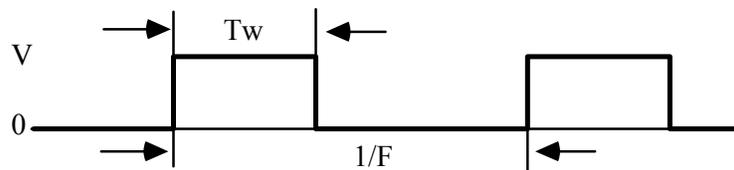


Ingeniería Técnica de Sistemas Electrónicos.
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial y de Telecomunicación.
Laboratorio de Electrónica Digital.

Práctica nº 1. Análisis de circuitos digitales I: caracterización eléctrica.

El objetivo de esta práctica es el estudio del funcionamiento, y de las características eléctricas y temporales de circuitos digitales comerciales. En estas prácticas se utilizarán como generadores de señal las fuentes de alimentación de continua y los generadores de funciones. Además, se deben utilizar señales de tipo pulso para medir la respuesta temporal. Como aparato de medida se utilizarán el osciloscopio y el polímetro.



Como no se dispone de un aparato específico de generación de pulsos adecuado para todos los puestos del laboratorio se utilizará como tal la salida TTL del generador de funciones, que produce un pulso de 5V de altura y de frecuencia controlable a partir de la frecuencia del generador de funciones (visualizar el pulso en laboratorio con el osciloscopio). Como otra opción, se puede utilizar la opción de onda cuadrada del generador de funciones, levantando la señal con la tensión offset de continua hasta que el mínimo valor de la señal sea 0.

Para la realización de la práctica en el laboratorio se puede tomar la fuente de alimentación continua de la tensión fija del banco de trabajo. Se sugiere llevar tijeras al laboratorio para cortar y pelar los cables de conexión.

En esta práctica se realizará el estudio de las características eléctricas y temporales de circuitos comerciales combinacionales. Uno de los circuitos es el 74LS37 TTL (low-power Schottky), y el otro circuito es el 4001B CMOS de la serie 4000B. Las conexiones internas de estos circuitos se muestran en las hojas de características de estos circuitos, que se adjuntan al guión. Se deben comparar los valores medidos con los dados en las hojas de características.

Se recomienda que cada apartado de la práctica se realice simultáneamente con los dos circuitos para evitar perder tiempo al conectar y desconectar los aparatos.

a) Estudio estático de circuitos combinacionales. Realizar los siguientes pasos con cada uno de los circuitos:

- Verificar la función lógica del circuito. Alimentar el circuito a $V_{cc} = 5V$. Seleccionar una de las cuatro puertas del circuito y verificar su funcionamiento lógico con ayuda del polímetro o del osciloscopio, conectando las entradas de la puerta a V_{cc} ó a Gnd , obteniendo su tabla de verdad y midiendo los valores de las tensiones altas y bajas en las salidas.

- Obtener la VTC de cada circuito y medir aproximadamente los puntos críticos de la VTC y los márgenes de ruido. Para ello hay que aplicar a una entrada de una puerta lógica una fuente de tensión V_{inp} , manteniendo la otra entrada a valor de tensión no controlante (alto en puertas AND/NAND, bajo en puertas OR/NOR). Variar la tensión V_{inp} entre 0V y 5V y representar la curva de transferencia en tensión del circuito (VTC), poniendo especial cuidado en la zona de transición y midiendo los puntos críticos. Se propone seguir la siguiente metodología:

- Introducir en V_{inp} una señal periódica con valores de tensión entre 0 y 5V a baja frecuencia (para que se asemeje lo más posible a una situación DC). Esta señal puede conseguirse mediante un generador de funciones con una señal sinusoidal de 5V pico a pico y +2.5V de tensión offset de continua. Atención: en algunos casos al aplicar la señal sinusoidal a la entrada del circuito TTL 7437, ésta se deforma (observarlo en el osciloscopio), para eliminar la deformación variar las características (amplitud y tensión de offset) de la señal hasta que sea una señal sinusoidal entre 0 y 5V.

- Una vez introducida esta señal en el canal 1 del osciloscopio (eje X), y conectada al circuito hay que fijar el modo X-Y del osciloscopio, de forma que quede una línea horizontal, el borde izquierdo de la línea representa el punto de la VTC en el que la entrada y la salida son 0V (origen de coordenadas). Una buena forma de ajustar el osciloscopio para tomar las medidas consiste en anular el canal 1 del osciloscopio, con lo que aparecerá un punto en la pantalla, ese punto se debe situar en el borde inferior izquierdo de la pantalla, que se puede tomar como origen de coordenadas, ya que todas las medidas toman valores positivos en los ejes X e Y.

