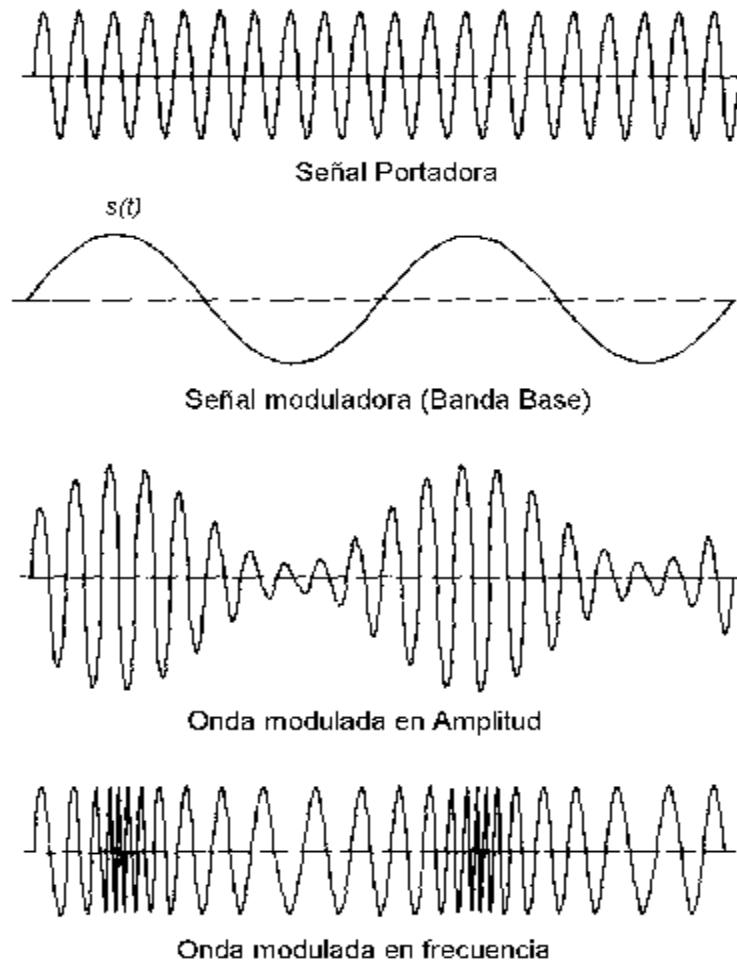


Capítulo I

Objetivo: Analizar los principios de modulación dentro de la comunicación analógica, evolución de las comunicaciones y la estructura del transmisor, receptor y espectro de frecuencias.

1. Comunicaciones analógicas



1.1 Introducción

El propósito de este capítulo es introducir al lector a los conceptos fundamentales de los sistemas de comunicaciones electrónicas y explicar algo de la terminología básica necesaria para entender los temas más complejos que serán analizados más adelante en esta página.

El primer sistema de comunicaciones electrónicas fue desarrollado en 1837 por Samuel Morse. Morse usando la inducción electromagnética, pudo transmitir información en forma de puntos, guiones y espacios por medio de un cable metálico. Le llamó a su invento el telégrafo. En 1876, un canadiense educador y terapeuta del lenguaje Alexander Graham Bell y su asistente, Thomas A. Watson (un inventor también muy conocido), transmitieron exitosamente una conversación humana a través de un sistema telefónico funcional usando cables metálicos como medio de transmisión.

1830

Joseph Henry diseña un sistema "práctico" para enviar señales eléctricas y detectarlas en extremos distantes. Es el predecesor del telégrafo.



1874

Bell Contrata a Thomas A. Watson, quien sería su asistente de experimentos durante largos años. Por esta época, Bell ya tenía en mente la idea de transmitir voz sobre los cables telegráficos.



1876

Con las ideas en mente, pero aún sin tener un sistema capaz de transmitir voz, Bell presenta su solicitud de patente, el 14 de febrero de 1876. Increíblemente, esta solicitud fue presentada pocas horas antes de una solicitud similar presentada el mismo día por Elisha Gray



1910

El primer teléfono instalado en un automóvil data de 1910. La historia es interesante. Lars Magnus Ericsson (el fundador de la compañía Ericsson en 1876) y su esposa Hilda, se mudaron a una zona rural de Suecia en 1901.



1918

En Uruguay la telefonía manual se expande en el interior del país. En la foto se muestra el puesto telefónico de la localidad de Marmarajá (en el Departamento de Lavalleja). A la derecha, el Sr. Anacleto Ferrareso (propietario de los campos aledaños a la ubicación de la cabina telefónica), se encuentra operando el panel de conexiones



1928

El departamento de policía de Detroit instala el primer sistema de radio comunicación unidireccional, montando receptores de radio en sus móviles Ford T patrulleros. Creación de la televisión



1933

Se instalan las primeras centrales telefónicas públicas automáticas. Creación de la radio FM



1948

Los científicos William Shockley, John Bardeen, y Walter Brattain, trabajando para los laboratorios Bell, buscaban un reemplazo para las válvulas de vacío. El primero de julio de 1948 el primer transistor en la historia de la Humanidad es dado a conocer. El nombre "transistor" fue dado por sus inventores, como abreviación de "transit resistor".



William Shockley

1950

El transistor acababa de ser inventado, pero aún no era producido en serie, por lo que Eckert y Mauchly continuaron el desarrollo de sus computadores con tecnología de válvulas.



1960

Desarrollo de lenguajes de programación, S.O., Conmutación de paquetes, transmisión satélite, comienza la unión de las telecomunicaciones e informática.



1963

El Telstar 1 se lanzó el 10 de julio de 1962. Las estaciones terrestres estaban situadas en Andover, Maine (Estados Unidos), Goonhilly Downs (Reino Unido) y Pleumeur-Bodou (Francia).



1970

Consolidación de la teleinformática, aparecen las primeras redes de computadores, protocolos y arquitectura de redes, primeras redes públicas de paquetes.



R. Maier, P. Schütz y D. Kees

1971

Robert (Bob) Metcalfe comenzó a trabajar para Xerox, en Palo Alto Research Center (PARC). Anteriormente, Metcalfe había trabajado en el proyecto ARPANET.



1974

es inaugurada en Chicago la primera central pública con conmutación digital por división de tiempo (TDM), la No 4 ESS. El proyecto, de los laboratorios Bell, fue llevado a cabo por el Ingeniero H. Earle Vaughan.



1978

El primer prototipo de sistema celular comercial es instalado en Chicago, por AT&T, en 1977. En 1978, más de 2000 celulares son probados por el público. En 1979 el primer sistema celular comercial comenzó a funcionar en Tokio.



1980

la FCC autoriza el servicio comercial de telefonía celular en Estados Unidos. Aparecen las redes digitales DNA



1990

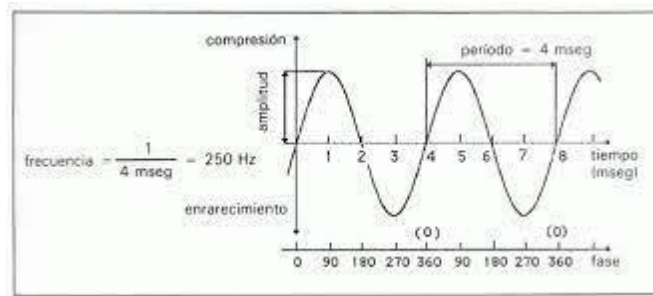
Tecnología de la información, Sistemas Distribuidos, Procesamiento Distribuido, integración. Cuatro empresas privadas (Digital Equipment, StrataCom, Northern Telecom y Cisco) deciden unir sus esfuerzos para implementar un protocolo de comunicaciones interoperable entre sus equipos. La "Banda de los Cuatro" ("Gang of Four")



2005

Convergencia/Movilidad/IP
En mayo de 2005 el grupo de estudio 15 del ITU termina la recomendación de VDSL2 (ITU-T G.993.2), utilizando tecnologías DSL con velocidades de hasta 100 Mb/s

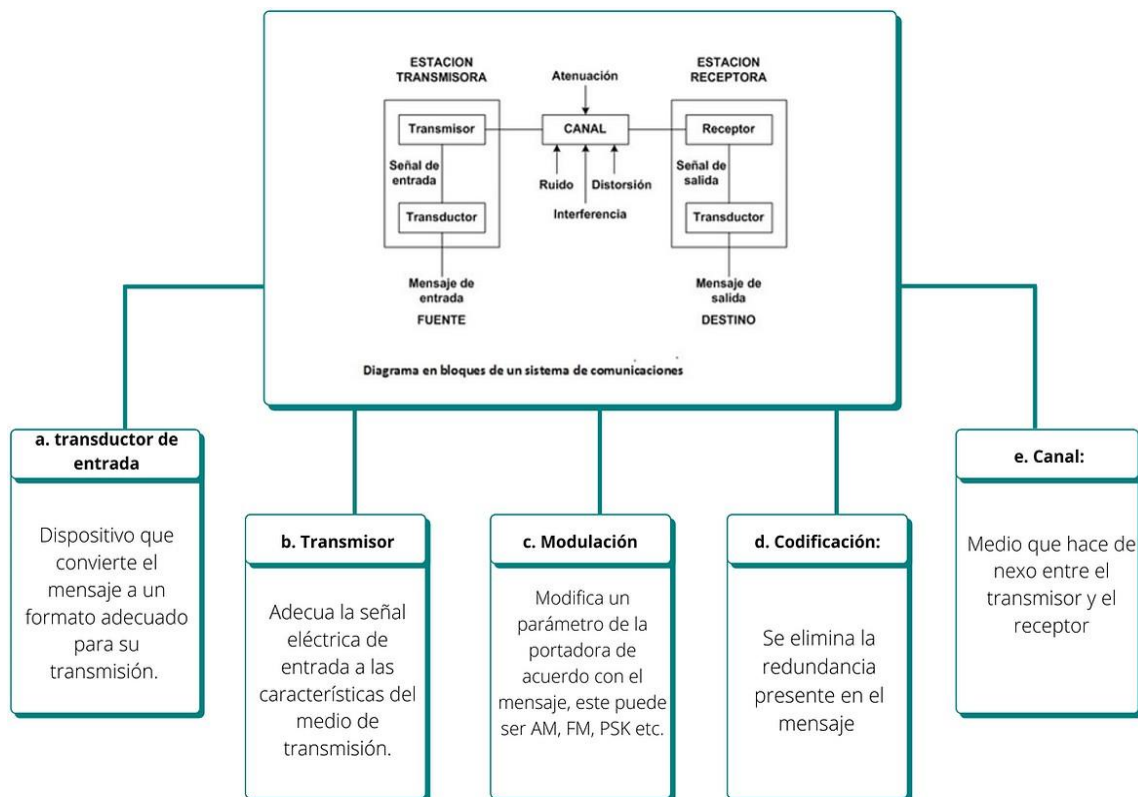




1.2 Definición

Son las que contienen infinitos valores en cualquier momento del tiempo y que se desarrollan de manera constante, por ejemplo, la temperatura, la intensidad de la luz o el timbre de la voz. Los sistemas de comunicación analógicos son competentes para transportar señales inteligentes que presentan servicios de voz, imágenes, textos y datos.

