

Chương 5

TÍN HIỆU ĐIỀU CHẾ

Nội dung:

5.1 Cơ bản về điều chế tín hiệu

5.1.1 Vị trí của điều chế trong hệ thống thông tin

5.1.2 Mục đích của điều chế

5.1.3 Phân loại các phương pháp điều chế

5.2 Điều chế tương tự

5.2.1 Sóng mang trong điều chế tương tự

5.2.2 Điều chế biên độ

5.2.3 Điều chế góc

5.3 Điều chế xung

5.3.1 Sóng mang trong điều chế xung

5.3.2 Điều chế PAM

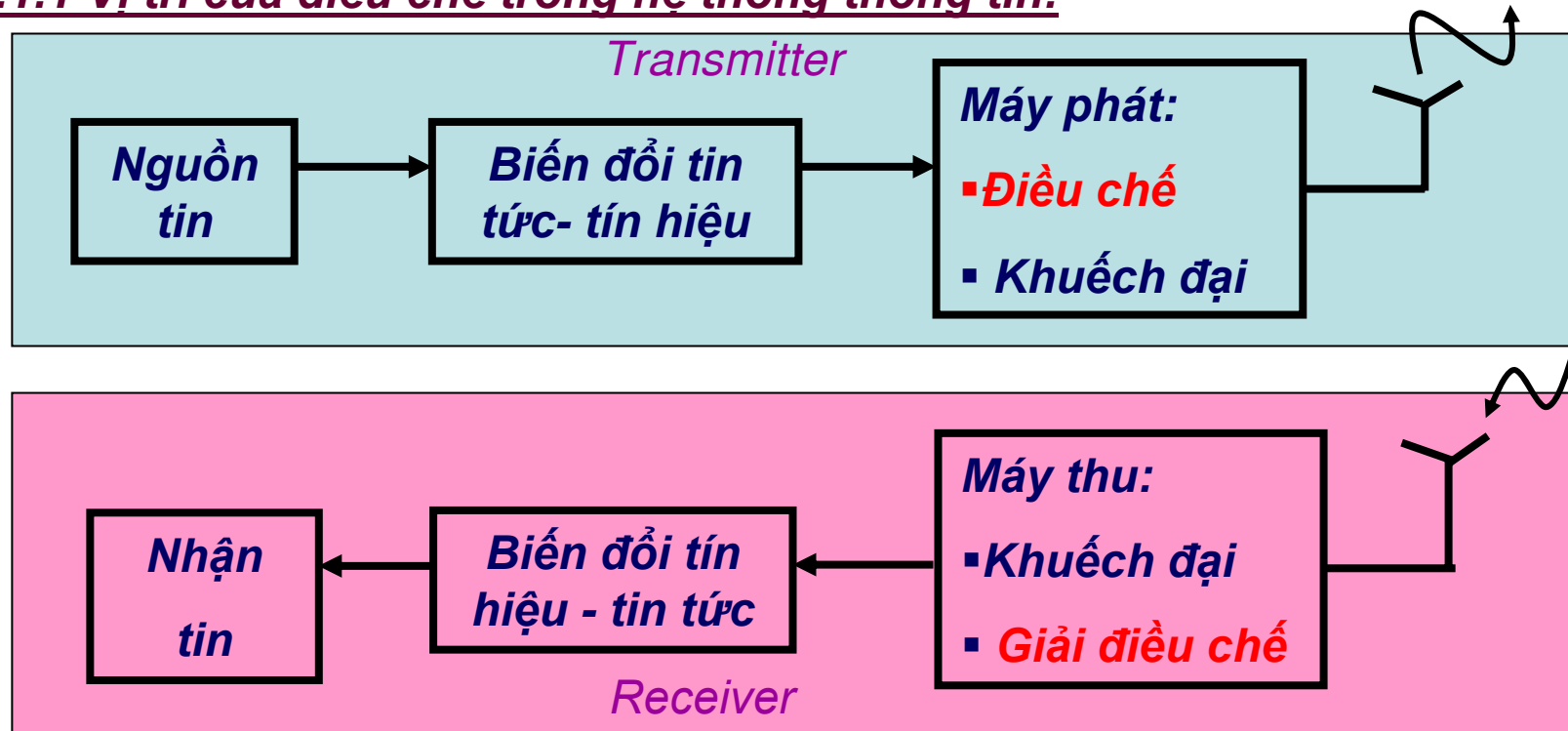
5.3.3 Các hệ thống điều chế xung khác

Chương 5

TÍN HIỆU ĐIỀU CHẾ

5.1 Cơ bản về điều chế tín hiệu:

- Điều chế (Modulation) là quá trình ánh xạ tín tức vào sóng mang bằng cách thay đổi thông số của sóng mang (biên độ, tần số hay pha) theo tín tức .
- Điều chế đóng vai trò rất quan trọng, không thể thiếu trong hệ thống thông tin.

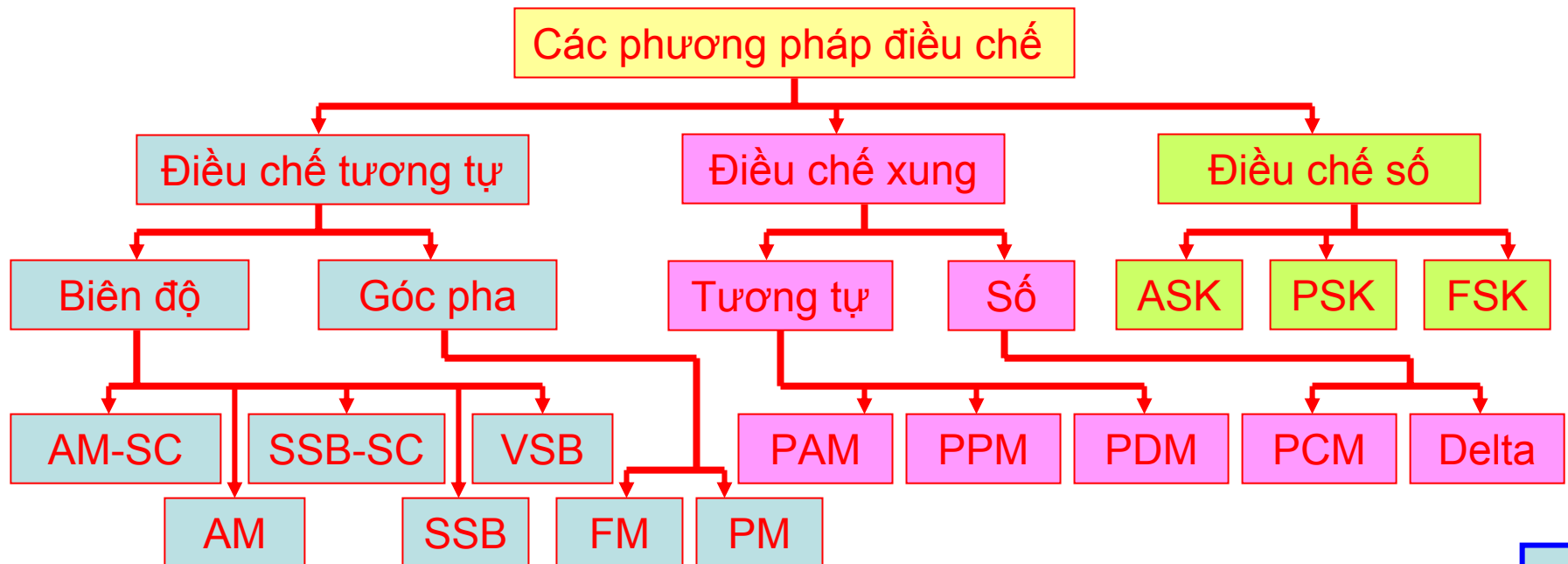
5.1.1 Vị trí của điều chế trong hệ thống thông tin:

Chương 5

TÍN HIỆU ĐIỀU CHẾ

5.1 Cơ bản về điều chế tín hiệu (tt):5.1.2 Mục đích của điều chế:

- Để có thể bức xạ tín hiệu vào không gian dưới dạng sóng điện từ
- Cho phép sử dụng hiệu quả kênh truyền
- Tăng khả năng chống nhiễu cho hệ thống

5.1.3 Phân loại các phương pháp điều chế:

Chương 5

TÍN HIỆU ĐIỀU CHẾ (tt)

5.2 Điều chế tương tự:

- Tín hiệu tin tức làm thay đổi các thông số: biên độ, tần số hoặc pha của sóng mang điều hòa cao tần.

