



# **UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**

**División de Ciencias e Ingeniería**

**Control de Fase Lineal para Cargas de CA**

Tesis para Obtener el Grado de:

**Ingeniero en Redes**

Presenta

**Edwin Ariel Cocom Aguayo**

Director de Tesis

**Dr. Freddy Chan Puc**

Asesores

**Dr. Jaime Silverio Ortegón Aguilar**

**Dr. Homero Toral Cruz**

Chetumal, Q. Roo, México, Julio de 2012





# UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

## División de Ciencias e Ingeniería

Tesis elaborada bajo la supervisión del  
Comité de Tesis del Programa de Licenciatura y  
aprobada como requisito para obtener  
el grado de:

### Ingeniero en Redes

Comité de Tesis

Director:   
\_\_\_\_\_ **Dr. Freddy Ignacio Chan Puc**

Asesor:   
\_\_\_\_\_ **Dr. Jaime Silverio Ortega Aguilar**

Asesor:   
\_\_\_\_\_ **Dr. Homero Toral Cruz**

Chetumal, Q. Roo, México, Julio de 2012



## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, a mi familia, al Comité de Tesis, en especial al Dr. Freddy Chan Puc por su dedicación y apoyo en cada momento en que fue necesario para resolver las dudas de mi trabajo, me asesoró y me dio la confianza para la realización y terminación del mismo, a mis asesores quienes con su orientación y ayuda apoyaron a la conclusión de este trabajo, también expreso mi agradecimiento a la Academia de Redes, porque fueron parte de mi formación profesional proporcionándome los conocimientos necesarios para lograr esta meta.

## INTRODUCCIÓN

Se denomina Corriente Alterna (CA) a la corriente eléctrica que cambia cíclicamente de polaridad. Esto es, su voltaje instantáneo va cambiando en el tiempo desde 0 a un máximo positivo, vuelve a cero y continúa hasta otro máximo negativo y así sucesivamente. La corriente alterna cambia sus valores instantáneos de acuerdo con la función trigonométrica seno, de ahí su denominación de corriente alterna senoidal.

La CA es una de las energías más utilizadas en el mundo en los diferentes sectores, desde el hogar hasta la industria, además es importante su aplicación en la tecnología para lograr su máximo aprovechamiento. La energía es aplicada en varias áreas del conocimiento, tales como: eléctrica, electrónica, etc., es por ello que su estudio es de gran importancia.

En este trabajo se presenta una novedosa forma de controlar de forma lineal la potencia suministrada a una carga, mediante la segmentación de la forma de onda senoidal de entrada (control de fase). Como ejemplo, se implementó un control de temperatura empleando el control de fase lineal y teniendo como elemento de salida un motor de CA (extractor de aire) controlado por un relevador de estado sólido.

En el capítulo uno se detallan las partes que componen un sistema de control eléctrico, también se menciona el uso de los relevadores de estado sólido, así, como, sus ventajas. Además, se presentan los diferentes tipos de tiristores, las características propias, estructura y curva característica de cada semiconductor, en particular, el SCR, DIAC y el TRIAC, así como, su utilización en la electrónica industrial y de potencia.

En el capítulo dos se abordan los Amplificadores Operacionales (OPAMP). De igual manera, en este capítulo se menciona la modulación por ancho de pulso (PWM), técnica usada para modificar el ciclo de trabajo de una señal cuadrada periódica, ya sea para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga.

En el capítulo tres se presenta la implementación de los circuitos de control y de potencia. La implementación se realizó en dos etapas, la primera involucra un prototipo en *protoboard* y la segunda etapa involucró la implementación en circuito impreso. Previamente, este diseño fue simulado en MULTISIM (software simulador de circuitos electrónicos), apoyando el proceso de diseño e implementación.

En el capítulo cuatro se presentan los resultados experimentales, tanto de la parte de control (rampa sincronizada, PWM, etc.), como de la parte de potencia (TRIAC y carga). Se presentan las mediciones realizadas con diferentes instrumentos, tales como: ScopeMeter, osciloscopio, multímetro, etc.

# CONTENIDO

|                         |   |           |
|-------------------------|---|-----------|
| <b>CAPÍTULO I</b>       |   |           |
| 1.1                     | Introducción  | <b>13</b> |
| 1.2                     | Relevadores de Estado Sólido                            | <b>15</b> |
| 1.3                     | Tiristores  | <b>15</b> |
| 1.4                     | SCR (Rectificador Controlado de Silicio)                | <b>16</b> |
| 1.5                     | DIAC (Diodo para Corriente Alterna)                     | <b>18</b> |
| 1.6                     | TRIAC (Tríodo para Corriente Alterna)                   | <b>19</b> |
| 1.7                     | Fase  | <b>21</b> |
| 1.8                     | Diferencia de Fase de CA                                | <b>22</b> |
| 1.9                     | Ángulo de Conducción y de Disparo                       | <b>23</b> |
| <br><b>CAPÍTULO II</b>  |   |           |
| 2.1                     | Amplificadores Operacionales                            | <b>26</b> |
| 2.2                     | Terminales de un Amplificador Operacional               | <b>26</b> |
| 2.3                     | Detectores de Nivel de Voltaje                          | <b>28</b> |
| 2.4                     | Amplificador Operacional Integrador                     | <b>30</b> |
| 2.5                     | Amplificador Operacional Restador                       | <b>30</b> |
| 2.6                     | Amplificador Operacional Seguidor                       | <b>31</b> |
| 2.7                     | Controlador de Cargas de CA                             | <b>31</b> |
| 2.8                     | Comparador PWM  | <b>32</b> |
| <br><b>CAPÍTULO III</b> |   |           |
| 3.1                     | Introducción  | <b>35</b> |
| 3.2                     | Puente Rectificador                                     | <b>35</b> |
| 3.3                     | Circuito Comparador                                     | <b>36</b> |
| 3.4                     | Circuito Integrador                                     | <b>38</b> |
| 3.5                     | Circuito para la Generación de la Señal de Rampa Lineal | <b>39</b> |

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| CAPÍTULO IV |   |    |
| 4.1         | Introducción  | 47 |
| 4.2         | Señal Rectificada de Onda Completa y Señal Cuadrada   | 47 |
| 4.3         | Señal Integrada                                       | 48 |
| 4.4         | Señal de Rampa Lineal Sincronizada con la Línea de CA | 48 |
| 4.5         | Señal de Salida                                       | 49 |
|             | Conclusiones  | 54 |
|             | Bibliografía  | 55 |
|             | Anexos  | 57 |

## LISTA DE FIGURAS

| <b>Número</b> |   | <b>Página</b> |
|---------------|---|---------------|
| Figura 1.1    | Sistema de Control Eléctrico                            | 13            |
| Figura 1.2    | Relevador Electromagnético                              | 14            |
| Figura 1.3    | PLC (Controlador Lógico Programable)                    | 14            |
| Figura 1.4    | Símbolo del SCR   | 16            |
| Figura 1.5    | Estructura de Cuatro Capas, Construcción Básica del SCR | 17            |
| Figura 1.6    | Gráfica del SCR   | 17            |
| Figura 1.7a   | Símbolo del DIAC  | 18            |
| Figura 1.7b   | Estructura Básica                                       | 18            |
| Figura 1.8a   | Símbolo del TRIAC                                       | 19            |
| Figura 1.8b   | Construcción Básica del TRIAC                           | 19            |
| Figura 1.9    | Curva Característica del TRIAC                          | 20            |
| Figura 1.10   | Control de Voltaje de una Carga de CA                   | 20            |
| Figura 1.11   | Fase de la CA   | 21            |
| Figura 1.12   | Diferencia de Fase de la CA                             | 22            |
| Figura 1.13   | Angulo de Retardo de $60^\circ$ de un SCR               | 23            |
| Figura 2.1    | Terminales de un Amplificador Operacional               | 27            |
| Figura 2.2    | El LM324  | 28            |
| Figura 2.3    | Detector de Nivel no Inversor                           | 29            |
| Figura 2.4    | Detector de Nivel Inversor                              | 29            |
| Figura 2.5    | Integrador  | 30            |
| Figura 2.6    | Restador  | 30            |
| Figura 2.7    | Amplificador Operacional Seguidor                       | 31            |
| Figura 2.8    | Tipos de Control con Tiristores                         | 32            |
| Figura 3.1    | Circuito Rectificador de Onda Completa                  | 35            |
| Figura 3.2    | Señal Rectificada Sincronizada con Línea                | 36            |
| Figura 3.3    | Circuito Comparador de la Senoidal Rectificada          | 37            |
| Figura 3.4    | Señal Cuadrada Sincronizada con la Línea                | 37            |
| Figura 3.5    | Circuito Integrador                                     | 38            |
| Figura 3.6    | Señal de Rampa Sincronizada con Línea                   | 38            |



|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Figura 3.7  | Circuito Completo del Generador de Rampa Sincronizada                    | 39 |
| Figura 3.8  | Rampa Lineal Sincronizada con la Línea de CA                             | 40 |
| Figura 3.9  | Implementación del Circuito en el <i>Protoboard</i>                      | 41 |
| Figura 3.10 | Circuito Impreso Parte Inferior  | 42 |
| Figura 3.11 | Circuito Impreso Parte Frontal   | 43 |
| Figura 3.12 | Prueba Realizada con el Foco   | 44 |
| Figura 3.13 | Prueba Realizada con el Ventilador                                       | 45 |
| Figura 4.1  | Señal Rectificada de Entrada y Señal Cuadrada Comparada                  | 47 |
| Figura 4.2  | Señal Integrada y Señal Rectificada de Onda Completa                     | 48 |
| Figura 4.3  | Señal de Rampa Lineal Acondicionada y Señal Rectificada de Onda Completa | 49 |
| Figura 4.4  | Señal Senoidal Segmentada  | 49 |
| Figura 4.5  | Patrón PWM y Señal Senoidal Segmentada para un Ángulo de 80°             | 50 |
| Figura 4.6  | Patrón PWM y Señal Senoidal Segmentada para un Ángulo de 100°            | 51 |
| Figura 4.7  | Señales de Corriente y Voltaje para una Carga Lineal                     | 52 |
| Figura 4.8  | Señales de Corriente y Voltaje para una Carga no Lineal                  | 53 |
| Figura 4.9  | Formas de Onda de Corriente y Voltaje con Pérdida de Sincronía           | 53 |

## NOMENCLATURA

|       |   |
|-------|---|
| PLC   | Controlador Lógico Programable                        |
| SSR   | Relevador de Estado Sólido                            |
| CC    | Corriente Continua                                    |
| CA    | Corriente Alterna                                     |
| SCR   | Rectificador Controlado de Silicio                    |
| DIAC  | Diodo para Corriente Alterna                          |
| TRIAC | Tríodo para Corriente Alterna                         |
| MT1   | Terminal Principal 1                                  |
| MT2   | Terminal Principal 2                                  |
| PWM   | Modulación por Ancho de Pulso                         |
| mA    | Miliamperio   |
| PN    | Polarización Directa P-N                              |
| V     | Voltaje   |
| OPAMP | Amplificador Operacional                              |
| CD    | Corriente Directa                                     |
| Vout  | Voltaje de Salida                                     |
| AOL   | Ganancia del Amplificador Operacional en Lazo Abierto |
| t1    | Tensión 1   |
| +Vsat | Tensión de Saturación Positiva                        |
| -Vsat | Tensión de Saturación Negativa                        |
| R     | Resistencia   |
| Zin   | Impedancia Diferencial                                |
| RMS   | Raíz Media Cuadrática                                 |
| MAP   | Modulación por Ancho de Pulso                         |
| Hz    | Hercios   |
| KΩ    | Kilo Ohms   |
| nF    | Nano Faradios   |
| G     | Gate  |

|          |                                 |
|----------|---------------------------------|
| K        | Cátodo                          |
| A        | Ánodo                           |
| $E_i$    | Voltaje de Entrada              |
| $V_o$    | Voltaje de Salida               |
| $V_{AK}$ | Voltaje entre el Ánodo y Cátodo |

# **CAPÍTULO I**

**DISPOSITIVOS DE POTENCIA  
PARA EL CONTROL DE CARGAS  
DE CORRIENTE ALTERNA**

## 1.1 INTRODUCCIÓN

Un sistema de control eléctrico para controlar un procedimiento industrial puede ser dividido en tres secciones: entrada, lógica y salida [1], figura 1.1.