1.2.1 Elementos de un sistema de comunicaciones.



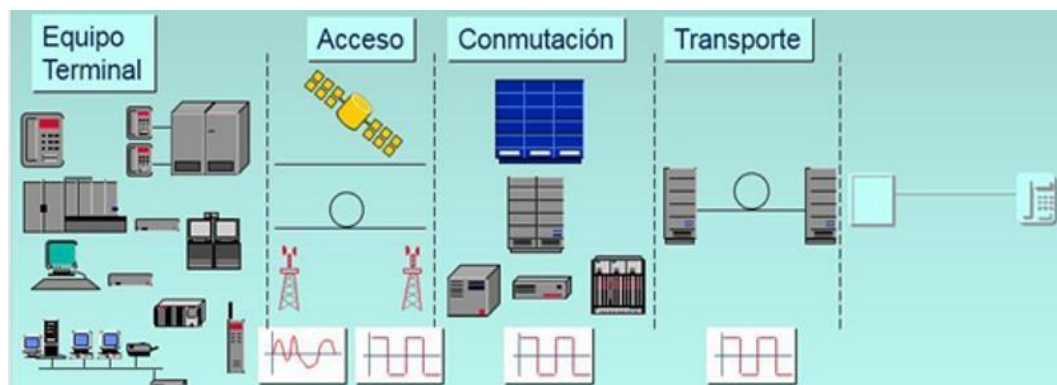
1.3 Diferencias entre la comunicación analógica y digital

	Sistemas Análogos	Sistemas digitales
Definición	Es aquel cuyas señales pueden admitir valores infinitos que pueden variar de forma continua.	Es cualquier sistema que permita crear, decodificar, transmitir o guardar información que se encuentra representada en cantidades tan restringidas que sus señales de entrada y salida solo admiten valores discretos.
Valores de la señal	Valores continuos (infinitos)	Valores discretos (finitos)
Ventajas	Instantaneidad Economía Fidelidad	Menor tamaño Eficiencia Precisión Diseño Estabilidad
Desventajas	Menos tolerancia a los ruidos Degradación prematura de las señales Dificultades técnicas	Conversión Ancho de banda Alteración
Se utiliza en:	Sistemas de audio y video antiguo Fotografía analógica Instrumentos de precisión tradicional	Computadoras Teléfonos móviles Sistemas de grabaciones de audio y video Instrumentos de precisión digital
Tipo de señal	Es voltaje o corriente que varía suave y continuamente. Una onda senoidal es una señal analógica de una sola frecuencia. Los voltajes de la voz y del video son señales analógicas que varían de acuerdo con el sonido o variaciones de la luz que corresponden a la información que se está transmitiendo.	En contraste con las señales analógicas, no varían en forma continua, sino que cambian en pasos o en incrementos discretos. La mayoría de las señales digitales utilizan códigos binarios o de dos estados.
Ejemplo de señales	El video compuesto que sale de una salida RCA, por ejemplo, es una señal analógica codificada que va desde 0 a 1.073 V. Cambios pequeños en la señal tienen un gran efecto en el color o la ubicación del video.	La mayoría de las comunicaciones entre circuitos integrados son digitales. Las interfaces como serial, I ² C, y SPI todas transmiten datos vía una secuencia codificada de ondas cuadradas.

1.4 Ejemplos

Digital	Analógico
Computadoras	Sistemas de audio y video antiguos
Teléfonos móviles	Fotografía analógica
Sistemas de grabación de audio y video	Instrumentos de precisión tradicionales
Instrumentos de precisión digitales	

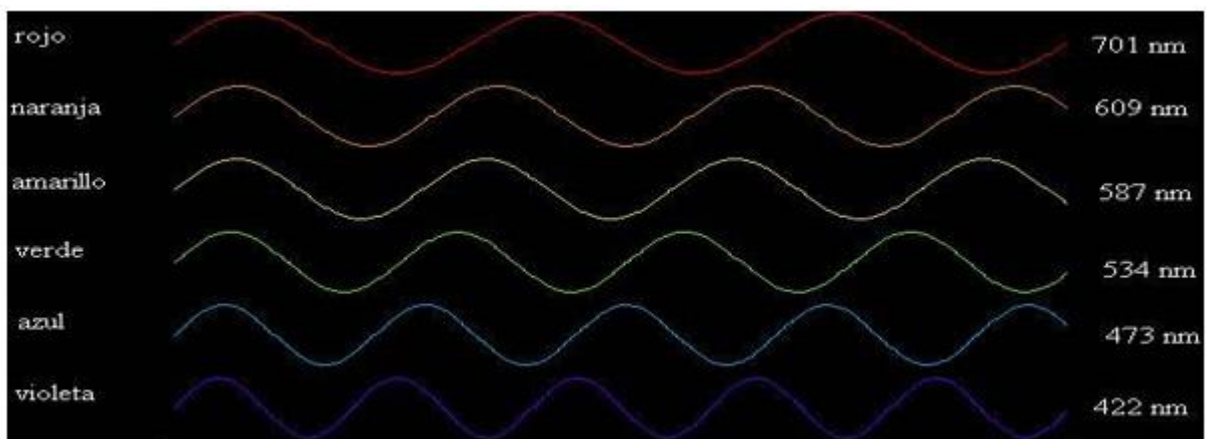
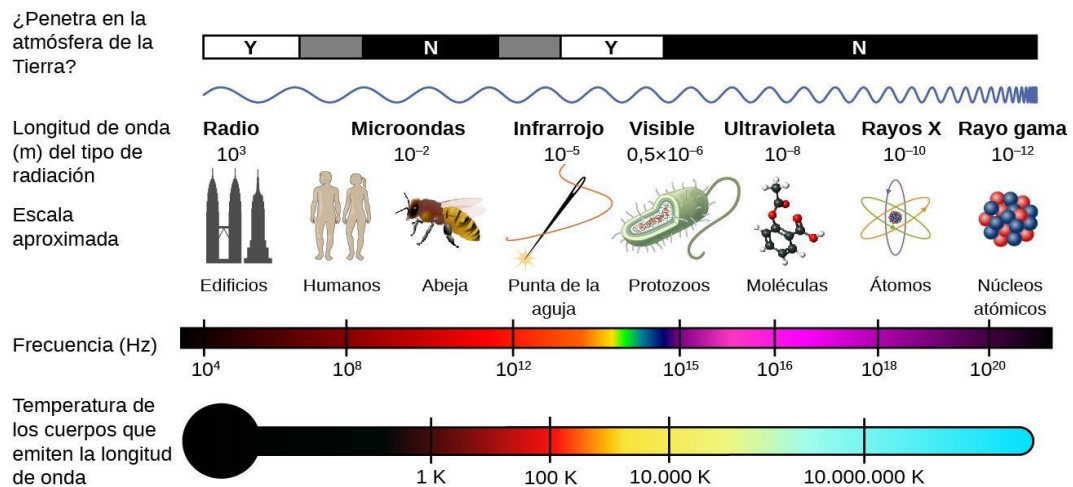
1.5 Modelo de Red



- **Equipo Terminal.** - Situado en las instalaciones del cliente para aprovechar un servicio de telecomunicaciones.
- **Acceso.** - La forma de conectar las instalaciones del cliente con las de la empresa proveedora del servicio.
- **Conmutación.** - Los equipos responsables de establecer la comunicación entre los clientes.
- **Transporte.** - La forma de conectar a los elementos de conmutación entre sí

1.6 Espectro Electromagnético

Distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas. Referido a un objeto se denomina espectro electromagnético o simplemente espectro a la radiación electromagnética que emite (espectro de emisión) o absorbe (espectro de absorción) una sustancia. Dicha radiación sirve para identificar la sustancia de manera análoga a una huella dactilar. Los espectros se pueden observar mediante espectroscopios que, además de permitir ver el espectro, permiten realizar medidas sobre el mismo, como son la longitud de onda, la frecuencia y la intensidad de la radiación.

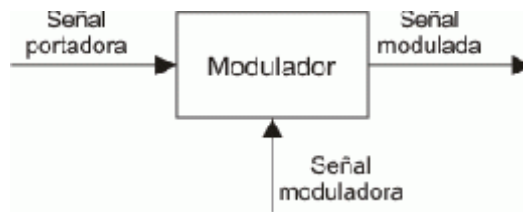


Banda	Longitud de onda (m)	Frecuencia (Hz)	Energía (J)
Rayos gamma	< 10 pm	> 30,0 EHz	> $20 \cdot 10^{-16}$ J
Rayos X	< 10 nm	> 30,0 PHz	> $20 \cdot 10^{-18}$ J
Ultravioleta extremo	< 200 nm	> 1,5 PHz	> $993 \cdot 10^{-21}$ J
Ultravioleta cercano	< 380 nm	> 789 THz	> $523 \cdot 10^{-21}$ J
Luz Visible	< 780 nm	> 384 THz	> $255 \cdot 10^{-21}$ J
Infrarrojo cercano	< 2,5 μ m	> 120 THz	> $79 \cdot 10^{-21}$ J
Infrarrojo medio	< 50 μ m	> 6,00 THz	> $4 \cdot 10^{-21}$ J
Infrarrojo lejano/submilimétrico	< 1 mm	> 300 GHz	> $200 \cdot 10^{-24}$ J
Microondas	< 30 cm	> 1 GHz	> $2 \cdot 10^{-24}$ J
Ultra Alta Frecuencia - Radio	< 1 m	> 300 MHz	> $19.8 \cdot 10^{-26}$ J
Muy Alta Frecuencia - Radio	< 10 m	> 30 MHz	> $19.8 \cdot 10^{-28}$ J
Onda Corta - Radio	< 180 m	> 1,7 MHz	> $11.22 \cdot 10^{-28}$ J
Onda Media - Radio	< 650 m	> 650 kHz	> $42.9 \cdot 10^{-29}$ J
Onda Larga - Radio	< 10 km	> 30 kHz	> $19.8 \cdot 10^{-30}$ J
Muy Baja Frecuencia - Radio	> 10 km	< 30 kHz	< $19.8 \cdot 10^{-30}$ J

