

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

MT 5003
Electrónica de Potencia Aplicada

Tarea 2: Circuito de control de fase

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.....	13
Evaluación	18

Enlace Video

- <https://youtu.be/bXHw7u225PI>

Investigación previa

1. ¿Cuál es el propósito del control de fase para el disparo de dispositivos de potencia?

El principal objetivo del control de fase para el disparo de dispositivos de potencia consiste en el control de la potencia que consume la carga. Donde mediante la variación del ángulo de disparo, se estaría controlando la tensión rms que cae en la carga.

La familia de los tiristores se puede utilizar para rectificar tensiones y corrientes en aplicaciones como rectificadores controlados por fases para accionamientos de CA y CC, para esto se emplean dispositivos SCR, DIAC TRIAC; entre otros. Por ejemplo, los TRIAC permiten el flujo de corriente en cualquier sentido por la carga.

Cuando se trata de tensión alterna, de acuerdo con Hart, se suele utilizar controladores de CA para intervenir en la tensión, corriente y potencia que se entrega a una carga. Para lo cual, se utilizan interruptores electrónicos que “conectan y desconectan la fuente y la carga a intervalos regulares”. Mediante un esquema denominado control de fase, se produce la conmutación en cada ciclo de red, lo cual tiene como efecto eliminar parte de la forma de onda de entrada [1].

Este método de controlar la tensión alterna por fase presenta aplicaciones en circuitos como los atenuadores de intensidad luminosa y el control de velocidad de los motores de inducción [1].

2. Explique el funcionamiento del circuito de la Figura 1.

El circuito de la Figura 1 consiste en un circuito de control de fase que alimenta a una lámpara como carga. Este es alimentado por una tensión senoidal V_s , la cual otorga tensión tanto a la carga como a la parte de control que otorga el disparo en la compuerta del TRIAC.

Se coloca un DIAC para brindar la simetría de disparo que el TRIAC no posee en polarización positiva y negativa. Los DIAC son parte de la familia de los tiristores que funcionan como un auto disparador del TRIAC. Por lo tanto, cuando la tensión en este llega a su valor específico de ruptura, comienza a conducir y activa la compuerta del TRIAC.

El capacitor, junto con la resistencia R_1 y el potenciómetro VR_1 se encargan de definir el ángulo de disparo. Cuando la tensión sinusoidal de la fuente se hace positiva, el condensador comienza a cargarse. De este modo, cuando la tensión en el condensador llega a la tensión de disparo del DIAC, se establece la corriente necesaria para disparar al TRIAC. Dicho comportamiento sucede

en ambos intervalos de la onda de alimentación, por lo que el capacitor no tiene polaridad. Cabe destacar que, el pulso durará hasta que se acabe el semiciclo y que al variar la resistencia del potenciómetro, es posible modificar el tiempo de carga del capacitor y por ende, el ángulo de disparo.

Por último, una vez que el TRIAC esté activado, la lámpara se enciende y consume potencia según la tensión que permite este dispositivo. Una posible forma de onda del TRIAC en conducción se muestra en la Figura 1. De lo contrario, si el TRIAC está apagado, la lámpara también.

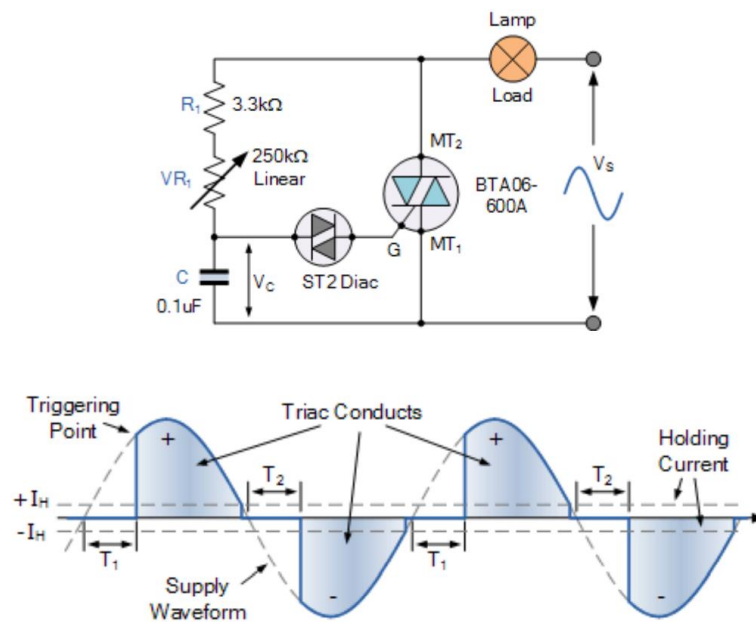


Figura 1. Circuito de control de fase con DIAC y ajuste RC.

3. Refiérase al concepto de ciclo de trabajo y a las características de una señal PWM.

Cuando se trabaja con circuitos que controlan la forma de las señales mediante cualquier especie de interruptor electrónico, el concepto de ciclo de trabajo obtiene valor. El ciclo de trabajo (D) se trata de la proporción del tiempo en que una señal está en estado encendido o activo y el periodo de dicha señal [2].

En muchas ocasiones, la señal es cuadrada. Un ejemplo se trata de la señal cuadrada de la Figura 2, la cual tiene un ciclo de trabajo como indica la siguiente expresión, donde T_h es el tiempo activo y T_w es el periodo. De este modo, cuanto mayor sea D, mayor tiempo estará la señal de tensión en alto.

$$D = \frac{T_h}{T_w} \cdot 100\%$$

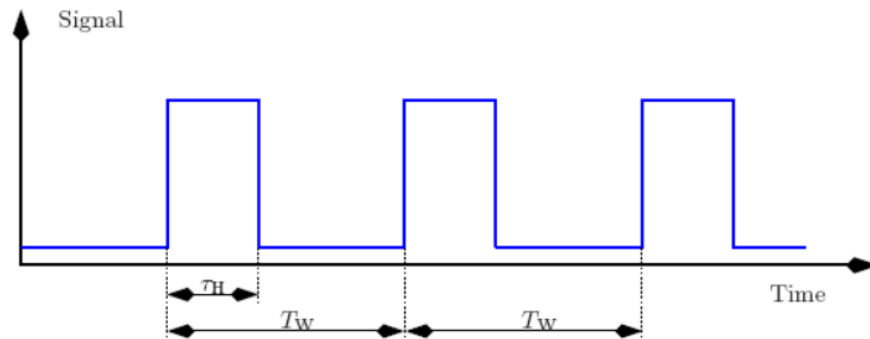


Figura 2. Ejemplo de ciclo de trabajo.

El control de modulación por ancho de pulsos (PWM) se trata de un método para controlar el voltaje de salida que emplea la conmutación con una frecuencia constante y el ajuste del tiempo de encendido del interruptor para controlar el voltaje de salida. Cuando se trata de una frecuencia de conmutación constante, la señal del interruptor para controlar el encendido y apagado se genera mediante la comparación de un voltaje de control con una forma de onda repetitiva [2].

4. Explique el funcionamiento y realice una simulación de dos circuitos que permitan detectar el cruce por cero de una señal alterna.

Un circuito de detección de cruce por cero es un circuito que, mediante el uso de diversos dispositivos de potencia, tiene como fin detectar los instantes en los que la señal de entrada cruza por cero. Esta detección la realiza de manera que genera como señal de salida un pulso cada vez que esto ocurre.

En la Figura 3, se muestra el primer circuito a utilizar para este caso. Dicho circuito está compuesto por un puente de diodos, el cual se encarga de rectificar la onda de manera que se obtenga una onda en DC. Luego de esto, se utiliza un optoacoplador, el cual sirve como conexión entre la parte de entrada y la parte de salida del circuito. Este dispositivo permite que exista conducción en la salida del circuito siempre y cuando el diodo emisor de luz se encuentre polarizado, por lo que cuando la señal de entrada cruce por cero este dispositivo se apagará. De esta manera, cuando el diodo emisor de luz se apague, no habrá conducción en el sector de salida del circuito, por lo que se generará un corto en la resistencia R3, de manera que la tensión de salida tomará el valor de la

fuentes de DC. Asimismo, siempre que el diodo esté encendido, habrá conducción en la salida, y esta tomará aproximadamente un valor de 0V, ya que se encuentra conectada a tierra (despreciando la caída de tensión entre el colector y el emisor del optoacoplador). De esta manera, debido a que la onda de entrada pasa por cero en momentos puntuales, es que genera el pulso en la salida, que representa que la señal de entrada a pasado por 0.

