

Laboratorio #1: Características eléctricas de las compuertas lógicas

Jorge Agüero Zamora, Arturo Chinchilla Sánchez, Luis Murillo Rios
 georgeaz56@gmail.com mchinchilla11@gmail.com luismuelino@gmail.com
 Área Académica de Ingeniería en Computadores
 Instituto Tecnológico de Costa Rica

Resumen—En este laboratorio se pretende estudiar el uso de circuitos integrados de compuertas lógicas, así como de otras herramientas, dispositivos e interfaces relacionadas al correcto uso de estos chips. Se abarcan diversas características eléctricas y comportamientos referentes a diferentes familias de compuertas lógicas. Además se da especial énfasis en la importancia de las hojas de datos proporcionados por los fabricantes de estos IC, donde se detalla información necesaria para el correcto uso de los componentes.

Palabras clave—Compuerta lógica, hoja de datos, características eléctricas

I. INTRODUCCIÓN

En el presente laboratorio se trabaja con Circuitos Integrados (CI) de tecnología TTL (Transistor Transistor Logic) y CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor). Se utilizará una compuerta NAND 74LS00 y un inversor 74LS04 ambos de tecnología TTL, y una compuerta NAND 4011 de tecnología CMOS.

Se construye un circuito sencillo que sirve para hacer mediciones de sus voltajes de salida a diferentes niveles de entrada para poder comparar los valores obtenidos de estas mediciones con los valores mostrados en las hojas de datos de los componentes usados, encontrando así que los valores prácticos de un IC en funcionamiento pueden desviarse de sus valores teóricos, fenómeno que hay que tener en cuenta cuando se consideran diseños de circuitos lógicos.

Los CI de cada familia tienen características similares, aunque pueden diferir un poco entre diferentes versiones del circuito o diferentes tecnologías utilizadas para construirlo. En este caso se utilizarán dos CI de la familia TTL y uno CMOS pero ambos dispositivos TTL tienen valores nominales puesto que ambos son de la familia 74LSXX donde LS significa “Low power Schottky” por las características de fabricación de estos.

Los dispositivos CMOS, a diferencia de los TTL que solo operan a un nivel de 5V, pueden operar desde 5 hasta los 18V. Para este trabajo se utilizó una fuente de 5V por lo que se tomarán en cuenta solamente los valores nominales para este nivel de voltaje.

Las principales características eléctricas de ambas familias se resumen en el cuadro I.

Además se construye un circuito lógico en el que se deben interfazar ambas tecnologías. Para lograr la función lógica deseada con los componentes disponibles se deben hacer conexiones de TTL-CMOS tanto como de CMOS-TTL, donde

se verá las implicaciones que se deben tomar en cuenta cuando se hacen este tipo de conexiones. Luego se prueba el correcto funcionamiento del circuito mediante el encendido y apagado de un LED.

Cuadro I
 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS PARA DIFERENTES FAMILIAS DE COMPUERTAS LÓGICAS

	Definición	TTL	CMOS
$V_{DD}(V)$	Voltaje de la fuente (también conocido como V_{CC})	5	5
$V_{OH(min)}(V)$	Voltaje mínimo en la salida (Output) cuando está en “HIGH”	2,7	4,95
$V_{OL(max)}(V)$	Voltaje máximo en la salida (Output) cuando está en “LOW”	0,5	0,05
$V_{IH(min)}(V)$	Voltaje mínimo en la entrada (Input) reconocido como un “HIGH”	2	3,5
$V_{IL(max)}(V)$	Voltaje máximo en la entrada (Input) reconocido como un “LOW”	0,8	1,6
$I_{OH}(mA)$	Corriente en la salida (Output) cuando está en “HIGH”. Esta corriente es negativa porque sale del dispositivo (Source)	-0,4 (max)	-0,44 (min)
$I_{OL}(mA)$	Corriente en la salida (Output) cuando está en “LOW”. Esta corriente entra al dispositivo (Sink)	8 (max)	0,44 (min)
$I_{IH}(\mu A)$	Corriente en la entrada (Input) cuando está en “HIGH”. Esta corriente entra al dispositivo (Sink)	20 (max)	
$I_{IL}(mA)$	Corriente en la entrada (Input) cuando está en “LOW”. Esta corriente es negativa porque sale del dispositivo (Source)	-0,36 (max)	
$I_{IN}(\mu A)$	Corriente máxima en las entradas		0.1