5.2.1 Sóng mang trong điều chế tương tự:

- Dạng sóng mang ban đầu: $y(t) = Y \cos(\Omega t + \varphi)$

- Dạng sóng mang sau điều chế: $y(t) = Y(t) \cos\theta(t)$

$Y(t)$: biên độ tức thời (phương trình đường bao)

$\theta(t)$: pha tức thời.

$$\Omega(t) = \frac{d\theta(t)}{dt}$$

: tần số góc tức thời

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\theta(t)}{dt}$$

: tần số tức thời

- Nếu $\theta(t)$: không đổi; $Y(t)$: thay đổi $\rightarrow y(t) = Y(t) \cos(\Omega t + \varphi)$: điều chế biên độ
- Nếu $\theta(t)$: thay đổi; $Y(t)$: không đổi $\rightarrow y(t) = Y \cos\theta(t)$: điều chế pha

Biên độ

Pha ban đầu

Tần số góc

Chương 5

TÍN HIỆU ĐIỀU CHẾ (tt)

5.2.2 Điều chế biên độ (Amplitude Modulation)

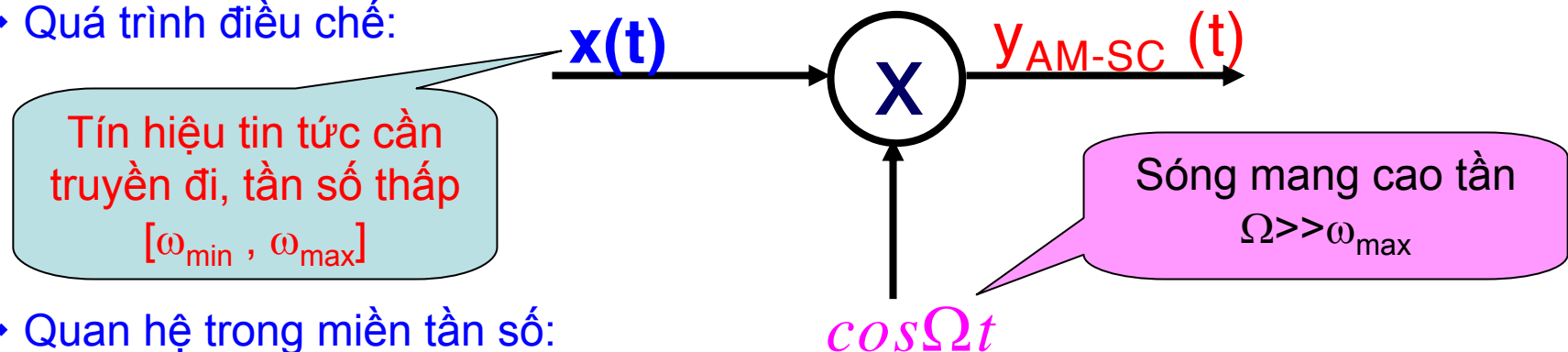
a. Hệ thống AM-SC (Amplitude Modulation with Suppressed Carrier)

(còn gọi là điều chế DSB-SC: Double Side Band with suppressed Carrier)

❖ Dạng tín hiệu AM-SC:

$$y_{AM-SC}(t) = x(t) \times \cos \Omega t$$

❖ Quá trình điều chế:



❖ Quan hệ trong miền tần số:

$$Y_{AM-SC}(\omega) = \frac{1}{2} [X(\omega - \Omega) + X(\omega + \Omega)]$$

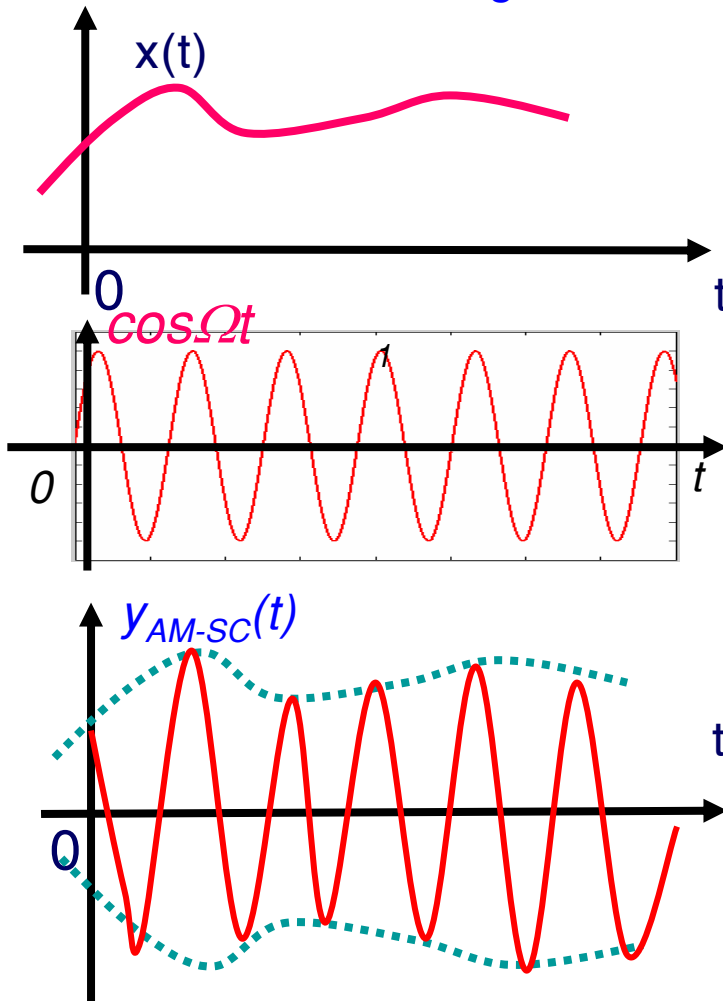
$$\Psi_{AM-SC}(\omega) = \frac{1}{4} [\Psi_X(\omega - \Omega) + \Psi_X(\omega + \Omega)]$$

Chương 5

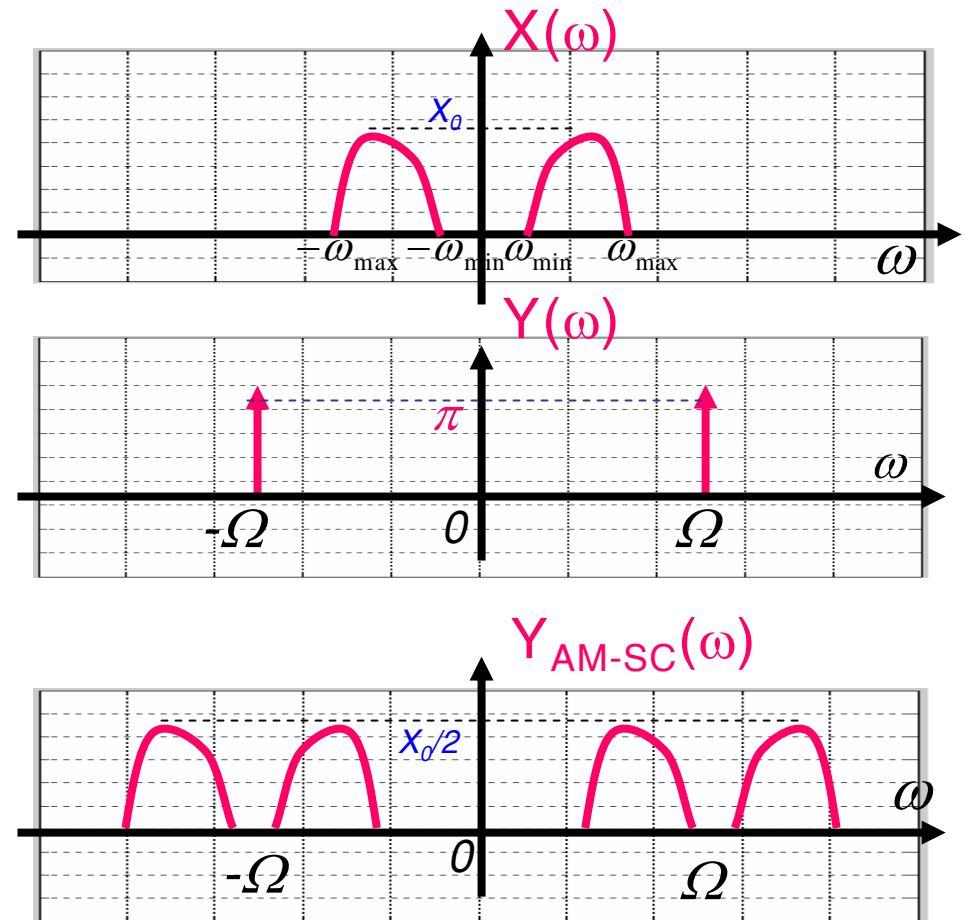
TÍN HIỆU ĐIỀU CHẾ (tt)

a. Hệ thống AM-SC (tt):

Mô tả miền thời gian



Mô tả miền tần số



Chương 5

TÍN HIỆU ĐIỀU CHẾ (tt)

a. Hệ thống AM-SC (tt)

❖ Quá trình giải điều chế:

➤ Trong miền thời gian:

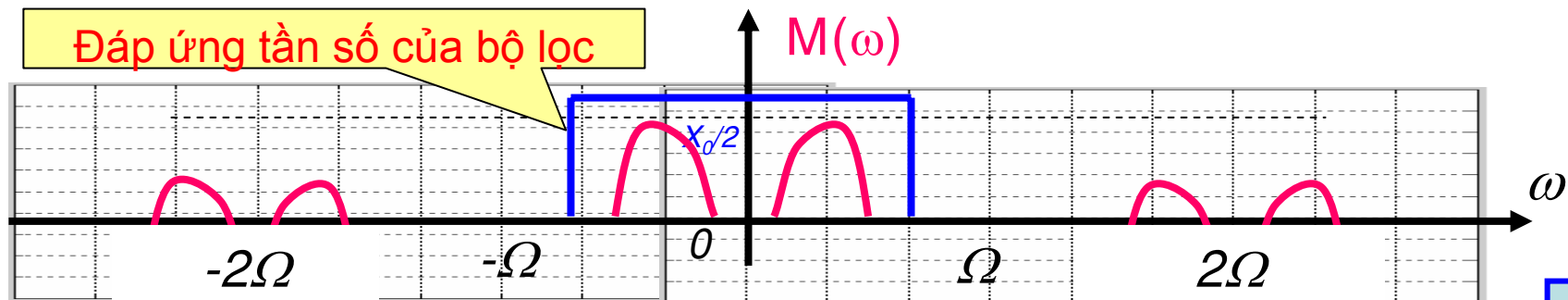
$$m(t) = x(t) \cdot \cos \Omega t \cdot \cos \Omega t \\ = [x(t) + x(t) \cdot \cos 2\Omega t] / 2$$

Qua bộ lọc LPF, chỉ còn lại thành phần tần số thấp $x'(t) = x(t)/2$.

➤ Trong miền tần số:

$$M(\omega) = \frac{1}{2} [Y_{AM-SC}(\omega - \Omega) + Y_{AM-SC}(\omega + \Omega)] \\ = \frac{1}{2} X(\omega) + \frac{1}{4} [X(\omega - 2\Omega) + X(\omega + 2\Omega)]$$

Qua bộ lọc LPF, chỉ còn lại thành phần phổ tần số thấp: $X'(\omega) = X(\omega)/2$.



