
Sistemas de Comunicación

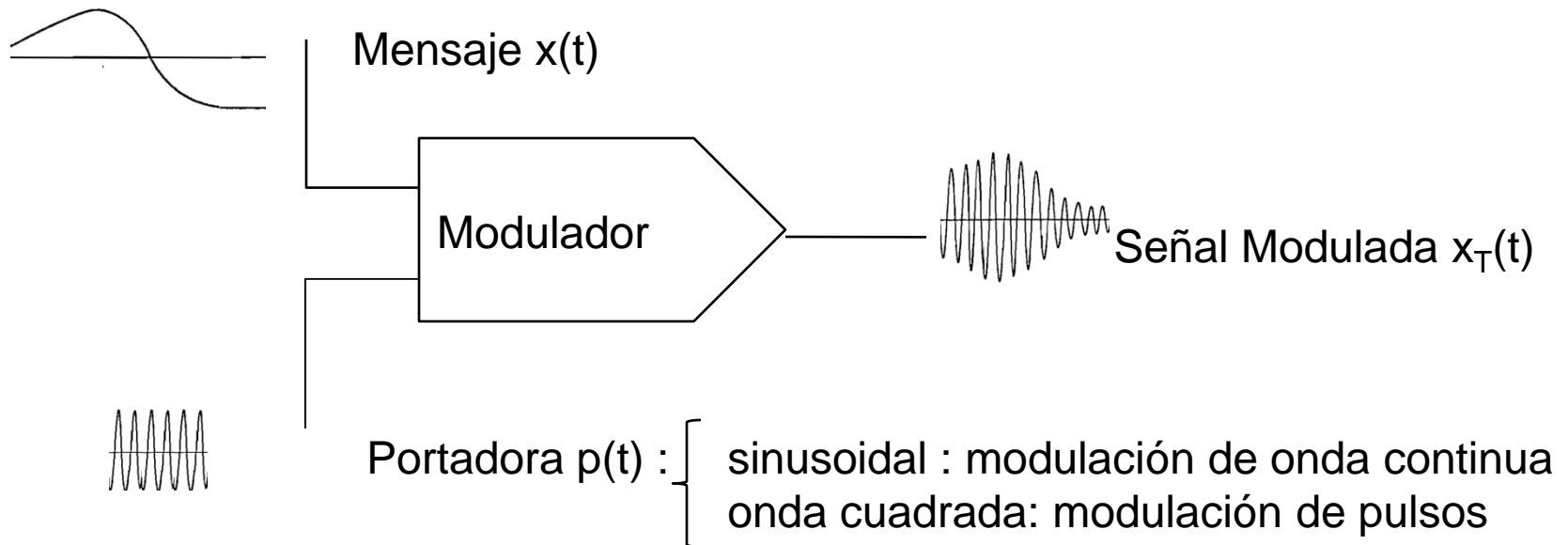
Clase 4: Modulación Lineal

Objetivo

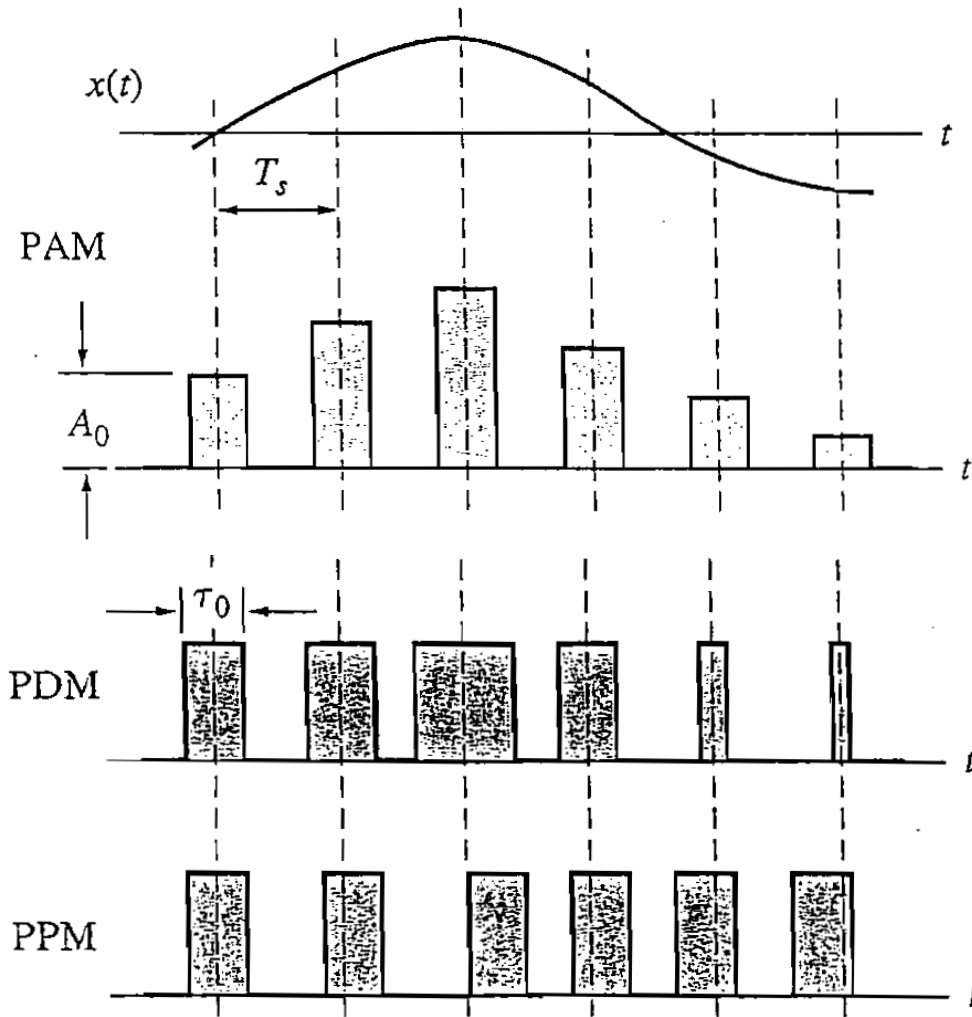
- Introducir la modulación de señales. ¿Qué es?
 - Razones para modular
 - Modulación lineal
 - Amplitud Modulada AM
-

Modulación

- **Modular:** alterar o modificar sistemáticamente parámetros de una onda portadora según las variaciones de un mensaje.
- Es el proceso de codificar un mensaje en una señal portadora.



