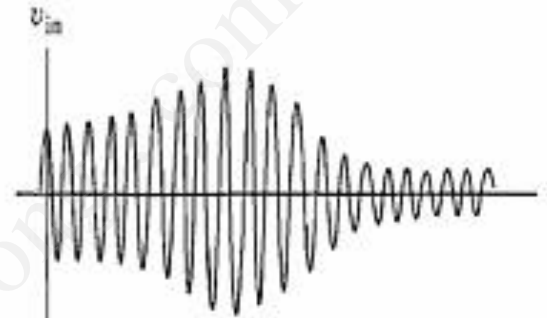
- Đồng bộ (nhất quán): $\phi_2 \approx \phi_1$ (giả sử kênh truyền không gây trễ)
- Không đồng bộ: không cần khôi phục sóng mang



Tách sóng đường bao (không đồng bộ)

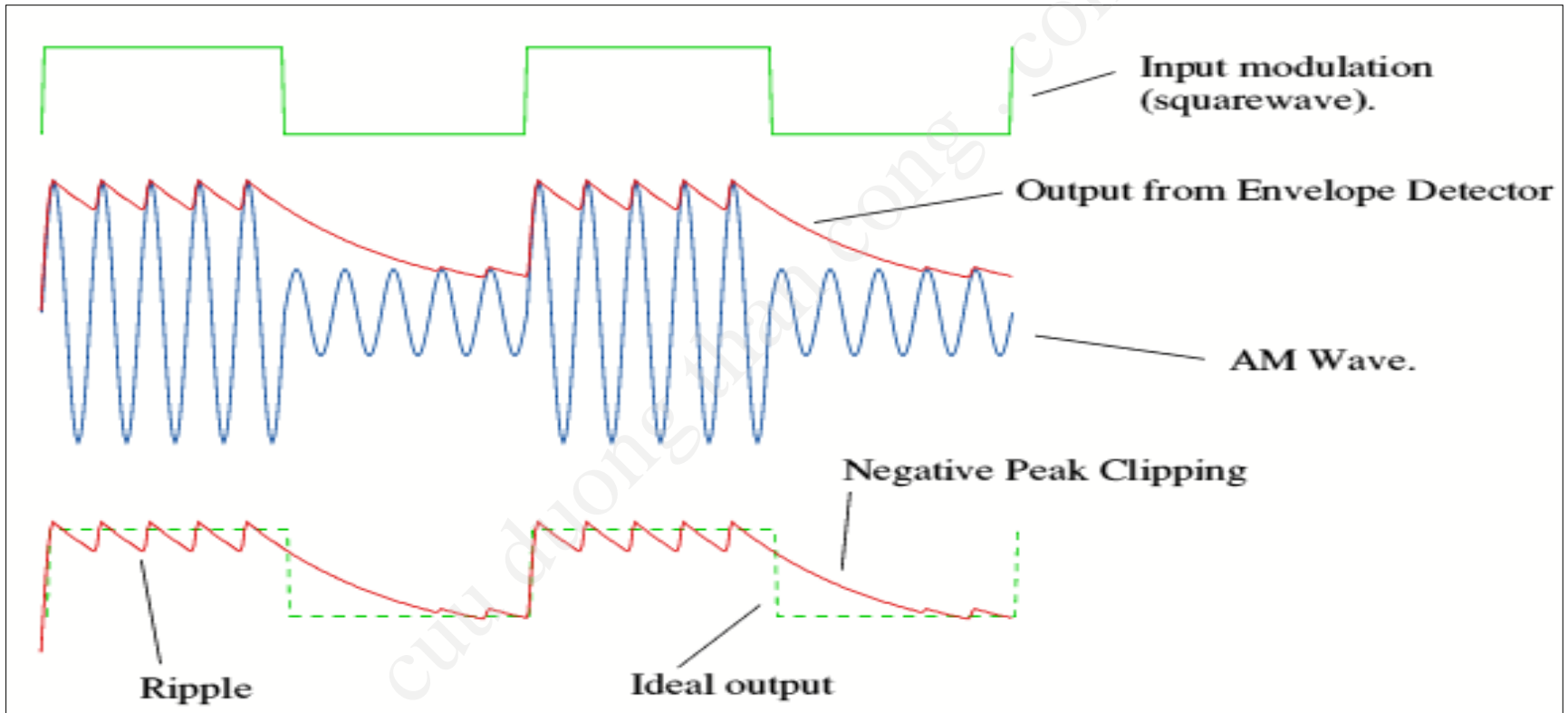


$$W \ll \frac{1}{R_1 C_1} \ll f_c$$



(b)

Tách sóng đường bao (2)

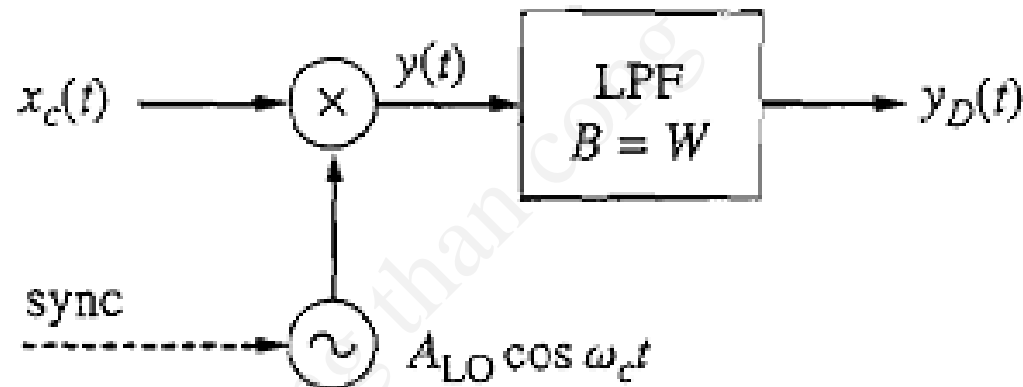


Only works when $|\mu_{AM} m(t)| < 1$



Tách sóng đồng bộ (tích)

- Đồng bộ tần số và pha của sóng mang.



$$x_c(t) = \{K_c + K_\mu x(t)\} \cos \omega_c t - K_\mu x_q(t) \sin \omega_c t$$

$$y(t) = x_c(t) A_{LO} \cos \omega_c t = \frac{A_{LO}}{2} \left\{ (K_c + K_\mu x(t)) \right. \\ \left. + (K_c + K_\mu x(t)) \cos 2\omega_c t - K_\mu x_q(t) \sin 2\omega_c t \right\}$$

$$y_D(t) = K_D (K_c + K_\mu x(t))$$

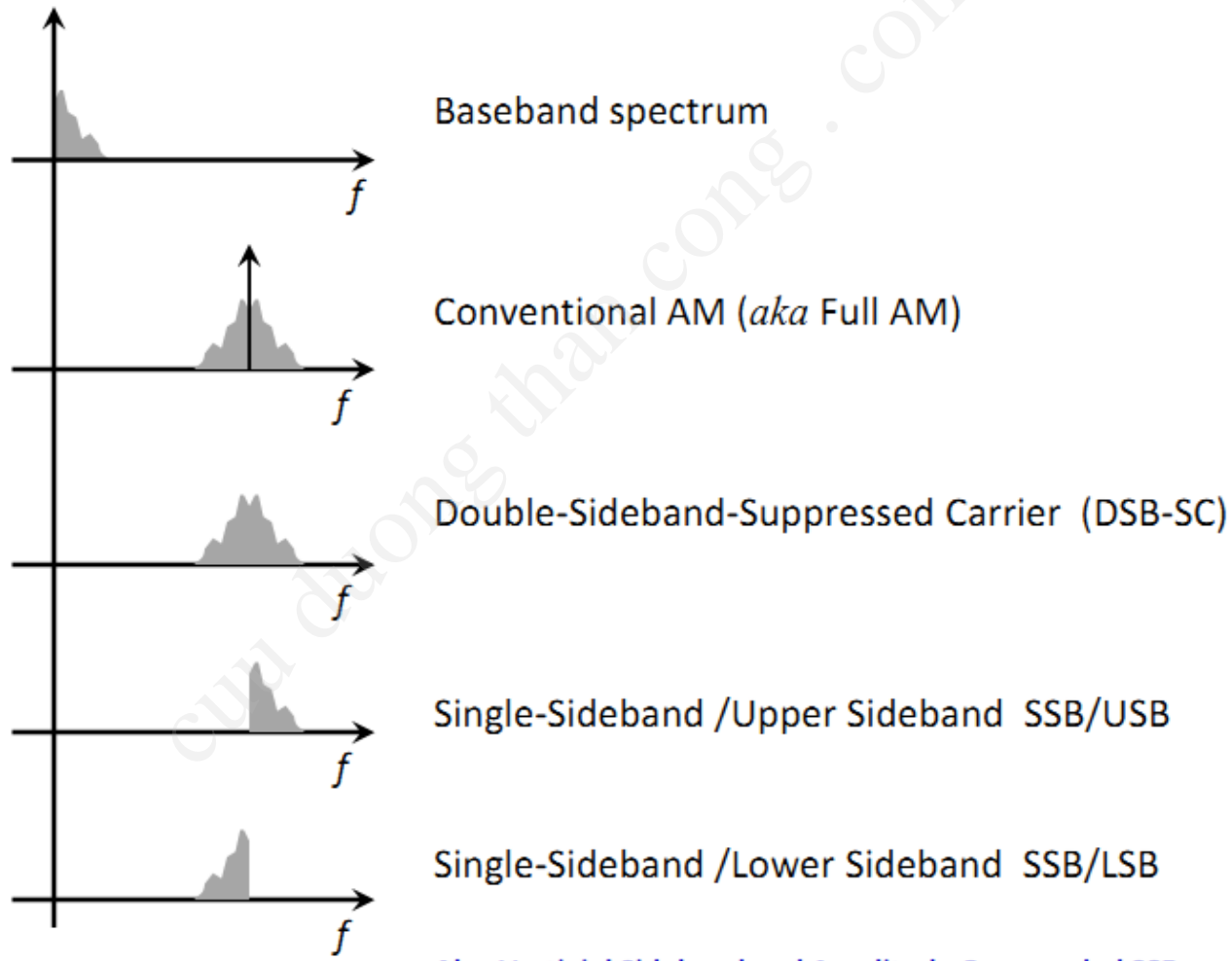


Ví dụ 17

- A frequency-translated baseband signal (frequency shifted by f_c), denoted by $m(t)$, is $v(t) = m(t) \cdot \cos(2\pi f_c t)$. We can recover $m(t)$ by multiplying $v(t)$ by a local oscillator signal given by $\cos(2\pi f_c t + \theta)$. You are asked to investigate the effect of the offset in phase angle θ .
- 1) The modulation product of $v(t)$ and $\cos(\omega_c t + \theta)$ is passed through a low-pass filter rejecting the double-frequency term. After filtering, what is the signal output?
 - 2) Next, using the result from part (a) above, what is the output of the filter when θ is equal to $\pi/2$ radians?
 - 3) How much phase shift θ can be tolerated for a decrease no greater than 10% of the magnitude at the output of the filter?



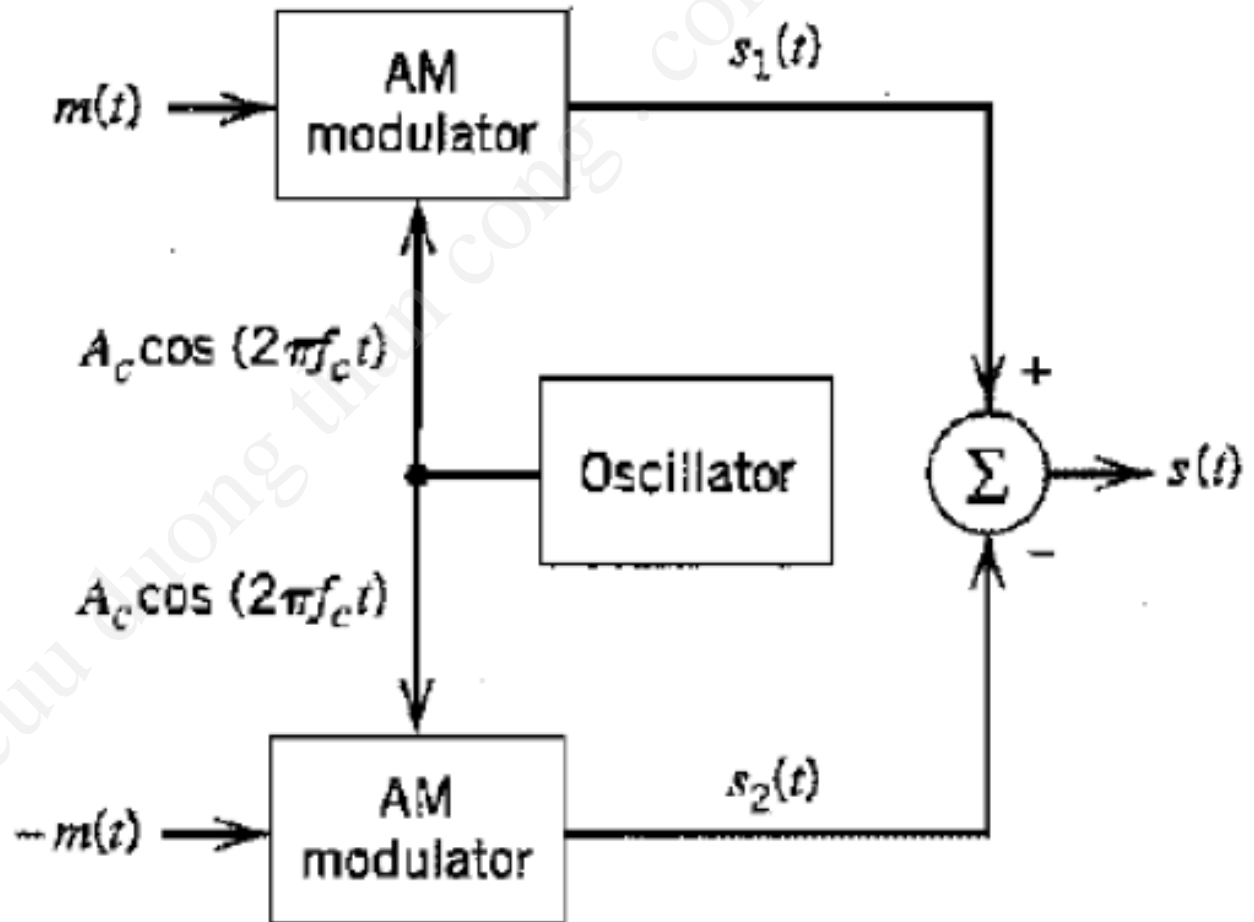
Phổ các loại điều chế biên độ





Bộ điều chế cân bằng

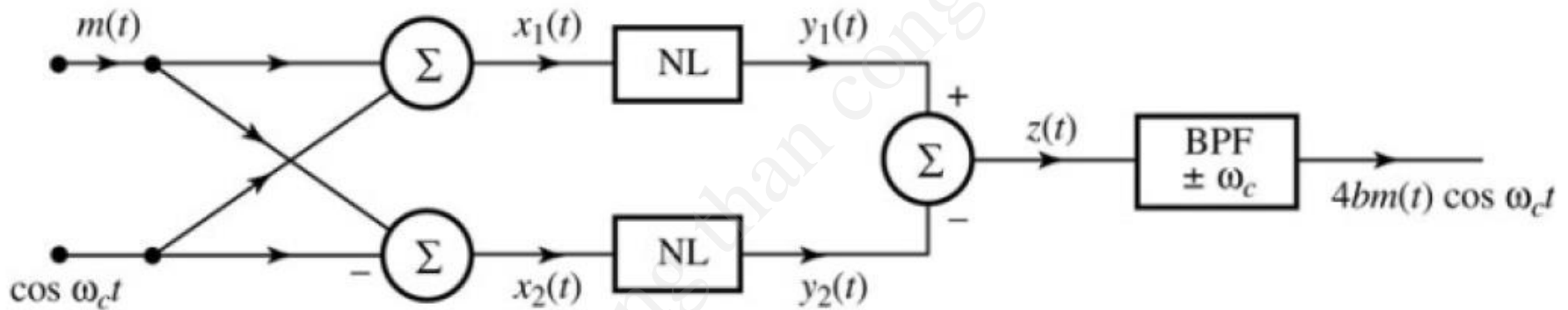
- Viết biểu thức $s_1(t)$, $s_2(t)$, $s(t)$.
- Cho biết loại điều chế của tín hiệu $s(t)$.