- Conectar la salida del circuito al canal 2 del osciloscopio (eje Y) y quedará representada en la pantalla la VTC del circuito. Ajustar las escalas de los canales 1 y 2, y medir la VTC y sus puntos críticos con la mejor resolución posible.

- Mantener una entrada del circuito a valor de tensión no controlante y aplicar a la otra entrada un valor de tensión alto y medir, si es posible, I_{ih} con un polímetro. Aplicar ahora un valor de tensión bajo y medir I_{il} con un polímetro. Recordar que para medir intensidad en una rama es necesario situar el polímetro en serie en la rama (entre la patilla de entrada y la fuente de alimentación o tierra, según el caso), y que algunas de estas medidas pueden tomar valores despreciables.

- Medir la potencia estática disipada por el circuito ($[I_{cc}(H) + I_{cc}(L)] \cdot V_{cc}/2$). Situar las entradas al valor de tensión adecuado que fijen todas las salidas de las puertas a valor de

tensión alto y medir con un polímetro la intensidad $I_{cc}(H)$ que circula por la fuente de alimentación (y sólo por ella). Situar las entradas al valor de tensión adecuado para fijar todas las salidas de las puertas a valor de tensión bajo medir $I_{cc}(L)$. Calcular la potencia estática disipada por cada puerta como $[I_{cc}(H) + I_{cc}(L)] \cdot V_{cc}/8$ (Potencia estática del chip $[I_{cc}(H) + I_{cc}(L)] \cdot V_{cc}/2$ dividido por el número de puertas). Recordar que, para medir intensidad en una rama, es necesario situar el polímetro en serie en la rama en la que se quiere medir la intensidad (entre la patilla de alimentación y la fuente de alimentación), y que algunas de estas medidas pueden tomar valores despreciables.

b) Estudio de la respuesta de los circuitos en conmutación.

Aplicar un pulso de frecuencia suficientemente alta a la entrada de una puerta del circuito (obtener el pulso de salida TTL del generador de funciones), manteniendo la otra entrada a valor de tensión no controlante. Observar las señales de entrada y salida con el osciloscopio y medir los tiempos de propagación y de transición de la puerta lógica (con la precisión que permita el osciloscopio). Para realizar una medida correcta la base de tiempos del osciloscopio debe estar situada en un periodo suficientemente bajo (si es necesario utilizar la opción X10 de la base de tiempos).

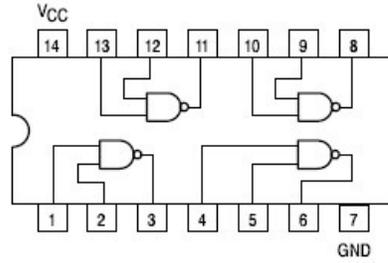
Los circuitos TTL deben medirse casi al máximo de frecuencia del generador de funciones y de escala de medida en el osciloscopio. Además, en algunos casos las medidas pueden tomar bastante “ruido” y ser difíciles de precisar, al estar los aparatos casi al máximo de sus prestaciones.

Para los circuitos MOS hay que irse a frecuencias un poco más bajas y no hace falta llegar al tope de la escala del osciloscopio, por lo que las medidas se pueden hacer con bastante comodidad y fiabilidad.

Para medir los tiempos se recomienda situar las señales en mitad de la pantalla, quedando el punto medio de cada señal coincidente con la línea media horizontal de la pantalla, apoyándonos al hacerlo con el resto de marcas por encima y por debajo de la línea media. Así, las señales quedan colocadas de tal forma que las medidas de los tiempos de propagación pueden hacerse directamente sobre la línea media horizontal de la pantalla, y se facilita la medida de los tiempos de transición.

SN54/74LS37

QUAD 2-INPUT NAND BUFFER
LOW POWER SCHOTTKY



GUARANTEED OPERATING RANGES

| Symbol | Parameter | | Min | Typ | Max | Unit |
|-----------------|-------------------------------------|----------|-------------|------------|-------------|------|
| V _{CC} | Supply Voltage | 54 74 | 4.5 4.75 | 5.0 5.0 | 5.5 5.25 | V |
| T _A | Operating Ambient Temperature Range | 54 74 | -55 0 | 25 25 | 125 70 | °C |
| I _{OH} | Output Current — High | 54, 74 | | | -1.2 | mA |
| I _{OL} | Output Current — Low | 54 74 | | | 12 24 | mA |

DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

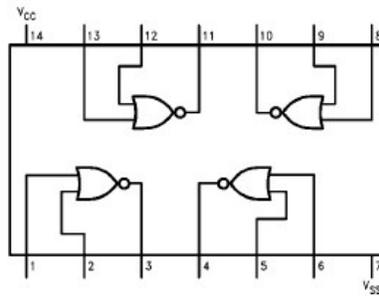
| Symbol | Parameter | Limits | | | Unit | Test Conditions | |
|-----------------|---|--------|-------|------|------|--|---|
| | | Min | Typ | Max | | | |
| V _{IH} | Input HIGH Voltage | 2.0 | | | V | Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs | |
| V _{IL} | Input LOW Voltage | 54 | | 0.7 | V | Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs | |
| | | 74 | | 0.8 | | | |
| V _{IK} | Input Clamp Diode Voltage | | -0.65 | -1.5 | V | V _{CC} = MIN, I _{IN} = -18 mA | |
| V _{OH} | Output HIGH Voltage | 54 | 2.5 | 3.5 | V | V _{CC} = MIN, I _{OH} = MAX, V _{IN} = V _{IH} or V _{IL} per Truth Table | |
| | | 74 | 2.7 | 3.5 | V | | |
| V _{OL} | Output LOW Voltage | 54, 74 | | 0.25 | 0.4 | I _{OL} = 12 mA | V _{CC} = V _{CC} MIN, V _{IN} = V _{IL} or V _{IH} per Truth Table |
| | | 74 | | 0.35 | 0.5 | I _{OL} = 24 mA | |
| I _{IH} | Input HIGH Current | | | 20 | μA | V _{CC} = MAX, V _{IN} = 2.7 V | |
| | | | | 0.1 | mA | V _{CC} = MAX, V _{IN} = 7.0 V | |
| I _{IL} | Input LOW Current | | | -0.4 | mA | V _{CC} = MAX, V _{IN} = 0.4 V | |
| I _{OS} | Short Circuit Current (Note 1) | | -30 | -130 | mA | V _{CC} = MAX | |
| I _{CC} | Power Supply Current Total, Output HIGH Total, Output LOW | | | 2.0 | mA | V _{CC} = MAX | |
| | | | | 12 | | | |

Note 1: Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

AC CHARACTERISTICS (T_A = 25°C)

| Symbol | Parameter | Limits | | | Unit | Test Conditions |
|------------------|---------------------------------|--------|-----|-----|------|---|
| | | Min | Typ | Max | | |
| t _{PLH} | Turn-Off Delay, Input to Output | | 12 | 24 | ns | V _{CC} = 5.0 V, R _L = 667 Ω C _L = 45 pF |
| t _{PHL} | Turn-On Delay, Input to Output | | 12 | 24 | ns | |

CD4001BC



Absolute Maximum Ratings (Note 1)

(Note 2)

| | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| Voltage at any Pin | -0.5V to $V_{DD} + 0.5V$ |
| Power Dissipation (P_D) | |
| Dual-In-Line | 700 mW |
| Small Outline | 500 mW |
| V_{DD} Range | -0.5 V_{DC} to +18 V_{DC} |
| Storage Temperature (T_S) | -85°C to +150°C |
| Lead Temperature (T_L) | 260°C |
| (Soldering, 10 seconds) | |

Recommended Operating Conditions

| | |
|------------------------------|---------------------------|
| Operating Range (V_{DD}) | 3 V_{DC} to 15 V_{DC} |
| Operating Temperature Range | |
| CD4001BC, CD4011BC | -40°C to +85°C |

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. Except for "Operating Temperature Range" they are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The Electrical Characteristics tables provide conditions for actual device operation.

Note 2: All voltages measured with respect to V_{SS} unless otherwise specified.

DC Electrical Characteristics (Note 2)

