

PRÁCTICA 4

SISTEMAS SECUENCIALES

En esta práctica se plantean una serie de ejercicios y problemas que tienen como objetivo que el estudiante realice implementaciones que implican el uso de biestables, compruebe su funcionamiento y los asocie para realización de circuitos complejos que constituyan una máquina de estados finitos.

Se deberá realizar una memoria de la práctica en el que aparezcan las operaciones y diseños realizados, así como los resultados algebraicos, numéricos o gráficos obtenidos como solución a cada ejercicio. El método de presentación será a través del UACloud mediante la Entrega de Práctica que se habilitará para ello. El formato de presentación, para evitar problemas a la hora de la visualización, será preferentemente pdf. Se deben enviar junto con la memoria los diseños *.circ utilizados para resolver cada uno de los apartados. Para que sea posible la entrega, todo ello debe ir incluido en un único paquete comprimido.

REFERENCIAS

- **T.L. Floyd.** *Fundamentos de Sistemas Digitales*, 9ª Edición, Capítulo 7, “Latches, Flip-flops y Temporizadores”.
- **J. M Angulo & J. García.** *Sistemas Digitales y Tecnología de Computadores*. Capítulo 10. “Autómatas Finitos Deterministas”.
- **Transparencias** Tema 4 de Fundamentos de los Computadores “Sistemas Secuenciales”.

OBJETIVOS

Una vez realizada la práctica debemos ser capaces de:

- Comprender el funcionamiento de un biestable RS síncrono.
- Analizar el comportamiento de un biestable síncrono dotado de entradas asíncronas.
- Construir un grafo de estados a partir de las especificaciones de un problema.
- Sintetizar circuitos secuenciales que sigan un modelo de Mealy a partir de la descripción y las especificaciones del sistema

INTRODUCCIÓN TEÓRICA

Los sistemas combinacionales se caracterizaban por poseer un conjunto de variables de entradas y unas variables de salidas que dependían en todo momento de ellas. Además, utilizábamos la lógica como herramienta formal que nos permitía definir la relación existente entre entradas y salidas (funciones

algebraicas, diagramas o tablas de verdad). De acuerdo con este tipo de representaciones, el valor de las salidas de un sistema en un instante de tiempo dado dependía exclusivamente del valor de las entradas en ese mismo instante. Mediante este enfoque hemos definido diferentes elementos combinacionales (codificadores, multiplexores...). Sin embargo, este modelo de funciones lógicas presenta serios problemas a la hora de definir sistemas cuya salida no depende únicamente de las entradas sino también (o únicamente) de las salidas existentes anteriormente (la 'historia' de las salidas).

Para caracterizar estos sistemas es necesario incorporar el concepto de estado, que es un valor que define la situación en la que se encuentra el sistema en un momento dado. Es necesario definir una función lógica para obtener el nuevo estado a partir de las entradas y del estado anterior. Por otro lado, las salidas ya no sólo dependen de las entradas, sino también del estado. En el ámbito de la electrónica digital, los circuitos que instrumentan sistemas secuenciales (por extensión, circuitos secuenciales) disponen de elementos de almacenamiento que mantienen el estado (memorias, registros, contadores, biestables...).

Los circuitos secuenciales son sistemas con la estructura genérica que muestra la figura 1. Esta representación se correspondería con un Modelo de Mealy, en el que la salida depende en todo momento de los valores de las variables de entrada y del estado anterior. Si eliminamos la conexión existente entre la entrada y el circuito combinacional de salida estaremos ante un Modelo de Moore, en el que la salida solamente depende de las variables estado.