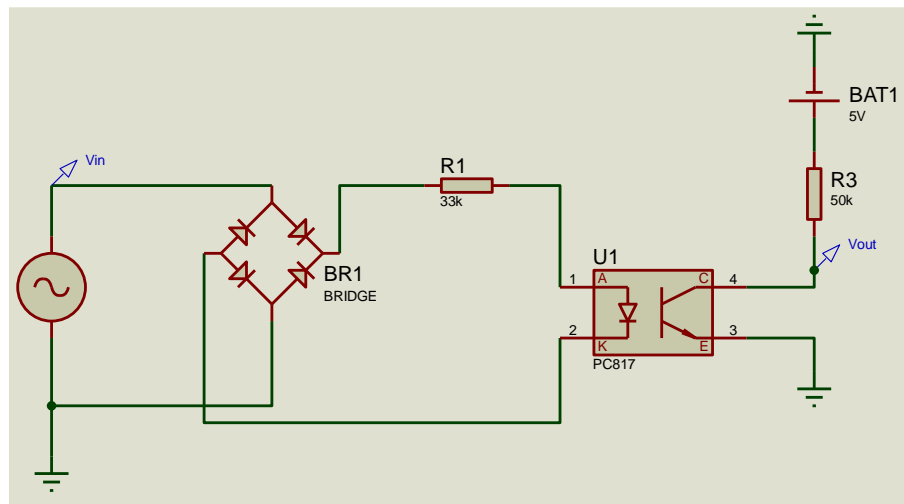


Figura 3. Primer circuito rectificador con cruce por cero.

De igual manera, se presenta la Figura 4, donde se muestra la comparación entre las ondas de entrada y de salida para el circuito de la Figura 3.

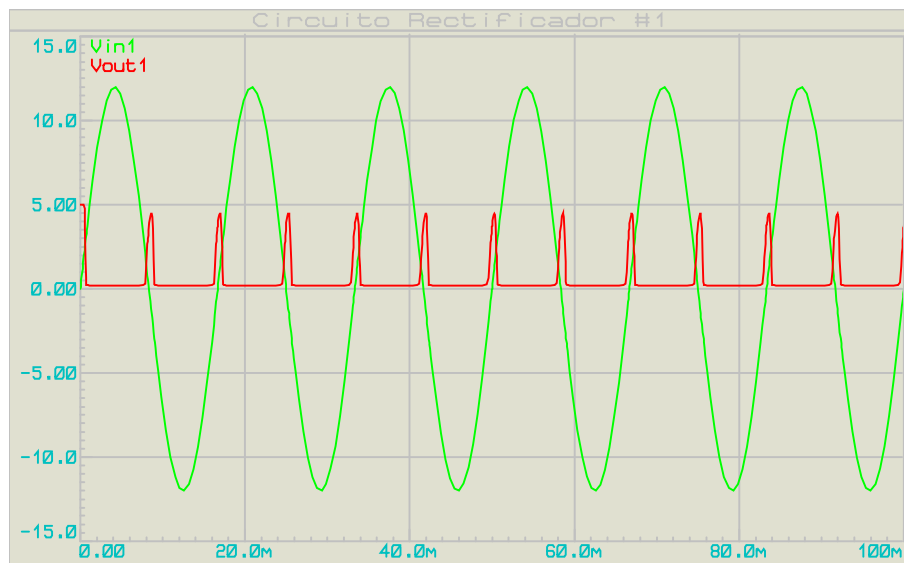


Figura 4. Simulación del primer circuito rectificador con cruce por cero.

Por otra parte, en la Figura 5, se muestra otro circuito que, de igual manera, cumple con la funcionalidad de generar pulsos cuando la señal de entrada cruza por cero. Este circuito, al igual que el anterior, lo primero que hace es rectificar la onda senoidal mediante un puente de diodos. Luego, la tensión en el nodo que une a D3, C1 y R3, es prácticamente constante, esto debido al efecto rectificador que tiene el capacitor, por lo que este capacitor se podría tomar casi como una fuente externa de corriente directa. Luego, la rama de la resistencia de $10k\Omega$ es la encargada de alimentar la base del diodo (el valor de la resistencia es relativamente elevado para evitar sobrecargar el transistor), sin embargo, cuando la onda rectificada cruza con cero, por esta rama no fluye la corriente necesaria para polarizar el transistor, por lo que este no conduce, por lo que la caída de tensión en R3 es nula, y la señal de salida toma el valor de tensión del nodo superior, el cual, como se mencionó anteriormente, tiene una tensión relativamente estable, El valor de esta tensión es el valor de tensión que toma el pico.

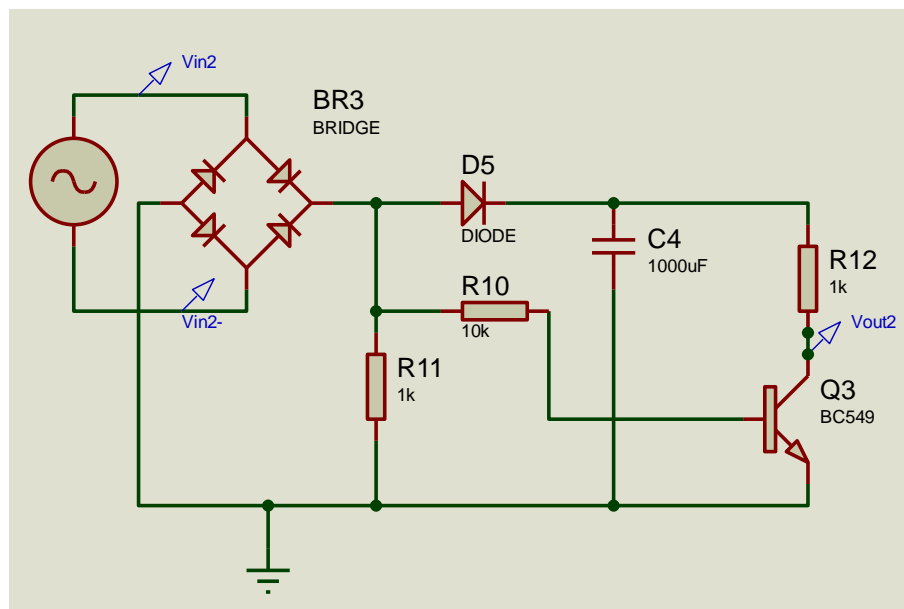


Figura 5. Segundo circuito rectificador con cruce por cero.

Asimismo, en la Figura 6 se presentan las ondas de entrada y de salida del circuito explicado anteriormente.

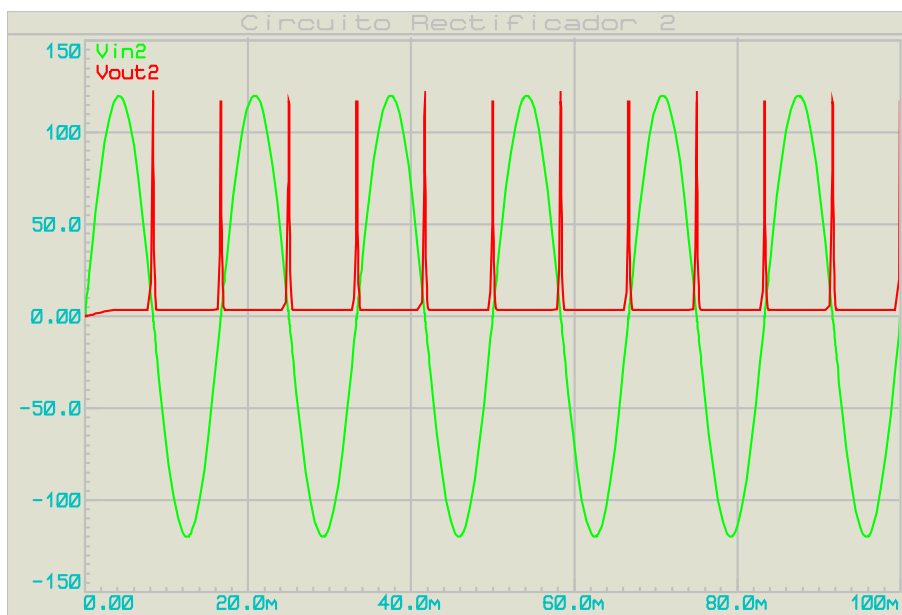


Figura 6. Simulación 2 de cruces por cero.

