

Práctica 1: Consumo de una compuerta CMOS

Para esta práctica se utilizará el integrado CD4007. Este integrado tiene un array de 3 transistores MOS tipo N y 3 transistores MOS tipo P (ver Hoja de Datos). Para el correcto funcionamiento de los transistores en los experimentos de este laboratorio, los pines 7 y 14 deben estar conectados SIEMPRE a TIERRA y VDD respectivamente. Esto se debe a que esas patas proveen las conexiones a sustrato de todos los transistores.

ATENCIÓN: Este integrado es MUY SENSIBLE A DESCARGAS ELECTROSTÁTICAS. Extreme los cuidados al manipularlo.

Objetivos

El objetivo de esta práctica es comprender el consumo de una compuerta CMOS básica. En particular trabajaremos sobre el inversor CMOS, el cual consiste en dos transistores MOS (uno N y otro P) conectados como se muestra en la figura 1.

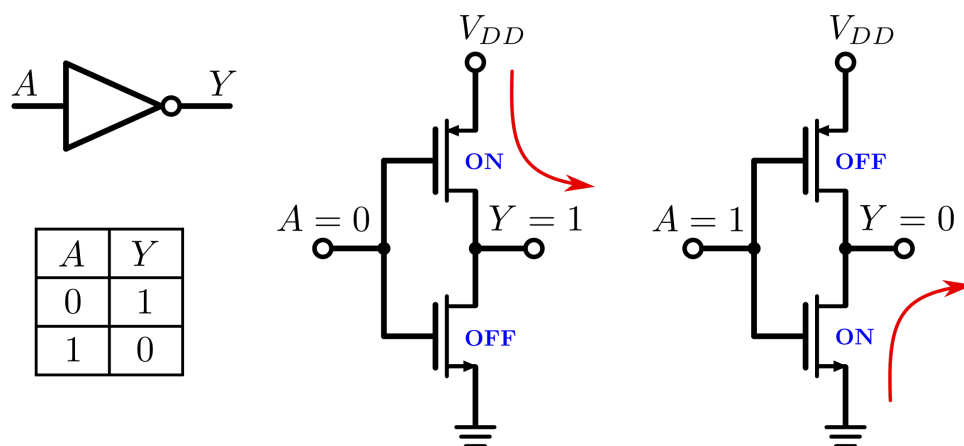


Figura 1: Esquemáticos del inversor CMOS indicando que transistores conducen en cada estado.

El trabajo consiste en implementar un inversor utilizando el integrado CD4007 y estudiar su consumo. Para ello, primero se deberán realizar simulaciones en LTSpice y verificar mediante cuentas manuales. Luego se deberá armar el circuito usando el integrado y componentes discretos y medir su consumo real en distintos escenarios.

Materiales

Para esta práctica utilizaremos los siguientes instrumentos:

- Osciloscopio digital para observar las señales de entrada y salida del circuito.
- Generador de señales para inyectar una onda cuadrada al circuito.
- Fuente de alimentación inteligente R&S NGU201 que permite alimentar el circuito y medir el consumo de corriente.

Además se utilizará el circuito integrado CD4007 (provisto por los docentes), protoboard, jumper-wires y condensadores para cargar el circuito.

Herramientas

Para utilizar el Analog Discovery 2 en un PC es necesario instalar el software Waveform. Para ello se sugiere seguir la guía provista en la página del curso.

Las simulaciones se harán en el programa LTSpice¹. El modelo de SPICE del chip CD4007 está disponible para descargar en la página del curso. También se provee un instructivo sobre cómo importar el modelo al programa LTSpice.

Parte A: Cálculo manual

Calcular el consumo de un inversor CMOS con un condensador de carga (C_L) conectado a la salida. Para ello, calcular primero el consumo dinámico mediante la siguiente fórmula:

$$P_{dyn} = \alpha f C_L V^2$$

con el valor del condensador (C_L) utilizado y las siguientes frecuencias (f): 1 kHz, 2 kHz, 5 kHz, 10 kHz, 20 kHz, 50 kHz. Realizar las cuentas para las tensiones de alimentación (V): 3.3V, 5V y 8V. En todos los casos se debe considerar $\alpha=1$.

