

TEMA 7: Circuitos secuenciales**OBJETIVOS**

Experimentar con los circuitos secuenciales básicos como son los biestables o flip-flops de diferentes tipos. También mostraremos algunos ejemplos prácticos de aplicación.

RELACIÓN DE MATERIALES

- Entrenador Universal Trainer o plataforma equivalente para experimentación de circuitos digitales; cables de conexión.
- C. Integrados: 1 x 4011; 1 x 74xxx00; 1 x 74xxx02; 1 x 74xxx04; 1 x 74xxx112; 1 x L293D
- Resistencias: 2 x 10K; 1 x 100K; 1 x 1M
- Condensadores: 1 x 100n; 1 x 1 μ F; 1 x 10 μ F
- Varios: Motor DC de 6V

INDICE GENERAL**P1: BIESTABLES ASINCRONOS**

- P1-1 Flip-Flop R-S con puertas NOR activo por nivel "1"
- P1-2 Flip-Flop R-S con puertas NAND activo por nivel "0"
- P1-3 Control ON/OFF de un motor DC
- P1-4 Alarma por rotura de conductor

P2: BIESTABLES SINCRONOS

- P2-1 Flip-Flop R-S síncrono con puertas NAND
- P2-2 Tipo D
- P2-3 Tipo J-K Master/Slave
- P2-4 El efecto "Rebote"
- P2-5 Tipo D con preset (PR) y clear (CL)
- P2-6 Tipo T (Toggle)
- P2-7 Juego: "el más rápido"

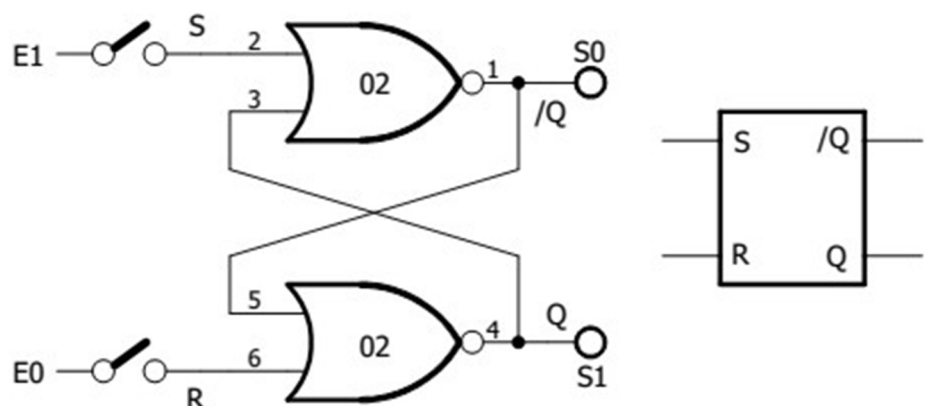
TEMA 7: Circuitos secuenciales

P1: BIESTABLES ASÍNCRONOS

De todos los circuitos secuenciales básicos, los biestables o "flip-flops" asíncronos son los más sencillos de todos y además nos permiten comprender y dar paso a los circuitos biestables más complejos como son los síncronos, J-K, tipo D y tipo T.

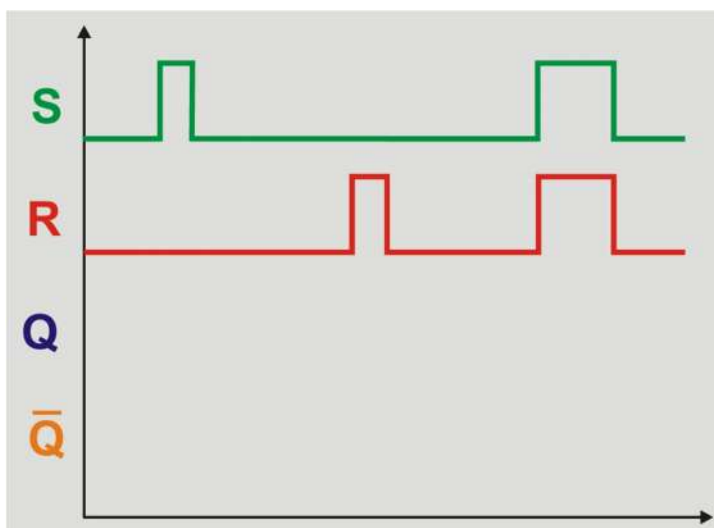
P1-1 Flip-Flop R-S con puertas NOR activo por nivel "1"

En la imagen puedes ver su esquema eléctrico de montaje así como su símbolo simplificado.



La entrada S (Set), desde el interruptor E1, sirve para activar a la salida Q (led S1), mientras que R (Reset), conectada con el interruptor E0, la desactiva. En ambos casos las señales S y R son activas por nivel "1". La salida /Q (inversa de Q) la visualizamos en el led S0. La tabla de la verdad resume su funcionamiento.

ENTRADAS		SALIDAS	
R	S	Q	/Q
0	0	Q	/Q
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	PROHIBIDO	



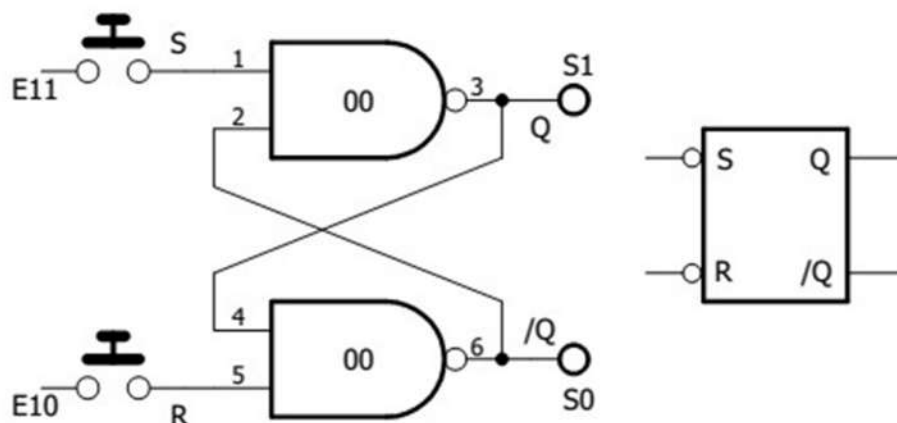
Te animo a que montes el circuito, compruebes la tabla de la verdad y completes el siguiente diagrama de tiempos. No te preocupes por el estado "prohibido" o "indeterminado". No se va a estropear nada. Simplemente que activar y desactivar Q al mismo tiempo es una situación incongruente.

Es importante que tengas claro en qué consiste el "efecto memoria" del flip-flop. Cuando pones a "1" la señal S con el interruptor E1 del entrenador, la salida Q se activa, pero si S la dejas nuevamente a nivel "0" (reposo), la salida Q se mantiene activada. Si actúas con la señal R del interruptor E0 haciendo lo mismo, la salida Q se desactiva. Es decir, de alguna manera el circuito "recuerda" si le aplicaste señal de activación (S) o de desactivación (R). Sobre la salida Q estamos memorizando un bit de nivel "1" o de nivel "0".



P1-2 Flip-Flop R-S con puertas NAND activo por nivel "0"

Su esquema práctico de montaje y el símbolo simplificado lo tienes a continuación.



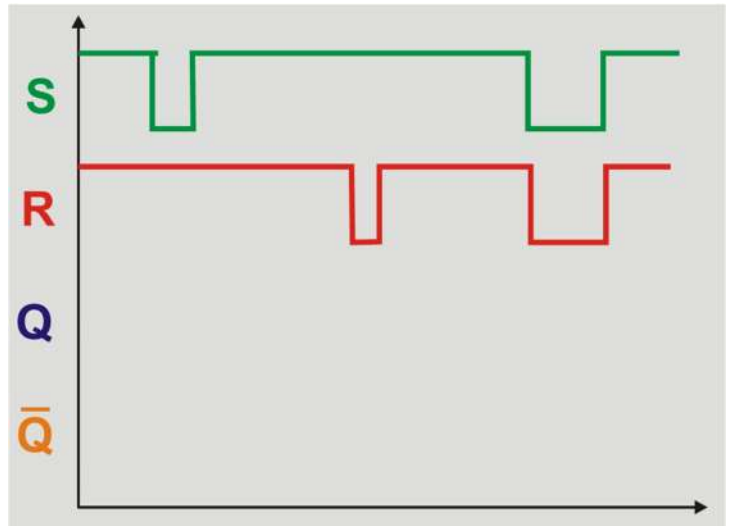
En esta ocasión las entradas S (Set) y R (Reset) son activas por nivel "0" y las hemos conectado con los pulsadores E11 y E10 del entrenador. Ambas señales estarán en reposo cuando se encuentre a nivel "1". Este funcionamiento se resume en la tabla de la verdad.