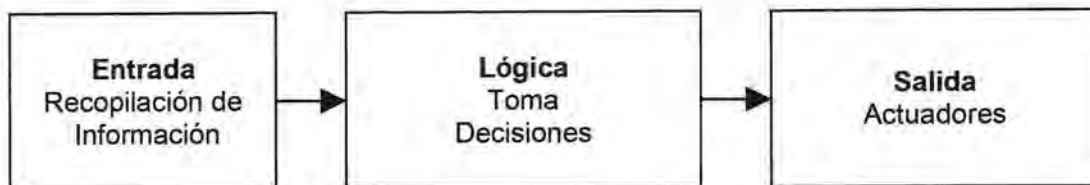


Figura 1.1 Sistema de control eléctrico

Sección de entrada: llamada sección de recopilación de información, consiste en todos los dispositivos que proporcionan a los circuitos información del sistema y las disposiciones del operador. Algunos de los dispositivos son: sensores, transductores, botones, interruptores de límite mecánicos, interruptores de presión y fotoceldas.

Sección lógica: llamada sección de toma de decisiones, es la parte del circuito que utiliza la información proporcionada por la sección de entrada. Toma decisiones con base en la información recibida y las envía a la sección de salida. Está constituida por relevadores magnéticos, circuitos discretos de transistores o circuitos integrados de transistores, controles lógicos programables (PLC) y microcontroladores.

Sección de salida: llamada sección de dispositivos de actuación o actuadores, consiste en los dispositivos que recogen las señales de salida de la sección lógica y convierten o amplifican estas señales a una forma útil. Los más comunes son: arrancadores de motores, contactos automáticos, bobinas de solenoides y lámparas indicadoras.

En el pasado las funciones lógicas en la industria fueron realizadas casi exclusivamente por relevadores electromagnéticos. El relé o relevador, es un dispositivo electromecánico que funciona como un interruptor controlado por una bobina [2]. En la figura 1.2 se puede observar un relevador de la marca “SunHold” y su estructura interna. También se puede observar el símbolo eléctrico de este relevador.



Figura 1.2 Relevador electromagnético

En la actualidad los relevadores continúan utilizándose en un gran número de aplicaciones desde circuitos de protección de dispositivos hasta los populares dispositivos lógicos programables (PLC) utilizados en la automatización de maquinaria industrial, un ejemplo de un modelo se muestra en la figura 1.3.



Figura 1.3 PLC (Controlador Lógico Programable)

La principal ventaja de los relevadores es la completa separación eléctrica entre la corriente de accionamiento (la que circula por la bobina del electroimán) y los circuitos controlados por los contactos, lo que hace que se puedan manejar altos voltajes con pequeñas tensiones de control.

Sin embargo, al ser dispositivos esencialmente mecánicos, los relevadores tradicionales presentan la desventaja de requerir mayor mantenimiento que otros dispositivos utilizados en la conmutación de circuitos, como por ejemplo los transistores.

## **1.2 RELEVADORES DE ESTADO SÓLIDO**

Para solucionar la desventaja de los relevadores tradicionales, aparecieron hace algunos años los Relevadores de Estado Sólido (SSR) los cuales al no tener partes mecánicas no requieren mantenimiento, además de que si se operan dentro de los parámetros que marca el fabricante, su vida útil es mucho mayor [2],[3].

Además de la ventaja anteriormente mencionada, los SSR incorporan algunas otras, tales como: tienen velocidades de conmutación superiores a los relevadores electromecánicos y son inmunes a las vibraciones, lo que los hace dispositivos más confiables. Su fabricación se basa en tiristores o transistores.

## **1.3 TIRISTORES**

Son una serie de componentes semiconductores que poseen un conjunto de características que los hace ideales para trabajar en el control de grandes corrientes eléctricas. Este tipo de semiconductores tiene un gran campo de aplicación en la electrónica industrial o electrónica de potencia [2],[7]. Con ellos es posible controlar la potencia de receptores en C.C. (Corriente Continua) y en C.A. (Corriente Alterna), de esta forma es posible regular la velocidad de motores

eléctricos, controlar la intensidad luminosa de equipos de alumbrado, sustituir a los relés y contactos en el control, acondicionamiento de dispositivos de potencia, etc.

Los tiristores trabajan en forma de conmutación, es decir, poseen dos estados de funcionamiento: conducen y bloquean. De esta forma es posible controlar grandes corrientes eléctricas sin que el semiconductor se caliente excesivamente.

#### 1.4 SCR (RECTIFICADOR CONTROLADO DE SILICIO)

Es similar a un diodo rectificador, pero a este se le ha añadido una tercera terminal de puerta (ver figura 1.4), con la cual se consigue iniciar la conducción del mismo, conduce en un solo sentido.

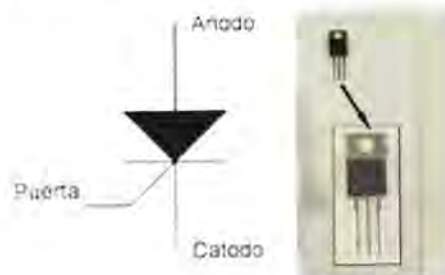


Figura 1.4 Símbolo del SCR

Algunas aplicaciones del SCR son: interruptor estático, sistema de control de fase, cargador de baterías, controlador de temperatura, sistema de luces de emergencia, controles de relevador, circuitos de retardo de tiempo, fuentes de alimentación reguladas, controles de motores, recortadores, inversores, ciclo-conversores, circuitos de protección, controles de calefacción, etc.

Los SCR no están preparados para ser activados por tensión de ruptura. Estos casi siempre se diseñan para cerrarse por disparo de puerta y bastará con reducir la corriente directa del ánodo mismo hasta un valor inferior a la de mantenimiento. La figura 1.5 muestra su estructura de construcción compuesta de cuatro capas: en dos capas contiene una cantidad de átomos donantes llamada tipo n (cargas negativas) y en dos capas de átomos aceptores llamados tipo p (cargas positivas). La figura 1.6 muestra la gráfica eléctrica correspondiente, donde el voltaje de ruptura directa sucede cuando  $V_{AK}$  (voltaje entre el ánodo y cátodo) es mayor que



0 sin disparar, el SCR se comporta como un circuito abierto hasta alcanzar el voltaje de ruptura directa, la región de conducción directa se produce cuando la puerta (G) y el cátodo (K) circula un impulso positivo de corriente comportándose como un diodo, en la región de bloqueo directa solo la recorre una débil corriente de fuga donde el voltaje del ánodo (A) y cátodo (k) se acercan a cero, en el caso de la región de bloqueo inversa es cuando  $V_{AK}$  es menor que cero, la región de conducción directa se genera cuando el voltaje del ánodo (A) es mayor que la del cátodo (k) y cuando en la puerta (G) y cátodo (K) circula un pulso positivo de corriente, el voltaje de ruptura inverso se genera cuando se sobrepasa el valor alto de voltaje inverso.

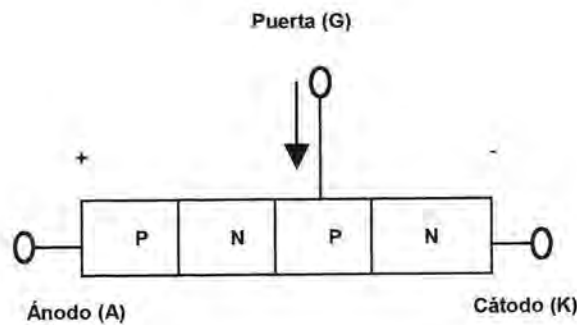


Figura 1.5 Estructura de cuatro capas, construcción básica del SCR.

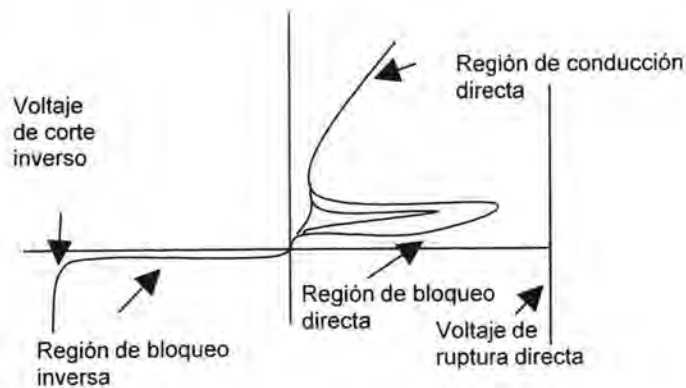


Figura 1.6 Gráfica del SCR

## 1.5 DIAC (DIODO PARA CORRIENTE ALTERNA)

El DIAC es un dispositivo semiconductor de dos conexiones o diodo bidireccional que conduce la corriente sólo tras haberse superado su tensión de disparo, y mientras la corriente circulante no sea inferior al valor característico para ese dispositivo. El comportamiento es fundamentalmente el mismo para ambas direcciones de la corriente. La mayoría de los DIAC tienen una tensión de disparo de alrededor de 30V. En este sentido, su comportamiento es similar a una lámpara de neón. Los DIAC se usan normalmente para disparar TRIAC y tiristores.

El DIAC es un dispositivo semiconductor de dos terminales, llamados MT1 y MT2 (terminal principal 1 y 2), se comporta como dos diodos conectados en serie, pero orientados en sentido opuesto, su símbolo se muestra en la figura 1.7a, su estructura está compuesta por cuatro capas conectados en paralelo y en oposición, figura 1.7b.

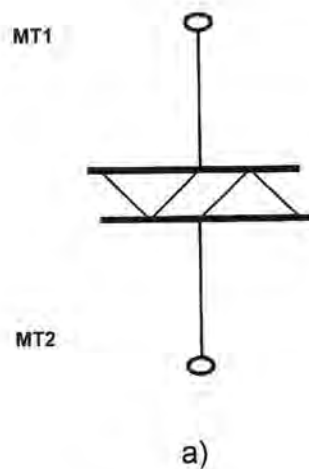


Figura 1.7 a) Símbolo del DIAC

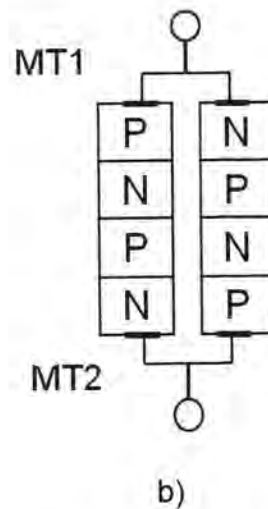


Figura 1.7 b) Estructura básica

## 1.6 TRIAC (TRÍODO PARA CORRIENTE ALTERNA)

El TRIAC solo se utiliza en la CA, es un dispositivo semiconductor perteneciente a la familia de los tiristores; es la conexión de dos tiristores en anti-paralelo compartiendo la misma compuerta.

El TRIAC se caracteriza por ser un semiconductor de tres terminales, que a diferencia del SCR permite el paso de la corriente en ambos sentidos (bidireccional), se utiliza en baja potencia y es utilizado en varias aplicaciones: atenuadores de luz, controles de velocidad para motores eléctricos y en sistemas de control computarizado.

Su símbolo (figura 1.8a) posee tres terminales y su comportamiento es como dos SCR invertidos en paralelo, su construcción física al igual que el DIAC, se forma al conectar en paralelo dos diodos de cuatro capas en oposición, con la diferencia que ahora se conserva la terminal común de puerta (figura 1.8b).

