

**Instituto Tecnológico de Massachussets**  
**Departamento de Ingeniería Eléctrica e Informática**

**6.002 – Circuitos Electrónicos**  
**Otoño 2000**

**Práctica 1: Equivalentes Thevenin / Norton y puertas lógicas**  
**Boletín F00-018**

### Introducción

En la primera parte de la práctica se estudia la caracterización de una red mediante sus equivalentes Thevenin y Norton y en la segunda, el comportamiento estático de las puertas lógicas construidas con amplificadores MOSFET de canal N y resistencias. Deberá completar los ejercicios de la pre-práctica en su cuaderno de prácticas antes de asistir al laboratorio. A continuación, realice los ejercicios de laboratorio entre el 25 y el 29 de septiembre, y una vez terminados, entréguelos al TA para que los compruebe y firme el cuaderno de prácticas. Por último, complete los ejercicios post-práctica en su cuaderno y entréguelo en la clase de repaso del viernes 6 de octubre.

### Ejercicios pre-práctica

En los ejercicios pre-práctica 1-1 y 1-2 se estudia la caracterización de una red mediante sus equivalentes Thevenin y Norton, y en los ejercicios pre-práctica 1-3 a 1-5, el comportamiento estático de puertas lógicas.

- (1-1) Determine los equivalentes Thevenin y Norton de la red que se muestra en la figura 1 como se observa en su puerto.

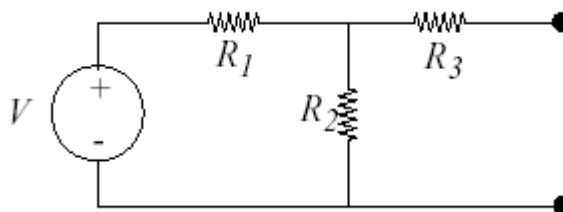


Figura 1: red fuente-resistencia para los ejercicios pre-práctica 1-1 y 1-2.

- (1-2) Evalúe los equivalentes Thevenin y Norton de la red para los valores siguientes:  $V = 5$  V;  $R_1 = 50 \Omega$ ;  $R_2 = 2,2 \text{ k}\Omega$ ;  $R_3 = 1,5 \text{ k}\Omega$ .
- (1-3) En la figura 2 se muestra una puerta NOT, o inversor, una puerta NOR y una puerta NAND construidas a partir de un MOSFET de canal N y resistencias de  $1 \text{ k}\Omega$ . En la figura también se muestra un modelo de resistencia-conmutador para el MOSFET de canal N. Utilice el modelo de resistencia-conmutador y calcule  $v_{\text{OUT}}$  para las tres puertas. Al hacerlo, tenga en cuenta todas las combinaciones de tensiones de entrada, ya que una tensión de entrada puede estar por encima o por debajo de la tensión de

umbral  $V_T$  del MOSFET. En cada caso, evalúe  $v_{OUT}$  suponiendo que  $R_{DS-ON} = 4\Omega$ . Resuma en una tabla los resultados obtenidos para cada puerta.

- (1-4) En la figura 3 se muestra un circuito de lógica combinatoria. Determine la tabla de verdad de entrada y de salida para dicho circuito.
- (1-5) Dibuje el diagrama de circuito para el circuito de lógica combinatoria de la figura 3 utilizando las puertas que se indican en la figura 2.

