

ELECTRÓNICA FUNDAMENTAL

Práctica de Laboratorio 3.

TRANSISTOR MOS EN SEÑAL

Para esta práctica, al igual que en la practica 2, se utilizará el integrado CD4007. Recuerde que para que los transistores funcionen correctamente las patas 7 y 14 deben estar conectadas SIEMPRE, respectivamente, a la menor tensión del circuito (TIERRA en esta práctica) y a la mayor tensión del circuito (VDD). Recuerde también que este integrado es SENSIBLE A DESCARGAS ELECTROESTÁTICAS. Evite manipularlo y tocar sus terminales innecesariamente. Para extraer el integrado del protoboard siga con cuidado el instructivo disponible en EVA, de hacerse bruscamente sin seguir estas instrucciones es fácil doblar y quebrar los terminales de los extremos del encapsulado.

PARAMETROS DE LOS TRANSISTORES del CD4007

nMOS	pMOS
$\beta_n = 1.7 \text{ mA/V}^2$	$\beta_p = 0.9 \text{ mA/V}^2$
$V_{t0n} = 1.1 \text{ V}$	$V_{t0p} = 1.3 \text{ V}$
$\delta_n = 0.9$	$\delta_p = 0.17$
$V_{An} = 20 \text{ V}$	$V_{Ap} = 20 \text{ V}$

Se dispone en la página del curso de un archivo con los parámetros de un modelo SPICE simple para este dispositivo.

El objetivo de la práctica es utilizar el transistor MOS como amplificador. Para ello la practica se divide en 3 secciones que deben ser realizadas en el orden que se presentan. Para cada sección se deberán realizar los cálculos, simulaciones y medidas correspondientes. Al final de la letra se detalla el contenido requerido para el informe. En general, uno de los objetivos de las prácticas de laboratorio es contrastar la teoría y modelos con la realidad. En este sentido es más importante que el alcanzar en las medidas los requerimientos pedidos con gran precisión, el entender el posible origen de las diferencias entre lo esperado, simulado y medido.

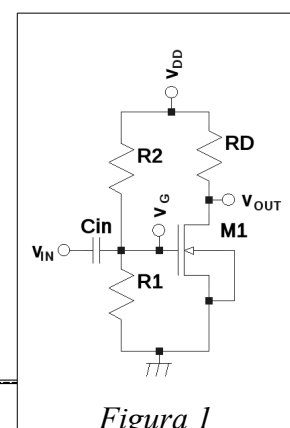
Para el día de la defensa, los estudiantes deben traer las configuraciones (“Workspace”, archivos .dwf3work) necesarias para medir el circuito con el software WaveForms y los tres circuitos diseñados en esta práctica listos para ser probados (a menos eventualmente de pequeños cambios o ajustes de conexión, tal como por ej. la posición del circuito 4007). El docente podrá solicitar a un estudiante particular repetir alguna medida, esperando que sea capaz de realizar dicha tarea en forma fluida y sin errores. También deben traer los netlist o esquemáticos utilizados para simular el circuito en LTspice, el cual podría ser solicitado por el docente si lo considera necesario.

I) Amplificador source común polarizado fijando la tensión de gate

Objetivo: diseñar y construir un amplificador utilizando solo un transistor NMOS como se muestra en la figura 1.

Requerimientos:

- $V_{DD}=5 \text{ V}$, $I_D=500 \mu\text{A}$.
- Máxima potencia media consumida por todo el circuito de 4 mW .
- Ganancia v_{out}/v_{in} en banda pasante mayor a 4 V/V .



- Amplificar sin distorsión señales de hasta al menos 200 mV de pico.
- Frecuencia de corte inferior menor a 1 kHz.

Para el circuito diseñado, mida:

- Punto de operación (sin señal de entrada, medir V_G y V_{OUT} , Fig. 1).
- Ganancia del circuito en banda pasante (V_{out}/V_{in}). ¿Cómo puede verificar si la frecuencia a la que está midiendo está efectivamente en la banda pasante del amplificador?
- Frecuencias de corte inferior y superior y ancho de banda.
- Contraste los resultados de ganancia y frecuencias de corte que se obtuvieron usando el osciloscopio con los que resultan de utilizar la herramienta analizador de red.
- Excursión de salida.

II) Fuente de corriente

Objetivo: diseñar y construir la fuente de corriente mostrada en la Figura 2 que se basa en la estructura llamada “espejo de corriente” formada por M2 y M3. Esta fuente será luego utilizada para polarizar el transistor de un amplificador en la sección III.

