

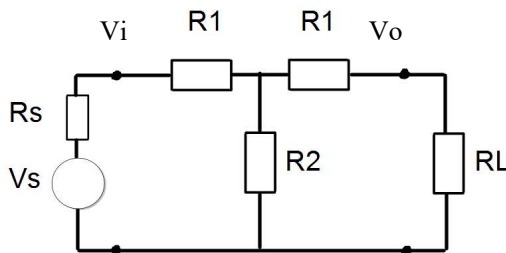
SEÑALES ELÉCTRICAS

Trabajo Práctico n 7 Temas: 3, 4 y 5

Lunes 05/06/2023

OBJETIVOS: poder calcular cantidades mínimas de ruido presentes en un circuito, empleando los distintos modelos empleados para caracterizar los componentes. Afianzar la comprensión de los modelos y fenómenos asociados al muestreo y cuantización de señales. Estudiar las características de los distintos métodos de modulación.

- 1) En el esquema siguiente se representa una fuente de señal (teniendo una temperatura equivalente de ruido de 500°K , conectada a una carga (R_L) a través de un atenuador resistivo.
- a) ¿Cuánto es la atenuación (en dB) del atenuador?
Indique la figura de ruido del atenuador y la densidad de potencia de ruido sobre la carga (en W/Hz), para los casos "b" y "c".
- b) El atenuador está refrigerado a una temperatura cercana a 0°K .
- c) El atenuador se encuentra a una temperatura de 290°K .
- d) ¿Cómo calcularía F si el atenuador estuviese a otra temperatura?



$$R_s = R_L = 75\Omega$$

$$R_1 = 25\Omega, \\ R_2 = 100\Omega$$

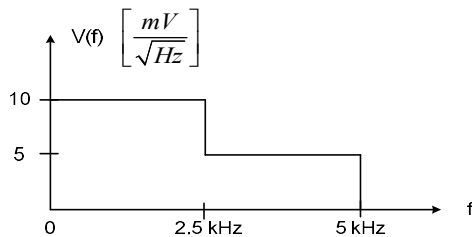
Notar que las impedancias de entrada y salida están correctamente adaptadas.

- 2) Considere un amplificador no inversor construido con un OPA TL082, una $R_1 = 10\text{k}\Omega$ y $R_2 = 15\text{k}\Omega$. (Ganancia aprox. = 16.). La $Z_{in} = 1\text{k}$ y la $Z_{carga} = 100\Omega$. La señal es de 0.3V_{pp} con un $\text{SNR} = 40\text{dB}$, con un ancho de banda entre 100Hz y 10kHz .
- a) ¿Cuál es el nivel eficaz de la señal propiamente dicha y del ruido presente que se quiere amplificar? (Note que tales valores no guardan una relación unívoca con los valores de pico a pico de una señal).
- b) ¿Cuál sería la temperatura equivalente de ruido contenida en la señal de entrada, y la temperatura de ruido equivalente de amplificador?
- c) ¿Qué cantidad de ruido será agregado por el amplificador sobre la señal de salida?
- d) Si tratase de calcular la ganancia de potencia en dB... notará que no resulta igual a $20 \cdot \log(16)$. ¿Por qué?
- e) ¿Cuál será la figura de ruido obtenida?
- f) ¿Si la señal de entrada se redujese a la mitad... cambiará la NF? ¿Y si se reduce el ruido de la señal de entrada? ¿Y si se achican ambos?

3) Si bien la cantidad de ruido introducida por un dispositivo depende de la banda de frecuencias de trabajo, los parámetros puntuales (V_n , I_n , NF) que suelen mostrarse en las hojas de datos de los dispositivos activos sirven como guía para la clasificación de éstos últimos.

Considerando los siguientes OPA: TL082, NE5532, OPA2134, LM358 y OPA177. Conjeture cuál será el ordenamiento de los mismos desde el menos ruidoso al más ruidoso. ¿Qué piensa de las especificaciones de ruido del LM358?

4) Suponga que la hoja de datos de un dispositivo activo tiene un espectro de densidad de tensión eficaz en su salida como el mostrado en la figura siguiente:



¿Cuál será la tensión eficaz que medirá un voltímetro de valor eficaz verdadero conectado a la salida en los siguientes casos?:

- El ancho de banda del voltímetro es de 2.5 kHz.
- El ancho de banda del voltímetro es de 10 kHz.