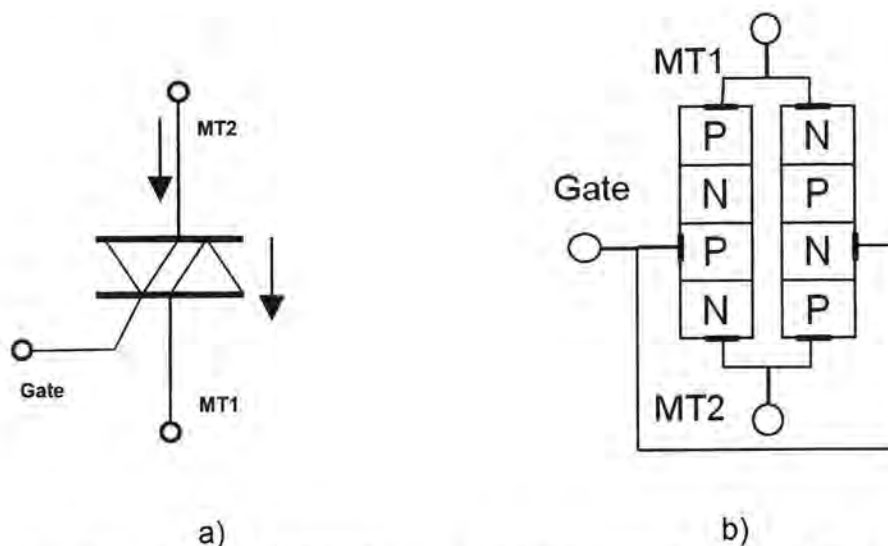


Figura 1.8 a) Símbolo del TRIAC,

b) Construcción básica del TRIAC

En la figura 1.9 se muestra la curva característica del TRIAC, donde la zona de disparo se encuentra en el cuadrante I y III en comparación con el SCR que la

zona de disparo se encuentra sólo en el cuadrante I, el estado activo del TRIAC se produce cuando se le aplica un pulso en la puerta (Gate), entra en un estado de conducción hasta que el voltaje entre terminales MT1 y MT2 (terminal principal 1 y 2) caiga a cero; un mínimo de corriente se debe de mantener para que el TRIAC siga conduciendo.

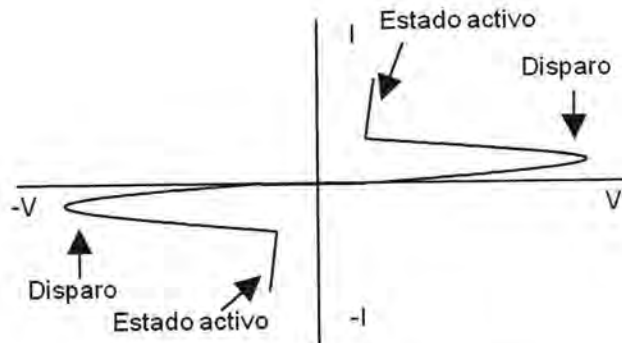


Figura 1.9 Curva característica del TRIAC

Para poder controlar la potencia de la carga es necesario controlar el ángulo de disparo del TRIAC por medio de una señal de PWM que se encuentre sincronizada con la señal de la línea, como se muestra en la figura 1.10, de esta manera se puede controlar el ángulo de disparo.

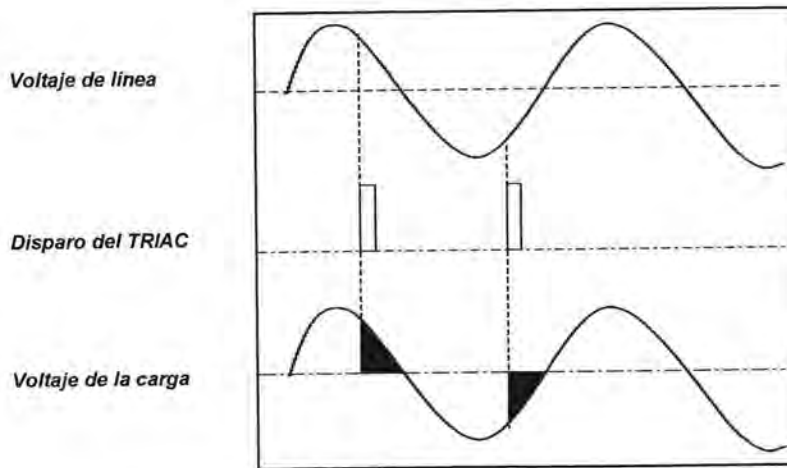


Figura 1.10 Control de voltaje de una carga de CA

Cuando ocurre un disparo al TRIAC, este comienza a conducir de nuevo hasta que cruza por cero. En esta situación es necesario sincronizar la señal de la línea con la señal PWM que se va a generar para el disparo del TRIAC. Para la sincronización es necesario detectar los cruces por cero.

### 1.7 FASE

El término fase se usa para indicar la relación de tiempo entre tensiones y corriente alterna. Se dice que la corriente alterna está en fase en un circuito cuando el voltaje (tensión) y corriente (amperaje) pasan de cero a máximo o de máximo a cero simultáneamente, es decir, si se trata de un circuito en esencia resistivo.

La salida de un generador simple de CA varía en forma de onda sinusoidal. Por lo tanto, si dos de estos generadores se ponen a funcionar, cada uno generará una salida sinusoidal completa después de una revolución. Si los generadores se hacen funcionar en el mismo instante y giran exactamente a la misma velocidad, las dos formas de onda comenzarán y terminarán simultáneamente. También alcanzarán sus valores máximos y pasarán por cero al mismo tiempo. Entonces se dice que las dos formas de onda "coinciden" entre sí y que las tensiones que representan están en fase, figura 1.11.

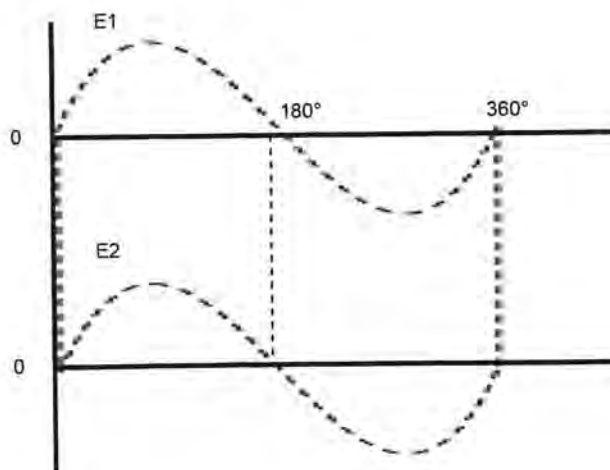


Figura 1.11 Fase de la CA

El que dos corrientes o tensiones estén en fase no significa que sus magnitudes sean iguales. Las magnitudes máximas se alcanzan al mismo tiempo, pero sus valores pueden ser diferentes. Aunque generalmente se usa el término fase para comparar la relación de tiempo de dos ondas, también se puede usar para indicar un punto de una onda en determinado instante.

### 1.8 DIFERENCIA DE FASE DE CA

Si dos generadores idénticos arrancan al mismo tiempo y giran a la misma velocidad, sus valores máximo y mínimo ocurrirán simultáneamente, de manera que ambas salidas estarán en fase. Pero si un generador se arranca después del otro, sus valores máximo y mínimo de salida ocurrirán después de los valores correspondientes al otro generador. En este último caso se dice que existe una diferencia de fase entre ambas salidas. La magnitud de la diferencia de fase depende de cuánto atraso tenga una salida con respecto a la otra. La diferencia de fase se puede expresar en fracciones de ciclo, sin embargo, la forma más exacta de medir la diferencia de fase es en grados.

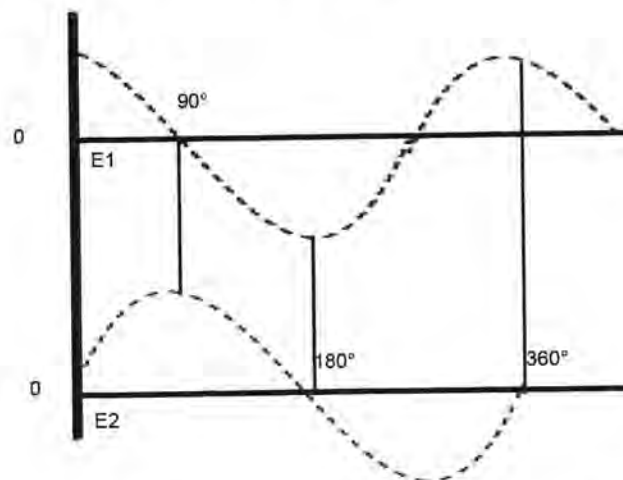


Figura 1.12 Diferencia de fase de la CA

Los términos adelantado y atrasado son usados para definir las posiciones relativas en el tiempo, de dos tensiones o corriente que estén fuera de fase. La que está anticipada en el tiempo, se dice que está adelantada, en tanto que la otra

estará atrasada, en este caso E1 (tensión 1) se encuentra adelantada en 90 grados de E2 (tensión 2) como se muestra en la figura 1.12.

Los tiristores de control de fase son los SCR, operan a la frecuencia de línea, y se desactivan por conmutación natural. Los tiristores modernos utilizan una compuerta amplificadora, en la que se dispara un tiristor auxiliar mediante una señal de compuerta al tiristor principal.

### 1.9 ÁNGULO DE CONDUCCIÓN Y DE DISPARO

El ángulo de conducción se refiere al número de grados de un ciclo de CA durante los cuales el SCR está en operación.

El ángulo de disparo se refiere al tiempo que se espera desde el cruce por cero hasta la generación del impulso de compuerta.

La suma del ángulo de disparo con el ángulo de conducción debe ser de  $180^\circ$  (valor en grados de un semiciclo).

La mayoría de los SCR requieren una corriente de compuerta entre 0.1 y 50mA. Dado que existe una unión PN estándar entre la compuerta y el cátodo, el voltaje entre estas terminales debe ser ligeramente mayor a 0.6V. La figura 1.13 muestra el ángulo de disparo de un SCR de 60 grados.

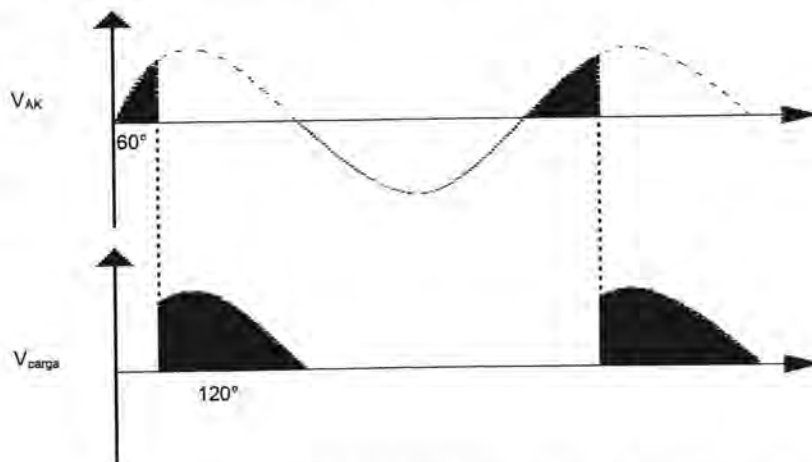


Figura 1.13 Angulo de disparo de  $60^\circ$  de un SCR.

Cuando  $V_{AK}$  (voltaje que circula del ánodo al cátodo) cae a cero, el SCR se ha disparado o encendido. Por lo tanto, en este caso el ángulo de retardo de disparo es de  $60^\circ$ . Durante los siguientes  $120^\circ$  el SCR se comporta como un interruptor cerrado sin voltaje aplicado a sus terminales. El ángulo de conducción es de  $120^\circ$ . El ángulo de retardo de disparo y el ángulo de conducción siempre suman  $180^\circ$ .

