

Sistemas de Comunicación

- Modulación Angular-

Ph.D. Cristian Guarnizo Lemus

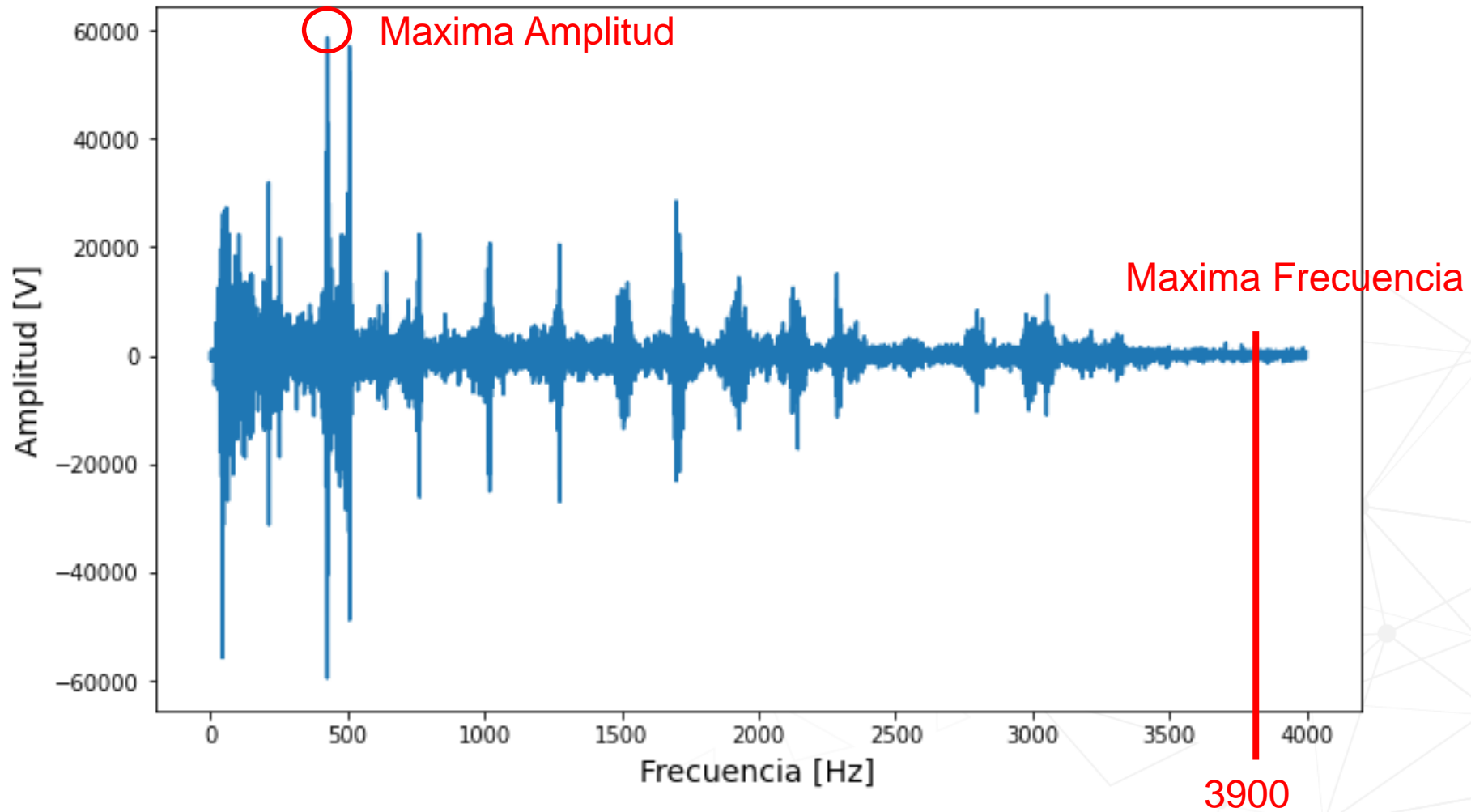
cristianguarnizo@itm.edu.co

