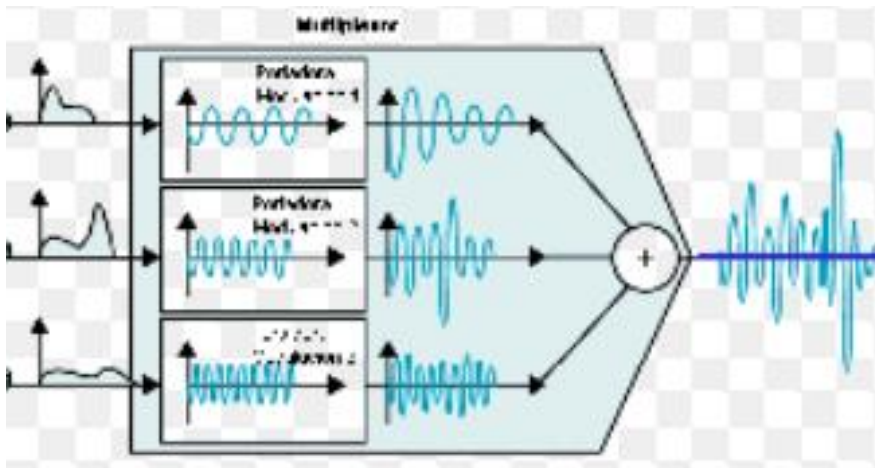


MULTICANALIZACIÓN FDM



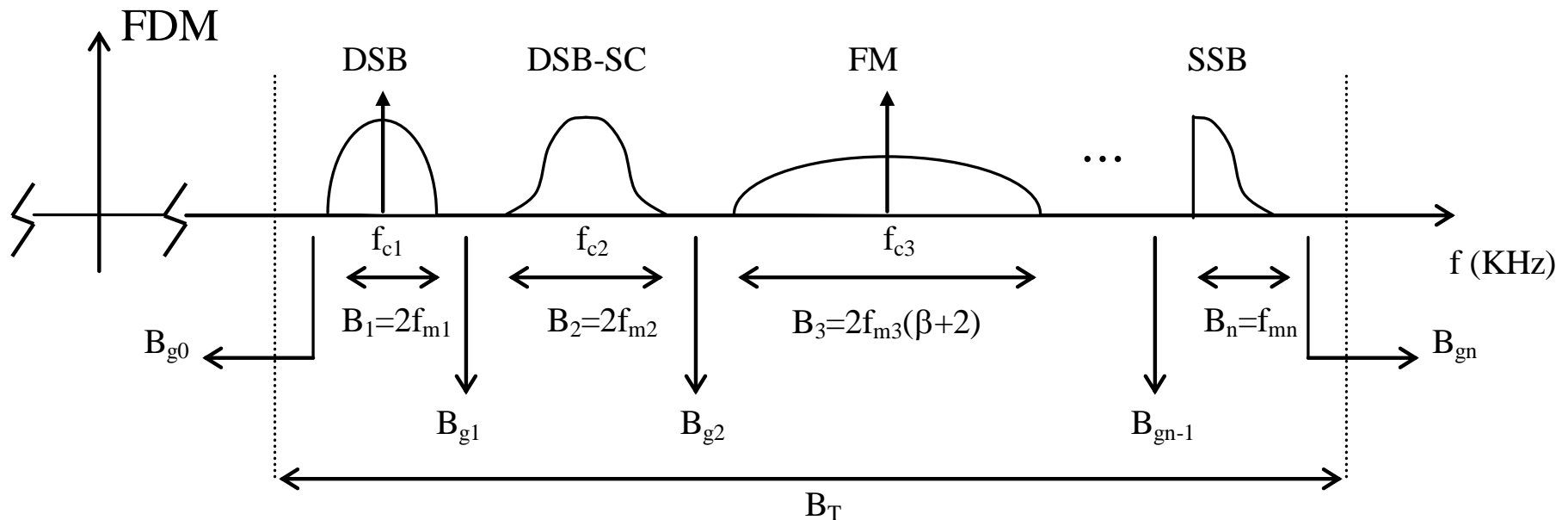


Multiplexión por división de frecuencia

Consiste en la transmisión de varias señales de información $f_i(t)$ para $i = 1, 2, \dots, n$ por un sólo medio de transmisión o canal combinadas en forma en forma simultánea en una sola señal.

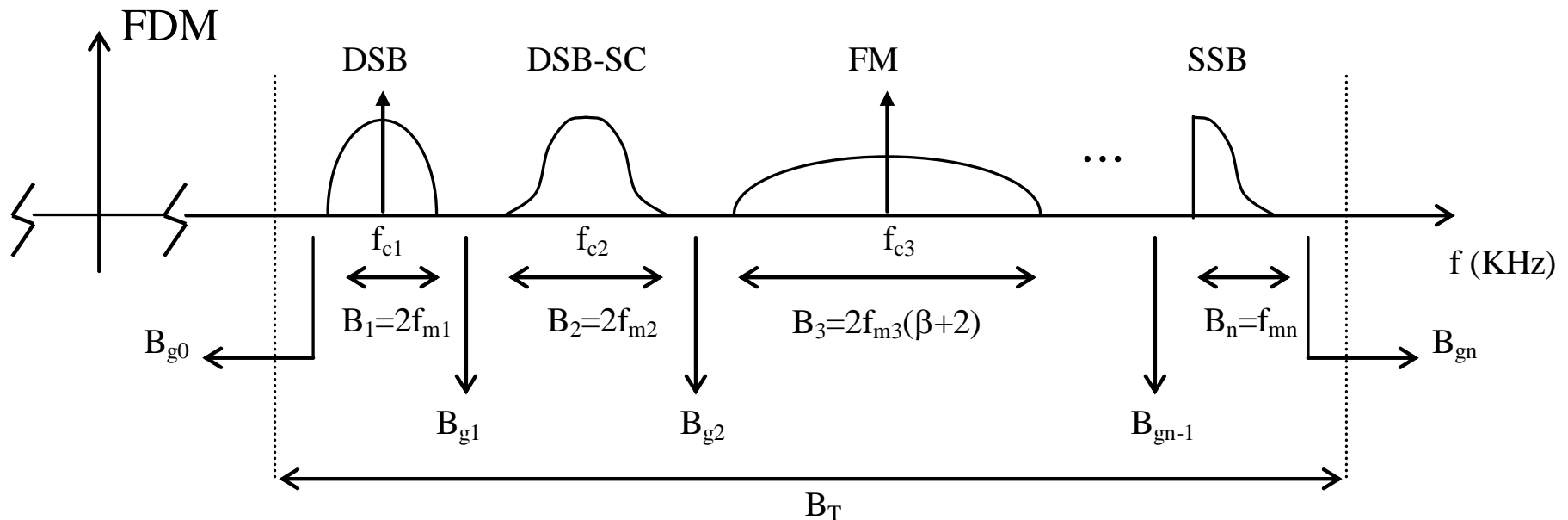
A cada señal $f_i(t)$ se le asigna una banda o rango de frecuencias y una portadora analógica de f_{ci} Hz que se modula con cualquier técnica de modulación CW.

Multiplexión por división de frecuencia



Los espectros están separados por bandas de guarda para evitar el traslapamiento o 'aliasing' durante su transmisión por el canal.

Multiplexión por división de frecuencia



Con FPBdas reales se pueden separar fácilmente los espectros de las señales moduladas que forman la señal FDM.



Multiplexión por división de frecuencia

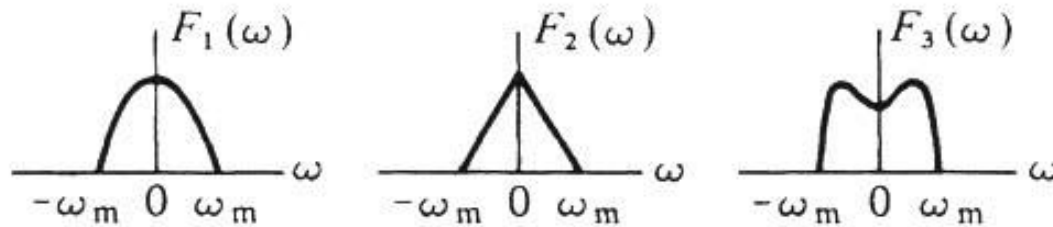
Hay dos tipos de FDM:

FDM homogénea: Cuando la FDM está formada por la suma de señales moduladas utilizando la misma técnica de modulación CW. Ej. AM comercial o FM

FDM heterogénea: Cuando la FDM está formada por la suma de señales moduladas utilizando diferentes técnicas de modulación CW. Ej. Telemetría, satélites