ENTRADAS		SALIDAS	
R	S	Q	/Q
1	1	Q	/Q
1	0	1	0
0	1	0	1
0	0	PROHIBIDO	

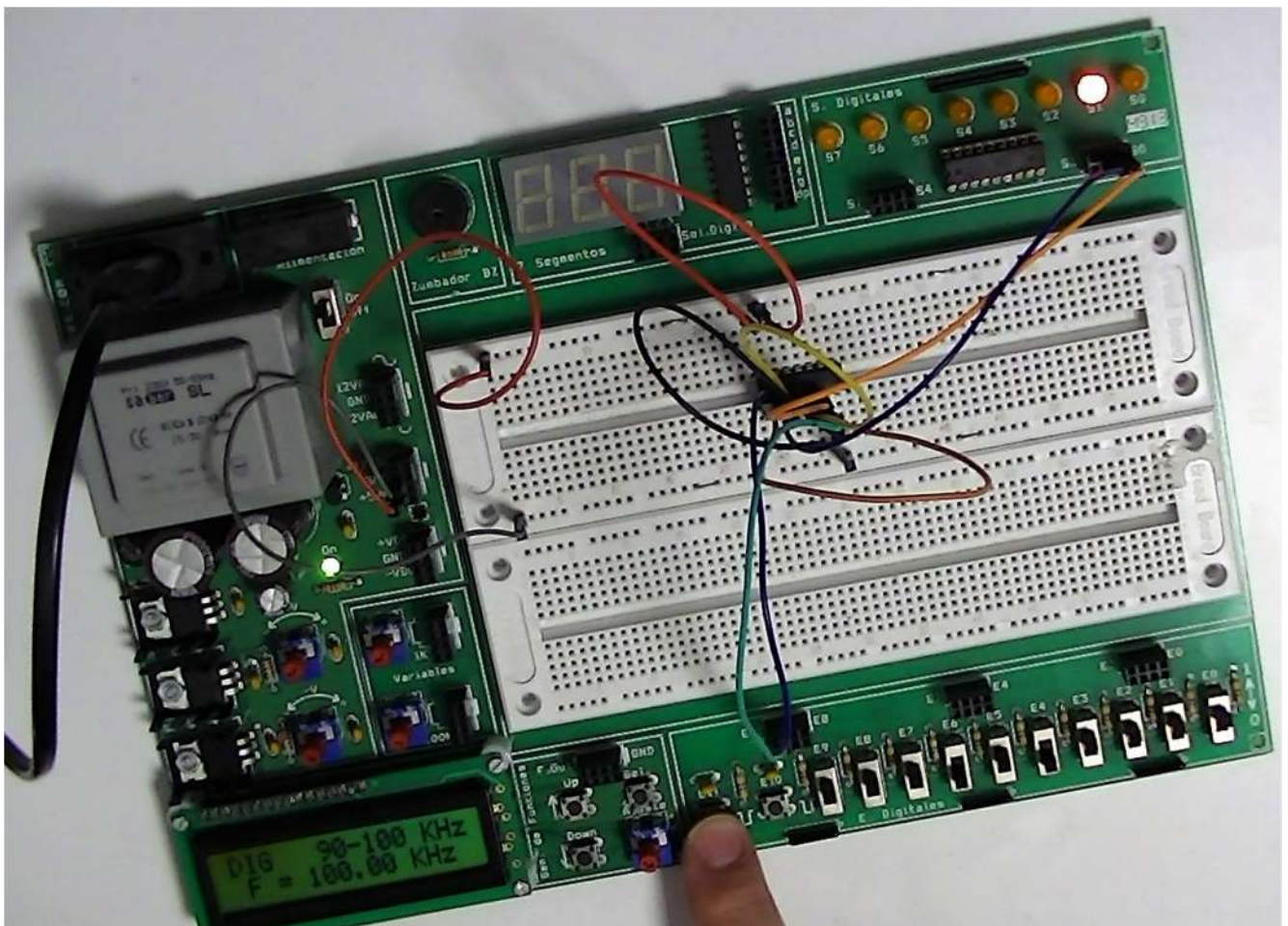
Los pulsadores E11 y E10 del entrenador nos van a venir muy bien en esta ocasión. Cada vez que accionas uno de ellos generas un nivel "0", y cuando lo sueltas y lo dejas en reposo el pulsador proporciona un nivel "1".

Nuevamente te animo a que montes el circuito, compruebes la tabla de la verdad y completes el diagrama de tiempos propuesto.

Fíjate también en el "efecto memoria". Cuando aplicas la señal S o R la salida Q se activa o desactiva y se mantiene en ese estado aunque la señal que lo originó desaparezca.

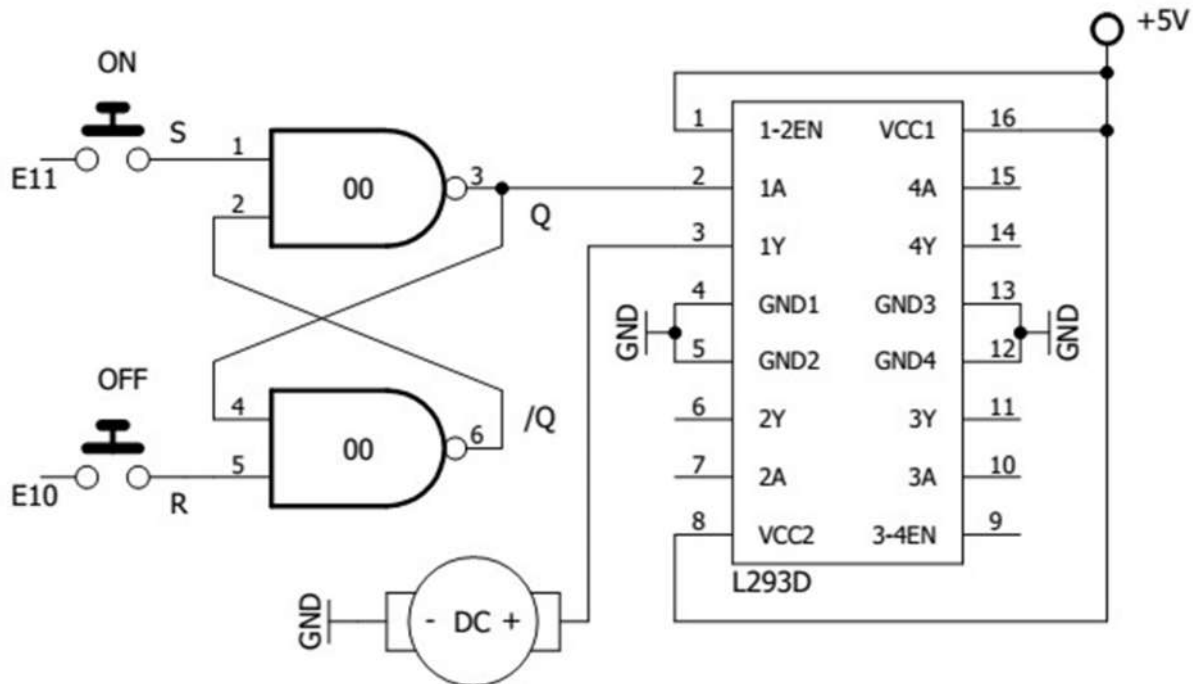


Este sería el montaje del flip-flop R-S asíncrono con puertas NAND realizado sobre el entrenador Universal Trainer.



P1-3 Control ON/OFF de un motor DC

Un sencillo circuito de aplicación podría ser el que tienes en el esquema. Se trata de controlar la maniobra START/STOP de un motor de corriente continua (DC).



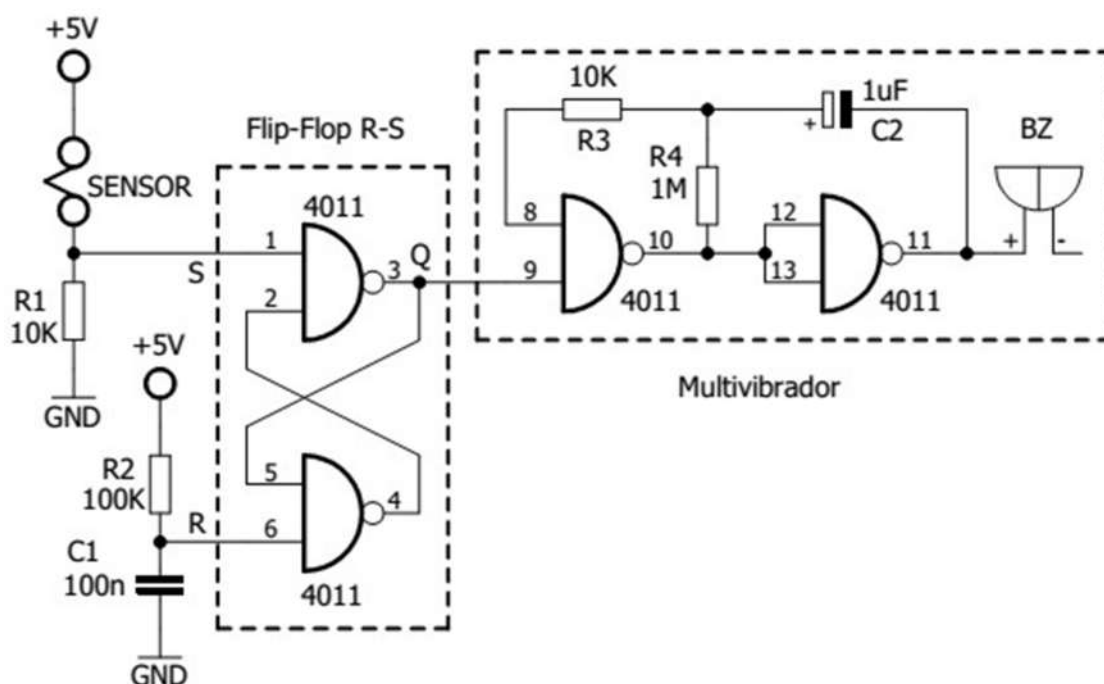
Ya ves que se trata de un sencillo biestable o flip-flop tipo R-S asíncrono con puertas NAND, que recibe las señales S y R desde los pulsadores E11 y E10 respectivamente, y con los que podremos poner en marcha el motor (ON) o detenerlo (OFF) mediante sencillas pulsaciones.