Contenido

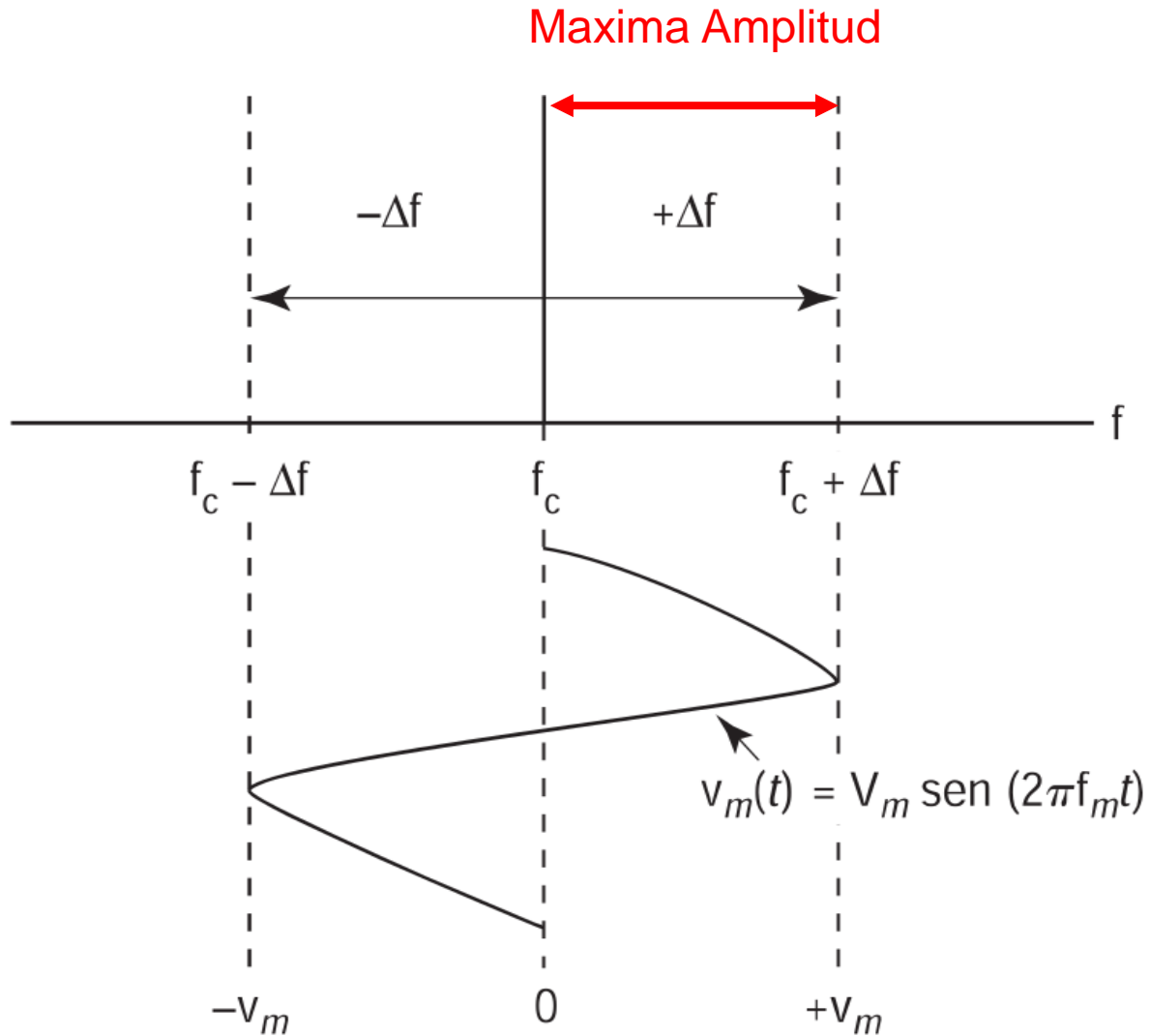
1. Relación de desviación.
2. Emisión FM.
3. Ruido y Desplazamiento de Fase.

