

NOTAS DE CLASE

Multivibradores el CD4541 y el CD4047

OBJETIVOS - CONOCIMIENTOS PARA EL COLOQUIO:

Se pretende que el alumno pueda reconocer los parámetros más importantes de cada circuito integrado específico y poder individualizarlos en las hojas de datos correspondientes.

Deberá, también, poder identificar en el circuito interno las principales etapas de los circuitos integrados estudiados en clase.

Autores:

Ing. Sergio Eberlein (Profesor Asociado)

Ing. Osvaldo Vázquez (Profesor Adjunto)

Edición 2012.1

Índice

1.	Introducción:	3
2.	Multivibrador básico con compuertas CMOS:	3
3.	El circuito integrado CD4541	6
4.	El circuito integrado CD4047	10
5.	Bibliografía:	14

1. Introducción:

Hoy en día, el hecho de conseguir un microcontrolador de 8 pines por aproximadamente 1 dólar hace que el uso de gran variedad de circuitos con funciones específicas sean ya de poca utilización para nuevos diseños. No obstante algunos de ellos pueden encontrarse con mucha frecuencia en gran cantidad de equipos.

Además el estudio de estos integrados nos permitirá familiarizarnos con la forma de presentación de sus prestaciones por parte de los fabricantes.

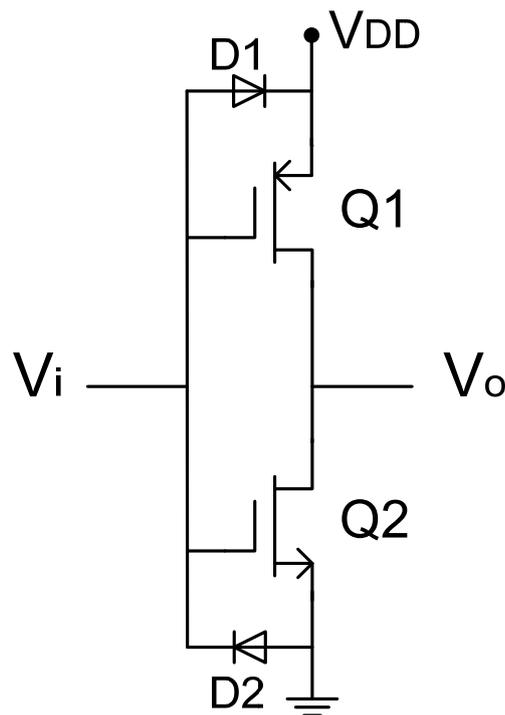
2. Multivibrador básico con compuertas CMOS:

Las compuertas CMOS pueden ser útiles para muchas aplicaciones dada su alta impedancia de entrada, su bajo consumo de potencia, alta velocidad, bajo costo y su excursión de salida desde ambos extremos de la fuente de alimentación (“rail to rail”).

Este tipo de osciladores los vamos a encontrar como el bloque central sobre el cual se construye un multivibrador con múltiples funciones como el CD4541 y el CD4047 que veremos luego.

Para entender el funcionamiento básico de este tipo de oscilador veremos un ejemplo con la compuerta más simple, el inversor.

El circuito interno está compuesto por dos transistores MOS complementarios, como muestra la siguiente figura:

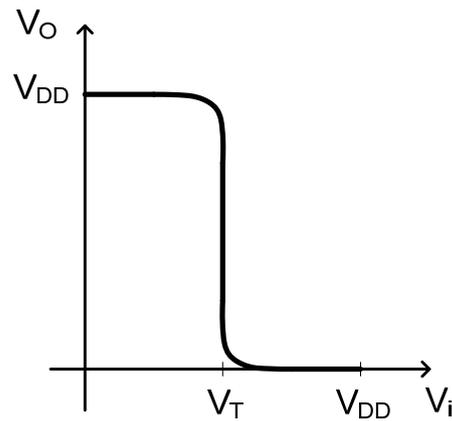


La salida de la compuerta proporciona un valor $V_o = V_{DD}$ para $V_i < V_T$ y $V_o = 0$ para $V_i > V_T$.

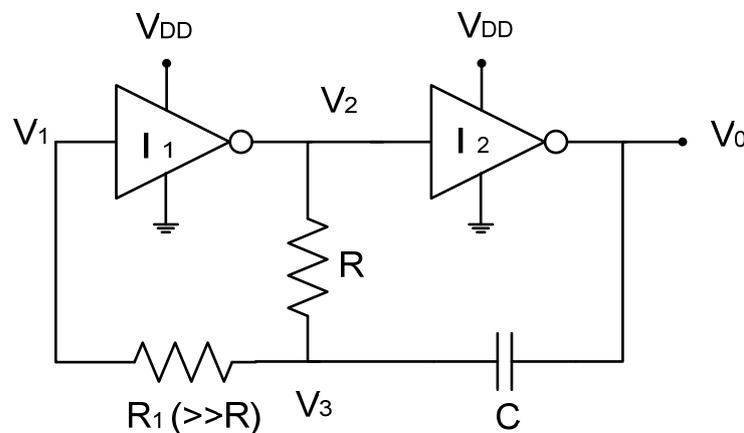
V_T normalmente es el punto medio entre V_{DD} y 0 es decir $V_T = V_{DD} / 2$

Los diodos de protección D1 y D2 impiden que V_i se eleve por encima de $V_{DD} + V_d$ o por debajo de $-V_d$. Con lo cual protegen a los MOSFET contra descargas electrostáticas.