Otros de los tiristores es el TRIAC que puede conducir en ambas direcciones, y normalmente se utiliza en el control de fase de CA (controladores de voltaje de CA). Se pueden considerar como si fueran dos SCR conectados en anti-paralelo.



# **CAPÍTULO II**

## **MODULACIÓN POR ANCHO DE PULSO PWM**

## **2.1 AMPLIFICADORES OPERACIONALES**

Anteriormente se le conocía con el nombre de Amplificador Operacional a los primeros amplificadores de tubo de vacío de alta ganancia diseñados para realizar operaciones matemáticas de adición, sustracción, multiplicación, división, diferenciación e integración [3]-[6]. Además conectándolos podían resolver ecuaciones diferenciales.

El actual sucesor de los anteriores amplificadores es el amplificador operacional integrado lineal. Éste trabaja con voltajes más bajos y se encuentra en diversas formas especializadas. El amplificador operacional es de bajo costo, de tal forma que la cantidad que anualmente se adquiere asciende a millones de unidades.

Algunas de sus aplicaciones en nuestros días están en los campos de acondicionamiento de señales, control de procesos, comunicaciones, computadoras, fuentes de potencia, pantallas de visualización y sistemas de prueba y medición.

## **2.2 TERMINALES DE UN AMPLIFICADOR OPERACIONAL**

Un amplificador operacional (comúnmente abreviado A.O. u op-amp), es un circuito electrónico (normalmente se presenta como circuito integrado) que tiene dos entradas y una salida. La salida es el resultado de la operación de las dos entradas multiplicada por un factor  $G$  (ganancia).

El símbolo de circuito de un amplificador operacional es una punta de flecha que representa la alta ganancia y apunta, de la entrada a la salida, en dirección del flujo de la señal. Los amplificadores operacionales tienen cinco terminales básicas: dos para alimentación, dos para las señales de entrada y una para la salida, como se observa en la figura 2.1.

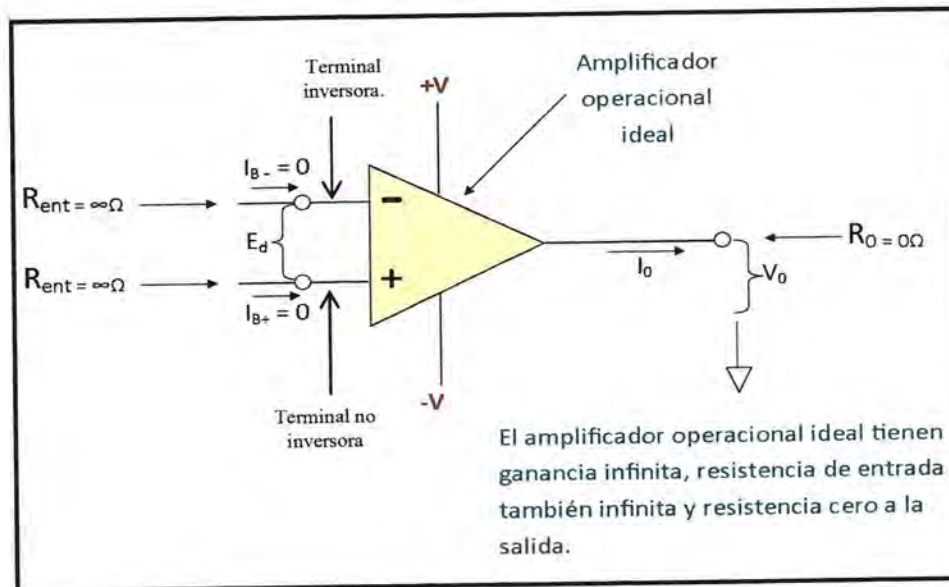


Figura 2.1. Terminales de un amplificador operacional ideal.

En este trabajo de tesis se usará el amplificador operacional LM324 el cual tiene las siguientes características:

- El LM324 soporta en sus terminales de alimentación voltajes de hasta 32V o  $\pm 16$  V.
- El voltaje suministrado a las terminales de entrada (Inversora y no inversora) puede ser de -0.3 a 32V.
- Puede soportar corrientes de entrada de hasta 500 mA. *Para mayor información consulte la hoja de especificaciones del fabricante.*

El diagrama del LM324 puede observarse en la figura 2.2.

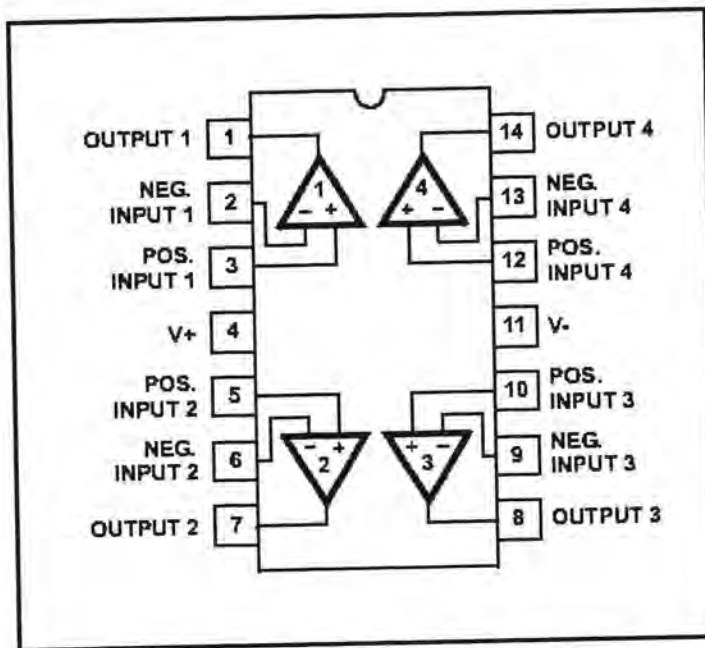


Figura 2.2. El LM324.

Este es generalmente, usado para realizar operaciones matemáticas como suma, resta, derivación, etc. El circuito integrado LM324, consta de 4 amplificadores operacionales.

### 2.3 DETECTORES DE NIVEL DE VOLTAJE

La figura 2.3 muestra un detector de nivel de voltaje. Como se puede ver en esta figura, a una de las terminales del amplificador operacional se aplica un voltaje positivo de referencia ( $V_{ref}$ ); esto quiere decir que el amplificador operacional está conectado como un comparador para registrar el voltaje positivo. Si el voltaje  $E_i$ , que se va a detectar, se aplica a la terminal (+) del amplificador operacional, el resultado es un detector no inversor de nivel positivo. Su operación se indica mediante las formas de onda de la figura 2.3, y se resume como sigue:

- Cuando  $E_i > V_{ref}$ ,  $V_o = +V_{sat}$
- Cuando  $E_i < V_{ref}$ ,  $V_o = -V_{sat}$ .

$E_i$ =voltaje de entrada,  $V_{ref}$ = voltaje de referencia,  $V_o$ = voltaje de salida,  $+V_{sat}$ = voltaje de saturación positivo,  $-V_{sat}$ = voltaje de saturación negativo.

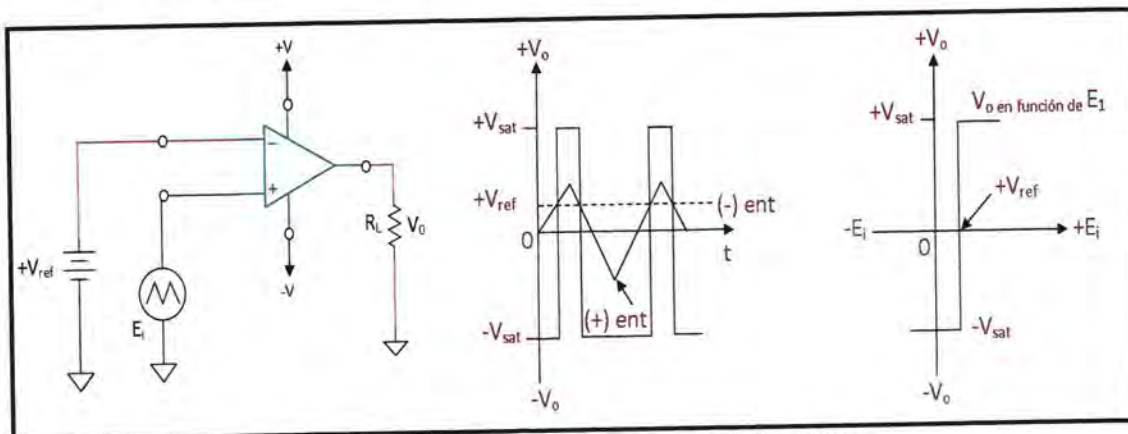


Figura 2.3. Detector no inversor de nivel positivo.

Si  $E_i$  (voltaje de entrada) se aplica a la entrada inversora como en la figura 2.4, el circuito es un detector inversor de nivel positivo. Su operación puede resumirse de siguiente manera y mediante las formas de onda de la figura 2.4:

- Cuando  $E_i > V_{ref}$ ,  $V_o = -V_{sat}$ .
- Cuando  $E_i < V_{ref}$ ,  $V_o = +V_{sat}$

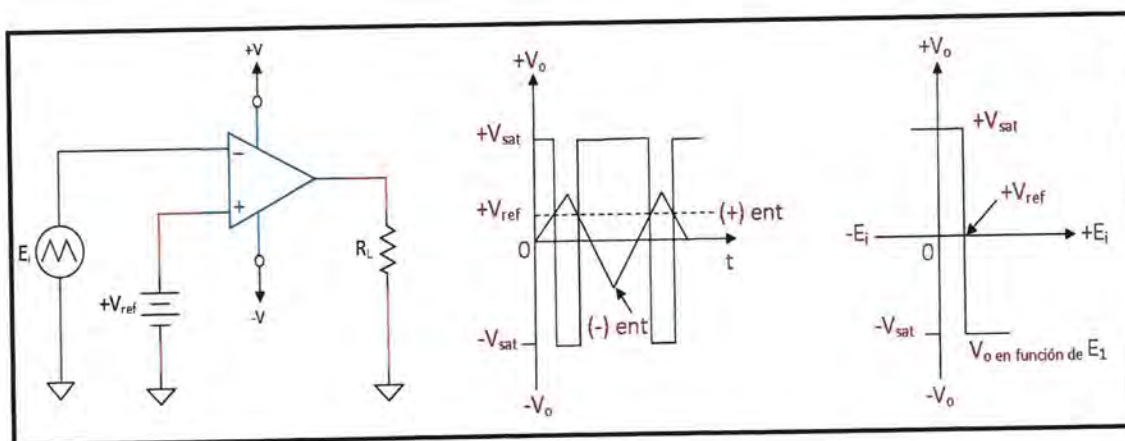


Figura 2.4. Detector inversor de nivel positivo.

## 2.4 AMPLIFICADOR OPERACIONAL INTEGRADOR

La función principal de este circuito es realizar la integración de la señal de entrada ( $V_i$ ). Su principio de funcionamiento depende, al menos, de un elemento de almacenamiento de energía, en lugar de utilizar un resistor se utiliza un capacitor como se muestra en la figura 2.5, a la conexión resultante se le denomina integrador.

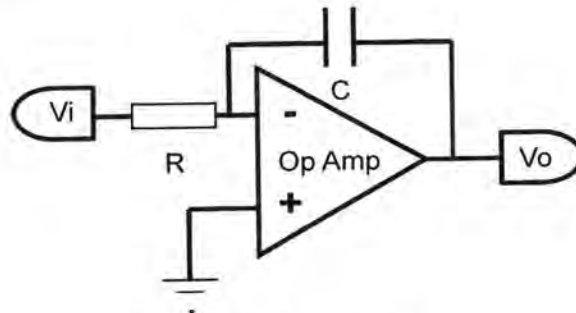


Figura 2.5. Integrador.