1. Relación de Desviación

Señal Moduladora - Boring – Homer Simpson



1. Relación de Desviación



1. Relación de Desviación

Es el índice de modulación en el peor de los casos, y corresponde a:

$$DR = \frac{\Delta f_{(\max)}}{f_{m(\max)}}$$

$\Delta f_{(\max)}$

Desviación máxima de frecuencia máxima (hertz)

$f_{m(\max)}$

Frecuencia máxima de la señal moduladora (hertz)

1. Relación de Desviación

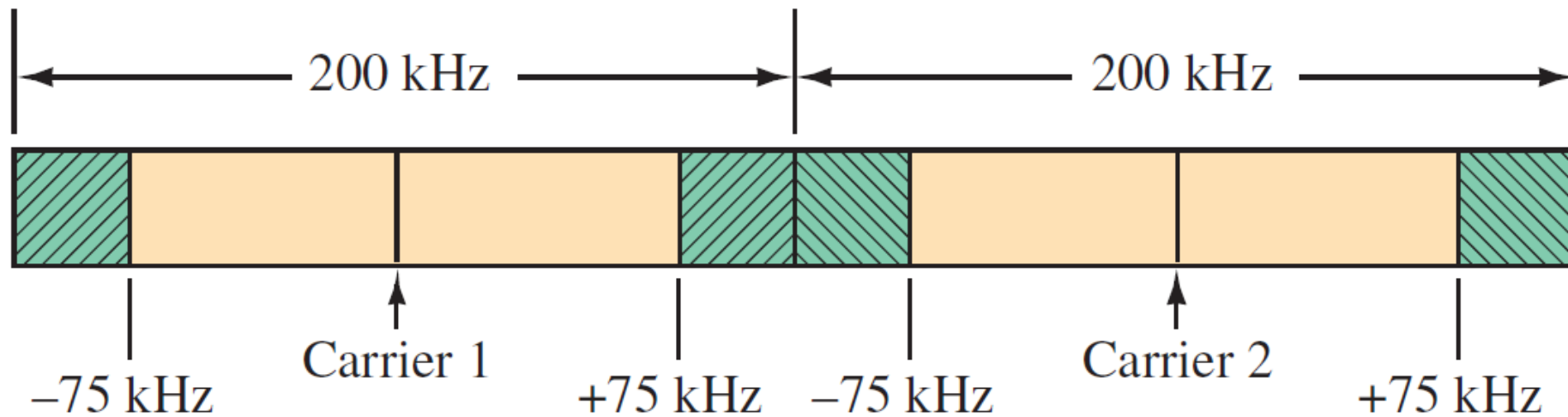
Ejemplo: La porción de audio de una estación de TV comercial, se establece que la desviación máxima de frecuencia sea 50kHz, y la frecuencia máxima de la señal moduladora es 15kHz.

$$DR = \frac{\Delta f_{(\max)}}{f_{m(\max)}} = \frac{50kHz}{15kHz} = 3.33$$

Quiere decir que siempre que haya un índice de modulación de 3.33 para una frecuencia máxima de señal moduladora, se presenta el ancho de banda máximo.

2. Emisión FM

Usan un ancho de banda de 200-kHz cada estación. Permite una señal moduladora de alta fidelidad de 15kHz. La máxima desviación con respecto a la portadora es $\pm 75\text{kHz}$, y 25kHz de bandas de protección.



2. Emisión FM

Debido que la máxima desviación (Δf) es 75kHz, y la máxima frecuencia de la señal moduladora es 15kHz. La DR es

$$DR = \frac{75kHz}{15kHz} = 5$$

Modulation Index	Carrier	Sidebands (Pairs)								
		1st	2d	3d	4th	5th	6th	7th	8th	9th
5.0	-0.18	-0.33	0.05	0.36	0.39	0.26	0.13	0.05	0.02	—

Según la tabla de funciones de Bessel, para $m = 5$ se tienen 8 bandas laterales

$$B = 2(8 \times 15000) = 240kHz$$

Interferencia por canal adyacente

2. Emisión FM

Asuma, una desviación de frecuencia de 37.5 kHz y una frecuencia de la señal moduladora $f_m = 7.5\text{kHz}$,

