

## Tema 3

**Transmisión de señales a través de cuadripolos lineales invariantes en el tiempo.** Análisis en dominio de tiempo. Convolución. Convolución discreta. Análisis en frecuencia. Función de transferencia, amplitud y fase. Ancho de banda equivalente. Distorsión de amplitud y fase. Condiciones necesarias para transmisión sin distorsión.

**Retardos de fase y grupo. Efecto de alinealidades leves. Modelado de la distorsión no lineal. Análisis en tiempo y frecuencia. Puntos de intercepción de segundo y tercer orden.** Ruido térmico. Modelo de resistencia ruidosa. Caracterización del ruido térmico en sistemas lineales. Número de ruido y Temperatura equivalente de ruido. Cascada de cuadripolos. Relación señal/ruido. Rango dinámico.

## Condiciones necesarias para transmisión sin distorsión

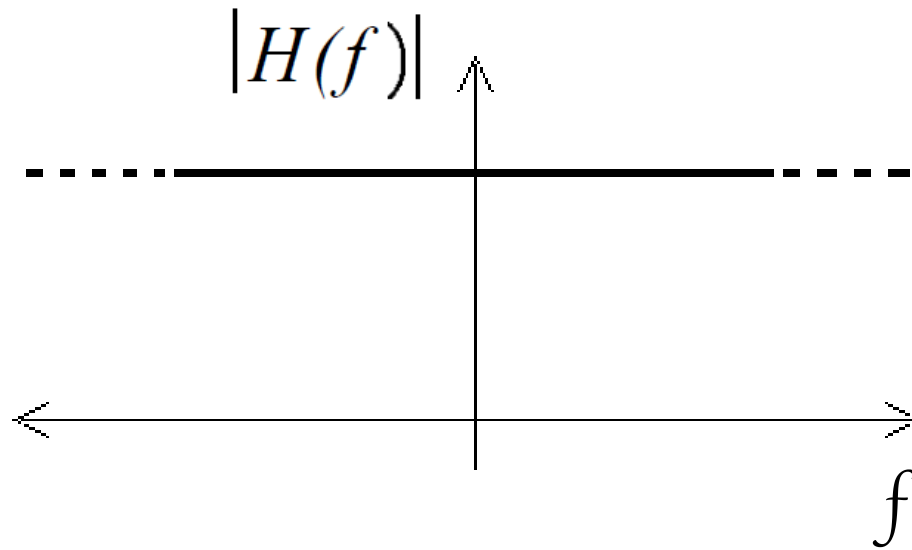
$$y(t) = Kx(t - t_d)$$

$$Y(f) = H(f)X(f)$$

$$Y(f) = \mathcal{F}[y(t)] = Ke^{-j\omega t_d}X(f)$$

$$H(f) = Ke^{-j\omega t_d}$$

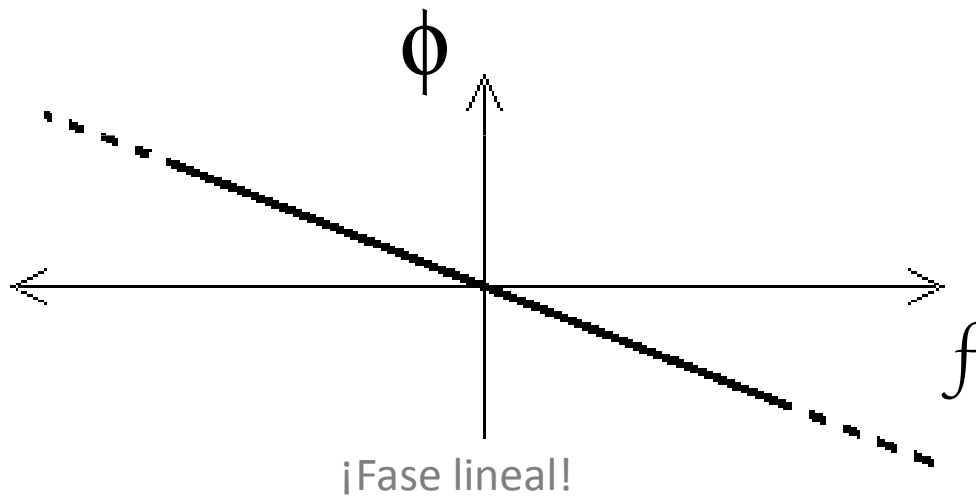
$$|H(f)| = |K| \quad \arg H(f) = -2\pi t_d f \pm m180^\circ$$



$$|H(f)| \neq |K|$$

(Módulo NO constante)

