

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electrónica

EL-2207 Elementos Activos

Profesores: Dr. Ing. Juan José Montero Rodríguez

Dr. Ing. Alfonso Chacón Rodríguez

M.Sc. Ing. Aníbal Ruiz Barquero

Ing. Edgar Solera Bolaños

II Semestre 2019

**Tercer Examen Parcial**

**21 de noviembre de 2019**

Total de Puntos:	38
Puntos obtenidos:	
Porcentaje:	
Nota:	

Nombre: \_\_\_\_\_

Carné: \_\_\_\_\_

**Instrucciones Generales:**

- Resuelva el examen en forma ordenada y clara.
- No se aceptarán reclamos de desarrollos con lápiz, borrones o corrector de lapicero.
- Si trabaja con lápiz, debe encerrar en recuadro su respuesta final con lapicero.
- El uso de lapicero rojo **no** está permitido.
- El uso del teléfono celular no es permitido. Este tipo de dispositivos debe permanecer **totalmente apagado** durante el examen.
- No se permite el uso de calculadora programable.
- Únicamente se atenderán dudas de forma.
- El instructivo de examen debe ser devuelto junto con su solución.
- El examen es una prueba individual.
- El no cumplimiento de los puntos anteriores equivale a una nota igual a cero en el ejercicio correspondiente o en el examen.
- Esta prueba tiene una duración de 3 horas, a partir de su hora de inicio.

**Firma:** \_\_\_\_\_

Problema 1	de 10
Problema 2	de 10
Problema 3	de 10
Problema 4	de 8

# Problemas

## Problema 1 Polarización

10 Pts

Para el circuito que se muestra en la figura 1.1, encuentre la relación de tamaño  $(W/L)_1$  para que la corriente de drenador por  $M_1$  ( $I_{D1}$ ) sea igual a un  $I_1$  determinado (la solución debe expresarse en literales). Suponga que  $\lambda=0$  para  $M_1$ , y que  $V_{TH}=0.4V$ .

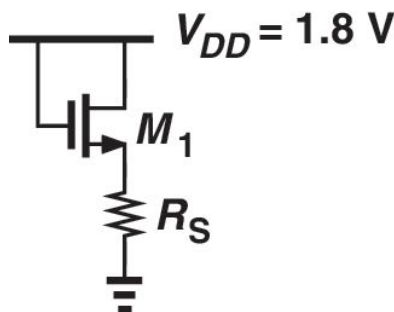
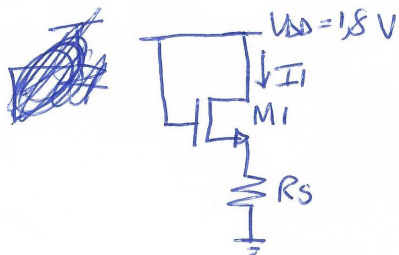


Figura 1.1: Solución de problema 1

### Solución Problema 1

Encontrar  $W/L$  para  $M_1$ , tal que ~~la~~ la corriente de polarización de drenador ( $I_D$ ) sea igual a  $I_1$ .  
Suponga que  $\lambda=0$ , y que ~~VTH=0.4V~~  $V_{TH}=0.4V$



Como  $V_{DS}=V_{GS}$  para este transistor, se cumple que  $V_{DS} > V_{GS} - V_{TH}$  siempre (y  $M_1$  está saturado)

$$I_1 = I_{D1} = I_{RS} \quad (1)$$

$$V_S = I_1 R_S \quad (2)$$

$$V_{GS} = V_{DD} - I_1 R_S \quad (3)$$

por tanto

$$\frac{k'_n W}{2 L} (V_{DD} - I_1 R_S - V_{TH})^2 = I_1$$

$$\boxed{y \left| \frac{W}{L} = \frac{2 I_1}{k'_n (V_{DD} - I_1 R_S - V_{TH})^2} \right|}$$

Figura 1.2: Solución de problema 1

**Problema 2** Pequeña señal**10 Pts**

El circuito mostrado en la Figura 2 se utiliza como amplificador de pequeña señal. Para la solución de este problema considere  $\lambda \neq 0$ ,  $\gamma = 0$ .

