

SEMÁFORO CONTROLADO USANDO EL C.I. 555

Jaime Alberto López Rincón
jaimealopezr@yahoo.com

Universidad del Quindío
Programa de Ingeniería Electrónica
Facultad de Ingenierías
Armenia, Colombia
Mayo de 2003

INTRODUCCION

En este documento se describe la implementación y funcionamiento de un semáforo digital compuesto básicamente por 5 temporizadores 555. Las características del diseño permiten que el tiempo de cada una de las luces se pueda variar independientemente de las otras en un intervalo especificado, utilizando resistencias variables (potenciómetros). Inicialmente se expone el C.I. 555, incluyendo sus características eléctricas y modos de funcionamiento. Luego se explica el funcionamiento del semáforo y cómo se obtuvieron los valores de cada una de las resistencias y condensadores que lo componen.

EL CIRCUITO INTEGRADO 555

El circuito integrado 555 ha sido, junto con los microprocesadores, el chip más famoso en la breve historia de la microelectrónica. A pesar de que no se trata de una invención nueva, permanece tan actual como en sus primeros tiempos. Se utiliza tanto en aplicaciones sencillas como en computadoras y complejos sistemas de control industrial.

Fue lanzado al mercado en el año de 1972 por Signetics para satisfacer la urgencia de un circuito generador de pulsos universal que se adaptara a las necesidades de diseño más frecuentes.

Actualmente, casi todas las fábricas de circuitos integrados, incluyendo las grandes empresas japonesas de semiconductores, producen el 555 bajo distintas denominaciones o referencias, tanto en tecnología bipolar como CMOS. Los siguientes son algunos ejemplos:

Signetics	NE555
Fairchild	μ A555
National Semiconductor	LM555
Texas Instrumenis	SN72555
Exar	XR-555
RCA	CA555
Philips/Sylvania	ECG955
Hams	HA 1755
Motorola	MC1455
Toshiba	TA7555P

La versión CMOS del 555 es el circuito integrado 7555, caracterizado por su bajo consumo de potencia.

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Temperatura de operación: desde -55°C hasta $+125^{\circ}\text{C}$

Los datos de corriente están dados en miliamperios (mA) y los de voltaje en voltios (V), los de potencia en milivalios (mW).

- Voltaje de alimentación: 4.5 a 18 V

- Máxima disipación de potencia 760mW
- Consumo de corriente (sin carga y con $V_{cc}=5V$): 3 mA a 6 mA
- Máximo voltaje de salida en bajo (con $V_{cc}=5V$): 0.35V
- Mínimo voltaje de salida en alto (con $V_{cc}\gg 5V$): 2.75V
- Máxima corriente de salida 200mA

DESCRIPCIÓN GENERAL



En la Figura 1 se muestra su distribución funcional de pines. Asociado con unos pocos componentes externos (resistencias y condensadores, principalmente) del circuito integrado 555 se puede utilizar para generar trenes de pulsos, temporizar eventos y otras aplicaciones, tanto análogas como digitales. Presenta básicamente tres modos de operación: el astable, el monoastable y como modulador.

En el modo **astable**, el circuito entrega un tren continuo de pulsos y en el **monoestable** suministra un pulso de determinada duración. La frecuencia y el ancho del pulso se programan externamente mediante resistencias y condensadores adecuados.

Como **modulador** de ancho de pulsos, el chip trabaja en el modo monoestable pero la duración del pulso se controla mediante un voltaje externo aplicado al pin 5.

