



Trabajo Práctico N°3

Amplificadores

Objetivos del trabajo

- Utilizar lo aprendido en trabajos prácticos anteriores para extraer los parámetros característicos de un transistor MOSFET.
- Generar un modelo propio de dispositivo MOS basado en los parámetros extraídos.
- Diseñar analíticamente un amplificador monoetapa tipo source común y verificar su comportamiento mediante simulación.
- Estudiar los efectos de distorsión presentes en un amplificador.

Enunciado

En este trabajo práctico se estudiarán los amplificadores monoetapa source común. Para ello, primeramente se obtendrán los parámetros característicos de un MOSFET, para generar un modelo propio de transistor. Luego se empleará en el diseño del amplificador. A tal fin será necesario realizar el cálculo analítico de la polarización y del modelo de pequeña señal del circuito. Finalmente, se simulará el circuito diseñado, tanto con el transistor MOSFET propio como con el original provisto por el simulador, con el fin de comparar los resultados obtenidos.

El modelo teórico utilizado es:

$$I_D = \begin{cases} 0 & V_{GS} < V_T \quad (\text{corte}) \\ k(V_{GS} - V_T)^2(1 + \lambda V_{DS}) & V_{GS} > V_T, V_{DS} > V_{DS\text{-sat}} \quad (\text{saturación}) \\ 2k\left(V_{GS} - V_T - \frac{V_{DS}}{2}\right)V_{DS}(1 + \lambda V_{DS}) & V_{GS} > V_T, V_{DS} < V_{DS\text{-sat}} \quad (\text{triode}) \end{cases} \quad (1)$$

cuyos parámetros son $k = k' \frac{W}{L}$, V_T y λ . Además se utiliza el modelo de *Spice* IRFP240. El mismo está incluido por defecto en las librerías de *LTSpice*.

Parte I: Simulación del dispositivo

En *LTSpice* será necesario generar un esquemático como el de la Fig. 1 para la simulación de la curva de salida. Se debe relevar la curva I_D vs. V_{DS} para distintas V_{GS} constante tal que en saturación

$$I_D \simeq \{100, \dots, 600\} \text{ mA} \quad \text{cuando} \quad V_{DS} \simeq 9 \text{ V}$$

Son seis curvas en total. Al relevar esta curva V_{DS} debe variar de 0 V a 9 V. En la simulación se debe utilizar dos fuentes de tensión, una fija, para V_{GS} y otra variable para V_{DS} . Cada una de las 6 simulaciones se debe guardar en un archivo con nombre `sim_salida_vgs<X>.csv`, con X entre 1 y 6. Además se debe brindar un archivo extra, `sim_vgs.csv`, que contenga los 6 valores utilizados para las V_{GS} . Ver el Apéndice A para los detalles de formato y nombres de los archivos de salida.

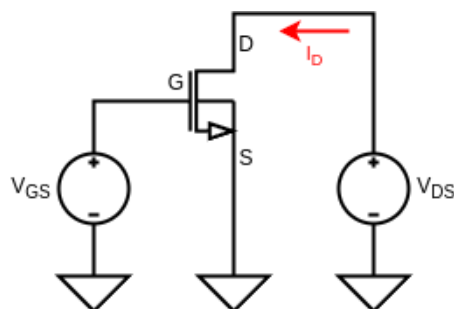


Figura 1: Circuito para la simulación del MOSFET.

Parte II: Extracción de parámetros

Los puntos que se obtienen de las simulaciones deben ser ajustados para extraer, a partir de ellos, una estimación de los parámetros del modelo subyacente. En este trabajo no se pretende que el alumno adquiera los conocimientos para la realización de estos ajuste, sino que la cátedra brinda los *scripts* necesarios para su realización, junto con una guía para su utilización. Para aquellos alumnos interesado en el funcionamiento de los *scripts* pueden consultar a los docentes. La cátedra brinda *scripts* para *python* y *octave*, *ajuste.py* y *ajuste.m* respectivamente. Para su utilización se debe:

1. Guardar los archivos con los datos de simulación (.csv) en una carpeta, con los nombres correspondientes.
2. Descargar el script y guardarlo en la misma carpeta que los archivos .csv.
3. Ejecutar el script y observar los resultados.