Distorsión de amplitud

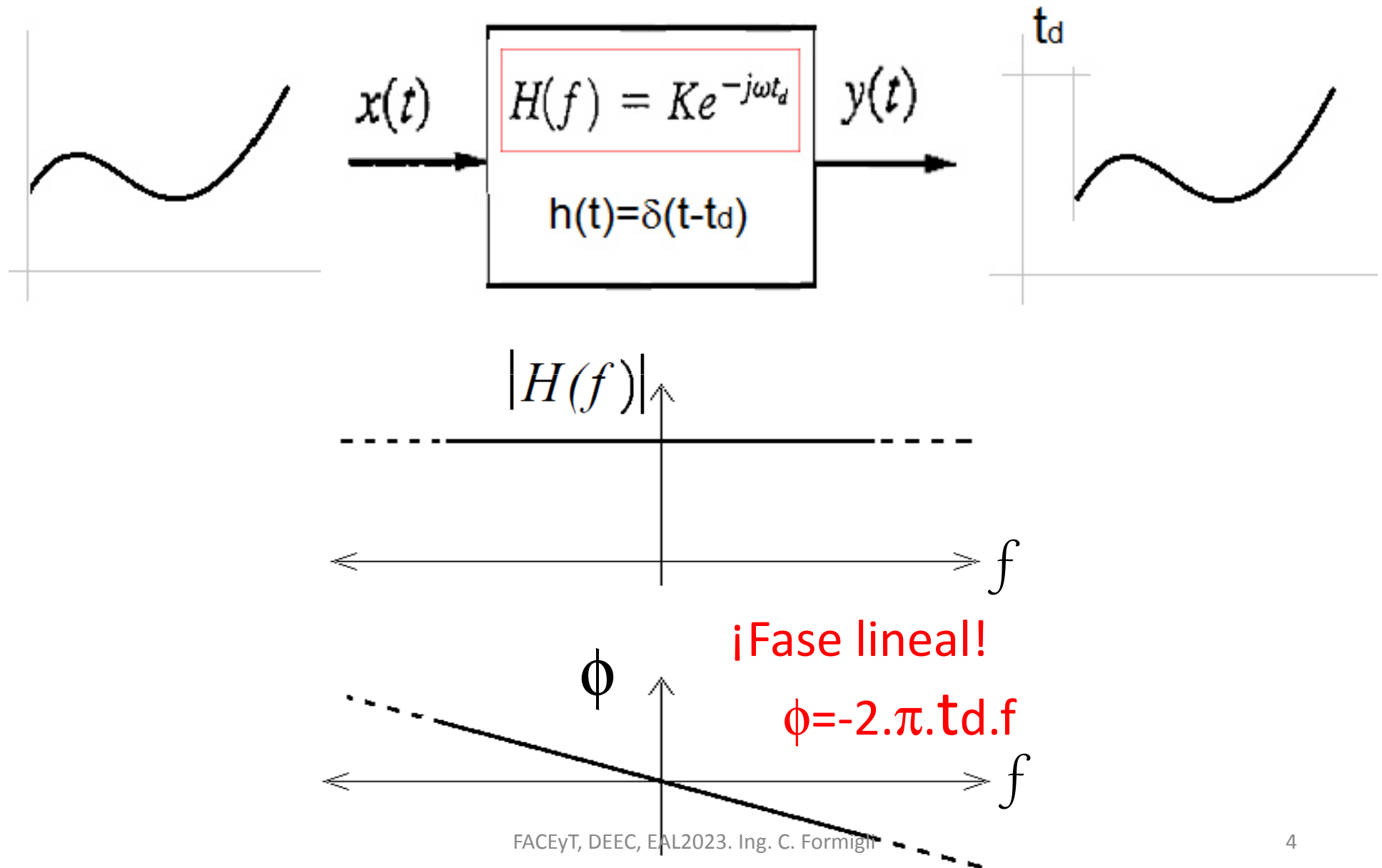


$$\arg H(f) \neq -2\pi t_d f \pm m180^\circ$$

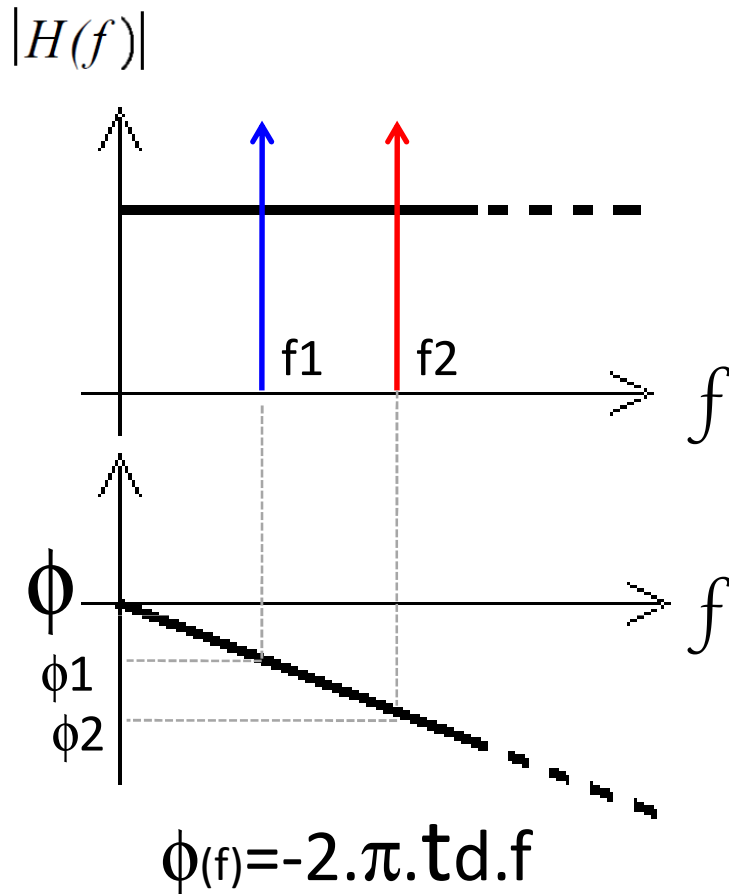
Distorsión de retardo

# Retardos de Fase y de Grupo

(Carlson-Crilly-Rutledge cap. 3.2)



## Retardo de Fase



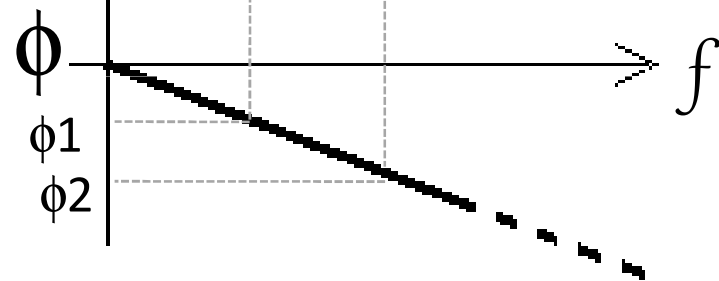
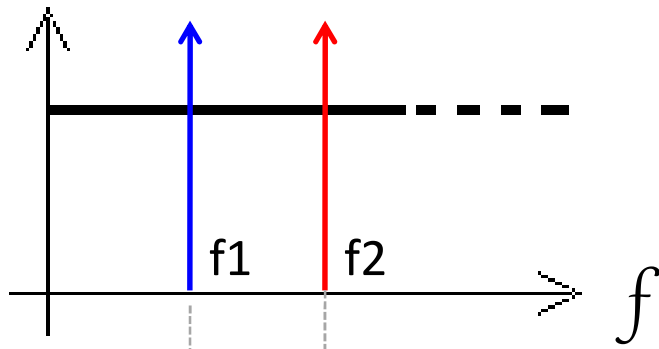
El **Retardo de Fase** (“phase delay”), es una medida de tiempo, que indica el equivalente en segundos del corrimiento de fase angular (phase shift, o phase lag/lead) que se observa a una frecuencia particular, entre las señales de entrada y salida de un bipuerto.

Cuando se tiene un sistema que presenta corrimiento de fase “lineal”, cada componente espectral sufrirá un corrimiento angular distinto, pero el equivalente en tiempo será el mismo para todas. Es decir: todas las componente tendrán el mismo **retardo** de fase.

Cuando se tiene un sistema de modulación de banda angosta, suele tomarse como referencia de frecuencia la correspondiente a la portadora, y se habla de “retardo de portadora”. O sea: el retardo de fase representativo para la banda de frecuencias de trabajo será el retraso angular de la portadora, pero expresado en segundos.