1.7 Efectos de radiación en el cuerpo humano

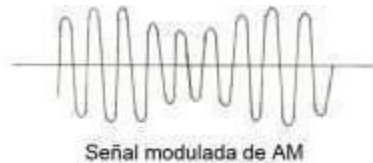


1.8 Modulación

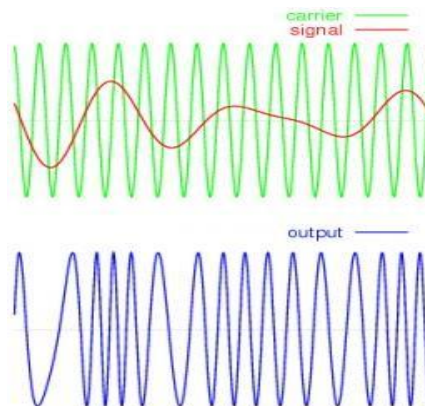


Consiste en variar determinado aspecto de una señal denominada portadora con respecto a una segunda señal denominada señal moduladora, generando finalmente una "señal u onda modulada".

En el proceso de modulación, la señal de alta frecuencia (portadora) quedará modificada en alguno de sus parámetros como su amplitud, frecuencia, fase, etc. de manera proporcional a la amplitud de la señal de baja frecuencia o moduladora.



Amplitud Modulada. (AM). En la modulación de amplitud (AM) la característica sometida a variación es la amplitud de la onda. Por tanto, esta se define como el proceso mediante el cual se varía la amplitud de la onda portadora de radiofrecuencia (RF) en función de la variación de la amplitud de la señal de audiofrecuencia (AF).



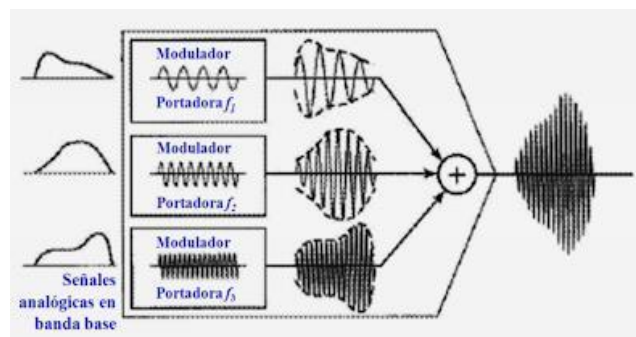
Modulación de Frecuencia. Se refiere a la forma de transmitir Información a través de una Onda portadora variando su frecuencia. En este tipo de modulación la variación se produce en los saltos de frecuencias.

Las características principales de la frecuencia modulada son: Su modulación y su propagación por ondas directas como consecuencia de su ubicación en la banda de frecuencia de VHF, en ella se crean bandas laterales cuya extensión dependerá de la amplitud de la onda moduladora, estas bandas laterales hacen que el ancho de banda que se utiliza en esta modulación es más grande que el tradicional de la onda media.



Modulación de fase (PM). Es un proceso donde el parámetro de la señal portadora que variará de acuerdo con señal moduladora es la fase, manteniendo la frecuencia y la amplitud constante, es un tipo de modulación exponencial al igual que la modulación de frecuencia.

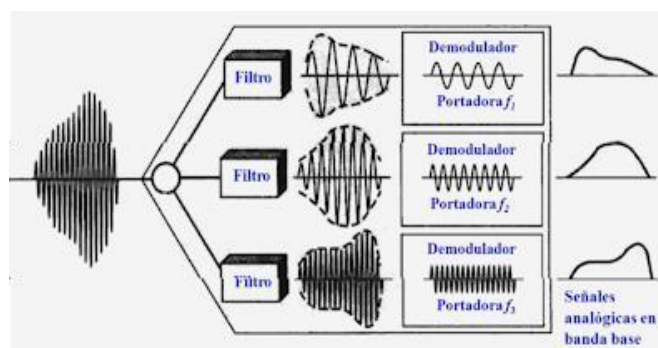
1.9 TDM _ FDM



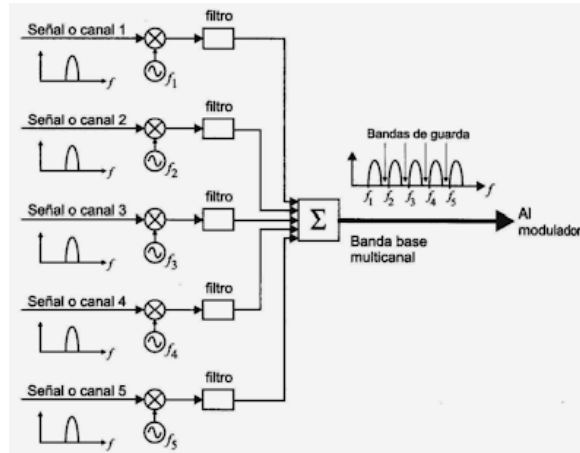
FDM es una técnica analógica que se puede aplicar cuando el BW de un enlace es mayor que los BW combinados de las señales a transmitir. Cada fuente genera una señal con un rango de frecuencia similar. Dentro del MUX, estas señales similares se modulan sobre distintas frecuencias portadoras (f_1 , f_2 y f_3).

PROCESO DE MULTIPLEXACION

El DEMUX usa filtros para descomponer la señal multiplexada en las señales componentes que la constituyen. Las señales individuales se pasan después a un demodulador que las separa de sus portadoras y las pasa a líneas de salida.



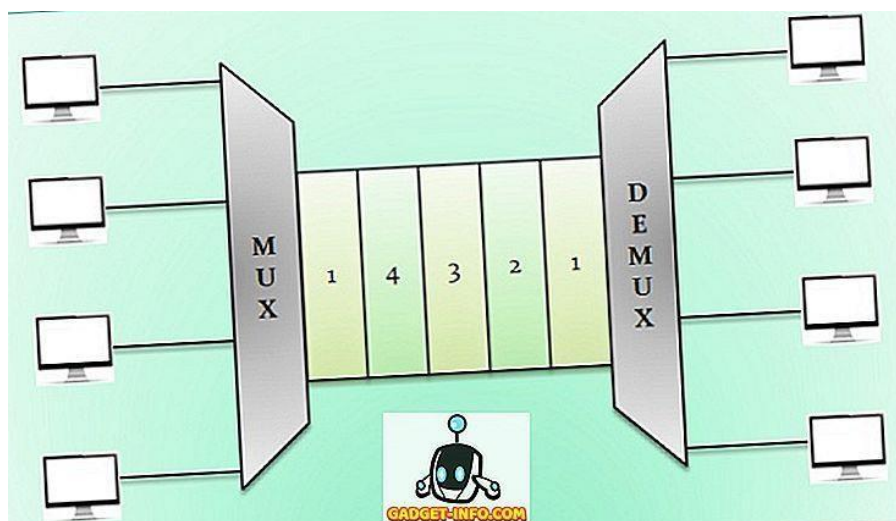
FDM en el dominio de la frecuencia



Se puede considerar a FDM como una técnica de multiplexación analógica; sin embargo, esto no significa que FDM no se pueda utilizar para combinar fuentes que envían señales digitales. Una señal digital se puede convertir a una señal analógica antes de que FDM se utilice para multiplexarlas.

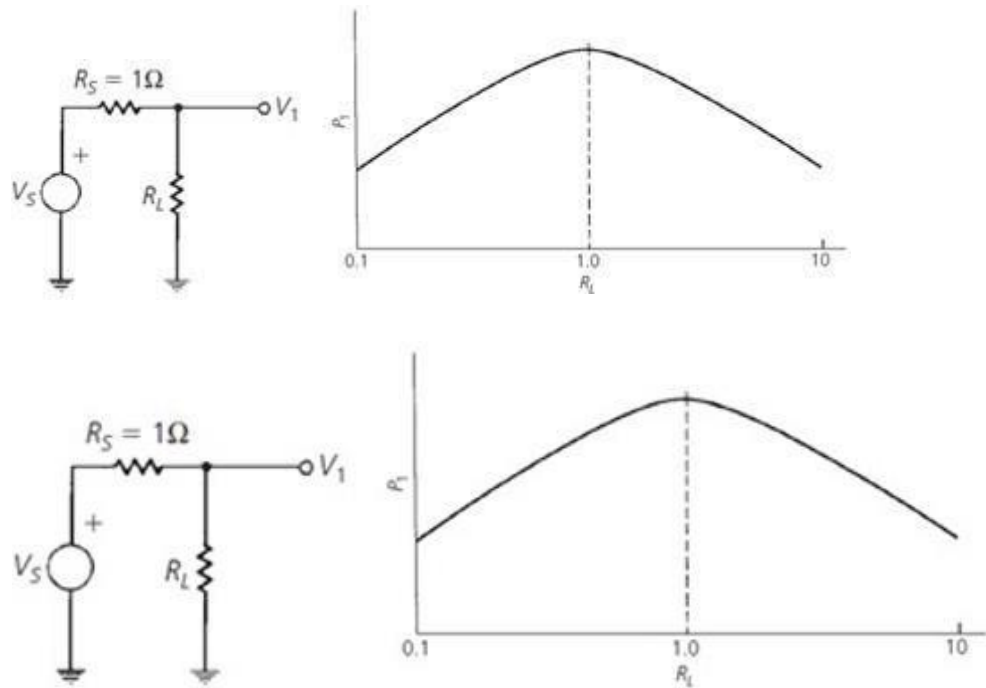
TDM

("Time División Múltiple Access") es común en los sistemas de telefonía fija. Las últimas tecnologías en los sistemas de radio son la codificación de la voz y la compresión de datos, que eliminan redundancia y periodos de silencio y decrementan el tiempo necesario en representar un periodo de voz. Los usuarios acceden a un canal de acuerdo con un esquema temporal. Aunque no hay ningún requerimiento técnico para ello, los sistemas celulares, que emplean técnicas TDMA, siempre usan TDMA sobre una estructura FDMA. Un sistema puro TDMA tendría sólo una frecuencia de operación, y no sería un sistema útil. TDMA es un concepto bastante antiguo en los sistemas de radio.