$$\text{DR} = \frac{37.5\text{kHz}}{7.5\text{kHz}} = 5$$

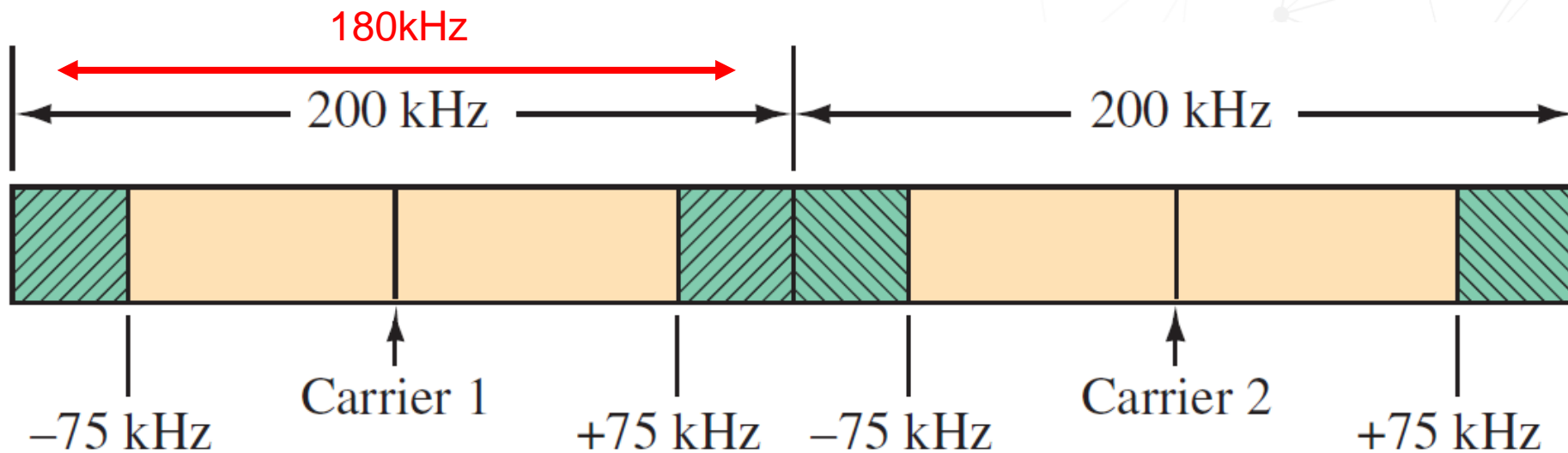
Y el ancho de banda es

$$B = 2(8 \times 7500) = 120\text{kHz}$$

2. Emisión FM

Cual es el ancho de banda según Carson, si la máxima desviación $\Delta f_{(\max)} = 75\text{kHz}$, y la máxima frecuencia de la señal moduladora $f_{m(\max)} = 15\text{kHz}$.