## Retardo de Fase

$|H(f)|$



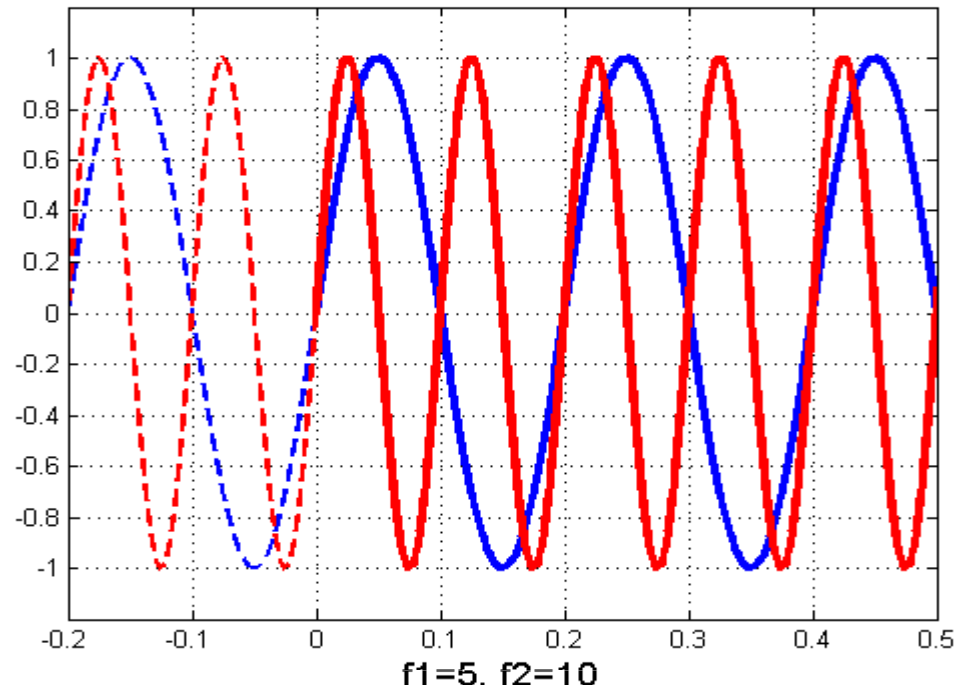
$$\phi = -2\pi \cdot t_d \cdot f$$

si  $t_d = 25\text{ms}$ ,

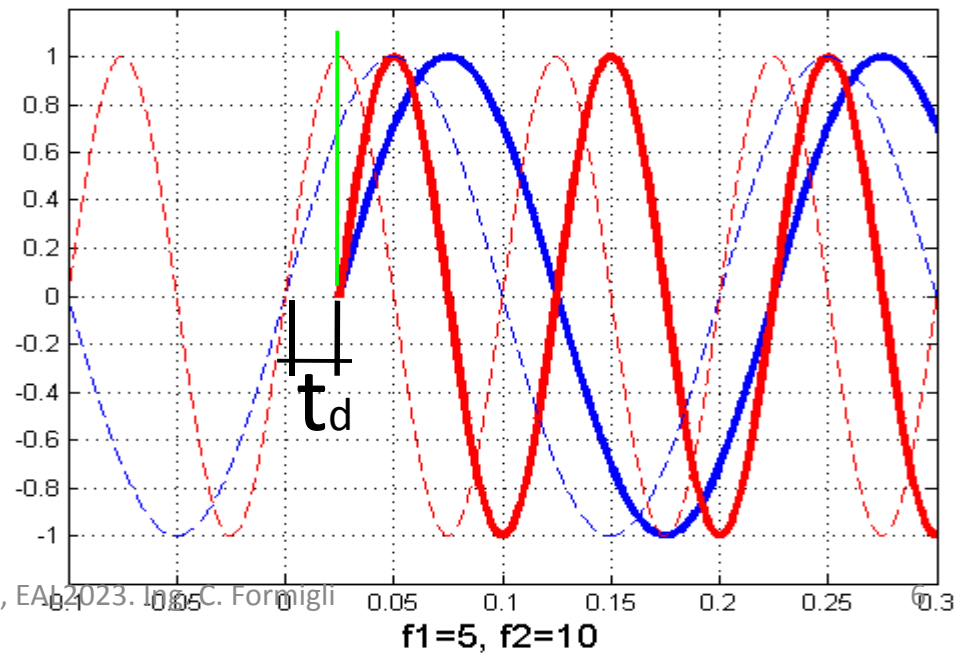
$$\phi_1 = -45^\circ$$

$$\phi_2 = -90^\circ$$

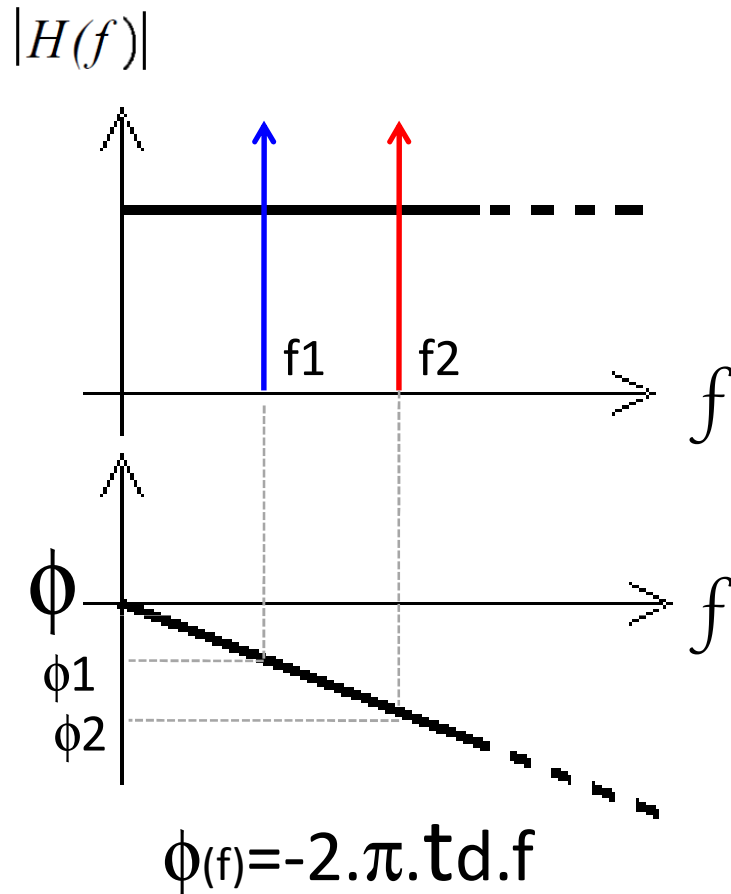
$X(t)$



$Y(t)$



## Retardo de Grupo



El retardo de grupo es una medida de tiempo (en segundos) que se corresponde con el retardo entre la envolvente de la señal de entrada y envolvente de la señal de salida. También es llamado “Retardo de Envolvente”, “Group delay” o “Envelope Delay”.

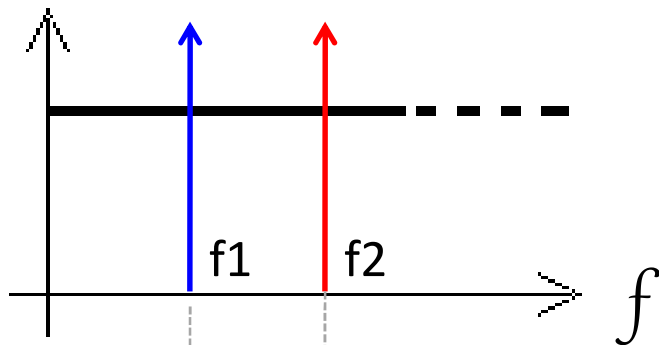
Se define matemáticamente como:

$$t_g = 1/2\pi * d\phi/df$$

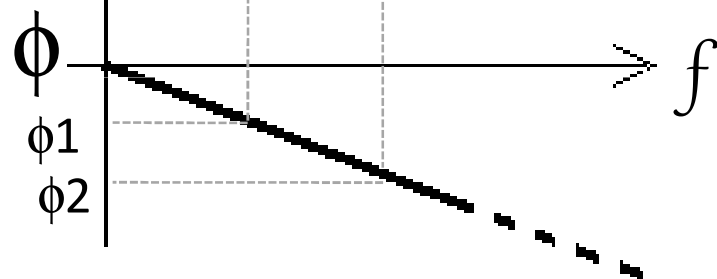
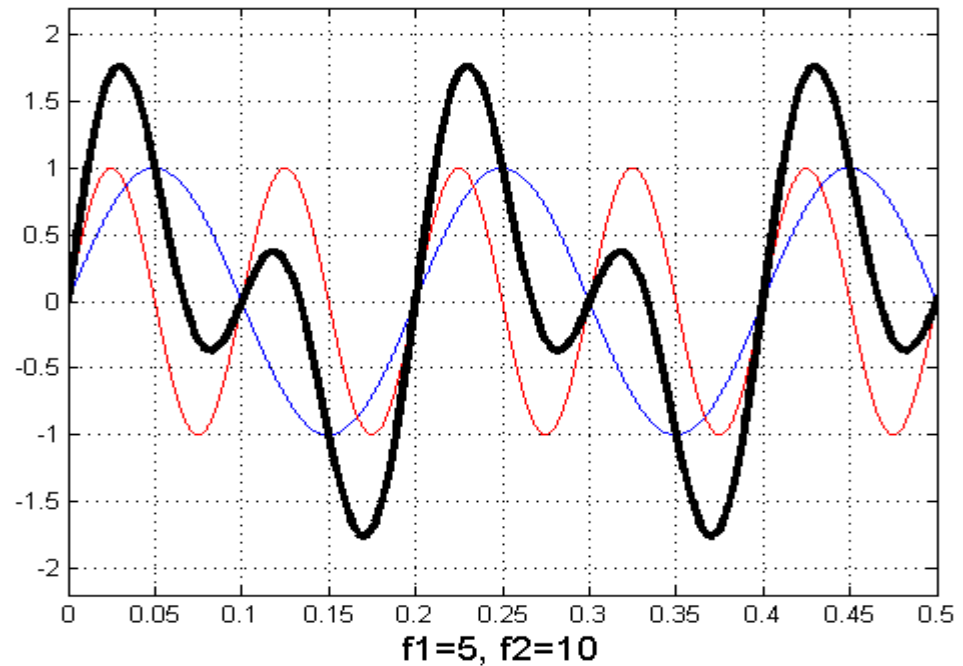
De manera que cuando el sistema exhibe corrimiento de fase lineal, el retardo de grupo ( $t_g$ ) resulta igual al retardo de fase ( $t_d$ ).

# Retardo de Grupo

$|H(f)|$



$X(t)$



$$\phi = -2\pi \cdot t_d \cdot f$$

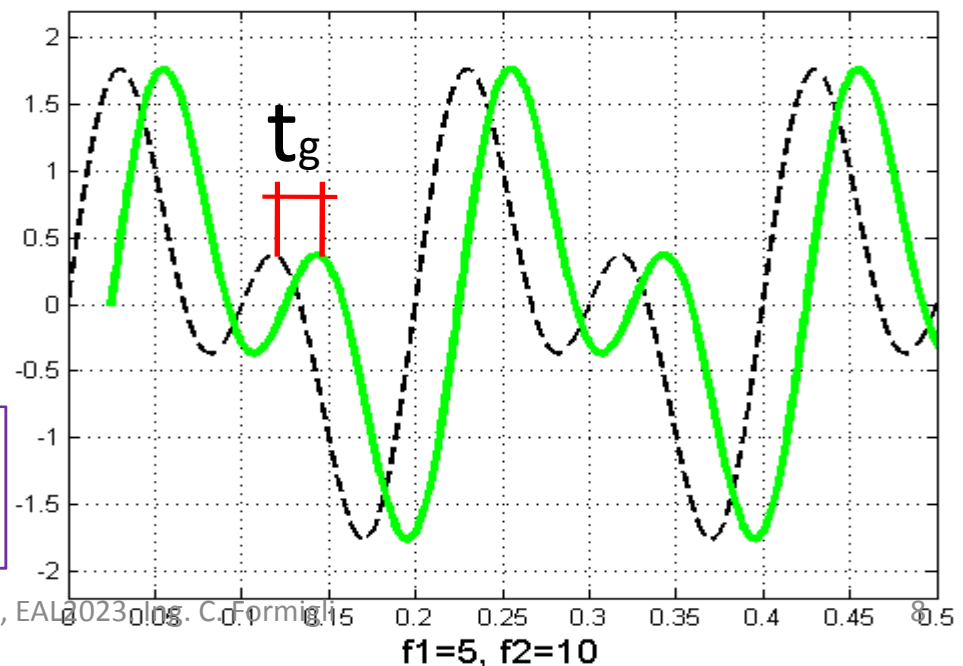
si  $t_d = 25\text{ms}$ ...

