

**Grado en Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación.  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial y de Telecomunicación.  
Electrónica Digital I.**

**Práctica nº 3. Diseño de un circuito digital.**

El objetivo de esta práctica consiste en realizar los pasos básicos del montaje y prueba de un circuito digital. Dado un problema propuesto se debe llegar hasta un circuito electrónico digital que lo resuelva siguiendo estos pasos:

- Plantear la resolución del problema en forma de ecuaciones lógicas.
- Modificar las ecuaciones lógicas para poder implementar el circuito con las puertas lógicas disponibles. Diseñar un circuito digital en base a las puertas lógicas disponibles.
- Simular mediante Circuit Maker el circuito digital para comprobar si opera correctamente según las especificaciones.
- Montar el circuito mediante dispositivos electrónicos comerciales.
- Probar que el circuito implementado corresponde a las especificaciones pedidas utilizando el equipo de análisis lógico LA5240.
- Evaluar alguna de sus características físicas: medir el tiempo de propagación del circuito.

Todo el trabajo de la práctica debe realizarse en el directorio (o carpeta) Pr3 (o similar), que debe crearse en el directorio de trabajo de cada alumno, donde deben guardarse los ficheros utilizados o generados durante la práctica.

**3.1. Diseño de un circuito comparador de dos bits.**

Se desea diseñar un circuito que indique cuando dos palabras A (A2A1) y B (B2B1) de dos bits son iguales. El razonamiento para encontrar las ecuaciones lógicas que definen este problema es que para que A sea igual a B, entonces A1 debe ser igual a B1 y A2 debe ser igual a B2. El hecho de que un bit sea igual a otro bit corresponde a un operador de circuitos lógicos y a una puerta lógica básica, como también el hecho de que se cumpla una condición y otra condición. Con este razonamiento se debe encontrar una expresión lógica para el problema.

Para implementar el circuito se dispone únicamente de los circuitos electrónicos 74LS86 (4 puertas EXOR de 2 entradas) y 74LS02 (4 puertas NOR de 2 entradas). Estos circuitos están dentro del catálogo de dispositivos de la familia 74 (LS corresponde a una tecnología de fabricación), cuyo catálogo completo se puede encontrar la web, por ejemplo en la referencia:

[http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_7400\\_series\\_integrated\\_circuits](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_7400_series_integrated_circuits)

Los dispositivos contienen varias puertas lógicas, para conocer su disposición, así como la colocación de las tensiones de alimentación y tierra, además de otros datos tecnológicos

(valores de tensiones e intensidades típicos, tiempos de propagación, etc), hay que encontrar sus hojas de características. Esto puede hacerse en la web haciendo una búsqueda usando como palabras claves, por ejemplo: “*código del dispositivo*” (74LS86 o 74LS02) y *Datasheet*.

Con los dispositivos disponibles no se puede hacer una implementación directa de la función lógica. Sin embargo, una modificación de la expresión lógica mediante teoremas del álgebra de Boole (aplicar las Leyes de DeMorgan), nos permite obtener un expresión lógica equivalente a la anterior, que sí puede ser implementada.

Una vez diseñado el circuito hay que editar en Circuit Maker su representación simbólica localizando los dispositivos en la clase *Digital by Number*, y utilizando dispositivos como la llave hexadecimal (*hotkey H*) o el generador de secuencias (*hotkey G*) para aplicar los estímulos exhaustivamente (todas las entradas de la tabla de verdad) y un display lógico (*hotkey 9*) para observar las respuestas. Conectar el circuito y simularlo, comprobando que el circuito diseñado corresponde a un comparador de dos bits. Salvar el fichero Circuit Maker.

El siguiente paso consiste en seleccionar las puertas necesarias de los circuitos 74LS86 y 74LS02 y conectarlas en la regleta según el diagrama del circuito. Usar los canales superior e inferior de la regleta para las tensión de +5 y GND y conectar a esos canales las tensiones de alimentación a +5V y la tierra de cada circuito.