5. Explique el funcionamiento y realice una simulación de un circuito que genere una señal de rampa o diente de sierra.

El circuito diente de sierra es un circuito que se aprovecha de los procesos de carga y descarga de diversos dispositivos electrónicos, con el fin de generar una onda que crece progresivamente hasta un punto determinado, y luego cae de manera abrupta hasta su inicio, para repetir este proceso una y otra vez, con lo cual se forma la onda deseada. Para este caso, se muestra el circuito de la Figura 7, el cual se basa en el proceso de carga y descarga del capacitor. Dicho circuito se alimenta de una fuente de corriente directa en su parte superior. De la magnitud de dicha fuente dependerá el nivel máximo que tome la onda (para la siguiente sección, se reemplazará dicha fuente manera que todo el circuito sea alimentado mediante la fuente senoidal). Asimismo, este circuito toma como señal para generar las caídas de las ondas el pulso que se genera en el extremo izquierdo, para el cual se utilizó una onda cuadrada de 20V en alto, con un ciclo de trabajo del 5%, con el fin de simular el pulso generado con el circuito anterior. Ahora bien, para analizar el funcionamiento de este circuito es importante notar que el transistor se polariza únicamente cuando recibe el pulso de la onda cuadrada, por lo que mientras que esto sucede, el capacitor se carga (motivo por el cual la tensión de la onda crece y forma la sierra) hasta el momento en que el transistor se polariza y produce que el capacitor se descargue y empiece su carga de nuevo, por esto es por lo que se genera la caída abrupta en la onda.

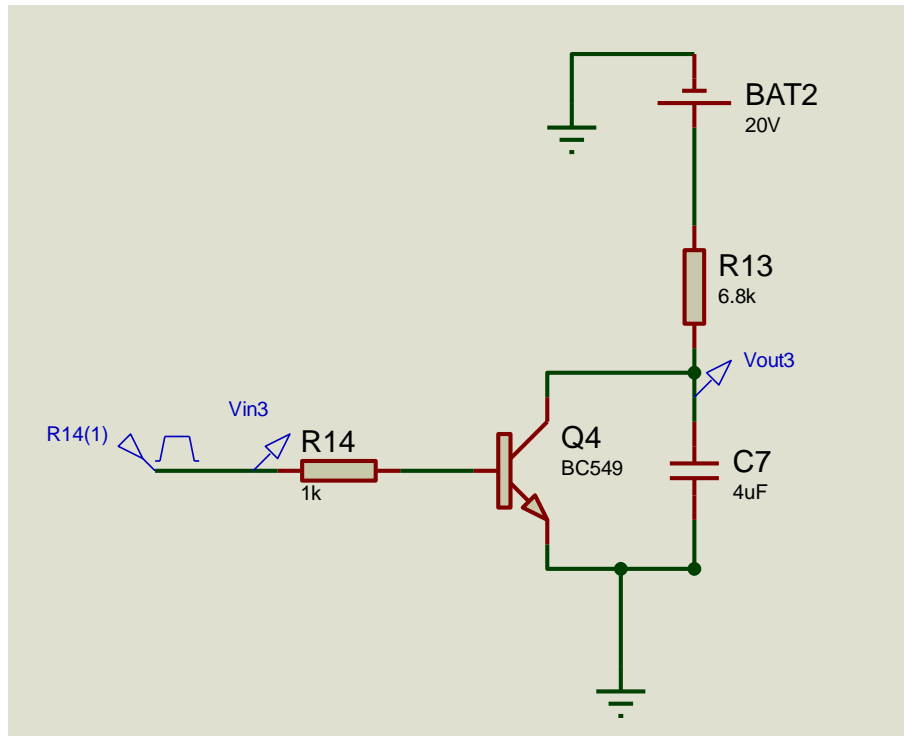


Figura 7. Circuito generador de diente de sierra.

Asimismo, en la Figura 8, se muestra la simulación pertinente al circuito de la Figura 7, generador de onda diente de sierra.

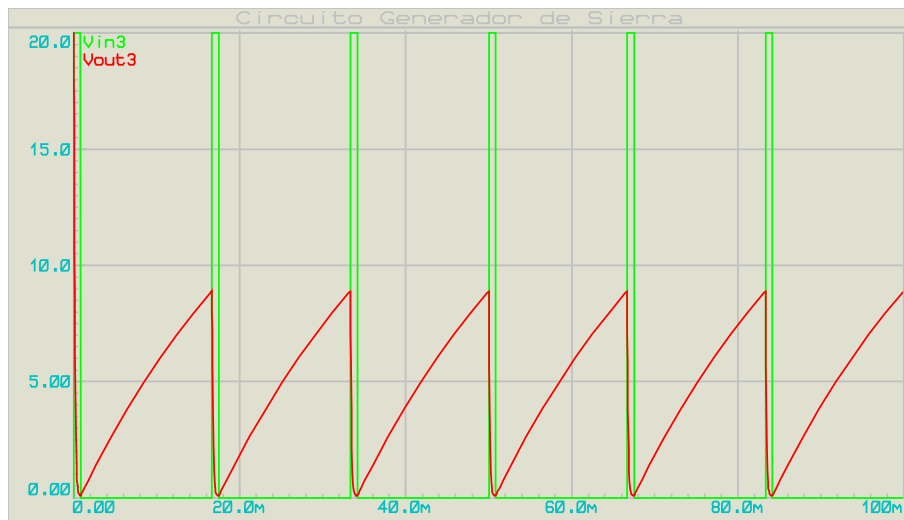


Figura 8. Simulación del circuito generador de diente de sierra.

6. Explique el funcionamiento y realice una simulación de un circuito que genere una señal PWM.

El circuito que se presenta en la figura 9 va a generar una señal para la modulación por ancho de pulso o PWM, esto lo logra al utilizar el amplificador operacional, ya que con este al estar acoplado a un potenciómetro en la patilla 2, permite regular la tensión que se compara para emitir los pulsos, de igual forma va a variar el ancho que tengan estos pulsos para cada uno de los valores que se tengan en la resistencia variable; ahora bien, la tensión que llega en la patilla 3 la cuál proviene de la fuente senoidal, y rectificada por medio del puente de diodos; va a ingresar para ser comparada, tomando en cuenta que valor se encuentre en el potenciómetro, determinando un voltaje de comparación y siempre que el voltaje de entrada en el amplificador sea mayor al establecido en el potenciómetro va a emitir el pulso en alto.

Además, se conecta una resistencia en serie con el potenciómetro de forma que cuando este se encuentre en 0%, aún así haya flujo de corriente.

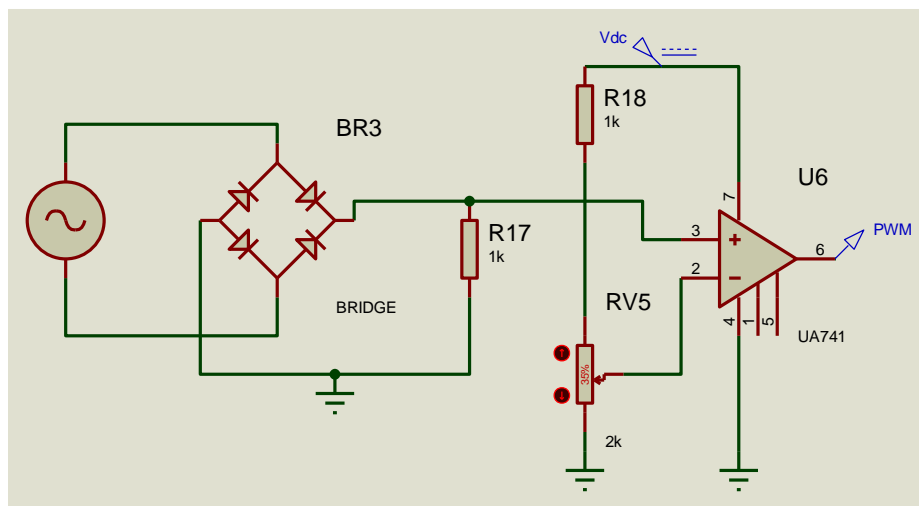


Figura 9. Circuito generador de PWM.