La función transferencia será entonces:



En la siguiente figura vemos un circuito típico de un oscilador astable con compuertas CMOS inversoras.



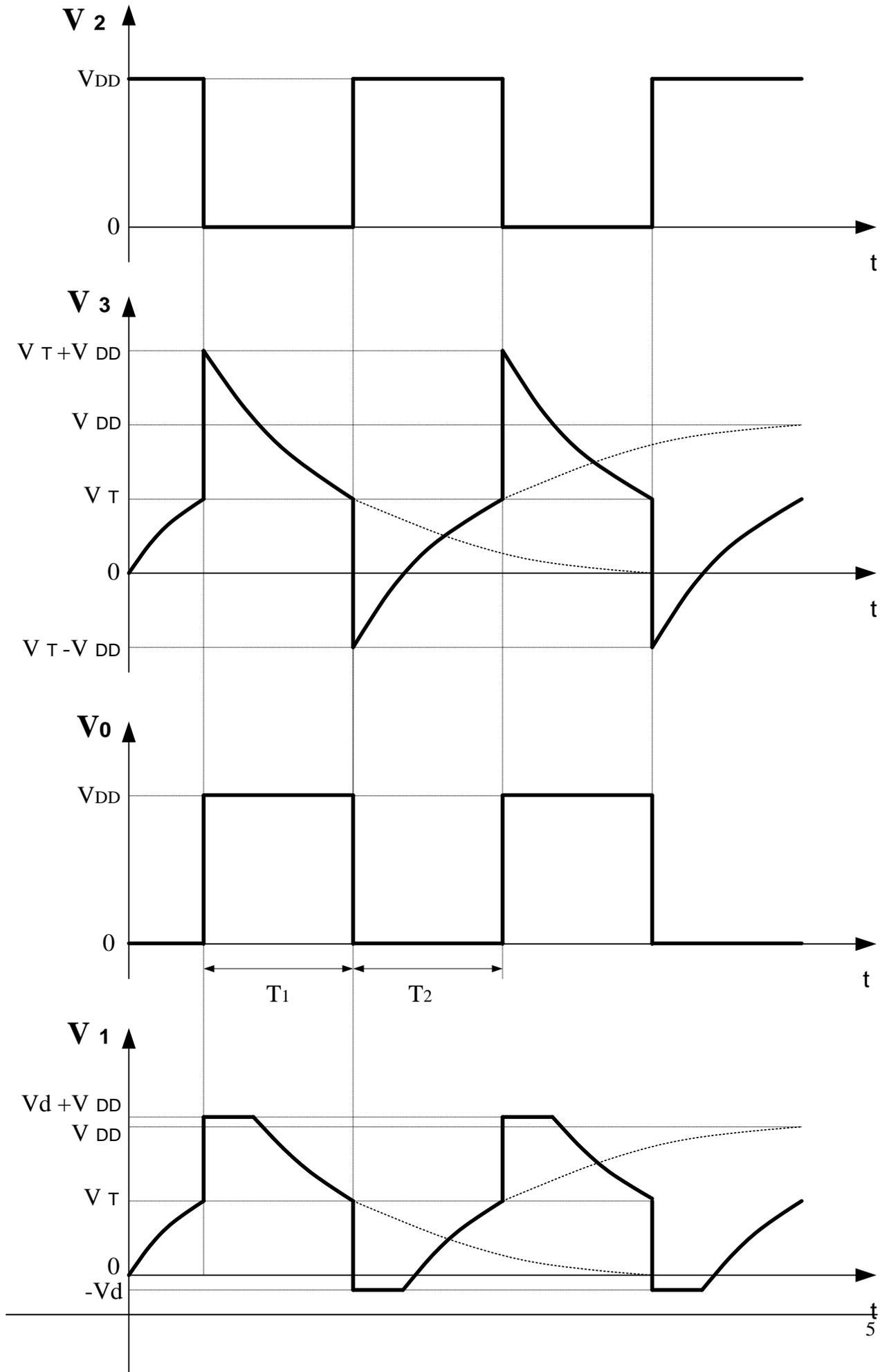
Supongamos que al conectar el circuito V_2 queda en estado alto, luego debido a la acción inversora de I_2 la salida V_0 estará baja. El capacitor C comenzará a cargarse de forma exponencial a través de R y V_3 evolucionará de forma exponencial tendiendo a V_{DD} . Recordemos que el circuito tiene alta impedancia y que en este momento no hay corriente por R_1 , entonces $V_1 = V_3$. Al llegar V_3 al valor V_T el inversor I_1 conmuta a estado bajo. Consecuentemente el inversor I_2 conmuta a estado alto. Como la tensión en el capacitor no puede cambiar instantáneamente el salto de tensión en V_0 se ve trasladado a V_3 cuya tensión sufre un salto de V_{DD} alcanzando el valor $V_T + V_{DD}$ y comienza su descarga exponencial a través de R hacia su valor final, en este caso $0V$.