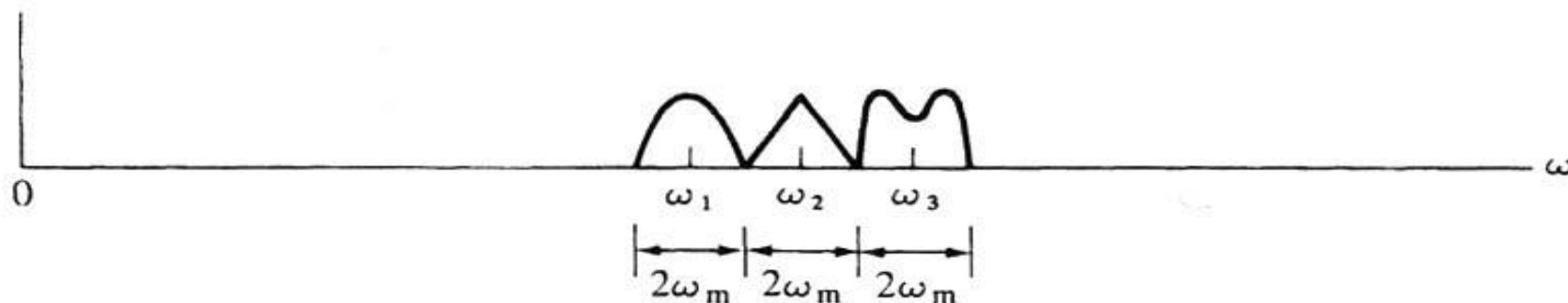
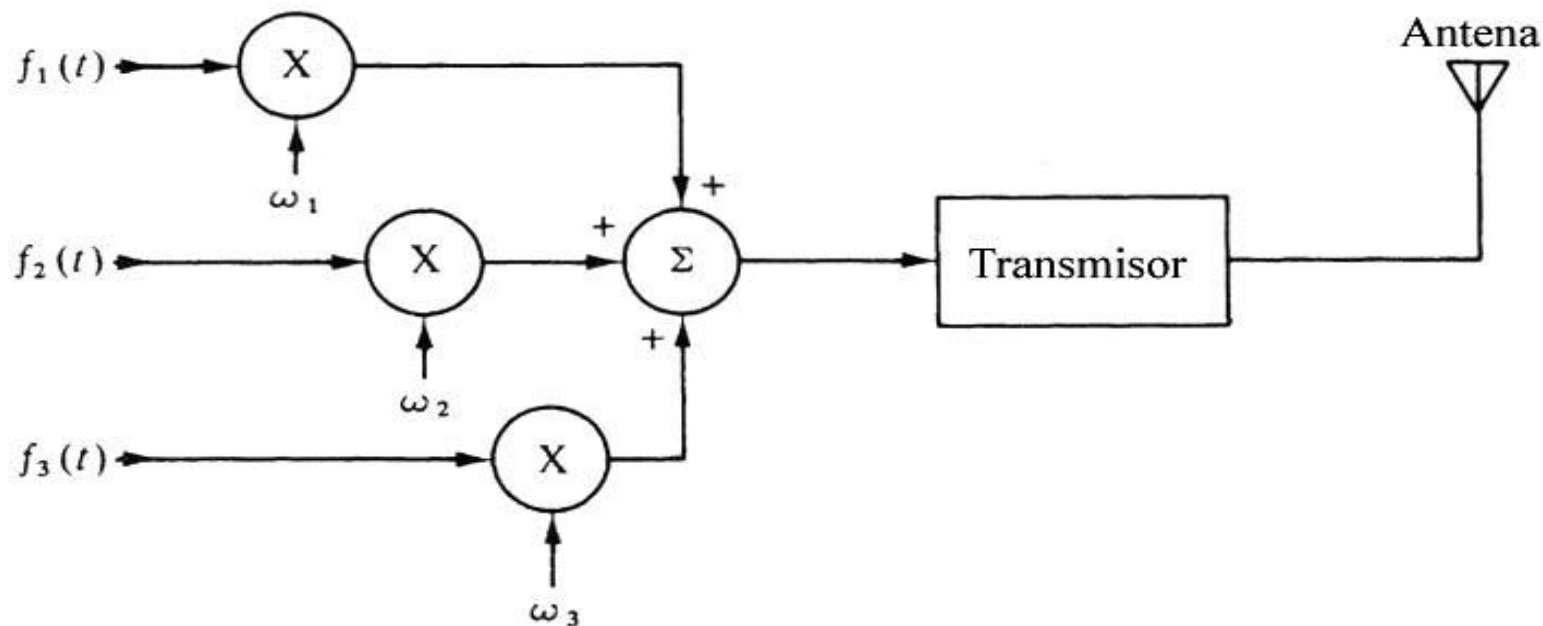
Generación de FDM homogénea

Por ejemplo, se desea enviar varios mensajes con ancho de banda ω_m a través de un mismo canal.

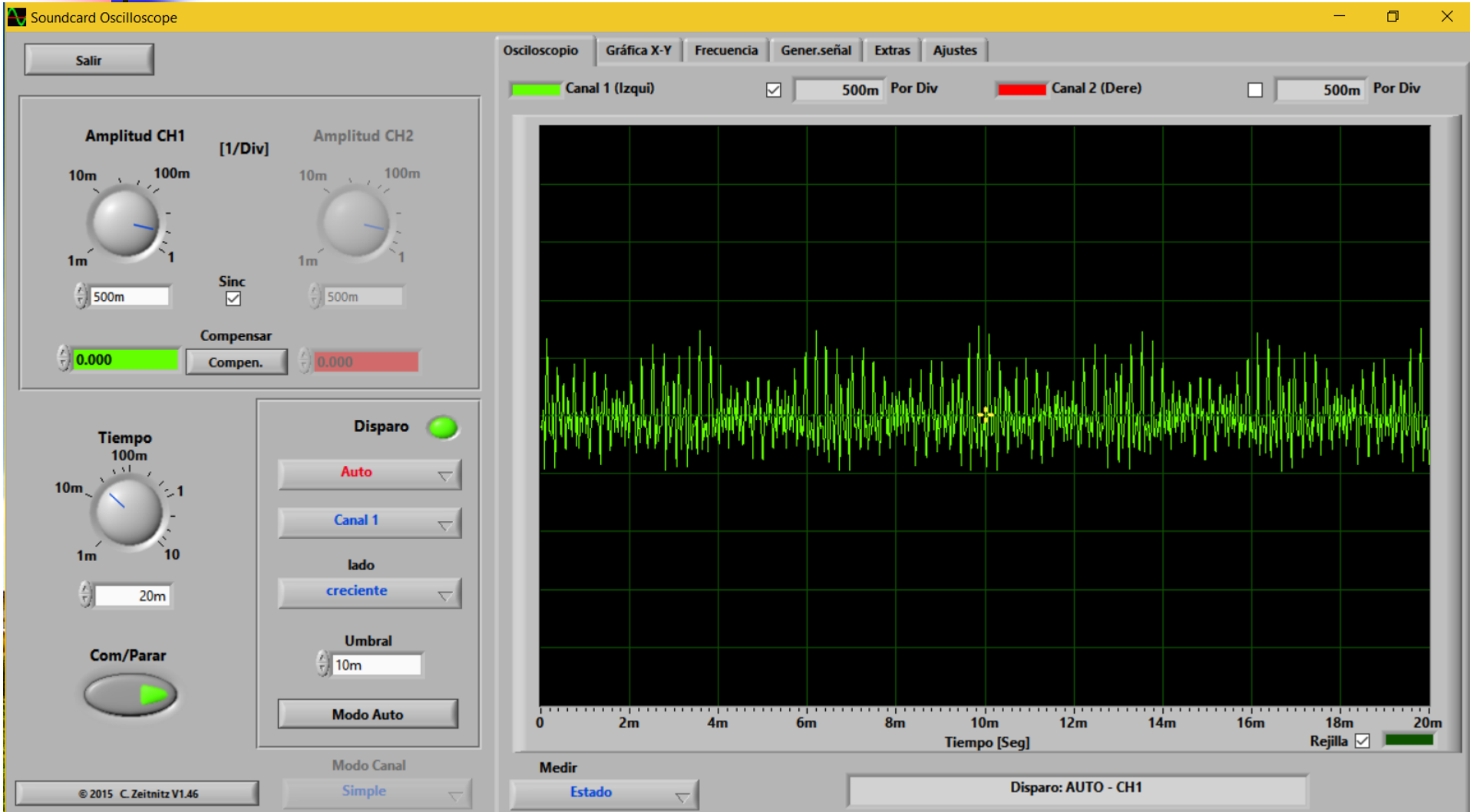


Se utilizan varias portadoras ($\omega_1, \omega_2, \omega_3 \dots$), separadas entre si por lo menos $2\omega_m$. Luego de ser moduladas por los mensajes, se suma obteniendo una señal FDM compuesta por los espectros de las señales adyacentes uno de otro

Generación de FDM homogénea



Generación de FDM homogénea



Generación de FDM homogénea

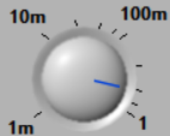
Soundcard Oscilloscope

Salir

Amplitud CH1

[1/Div]

Amplitud CH2



Sinc



Compensar

Compen.

