

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

MT 5004

Laboratorio de Electrónica de Potencia Aplicada

Tarea 3: Relé de estado sólido

Jose Fabio Navarro Naranjo – 2019049626

Adrián Dittel Retana – 2019007945

Emmanuel Naranjo Blanco – 2019053605

Profesora: Johanna Vanessa Muñoz Pérez

Semestre II - 2021

Contenido

Investigación previa	3
Procedimiento.....	3
Evaluación	20

Investigación previa

1. ¿Qué es un relé de estado sólido?

Un relé de estado sólido, también conocido como SSR por sus siglas en inglés (Solid State Relay) es un elemento que permite aislar eléctricamente el circuito de entrada o mando, del circuito de salida [1]. El control de este aislamiento se da gracias a la acción de una pequeña corriente en sus terminales de control. Un relé de este tipo realiza la misma función que un relé electromecánico, con la diferencia de que no tiene partes móviles, y puede conmutar tanto corriente alterna como directa, dependiendo del diseño. Este tipo de relé se encuentra formado por un circuito de entrada, un aislamiento (que generalmente se asegura con un acople óptico), un detector de paso por cero (únicamente en algunos modelos, funcionando de manera que el relé opera cuando la señal de entrada se acerca al valor de cero), un circuito de salida (con tiristores o transistores dependiendo del dispositivo óptico utilizado), y, por último, algunos modelos presentan protección frente a anti transitorios [1].

2. Investigue el significado de los siguientes parámetros de la hoja de datos del optoacoplador: VISO, IF, VR, VDRM, ITSM, VF, VTM e IFT.

VISO: Sobretensión de aislamiento (Isolation Surge Voltage).

IF: Corriente directa continua (Continuous Forward Current).

VR: tensión inversa (Reverse Voltage).

VDRM: Voltaje del terminal de salida en estado desactivado (Off-State Output Terminal Voltage).

ITSM: Pico de sobretensión repetitiva (Peak Repetitive Surge Current).

VF: Voltaje directo de entrada (Input Forward Voltage).

VTM: Voltaje pico en estado, en cualquier dirección (Peak On-State Voltage, (either Direction)).

IFT: Corriente de disparo del LED (LED Trigger Current).

Lo anterior referenciado de [2].

3. Explique por medio de fórmulas ¿cómo se dimensionan los componentes de la Fig. 1 (R1, R2, R3, R4, C1, C2)? Guíese por la información suministrada en las hojas de datos y en el manual de optoacopladores de Motorola (a partir de la página 362).

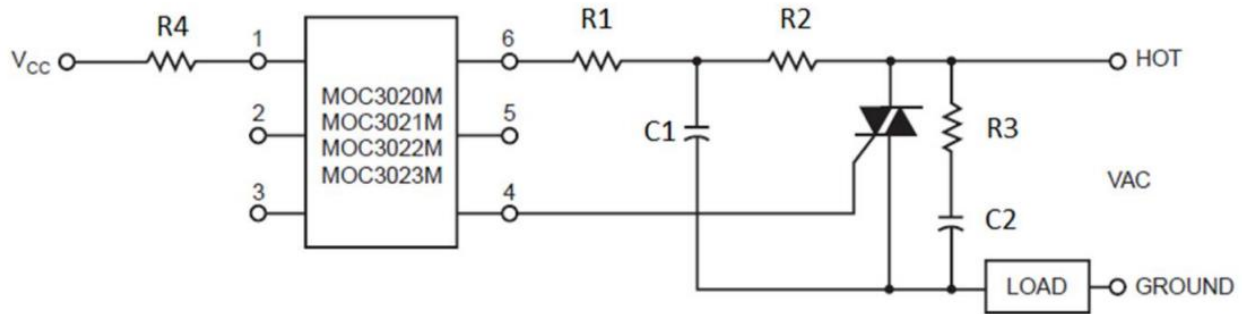


Figura 1. Circuito de aplicación típico.

Primero, el optoacoplador de la figura 1 funciona de la siguiente manera. En el lado izquierdo, específicamente entre las terminales 1 y 2, tiene un diodo, con su ánodo en el pin 1 y el cátodo en el pin 2. Cuando la tensión entre 1 y 2 alcanza el valor necesario para polarizar el diodo este se enciende, y al ser un diodo led, proporciona una señal luminosa que activa al optotriac, por lo que este procede a conducir. El optotriac se conecta entre las terminales 6 y 4, por lo que el resto del circuito (al lado derecho de la imagen) debe conectarse a estas terminales para asegurar el correcto funcionamiento.

Una vez que se sabe lo anterior, se procede a dimensionar los componentes. Para el valor mínimo de la resistencia R1 se aplica la ley de ohm, utilizando la corriente máxima, sobre la tensión máxima (tensión pico en caso de una señal senoidal) que vaya a soportar, por lo que la ecuación queda de la siguiente manera:

$$R_{1 \text{ (min)}} = \frac{V_p}{I_{max}}$$

Luego, para dimensionar a R2 y C1, se utiliza una sola ecuación, la cual involucra la razón de caída del sistema (Peak rate of rise), y se reemplaza la constante de tiempo τ con la multiplicación de estos 2 valores, con lo que se obtiene la siguiente ecuación:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{V_{to}}{\tau} = \frac{V_{to}}{R_2 \cdot C_1}$$

Luego, para R4, se necesita conocer el valor mínimo de corriente necesaria para encender el optoacoplador, ya que esta resistencia tiene como función regular la corriente de entrada de este componente. Por lo que, la ecuación es la siguiente:

$$R_4 = \frac{V_{cc}}{I_{min}}$$

Por último, R3 y C2 forman una red snubber, la cual se puede dimensionar de la siguiente manera. Se elige un capacitor amortiguador, el cual tiene un valor de capacitancia igual al doble de la suma de la capacitancia de salida y de entrada. Y luego para el resistor, se utiliza ley de ohm, utilizando la tensión de entrada a la segunda parte del circuito (luego del opto), y la corriente que fluye por esta sección. Con lo anterior, las ecuaciones resultan de la siguiente manera:

$$C_2 = 2(C_{in} + C_{out})$$

$$R_3 = \frac{V_{in2}}{I_{in2}}$$

4. Realice un listado de las principales características de los siguientes tipos de optoacopladores: optotransistor, optotriac y optodarlington.

Los acoples ópticos u optoacoples son dispositivos electrónicos cuya función consiste en interconectar dos circuitos mediante una transferencia de señal óptica de ondas de luz, lo cual permite aislar eléctricamente los circuitos. Existen diferentes tipos de acopladores ópticos para tareas especiales. Todos consisten en dos elementos, una fuente de luz como un diodo emisor de luz, y un fotosensor divididos por una barrera dieléctrica (Figura A). De este modo, cuando se aplica corriente de entrada al LED, se enciende y emite luz infrarroja; el fotosensor luego detecta esta luz y permite que la corriente fluya a través del lado de salida del circuito [3].

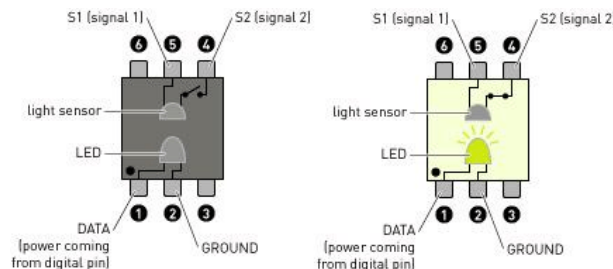


Figura 2. Operación del optoacople [3].