Piensa que lo mismo que controlamos un motor podríamos controlar cualquier otro dispositivo o máquina como puede ser un relé, una electroválvula, una lámpara, un calefactor, etc...

NOTA: Aunque el esquema teórico funciona correctamente, quizás puedas encontrarte con algún problema de funcionamiento en el montaje práctico. Nosotros no los hemos tenido en las pruebas realizadas. En cualquier caso, si así fuera, ello es debido a que el arranque del motor produce picos que elevan el consumo de la alimentación en unos 600 mA, lo que puede provocar que esta descienda por debajo de los +5V y el flip-flop cambie de estado de forma imprevista. Esto lo puedes solucionar si empleas una tensión de alimentación externa de +5V que soporte una mayor intensidad que la alimentación propia del entrenador Universal Trainer. ¡¡ Cosas de la electrónica !!

P1-4 Alarma por rotura de conductor

Otro ejemplo de aplicación práctica. Se trata de un sencillo sistema de alarma por rotura de conductor o apertura de un circuito. Mira el esquema. En él tienes dos secciones bien reconocibles: un Flip-Flop R-S y un multivibrador idéntico al que montaste en el apartado P1-5 del tema 4. Empleamos el circuito 4011 que contiene 4 puertas NAND de tipo CMOS.



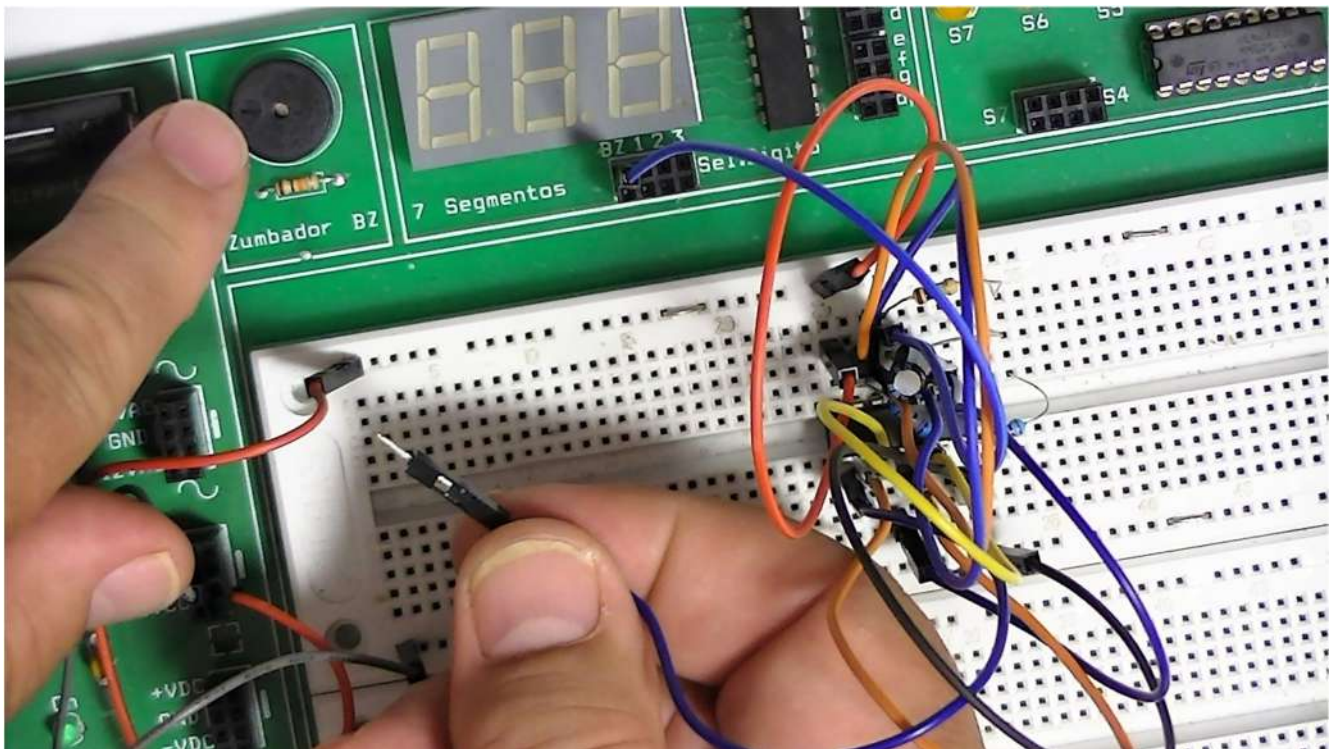
La señal R del flip-flop se produce en la célula R2/C1. Cada vez que se conecta la alimentación, la entrada R se mantiene a nivel "0" durante un breve espacio de tiempo, con lo que la salida Q se fuerza a nivel "0" y el multivibrador queda inhabilitado. Cuando el condensador C1 se carga la señal R pasa a "1" aunque Q se mantiene a nivel "0".

En condiciones normales de reposo la señal S está a nivel "1". Sin embargo, cuando se produce la apertura/rotura del sensor, la señal S se pone a nivel "0" a través de R1. La salida Q se activa a nivel "1" y se mantiene en este estado aunque el circuito del sensor vuelva a cerrarse. El multivibrador se habilita.

Este multivibrador produce un señal de onda cuadrada cada vez que en la patilla 9 haya un nivel "1". Precisamente esta patilla está conectada con la salida Q del flip-flop.

La señal de onda cuadrada es de una frecuencia aproximada de 1 Hz y va a parar al zumbador piezoeléctrico del entrenador (BZ), que genera una señal acústica de alarma.

En la imagen tienes el montaje práctico realizado sobre el entrenador Universal Trainer.

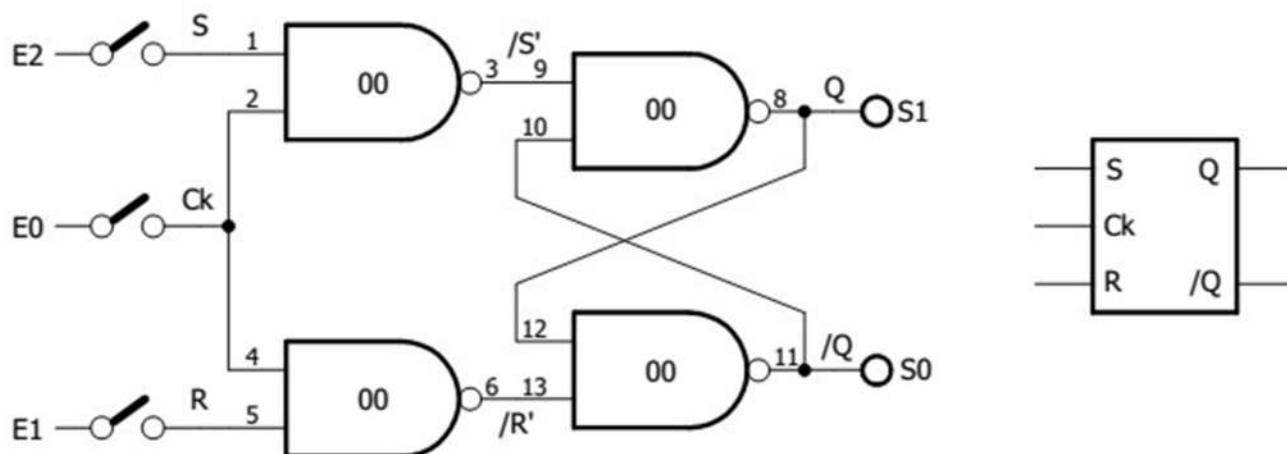


P1: BIESTABLES SINCRONOS

Básicamente son biestables o flip-flops en los que además de disponer de señales para su activación/desactivación, disponen de una señal adicional conocida como señal de reloj o "*CLOCK*" que abreviadamente se le conoce como CK o CLK. Esta señal sirve para sincronizar el instante en el que las señales de activación o desactivación tienen efecto.

P2-1 Flip-Flop R-S síncrono con puertas NAND

Se obtiene directamente a partir de un flip-flop asíncrono al que añadimos un par de puertas para sincronizar las señales S y R con la de reloj CK. Mira su esquema y símbolo simplificado...