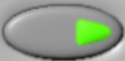
0.000

0.000



120m

Com/Parar



Disparo



Off

Canal 1

lado

creciente

Umbral

10m

Modo Auto

Modo Canal

Simple

© 2015 C. Zeitnitz V1.46

Osciloscopio

Gráfica X-Y

Frecuencia

Gener.señal

Extras

Ajustes

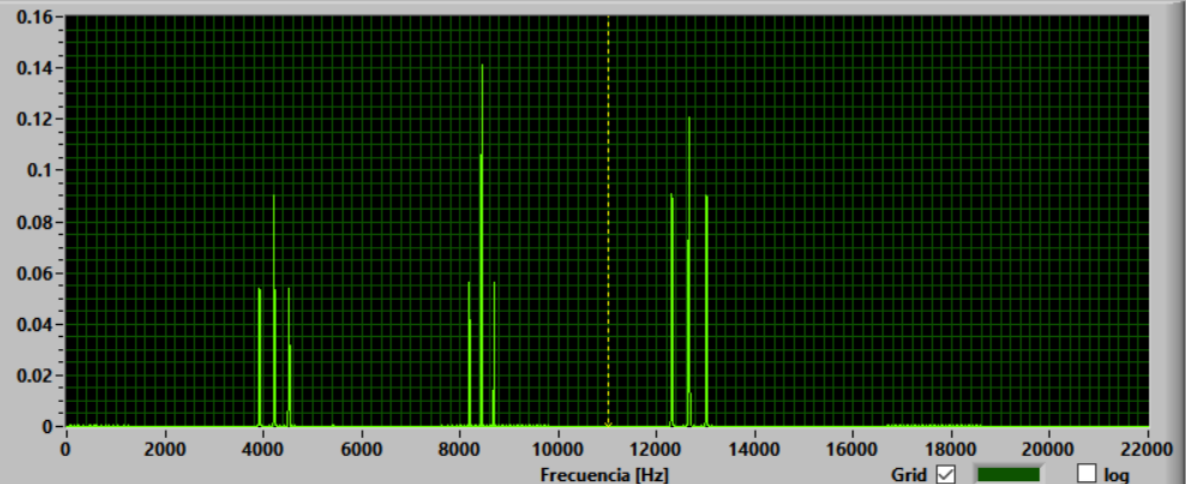
☐ log

☐ dB

☒ Auto escala

☐ Retención de pico

Canal 1



Zoom

Frecuencia principal 8.4400k Hz

Frecuencia posición cursor 11.000k Hz

Distorsión armónica total 0.22 %

Filtro en ventana aparte

CH 1

1000 Hz

Frec.super.corte

20000 Hz

Off

Sync



CH 2

1000 Hz

20000 Hz

Off



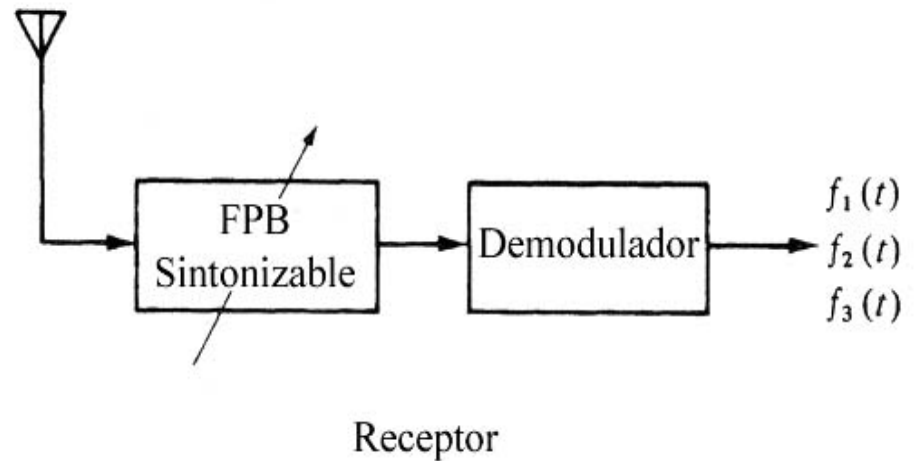
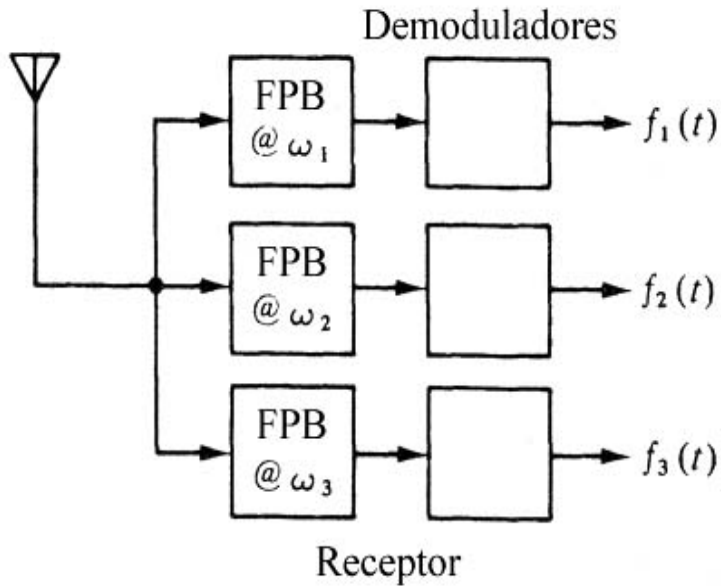
Recepción de FDM

Para el diseño del receptor FDM se pueden tener dos casos:

Directa: el receptor procesa cada una de las señales de manera simultánea. Esto significa tener un filtro pasabanda + un demodulador por cada señal mensaje contenida en la señal FDM recibida.

Indirecta o heterodina: El receptor sólo puede seleccionar un canal entre todos los canales, mensajes o señales. Esto se logra utilizando un filtro pasabanda sintonizable a la frecuencia de la señal deseada y luego se demodula particularmente con la misma frecuencia.

Recepción de FDM





Multiplexión por división de frecuencia

Parámetros de FDM

- Número de canales: n
- Banda de canal: $B_i, \quad i = 1, \dots, n$
- Banda de guarda: $B_{gi}, \quad i = 0, \dots, n$
- Banda total: B_T



Multiplexión por división de frecuencia

Parámetros de FDM

- Eficiencia espectral:

$$\eta_B = \frac{\sum_{i=1}^n B_i}{B_T} \leq 1$$

- Tipo de detección:

➤ Directa

➤ Indirecta (por heterodinación)

Generación de FDM heterogénea

Soundcard Oscilloscope

Salir

Amplitud CH1

[1/Div]

Amplitud CH2

10m 100m

10m 100m

1m 1

1m 1

500m

Sinc
☒

500m

Compensar

0.000

Compen.