Entre los fotosensores se encuentra:

- **Optotriac:**

Los optotriac son acopladores ópticos utilizados normalmente en CA. Estos dispositivos se emplean para encender y apagar cargas, como motores, lámparas, calentadores y válvulas electromagnéticas. Generalmente, se usan en combinación como activación de un Triac que tiene control directo sobre la carga [4].

El optotriac proporciona excelente aislamiento entre la circuitería de entrada y salida, por lo que el LED de entrada del acople se puede controlar mediante CD y el Triac funciona para manejar corriente alterna. Entre los optoacopladores basados en fototriac están: IL420, 4N35 [4].

El esquemático del optotriac se encuentra en la Fig. 3.

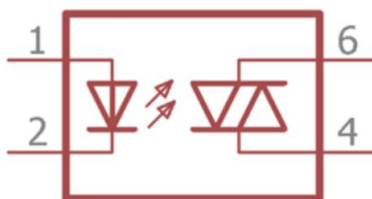


Figura 3. Optotriac [4].

Por otro lado, los optoacopladores de transistores son más lentos que los tipos de fotodiodos, pero mucho más rápidos que las fotocélulas. Dependiendo de la polarización de un dispositivo individual, los dispositivos optotransistor y optodarlington son capaces de una amplia gama de relaciones de transferencia de corriente, y son adecuados para amplificar la corriente de entrada [3]

- **Optotransistor:**

En este dispositivo, la sección de salida está controlada por un fototransistor bipolar. Este tipo de fototransistor solo puede conducir en una dirección, por lo que su uso es adecuado en aplicaciones de corriente continua.

El fototransistor puede ser de dos tipos, dependiendo de los pines de salida. La diferencia consiste en que uno de los pines está conectado internamente con la base del transistor cuya finalidad es

para controlar la sensibilidad del fototransistor [4]. Algunos ejemplos de optotransistores son: PC816, PC817, LTV817 y K847PH.

El esquemático del optotransistor se encuentra en la Fig. 4.

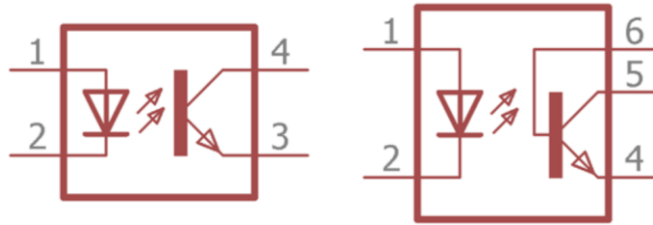


Figura 4. Optotransistor [4].

- **Optodarlington:**

En este dispositivo, la sección de salida está controlada por un fototransistor Darlington. Este tipo de fototransistor solo puede conducir en una dirección, adecuado para uso de CD, así como para aplicaciones de transmisión de señales y controladores.

Su funcionamiento es similar al del optotransistor, cuya configuración Darlington se trata de un par de transistores, donde uno controla la base del otro. Esto le proporciona una alta capacidad de ganancia [4].

Este tipo de optoacoplador también se utiliza en el área relacionada con el circuito de CC para el aislamiento. Además, el pin conectado a la base de uno de los transistores controla la sensibilidad del transistor [4]. Algunos ejemplos de optoacopladores basados en foto-Darlington son: 4N32, 4N33, H21B1, H21B2, H21B3.

El esquemático del optodarlington se encuentra en la Fig. 5.

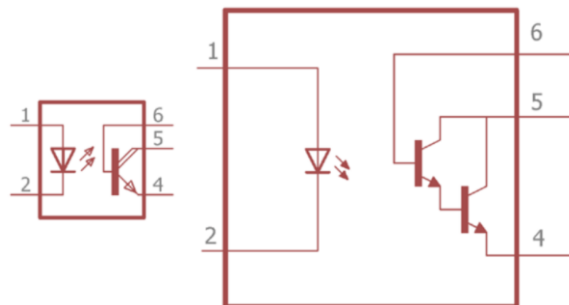


Figura 5. Optodarlington [4].

5. ¿Cuál es la diferencia en el funcionamiento de los optoacopladores con y sin detección de cruce por cero?

En el funcionamiento de los optoacopladores sin detección de cruce por cero se va a tener que las señales que llegan no van a ser ondas senoidales completas, sino que va a depender de ángulos de disparo que van a determinar en qué momento comienza la conducción, con dos extremos del rango de operación siendo las que se presentan en la Fig. 6.

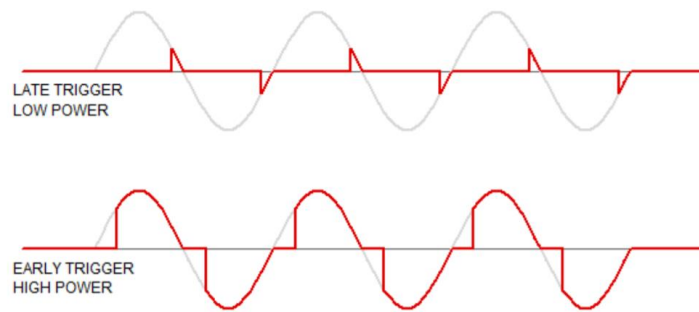


Figura 6. Extremos de rango de operación del optoacoplador sin detección de cruce por cero.

En el primer caso el ángulo de disparo es bastante grande por lo que empieza a conducir de una forma tardía, y la potencia que se entrega a la carga es baja, mientras que, en el otro caso, el ángulo de disparo es bajo, por lo que la potencia que la carga va a experimentar es alta. Una desventaja de este tipo de optoacopladores es que se va a dar la generación de armónicos.

Caso contrario, el uso de detección de cruce por cero en optoacoplador se tiene que las señales van a llegar como senoidales completas pero su implementación a la carga va a estar dada por PWM que van a definir que tanto se encuentran en alta o en baja, esto se puede ver en la Fig. 7.

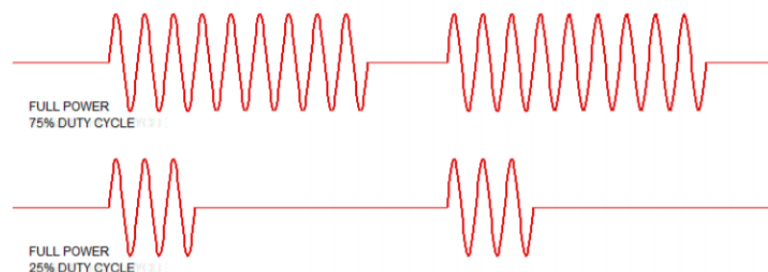


Figura 7. Señales de entrada con un optoacoplador con detección de cruce por cero.

Como se puede observar, se definen distintos períodos de trabajo que van a estar dados por el control de PWM, entonces se tiene que la señal se mantiene como senoidal completa siempre que este en alta y llega a valores de 0 cuando está en baja.