Bộ điều chế phi tuyến

- Thành phần phi tuyến (NL): $y(t) = ax(t) + bx^2(t)$





Bộ điều chế chuyển mạch (switching)

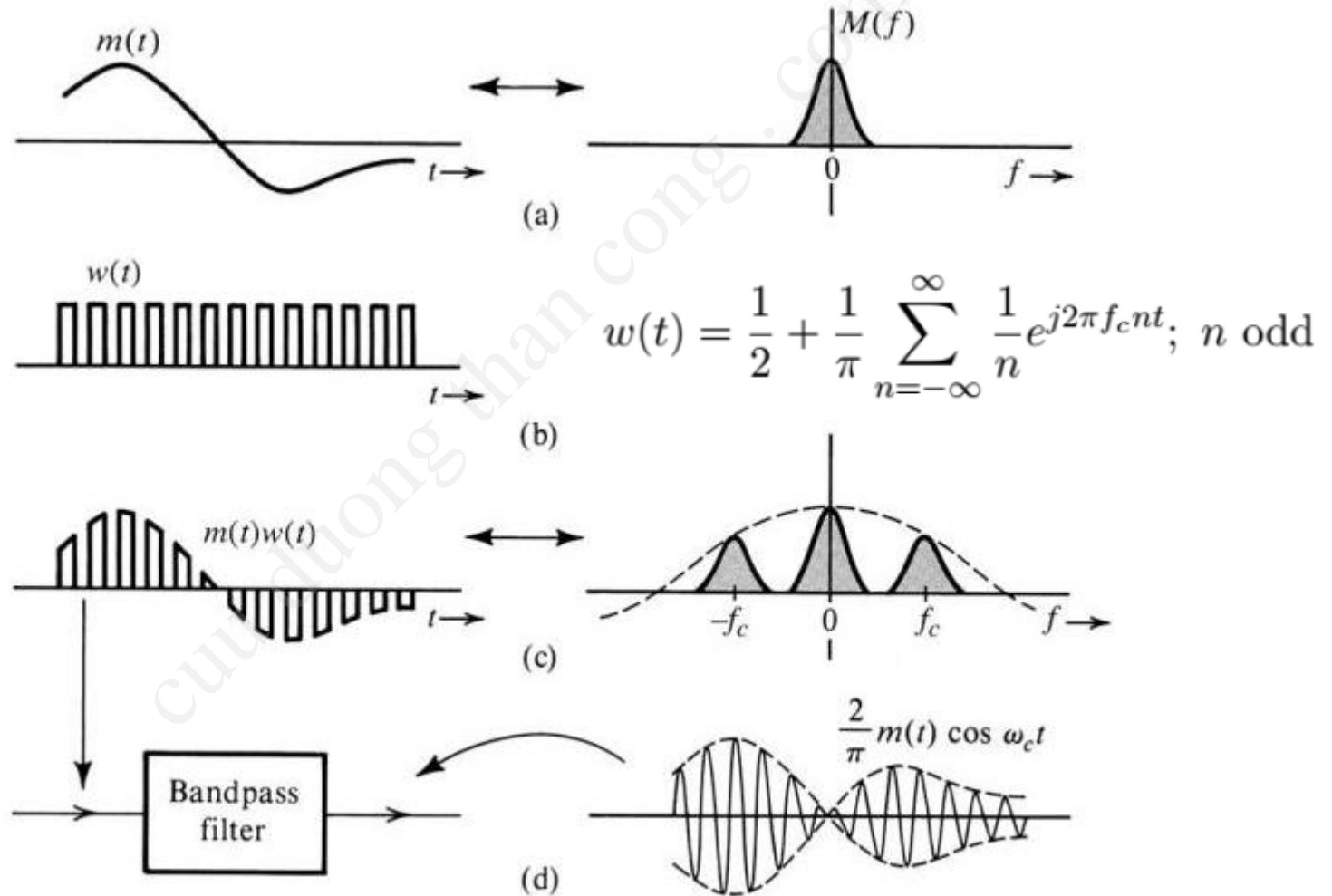
- Nhân tín hiệu thông tin $m(t)$ với tín hiệu tuần hoàn bất kì $w(t)$.

$$w(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} D_n e^{j2\pi f_c n t}$$

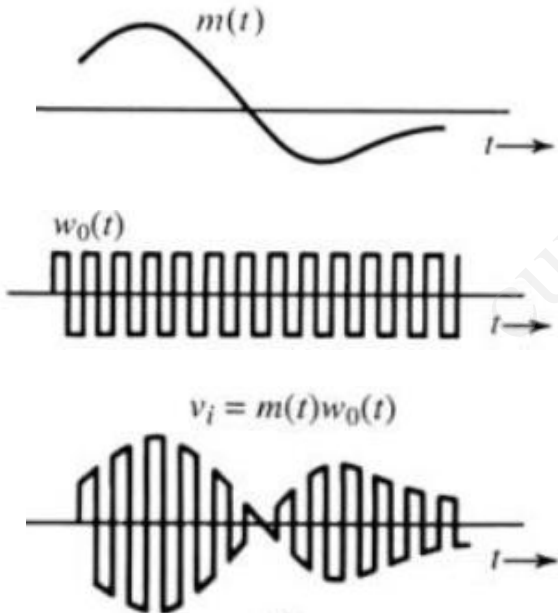
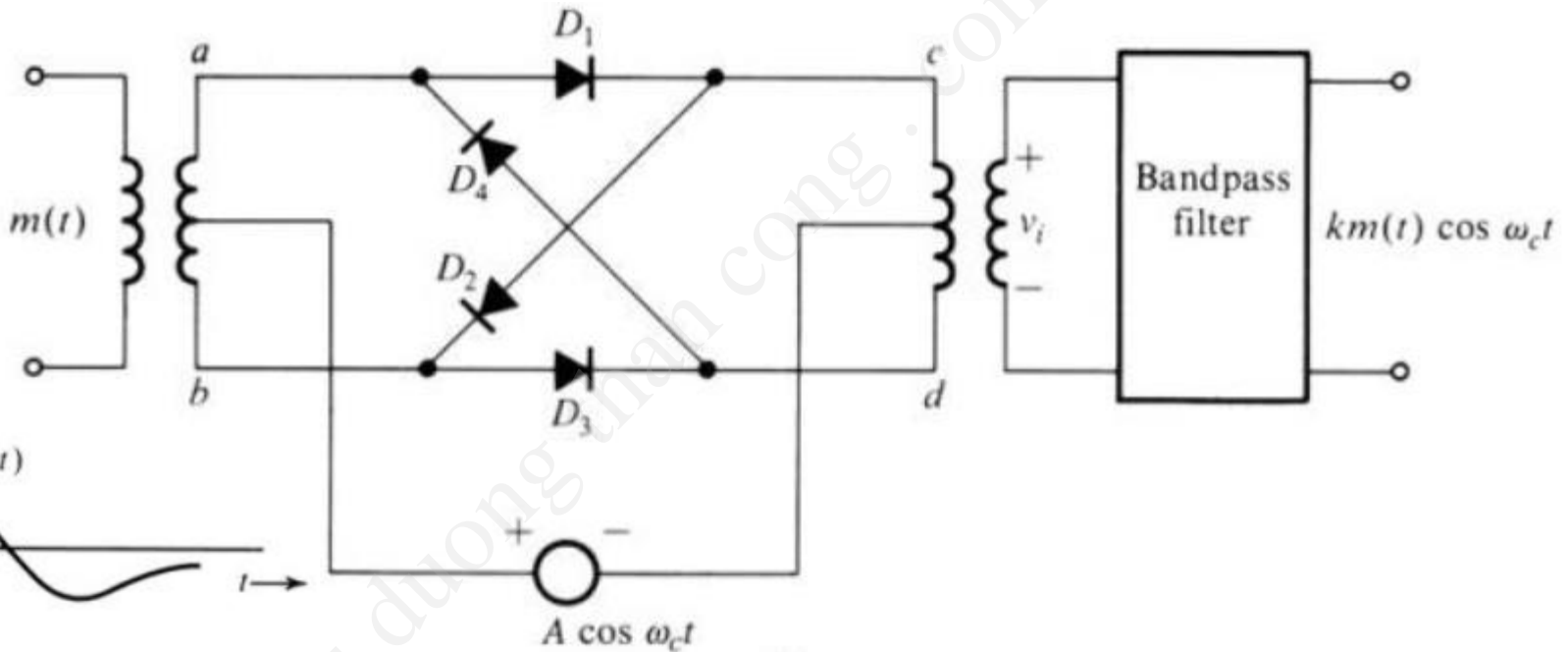
$$m(t)w(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} D_n m(t) e^{j2\pi f_c n t}$$

- Tín hiệu $m(t).w(t)$ có phổ $M(f)$ dịch $\pm k.f_c$
- Sử dụng bộ lọc thông dải để thu được tín hiệu sau điều chế tương ứng.
- Thành phần chuyển mạch (khóa): diode chỉnh lưu \rightarrow tạo tín hiệu chuỗi xung vuông

Bộ điều chế chuyên mạch (2)



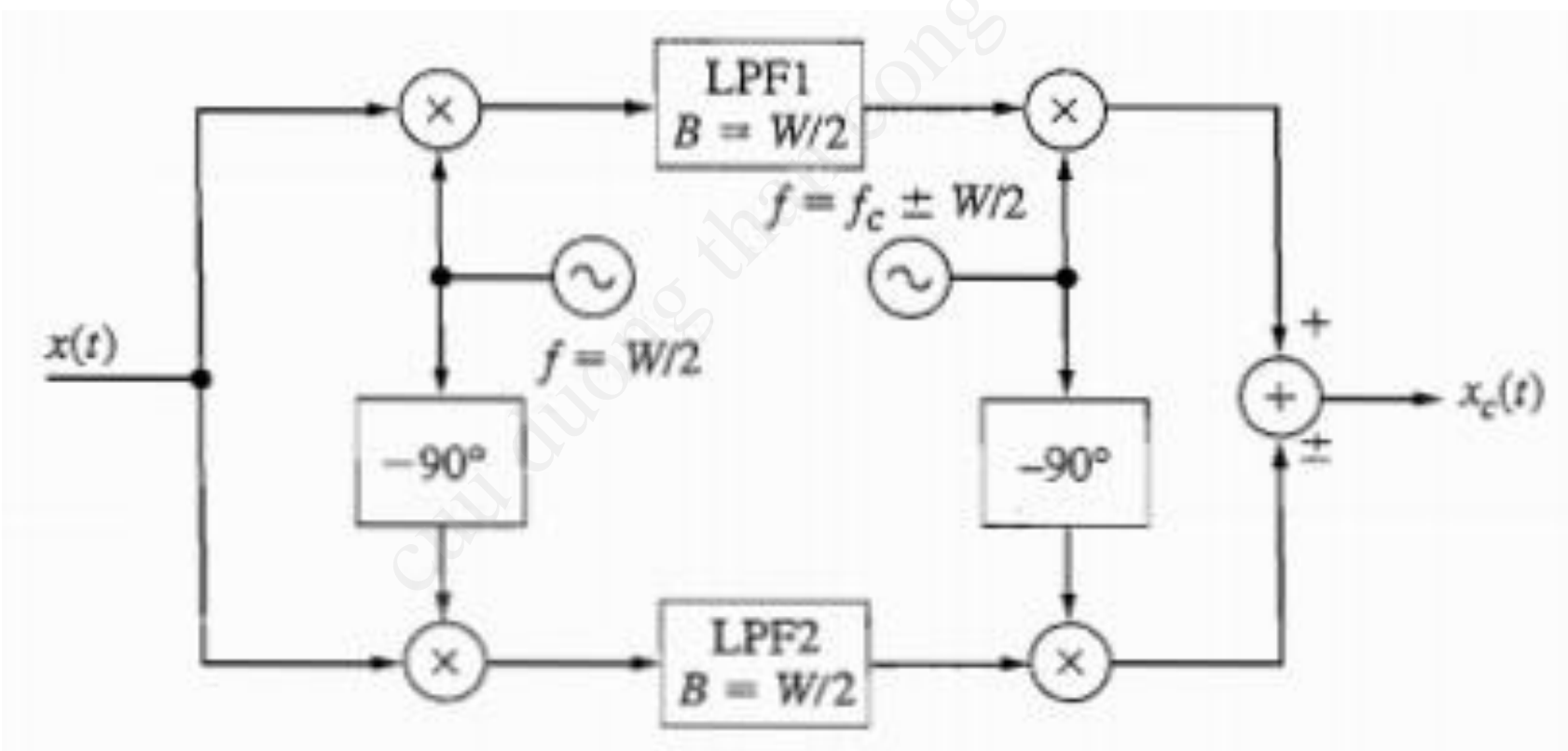
Bộ điều chế vòng (ring)