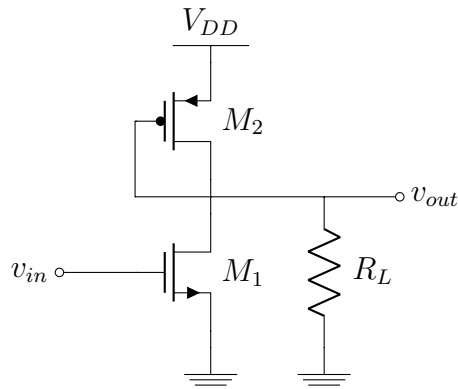


Figura 2.1: Circuito para el problema 2.

2.1. Dibuje el circuito equivalente de pequeña señal.

**4 Pts**

2.2. Obtenga una expresión algebraica para la ganancia de tensión  $A_v$ .

**3 Pts**

2.3. Si se conoce que  $g_{m1} = g_{m2}$ , encuentre el valor numérico de  $A_v$ . Para este punto puede suponer que  $r_o \gg 1/g_m$  y que  $R_L$  es muy alta en comparación con  $1/g_m$ .

**3 Pts***Solución Problema 2*

2.1. El circuito equivalente de pequeña señal:

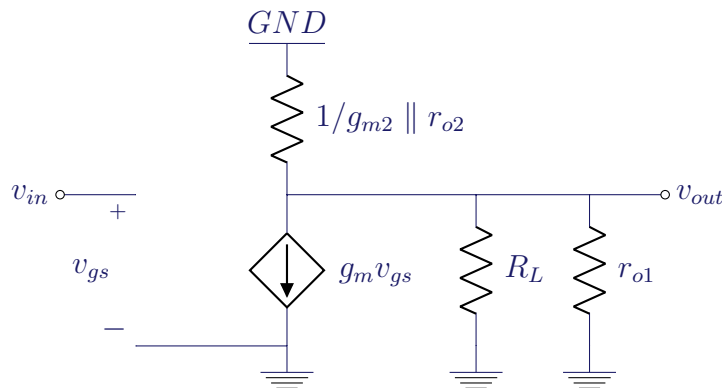


Figura 2.2: Solución para el problema 2.

2.2. Resolviendo el modelo (LCK en el nodo de salida) se obtiene:

$$v_{out} = -g_{m1}v_{gs} \times (R_L \parallel r_{o1} \parallel r_{o2} \parallel \frac{1}{g_{m2}})$$

Con  $v_{gs} = v_{in}$ :

$$v_{out} = -g_{m1}v_{in} \times (R_L \parallel r_{o1} \parallel r_{o2} \parallel \frac{1}{g_{m2}})$$

$$A_v = -g_{m1} \times (R_L \parallel r_{o1} \parallel r_{o2} \parallel \frac{1}{g_{m2}})$$

2.3. Aproximando la ganancia tenemos:

$$A_v \approx -g_{m1} \times \left( \frac{1}{g_{m2}} \right)$$

$$A_v \approx -250 \text{ mS} \times \left( \frac{1}{250 \text{ mS}} \right)$$

$$\boxed{A_v = -1}$$

Considere el circuito mostrado en la figura 3.1. Es conocido que dicho circuito funciona como circuito digital inversor.

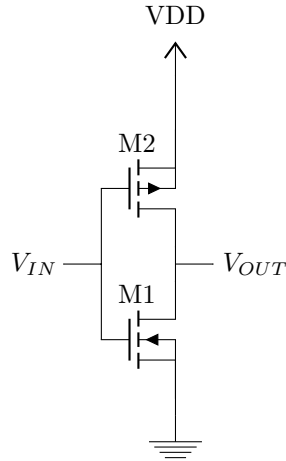


Figura 3.1: Circuito para el problema 3.