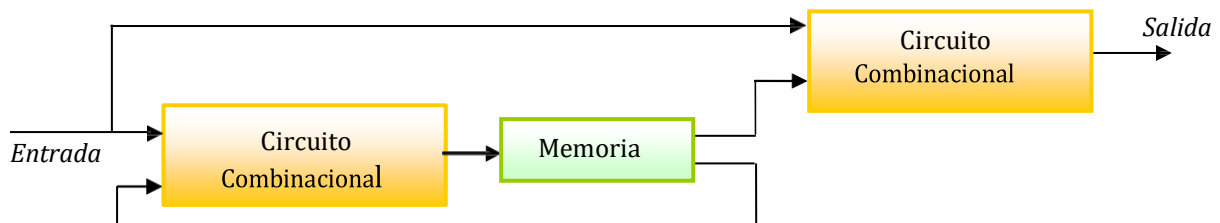


Figura 1 – Estructura genérica de un sistema secuencial

Los autómatas de Mealy y Moore se describen inicialmente mediante Grafos o Diagramas de Transición de Estado o mediante las Tablas de Transición de Estados asociadas a los anteriores. Un diagrama de transición de estados es un grafo que se define mediante nodos y enlaces. Cada nodo se corresponde con un estado, mientras que los enlaces son las transiciones entre estados. Las entradas se encuentran siempre asociadas a los enlaces, mientras que las salidas lo estarán a los enlaces o a las salidas, según sea, respectivamente, un autómata de Mealy o de Moore.

La forma de sistematizar la información gráfica de un diagrama de estados es mediante su tabla de estados. Esta tabla tiene tantas filas como estados y tantas columnas como combinaciones de entrada sean posibles.

Si bien las máquinas de Moore y Mealy son equivalentes en el sentido que hemos descrito, existen algunas diferencias que deben ser comentadas. Puesto que la salida de una máquina de Moore solamente es función del estado, la salida debe ser estable (es decir, invariable) mientras el estado se mantenga. Por tanto, las variaciones en las entradas entre cambios de estado no afectarán a la salida. En la máquina de Mealy, por otra parte, las salidas son función de las entradas y de las variables de estado y en consecuencia la salida debe cambiar tanto si se produce un cambio en las entradas como si se produce un cambio de estado.

Una cuestión importante que se puede plantear es si debemos utilizar un Modelo de Moore o uno de Mealy en el diseño de nuestro circuito secuencial. Un modelo de Mealy tiene generalmente menos estados que su modelo equivalente de Moore. Por tanto, si nuestra meta es producir el diseño menos complejo, se deduce que debemos utilizar un modelo de Mealy. Sin embargo, de las diferencias en los tiempos de los dos modelos, observamos que la salida de una máquina de Moore es estable para todo el ciclo de reloj, mientras que la salida de una máquina de Mealy se valida solamente en el instante en que aparece el

flanco de reloj. La conclusión que podemos extraer de estas dos observaciones es que si no hay una razón específica para que la salida se mantenga constante a lo largo del período de reloj, deberemos utilizar un modelo de Mealy en nuestro diseño. Un generador de fases un ejemplo del caso de donde se requiere una máquina de Moore. Esto se debe al hecho de que las salidas del reloj deben cambiar solo en los instantes indicados por el problema.

ELEMENTOS NECESARIOS

Para el desarrollo de la práctica utilizaremos el programa de simulación Logisim 2.7.1, que nos permitirá construir y analizar circuitos lógicos y también comprobar experimentalmente que los resultados obtenidos son los esperados.

REALIZACIÓN PRÁCTICA

I. BIESTABLES.

1. Construye un biestable RS síncrono activo por nivel alto mediante puertas lógicas. El circuito debe estar compuesto únicamente por puertas NAND. Implementa el diseño mediante LogiSim y comprueba que el funcionamiento es correcto.
2. Modifica el circuito del ejercicio anterior y añádele entradas de *Preset* y *Clear* activas a nivel bajo. Comprueba que estas entradas asíncronas prevalecen sobre las síncronas.
3. Coloca un biestable JK de los que dispone LogiSim en el área de trabajo y comprueba e identifica la funcionalidad de cada una de sus entradas y salidas. Escribe una tabla de verdad que las comprenda. Utiliza el elemento "Reloj" para proporcionar la señal necesaria en su entrada de reloj.