II. RESULTADOS

II-A. Experimento 1

Durante el diseño de este circuito se deben considerar las corrientes que los dispositivos pueden soportar, por ejemplo, cuando en la patilla de entrada un dispositivo TTL hay un “LOW”, se tiene que hay un valor máximo de $I_{OL} = 8mA$

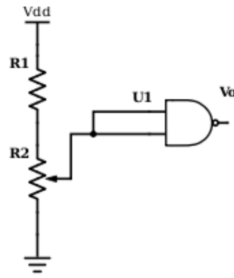


Figura 1. Circuito base de medición para el experimento 1

hacia el dispositivo, la resistencia mínima que se puede tener sería $R_{min} = V_{CC}/I_{IL}$

Al mismo tiempo, esta resistencia no debe ser tan alta que produzca una caída de voltaje tal que nunca se tendrá más que V_{IH} en la patilla de entrada, el valor máximo que puede tener esta resistencia entonces sería dado por $R_{max} = (V_{CC} - V_{IH})/I_{IH}$

De esta manera la resistencia $R_1 = 10K\Omega$ se encuentra dentro de este rango de valores y garantiza estas condiciones, la cual también nos sirve como un punto fijo para poder dimensionar R_2 .

Las mediciones se realizaron en las patillas de salida del dispositivo al tener las patillas de entrada cerca de los valores de V_{IH} y V_{IL} . Los resultados de estas mediciones se resumen en el Cuadro II para la tecnología TTL y en el Cuadro III para CMOS.

Cuadro II
CARACTERÍSTICAS MEDIDAS EN LA COMPUERTA TTL

TTL			
Entradas (V)		Salidas (V)	
V_{IL}	0,76	V_{OH}	3,28
V_{IH}	2,12	V_{OL}	0,11

Cuadro III
CARACTERÍSTICAS MEDIDAS EN LA COMPUERTA CMOS

CMOS			
Entradas (V)		Salidas (V)	
V_{IL}	1,58	V_{OH}	4,0
V_{IH}	3,57	V_{OL}	0,02

II-B. Experimento 2

En el experimento 2 se implementa un circuito utilizando los dispositivos disponibles (compuertas lógicas) de manera que este cumpla la función lógica $(A \uparrow B) \cdot C$, donde la tabla de verdad obtenida mediante mediciones se muestra en el Cuadro IV

Para lograr esta operación con los dispositivos disponibles la solución propuesta fue utilizar la compuerta NAND TTL 74LS00 y conectar su salida al dispositivo NAND CMOS 4011, y para obtener la salida correcta, se invierta la señal de salida de este con el inversor TTL 74LS04. La configuración del circuito se muestra en el esquemático de la Figura II-B

Cuadro IV
TABLA DE VERDAD OBTENIDA DEL EXPERIMENTO 2

A	B	C	$(A \uparrow B) \cdot C$
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	0