Considerando que:

- Las características del transistor N son:

$$C_{OX1} = C'_{OX1}WL = 4.8 \text{ fF} \quad R_{N1} = R'_{N1} \frac{L}{W} = 12 \text{ k}\Omega \frac{L}{W}$$

- 3.1. Complete correctamente la expresión: “El transistor MOSFET de canal \_\_\_\_\_ es más eficiente transfiriendo un 1 lógico, mientras que el transistor de canal \_\_\_\_\_ es mas eficiente transfiriendo un 0 lógico”. 1 Pt
- 3.2. Complete correctamente la expresión: “La resistencia de un MOSFET de canal \_\_\_\_\_ es tres veces más pequeña que la de un MOSFET de canal \_\_\_\_\_”. 1 Pt
- 3.3. Dibuje el circuito equivalente del inversor de la figura 3.1, considerando el modelo digital del transistor MOSFET. 3 Pts
- 3.4. Determine los tiempos de retraso de propagación en la salida del inversor  $t_{PLH}$  y  $t_{PHL}$  Considerando un  $C_{OX1} = C_{OX2}$ ,  $W_1 = 3\mu m$  y  $L_1 = 2\mu m$ . 2 Pts
- 3.5. Dibuje el gráfico Tensión vs Tiempo, donde superponga las señales de entrada ( $V_{IN}$ ) y salida ( $V_{OUT}$ ) por al menos 5 ns. Considere un cambio en la entrada de 0V a VDD en  $t = 1 \text{ ns}$ . Dicha entrada perdura en el valor de VDD durante un lapso de 0.5 ns. Señale correctamente los tiempos  $t_{PLH}$  y  $t_{PHL}$  en la gráfica resultante. Rotule de forma adecuada tanto las señales, como los ejes. 3 Pts
- 3.6. Suponga que se conecta un condensador de carga y se triplica el  $W_2$ . Determine los tiempos de retraso de propagación en la salida del inversor  $t_{PLH}$  y  $t_{PHL}$ . Considerando que ahora  $C_{OX2} = C_{OX1} * 3 = 14.4 \text{ fF}$ ,  $W_2 = 3 * W_1 = 9\mu m$  y  $L_1 = 2\mu m$  y una capacitancia de carga  $C_L = 100 \text{ fF}$  (Extra). 3 Pts

#### Solución Problema 3

- 3.1. Complete correctamente la expresión: El transistor MOSFET de canal \_\_\_\_\_ P es más eficiente transfiriendo un 1 lógico, mientras que el transistor de canal \_\_\_\_\_ N es mas eficiente transfiriendo un 0 lógico. 1 Pt

- 3.2. Complete correctamente la expresión: La resistencia de un MOSFET de canal \_\_\_\_\_ N es aproximadamente tres veces más pequeña que la de un MOSFET de canal \_\_\_\_\_ P. 1 Pt
- 3.3. Dibuje el circuito equivalente del inversor de la figura 3.1, considerando el modelo digital del Mosfet. 3 Pts

