

Electrónica Avanzada 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, 7th. edition. Sedra/Smith.*) o una fecha, que indica en que prueba 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. Para todo el práctico considere la temperatura ambiente $T = 300K$.

Ejercicio 1 (Problema 4 - 2do Parcial - 3/12/2003)

Se tiene un sensor en puente resistivo como se muestra en la Figura 1, en el que la magnitud a medir hará variar en una pequeña proporción las distintas resistencias del puente.

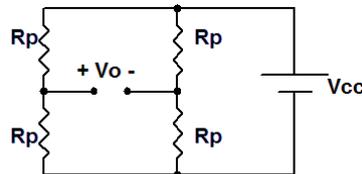


Figura 1

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

Ejercicio 2

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.

- (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 3 (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.

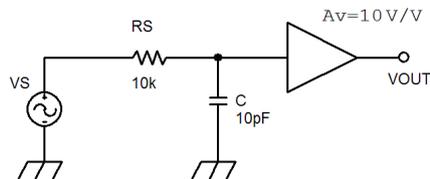


Figura 3

- (a) Determinar la tensión de ruido RMS V_{OUT} a la salida del circuito de la Figura 3. 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 $30\mu V_{RMS}$.
- (b) Cómo cambia el resultado si se duplica el valor de R_S ? Fundamentar.

Ejercicio 4 (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 4. 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 $10kHz$. El ruido equivalente de entrada del amplificador tiene una densidad espectral de tensión constante igual a $100 \frac{nV}{\sqrt{Hz}}$, siendo la corriente de entrada que toma el amplificador despreciable.

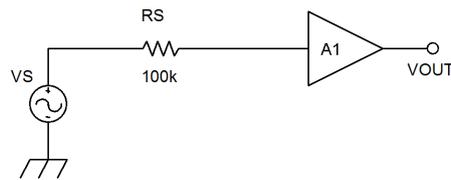


Figura 4

- Determinar cual es el mínimo valor RMS de la señal de entrada V_S que es posible amplificar si se desea que el valor RMS de señal sea siempre al menos 10 veces el valor RMS del ruido.
- 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 $10 \frac{nV}{\sqrt{Hz}}$. Es conveniente el cambio? Explicar.
- 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 RMS de la señal medible, con el criterio de la primer parte?

Ejercicio 5

En este ejercicio y los siguientes vamos a trabajar con los modelos de ruido en dispositivos semiconductores y el análisis de ruido en circuitos sencillos con transistores.

- En el amplificador de la Figura 5 obtenga el valor de la PSD de corriente a la salida incluyendo solamente el ruido térmico de los dispositivos.
- ¿Cuánto vale la tensión de ruido RMS equivalente a la entrada?

Datos:

- $V_{DD} = 5V$, $R1 = 12k\Omega$, $C_L = 5pF$
- $W_1 = 50\mu m$, $L_1 = 2\mu m$, $W_2 = W_3 = 10\mu m$, $L_2 = L_3 = 4\mu m$
- $V_{tn} = |V_{tp}| = 0.8V$, $n_n = n_p = 1.4$.

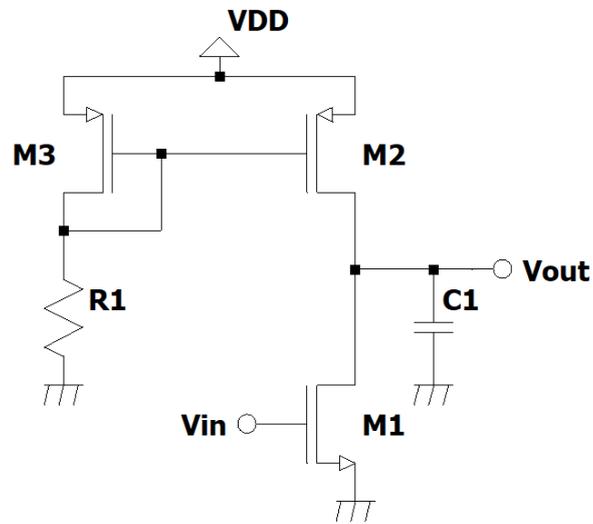


Figura 5

- $\mu_n C_{ox} = 125 \mu A/V^2$, $\mu_p C_{ox} = 60 \mu A/V^2$
- $V'_{An} = 12.5 V/\mu m$, $V'_{Ap} = 25 V/\mu m$

Ejercicio 6

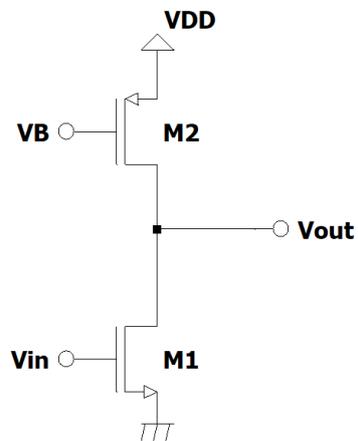


Figura 6

- En el amplificador de la Figura 6 obtenga una expresión para la PSD de tensión de ruido equivalente a la entrada incluyendo ruido térmico y ruido Flicker. Considere que la fuente de polarización V_B no aporta ruido y su valor es tal que $I_{D2} = 50 \mu A$.
- Calcule la parte correspondiente al ruido térmico.

