Sistemas Secuenciales Modo Reloj

4.1 Examen de Marzo de 1996 - Problema 1

4.1.1 Letra del problema

Se quiere diseñar un circuito secuencial modo reloj que detecte el sentido de movimiento de una cinta transportadora como la que se indica en la **figura 1**. Para ello se dispone de una banda dentada con dientes de tamaño L solidaria a la cinta transportadora, y de 2 dispositivos electro-ópticos **A** y **B** ubicados a una distancia de 3L/2 entre sí (**figura 2**). Cuando un diente de la cinta está frente a uno de estos dispositivos, éste da salida 1, y en caso contrario da salida 0. El circuito deberá tener una salida Z que valdrá 1 cuando la cinta se mueva hacia la derecha, y 0 en caso contrario.

Se pide:

a) Si la velocidad máxima que puede alcanzar la cinta transportadora es **V**, calcular la frecuencia de reloj $\mathbf{f_{ck}}$ mínima para que sea posible el diseño de un circuito modo reloj que detecte el sentido de movimiento, como se indicó anteriormente. Justificar con un diagrama de tiempos.
b) Diseñe completamente el circuito modo reloj suponiendo que la frecuencia de reloj cumple la condición hallada en (a).

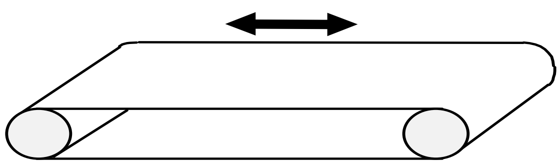


Figura 1

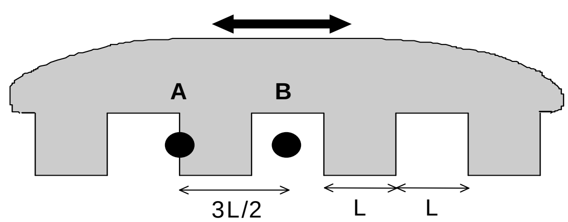


Figura 2

4.1.2 Solución

a) <u>VELOCIDAD MÁXIMA.</u>

Para el cálculo, se considera que la cinta se mueve de izquierda a derecha a velocidad máxima **V**, generando las señales A y B el diagrama de tiempos de la figura 3 (para el caso de derecha a izquierda, es similar).

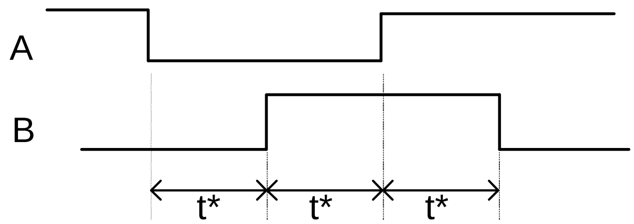


Figura 3

El tiempo t^* es el tiempo que transcurre entre cambios entre las entradas A y B. En este tiempo, la cinta recorre una distancia ½ **L**. Como la velocidad de la cinta es **V**, se tiene que, $t^* = ½ L / V = L / (2 . V)$

Para que el circuito funcione correctamente, el periodo debe ser más pequeño, o en el límite igual, que el tiempo mínimo entre cambios de las entradas, para garantizar que todo cambio sea detectado. Este tiempo mínimo se da a velocidad máxima y es t^*.

Esto implica que para que el circuito funcione, $T_{ck} \leq t^*$, o sea $T_{ck} \leq L / (2 . V)$, o lo que es lo mismo: $f_{ck} \geq 2 . V / L$.

Por lo tanto, la frecuencia mínima de funcionamiento es: $f_{ck_{min}} = 2 . V / L$

b) <u>DISEÑO DEL CIRCUITO.</u>

Diagrama de estados

Se observa que las señales A y B tienen un comportamiento dado cuando la cinta se mueve a la izquierda y otro distinto cuando esta lo hace hacia la derecha. Estos comportamientos se pueden resumir, de acuerdo a los valores que toman las entradas AB, en:

- Cinta hacia la izquierda, 10 --> 11 --> 01 --> 00 --> 10 -->....
- Cinta hacia la derecha, 01 --> 11 --> 10 --> 00 --> 01 -->....

Esto nos da la pauta de que se puede simplificar el razonamiento diseñando 2 diagramas de estado, uno en el cual se describa el movimiento de la cinta hacia la izquierda y el otro hacia la derecha. Luego el problema se resume a detectar cambios en el sentido de movimiento de la cinta.

Obtener ambos diagramas de estado no genera ninguna dificultad, por lo que se asume que a partir de lo anterior, obtener los diagramas es inmediato. Estos diagramas se representan en la figura 4.

La salida Z debe valer 0 o 1 conforme la cinta se mueve a la izquierda o a la derecha respectivamente. Por este motivo, la salida del diagrama a) es siempre 0 y la del b) es siempre 1.