$$\phi_1 = -45^\circ$$

$$\phi_2 = -90^\circ$$

$$t_g = 1/2\pi \cdot d\phi/df$$

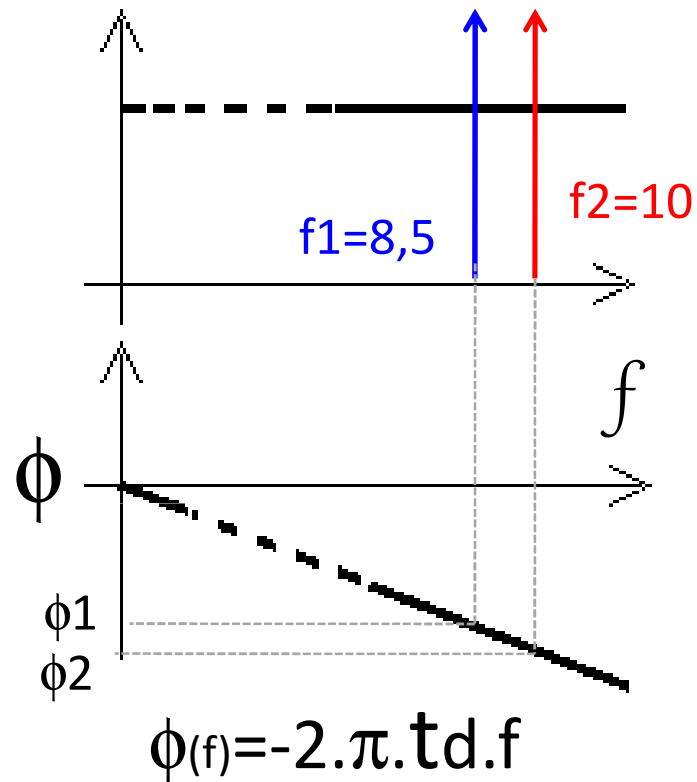
$Y(t)$





## Retardo de Grupo

$|H(f)|$



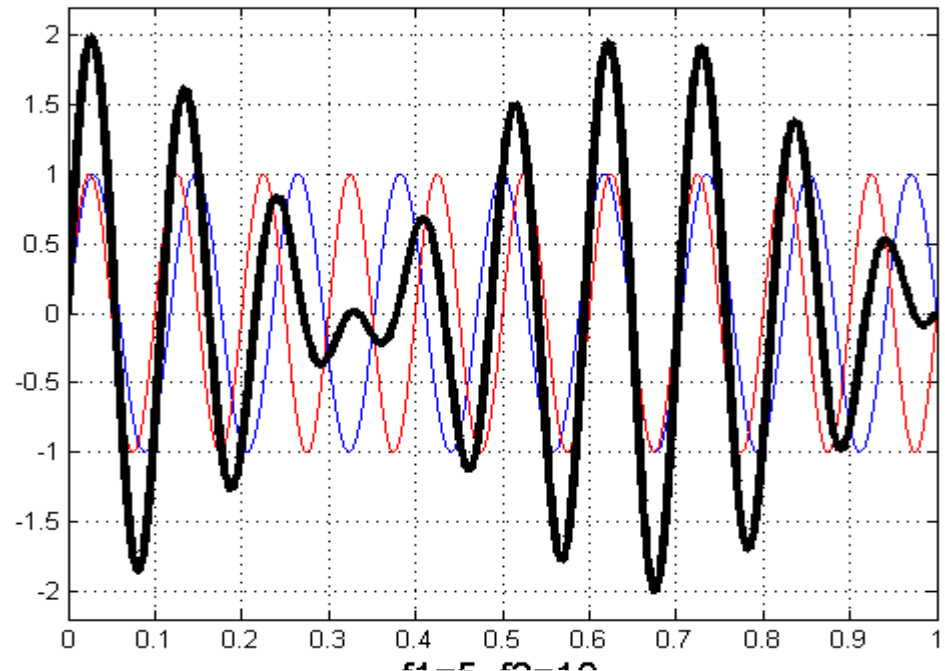
si  $t_d = 25\text{ms}$ ,

$$\phi_1 = -76,5^\circ$$

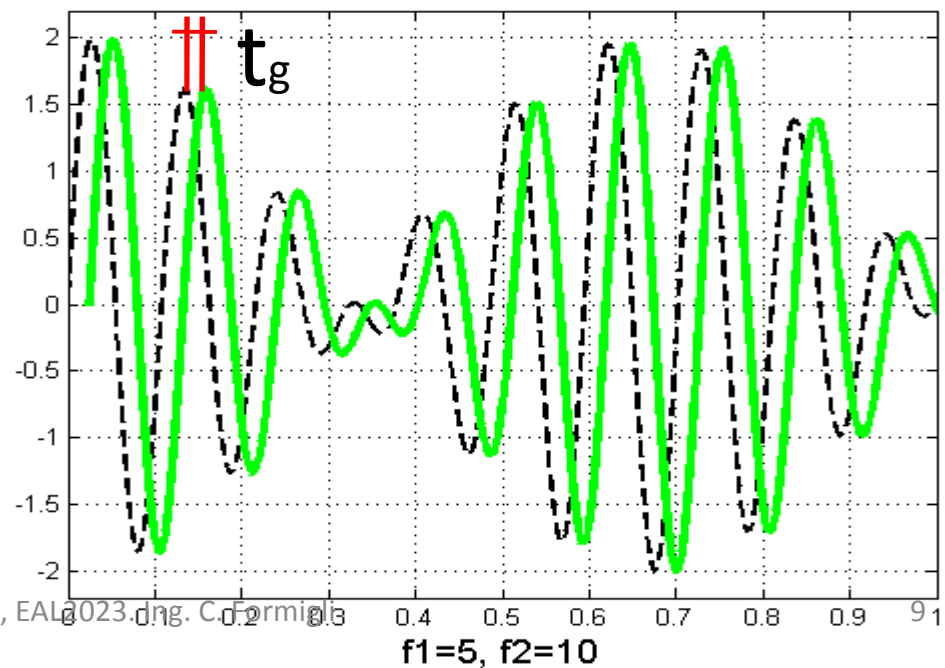
$$\phi_2 = -90^\circ$$

$$t_g = t_d$$

$X(t)$

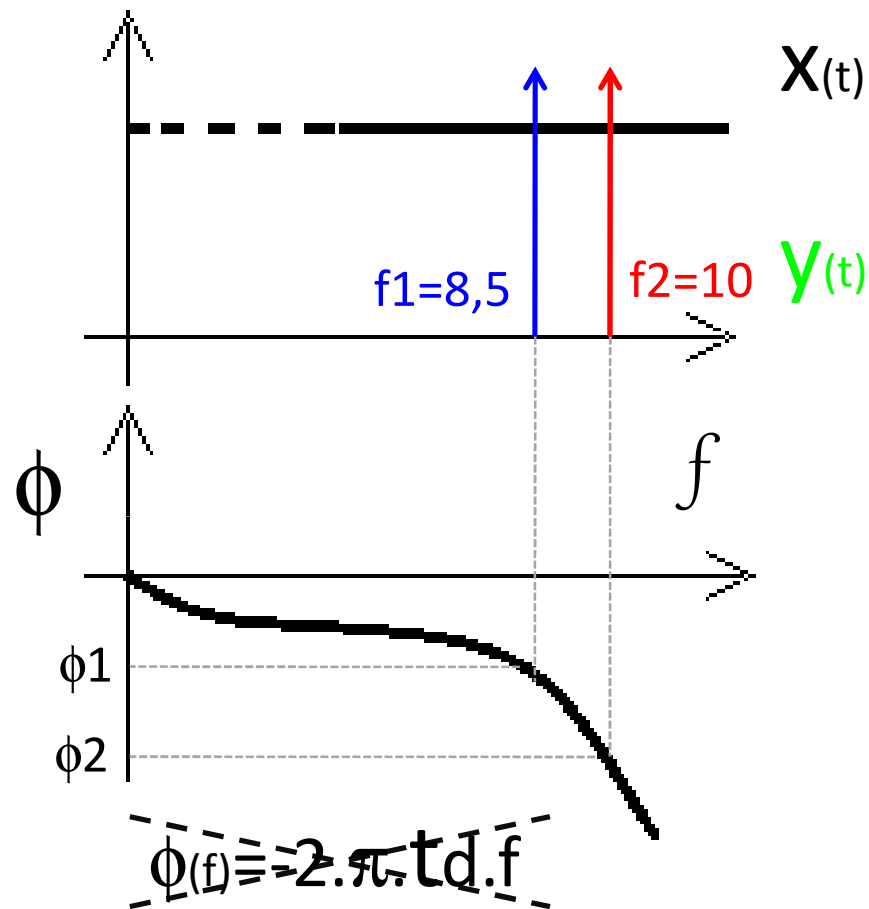


$Y(t)$



# Retardo de Grupo

$|H(f)|$



$$\phi_1 = -45^\circ$$

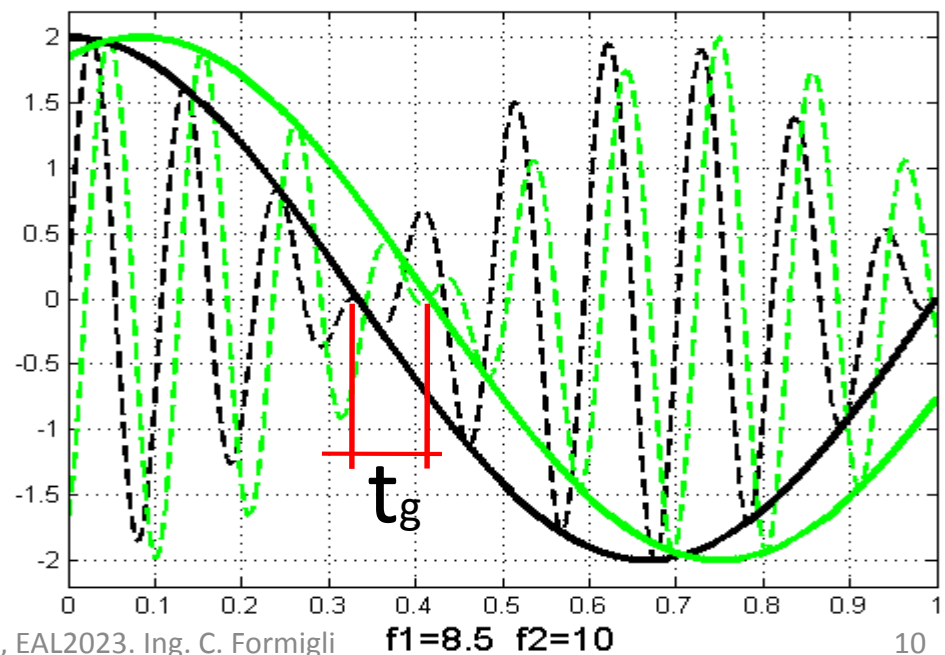
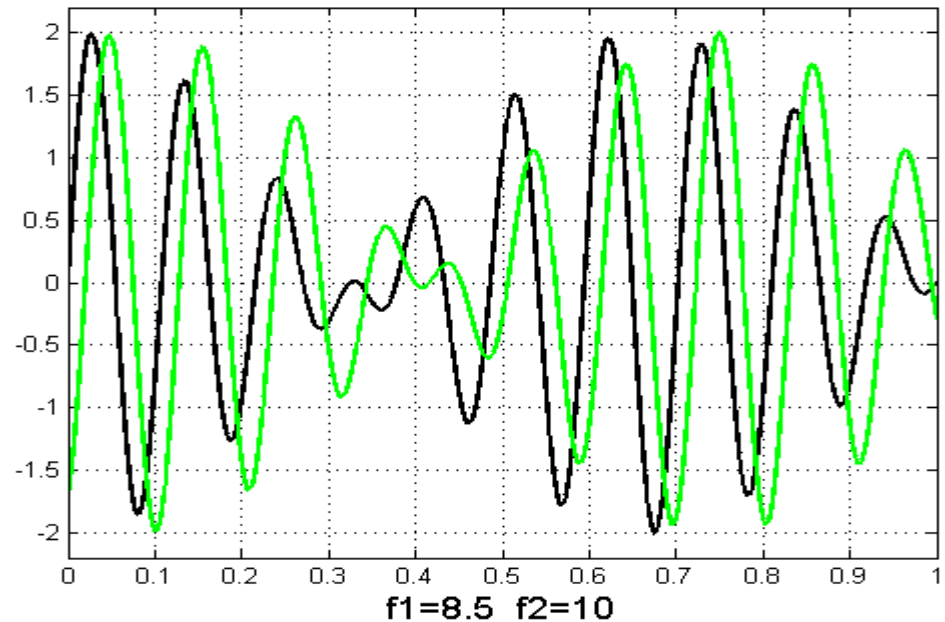
$$\phi_2 = -90^\circ$$