Una de las aplicaciones del integrador es convertir una forma de onda cuadrada en triangular. Un circuito integrador realiza un proceso de suma llamado "integración". La tensión de salida del circuito integrador es proporcional al área bajo la curva de entrada (onda de entrada), para cualquier instante.

## 2.5 AMPLIFICADOR OPERACIONAL RESTADOR

El amplificador restador (figura 2.6) tiene como función principal hallar la diferencia entre dos señales de entrada ( $V_1$  y  $V_2$ ). Este circuito es ampliamente utilizado en los esquemas de control, principalmente en el lazo de retroalimentación donde se requiere hallar el error entre la salida y una referencia.

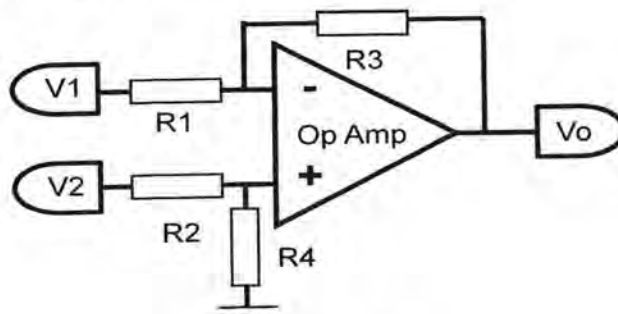


Figura 2.6. Restador.

## 2.6 AMPLIFICADOR OPERACIONAL SEGUIDOR

La figura 2.7 ilustra un circuito amplificador operacional seguidor, el cual proporciona a la salida la misma tensión de entrada. Este circuito es utilizado como un buffer para eliminar efectos de carga o para adoptar impedancias. Una de las principales ventajas de este circuito es que su impedancia de entrada es alta y la salida es nula, lo cual puede ser útil para leer tensión de un sensor con una intensidad muy baja y realizar medidas de tensión lo más exactas posibles.

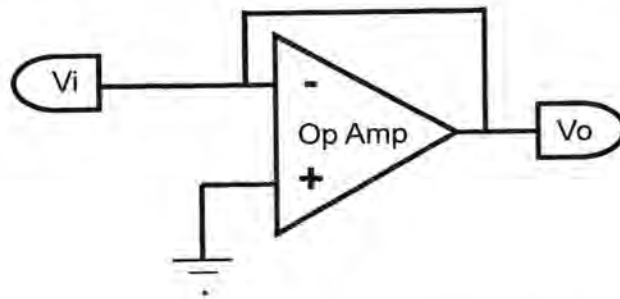


Figura 2.7 Amplificador operacional seguidor

## 2.7 CONTROLADOR DE CARGAS DE CORRIENTE ALTERNA

Si un tiristor conmutador (TRIAC) se conecta entre la alimentación de CA y la carga, es posible controlar el flujo de potencia variando el valor RMS (raíz media cuadrática) del voltaje de CA aplicado a la carga; este tipo de circuito de potencia se conoce como un controlador de voltaje de CA [2],[7]. Las aplicaciones más comunes de los controladores de voltaje de CA son: calefacción industrial, control de luces, control de la velocidad de motores de inducción polifásicos, etc.. Generalmente en el control de cargas se utilizan dos tipos de control: Control "On-Off" y Control de ángulo de fase [9]. En el control "On-Off" se permite el paso de la corriente durante algunos ciclos y se suspende durante otros (figura 2.8a). El promedio entre ciclos encendidos y ciclos apagados determina el valor de la potencia suministrada a la carga. En el control por fase (figura 2.8b) se permite el paso de la energía durante un determinado tiempo (ángulo de conducción) y durante otro tiempo se suspende el paso de la energía (ángulo de disparo). El

promedio durante un ciclo determina el valor de la potencia suministrada a la carga.

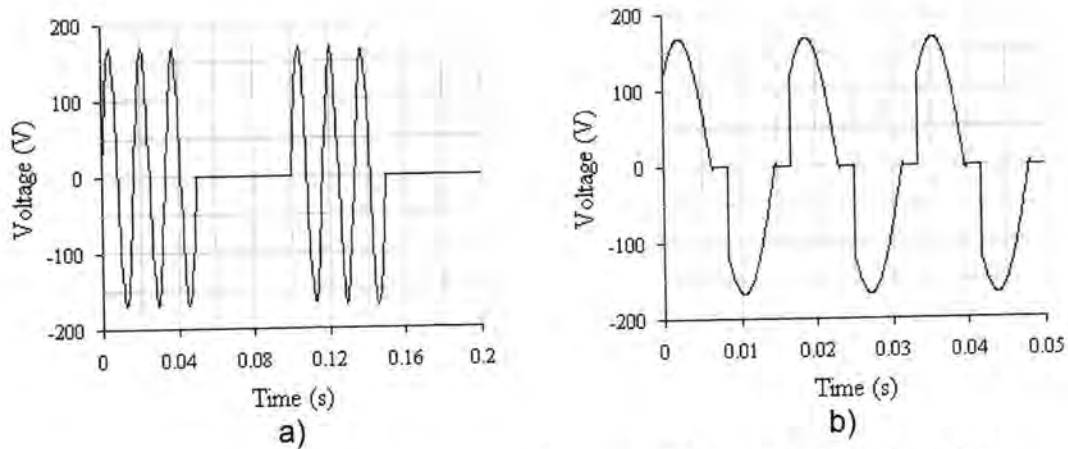


Figura 2.8 Tipos de control con tiristores. a) "On-Off", b) Control por fase

Existen varias técnicas para el control de la velocidad en los motores de CA. La más usada es el control por fase, su principal inconveniente es la limitación del ángulo de disparo, lo cual afecta en el rango de voltaje eficaz aplicado al motor. Existen circuitos que pueden ampliar el ángulo de disparo del tiristor empleado, sin embargo, causan errores de linealidad en el control. Actualmente se han desarrollado diversas técnicas de control aplicables a sistemas no lineales, una de ellas es la modulación por ancho de pulso (PWM), la cual tienen diversas aplicaciones tales como: convertidores conmutados, balastos electrónicos, inversores, variadores de velocidad, entre otros.

## 2.8 COMPARADOR PWM

La modulación por ancho de pulso (MAP o PWM) de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica (una sinusoidal o una cuadra), ya sea para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga [8].

La construcción típica de un circuito PWM se lleva a cabo mediante un comparador con dos entradas y una salida. Una de las entradas se conecta a un



oscilador de onda dientes de sierra, mientras que la otra queda disponible para la señal moduladora. En la salida, la frecuencia es generalmente igual a la de la señal dientes de sierra, y el ciclo de trabajo está en función de la portadora.

La principal desventaja que presentan los circuitos PWM, es la posibilidad de que haya interferencias generadas por radiofrecuencias. Éstas pueden minimizarse ubicando el controlador cerca de la carga y realizando un filtrado de la fuente de alimentación.

Algunos parámetros importantes de un PWM son:

- La relación de amplitudes entre la señal portadora y la moduladora, siendo recomendable que la última no supere el valor pico de la portadora y esté centrada en el valor medio de ésta.
- La relación de frecuencias, donde en general se recomienda que la relación entre la frecuencia de la portadora y la señal sea de 10 a 1.

# **CAPÍTULO III**

## **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CIRCUITO DE CONTROL DE TEMPERATURA**

### 3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta el diseño e implementación de un circuito de control lineal de cargas de CA basado en un relevador de estado sólido con optoacoplador. Se presentan las simulaciones y el proceso de implementación del prototipo. En la primera fase se implementó en *protoboard* y posteriormente se implementó un circuito impreso del prototipo. A continuación se describen cada etapa que conforman el circuito.

### 3.2 PUENTE RECTIFICADOR

En la figura 3.1 se muestra el circuito rectificador utilizando, el cual consiste en un generador de voltaje de 6Vrms, 60Hz de corriente alterna y un puente rectificador armado con 4 diodos (1N4001), la función de este circuito consiste en convertir la corriente alterna en continua mediante la polarización directa en el semiciclo positivo. En este circuito, una de las salidas es conectada a tierra, la tensión saliente es regulada por el divisor resistivo formado por la resistencia de 10kΩ misma que es conectada a tierra.

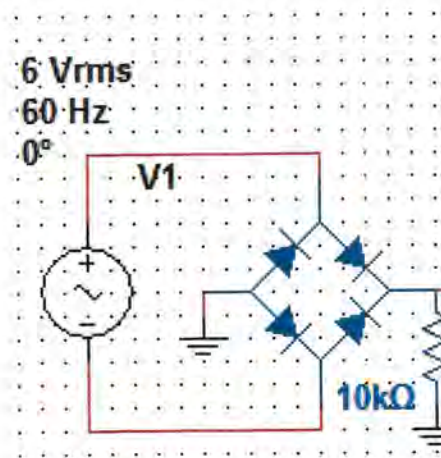


Figura 3.1. Circuito rectificador

Como resultado (figura 3.2) se obtiene una señal rectificada de onda completa. Esta señal servirá de base para generar una rampa sincronizada con la línea de CA.

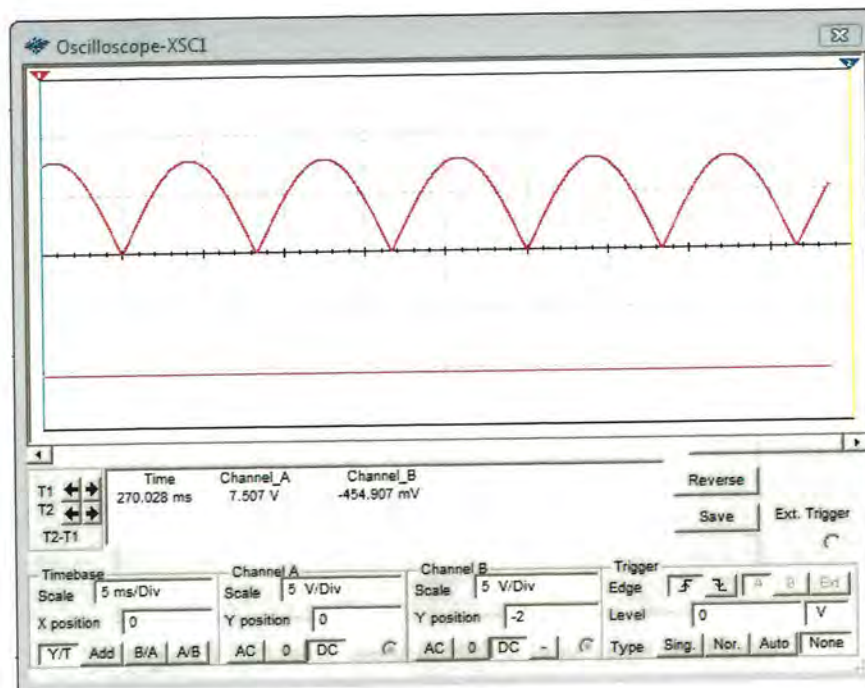


Figura 3.2. Señal rectificada sincronizada con línea

### 3.3 CIRCUITO COMPARADOR

Después de generar la señal rectificada de onda completa en el primer circuito, la señal es introducida a un amplificador operacional comparador (figura 3.3), convirtiéndola en una señal cuadrada también sincronizada con la línea. La amplitud del pulso cuadrado dependerá del nivel de referencia establecido. En este caso se empleó un potenciómetro (calibrado al 98% de su valor nominal) para generar el voltaje de referencia. Dado que el amplificador operacional se alimenta con un voltaje de 12V, el pulso de salida tendrá esta amplitud (figura 3.4).