1.10 Acoplamiento de impedancia

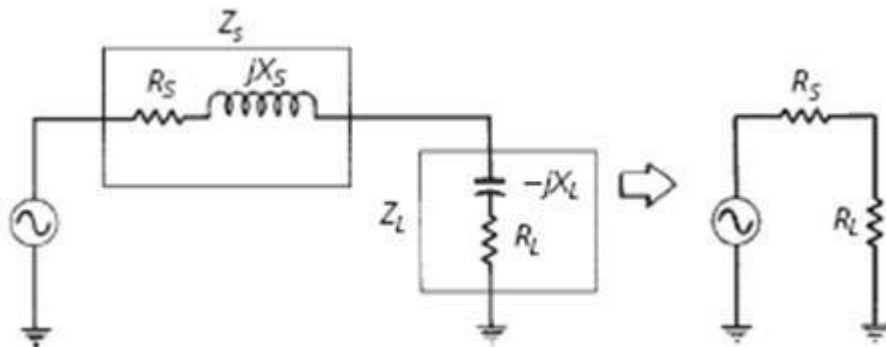
El acople de impedancias es necesario en el diseño de circuitos de RF para obtener la máxima transferencia de potencia entre la fuente y la carga.



Máxima transferencia de potencia en AC

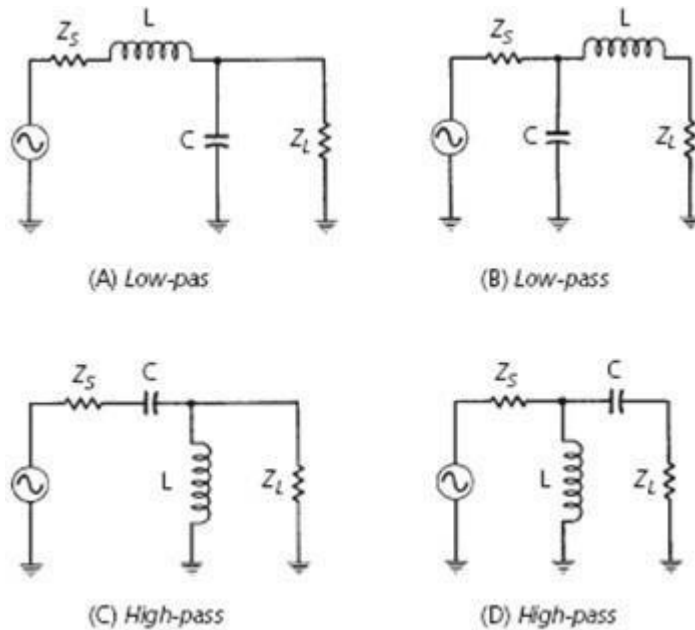
La MTP ocurre cuando la impedancia de carga Z_L es igual al conjugado complejo de la impedancia de la fuente Z_S .

$$Z_S = R_S + jX_S \quad Z_L = R_L - jX_L$$



Acople de impedancias

Hay infinito número de circuitos posibles para realizar el acople de impedancias. Circuitos en L:



1.11 Capacidad de información

- Las dos limitaciones más importantes en el funcionamiento de un sistema de comunicaciones son el ruido y el ancho de banda. El ruido se describirá más adelante en este capítulo. El ancho de banda de una señal de información no es más que la diferencia entre las frecuencias máxima y mínima contenidas en la información, y el ancho de banda de un canal de comunicaciones es la diferencia entre las frecuencias máxima y mínima que pueden pasar por el canal (es decir, son su banda de paso). El ancho de banda de un canal de comunicaciones debe ser suficientemente grande (ancho) para pasar todas las frecuencias importantes de la información.
- La teoría de la información es el estudio muy profundo del uso eficiente del ancho de banda para propagar información a través de sistemas electrónicos de comunicaciones. Esta teoría se puede usar para determinar la capacidad de información de un sistema de comunicaciones. La ley de Hartley sólo establece que mientras más amplio sea el ancho de banda y mayor sea el tiempo de transmisión, se podrá enviar más información a través del sistema.

En forma matemática, la ley de Hartley es:

$$I \propto B \times t$$

- Siendo: I = Capacidad de información
 B = Ancho de banda del sistema
 t = Tiempo de transmisión

En 1948 un trabajo en el Bell System Technical Journal, relacionó la capacidad de información de un canal de comunicaciones, en bits por segundo (bps), con el ancho de banda y la relación de señal a ruido. La expresión matemática del límite de Shannon de capacidad de información es:

$$I = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$
$$I = 3.32B \log_{10} \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

Donde: = Capacidad de información

B = Ancho de banda del sistema

S/N = relación de potencia de señal a ruido

1.12 Modos de transmisión (half dúplex)

Los sistemas electrónicos de comunicaciones se pueden diseñar para manejar la transmisión sólo en una dirección, en ambas direcciones, sólo en una a la vez, o en ambas direcciones al mismo tiempo. A éstos se les llama modos de transmisión. Hay cuatro modos de transmisión posibles: simplex, semidúplex, dúplex y dúplex/dúplex.

Simplex (SX)

Con el funcionamiento simplex, las transmisiones sólo se hacen en una dirección. A veces, a los sistemas simplex se les llama sólo en un sentido, sólo recibir o sólo transmitir. Una estación puede ser un transmisor o un receptor, pero no ambos a la vez. Como ejemplo de transmisión simplex está la emisión comercial de radio o televisión: la estación de radio sólo transmite a uno, y uno siempre recibe.

Semidúplex (HDX, de half dúplex)

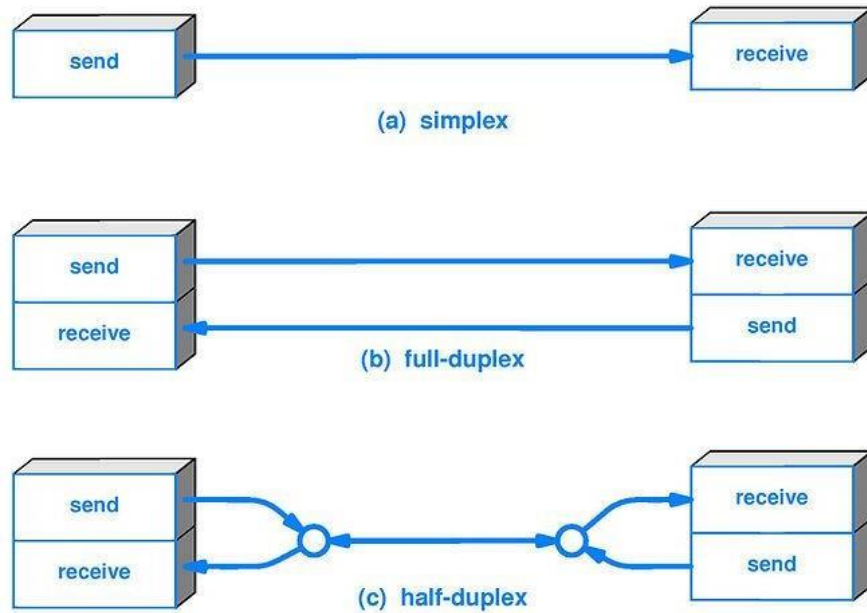
En el funcionamiento semidúplex, las transmisiones se pueden hacer en ambas direcciones, pero no al mismo tiempo. A veces, a los sistemas semidúplex se les llama de alternar en ambos sentidos, en uno de los sentidos, o de cambio y fuera. Una estación puede ser transmisora y receptora, pero no al mismo tiempo. Los sistemas de radio en dos sentidos que usan botones para hablar (PTT, de push-to-talk) para conectar sus transmisores, como son los radios de banda civil y de policía, son ejemplos de transmisión en semidúplex.

Dúplex total (FDX, de full dúplex)

Con el funcionamiento dúplex total, o simplemente dúplex, puede haber transmisiones en ambas direcciones al mismo tiempo. A veces, a los sistemas dúplex se les llama simultáneos de dos direcciones, dúplex completos o líneas bilaterales o en ambos sentidos. Una estación puede transmitir y recibir en forma simultánea; sin embargo, la estación a la que se transmite también debe ser de la que se recibe. Un sistema telefónico normal es un ejemplo de funcionamiento dúplex.

Dúplex total/general (F/FDX, de full/full dúplex)

Con la operación en dúplex total/general es posible transmitir y recibir en forma simultánea, pero no necesariamente entre las mismas dos estaciones (es decir, una estación puede transmitir a una segunda estación, y recibir al mismo tiempo de una tercera estación). Las transmisiones dúplex total/general se usan casi exclusivamente en circuitos de comunicaciones de datos. El Servicio Postal en Estados Unidos es un ejemplo de funcionamiento en dúplex total/general.