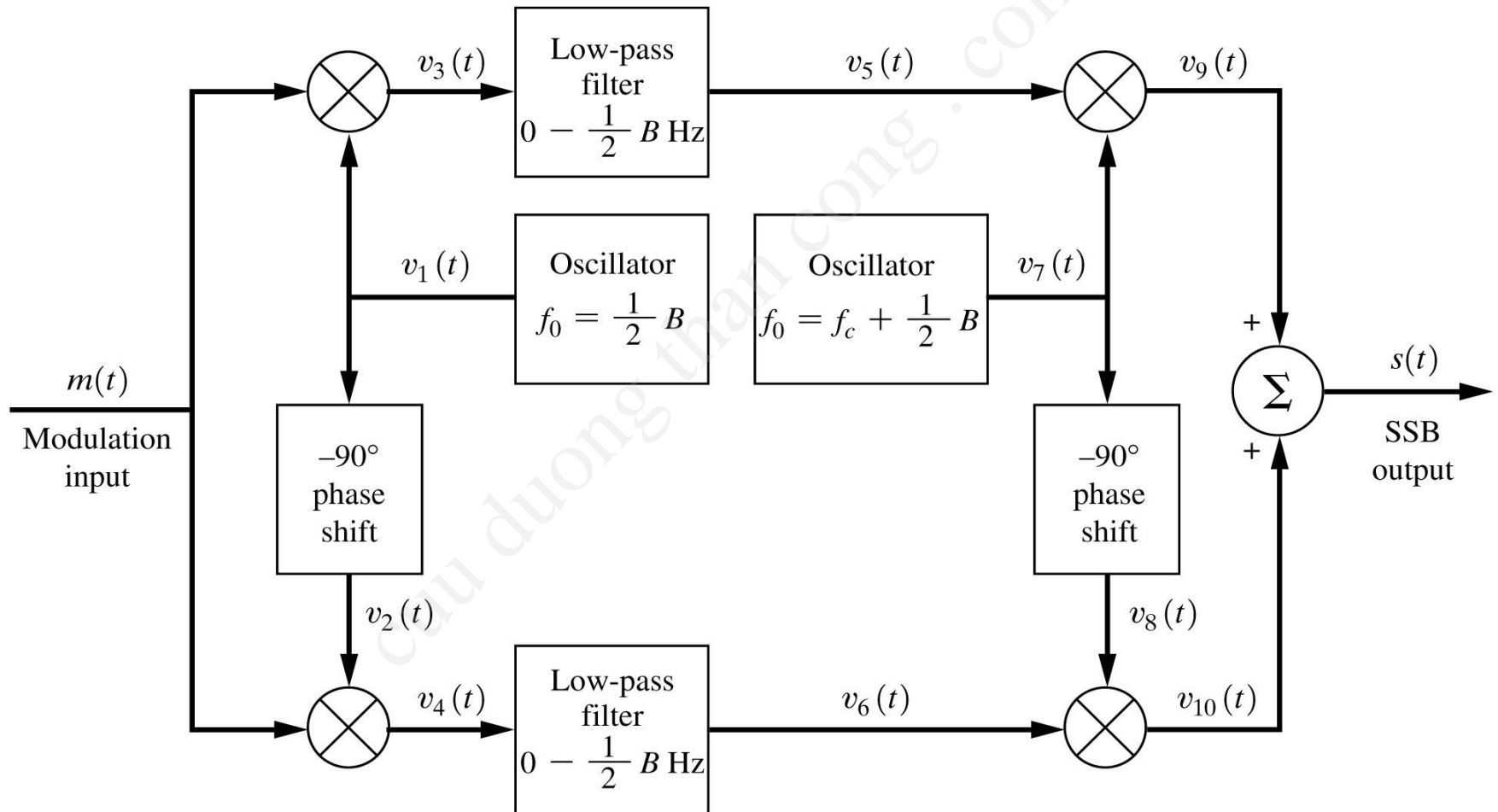
- » Tạo tín hiệu chỉnh lưu toàn kì $v_i(t)$: tương đương nhân với chuỗi xung vuông lưỡng cực tuần hoàn $w_0(t)$

Weaver SSB

- LO1 và LO2 khác nhau.



Weaver SSB (2)



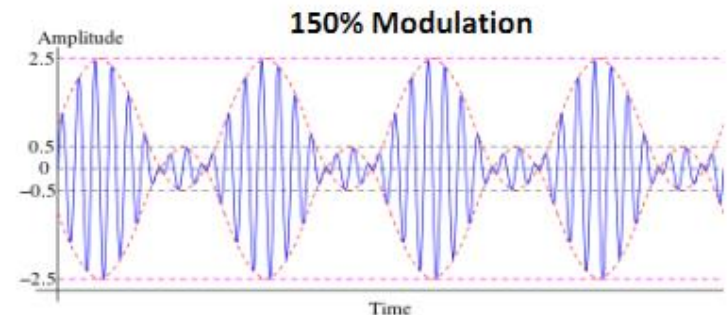
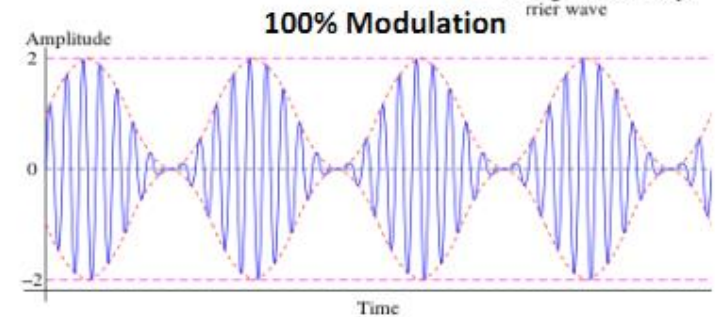
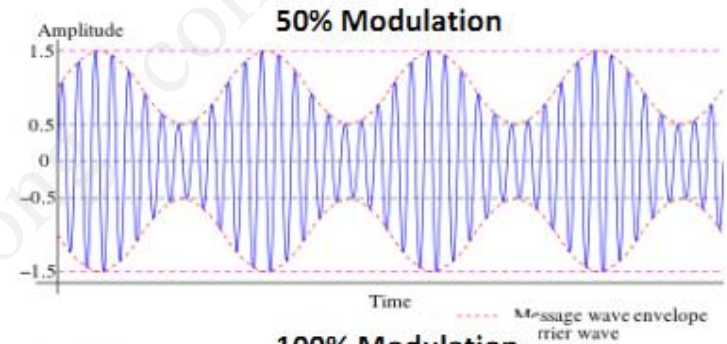


Định nghĩa khác với điều chế AM

- Tín hiệu không chuẩn hóa.
- Chỉ số điều chế phụ thuộc:
 - Tín hiệu
 - Sóng mang

$$y(t) = [1 + m(t)] \cdot A \cos(2\pi f_c t)$$

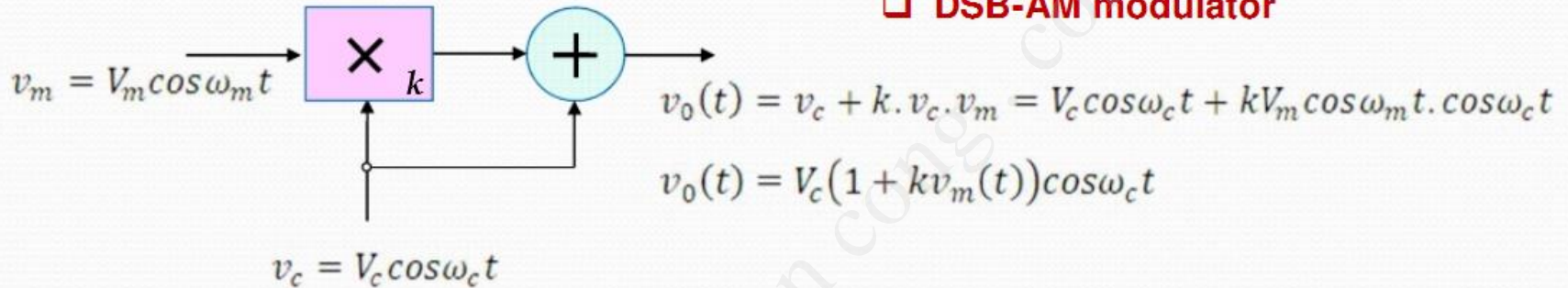
$$\mu = \frac{M}{A}$$





Định nghĩa khác (2)

DSB-AM modulator



In fact, the message signal is not only the sinusoidal wave, so v_m should be presented by an arbitrary function $-1 \leq e(t) \leq 1$:

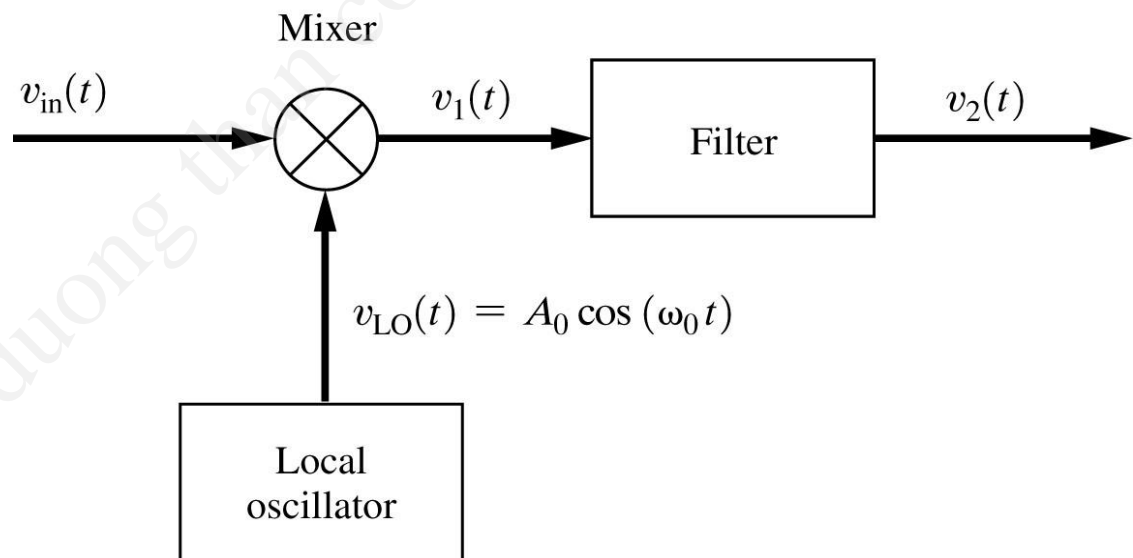
$$v_m(t) = |v_m(t)|_{\max} \times \frac{v_m(t)}{|v_m(t)|_{\max}} \equiv V_m \cdot e(t) \quad \text{with } |e(t)|_{\max} = 1$$

Thus, $v_0(t) = V_c [1 + m \cdot e(t)] \cos \omega_c$ with $m = k \cdot V_m$ is the modulation index