0.000

Tiempo

100m

10m 1

1m 10

120m

Com/Parar

Disparo

Off

Canal 1

lado

creciente

Umbral

10m

Modo Auto

Modo Canal

Simple

Osciloscopio

Gráfica X-Y

Frecuencia

Gener.señal

Extras

Ajustes

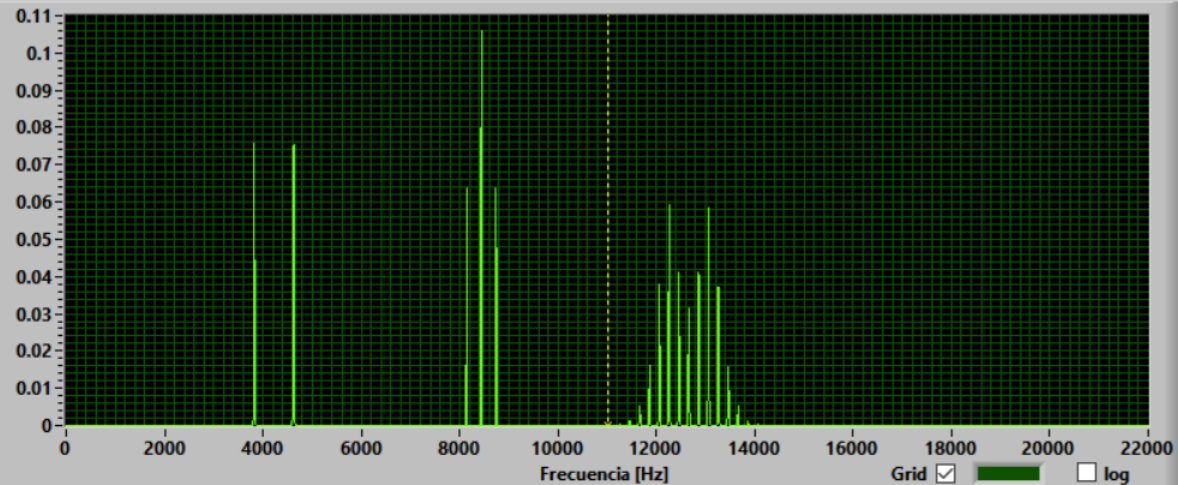
☐ log

☐ dB

☒ Auto escala

☐ Retención de pico

Canal 1



Zoom

Frecuencia principal 8.4400k Hz

Frecuencia posición cursor 11.000k Hz

Distorsión armónica total 0.00 %

Filtro en ventana aparte

Frec.inf.corte

Frec.super.corte

CH 1

1000 Hz

20000 Hz

Off

Sync
☒

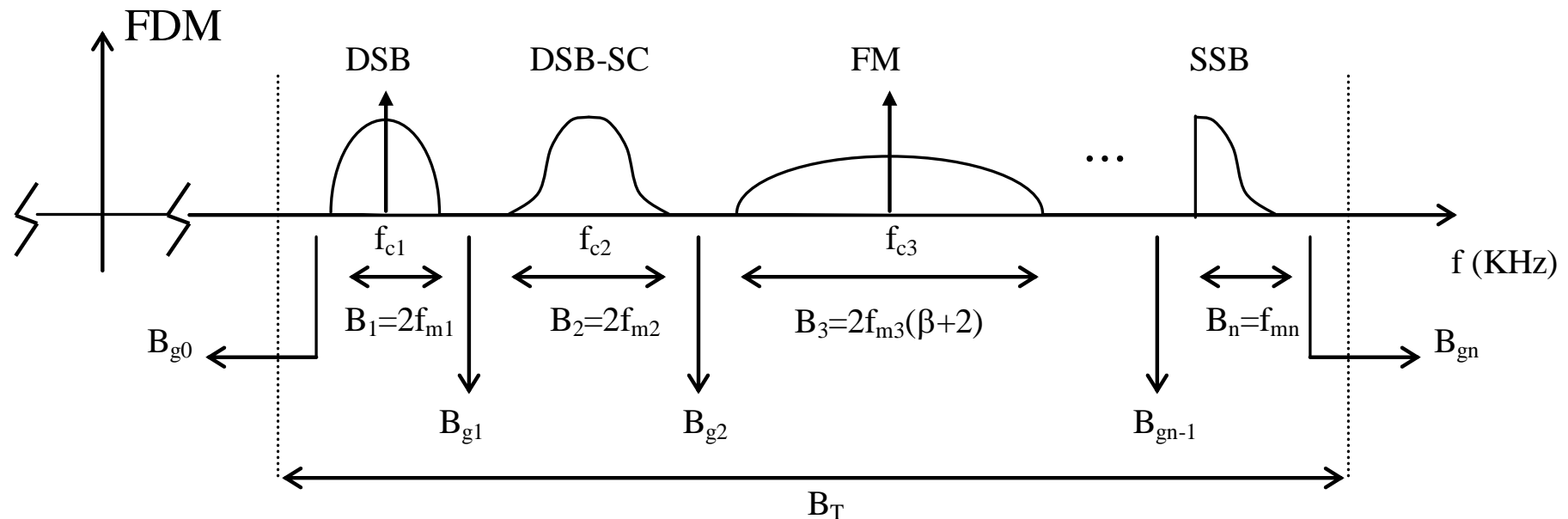
CH 2

1000 Hz

20000 Hz

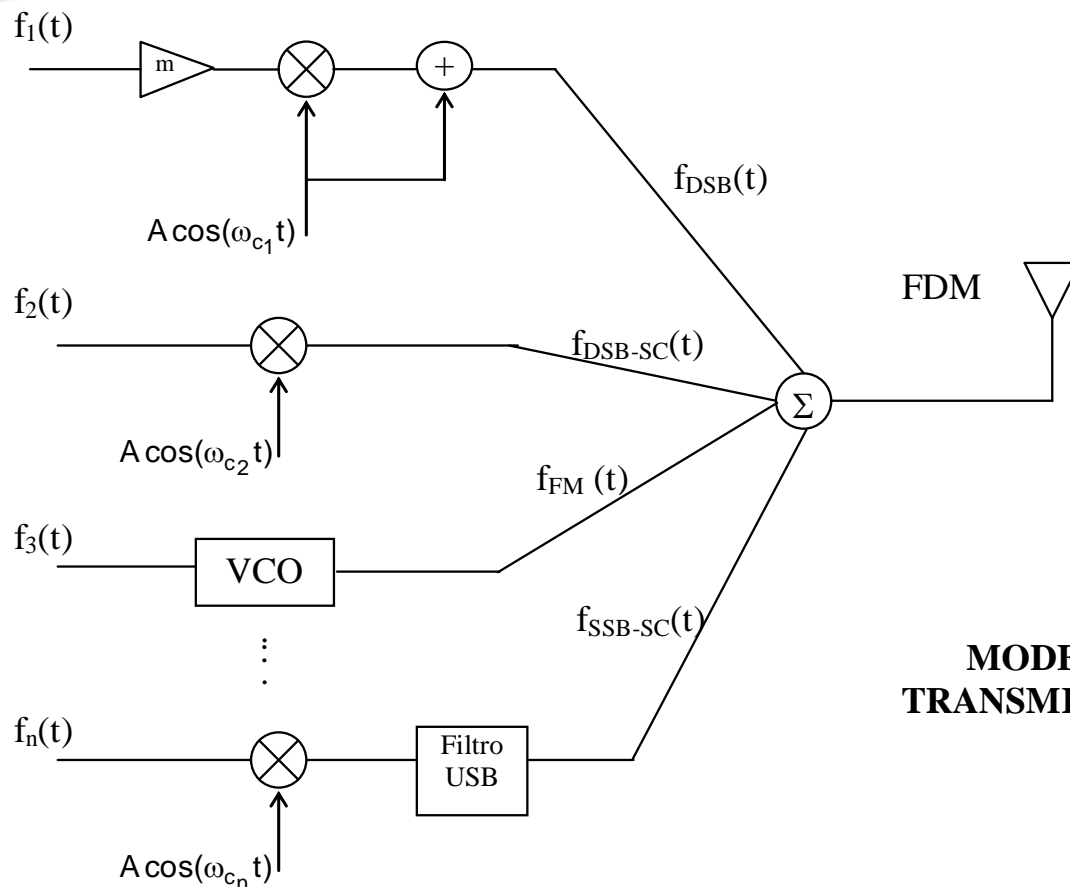
Off

Generación de FDM heterogénea



La señal FDM formada por la suma de señales moduladas diferentes es una FDM heterogénea.

Generación de FDM heterogénea

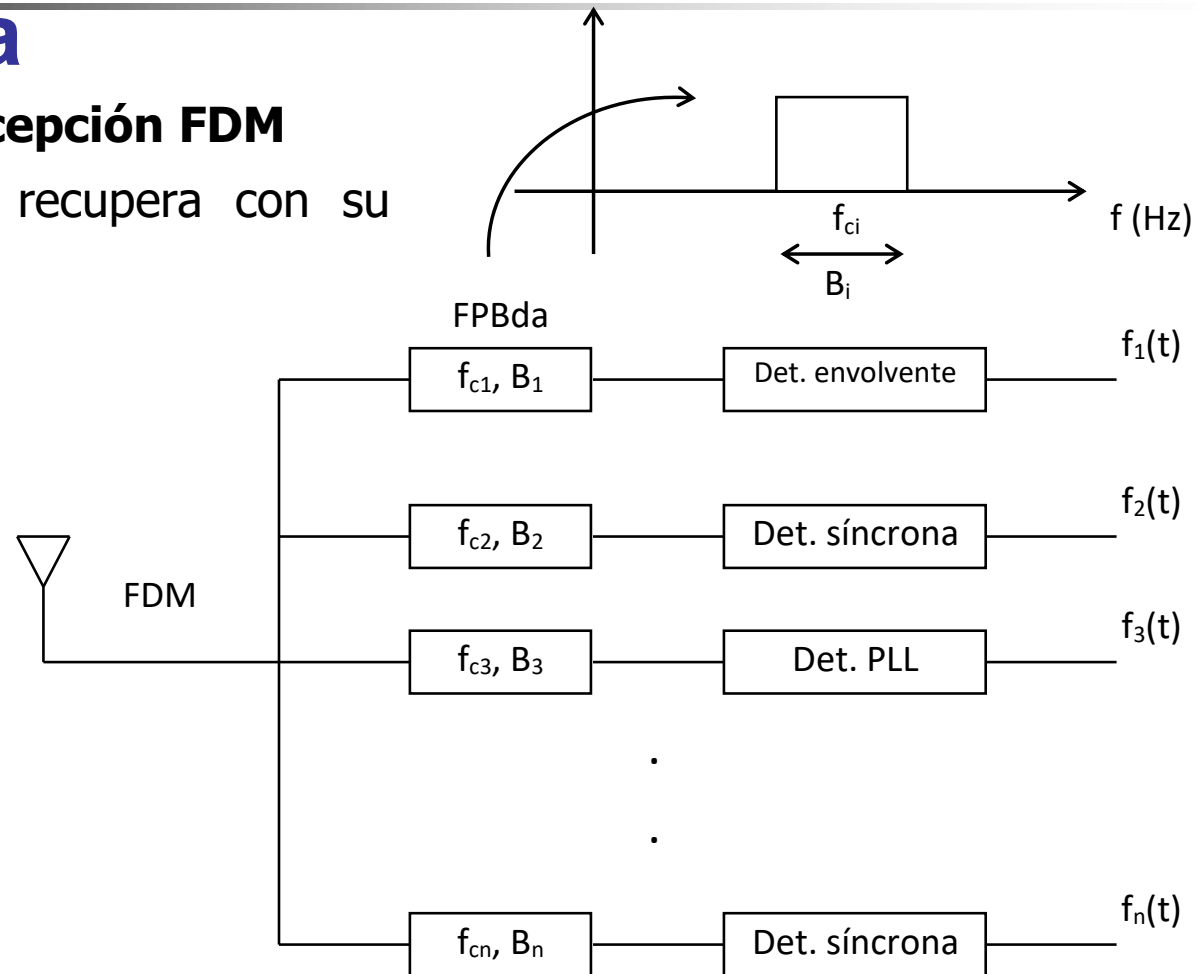


**MODELO DE
TRANSMISIÓN FDM**

Receptor FDM de detección directa

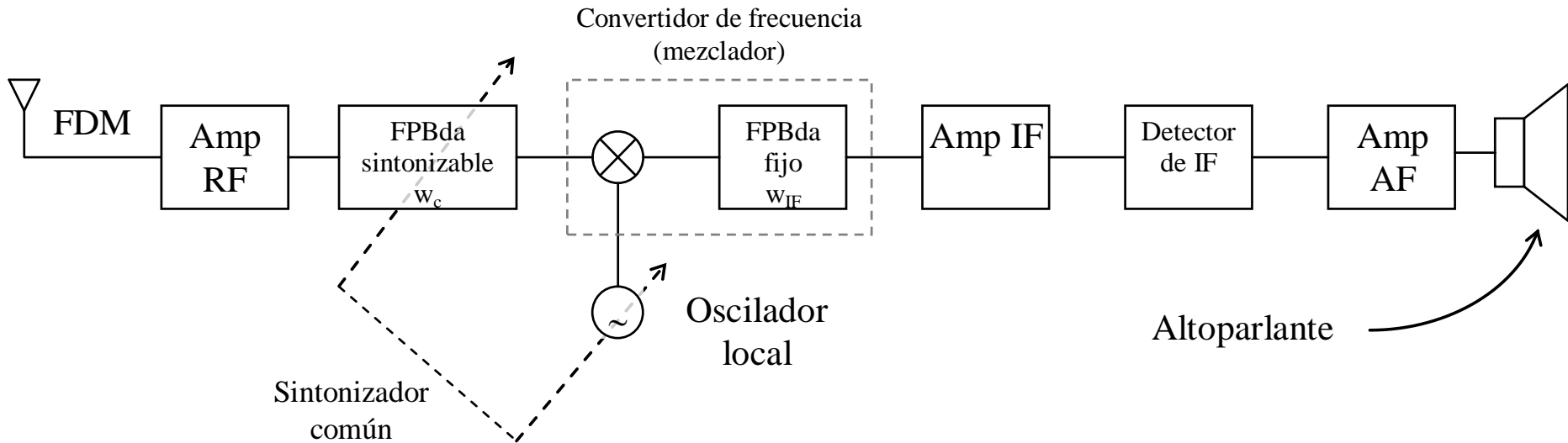
Modelo de Recepción FDM

Cada señal $f_i(t)$ se recupera con su propio detector.



Receptor FDM superheterodino

Se tiene un único detector para cada señal $f_i(t)$. Se simplifica el hardware respecto del RX FDM directo.





Receptor FDM superheterodino

En AM comercial (540KHz a 1600KHz) la frecuencia intermedia es 455KHz.

Para lograr el traslado de la señal deseada a la frecuencia intermedia, un generador local oscila a una frecuencia igual a la frecuencia deseada más la frecuencia intermedia.

$$f_{OSC} = f_c + f_{FI}$$



Receptor FDM superheterodino

La desventaja que tiene el receptor superheterodino radica en el efecto de la frecuencia imagen.

Por ejemplo, si la frecuencia deseada es 600KHz, el oscilador generará una frecuencia de 1055KHz.

Una frecuencia imagen 1510KHz también a 455KHz de 1055KHz, también se trasladará a la frecuencia intermedia, superponiéndose a la señal deseada de 600KHz.