TEORÍA DE FUNCIONAMIENTO

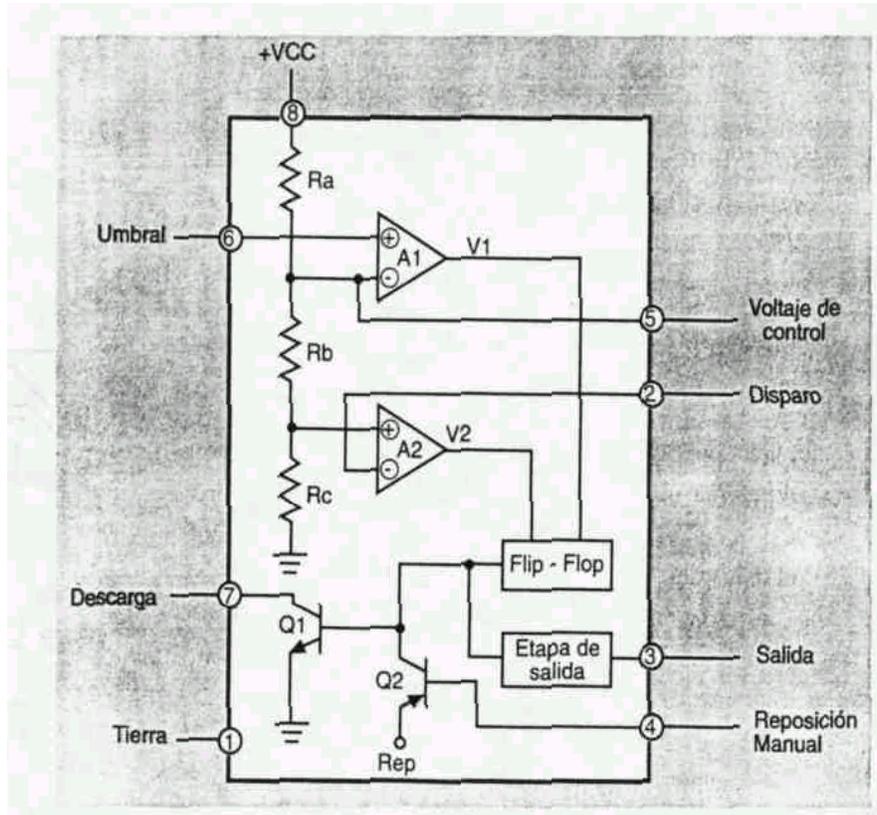


Figura 2. Estructura interna del circuito integrado 555

En la Figura 2 se muestra la distribución interna de bloques del circuito integrado 555. Consta, básicamente, de dos comparadores de voltaje (A1 y A2), un (flip-flop, un amplificador de corriente o salida y un transistor de descarga (Q1). Las resistencias internas Ra, Rb y Rc son de 5K y sirven como divisores de voltaje.

El comparador superior (A1) se denomina comparador de umbral o de *threshold* y el inferior (A2) comparador de disparo o de *trigger*.

Cada uno de los comparadores tiene voltajes de referencia. La función de Ra, Rb y Rc es, precisamente, establecer dichos voltajes. El voltaje externo aplicado a la entrada (+) de A1 se denomina voltaje de umbral y el aplicado a la entrada (-) de A2 voltaje de disparo.

OPERACIÓN EN EL MODO ASTABLE

En la Figura 3 se muestra la forma de conectar el circuito integrado 555 en el modo astable, es decir como generador de trenes de pulsos. Esta configuración se denomina comúnmente circuito de reloj o, simplemente, reloj. La frecuencia y el periodo dependen exclusivamente del condensador C1 y de las resistencias R1 y R2. Las fórmulas son las siguientes:

$$T = T_c + T_d = 0.693 (R_1 + 2R_2)C_1$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.693(R_1 + 2R_2)C_1}$$

La relación porcentual entre el tiempo de carga y el período (T_c/T) define el *duty cycle* o ciclo útil (D) de la señal de salida. Es decir:

$$D(\%) = \frac{T_c}{T} \times 100 = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2} \times 100$$