$$B = 2(\Delta f_{(\max)} + f_{m(\max)}) = 180\text{kHz}$$

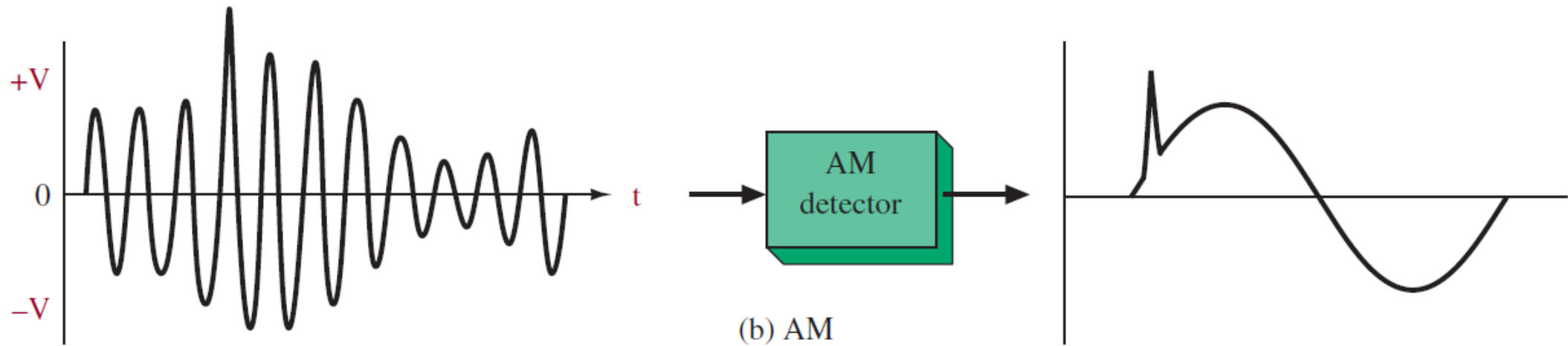
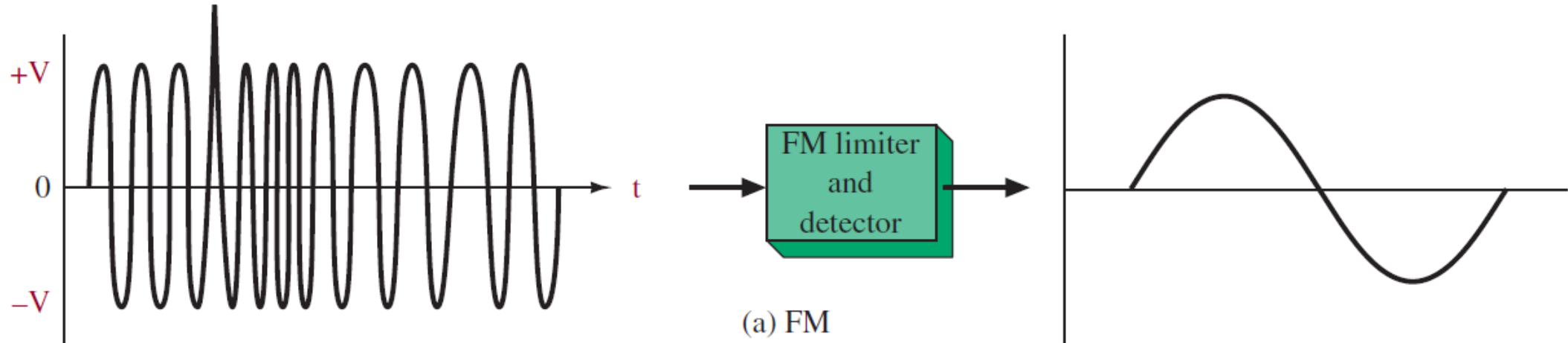


2. Emisión FM

Ejercicio: Para emisión de televisión (formato NTSC), la máxima frecuencia de desviación de la portadora es $\pm 25\text{kHz}$ con un máxima frecuencia de entrada de audio, 15kHz . Cual es relación de desviación?

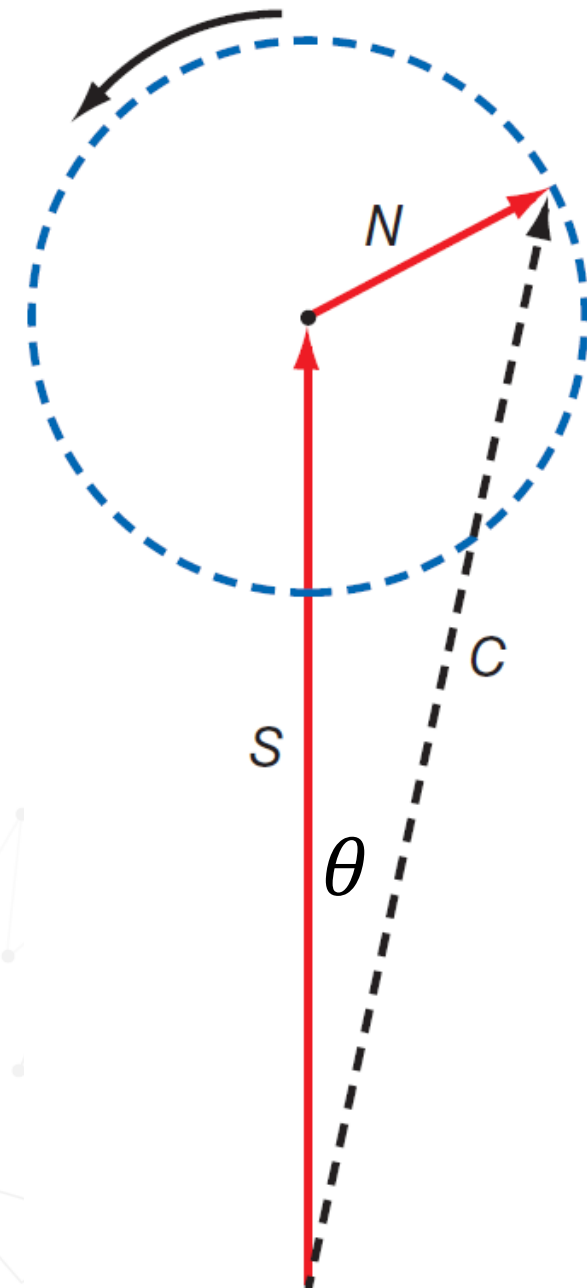
$$\text{DR} = \frac{\Delta f_{(\text{max})}}{f_{m(\text{max})}} = \frac{25\text{kHz}}{15\text{kHz}} = 1.67$$

