

## LABORATORIO

# 0 PAR DIFERENCIAL

### OBJETIVOS:

Estudiar los circuitos del par diferencial con MOSFET y BJT.

En este laboratorio el estudiante desarrollará las siguientes destrezas:

- Comprensión de las excitaciones de circuitos en Modo Común y Modo Diferencial.
- Análisis y diseño de circuitos con par diferencial.
- Selección de los resistores apropiados para satisfacer la ganancia de voltaje esperada.
- Simulación de circuitos y su comparación con los resultados calculados.
- Implementación experimental del circuito del amplificador y comparación de su desempeño con los resultados teóricos y simulados.

### MATERIALES:

- 2 transistor Mosfet de enriquecimiento canal N (2N7000) y su hoja de especificaciones (data-sheet)
- 2 transistor BJT NPN (2N2222, NTE 2321, etc.) y su hoja de especificaciones
- 1 placa de pruebas (Protoboard or Breadboard)
- Resistores
- Multímetro
- Alambres para conexiones
- 1 generador de funciones (function generator)
- 1 osciloscopio (oscilloscope)
- 3 fuentes de voltaje DC (también puede usar fuentes duales)

### PARTE I: EXCITACIONES EN MODO COMÚN Y MODO DIFERENCIAL

Arme el circuito de par diferencial mostrado en la figura L0.1, en el programa de simulación que utilice (Mulsism, Workbench, etc.).

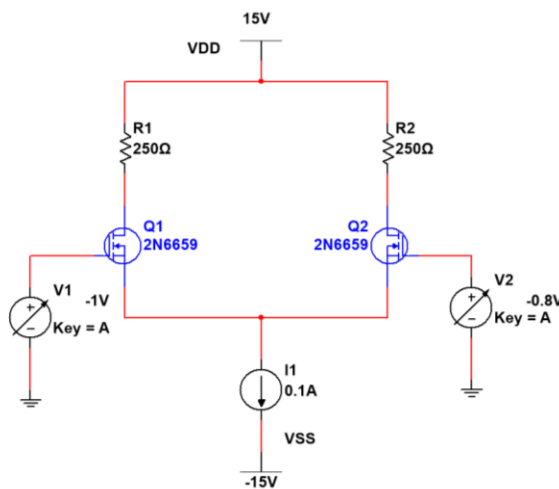


Figura L0.1: Excitación en Modo Común y Modo Diferencial

Ajuste las configuraciones de las fuentes de voltaje variables a un mínimo de -1V y un máximo de +1V, con incrementos del 5%.

- 1.1 Con los valores de  $K_n$  y  $V_t$  que encuentre en las hojas de características del transistor, calcule los voltajes y las corrientes en los drenadores de los transistores, cuando  $V_1 = V_2 = 0$  V. Compare con los resultados simulados.

Calculados	Simulados
$V_{D1} = V_{D2} =$ _____	$V_{D1} = V_{D2} =$ _____
$I_{D1} = I_{D2} =$ _____	$I_{D1} = I_{D2} =$ _____
$V_{GS1} = V_{GS2} =$ _____	$V_{GS1} = V_{GS2} =$ _____

- 1.2 Para ver el comportamiento del par diferencial con excitación en Modo Común, simule y rellene la siguiente tabla de valores.

$V_1 = V_2 = V_{MC}$	-1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
$V_{D1} = V_{D2}$											
$V_{Sal} = V_{D2} - V_{D1}$											
$V_S$											
$V_{GS1} = V_{GS2}$											
$I_{D1} = I_{D2} = I_{MC}$											

¿ Por qué los  $V_{GS}$  de los transistores son iguales ?

R. - \_\_\_\_\_.

¿ Existe variación en el voltaje de los drenadores de los transistores ? ¿ Por qué ?

R. - \_\_\_\_\_.

- 1.3 ¿ Cuánto vale la ganancia en modo común del par diferencial ?

$$A_{MC} = \frac{V_{Sal}}{V_{MC}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

¿ Qué puede concluir con respecto al comportamiento del par diferencial con excitación en modo común ?

- 1.4 Para ver el comportamiento del par diferencial con excitación en Modo Diferencial, simule y rellene la siguiente tabla de valores.