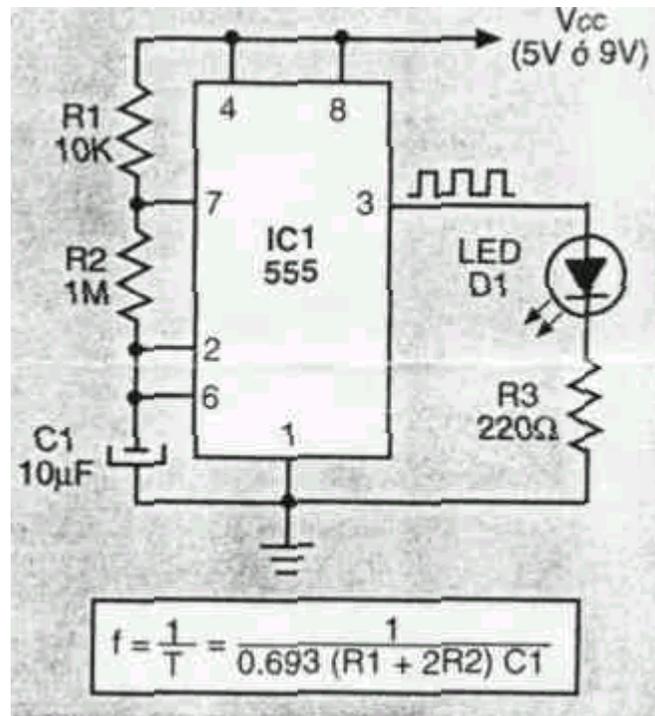


Figura 3. Configuración del circuito integrado 555 como astable o generador de tren de pulsos

OPERACIÓN COMO MODULADOR DE PULSOS

En la Figura 4 se ilustra la forma de conectar el CI555 como modulador de pulsos. En este caso, el chip trabaja en el modo astable y la frecuencia de la señal de salida se controla mediante un voltaje aplicado al pin 5 (CONTROL o CNT). Esta señal desplaza la posición de los pulsos gracias al cambio del valor de referencia a través del pin 5. Este modo de conexión es de gran importancia ya que podemos controlar la frecuencia de oscilación por medio de una señal externa que también puede ser variable.

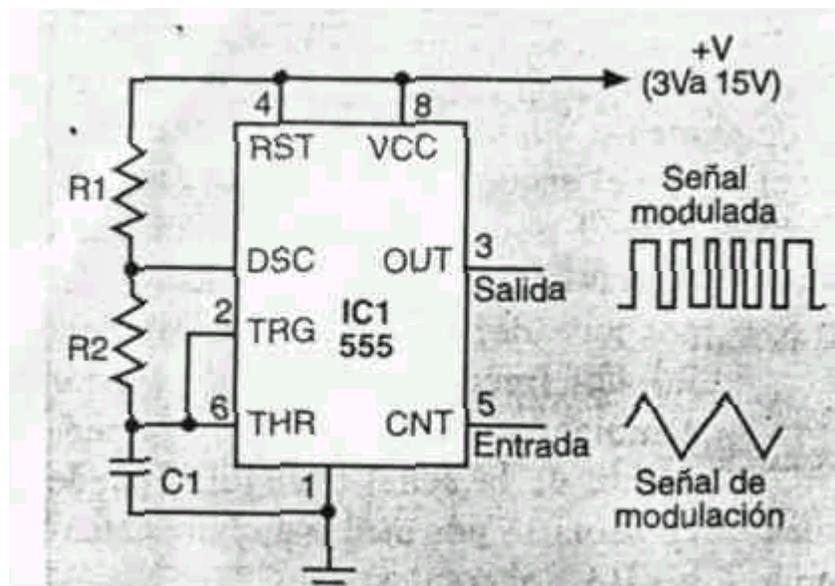


Figura 4. configuración del circuito integrado 555 como modulador de pulsos.

OPERACIÓN EN EL MODO MONOESTABLE

En la Figura 5 se muestra la forma de Conectar el circuito integrado 555 en el modo monoestable, es decir como generador de un pulso de duración definida. Esta configuración se denomina comúnmente temporizador o *one-shot*. Cuando se pulsa momentáneamente S1, la salida permanece en alto durante un determinado tiempo. La duración de este pulso se denomina período de temporización y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$T = 1.1 \times R1 \times C1$$