Para el caso de la simulación realizada en el circuito de la figura 9, se logran los pulsos que se encuentran en la figura 10, esto al tener una fuente senoidal de 10V, posteriormente rectificada, y entrando en el pin positivo del amplificador, además, una fuente DC de 10V en la entrada 7 del amplificador, con esto entonces al tener la resistencia variable de 2k Ω , ubicada a un 35%, se logran los pulsos que llegan a un voltaje de aproximadamente 9V, con un tiempo de aproximadamente 5ms en alta y 5ms en baja.

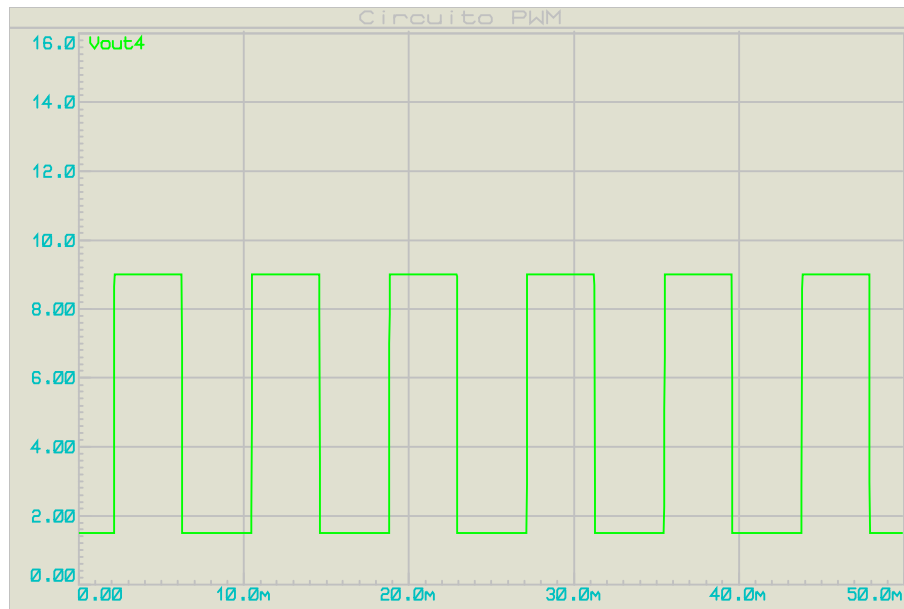


Figura 10. Simulación del circuito generador de PWM.

7. Realice los ajustes necesarios para simular el circuito de control de fase cuyo diagrama de bloques se muestra en la Figura 11, utilizando los diseños de los puntos 4 (solamente uno), 5 y 6. La frecuencia de la señal senoidal de entrada podría ser de 50 Hz o 60 Hz a 120 Vrms.

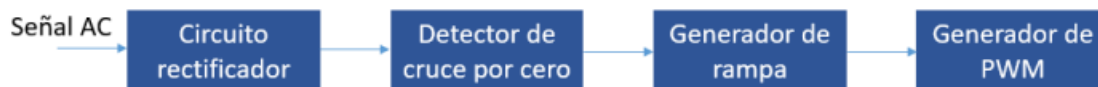


Figura 11. Diagrama de bloques del circuito de control de fase por implementar.

En la Figura 12 se muestra el circuito a utilizar para el control de fase. En dicho circuito se utilizaron los circuitos de las Figuras 5, 7 y 9, con ligeras modificaciones acorde a lo requerido. La primera observación importante es el uso del transformador en la entrada, el cual tiene una relación 10:1, esto para reducir los niveles de tensión en el circuito de control. Luego, respecto al circuito rectificador y de cruce por cero, la configuración de puente de diodos para la rectificación es ligeramente distinta debido a la conexión, además de que se variaron algunos valores de resistencias con el fin de realizar una mejor adaptación.

Luego, para el circuito generador de la onda de diente de sierra, este se alimenta el nodo llamado “Vdc”, el cual debido a la acción del capacitor “C5” tiene una tensión complemente rectificada (similar la tensión proporcionada por una fuente DC ideal). Es importante mencionar que este nodo se utiliza como fuente de alimentación DC para el circuito en general. Por último, el circuito PWM se conecta al voltaje DC tanto para la alimentación del amplificador operacional, como para conectar el potenciómetro, el cual es el encargado de regular el nivel de tensión de referencia para generar el pulso.

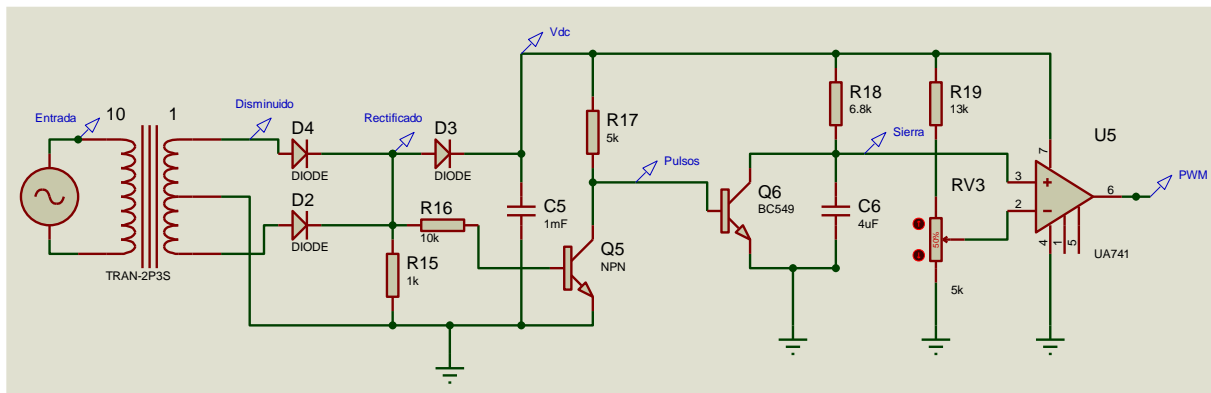


Figura 12. Circuito completo para la simulación del diagrama de bloques (control de fase).

Procedimiento

1. Inicialmente trabaje con una señal de entrada de 120 Vrms y 60 Hz. Agregue osciloscopios o análisis gráficos a la salida de cada bloque de la simulación del punto 7 del cuestionario previo, de forma que se observe la señal AC rectificada en comparación con cada salida. Añada una imagen donde se muestre el circuito completo con los distintos bloques de la Figura 11 identificados.

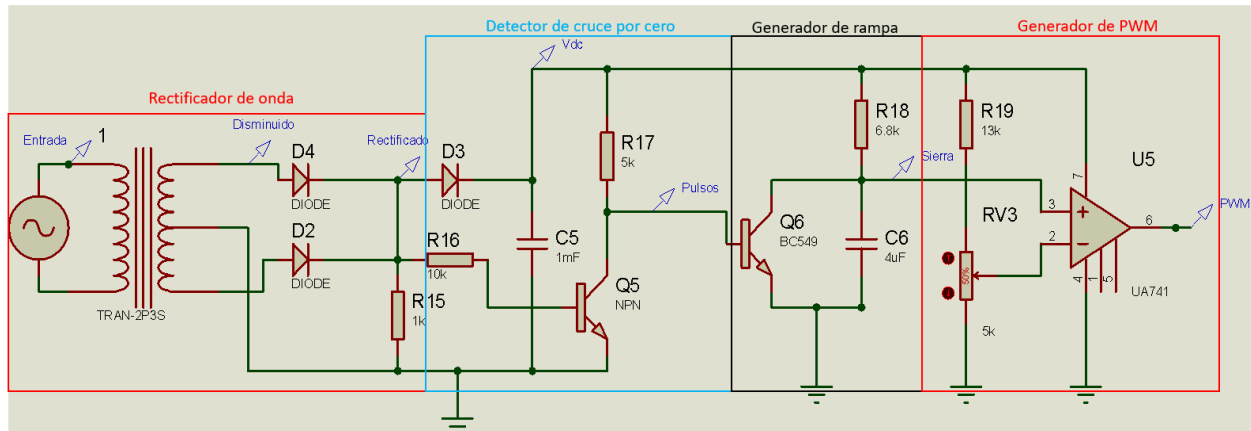


Figura 13. Circuito de control de fase (separado por bloques).

