

CURSO: ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

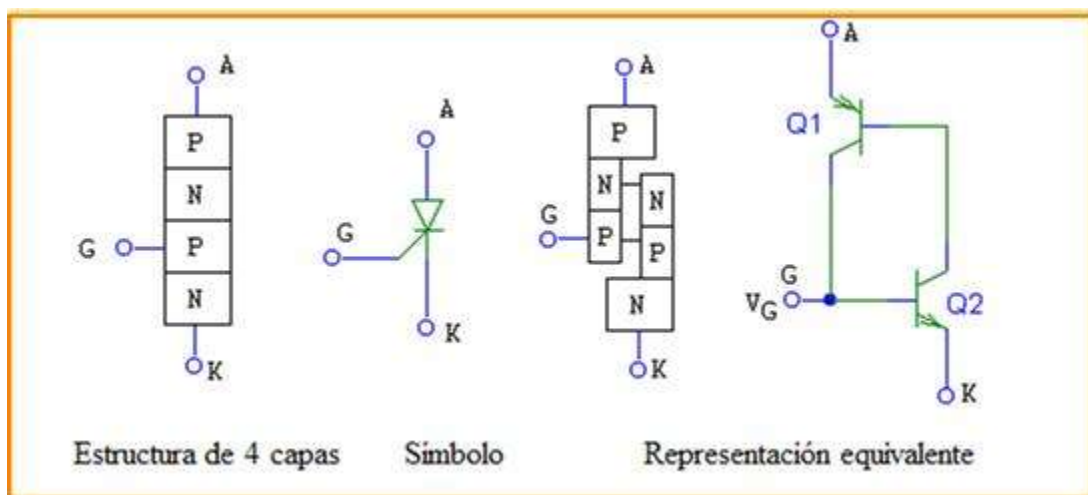
UNIDAD 2: EL SCR (RECTIFICADOR CONTROLADO DE SILICIO)

PROFESOR: JORGE POLANÍA

1. EL TIRISTOR

El rectificador controlado de silicio o tiristor es uno de los dispositivos más usados en electrónica industrial por su facilidad de trabajar en alta potencia y altas corrientes. Ya existen SCR para controlar potencias tan altas como 10MW con corrientes del orden de 2000 A y voltajes de 1800V. Está formado por cuatro capas PNPN y tiene tres terminales: El ánodo (A), el cátodo (K) y la puerta(G).

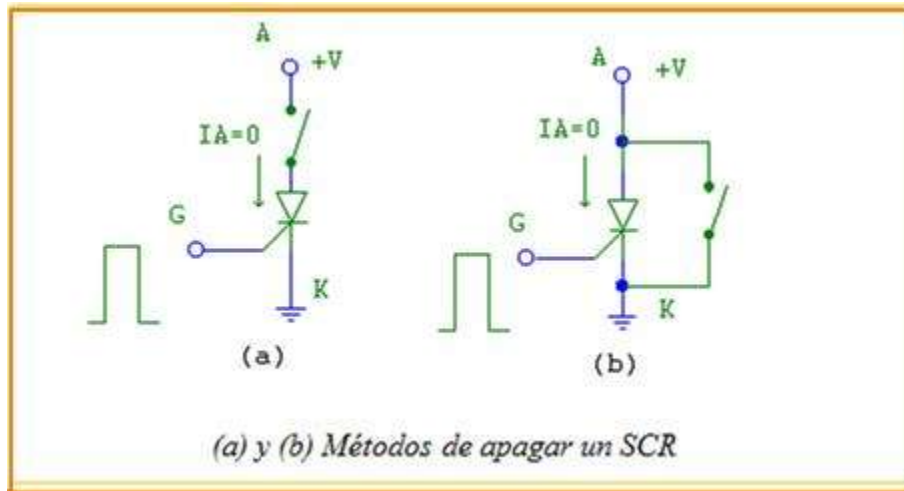
Se polariza de tal forma que el ánodo sea siempre positivo con respecto al cátodo y para que conduzca el tiristor es necesario aplicar un pulso positivo a la puerta de una amplitud suficiente que garantice el disparo.



El SCR se puede representar tal como se indica en la figura por medio de dos transistores complementarios PNP y NPN.

FUNCIONAMIENTO

Si $V_G=0$, entonces Q2 y Q1 están en corte, luego existe una alta impedancia entre el A y el K y el tiristor NO Conduce. Si se aplica un pulso positivo de disparo en G, Q2 entra en conducción y por lo tanto Q1 lo hace también. La impedancia entre A y K es muy baja y el SCR Conduce, En este estado se dice comúnmente que el tiristor se encuentra disparado. El SCR no puede ser apagado simplemente retirando la señal de disparo en G, se apaga interrumpiendo la corriente de ánodo IA.



CURVAS CARACTERÍSTICAS

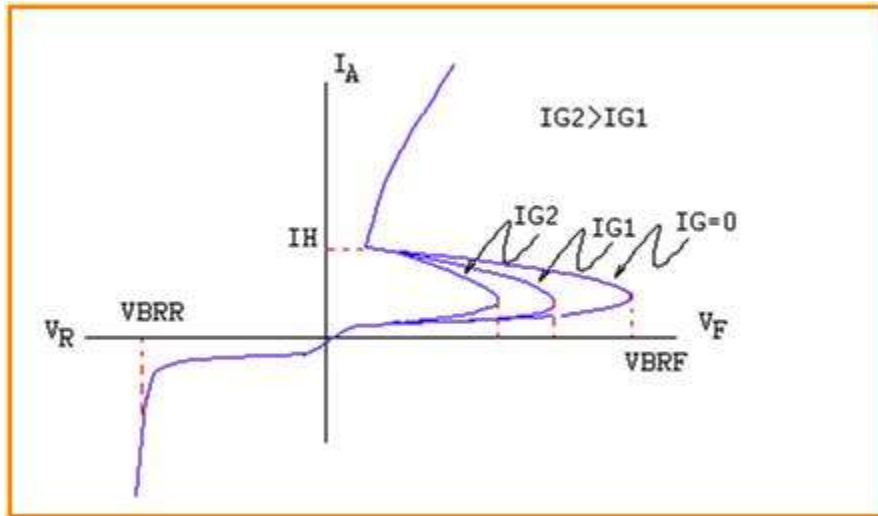
En la figura siguiente, se tienen las curvas de corriente contra voltaje de ánodo utilizando como parámetro la corriente de puerta I_G . En esta figura:

V_{BRF} = Voltaje de ruptura directo o de disparo

I_H = Corriente de sostenimiento

V_{BRR} = Voltaje de ruptura inverso.

Inicialmente al aumentar el voltaje de ánodo directo, la corriente de ánodo aumenta muy levemente hasta que se alcanza el valor de disparo, punto en el cual el SCR pasa a la región de conducción. Si se disminuye la corriente de ánodo por debajo de I_H el SCR pasa a corte. Nótese en las curvas que el aumentar la corriente de puerta I_G , disminuye V_{BRF} .

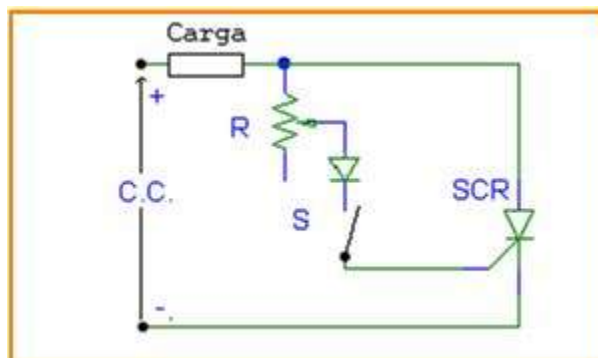


Por ejemplo el [C106](#) es un SCR de 4A RMS y de 200 - 600V, tiene una potencia promedio de puerta $P_{G(AV)} = 0.5W$.