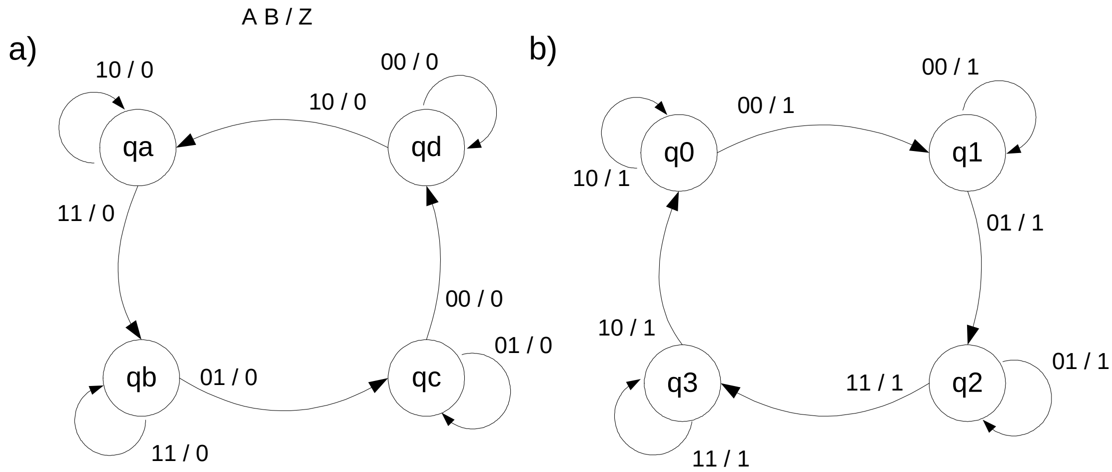


Figura 4 Diagramas de estados con la cinta hacia la: a) izquierda y b) derecha

Para obtener el diagrama de estados completo hay que introducir los cambios de sentido en el movimiento de la cinta. Una opción sería agregar las "flechas" que van del primer diagrama de estados al segundo y viceversa, pero en esta oportunidad se va a buscar un "atajo" dada la simetría del problema.

Intentaremos superponer ambos diagramas en un solo diagrama de 4 estados.

Se considera un estado cualquiera, por ejemplo, la cinta se mueve hacia la izquierda con AB = 10, por lo que el estado actual es qa. Se detecta en ese momento un cambio de sentido, AB pasa a ser 00. ¿A que estado se va dentro del diagrama de la izquierda? Veamos las posibilidades:

- **qd**: NO, pues debe ser Z = 1 con entrada 00, lo que contradice el diagrama.
- **qc:** NO, pues debe ser Z = 1 con entrada 00, lo que contradice el diagrama.
- **qb**: NO, pues si la cinta continúa avanzando a la derecha, debe mantener Z = 1 para entrada 01, lo que contradice el diagrama.
- **qa**: OK

Razonando de igual forma, se pueden superponer ambos diagramas de estado llegando al diagrama completo de la figura 5.

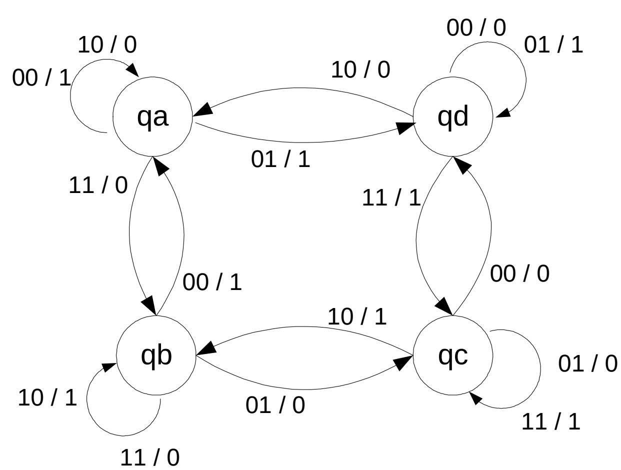


Figura 5. Diagrama de estados completo

Tabla de estados

	Próximo estado (q_{i+1})				Salida Z			
q_i \ A B	00	01	11	10	00	01	11	10
qa	qa	qd	qb	qa	1	1	0	0
qb	qa	qc	qb	qb	1	0	0	1
qc	qd	qc	qc	qb	0	0	1	1
qd	qd	qd	qc	qa	0	1	1	0

Minimización de estados

Basta observar las salidas para deducir que no hay estados equivalentes, por lo que la tabla de estados es mínima.