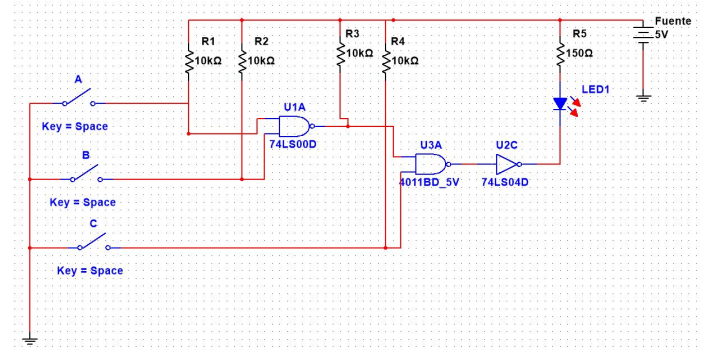


Figura 2. Circuito Utilizado en el experimento 2

Se eligió usar resistencias de “pull-up” para mantener las entradas de los dispositivos en alto (R_1, R_2 y R_4) y utilizar interruptores para ponerlas en bajo. Para este propósito resistencias de 10k garantizan que haya un voltaje mayor a V_{IH} en las patillas de entrada, y al mismo tiempo limita la corriente que entra al dispositivo.

El siguiente punto a tener en cuenta fue la conexión de la salida del TTL a la entrada del CMOS. Para poder garantizar el correcto funcionamiento de la compuerta CMOS se tiene que cumplir que:

- $V_{OH}(TTL) \geq V_{IH}(CMOS)$
- $V_{OL}(TTL) \leq V_{IL}(CMOS)$
- $-I_{OH}(TTL) \geq I_{IH}(CMOS)$
- $I_{OL}(TTL) \geq -I_{IL}(CMOS)$

Esto presenta un problema, puesto que para el TTL $V_{OH} = 2,7V$ mientras que para el dispositivo CMOS se tiene que $V_{IH} = 3,5V$, por lo que se debe diseñar una manera de poder subir el voltaje en la salida del dispositivo TTL para que esta sea correctamente interpretada en el dispositivo CMOS como una entrada en alto.

Existen varias maneras de solucionar este problema como utilizar buffers, transistores, dispositivos de colector abierto, entre otras. Por simplicidad se eligió utilizar una resistencia de “pull-up” en el nodo donde se conectan la salida del TTL con la entrada en el CMOS. Esto efectivamente logra hacer que el voltaje en este nodo suba a valores mayores que el V_{IH} del CMOS. Para esto, una resistencia de 10k (R_3) logra el correcto funcionamiento del dispositivo.

II-B1. Conexión CMOS a TTL: Luego se debió considerar la conexión del NAND CMOS al inversor TTL. Para asegurar

el correcto funcionamiento del dispositivo TTL se tiene que cumplir que:

- $V_{OH}(CMOS) \geq V_{IH}(TTL)$
- $V_{OL}(CMOS) \leq V_{IL}(TTL)$
- $-I_{OH}(CMOS) \geq I_{IH}(TTL)$
- $I_{OL}(CMOS) \geq -I_{IL}(TTL)$

Para los dispositivos disponibles en este laboratorio tenemos que todas estas condiciones se cumplen, lo cual nos permite conectar de manera directa la salida del dispositivo CMOS a la entrada del dispositivo TTL. Este no siempre es el caso dependiendo del tipo de TTL, en otras situaciones usar buffers o transistores son maneras en las que se pueden regular las corrientes necesarias para el correcto funcionamiento de los dispositivos.

Por último se debió analizar la conexión del dispositivo LED a la salida del inversor TTL. Teniendo en cuenta que el dispositivo LED requiere de 17 mA para funcionar correctamente, al conectar el LED directamente a las salida del CI este le exigiría más corriente de la que este puede proveer de manera segura y puede dañar el dispositivo. Para evitar este problema se utilizó una resistencia desde Vcc hasta el LED (R_5) y la otra patilla del LED conectada a la salida del inversor. De esta manera la corriente necesaria para encender el LED es proveída por la fuente y no por el IC. Hay que tomar en cuenta que esto haría que nuestro LED esté encendido cuando la salida de nuestro circuito sea “LOW”, y estaría apagado cuando la salida sea “HIGH”.