$$t_g = 1/2\pi * d\phi/df$$

$$t_g = 83\text{ms}$$

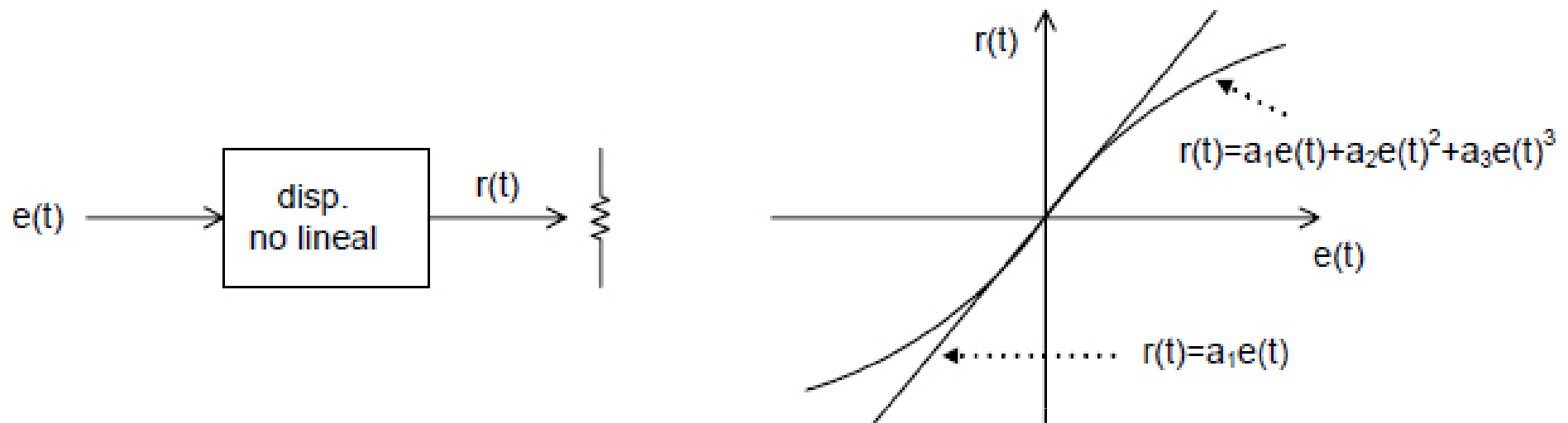
$X(t)$

$Y(t)$





## Efectos de las Alinealidades Leves, (distorsión no lineal)



$$r(t) = a_1 \cdot e(t) + a_2 \cdot e(t)^2 + a_3 \cdot e(t)^3 + \dots$$

$$R(f) = a_1 E(f) + a_2 \cdot (E(f) * E(f)) + a_3 \cdot (E(f) * E(f) * E(f))$$

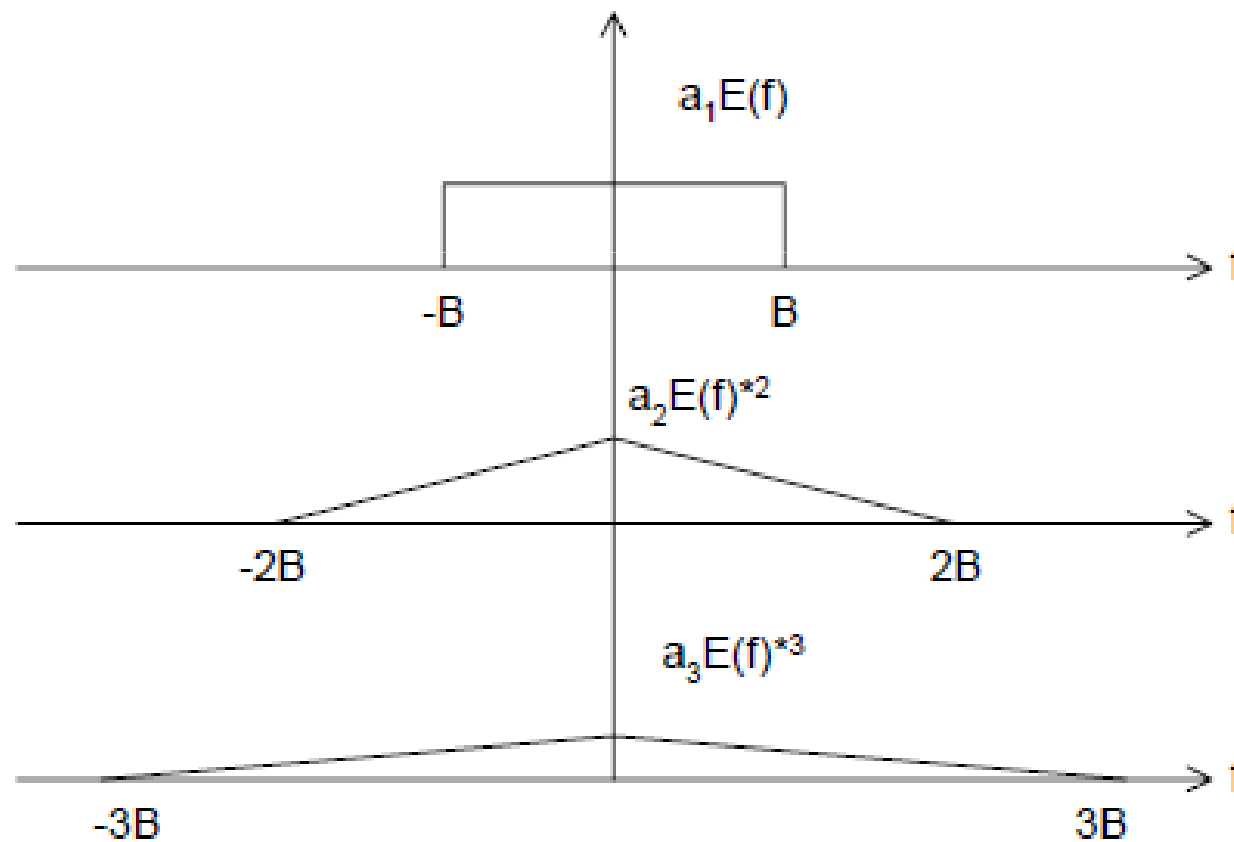
Carlson-Crilly-Rutledge: cap. 3.2;

Chen: "THE CIRCUITS AND FILTERS HANDBOOK": Puntos de intermodulación IP2 IP3, cap. 4.4;

