ÍNDICE

1. LIMITACIONES DE LOS CONTADORES ASÍNCRONOS

Como se ha visto anteriormente, los contadores son circuitos secuenciales muy útiles que tienen una gran cantidad de aplicaciones. Los contadores vistos hasta ahora, son de tipo asíncrono, lo cual no quiere decir que no tengan señal de reloj, si no que ésta solo entra al primer biestable, estando los demás conectados a partir éste, por lo que no se puede calificar el circuito completo de síncrono al no cambiar de estado los biestables simultáneamente. Un contador asíncrono de módulo 16 (cuatro bits) se puede apreciar en la *figura 1*. Las entradas J y K aunque no se indique, están conectas a V_{CC}, lo que hace que el biestable se comporte en modo Toggle. Las entradas asíncronas no figuran, porque se suponen desactivadas (a V_{CC} si fuesen activas a nivel alto).

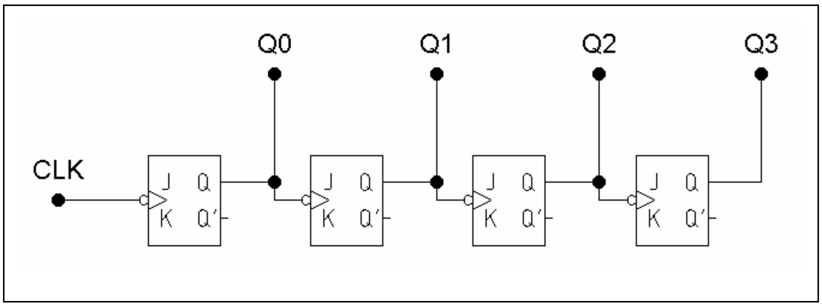

Figura 1: Contador asíncrono de 4 bits

Este diseño de contador, como se ha visto, funciona perfectamente, pero tiene una serie de limitaciones:

I. Se producen a la salida transiciones no previstas, debido a que los biestables no conmutan al mismo tiempo. Por ejemplo: El cambio de 1111 a 0000 que se producirá al llegar el flanco de bajada se efectuará de la siguiente forma: el biestable Q0 cambia a 0, esto provoca un flanco de bajada en Q1 que pasa a 0, e igual fenómeno en Q2 y Q3. Hay una serie de instantes entre que se produce un cambio a la entrada del biestable hasta que la salida cambia en que tendremos a la salida los estados 1111, 0111, 0011, 0001, 0000. Los tres estados intermedios no forman parte de la secuencia y no deberían aparecer.

II. Puesto que el cambio de estado se produce cuando han cambiado todos los biestables y éstos están en cascada, el tiempo de respuesta del contador dependerá del número de biestables. $T_R = n{\cdot}T_P$. Siendo T_P el tiempo de propagación de cada biestable. Esto hace que a medida que aumentamos el número de estados del contador y por tanto el de biestables, éste vea disminuida su frecuencia máxima de funcionamiento dada por: $f_{\max} = \dfrac{1}{T_R} = \dfrac{1}{n{\cdot}T_P}$.

Es por estos motivos por los que se hace necesario introducir una nueva filosofía de diseño de contadores.

2. CONTADORES SÍNCRONOS

Los contadores síncronos se diferencian de los asíncronos en que la señal de reloj va a ser común a todos los biestables, lo que va a motivar que todos los cambios se produzcan a la vez, solventando de esta forma los problemas que presentaban los asíncronos enunciados en el apartado anterior. Como inconveniente, necesitan una lógica adicional conectada a las entradas de los biestables; lógica que vamos a tener que diseñar siguiendo un proceso que en ocasiones puede resultar largo y laborioso.

En la *figura 2* se muestra el esquema interno de un contador síncrono. Los bloque lógicos que aparecen en la imagen son puertas lógicas básicas (AND, OR, NOT…) cuyas entradas son las salidas de los biestables, o sea, el estado del contador en cada momento.

