

Electrónica 2

Práctico 6 Ruido

Los ejercicios marcados con ★ son opcionales. Además cada ejercicio puede tener un número, que indica el número de ejercicio del libro del curso (*Microelectronic Circuits, 4th. edition. Sedra/Smith.*) o una fecha, que indica en que prueba (examen o parcial) se planteó el ejercicio.

Objetivo: El objetivo general del presente práctico es introducir al estudiante en los conceptos básicos del ruido intrínseco de los componentes electrónicos, los modelos y los métodos de análisis. En especial se estudiará el ruido térmico.

Ejercicio 1.

El objetivo de este ejercicio es mostrar en que grado afecta el ruido térmico en aplicaciones sensibles al ruido y trabajar con la expresión básica de ruido térmico. En todo el problema se considerará operación a temperatura $T = 290K$.

- (a) Se tiene un amplificador para registrar señales nerviosas con un ancho de banda de $10kHz$, que se desea tenga $1\mu V_{rms}$ de ruido equivalente de entrada a los efectos de poder detectar confiablemente señales de algunos micro-voltios de amplitud. Una de las resistencias del circuito suma su ruido directamente al ruido equivalente y por tanto se desea que su aporte de ruido sea menor a $0.1\mu V_{rms}$, ¿Cuál es el valor máximo que se puede usar para esta resistencia?
- (b) Se tiene un sistema de audio de alta fidelidad que opera en 16 bits con un fondo de escala de $3V$, siendo el ancho de banda a los efectos de la señal y el ruido $20kHz$. Si se desea que el ruido rms aportado por una resistencia sea menor a un décimo de LSB, ¿Cuál es el máximo valor que puede tener el ruido rms y el valor de la resistencia.?
- (c) Se tiene un sistema de recepción de radio frecuencia que trabaja sobre un ancho de banda de $1MHz$ con una impedancia característica de 50Ω y que se desea sea capaz de detectar señales de $-100dBm$, es decir con una potencia sobre 50Ω de $100dB$ por debajo de $1mW$ ($P[dBm] = 10 \cdot \log_{10} \frac{P[mW]}{1mW}$). A los efectos de tener una idea del orden de resistencias que es posible manejar sin que su ruido sea significativo, determinar el máximo valor de resistencia tal que su ruido rms sea igual a la mínima señal que se desea detectar.

Ejercicio 2. (Pregunta - 2do Parcial - 25/11/2004)

El objetivo de este ejercicio es introducir al estudiante en los métodos de análisis de ruido en un circuito sencillo y analizar como afecta la modificación de R,

desde el punto de vista del ruido, en un circuito RC.

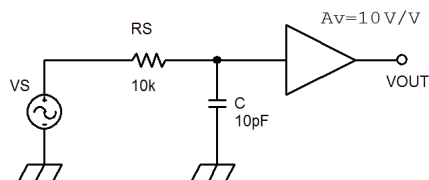


Figura 2

- Determinar la tensión de ruido rms V_{OUT} a la salida del circuito de la figura 2 a una temperatura ambiente de $T = 290K$. El amplificador se supondrá que tiene ganancia plana igual a $10V/V$, impedancia de entrada infinita y que tiene un ruido equivalente de entrada rms igual a $30\mu V_{rms}$.
- ¿Cómo cambia el resultado si se duplica el valor de R_S ? Fundamentar.

Ejercicio 3. (Problema 3 - 2do Parcial - 29/11/2005)

El objetivo de este ejercicio es continuar viendo los métodos de análisis de ruido en un circuito sencillo. Asimismo se introducen algunas ideas en torno al filtrado y como afecta la modificación del ancho de banda en circuitos sensibles al ruido.

Se desea amplificar la señal proveniente de un sensor V_S , que genera señales en la banda de $10Hz$ a $100Hz$, con una resistencia de salida R_S de $100k\Omega$, como se muestra en la figura 3. Para ello se utiliza el amplificador A1 de ganancia $100V/V$, cuya respuesta en frecuencia se supondrá es la de un filtro ideal con frecuencias de corte a $1Hz$ y $10kHz$, y que tiene un ruido equivalente de entrada, con densidad espectral constante igual a $100 \frac{nV}{\sqrt{Hz}} @ 290K$ ¹, siendo la corriente de entrada que toma el amplificador despreciable. En lo que sigue se considerará siempre operación a $290K$.

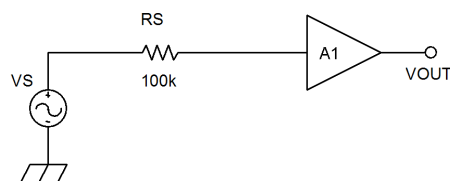


Figura 3

- Determinar cuál es la mínimo valor eficaz de la señal de entrada V_S que es posible amplificar si se desea que el valor eficaz de señal sea siempre al menos 10 veces el valor eficaz del ruido.

