

## Experimento 7:

### Transistores MOSFET como conmutadores

#### I Objetivo General

Al finalizar el experimento y su análisis, el estudiante estará en capacidad de describir la operación y ventajas de los circuitos de conmutación CMOS.

#### II Objetivo Específicos

Explicar las ventajas de uso de los circuitos CMOS como conmutadores en compuertas lógicas e inversores.

#### III Cuestionario Previo

1. Encuentre el significado de las siglas CMOS.
2. Investigue sobre el efecto de las cargas estáticas en la operación de los dispositivos CMOS
3. Investigue cómo se mide la curva característica de transferencia de tensión de un circuito inversor digital.
4. Indique qué representa la curva característica de transferencia de tensión de un circuito inversor digital.
5. Indique cuál es la forma esperada de la curva de transferencia de tensión de un inversor digital.
6. Investigue cómo se calcula la potencia disipada por un circuito conmutador, y de qué parámetros depende.
7. Calcule, para los circuitos inversores mostrados en las figuras 1a, 1b y 2 la corriente para el estado lógico "0" y "1" en la entrada, y la corriente promedio consumida por cada uno de ellos operando como inversores con un ciclo de trabajo del 50% y alimentados con +5 V.
8. Investigue el significado del término compuerta lógica.
9. Indique qué es una función lógica.
10. Investigue qué es una tabla de verdad.
11. Simule los tres circuitos en las figuras 1 y 2. Elija dos de ellos para evaluar en la sesión

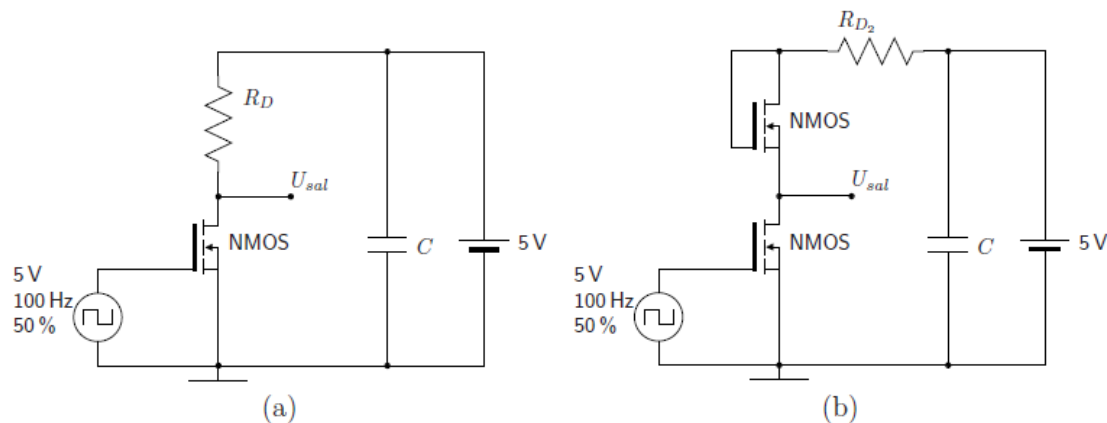
experimental.

12. Investigue como están contruidos los transistores MOS de canal N y de canal P, tanto de enriquecimiento como de empobrecimiento.
13. Lea cuidadosamente las hojas de datos de los componentes: transistores de canal N 2N7000G, transistores de canal P VP2106.

#### IV Simulaciones previas

##### Parte I: Circuitos inversores usando transistores MOSFET

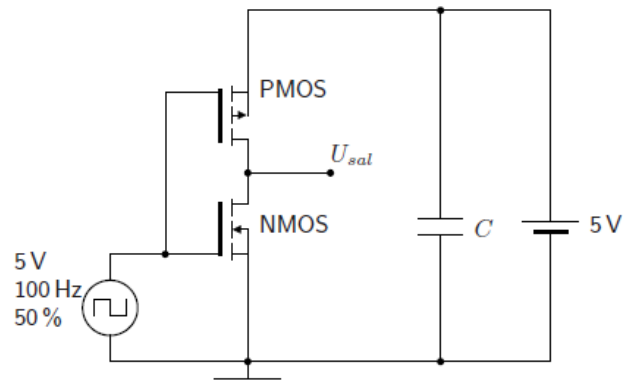
1. Simule el circuito básico de medición mostrado en la figura 1a. Ajuste la tensión de entrada para que sea una onda rectangular positiva con amplitud de 5 V.



**Figura 1:** Inversor NMOS con (a) carga resistiva  $R_D = 10\text{ k}\Omega$ , y (b) carga activa (con  $R_{D2} = 100\Omega$ ). En ambos casos la señal cuadrada de entrada tiene una frecuencia de 100 Hz, un ciclo de trabajo del 50% y oscila entre 0 V y 5 V. El condensador  $C$  es de  $0,1\text{ }\mu\text{F}$ .