Chương 5

TÍN HIỆU ĐIỀU CHẾ (tt)

a. Hệ thống AM-SC (tt)

❖ Nhận xét:

- Mạch giải điều chế phức tạp.
- Băng thông (bandwidth):
- Công suất của tín hiệu AM-SC:

$$BW_{AM-SC} = 2\omega_{\max}$$

$$P_{y_{AM-SC}} = \frac{1}{2} P_x$$

Ví dụ 1: Cho mạch điều chế AM-SC:

Tin tức: $x(t) = \cos(2\pi \times 10^3 t)$

Sóng mang: $y(t) = \cos(2\pi \times 10^4 t)$

Hãy:

- a. Vẽ $x(t)$ và $y_{AM-SC}(t)$?
- b. Xác định và vẽ $X(\omega)$, $\Psi_X(\omega)$, $Y_{AM-SC}(\omega)$ và $\Psi_{AM-SC}(\omega)$?
- c. Tính P_x và P_{AM-SC} ?

Chương 5

TÍN HIỆU ĐIỀU CHẾ (tt)

5.2.2 Điều chế biên độ (Amplitude Modulation)

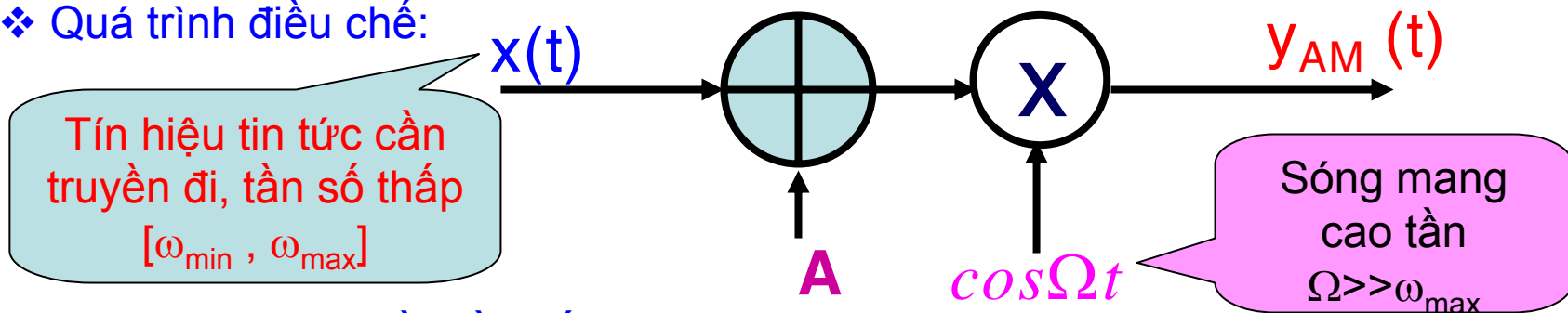
b. Hệ thống AM (còn gọi là điều chế DSB)

❖ Dạng tín hiệu AM:

$$y_{AM}(t) = [A + x(t)]\cos\Omega t$$

Phương trình đường
bao(envelope)

❖ Quá trình điều chế:



❖ Quan hệ trong miền tần số:

$$Y_{AM}(\omega) = A\pi[\delta(\omega - \Omega) + \delta(\omega + \Omega)] + \frac{1}{2}[X(\omega - \Omega) + X(\omega + \Omega)]$$

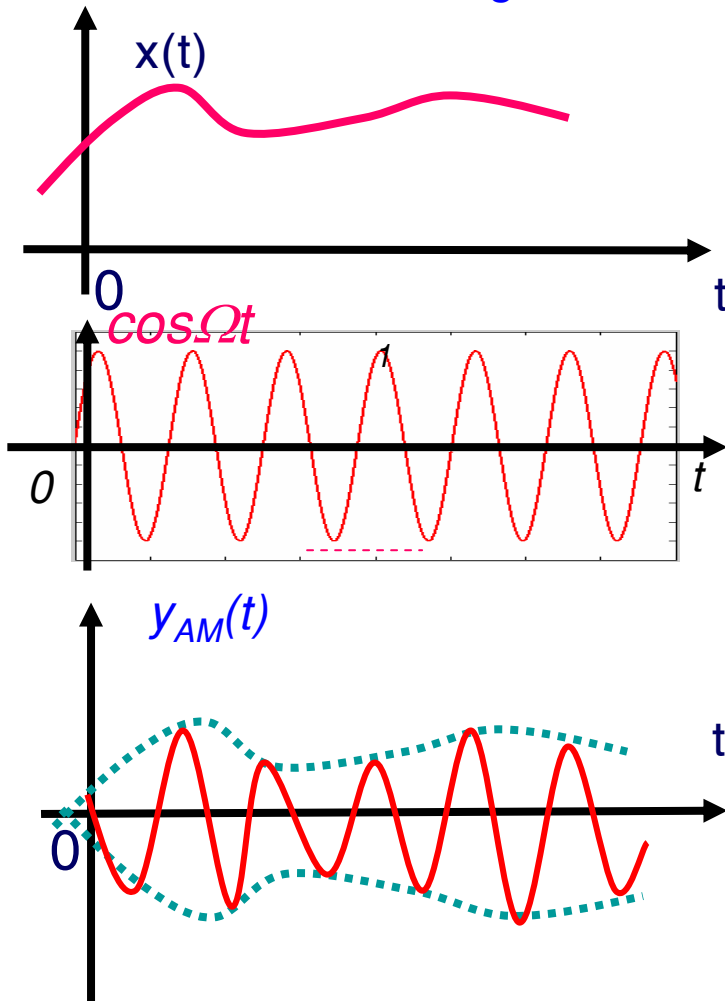
$$\Psi_{AM}(\omega) = \frac{\pi A^2}{2}[\delta(\omega - \Omega) + \delta(\omega + \Omega)] + \frac{1}{4}[\Psi_X(\omega - \Omega) + \Psi_X(\omega + \Omega)]$$

Chương 5

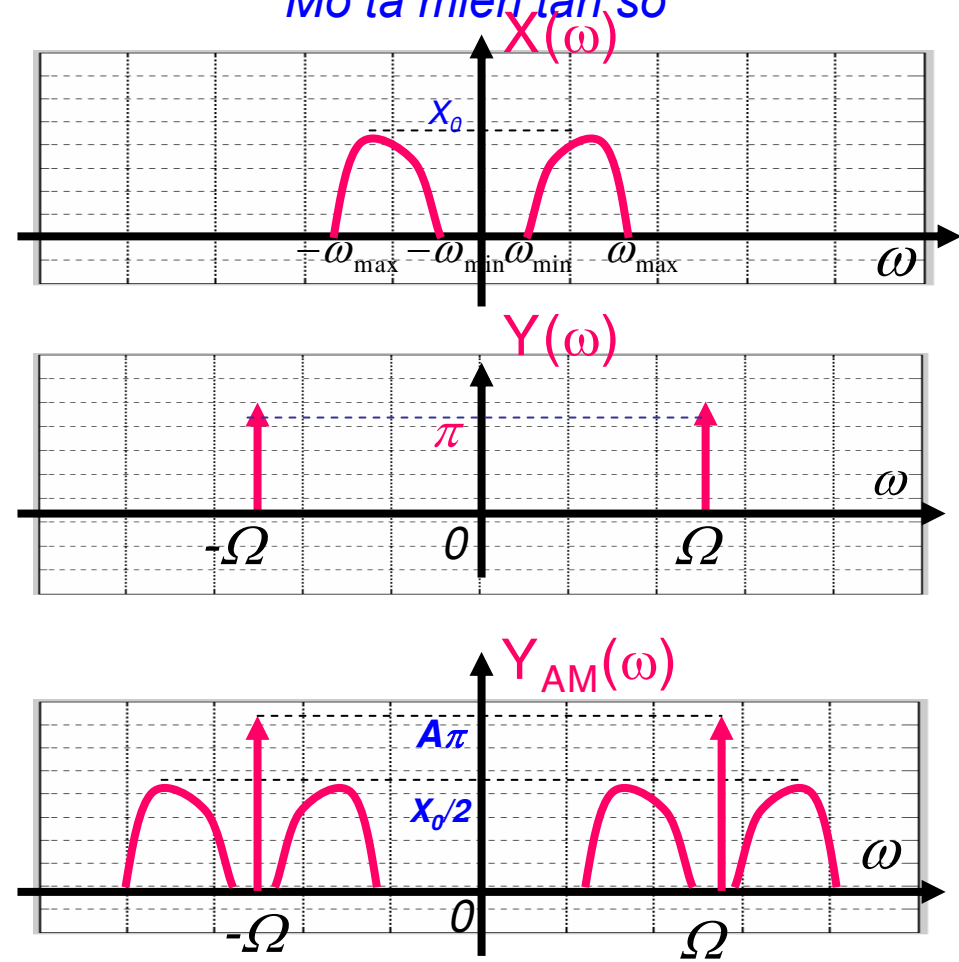
TÍN HIỆU ĐIỀU CHẾ (tt)

b. Hệ thống AM(tt):

Mô tả miền thời gian



Mô tả miền tần số



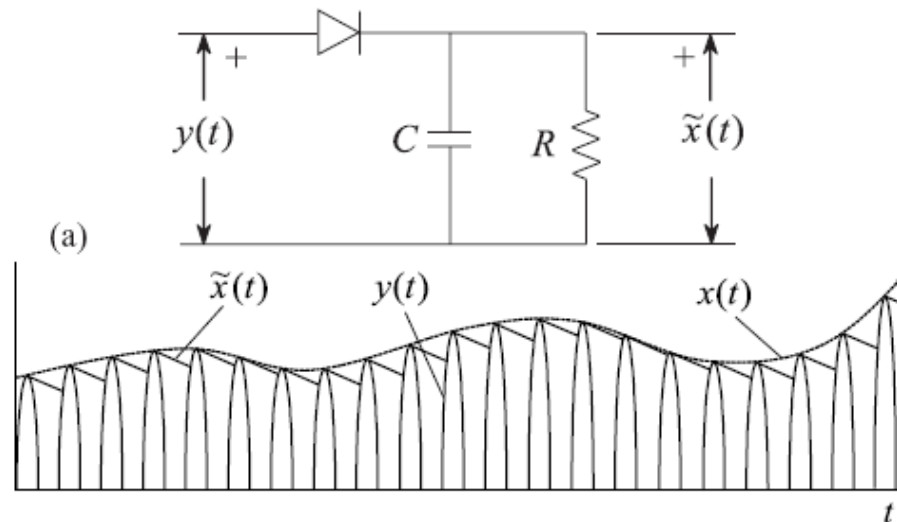
Chương 5

TÍN HIỆU ĐIỀU CHẾ (tt)

a. Hệ thống AM (tt)

