

# Electrónica Fundamental

## Práctico 6 Transistores - Segunda Parte

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 familiarizar al estudiante con la operación del transistor MOS como amplificador. En particular se utilizará el análisis de circuitos MOS en pequeña señal y las distintas configuraciones básicas en las que el transistor MOS opera como amplificador. Además en la parte final del práctico se presentan ejercicios para entender el funcionamiento del transistor bipolar en continua y sus diferencias con la operación del transistor MOS.

En todos los ejercicios, a menos que se establezca lo contrario, asuma que:

- $\mu_n C_{ox} = 200\mu A/V^2$ ,  $\mu_p C_{ox} = 100\mu A/V^2$
- $V_{t0n} = |V_{t0p}| = 0.6V$
- $V_{An} = V_{Ap} = \infty$
- $\delta_n = \delta_p = 0$

### Ejercicio 1

En la etapa Source-Común de la Figura 1 el transistor M1 tiene  $W/L = 30/0.5$  y  $V_A$  se puede considerar infinito.

- Calcule la tensión de gate para que la corriente de drain  $I_D = 0.5mA$  (Verifique que M1 opera en saturación).
- Calcule la ganancia  $v_o/v_i$  del circuito.
- Con la tensión de gate calculada, ¿cuánto se puede aumentar  $W/L$  sin que M1 salga de saturación? ¿Cuál es la máxima ganancia en tensión que puede lograrse mientras se aumenta  $W/L$ ?

### Ejercicio 2

Se quiere obtener una ganancia  $|v_o/v_i| = 15V/V$  en la etapa Source-Común de la Figura 2 utilizando una corriente de polarización de  $0.5mA$  y considerando  $\delta = 0.3$ .

- Teniendo en cuenta que  $V_{A1} = 8V$  y  $V_{A2} = 20V$ , determine el  $(W/L)_2$  necesario.

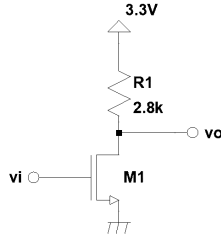


Figura 1

- (b) Si  $(W/L)_1 = 20/0.35$ , ¿cuál es la tensión  $V_B$  necesaria?
- (c) Si el ancho y el largo de ambos transistores se duplica, ¿cómo cambia la ganancia? Y si además ahora  $V_B$  aumenta de forma tal que la corriente de polarización se duplica, ¿cómo cambia la ganancia?

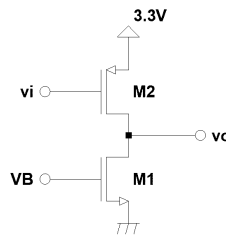


Figura 2

### Ejercicio 3

El circuito de la Figura 3 es una etapa Source-Común con resistencia de degeneración de Source. Como el transistor no tiene el source conectado al sustrato (considere  $\delta = 0.2$ ) podemos analizar también el funcionamiento en este mismo circuito de un “seguidor de fuente” (Source-Follower), viendo el efecto en la ganancia de la señal source-sustrato a través de  $g_{ms}$ . Note que la polarización queda determinada por la tensión DC en el gate del transistor.

- (a) Determine una expresión para la tensión de gate necesaria, en función de la corriente  $I_D$  y los parámetros del problema.
- (b) Determine la expresión para las ganancias  $v_d/v_i$  y  $v_s/v_i$  en función de los parámetros de pequeña señal del transistor y los parámetros del problema.
- (c) Si  $R_S = 200\Omega$  y  $R_D = 1k\Omega$  y el transistor tiene un  $W/L = 30$  ¿cuál debe ser la corriente  $I_D$  necesaria para obtener una ganancia  $|v_d/v_i| = 2V/V$ ?
- (d) ¿Cuál es la tensión de gate necesaria para esa corriente? ¿Cuánto vale  $v_s/v_i$ ?
- (e) ¿Cuál es la excursión a la salida  $v_d$ ?