De igual forma, estas señales sólo van a llegar a la carga cuando se cumplan dos condiciones, cuando la señal de entrada de PWM este en alta y cuando el voltaje AC de línea cruce por cero, como se observa en la Fig. 8.

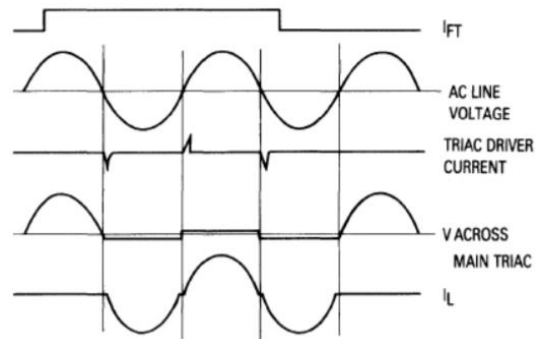


Figura 8. Comportamiento de la corriente de la carga según voltaje AC de entrada y PWM.

Procedimiento

Utilice el simulador Proteus e instale las librerías para la inclusión de la placa Arduino que se encarga de generar los pulsos de activación.

1. Arme el circuito de la Fig. 9 utilizando como carga un bombillo de 100W-120V. Indique la razón por la que se requiere corregir la simulación del optotriac con detección de cruce por cero por medio del Arduino. Los componentes utilizados en el circuito son:
 - a. Resistencias: 39Ω , 220Ω , 270Ω , 330Ω , $2.2k\Omega$, $10k\Omega$
 - b. 2 capacitores de $0.01\mu F$
 - c. 1 diodo Zener de 15V
 - d. 2 diodos 1N4004
 - e. 1 LED color rojo
 - f. 1 transistor 2N3904
 - g. 1 Triac BTA12 (IGT=50mA y VDRM/VRRM=600V y 800V)
 - h. 1 Optotriac MOC3031 con detección del cruce por cero
 - i. 1 bombillo de 100W-120V

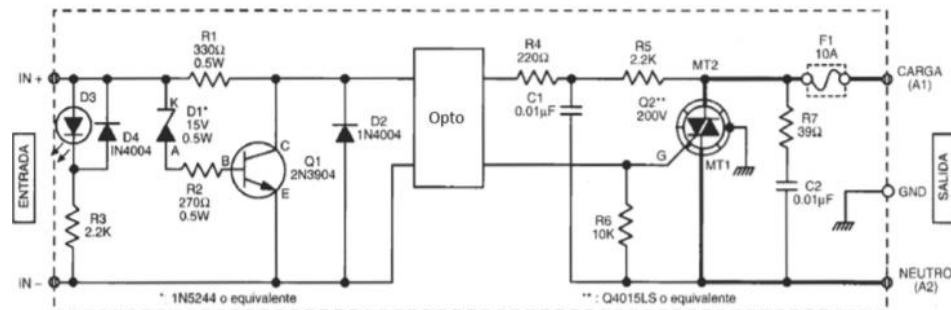


Figura 9. Relé de estado sólido.

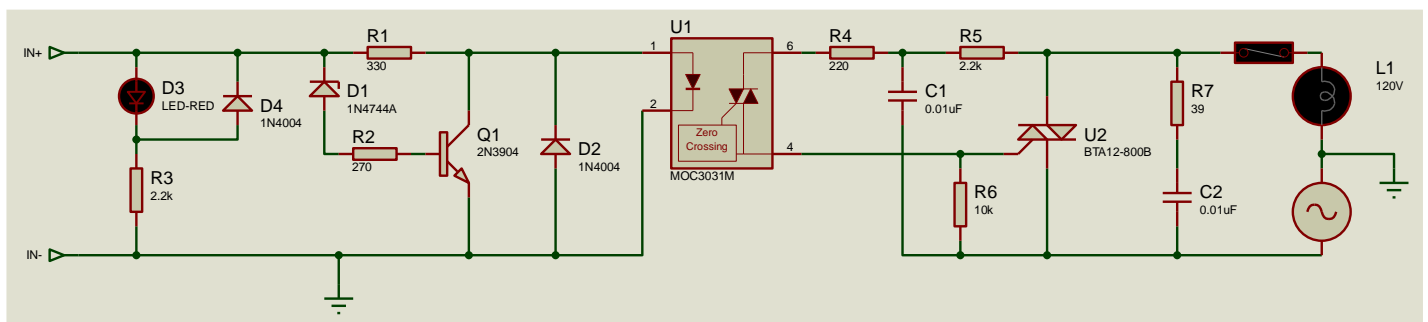


Figura 10. Circuito de relé de estado sólido armado en el software Proteus.

2. Asegúrese que su señal de control en nivel alto logre proveer la corriente para activar el optoacople. Verifique que con la señal de entrada se controla el encendido y apagado del bombillo.

Para que la señal en nivel alto lograra hacer que el optoacople se activara y comenzara a conducir, se realizó una modificación al valor de R1, cambiando de 330Ω , como se planteó originalmente, a 110Ω , esto lo que permitió fue que la corriente que llega al optoacople sea mayor, permitiendo así, que se active su led y provocando conducción en el otro extremo del circuito. De igual forma, se realizó un cambio en la R5, pasando de $2.2k\Omega$ a $1k\Omega$, esto lo que permite es que el pueda recibir la corriente necesaria para su polarización TRIAC y conduzca correctamente entre los nodos superior e inferior. Al realizar esto, se logra que el bombillo encienda y apague correctamente, esto como se observa en la Fig. 11.

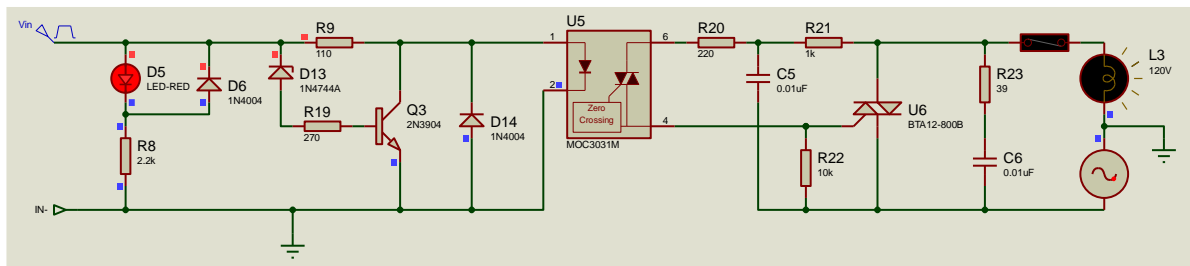


Figura 11. Conexión del circuito para comprobación de encendido del bombillo con una fuente de pulsos de 5V.

3. Ajuste su señal de control suministrada por el Arduino para que a la carga le sean aplicados exactamente 8 ciclos de la onda de alimentación. Visualice en el osciloscopio la señal de salida (en la carga) y capture la pantalla.

Para esta señal lo que se hizo fue analizar la frecuencia de la onda de alimentación, la cual es de 60 Hz. Por este motivo, se sabe que el periodo de cada ciclo es de $1/60$ segundos, y como se solicitan 8 ciclos de alimentación, el tiempo en que estos se cumplen es de $8/60$ s, que son exactamente 133,33ms. Por lo que el tiempo necesario para asegurar este comportamiento debe encontrarse mayor al del último cruce por cero (cruce número 15 exactamente) y los 133,33ms en los que sucede el cruce número 16. Por este motivo, se aproximó este tiempo a 130ms.