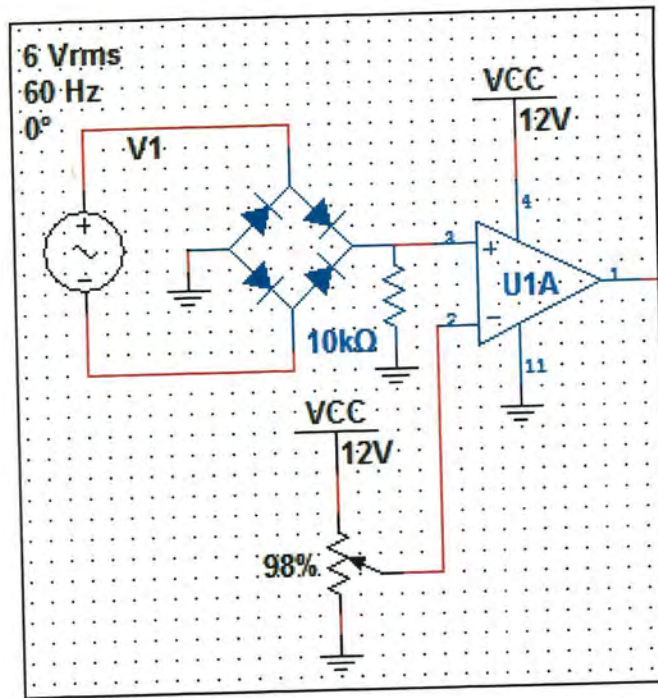


Figura 3.3. Circuito comparador de la senoidal rectificada

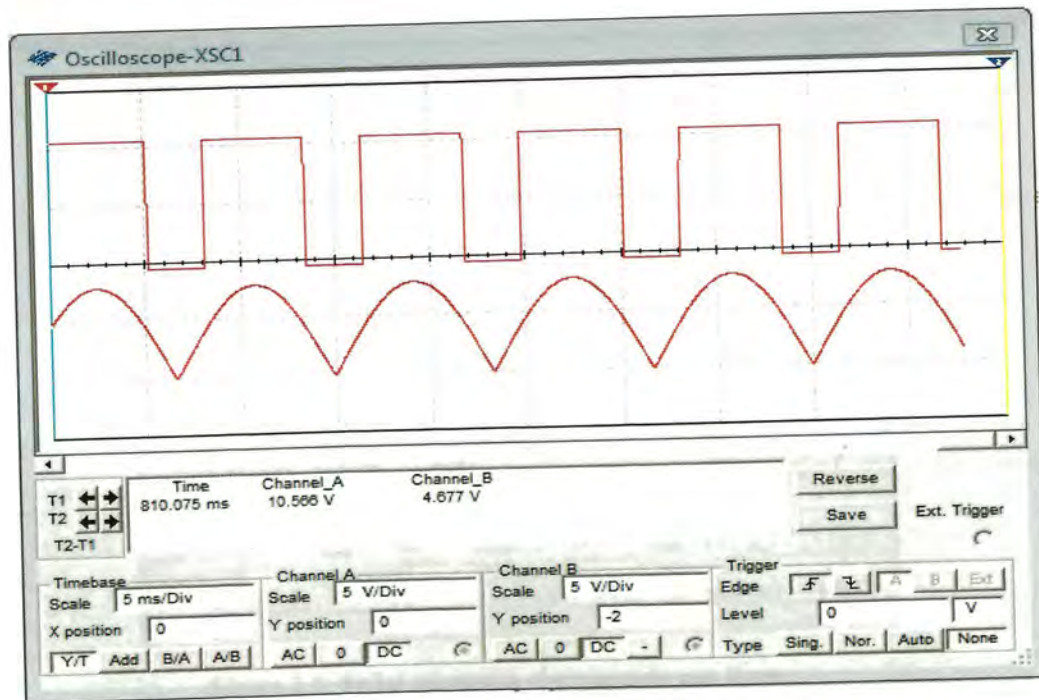


Figura 3.4. Señal cuadrada sincronizada con línea

### 3.4 CIRCUITO INTEGRADOR

En la figura 3.5 se muestra un circuito integrador el cual tiene como función convertir la señal cuadrada generada anteriormente en una señal triangular (necesaria para el control PWM). En este circuito se empleó un capacitor de 100nF y un resistor de 100kΩ. La señal que se obtiene es una señal triangular sincronizada con la línea de CA (figura 3.6).

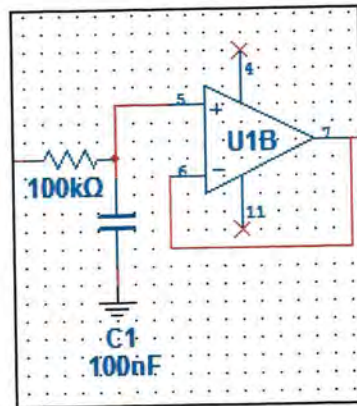


Figura 3.5. Circuito integrador

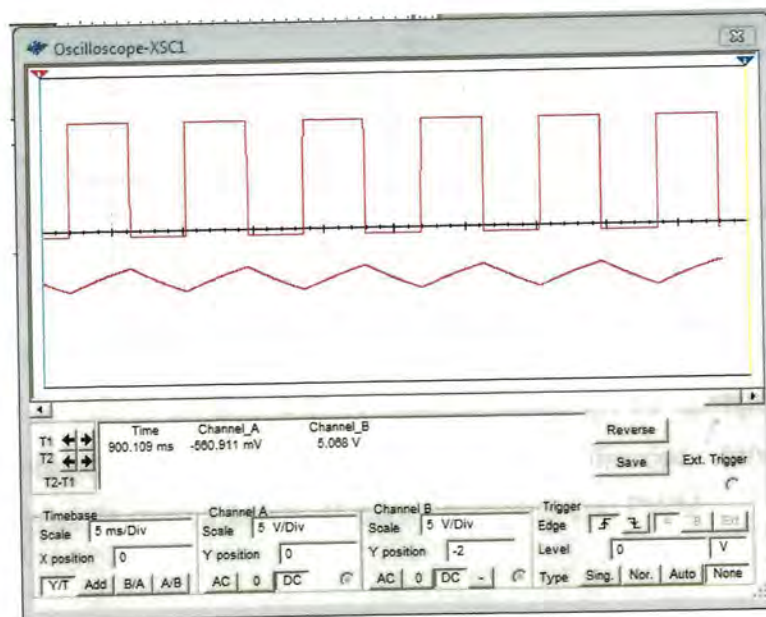


Figura 3.6. Señal de rampa sincronizada con línea

### 3.5 CIRCUITO PARA LA GENERACIÓN DE LA SEÑAL DE RAMPA LINEAL

La rampa generada en el circuito anterior aún requiere acondicionamiento para poder generar un patrón de PWM. En la figura 3.7 se muestra el circuito completo para la generación de la señal de rampa lineal. Después del circuito integrador que genera una señal de rampa, esa señal es conectada a un amplificador restador cuya ajuste es controlado por un potenciómetro (calibrado al 15%). Posteriormente la tensión de salida es conectada a un amplificador operacional seguidor y este a la vez es acondicionando posteriormente a un circuito amplificador controlado por otro potenciómetro a un 36% de valor nominal.

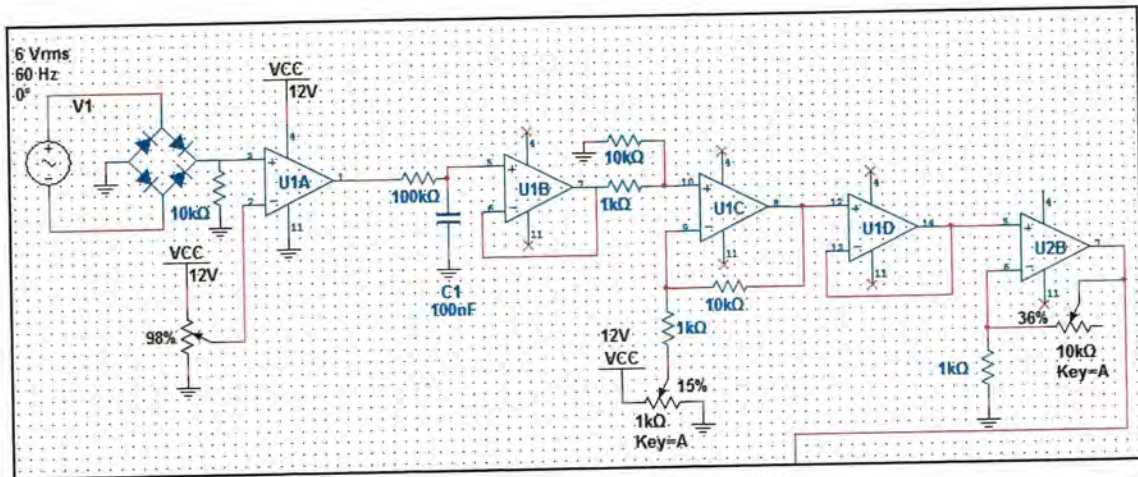


Figura 3.7 Circuito completo del generador de rampa sincronizada con línea

En la figura 3.8 se muestra la señal obtenida del circuito completo (figura 3.7), obtenida luego de utilizar amplificadores operacionales en su configuración como comparador, integrador, restador, seguidor y amplificador, teniendo como resultado una señal de rampa lineal útil para un control tipo PWM.

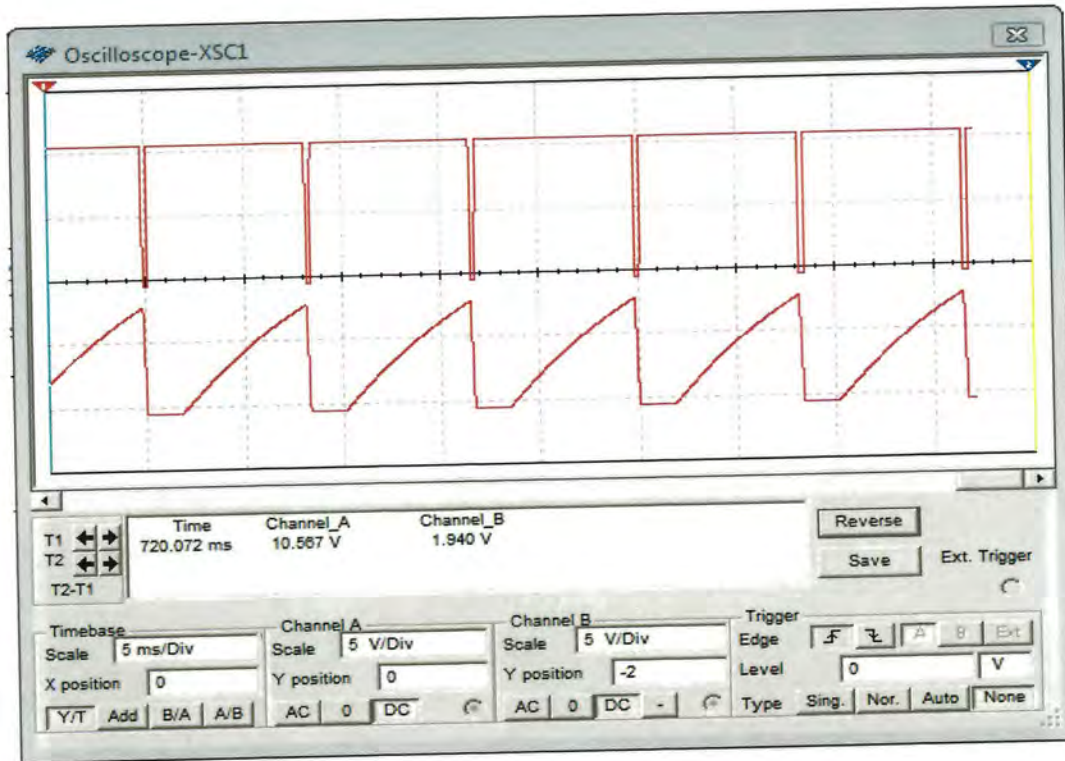


Figura 3.8. Rampa lineal sincronizada con la línea de CA

En la figura 3.9. Se muestra la implementación del circuito en el *protoboard* ajustando cada elemento electrónico para su correcto funcionamiento y realizando las pruebas con los resultados obtenidos antes de pasar a la siguiente etapa para el diseño del circuito impreso.