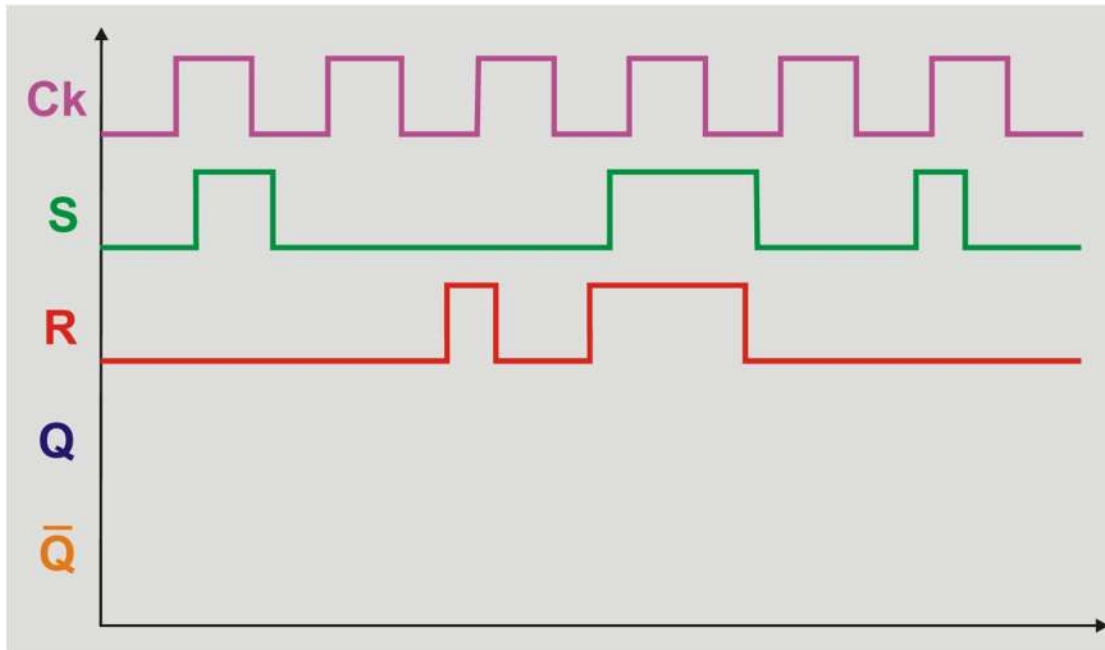


Para obtener las señales $/S'$ o $/R'$ que activan o desactivan la salida Q, es necesario que S y Ck o bien R y Ck estén a nivel "1".

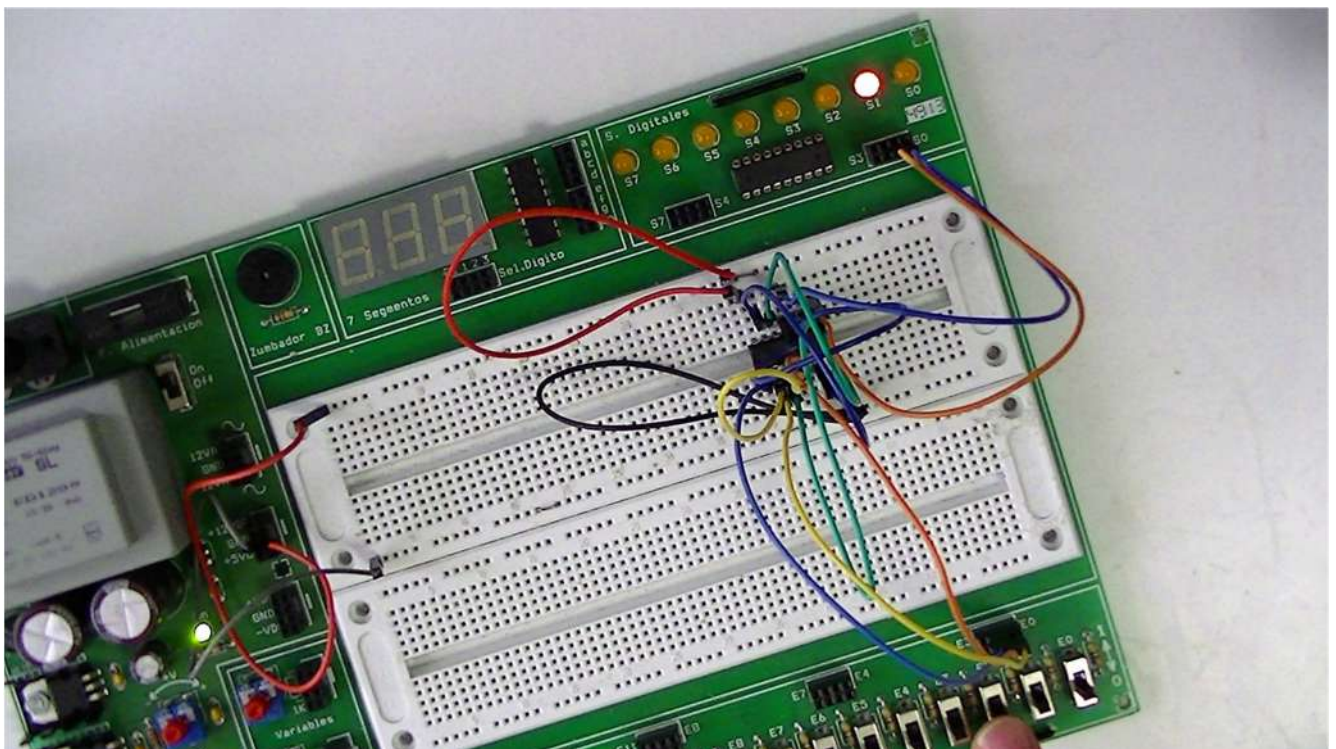
Resumiendo. Para activar la salida Q no basta con que la señal S (E2) esté a nivel "1", sino que la señal Ck (E0) debe coincidir también con un nivel "1". Para desactivar la salida Q la señal R (E1) debe coincidir también a nivel "1" con la señal de reloj Ck (E0). Mira la tabla de la verdad.

ENTRADAS			SALIDAS	
Ck	R	S	Q	/Q
0	X	X	Q	/Q
1	0	0	Q	/Q
1	0	1	1	0
1	1	0	0	1
1	1	1	PROHIBIDO	

Monta el circuito y comprueba su funcionamiento así como la tabla de la verdad. También te invito a que completes el siguiente diagrama de tiempos. Sugiero que emplees una regla para hacer coincidir las señales con la mayor exactitud posible.

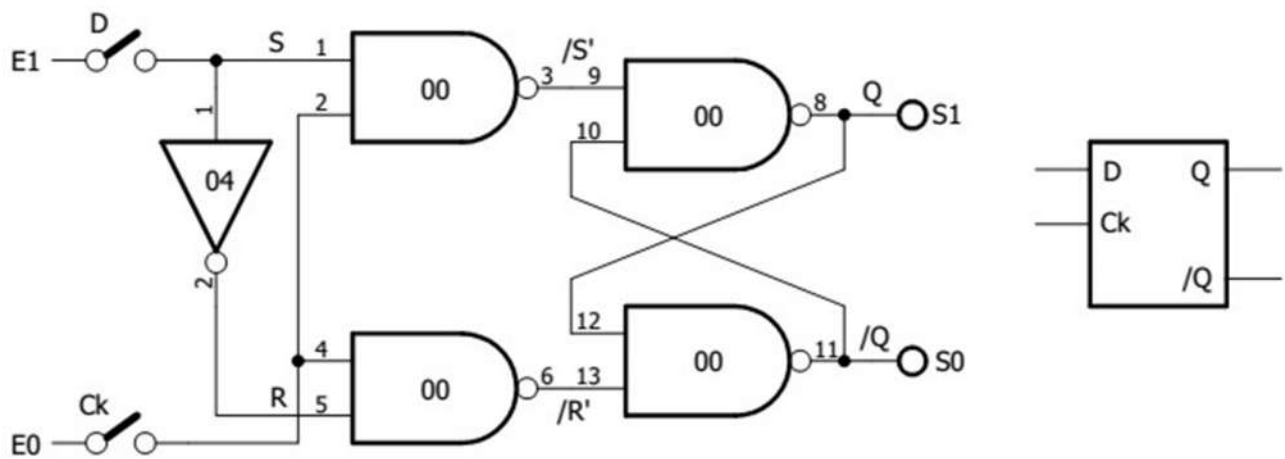


En la imagen puedes ver el montaje práctica sobre el Universal Trainer.



P2-2 Tipo D

Es una sencilla variación del biestable o flip-flop anterior. En este caso solo tenemos una entrada D de datos y una señal de reloj o Ck. Mira el esquema y su símbolo simplificado.



Observa que se basa en un flip-flop R-S síncrono donde la señal S de activación ahora se denomina D y la señal R de borrado es la inversa de D. Nunca habrá indeterminación o estado prohibido. Si D (o S) vale "1" R valdrá "0" y viceversa.