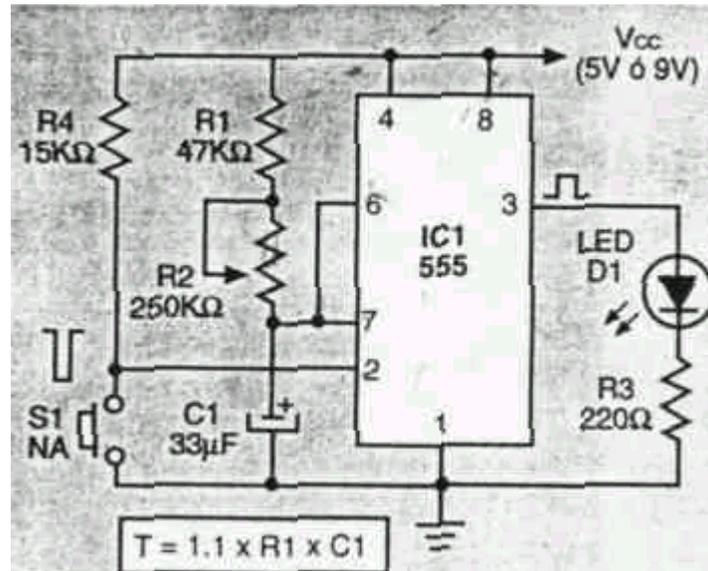


Figura 5. Configuración del circuito integrado 555 como monoestable o temporizador.

Funcionamiento del CI 555 como monoestable

El condensador C se va cargando hasta V_{cc} a través de la resistencia R_a (Ver Figura 6). El voltaje del condensador aumenta hasta que supera $2/3$ de V_{cc} . Este voltaje, es el voltaje de Umbral en la terminal 6, la cual excita el comparador V1 para disparar el flip-flop de manera que haya un estado bajo en la salida 3. En ese momento, el transistor de descarga Q1 entra en conducción, ocasionando que el condensador se descargue por medio de la terminal 7. El voltaje del condensador descendiendo hasta cero y se mantiene allí hasta que en la terminal 2 no haya una excitación.

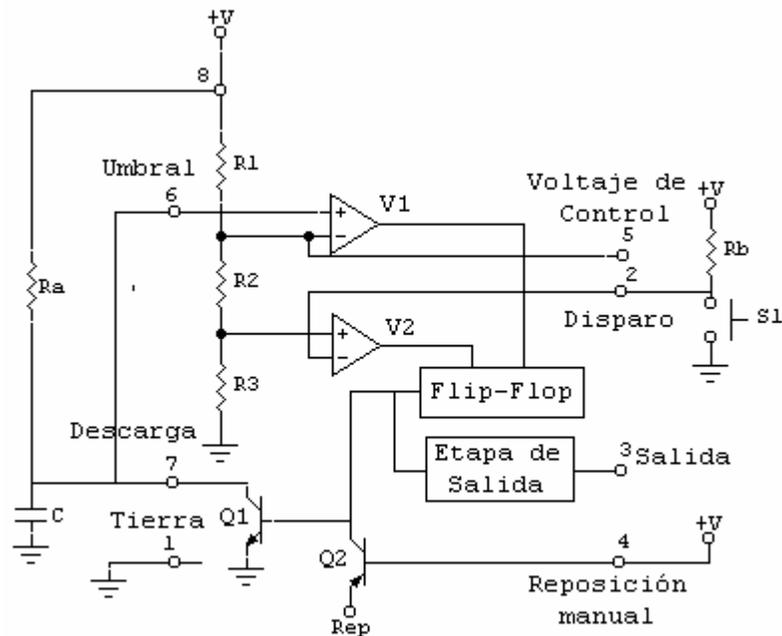


Figura 6

Cuando se presiona el pulsador, el voltaje en la terminal 2 desciende a cero por un momento y luego toma su valor normal; en dicho pulso, se excita el comparador V2, disparando el flip-flop de manera que haya un estado alto en la salida tres. Al haber un estado alto, el transistor Q1 deja de conducir, causando que el condensador comience a cargarse nuevamente por medio de la resistencia Ra. El voltaje en el condensador aumenta hasta que supera $\frac{2}{3}$ de V_{cc} . Allí, nuevamente excita el comparador V1, para dispara el flip-flop, repitiendo nuevamente todo el proceso.

De esta forma, en la terminal 3 que es la salida del 555, habrá un estado alto con una duración determinada, cada vez que el pulsador es presionado.

SEMÁFORO CONTROLADO

El semáforo controlador, como su nombre lo indica, es un semáforo electrónico que permite variar el tiempo de encendido de cada color independientemente de los demás colores. Cada color, tendrá una duración de encendido la cual estará dentro de un intervalo de tiempo calculado previamente; dicho tiempo de encendido dependerá exclusivamente de las resistencias y condensadores conectados al CI 555; así, al colocar una resistencia variable, podremos manipularlos los tiempos en los cuales se activan los leds. Además, el semáforo cuenta con un buser el cual se activa en uno de los momentos de encendido de color verde o rojo. Dicha elección, realizar el usuario del proyecto por medio del pulsador.