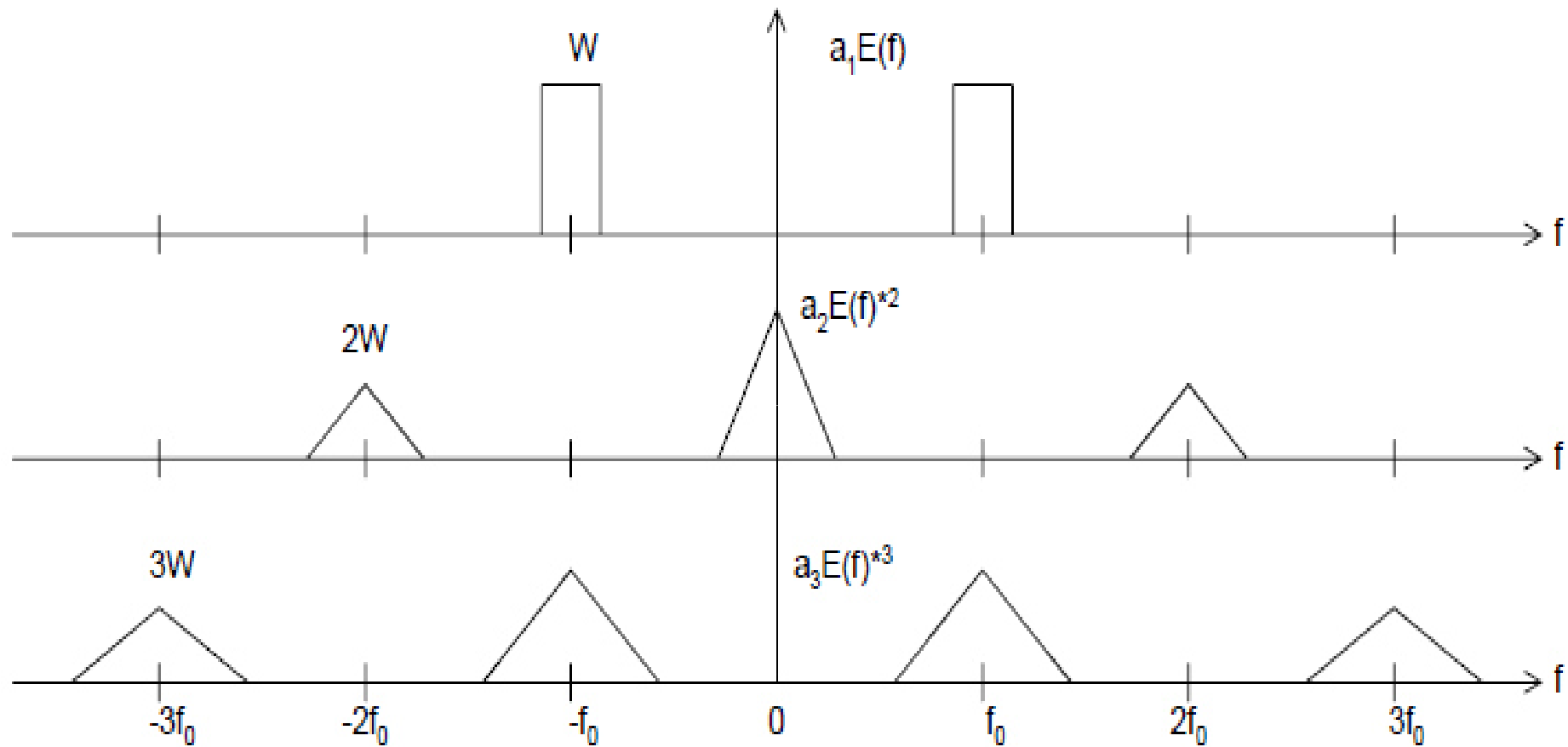
Kraus-Bostian-Raab "Estado Sólido en Ingeniería de Radiocomunicación", cap. 7.

## Efectos de las Alinealidades leves, (distorsión no lineal)

$$R(f) = a_1 E(f) + a_2 \cdot (E(f) * E(f)) + a_3 \cdot (E(f) * E(f) * E(f))$$



## Efectos de las Alinealidades leves, (distorsión no lineal)



## Efectos de las Alinealidades leves, (distorsión no lineal)

$$e(t) = A \cdot \cos(2\pi f_1 t) + A \cdot \cos(2\pi f_2 t)$$

$$r(t) = \left[ a_1 \cdot A \cdot (\cos(2\pi f_1 t) + \cos(2\pi f_2 t)) \right] + \left[ a_2 \cdot A^2 \cdot (\cos(2\pi f_1 t) + \cos(2\pi f_2 t))^2 \right] \\ + \left[ a_3 \cdot A^3 \cdot (\cos(2\pi f_1 t) + \cos(2\pi f_2 t))^3 \right]$$

Contribución a  $r(t)$  del 1<sup>er</sup> término (lineal):  $a_1 \cdot A \cdot (\cos(2\pi f_1 t) + \cos(2\pi f_2 t))$

Contribución a  $r(t)$  del 2<sup>o</sup> término (cuadrático):

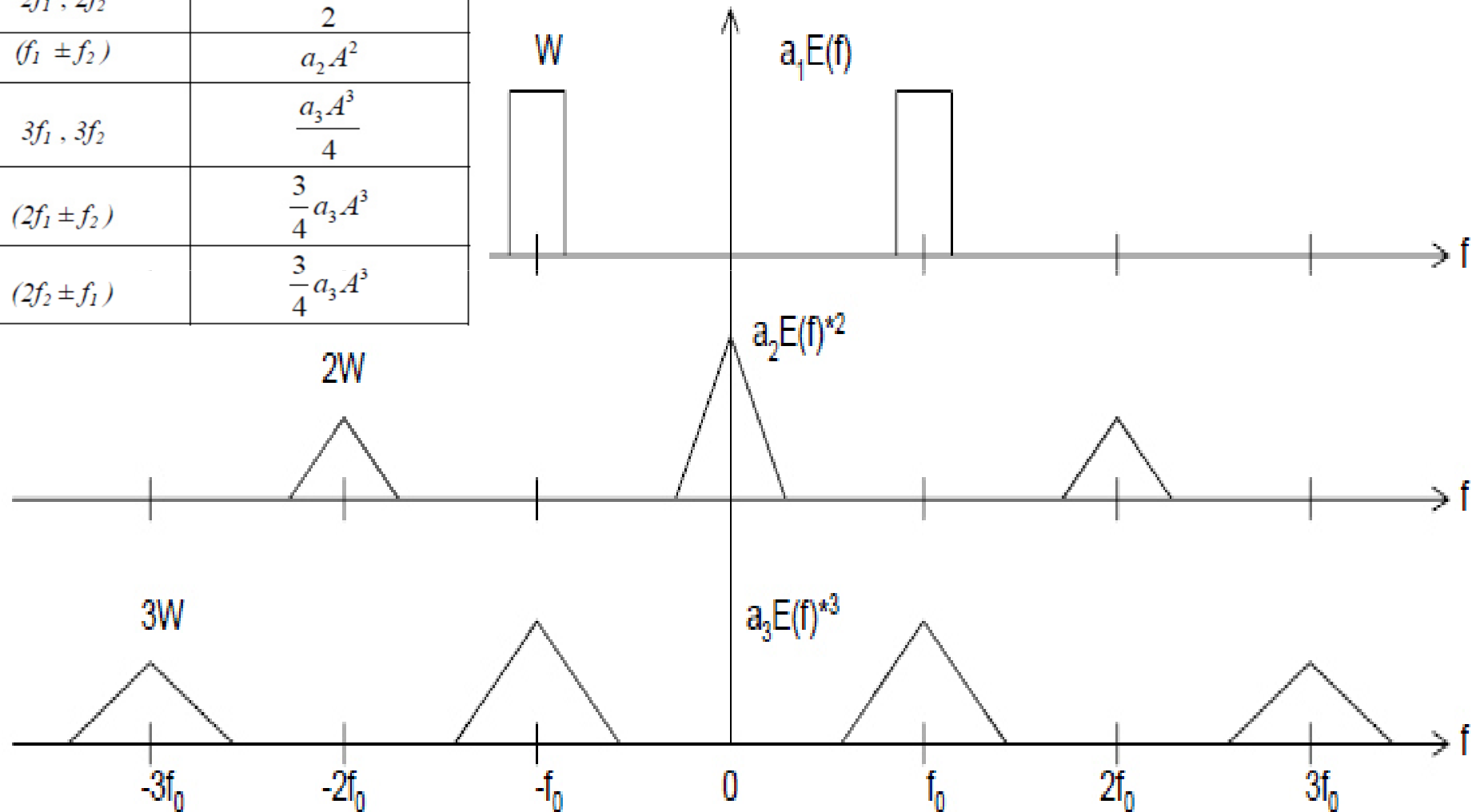
$$a_2 A^2 + \frac{a_2 A^2}{2} \cos(2\pi(2f_1)t) + \frac{a_2 A^2}{2} \cos(2\pi(2f_2)t) + a_2 A^2 \cos(2\pi(f_1 \pm f_2)t)$$

Contribución a  $r(t)$  del 3<sup>er</sup> término (cúbico):

$$\left( \frac{9}{4} a_3 A^3 \right) \cos(2\pi f_1 t) + \left( \frac{9}{4} a_3 A^3 \right) \cos(2\pi f_2 t) + \frac{a_3 A^3}{4} \cos(2\pi(3f_1)t) + \frac{a_3 A^3}{4} \cos(2\pi(3f_2)t) + \\ + \frac{3}{4} a_3 A^3 \cos(2\pi(2f_1 \pm f_2)t) + \frac{3}{4} a_3 A^3 \cos(2\pi(2f_2 \pm f_1)t)$$