Modulación de pulsos



PAM: modulación por amplitud de pulsos

PDM: modulación por duración de pulsos

PPM: modulación por posición de pulsos

Fig. Carlson

Representación analítica

$$p(t) = R \cos(w_c t + \theta)$$

portadora sinusoidal

$$x_T(t) = R(x(t)) \cos(w_c t + \theta(x(t)))$$

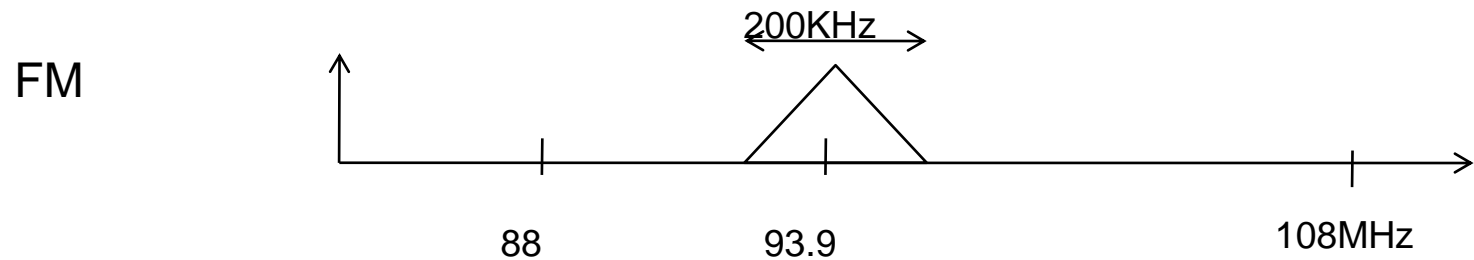
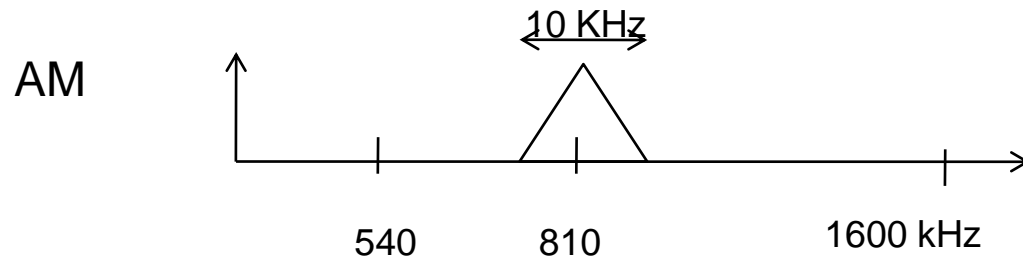
señal modulada

AM, BLD $x_T(t) = R(x(t)) \cos(w_c t + \theta_0)$ varía amplitud
envolvente

FM, PM $x_T(t) = R_0 \cos(w_c t + \theta(x(t)))$ varía fase

Razones para modular

1. **Compartir un medio:** Ej Radiodifusión – Broadcasting , emisión simultánea y recepción de distintos canales sin interferencia.



Razones para modular

VHF	Rango	Frec. MHz	P. Video	P. Audio
4	66	72	67,25	71,75
5	76	82	77,25	81,75
10	192	198	193,25	197,75
12	204	210	205,25	209,75

UHF		Rango	Frec. MHz
Canal 27	(10)	608	614
Canal 28	(12)	614	620
Canal 29	(4)	620	626
Canal 30	(5)	626	632

Multiplexado: ej. Enviar varios canales telefónicos sobre la misma frecuencia en enlace de micro ondas.

Razones para modular

2. **Trasmisión eficiente** : Antenas pequeñas requieren frecuencias de trabajo altas para verificar requerimientos físicos:

$$l = \frac{\lambda_c}{10} = \frac{c}{f_c 10} = \frac{3 \times 10^7}{f_c}$$

$$\text{si } f_c = 100\text{Hz} \rightarrow l > 300\text{km}$$

$$\text{si } f_c = 100\text{MHz} \rightarrow l \approx 1\text{m} \quad \text{FM}$$

$$\text{si } f_c = 1\text{GHz} \rightarrow l \approx 10\text{cm}$$

Razones para modular

Dependiendo de la frecuencia de trabajo las ondas tienen un modo de propagación principal

1. Onda Celeste : reflexión en las capas atmosféricas:

$1,5 \text{ MHz} < f_c < 100 \text{ MHz}$ VHF, FM (sensibles a condiciones atmosféricas)