Nota: Se sugiere utilizar valores en el entorno de 1nF para el condensador de carga.

Para el cálculo del consumo estático referirse a la hoja de datos del fabricante del chip CD4007. Verificar que para esta tecnología el consumo estático es despreciable frente al consumo dinámico.

El consumo por corriente de cortocircuito también debería ser despreciable.

Parte B: Simulación en Spice

Para la simulación en LTSpice deberán realizar el circuito que se muestra en la figura 2, implementando los tres inversores conectando adecuadamente el integrado CD4007. Notar que en dicho esquemático no está incluida la fuente de tensión de alimentación, la cual deberán conectar correctamente a los pines Vdd y Vss del CD4007.

¹ <https://www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html>

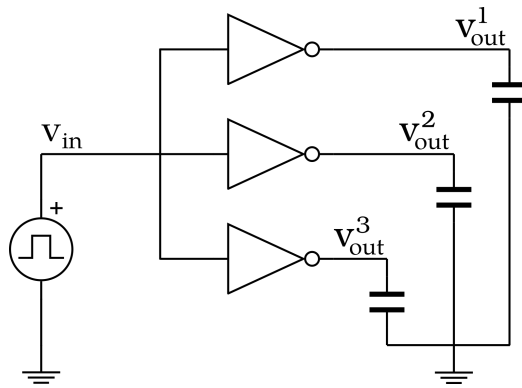


Figura 2: Esquemático del circuito a implementar (no se muestra la fuente de alimentación).

La señal de entrada V_{in} debe ser una onda cuadrada (instanciar una fuente de tensión y configurarla en PULSE) de 3.3V de amplitud (repetir para 5V y 8V). En el siguiente link se encuentra una guía del programa LTSpice: denethor.wlu.ca/ltspace/

Las frecuencias de la señal a probar son las mismas que en la parte anterior (1 kHz, 2 kHz, 5 kHz, 10 kHz, 20 kHz, 50 kHz). Lo mismo para los voltajes de alimentación: 3.3V, 5V y 8V

Para realizar la simulación deben utilizar el comando “Transcient”:

`.tran <Tprint> <Tstop> <Tstart> [<Tmaxstep> [<option> ...]`

Primero verificar que el circuito funciona correctamente graficando las salidas (V_{out}) y la entrada V_{in} .

Luego graficar la corriente entregada por la fuente para estimar el consumo total (LTSpice te permite visualizar la corriente promedio de la gráfica). Se puede estimar el consumo estático² repitiendo la simulación con V_{in} conectado a GND. Luego el consumo dinámico se puede calcular como el total menos el estático. Verificar que el factor que domina el consumo es el dinámico. Esto se debe a que es una tecnología antigua, en otros dispositivos (p.e. los FPGAs a utilizar en la siguiente práctica) no sucede lo mismo.

Explique el porqué de la forma de onda de la corriente que consume el circuito.

Comparar el resultado con las cuentas a mano realizadas en la parte A.

Parte C: Medidas de consumo real

ATENCIÓN: Esta parte la haremos en facultad con el SMU NG201 en lugar de utilizar la AD2 y un shunt.

Para las medidas de consumo se debe armar el circuito de la figura 3, utilizando el Analog Discovery 2 como fuente de tensión de alimentación, generador de señal de entrada (V_{in}) y como multímetro (u osciloscopio) para medir la caída de tensión a través del shunt.

² Puede que el modelo utilizado del integrado CD4007 no permite obtener valores realistas del consumo estático.