3. Ruido en FM



3. Ruido en FM

La amplitud del ruido (Noise) adicionada a la señal FM introduce una pequeña variación de la frecuencia, o desplazamiento de fase.

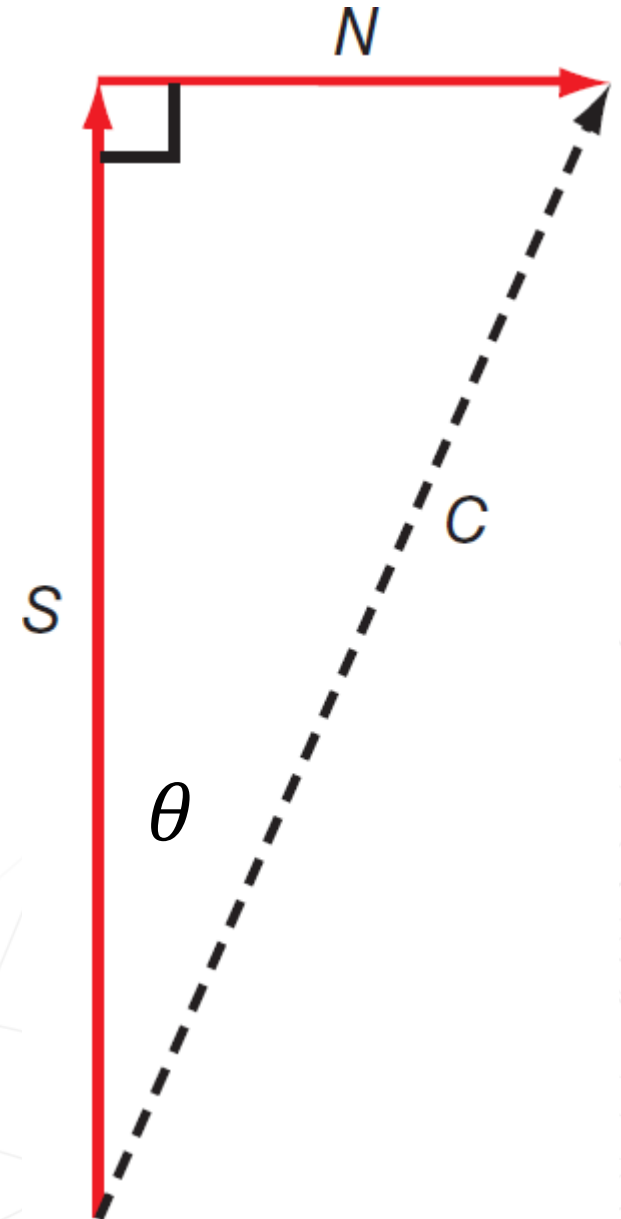


3. Ruido en FM

El máximo desplazamiento de fase ocurre cuando los fasores de la señal y el ruido están en un ángulo recto.

$$\theta_r = \sin^{-1} \left(\frac{N}{C} \right) [\text{rad}] \approx \sin^{-1} \left(\frac{N}{S} \right) [\text{rad}]$$

$$\theta_r \approx \frac{V_n}{V_c} [\text{rad}] \quad \text{Cuando } V_c \gg V_n$$