Observemos que R_1 (llamada resistencia de desacoplamiento), esta para que los tiempos de carga y descarga no se vean alterado por los diodos de protección D_1 y D_2 que enclavan los valores de tensión de V_1 en $V_{DD} + V_d$ y $(-V_d)$ respectivamente como podemos observar en la grafica. Para que los tiempos no se vean alterados debe ser $R_1 \gg R$, en la practica es suficiente tomar R_1 aproximadamente $10 R$.

Continuando con el análisis cuando V_3 llega al valor V_T en su descarga exponencial, hace que I_1 conmute a estado alto y consecuentemente I_2 conmutara a estado bajo. Nuevamente este salto de tensión se traslada a V_3 a través del capacitor, alcanzando en este caso el valor $V_T - V_{DD}$ y comienza a evolucionar exponencialmente hacia V_{DD} . Nuevamente al alcanzar el valor de V_T se inicia un nuevo ciclo del astable.

Si consideramos $V_T \cong \frac{V_{DD}}{2}$ entonces resulta $T_1 = T_2 = 1,1 R C$ luego resulta:

$$T = T_1 + T_2 = 2,2 R C$$



Una observación importante a destacar es que el cálculo de estos tiempos es muy dependiente del V_T de los transistores de los inversores que conforman el oscilador, además por su puesto de la tolerancia del capacitor y la resistencia de la constante de tiempo. Para el

calculo asumimos que $V_T \cong \frac{V_{DD}}{2}$ pero en la práctica este puede variar entre un 33 % al 67 %

de VDD por lo que finalmente deberá hacerse un ajuste a través de un preset en serie con la R de la constante de tiempo para obtener la frecuencia o el tiempo deseados.

Esto vale por su puesto para todos los circuitos integrados que veremos luego que tienen como base este tipo de osciladores con compuertas CMOS.

3. El circuito integrado CD4541

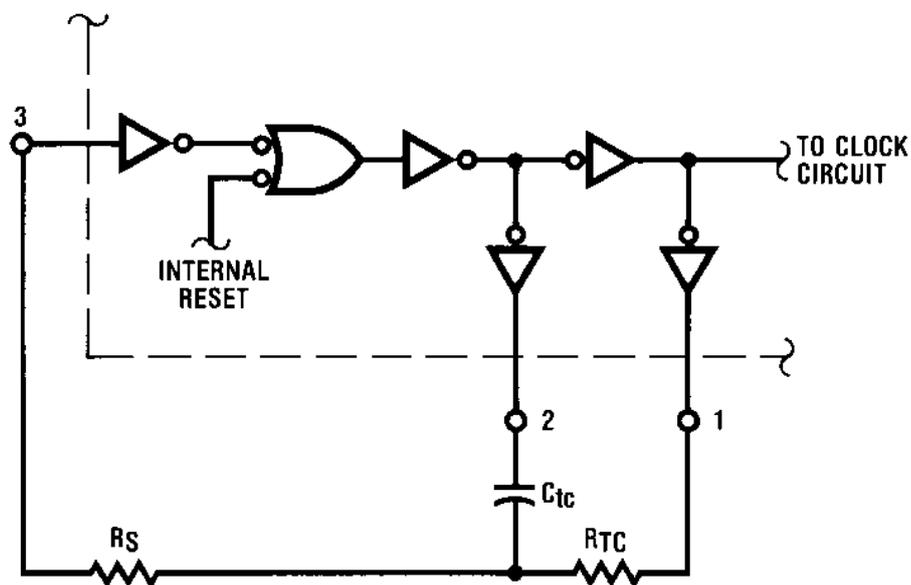
El CD4541 es un integrado que se usa mayormente en la temporización de eventos largos (desde minutos hasta horas e incluso días). Aunque es posible utilizarlo como oscilador para frecuencias de hasta 100 KHz.

Como todo circuito CMOS es posible alimentarlo con tensiones de entre 3V a 15 V.

Un oscilador integrado genera un ciclo astable y luego a través de contadores binarios internos (de hasta 16 etapas) escala el período de la onda hasta el valor deseado.

La cantidad de etapas se puede seleccionar a través de un multiplexor de 2 entradas pudiéndose elegir así entre 4 etapas diferentes, es decir, 4 constantes de multiplicidad de período distintas.

En la siguiente figura vemos el circuito interno del oscilador del CD4541.