2. Línea Vista:

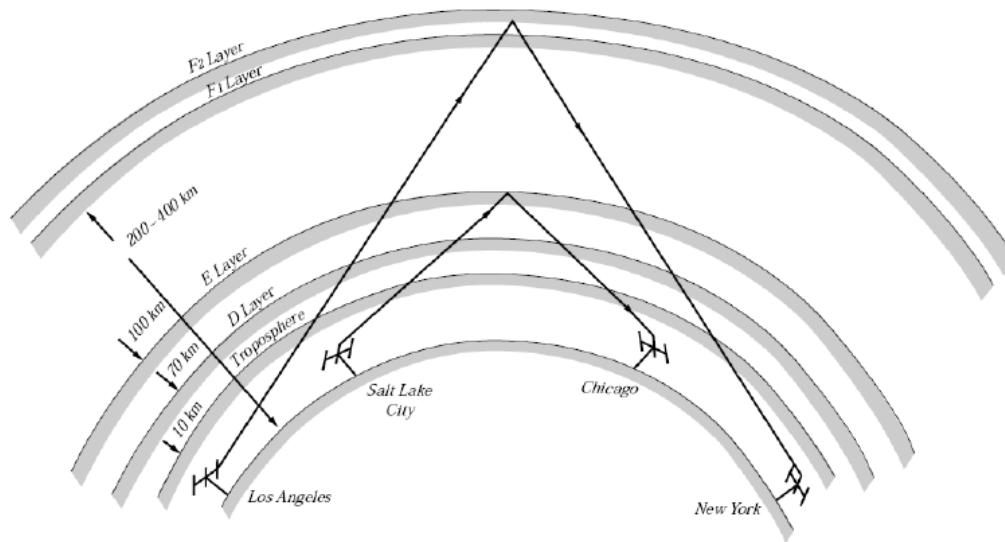
$100 \text{ MHz} < f_c < 100 \text{ GHz}$ UHF, TV (sensibles a oclusión)

3. Onda de Superficie

$f_c < 1,5 \text{ MHz}$ AM (mayor alcance)

Razones para modular

- Cada modo de propagación tiene comportamiento distinto en cuanto a la eficiencia en el uso de la potencia y a las características de transmisión (atenuación en función de la distancia)



Razones para modular

3. Diseño eficiente del hardware:

$0.01 < B_T/f_c < 0.1$: condición para un diseño eficiente.

Si quiero trabajar con grandes anchos de bandas necesito portadoras de alta frecuencia.

$$10 B_T < f_c < 100 B_T$$

4. Reducir ruido e interferencia:

Veremos que FM permite mejorar $(S/N)_D$ a costa de aumentar ancho de banda de transmisión para un S_T fijo.

Modulación en amplitud o lineal

$$x_T(t) = R(x(t)) \cos(\omega_c t + \theta_0)$$

$$R(x(t)) = a + bx(t) \text{ modulación lineal}$$

AM: radiodifusión $\text{sig}(a + b(x(t))) = \text{cte}$,
envolvente no cambia de signo.

Sup:

1. $x(t)$ ancho de banda limitado a $W \rightarrow G_x(f) \approx 0$ si $|f| \geq W$

2. $x(t)$ está normalizada en amplitud $|x(t)| \leq 1 \rightarrow P(|x(t)| \leq 1) \approx 0.99$