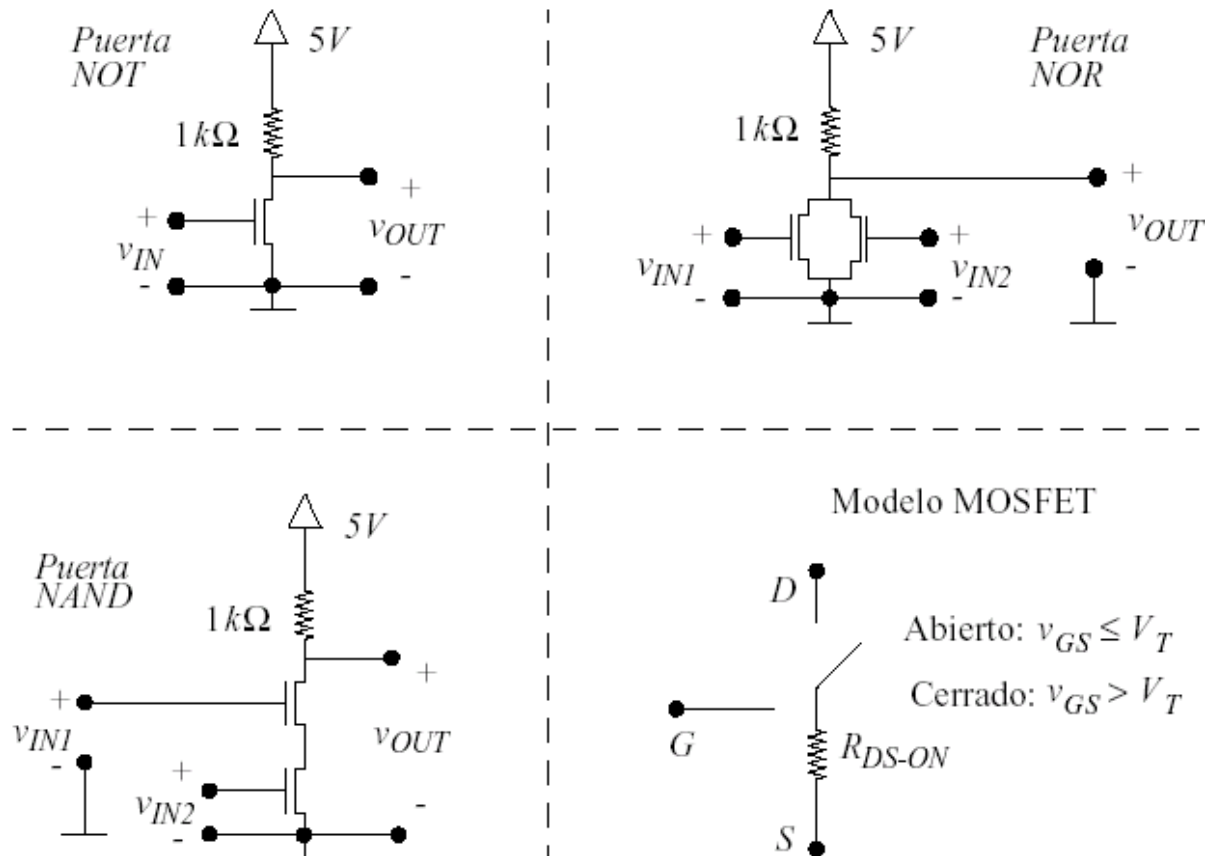


Figura 2: una puerta NOT, una puerta NOR, una puerta NAND y el modelo MOSFET de resistencia-conmutador.

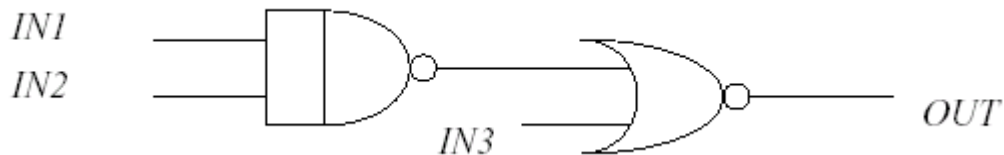


Figura 3: circuito de lógica combinatoria para los ejercicios pre-práctica 1-4 y 1-5.

### Ejercicios de laboratorio

En los ejercicios de laboratorio 1-1 al 1-3 se estudia la caracterización de una red mediante sus equivalentes Thevenin y Norton, y en los ejercicios 1-4 a 1-9, el comportamiento estático de puertas lógicas.

- (1-1) Construya la red de la figura 4. No obstante, antes de conectar el generador de señales al resto de la red, establezca su tensión de salida en una constante de 5 V y compruebe esta salida con el multímetro. Observe que es la misma red de la figura 1, en la que el generador de funciones hace las veces de fuente de tensión y de resistencia  $R_1$ . *Nota: el generador de funciones tiene dos modos para la fuente de resistencia,  $50 \Omega$  (50 ohmios) y High Z (Z alto). Asegúrese de ajustar su generador de funciones en el modo High Z. Pulse [Shift] y, a continuación, [Enter] para acceder a los menús. Utilice el marcador y cambie al menú D, que es el SYS MENU (menú de sistema). A continuación, pulse dos veces la tecla de flecha. Utilice el marcador para cambiar a HIGH Z y luego pulse [Enter] para guardar.*

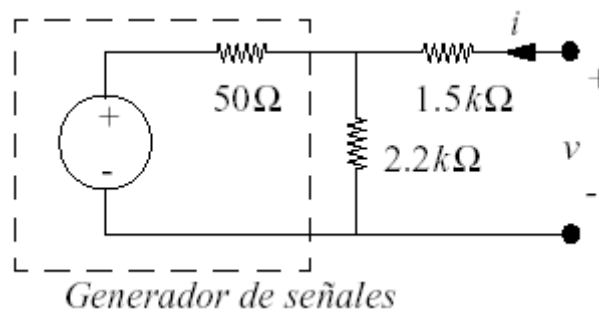


Figura 4: red experimental resistencia-fuente.