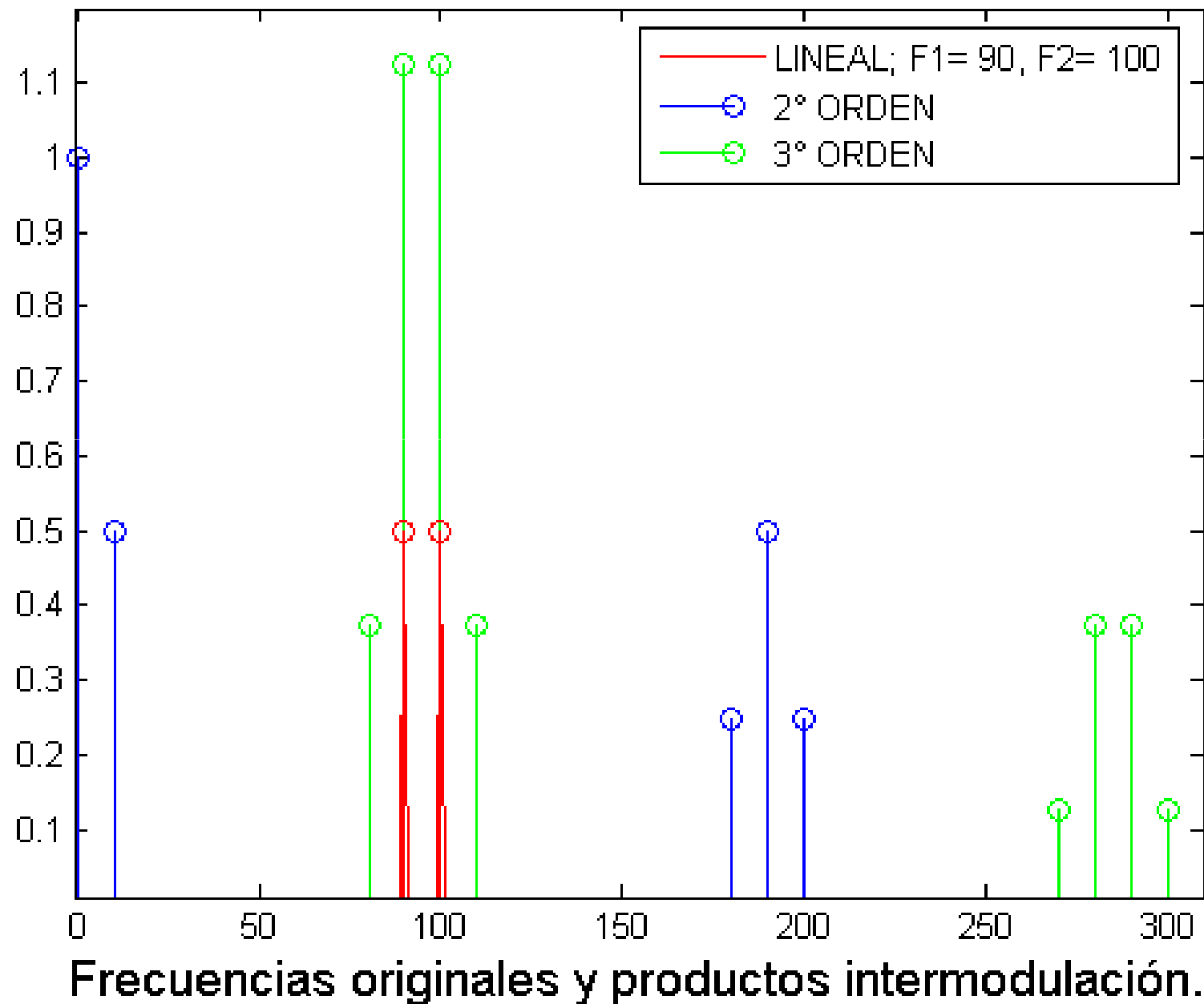
## Efectos de las Alinealidades leves, (distorsión no lineal)

Frecuencia	Amplitud
0	$a_2 A^2$
$f_1, f_2$	$\left( a_1 A + \frac{9}{4} a_3 A^3 \right)$
$2f_1, 2f_2$	$\frac{a_2 A^2}{2}$
$(f_1 \pm f_2)$	$a_2 A^2$
$3f_1, 3f_2$	$\frac{a_3 A^3}{4}$
$(2f_1 \pm f_2)$	$\frac{3}{4} a_3 A^3$
$(2f_2 \pm f_1)$	$\frac{3}{4} a_3 A^3$





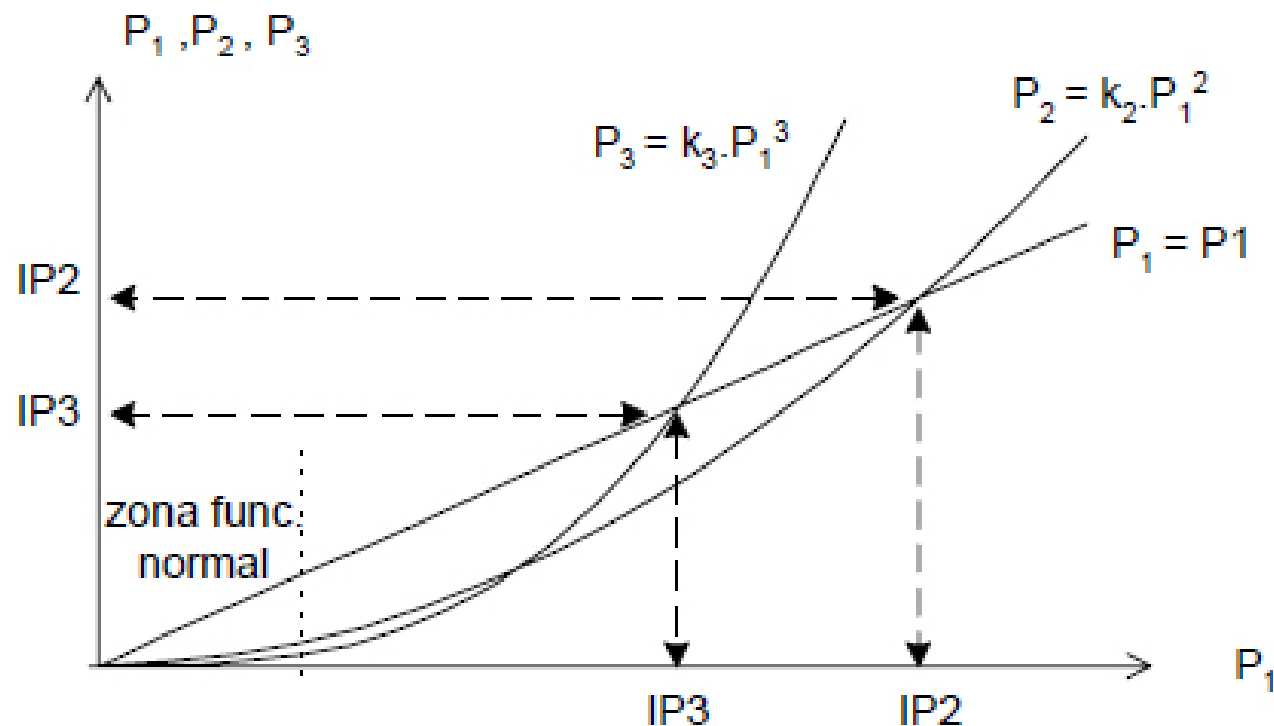
## Efectos de las Alinealidades leves, Productos de intermodulación



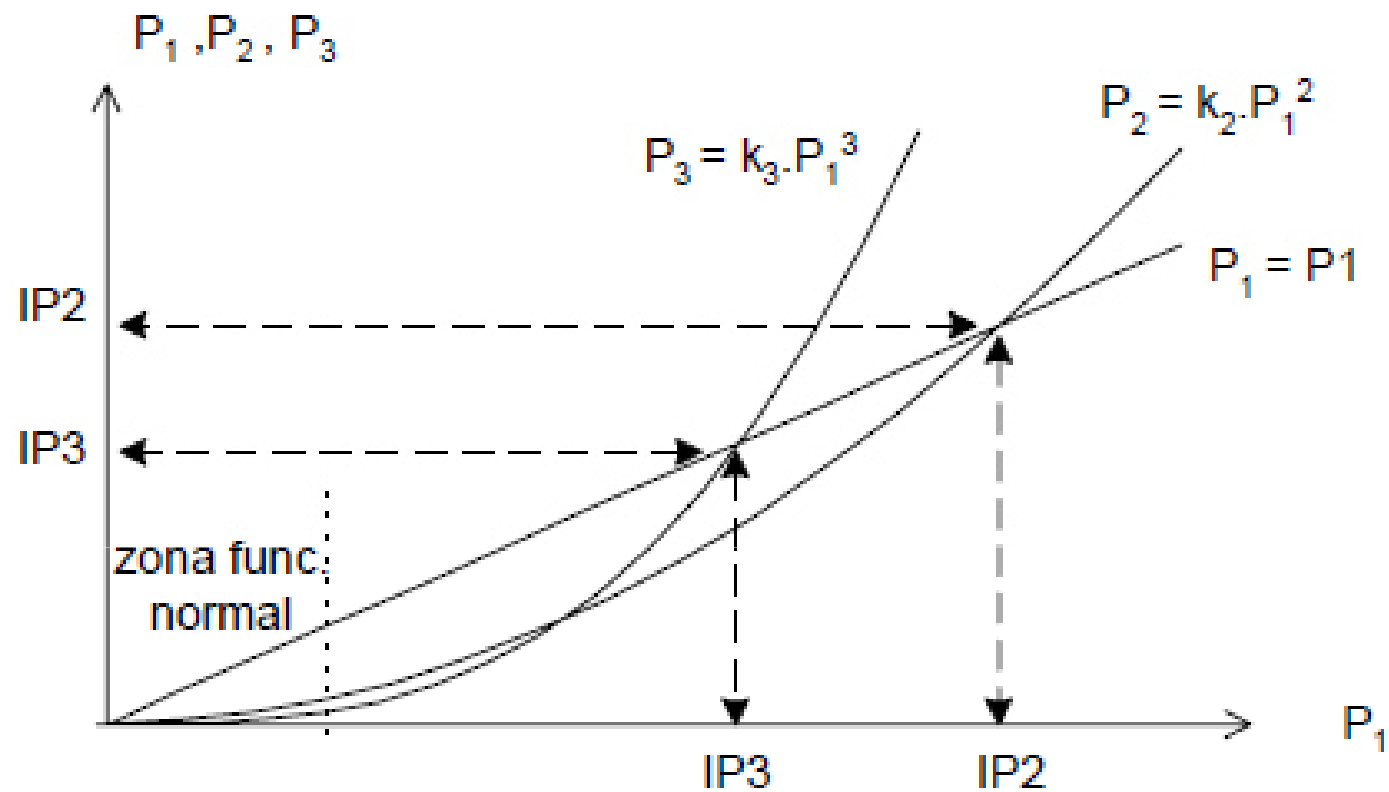
## Puntos de intersección de 2° y 3° orden