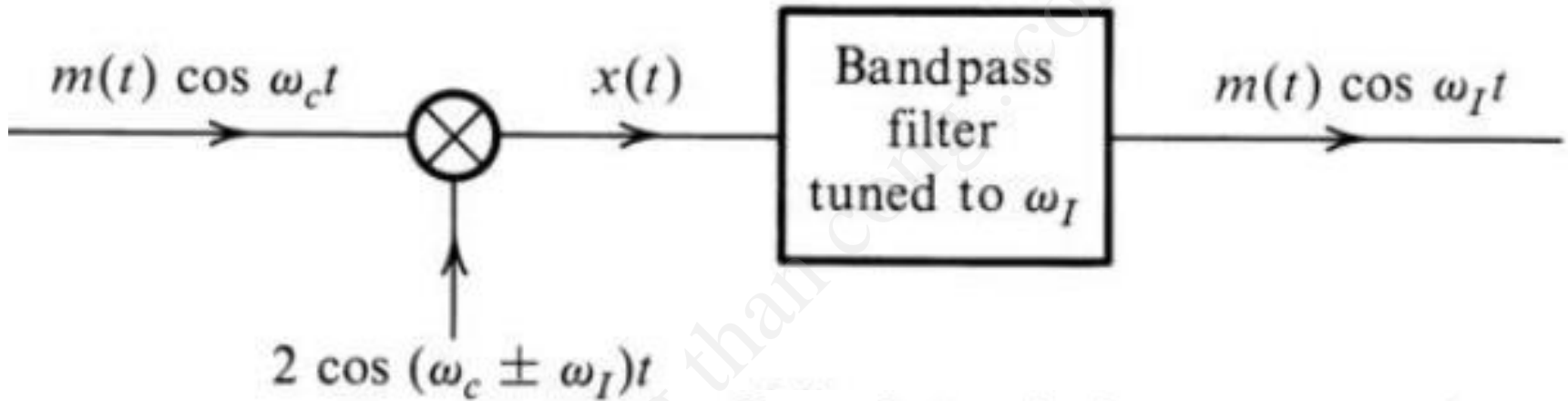


4.7 Đổi tần (bộ trộn) Converter/Mixer

- Nguyên lý hoạt động
- Sơ đồ khối
- Tính chất
- Phân loại
- Tần số ảnh

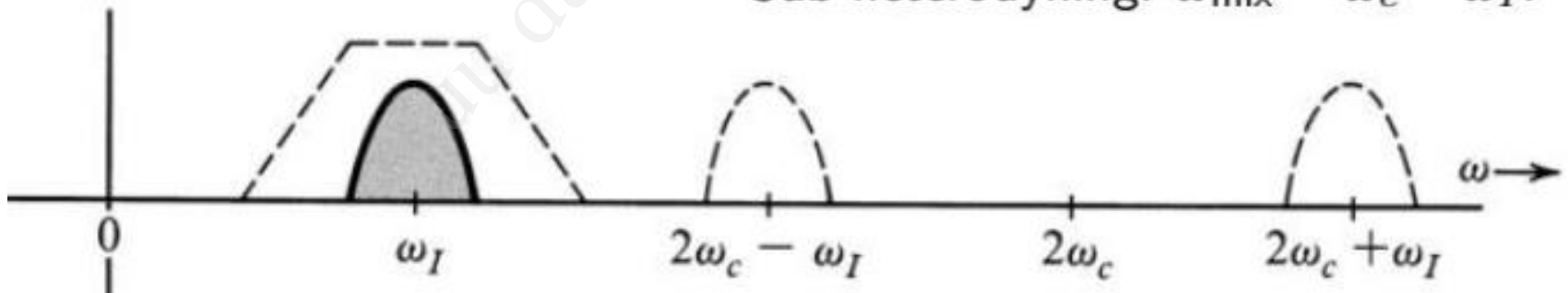


Phân loại bộ đổi tần



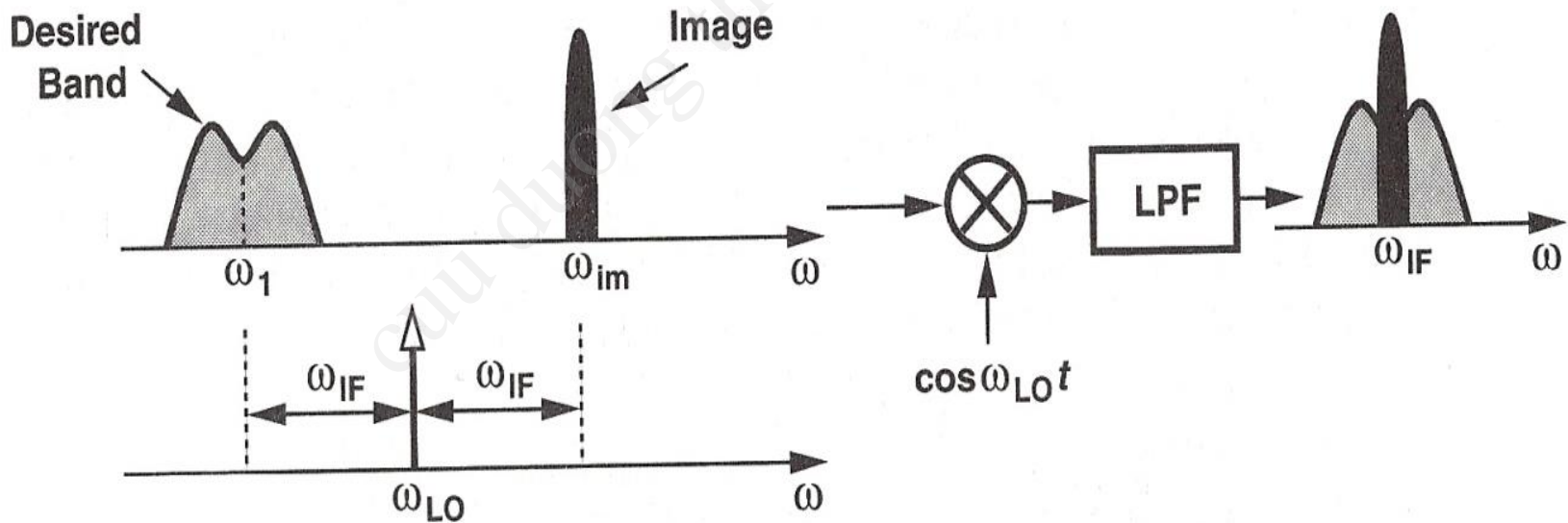
Super-heterodyning: $\omega_{\text{mix}} = \omega_c + \omega_I$.

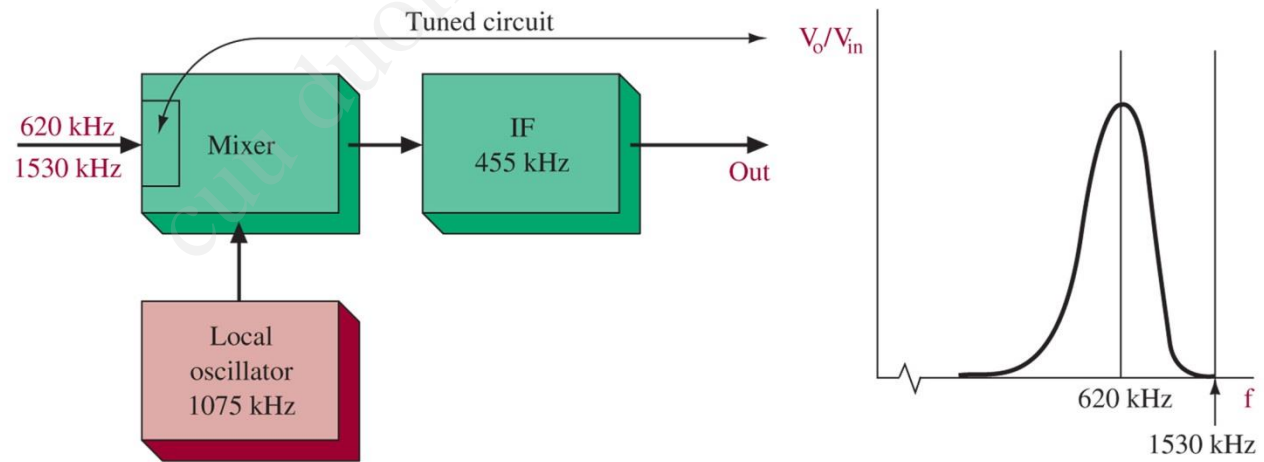
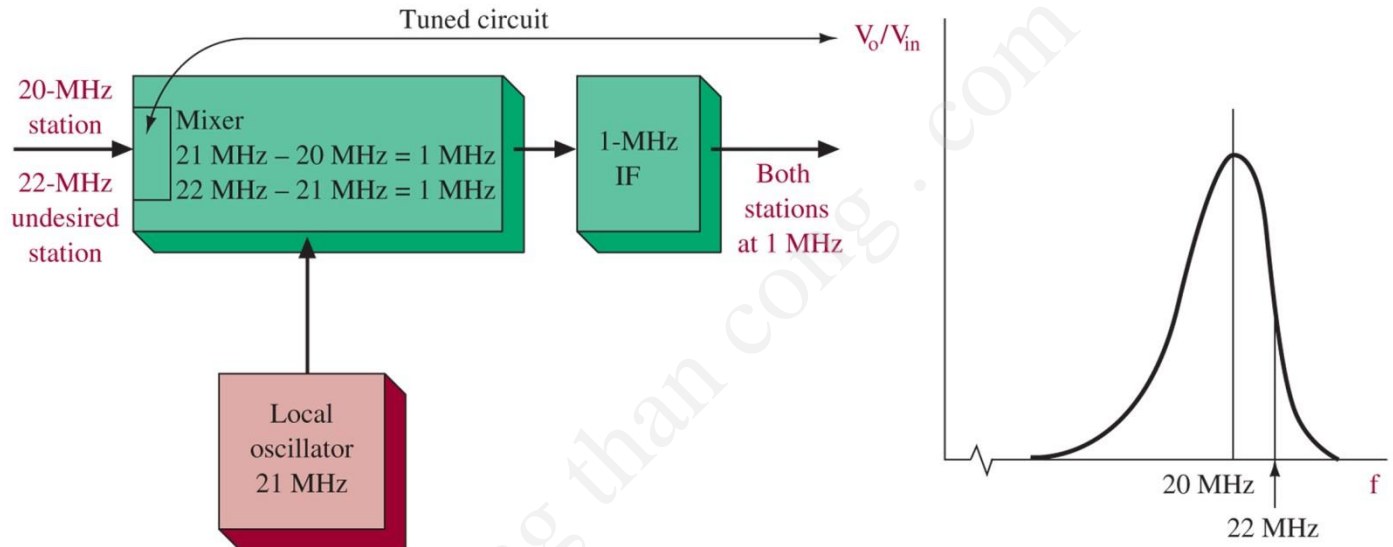
Sub-heterodyning: $\omega_{\text{mix}} = \omega_c - \omega_I$.



Tần số ảnh

- Tần số khác với tần số ban đầu ở ngõ vào bộ đổi tần nhưng lại cho cùng kết quả tần số ở ngõ ra bộ đổi tần.

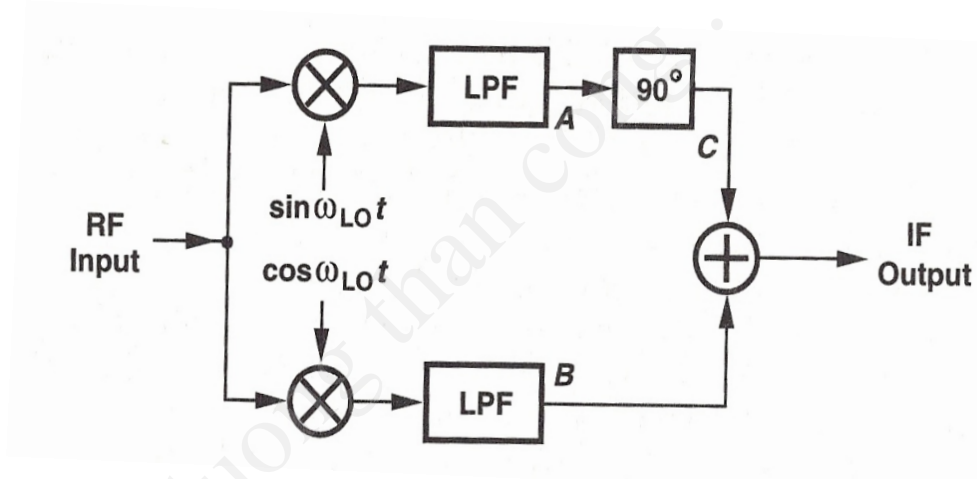






Loại bỏ tần số ảnh (Bộ thu Hartley)

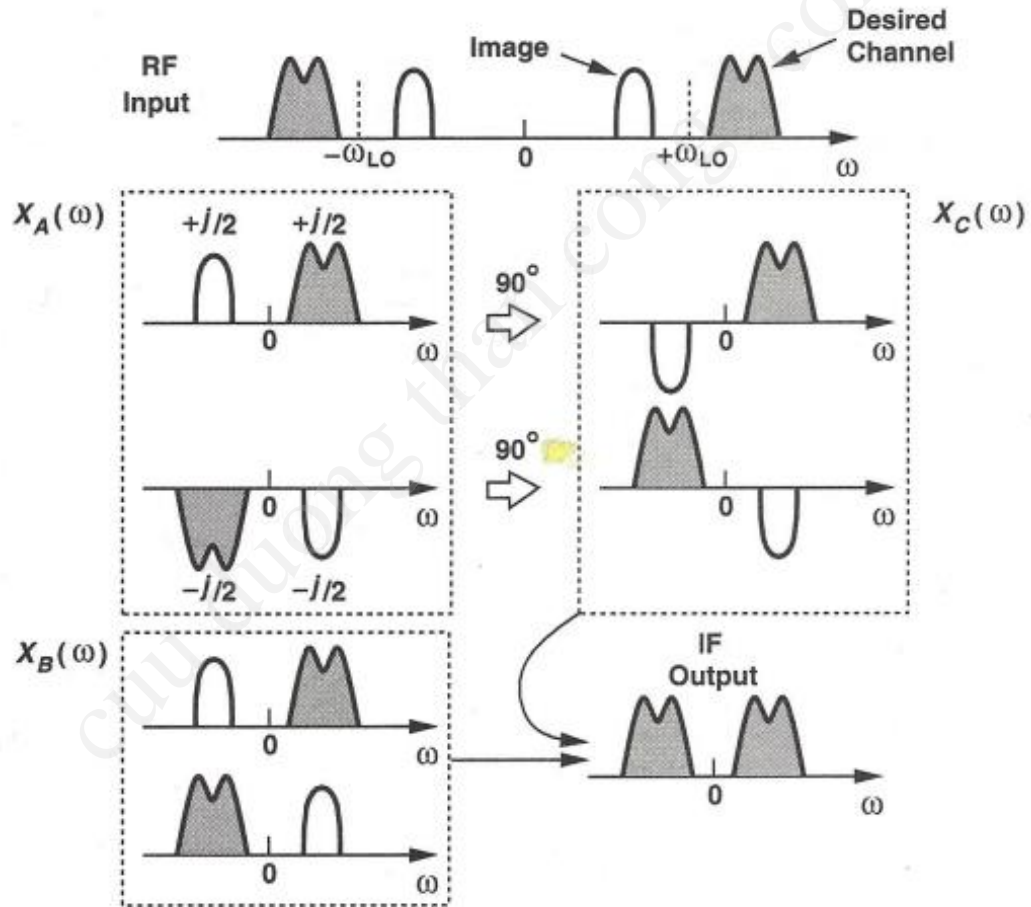
- $$\varphi_{in}(t) = A \cdot \cos(2\pi f_{RF} t) + B \cdot \cos(2\pi f_{IM} t)$$



$$\varphi_A(t) = -\frac{A_{RF}}{2} \sin((\omega_{RF} - \omega_{LO})t) + \frac{A_{im}}{2} \sin((\omega_{LO} - \omega_{im})t)$$

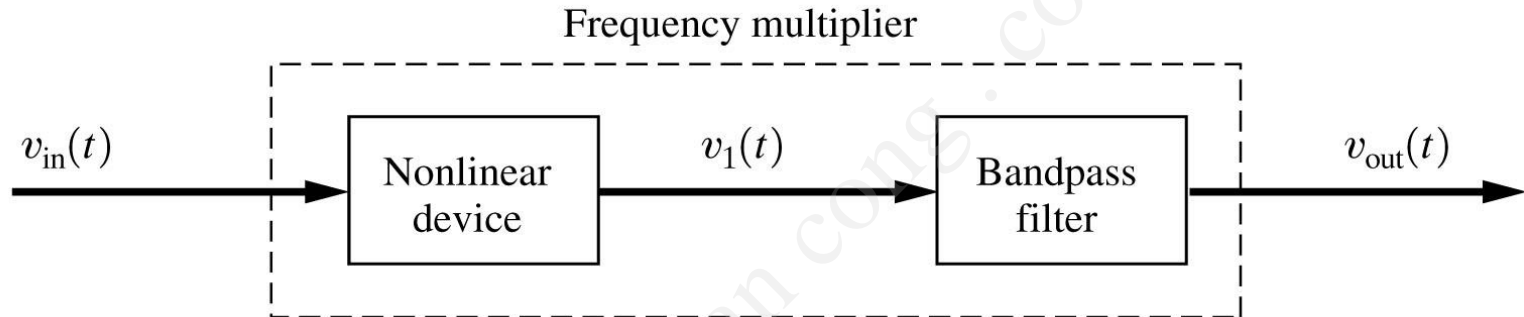
$$\varphi_B(t) = \frac{A_{RF}}{2} \cos((\omega_{LO} - \omega_{RF})t) + \frac{A_{im}}{2} \cos((\omega_{LO} - \omega_{im})t)$$

$$\varphi_C(t) = \frac{A_{RF}}{2} \cos((\omega_{RF} - \omega_{LO})t) - \frac{A_{im}}{2} \cos((\omega_{LO} - \omega_{im})t)$$