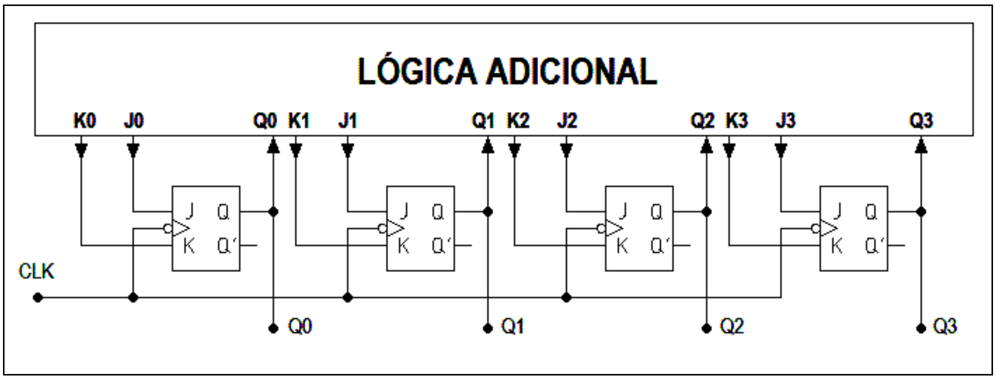

Figura 2: Contador síncrono de 4 bits

Para diseñar un contador síncrono se deben seguir los siguientes pasos:

1. Dibujar la tabla de transiciones donde se refleje el cambio de estado de los biestables al llegar la señal de reloj. Por ejemplo: En un contador BCD, después del 0001 vendrá el 0010, después del 0111 el 1000, después del 1001 el 0000, etc.
2. Decidir el tipo de biestable que usaremos para implementar el contador. Se puede hacer con cualquiera de los existentes: RS, JK, T o D.
3. A partir de la tabla de excitación del biestable elegido, completar la tabla con las entradas de los biestables para cada una de las transiciones del contador.
4. Obtener y simplificar las funciones.
5. Implementar el contador.

A continuación veremos una serie de ejemplos de diseño que ayudarán a comprender los conceptos explicados.

3. CONTADOR BCD SÍNCRONO CON BIESTABLES JK

Vamos a diseñar un contador BCD síncrono con biestables JK. Al contrario que en los asíncronos, en los que se partía del contador binario de 4 bits forzando un reset asíncrono al llegar éste a 10, en los contadores síncronos esto se realiza en la fase de diseño y de forma síncrona, con las ventajas que esto conlleva. Vamos a proceder al diseño siguiendo los pasos citados en el apartado anterior.

I. Dibujar la tabla de transiciones

Nuestro contador tendrá un total de 10 estados (los números del 0 al 9), siendo el estado siguiente siempre el número que viene a continuación, salvo para el 9, en que el estado siguiente será el 0. Puesto que tenemos 10 estados, necesitaremos 4 bits, o lo que es lo mismo, 4 biestables. A continuación se representa la tabla de transiciones del contador BCD.

Estado actual				**Estado siguiente**			
Q_3	Q_2	Q_1	Q_0	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0
0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	1	0	0	1	0
0	0	1	0	0	0	1	1
0	0	1	1	0	1	0	0
0	1	0	0	0	1	0	1
0	1	0	1	0	1	1	0
0	1	1	0	0	1	1	1
0	1	1	1	1	0	0	0
1	0	0	0	1	0	0	1
1	0	0	1	0	0	0	0

Tabla 1: Tabla de transiciones del contador BCD

II. Elegir biestable

Nuestro contador estará formado por biestables y puertas lógicas que los harán cambiar de estado. Podemos utilizar cualquiera de los biestables conocidos para nuestro contador. El problema es encontrar con cual de los biestables vistos obtendremos el mejor diseño, esto es, la menor cantidad de puertas lógicas.

¿Qué biestable será el mejor? A priori no lo sabemos. Todos tienen sus ventajas e inconvenientes. Ya de inicio podemos rechazar el RS, ya que el JK hace lo mismo y además posee la función Toggle, lo que le da una mayor versatilidad. Los biestables D y T presentan la ventaja con respecto al JK de solo tener una entrada, por lo que tendremos que hallar menos funciones, pero por otra parte, el JK presenta en todas las combinaciones de su tabla de excitación estados *no importa*, lo que puede hacer que las ecuaciones sean menos complejas. En resumen: Ninguno de los biestables estudiados es el óptimo y el biestable a usar dependerá del problema.