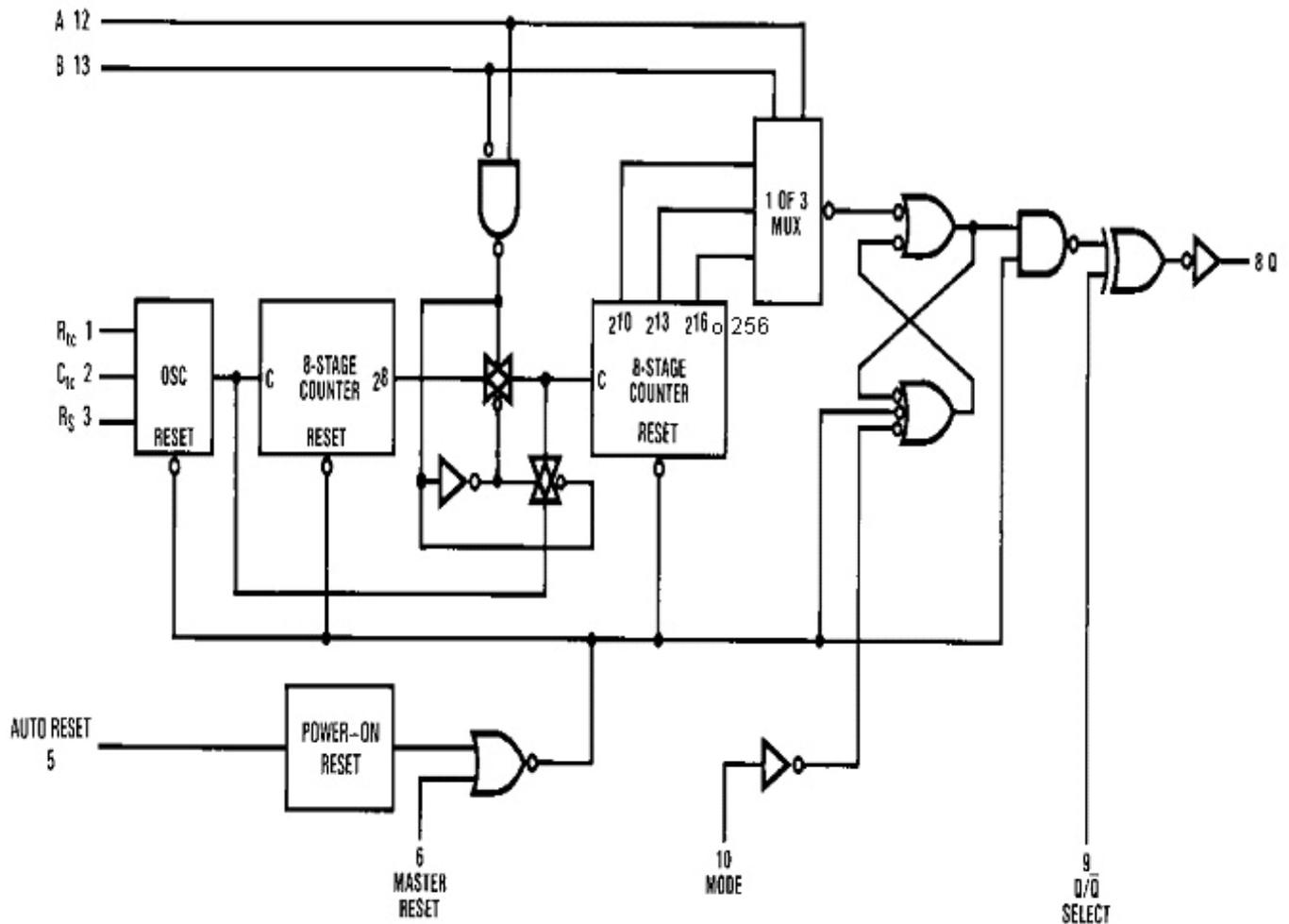
Donde el fabricante me dice que la frecuencia del oscilador debe ser calculada con la siguiente formula:

$$f = \frac{1}{2,3 R_{TC} C_{TC}} \quad \text{Si } 1 \text{ KHz} \leq f \leq 100 \text{ KHz}, R_S \cong 2 R_{TC} \text{ y } R_S \geq 10 \text{ KHz}$$

Vemos que el circuito es más complejo que el oscilador astable básico visto al comienzo pero el análisis es similar al que ya vimos, aunque no vale la pena detenerse en ello. Vemos que una función interesante que se agrega en este oscilador es la función de Reset que es controlada internamente por el resto del integrado.

Vemos que en este caso el fabricante en lugar de decir que R_S (resistencia de desacoplamiento) debe ser $R_S \gg R_{TC}$, opta por decir que debe ser $R_S \cong 2R_{TC}$ y con esa condición tiene en cuenta en la ecuación de la frecuencia de salida, el tiempo de descarga por los diodos de protección de los MOSFET del inversor cuando la tensión supera los límites de la fuente de alimentación.