Bộ nhân tần (Frequency Multiplier)



$$v_{in}(t) = R(t) \cos(\omega_c t + \theta(t))$$

$$v_1(t) = K_n v_{in}^n(t)$$

$$= K_n R^n(t) \cos^n(\omega_c t + \theta(t))$$

$$v_1(t) = CR^n(t) \cos(n\omega_c t + n\theta(t)) +$$

Other Terms

$$v_o(t) = CR^n(t) \cos(n\omega_c t + n\theta(t))$$



Bộ thu trong điều chế tương tự

- Cộng hưởng tần số sóng mang: lựa chọn tín hiệu muốn thu.
- Lọc thông dải: phân biệt tín hiệu muốn thu từ những tín hiệu thu được khác cùng với nó.
- Khuếch đại: bù trừ suy hao kênh truyền.
- **Giải điều chế**

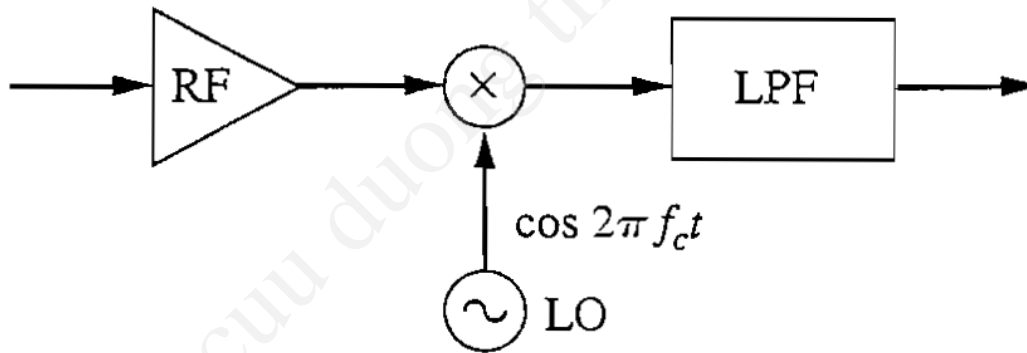


Bộ thu đổi tần trực tiếp (1) (homodyne)

▪ 2 biên

$$x_c(t) = A_c \cos 2\pi(f_c + f_1)t \text{ (upper sideband)} \\ + A'_c \cos 2\pi(f_c - f_2)t \text{ (lower sideband)}$$

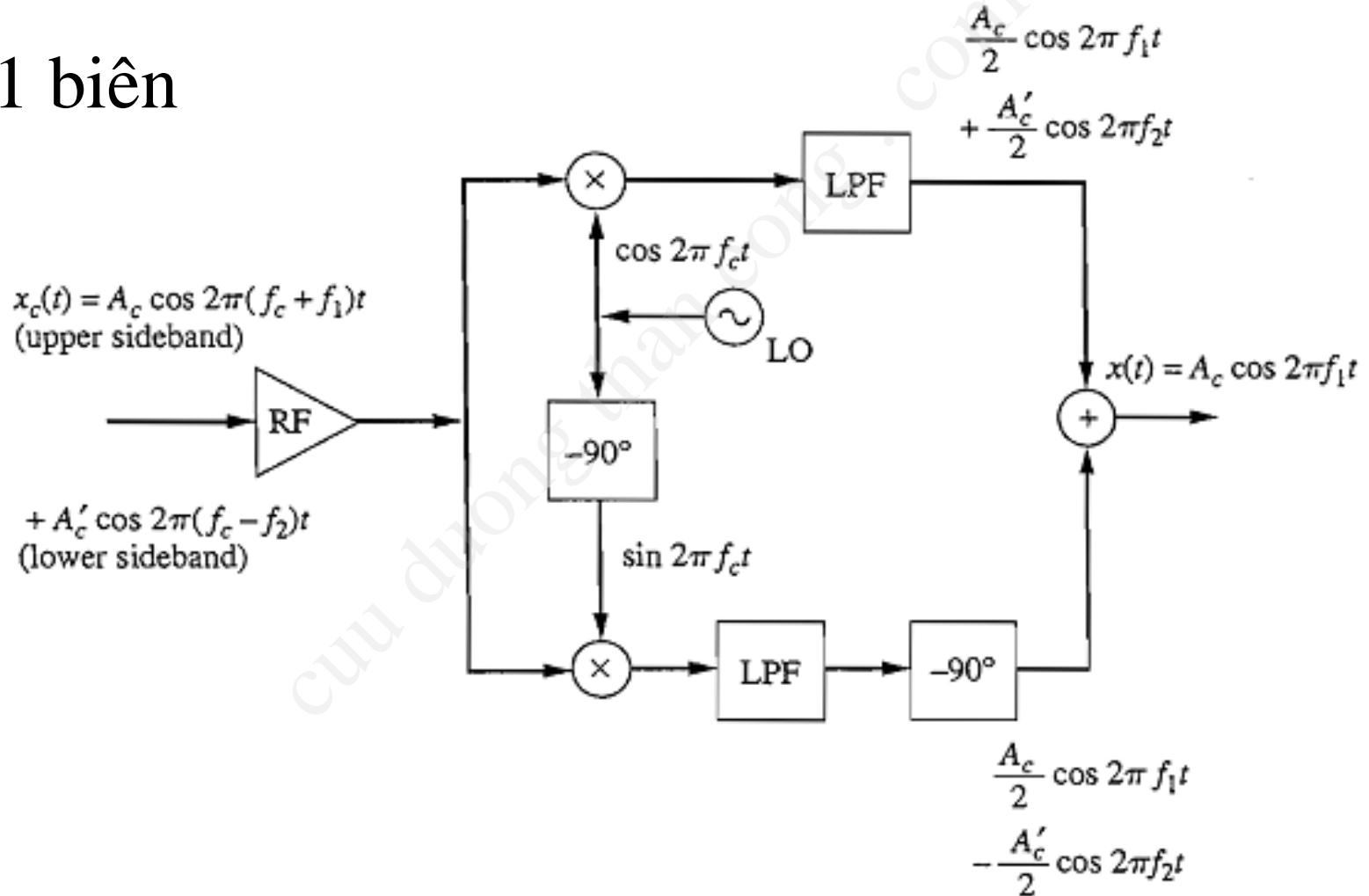
$$x(t) = \frac{A_c}{2} \cos 2\pi f_1 t + \frac{A'_c}{2} \cos 2\pi f_2 t$$





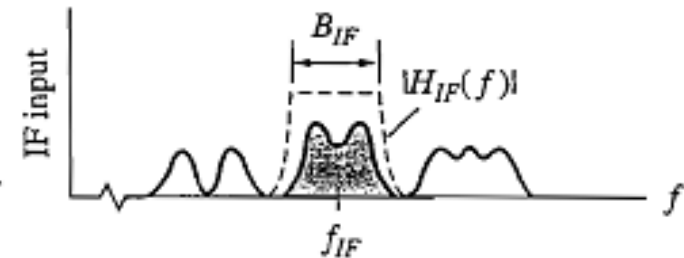
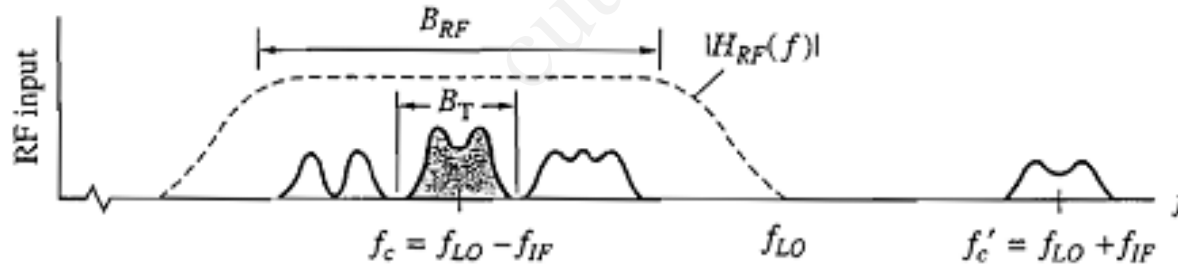
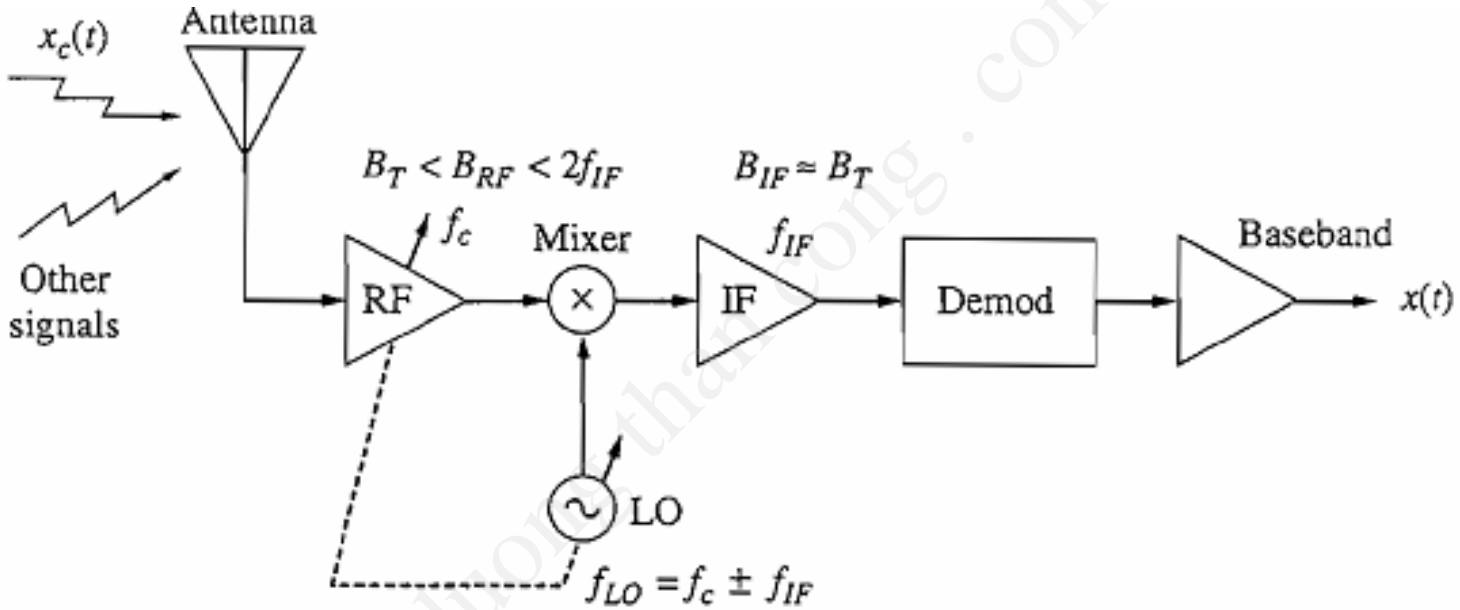
Bộ thu đổi tần trực tiếp (2) (homodyne)

- 1 biên





Bộ thu đổi tần trung gian (superheterodyne)





Vô tuyến quảng bá AM/FM

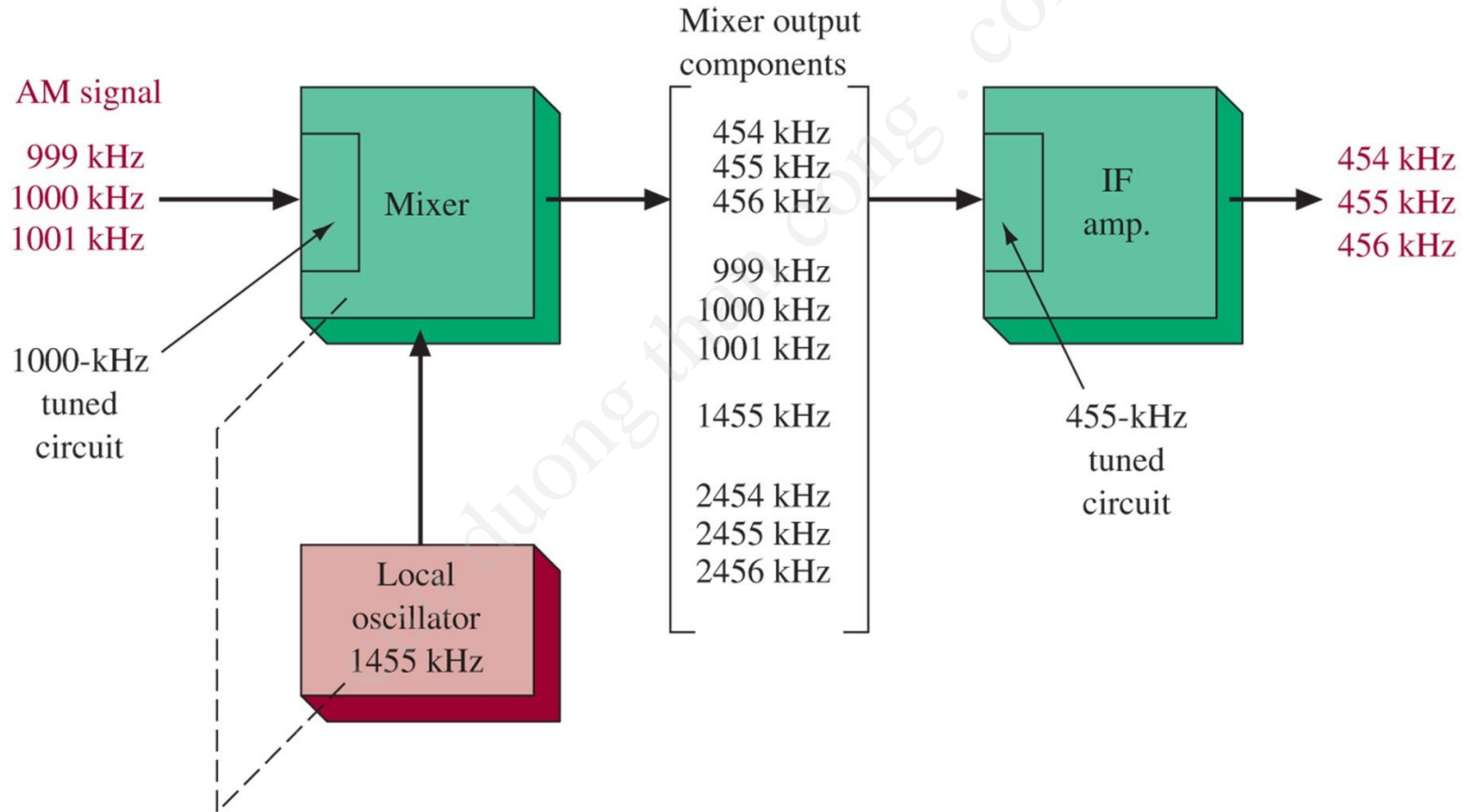
	AM	FM
Carrier frequency	540–1600 kHz	88.1–107.9 MHz
Carrier spacing	10 kHz	200 kHz
Intermediate frequency	455 kHz	10.7 MHz
IF bandwidth	6–10 kHz	200–250 kHz
Audio bandwidth	3–5 kHz	15 kHz