2. Mida con un amperímetro, en la fuente, la corriente promedio consumida por el inversor a frecuencias de 0 Hz, 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz y 1 MHz, mientras observa las curvas de entrada y salida en el osciloscopio. Haga una tabla con sus mediciones de corriente y anote sus observaciones.
3. Mida y anote el retardo de conmutación del inversor a 1 MHz. Puede usar el multiplicador de escala  $\times 10$  en el barrido horizontal del osciloscopio para observar mejor.
4. Mida y grafique, usando una onda triangular positiva a 100 Hz la característica de transferencia de tensión del circuito inversor.
5. Modifique el circuito, reemplazando parcialmente la resistencia con un transistor NMOS (2N7000G) según la figura 1b, o totalmente con un PMOS (VP2106) según la figura

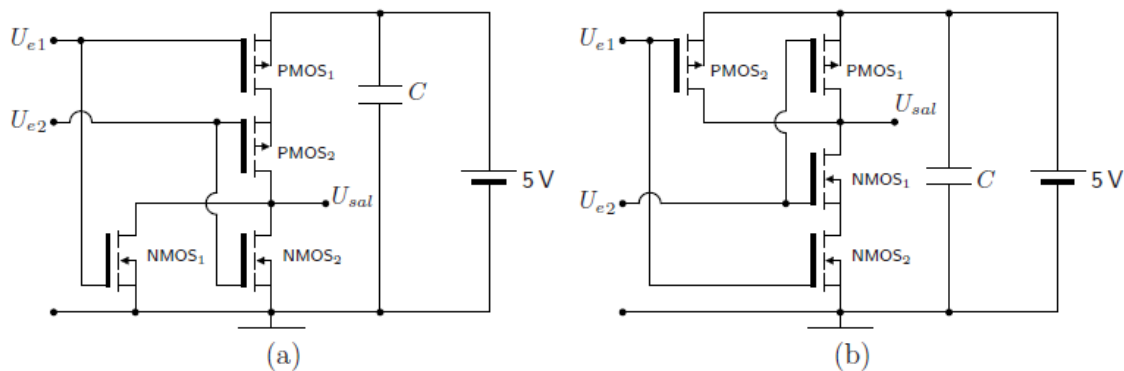
2, y repita las mediciones de los puntos 2 a 4 para cada circuito.



**Figura 2:** Inversor CMOS. La señal cuadrada de entrada tiene una frecuencia de 100 Hz, un ciclo de trabajo del 50% y oscila entre 0 V y 5 V. El condensador  $C$  es de  $0,1 \mu\text{F}$ .

## Parte II: Compuertas lógicas CMOS

1. Simule los circuitos de las compuertas mostradas en la figura 3a y 3b. El condensador de  $0,1 \mu\text{F}$  debe estar lo más cerca del circuito, sobre los rieles de alimentación. Las entradas  $U_{e1}$  y  $U_{e2}$  pueden valer 0 V y 5 V que corresponden a los estados lógicos "0" y "1" respectivamente.
2. Elabore la tabla de verdad para las compuertas lógicas de las figuras 3a y 3b y encuentre la función lógica que implementan.



**Figura 3:** Compuertas lógicas CMOS.  $C = 0,1 \mu\text{F}$ .

## V Materiales y Equipo

- 1 Fuente CD
- 1 Generador de funciones
- 1 Osciloscopio

- 1 Aislador de tierras (tapón aislador)
- 1 Multímetro digital
- 1 Placa de montaje de prototipos (protoboard) alambre aislado 26/24AWG, cables, alicates
- 3 Transistores de canal P VP2106 (Son suministrados por el profesor)
- 3 Transistores de canal N 2N7000G (Son suministrados por el profesor)
- 2 Resistencias de 5 k $\Omega$
- 1 Condensador de cerámica mayor o igual a 0,1  $\mu$ F

## VI Medición

1. Se procederá con la realización de la demostración del circuito de medición 1. Para ello, se utiliza un generador de funciones en lugar de la fuente del voltaje V2. Se utiliza una señal sinusoidal de magnitud 5Vp y una componente en la fuente V1 DC de 5V. Se procede a mostrar la variación de la corriente de base del sistema.
2. Se procederá a realizar la medición del circuito mostrado en la figura 2. Para ello, se utiliza un generador de funciones en lugar de la fuente del voltaje CD. Se utiliza una señal sinusoidal de magnitud 5Vp y una componente en la fuente V1 DC de 5V. Se procede a mostrar la variación de la corriente de base del sistema.

## VII Evaluación

1. ¿Existe una dependencia de la frecuencia en el consumo de corriente de los tres circuitos estudiados? Si la hay, ¿a partir de qué punto es notable la influencia de la frecuencia sobre el consumo de corriente?
2. ¿Cuál circuito exhibe la dependencia mayor de la frecuencia y por qué?
3. Calcule las potencias disipadas en conmutación para sus circuitos. ¿Cuál circuito consume menos potencia en conmutación y por qué?
4. ¿En cuál región y como qué funciona el transistor NMOS inferior en los tres circuitos?
5. ¿En cuál región y como qué funciona el transistor NMOS superior en los tres circuitos?
6. ¿En cuál región y como qué funciona el transistor PMOS en el circuito de la figura 2?
7. ¿Qué desventajas presentan los circuitos de las figuras 1a y 1b?
8. ¿Qué ventajas presenta el uso de transistores CMOS en circuitos conmutadores?
9. ¿Qué recomendaría usted para la operación de circuitos CMOS en equipos con baterías para alargar la vida de éstas?
10. ¿Qué representa la pendiente de la curva de transferencia de tensión y qué representa esta pendiente en el punto de inflexión?
11. ¿Cuál circuito tiene la mejor característica de transferencia de tensión a 5 V y por qué es mejor?
12. Calcule la función de transferencia de tensión a 5 V para el circuito inversor de la figura 2, usando los datos obtenidos del experimento 6, particularmente  $V_T$ , y las hojas de datos respectivas, junto con las ecuaciones típicas de los transistores MOSFET.
13. ¿Qué función lógica representan las figuras 3a y 3b? Dibuje un circuito equivalente utilizando interruptores.
14. ¿Cómo logra que los circuitos de las figuras 3a y 3b se comporten como el circuito de la figura 2?