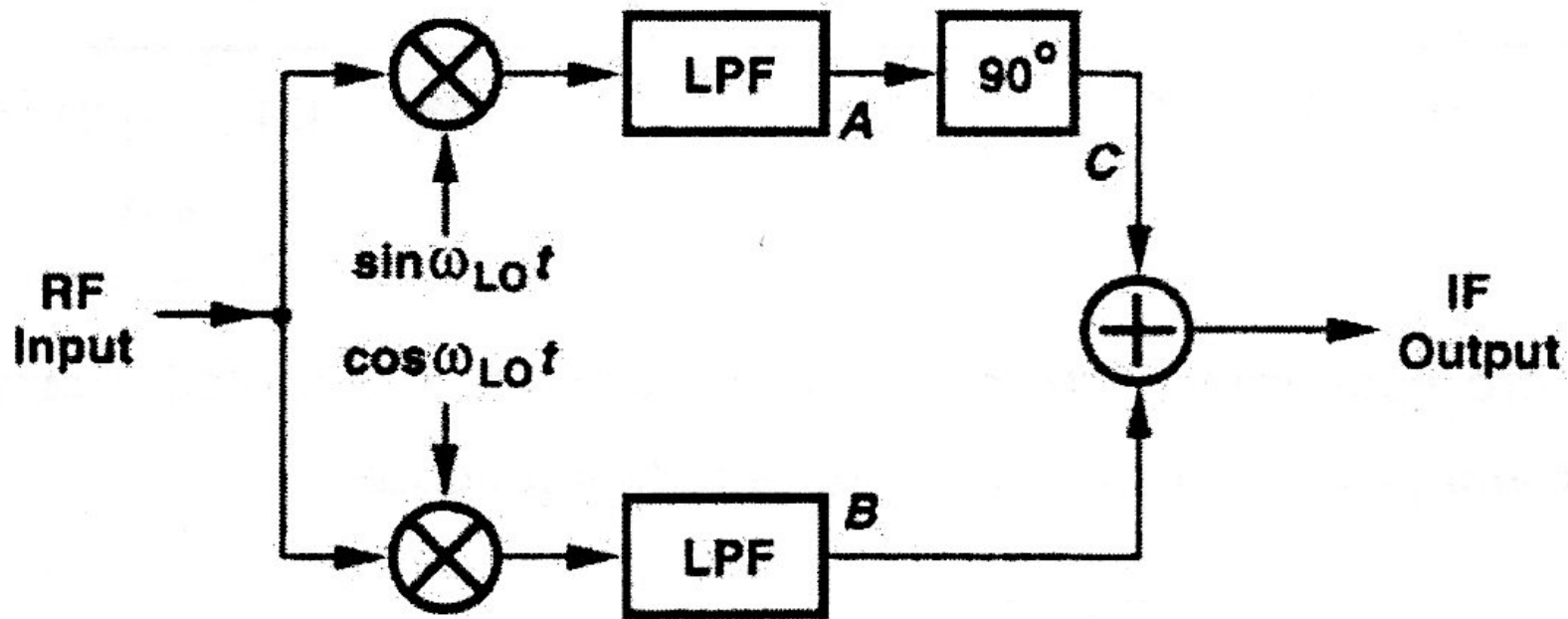
Receptor FDM superheterodino

Existen dos formas de minimizar el efecto de la frecuencia imagen:

1. Como la frecuencia real e imagen están separadas por dos veces la frecuencia intermedia, se trata de elevar la frecuencia IF de tal manera que la imagen no se encuentre en el espectro deseado.
2. Atenuar el efecto de la frecuencia imagen antes de la heterodinación utilizando un amplificador de RF selectivo ubicado antes del mezclador. Ej. Rx de *Weaver* o circuito de Harley.

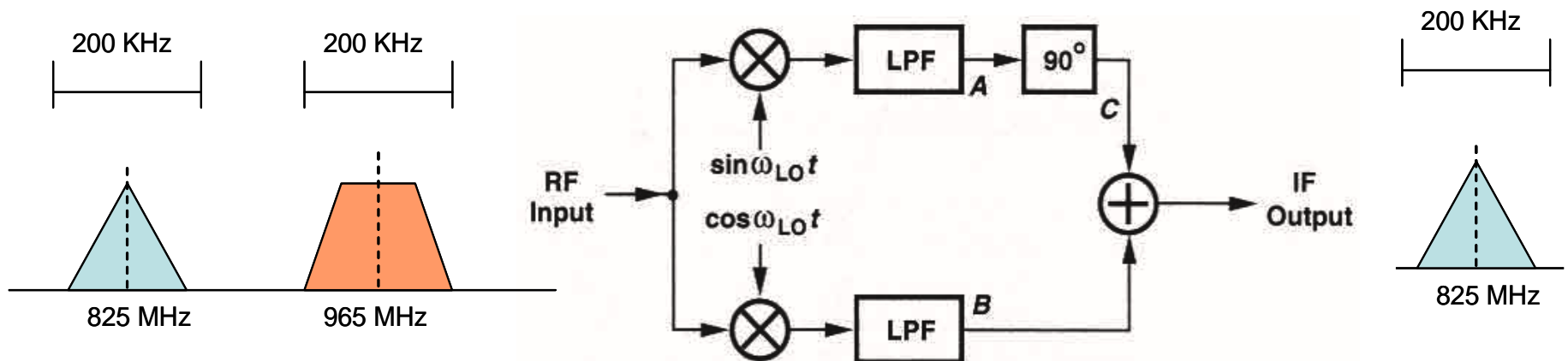
Receptor FDM superheterodino

Una alternativa es utilizando el circuito de rechazo de imagen de Harley:



Rechazo de imagen de Harley

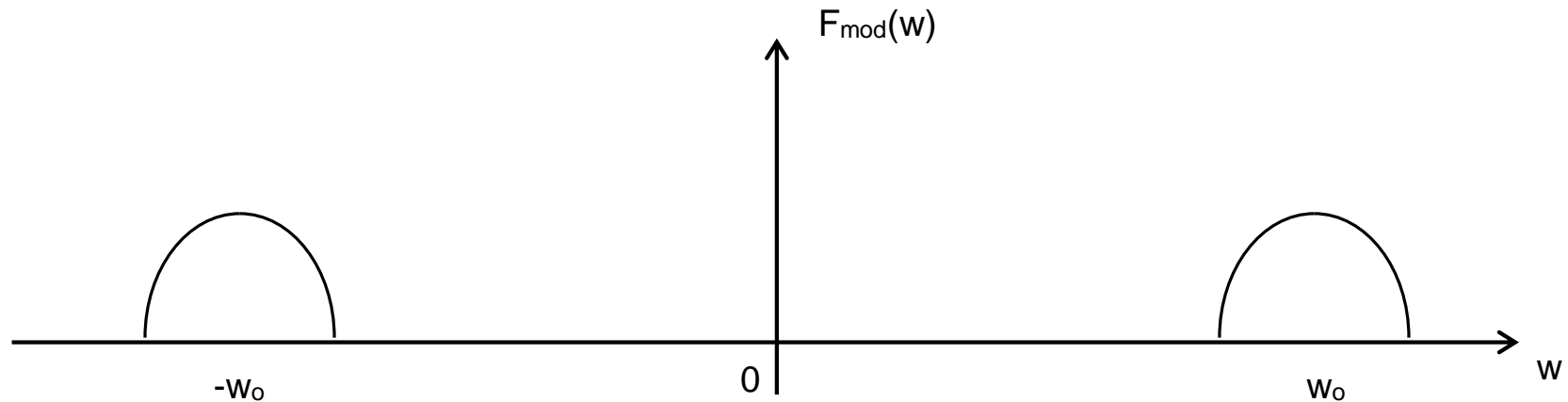
Explique con gráficas en el dominio de la frecuencia cómo funciona el circuito de rechazo de imagen de Hartley, mostrado en la figura. La frecuencia de IF es 70 MHz, la señal deseada es de 825 MHz y la señal no deseada (‘ruido de efecto de imagen’) está en 965 MHz.



Rechazo de imagen de Harley

Teorema de la modulación:

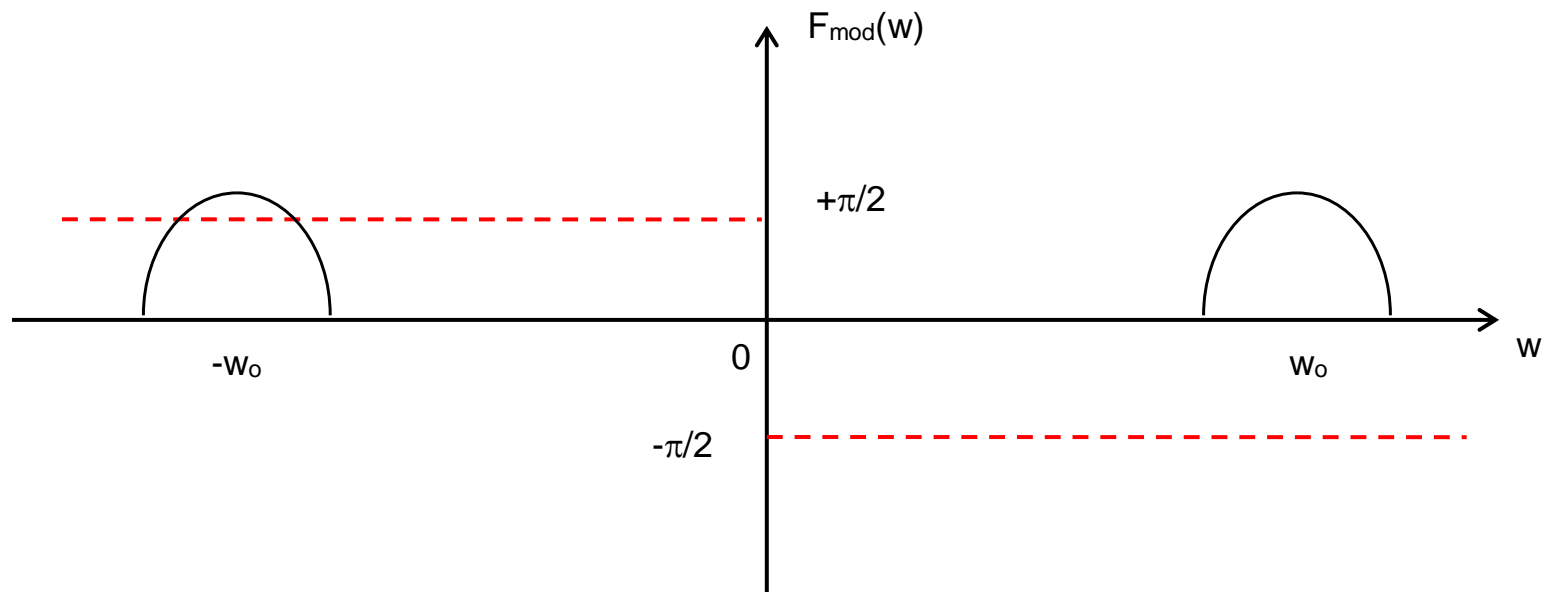
$$f(t) \cos(\omega_o t) \leftrightarrow \frac{F(\omega + \omega_o) + F(\omega - \omega_o)}{2}$$