En el código, este tiempo se implementó mediante el uso de un delay, entre el momento en que se activaba el pulso, y el tiempo en que se hacía a este caer, con lo cual efectivamente se aplican los 8 ciclos en la carga. El código para esta sección se muestra en los anexos.

Para esto se utilizó el circuito de la Fig. 12, donde la entrada analógica se midió en el pin A0 y la salida se dio por el pin 10.

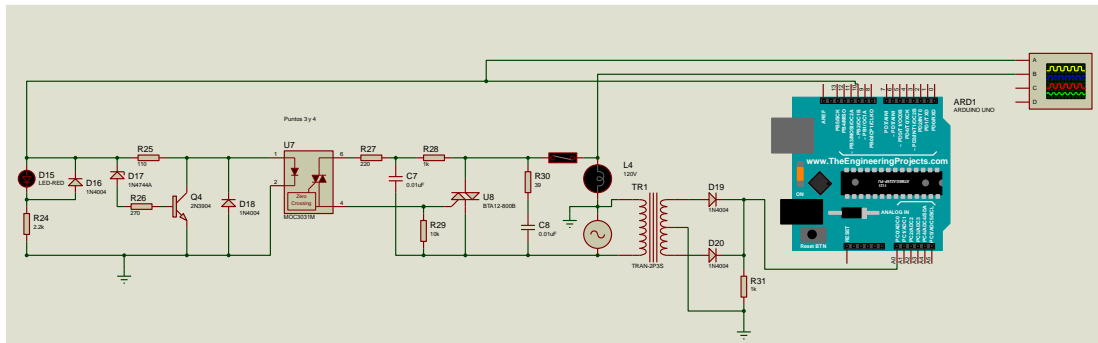


Figura 12. Circuito de medición para los pasos 3 y 4 del procedimiento.

Adicionalmente, en la Fig. 13 se puede observar correctamente como la señal de salida del Arduino (amarilla) al estar en alto, genera que en el bombillo (azul), se reciban los 8 ciclos solicitados.

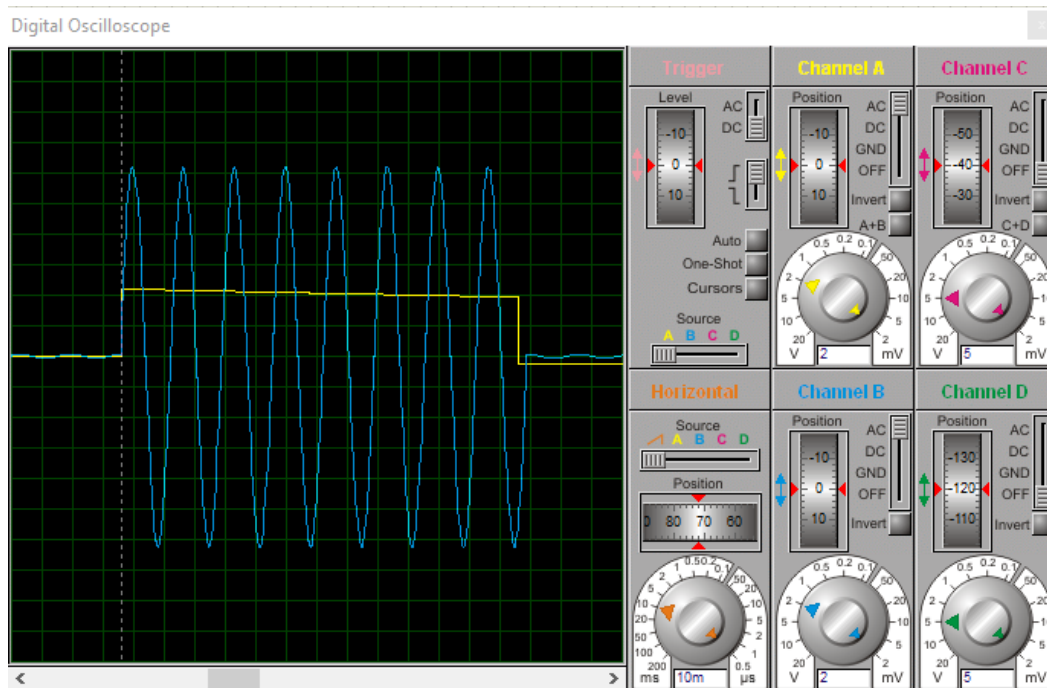


Figura 13. Osciloscopio con señal de 8 ciclos.

4. Repita el punto 3 para el caso de 4 ciclos completos.

Para este punto, al conocer que para 8 ciclos se utilizaba un pulso de 130ms de duración, se define que para 4 ciclos la duración necesaria del pulso es de aproximadamente 65ms, ya que es la mitad del pulso original. Luego de esto, se utiliza el mismo código de Arduino que en el punto anterior (se muestra en los anexos) con la única diferencia de que el tiempo del delay es de 65ms. De igual forma, para este paso se utilizó el circuito de la Fig. 12, con la única variación en el código.

El comportamiento descrito anteriormente se puede observar con claridad en la Fig. 13, donde la señal amarilla es el pulso del Arduino y la señal azul es la onda recibida por el bombillo.

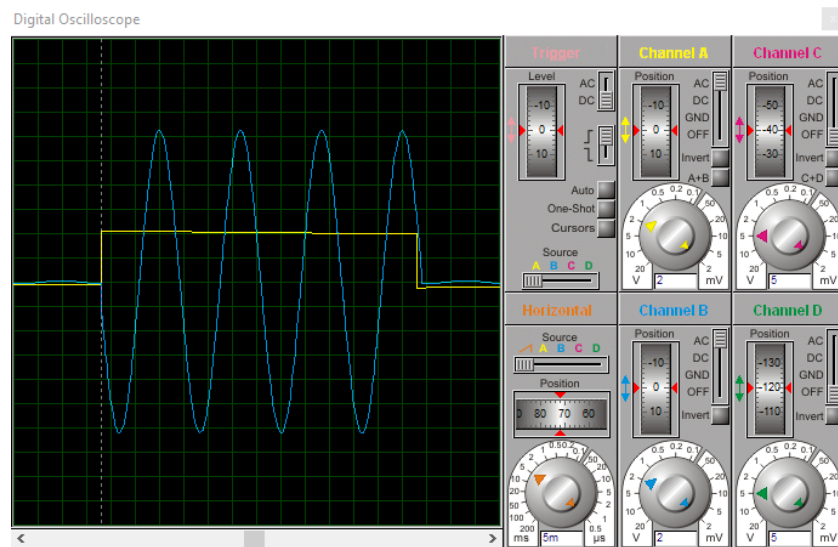


Figura 13. Osciloscopio con señal de 4 ciclos.