1.13 Serie de Fourier

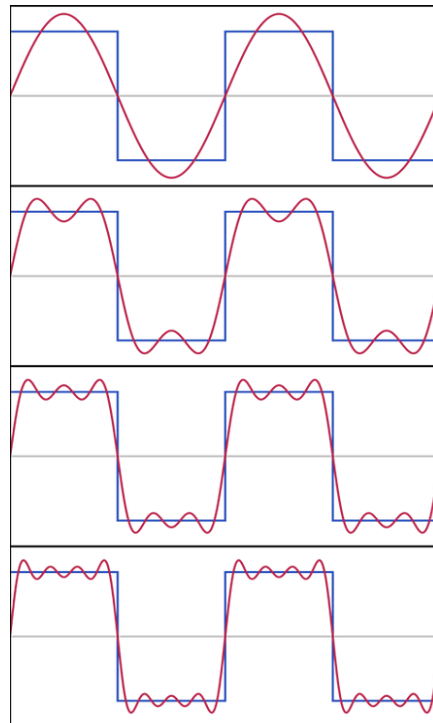
Esta serie se usa en análisis de señales para representar las componentes senoidales de una onda periódica no senoidal, es decir, para cambiar una señal en el dominio del tiempo a una señal en el dominio de la frecuencia. En general, se puede obtener una serie de Fourier para cualquier función periódica, en forma de una serie de funciones trigonométricas con la siguiente forma matemática

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) dt$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos\left(\frac{2n\pi}{T} t\right) dt$$

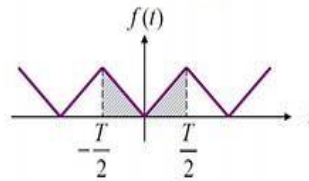
$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin\left(\frac{2n\pi}{T} t\right) dt$$

$$\frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[a_n \cos \frac{2n\pi}{T} + b_n \sin \frac{2\pi}{T} t \right]$$



Simetría

$$a_0 = \frac{4}{T} \int_0^{T/2} f(t) dt, \quad a_n = \frac{4}{T} \int_0^{T/2} f(t) \cos n\omega t dt \quad \text{y} \quad b_n = 0$$



$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos n\omega t dt = \frac{4}{T} \int_0^{T/2} f(t) \cos n\omega t dt \quad \left| \quad b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin n\omega t dt = 0 \right.$$

$\underbrace{\text{(par)} \times \text{(par)}}_{\text{(par)}}$

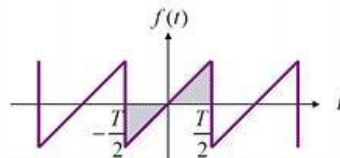
 $\underbrace{\text{(par)} \times \text{(impar)}}_{\text{(impar)}}$

- **Función Par:** Una función f es simétrica respecto al eje de ordenadas cuando para todo x del dominio se verifica:

$$f(-x) = f(x)$$

Las funciones simétricas respecto al eje de ordenadas reciben el nombre de funciones pares.

$$a_0 = a_n = 0 \quad \text{y} \quad b_n = \frac{4}{T} \int_0^{T/2} f(t) \sin n\omega t dt$$



$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) dt = 0 \quad \left| \quad b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin n\omega t dt = \frac{4}{T} \int_0^{T/2} f(t) \sin n\omega t dt \right.$$

$\underbrace{\text{(impar)} \times \text{(par)}}_{\text{(impar)}}$

 $\underbrace{\text{(impar)} \times \text{(impar)}}_{\text{(par)}}$

- **Función Impar:** Una función f es simétrica respecto al origen cuando para todo x del dominio se verifica:

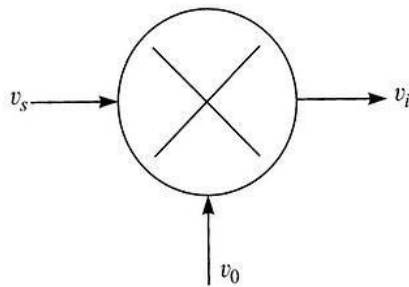
$$f(-x) = -f(x)$$

Las funciones simétricas respecto al origen reciben el nombre de funciones impares.

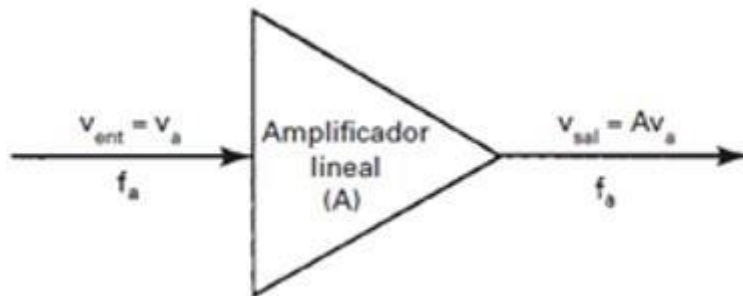
1.14 Mezclador de Señales

Los mezcladores son dispositivos que tienen como función mezclar dos señales en una sola para que se pueda transmitir por una sola salida. Esta mezcla es creada debido a que las señales de entrada son de frecuencias diferentes. Cuando se tratan de la misma frecuencia, no es necesario tener dos antenas distintas, ya que recibirían la misma señal, lo cual provocaría que se anulen dichas frecuencias

$$v_i(t) = K v_s(t) v_0(t)$$



Suma lineal



$$v_{sal} = A v_{ent}$$

$$v_{sal} = A v_{ent}$$

$$v_{ent} = V_a \sin 2\pi f_a t$$

$$v_{sal} = A V_a \sin 2\pi f_a t$$

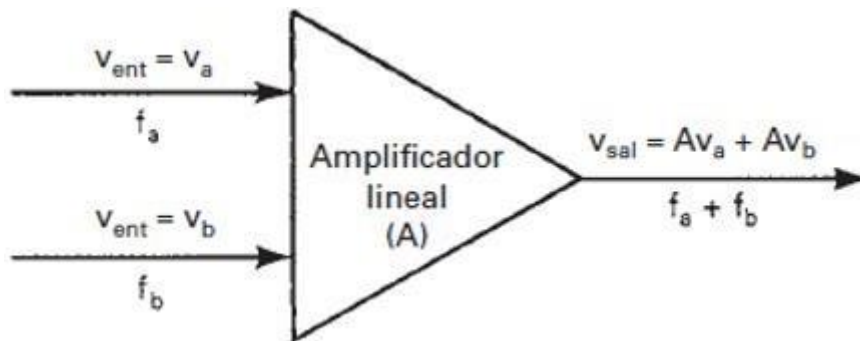
$$v_{ent} = V_a \sin 2\pi f_a t + V_b \sin 2\pi f_b t$$

$$v_{sal} = A(V_a \sin 2\pi f_a t + V_b \sin 2\pi f_b t)$$

$$v_{sal} = A V_a \sin 2\pi f_a t + A V_b \sin 2\pi f_b t$$

La suma lineal se presenta cuando se combinan dos o más señales en un dispositivo lineal, como puede ser una red pasiva o un amplificador de señal pequeña. Las señales se combinan de tal manera que no se producen nuevas frecuencias, y la forma de onda combinada no es más que la suma lineal de las señales individuales. En la industria de grabación de audio, a veces se llama mezclado lineal a la suma lineal; sin embargo, en las radiocomunicaciones, el mezclado implica casi siempre un proceso no lineal.

Mezclador no lineal

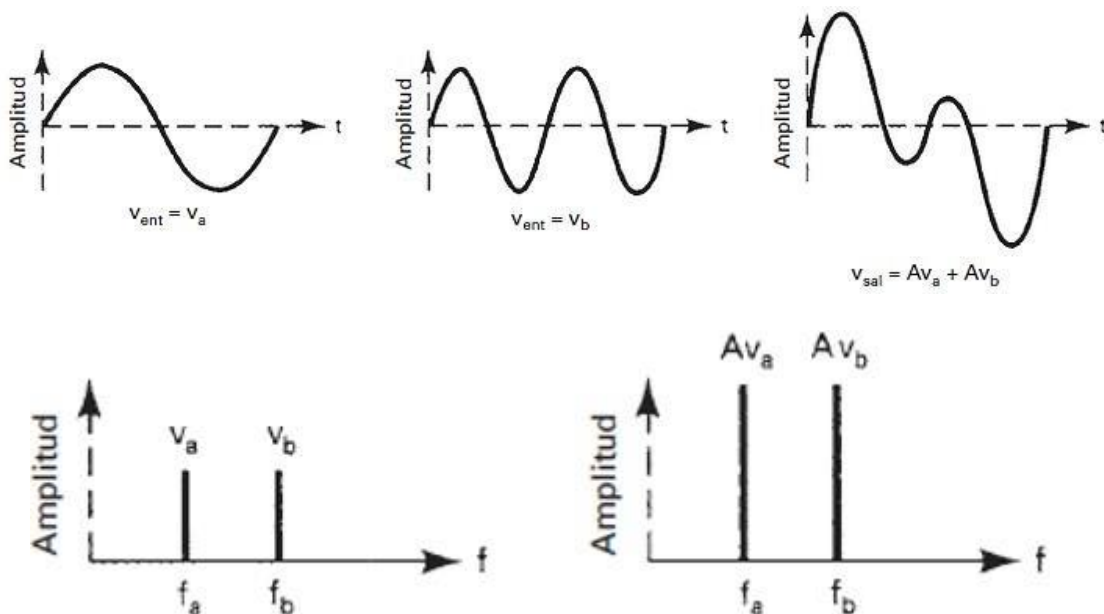


Un mezclador de señales no lineal es un dispositivo no lineal, al cual se le aplican dos señales de entrada, de anchos de banda diferentes, y produce una señal de salida de otro ancho de banda, generalmente en dos bandas o más, una igual a la suma y otras a la diferencia de los anchos de banda de las señales de entrada. Esto es cierto a medias y válido sólo si a la salida del mezclador se utilizan filtros adecuados, un mezclador produce por lo general, un número de señales de salida que se designan como espurios, que es necesario eliminar.