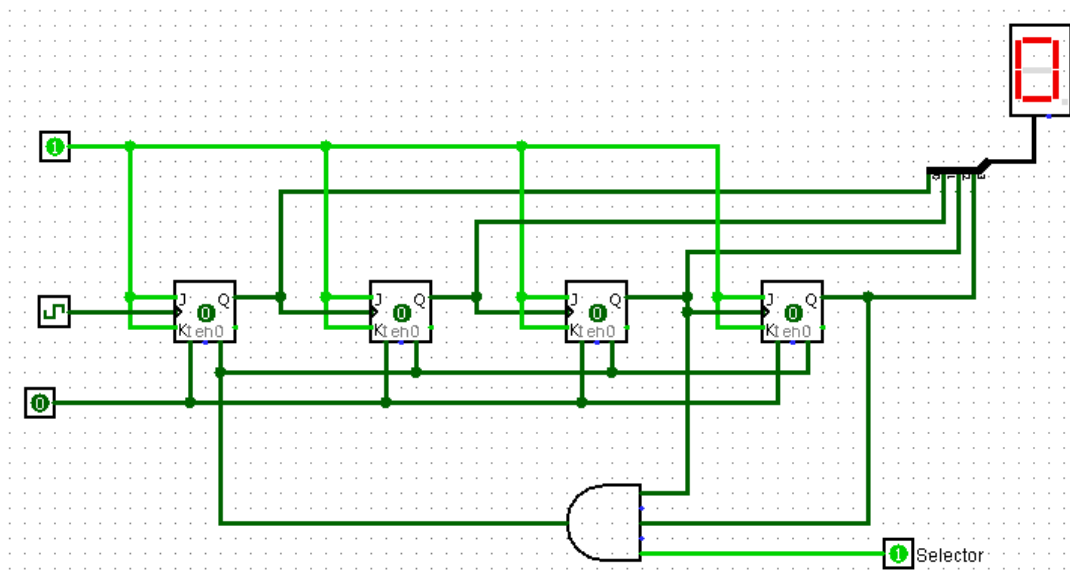


Figura 2 – Contador Asíncrono

II. IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS SECUENCIALES ASÍNCRONOS

1. La Figura 2 muestra un contador asíncrono. Si la entrada *Selector* se encuentra conectado a un 0 lógico tendremos un contador de módulo 16. Para modificar su módulo deberemos actuar sobre

las entradas asíncronas de Preset y Clear. Observa el comportamiento del circuito cuando cambiamos a 1 la entrada *Selector* y determina su nuevo módulo. Modifícalo y conviértelo en un contador de módulo 14.

Para que el comportamiento del contador sea el esperado, los biestables deben ser activos por flanco de bajada. Para ello debes asegurarte de que en las propiedades del biestable aparece como modo de disparo un flanco de bajada (*Trigger -> Falling Edge*).

III. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS SECUENCIALES SÍNCRONOS

1. Se desea diseñar el sistema de control de una Máquina expendedora de refrescos cuyas especificaciones son las siguientes:
 - a. Acepta monedas de 50 cent y 1 € y consta de un sistema de detección automático de moneda introducida que se indica mediante dos bits:
 - i. 00 No hay moneda
 - ii. 01 Moneda de 50 cent
 - iii. 11 Moneda de 1 €
 - b. El precio de los productos debe ser de 1,5€ y debe ser capaz de devolver cambio, por lo que dispondrá de dos salidas:
 - i. Activación de salida del producto
 - ii. Activación de devolución de cambio.

Diseña un sistema secuencial basado en un modelo de Mealy que tomando como entradas los códigos correspondientes a las monedas introducidas nos proporcione dos salidas que indiquen qué salidas deben activarse en cada momento.

El diseño debe constar de:

- a) Grafo de estados con indicación de qué representa cada uno de los estados representados.
- b) Tabla de estados simbólica correspondiente al grafo anterior.
- c) Indicación de la codificación asociada a cada uno de los estados.
- d) Tabla de estados codificada.
- e) Tablas de excitación de los biestables JK que deben utilizarse para el diseño.
- f) Ecuaciones de excitación de los biestables que se obtienen de las tablas anteriores.
- g) Ecuaciones de salida.

Construye y comprueba el funcionamiento del circuito mediante LogiSim. Coloca visualizadores (ver) en las salidas de los biestables para comprobar los diferentes estados.