En la Figura 14 se muestra la simulación del circuito de la Figura 13. Para este caso, este circuito simula un ángulo de disparo igual a 90° . Es importante mencionar que se utiliza el voltaje disminuido por el transformador como referencia, ya que utilizar el voltaje propio de la fuente generaría dificultades para observar las otras ondas debido a las diferencias en la escala.



Figura 14. Simulación del circuito de control de fase de la Figura 13.

2. Adjunte la imagen de la señal de alimentación AC rectificada en comparación con la salida del generador de la señal PWM para ángulos de disparo de 20, 75 y 130 grados.

En la Figura 15 se muestra la señal de alimentación rectificada junto con la salida del generador PWM para un ángulo de disparo de 20°. Este ángulo de disparo corresponde a un 11,11% del potenciómetro, sin embargo, como el potenciómetro solo permite el uso de números enteros, al redondear a un 11% para el potenciómetro, el ángulo reflejado en la onda corresponde a 19,8°.

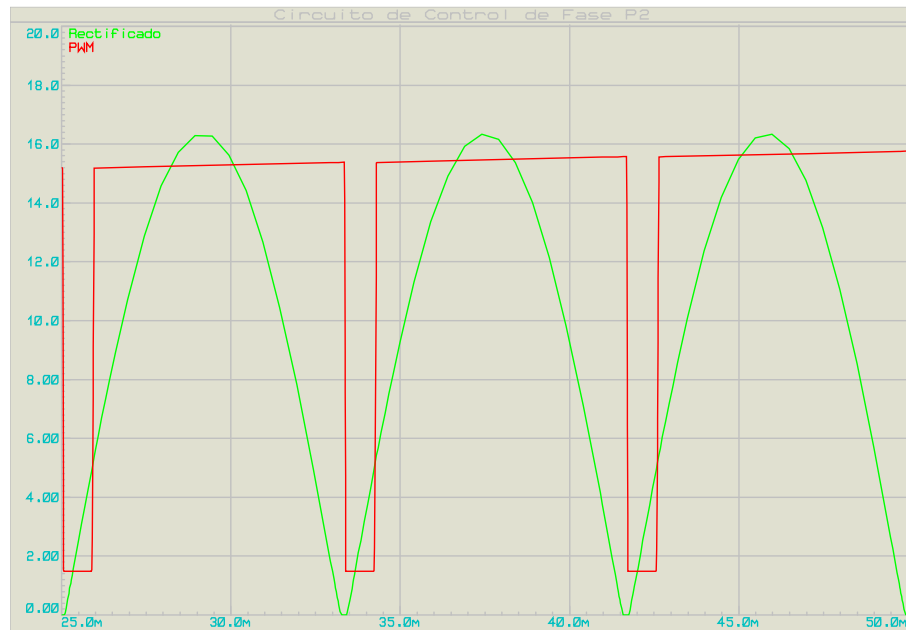


Figura 15. Onda rectificada con el generador de la señal PWM para un ángulo de disparo de 20° aproximadamente.

De igual manera, en la Figura 16, se presentan las mismas señales anteriores, pero para este caso con un ángulo de disparo de 75°. Dicho ángulo corresponde a un 41,67% del potenciómetro, por lo que para efectos de la simulación y configuración del circuito, este valor se redondeó a 42% de la resistencia total del potenciómetro, el cuál corresponde exactamente a un ángulo de disparo de 75,6°.

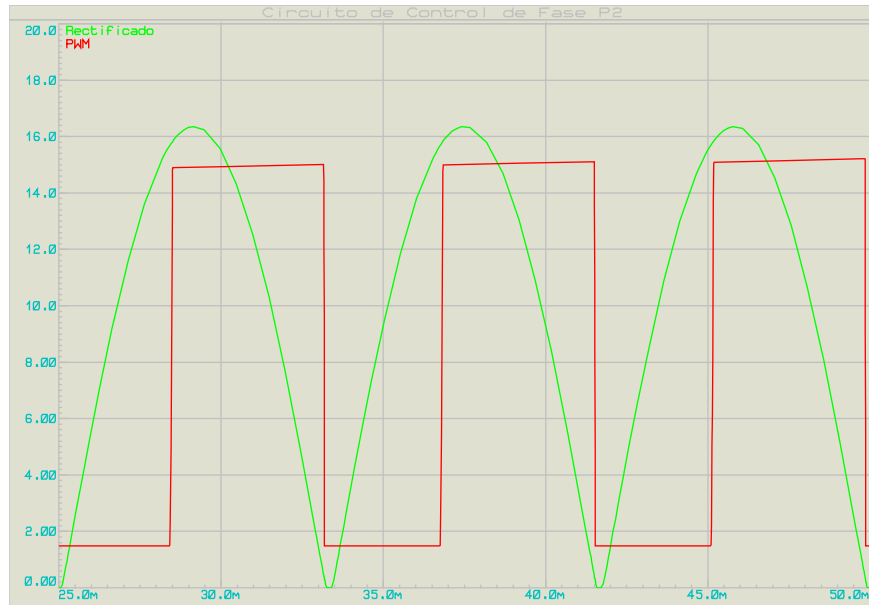


Figura 16. Onda rectificada con el generador de la señal PWM para un ángulo de disparo de 75° aproximadamente.

Finalmente, en la Figura 17, se muestra la tercera simulación solicitada para estas ondas, la cual corresponde a un ángulo de disparo de 130° , valor que se traduce a un 72,22% del potenciómetro, por lo que para la configuración del circuito dicho valor se redondeó a 72%. Este último valor representa un ángulo de disparo de exactamente $129,6^\circ$.

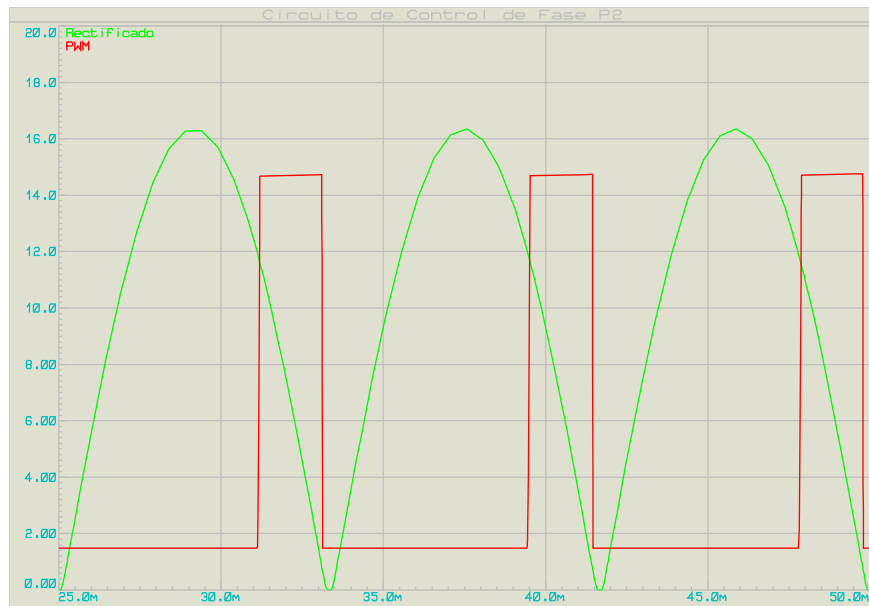


Figura 17. Onda rectificada con el generador de la señal PWM para un ángulo de disparo de 130° aproximadamente.

3. Explique y agregue un circuito adicional que sea capaz de controlar la duración del pulso de la señal PWM para que sin importar el ángulo seleccionado el pulso sea de 1.3 ms. Agregue un osciloscopio análisis gráfico que muestre en un canal la señal PWM original y en el otro la salida del circuito de control de duración del pulso a 1.3 ms. Adjunte la imagen para el caso de un ángulo de disparo de 140 grados.