$$v_{sal} = Av_{ent} + Bv_{ent}^2 + Cv_{ent}^3$$

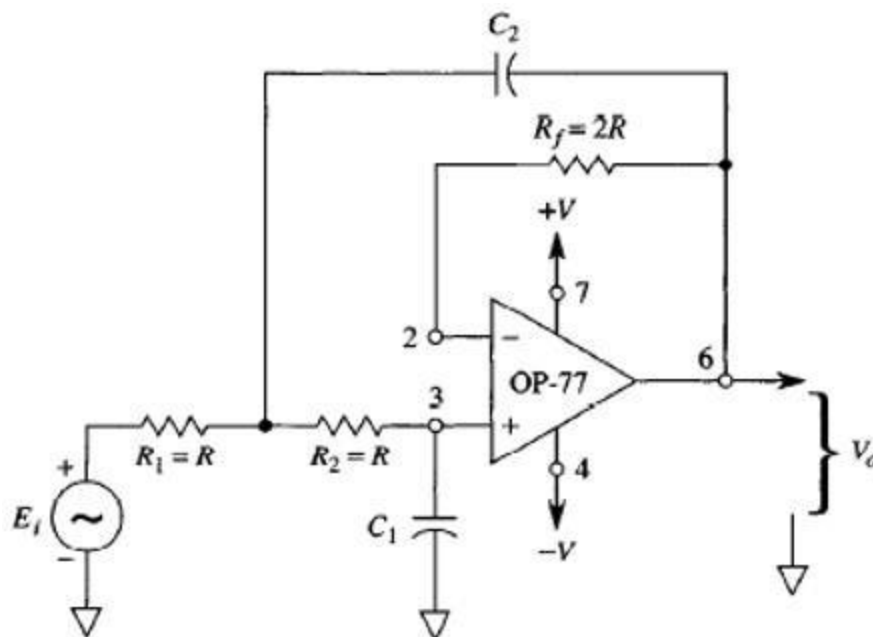
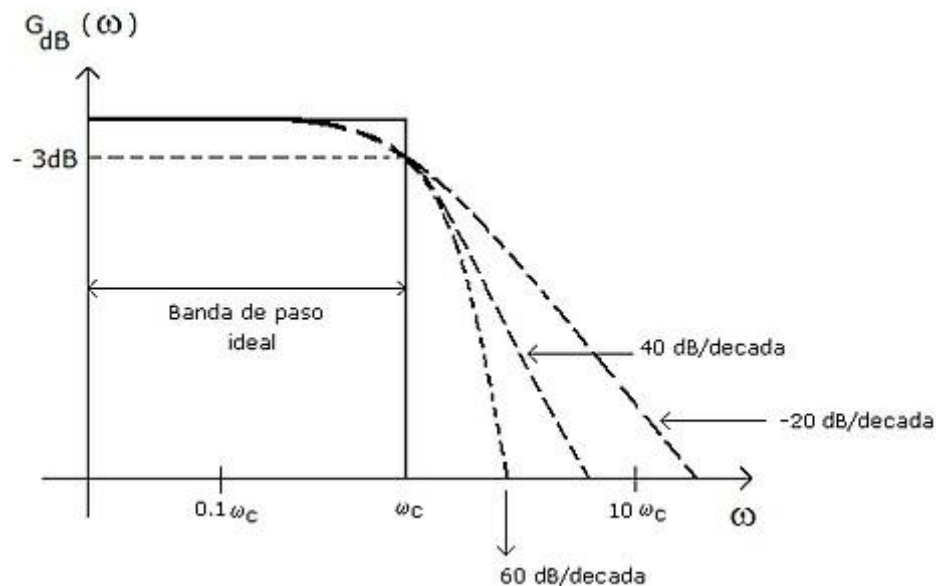
$$v_{ent} = V_a \sin 2\pi f_a t$$

$$v_{sal} = A(V_a \sin 2\pi f_a t) + B(V_a \sin 2\pi f_a t)^2 + C(V_a \sin 2\pi f_a t)^3$$



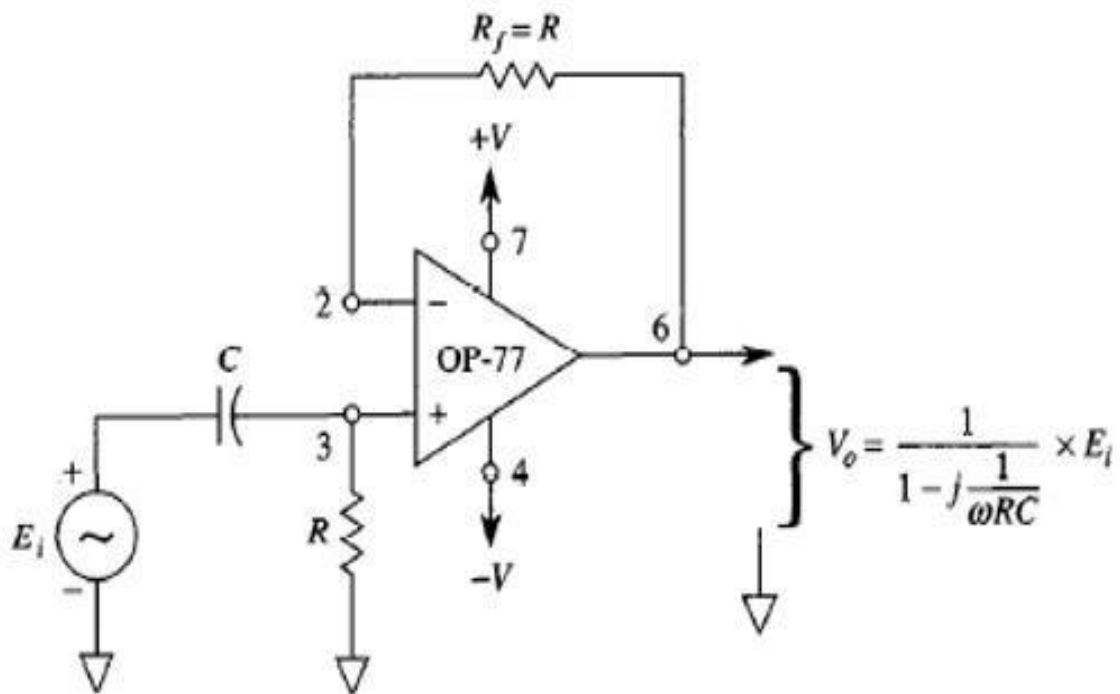
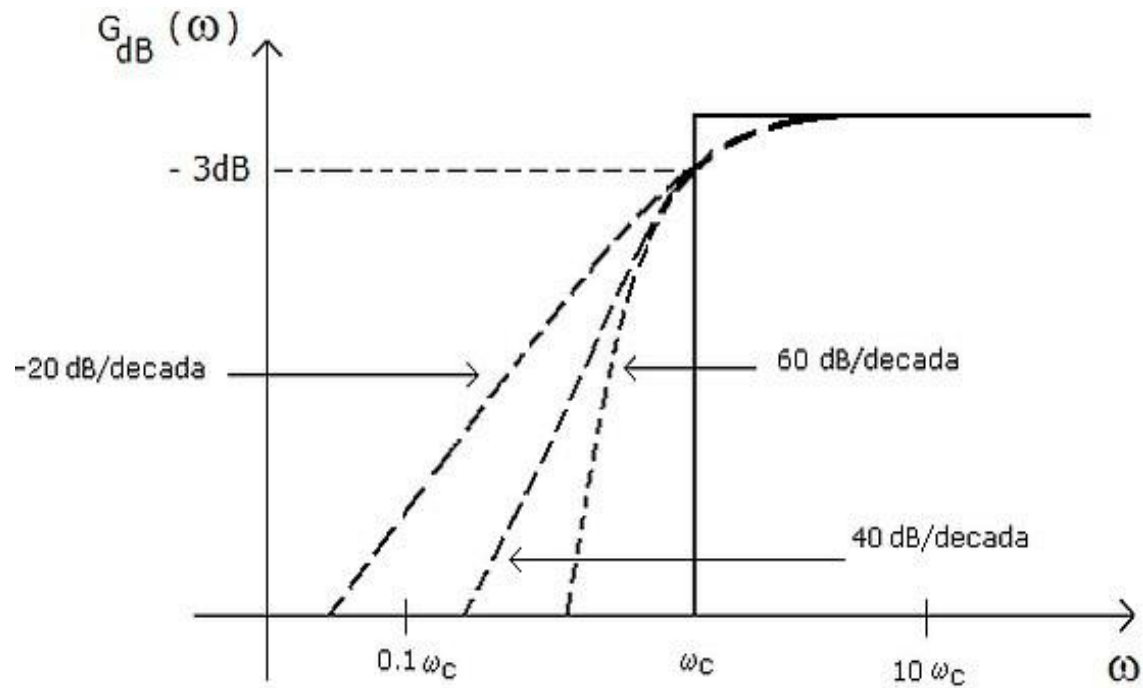
Filtros activos

Filtro Butterworth pasa bajas



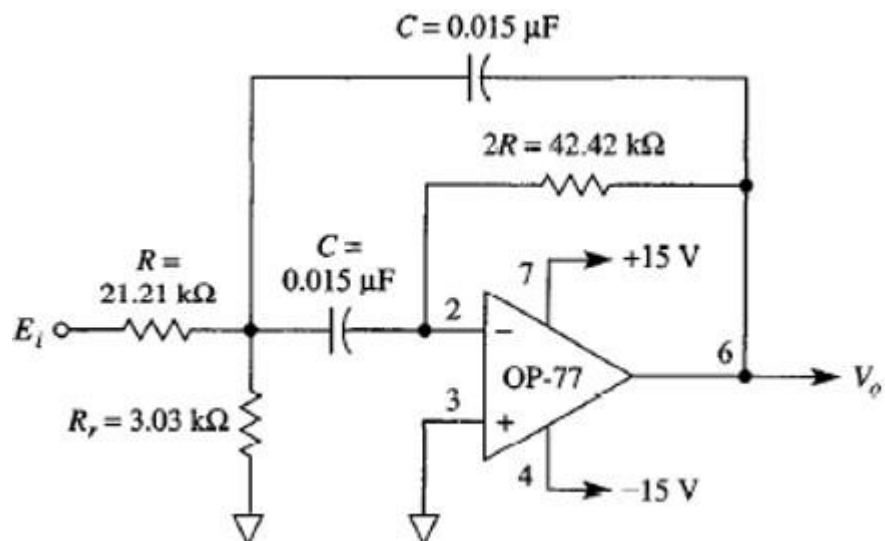
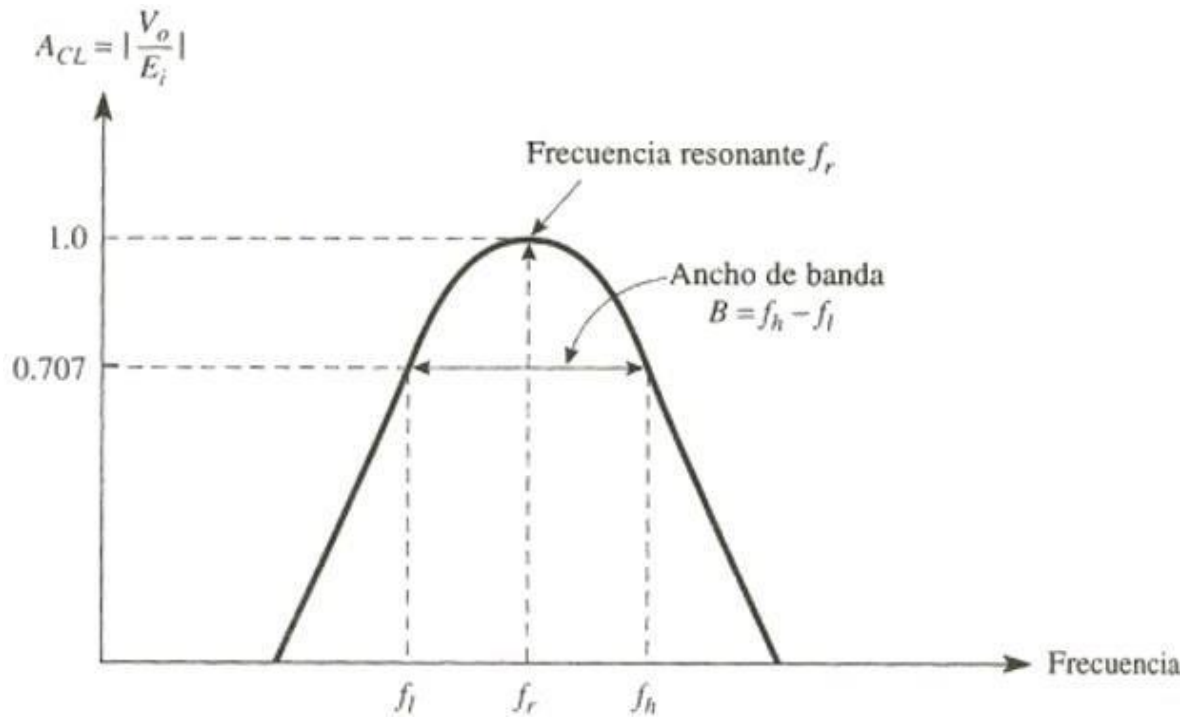
Este tipo de filtro deja pasar todas las frecuencias desde 0 a la frecuencia de corte y bloquea las frecuencias que están sobre esta. A Las frecuencias que se ubican entre 0 hasta la frecuencia de corte se le denomina banda pasante mientras las frecuencias que están encima de la frecuencia de corte se le denomina banda eliminada. Las zonas entre la banda pasante y la banda eliminada se le llaman banda de transición.