Veamos el diagrama en bloques del circuito completo:



El fabricante además nos da dos tablas para interpretar el funcionamiento del circuito integrado.

En la primera observamos los pines de selección de las décadas contadoras:

A	B	Number of Counter Stages n	Count 2^n
0	0	13	8192
0	1	10	1024
1	0	8	256
1	1	16	65536

A y B (pines 12 y 13): seleccionan a través de un multiplexor las etapas contadoras. Cuya función la vimos en la primera tabla. Observar en el circuito esquemático que la cuenta hasta 256 se logra ingresando a este último contador con la señal directamente del oscilador, sin pasar previamente por el primer contador.

En la segunda tabla dada por el fabricante observamos la función de los restantes pines del circuito integrado:

Pin	State	
	0	1
5	Auto Reset Operating	Auto Reset Disabled
6	Timer Operational	Master Reset On
9	Output Initially Low after Reset	Output Initially High after Reset
10	Single Cycle Mode	Recycle Mode

Veamos más detalladamente la función de estos pines:

Q (pin 8): salida

SEL (pin 9): configura la salida (pin 8) (puede ser Q o \bar{Q}).

Con SEL = 0 la salida es Q y esta inicialmente en bajo después de un Reset.

Con SEL = 1 la salida es \bar{Q} y esta inicialmente en bajo después de un Reset.

AUTO RESET (pin 5): reset automático

AUTO RESET = 0 Habilita el bloque de Power-on Reset. Esta es una función muy útil de muchos circuitos integrados en la cual el dispositivo permanece reseteado durante un breve tiempo al energizarse el circuito permitiendo a todas las tensiones estabilizarse en sus valores finales, evitando de esta forma funcionamientos erráticos durante el encendido.

AUTO RESET = 1 Deshabilita el bloque de Power-on Reset.

MASTER RESET (pin 6): Reset general del integrado

MASTER RESET = 0 Esta en funcionamiento el circuito.

MASTER RESET = 1 Mantiene el dispositivo reseteado.

MODE (pin 10): Configura dos modos de funcionamiento:

MODE = 0 Obtenemos a la salida un solo ciclo de la frecuencia programada. Es decir a la salida se obtendrá un cambio de nivel (alto a bajo o bajo a alto, según este programada la salida con la entrada SEL (pin 9)) un tiempo T_0 después de activar el circuito, mediante el encendido del mismo o activando el MASTER RESET (pin 6).

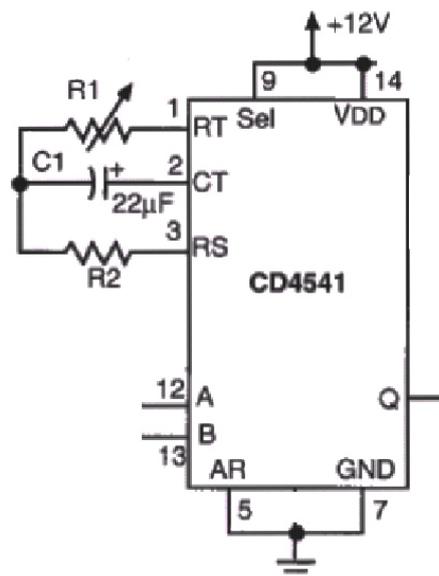
$T_0 = K 2,3 R_{TC} C_{TC}$ donde k es la constante que introducen los contadores.

Es decir en este caso el circuito funcionaria como un monoestable.

MODE = 1 Obtenemos a la salida una frecuencia igual a la programada. Es decir en este caso el circuito funcionaria como un astable.

De esta forma vemos como de forma muy simple y con muy pocos componentes externos podemos configurar el circuito.

Ejemplo:



Como vimos el período de la onda de salida del temporizador sigue la siguiente ecuación $T = 2,3 K C R 1$

siempre y cuando se cumpla que $R2 = 2 R1$, Donde la constante K se relaciona con las etapas activas en los contadores binarios.