- (1-2) Utilice el multímetro para medir la tensión de circuito abierto y la corriente de cortocircuito de la red. Observe que el multímetro es un circuito abierto cuando se utiliza como voltímetro y casi un cortocircuito cuando se utiliza como amperímetro. Por lo tanto, la conexión directa del multímetro a través del puerto aplica la medida adecuada en ambos casos. Los resultados que obtenga del ejercicio pre-práctica 1-2 deberían mostrar que ambas medidas están dentro de la zona segura del multímetro.
- (1-3) Conecte una resistencia a través del puerto de la red y mida la tensión  $v$  del puerto con el multímetro. Realice este proceso con las resistencias de  $560 \Omega$ ,  $1k \Omega$  y  $2.2 k\Omega$ .

- (1-4) Construya el circuito de la figura 5, que ha sido diseñado para medir la tensión de umbral del MOSFET. Los pines asignados al MOSFET se indican en la hoja de datos adjunta. Utilice el multímetro para medir  $v_{GS}$  y el osciloscopio para medir  $v_{DS}$ , y ajuste el generador de señales para que proporcione una salida constante. Si  $v_{GS}$  tiene un valor de 0 V,  $v_{DS}$  debería tener un valor de 5 V. Aumente paulatinamente  $v_{GS}$  hasta que  $v_{DS}$  comience a caer. El valor de  $v_{GS}$  en el que sucede esto es  $V_T$ .
- (1-5) Partiendo del circuito de la figura 5, retire la resistencia de 1 k $\Omega$  y el osciloscopio del drenaje del MOSFET. Establezca  $v_{GS}$  en 5 V y mida  $R_{DS}$  con el multímetro. Esta resistencia es  $R_{DS-ON}$  para  $v_{GS} = 5$  V. Observe que el multímetro proporciona una tensión muy pequeña cuando se utiliza como ohmímetro.
- (1-6) Construya la puerta NOT de la figura 2 y conecte la entrada a un conmutador y a una resistencia de 10k $\Omega$ , tal y como se muestra en la figura 6. Mida  $v_{OUT}$  con el multímetro para ambas posiciones del conmutador, es decir, para los dos niveles lógicos de entrada de la puerta.

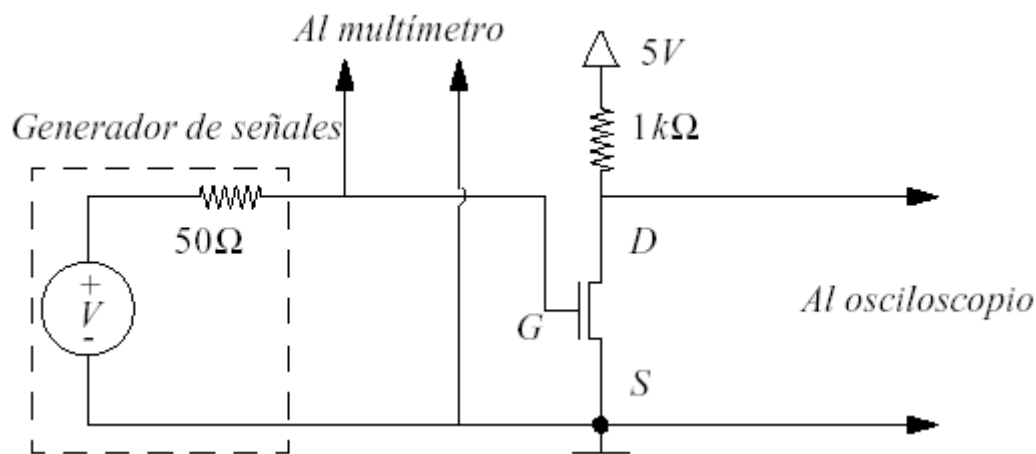


Figura 5: circuito para medir  $V_T$ .

El paquete de conmutador y la resistencia de 10 k $\Omega$  se han seleccionado para simplificar el cableado de los conmutadores con las resistencias relacionadas. En concreto, el paquete de conmutador se puede colocar en el protoboard, de forma que un lado esté en una franja de tierra común y que cada pin del otro lado esté en una ubicación distinta. A continuación, se puede insertar el paquete de resistencia en el protoboard junto con el paquete de conmutador, de forma que las resistencias distintas se conecten a cada conmutador. Por último, se puede conectar el pin común del paquete de resistencia al suministro de energía de 5 V a través de un cable sencillo.