Filtro Butterworth pasa altas



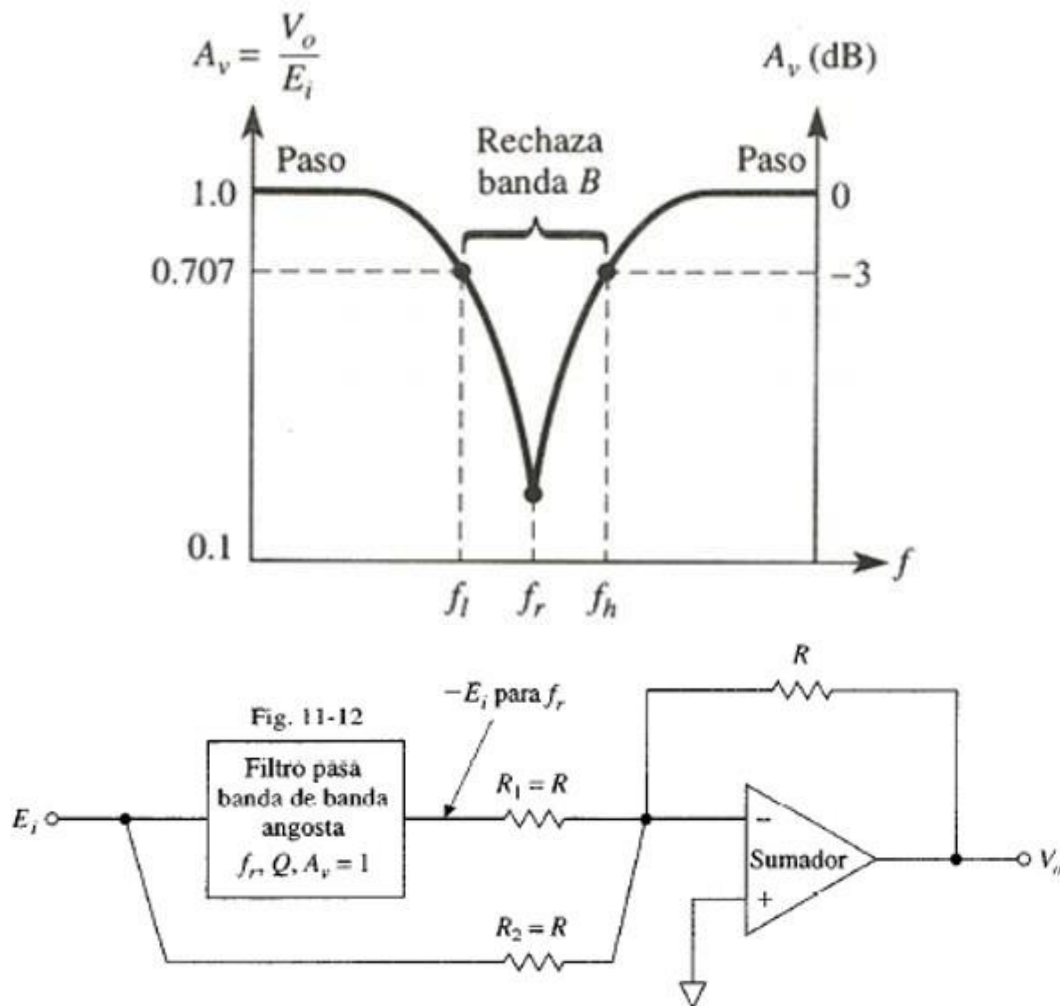
Un filtro pasa altos activo como su nombre lo dice solo permite el paso de frecuencias altas y atenúa las frecuencias bajas. Está compuesto por cinco elementos un condensador, tres resistencias, y un amplificador operacional (opamp).

Filtro pasa banda



Los filtros pasan banda solo dejan pasar una banda de frecuencias mientras atenúan las demás frecuencias que están fuera de la banda. Los filtros de eliminación de banda funcionan justamente de la forma contraria; es decir, los filtros de eliminación de banda rechazan determinada banda de frecuencias, en tanto que pasan todas las frecuencias que no pertenecen a la banda.

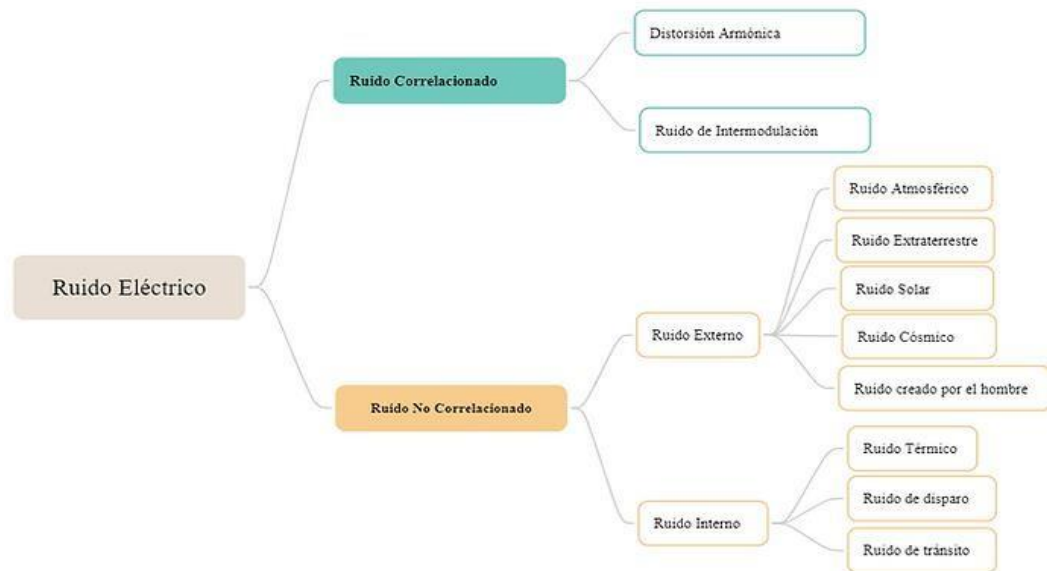
Filtro de muesca



El nombre de filtros de rechazo de banda o de muesca se debe a la forma característica: curva de respuesta a la frecuencia, la cual se muestra en la figura. Las frecuencias deseadas se atenúan en la banda de rechazo, B. Las frecuencias deseadas sí se transmiten y son las que se encuentran dentro de las bandas que están a ambos lados de la muesca. Por lo general la ganancia de la banda de paso de los filtros de muesca es de 1 o 0 dB. Las ecuaciones correspondientes a Q, B, f_l , f_h y f_r son idénticas a las del filtro pasa bandas correspondientes

1.15 Análisis de Ruido

Es aquel componente de tensión o intensidad indeseada que se superpone con la componente de señal que se procesa o que interfiere con el proceso de medida. El ruido se divide principalmente en ruido correlacionado y ruido no correlacionado.

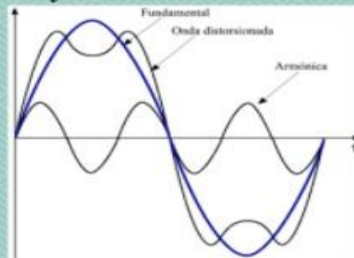


Ruido Correlacionado y No Correlacionado

Ruido Correlacionado: Tiene una relación directa con la señal. Es producido principalmente por amplificadores no lineales e incluye armónicos y distorsión de intermodulación, que son dos formas de distorsión no lineal. Puede ser por distorsión armónica o por distorsión de intermodulación.

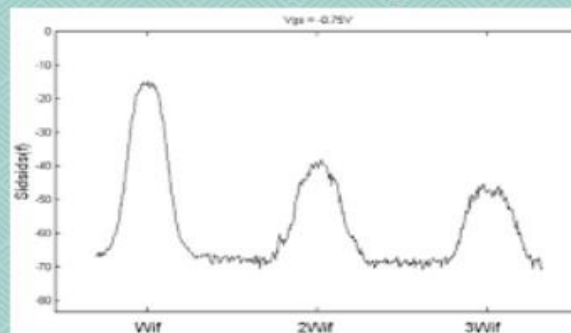
Distorsión armónica

Es la producción de armónicos de una señal originados por una mezcla no lineal. Los armónicos son múltiplos enteros de la señal original de entrada. La señal original es la primera armónica y se conoce como la frecuencia fundamental.