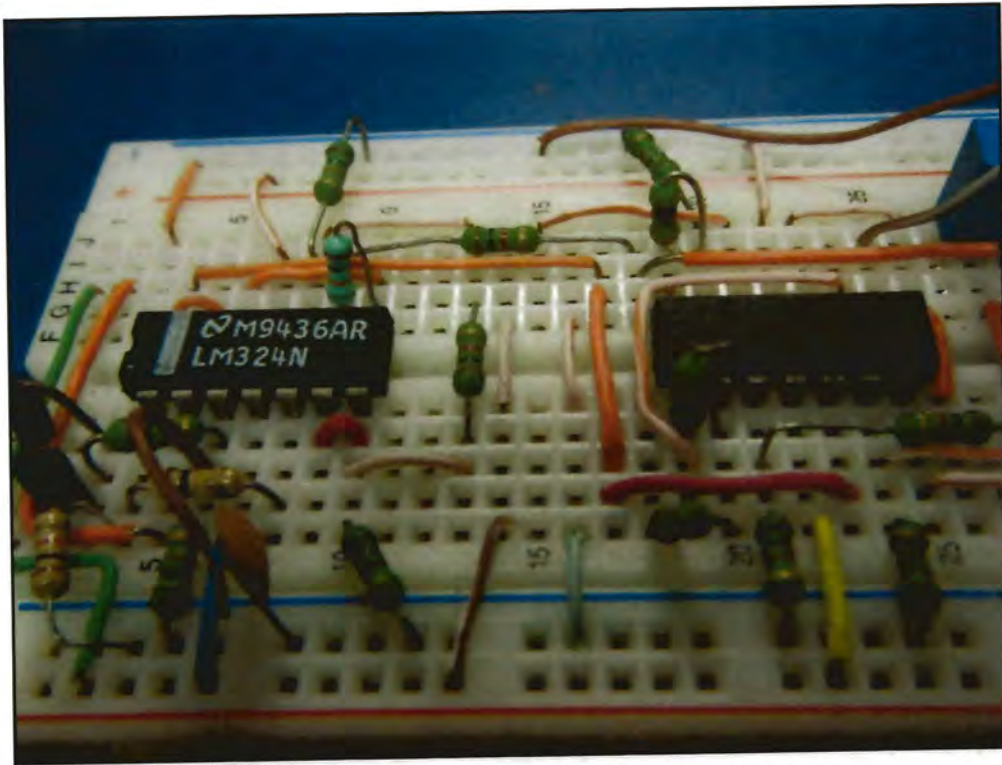


Figura 3.9 Implementación del circuito en el *protoboard*.

En la figura 3.10 se presenta la implementación del prototipo en circuito impreso; se muestra la cara inferior de la placa. En el impreso se realizó las soldaduras de las patillas de los diferentes elementos electrónicos.

En esta etapa se utilizó: la placa, estaño, grasa para soldar, algunos tornillos para darle soporte a los transformadores y el caudín. El diseño del circuito fue realizado con la herramienta *Ultiboard* para optimizar espacio y distribución de los elementos.

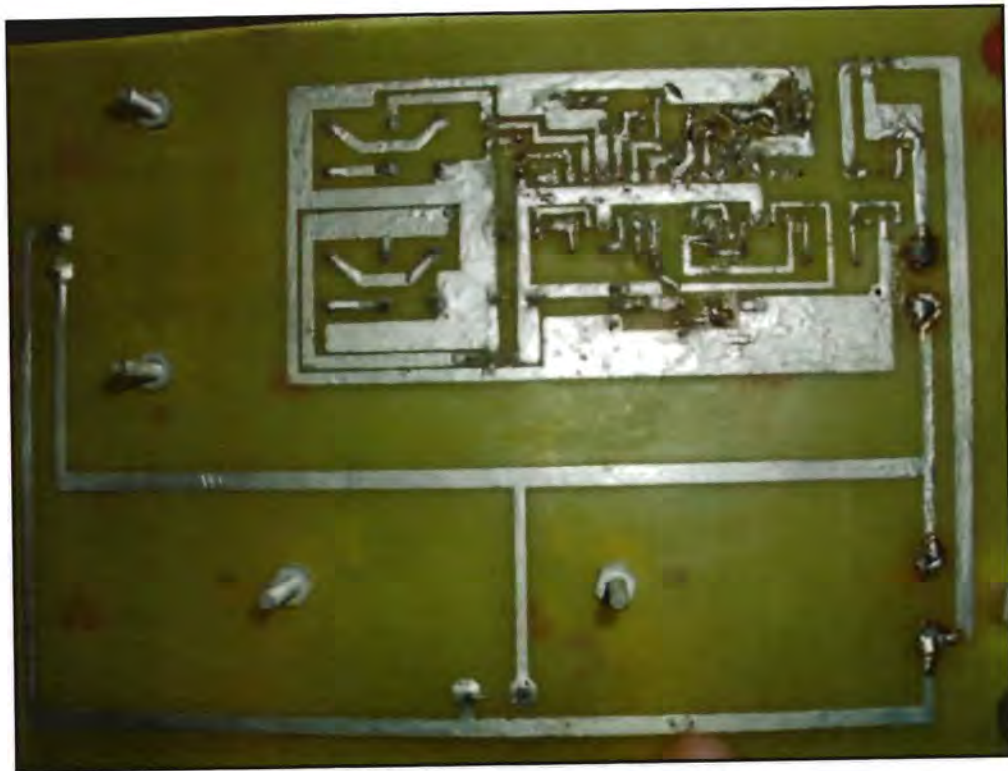


Figura 3.10 Circuito impreso parte inferior.

Se procuró tener cuidado con el sistema de tierras y el grosor de las líneas del impreso ya que al combinar señales de baja tensión (del operacional) y de alta tensión (la salida del TRIAC) existen interferencias.

La figura 3.11 muestra la vista superior del prototipo, en ella se puede apreciar la distribución física de los componentes. Se nota la existencia de dos transformadores (TRAFO): el más pequeño de ellos se utiliza para generar la señal que será convertida en rampa y el de mayor tamaño es el transformador principal de la fuente de alimentación.

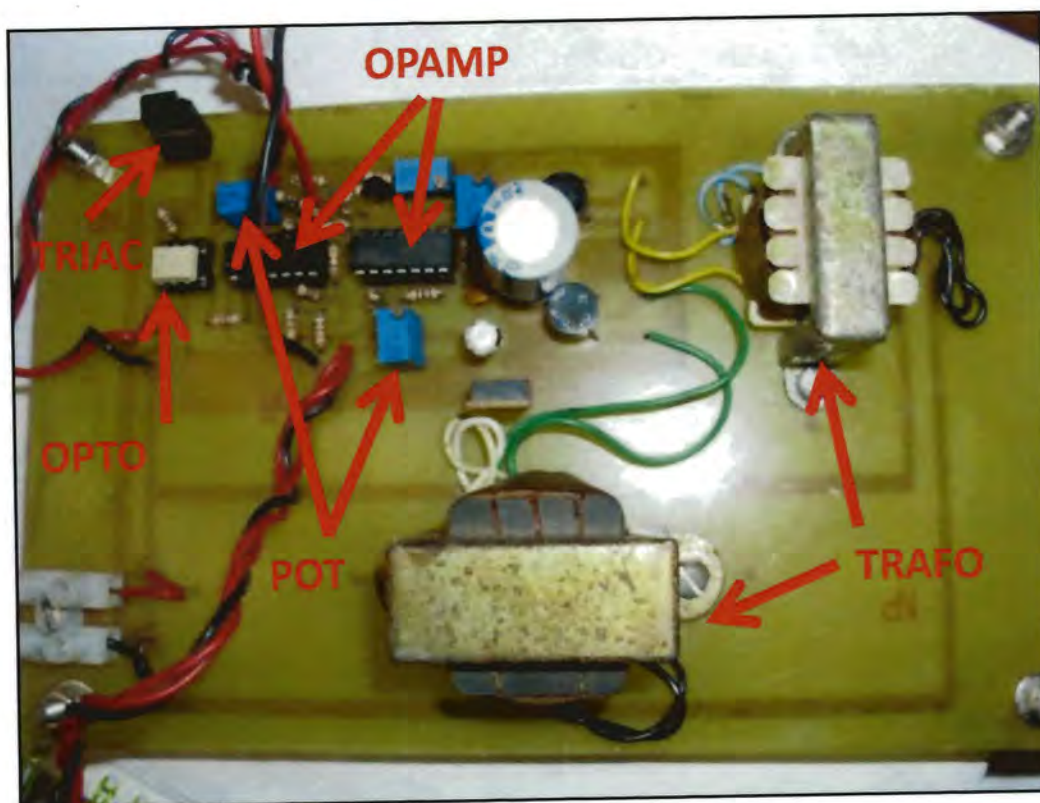


Figura 3.11 Circuito impreso parte frontal.

También se puede apreciar el TRIAC en conjunto con su circuito de disparo (OPTO) chip de color blanco, los 4 potenciómetros de precisión (POT) en color azul y los amplificadores operacionales (OPAMP) en color negro.

Una de las pruebas realizadas con el circuito de control fue empleando un foco de 100 watts como carga (figura 3.12), mismo que fue conectado en las salidas del TRIAC. Una vez conectado el foco se graduó el potenciómetro de control a diferentes valores. Se observó una variación de la intensidad de encendido del foco.



Figura 3.12 Prueba realizada con el foco.

El potenciómetro de control no va fijo al circuito impreso ya que será el que establezca un punto de control, por lo que se ha dejado con una extensión de cables para poder montarse en gabinete.

De igual manera se realizaron prueba con un motor de CA (ventilador) observando variaciones en la velocidad en función de la posición del potenciómetro de control (figura 3.13).

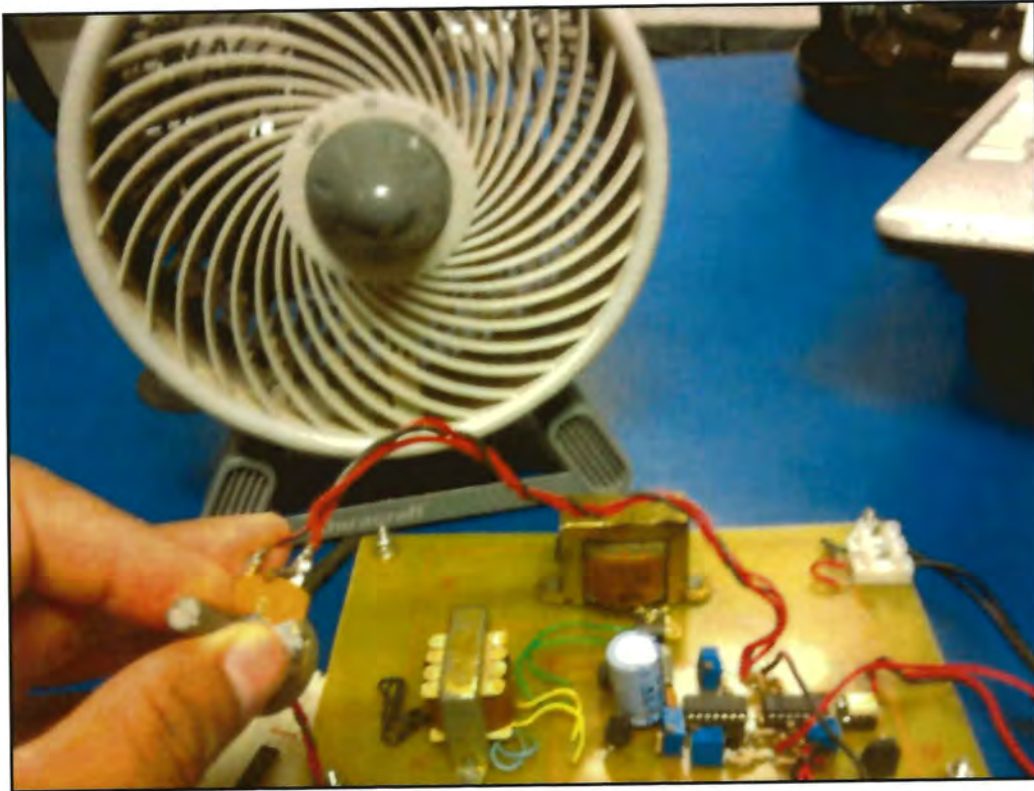


Figura 3.13 Prueba realizada con el ventilador.