MÉTODOS DE DISPARO

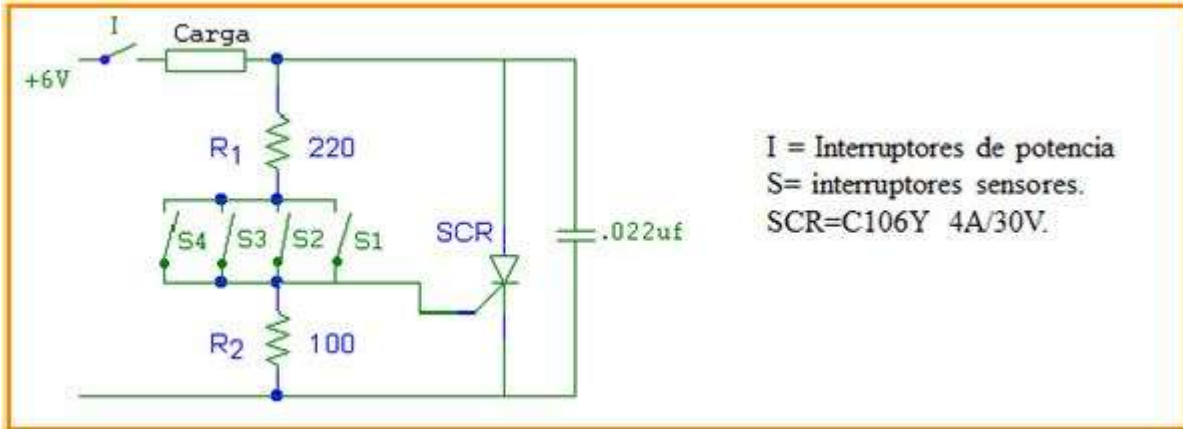
Un SCR se puede disparar (a) por corriente continua (b) por corriente alterna (c) por pulsos.

(a) POR CORRIENTE CONTINUA



Cuando S está abierto, no circula corriente, o sea, $I_G=0$ no hay disparo, el SCR está cortado. Al cerrar S circula I_G y el SCR se dispara, o sea conduce y le llega corriente a la carga haciéndola funcionar (alumbrar si es un bombillo o sonar si es un timbre). Si el interruptor S se vuelve a abrir, el SCR sigue disparado y por lo

tanto la carga funcionando. Este es un circuito típico de alarma de C.C. A continuación se da un ejemplo más práctico.



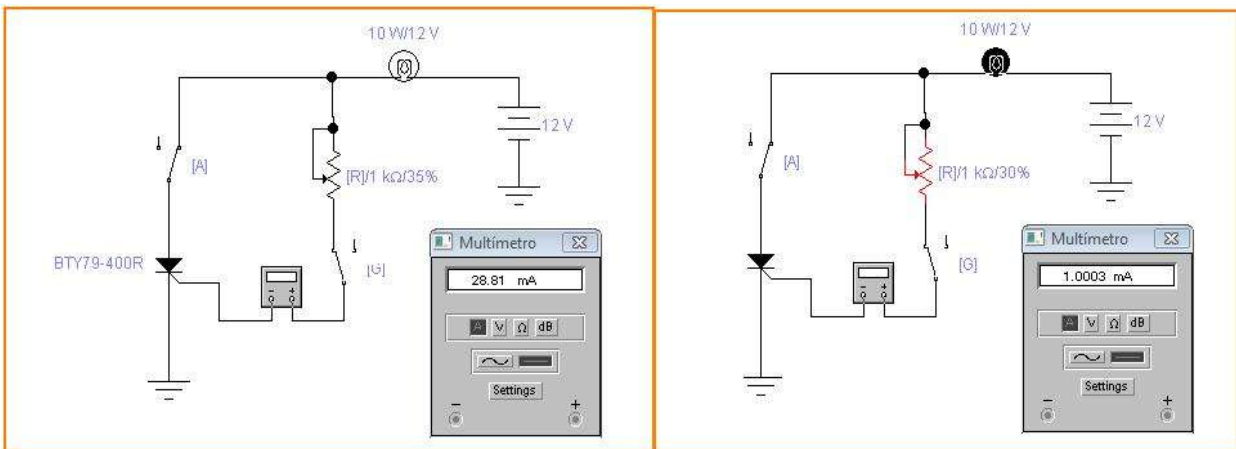
El interruptor de potencia puede ser con llave para seguridad. Los interruptores sensibles están normalmente abiertos y pueden ir colocados en puertas, ventanas, etc.

EJEMPLO 1: POR CORRIENTE CONTINUA

Para el circuito de la figura el tiristor es un BTY79 que según el simulador Workbench tiene:

V_{GT} = Voltaje de disparo de compuerta = 1.5V

I_{GT} = Corriente de disparo de compuerta = 0.03A

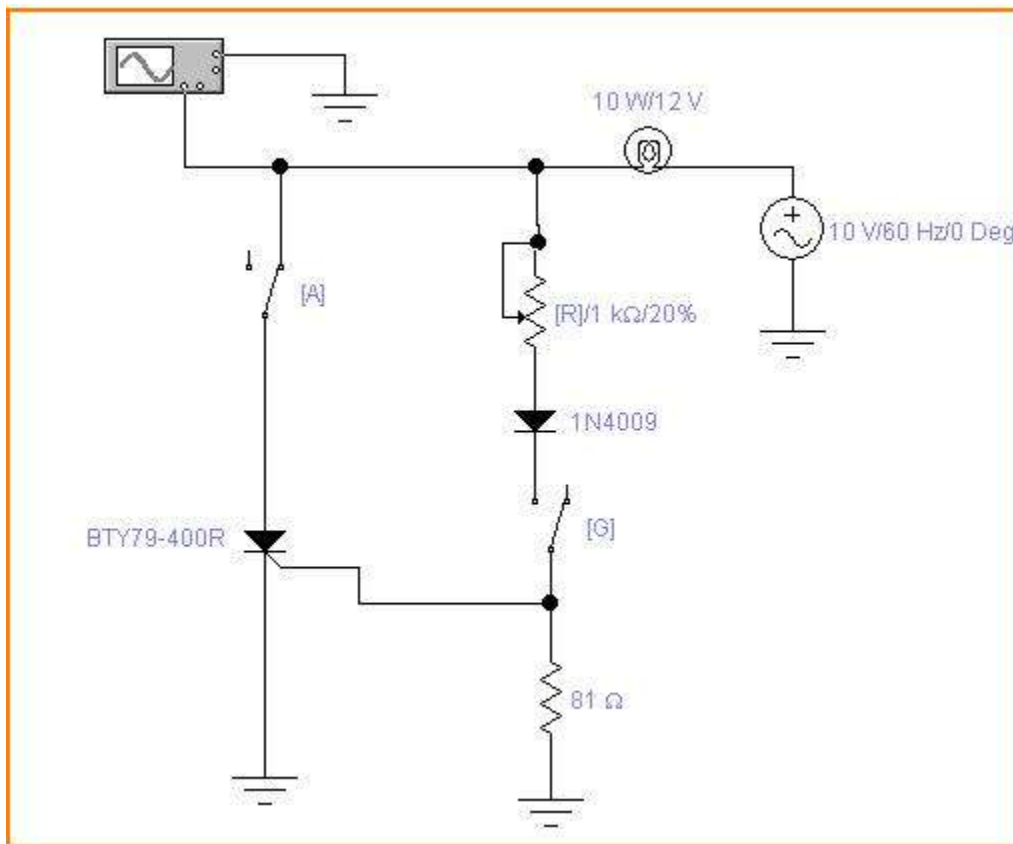


Cálculo de R:

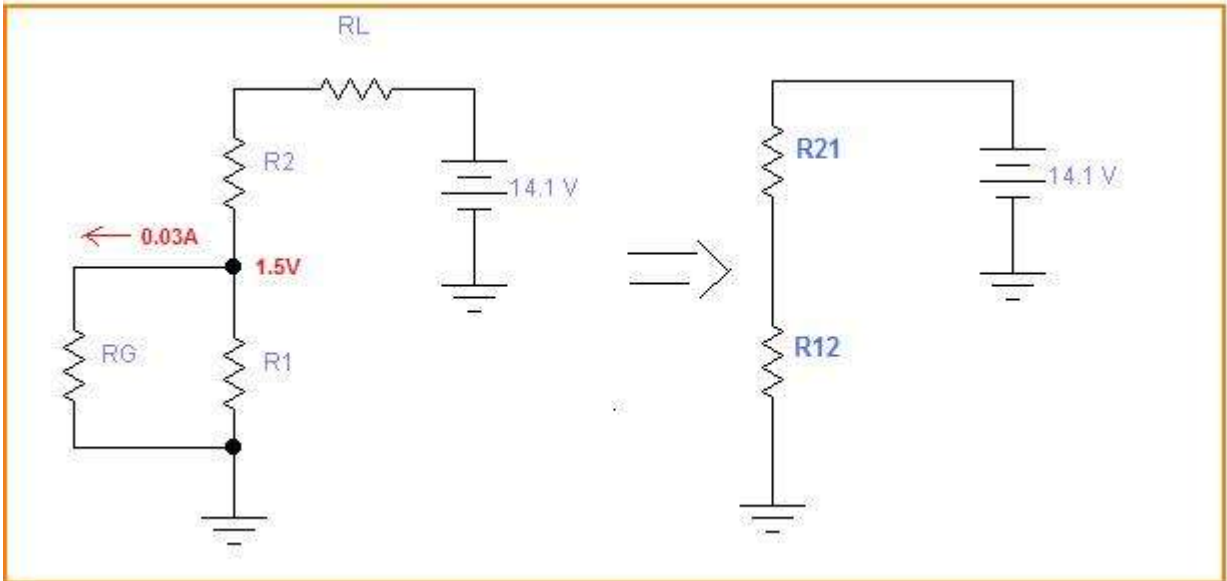
$$R = (V_{AA} - V_{GT}) / I_{GT} = (12 - 1.5) / 0.03 = 350 \Omega$$

Con una resistencia menor a este valor el SCR se dispara y conduce, encendiendo la bombilla, como se aprecia en la figura. En la figura de la izquierda $R=350$ (35% de 1K) no se dispara la $I_G=28.8$ mA, en la figura de la derecha, $R=300$ (30% de 1K) se dispara, el bombillo se enciende la corriente $I_G=1$ mA. Si se abre el interruptor G la bombilla debe seguir encendida. La única forma de apagarla es abriendo el interruptor A.