¹La unidad en que está expresada la densidad espectral indica que nos estamos refiriendo a la raíz cuadrada de la densidad espectral de potencia.

- (b) Existe la posibilidad de utilizar un amplificador diferente (A2) de igual ganancia, pero con una respuesta en frecuencia de filtro ideal entre $1Hz$ y $100kHz$ y ruido equivalente de entrada, con densidad espectral constante igual a $10 \frac{nV}{\sqrt{Hz}} @ 290K$. ¿Es conveniente el cambio? Explicar.
- (c) Si a la salida del amplificador se coloca un filtro de ganancia $1V/V$, con respuesta que se puede aproximar por la de un filtro ideal en la banda de señal de $10Hz$ a $100Hz$ del sensor, y cuyo ruido se considera despreciable frente a las señales que tendrá a su entrada, ¿Qué amplificador conviene usar A1 o A2? ¿Cuánto vale, considerando el amplificador más conveniente, el mínimo valor eficaz de la señal medible, con el criterio de la primer parte?

Ejercicio 4. (Problema 4 - 2do Parcial - 3/12/2003)

Se tiene un sensor en puente resistivo como se muestra en la figura 4, en el que la magnitud a medir hará variar en una pequeña proporción las distintas resistencias del puente.

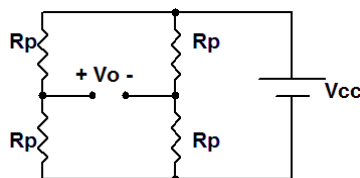


Figura 4

- (a) Si las resistencias R_P valen $100k\Omega$, ¿Cuál es la tensión de ruido eficaz a la salida V_O sobre un ancho de banda de $100kHz$ (considerado dado por un filtro ideal)?
- (b) Si el filtrado se implementa conectando un condensador C a la salida V_O , tal que la caída de $3dB$ ocurra a $100kHz$ ¿Cuánto vale la tensión de ruido eficaz a la salida?

Ejercicio 5.

El objetivo de este ejercicio es aplicar la expresión vista en el curso para el mínimo consumo de potencia teórico impuesto por el ruido térmico, a la vez que se relaciona con los niveles de relación señal ruido (SNR) asociados con convertidores A/D.

Se puede probar que la SNR debido al error de cuantificación en un convertidor A/D responde a la siguiente ecuación: $SNR(dB) = 6,02.n + 1,76$, siendo n la cantidad de bits utilizados en la digitalización. Considere un bloque analógico de audio que trabaja a $T = 290K$ y que el ancho de banda de interés es el rango audible (hasta $20kHz$). ¿Cuál sería el límite teórico de mínima potencia consumida impuesto por el ruido térmico si este bloque suministra señales a un convertidor A/D de 8 bits y se desea que su SNR sea al menos igual a la SNR debido al ruido de cuantificación del convertidor ? ¿Y con 16 bits?

Solución

Ejercicio 1

- (a) $R < 62\Omega$
- (b) $V_{R,rms} < 4.6\mu V_{rms}$ y $R < 66k\Omega$
- (c) $R < 302\Omega$

Ejercicio 2

- (a) $V_{OUT} = 360\mu V_{rms}$
- (b) No cambia porque V_{OUT} no depende de R_S . Lo que ocurre es que la potencia del ruido aumenta pero el ancho de banda disminuye cancelando el efecto.

Ejercicio 3

- (a) Voltaje rms del ruido equivalente a la entrada es $V_{n,rms} = 10.8\mu V_{rms}$, por lo tanto $V_{S,rms} \geq 108\mu V_{rms}$
- (b) El Voltaje rms del ruido equivalente a la entrada con A2 es $V_{n,rms} = 16\mu V_{rms}$, que es mayor al obtenido con A1. Si bien tenemos un amplificador de menor ruido, lo que a primera vista parece mejor, desde el punto de vista del ruido estamos peor porque deja pasar mayor ancho de banda, innecesario para la aplicación, dominando este efecto. Por tanto, no conviene el cambio.
- (c) $V_{S,rms} \geq 3.9\mu V_{rms}$

Ejercicio 4

- (a) Calculando la resistencia equivalente Thévenin del puente se obtiene que $R_{TH} = R_P$. Entonces, $V_{O,rms} = 13\mu V_{rms}$
- (b) $V_{O,rms} = 16\mu V_{rms}$

Ejercicio 5

Para 8 bits $P_{MIN} = 64pW$ y para 16 bits $P_{MIN} = 4\mu W$