❖ Quá trình giải điều chế:

- Tách sóng đồng bộ: (giống giải điều chế AM-SC)
- Tách sóng đường bao: sơ đồ mạch đơn giản



➤ Điều kiện để tách sóng đường bao không bị méo:

$$A \geq \max \{ |x(t)|; x(t) < 0 \}$$

Chương 5

TÍN HIỆU ĐIỀU CHẾ (tt)

a. Hệ thống AM (tt)

❖ Nhận xét:

- Mạch giải điều chế đơn giản.
- Băng thông (bandwidth):
- Hiệu suất năng lượng không cao:

$$BW_{AM-SC} = 2\omega_{\max}$$

$$\eta = \frac{P_b}{P_{AM}} \times 100\%$$

P_b : công suất dải bên

P_{AM} : công suất toàn bộ tín hiệu

$$= \frac{\frac{1}{2}P_x}{\frac{1}{2}A^2 + \frac{1}{2}P_x} = \frac{P_x}{A^2 + P_x}$$

Trường hợp, $x(t) = a\cos\omega t$, hiệu suất cực đại:

$$\eta_{\max} = 33.33\%$$

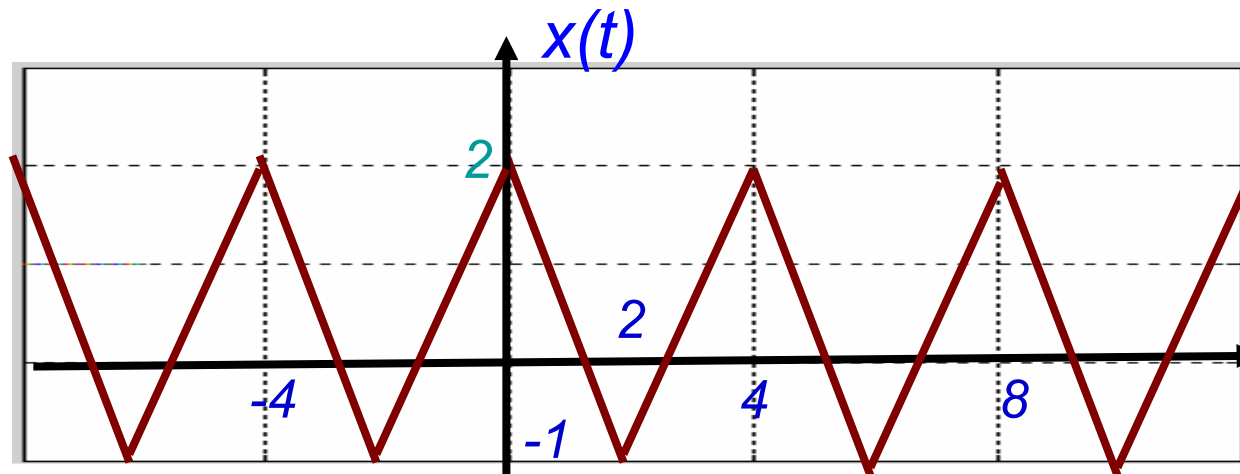
Chương 5

TÍN HIỆU ĐIỀU CHẾ (tt)

b. Hệ thống AM (tt)

Ví dụ 2: Cho mạch điều chế AM:

$$y_{AM}(t) = [A+x(t)]\cos(2\pi \times 10^5 t)$$



Hãy:

- Vẽ $y_{AM}(t)$ khi $A=2$?
- Xác định phổ $X(\omega)$, $Y_{AM}(\omega)$?
- Tính P_x và P_{AM} ?
- Xác định giá trị của A để tách sóng không bị méo trong mạch tách sóng hình bao?

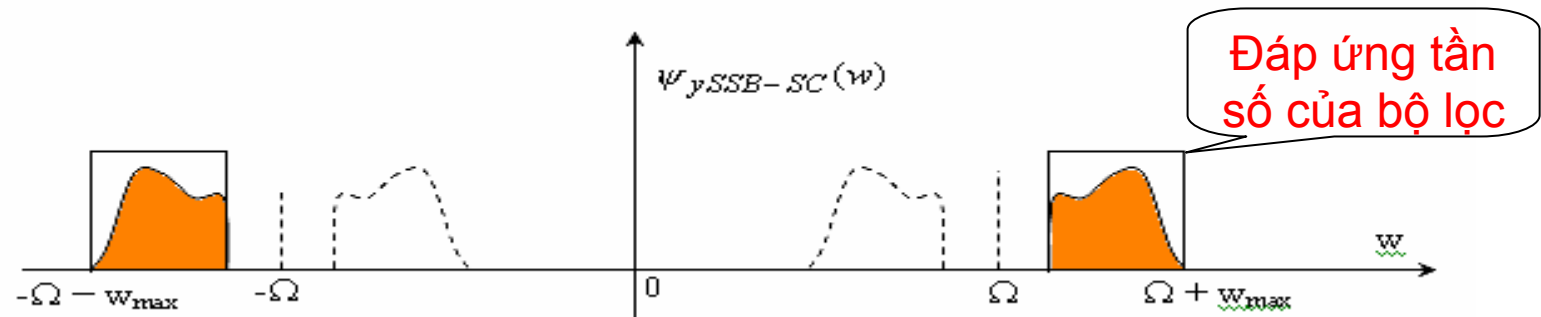
Chương 5

TÍN HIỆU ĐIỀU CHẾ (tt)

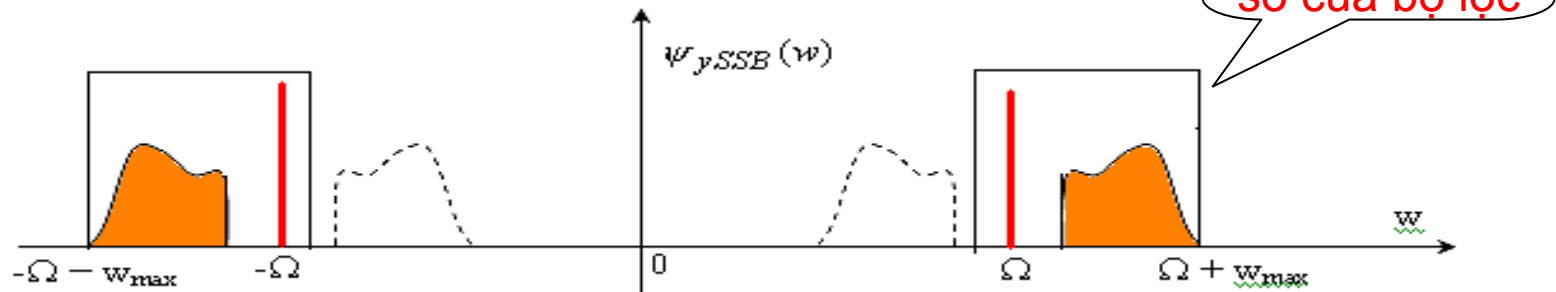
5.2.2 Điều chế biên độ (tt):

c. Các hệ thống điều chế biên độ khác:

❖ Hệ thống SSB-SC (Single Side Band with Suppressed Carrier)

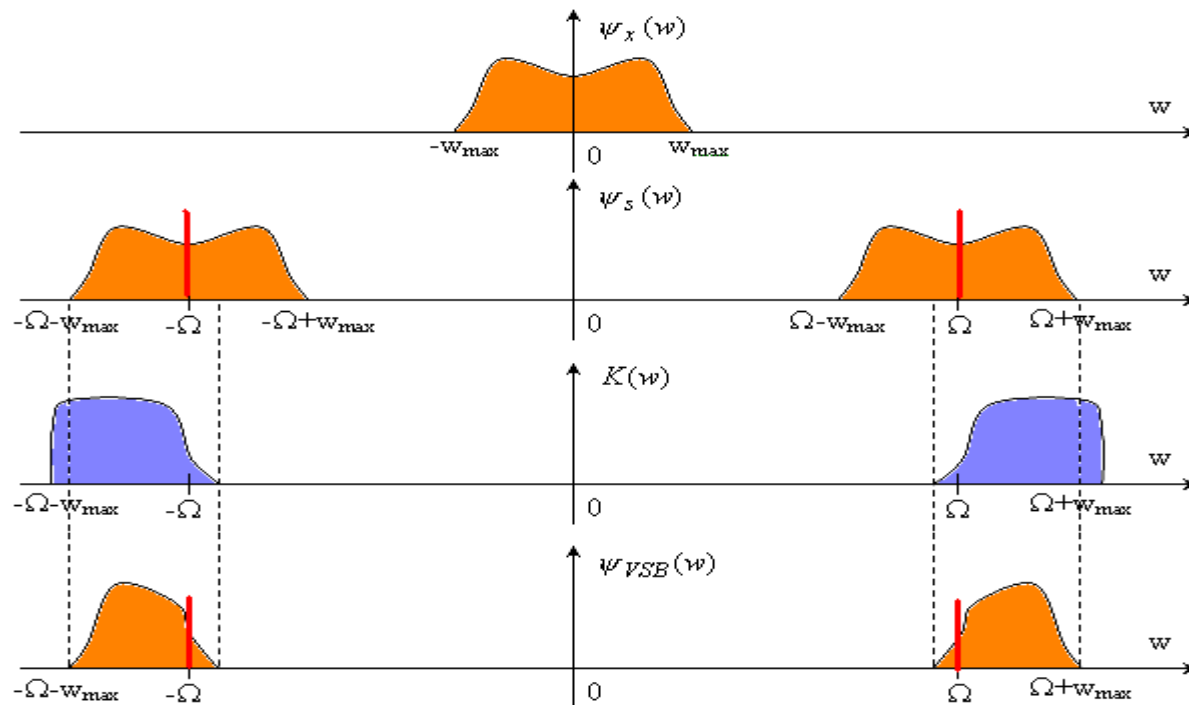
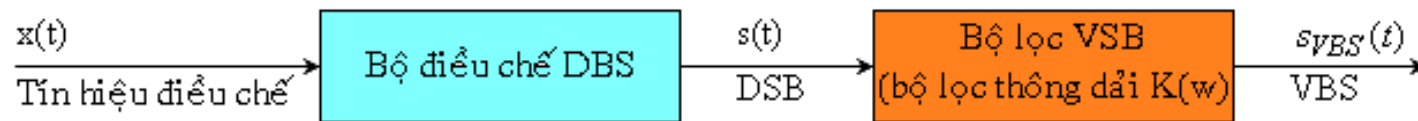