Para aplicar los estímulos y leer las respuestas se va a utilizar el analizador lógico LA5240, de forma parecida a como se utilizó para verificar el circuito sumador de la práctica 1. Recordad que hay que encender el equipo antes de arrancar el software de programación. Sobre la programación por defecto del analizador (cargar con *Load Settings* del menú **File** el fichero de configuración Edigital.ini y cargar con *Load Data* del menú **File** el fichero de datos Edigital.Dso) realizar los siguientes pasos:

- Utilizar 4 canales del generador de patrones (*pod 3*, canales 16-19) para programar los estímulos a aplicar al circuito. Por ejemplo, conectar el canal 19 a B2, 18 a B1, 17 a A2 y 16 a A1. Programar la secuencia aplicar en comando *Pod* del menú en línea, pulsando sobre *Edit*. A partir de la dirección 90 introducir en los canales 16-19 todas las combinaciones de entrada de la tabla de verdad (por ejemplo, editando en 8 canales para el canal 16, introducir a partir de la dirección 90 0001020304.....0E0F).
- Utilizar un canal del analizador lógico (*pod 1*, canal 0) para leer la salida del circuito conectándolo a ella.
- No olvidar conectar una canal de GND de cada *pod* utilizado a GND del circuito.
- Programar el disparo del analizador para que las medidas en la salida coincidan con las medidas en las entradas. El disparo es una forma de conseguir que las medidas realizadas por el analizador lógico aparezcan siempre en una misma dirección de pantalla. En el LA5240 el disparo se produce cuando se toman las medidas descritas en el menú **Trigger** de la programación del LA5420. La última medida que verifica esas condiciones se sitúa en la dirección en la que se encuentre la marca roja T. Cuando las señales aplicadas a las entradas del circuito son generadas por un equipo distinto del propio analizador lógico (lo que sucede

habitualmente), para comprobar el funcionamiento del circuito se deben leer los valores lógicos de sus entradas y de sus salidas. Entonces, no se necesita hacer el disparo mediante un pulso de sincronización como en la práctica 1.

En la práctica la programación del disparo se debe hacer mediante estos pasos:

- Leer las entradas del circuito en los canales 4-1 del *pod* 1 (4 a B2, 3 a B1, 2 a A2 y 1 a A1), conectándolos a la misma pinza que la del generador de patrones (cada pinza tiene dos conectores). Ahora se puede disparar con una de las palabras válidas aplicadas (por ejemplo, leyendo 0110 en los canales 4-1).
- Situar la marca roja T en una posición fija: 100 por ejemplo.
- Situar la palabra Word 0 del disparo al valor 0110 en los canales 4-1. Por defecto se produce el disparo cuando se cumplen las condiciones de valores indicados en Word 0. Se puede hacer desde el menú en línea (sin necesidad de entrar en el menú **Trigger**), en el campo 

00000000	00000000	00000000
----------	----------	----------

 (de derecha a izquierda canales 0 a 23).

En la práctica 1 se utilizó un método distinto de disparo mediante una señal extra. Este método se podía utilizar cuando el propio dispositivo genera las señales de prueba, que permanecen fijas en la misma posición y la sincronización mediante el disparo permite que los valores en las entradas coincidan en la misma dirección con los valores en las salidas y se puedan leer conjuntamente, suponiendo que las entradas llegasen bien al circuito. La sincronización que se utilizó en la practica 1 consistía en conectar un canal del generador de patrones (por ejemplo el canal 21) a un canal del analizador lógico (por ejemplo el canal 1), programando un pulso (un único 1) en la primera dirección en que se mandaban datos (en esta práctica la 90). El disparo se debía realizar cuando se leía el 1 programado en el canal del analizador, para lo que se debía situar el canal 1 a valor 1 en el campo 

00000000	00000000	00000000
----------	----------	----------

. Al situar la marca roja T sobre el pulso programado y tomar medidas, estas se situaban sincronizadas con los estímulos aplicados (una dirección antes o después), con lo que se podía comprobar el circuito.

- Para visualizar la respuesta como lista de estados crear tres grupos (comando *Edit Group* del menú **View**): dos para las entradas A (en el *Group 0*) y B (en el *Group 1*), cada uno de 2 bits y en decimal (con los canales 4 y 3 para B, y 2 y 1 para A), y otro OUT (en el *Group 2*) en binario para la salida de 1 bit para el canal 0.
- Pulsar en **GO** y comprobar que el circuito funciona correctamente. Desactivar el *Timing 1* <- *Data* y activar el *Timing 2* <- *Data* desde el menú **Timing** y activar el *State of logic analyzer* en el menú **View** para ver para ver las soluciones alrededor de la dirección 100 (en la 100 se debe encontrar el valor 0110 en las entradas).
- Guardar la programación actual (orden *Save Setting As...* del menú **File**) con nombre FuncionI.ini y los datos capturados (orden *Save Data As...* del submenú *Save Data* del menú **File**) con nombre FuncionD.Dso, en el directorio Pr3 del directorio de trabajo de cada alumno.