$V_1 = -V_2 = V_{MD}/2$	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
$V_{D1}$											
$V_{D2}$											
$V_{Sal} = V_{D2} - V_{D1}$											
$V_S$											
$I_{D1}$											

$I_{D2}$											
$\Delta I_{D1} = I_{D1} - I_{MC}$											
$\Delta I_{D2} = I_{D2} - I_{MC}$											

1.5 Grafique el voltaje en modo diferencial en función de las corrientes en los drenadores

$$V_{MD} \text{ vs } I_{D1}, I_{D2}.$$

1.6 Calcule la ganancia en modo diferencial para cada una de las excitaciones encontradas en el punto anterior.

$V_{MD}$											
$\frac{V_{Sal}}{V_{MD}}$											

1.7 Grafique el voltaje en modo diferencial vs la ganancia en modo diferencial ( $V_{MD}$  vs  $A_{MD}$ ).

1.8 Para ver el comportamiento del par diferencial con cualquier tipo de excitación, simule y rellene la siguiente tabla de valores.

V1	-0.2	-0.5	-0.3	0.0	0.5	0.0	0.8	0.5	0.6	0.5
V2	0.8	0.5	0.2	0.5	0.5	0.0	0.3	0	-0.4	-0.5
$V_{MC} = (V1 + V2) / 2$										
$V_{MD} = V1 - V2$										
$V_{D1}$										
$V_{D2}$										
$V_{Sal} = V_{D2} - V_{D1}$										
$V_S$										
$I_{D1}$										
$I_{D2}$										
$\Delta I_{D1} = I_{D1} - I_{MC}$										
$\Delta I_{D2} = I_{D2} - I_{MC}$										

En la tabla ¿ cuántos y cuáles voltajes diferenciales diferentes se usaron para excitar el circuito ?

R.- \_\_\_\_\_.

1.9 Grafique el voltaje en modo diferencial en función de las corrientes en los drenadores

$$V_{MD} \text{ vs } I_{D1}, I_{D2}. \text{ Compare con la gráfica del punto 1.5.}$$

1.10 Calcule la ganancia en modo diferencial para cada una de las excitaciones encontradas en el punto anterior.

$V_{MD}$					
----------	--	--	--	--	--

$\frac{V_{Sal}}{V_{MD}}$					
--------------------------	--	--	--	--	--

Compare con la tabla del punto 1.6.

R.- \_\_\_\_\_.

1.11 Grafique el voltaje en modo diferencial vs la ganancia en modo diferencial ( $V_{MD}$  vs  $A_{MD}$ ).

Compare con la gráfica del punto 1.7.

R.- \_\_\_\_\_.

1.12 ¿Qué puede concluir con respecto al comportamiento del par diferencial ante cualquier tipo de excitación ?

## PARTE 2: DISEÑO DE UN PAR DIFERENCIAL MOSFET

El amplificador diferencial de la figura utiliza un resistor  $R_{ss}$  de  $1\text{ K}\Omega$  para establecer una corriente de polarización de  $1\text{ mA}$  a través de este. Observe que este amplificador usa una sola fuente de alimentación de  $5\text{ V}$ . Y por tanto necesita un voltaje de modo común de corriente continua  $V_{MC}$ .

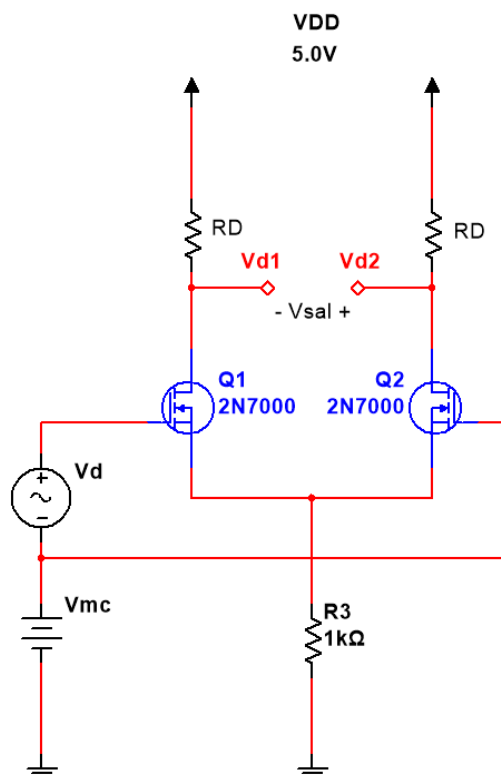


Figura L0.2: Diseño de par diferencial Mosfet

Para el circuito mostrado en la figura, encuentre lo siguiente.