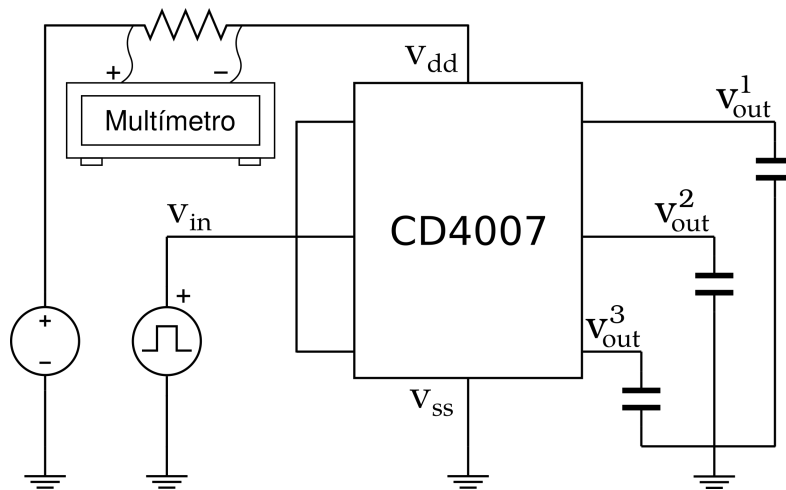


Figura 3: Setup para la medida de consumo.

Elegir el shunt adecuadamente para evitar una caída de tensión importante en V_{dd} . Se sugiere utilizar valores cercanos a 1kohm. También se sugiere utilizar un condensador de desacople entre V_{dd} y GND para absorber los picos de consumo (quitar el condensador para ver la forma de onda de la corriente consumida).

Medir el consumo de corriente para las frecuencias: 1 kHz, 2 kHz, 5 kHz, 10 kHz, 20 kHz, 50 kHz.

La corriente medida en estos experimentos será la correspondiente al consumo total (estático más dinámico). Para obtener el consumo estático se debe conectar la entrada V_{in} a tierra y medir el consumo (dado que la corriente es muy chica, dependiendo del instrumento a utilizar puede que no sea posible medirlo).

Nota: se recomienda utilizar la función promedio del osciloscopio. Una alternativa es capturar los datos crudos y procesarlos luego con otra herramienta.

Comparar la corriente medida con la obtenida mediante simulaciones y cuentas manuales.

Se deberá entregar un reporte conteniendo lo siguiente:

1. Diagrama del circuito donde se detalle cómo se realizaron las conexiones. Este diagrama debe indicar claramente qué terminales del integrado 4007 se conectaron y a dónde, y qué terminales del Analog Discovery se utilizaron y dónde.
2. Los resultados de las cuentas a mano.
3. Los resultados de las simulaciones en LTSpice.
4. Los resultados de las medidas reales.
5. Gráficas de consumo de corriente en función del tiempo para dos de los casos estudiados (indicar cuál). En las gráficas debe poder observarse los picos de consumo de corriente al conmutar el inversor. Las gráficas pueden ser capturas del osciloscopio o gráficas a partir de los datos crudos.



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Disclaimer: The European Commission support for the production of this website does not constitute an endorsement of the contents which reflects the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

Anexo 1: Test para medidas de consumo

La siguiente tabla ayudará a ordenar los resultados de los experimentos. Se da como ejemplo el experimento de medidas de consumo a distintas frecuencias.

Condiciones del experimento

Temperatura amb (°C)	
Tiempo de ejecución previo a medida* (min)	1
R shunt (ohm)	
Instrumento medida	
Caps de carga (nF) (c1/c2/c3)	
Puntas	
Capacitor filtro	

*- Tiempo necesario para que se estabilice la temperatura interna del chip.

Medidas reales

Frecuencia (kHz)	Voltaje medido shunt (mV)	Corriente (mA)	V _{DD} (V)	Horizontal range	Vertical range (ch1-ch2)
1					
2					
5					
10					
20					
50					
0**					

** - Corresponde al consumo estático