❖ Hệ thống SSB (Single Side Band)



Chương 5

TÍN HIỆU ĐIỀU CHẾ (tt)

5.2.2 Điều chế biên độ:c. Các hệ thống điều chế biên độ khác:❖ Hệ thống VSB (Vestigial Side Band)

Chương 5

TÍN HIỆU ĐIỀU CHẾ (tt)

5.2.2 Điều chế biên độ:

➤ So sánh các phương pháp điều chế biên độ:

Đặc điểm Phương pháp	Độ phức tạp giải điều chế	Băng thông tín hiệu điều chế	Hiệu suất năng lượng
AM-SC(DSB-SC)	cao	rộng	cao
AM (DSB)	thấp	rộng	thấp
SSB-SC	cao	hẹp	cao
SSB	thấp	hẹp	thấp
VSB	cao	vừa phải	vừa phải

Chương 5

TÍN HIỆU ĐIỀU CHẾ (tt)

5.2.3 Điều chế góc:a. Hệ điều pha PM (Phase Modulation)

❖ Dạng tín hiệu PM: $y_{PM}(t) = Y \cos[\Omega t + k_p x(t)]$ (*)

❖ trong đó: $x(t)$: tín hiệu tin tức

φ_0 : pha ban đầu

k_p : hằng số tỉ lệ

❖ Các thông số quan trọng:

➤ *Pha tức thời:*

$$\theta_{PM}(t) = \Omega t + k_p x(t)$$

➤ *Tần số góc tức thời:*

$$\Omega_{PM}(t) = \Omega + k_p \frac{dx(t)}{dt}$$

➤ *Độ lệch pha:*

$$\Delta\theta_{PM} = |\theta(t) - \Omega t| = k_p |x(t)|_{\max}$$

➤ *Độ lệch tần số:*

$$\Delta\Omega_{PM} = |\Omega(t) - \Omega| = k_p \left| \frac{dx(t)}{dt} \right|_{\max}$$

Tin tức trực tiếp thay đổi pha tức thời

Chương 5

TÍN HIỆU ĐIỀU CHẾ (tt)

a. Hệ điều pha PM (tt)❖ PM dải hẹp (NBPM-Narrow Band PM)

$$\Delta\theta_{PM} = k_p |x(t)|_{\max} \ll 1$$

Sử dụng công thức gần đúng:

$$\cos k_p x(t) \approx 1; \sin k_p x(t) \approx k_p x(t)$$

Biểu thức (*) thành ra:

$$\begin{aligned} y_{NBPM}(t) &= Y \cos \Omega t \cos(k_p x(t)) - Y \sin \Omega t \sin(k_p x(t)) \\ &= Y \cos \Omega t - Y k_p x(t) \sin \Omega t \end{aligned}$$

Biểu thức
NBPM

➤ Phổ của tín hiệu NBPM:

$$Y_{NBPM}(\omega) = Y \pi [\delta(\omega - \Omega) + \delta(\omega + \Omega)] - \frac{Y}{2j} k_p [X(\omega - \Omega) + X(\omega + \Omega)]$$

➤ PSD của tín hiệu NBPM:

$$\Psi_{NBPM}(\omega) = \frac{Y^2 \pi}{2} [\delta(\omega - \Omega) + \delta(\omega + \Omega)] + \frac{(Y k_p)^2}{4} [\Psi_X(\omega - \Omega) + \Psi_X(\omega + \Omega)]$$

Chương 5

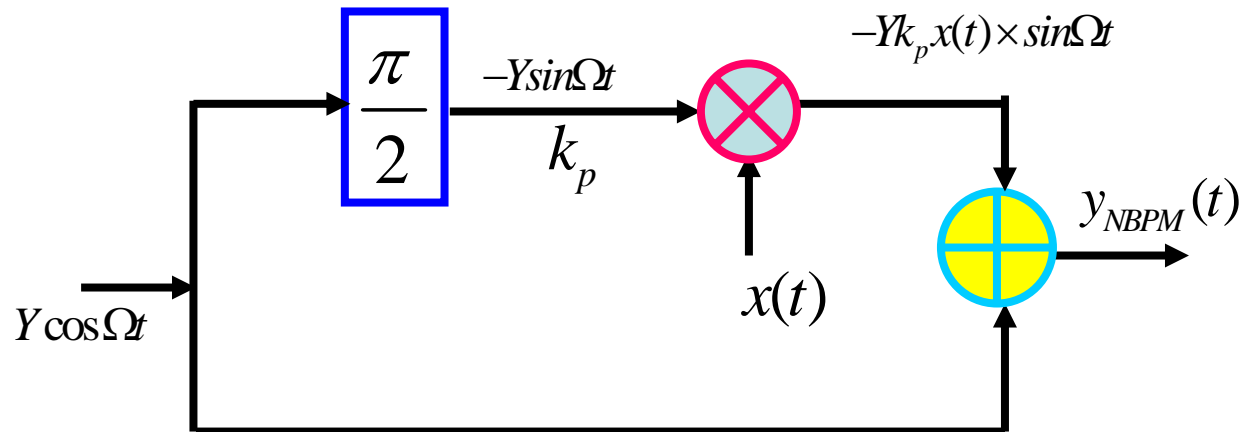
TÍN HIỆU ĐIỀU CHẾ (tt)

a. Hệ điều pha PM (tt)❖ PM dải hẹp (tt)

➤ Băng thông tín hiệu NBPM:

$$BW_{NBPM} = 2\omega_{max}$$

➤ Mạch tạo tín hiệu NBPM:

❖ PM dải rộng (WBPM: Wide band PM)

➤ Công thức Carson xác định độ rộng phổ:

$$BW_{WBPM} = 2(\Delta\theta_{PM} + 2)\omega_{max}$$

Chương 5

TÍN HIỆU ĐIỀU CHẾ (tt)

5.2.3 Điều chế góc:b. Hệ điều tần FM (Frequency Modulation)

❖ Dạng tín hiệu FM: $y_{FM}(t) = Y \cos[\Omega t + k_f \int x(t) dt]$ (*)

❖ trong đó: $x(t)$: tín hiệu tin tức

φ_0 : pha ban đầu

k_f : hằng số tỉ lệ

❖ Các thông số quan trọng:

➤ Pha tức thời:

$$\theta_{FM}(t) = \Omega t + k_f \int x(t) dt$$

➤ Tần số góc tức thời:

$$\Omega_{FM}(t) = \Omega + k_f x(t)$$

➤ Độ lệch pha:

$$\Delta\theta_{FM} = |\theta(t) - \Omega t| = k_f \left| \int x(t) dt \right|_{\max}$$

➤ Độ lệch tần số:

$$\Delta\Omega_{FM} = |\Omega(t) - \Omega| = k_f |x(t)|_{\max}$$

Tin tức trực tiếp thay đổi tần số tức thời

Chương 5

TÍN HIỆU ĐIỀU CHẾ (tt)

b. Hệ điều tần FM (tt)❖ **FM dải hẹp (NBFM-Narrow Band FM)**

$$\Delta\theta_{FM} = k_f \left| \int x(t)dt \right|_{\max} \ll 1$$

- Tương tự như NBPM, biểu thức tín hiệu NBFM:

$$y_{NBFM}(t) = Y \cos \Omega t - Yk_f \int x(t)dt \cdot \sin \Omega t$$

- Băng thông tín hiệu NBFM:

$$BW_{NBFM} = 2\omega_{max}$$

❖ **FM dải rộng (WBFM -Wide Band FM)**

- Công thức Carson xác định độ rộng phổ:

$$BW_{WBFM} = 2(\Delta\theta_{FM} + 2\omega_{max})$$

Chương 5

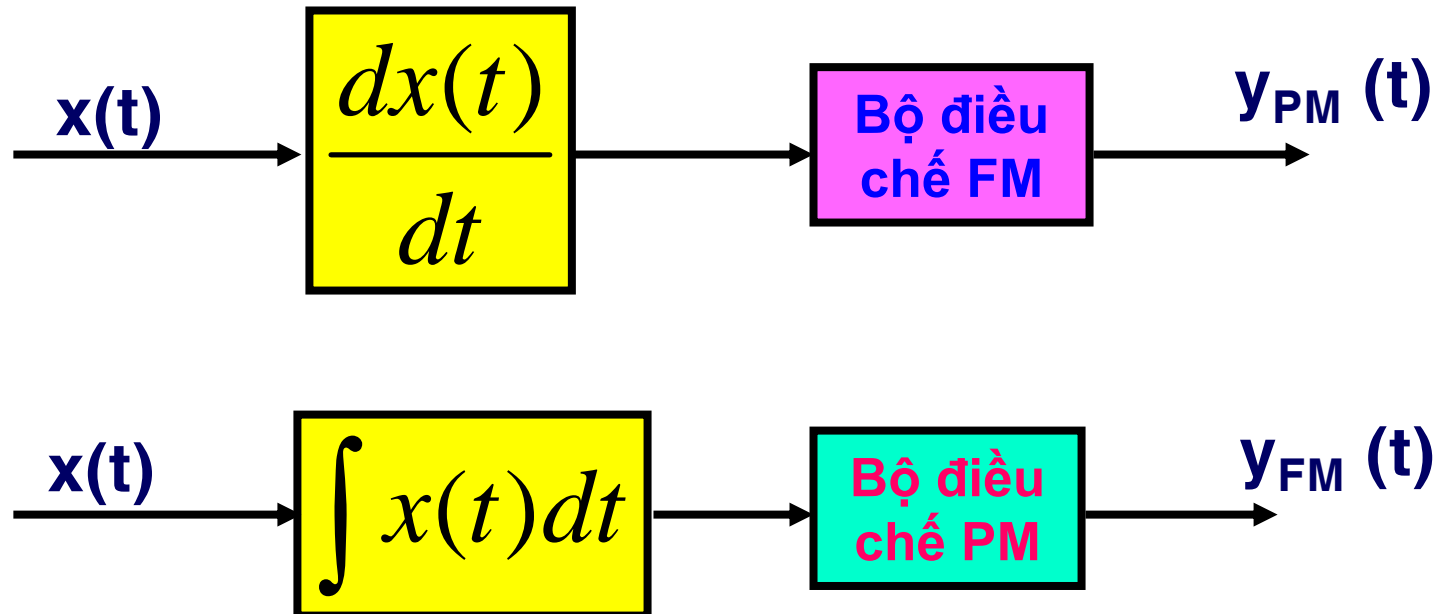
TÍN HIỆU ĐIỀU CHẾ (tt)

c. Nhận xét về PM và FM:

❖ So sánh với điều chế biên độ:

- Khả năng chống nhiễu cao hơn AM
- Băng thông tín hiệu WBPM và WBFM rộng hơn tín hiệu AM nhiều

❖ Quan hệ giữa FM và PM:



Chương 5

TÍN HIỆU ĐIỀU CHẾ (tt)

5.3 Điều chế xung (Pulse Modulation):5.3.1 Sóng mang trong điều chế xung:

➤ Dãy xung vuông đơn cực

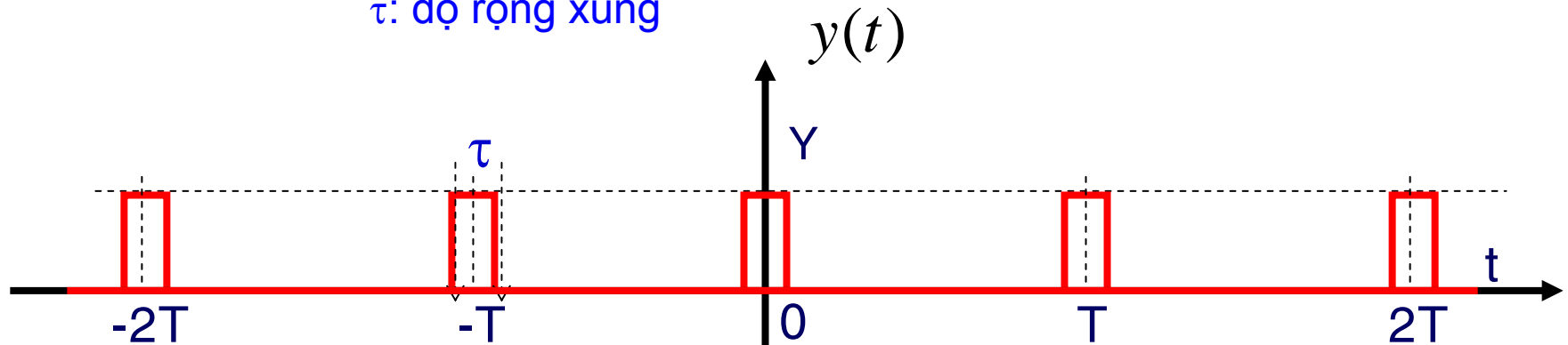
$$y(t) = Y \prod\left(\frac{t}{\tau}\right) * \frac{1}{T} \text{III} \frac{t}{T} = Y \sum_{n=-\infty}^{\infty} \Pi\left(\frac{t - nT}{\tau}\right); \tau \ll T$$

trong đó:

Y: biên độ xung

T: chu kỳ lặp lại xung

τ : độ rộng xung



Chương 5

TÍN HIỆU ĐIỀU CHẾ (tt)

5.2 Điều chế tương tự:5.3.2 Hệ thống điều chế PAM (Pulse Amplitude Modulation):a. Hệ thống PAM lý tưởng:

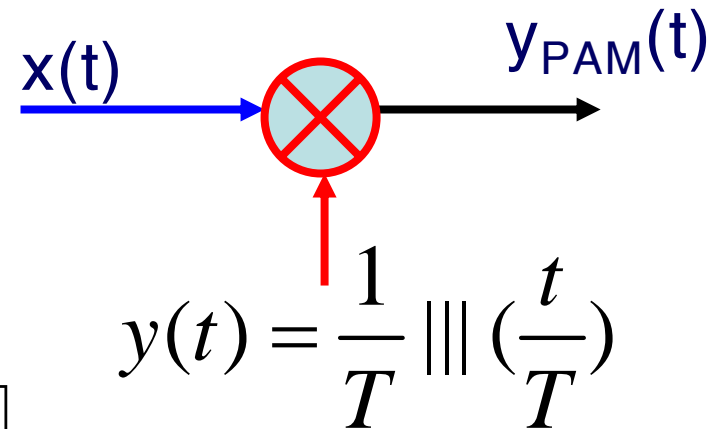
❖ Dạng tín hiệu :

$$y_{PAM}(t) = x(t) \frac{1}{T} \text{III} \left(\frac{t}{T} \right)$$

❖ Quá trình điều chế:

➤ Phổ của PAM lý tưởng:

$$\begin{aligned} Y_{PAM}(\omega) &= \frac{1}{2\pi} \left[X(\omega) * \text{III} \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right) \right]; \omega_0 = \frac{2\pi}{T} \\ &= \frac{1}{2\pi} \left[X(\omega) * \omega_0 \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - n\omega_0) \right] \\ &= \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} X(\omega - n\omega_0) \end{aligned}$$

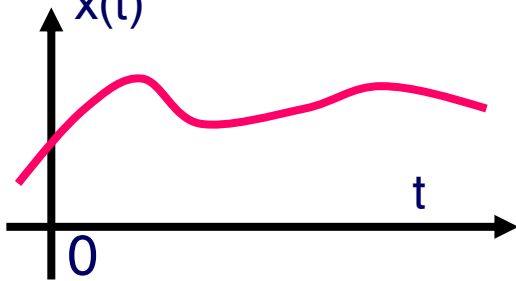


Chương 5

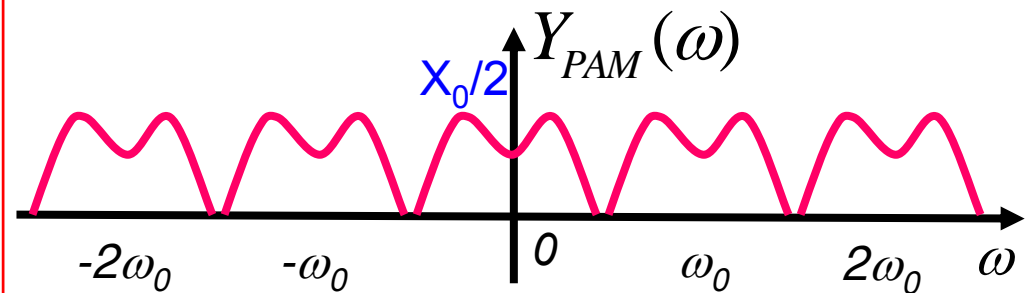
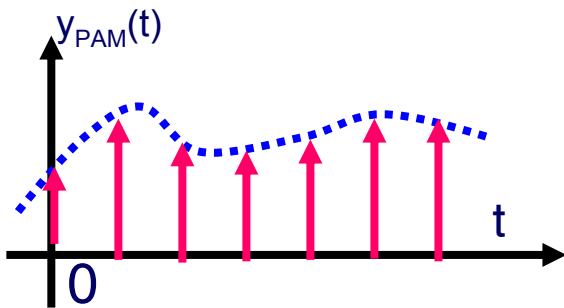
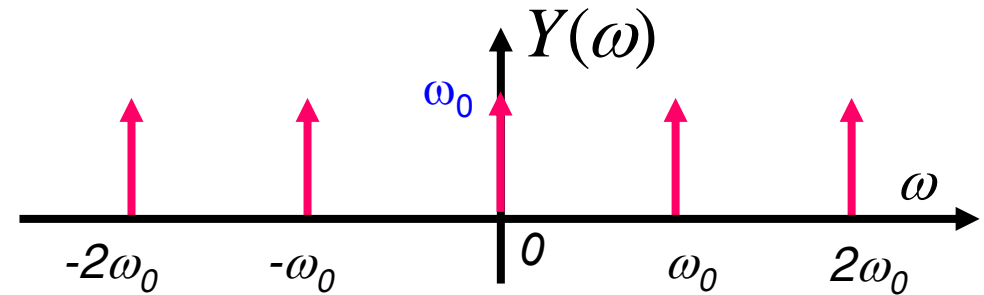
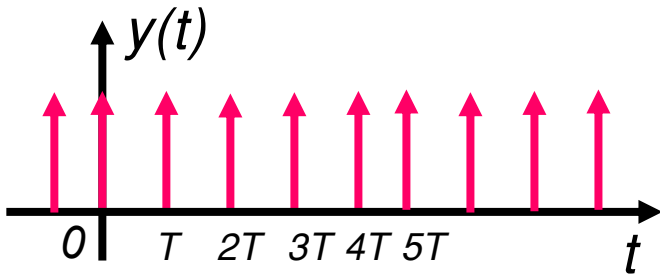
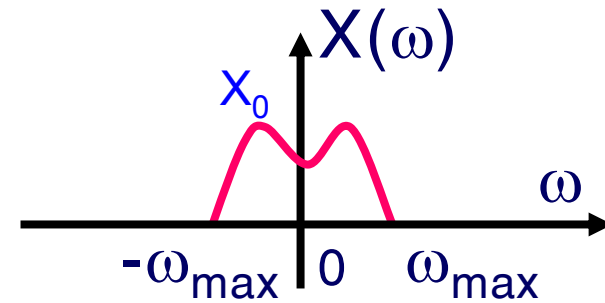
TÍN HIỆU ĐIỀU CHẾ (tt)

a. Hệ thống PAM lý tưởng (tt):