| Symbol | Parameter | Conditions | -40°C | | +25°C | | | +85°C | | Units |
|----------|------------------------------------|--|-------|-------|-------|------------|-------|-------|------|---------|
| | | | Min | Max | Min | Typ | Max | Min | Max | |
| I_{DD} | Quiescent Device Current | $V_{DD} = 5V, V_{IN} = V_{DD} \text{ or } V_{SS}$ | | 1 | | 0.004 | 1 | | 7.5 | μA |
| | | $V_{DD} = 10V, V_{IN} = V_{DD} \text{ or } V_{SS}$ | | 2 | | 0.005 | 2 | | 15 | μA |
| | | $V_{DD} = 15V, V_{IN} = V_{DD} \text{ or } V_{SS}$ | | 4 | | 0.006 | 4 | | 30 | μA |
| V_{OL} | LOW Level Output Voltage | $V_{DD} = 5V$ | | 0.05 | | 0 | 0.05 | | 0.05 | V |
| | | $V_{DD} = 10V, I_{O} < 1 \mu A$ | | 0.05 | | 0 | 0.05 | | 0.05 | V |
| | | $V_{DD} = 15V$ | | 0.05 | | 0 | 0.05 | | 0.05 | V |
| V_{OH} | HIGH Level Output Voltage | $V_{DD} = 5V, I_{O} < 1 \mu A$ | 4.95 | | 4.95 | 5 | | 4.95 | | V |
| | | $V_{DD} = 10V$ | 9.95 | | 9.95 | 10 | | 9.95 | | V |
| | | $V_{DD} = 15V$ | 14.95 | | 14.95 | 15 | | 14.95 | | V |
| V_{IL} | LOW Level Input Voltage | $V_{DD} = 5V, V_O = 4.5V$ | | 1.5 | | 2 | 1.5 | | 1.5 | V |
| | | $V_{DD} = 10V, V_O = 9.0V$ | | 3.0 | | 4 | 3.0 | | 3.0 | V |
| | | $V_{DD} = 15V, V_O = 13.5V$ | | 4.0 | | 6 | 4.0 | | 4.0 | V |
| V_{IH} | HIGH Level Input Voltage | $V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V$ | 3.5 | | 3.5 | 3 | | 3.5 | | V |
| | | $V_{DD} = 10V, V_O = 1.0V$ | 7.0 | | 7.0 | 6 | | 7.0 | | V |
| | | $V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$ | 11.0 | | 11.0 | 9 | | 11.0 | | V |
| I_{OL} | LOW Level Output Current (Note 3) | $V_{DD} = 5V, V_O = 0.4V$ | 0.52 | | 0.44 | 0.88 | | 0.36 | | mA |
| | | $V_{DD} = 10V, V_O = 0.5V$ | 1.3 | | 1.1 | 2.25 | | 0.9 | | mA |
| | | $V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$ | 3.6 | | 3.0 | 8.8 | | 2.4 | | mA |
| I_{OH} | HIGH Level Output Current (Note 3) | $V_{DD} = 5V, V_O = 4.6V$ | -0.52 | | -0.44 | -0.88 | | -0.36 | | mA |
| | | $V_{DD} = 10V, V_O = 9.5V$ | -1.3 | | -1.1 | -2.25 | | -0.9 | | mA |
| | | $V_{DD} = 15V, V_O = 13.5V$ | -3.6 | | -3.0 | -8.8 | | -2.4 | | mA |
| I_{IN} | Input Current | $V_{DD} = 15V, V_{IN} = 0V$ | | -0.30 | | -10^{-5} | -0.30 | | -1.0 | μA |
| | | $V_{DD} = 15V, V_{IN} = 15V$ | | 0.30 | | 10^{-5} | 0.30 | | 1.0 | μA |

Note 3: I_{OL} and I_{OH} are tested one output at a time.

AC Electrical Characteristics (Note 4)

CD4001BC: $T_A = 25^\circ C$, Input $t_r = 20$ ns, $C_L = 50$ pF, $R_L = 200k$. Typical temperature coefficient is 0.3%/°C.

| Symbol | Parameter | Conditions | Typ | Max | Units |
|--------------------|---|----------------|-----|-----|-------|
| t_{PHL} | Propagation Delay Time, HIGH-to-LOW Level | $V_{DD} = 5V$ | 120 | 250 | ns |
| | | $V_{DD} = 10V$ | 50 | 100 | ns |
| | | $V_{DD} = 15V$ | 35 | 70 | ns |
| t_{PLH} | Propagation Delay Time, LOW-to-HIGH Level | $V_{DD} = 5V$ | 110 | 250 | ns |
| | | $V_{DD} = 10V$ | 50 | 100 | ns |
| | | $V_{DD} = 15V$ | 35 | 70 | ns |
| t_{THL}, t_{TLH} | Transition Time | $V_{DD} = 5V$ | 90 | 200 | ns |
| | | $V_{DD} = 10V$ | 50 | 100 | ns |
| | | $V_{DD} = 15V$ | 40 | 80 | ns |
| C_{IN} | Average Input Capacitance | Any Input | 5 | 7.5 | pF |
| C_{PD} | Power Dissipation Capacity | Any Gate | 14 | | pF |

Note 4: AC Parameters are guaranteed by DC correlated testing.