El cálculo de la resistencia del LED (en este caso de color Rojo) está dado por:

$$R_{LED\text{Rojo}} = \frac{V_{CC} - V_{OL} - V_{LED}}{18mA}$$

$$R_{LED\text{Rojo}} = \frac{5V - 0,5V - 1,7V}{18mA}$$

$$R_{LED\text{Rojo}} = 155,55\Omega$$

III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

III-A. Experimento 1

Para el experimento 1 a la hora de realizar el circuito práctico resultó que en los datos teóricos de V_{IL} , V_{IH} , V_{OL} , V_{OH} fueron distintos al valor teórico. Para el primero se realizo un divisor de voltaje para encontrar el valor en la resistencia de R_2 , como ya se tomo que $R_1 = 10k\Omega$ según la relación obtenida en el análisis se tiene que:

$$V_{R_2} = \frac{R_2}{R_2 + R_1} \cdot V_{CC} \quad (1)$$

Con esto se obtiene la relación entre ambas resistencias la cual es:

$$R_2 = \frac{\frac{V_{R_2}}{V_{CC}}}{1 - \frac{V_{R_2}}{V_{CC}}} \cdot R_1 \quad (2)$$

Se utiliza la segunda ecuación para encontrar el voltaje de los componentes utilizados se encuentran en paralelo con la resistencia R_2 , por lo que el voltaje es el mismo en ambas. A la hora de analizar la corriente que entra en el componente en

la practica no toma gran importancia como en la parte teórica. Ya que en la practica se toma que el componente tiene una alta impedancia de entrada por lo cual no afecta al circuito. Por lo que el análisis se hace directamente con R_2 .

En los cuadros V y VI se puede observar cuanto se alejan los valores obtenidos experimentalmente con respecto a los valores investigados en la hoja de datos de cada componente.

Cuadro V
COMPARACIÓN ENTRE VALORES TEÓRICOS Y VALORES OBTENIDOS
EXPERIMENTALMENTE PARA LA COMPUERTA TTL

TTL		
Valores	Teórico (V)	Real (V)
V_{IL}	0,8	0,76
V_{IH}	2	2,12
V_{OL}	0,5	0,11
V_{OH}	2,7	3,28

Cuadro VI
COMPARACIÓN ENTRE VALORES TEÓRICOS Y VALORES OBTENIDOS
EXPERIMENTALMENTE PARA LA COMPUERTA CMOS

TTL		
Valores	Teórico (V)	Real (V)
V_{IL}	1,5	1,58
V_{IH}	3,5	3,57
V_{OL}	0,05	0,02
V_{OH}	4,95	4,0

IV. CONCLUSIONES

Aunque los valores reales obtenidos varían de los mostrados en sus hojas de datos, todos las mediciones obtenidas se encuentran dentro de los rangos de valores aceptados por lo que se puede concluir que los dispositivos operan de manera correcta.

Es importante tomar en cuenta los valores de V_{OH} , V_{OL} , V_{IH} y V_{IL} , así como las corrientes de entrada y salida, de los dispositivos que se utilizan en la construcción de un circuito lógico para poder garantizar el correcto funcionamiento de las operaciones lógicas que se quieren y también poder dimensionar los circuitos de manera que sean tolerantes a esta varianza. Cuando se deben interfazar circuitos integrados de diferentes tecnologías es de gran importancia tener en cuenta estos valores.

Además, se debe tener en cuenta que algunas tecnologías son susceptibles a daños por electrostáticas, por lo que al manipularlas se debe tener el cuidado de primero descargar dicha energía del cuerpo para evitar daños en los componentes.

REFERENCIAS

- [1] "74LS00 Datasheet", Futurlec.com, 2018. [Online]. Available: <http://www.futurlec.com/74LS/74LS00.shtml>. [Accessed: 01- Aug- 2018]
- [2] "74LS04 Datasheet", Futurlec.com, 2018. [Online]. Available: <http://www.futurlec.com/74LS/74LS04.shtml>. [Accessed: 01- Aug- 2018]
- [3] "CD4011 Datasheet", Futurlec.com, 2018. [Online]. Available: <http://www.futurlec.com/4000Series/CD4011.shtml>. [Accessed: 01- Aug- 2018]