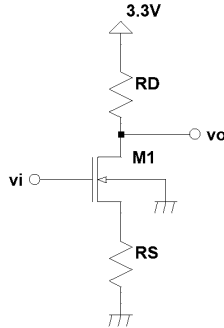


Figura 3

#### Ejercicio 4 (8.70)

El objetivo de este problema es introducir a los estudiantes a la configuración cascode. Esta configuración se utiliza para aumentar la resistencia de salida, la que en muchos casos aumenta la ganancia, además de aportar otros beneficios (ej.: mejora la respuesta en alta frecuencia). Este configuración se compone de dos transistores: el transistor de entrada (MA) en configuración source común, en serie con un transistor en gate común (MB, con  $V_{BIAS}$  constante).

En este ejercicio, vamos a mostrar las ventajas de la configuración cascode frente a utilizar un solo transistor más largo. Considere que, excepto en las diferencias en el largo que se indican, los transistores del problema son idénticos:  $W$ ,  $V_{t0}$ ,  $\delta$  y tensión de Early relativa al largo del transistor  $V'_A$  ( $V/\mu m$ ).

- (a) El transistor de la Figura 4.2 es un amplificador Source-Común donde el largo  $L$  se multiplicó por 4 con respecto al amplificador original de la Figura 4.1. Muestre que  $V_{Dsat}$  es el doble,  $g_m$  es la mitad y la ganancia  $v_o/v_i$  es el doble que en el circuito original.
- (b) Compare ahora esos resultados con el circuito cascode de la Figura 4.3 que opera con la misma corriente de polarización. Para calcular la ganancia vamos a hacer un equivalente Norton del circuito:
  - i. Mostrar que la transconductancia de cortocircuito ( $g_m$ )<sup>1</sup> de el amplificador cascode es igual a el  $g_m$  del transistor MA y por lo tanto es la misma que la del amplificador de la Figura 4.1.
  - ii. Calcular la resistencia de salida  $R_{out}$  del circuito. ¿Qué condición se debe cumplir para que la misma sea mucho mayor que la del amplificador de la Figura 4.1?
  - iii. Calcule la ganancia. ¿Cómo se compara con la del amplificador de la Figura 4.1?
- (c) Determine  $V_{BIAS}$  para que la tensión mínima de operación a la salida, manteniendo a MA y a MB en saturación, sea igual al  $V_{Dsat}$  del amplificador de la Figura 4.2

<sup>1</sup>La transconductancia de cortocircuito es la relación entre la corriente de salida y el voltaje de entrada cuando el voltaje de salida está conectado a tierra.

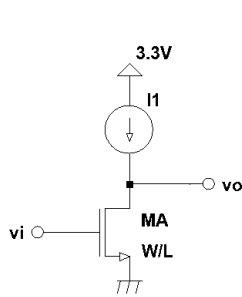


Figura 4.1

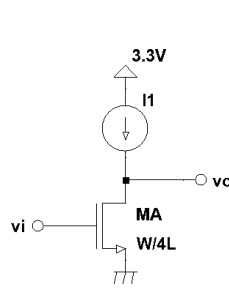


Figura 4.2

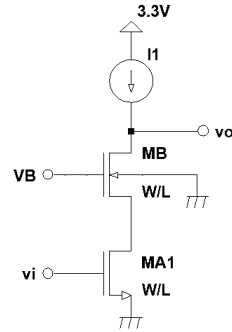


Figura 4.3

### Ejercicio 5 (7.31)

En el circuito de la Figura 5 la fuente de corriente entrega  $I_1 = 0.5mA$  y el transistor M1 tiene los siguientes datos:  $V_{t0} = 0.5V$ ,  $\beta = 4mA/V^2$  y  $V_A = 50V$

- Calcule el punto de operación del transistor y la excursión máxima a la salida.
- ¿Cuánto vale la corriente continua por  $RG$ ? ¿y la corriente en señal? ¿Cuál es la función de  $RG$ ? ¿Qué da si  $RG = 0$ ? ¿Y si  $RG = \infty$ ?
- Calcule la ganancia  $v_o/v_i$  del circuito.