- (c) Calcule el valor a 100Hz de la parte correspondiente al ruido Flicker.
- (d) Calcule la tensión RMS de ruido equivalente a la entrada del amplificador para un BW ideal entre 1Hz y 10kHz con y sin ruido Flicker.
- (e) Sin cambiar la relación (W_1/L_1) , determine el W_1 y L_1 necesarios para que la potencia integrada debida al ruido Flicker sea menor al 5% de la potencia integrada debida al ruido térmico. ¿Cuánto vale ahora la tensión RMS total a la entrada?

Datos:

- $VDD = 5V$, $W_1 = 8\mu m$, $L_1 = 0.5\mu m$, $W_2 = 4\mu m$, $L_2 = 4\mu m$
- Mismos datos de la tecnología del Ejercicio 5
- Para $L = 1\mu m$: $K_{Fn} = 1x10^{-16} A$, $K_{Fp} = 5x10^{-16} A$

Ejercicio 7

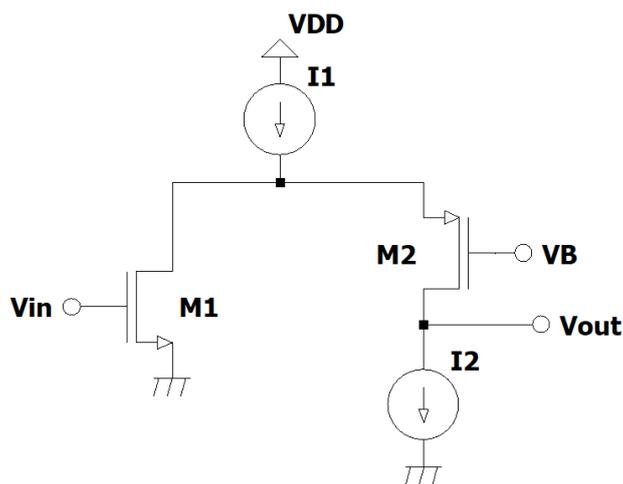


Figura 7

El circuito de la Figura 7 muestra un amplificador Folded Cascode con fuentes de corriente ideales y sin ruido. Considere también que la fuente de polarización V_B no aporta ruido.

- (a) Si modelamos el ruido de los transistores $M1$ y $M2$ con una fuente de corriente de ruido en paralelo con cada transistor, cada una con una PSD S_{iD1} y S_{iD2} respectivamente, determine la condición necesaria para que la PSD en corriente a la salida del amplificador dependa solamente de S_{iD1} .
- (b) Obtenga la expresión para la PSD de ruido equivalente a la entrada. Plantee el resultado exacto y el resultado considerando la aproximación de la parte (a)
- (c) Considerando solamente ruido térmico, calcule la PSD de cada transistor y verifique numéricamente el resultado obtenido en la parte anterior.

Datos:

- $I_1 = 50\mu A$, $I_2 = 20\mu A$
- $W_1 = 20\mu m$, $L_1 = 2\mu m$, $W_2 = 10\mu m$, $L_2 = 0.5\mu m$
- Mismos datos de la tecnología del Ejercicio 5

Solución

Ejercicio 1

(a) Calculando la resistencia equivalente Thévenin del puente se obtiene que $R_{TH} = R_P$. Entonces, $S_O = 4k_B T R_P = 1.66 \times 10^{-15} V^2 / Hz$

(b) $v_O^{RMS} = 12.9 \mu V_{RMS}$

(c) $v_O^{RMS} = 16.1 \mu V_{RMS}$

Ejercicio 2

(a) $R < 60.3 \Omega$

(b) $v_R^{RMS} < 4.6 \mu V_{RMS}$ y $R < 63.2 k\Omega$

(c) $R < 292 \Omega$

Ejercicio 3

(a) $V_{OUT} = 363 \mu V_{RMS}$

(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 4

(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 $v_n^{RMS} = 13 \mu V_{RMS}$, 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) Para un mismo ancho de banda, dado por el filtro, conviene usar A2 que es el de menor ruido.

$v_S^{RMS} \geq 3.9 \mu V_{RMS}$

Ejercicio 5

(a) $I_{nout} = 4.69 pA / \sqrt{Hz}$

(b) El ancho de banda del amplificador es $306 kHz$, por lo que: $v_{ni}^{RMS} = 2.8 \mu V_{RMS}$

Ejercicio 6

(a) $S_{vin} = \frac{8}{3} \frac{nk_B T}{gm_1} \left(1 + \frac{gm_2}{gm_1}\right) + \frac{nK_{Fn}}{2\beta_1} \frac{1}{f} \left(1 + \frac{K_{Fp}}{K_{Fn}}\right)$

(b) $V_{ni}^{thermal} = 6.93nV/\sqrt{Hz}$

(c) $V_{ni}^{flicker}|_{@f=100Hz} = 36.7nV/\sqrt{Hz}$

(d)

- Con Flicker: $v_{ni}^{RMS} = 1.34\mu V_{RMS}$
- Sin Flicker: $v_{ni}^{RMS} = 0.69\mu V_{RMS}$

(e)

- $W_1 = 51.2\mu m, L_1 = 3.2\mu m$
- $v_{ni}^{RMS} = 0.73\mu V_{RMS}$

Ejercicio 7

(a) $gm_{S2}r_{o1} \gg 1$

(b) $S_{vin} = \frac{S_{iD1}}{gm_1^2} + \frac{S_{iD2}}{(gm_1 gm_{S2}r_{o1})^2} \simeq \frac{S_{iD1}}{gm_1^2}$

(c) $gm_{S2}r_{o1} = 162 \gg 1$ por lo que la solución aproximada es igual a la exacta:
 $V_{ni} = \sqrt{S_{vin}} = 8.17nV/\sqrt{Hz}$