Mô tả miền thời gian $x(t)$



Mô tả miền tần số



Chương 5

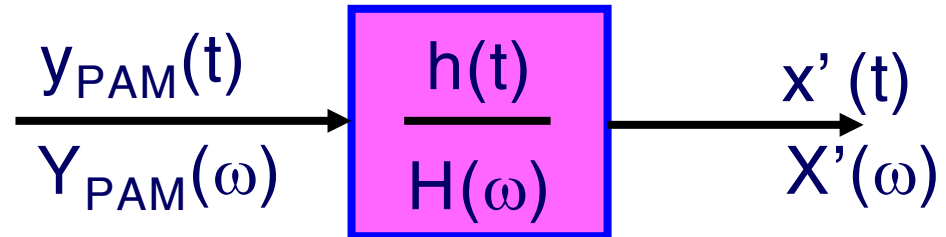
TÍN HIỆU ĐIỀU CHẾ (tt)

a. Hệ thống PAM lý tưởng (tt):

❖ Quá trình giải điều chế:

➤ Tín hiệu PAM được đưa qua bộ lọc có đáp ứng tần số:

$$H(\omega) = T \Pi\left(\frac{\omega}{2\omega_{\max}}\right)$$



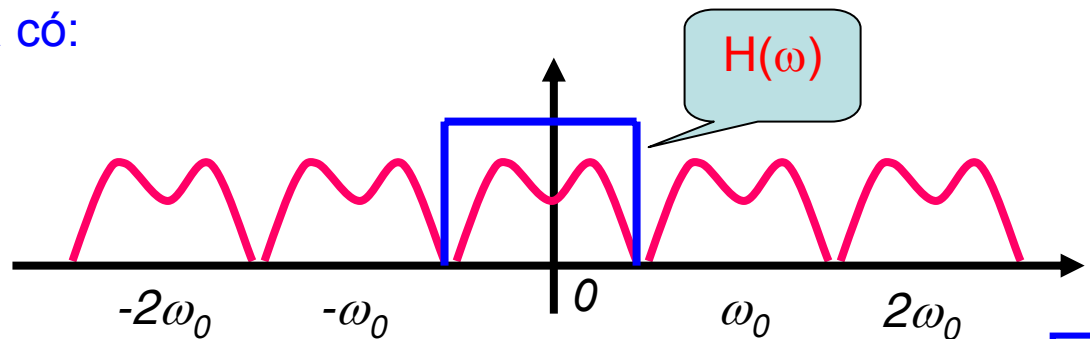
➤ Phổ của tín hiệu ngõ ra:

$$X'(\omega) = Y_{PAM}(\omega) \times H(\omega) = \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} X(\omega - n\omega_0) \times T \Pi\left(\frac{\omega}{2\omega_{\max}}\right)$$

➤ Nếu: $\omega_0 \geq 2\omega_m$, ta có:

$$X'(\omega) = X(\omega)$$

➔ khôi phục đúng



Chương 5

TÍN HIỆU ĐIỀU CHẾ (tt)

5.3.2 Hệ thống điều chế PAM (tt):

b. Hệ thống PAM thực tế:

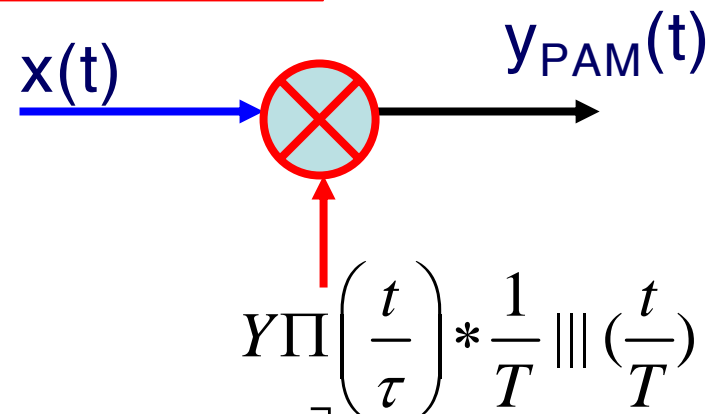
❖ Dạng tín hiệu :

$$y(t) = x(t) \cdot Y \Pi\left(\frac{t}{\tau}\right) * \frac{1}{T} \text{III}\left(\frac{t}{T}\right)$$

❖ Quá trình điều chế:

❖ Phổ của PAM lý tưởng:

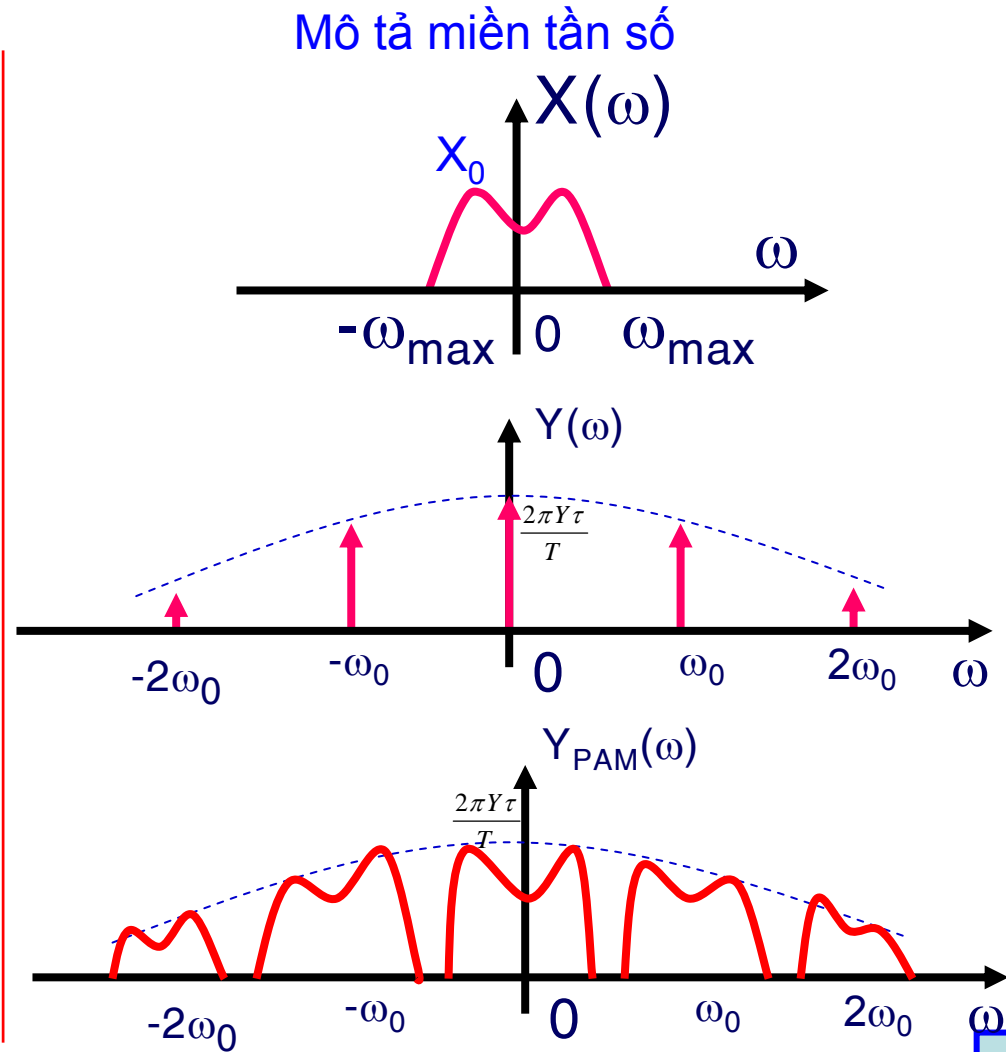
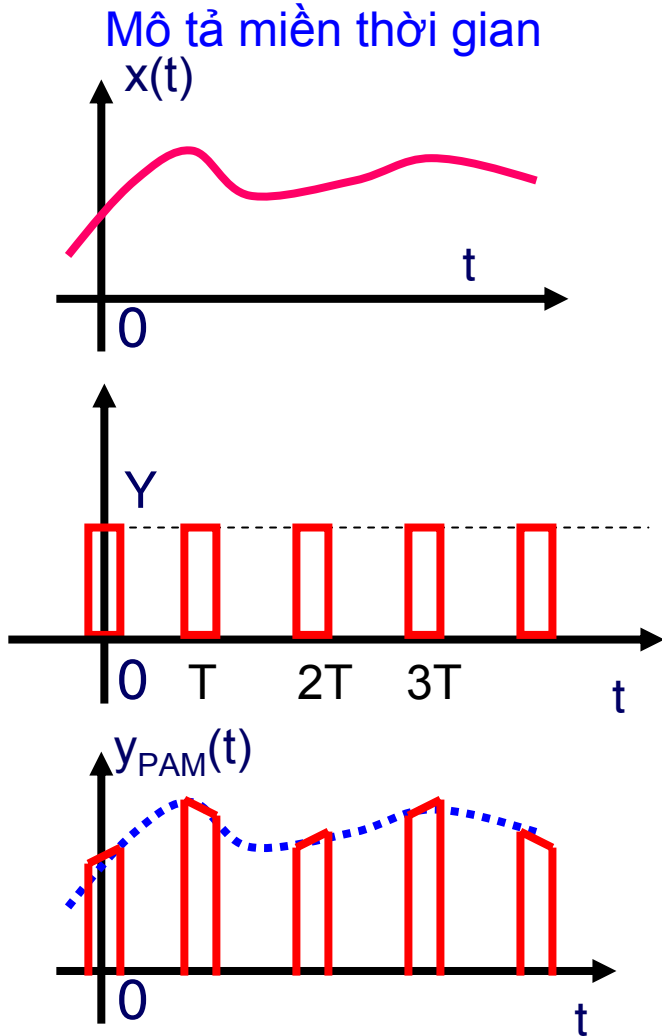
$$\begin{aligned} Y_{PAM}(\omega) &= \frac{1}{2\pi} [X(\omega) * Y(\omega)]; \omega_0 = \frac{2\pi}{T} \\ &= \frac{1}{2\pi} \left[X(\omega) * 2\pi \sum_{n=-\infty}^{\infty} Y \frac{\tau}{T} \text{Sa} n\pi \frac{\tau}{T} \delta(\omega - n\omega_0) \right] \\ &= \frac{Y\tau}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \text{Sa} \frac{n\pi\tau}{T} X(\omega - n\omega_0) \end{aligned}$$