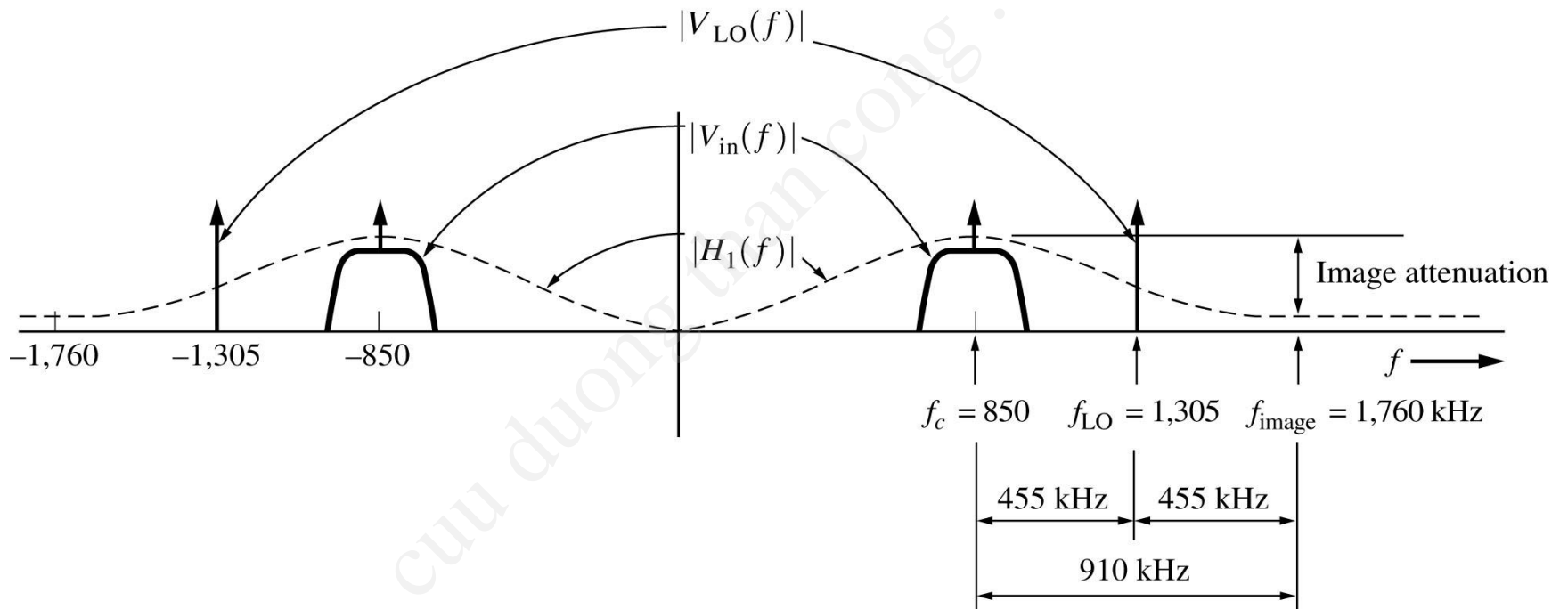


- Tìm số đài tối đa?
- Tìm tần số dao động nội?
- Tìm phạm vi tần số ảnh?