FUNCIONAMIENTO ELECTRÓNICO

El funcionamiento electrónico del semáforo controlado es bastante simple. Todos los CI 555 del montaje están configurados como monoestables (es decir, como generador de un pulso de duración definida); cuando se genera un pulso en el pin 2 del 555, la salida pin 3 permanece en un estado alto durante un tiempo determinado. La duración de este estado alto se denomina periodo de temporización y se calcula mediante la siguiente fórmula: $T = 1.1 RC$; así, cada 555 podrá controlar el tiempo de encendido de los diferentes leds.

Cuando se inicia el semáforo, el 555 que controla el color verde del semáforo se enciende, generando un estado alto por un tiempo determinado en su salida (pin 3). Dicha salida esta invertida y conectada al pin 2 y 4 del 555 que enciende el color amarillo (el pin 4 del 555 es el reset, mientras este permanece en un estado de cero dicho 555 no funciona; cuando se pone un estado alto en dicho terminal, habilita el 555); así, cuando el color verde esta encendido, el 555 que controla al amarillo permanece desactivado (ver Diagrama Electrónico).

Cuando el color verde termina su tiempo de encendido se activa el color amarillo (debido al pulso y habilitación que recibe en sus pines 2 y 4 provenientes del inversor 1), generándose su encendido por un intervalo de tiempo determinado. A su vez, la salida del 555 que controla el color amarillo esta invertida (inversor 2) y conectada a los pines 2 y 4 del 555 que controla el color rojo, deshabilitándolo mientras el amarillo permanece encendido (un proceso similar ocurrió con los colores verde y amarillo, explicados anteriormente).

Cuando el amarillo termina su tiempo de encendido habilita el 555 que controla el color rojo, encendiéndose por un lapso de tiempo señalado.

Hasta el momento, el semáforo se ha comportado como se esperaría, se enciende el verde, luego el amarillo y por último el rojo, lo que ahora necesitamos es que el color rojo y amarillo se enciendan simultáneamente por un momento y luego se reinicie el sistema. Para cumplir este propósito, hemos implementado dos 555 y un flip-flop tipo D que al conectarlos cuidadosamente, cumple con dichas funciones.

La salida del 555 que controla el color rojo esta invertida (inversor 3) y conectada a los terminales 2 y 4 de un nuevo 555 que hemos denominado "activo", el cual se activa en el momento en que el color rojo termina su tiempo de encendido. El temporizador activo se encarga de encender simultáneamente los colores rojos y amarillo indicando que prontamente se encenderá el verde.

Cuando activo termina su tiempo de estado alto, los leds permanecen apagados y es el momento de reiniciar el semáforo. Para esto, hemos implementado una compuerta AND (1) de tres entradas, cuya salida esta conectada a los pines 2 y 4 del 555 encargado del reset.

Las entradas de la compuerta AND, son los inversores de cada color (inversores 1, 2 y 4), de esta manera la salida de la compuerta AND solamente se pondrá en 1 cuando todos los colores están apagados. Al ponerse la salida en 1, se activa el 555 encargado del reset, el cual suministra un pulso de aproximadamente 50 ms, al pin del clock del flip-flop 1. En ese momento, se pone en la salida Q del flip-flop, el dato que hay en su entrada D; dicho dato es el negado del color rojo, que para este momento es 1. La salida Q del flip-flop está conectada a los pines 2 y 4 del 555 del color verde; así, cuando la terminal Q se pone en 1 se activa el color verde reiniciándose todo el sistema.

El flip-flop 1 se borra con el pulso recibido en el pin clear generado por el color amarillo. Así, el 555 que controla el color verde permanece desactivado mientras hacen su trabajo los colores amarillo y rojo. De esta manera se logra reiniciar todo el proceso.