4. El circuito integrado CD4047

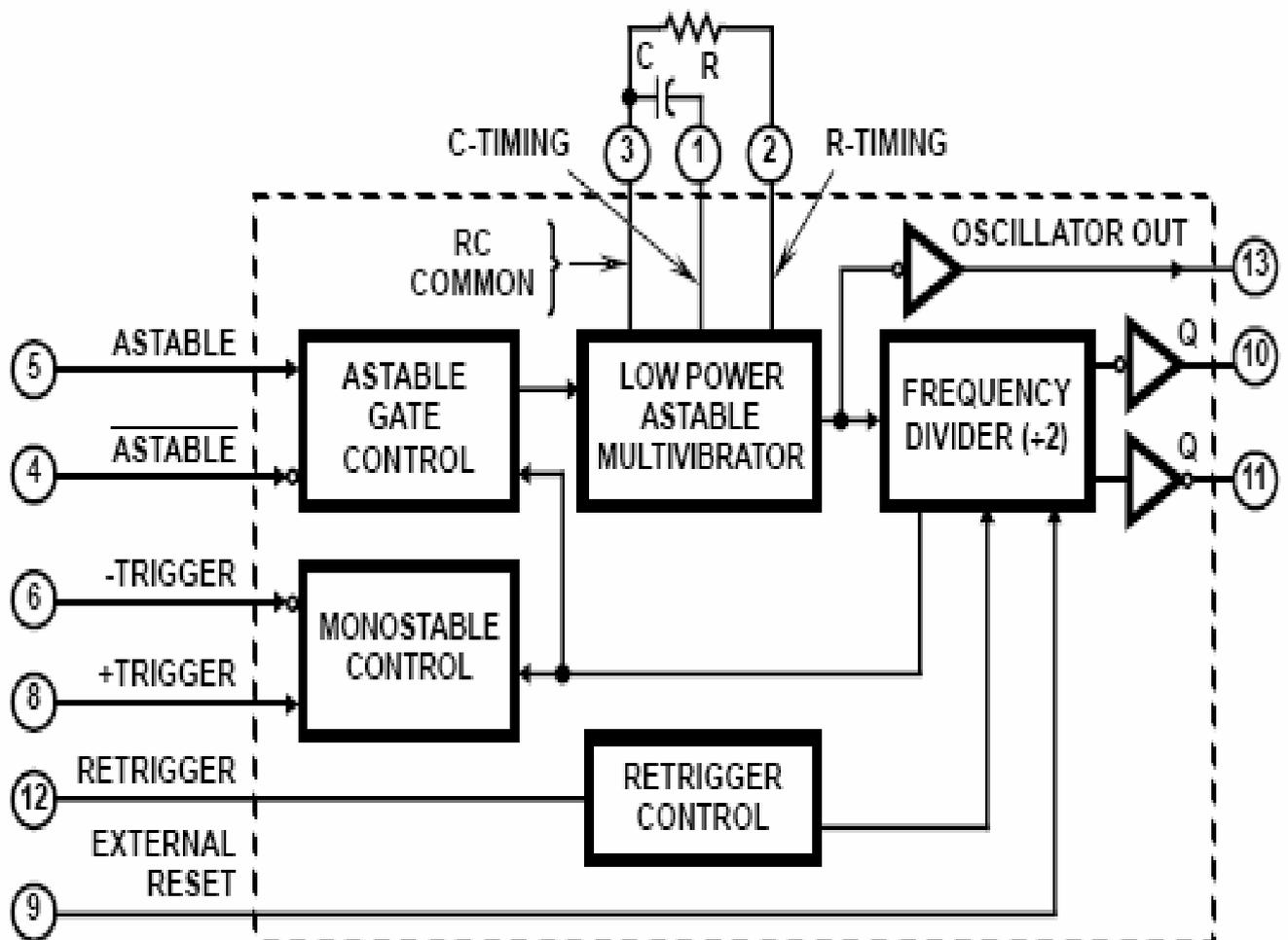
Básicamente el Circuito Integrado CMOS CD4047 es un multivibrador que puede ser utilizado como astable o monoestable. Para la implementación de uno o de otro circuito utiliza tan solo una capacidad con una resistencia, haciendo realmente sencillo el cálculo de la frecuencia de salida.

El mismo posee tres salidas de frecuencia: la frecuencia principal (pin 13) y dos salidas complementarias, una negada y la otra normal, estas dos son divisores de frecuencias, es decir, son salidas equivalentes a la mitad de la salida principal.

La principal ventaja de este oscilador, es que su ciclo de trabajo es constante del 50%, con una oscilación muy estable.

Admite un amplio rango de tensiones de alimentación desde 3 V hasta 15V y permite obtener frecuencias de oscilación de hasta 1 MHz.

Veamos el diagrama en bloques del circuito completo:



Veamos detalladamente la función de estos pines:

C-TIMING (pin 1): Entre este terminal y el 3 se conecta el capacitor que se necesite.

R-TIMING (pin 2): Entre este terminal y el 3 se conecta la resistencia que sea necesaria.

RC COMON (pin 3): Este terminal es el común entre la resistencia y el capacitor.

ASTABLE (pin 4): Aquí se debe colocar un nivel bajo de tensión para que el circuito funcione como ASTABLE.

ASTABLE (pin 5): Aquí se debe colocar un nivel alto de tensión para que el circuito funcione como ASTABLE, si este terminal no se utiliza se debe colocar un nivel bajo de tensión contrariamente con el terminal 4.

-TRIGGER (pin 6): Disparo negativo. Este se utiliza para la configuración de un monoestable con disparo negativo (por nivel bajo), aquí se debe colocar un nivel bajo de tensión para que el circuito comience con el periodo monoestable.

Vss (pin 7): Terminal de masa.

