CONOCIENDO EL RUIDO

1 Ruido.

El ruido será considerado como toda perturbación aleatoria no relacionada con la señal de interés. Esto excluye cualquier fenómeno determinista como es el caso de la distorsión o la intermodulación.

Sin embargo el ruido debe ser analizado para poder disminuirlo o controlarlo. El ruido siempre está presente, es de carácter aditivo y sus efectos pueden ir desde la disminución de la calidad de la información recibida hasta la pérdida total de dicha información.

Las fuentes de ruido se pueden clasificar en dos:

- Fuentes externas: Que incluyen los acoplamientos electromagnéticos que aparecen en las fuentes de luz, señales de radio, radar, etc. Adicionalmente debemos considerar el ruido espacial proveniente de rayos, descargas atmosféricas, ruido solar, ruido cósmico, etc.
  Este ruido puede eliminarse utilizando algún tipo de apantallamiento, filtrado, cambio de localización física de los equipos, etc; incluyendo en el caso del ruido espacial se puede eliminar modulando la señal en frecuencias donde hay menos ruido.
- Fuentes internas: Que se clasifican en dos grandes grupos:
  - Ruido Blanco: Ruido térmico y de disparo
  - Ruido Rosado: Ruido flicker, burst y de avalancha

  Estos tipos de ruido que describiremos mejor más adelante pueden presentar combinados, es decir, podemos encontrar ruido térmico y flicker en un mismo componente.

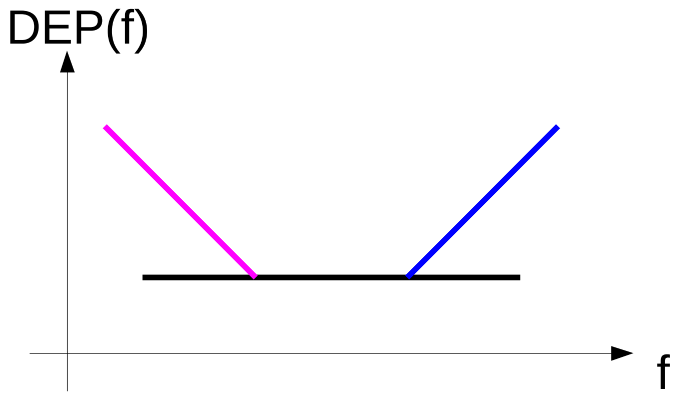
Un caso especial lo constituye el Ruido de Cuantización que es inherente al proceso de conversión A/D, debido a que en este proceso la señal analógica continua se convierte en un número discreto de valores y aparece un error al aproximar la señal de esta forma. Este ruido disminuirá si aumentamos el número de niveles del cuantizador. Este ruido sin embargo, se estudiará en el siguiente curso con mayor detenimiento.

1.1 Tipos de Ruido.

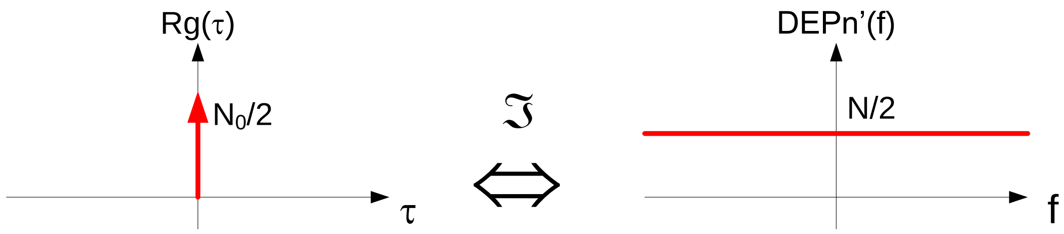
El ruido además puede ser clasificado por su densidad espectral de potencia de la siguiente forma:

- Ruido Blanco: Con densidad espectral de potencia constantes, es decir independiente de la frecuencia.
- Ruido Rosado: Con densidad espectral de potencia inversamente proporcional a la frecuencia
- Ruido Azul: Con densidad espectral de potencia directamente proporcional a la frecuencia

A continuación vemos una representación de la DEP en los 3 casos:



En el caso particular de la DEP del ruido blanco, este planteamiento nos lleva a una conclusión interesante que ya habíamos determinado previamente, basados en la relación que existe entre la DEP de una señal y su Autocorrelación se puede ver en el siguiente gráfico un resultado notable:



Aquí además se aprecia que el cálculo de la potencia para el ruido desde -∞ hasta +∞ es ∞, lo que nos llevará a hacer el cálculo en un intervalo de frecuencias determinado.