(b) EJEMPLO 2: POR CORRIENTE ALTERNA



Circuito equivalente en puerta:



Cálculo de R2:

Suponiendo I por R21 igual a $0.05\text{ A} > 0.03\text{ A} = I_G$

$$R_{21} = (14.1 - 1.5) / 0.05 = 252\Omega$$

Se tiene un divisor de voltaje o tensión:

$$1.5 = 14.1 \cdot R_{12} / (R_{12} + R_{21})$$

$$1.5 \cdot (R_{12} + R_{21}) = 14.1 \cdot R_{12}, \quad 1.5 \cdot R_{12} + 1.5 \cdot R_{21} = 14.1 \cdot R_{12}$$

$$1.5 \cdot R_{12} + 1.5 \cdot 252 = 14.1 \cdot R_{12}, \quad \text{despejando } R_{12}$$

$$R_{12} = (1.5 \cdot 252) / (14.1 - 1.5), \quad R_{12} = 30\Omega$$

$R_L =$ RESISTENCIA DEL BOMBILLO $P = 10\text{ W}$, $V = 12\text{ V}$

$$R_L = V^2 / P = 12^2 / 10 = 144 / 10 = 14.4\Omega$$

$$R_{21} = R_2 + R_L, \quad R_2 = R_{21} - R_L = 252 - 14.4 = 237.6,$$

Se coloca un potenciómetro de 1K, cuando $R < 237$ se debe disparar

Cálculo de R1:

$$R_{12}=30\Omega,$$

R12 es el paralelo entre R1 y RG

$$R_G=1.5V / 0.03A=50\Omega$$

$$30=R_1 \cdot R_G / (R_1+R_G), \quad 30=R_1 \cdot 50 / (R_1+50)$$

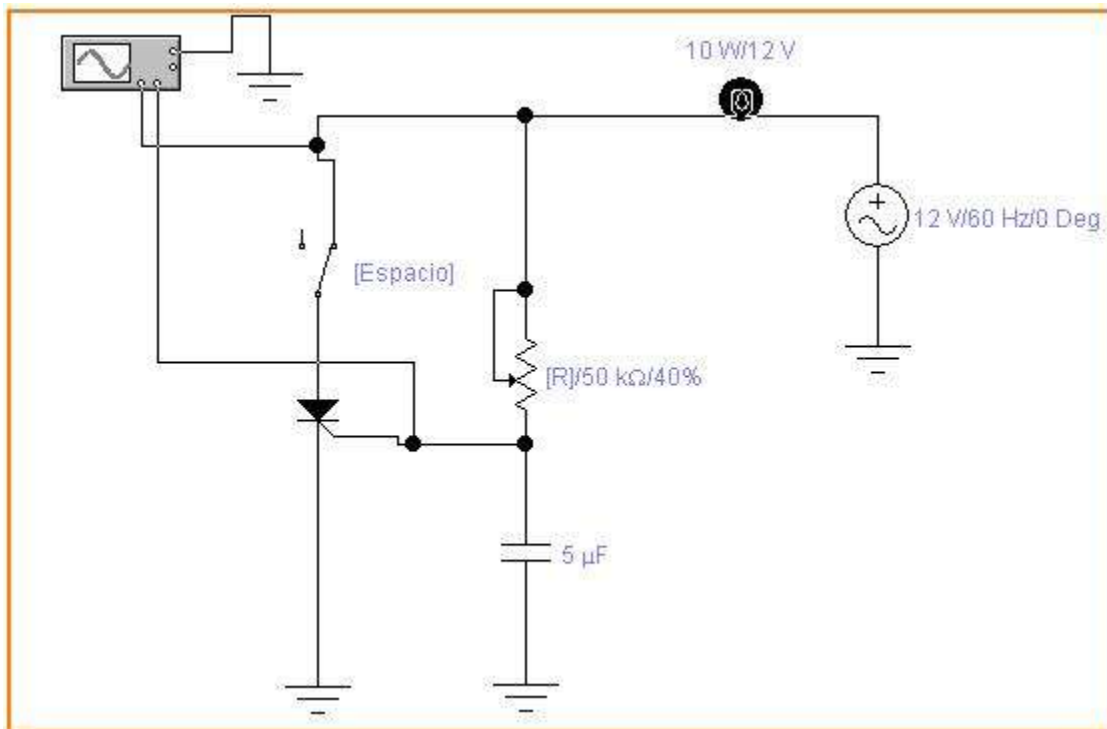
$$30 \cdot R_1 + 30 \cdot 50 = R_1 \cdot 50, \quad \text{despejando } R_1$$

$$R_1 = 30 \cdot 50 / (50 - 30) = 75$$

Se escoge $R_1=81\Omega$

EJEMPLO 3: DISPARO POR FASE

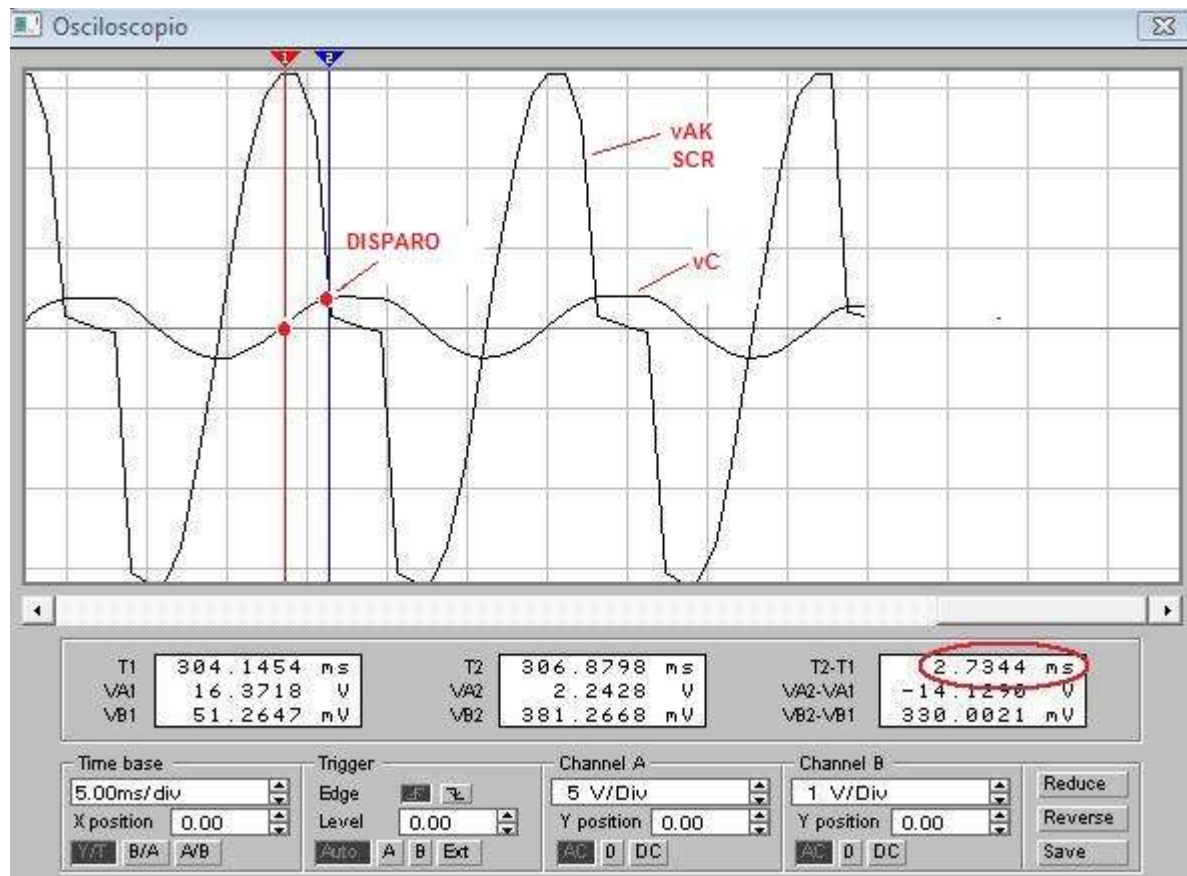
Consiste en colocar una red RC en la puerta con el fin de variar el ángulo de disparo, como se muestra en el siguiente circuito.