Para realizar el diseño partimos de la tabla de excitación de los biestables, ya que, como sabemos, es la que nos indica que tenemos que inyectar en las entradas para que se produzca una determinada transición. En este caso, no tendremos que darle muchas vueltas al modelo de biestable a escoger, ya que en las especificaciones de diseño se nos pide que sea de tipo JK.

Recordemos las tablas de excitación de los biestables:

RS

Q_t	Q_{t+1}	R	S
0	0	X	0
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	0	X

JK

Q_t	Q_{t+1}	J	K
0	0	0	X
0	1	1	X
1	0	X	1
1	1	X	0

D

Q_t	Q_{t+1}	D
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1

T

Q_t	Q_{t+1}	T
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Tabla 2: Tablas de excitación de los biestables

III. Obtener entradas de los biestables

Una vez escogido el tipo de biestables, tenemos que hallar la lógica a conectar en sus entradas para que el contador vaya cambiando de estado. Lo que hacemos aquí es ver que inyectar a cada biestable para cada transición. Esto se hace a partir de la tabla de transiciones y de la tabla de excitación del biestable a usar. Para nuestro contador, pondremos 4 biestables JK. Se ha puesto un color distinto para el estado actual y siguiente así como para las entradas de cada biestable. Esto se puede ver a continuación en la *tabla 3*:

Estado actual				Estado siguiente				Entradas a los biestables							
Q_3	Q_2	Q_1	Q_0	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0	J_3	K_3	J_2	K_2	J_1	K_1	J_0	K_0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	X	0	X	0	X	1	X
0	0	0	1	0	0	1	0	0	X	0	X	1	X	X	1
0	0	1	0	0	0	1	1	0	X	0	X	X	0	1	X
0	0	1	1	0	1	0	0	0	X	1	X	X	1	X	1
0	1	0	0	0	1	0	1	0	X	X	0	0	X	1	X
0	1	0	1	0	1	1	0	0	X	X	0	1	X	X	1
0	1	1	0	0	1	1	1	0	X	X	0	X	0	1	X
0	1	1	1	1	0	0	0	1	X	X	1	X	1	X	1
1	0	0	0	1	0	0	1	X	0	0	X	0	X	1	X
1	0	0	1	0	0	0	0	X	1	0	X	0	X	X	1

Tabla 3: Tabla de excitación de los biestables JK del contador BCD

IV. Obtener y simplificar las funciones lógicas

A partir de la tabla, se obtienen las funciones lógicas que excitarán los biestables. Necesitamos un total de 8 funciones lógicas, ya que tenemos 4 biestables y cada uno tiene 2 entradas. Lo mejor para obtener la expresión más óptima de cada función es actuar de la forma que ya conocemos: Aplicando el método de Karnaugh.

En este caso particular, tenemos 10 estados que se corresponden con las casillas del 0 al 9. El resto de estados hasta completar los diagramas no aparecen, por lo que serán estados *no importa*, lo cual nos ayudará a obtener expresiones más reducidas. Además si nos fijamos en la tabla, vemos que aparecen muchos estados no importa para las combinaciones que si existen. Esto es debido a que hemos usado el biestable JK que, como hemos visto en su tabla de excitación, para cada una de las transiciones tiene un estado *no importa*, lo que nos permitirá obtener ecuaciones más simples. Como contrapartida, al contrario que el D y el T, el JK tiene 2 entradas, lo que nos supone tener que realizar el proceso el doble de veces.

Los diagramas y ecuaciones obtenidos se pueden ver en la *figura 3*:

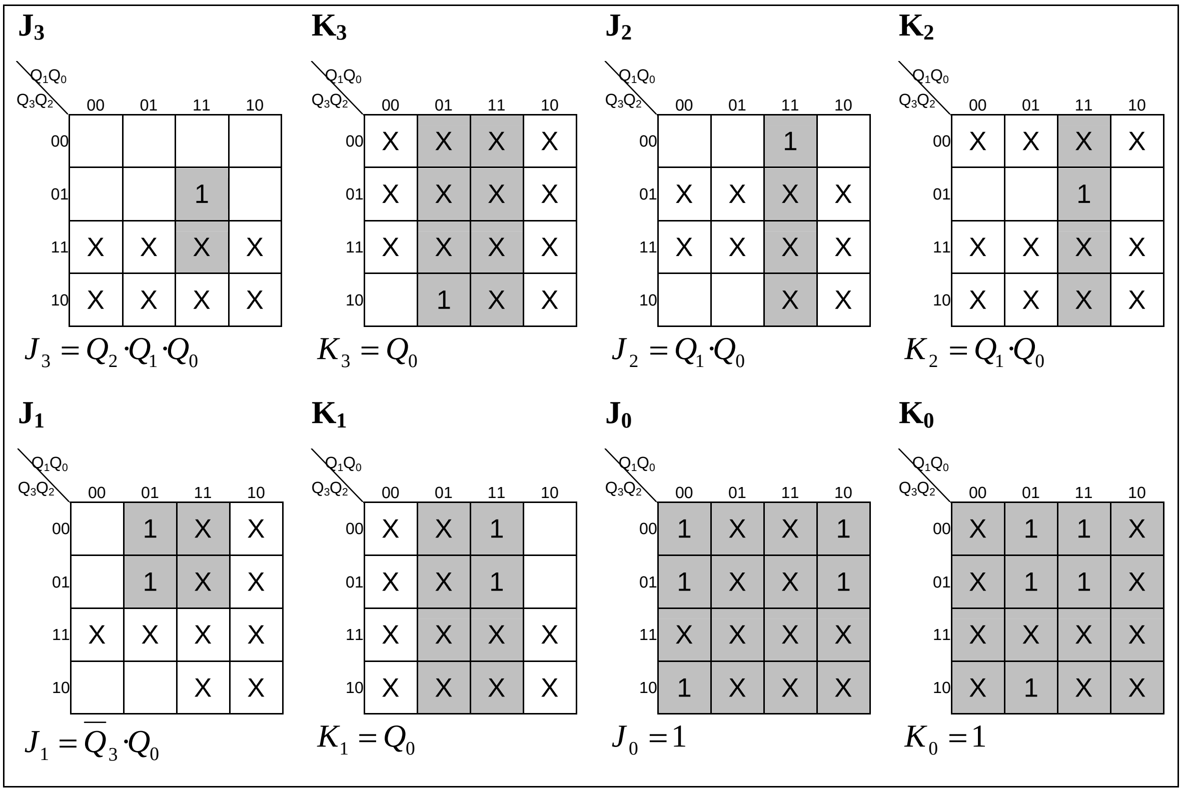

Figura 3: Diagramas de Karnaugh y ecuaciones de los biestables

V. Implementar el contador

En la *figura 4* se puede ver como queda el contador diseñado.

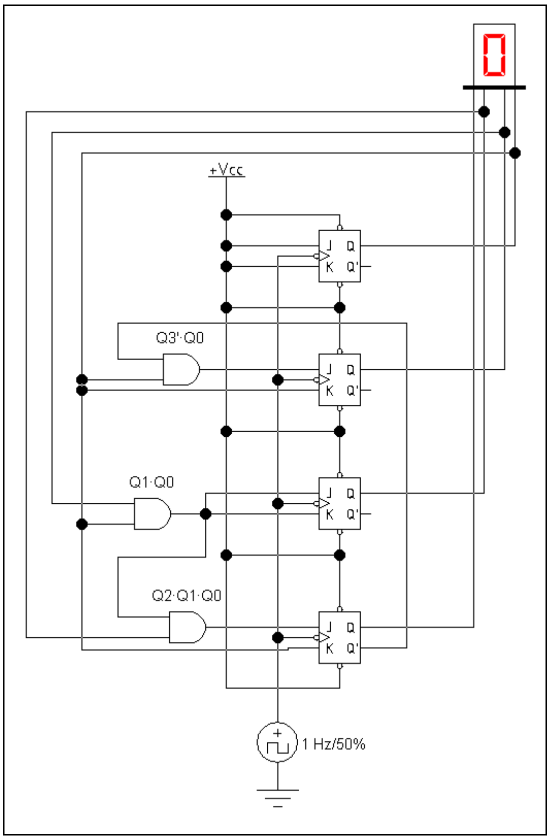

Figura 4: Esquema del contador

4. CONTADOR GRAY DE 3 BITS SÍNCRONO CON BIESTABLES D

Vamos a diseñar un contador Gray de 3 bits con biestables D. Seguiremos el mismo procedimiento que en el apartado anterior.