5. Aplique una tensión de entrada mayor a 15V con la polaridad correcta y comente el comportamiento del circuito.

Para esta parte, se conectó una fuente DC como se muestra en la Fig. 14. Al conectar dicha fuente con una polaridad correcta, se puede observar como el bombillo, no varía su intensidad, tampoco parpadea, ya que, al ser un voltaje continuo, no existe un cambio de valores o polaridad; por lo que el optotriac siempre se polariza, y provoca una señal constante en el TRIAC, dejando así el bombillo todo el tiempo encendido. Además, se tiene que, para proteger el optoacoplador de sobrecargas, el transistor se va a polarizar sólo con 15 o más voltios, esto es debido a que esta es la tensión que requiere el Zener para empezar a conducir, por lo que de esta manera, el Zener drena el exceso de corriente que podría dañar al optoacoplador.

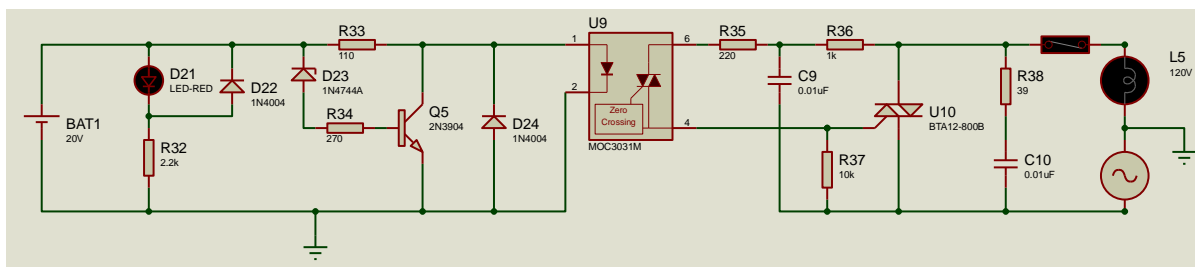


Figura 14. Circuito de medición para los pasos 5 y 6 del procedimiento.

6. Aplique una tensión de entrada con la polaridad invertida y comente el comportamiento del circuito (menor a 15V).

Al tener en esta configuración una entrada menor a los 15V, ocurren distintos fenómenos, el primero de estos es que el diodo D3 no se va a encender por la polaridad inversa, ya que funciona como un indicador de polaridad, además, el diodo D2 va a conducir para de esta forma servir como protección para evitar el daño del optoacople, ya que, como el diodo Zener no se polarizó, tampoco hubo una polarización del transistor, debido a esto, el optoacople no se va a encender, ya que la corriente que tiene no permiten que se polarice, como se ve en la Fig. 15, donde R2(2) es la tensión en el gate del transistor, y U1(A) es la tensión en el diodo del optoacople.

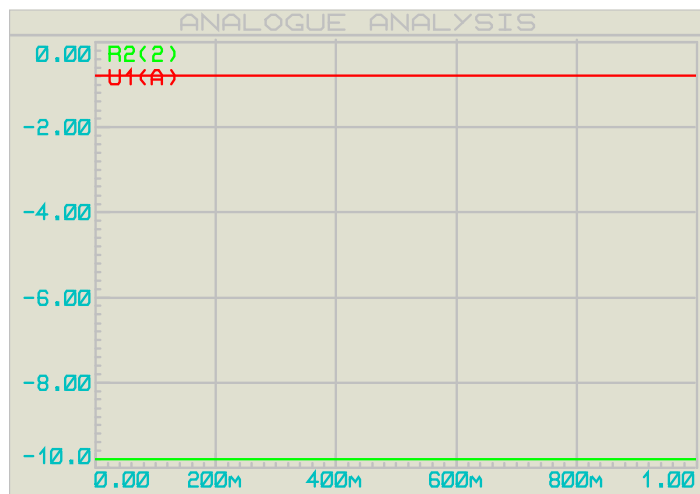


Figura 15. Corriente del diodo del optoacople para una tensión de entrada de polaridad invertida y menor a 15V

Como se observa entonces en la figura anterior, la corriente del diodo del optoacople dada por U1, es de valores muy cercanos a 0A, y como se mencionó anteriormente, al optoacople no conducir entonces, el bombillo no se va a encender en ninguna ocasión.

7. Realice el control del parpadeo de un bombillo de forma que sea proporcional a la variación de un potenciómetro en todo su rango, de apagado durante 1.5 s y encendido durante 0.5 s (un extremo del potenciómetro), aumentando el tiempo encendido sin variar el periodo de 2 s, a encendido permanentemente (el otro extremo del potenciómetro).

Para este punto, se utilizó el circuito que se muestra en la Fig. 16, en el que se implementa el uso de un potenciómetro para variar la señal de entrada del Arduino. Para esta parte, se colocó el potenciómetro, y se establecieron los 2 extremos en el rango el potenciómetro, y a partir de esto, se realizó una ecuación que asocia estos 2 puntos con los puntos solicitados en el enunciado, y proporciona una variación gradual en el tiempo de los pulsos, que es proporcional a la resistencia del potenciómetro. (El código se muestra en los anexos). Es importante mencionar, que se configuró el potenciómetro en su valor máximo, para poner la onda con un ciclo de trabajo del 25%, y el potenciómetro en su valor mínimo, para generar una onda al 100% en alto.

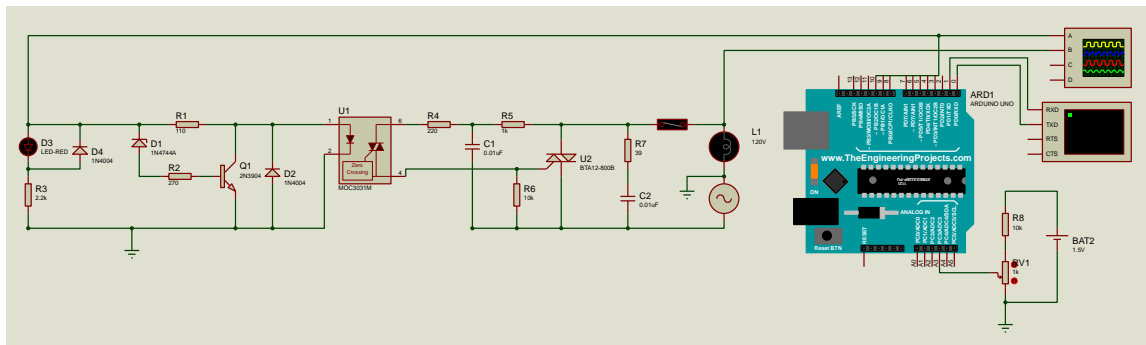


Figura 16. Circuito para el punto 7.

De manera ilustrativa, en la Fig. 17 y Fig. 18, se muestra la medición en el osciloscopio para el pulso generado, donde se puede notar que se cumple con los requerimientos solicitados. Es importante mencionar que en dichas mediciones no se muestra la señal del bombillo, ya que debido a la alta frecuencia (en comparación con la frecuencia del pulso del Arduino), y las limitaciones del Arduino, se limitaba la visualización de ambas señales.