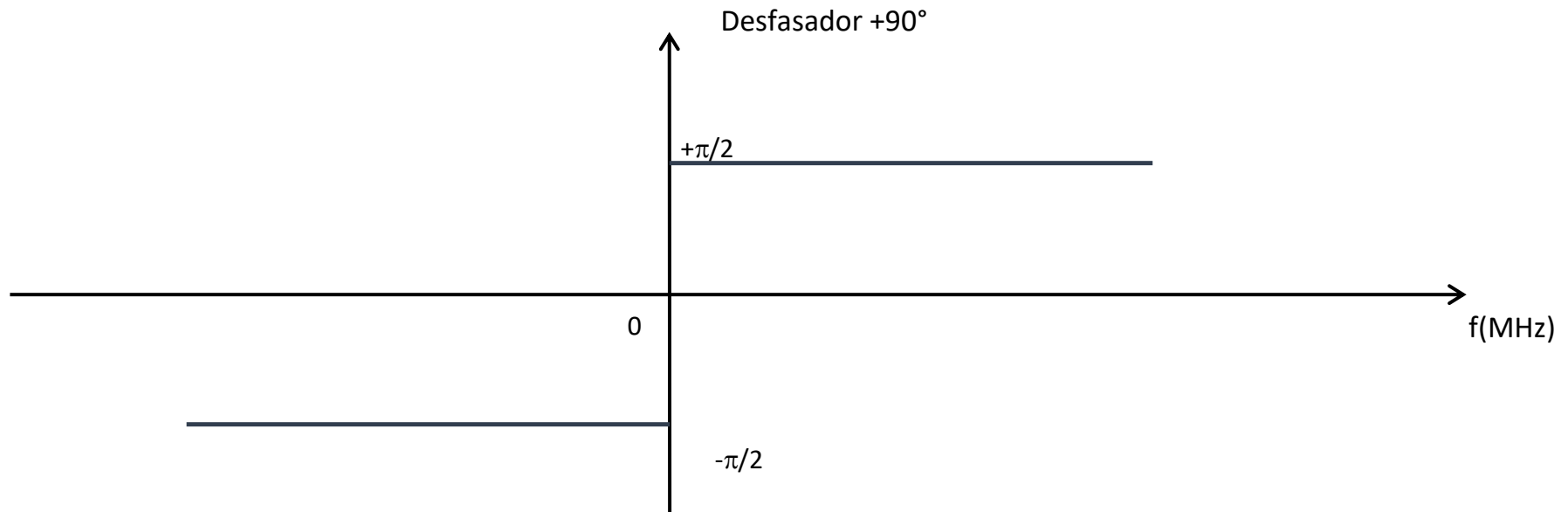
Rechazo de imagen de Harley

Teorema de la modulación:

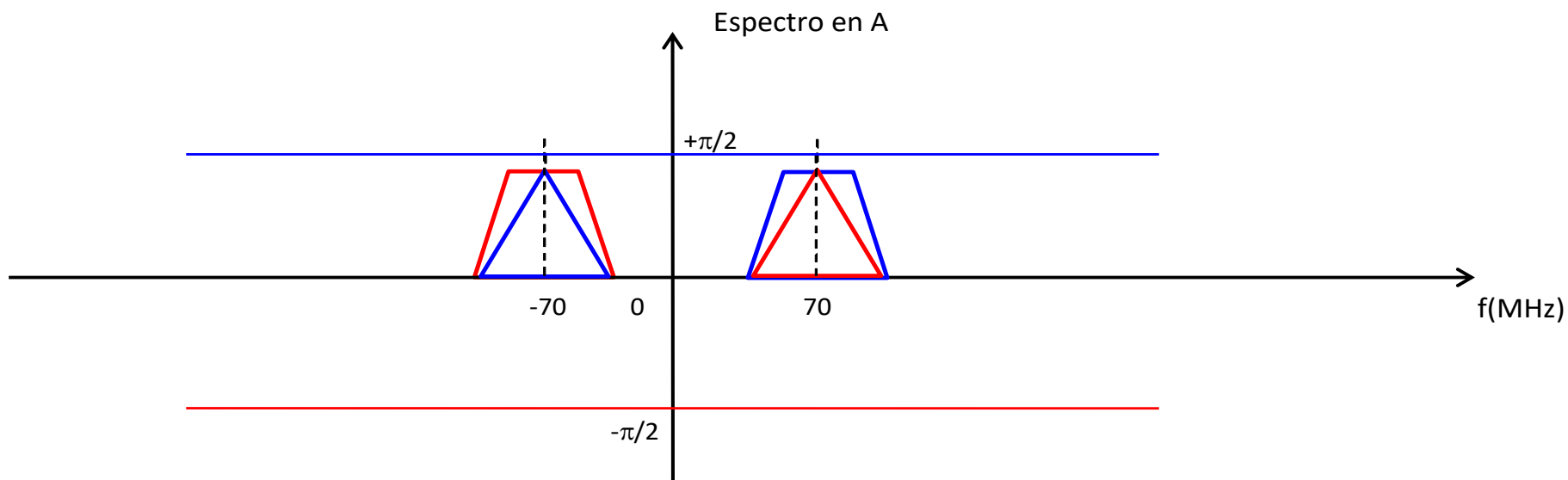
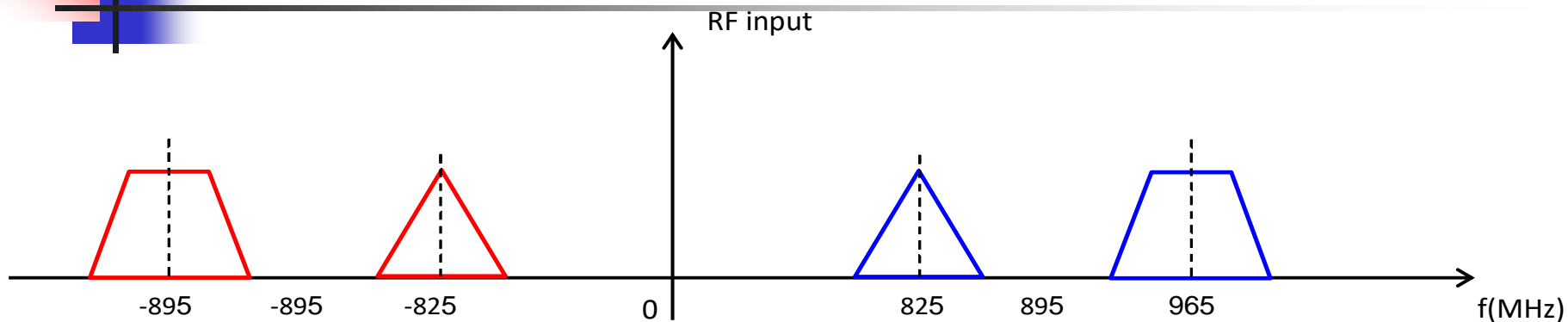
$$f(t) \sin(\omega_o t) \leftrightarrow \frac{j(F(\omega + \omega_o) - F(\omega - \omega_o))}{2} \quad j = e^{+j\pi/2}$$