Veamos las características de 2 tipos de ruido, el ruido térmico y el flicker:

1.2 Ruido Térmico.

El ruido térmico fue descubierto por Schottky en 1929, y medido por Johnson ese mismo año por lo que esta fuente de ruido también recibe el nombre de ruido Johnson.

El ruido térmico se produce debido a la agitación térmica de los portadores en un material conductor. Esta agitación superpuesta al movimiento de tales portadores en un campo eléctrico produce el ruido térmico.

A partir del movimiento aleatorio de electrones libres en un conductor a una cierta Temperatura T; la Densidad espectral de potencia:

$$S_{térmico}(f) = \frac{4hf}{e^{hf/kT} - 1}$$

Donde:

- k = Constante de Bolzmann (1.38 x 10^{-23} J/K)
- h = Constante de Plank (6.62 x 10^{-34} J.s)

Si consideramos 20° C ó 293 Kelvin y además aproximamos e^x a través de la serie: $e^x = 1 + x + x^2/2! +$ …. Considerando que hf/kT es << 1, entonces la $DEP_n(f)$ se convierte en:

$$S_{térmico}(f) = 4kT = N/2 \quad \text{W/Hz}$$

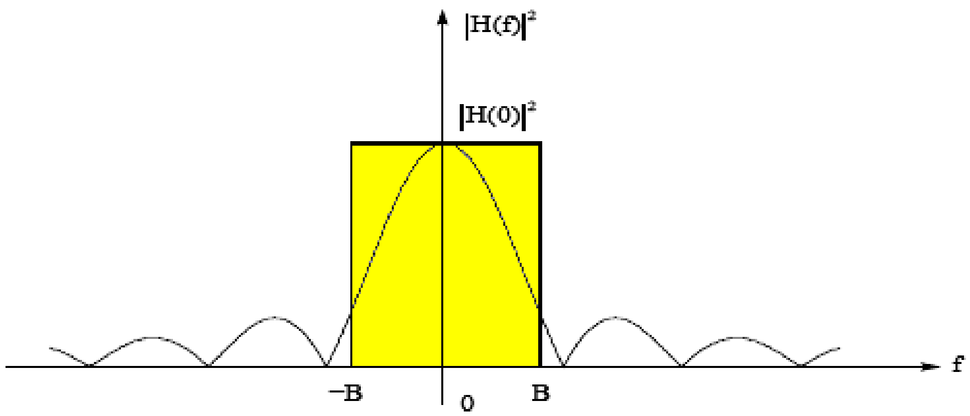
Lo que nos lleva al ruido blanco mencionado anteriormente. Si consideramos además los datos mencionados el valor de frecuencia para que se cumplan las condiciones será:………………………………………… (Le dejo para que lo verifiquen ustedes)

TAREA 2.1 : Revisar las características del ruido de Disparo (Ruido Blanco) y de los ruidos de tipo Flicker, de Avalancha, y burst o de ráfaga (Ruidos Rosados)

1.3 Ancho de banda equivalente de ruido.

En el análisis de los sistemas de comunicación en presencia de ruido vamos a considerar que el ruido a la entrada del demodulador pasa siempre por un filtro que está sintonizado a la frecuencia a la que se transmite una señal y diseñado para permitir el paso de las frecuencias de interés, es decir las que corresponden a la señal modulada.

Puesto que es complicado analizar las características de un filtro en cada ocasión que realicemos la demodulación, vamos a utilizar un modelo de filtro ideal con las mismas características de potencia obtenidas tanto en un filtro real como uno ideal. Para esto recordemos el acápite 2.5 donde $DEP_r(f) = DEP_f(f) \cdot |H(f)|^2$. En base a este análisis definiremos un ancho de banda en el cual se cumplan las características mencionadas.(Ver figura siguiente)



Como se aprecia, se buscará el ancho de banda que permita mantener la potencia resultante igual en ambos casos. Entonces:

$$\text{Potencia ruido después filtro real} = \text{Potencia ruido después filtro ideal}$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} DEP_n(f)\cdot\left|H(f)\right|^2 df = \int_{-B}^{+B} DEP_n(f)\cdot\left|H(0)\right|^2 df$$