3. Ruido en FM

Se puede determinar cuanto desplazamiento en frecuencia produce un desplazamiento de fase, utilizando la siguiente ecuación:

$$\Delta f_{\text{ruido}} = \theta_r f_n \text{ [Hz]}$$

$$\Delta f_m = \theta_r f_m \text{ [Hz]}$$

$$\Delta \omega_{\text{ruido}} = \theta_r \omega_n \text{ [rad/s]}$$

3. Ruido en FM – Salida

La relación de señal a ruido en la salida de un demodulador de FM, debida a desviación no deseada de frecuencia por una senoidal de interferencia es

$$\frac{S}{N} = \frac{\Delta f \text{ debida a la señal}}{\Delta f \text{ debida al ruido}}$$

3. Ruido en FM

Ejemplo: Considere que la relación entre la señal (S) y el ruido (N) es 2:1. Cual es la máxima desviación en frecuencia para una señal moduladora de 15kHz.

$$\theta_r = \sin^{-1} \left(\frac{N}{S} \right) = \sin^{-1} \left(\frac{1}{2} \right) = 30^\circ$$

$$\theta_r = \frac{30^\circ}{57.3^\circ} = 0.52$$

$$\Delta f_m = \theta_r f_m$$

$$= 0.52 \times 15 \text{ kHz}$$

$$= 7.5 \text{ kHz}$$

3. Ruido en FM

Ejemplo: A partir del resultado anterior, que relación señal a ruido se obtiene en una emisión estándar de FM, que tiene una desviación máxima permitida de 75kHz.

$$\frac{S}{N} = \frac{\Delta f_{\text{debida a la señal}}}{\Delta f_{\text{debida al ruido}}} = \frac{75\text{kHz}}{7.5\text{kHz}} = \frac{10}{1}$$

Entonces la relación señal a ruido en el receptor es 10:1.

3. Ejemplos

Ejemplo 6-6 (Tomasi, p. 250): Suponga una portadora, $v_c(t) = 6 \cos(2\pi 110 \text{MHz } t)$ con una desviación de frecuencia de 75kHz, debida a la señal de información (moduladora), y una señal de interferencia con frecuencia única, $v_n(t) = 0.3 \cos(2\pi 109.985 \text{MHz } t)$.

3. Ejemplos

Ejemplo 6-6 (Tomasi, p. 250):

a) Frecuencia de la señal demodulada de interferencia.

$$v_c(t) = 6 \cos(2\pi 110\text{MHz } t) \quad v_n(t) = 0.3 \cos(2\pi 109.985\text{MHz } t)$$

La frecuencia de la interferencia de ruido es igual a la diferencia entre la frecuencia de la portadora y la de la señal de interferencia (de frecuencia única).

$$f_c - f_n = 110000\text{kHz} - 109985\text{kHz} = 15\text{kHz}$$

3. Ejemplos

Ejemplo 6-6 (Tomasi, p. 250):

b) Desviaciones máximas de fase y de frecuencia, debidas a la señal de interferencia.

$$\theta_r \approx \frac{V_n}{V_c} = \frac{0.3}{6} = 0.05 \text{ rad}$$

$$\Delta f_{\text{ruido}} = \theta_r f_n = 0.05 \times 15\text{kHz} = 750\text{Hz}$$

3. Ejemplos

Ejemplo 6-6 (Tomasi, p. 250):

c) La relación S/N de voltajes, debida al tono de interferencia, es la relación de la amplitud de la portadora entre la amplitud de la señal de interferencia, o sea.

$$\frac{6}{0.3} = 20$$

La relación S/N de voltajes después de la modulación se calcula con la ecuación

$$\frac{S}{N} = \frac{\Delta f \text{ debida a la señal}}{\Delta f \text{ debida al ruido}} = \frac{75\text{kHz}}{750\text{Hz}} = 100$$

3. Ejemplos

Ejemplo 6-6 (Tomasi, p. 250):

Por lo anterior hay un mejoramiento de la señal a ruido de $100/20=5$, es decir, $20\log(5)=14\text{dB}$.

Bibliografía

- FRENZEL, Louis. (2016) Principles of Electronic Communication Systems. 4th Edition.
- WAYNE, Tomásí. (2003) Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. 4^a ed. Prentice Hall.