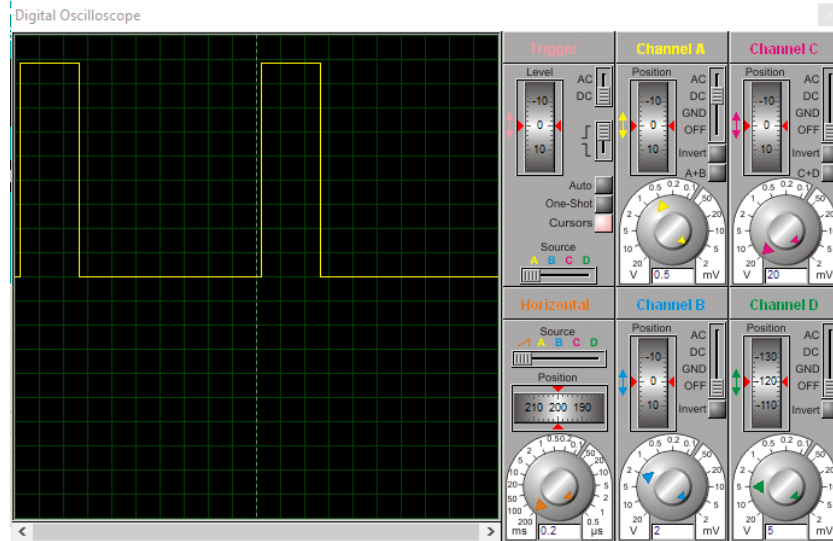


Figura 17. Señal con potenciómetro en el valor máximo (ciclo de trabajo de 25% en alto).

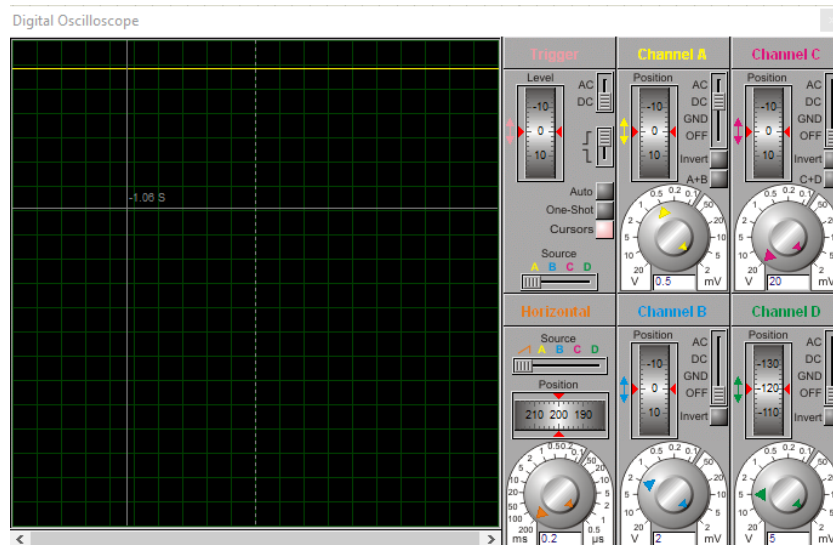


Figura 18. Señal con potenciómetro en el valor máximo (ciclo de trabajo de 100% en alto).

Anexos

Anexo 1: Código utilizado para el punto 3 y 4 del procedimiento:

```
#define pulso 10 //se define el pin digital 10 como la salida del pulso

#define entradaAC A0 //se define el pin analalógico A0 como la entrada para la onda rectificada


int lectura = 0; //variable para leer la entrada analogica

int duracion = 65; //variable para el tiempo en alto de la señal, 130 para el punto 3 y 65 para el punto 4


void setup() {
  pinMode(pulso, OUTPUT); // se define pulso como salida
  pinMode(entradaAC, INPUT); // se define entradaAC como entrada
}


void loop() {
  lectura = analogRead(entradaAC); //se lee la señal analógica y se asgina a lectura
  if (lectura <= 10){ //se toma como valor de cruce por cero cualquier lectura menor a 48mV, 10 es el equivalente en
    Arduino para esa lectura
    digitalWrite(pulso, HIGH); // se activa el pulso
    delay(duracion);
    digitalWrite(pulso, LOW); // se desactiva el pulso
  }
  delay(20); //delay para disminuir la frecuencia de repetición del ciclo y tener más claridad en el osciloscopio
}
```

Anexo 2: Código utilizado para el punto 7 del procedimiento:

```
#define pulso 10 //se define el pin digital 10 como la salida del pulso
#define entradaAC A3 //se define el pin analógico A3 como la entrada para la señal del potenciómetro

int lectura = 0; //variable para leer la entrada analógica
int alto = 0; //variable para el tiempo en alto
int bajo = 0; //variable para el tiempo en bajo

void setup() {
    pinMode(pulso, OUTPUT); // se define pulso como salida
    pinMode(entradaAC, INPUT); // se define entradaAC como entrada
}

void loop() {
    lectura = analogRead(entradaAC); //se lee el pin analógico y se asigna a la variable
    alto=2000-lectura*54; //operación para determinar el tiempo en alto basada en el valor del potenciómetro y la
    tensión de la fuente que alimenta al potenciómetro
    bajo=2000-alto; //asignación del tiempo en bajo
    digitalWrite(pulso, HIGH); //inicio del pulso
    delay(alto);
    if (bajo !=0){
        digitalWrite(pulso, LOW); //inicio del pulso en bajo, solo baja el pulso si el tiempo bajo es diferente de 0
    }
    delay(bajo);
}
```

Anexo 3: Enlace del vídeo.

<https://youtu.be/RBahIMogBNM>

Observaciones e incidencias

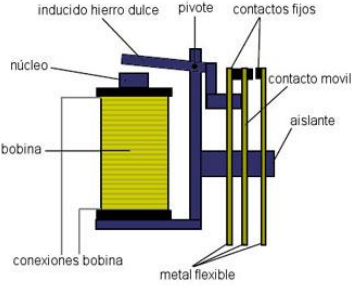
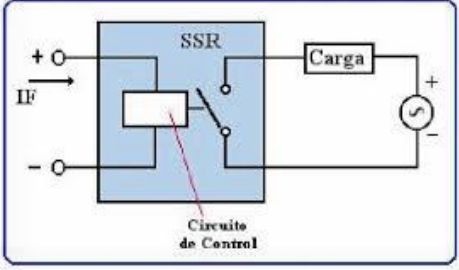
- Fue necesario hacer la modificación de valores de R1 y R5 para lograr el funcionamiento correcto del circuito.
- Se tuvo que escoger un modelo de ARDUINO distinto al planteado originalmente ya que en Proteus presentaba problemas, sin embargo, se mantuvo que fuera ARDUINO UNO.
- Para la pregunta 3, los ciclos se tomaron en la señal como una onda senoidal completa, lo mismo en la pregunta 4.
- Para las preguntas 5 y 6, se utilizó el mismo circuito, el de la Fig. 14 el único cambio fue la polaridad de la fuente y el valor de esta.
- Al hacer referencia de los nombres de los componentes se va a tomar el nombre que aparecen en la figura 9, ya que en las distintas figuras de los circuitos aparecen con nombres distintos, esto por el simulador, que al tener varias veces un componente se va aumentando el número que aparece en los nombres.

Evaluación

1. Realice una tabla de comparación entre los relés de estado sólido y los electromecánicos.

Un relé consiste en un dispositivo de interrupción de potencia que permite asignar energía sin la necesidad de un conmutador manual. Se presenta a continuación la comparación entre ambos tipos de relés [5], [6].