Llamando  $P_1$ ,  $P_2$  y  $P_3$  a las potencias de salida en frecuencia fundamental, 2° y 3° orden

$$P_2 = k_2 P_1^2 \text{ y } P_3 = k_3 P_1^3$$



## Efectos de las Alinealidades leves, (distorsión no lineal)



$$\begin{aligned}
 IP2 &= k_2 \cdot (IP2)^2 & \therefore & \quad k_2 = \frac{1}{IP2} & \therefore & \quad P_2 = \frac{P_1^2}{IP2} \\
 IP3 &= k_3 \cdot (IP3)^3 & \therefore & \quad k_3 = \frac{1}{(IP3)^2} & \therefore & \quad P_3 = \frac{P_1^3}{(IP3)^2}
 \end{aligned}$$

## Punto de compresión de 1dB

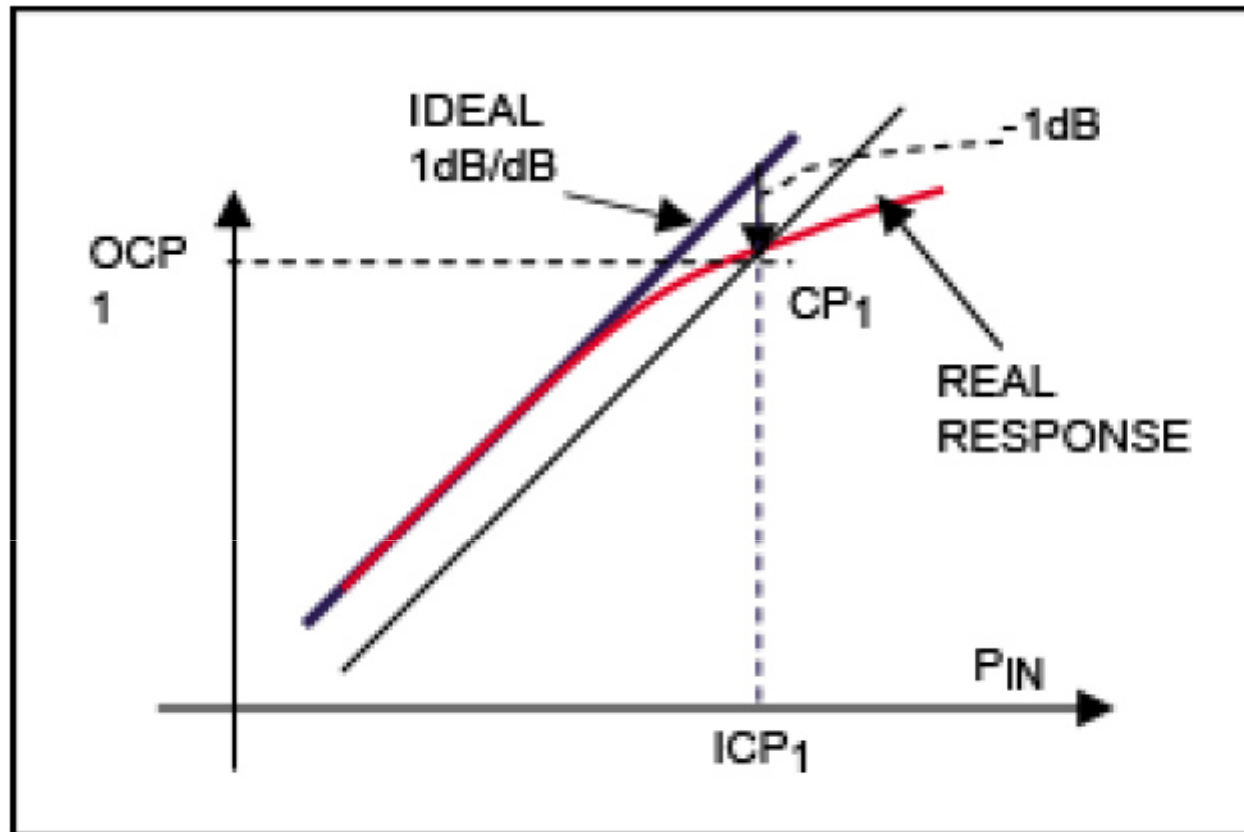


Figure 13. Graphical view of a -1dB compression point.

TUTORIAL 5429

### The IP3 Specification - Demystified

By: Kuo-Chang Chan, Director of Field Applications Engineering in Southern Europe  
Mar 12, 2013

# MAX2062

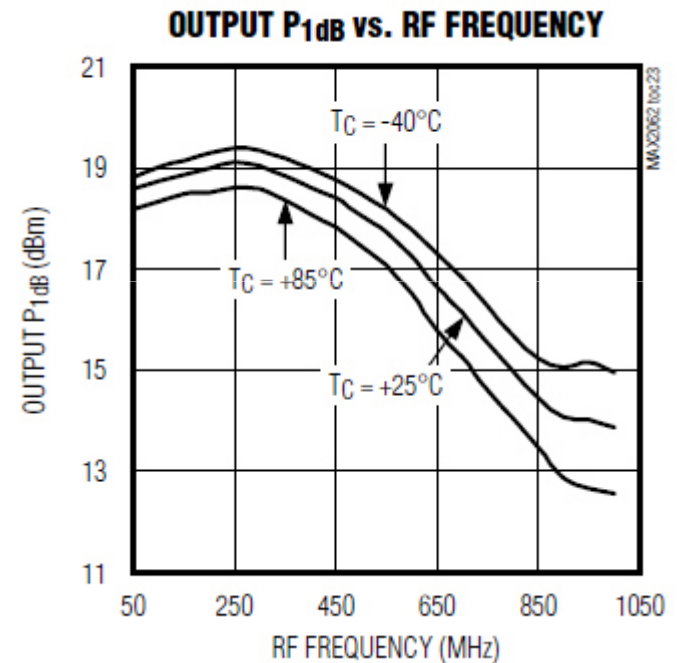
**Dual 50MHz to 1000MHz High-Linearity,  
Serial/Parallel-Controlled Analog/Digital VGA**

+41dBm OIP3

+56dBm OIP2

+19dBm Output 1dB Compression Point

7.3dB Typical Noise Figure (at 200MHz)



# HELA-10+

Surface Mount

# High IP3 Monolithic Amplifier



Broadband, 50&75 ohms 5 to 1000 MHz

CASE STYLE: CM624

## Maximum Ratings

Heat Slug Temperature	110°C
Storage Temperature	-40°C to +125°C
DC Voltage	+13V
DC Power	7.15W

## Features

- excellent flatness,  $\pm 0.4$  dB typ.
- very high IP3, 49 dBm typ. at 150 MHz & 45 dBm typ. at 800 MHz
- very high IP2, 88 dBm typ.
- low noise figure, 3.5 dB typ.

## Electrical Specifications at 25°C

KIT <sup>1</sup> NO.	FREQ. (MHz)  $f_L$ - $f_U$	OHMS	GAIN <sup>2</sup> (dB)				MAXIMUM POWER (dBm)			DYNAMIC RANGE	
							Output (1 dB Compr.)			NF IP3 (dB) (dBm)	
			Min.	Typ.	Max.	Typ. Flatness	Typ.	Min.	Input <sup>3</sup> (no damage)	Typ.	Typ.
HELA-10A+	50-1000	75	9.5	12	13	$\pm 0.4$	30	26	20	3.5	47
HELA-10B+	50-1000	50	9.5	12	13	$\pm 0.4$	30	26	20	3.5	47
HELA-10C+	5-450	75	9.3	11.4	12.5	$\pm 0.4$	30	26	20	3.5	48
HELA-10D+	8-300	50	9.3	11	12.5	$\pm 0.4$	30	26	20	3.5	48

## Application Schematic Diagram