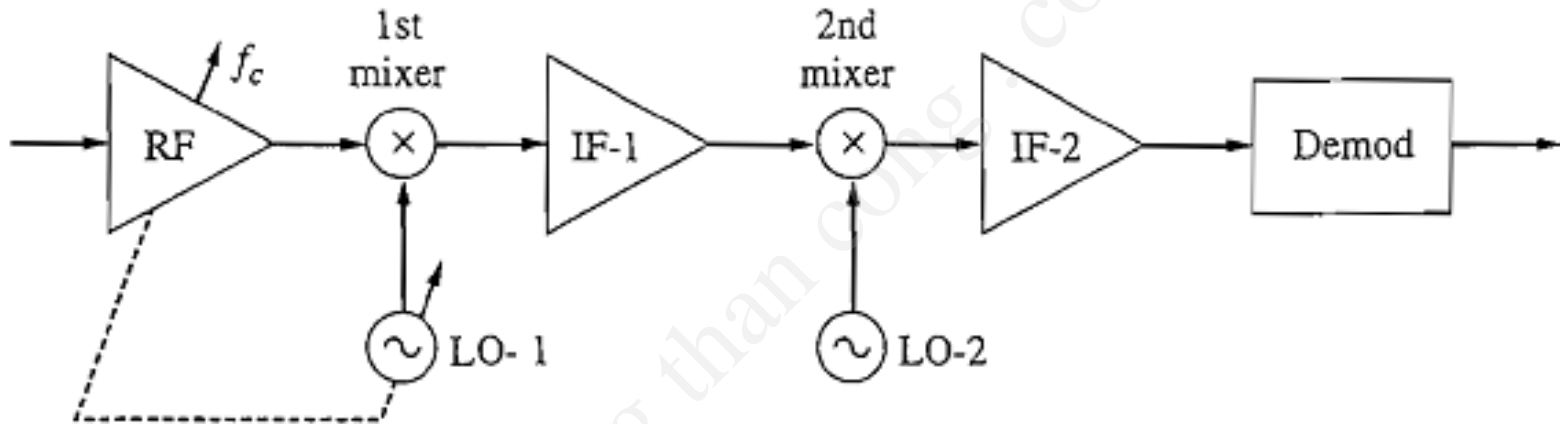


Ví dụ 18



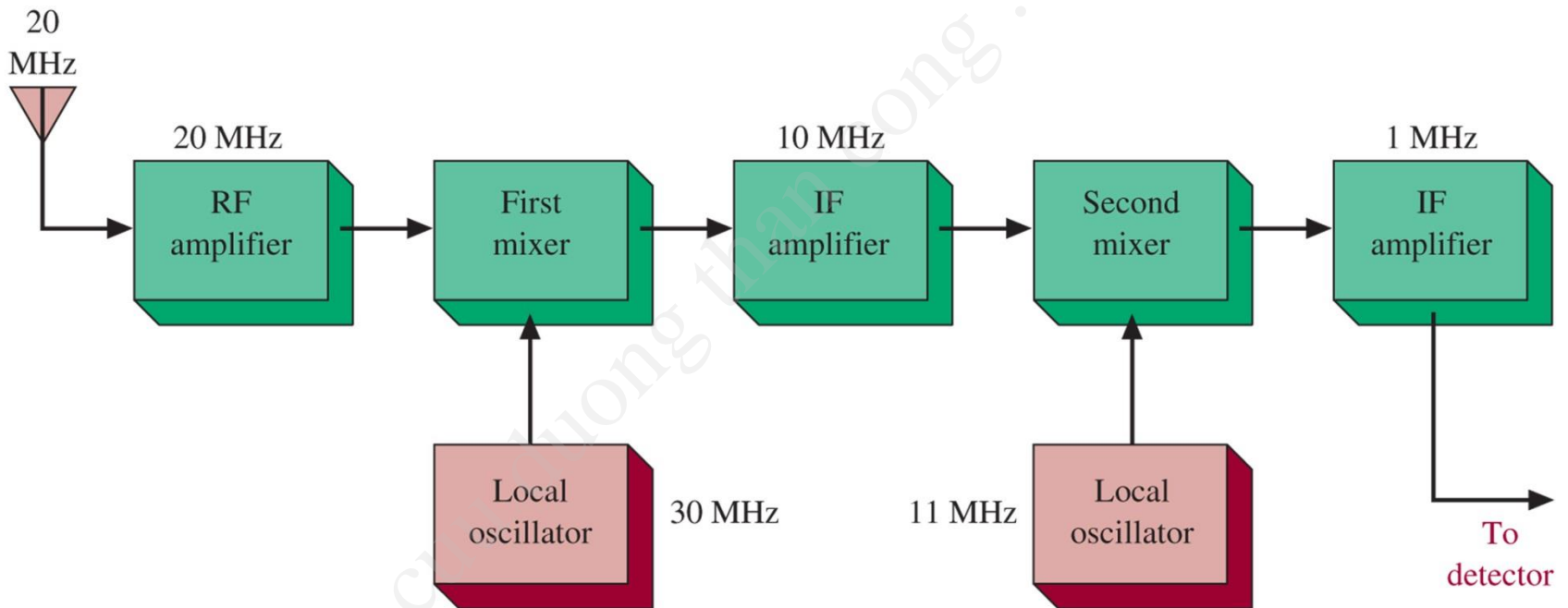


Bộ thu đổi tần hai lần

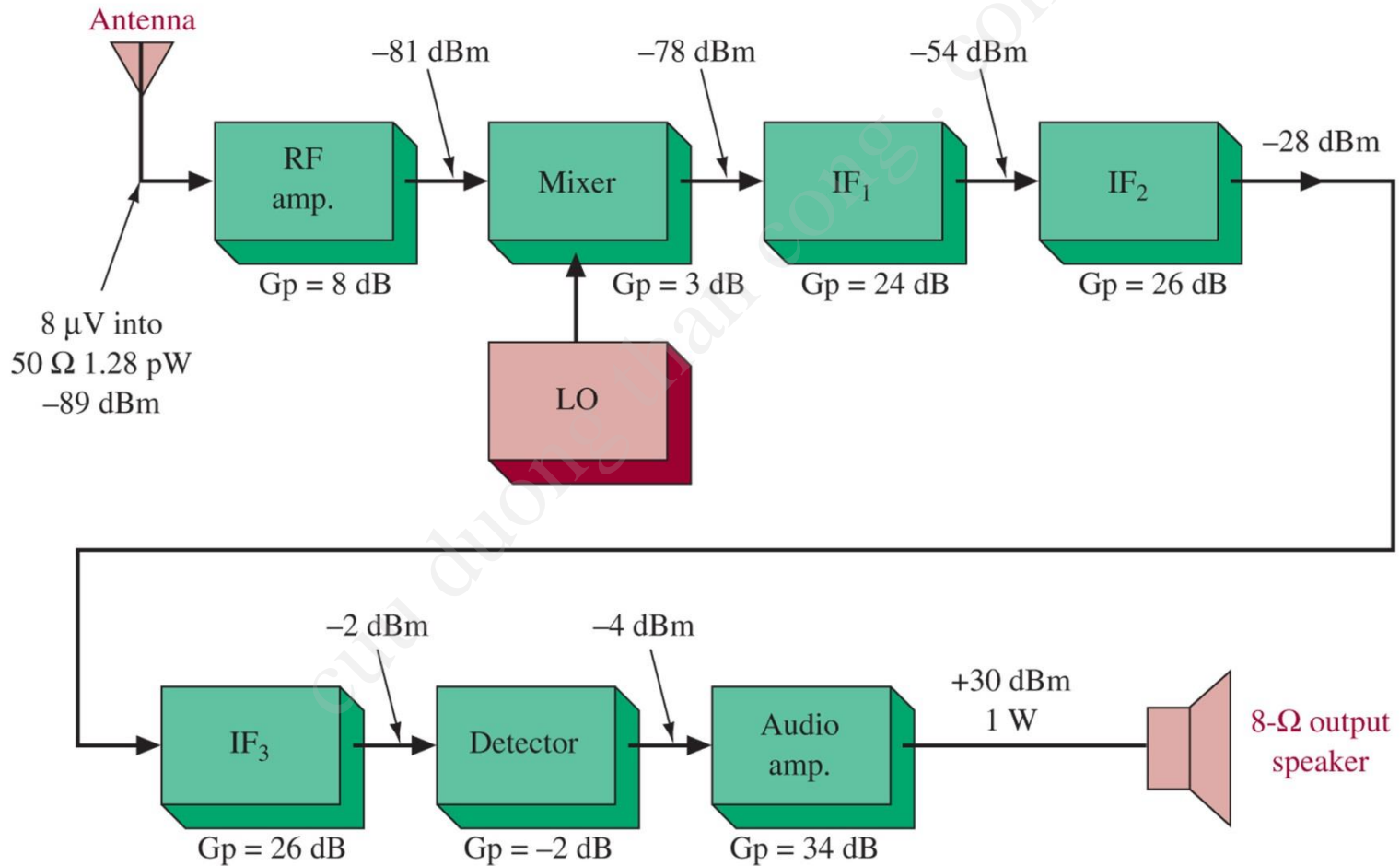


- IF-1: loại tần số ảnh lớn
- IF-2: dễ thiết kế bộ lọc loại bỏ tín hiệu kênh kề

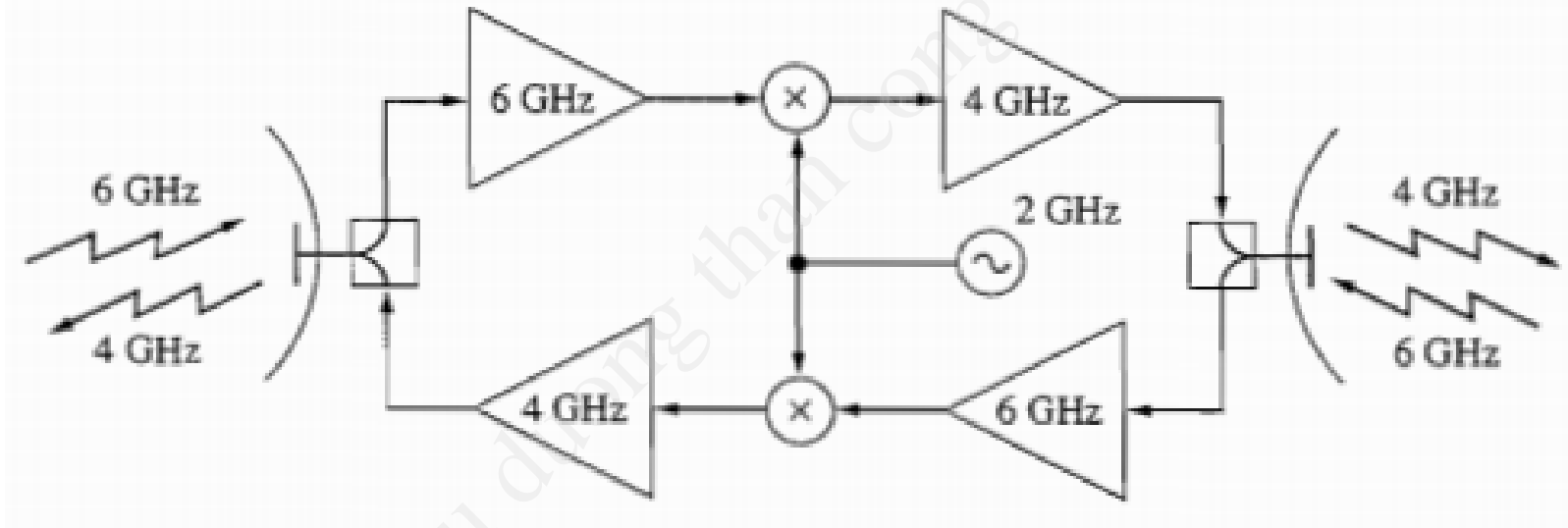
Ví dụ 19

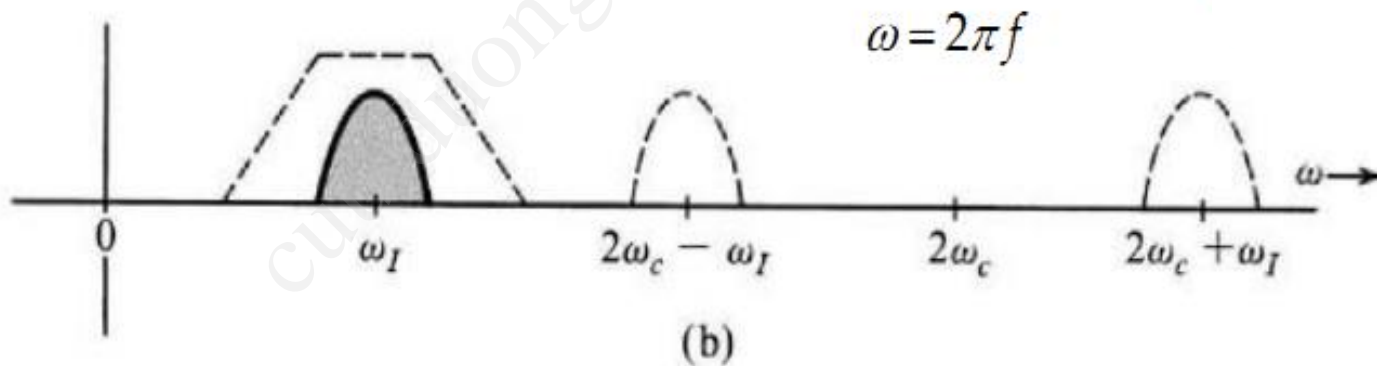
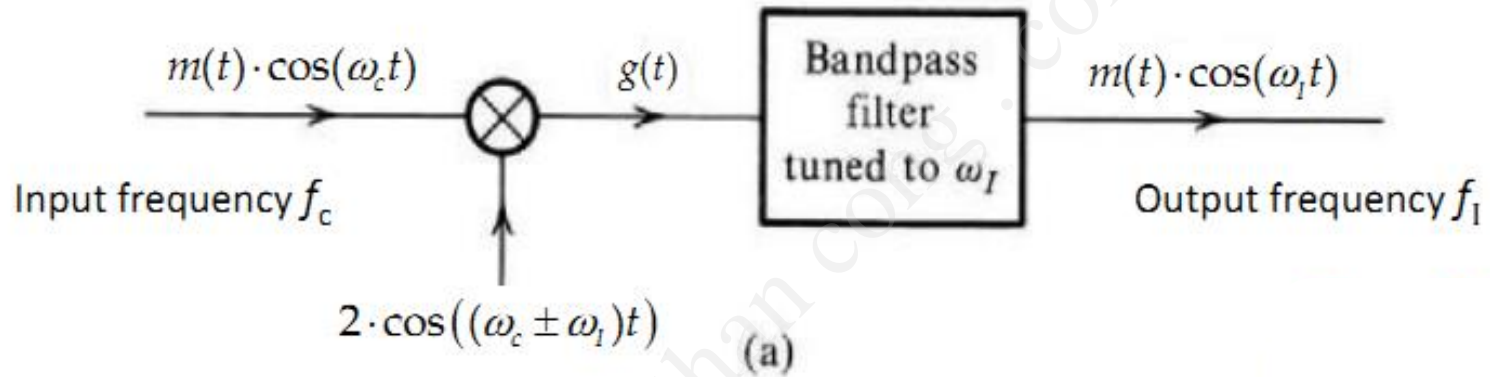


Ví dụ 20



Bộ phát đáp vệ tinh





Note: Super-heterodyning: $\omega_c + \omega_I$; Sub-heterodyning: $\omega_c - \omega_I$



Các thuật ngữ

- AM/AM-LC/DSB-AM
- DSB/DSB-SC/DSB-AM-SC
- SSB/SSB-AM
- USSB/USB
- LSSB/LSB



Tóm tắt

- Đặc tính và phân loại điều chế sóng mang liên tục tuyến tính?
- Thông số, biểu thức, dạng sóng, phổ, băng thông, công suất và sơ đồ điều chế/giải điều chế?
- Mối quan hệ giữa các loại điều chế?
- So sánh ưu nhược điểm của mỗi loại điều chế?
- Ứng dụng của mỗi loại điều chế?
- Biến đổi Hilbert dùng trong SSB?
- Nguyên lý hoạt động, tính chất và ứng dụng của bộ đổi tần?
- Tần số ảnh và cách khắc phục?
- Sự giống nhau và khác nhau giữa đổi tần và điều chế?
- Sự giống nhau và khác nhau giữa các bộ lọc trong điều chế SSB, giải điều chế đồng bộ, đổi tần và lọc thu cao tần?



Bài tập 1

- Cho tín hiệu sau điều chế có phổ biên độ (tần số dương) $|Y(F)| = \delta(F - 11@) + 5\delta(F - 13@) + \delta(F - 15@)$ ($F:KHz$). Xác định 1 biểu thức thích hợp của tín hiệu cần điều chế (thỏa điều kiện chuẩn hóa) và sóng mang trong các trường hợp sau:
 - a) Điều chế biên độ AM.
 - b) Điều chế hai biên triệt sóng mang DSB.
 - c) Điều chế biên trên USSB.
 - d) Điều chế biên dưới LSSB.



Bài tập 2

- Cho phổ biên độ (tần số dương) của tín hiệu sau điều chế có dạng $|X_c(F)| = 10\delta(F - 48) + 9\delta(F - 50) + 10\delta(F - 52)$ (F:Hz). Xác định 1 loại điều chế tương tự kèm thông số thích hợp cùng biểu thức của sóng mang (có biên độ và tần số càng nhỏ càng tốt) và tín hiệu thông tin chuẩn hóa cần điều chế.



Bài tập 3

- Cho tín hiệu đơn tần cần điều chế $x(t) = 0.8\cos 4\pi t$ (t:ms) và sóng mang $10\sin 2\pi t$ (t:ms).
 - a) Tín hiệu $x(t)$ được điều chế biên độ (AM) với chỉ số điều chế $\mu = 0.5$. Vẽ dạng sóng của tín hiệu sau điều chế.
 - b) Tín hiệu $x(t)$ được điều chế hai biên triệt sóng mang (DSB). Tính công suất của tín hiệu sau điều chế.
 - c) Tín hiệu $x(t)$ được điều chế biên trên (USSB). Viết biểu thức (theo thời gian) của tín hiệu sau điều chế.
 - d) Thiết kế 1 sơ đồ nguyên lý thực hiện điều chế DSB từ các bộ điều chế AM (chỉ số điều chế μ , bộ tạo sóng mang nằm trong bộ điều chế), bộ khuếch đại và bộ cộng.



Bài tập 4

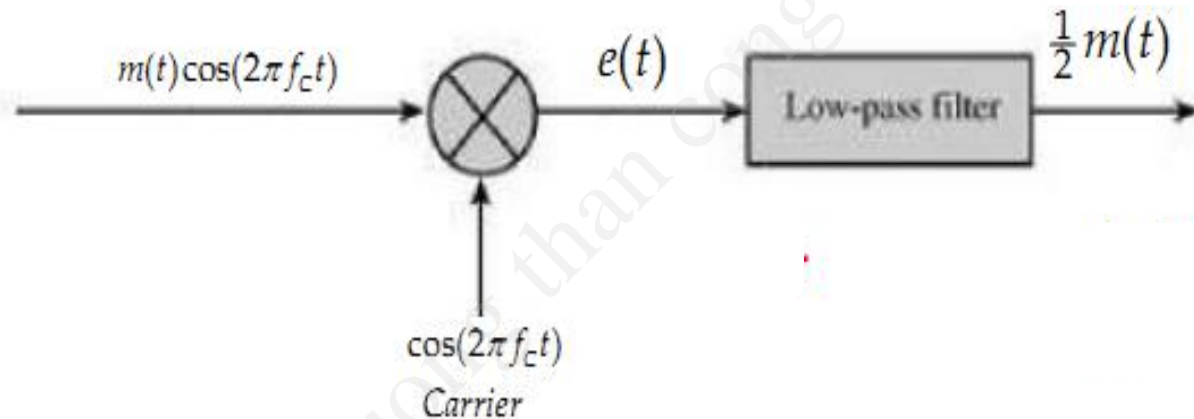
- Cho sóng mang có biểu thức $10\cos 1000\pi t$ (t:ms).
- a) Cho tín hiệu $x(t) = \cos 2\pi t$ (t:ms) được điều chế biên độ (AM) 80% rồi đưa qua kênh truyền có suy hao toàn tuyến là 20dB. Tính tỉ số công suất tín hiệu trên nhiễu tại ngõ vào bộ lọc thu lý tưởng, giả sử nhiễu trên kênh truyền được mô hình như AWGN với hàm mật độ phổ công suất hai phía $G_n(f) = N_0/2 = 10^{-10}$ W/Hz.
- b) Cho tín hiệu $x(t) = \sin^2 2\pi t$ (t:ms) được điều chế hai biên triệt sóng mang (DSB). Vẽ dạng sóng và vẽ phổ biên độ (tần số dương) của tín hiệu sau điều chế.
- c) Cho tín hiệu $x(t) = 0.5\cos 2\pi t + 0.5\sin 2\pi t$ (t:ms) được điều chế biên dưới (LSSB). Xác định biểu thức (theo thời gian) và tính công suất của tín hiệu sau điều chế.



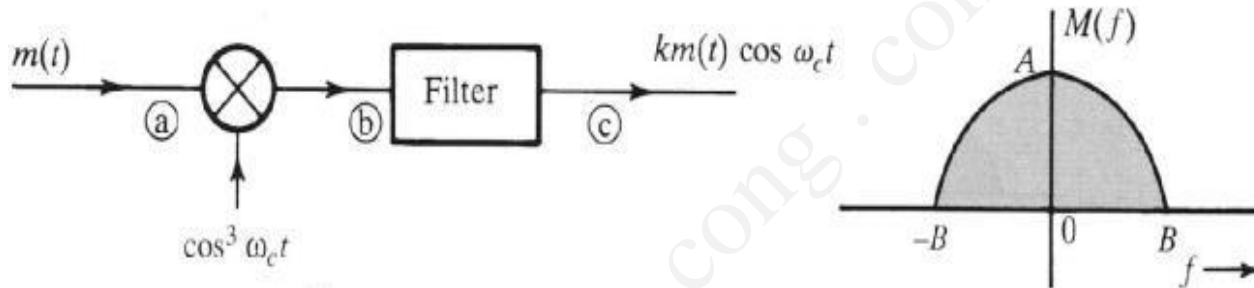
Bài tập 5

- Cho hệ thống thu vô tuyến quảng bá đổi tần AM có các thông số sau: tần số sóng mang f_c của mỗi đài AM thay đổi từ 540KHz đến 1600KHz với khoảng cách giữa hai sóng mang liên tiếp là 10KHz.
 - a) Trong trường hợp tần số trung tần $f_{IF} = 455\text{KHz}$ và tần số bộ dao động nội $f_{LO} > f_c$, xác định phạm vi thay đổi của tần số bộ dao động nội F_{LO} để có thể thu tối đa các đài AM và xác định phạm vi ảnh hưởng của tần số ảnh.
 - b) Tìm điều kiện của tần số trung tần f_{IF} để phạm vi tần số ảnh nằm ngoài toàn bộ băng tần AM.

Tín hiệu băng gốc $m(t)$ có băng thông $W \ll f_c$.

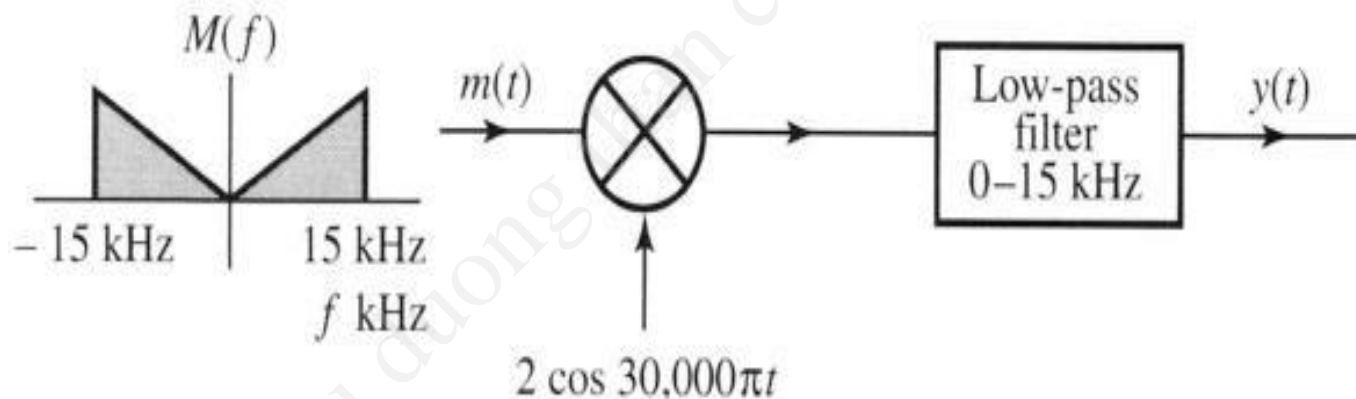


- 1) Vẽ phổ biên độ của tín hiệu $e(t)$.
- 2) Tìm băng thông của bộ LPF.
- 3) Cho biết ứng dụng của hệ thống trên.