Relés electromecánicos	Relés de estado sólido
Funciona mediante una fuerza electromecánica que al recibir voltaje cierra los contactos del relé.	Su funcionamiento se basa en las características de los semiconductores y optoacopladores. Al recibir voltaje en su entrada, fluye corriente a través de sus componentes de salida.
Compuesto por: <ul style="list-style-type: none">– Bobina electromagnética– Armadura– Contactos	Compuesto por: <ul style="list-style-type: none">– Circuito de entrada– Optoacoplador– Circuitos de controlador de salida– Dispositivos de conmutación de semiconductores.
Utiliza piezas mecánicas para la conmutación.	Utiliza semiconductores como triac, tiristores, mosfets y transistores.
Sus contactos físicos tienen una vida útil limitada.	No requiere contactos mecánicos. Contienen un optoacoplador, que transmite y energiza la señal de salida.
Presenta menores niveles de disipación de potencia y mejor administración térmica.	Pueden tener órdenes de magnitud más altos en cuanto a la disipación de potencia
Producen sonido durante la conmutación.	Sin sonido durante la conmutación
Los contactos presentan vibraciones debido a fluctuaciones de voltaje en la bobina.	Sin vibraciones al no tener componentes mecánicos.
Puede ocurrir formación de arco y picos de tensión.	Pueden conmutar altas corrientes y voltajes sin producir arcos, ni picos de tensión.

Usa un enfoque de diseño mecánico simple.	Recientes, avanzados, complejos, rápidos, silenciosos, livianos y confiables.
<p>Diagrama:</p> 	<p>Diagrama:</p> 

- Investigue dos relés de estado sólidos de uso comercial, mencione su funcionamiento, características y aplicaciones.

Serie SSRL:

Según las especificaciones de la compañía Omega, la serie SSRL de los relés de estado sólido poseen alta fiabilidad, y distintas aplicaciones según su rango de modelos. Se trata de relés normalmente abiertos que aplican corriente a la carga de corriente alterna, una vez que reciben una señal de control (Figura 19) [7].



Figura 19. Ejemplo de relé de la serie SSRL junto con su disipador térmico.

Entre sus aplicaciones se encuentra el control de calentadores de gran resistencia, por lo que requiere reguladores de temperatura. Además, su uso también es viable para cargas trifásicas, donde se emplearían 2 o 3 SSR dependiendo de si la carga está en delta o estrella [7].

Como indica la Figura H, existen modelos donde la señal de control es de CD, como los SSRL240DC10 y SSRL660DC50; y modelos donde la señal de control es de CA, SSRL240AC50 y SSRL660AC50. Sus características varían, mas todos poseen un voltaje nominal de 660 VCA, una temperatura de funcionamiento de hasta 80 C [7].

Por último, sus especificaciones técnicas se encuentran en el siguiente [enlace](#).

N.º de modelo	Tipo	Señal de control de entrada				Salida
		Señal de control de voltaje	Señal de control de encendido	Señal de control de apagado	Corriente de entrada máxima	Pico de voltaje* (Máx. 60 seg.)
SSRL240AC10 SSRL240AC25 SSRL240AC50 SSRL240AC75 SSRL240AC100	Señal de control CA	90 a 280 Vca	90 Vca	10 Vca	10 mA	800V
SSRL240DC10 SSRL240DC25 SSRL240DC50 SSRL240DC75 SSRL240DC100	Señal de control CC	3 a 32 Vcc	3 Vcc	1 Vcc	14 mA	800V
SSRL660AC50 SSRL660AC75 SSRL660AC100	Señal de control CA	90 a 280 Vca	90 Vca	10 Vca	10 mA	1200V
SSRL660DC50 SSRL660DC75 SSRL660DC100	Señal de control CC	4 a 32 Vcc	4 Vcc	1 Vcc	14 mA	1200V

* Las transitorias por encima de los valores de la tabla deberían suprimirse.

Figura 20. Especificaciones eléctricas de la serie SSRL de Omega.

SSR PLA17SP:

Se trata de un componente de la gama IXYS de la compañía Littelfuse, que consiste en un relé SSR unipolar de 6 pines normalmente abierto de 800 V. Su funcionamiento interno se basa en la tecnología MOSFET como acoplamiento óptico, para proporcionar una entrada de aislamiento de 5 kVrms. El voltaje nominal de carga del PLA172P de 800 V, con capacidad de corriente de carga de 100 mA proporciona un margen de diseño adicional en comparación con los SSR nominales de 600 V más comunes, particularmente en aplicaciones ruidosas de línea de alimentación de CA y aplicaciones de batería de alto voltaje [8]. La Figura X muestra demás parámetros del relé y su configuración de pines.

Absolute Maximum Ratings (@ 25°C Unless otherwise noted)

Parameter	Ratings	Units
Blocking Voltage (-40°C to +105°C)	800	V _P
Reverse Input Voltage	5	V
Input Control Current	50	mA
Peak (10ms)	1	A
Input Power Dissipation ¹	150	mW
Output Power Dissipation		
AC Load Current ²	890	mW
DC Load Current ³	667	
Isolation Voltage, Input to Output (60 Seconds)	5000	V _{rms}
Operational Temperature	-40 to +105	°C
Storage Temperature	-40 to +125	°C

¹ Derate linearly 1.33 mW / °C

² Derate linearly 8.9 mW / °C

³ Derate linearly 6.67 mW / °C

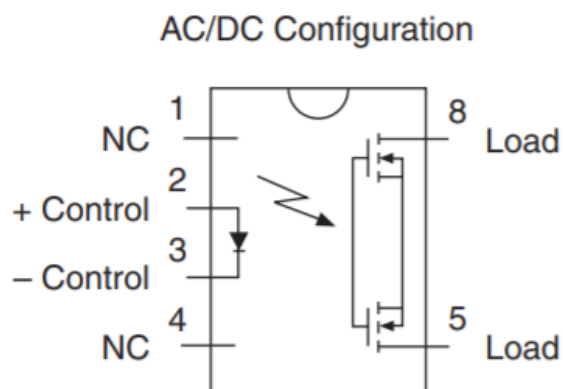


Figura 21. Características del SSR PLA17SP.

Sus aplicaciones son de altas temperaturas, alcanzando su temperatura ambiente de funcionamiento hasta los 105 C. Lo que le permite el diseño de circuitos en áreas médicas, solares, controles industriales, instrumentación, multiplexores, adquisición de datos, conmutación electrónica, subsistemas de E / S, medidores (vatios-hora, agua, gas), equipo médico: aislamiento del paciente / equipo; entre otras.

Por último, su hoja de datos correspondiente se encuentra en el siguiente [enlace](#).

- ¿Por qué si se conecta una carga CD alimentada por su correspondiente fuente CD a la salida del circuito y al aplicar el primer pulso de compuerta, la carga permanece activa? Tanto si se utiliza un optoacoplador con cruce por cero o sin cruce por cero.

Esto se debe al funcionamiento del TRIAC, del cual se tiene control de su activación mas no de su apagado. La terminal Gate es la que controla el disparo y enciende el tiristor cuando fluye corriente por este. Para que el TRIAC se mantenga en condición de encendido, requiere, primero recibir un pulso de corriente mínima denominado corriente de enganche I_L , y segundo, de una corriente mínima para regresar el tiristor a su estado de bloqueo llamada corriente de mantenimiento I_H . Siempre y cuando la corriente entre las terminales del TRIAC sea mayor a I_H , su condición será de encendido.