En la Figura 18 se muestra el mismo circuito control de fase de la Figura 13. Este circuito se modificó de manera que la salida sea un pulso con una duración constante de 1,3ms. Para esto, en la salida del PWM del circuito anterior se colocó un filtro pasa altas, para que detecte el cambio del pulso PWM (debido a que cambia a una alta frecuencia) y de esta manera emita un pulso cada vez que la onda sube. Luego de esto se acopla el circuito integrado 555, de manera que lee el pulso que se emite del filtro y con esto genera la salida. Debido a que este integrado se activa con una señal de 0V, la onda de salida sale invertida, es decir, el tiempo de 1,3ms se obtiene para la parte en bajo de la señal. Por este motivo, es que se realizó un inversor mediante un optoacoplador, de manera que la salida se invierte y resulta como se espera.

Para el tiempo en alto del pulso (los 1,3ms solicitados), se fijaron los valores de R6 y C3 de manera que cumplieran con la siguiente ecuación:

$$t_{alto} = RC * \ln(3) \quad [3]$$

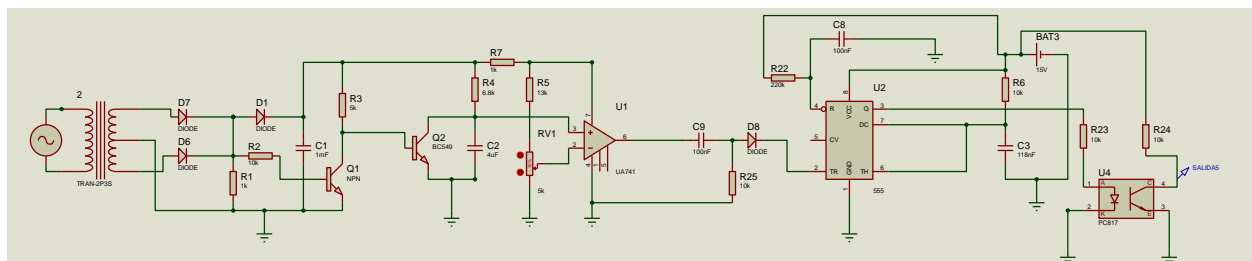


Figura 18. Circuito de control de fase con un PWM de un valor fijo 1.3ms de duración.

Asimismo, para la simulación, se solicita que el ángulo de disparo sea de 140°, por lo que este valor corresponde a un 77,78% del valor del potenciómetro. Al redondear este valor a 78% se obtiene que el ángulo de disparo es de 140,4°. Asimismo, en la Figura 19, se muestra la gráfica con la señal PWM, la cual es tomada del circuito de la Figura 13, y la señal SALIDA, la cuál es tomada del circuito de la Figura 18. Ambas señales con ángulo de disparo de 140°.

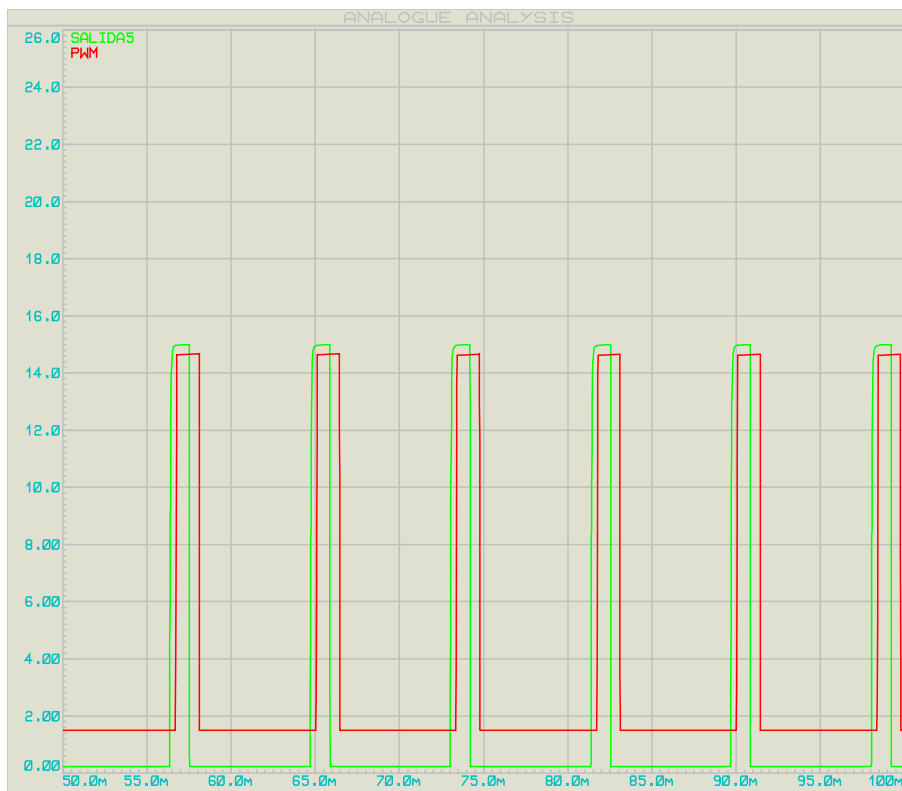


Figura 19. Simulación del circuito de control de fase con un PWM de un valor fijo 1.3ms de duración y un ángulo de disparo de 140° .

4. Simule el funcionamiento del circuito generador de rampa utilizando una señal de alimentación de 120 Vrms a 50 Hz. Adjunte la imagen que muestre la señal AC rectificada en un canal y la salida del circuito de rampa en el otro. ¿Observa alguna variación? ¿A qué se debe?

En la Figura 20 se observa el comportamiento de la señal de rampa cuando la alimentación presenta una frecuencia de 60 Hz, y en la Figura 21 se muestra cuando su frecuencia disminuyó a 50 Hz. De estas se concluye que, al disminuir la frecuencia, el periodo de la señal aumenta, la amplitud de la onda diente de sierra aumenta y la recta de esta presenta una leve curvatura. Este comportamiento se debe principalmente al tiempo de carga y descarga del capacitor, y a la resistencia particular del circuito de sierra, indicado en la Figura 7. Donde el tiempo de carga es $\tau = RC$ y el comportamiento de C depende de la frecuencia; que para frecuencias bajas hay un tiempo de carga rápido y se observa una curvatura, mas para frecuencias más altas la carga del capacitor se da de forma lenta facilitando la recta de la sierra.

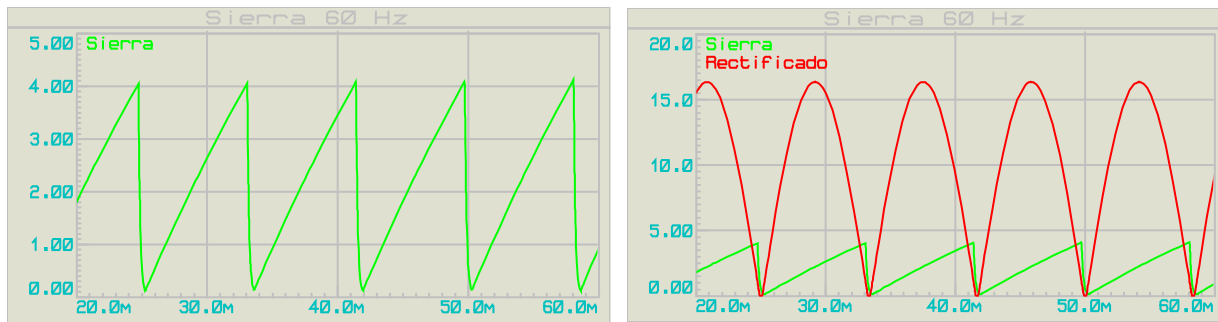


Figura 20. Frecuencia de 60 Hz.