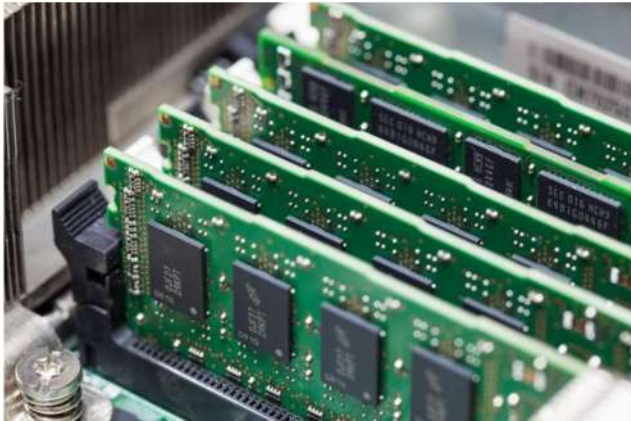
Su funcionamiento es fácil de deducir. Por la entrada D (E1) introducimos el bit que queremos memorizar, el nivel "0" o el "1". La señal Ck de reloj (E0) sincroniza el instante en el que se produce la memorización de ese bit. La tabla de la verdad resume el funcionamiento.

ENTRADAS		SALIDAS	
Ck	D	Q	/Q
0	X	Q	/Q
1	0	0	1
1	1	1	0

Una vez montes el circuito comprueba su funcionamiento y compáralo con la tabla de la verdad. Completa también el siguiente diagrama de tiempos.



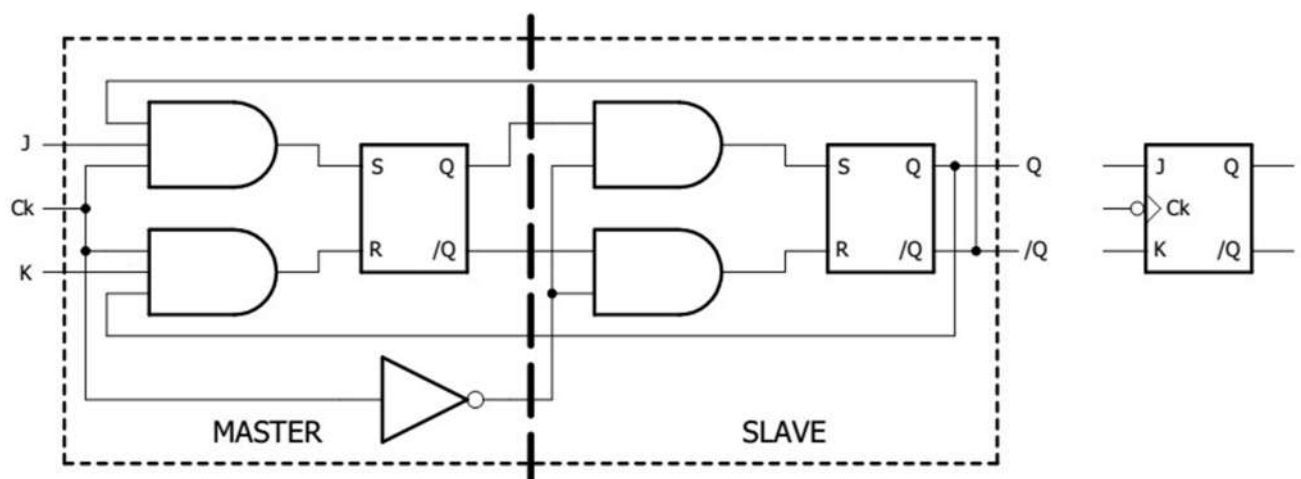
El flip-flop tipo D es el más sencillo de usar. Si quieres grabar un "1" pones la entrada D a "1" y si quieres grabar un "0" pones la entrada D a nivel "0". En ambos casos debes de proporcionar la señal *Ck* de reloj que se podría interpretar como la orden de memorizar el bit deseado.



El circuito solo es capaz de memorizar un bit ("0" o "1"), pero puedes encontrar dispositivos que integran decenas o cientos de miles de este tipo de flip-flop y que por tanto pueden albergar una información compuesta de decenas o cientos de miles de bits. Son lo que se conoce como dispositivos de memoria RAM estática empleada profusamente en todo tipo de ordenadores, tablets, smartphones, etc... ¿Has oído hablar de ella?

P2-3 Tipo J-K Master/Slave

Es probablemente el más versátil (y complicado) de los flip-flops. Las entradas ahora se llaman J para activar la salida Q y K para desactivarla. Equivalen a S y R respectivamente. Mira el siguiente esquema para que te hagas una idea.



Fíjate que está compuesto de dos flip-flop R-S en serie, uno tras otro. El primero recibe el nombre de Master y recoge el estado de las entradas J-K cuando la señal CK de reloj está a nivel "1".

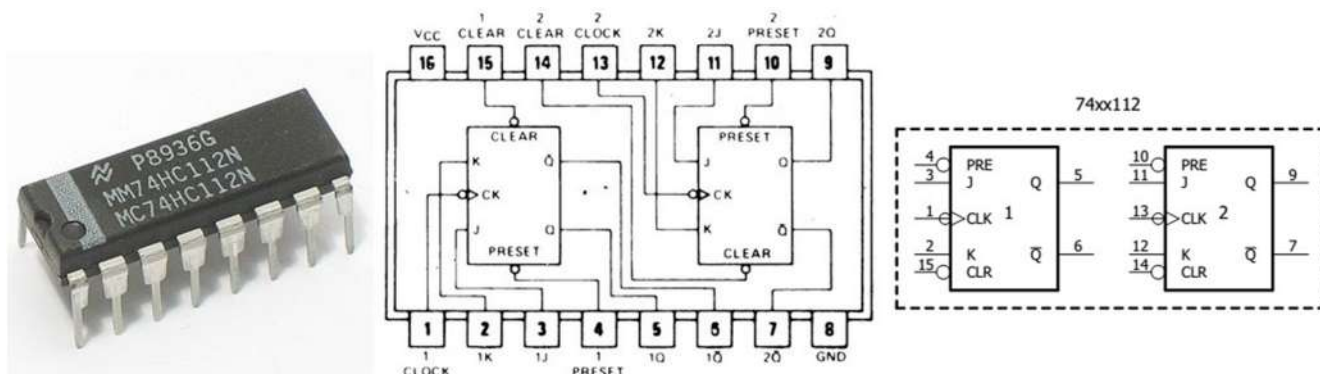
El segundo flip-flop R-S recibe el nombre de Slave. Recoge la información actual del Master y la presenta en las salidas Q y /Q únicamente cuando la señal CK de reloj pasa a nivel "0".

El biestable J-K funciona en dos tiempos gracias a la inversión de la señal Ck de reloj. Cuando sube a nivel "1" las entradas J-K quedan en el Master, en mitad del camino, y cuando CK pasa a nivel "0" aparecen en las salidas Q y /Q del Slave.

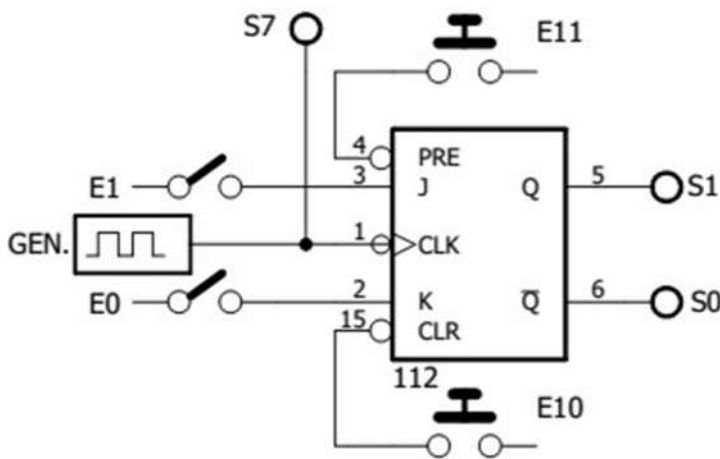
Quiero que te fijes en dos detalles muy importantes que caracterizan a este tipo de flip-flop o biestable del tipo J-K:

1. Al funcionar en dos tiempos el estado de las entradas J y K solo se reflejan en las salidas Q y /Q cuando la señal de reloj transita de nivel "0" a nivel "1" y nuevamente a nivel "0". Se dice que la señal CK de reloj es activa "por flanco". Puede ser ascendente (1-0-1) o descendente (0-1-0) como es en este caso.
2. Observa que la salida /Q se realimenta en la entrada J mientras que Q lo hace con la entrada K. Si ambas entradas J-K se encuentran a "1", las salidas dependerán del estado anterior. Si Q estaba a "1" pasará a "0" y viceversa con cada pulso de reloj en CK. A esto se le llama "basculado" o efecto "Toggle". De este modo no hay indeterminación o estado prohibido.

Por fortuna no tendremos que montar un circuito como el del esquema anterior. Existen dispositivos comerciales como es el caso del 74xx112 que contiene dos biestables del tipo J-K como puedes ver en la figura.



Para el desarrollo de esta práctica te propongo que realices el siguiente montaje práctico.



Como puedes ver es muy sencillo ya que el flip-flop se encuentra totalmente montado dentro del circuito integrado 74xxx112.