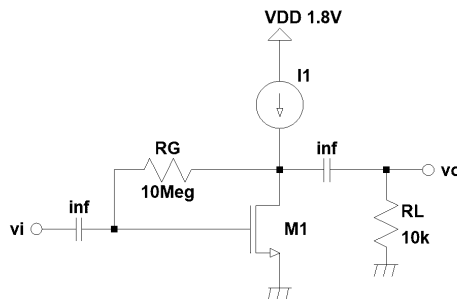


Figura 5

### Ejercicio 6

En el circuito de la Figura 6 la corriente de polarización del transistor M1 está definida por la fuente de corriente  $I_1$  independientemente de los valores de  $R1$  y  $R2$  (¿por qué?). Suponga que  $I_1 = 1mA$ ,  $R_D = 500\Omega$ ,  $C_1 = C_2 = 1\mu F$  y  $V_A = \infty$ .

- Calcule el  $(W/L)$  del transistor para que la ganancia en banda pasante sea  $5V/V$

- (b) Diseñe  $R1$  y  $R2$  para que la excursión a la salida sea  $\pm 300mV$ , pero sin que la corriente por  $R1$  supere  $0.1mA$ .
- (c) Determine la frecuencia de corte inferior del circuito.

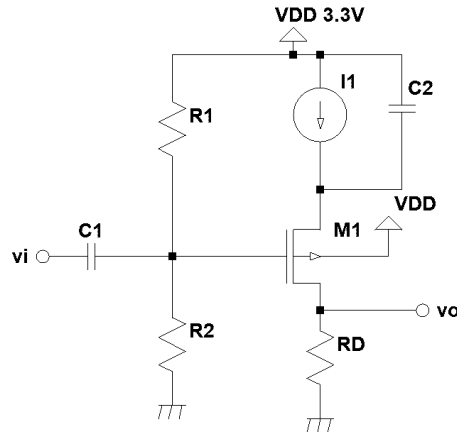


Figura 6

### Ejercicio 7

El objetivo de este problema es introducir a los estudiantes al par diferencial, uno de las configuraciones más importantes luego de las etapas básicas vistas en el curso. El circuito de la Figura 7 es una de las posibles implementaciones del mismo.

Lo usual en estos circuitos, a menos que se establezca lo contrario, es considerar que los transistores son idénticos y que las tensiones DC en los gates son iguales y tales que los transistores operan en saturación.

- (a) Determine las corrientes de polarización  $I_D$  en cada transistor. ¿Cuál es la relación entre los  $g_m$  de los transistores?
- (b) Si la amplitud de señal en  $v_1 = v_i$  y en  $v_2 = 0$ , determine la amplitud de señal en el nodo  $X$  y la ganancia  $v_o/v_i$ .
- (c) Si ahora tanto  $v_1$  como  $v_2$  tienen la misma amplitud de señal  $v_i/2$ , pero ambas señales están en contra-fase, ¿cuál es la amplitud de señal en el nodo  $X$  y la ganancia  $v_o/v_i$ ?

### Ejercicio 8

El circuito de la Figura 8 es un amplificador de 3 etapas cuya polarización se fija a través de una realimentación en continua.

Adicionalmente en la parte (c) se analiza como cambia la resistencia de entrada del circuito si está realimentación también actúa en AC.

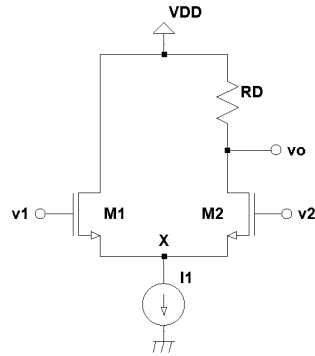


Figura 7

Los transistores de este amplificador cumplen que  $\beta_{M1i} = 4\beta_{M2i} = 1\mu A/V^2$  y  $V_{t0} = 2V$ . Además, para las dos primeras partes del ejercicio las capacidades se consideran infinitas. Calcular:

- (a) la tensión DC de la salida
- (b) la ganancia  $\frac{v_{out}}{v_{in}}$
- (c) la resistencia de entrada. Si la capacidad  $C_2 = 0$ , ¿cuál es la nueva resistencia de entrada? ¿De qué forma mejora el circuito  $C_2$ ?