El tiristor tiene como $V_{GT}=0.6V$ colocado en el simulador. Recuerde que el desfase entre el voltaje en una resistencia y un condensador es de 90 grados estando el condensador atrasado.

El voltaje de carga es el voltaje pico del generador, o sea, $V_{pico}=1.41*12\approx 17V$

Si queremos un desfase de disparo de 2.7 msg, como se muestra en la figura, en el canal A se tiene la señal en el tiristor y en el canal B la señal en el condensador:



Para obtener el valor de RC que se llama constante de tiempo se utiliza la fórmula:

$$RC = -\frac{tD}{\ln\left(1 - \frac{VG}{V_{pico}}\right)}$$

$$RC = -\frac{2.7msg}{\ln\left(1 - \frac{0.6}{17}\right)}$$

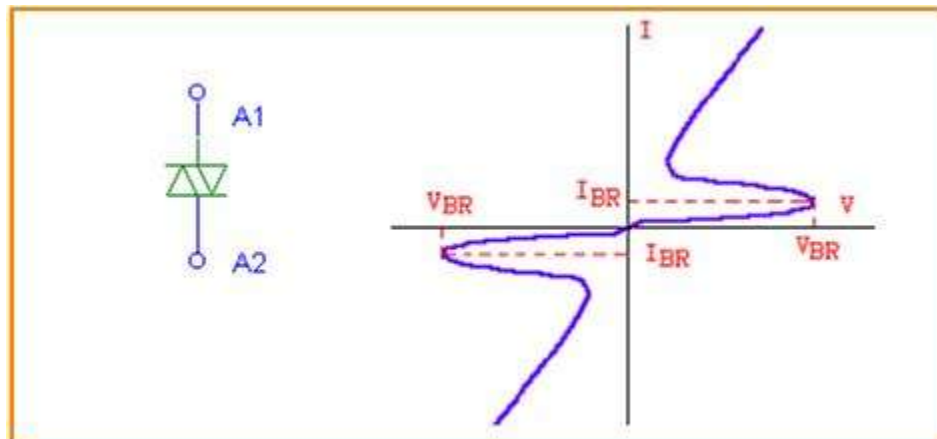
Se obtiene que $RC = 75 \text{ msg}$, si $C = 5 \text{ uF}$,

$R = 75 \cdot 10^{-3} / 5 \cdot 10^{-6} = 15000 = 15 \text{ K}\Omega$, se coloca un POT de 50 K y se ajusta. Observe que con el POT ajustado al 40%, o sea, a $20 \text{ K}\Omega$, hay disparo.

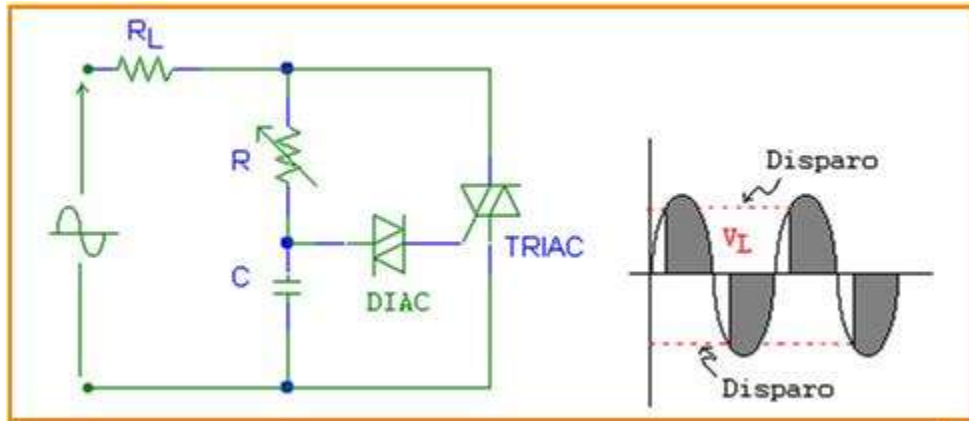
Con $C = 1 \text{ uF}$, se debe colocar un POT de 100 K

2. EL DIAC

Es otro diodo de 4 capas con la propiedad de dispararse en forma directa o inversa, o sea, que es un dispositivo de disparo bidireccional.

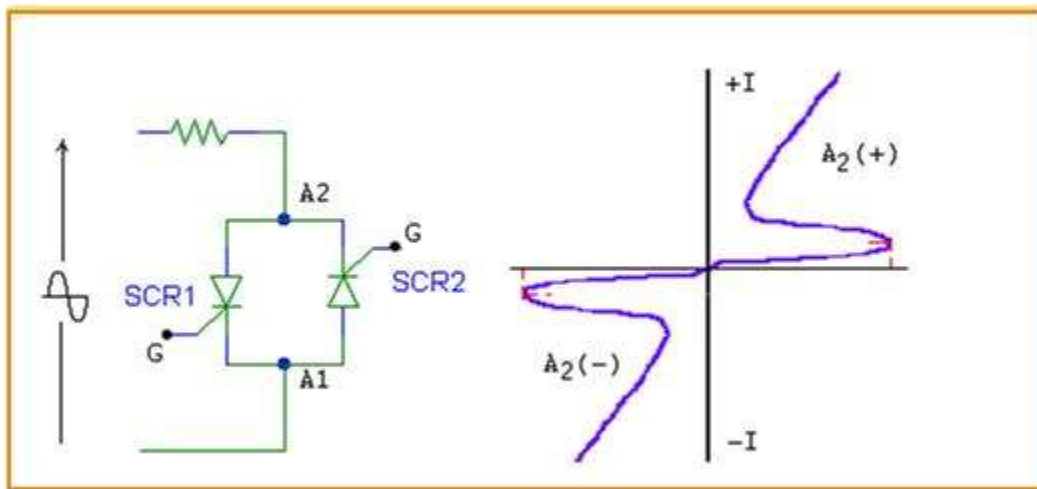


Su aplicación principal es como dispositivo de disparo del TRIAC como control de fase. El circuito es un control de fase que controla la potencia de CA en la carga variando el ángulo de disparo del DIAC por la resistencia R . Al superar el voltaje en el condensador el voltaje V_{BR} del DIAC éste se dispara, haciéndolo seguidamente el TRIAC. Este control es más efectivo que el usado con el SCR ya que la potencia en la carga es mayor.



3. EL TRIAC

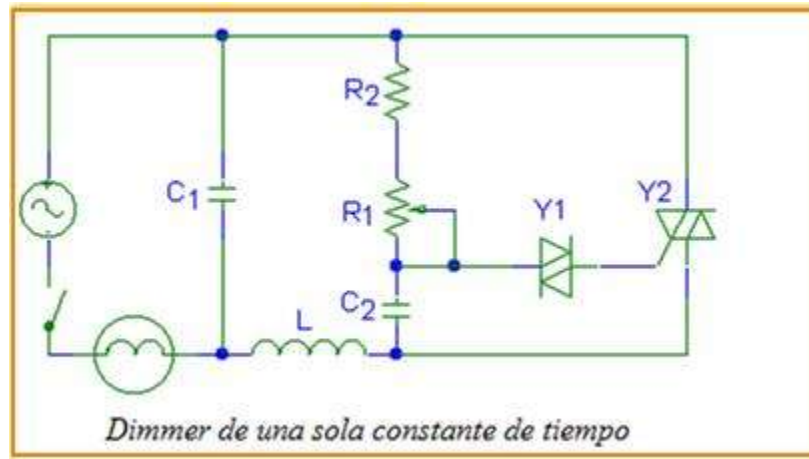
Es un SCR bilateral, esto es que se puede disparar en compuerta para cualquier dirección de la corriente I_G . Su funcionamiento se puede comparar con dos SCR en antiparalelo.