Una vez que se ha comprobado que el circuito funciona se pueden evaluar alguna de sus prestaciones. Ahora se va medir el tiempo de propagación del circuito. Este tiempo se puede obtener, como la suma del tiempo de propagación de una puerta EXOR más el tiempo de propagación de la puerta NOR. En las hojas de características de cada puerta se muestran los

tiempos en el apartado **AC Characteristics** (tphl y tplh). Indicar el valor máximo del tiempo de propagación  $T_{pmax}$  usando los respectivos valores máximos (max.) de cada puerta:  $T_{pmax} = T_{pmax}(EXOR) + T_{pmax}(NOR)$ , donde  $T_{pmax}(EXOR) = MAX(tphl, tplh)$  y  $T_{pmax}(74LS02) = MAX(tphl, tplh)$ .

El proceso para medir el tiempo de propagación con el analizador lógico será el siguiente:

- Volver a cargar la programación por defecto del analizador (cargar con *Load Settings* del menú **File** el fichero de configuración Edigital.ini y cargar con *Load Data* del menú **File** el fichero de datos Edigital.Dso).
- Situar la frecuencia de funcionamiento del LA5240 a 100Mhz (resolución de 10ns).
- Programar la secuencia aplicar en comando *Pod* del menú en línea, pulsando sobre *Edit*. Situar la dirección 90 como la primera dirección programable en la ventana. Para el canal 16 (A1), rellenar la primera fila completa con 0s, la segunda fila completa con 1s, seguida de otra fila de 0s, seguida de otra fila de 1s y de otra fila de 0s, en las cinco filas visibles en pantalla. En el canal 17 rellenar las cinco filas con 0s, en el canal 18 rellenar las 5 filas con 1s, y en el canal 19 rellenar las 5 filas con 0s.

Esta programación permite que un pulso en A1 se transmita hasta la salida a través de un camino formado por una puerta EXOR y una puerta NOR.

- Programar el disparo: situar la marca roja T en la posición 100 en pantalla y fijar un 1 en el canal 1 como palabra de disparo en el campo .
- Pulsar en **GO**, aumentar el zoom a *Magnify 5*, y comprobar alrededor de la marca T que el circuito funciona correctamente: si los canales 1-2 son iguales a los canales 3-4, la salida (canal 0) debe ser 1; si son distintos la salida debe ser 0. Se observa que la salida es igual que la entrada del canal 1, aunque ligeramente retrasada.
- Medir los tiempos de propagación entre la entrada del canal 1 y la salida del canal 0. Situar la marca amarilla (Cursor B) sobre el cambio en el canal 1 (entrada) y la marca azul (Cursor A) sobre el siguiente cambio en el canal 0 (salida). El LA5420 muestra el tiempo de propagación en A-B. Si la salida pasa de 1 a 0 es el tphl (*High-to-Low*), si la salida pasa de 0 a 1 es el tplh (*Low-to-High*). Medir ambos tiempos desplazando los cursores A y B.
- Guardar la programación actual (orden *Save Setting As...* del menú **File**) con nombre TiempoI.ini y los datos capturados (orden *Save Data As...* del submenú *Save Data* del menú **File**) con nombre TiempoD1.Dso en el directorio Pr3 del directorio de trabajo de cada alumno.
- Con el comando *Pod*, fijar todo el canal 18 a 0 (cambiar las filas a 1 por filas a 0). Pulsar en **GO**, y comprobar que la salida es como la entrada del canal 1, aunque invertida y ligeramente retrasada. Medir los tiempos de propagación como en el apartado anterior.
- Guardar los datos capturados (orden *Save Data As...* del submenú *Save Data* del menú **File**) con nombre TiempoD2.Dso en el directorio Pr3 del directorio de trabajo de cada alumno.

Para finalizar:

- Abandonar el programa con la orden *Exit* del menú **File**. Apagar el analizador lógico.
- Soltar la alimentación, desconectar los cables conectados al circuito y a los *pods* con cuidado para no romperlos, y desmontar los dispositivos de la regleta.