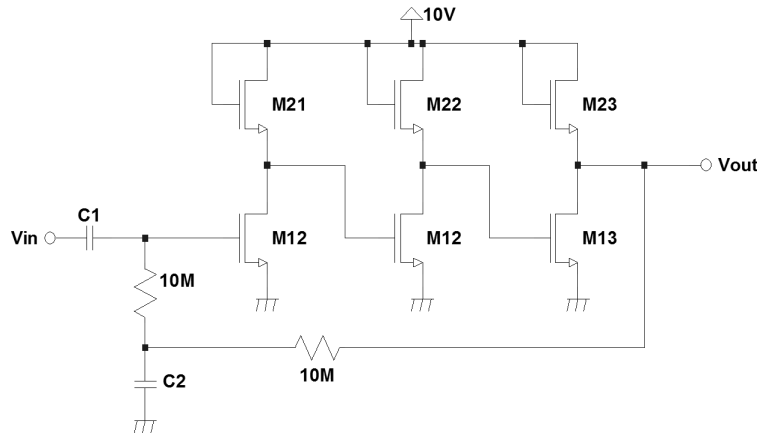


Figura 8

### Ejercicio 9

Para los circuitos de la Figura 9, hallar las tensiones y corrientes indicadas en cada caso. Considerar  $\beta = 100$  y  $|V_{BE}| = 0.7V$

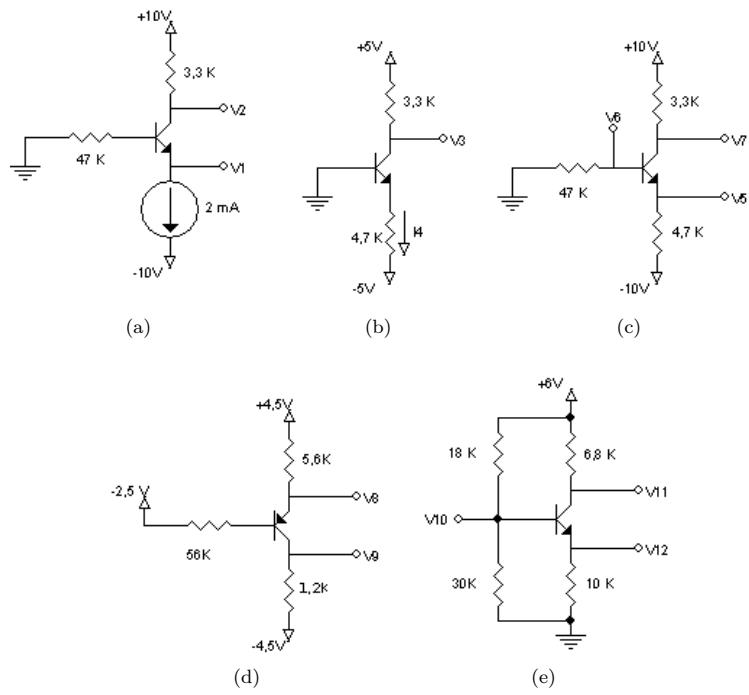


Figura 9

### Ejercicio 10

En el circuito de la Figura 10  $R_1$ ,  $R_2$  y T2 forman lo que se conoce como “Multiplicador de  $V_{BE}$ ”<sup>2</sup> ya que generan una tensión (V) proporcional al  $V_{BE}$  del transistor. Por otro lado, T1 y el resto del circuito forman una fuente de corriente DC, independiente del valor de V siempre que T1 se mantenga en zona activa. Para resolver el Ejercicio considere D1 y D2 con  $V_D = 0.7V$  y T1 y T2 con  $V_{BE} = 0.6V$  y  $\beta > 100$ . Se pide:

- Calcular V en función de  $R_1$  y  $R_2$ .
- Calcular  $R_1$  y  $R_2$  para que  $V = 10V$ .
- Elegir  $R_1$  y  $R_2$  de la serie E12 de forma de que V sea lo más próximo posible a 10V. Hallar el valor de V obtenido.

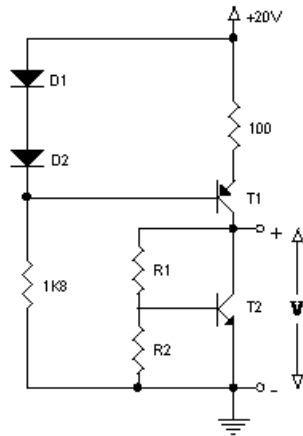


Figura 10

<sup>2</sup>Este circuito es muy utilizado en amplificadores de potencia