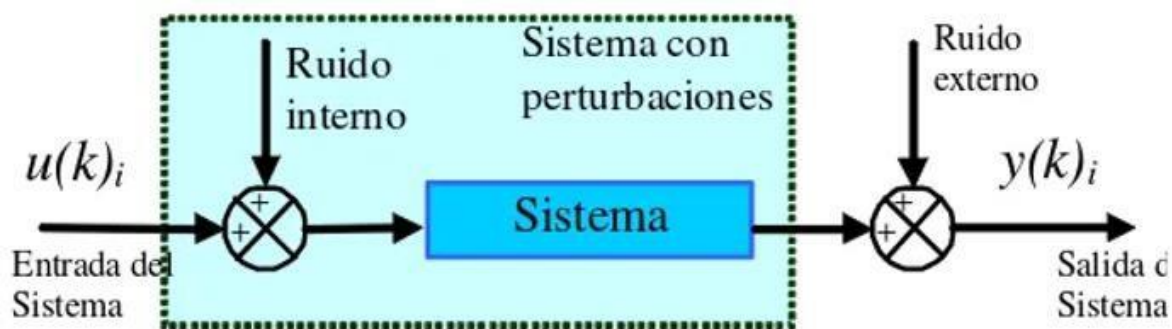
Distorsión de intermodulación

Es la generación indeseable de productos cruzados, que son la suma o resta de frecuencias. Estos productos cruzados se generan por la mezcla no lineal de dos o más señales.



Ruido No Correlacionado: Este tipo de ruido está presente sin importar si hay una señal presente o no. Se produce en los medios de transmisión, circuitos, amplificadores, entre otros.

Ruido externo
Es generado fuera de un sistema de comunicación y se introduce en él. Es considerado ruido externo, sólo si sus frecuencias caen dentro de la banda útil del sistema de comunicación.
Ruido interno
Es la interferencia eléctrica generada dentro de un dispositivo. Todo equipo electrónico genera ruido. Tanto los componentes pasivos (resistores y cables) como los dispositivos activos (diodos, transistores) y pueden ser fuentes de ruido.



1.16 Relación de potencia de señal a ruido

Se define como relación señal a ruido, S/N o SNR al cociente de la potencia de la señal entre la potencia de ruido en un punto dado de un sistema, es decir:

$$S/N = \frac{\text{Potencia de señal}}{\text{Potencia de ruido}}$$

O expresado en dB.

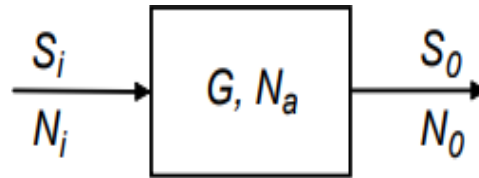
$$(S/N)_{dB} = 10 \log_{10}(S/N)$$

La relación S/N proporciona una medida de la calidad de una señal en un sistema determinado y depende, tanto del nivel de señal recibida como del ruido total, es decir, la suma del ruido procedente de fuentes externas y el ruido inherente al sistema.

En el diseño de sistemas, se desea que la relación señal a ruido tenga un valor tan elevado como sea posible. Sin embargo, el significado de “tan elevado como sea posible”, debe entenderse en el contexto de cada aplicación particular, ya que, por lo general, el obtener altos valores de S/N conlleva un aumento, a veces considerable, en el costo de implementación del sistema. Un valor adecuado de esta relación es aquél en el que la señal recibida puede considerarse sin defectos o con un mínimo de ellos. Por ejemplo, en el caso de transmisión de voz, se desea que la señal recibida sea una reproducción fiel de la transmitida, pero puede tolerarse un cierto nivel de ruido y distorsión que depende de aspectos subjetivos relacionados con la percepción auditiva humana. Lo mismo ocurre en el caso de transmisión de imágenes. En los sistemas digitales de comunicaciones suele utilizarse el concepto de tasa de errores (BER), equivalente, en cierta medida a la relación señal a ruido, más empleado en los sistemas analógicos.

1.17 Factor de ruido y cifra de ruido

Supóngase un amplificador de ganancia G_a , que genera una potencia de ruido interno N_a como se indica en la figura.



donde:

S_i = potencia de la señal de entrada. N_i = potencia de ruido a la entrada. S_o = potencia de la señal de salida. N_o = potencia de ruido a la salida.

N_a = ruido generado por el propio amplificador. G = ganancia del amplificador.

Se define el factor de ruido como la relación entre la relación señal a ruido a la entrada y la relación señal a ruido a la salida:

$$F = \frac{\frac{S_i}{N_i}}{\frac{S_o}{N_o}} = \frac{N_o}{kTBG}$$

donde,

$$S_o = GS_i$$

y, además,

$$N_0 = GN_i + N_a$$

Substituyendo (8.11) y (8.12) en (8.10):

$$F = \frac{GN_i + N_a}{GN_i} = 1 + \frac{N_a}{GN_i}$$

Si el ruido de entrada, N_i es únicamente ruido térmico,

$$N_i = kTB$$

De la ecuación (8.14) se puede obtener la potencia de ruido generada por ma:

$$N_a = (F - 1)kTB$$

Ahora bien, de lo anterior se ve que:

$$F = \frac{N_0}{GN_i}$$

es decir:

$$FN_i = \frac{N_0}{G}$$

y, substituyendo (17):

$$FN_i = kTBF$$

FN_i es la potencia total de ruido, debida al ruido externo y al del propio amplificador, referida a la entrada (N_0 / G). Representa también el umbral de ruido a la entrada al que se designa también como señal mínima discernible (SMD). Cuando el nivel de potencia de la señal de entrada es igual a la señal mínima discernible, $kTBF$, la relación S/N es igual a 1. Esta es la condición ideal en que el amplificador no genera ningún ruido adicional.

El factor de ruido suele expresarse en dB, en cuyo caso suele designarse como cifra o figura de ruido⁸ (NF), dada por:

$$NF = 10 \log F$$

1.18 Temperatura equivalente de Ruido

En la mayor parte de los circuitos convencionales, el concepto del factor o de la figura de ruido es adecuado para describir su comportamiento. Sin embargo, con el desarrollo de amplificadores

y circuitos de bajo ruido, en que el factor de ruido es ligeramente mayor que 1, es más conveniente utilizar el concepto de temperatura de ruido. Esta se define como la temperatura T_r de una resistencia ficticia a la entrada del circuito ideal, libre de ruido, que generaría la misma potencia de ruido que el circuito real, conectado a una carga libre de ruido. Si se toma la temperatura de referencia como $T_0 = 290 \text{ K}$ (17°C) y se asume que el ruido a la entrada es únicamente ruido térmico a esa temperatura, entonces:

$$N_i = kT_0B$$

Y la ecuación (8.15) puede ahora escribirse como:

$$N_a = (F - 1)kT_0B$$

Que puede expresarse de la manera siguiente:

$$N_a = kT_aB$$

Donde:

$$T_a = (F - 1)T_0$$

T_a representa la temperatura ficticia de una fuente de ruido térmico, constituida en este caso, por el amplificador. Es decir, se puede considerar al amplificador como una fuente de ruido térmico a una temperatura equivalente o efectiva de ruido igual a T_a .

si $T_0 = 290 \text{ K}$:

$$F = 1 + \frac{T_a}{T_0} = 1 + \frac{T_a}{290}$$

En la mayoría de los sistemas de comunicaciones, la temperatura de ruido en las terminales de entrada puede ser diferente de la temperatura de ruido del sistema, T_a . Si se designa por T_i la temperatura de ruido en las terminales de entrada, y, si N_a es el ruido interno generado por el sistema, el ruido a la salida es:

$$\begin{aligned} N_0 &= kT_iBG + N_a \\ &= kT_iBG + kT_aBG \\ &= kBG(T_i + T_a) \\ &= kBG[T_i + (F - 1)T_0] \end{aligned}$$

Que se reduce a $N_0 = kT_iBGF$ cuando $T_i = T_0$ y, de acuerdo con lo anterior, la potencia total de ruido a la salida del sistema puede relacionarse con una temperatura equivalente de ruido:

$$T_e = T_i + T_r$$

En que T_i caracteriza a la potencia de ruido generada fuera del sistema y presente en las terminales de entrada de éste y T_r es la temperatura equivalente de ruido del sistema, referida a las terminales de entrada, que representa a la potencia de ruido generada por el propio sistema. De esta forma, las dos fuentes de ruido se combinan en una sola y se describen mediante una temperatura equivalente de ruido. Esta temperatura equivalente de ruido se puede emplear como un estándar de comparación entre dos o más sistemas, ya que combina a las dos fuentes de ruido. Así, dos sistemas pueden tener la misma temperatura de ruido aun cuando los circuitos que utilicen tengan diferentes figuras de ruido.

BIBLIOGRAFIA.

- [1] A. M. Wechsler, Módulos de codificación y modulación OFDM de señales digitales implementados en FPGA, Universidad Nacional de Mar del Plata, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://rinfi.fi.mdp.edu.ar/bitstream/handle/123456789/274/AMWechsler-TFG-IEe-2017.pdf> 1
- [2] Universidad Autónoma de Baja California, Comunicaciones Digitales, UABC, México. [En línea]. Disponible en: <http://ing.ens.uabc.mx/docencia/apuntes/electronica/comunicaciones%20digitales.pdf> 2
- [3] K. Rojas Monsalvo, Radiación Electromagnética, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, 2009. [En línea]. Disponible en: https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/432/digital_17516.pdf
- [4] A. Lacasa, “La importancia del espectro electromagnético en las telecomunicaciones,” Blog de Ingeniería Industrial, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://blogs.udima.es/ingenieria-industrial/la-importancia-del-espectro-electromagnetico-en-las-telecomunicaciones/> 4
- [5] H. V. Caicedo, Introducción del ruido en los sistemas de comunicaciones digitales: detección óptima y probabilidad de error, Academia.edu. [En línea]. Disponible en:

<https://www.academia.edu/28689626> 5

[6] J. L. González Ríos, "Sobre el ruido en los sistemas electrónicos y de comunicaciones," ResearchGate, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/353935047> 6

[7] FMUSER, "FDM versus TDM: Diferencia entre FDM y TDM," FMUSER Broadcast, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://es.fmuser.net/content/?7519.html> 7

[8] Wikipedia, "Multiplexación por división de frecuencia," Wikipedia, [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Multiplexaci%C3%B3n_por_divisi%C3%B3n_de_frecuencia