Chương 5

TÍN HIỆU ĐIỀU CHẾ (tt)

b. Hệ thống PAM thực tế (tt):



Chương 5

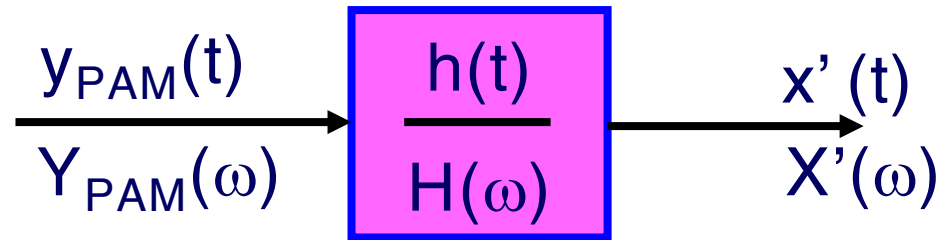
TÍN HIỆU ĐIỀU CHẾ (tt)

b. Hệ thống PAM thực tế (tt):

❖ Quá trình giải điều chế:

➤ Tín hiệu PAM được đưa qua bộ lọc có đáp ứng tần số:

$$H(\omega) = \frac{T}{Y\tau} \Pi\left(\frac{\omega}{2\omega_{\max}}\right)$$



➤ Phổ của tín hiệu ngõ ra:

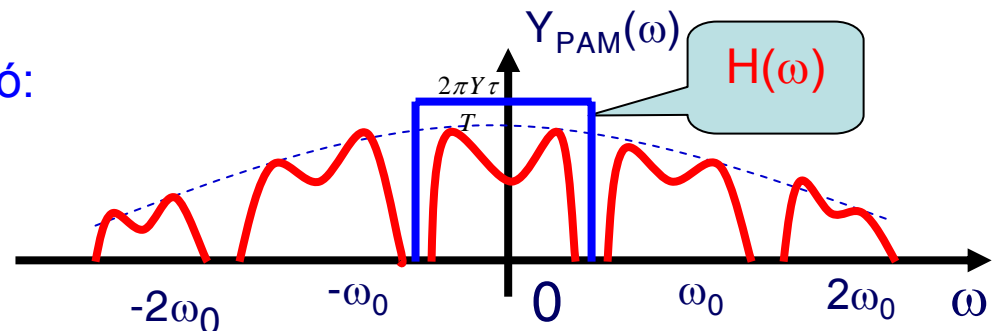
$$X'(\omega) = Y_{PAM}(\omega) \times H(\omega)$$

$$= \frac{Y\tau}{T} \left[\sum_{n=-\infty}^{\infty} Sa\left(\frac{n\pi\tau}{T}\right) X(\omega - n\omega_0) \right] \times \left[\frac{T}{Y\tau} \Pi\left(\frac{\omega}{2\omega_{\max}}\right) \right]$$

➤ Nếu: $\omega_0 \geq 2\omega_m$, ta có:

$$X'(\omega) = X(\omega)$$

→ khôi phục đúng



Chương 5

TÍN HIỆU ĐIỀU CHẾ (tt)

b. Hệ thống PAM thực tế (tt):❖ **Nhận xét:**

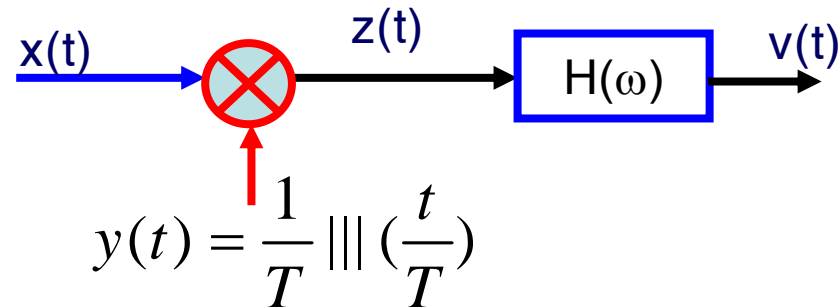
- Phổ của tín hiệu PAM rộng vô hạn, nhưng phần lớn công suất tập trung trong khoảng $(-2\pi/\tau, 2\pi/\tau)$.
- Vì phổ của PAM tập trung xung quanh tần số thấp, nên muốn truyền đi cần điều chế lần nữa (ví dụ PAM-AM, PAM-FM, vv...)

Ví dụ 3: Cho hệ thống PAM như sau

Biết rằng:

$$x(t) = Sa \omega_0 t; \quad \omega_1 = \frac{2\pi}{T};$$

$$H(\omega) = \Pi \left(\frac{\omega}{2\omega_0} \right)$$



Hãy:

- Xác định và vẽ $Z(\omega)$ khi $\omega_1 = 3\omega_0$; $\omega_1 = 1.5\omega_0$
- Xác định $v(t)$ và tính E_v trong hai trường hợp $\omega_1 = 3\omega_0$; $\omega_1 = 1.5\omega_0$.

(to be continued)

Chương 5

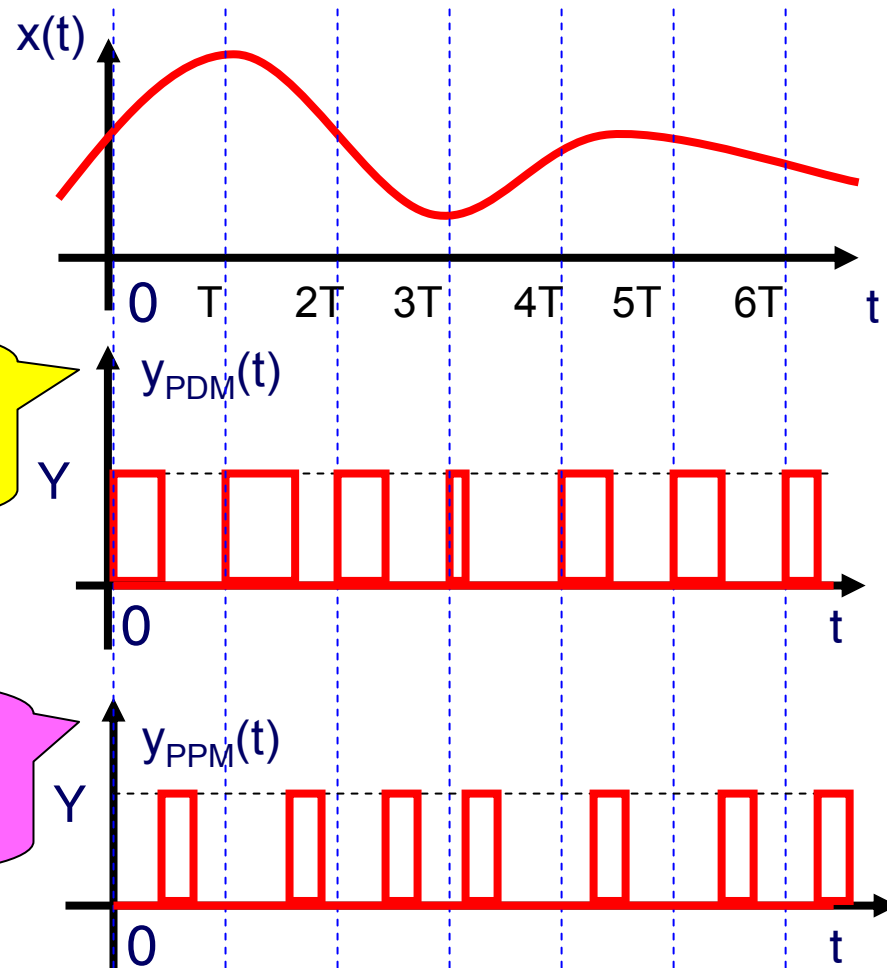
TÍN HIỆU ĐIỀU CHẾ (tt)

5.3.3 Các hệ thống điều chế xung khác:

- ❖ Điều chế độ rộng xung PDM
(Pulse Duration Modulation)
- ❖ Điều chế vị trí xung PPM
(Pulse Position Modulation)

- Biên độ xung không đổi
- Vị trí bắt đầu xung không đổi
- Độ rộng của xung thay đổi theo $x(t)$

- Biên độ xung không đổi
- Độ rộng của xung không đổi
- Vị trí bắt đầu xung thay đổi theo $x(t)$



Chương 5

TÍN HIỆU ĐIỀU CHẾ (tt)

❖ Vị trí của điều chế PAM trong hệ thống thông tin