Cuando la alternancia es positiva en la señal de entrada el triac se dispara si se aplica un pulso positivo a la puerta (G) (disparo de SCR1). Durante la alternancia negativa el triac se dispara (SCR2) aplicando un pulso negativo a la puerta. Se usa principalmente en controles de luz (Dimmer), en controles activados por luz, control de motores.

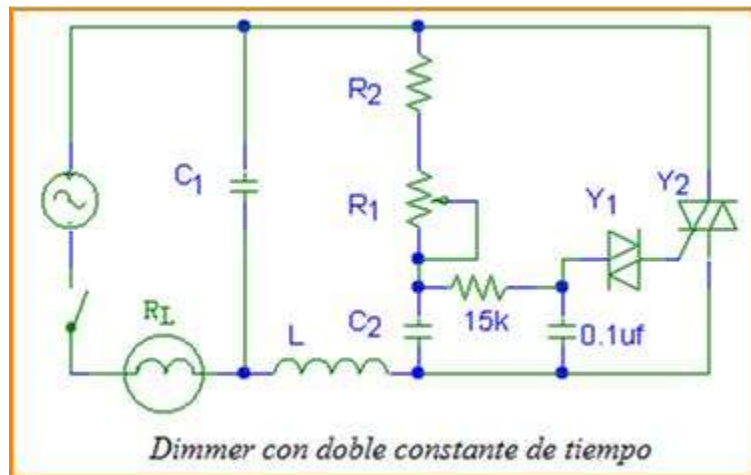
EJEMPLO 4: DIMMER DE UNA CONSTANTE DE TIEMPO

El dimmer es un circuito que controla la luminosidad del bombillo variando el potenciómetro R1. Al variar R1 se varía el ángulo de disparo del triac; esto hace que varíe la potencia en la carga y por lo tanto la luminosidad del bombillo.



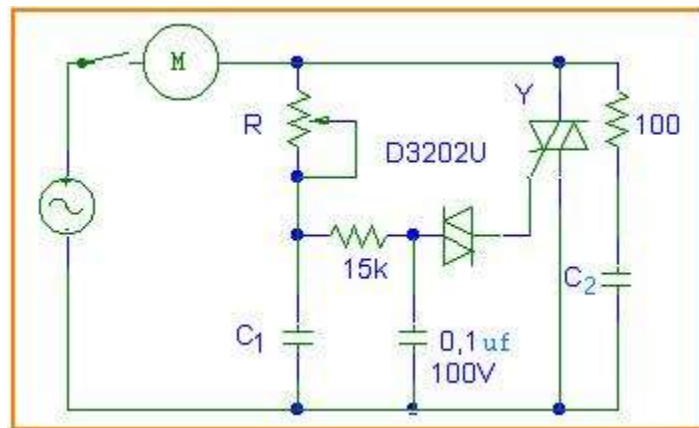
	110V	220V
R ₁	0,25M	0,25M
R ₂	3,3K	4,7K
C ₁	0,05uf	0,1uf
C ₂	0,05uf	0,1uf
L	100uH	200uH
Y ₁	D3202U	D3202U
Y ₂	T2800B	T2800B

EJEMPLO 5: DIMMER DE DOS CONSTANTES DE TIEMPO



	110V	220V
R ₁	0,1M	0,2M
R ₂	2,2K	3,3K
C ₁ , C ₂	0,1uf	0,1uf
L	100uH	200uH
Y ₁	D3202U	D3202U
Y ₂	T2800B	T2800B

EJEMPLO 6: CONTROL DE UN MOTOR DE CA



	110V	220V
R	100k/ ½ w	200K 1 W
C1	0,1uf / 200V	0,1uf/400V
C2	0,22uf /200V	0,22uf /400V
Y	T2700B	T2700D

PROTECCIÓN DEL SCR CONTRA di/dt

Se adiciona una inductancia en serie con la carga. Su valor es de:

$$di/dt = V_{in} / L_s \quad L_s = V_{in} / (di/dt)$$

PROTECCIÓN DEL SCR CONTRA dv/dt

Se adiciona un condensador C_s en serie con una resistencia R_s en paralelo con el SCR. Sus valores se encuentran de la siguiente forma:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{0.632 * RL * Vin}{Cs * (Rs + RL)^2}$$

RL es la resistencia de carga, Vin es el voltaje de entrada rms

$$Rs = \frac{Vin}{Itd} \text{ donde } Itd \text{ es la corriente de descarga}$$

$$\text{Por ejemplo, si } Itd = 100A \text{ y } Vin = 200V, \quad Rs = \frac{200V}{100A} = 2\Omega$$

$$\text{Si } \frac{dv}{dt} = \frac{100V}{\mu s} \text{ y } RL = 5\Omega, \text{ entonces,}$$

$$Cs = \frac{0.632 * 5 * 200}{(2 + 5)^2 * 100} \mu F = 0.13 \mu F$$

La pérdida por este circuito adicionado R_s , C_s si la frecuencia es de 2KHz, es de:

$$P = 0.5 * Cs * Vin^2 * f = 5.2W$$

Si la energía almacenada en C_s se disipa en R_s , entonces esta resistencia se debe escoger de por lo menos 5.2W

CURSO: ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

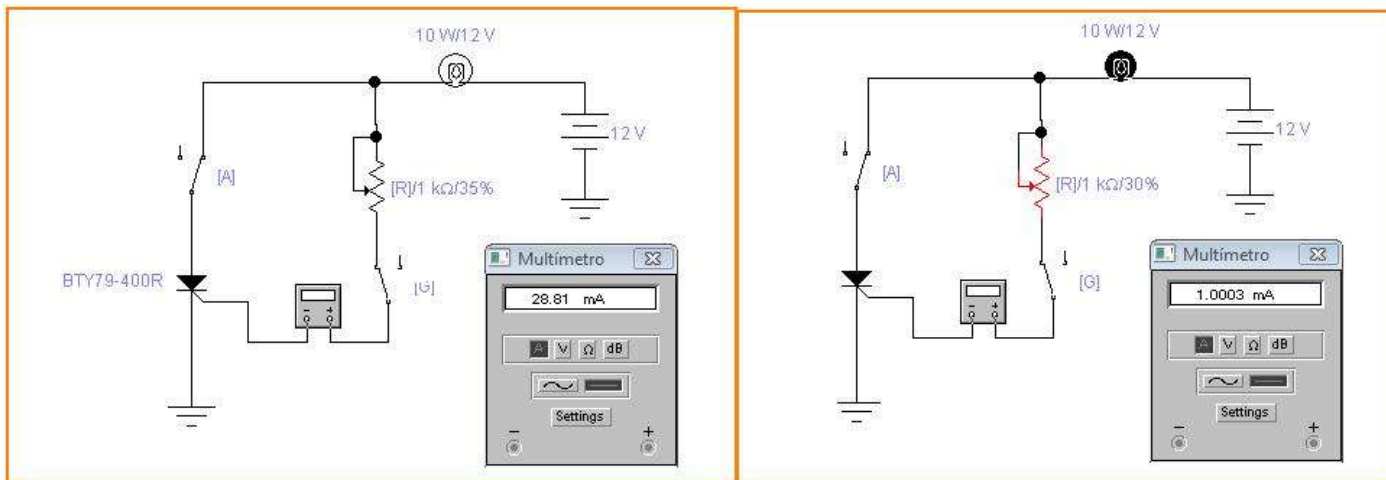
UNIDAD 2: EL SCR - SIMULACIÓN

PASO 1: DISPARO POR CORRIENTE CONTINUA

Para el circuito de la figura, el tiristor es un BTY79 que según el simulador Workbench tiene:

V_{GT} =Voltaje de disparo de compuerta = 1.5V

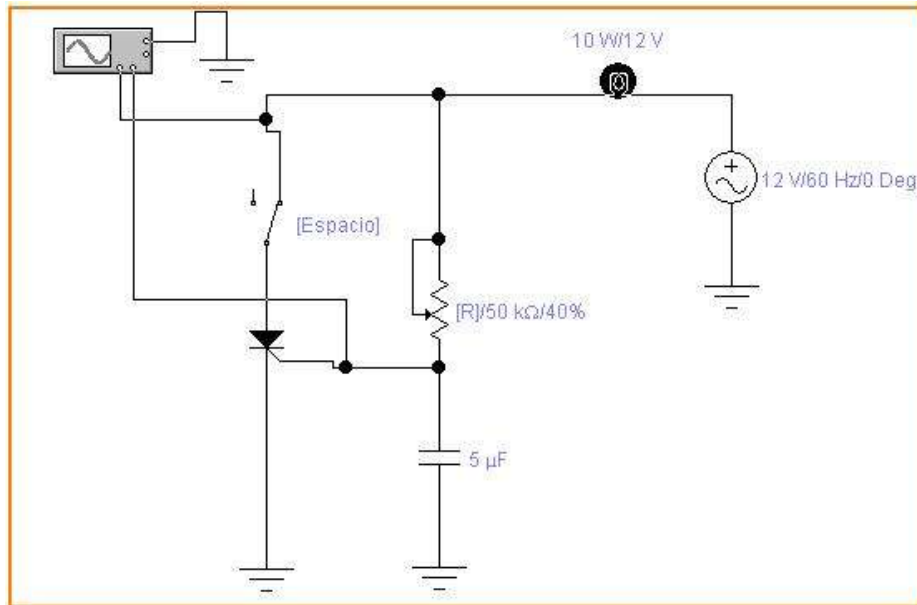
I_{GT} = Corriente de disparo de compuerta = 0.03A