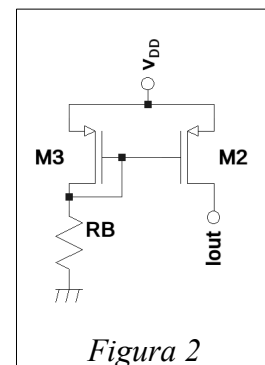


Figura 2

Requerimientos:

- $V_{DD}=5\text{ V}$
- $I_{out}=500\text{ }\mu\text{A}$. Se sugiere que RB sea (o tenga en serie) un preset que permita un ajuste fino ($\pm 10\text{ }\mu\text{A}$) de la corriente de salida.

Armado y Medidas:

- Arme el circuito de la Figura 2. A efectos de poder medir la corriente de salida de la fuente de corriente, coloque una resistencia de $4.7\text{ k}\Omega$ a tierra en la terminal de salida. Con un multímetro mida el valor de dicha resistencia.
- Ajuste el preset hasta lograr la corriente de salida deseada. Calcule la corriente de salida a partir de la tensión de salida y el valor medido para la resistencia que colocó en esta terminal.
- Luego de ajustado el preset, mida la tensión de gate.
- Mida la RB total luego de ajustarla.

III) Amplificador source común polarizado en corriente

Objetivo: diseñar e implementar el amplificador mostrado en la figura 3. Para esto, utilice la misma fuente de corriente implementada en la sección II.

Sugerencia: No es recomendable colocar la punta de osciloscopio directamente en el gate de M4 ya que la resistencia parásita que agrega la misma ($1\text{ M}\Omega$) afecta fuertemente la polarización del circuito.

Requerimientos:

- $R_L=10\text{ k}\Omega$
- $R_F=1\text{ M}\Omega$

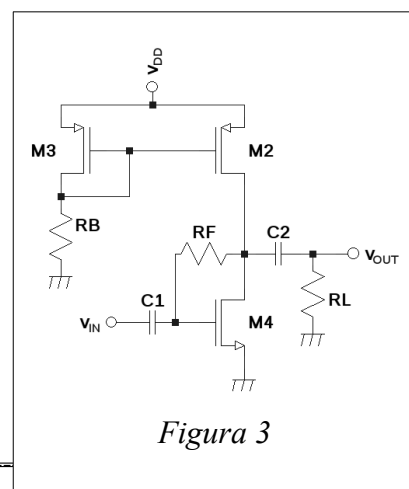


Figura 3

- $I_D=500 \mu\text{A}$
- Caída -3 dB inferior menor a 1 kHz

Para el circuito diseñado, mida:

- Punto de operación (todos los nodos pertinentes)
- Ganancia del circuito en banda pasante (v_{out}/v_{in}), frecuencias de corte inferior y superior y ancho de banda en forma análoga a como se hizo en la sección I.
- Excursión de salida.
- Mida nuevamente la ganancia en banda pasante si se retira RL del circuito. Para esto desconecte C2 y RL y conecte la punta de osciloscopio directamente en el drain de M4.

Para el informe

En el informe se deberán utilizar los mismos nombres para los componentes que los presentados en las figuras de la práctica. El informe deberá contener las siguientes secciones donde se debe explicar de forma clara y concisa lo solicitado en el orden aquí establecido. **Anexe al informe todos los cálculos realizadas para obtener todos los diseños, y todos los cálculos que haya realizado para responder las preguntas del informe.** Al final del informe, y en otro anexo, los estudiantes pueden agregar medidas o discusiones adicionales en caso que deseen incluirlas.

Amplificador source común polarizado fijando la tensión de gate

1. Diseño
 - a. Indique los valores de los componentes utilizados (R1,R2,RD y Cin). Incluya un diagrama del circuito donde se detalle como realizaron las conexiones. Este diagrama debe indicar claramente qué terminales del integrado 4007 conectó y a dónde, y qué terminales del AnalogDiscovery utilizó y dónde los conectó.
2. Medidas
 - a. Punto de operación
 - i. Indique en una tabla los valores medidos (sin señal de entrada, V_G y V_{OUT} , Fig. 1), los resultados de simulación para los mismos, y los obtenidos a partir del cálculo teórico.
 - ii. Utilizando un multímetro, mida el valor de la resistencia RD utilizada y calcule la corriente I_D del transistor.
 - iii. Justifique en no más de 100 palabras las diferencias entre este I_D calculado y el deseado para el diseño ($I_D=500 \mu\text{A}$)
 - b. Ganancia del circuito
 - i. Presente las medidas de las señales utilizadas para calcular la ganancia del circuito.
 - ii. Indiqué en una tabla la ganancia medida, simulada, y calculada teóricamente.
 - iii. Justifique en no mas de 100 palabras si es o no despreciable el efecto de la tensión de Early del transistor utilizado en la ganancia.
 - c. Frecuencias de corte y ancho de banda
 - i. Reporte las amplitudes de las señales de entrada y salida medidas a la frecuencia de corte inferior.