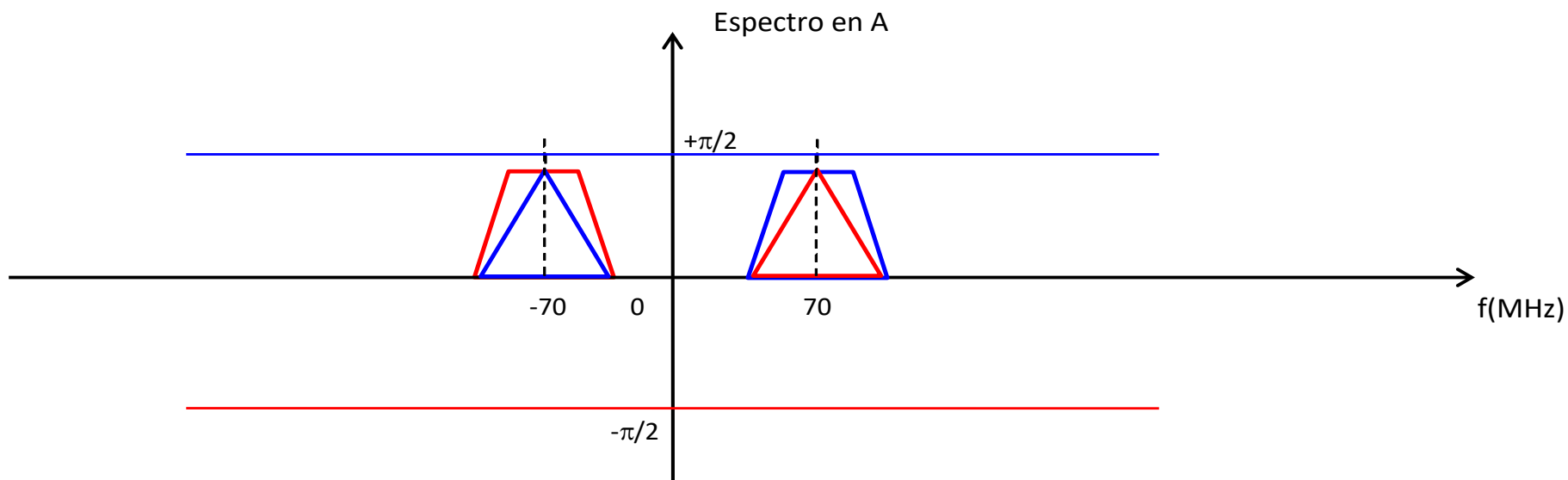
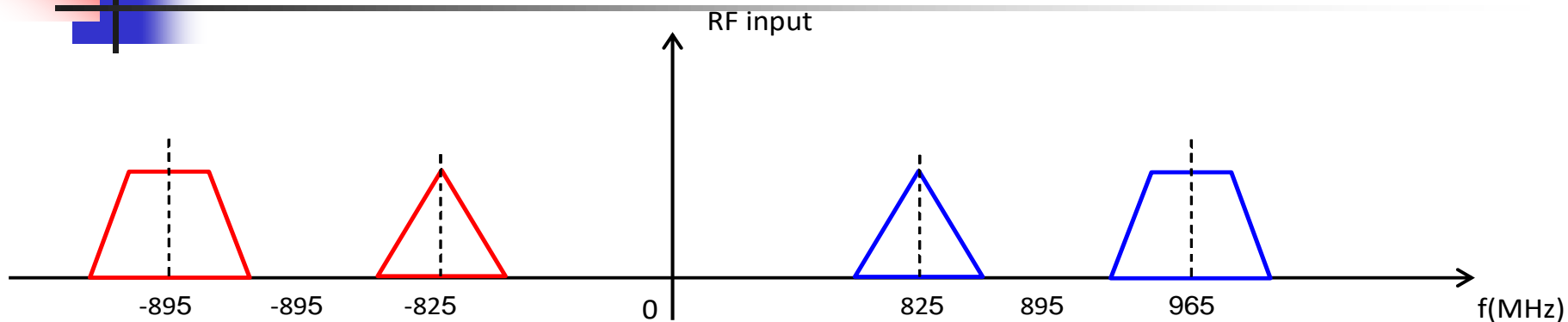
Rechazo de imagen de Harley