- 1) Describe the filter you would need to generate an output of $km(t) \cdot \cos(\omega_c t + \theta)$, where $m(t)$ is a signal band-limited to B Hertz and k is a constant.
- 2) Determine the signal spectra at nodes labeled “b” and “c,” and indicate the frequency bands occupied by at the spectra at both nodes.
- 3) What is the minimum usable value of ω_c possible?
- 4) Would this modulator scheme work if the carrier output were changed to $\sin^3(\omega_c t)$ instead? Explain clearly the reason for your answer.
- 5) Will the same modulator scheme work if the carrier generator output were $\cos^n(\omega_c t)$, for any integer $n \geq 2$, instead? If yes, why does it?

- The system shown below is used for scrambling audio signals (although it is not a very sophisticated scrambler). The output $y(t)$ is the scrambled version of the input $m(t)$.



- Sketch the spectrum of the scrambled output signal $y(t)$ on the graph below.
- Suggest a method for descrambling $y(t)$ to recover $m(t)$.

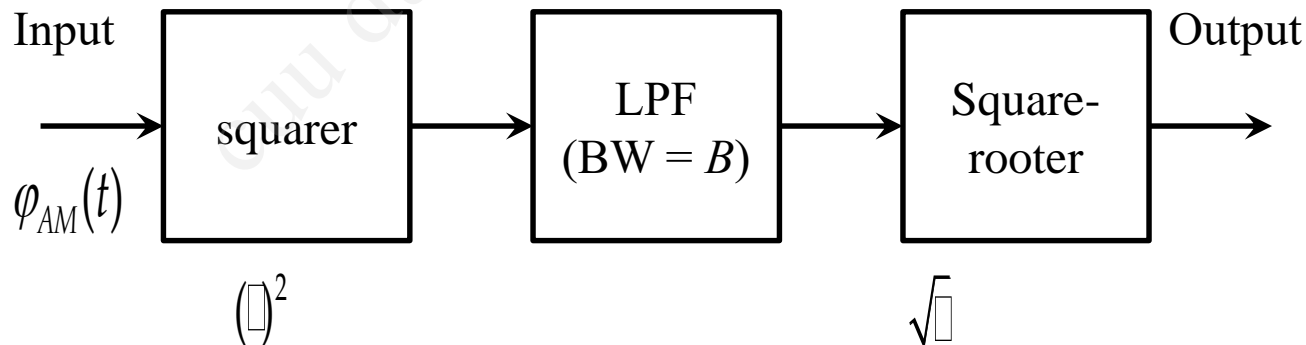


Bài tập 9

A conventional AM signal of the form

$$\varphi_{AM}(t) = A[1 + km(t)] \cdot \cos(2\pi f_c t)$$

is applied to the system shown below. Assuming $|m(t)| < 1$ for all time t , that $m(t)$ is band limited to within the range $-B \leq f \leq B$, and the carrier frequency is $f_c > 2B$. Prove that $m(t)$ can be extracted from the system's output.





Bài tập 10

- 4.2-1** Let $x(t) = \cos 2\pi f_m t u(t)$ with $f_m \ll f_c$. Sketch $x_c(t)$ and indicate the envelope when the modulation is AM with $\mu < 1$, AM with $\mu > 1$, and DSB. Identify locations where any phase reversals occur.
- 4.2-2** Do Prob. 4.2-1 with $x(t) = 0.5u(t) - 1.5u(t - T)$ with $T \gg 1/f_c$.



Bài tập 11

- 4.2-3*** If $x(t) = \cos 200\pi t$, find B_T and S_T for the AM modulated signal assuming $A_c = 10$ and $\mu = 0.6$. Repeat for DSB transmission.
- 4.2-4** The signal $x(t) = \text{sinc}^2 40t$ is to be transmitted using AM with $\mu < 1$. Sketch the double-sided spectrum of $x_c(t)$ and find B_T .



Bài tập 12

- 4.2-5 Calculate the transmitted power of an AM wave with 100 percent tone modulation and peak envelope power 32 kW.
- 4.2-6 Consider a radio transmitter rated for 4 kW peak envelope power. Find the maximum allowable value of μ for AM with tone modulation and $S_T = 1$ kW.



Bài tập 13

4.2-7

The multitone modulating signal $x(t) = 3K(\cos 8\pi t + 2 \cos 20\pi t)$ is input to an AM transmitter with $\mu = 1$ and $f_c = 1000$. Find K so that $x(t)$ is properly normalized, draw the positive-frequency line spectrum of the modulated wave, and calculate the upper bound on $2P_{sb}/S_T$.

cuu duong than cong .com



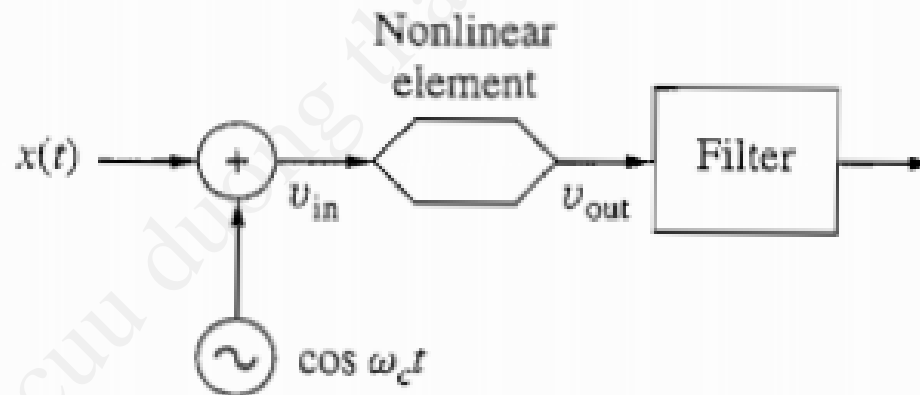
Bài tập 14

- 4.2-9* The signal $x(t) = 4 \sin \frac{\pi}{2}t$ is transmitted by DSB. What range of carrier frequencies can be used?
- 4.2-10 The signal in Prob. 4.2-9 is transmitted by AM with $\mu = 1$. Draw the phasor diagram. What is the minimum amplitude of the carrier such that phase reversals don't occur?
- 4.2-11 The signal $x(t) = \cos 2\pi 40t + \frac{1}{2} \cos 2\pi 90t$ is transmitted using DSB. Sketch the positive-frequency line spectrum and the phasor diagram.

$$0.01 < \frac{B_T}{f_c} < 0.1$$

4.3-1

The signal $x(t) = \frac{1}{2} \cos 2\pi 70t + \frac{1}{3} \cos 2\pi 120t$ is input to the square-law modulator system given in Fig. 4.3-3a (p. 160) with a carrier frequency of 10 kHz. Assume $v_{\text{out}} = a_1 v_{\text{in}} + a_2 v_{\text{in}}^2$. (a) Give the center frequency and bandwidth of the filter such that this system will produce a standard AM signal. (b) Determine values of a_1 and a_2 such that $A_c = 10$ and $\mu = \frac{1}{2}$.



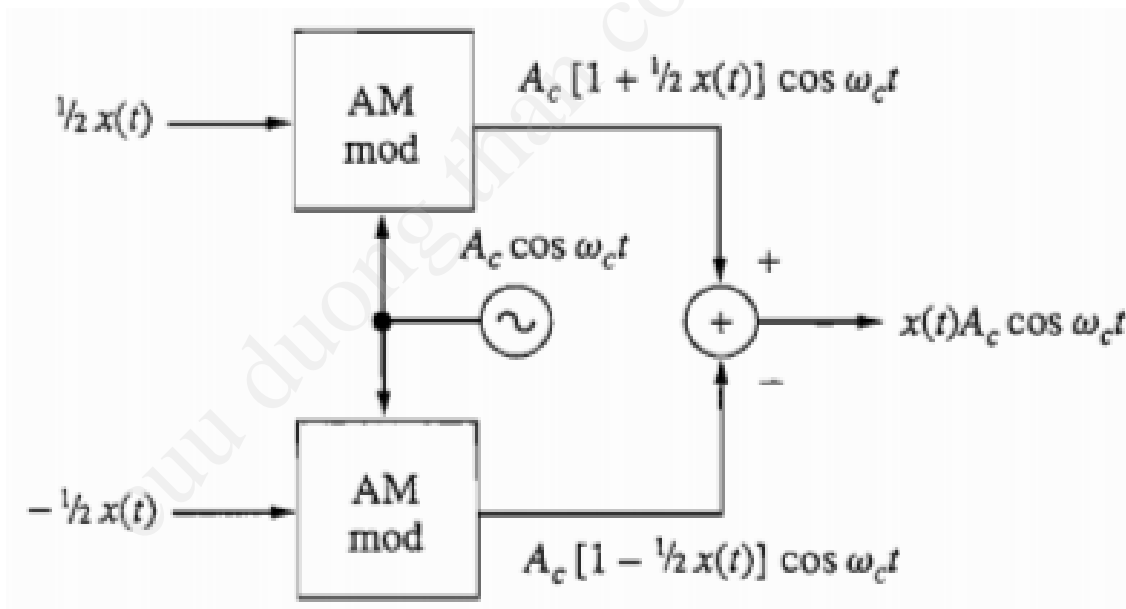


Bài tập 16

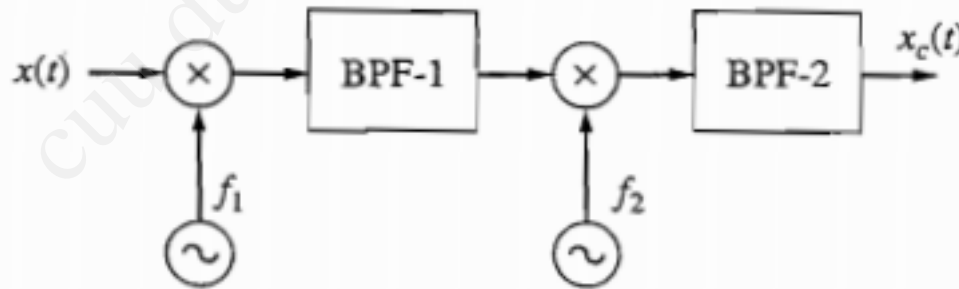
- 4.3-2*** A modulation system with nonlinear elements produces the signal $x_c(t) = aK^2(v(t) + A \cos \omega_c t)^2 - b(v(t) - A \cos \omega_c t)^2$. If the carrier has frequency f_c and $v(t) = x(t)$, show that an appropriate choice of K produces DSB modulation without filtering. Draw a block diagram of the modulation system.
- 4.3-3** Find K and $v(t)$ so that the modulation system from Prob. 4.3-2 produces AM without filtering. Draw a block diagram of the modulation system.

4.3-6

Find the output signal in Fig. 4.3-5 (p. 161) when the AM modulators are **unbalanced**, so that one nonlinear element has $v_{\text{out}} = a_1 v_{\text{in}} + a_2 v_{\text{in}}^2 + a_3 v_{\text{in}}^3$ while the other has $v_{\text{out}} = b_1 v_{\text{in}} + b_2 v_{\text{in}}^2 + b_3 v_{\text{in}}^3$.



- 4.4-5** The system in Fig. 4.4-5 produces USSB with $f_c = f_1 + f_2$ when the lower cutoff frequency of the first BPF equals f_1 and the lower cutoff frequency of the second BPF equals f_2 . Demonstrate the system's operation by taking $X(f)$ as in Fig. 4.4-4a and sketching spectra at appropriate points. How should the system be modified to produce LSSB?
- 4.4-6** Suppose the system in Fig. 4.4-5 is designed for USSB as described in Prob. 4.4-5. Let $x(t)$ be a typical voice signal, so $X(f)$ has negligible content outside $200 < |f| < 3200$ Hz. Sketch the spectra at appropriate points to find the maximum permitted value of f_c when the transition regions of the BPFs must satisfy $2\beta \geq 0.01f_{co}$.





Bài tập 19

4.4-7*

The signal $x(t) = \cos 2\pi 100t + 3 \cos 2\pi 200t + 2 \cos 2\pi 400t$ is input to an LSSB amplitude modulation system with a carrier frequency of 10 kHz. Sketch the double-sided spectrum of the transmitted signal. Find the transmitted power S_T and bandwidth B_T .

4.4-8

Draw the block diagram of a system that would generate the LSSB signal in Prob. 4.4-7, giving exact values for filter cutoff frequencies and oscillators. Make sure your filters meet the fractional bandwidth rule.



Bài tập 20

4.5-1

Given a bandpass amplifier centered at 66 MHz, design a television transponder that receives a signal on Channel 11 (199.25 MHz) and transmits it on Channel 4 (67.25 MHz). Use only one oscillator.

cuu duong than cong . com



Bài tập 21

4.5-6

The signal $x(t) = 2 \cos 4\pi t$ is transmitted by DSB. Sketch the output signal if envelope detection is used for demodulation.

cuu duong than cong . com



Bài tập 22

- 7.1-13** Consider a superhet that receives signals in the 7.0 to 8.0 MHz range with $f_{LO} = f_c + f_{IF}$, and $f_{IF} = 455$ kHz. The receiver's RF amplifier has a passband of 2 MHz, and its IF-BPF is nearly ideal and has a bandwidth of 3 kHz. Design a frequency converter that has a fixed LO frequency that will enable the reception of 50.0- to 51.0-MHz signals. Assume the converter's RF amplifier is relatively wideband. (a) If the incoming frequency is supposed to be $f_c = 50$ MHz, what other spurious frequencies will this receiver respond to? (b) Describe how to minimize these spurious responses.
- 7.1-14*** What is the image rejection performance of a single conversion superhet receiver that receives signals in the 50–54 MHz range, $f_{LO} > f_c$, and has an RF amplifier that includes a fixed frequency RLC-BPF with $B = 4$ MHz with (a) $f_{IF} = 20$ MHz, (b) $f_{IF} = 100$ MHz?