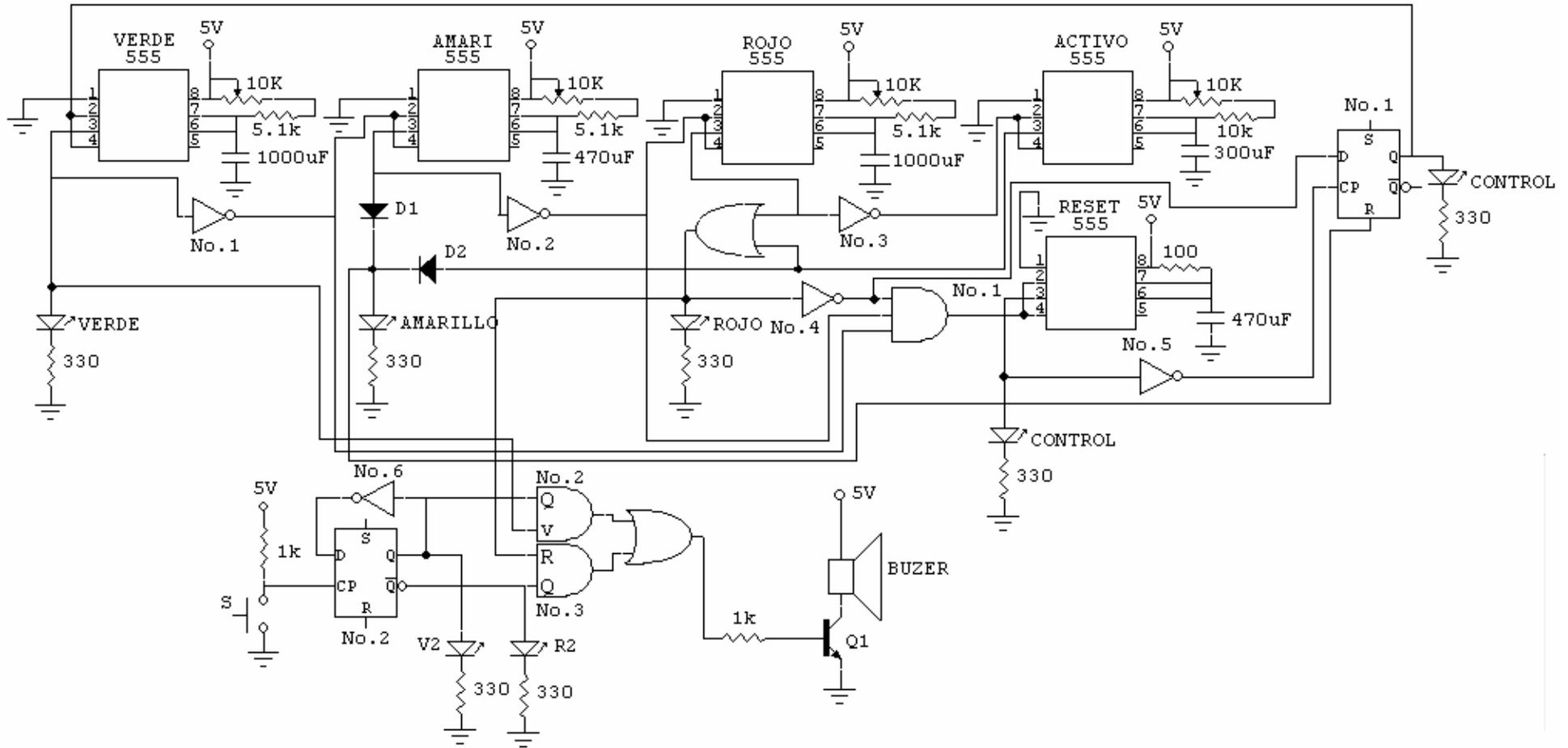
Se debe tener en cuenta que el color rojo se pone en uno de dos maneras diferentes, la primera, por parte del 555 encargado del color rojo y la segunda por parte del 555 denominado "activo". Algo análogo sucede para el color amarillo.

Los leds denominados como "control" en el diagrama electrónico, se utilizan para visualizar como se comporta el circuito cuando va transcurriendo el tiempo.