Codificación de estados

Se asigna la codificación: qa = 00, qb = 01, qc = 11, qd = 10.
Su elección es libre
Con esta codificación la tabla de estados queda:

	Próximo estado (D_1D_0)				Salida Z			
Q_1Q_0 \ A B	00	01	11	10	00	01	11	10
00	00	10	01	00	1	1	0	0
01	00	11	01	01	1	0	0	1
11	10	11	11	01	0	0	1	1
10	10	10	11	00	0	1	1	0

Elección de flip-flop

Dado que letra del problema no especifica el tipo de flip-flop a utilizar, se considera el FF-D así se evita el paso de incluir la tabla de transiciones. Recordar que en un FF-D, Q_{i+1} toma el valor de D en el momento del flanco activo de reloj.

Son necesarios 2 FF-D.

Ecuaciones de los flip-flop y salida.

Mapa de Karnaugh.

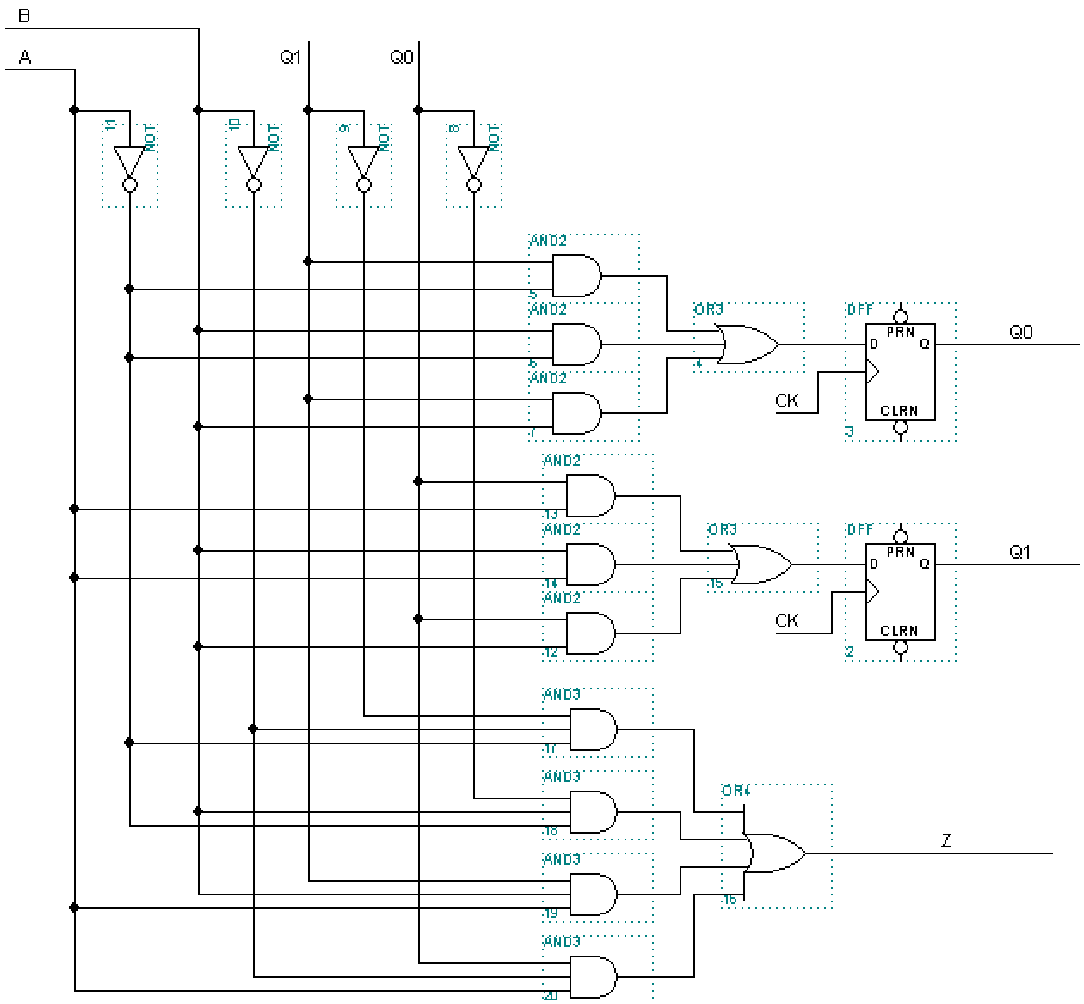
	D_1				D_0				Z			
Q_1Q_0\ A B	00	01	11	10	00	01	11	10	00	01	11	10
00	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0
01	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1
11	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1
10	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0

!A Q_1 !A B B Q_1 B Q_0 A B A Q_0 !A !B !Q_1 !A B !Q_0 A B Q_1 A !B Q_0

Las ecuaciones quedan:

$$D_1 = !A\ Q_1 + !A\ B + B\ Q_1$$
$$D_0 = B\ Q_0 + A\ B + A\ Q_0$$
$$Z = !A\ !B\ !Q_1 + !A\ B\ !Q_0 + A\ B\ Q_1 + A\ !B\ Q_0$$

<u>Circuito.</u>



Errores, omisiones, comentarios: Javier Rodríguez, jrodri en fing edu uy