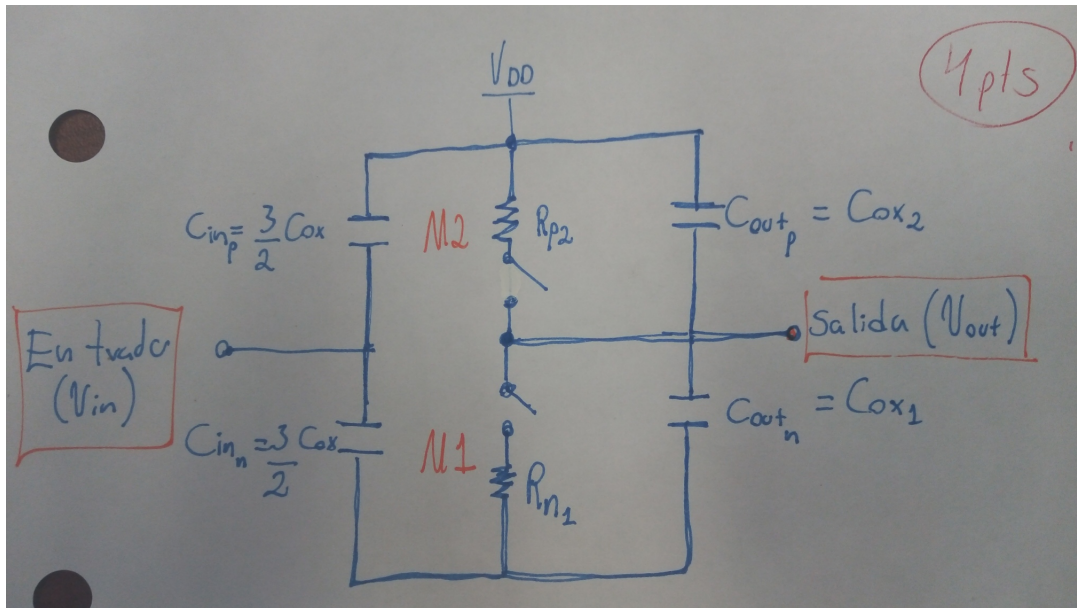


Figura 3.2: Respues problema 33

- 3.4. Determine los tiempos de retraso de propagación en la salida del inversor  $t_{PLH}$  y  $t_{PHL}$  Considerando un  $C_{OX1} = C_{OX2}$ ,  $W_1 = 3\mu m$  y  $L_1 = 2\mu m$ . 2 Pts

$$t_{PLH} = 0.7 * R_{p2} * C_{out} = R_{p2} * (C_{outn} + C_{outp}) = 0.7 * 24k\Omega * 2 * (4.8fF) = 161ps$$

$$t_{PHL} = 0.7 * R_{n1} * C_{out} = R_{n1} * (C_{outn} + C_{outp}) = 0.7 * 8k\Omega * 2 * (4.8fF) = 53.76ps$$

- 3.5. Dibuje el gráfico Tensión vs Tiempo, donde superponga las señales de entrada y salida por al menos 5 ns. Considere un cambio en la entrada de 0V a VDD en  $t = 1$  ns. Dicha entrada perdura en el valor de VDD durante un lapso de 0.5 ns. Señale correctamente los tiempos  $t_{PLH}$  y  $t_{PHL}$  en la gráfica resultante. 3 Pts