- (1-7) Construya la puerta NOR de la figura 2. Conecte las entradas de la puerta NOT de la figura 6 a la puerta NOR, a los conmutadores y a las resistencias de 10k $\Omega$ . Mida  $v_{OUT}$  con el multímetro para todas las combinaciones de posiciones de conmutador, es decir, para todas las combinaciones de niveles de entrada lógica a la puerta. *Guarde la puerta NOR para el ejercicio de laboratorio 1-9.*
- (1-8) Repita el ejercicios de laboratorio 1-7 para la puerta NAND. *Guarde la puerta NAND para el ejercicio de laboratorio 1-9.*

- (1-9) Utilice las puertas NOR y NAND para poner en práctica el circuito de lógica combinatoria de la figura 6, tal y como se explica en el ejercicio pre-práctica 1-5. Conecte cada una de las salidas a un conmutador y a una resistencia, al igual que en los ejercicios de laboratorio 1-6 a 1-9. Cambie los ajustes del conmutador de entrada y mida la tensión de entrada con el multímetro para demostrar que el circuito lógico funciona correctamente.

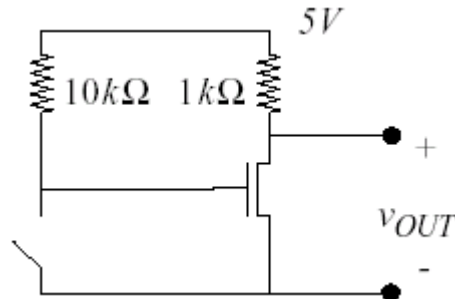


Figura 6: puerta NOT experimental.

### Ejercicios post-práctica

En los ejercicios post-práctica 1-1 a 1-3 se estudia la caracterización de una red mediante sus equivalentes Thevenin y Norton, y en los ejercicios 1-4 a 1-5, el comportamiento estático de los MOSFET y las puertas lógicas.

- (1-1) Consulte sus mediciones del ejercicio de laboratorio 1-2. Observe que estas mediciones son la tensión del equivalente Thevenin y la corriente del equivalente Norton de la red de la figura 4. Calcule la resistencia equivalente Thevenin / Norton de la red a partir de estas mediciones. Compare los parámetros experimentales Thevenin / Norton con sus valores correspondientes del ejercicio pre-práctica 1-2 y explique cualquier discrepancia. Sugerencia: tenga en cuenta el error de medición y la variación de resistencia.
- (1-2) Consulte las mediciones obtenidas en el ejercicio de laboratorio 1-3. Calcule la correspondiente corriente de puerto  $i$  para cada combinación de medición de resistencia y de tensión.
- (1-3) Utilice la tensión de circuito abierto y la corriente de cortocircuito medidas durante el ejercicio de laboratorio 1-2 para realizar el gráfico de la relación  $i-v$  para la red. Además, trace en dicho gráfico los datos  $i-v$  obtenidos después de combinar las tensiones medidas durante el ejercicio de laboratorio 1-3 y las corrientes calculadas en el ejercicio post-práctica 1-2. Explique las discrepancias entre los datos  $i-v$  medidos y la relación  $i-v$  obtenida de los parámetros Thevenin / Norton.
- (1-4) Consulte la hoja de datos del MOSFET y determine  $R_{DS-ON}$  y  $V_T$ , respectivamente. Compare estos valores con los medidos durante los ejercicios de laboratorio 1-5 y 1-4, respectivamente.
- (1-5) Utilice el valor de  $R_{DS-ON}$  medido durante el ejercicio de laboratorio 1-5 y calcule de nuevo las tensiones de salida del ejercicio pre-práctica 1-3. Explique las discrepancias

entre las nuevas tensiones de salida y las ya calculadas durante los ejercicios de laboratorio 1-6 a 1-8.

- (1-6) Utilice los valores medidos de  $R_{DS-ON}$  y  $V_T$  del inversor que ha construido y determine los valores para  $V_{OL}$ ,  $V_{IL}$ ,  $V_{OH}$  y  $V_{IH}$  con los que se obtienen los márgenes *simétricos* de ruido. (Véase la sección 7.6 de página 248 de los apuntes de clase. La figura 7.33 de los apuntes tiene una errata: el valor de  $V_{IH}$  en la figura debería indicar  $4 + V_S R_{ON} / (R_{ON} + R_L)$ ).