

Trabajo Práctico N°1 – Resultados y Conceptos Clave

Ejercicio 1 – Monitor cardíaco ambulatorio

Resultados numéricos

b) Potencia de ruido térmico (100 Hz, 310 K): $\approx 4,28 \times 10^{-19} \text{ W} \approx -153,7 \text{ dBm}$

c) Tensión de ruido térmico sobre 1 k Ω : $\approx 41,4 \text{ nV}$, unas 24.000 veces menor que el ECG (1 mV) $\Rightarrow$ el ruido térmico NO es el factor limitante.

Hilo de razonamiento para las partes no numéricas

a) Diagrama: fuente (paciente/electrodos) $\rightarrow$ acondicionador/amplificador $\rightarrow$ filtro $\rightarrow$ ADC $\rightarrow$ transmisor RF $\rightarrow$ canal aire $\rightarrow$ receptor RF (estación base) $\rightarrow$ DAC $\rightarrow$ registrador/pantalla (destino). Un sistema de comunicaciones es esa cadena fuente–transmisor–medio–receptor–destino que transporta información; acá se cumple completa.

c) Si el térmico es despreciable, dominan: red 220V/50Hz (acoplamiento capacitivo/inductivo, cae dentro de la banda útil), EMI de luminarias fluorescentes y motores (bomba de infusión, cama eléctrica, transitorios de conmutación), y artefactos de movimiento del electrodo. Son interferencias determinísticas/acopladas, de amplitud mucho mayor que el ruido térmico (aleatorio).

d) No hay una única respuesta: se justifica por resolución ($\geq 12\text{--}16$ bit; en biopotenciales suele usarse 24 bit sigma-delta), frecuencia de muestreo bien por encima de 100 Hz (margen para *antialiasing*, según Nyquist $2 \cdot 100 \text{ Hz} = 200 \text{ Hz}$, en la práctica hasta $10 \cdot 100 \text{ Hz} = 1 \text{ kHz}$), bajo consumo, canales según derivaciones, citando hoja de datos (ej. familia ADS1298 de TI para biopotenciales).

e) El UAF42 es un filtro activo universal (bloque de 2° orden configurable como pasa-bajos/pasa-altos/pasa-banda/rechaza-banda). Función: *antialiasing* (y/o rechazo de 50 Hz) antes del ADC. Si se omite: las componentes de alta frecuencia (EMI, RF) se pliegan (*aliasing*) dentro de la banda útil al muestrear, corrompiendo la señal de forma irreversible.

Ejercicio 2 – Distorsión armónica en amplificador

Resultados numéricos

a) Frecuencia 2° armónico: 20 kHz - Frecuencia 3° armónico: 30 kHz

b) Distorsión de 2° orden: 1% - Distorsión de 3° orden: 3%

c) THD: $\approx 3,16\%$ $\rightarrow$ NO cumple el pliego (exige $\leq 2\%$): lote se rechaza

d) Dentro de banda (0–25 kHz): fundamental (10 kHz) y 2° armónico (20 kHz). Fuera de banda: 3° armónico (30 kHz)

Hilo de razonamiento

a) Los armónicos aparecen porque el amplificador tiene una transferencia no lineal: una senoidal pura atravesando un sistema no lineal genera componentes en múltiplos de la frecuencia de entrada, aunque a la entrada haya un único tono.

d) La componente fuera de banda (30 kHz) constituye una emisión espuria que puede interferir a sistemas que operen en canales adyacentes a esa frecuencia.

e) Dos medidas correctivas de distinto nivel: (1) atacar la causa: mejorar la linealidad del amplificador (rediseño de polarización, realimentación negativa, operar en una zona más lineal); (2) atacar solo el síntoma: agregar un filtro pasa-bajos a la salida para eliminar el 3° armónico fuera de banda, sin corregir la distorsión en sí ni el 2° armónico (que ya cae dentro de banda).

Ejercicio 3 – Intermodulación en preamplificador

Resultados numéricos

a) Armónicos de $f_1 = 2$ MHz: 2, 4, 6 MHz · Armónicos de $f_2 = 10$ MHz: 10, 20, 30 MHz (criterio $n \times f$, $n=1,2,3$; $n=1$ es la propia fundamental)

b) Productos cruzados principales: $f_1+f_2 = 12$ MHz, $f_2-f_1 = 8$ MHz, $2f_1+f_2 = 14$ MHz, $2f_2-f_1 = 18$ MHz, $|2f_1-f_2| = 6$ MHz, $f_1+2f_2 = 22$ MHz

Hilo de razonamiento

c) La interferencia en 12 MHz = f_1+f_2 , un producto de intermodulación de 2° orden generado por la no linealidad del preamplificador sobrecargado. Se distingue de un armónico porque necesita ambas señales presentes a la vez (un armónico de una sola señal persistiría aunque la otra se apague); que desaparezca al apagar cualquiera de las dos confirma que es un producto cruzado.

d) El 3° armónico de f_1 (6 MHz) coincide con el producto $|2f_1-f_2|$ (también 6 MHz): dos mecanismos físicos distintos caen en la misma frecuencia, por lo que un analizador de espectro solo no alcanza para diferenciarlos, hay que apagar selectivamente cada señal de entrada para discriminar el origen.

e) Solución jerarquizada: primero atacar la sobrecarga/no linealidad del preamplificador compartido (filtrar selectivamente la portadora de AM con un rechaza-banda (*notch*) en 2 MHz antes del preamplificador, preferible a atenuar la entrada en general, ya que eso también bajaría el nivel del enlace propio de 10 MHz, o reemplazar el preamplificador por uno de mayor punto de intercepción), porque es la causa raíz común a todos los receptores que cuelgan de esa antena. Filtrar solo en el receptor de 12 MHz no resuelve el fondo del problema: el preamplificador seguiría comprimido y podría seguir generando otros productos espurios que afecten a otros receptores.

Resumen de lecciones aprendidas

- Un sistema de comunicaciones = fuente + transmisor + medio + receptor + destino; cualquier cadena que cumpla ese patrón lo es, sin importar su escala.
- El ruido térmico impone un piso teórico de sensibilidad que conviene calcular siempre, pero en un sistema real coexiste con otras fuentes de perturbación (acopladas desde el entorno, no aleatorias como el térmico); un buen diagnóstico requiere comparar ambos aportes con los datos concretos del caso, no asumir de antemano cuál predomina.
- Diferencia clave: ruido es aleatorio y siempre presente (térmico); interferencia es determinística y proviene de fuentes externas acopladas.
- La distorsión armónica y la intermodulación comparten el mismo origen físico (una no linealidad), pero se diferencian en cuántas señales de entrada participan: la primera es el resultado de una sola señal atravesando el dispositivo no lineal, la segunda surge de la interacción entre dos o más señales presentes simultáneamente sobre ese mismo dispositivo. Esa diferencia en el número de señales involucradas es la clave para diagnosticar cuál de los dos fenómenos está ocurriendo en un caso real.
- Un mismo valor numérico puede tener más de un origen físico (armónico e IM coincidiendo en frecuencia): el diagnóstico exige pruebas adicionales, no solo la lectura del espectro.
- Toda selección de componentes (ADC, DAC, filtros) debe justificarse con el ancho de banda y la amplitud real de la señal, citando la hoja de datos.
- Los filtros analógicos previos a la digitalización (*antialiasing*) son críticos: omitirlos introduce errores irreversibles que no se pueden corregir después de muestrear.