5) ALIASING

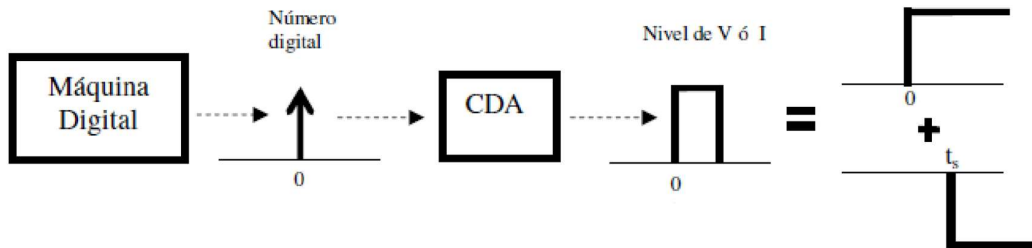
- Suponga que se tiene una señal senoidal de 5Hz, alrededor de 200 ciclos; dibuje 3 ciclos en su computadora.
- Suponga que esa señal se muestrea a una frecuencia de 7,3Hz. Dibuje los puntos muestreados superpuestos al gráfico de la señal original.
- Usando la DFT dibuje los espectros de la señal original y de la señal submuestreada, empleando los puntos de muestra que se poseen. Notando el efecto de aliasing. ¿Cuál es la frecuencia de la señal "alias"?
- Use el Python para graficar sobre la señal original la señal de "alias".

6) Un determinado sistema toma muestras de una señal senoidal, cuya frecuencia es de 3kHz, cada 0,5mseg.

- ¿Que componentes de frecuencia esperaría usted que estén presentes entre $\pm 2,2$ kHz del espectro de la señal muestreada? Confirme aplicando la convolución de los espectros.
- ¿Cuál será la frecuencia fundamental de la señal a la salida de un conversor digital analógico?
- Luego, se pretende recuperar la señal a partir de las muestras tomadas a pesar de que la señal está submuestreada. ¿Cómo sería posible?
- Repita para una señal cosenoidal.

7) Un conversor digital-analógico (del tipo más empleado) toma como entrada un número digital y lo convierte en un pulso rectangular de tensión (o corriente), que es mantenido durante un período de muestreo.

El número digital de entrada al conversor puede modelarse como un impulso de Dirac; la señal de salida puede considerarse como un escalón (de amplitud dada por el número digital), sumado a un escalón negativo retardado, según se esquematiza en la figura siguiente:



- a) Realice un diagrama de bloques de la operación del CDA que tenga en cuenta la sumatoria y el retardo indicado en la figura.
- b) ¿Cuál es la función de transferencia correspondiente para tal CDA?
- c) ¿Cuál es la respuesta en frecuencia del CDA? (Módulo y ángulo)
- d) ¿Cuáles son el ancho de banda de 3dB y el ancho de banda equivalente de ruido?

8) Programando en Python, simule una señal analógica con toda la resolución entregada por el software de su computadora. (Puede ser, por ej., una señal senoidal).

- a) A partir de la señal ideal, encuentre la correspondiente señal muestreada con una resolución finita; por ejemplo 5 o 6 bits. (Use una frecuencia de muestreo lo suficientemente elevada, para evitar aliasing).
- b) Grafique los errores de cuantización correspondientes, y muestre una aproximación de la distribución estadística de los mismos (histograma).
- c) Calcule numéricamente el valor eficaz del ruido para cada resolución usada y compárelo con el valor teórico esperado de $\Delta V/\sqrt{12}$.

9) Se tiene una señal analógica $x(t)$ con valores comprendidos dentro del rango $\pm 3V$, y con una relación señal ruido de 40dB. Si la señal es digitalizada con un CAD de 8 bits, se envía la señal PCM por un canal con muy poco ruido y de ancho de banda suficiente, hasta un receptor alejado

- a) ¿Cuál será la relación señal ruido de la señal recuperada en el receptor?
- b) Para mejorar la SNR de la señal en el receptor, se podría incrementar el número de bits empleado para cada muestra. ¿Cuántos bits usaría?

10) Averigüe cómo son las codificaciones de línea usadas para los estándares USB, Hdmi, Ethernet, y Rs232. Clasifíquelas como unipolar, polar o bipolar; y RZ o NRZ, según la definición dada en el libro de Carlson y Crilly. [3]

11) Distorsión introducida por un ADC

Los conversores AD pueden introducir distorsión en la señal discretizada, debido a no linealidades, ruido e inestabilidades.