AM

$$x_T(t) = A_c(1 + mx(t)) \cos(\omega_c t + \theta_0)$$

$$\text{con } m \leq 1 \text{ y } |x(t)| \leq 1$$

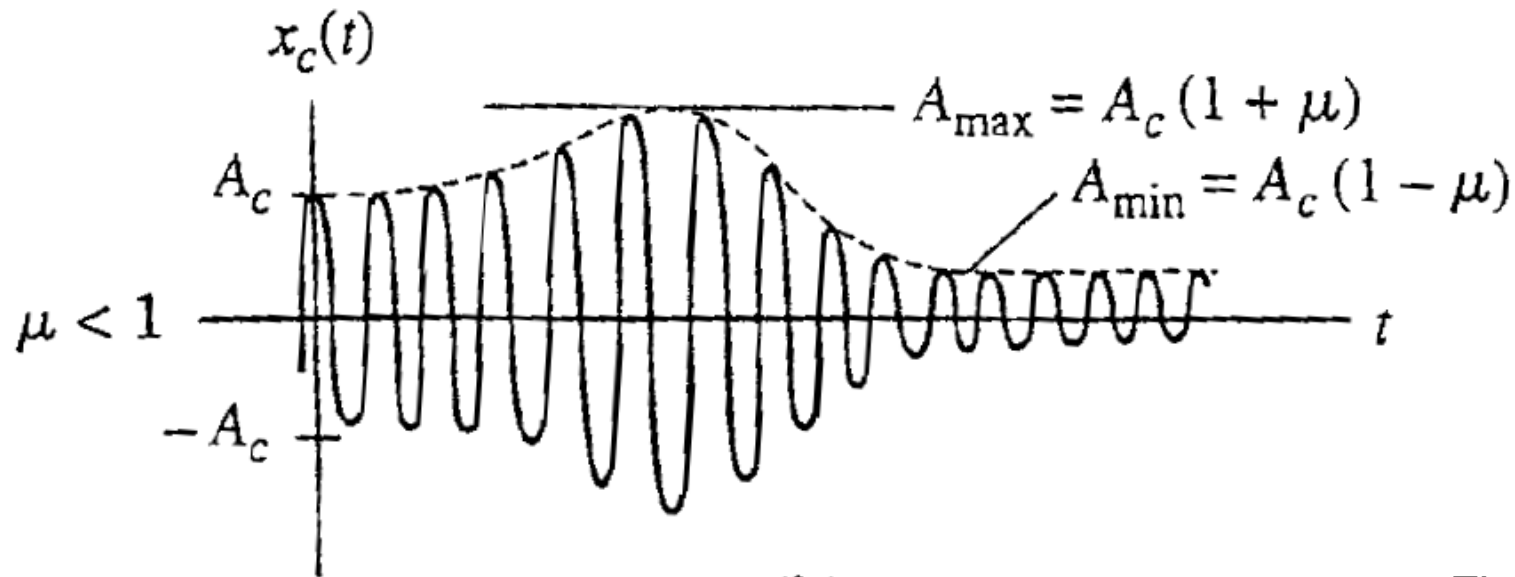
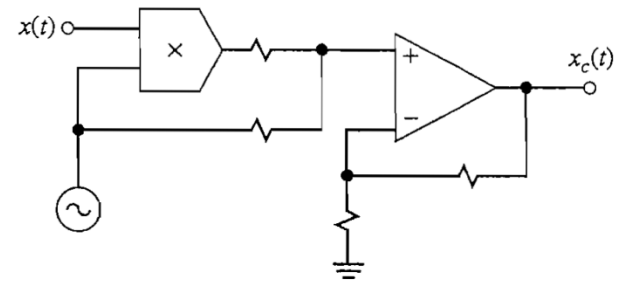
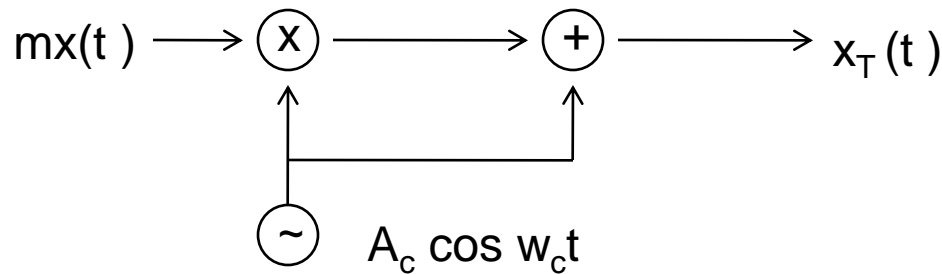