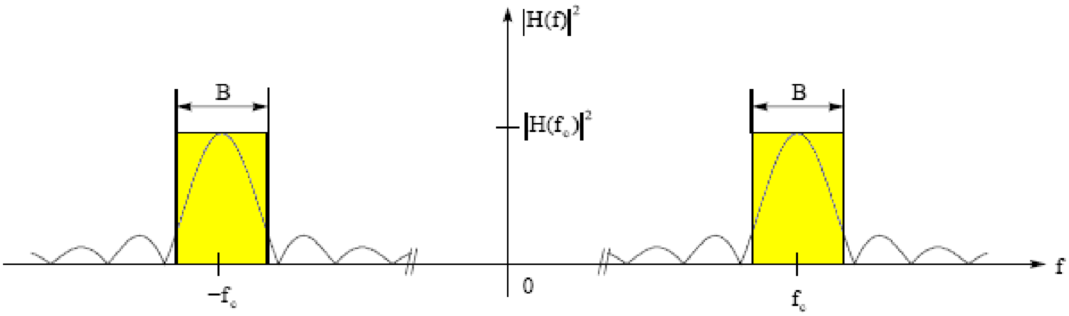
$$\cancel{\frac{N}{2}}\int_{-\infty}^{+\infty}\left|H(f)\right|^2 df = \cancel{\frac{N}{2}}\int_{-B}^{+B}\left|H(0)\right|^2 df$$

$$\cancel{2}\int_{0}^{+\infty}\left|H(f)\right|^2 df = \cancel{2}B\left|H(0)\right|^2$$

A partir de este cálculo obtenemos un valor para el ancho de banda equivalente para el ruido en un filtro pasa bajos:

$$B = \frac{\int_{0}^{+\infty}\left|H(f)\right|^2 df}{\left|H(0)\right|^2}$$

Puesto que este cálculo ha sido planteado como se aprecia para un ruido que denominaremos de ***banda base*** vamos a plantear la misma expresión para el ***ruido pasa banda*** (Ver figura siguiente):



Lo que nos lleva a la fórmula:

$$B = \frac{\int_{0}^{+\infty}\left|H(f)\right|^2 df}{\left|H(fc)\right|^2}$$

Sin la consideración de que el ruido a la entrada del demodulador es afectado por un filtro, ¿Cuál hubiese sido el valor de la potencia del ruido en este caso?

1.4 Modelo del ruido pasabanda (de banda estrecha).

Ahora que hemos definido como se verá el ruido a la entrada del demodulador, definamos el modelo final del ruido como función del tiempo, puesto que ya sabemos que en el dominio de la frecuencia podríamos mencionar que es un ruido pasabanda con DEP= N/2.

El ruido con el que vamos a trabajar se denominará n(t) y estará formado por 2 componentes:

$$n(t) = \underbrace{n_c(t)\cdot\cos(2\pi f_c t)}_{\text{Componente de fase}} + \underbrace{n_s(t)\cdot\sin(2\pi f_c t)}_{\text{Componente de Cuadratura}}$$

Estas componentes muestran que el ruido afectará tanto en el plano real como también en el plano imaginario.

Propiedades:

Vamos a indicar tres características de este modelo de ruido que en esta ocasión no vamos a demostrar:

- **Valor promedio:**

Tal como ocurre con nuestra información vamos a considerar que el ruido pasa banda (o de banda estrecha) tiene un valor medio cero y que además sus componentes de fase y cuadratura también.

Es decir:

$$\overline{n(t)} = \overline{n_c(t)} = \overline{n_s(t)}$$

- **Potencia y DEP:**

En este caso la densidad espectral de potencia de las componentes de fase y cuadratura del ruido pasa banda serán consideradas iguales y por lo tanto, verificaremos:

$$Pn = N = \overline{n(t)}^2 = \overline{n_c(t)\cdot\cos(2\pi f_c t) + n_s(t)\cdot\sin(2\pi f_c t)}^2$$

$$= \frac{\overline{n_c(t)}^2}{2} + \frac{\overline{n_s(t)}^2}{2}$$

Pero basándonos en que el ancho de banda de estas señales esta limitado y además la DEP es la misma, entonces:

$$\overline{n(t)}^2 = \frac{\overline{n_c(t)}^2}{2} + \frac{\overline{n_s(t)}^2}{2}$$

$$= \frac{\overline{n_c(t)}^2}{2} + \frac{\overline{n_c(t)}^2}{2} = \frac{\overline{n_s(t)}^2}{2} + \frac{\overline{n_s(t)}^2}{2}$$

$$\overline{n(t)}^2 = \overline{n_c(t)}^2 = \overline{n_s(t)}^2$$

Este resultado nos ayudará enormemente en las siguientes partes del capítulo.