I. Dibujar la tabla de transiciones

Nuestro contador tendrá un total de 8 estados (los correspondientes a las combinaciones de 3 bits), con la particularidad de que el código será código Gray. A continuación se muestra la tabla de transiciones.

Estado actual			**Estado siguiente**		
Q_2	Q_1	Q_0	Q_2	Q_1	Q_0
0	0	0	0	0	1
0	0	1	0	1	1
0	1	1	0	1	0
0	1	0	1	1	0
1	1	0	1	1	1
1	1	1	1	0	1
1	0	1	1	0	0
1	0	0	0	0	0

Tabla 4: Tabla de transiciones

II. Obtener entradas de los biestables

Como en el apartado anterior, esto se hace a partir de la tabla de transiciones y de la tabla de excitación del biestable a usar. Para nuestro contador, pondremos 3 biestables D. Se ha puesto un color distinto para el estado actual y siguiente así como para las entradas de cada biestable. Las entradas a los biestables D son muy sencillas de obtener: recordar que no hay más que introducir a la entrada el valor al que queremos que cambie el biestable, por lo que las entradas a los biestables serán idénticas al estado siguiente. Esto se puede ver a continuación en la *tabla 5*:

Estado actual			Estado siguiente			Entradas a los biestables		
Q_2	Q_1	Q_0	Q_2	Q_1	Q_0	D_2	D_1	D_0
0	0	0	0	0	1	0	0	1
0	0	1	0	1	1	0	1	1
0	1	1	0	1	0	0	1	0
0	1	0	1	1	0	1	1	0
1	1	0	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	0	1	1	0	1
1	0	1	1	0	0	1	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 5: Tabla de excitación de los biestables D del contador Gray

III. *Obtener y simplificar las funciones lógicas*

A partir de la tabla, se obtienen las funciones lógicas que excitarán los biestables. Necesitamos un total de 3 funciones lógicas. Aplicamos el método de Karnaugh igual que antes. A diferencia que en le caso anterior, no tenemos combinaciones no usadas, por lo que tendremos que rellenar todas las casillas. Además, la tabla de excitación del biestable D no tiene estados no importa, por lo que en los diagramas no aparecerá ninguna X, lo que hará que las expresiones sean más complejas. Los diagramas y ecuaciones obtenidos se pueden ver en la *figura 5*:

D_2

Q_2 \ Q_1Q_0	00	01	11	10
0				1
1		1	1	1

$$D_2 = Q_2 \cdot Q_0 + Q_1 \cdot \overline{Q}_0$$

D_1

Q_2 \ Q_1Q_0	00	01	11	10
0		1	1	1
1				1

$$D_1 = \overline{Q}_2 \cdot Q_0 + Q_1 \cdot \overline{Q}_0$$

D_0

Q_2 \ Q_1Q_0	00	01	11	10
0	1	1		
1			1	1

$$D_0 = \overline{Q}_2 \cdot \overline{Q}_1 + Q_2 \cdot Q_1 = \overline{Q_2 \oplus Q_1}$$

Figura 5: Diagramas de Karnaugh y ecuaciones de los biestables

IV. Implementar el contador

En la *figura 6* se puede ver como queda el contador diseñado. Nótese que al contrario de lo que podía parecer a priori con este diseño (mayor sencillez debido a un menor número de estados, menos biestables, solo una ecuación por biestable…) El diseño ha resultado ser más complejo. Esto es debido a varios factores. En primer lugar, aunque el biestable D tiene solo 2 entradas, no tiene estados no importa en su tabla de transiciones, lo que hace que solo pongamos 1 o 0 en las combinaciones correspondientes a cada uno de los estados. En segundo lugar, aunque tenemos menos estados (8 en lugar de 10), no hay ningún estado no permitido, por lo que no aparecerán X en ninguna casilla, como se ha podido apreciar en la *figura 5*.