Fig. Carlson

Moduladores

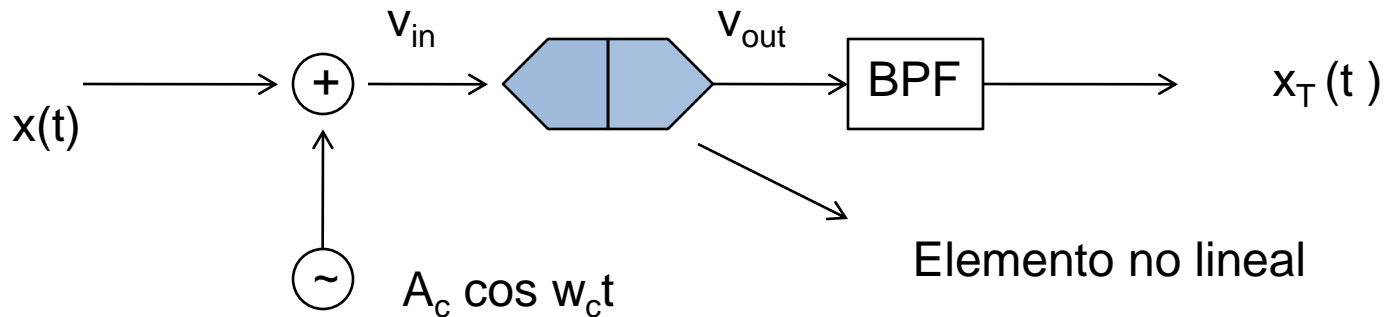
1. Moduladores de **producto**



Se puede implementar pero es impráctico

Fig. Carlson

2. Moduladores **no lineales**



Moduladores de ley cuadrática

$$v_{out} = a_1 v_{in} + a_2 v_{in}^2$$

$$v_{out} = a_1 x(t) + a_2 x(t)^2 + a_2 \cos w_c(t)^2 + a_1 \left[1 + \frac{2a_2}{a_1} x(t) \right] \cos w_c(t)$$

$$m = \frac{2a_2}{a_1}$$

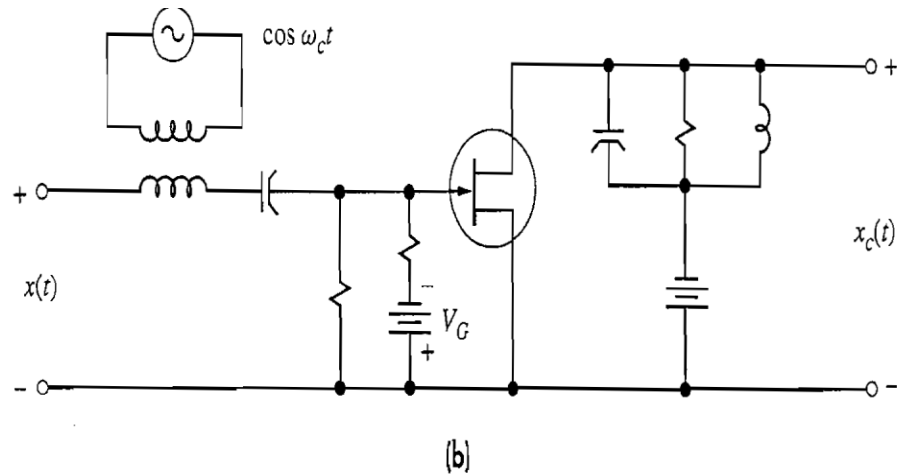


Fig. Carlson

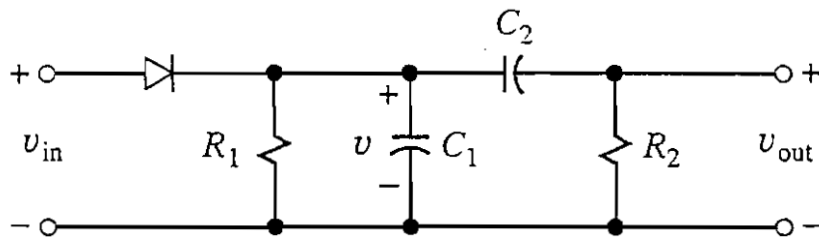
Detección de AM

Es muy fácil detectar el mensaje a partir de la señal transmitida (señal modulada) la envolvente de la señal es el mensaje a menos de la continua.