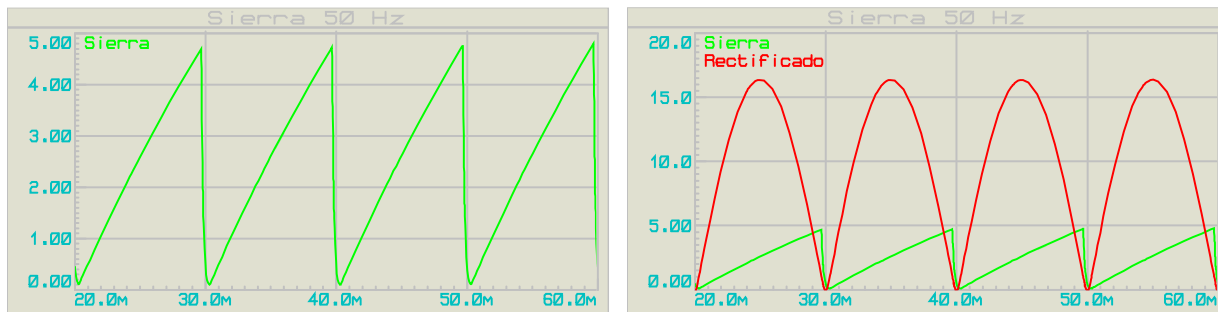


Figura 21. Frecuencia de 50 Hz.

Evaluación

1. Obtenga la ecuación de la línea recta ($f(x)=y$) que relaciona el ángulo de disparo deseado (x) con la tensión de referencia a la entrada del comparador (y) para su diseño.

Para encontrar la ecuación se tiene que al tener en el diente de sierra una pendiente con un comportamiento lineal se puede utilizar la forma $y = mx+b$, entonces, se tiene que los voltajes van de aproximadamente 0V hasta aproximadamente 4.1V, esto va a ocurrir en 7.8ms y a partir se genera la ecuación. Esta inicialmente se ubica en función del tiempo.

$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{4.1}{8.2m}$$

$$m = 500$$

Ahora para la b:

$$b = y - mx$$

$$b = 4.1 - 500 * (8.2m) = 0$$

Por lo que se tiene que:

$$y = 500x + 0$$

Para pasarlo al dominio de los grados se hace una regla de 3 con 360° y el período completo de 16.4ms, y se determina cuánto vale para sólo un grado.

$$\frac{360}{16.4} = \frac{1}{g}$$

Donde g sería el valor del período en un grado:

$$\frac{16.4m}{360} = 45.55\mu s$$

Por lo que, entonces queda:

$$y = 500 * 45.55\mu\theta$$

Donde θ es la nueva variable de los grados y por lo tanto la ecuación final queda:

$$y = 22.77 \times 10^{-3} \theta$$

De igual forma esto se ejemplifica en la figura 22.

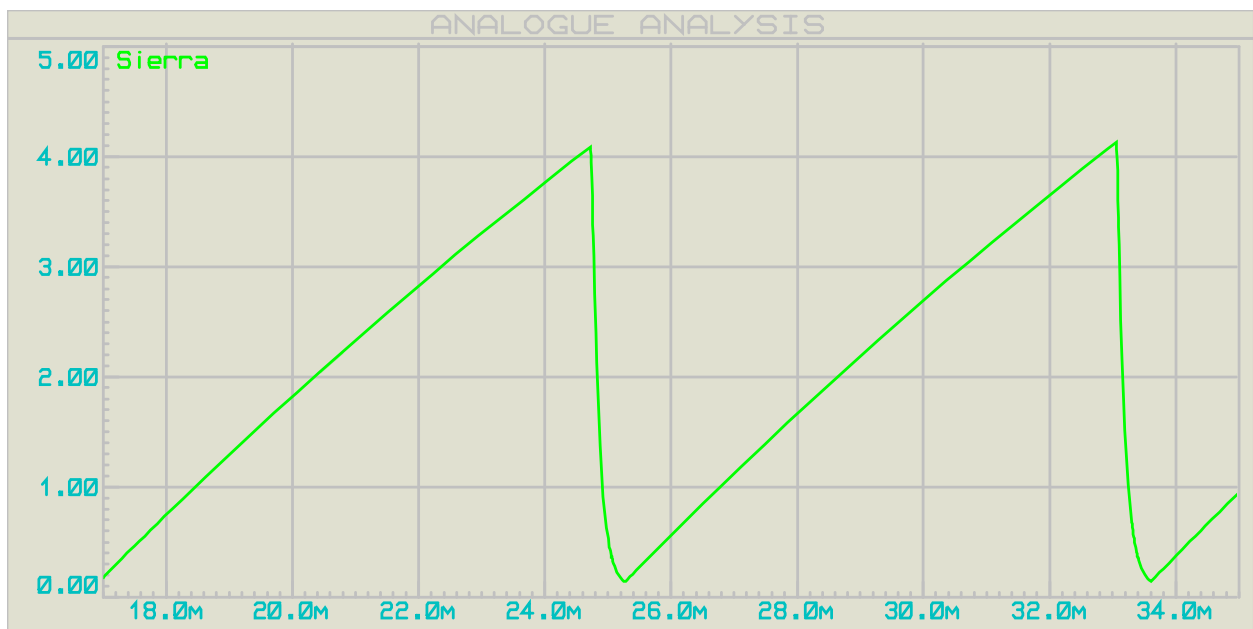


Figura 22. Señal de diente de sierra del circuito

2. ¿Cuáles ajustes deben realizarse en las distintas etapas del circuito para trabajar a frecuencias menores de 60 Hz?

Para poder utilizar el circuito a frecuencias menores se debe de modificar el capacitor que se conecta en el generador de diente de sierra ya que este va a distorsionar la onda, y por ende la forma del diente de sierra se va a ver afectada, esto consecuentemente modifica los pulsos del

PWM. Para evidenciar dicho comportamiento se tiene que en la figura X, se observa como al no realizar ningún cambio al circuito de la figura 13 y utilizar una frecuencia de 30Hz, que representa la mitad de la frecuencia original, se tiene que la señal de diente de sierra pierde su forma característica.

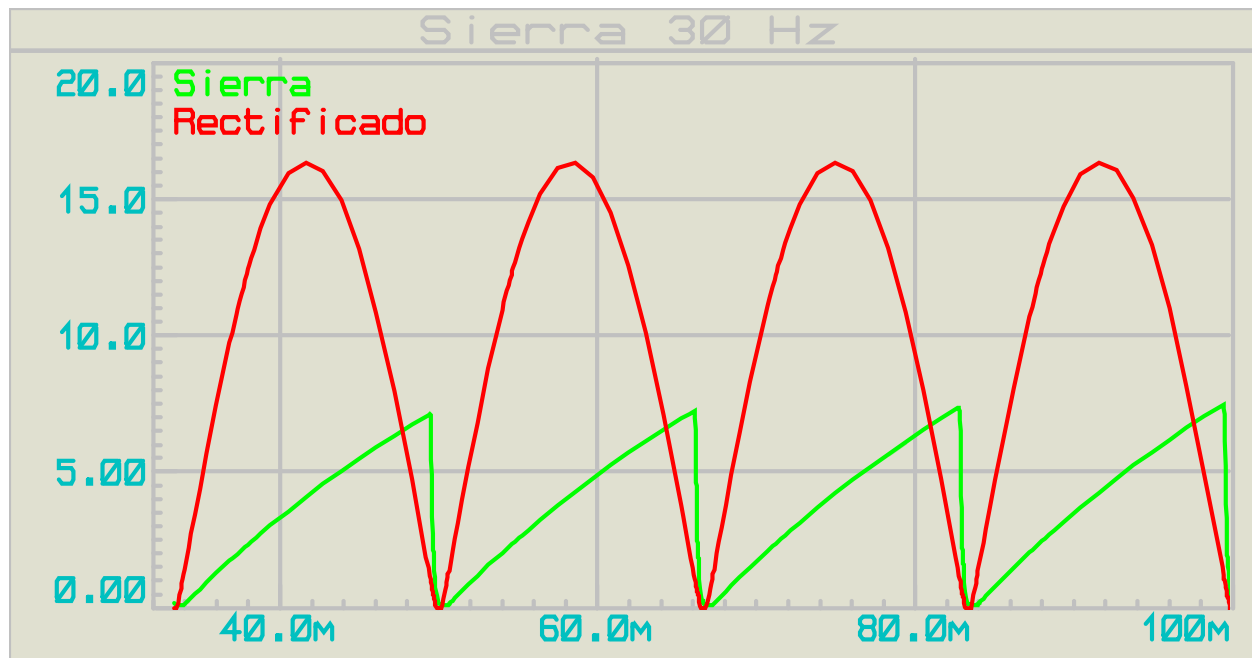


Figura 23. Onda rectificada y diente de sierra al simular el circuito sin ajustar para trabajar a una frecuencia de 30Hz.