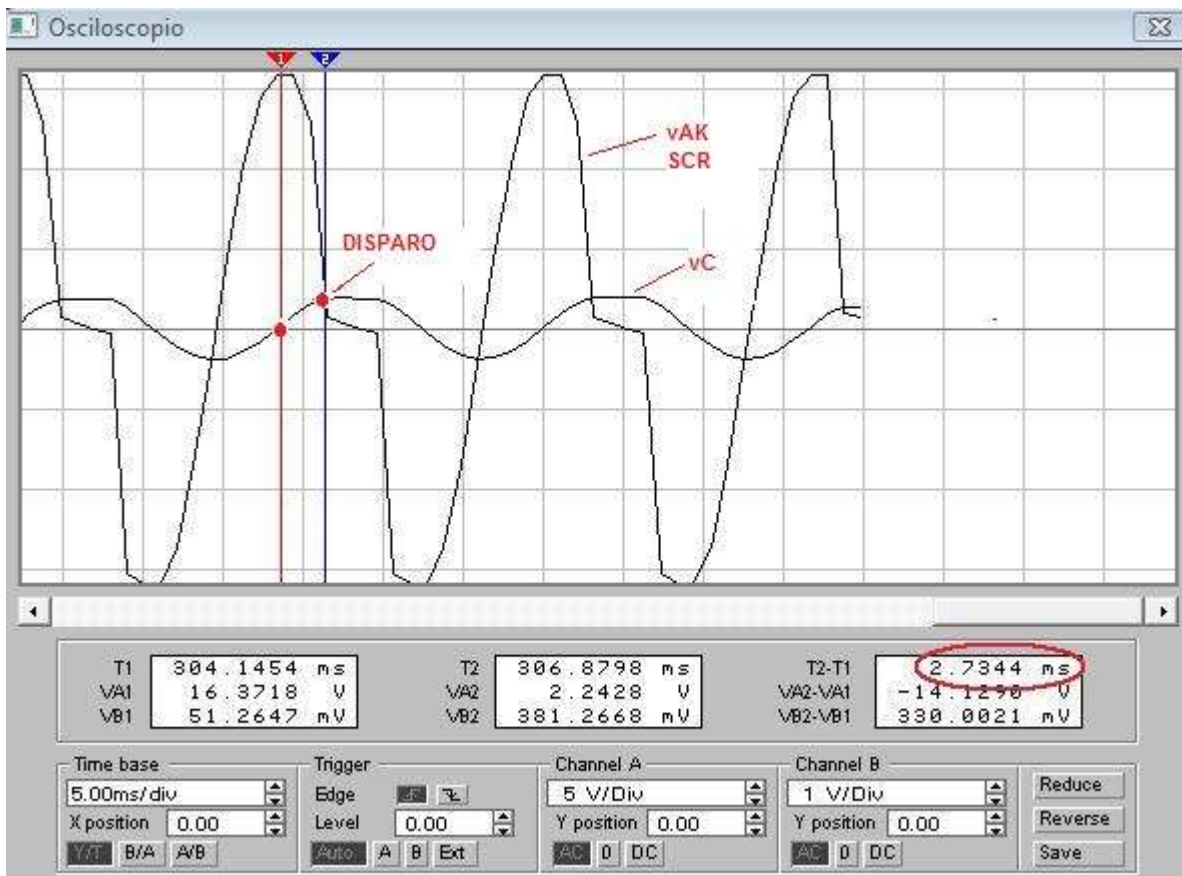
$$R = (V_{AA} - V_{GT}) / I_{GT} = (12 - 1.5) / 0.03 = 350\Omega$$

PASO 2: DISPARO POR CORRIENTE ALTERNA

Montar en el simulador el siguiente esquema,. Observe con el osciloscopio la salida del ánodo por un canal y por el otro, el terminal de compuerta.



Compare estas dos señales y varíe el potenciómetro, observe lo que pasa.



Para obtener el valor de RC que se llama constante de tiempo, se utiliza la fórmula:

$$RC = -\frac{tD}{\ln\left(1 - \frac{VG}{V_{pico}}\right)}$$

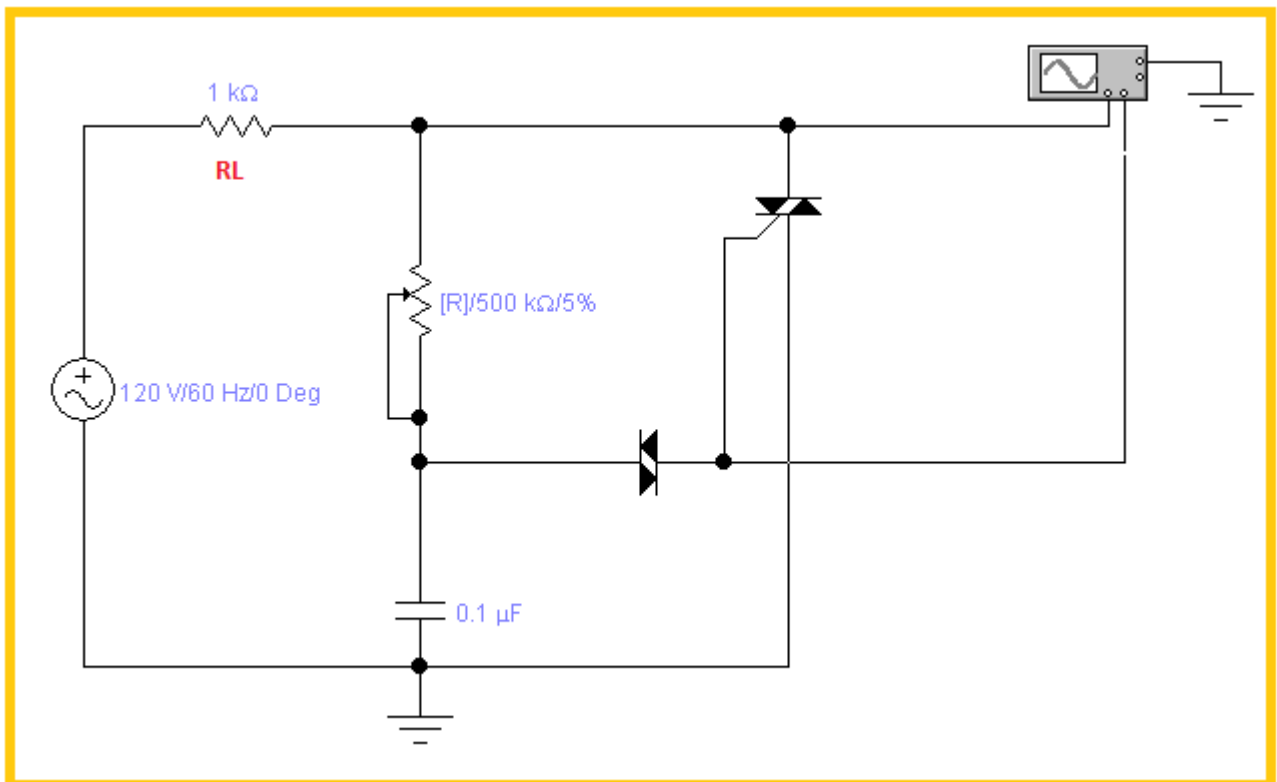
$$RC = -\frac{2.7\text{msg}}{\ln\left(1 - \frac{0.6}{17}\right)}$$