Formas de detección:

1. Detector de ley cuadrática
 2. Rectificadores
 3. Detector de envolvente .
-

Detector de envolvente



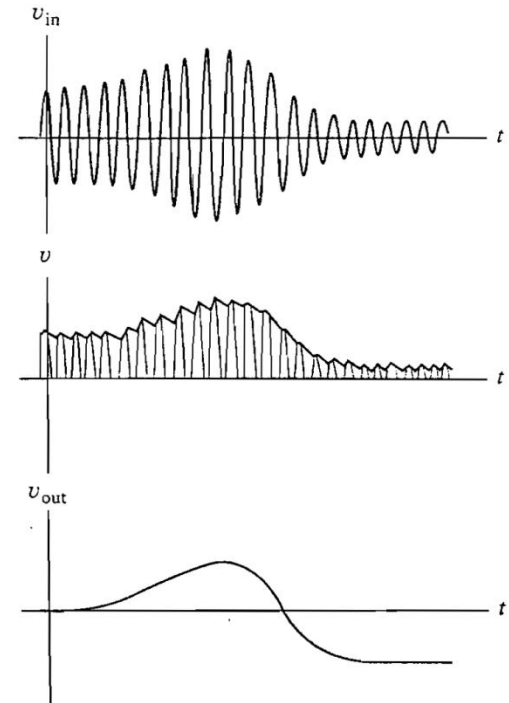
El bajo costo del receptor impulsó la difusión de AM.

$$V_{in} > V$$

$$V = V_{in}$$

$$V_{in} < V$$

$$V = V_p e^{-\frac{t}{R_1 C_1}}$$



$$\text{si } f_c \gg \frac{1}{R_1 C_1} \gg W$$

$1/R_1 C_1$ lo suficientemente grande para que no exista desenganche pero no tanto como para que siga a la portadora.

Detector de envolvente

Si $m > 1$ (sobremodulación), no puedo detectar el mensaje, se produce inversión de fase. Para el correcto funcionamiento del detector de envolvente se requiere

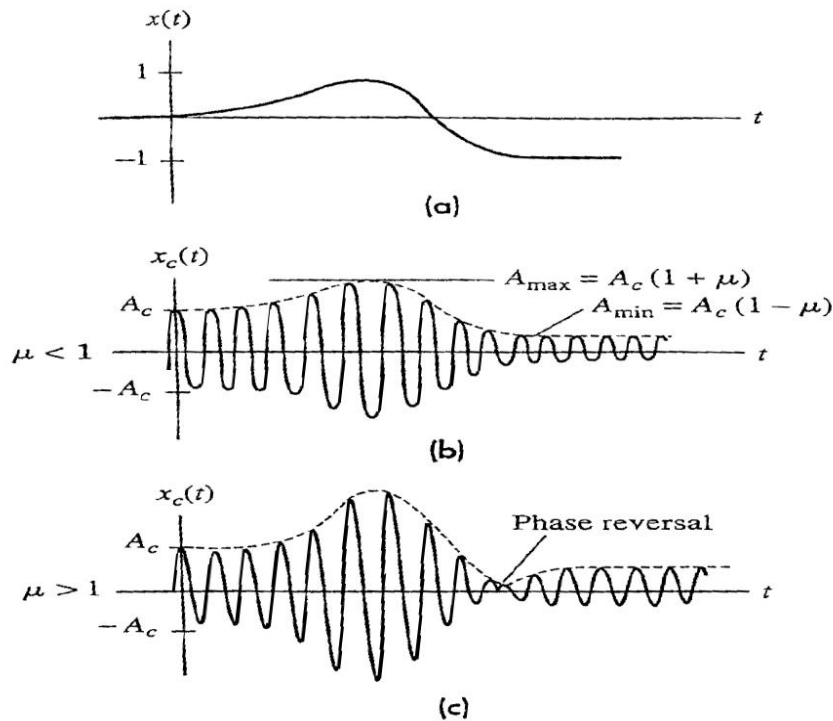


Fig. Carlson