La parte del circuito que activa el buzzer es bastante sencilla. El flip-flop 2 tipo D siempre tiene un estado alto en una de sus dos salidas (Q . \bar{Q}), habilitando por lo tanto una de las dos compuertas AND (2 o 3). Así, si su salida Q esta en uno, se encenderá el led V2 indicando que el buzzer estará activado cuando el semáforo esta en verde. De esta forma, la operación lógica AND en la compuerta 2 será uno cuando se encienda la luz verde del semáforo. Al recibir un pulso el flip-flop tipo D, la salida Q pasa a ser cero mientras que \bar{Q} pasa a ser uno habilitando la compuerta AND 3 y encendiendo el led R2, indicando que el buzzer se activará cuando el semáforo esté en rojo. De esta modo, al estar encendida la luz roja del semáforo, se activara el buzzer.

Quien manipula el pulsador, es el que elige en que momento se debe activar el buzzer.

DIAGRAMA ELECTRONICO



CALCULO DE LOS VALORES DE RESISTENCIA Y CONDENSADOR

PARA EL COLOR VERDE

El periodo de temporización esta dado por: $T = 1.1RC$. Se desea que el verde tenga un tiempo máximo de encendido de 15s, y mínimo de 5s. Colocando una resistencia variable en serie con una resistencia fija se obtiene lo requerido.

Por lo tanto: $1.1(R_f+R_v)C = 15$ (1)

$$1.1R_f C = 5 \quad (2)$$

tenemos que: $C = \frac{5}{1.1R_f}$

reemplazando en (1)

$$1.1 \frac{(R_f+R_v) 5}{1.1R_f} = 15$$

así, $R_f+R_v = 3R_f$

$$2R_f = R_v, \text{ si, } R_f = 5K \quad R_v = 10K$$

por lo tanto:

$$C = \frac{5}{1.1(5K)} = 909 \mu f \approx 1000 \mu f$$

El tiempo de encendido del verde estará en el siguiente intervalo:

$$5.5 \leq T \leq 16.5 \text{ que es lo deseado.}$$

PARTE DEL COLOR AMARILLO

Se desea un tiempo máximo de encendido de 6s y mínimo de 2s, por lo tanto se tiene:

$$1.1(R_f+R_v) C = 6 \quad (1)$$

$$1.1R_f C = 2 \quad (2)$$

por lo tanto:

$$C = \frac{2}{1.1R_f} \quad \text{reemplazando en (1)}$$

$$\frac{1.1(R_f+R_v) 2}{1.1R_f} = 6$$

$$\text{tenemos } R_f+R_v = 3R_f$$

$$\text{por lo tanto, } 2R_f = R_v, \quad \text{si, } R_f = 5K, \quad R_v = 10K$$

$$\text{así, } C = \frac{2}{1.1(5K)} = 363.6 \approx 470 \mu f$$

El tiempo de encendido del color amarillo estará en el siguiente intervalo:

$$2.6 \leq T \leq 7.8 \quad \text{que se aproxima a lo deseado.}$$

Para calcular el T(período) del color rojo, utilizamos los mismos valores del color verde, así: $R_f = 5K$ $R_v = 10K$ $C = 1000 \mu f$

Y, $5.5 \leq T \leq 16.5$ igual al color verde.

CONCLUSIONES

- La respuesta natural de un condensador permite que al conectarlo con elementos circuitales como resistencias y otros como amplificadores operacionales, se puedan generar pulsos con intervalos de tiempo calculados, los cuales, son útiles en circuitos donde se necesitan generar señales de diferentes formas.
- El circuito integrado 555 es un dispositivo ampliamente utilizado para la generación de señales de impulsos, el cual, en las aplicaciones digitales donde se necesitan temporizadores, se convierte en una herramienta indispensable.
- Dentro de la electrónica digital, los flip-flops son los elementos básicos de memoria, esto significa que permiten almacenar información en forma de 1's y 0's, la cual puede ser utilizada más adelante.

BIBLIOGRAFIA

MANUAL DE PRACTICAS DE ELECTRÓNICA DIGITAL
Enrique Mandado
MARCOMBO, S.A.
Copyright(c) 1984.
Barcelona-México.

SISTEMAS ELECTRÓNICOS DIGITALES
Enrique Mandado
(c)E. Mandado, 1991.
(c)ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A. de C.V.
México, D.F.

Circuitos con el 555
Electrónica & Computadores
CEKIT