Se obtiene que RC= 75 msg, si C= 5 uF,

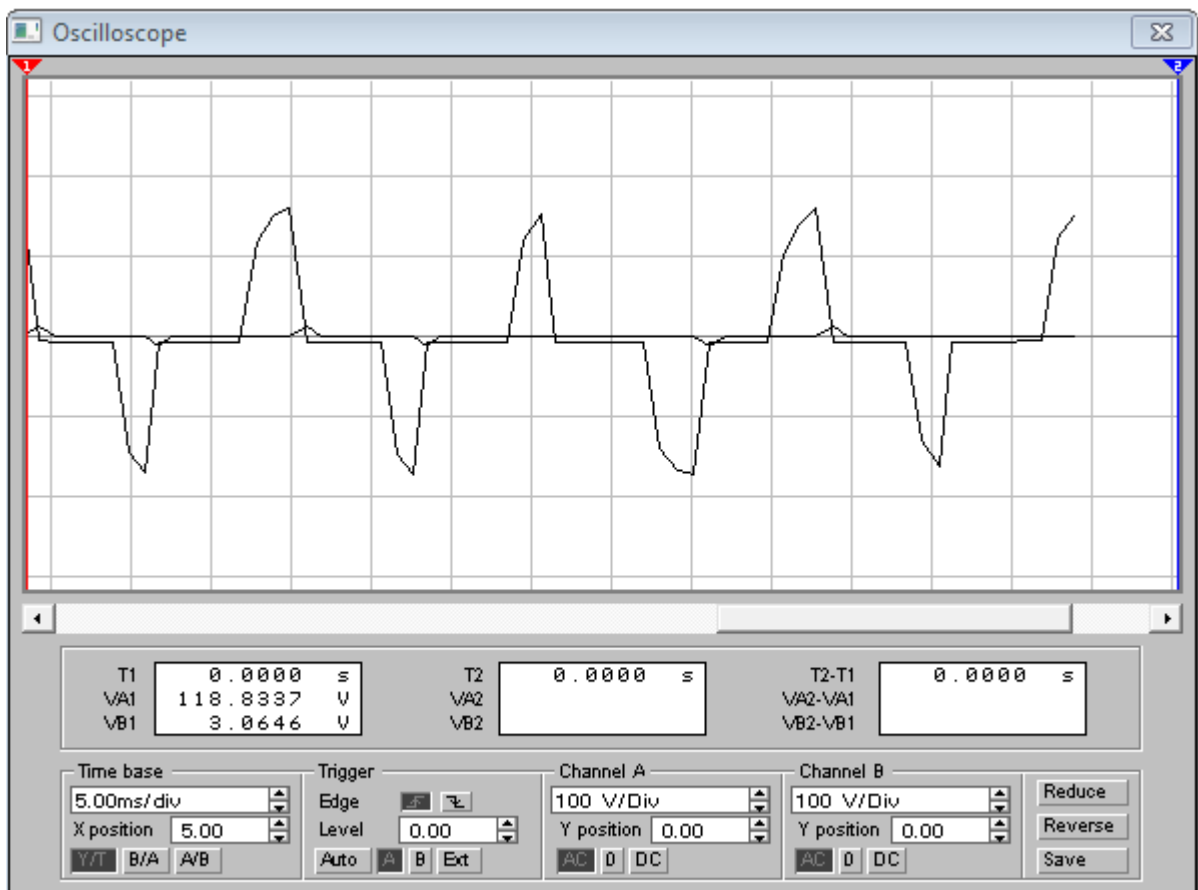
$R=75 \cdot 10^{-3} / 5 \cdot 10^{-6} = 15000 = 15\text{K}\Omega$, se coloca un POT de 50K y se ajusta.

PASO 3: DISPARO DE UN TRIAC MEDIANTE UN DIAC

Simule el siguiente circuito, compruebe que estos elementos son bilaterales. Varié el potenciómetro y note qué sucede con el ciclo activo de la onda. Halle el valor de R y la constante de tiempo que hace que la onda se apague el 50%



Este circuito comúnmente es usado para el control continuo del brillo de lámparas o velocidad de motores. Siendo RL la carga o elemento a controlar.



CURSO: ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

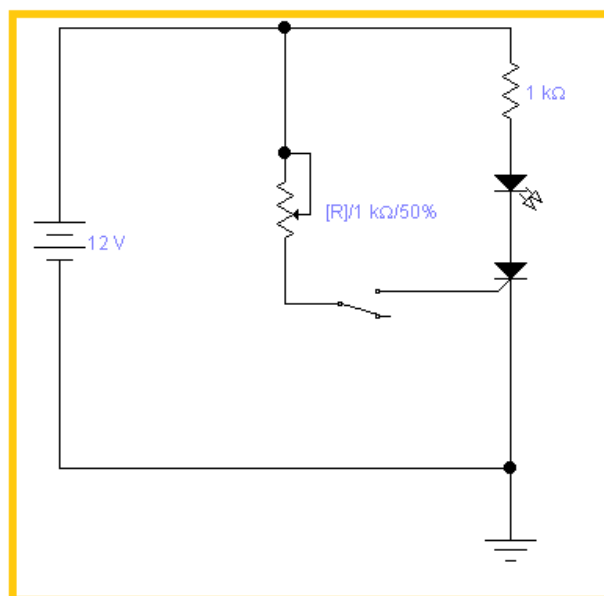
UNIDAD 2: EL SCR - LABORATORIO

PASO 1: DISPARO POR CORRIENTE CONTINUA

Para esta práctica utilizaremos los siguientes materiales:



Implemente el circuito según esquema y presione el pulsador.



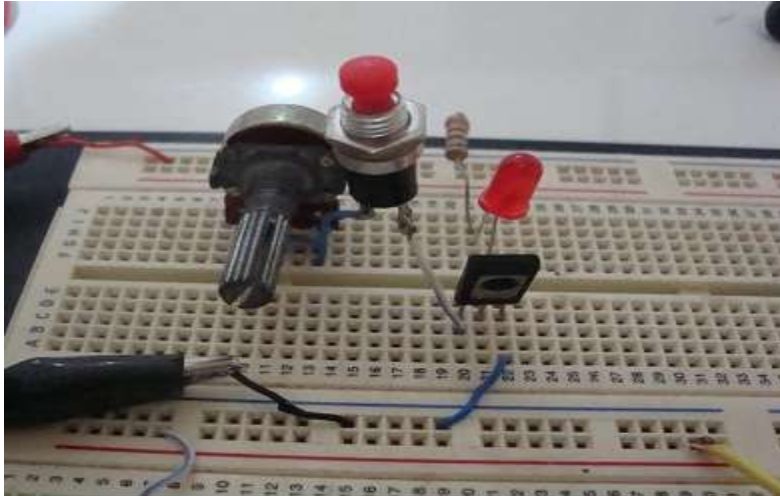
Realice las siguientes mediciones de I_G , V_{ak} , V_{carga} .

A) antes del disparo

B) Con el pulsador presionado

C) Con el pulsador abierto (después del disparo)

Compare estos valores y saque sus propias conclusiones

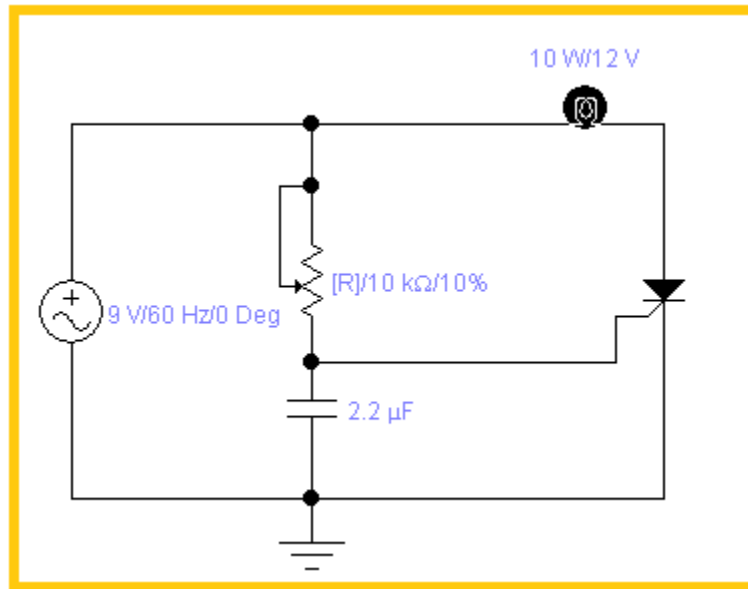


NOTA: Recuerde que una vez disparado el SCR la única forma de desengancharlo es utilizando un interruptor que desconecte el ánodo de la alimentación o simplemente apagando la fuente y volviéndola a encender.