- a) Para una señal senoidal de 19Hz de amplitud cercana a la V_{\max} de un CAD, verifique la cantidad efectiva de bits, mediante el cálculo de las potencias a partir del espectro conseguido por la FFT de las muestras cuantizadas.

$$n = \frac{snr[dB] - 1,76}{6,02}$$

(Sugerencia: para evitar el fenómeno de leaking en el espectro, use fsamp=500, tomando como muestra 22 ciclos de la señal senoidal)

- b) Simule una situación con distorsión agregando ruido y distorsión de 2° y 3° orden; por ejemplo, $V_{n_ef}=0.04V_{\max}$, y la transferencia estática ideal del convertidor:

$$Y=X+0,05.X^2 -0,1.X^3$$

(Esto es totalmente artificial, sólo a los fines del análisis cualitativo del problema)

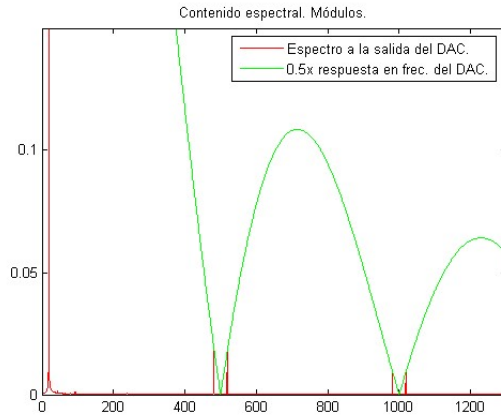
- c) Use la FFT y los linealimientos dados en la referencia [5] para hacer una estimación de la distorsión armónica total (THD), a partir de las amplitudes de las armónicas.
- d) Encuentre el nivel de ruido más distorsión armónica (SINAD) a partir de la diferencia entre la potencia total y la potencia de la fundamental. Calcule el número efectivo de bits (ENOB) del convertidor. (El nivel de CD entra al cálculo como ruido).

$$ENOB = \frac{SINAD[dB] - 1,76}{6,02}$$

12) Distorsión introducida por un DAC

Se ha digitalizado una señal senoidal de 19Hz con una velocidad de muestreo de 500Hz y 7 bits.

- a) Bosqueje el espectro teórico de la señal muestreada. (Infinito y periódico)
- b) Se procede a convertir en analógica la señal discretizada, empleando un DAC. Dibuje (con soft) la señal original y la convertida en analógica.
- c) Usando una frecuencia de muestreo de 15kHz sobre la señal analógica a la salida del DAC, emplee la FFT para aproximar su espectro de frecuencias. (Considere alrededor de 20 ciclos de la señal de salida)
- d) ¿Cuál es la frecuencia fundamental de la señal de salida?
- e) Observe las componentes del espectro de salida que aparecen cerca de los múltiplos de la frecuencia de 500Hz. ¿A qué se deben esas componentes?
- f) Superponga en el espectro de salida la respuesta en frecuencia (de amplitud) del DAC. De ser necesario, corrija la explicación dada a la pregunta anterior. (Nota: la respuesta en frecuencia del DAC, debe escalarse por 0,5).



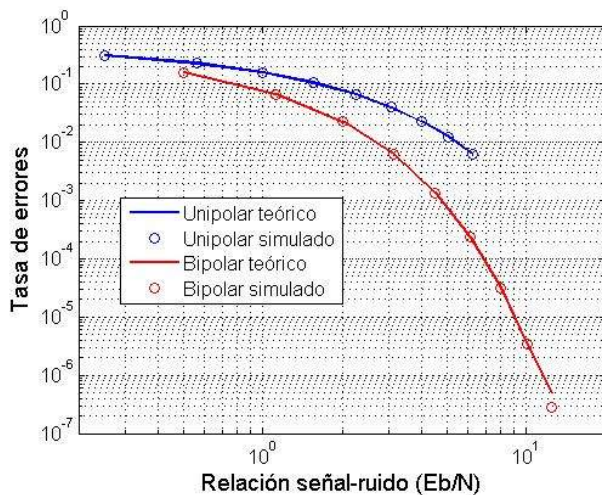
13) Tasa de errores de bit

Cuando una señal discreta es modificada por ruido, ocurren en el extremo receptor fallas en la identificación de los bits. En este ejercicio se trata de comprobar la relación entre la tasa de errores de bit y el ruido superpuesto con la señal digital. Para esto, siga los siguientes pasos:

- i. Generar una secuencia aleatoria de (entre dos y tres millones de) bits, simulando representar un mensaje. Use una codificación de línea unipolar y adicione ruido gaussiano de amplitud conocida.
- ii. De la señal obtenida, recupere los bits de la manera en que lo haría un receptor al que llegase la señal.
- iii. Calcule la tasa de errores de bits (Bit Error Rate: BER) realizando el cociente entre la cantidad de bits que el receptor interpreta invertidos y la cantidad total de bits del mensaje.

a) Repita el proceso para distintos valores de ruido a fin de comparar con la curva de tasas de errores teóricas. (Es decir: BER vs. E_b/N_0).

b) Repetir el experimento para codificación de línea polar.



14) Observe los videos [6-8]. Comente las similitudes y diferencias entre los fenómenos de aliasing y rolling shutter.