- 2.1. Utilizando la hoja de características del transistor encuentre los valores de  $V_t$  y  $K_n$ .

$$V_t = \underline{\hspace{2cm}}. \quad K_n = \underline{\hspace{2cm}}.$$

Nota: si no encuentra el valor específico de  $K_n$ , derívelo utilizando las gráficas en la hoja de características.

- 2.2. Encuentre el valor requerido de  $V_{mc}$  para la corriente de polarización de  $1\text{ mA}$ .

$$V_{MC} = \underline{\hspace{2cm}}.$$

- 2.3. Encuentre el valor requerido de  $R_D$  para obtener una ganancia diferencial  $A_d$  de  $8\text{ V/V}$ .

$$R_D = \underline{\hspace{2cm}}.$$

- 2.4. Encuentre la ganancia en modo común  $\Delta V_{D1}/\Delta V_{MC}$ .

$$\Delta V_{D1}/\Delta V_{MC} = \underline{\hspace{2cm}}.$$

2.5. Usando el valor encontrado en el punto anterior, determinar el valor de  $V_{MC}$  que hace que los transistores entren en la región de triodo. Muestre el cálculo realizado.

$$V_{MC} = \underline{\hspace{2cm}}.$$

2.6. Simule el circuito diseñado y rellene la siguiente tabla.

$V_1 = V_2 = V_{MC}$	1	1.5	2	2.25	2.5	2.75	3	3.25	3.5	4	4.5	5
$V_{GS1} = V_{GS2}$												
$I_{R3}$												
$V_S$												
$V_{D2} = V_{D1}$												
$V_{GD1} = V_{GD2}$												

2.7. Arme el circuito y rellene una tabla idéntica a la del punto 2.6, con los valores experimentales encontrados, al armar el circuito.

2.8. Grafique el voltaje en modo común, para los datos simulados y experimentales, en función de la corriente de polarización  $V_{MC}$  vs  $I_{R3}$ . Determine a partir de los mismos, el valor del  $V_{MC}$  al que la corriente de polarización es de 1 mA y el porcentaje de error respecto al valor calculado en el punto 2.2.

2.8.1. Simulado

$$V_{MC} = \underline{\hspace{2cm}}. \quad \% \text{ err} = \underline{\hspace{2cm}}.$$

2.8.2. Experimental

$$V_{MC} = \underline{\hspace{2cm}}. \quad \% \text{ err} = \underline{\hspace{2cm}}.$$

¿ A qué se deben las diferencias ?

2.9. Para que  $V_{MC}$  se entra en la región de triodo. ¿Cuál es el porcentaje de error en referencia al valor encontrado en el punto 2.5 ?

2.9.1. Simulado

$$V_{MC} = \underline{\hspace{2cm}}. \quad \% \text{ err} = \underline{\hspace{2cm}}.$$

2.9.2. Experimental

¿ A qué se deben las diferencias ?

2.10. Utilizando el valor de  $V_{MC}$  experimental encontrado en el punto 2.8, simule y rellene la siguiente tabla, utilizando un  $V_d$  con frecuencia de 1 KHz, con las amplitudes indicadas en la tabla.

$V_{MD}$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
$A_{MD} = \frac{V_{Sal}}{V_{MD}}$										

Grafique el voltaje en modo diferencial vs la ganancia en modo diferencial ( $V_{MD}$  vs  $A_{MD}$ ).

- 2.11. ¿ Encuentre y compruebe experimentalmente el valor de  $R_D$  necesario para tener la ganancia de 8 V/V en modo diferencial ? ¿ Cuál es el porcentaje de error en referencia al valor encontrado en el punto 2.3 ?

$$R_D = \text{_____} . \quad \% \text{ err} = \text{_____} .$$

¿ A qué se deben las diferencias ?