En resumen: El diseño de sistemas síncronos resulta en ocasiones un proceso largo. Se puede llegar a una solución más óptima utilizando el biestable adecuado, pero esto a priori no lo sabemos. De cualquier forma, con el biestable JK obtendremos las ecuaciones más simples, aunque serán el doble que las necesarias para un biestable D o T.

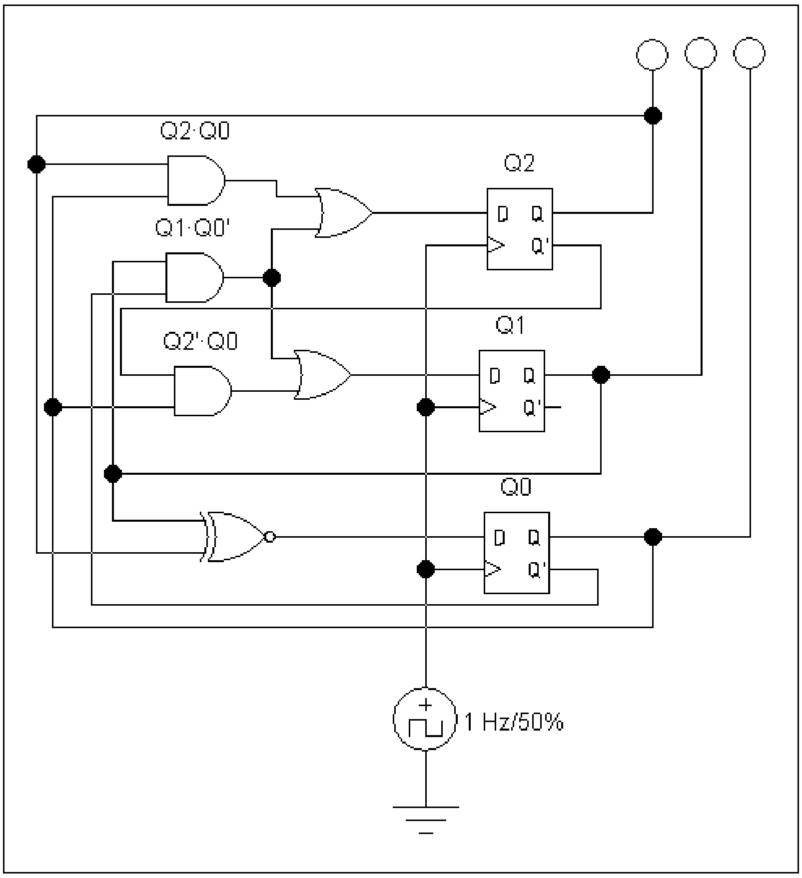

Figura 6: Esquema del contador

5. EJERCICIOS

I. Contador binario de 4 bits

Diseñar e implementar un contador ascendente binario de 4 bits (cuenta desde 0000 hasta 1111). Hacerlo con biestables JK y D. ¿Con qué biestable se obtiene la solución más óptima?

II. Dado electrónico

Se puede hacer un dado electrónico de la siguiente manera: si tenemos un contador de 1 a 6 conectado a un display de 7 segmentos donde se vea el número, al conectarlo a un reloj que vaya lo suficientemente rápido (1KHz por ejemplo) será imposible para el ojo humano distinguir el número visualizado. Si conectamos un interruptor a la señal de reloj, de tal forma que podamos inhibirla, en el momento que lo hagamos el contador no cambiará de estado y el último número se visualizará en el display hasta que activemos el reloj de nuevo. Dicho número es aleatorio, ya que en el momento de inhibir el reloj no podemos saber el estado del contador. Diseñar el circuito con biestables JK y con biestables T.

III. Quiniela electrónica

Existen unos dados para realizar la quiniela que tienen **1** en tres de las caras, **X** en dos caras y **2** en una cara. Diseñar un circuito similar al anterior que muestre **1**, **X**, **2** en cada tirada pero con la probabilidad del dado de quinielas: por cada **2**, deberán salir dos **X** y tres **1** (estadísticamente hablando, por supuesto).

PISTA: Si ya tenemos el dado, el problema resultará más sencillo.