El script debe arrojar los valores de V_{T0} , k , λ , obtenidos del ajuste. A continuación se muestra un ejemplo de la salida del script de *Python*:

```
In [1]: $run ajuste.py
0: k = 0.100; V_T = 1.000; Lambda = 0.000
1: k = 0.100; V_T = 1.000; Lambda = 0.000
2: k = 0.100; V_T = 1.000; Lambda = 0.000
Los parámetros finales son:
-> k = 0.100;
-> V_T = 1.000;
-> Lambda = 0.000;
```

Parte III: Creación del modelo propio

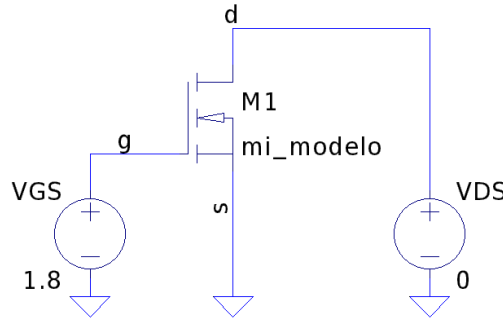
Se debe generar un modelo propio de *Spice* elemental (denominado LEVEL 1, el más simple de todos) de MOSFETs a partir de los datos k , V_T y λ obtenidos del ajuste de las curvas La directiva de *Spice* para generar el modelo propio es:

```
.model <nombre del modelo> NMOS(LEVEL=1 VT0=<valor> KP=<valor> LAMBDA=<valor>)
```

NOTA: El parámetro $KP = 2k$. En la Fig. 3 se muestra un ejemplo de cómo realizar una simulación en *LTSpice* utilizando un modelo propio.



.dc VDS 0 9 0.01 VGS 4 5 0.1



.MODEL mi_modelo nmos(LEVEL=1 KP=100e-6 VT0=1 LAMBDA=0.1)

Figura 2: Ejemplo de cómo simular utilizando el modelo propio. El nombre utilizado para el modelo es `mi_modelo`.

Parte IV: Diseño

Se debe diseñar un amplificador buscando maximizar la ganancia y asegurándose que el amplificador no distorsiona. En la Fig. 3 se muestra el esquemático como referencia. Se conocen algunos valores: $v_s = 100 \text{ mV} \sin(2\pi f t)$, $f = 1 \text{ kHz}$, $r_s = 2,2 \text{ k}\Omega$, $R_L = 8 \Omega$, $C_1 = 10 \mu\text{F}$ y $C_2 = 10 \mu\text{F}$.

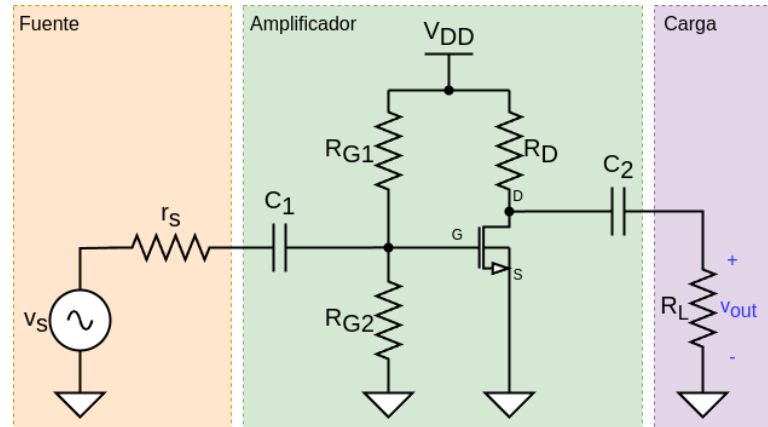


Figura 3: Ejemplo de amplificador mosfet monoetapa source-común.

Durante el diseño del amplificador se deben obtener las formas analíticas y calcular sus valores, para los siguientes parámetros: (a) Resistencia de entrada, R_{IN} . (b) Resistencia de salida, R_{OUT} . (c) Ganancia sin carga, A_{v0} . (d) Ganancia desde la fuente con carga, A_{vs} .