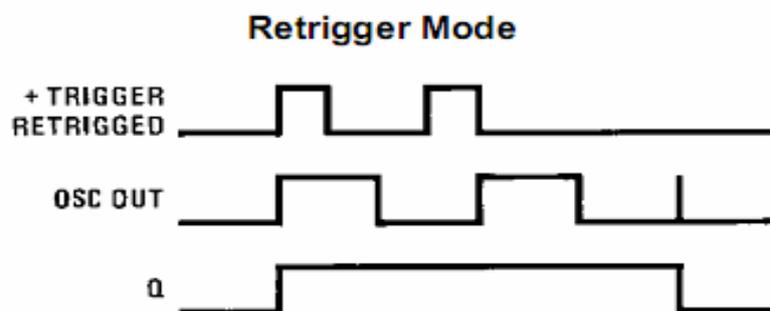
+TRIGGER (pin 8): Disparo positivo. Este se utiliza para la configuración de un monoestable con disparo positivo (por nivel alto), aquí se debe colocar un nivel alto de tensión para que el circuito comience con el periodo monoestable.

EXTERNAL RESET (pin 9): Reset. Este terminal coloca un nivel bajo a la salida (terminal 13 - OSC OUT), también quedan afectadas las salidas Q y \bar{Q} , con los siguientes niveles de tensión, bajo y alto respectivamente.

Q (pin 10): Es una de las salidas, (inversa del terminal 11), que comparada con la salida OSCILLATOR OUT tiene la mitad de la frecuencia.

\bar{Q} (pin 11): Es la otra de las salidas, (inversa del terminal 10), que comparada con la salida OSCILLATOR OUT tiene la mitad de la frecuencia.

RETRIGGER (pin 12): Redisparo. Este terminal se utiliza en la configuración de Monoestable, para redisparar dentro del ciclo de la temporización, entonces si se coloca un nivel alto en este pin antes que se termine el periodo del monoestable, se sumara otro periodo más del monoestable como se ve en la siguiente figura.



OSCILLATOR OUT (pin 13): Salida, y del doble de la frecuencia que las salidas Q y \bar{Q} .

VDD (pin 14): Tensión de fuente (entre 3V y 15 V).

Para ayudarnos en la preparación del circuito que deseamos el fabricante nos da una tabla, para una rápida configuración. Así como también para el cálculo del periodo.

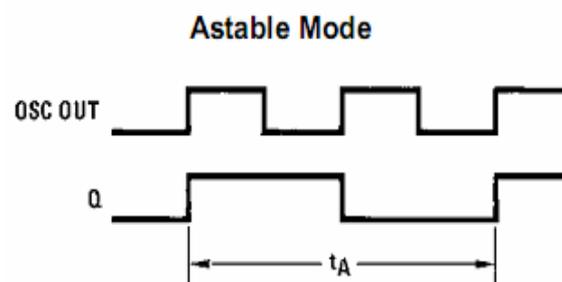
Function Table

Function	Terminal Connections			Output Pulse From	Typical Output Period or Pulse Width
	To V_{DD}	To V_{SS}	Input Pulse To		
Astable Multivibrator					
Free-Running	4, 5, 6, 14	7, 8, 9, 12		10, 11, 13	$t_A(10, 11) = 4.40 RC$
True Gating	4, 6, 14	7, 8, 9, 12	5	10, 11, 13	$t_A(13) = 2.20 RC$
Complement Gating	6, 14	5, 7, 8, 9, 12	4	10, 11, 13	
Monostable Multivibrator					
Positive-Edge Trigger	4, 14	5, 6, 7, 9, 12	8	10, 11	$t_M(10, 11) = 2.48 RC$
Negative-Edge Trigger	4, 8, 14	5, 7, 9, 12	6	10, 11	
Retriggerable	4, 14	5, 6, 7, 9	8, 12	10, 11	
External Countdown (Note 1)	14	5, 6, 7, 8, 9, 12	Figure 1	Figure 1	Figure 1

Note 1: External resistor between terminals 2 and 3. External capacitor between terminals 1 and 3.

Donde los tiempos que se señalan en la tabla los observamos en las siguientes figuras:

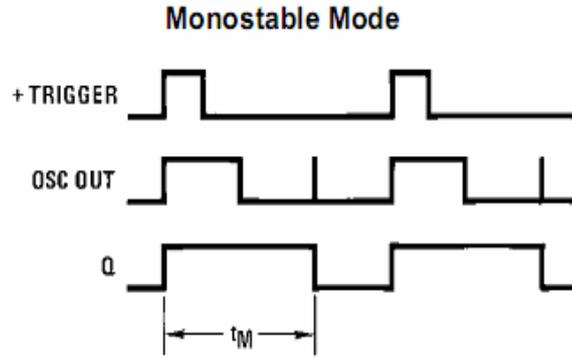
Modo Astable:



Observemos que el tiempo del oscilador como astable es de $t_A = 2,2 RC$, este resultado lo obtuvimos cuando analizamos el oscilador básico con inversores, cuando estaba presente la resistencia de desacoplamiento para evitar las descargas cuando los picos de tensión superan la tensión de fuente.