- ii. Indique en una tabla la frecuencia de corte inferior medida, simulada, y calculada teóricamente.
 - iii. Reporte la frecuencia de corte superior y el ancho de banda medidos.
 - iv. Incluya una gráfica de la respuesta en frecuencia en amplitud del circuito utilizando la herramienta “Network” del software “WaveForms”.
- d. Excursión de salida
- i. Incluya una señal de salida donde se aprecie claramente la distorsión por corte y no saturación indicando que distorsión se debe al corte y cual a la no saturación del transistor.
 - ii. Incluya una señal de salida con la máxima excursión posible.
 - iii. En una tabla compare la excursión de salida medida, simulada y calculada teóricamente, incluyendo las expresiones teóricas utilizadas y el cálculo detallado.
 - iv. Fundamente en no más de 200 palabras las posibles causas de la diferencia.

Fuente de corriente

1. Diseño
 - a. ¿En que zona opera el transistor M3 ? ¿En qué zona debe operar el transistor M2 para que el espejo de corriente y la fuente funcionen como se desea ?
 - b. Calcule en forma teórica que valor debería tener RB para tener la corriente de salida deseada.
 - c. Indique exactamente como implementa la resistencia RB.
 - d. Incluya un diagrama del circuito donde se detalle cómo realizó las conexiones. Este diagrama debe indicar claramente qué terminales del integrado 4007 conectó y a dónde, y qué terminales del AnalogDiscovery utilizó y dónde los conectó.
2. Medidas
 - a. Punto de operación
 - i. Indique las tensiones de gate y la tensión de la terminal de salida (Fig. 2) obtenidas luego de ajustar la resistencia RB al valor deseado.
 - ii. Reporte los valores medidos de RB y la resistencia utilizada como carga a la salida de la fuente de corriente.
 - iii. Justifique en no más de 100 palabras por qué no se puede utilizar 47 k Ω en el nodo de salida para ajustar la fuente de corriente. Justifique en no más de 100 palabras por qué no es conveniente utilizar 4.7 Ω con el mismo objetivo.
 - iv. Fundamente en no más de 200 palabras las posibles causas de la diferencia entre a) la corriente por RB medida y la corriente Iout medida b) la corriente por RB teórica (considerando el valor de RB final elegido) y la corriente medida por RB.

Amplificador source común polarizado en corriente

1. Diseño
 - a. Indique los valores de condensadores utilizados.
 - b. Incluya un diagrama del circuito donde se detalle como realizó las conexiones. Este diagrama debe indicar claramente qué terminales del integrado 4007 conectó y a dónde, y qué terminales del AnalogDiscovery utilizó y dónde los conectó.
2. Medidas
 - a. Punto de operación

- i. Indique en una tabla los valores medidos en DC (sin señal de entrada) para todos los nodos intermedios, los resultados de simulación para los mismos, y los obtenidos a partir del modelo teórico.
- b. Ganancia del circuito
 - i. Presente las medidas de las señales utilizadas para calcular la ganancia del circuito.
 - ii. Indiqué en una tabla la ganancia medida, simulada, y calculada teóricamente.
 - iii. Justifique en no más de 200 palabras, cómo limita la tensión de early (V_A) a la ganancia del circuito.
- c. Frecuencias de corte y ancho de banda
 - i. Reporte las amplitudes de las señales de entrada y salida medidas a la frecuencia de corte inferior.
 - ii. Indiqué en una tabla la frecuencia de corte inferior medida, simulada, y calculada teóricamente.
 - iii. Reporte la frecuencia de corte superior y el ancho de banda medidos.
 - iv. Incluya una gráfica de la respuesta en frecuencia en amplitud y fase del circuito utilizando la herramienta “Network” del software “WaveForms”.
- d. Excursión de salida
 - i. Incluya una señal de salida donde se aprecie claramente la limitación por distorsión de la amplitud del pico positivo y del pico negativo de la señal de salida. Indicar a qué se debe cada uno de estos límites y comprobar si se aproximan a los valores calculados teóricamente.
 - ii. Incluya una señal de salida con la máxima excursión posible.
 - iii. En una tabla compare la excursión de salida medida, simulada y calculada teóricamente.
- e. Ganancia sin RL
 - i. Presente las medidas de las señales utilizadas para calcular la ganancia del circuito.
 - ii. Indiqué en una tabla la ganancia medida, simulada, y calculada teóricamente.
 - iii. Justifique en no más de 200 palabras, si el valor medido es coherente con la ganancia medida con RL. Estimar a partir de la medida sin RL el valor de la tensión de Early de los transistores (asumiendo que es el mismo para NMOS y PMOS).