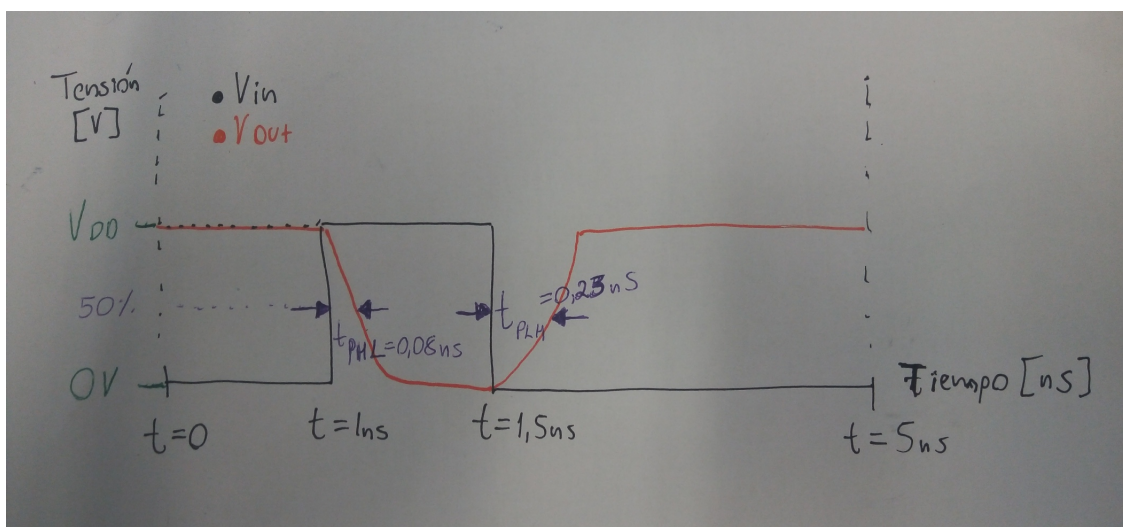


Figura 3.3: Respues problema 35

3.6. Suponga que se conecta un condensador de carga y se triplica el  $W_2$ . Determine los tiempos de retraso de propagación en la salida del inversor  $t_{PLH}$  y  $t_{PHL}$ . Considerando que ahora  $C_{OX_2} = C_{OX_1} * 3 = 14.4fF$ ,  $W_2 = 3 * W_1 = 9\mu m$  y  $L_1 = 2\mu m$  y una capacitancia de carga  $C_L = 100fF$  (Extra). 5 Pts

$$t_{PLH} = 0.7 * R_{p2} * C_{tot} = R_{p2} * (C_{outn} + C_{outp} + C_{carga})$$

$$t_{PLH} = 0.7 * 8k\Omega * (4.8fF + 14.4fF + 100fF) = 0.7 * 8k\Omega * (119.4fF) = 667.1ps$$

Como:

$$R_{n1} = 8k\Omega$$

y

$$R_{p2} = 24k\Omega / 3 = 8k\Omega$$

Entonces:

$$t_{PLH} = t_{PHL}$$

**Problema 4** Compuertas lógicas

**8 Pts**

Usando el circuito mostrado en la figura 4.1, rellene la tabla 4.1 con los valores esperados para Y.

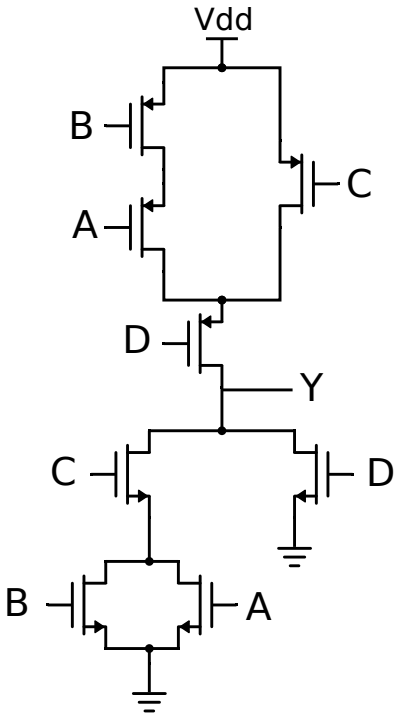


Figura 4.1: Solución de problema 4

Tabla 4.1: Tabla de Verdad de la compuerta

A	B	C	D	Y
0	0	0	0	
0	0	0	1	
0	0	1	0	
0	0	1	1	
0	1	0	0	
0	1	0	1	
0	1	1	0	
0	1	1	1	
1	0	0	0	
1	0	0	1	
1	0	1	0	
1	0	1	1	
1	1	0	0	
1	1	0	1	
1	1	1	0	
1	1	1	1	

*Solución Problema 4*  
*0.5pts por línea*



Tabla 4.2: Tabla de Verdad de la compuerta

A	B	C	D	Y
0	0	0	0	1
0	0	0	1	0
0	0	1	0	1
0	0	1	1	0
0	1	0	0	1
0	1	0	1	0
0	1	1	0	0
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	0
1	0	1	1	0
1	1	0	0	1
1	1	0	1	0
1	1	1	0	0
1	1	1	1	0