15) Una señal aleatoria con función de densidad de probabilidad constante entre +10 y -10 volt y limitada en ancho de banda a 12kHz debe codificarse para ser transmitida por un sistema PCM (supóngalo de cuantificación uniforme). Determinar:

- a) La mínima frecuencia de muestreo
- b) El número de bits necesarios para codificar en forma binaria cada muestra, si se busca que la relación entre la potencia media de señal y la potencia media de ruido de cuantificación sea mejor que 30 dB y...
- c) La mínima velocidad de transmisión en bauds.

16) ¿Cuál sería el ancho de banda mínimo teórico para transmitir, sin pérdida de información, una señal digital de R_b (bps) utilizando...

- a) un sistema 2PSK y
- b) un sistema 32QAM?

17) Los datos de una señal digital binaria en banda de base, salen de una terminal digital a una velocidad de 6Mbps y son la entrada a un sistema modulador 16PSK.

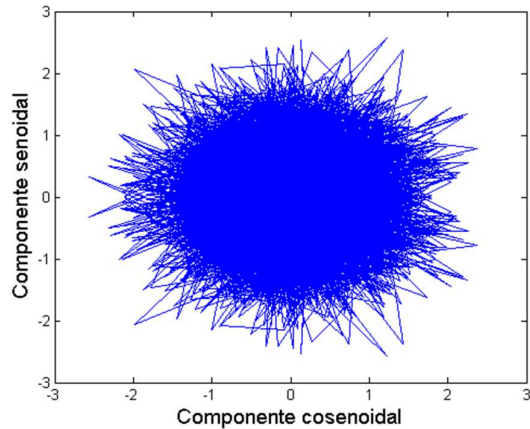
¿Qué ancho de banda recomendaría como necesario para transmitir la señal modulada?

18) Una fuente de información produce un mensaje digital binario de 4096 kbps, como para su transmisión se dispone de un canal de 150kHz de ancho de banda, se decide transformarlo en una señal digital de niveles múltiples. Determine el número de niveles necesario y la cantidad de bits que deberán agruparse en cada símbolo de la señal a transmitir. ¿Cuál sería el sistema de modulación más ventajoso para la transmisión? Justifique su elección.

19) Ruido, componentes en cuadratura.

Cualquier señal real, puede separarse en sus componentes senoidales y en las cosenoidales. Esto es aplicable aún para señales de ruido estocástico. Para mostrar esto, siga los siguientes pasos.

- a) Genere una señal con distribución gaussiana de valor eficaz igual a 1. (P.ej. 10000 muestras).
- b) Usando la DFT separe las partes real e imaginaria del espectro.
- c) Mediante la DFT inversa aplicada a la parte real e imaginaria del espectro, recupere las partes cosenoidal y la senoidal de la señal temporal. En el tiempo a una señal se la puede separar en sus componentes senoidal y cosenoidal.
- d) Grafique las señales en el tiempo. Confirme que la señal de ruido original es igual a la suma de las otras dos.
- e) Grafique parte senoidal vs parte cosenoidal.
- f) Calcule el valor eficaz de cada parte, y su relación con el valor eficaz de la señal compuesta. ¿Cuál sería la relación teórica que esperaría obtener?
- g) Confirme numéricamente la ortogonalidad de las 2 partes.



20). Averigüe qué bandas de frecuencia y tipo de modulación se usan en televisión digital en nuestro país [9 y 10].

RECOMENDACIONES BIBLIOGRÁFICAS:

- [1]. *"Noise figure measurements theory and application"*, National Instruments.
- [2]. *"Understanding Op Amp Noise in Audio Circuits"*, Noyes & Alani.
(Application report SBOA345, Texas Instruments)
- [3]. Cap. 11 *"Sistemas de comunicación"*, 5ª Ed., Carlson-Crilly.
- [4]. Datasheets de los OPA mencionados.
- [5] Páginas 18-23 de *"The ABC of ADCs"*, N. Gray:
<https://fddocuments.in/document/abcs-of-adcs.html>
- [6] *"Muestreo y Aliasing"*, pdsunal:
<https://www.youtube.com/watch?v=Sv5TyYzuLHc>
- [7] *"Why Do Cameras Do This? | Rolling Shutter Explained"*, Smarter Every Day:
<https://www.youtube.com/watch?v=dNVtMmLInoE>
(activar subtítulos)
- [8] *"Aliasing effect due to undersampling"*, F. Guerrero:
<https://www.youtube.com/watch?v=ByTsISFXUoY>
- [9] Televisión digital terrestre en Argentina:
https://es.wikipedia.org/wiki/Televisi%C3%B3n_digital_terrestre_en_Argentina#Especificaciones_t%C3%A9cnicas
- [10] SBTVD:
https://es.wikipedia.org/wiki/SBTVD#Caracter%C3%ADsticas_T%C3%A9cnicas