En el circuito propuesto por el fabricante esta resistencia de desacoplamiento no aparece, esto es así porque el pin 3 donde se desarrollan los picos no tiene la protección tradicional de los diodos conectados a la fuente de alimentación, por lo cual dicha resistencia es innecesaria. Por esta razón el fabricante advierte que este pin es más sensible que los demás a las descargas electrostáticas.

Modo Monoestable:



Limitaciones en el uso de componentes para el tiempo:

Según el fabricante (en este caso Intersil) recomienda que el condensador utilizado en el circuito debe ser no polarizado y no poseer corrientes de fugas (es decir, la resistencia en paralelo del condensador debe ser al menos un orden de magnitud mayor que la resistencia externa utilizada). No hay límite superior o inferior para los valores de R y C para mantener la oscilación. Sin embargo, para mantener la exactitud, C debe ser mucho más grande que las capacidades parasitas inherentes en el sistema (a menos que esta capacidad se pueda medir o tener en cuenta). R debe ser mucho más grande que la resistencia en serie del CMOS "ON" las cuales son típicamente del orden de cientos de ohmios.

Los valores recomendados de los componentes para mantener las aproximaciones en las ecuaciones sin que se vean afectadas son:

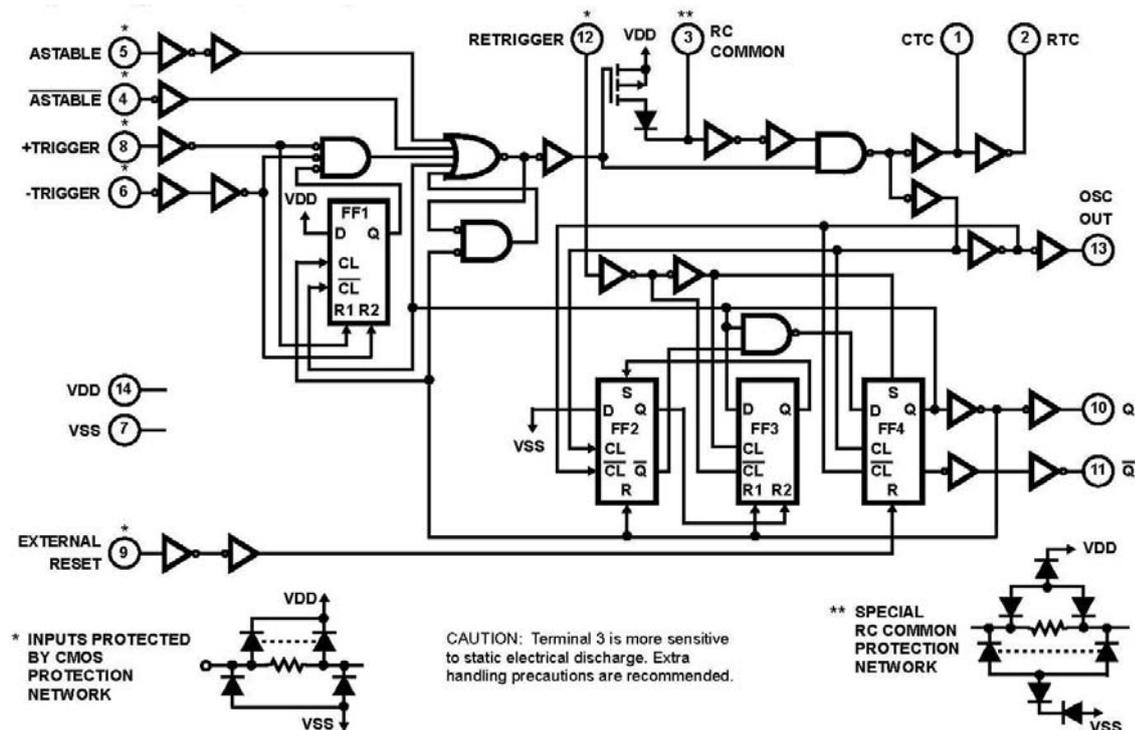
$C > 100\text{pF}$ hasta cualquier valor mientras no sea polarizado, para el modo astable.

$C > 1000\text{pF}$ hasta cualquier valor mientras no sea polarizado, para el modo monoestable.

$10\text{K}\Omega < R < 1\text{M}\Omega$.

Circuito completo suministrado por Intersil:

Solamente a titulo ilustrativo podemos observar en el diagrama del circuito las distintas protecciones a los pines cuando la señal ingresa a una compuerta CMOS.



5. Bibliografía:

-) Diseño con Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Analógicos, Sergio Franco – Mc Graw Hill 3ª Edición - ISBN 9701045955
-) Hojas de datos del CD4541 y CD4047 de National Semiconductor, Texas Instruments y Fairchild.