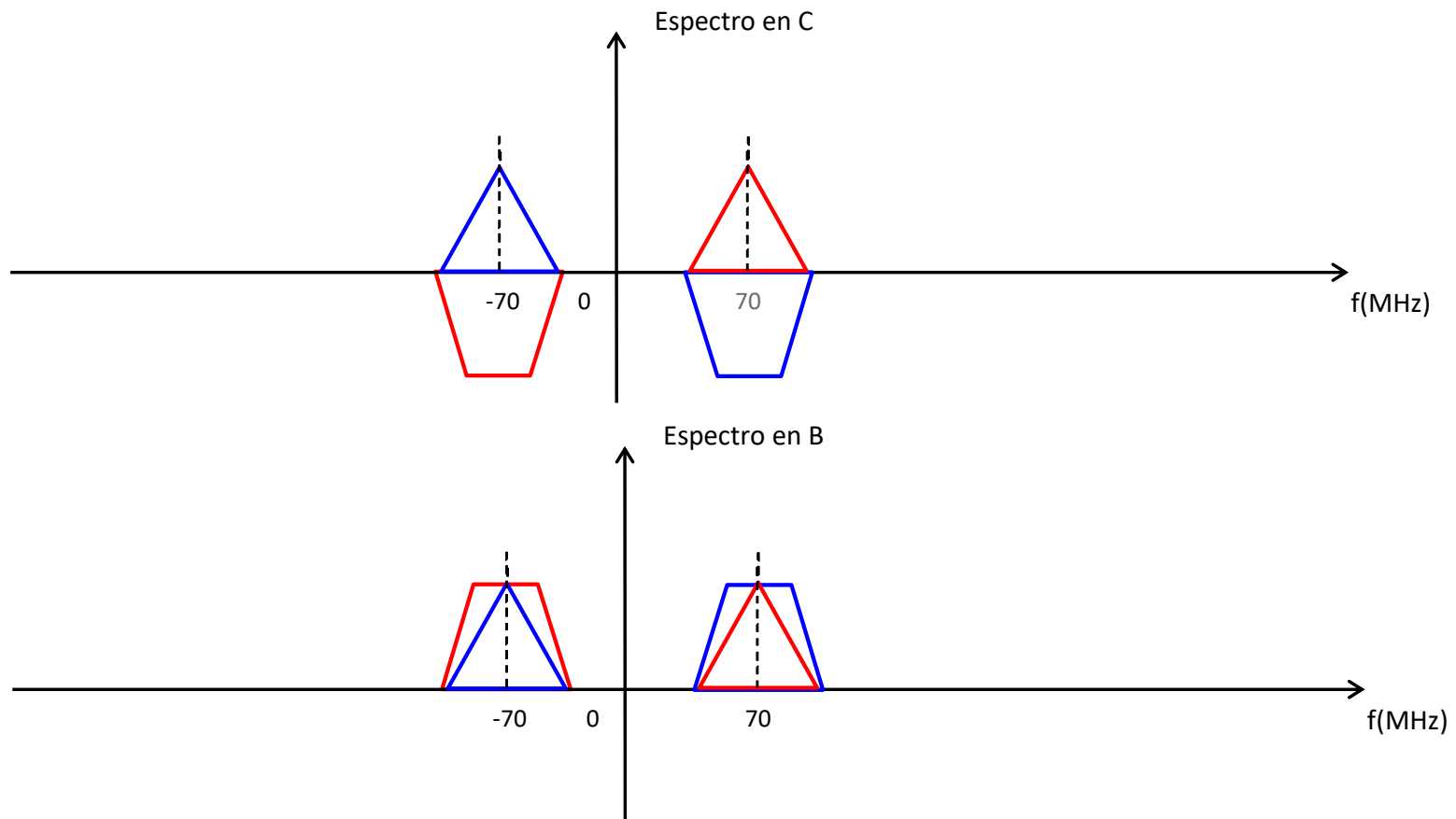
Rechazo de imagen de Harley



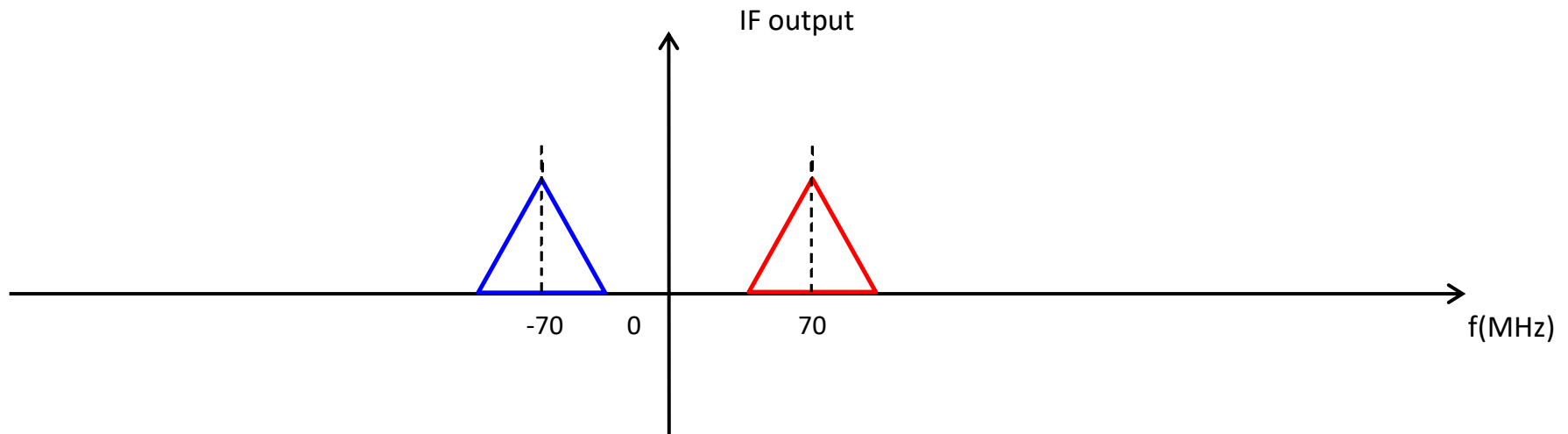
Rechazo de imagen de Harley



Rechazo de imagen de Harley

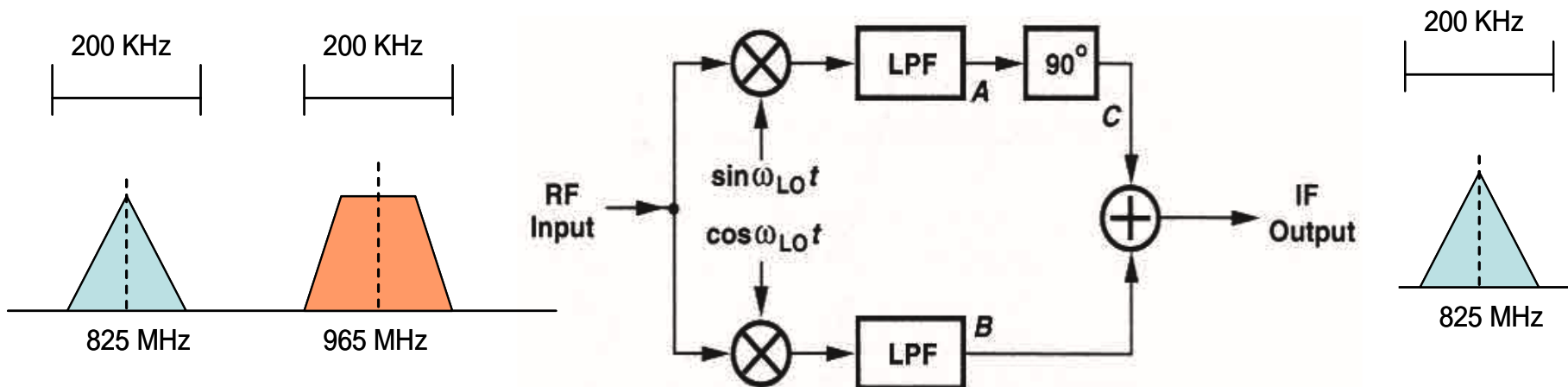


Rechazo de imagen de Harley

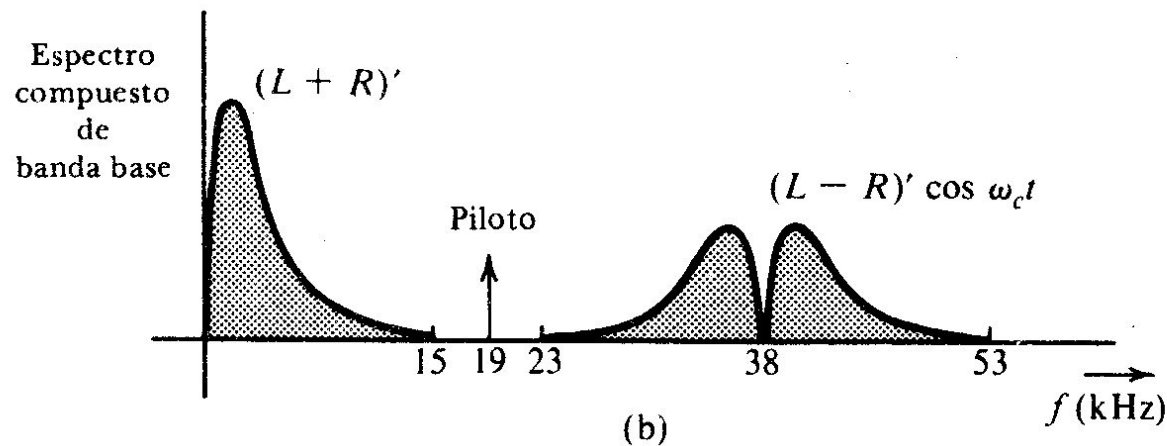
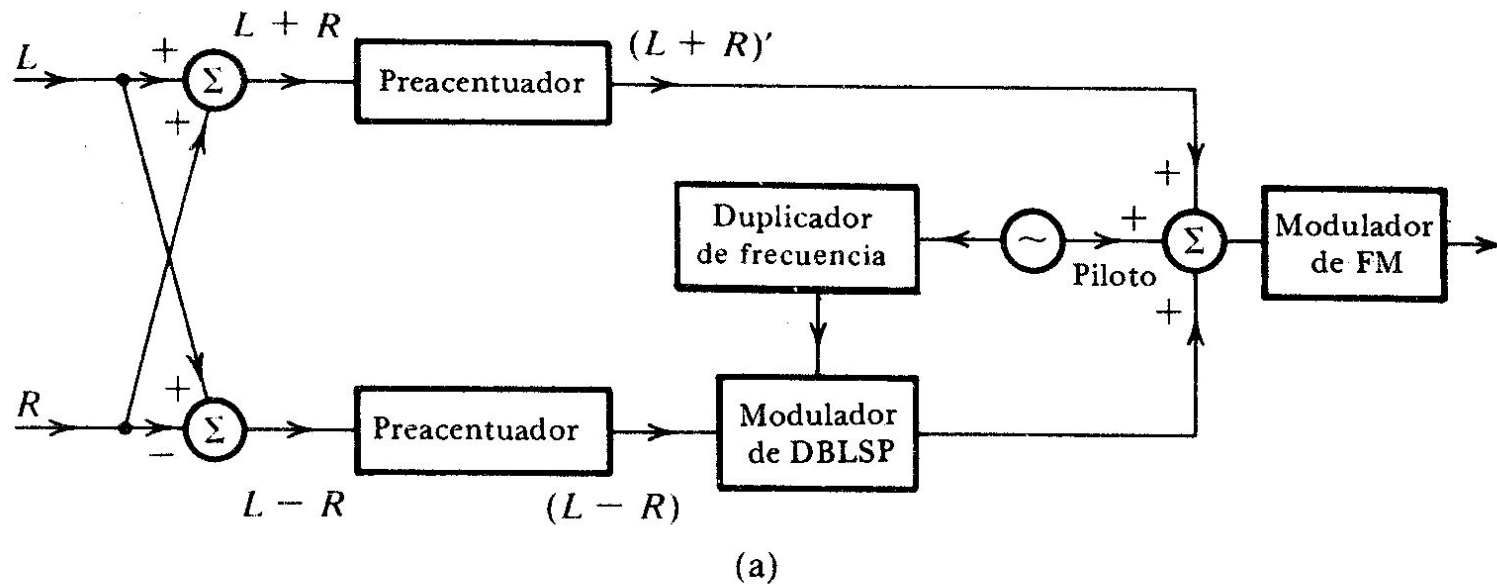


Rechazo de imagen de Harley

Por tanto el circuito de Harley elimina la señal no deseada 'efecto de imagen' de 965 MHz quedando sólo la señal deseada de 825 MHz. La frecuencia de oscilación local es de 895 MHz.



Generación de FM-estéreo





Aplicaciones FDM: Servicios móviles

En los países nórdicos de Europa existen 2 sistemas para comunicaciones móviles: NMT450 (Nordic Mobile Telephone-450) y NMT900 (Nordic Mobile Telephone-900).

Al sistema NMT450 se le asigna una banda entre 453 y 457.5 MHz con canales de 25 Khz y al sistema NMT900 una banda entre 890 y 915 MHz con canales de 12.5 Khz. Determine:



Aplicaciones FDM: Servicios móviles

a) La banda de guarda y la eficiencia de ancho de banda en el sistema NMT450 para que atienda a 160 abonados. Estime además el número máximo de abonados sin el uso de banda de guarda.

$$B_T = 457.5 - 453 = 4.5 = 4500 \text{ KHz}, \quad n = 160, \quad B_v = 25 \text{ KHz}$$

$$n = \frac{B_T}{B_v + B_g} \quad \rightarrow \quad B_g = \frac{B_T}{n} - B_v = 3.125 \text{ KHz}$$



Aplicaciones FDM: Servicios móviles

a) La banda de guarda y la eficiencia de ancho de banda en el sistema NMT450 para que atienda a 160 abonados. Estime además el número máximo de abonados sin el uso de banda de guarda.

$$\eta_B = \frac{nB_v}{B_T} = \frac{160(25)}{4500} = 88.8\%$$

$$n_{\text{máx}} = \frac{4500}{25} = 180$$



Aplicaciones FDM: Servicios móviles

b) El número de abonados y la banda de guarda en el sistema NMT900 si opera con una eficiencia de 80%. Estime además el número máximo de abonados sin el uso de banda de guarda (es decir con una eficiencia de 100%).

$$B_T = 915 - 890 = 25 = 25\,000 \text{ KHz}, \quad \eta_B = 0.8, \quad B_v = 12.5 \text{ KHz}$$

$$\eta_B = \frac{nB_v}{B_T} = \frac{n(12.5)}{25000} \quad \rightarrow \quad n = 1600$$



Aplicaciones FDM: Servicios móviles

b) El número de abonados y la banda de guarda en el sistema NMT900 si opera con una eficiencia de 80%. Estime además el número máximo de abonados sin el uso de banda de guarda (es decir con una eficiencia de 100%).

$$B_g = \frac{B_T}{n} - B_v = \frac{25000}{1600} - 12.5 = 3.125 \text{ KHz}$$

$$n_{\text{máx}} = \frac{25000}{12.5} = 2000$$

Aplicaciones FDM: Servicios móviles

c) Sí 4 operadores compiten por el servicio NMT900 y el Estado establece el uso de una banda de 5 MHz para control, sincronización, supervisión de las comunicaciones, etc. ¿Cuántos canales de servicio le corresponderían a cada operador si se trabaja con una eficiencia de 90%?

$$\eta_B = \frac{nB_v}{B_T} = \frac{n(12.5)}{25000} = 0.9 \rightarrow n = 1800$$

$$B_g + B_v = \frac{B_T}{n}$$

$$B_{\text{control}} = 5 \text{ MHz}$$

Aplicaciones FDM: Servicios móviles

c) Sí 4 operadores compiten por el servicio NMT900 y el Estado establece el uso de una banda de 5 MHz para control, sincronización, supervisión de las comunicaciones, etc. ¿Cuántos canales de servicio le corresponderían a cada operador si se trabaja con una eficiencia de 90%?

$$n_{\text{control}} = \frac{B_{\text{control}}}{B_v + B_g} = \frac{5}{25 / 1800} = 360$$

$$\text{\#canales/operador} = \frac{1800 - 360}{4} = 360$$



Problema FDM propuesto

Considere un receptor superheterodino diseñado para telefonía celular analógica (AMPS) que opera en la banda de 869 a 894 MHz, con una frecuencia intermedia (IF) de 7.02 MHz. El ancho de banda de cada canal en esta banda es de 30 KHz. La modulación de cada canal es FM.



Problema FDM propuesto

- a) Determinar la cantidad de canales en esta banda de frecuencias. Tener en cuenta que se considera una banda de guarda de 20 KHz al comienzo y al final de la banda completa (de 869 a 894 MHz) y entre los canales no existe banda de guarda.
- b) Determine las características de cada uno de los bloques del receptor superheterodino si se quiere recibir el canal Nro. 28 en esta banda. Graficar el espectro de frecuencias en cada uno de los puntos del receptor superheterodino.



Problema FDM propuesto

- c) Si se escucha que el canal 28 presenta interferencia de otro canal. Determine de qué número de canal proviene esta interferencia. Explique con un gráfico.
- d) Repita el cálculo b) y c) para el canal 820. En este caso, ¿la interferencia proviene de un canal en banda (en el rango 869 a 894)? o ¿proviene de un canal de radio fuera de banda?