De este modo, para que el TRIAC se apague, la corriente entre terminales debe ser menor a I_H , sin embargo, como la tensión en la salida es continua, no existe ningún momento en el tiempo donde la corriente disminuya a este valor y el dispositivo se bloquee. Razón por la cual la carga permanece activa.

4. ¿Cuál es la función de D1, D2, D4 y Q1 en la Fig. 9?

La función principal de estos diodos y del transistor consiste en ser dispositivos de protección que limitan la tensión y la corriente en el acople óptico principalmente.

D1: Consiste en un diodo Zener de 15 V. Su finalidad es limitar la tensión de CD que puede llegar al optoacople. Una vez que este se encienda, la tensión de nodo se mantiene constante a 15V.

D2, D4: Ambos diodos D2 y D4 se encargan de permitir el flujo de corriente si se coloca una fuente con polaridad invertida, y así evitar que algún componente deje de funcionar apropiadamente. Básicamente, se encargan de proteger la polaridad del circuito. Además, cuando D2 se polariza en directa, impone una tensión de nodo idealmente de 0 V, es decir, prácticamente estaría desconectando el acople óptico de la red y así evitando que la corriente en inversa del LED llegue a su valor de ruptura, y el componente deje de funcionar.

Q1: El transistor Q1 permanece desconectado de la red siempre y cuando el diodo Zener permanece desactivado, ya que se comporta como un circuito abierto y no existe corriente en la base. Sin embargo, una vez encendido el Zener, el transistor comienza a operar, lo cual permite el flujo de corriente de colector – emisor. Debido a que Q1 polarizado en directa se comporta prácticamente como un cortocircuito, el mayor flujo de corriente transitará por dichas terminales, lo cual evitará que grandes corrientes atraviesen el acople óptico y lo sobrecalienten o destruyan.

5. ¿Cuál es la función del resto de los componentes del circuito? Enumérellos uno a uno.

D3: Se trata de un LED rojo, cuya finalidad es básicamente indicar la polaridad de la fuente de CD y los pulsos que esta envía al circuito cuanto tiene un ciclo de trabajo asociado. Cuando el LED se enciende, quiere decir que la tensión que llega está en su nivel alto y es positiva. De lo contrario, sea que la tensión esté en su mínimo o sea negativa, el LED permanece apagado. Además, permite apreciar de forma visual el ciclo de trabajo de la fuente según la frecuencia con la que D3 se enciende y apaga.

R1, R2, R3, R4, R5, R6: Estas resistencias se encargan de proteger el flujo de corriente. Por un lado, R1 limitan la corriente de entrada al acople óptico. Luego, R2 controla la corriente que ingresa al transistor BJT. Por otro lado, R3 recibe la corriente cuando los diodos D2 y D4 se polarizan en directa y la fuente de entrada se encuentra invertida. Por último, R5 y R4 controlan la corriente que llega a la compuerta del TRIAC y al optoacople. A su vez, R6 tiene la finalidad de mejorar la inmunidad al ruido en la compuerta Gate.

Optoacople: Su función consiste en aislar la circuitería de control de la parte de potencia. Esto permite utilizar tensión continua para generar los pulsos de activación del TRIAC, quien es el encargado de controlar la tensión alterna en la carga. Se trata de un optotriac con detección de cruce por cero, lo cual indica que a la carga solo llegarán ciclos completos de la onda senoidal.

R4, C1: Este arreglo RC consiste en la red snubber del optoacople. Su función es proteger a este componente y evitar cambios de tensión dv/dt que pudieran provocar falsos disparos debido a picos de corriente.

TRIAC: Dispositivo encargado de la conmutación de la tensión en la carga.

R7, C2: Red snubber del TRIAC. Su función es proteger a este dispositivo de potencia y evitar cambios de tensión dv/dt que pudieran provocar falsos disparos debido a picos de corriente.

F1: Este se trata de un fusible de 10 A. Se encarga de proteger la carga conectada al circuito, donde pueden llegar máximo 10 A.

Arduino: Este es el encargado de generar la tensión de activación del relé de estado sólido. Mediante una señal de PWM, se encarga de enviar pulsos cuyo ciclo de trabajo es controlable

para así determinar los tiempos de encendido y apagado de la carga. Este alimenta la parte de CD del sistema.

Bombillo: El bombillo representa la carga alimentada por el circuito.

Fuente de CA: Fuente de corriente alterna encargada de alimentar la circuitería de salida del acople óptico.

6. En caso de implementar las redes snubber, ¿cuál debe ser la tensión que soporten sus capacitores?

Debido a que los TRIAC pueden ser sensibles a cambios bruscos de tensión, y dado que un pico de voltaje podría encender por error el dispositivo, se prefiere conectar una red snubber entre las terminales del dispositivo de potencia. Debido al funcionamiento del capacitor, este buscará cargarse hasta el valor de tensión por el que está siendo alimentado, por lo que, para el caso de una red snubber, la tensión máxima que soportará será la tensión en paralelo de la red, ya que el para el caso de carga máxima, el capacitor se comportará como un abierto, dejando la resistencia en corto. Para efectos del circuito de la Fig. 9, la tensión que debe soportar el capacitor C2 será igual a la tensión que alimenta a las terminales del triac cuando este se encuentra desactivado.

Referencias

- [1] S. OMRON ELECTRONICS, RELÉS DE ESTADO SÓLIDO SSRs, 2008.
- [2] Fairchild Semiconductor, «MOC3031M, MOC3032M, MOC3033M, MOC3041M, MOC3042M, MOC3043M6-Pin DIP Zero-Cross Optoisolators Triac Driver Output (250/400 Volt Peak) » Fairchild Semiconductor, Junio 2005. [En línea].
<https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=MOC3031&sField=4>
- [3] Engineering 360, «Learn more about optocouplers» GlobalSpec, 2021. [En línea].
https://www.globalspec.com/learnmore/optics_optical_components/optoelectronics/optocouplers.
- [4] S. Gupta, «Optocoupler: Its Types and Various Application in DC/AC Circuits,» Circuit Digest, 07 Mayo 2018. [En línea]. <https://circuitdigest.com/tutorial/opto-coupler-types-working-applications>.
- [5] Z. Wendt, «Relés de estado sólido y relés electromecánicos,» ARROW, 31 Mayo 2017. [En línea].
<https://www.arrow.com/es-mx/research-and-events/articles/crydom-solid-state-relays-vs-electromechanical-relays>.
- [6] Electrical Classroom, «Electromechanical relays vs solid-state relays,» Electrical Classroom, 2021. [En línea]. <https://www.electricalclassroom.com/electromechanical-vs-solid-state-relay/>.
- [7] OMEGA, «Relés de Estado Sólido. Alta Fiabilidad, Entrada Vcc/Salida Vca, Entrada Vca/Salida Vca,» SPECTRIS, 2021. [En línea]. https://es.omega.com/pptst/SSRL240_660.html#.
- [8] N. Flaherty, «800V Solid State Relay for high temperature applications» eeNews Power Management, 06 Julio 2020. [En línea].<https://www.eenewspower.com/news/800v-solid-state-relay-high-temperature-applications>.