Ya que puede haber múltiples modelos de flip-flop del tipo J-K comerciales, quiero hacerte notar dos detalles importantes de este modelo en concreto:

1. La señal Ck de reloj es activa por flanco descendente. Es decir, para que las entradas J-K actúen sobre las salidas Q y /Q, es necesario que la señal de reloj transite desde el nivel "0" al nivel "1" y vuelta de nuevo al nivel "0" (0-1-0). Hemos optado por emplear el generador de funciones del Universal Trainer para producir esta señal.
2. Este modelo dispone de dos señales asíncronas de prefijación, PR y CL, que sirven para poner al flip-flop en un estado inicial conocido antes de empezar a gobernarlo desde las entradas J, K y Ck. Estas señales PR y CL atacan al flip-flop de salida o Slave dentro del biestable J-K. En este modelo ambas son activas por nivel "0".

ENTRADAS					SALIDAS	
PR	CL	Ck	J	K	Q	/Q
0	1	X	X	X	1	0
1	0	X	X	X	0	1
0	0	X	X	X	PROHIBIDO	
1	1	1	X	X	Q	/Q
1	1	↓	0	0	Q	/Q
1	1	↓	1	0	1	0
1	1	↓	0	1	0	0
1	1	↓	1	1	TOGGLE	

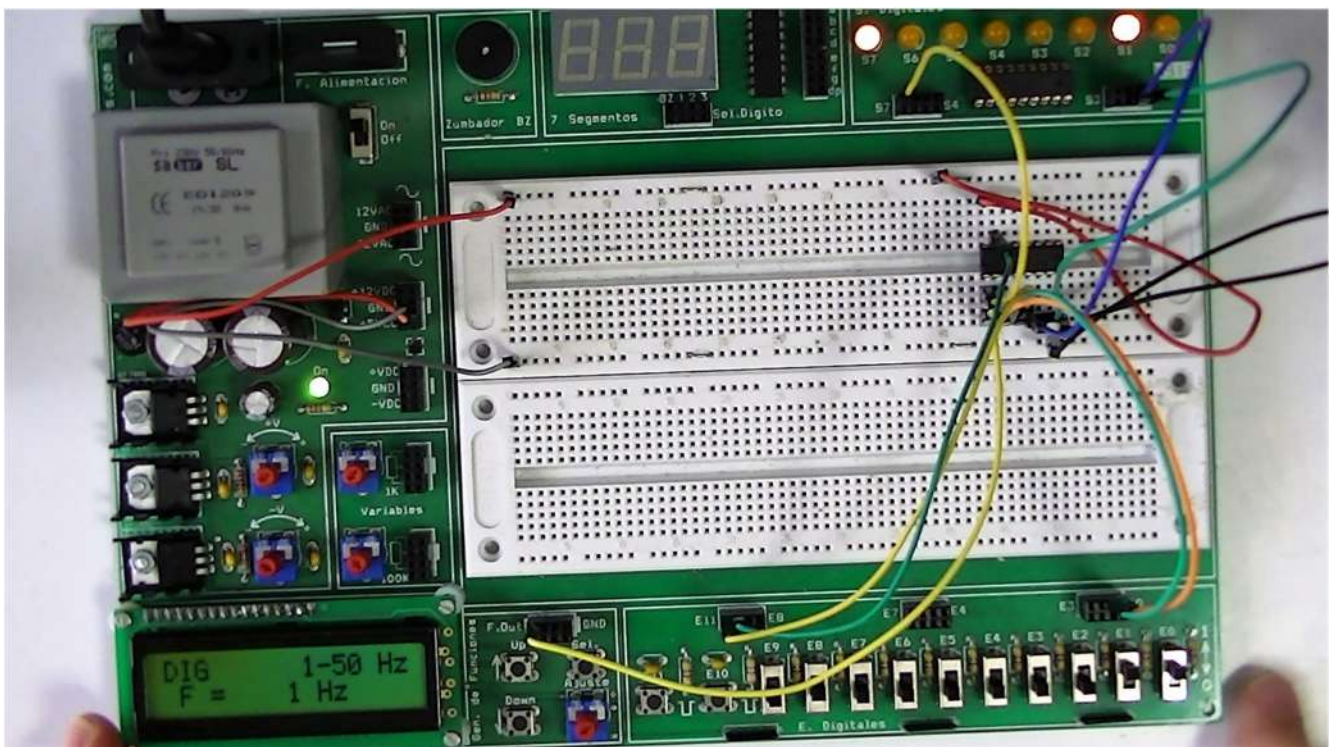
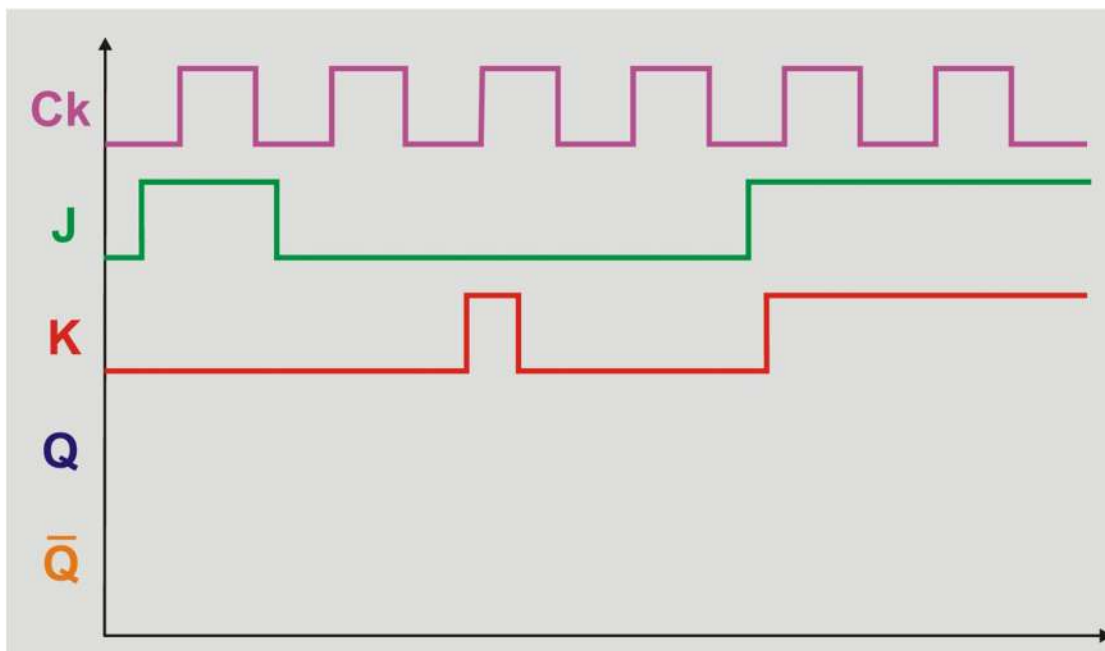
En esta tabla de la verdad tratamos de resumir el funcionamiento de este biestable tipo J-K integrado en el dispositivo 74xxx112.

Cuando montes el circuito observa el efecto de las señales asíncronas PR y CL sobre las salidas.

Fíjate cómo hemos representado la señal CK de reloj activa por flanco descendente (↓). Si hubiera sido por flanco ascendente la hubiéramos representado con una flecha hacia arriba (↑).

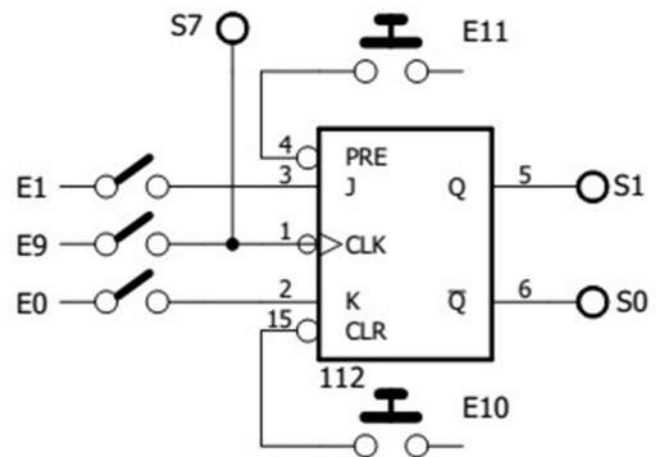
Por último observa también que cada vez que hay un pulso en CK y las señales J-K están a nivel "1", se produce el efecto "Toggle" y las salidas Q y /Q cambian de estado. Si estaban a "1" pasan a "0" y viceversa.

Con todo ello te invito a que completes el siguiente diagrama de tiempos prestando especial atención a las características propias y exclusivas del biestable o flip-flop tipo J-K. Procura emplear una regla para hacer coincidir las señales correctamente.



P2-4 El efecto "Rebote"

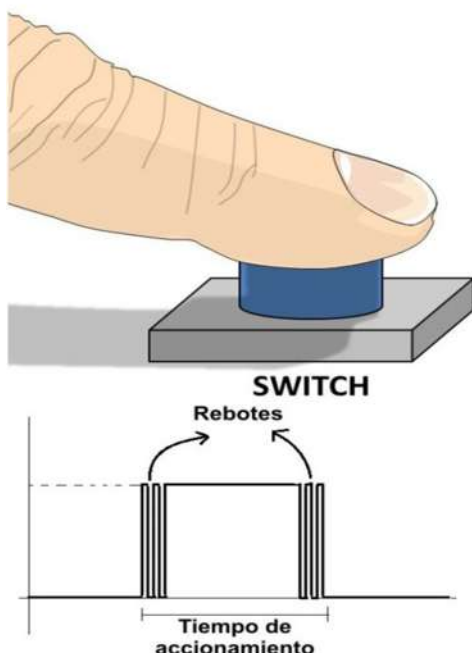
Considera al circuito de esta práctica como una continuación del anterior. En él simplemente hemos desconectado el generador del entrenador Universal Trainer, de la entrada de reloj al flip-flop. Ahora vamos a generar la señal CK de reloj mediante el interruptor E9.