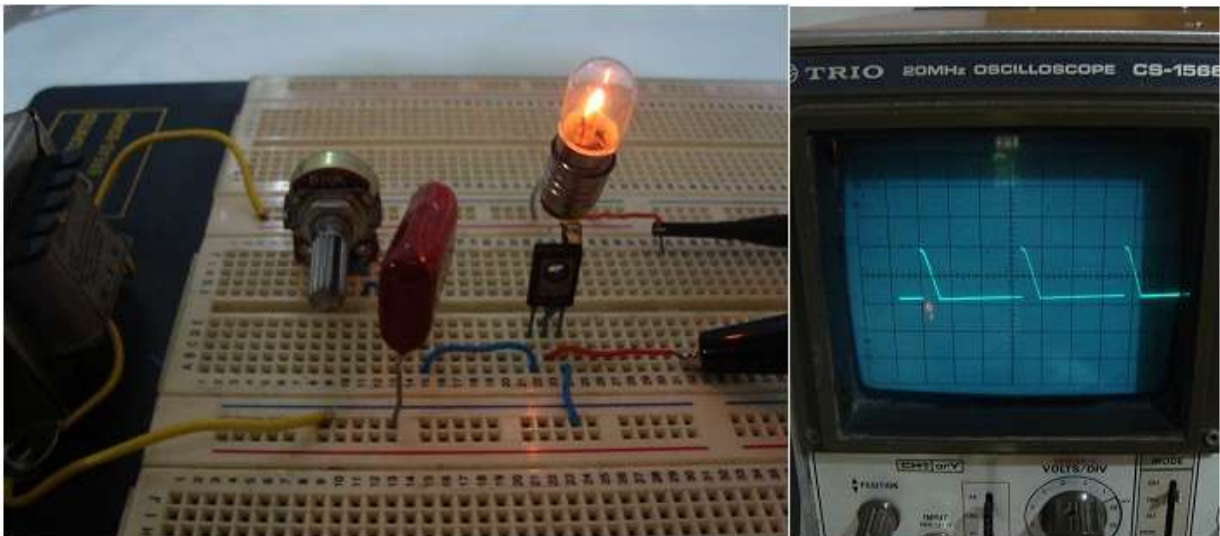
PASO 2: DISPARO POR CORRIENTE ALTERNA



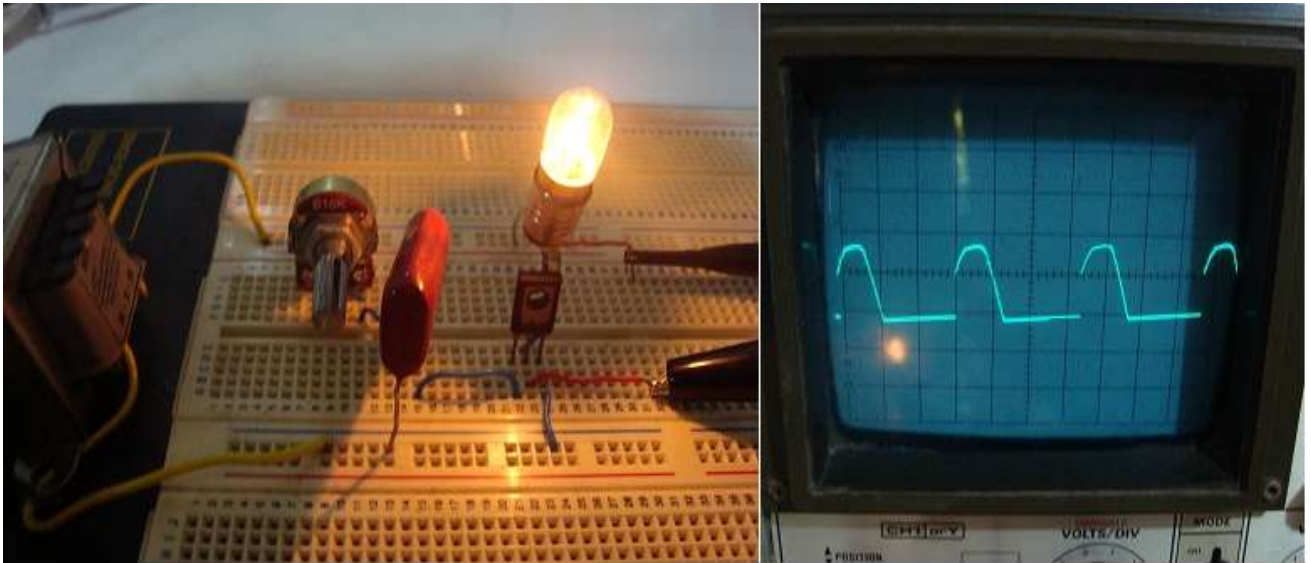
Implementar el circuito del siguiente esquema, ajuste el potenciómetro para el mínimo brillo que del bombillo y mida el valor de la resistencia para esta condición. Repita el procedimiento para la condición de máximo brillo.



Circuito funcionando para valor pequeño de brillo.



Ajuste del potenciómetro para el mayor brillo.

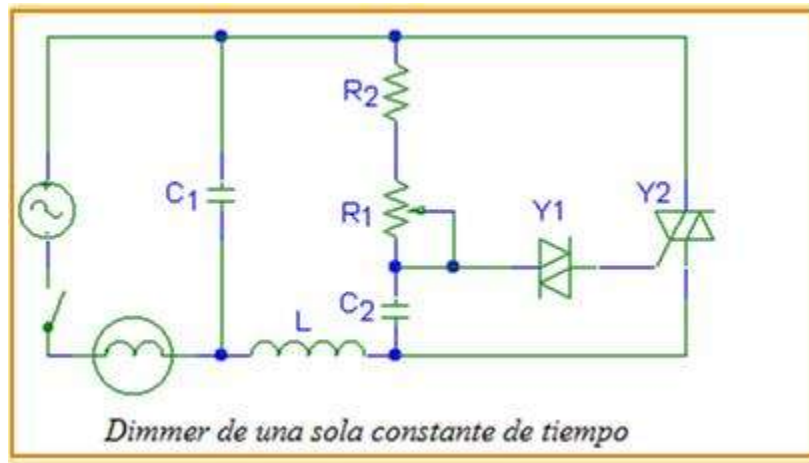


¿Qué puede concluir de este paso?

PASO 4: DIMMER DE UNA CONSTANTE DE TIEMPO

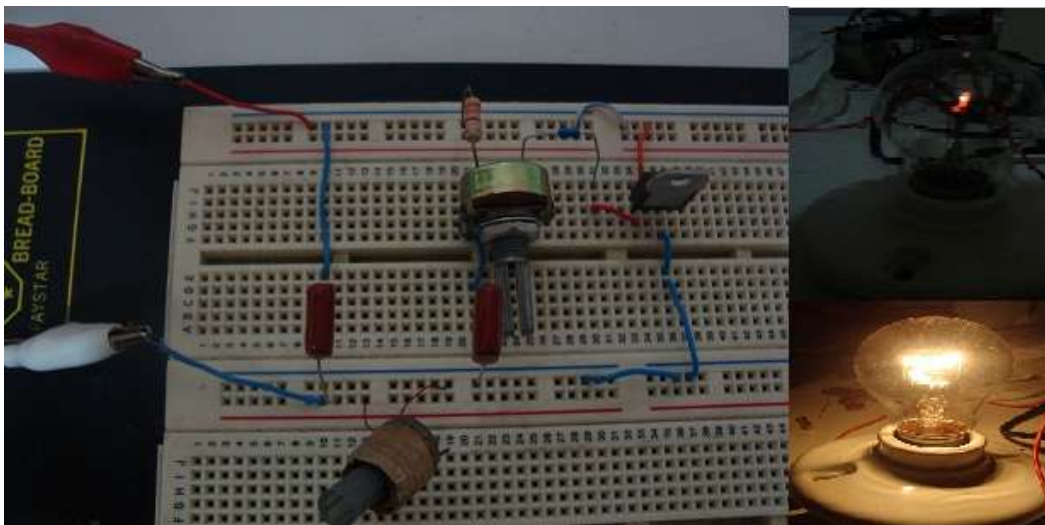


Implemente el siguiente circuito y varíe el potenciómetro para controlar la luminosidad del bombillo. Asegúrese de tener las conexiones bien hechas recuerde que esta trabajando con la tensión de la red.



	110V	220V
R_1	0,25M	0,25M
R_2	3,3K	4,7K
C_1	0,05uf	0,1uf
C_2	0,05uf	0,1uf
L	100uH	200uH
Y_1	D3202U	D3202U
Y_2	T2800B	T2800B

A continuación se muestra el funcionamiento del circuito para los dos casos extremos.



a) Elabore 5 conclusiones de esta práctica y b) Nombre 3 aplicaciones en las que puede ser útil este circuito.