Parte V: Simulación del amplificador

Se debe simular el amplificador diseñado en el punto anterior utilizando el modelo de la librería de spice y el modelo propio. Se debe verificar su correcto funcionamiento en ambos casos. Se pueden dar dos casos:

- En caso de que el amplificador distorsione, se deben ajustar los valores de los componentes para que deje de hacerlo. Se debe dejar en claro qué se modificó y se deben mostrar las señales con y sin distorsión. Se debe indicar el tipo de distorsión presente. No se debe modificar el diseño analítico.



- En caso de que el amplificador no distorsione, se debe modificar algún componente para que sí lo haga. Dejar bien en claro que se modificó y qué tipo de distorsión se introdujo.

En este punto se deben tener 3 amplificadores funcionando sin problemas, el diseñado y los dos simulados con modelo de la librería y modelo propio (sin distorsión). Para los dos amplificadores simulados se deben calcular los siguientes valores utilizando simulaciones: (a) Resistencia de entrada, R_{IN} . (b) Resistencia de salida, R_{OUT} . (c) Ganancia sin carga, A_{v0} . (d) Ganancia desde la fuente con carga, A_{vs} . Estos valores se deben presentar en una tabla y se deben comparar cuantitativamente con los valores obtenidos para el amplificador diseñado en la sección .

Requisitos del informe

- El informe es **grupal** y **no** debe contener más de **6 páginas**. Si el trabajo supera ese límite, las páginas sobrantes no serán tenidas en cuenta en la corrección.
- **Todo resultado presentado en el informe debe estar analizado. Las comparaciones deben ser realizadas cuantitativamente.**
- Todas las suposiciones realizadas deben estar explicadas y justificadas.
- Se debe presentar el desarrollo de los cálculos de diseño del amplificador.
- Se deben incluir como mínimo las siguientes figuras y tablas:
 1. Una captura de cada esquemático de simulación utilizado para relevar las curvas de salida, con su correspondiente directiva de simulación visible.
 2. Un gráfico con las 6 curvas de salida y el ajuste. Este gráfico está proporcionado por el script.
 3. El esquemático empleado para el diseño del amplificador, indicando los sentidos de las corrientes y tensiones.
 4. Un gráfico que contenga las señales de entrada y salida del amplificador en función del tiempo.
 5. Un gráfico que contenga las señales utilizadas para el cálculo en simulación de las resistencias de entrada y salida.
 6. Una tabla que contenga los 3 conjuntos de parámetros de cada amplificador. Se deben incluir los errores relativos entre los parámetros.

Todos los gráficos deben tener el tamaño adecuado, tener leyendas indicando las curvas e incluir variables y unidades en los ejes.



Apéndices

A. Detalles de los archivos exportados

Los puntos obtenidos mediante mediciones o simulaciones serán guardados en archivos `.csv` con el siguiente formato:

- La primera fila se ignora, puede ser utilizada para identificar las columnas con nombres.
- La primera columna debe contener los valores de tensión V_{DS} , en V.
- La segunda columna debe contener los valores de corriente I_D , en A.
- Los valores deben estar separados por tabuladore. Este es el formato por defecto que utiliza el *LTSpice*.
- Cada archivos puede tener tantas filas como se desee, pero solo puede tener 2 columnas.

Se van a generar 6 de estos archivos, uno para cada corriente de saturación distinta o equivalentemente para cada V_{GS} distinta. Un ejemplo reducido de este archivo es el siguiente:

```
1 V, I
2 0.100000, 0.000293
3 0.250000, 0.000580
4 0.400000, 0.000759
5 0.550000, 0.000853
6 0.700000, 0.000890
```

El número a la izquierda sólo está indicando el número de línea. Adicionalmente a estos 6 archivos, se debe generar uno nuevo con:

- Una columna y siete filas.
- La primera fila se ignora.
- Las otras seis filas deben contener los valores de V_{GS} utilizados en cada una de las curvas de salida. El orden de estos valores importa: el primer valor corresponde a la V_{GS} del archivo `sim_salida_vgs1.csv`, el segundo a la V_{GS} del archivo `sim_salida_vgs2.csv` y así sucesivamente.

Un ejemplo de este archivo es el siguiente:

```
1 VGS_X
2 2.85
3 3.40
4 3.85
5 3.95
6 4.20
7 4.45
```

El número a la izquierda sólo está indicando el número de línea.