Una vez que realices el montaje repite las mismas comprobaciones. Debieras de observar que las señales J y K actúan sobre Q cuando la señal de reloj producida con el interruptor E9 pasa a nivel "0" tras la transición 0-1-0. De igual manera cuando J y K están a nivel "1", la salida Q debiera de cambiar de estado con cada transición de la señal de reloj, en su flanco descendente.

¿Funciona correctamente? Si me dices que sí eres realmente afortunado. Lo normal es que no funcione de forma tan nítida a como lo hacía cuando usabas el generador como señal de entrada de reloj.

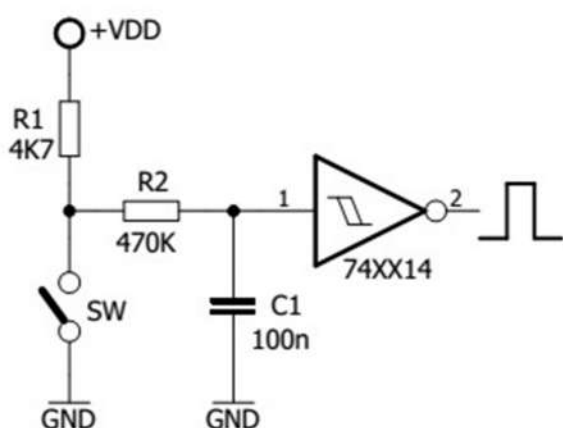
Los interruptores, pulsadores o cualquier otro dispositivo electromecánico, producen un fenómeno conocido como efecto "rebote". Vamos a tratar de explicarlo mediante la siguiente imagen que vale más que mil palabras.



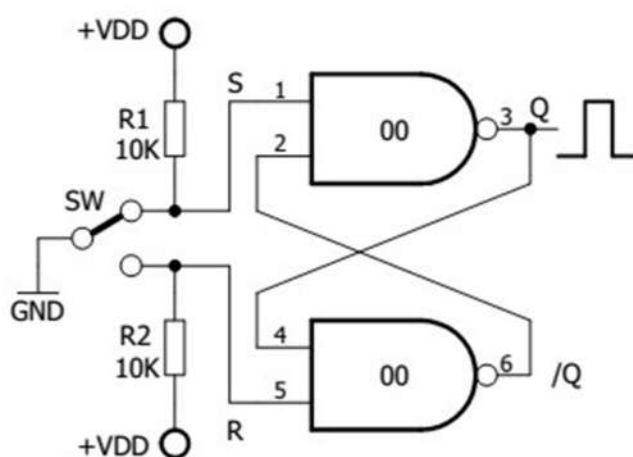
Cuando accionas por ejemplo un pulsador, pasándolo de "0" a "1" y luego a "0" (o viceversa), realmente se producen varias señales debido a las vibraciones que sufren las láminas metálicas de sus contactos. Es decir, un único accionamiento produce varios pulsos. Si esto se aplica a la entrada de reloj CK de nuestro flip-flop J-K, no es de extrañar que observemos un comportamiento extraño. Aunque creamos que hemos aplicado un único pulso, realmente se han producido varios.

Con el generador esto no pasaba, ¿por qué? Porque la señal que proporciona el generador es una señal limpia de rebotes.

Los rebotes es algo intrínseco a los interruptores, pulsadores, contactos de los relés, etc... ¿Cómo se pueden eliminar? Para anular su efecto indeseado tenemos que recurrir a circuitería externa (hardware). En la figura tienes dos posibles circuitos anti rebotes.



Circuito RC



Flip-Flop RS

Circuito RC: Es el más sencillo. Cuando el interruptor SW está abierto, en reposo, C1 se carga a través de R1 y R2 con lo que la señal de salida en el inversor trigger (patilla 2) es de nivel "0". Cuando se acciona y cierra SW, C1 se descarga a través de él produciendo un nivel "1" en la patilla 2, y por muchos rebotes que haya en sus láminas, la señal de salida no cambia hasta que C1 se vuelva a cargar.

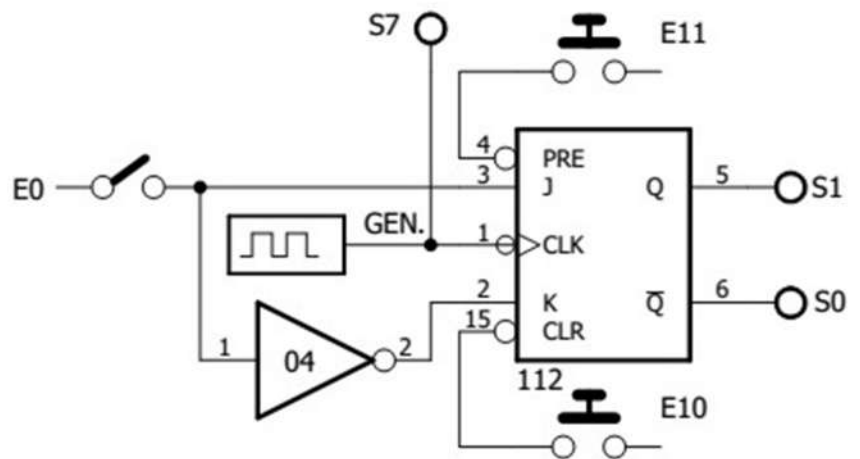
Flip-Flop RS: Aquí tienes otra aplicación de los flip-flop. Cuando el conmutador SW cambia de posición se genera una señal S y/o R que produce un cambio en la salida Q. Por ejemplo, si se genera la señal S, la salida Q se activa y se mantiene activada por muchos rebotes que se produzcan en el conmutador. Lo mismo ocurre si se genera la señal R.

En los sistemas basados en microprocesadores/microcontroladores se pueden emplear técnicas de programación. Cuando se detecta un cambio de estado en una señal de entrada se ejecuta un ciclo de temporización que obvia los posibles rebotes que pudieran darse en el interruptor conectado a esa entrada.

P2-5 Tipo D con preset (PR) y clear (CL)

Conocido el biestable tipo J-K, podríamos realizar un tipo D similar al del apartado P2-2. En aquella ocasión lo hicimos con un R-S a base de puertas NAND y ahora lo hacemos mediante el integrado 74xx112 como se muestra en la figura.

Con el interruptor E0 introducimos el bit a grabar, un "1" o un "0". La señal de reloj la aplicamos desde el generador de funciones para evitar el efecto "rebote", aunque puedes experimentar usando un interruptor. Al utilizar este modelo de biestable J-K para construir un flip-flop tipo D nos encontramos con dos diferencias importantes respecto al del apartado P2-2:



1. La señal de reloj es activa por flanco descendente.
2. Disponemos de señales PR y CL para establecer un estado inicial.

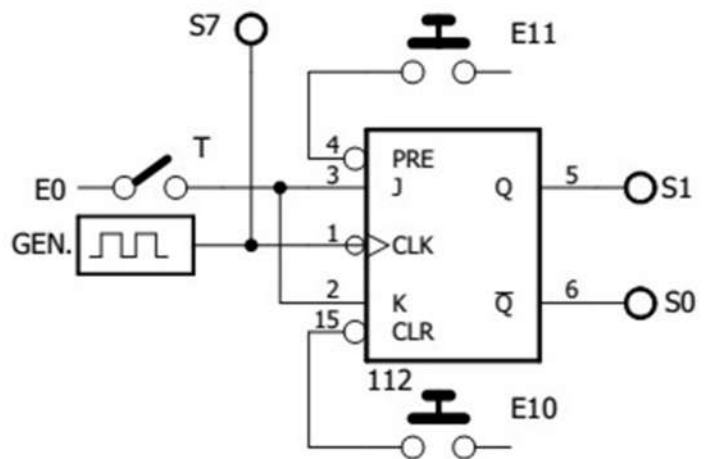
ENTRADAS				SALIDAS	
Ck	PR	CL	D	Q	/Q
X	0	1	X	1	0
X	1	0	X	0	1
X	0	0	X	PROHIBIDO	
0	1	1	X	Q	/Q
↓	1	1	0	0	1
↓	1	1	1	1	0

Puedes montar el circuito, comprobar la tabla de la verdad y completar el diagrama de tiempos.