3. Si el circuito de control de fase se utiliza para controlar el disparo de un dispositivo de potencia, ¿de qué parámetro del dispositivo depende el ancho mínimo de la señal PWM para lograr su disparo?

Dentro de los parámetros requeridos para activar un dispositivo de potencia que tiene compuerta de pulso, se encuentra la corriente I_{GT} , la tensión V_{GT} y el tiempo T_{GT} . Este último es el parámetro que debe tomarse en cuenta para determinar el ancho mínimo de la señal PWM que genera el pulso.

Cuando ocurre el pulso, los tiristores no ideales presentan una respuesta de encendido. Este tiempo de encendido de la compuerta T_{GT} , consiste en el intervalo de tiempo entre el inicio del pulso y el instante en que el voltaje en el tiristor ha caído a un valor determinado. Específicamente, este parámetro se compone del tiempo de retardo de control en la compuerta T_{GD} : intervalo desde que

se aplica el pulso en la compuerta hasta que la tensión entre MT1 y MT2 (terminal principal 1 y 2) se reduce en un 10%; y el tiempo de disparo de control en la compuerta T_{GR} : intervalo desde que la tensión equivale un 90% hasta un 10% de su respectivo valor inicial.

De este modo, $T_{GT} = T_{GD} + T_{GR}$. Lo cual quiere decir que, se debe aplicar un pulso en un tiempo al menos igual al tiempo de encendido. Razón por la cual el PWM depende de dicho parámetro.

Como ejemplo, el tiempo de encendido de la compuerta del TRIAC de la serie BT137 consiste en $2\mu s$ [4].

DYNAMIC CHARACTERISTICS

$T_j = 25^\circ C$ unless otherwise stated

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.			TYP.	MAX.	UNIT
dV_D/dt	Critical rate of rise of off-state voltage	BT137- $V_{DM} = 67\% V_{DRM(max)}$; $T_j = 125^\circ C$; exponential waveform; gate open circuit	100	50	200	250	-	$V/\mu s$
dV_{com}/dt	Critical rate of change of commutating voltage	$V_{DM} = 400 V$; $T_j = 95^\circ C$; $I_{T(RMS)} = 8 A$; $di_{com}/dt = 3.6 A/ms$; gate open circuit	-	-	10	20	-	$V/\mu s$
t_{gt}	Gate controlled turn-on time	$I_{TM} = 12 A$; $V_D = V_{DRM(max)}$; $I_G = 0.1 A$; $di_G/dt = 5 A/\mu s$	-	-	-	2	-	μs

- ¿Cuáles ajustes debe realizar en su diseño si la señal de alimentación del circuito cambia a una de 208 Vrms, 60 Hz? Sea que realice cambios o no, simule el comportamiento de este bajo estas condiciones y adjunte la simulación.

Lo principal que se puede hacer es cambiar el transformador para obtener otra relación que asemeje el voltaje de entrada que se entrega con la configuración original, sin embargo, sin realizar esto funciona correctamente con el transformador que se escogió. Ahora bien, en cuanto a los componentes se tiene que se deberían variar los valores de estos según la potencia que puedan soportar ya que, al aumentar el voltaje, la potencia podría incrementarse de forma drástica y quemar los componentes.

En cuanto a la simulación, en la figura 25 se usó el mismo circuito de la figura 13 y lo que se observa es que el ángulo de disparo que representa el PWM varía. Aunque los valores de los voltajes incrementan el funcionamiento es muy similar, como se puede observar al compararlo con la figura 26, que muestra las condiciones originales.

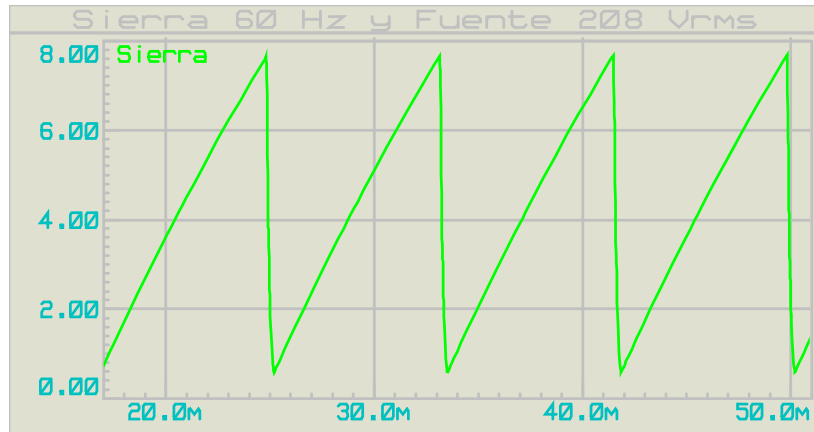


Figura 24. Diente de sierra para el circuito con entrada de 208V, 60Hz.

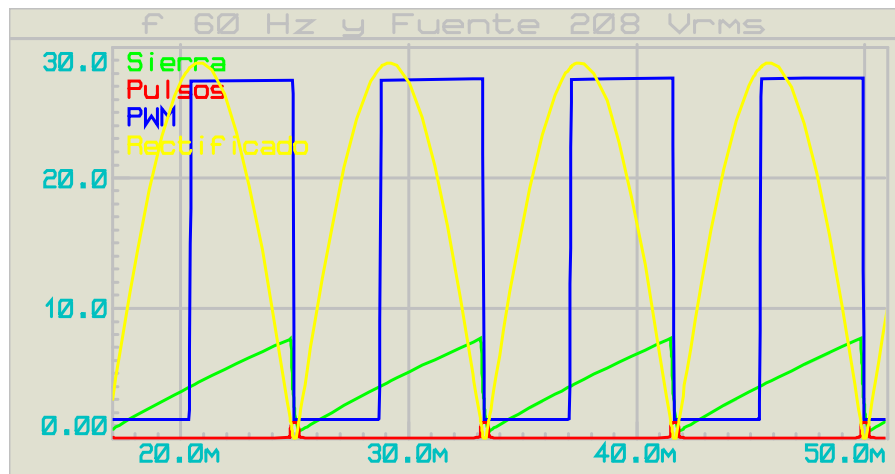


Figura 25. Funcionamiento del circuito con una entrada de 208V, 60Hz.

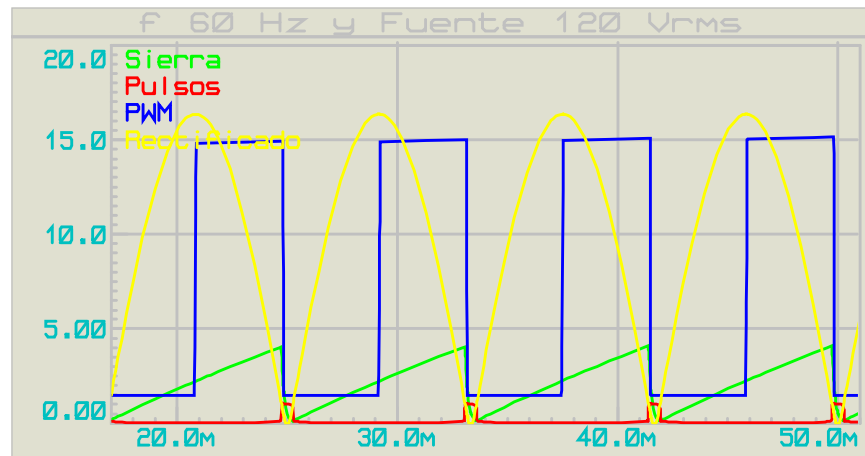


Figura 26. Funcionamiento del circuito con una entrada de 120V, 60Hz.

Referencias

- [1] Hart, Daniel. (2001). *Electrónica de potencia*. Prentice Hall.
- [2] Mohan, Ned. (2009). *Electrónica de potencia, convertidores, aplicaciones y diseño*. Mc Graw Hill.
- [3] ACADENAS. (2020). Circuito Temporizador con CI 555. monoestable (Clase 82.1). [*You Tube*]. <https://www.youtube.com/watch?v=qB0mEncGsl4&t=193s>
- [4] NXP Semiconductor. (2001). *BT137600 Datasheet* [PDF]. <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/513191/NXP/BT137600.html>