P2-6 Tipo T (Toggle)

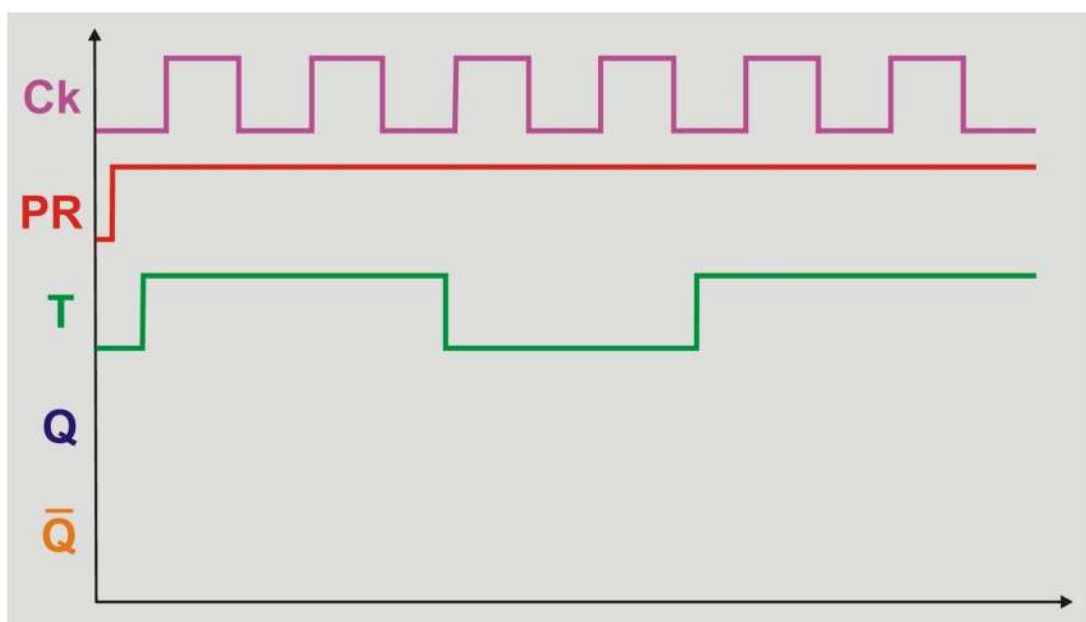
Es otro biestable construido a partir de un J-K. Como puedes ver en el esquema de montaje el circuito es muy sencillo. Se controla mediante una única entrada, T, conectada en este ejemplo con el interruptor E0.



ENTRADAS				SALIDAS	
Ck	PR	CL	T	Q	/Q
X	0	1	X	1	0
X	1	0	X	0	1
X	0	0	X	PROHIBIDO	
0	1	1	X	Q	/Q
↓	1	1	0	Q	/Q
↓	1	1	1	Toggle	Toggle

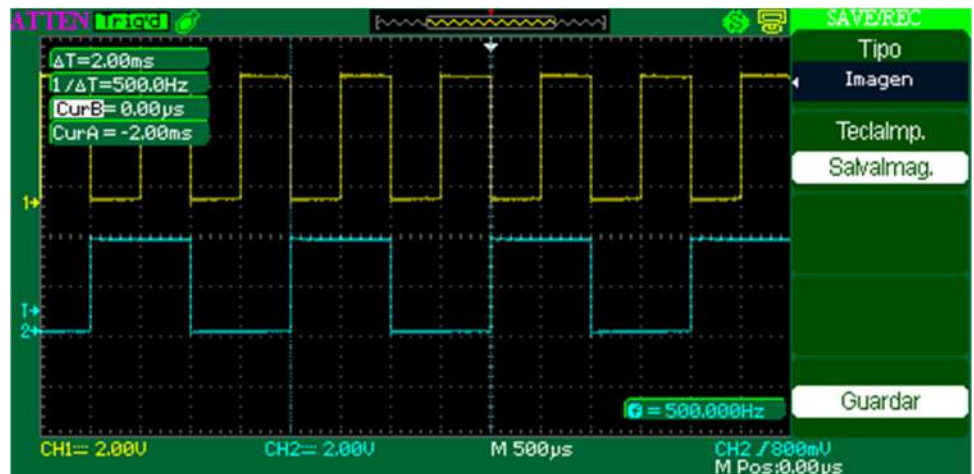
Cuando T (E0) se pone a nivel "0", las entradas J y K también lo están. Por muchos pulsos de reloj que apliques la salida Q no cambia de estado. Sin embargo, cuando la entrada T está a nivel "1" el flip-flop está en el modo Toggle por el cual las salidas cambian de estado con cada nuevo pulso de reloj en CK, esto es, si Q estaba a "0" pasa a "1" y viceversa.

Monta el circuito y completa el diagrama de tiempos.



Por cierto, un detalle importante de la función Toggle es que la frecuencia en la salida Q es justo la mitad de la que se aplica como señal CK de reloj. En la imagen se

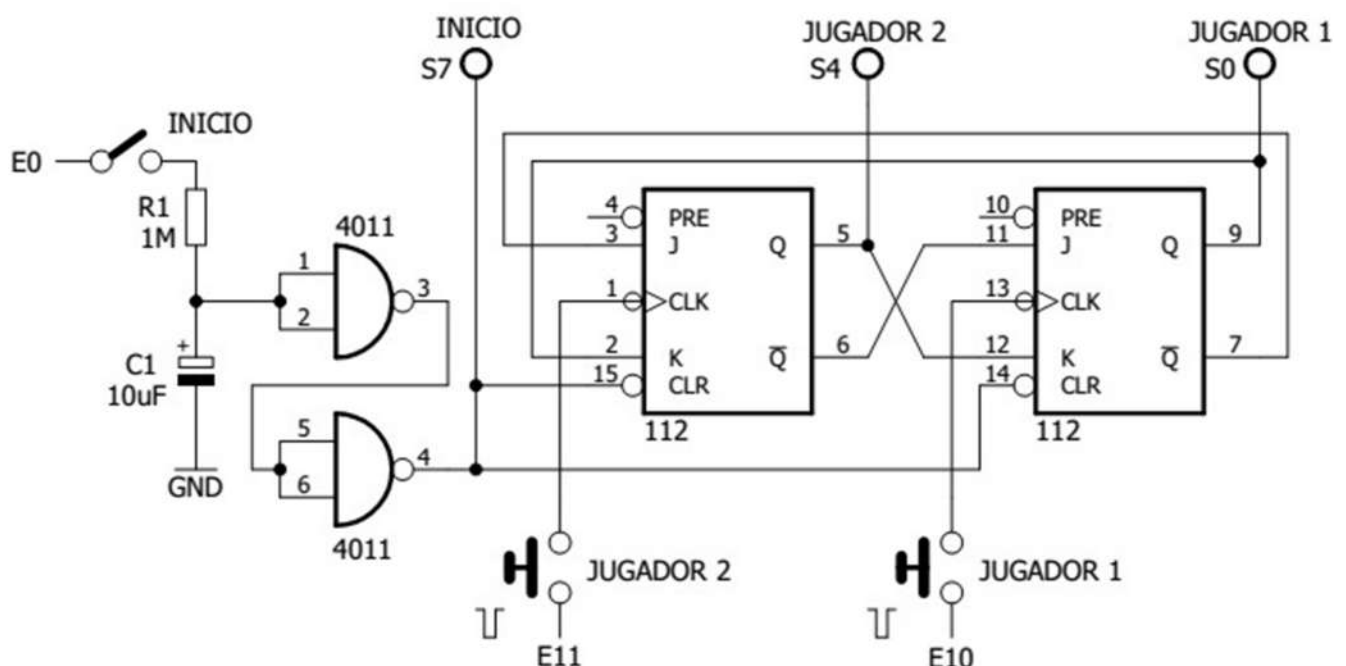
muestran dos oscilogramas. El amarillo visualiza la señal de entrada de reloj (S7) y es de 1 KHz. El oscilograma de color azul se corresponde con la señal presente en la salida Q (S1). Es exactamente de 500 Hz. Cada pulso completo en Q (0-1-0) precisa dos pulsos en CK.



Este es el principio de funcionamiento de los circuitos divisores de frecuencia y de los contadores binarios. Los estudiarás en breve.

P2-7 Juego: "el más rápido"

Vamos a acabar el área de prácticas de este tema 7 con otro ejemplo de aplicación. En este caso se trata de un juego de habilidad en el que se detecta quién, de entre dos "concurssantes", tiene los mejores reflejos. Mira el esquema.



Emplea dos biestables J-K conectados de forma que la salida de uno bloquea a la del contrario poniéndola a nivel "0". La salida que quede activada será la de aquel biestable que primero reciba un pulso de reloj.

Las puertas NAND forman un pequeño temporizador. Inicialmente el condensador está descargado (nivel "0"), con lo que las señales CL de cada flip-flop mantienen las respectivas salidas Q a nivel "0". Cuando EO (INICIO) se pone a nivel "1" el condensador C1 comienza su carga través de R1. Cuando esto ocurre, en un momento dado, se activa el led S7 y se inicia la partida.

Aquel jugador que accione su pulsador en primer lugar producirá un pulso de reloj en su correspondiente flip-flop, lo que provoca que su salida Q se active. Es el ganador de la partida.

Para iniciar una nueva partida basta con poner EO a nivel "0". El condensador se descarga, se produce la señal CL y las salidas Q de ambos flip-flop se ponen a "0". Este estado se mantiene hasta que pongamos nuevamente EO a nivel "1".

Que disfrutes y... hagan sus apuestas.