Estas pruebas preliminares se realizaron para verificar de manera funcional el comportamiento del sistema. En el siguiente capítulo se presenta las mediciones y pruebas completas del sistema.

# **CAPÍTULO IV**

## **RESULTADOS EXPERIMENTALES**

#### 4.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta los resultados experimentales del prototipo implementado. Se emplearon algunos instrumentos de medición como son: multímetro digital, osciloscopio, *Scopmeter* entre otros.

#### 4.2 SEÑAL RECTIFICADA DE ONDA COMPLETA Y SEÑAL CUADRADA

Como se mencionó en el capítulo anterior, el objetivo es obtener una rampa sincronizada con línea que se pueda aplicar a un comparador que genere el control PWM.

En la figura 4.1 se muestran las señales obtenidas después de la primera etapa de rectificación y comparación. La gráfica B muestra la señal rectificada de onda completa obtenida del puente de diodos y la gráfica A la señal cuadrada obtenida en el primer circuito comparador. Estas son obtenidas al realizar las conexiones necesarias en el circuito impreso, ambas señales darán continuidad al circuito para lograr generar la señal de rampa lineal requerida para el control PWM. Cabe señalar que estas señales fueron similares a las obtenidas en las simulaciones realizadas en el capítulo III.

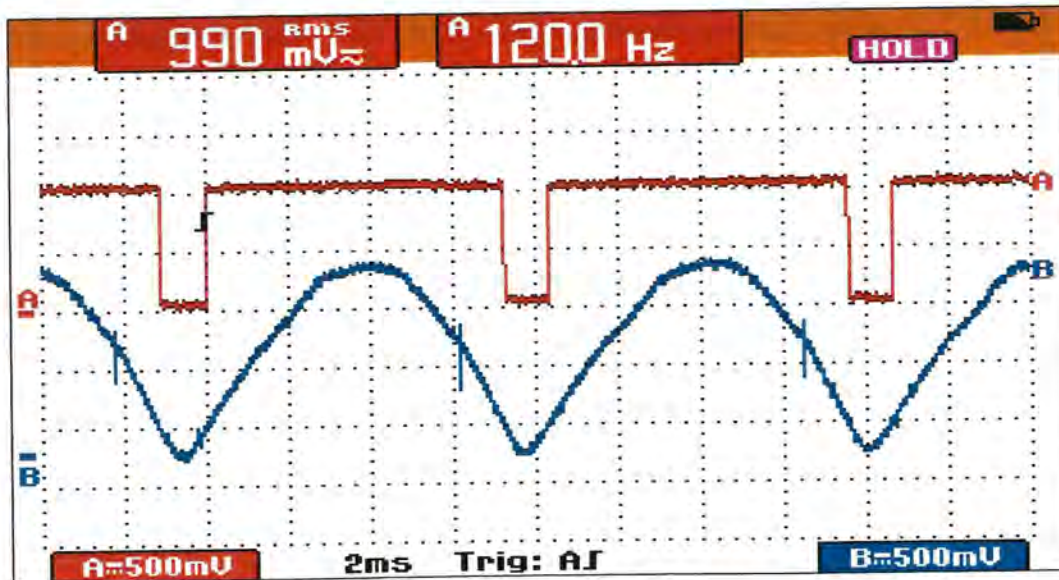


Figura 4.1 Señal rectificada de entrada y señal cuadrada comparada

### 4.3 SEÑAL INTEGRADA

La figura 4.2 presenta la señal obtenida después del circuito integrador (Gráfica A). Se puede observar que la rampa obtenida ya está sincronizada con la línea de CA (Gráfica B). Sin embargo como ya se ha mencionado, la rampa aún se encuentra con una componente de corriente directa y un valor reducido. Para corregir ambas anomalías, es necesario primero restar la componente de CD y posteriormente amplificarla.

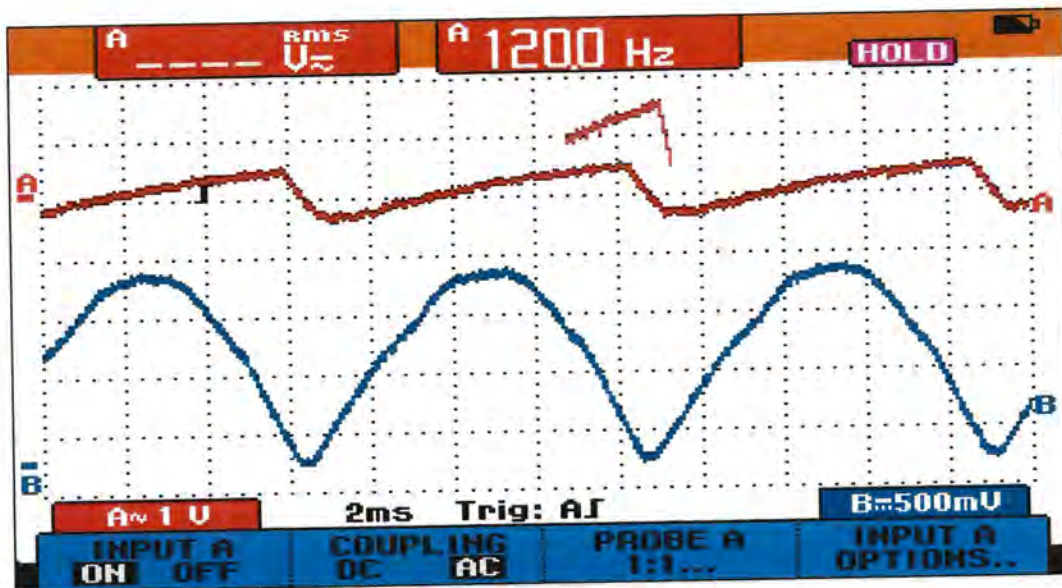


Figura 4.2 Señal integrada y señal rectificada de onda completa.

### 4.4 SEÑAL DE RAMPA LINEAL SINCRONIZADA CON LÍNEA DE CA

Después del proceso de resta y amplificación de la rampa, se obtiene una señal con un nivel adecuado. En la figura 4.3 se presenta la señal de rampa lineal acondicionada (Gráfica "A") simultáneamente con la señal rectificada de onda completa (Gráfica "B"). Esta señal de rampa lineal será comparada con los datos del circuito del sensor de temperatura para generar el patrón PWM del control de fase lineal.



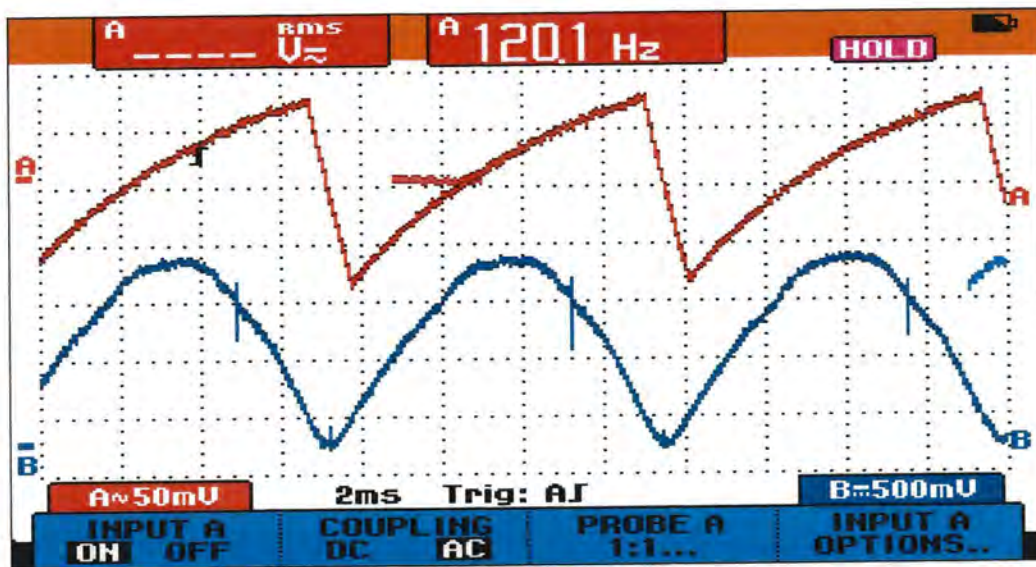


Figura 4.3 Señal de rampa lineal acondicionada y señal rectificada de onda completa.

#### 4.5 SEÑAL DE SALIDA

Al aplicar esta señal al TRIAC, podemos variar el voltaje eficaz sobre la carga, variando de esta forma la potencia que se aplica. La figura 4.4 muestra la forma de onda en la carga cuando se segmenta parte de la señal senoidal de entrada.

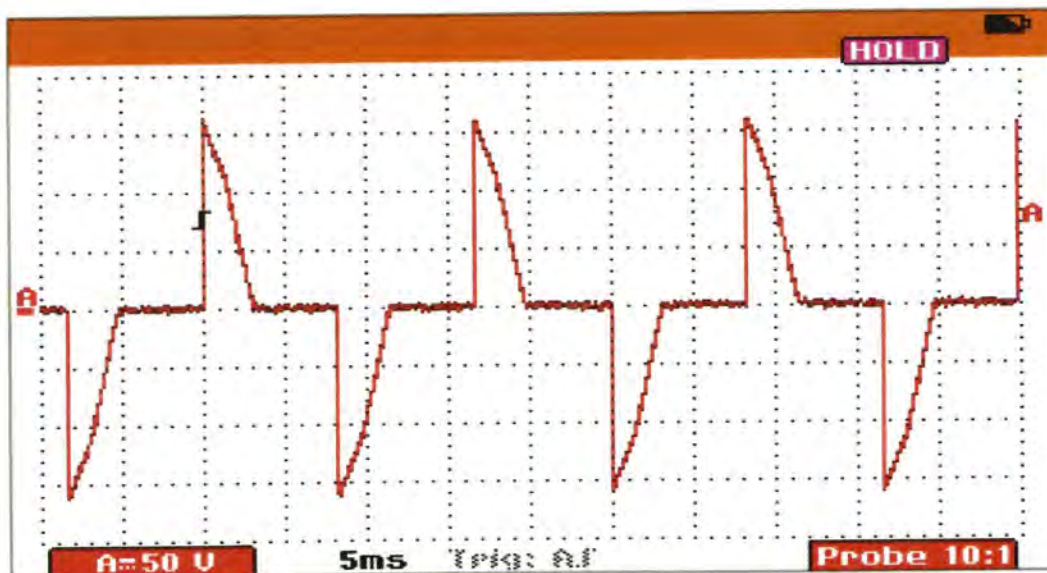


Figura 4.4 Señal senoidal segmentada.

La figura 4.5 presenta simultáneamente la señal de control PWM (A) con la señal de salida (B), se puede notar la sincronía de los pulsos con la segmentación de la onda. Dicha segmentación existe para ambos ciclos, tanto positivos como negativos, manteniendo la simetría de la forma de onda que es necesaria para el control de motores.

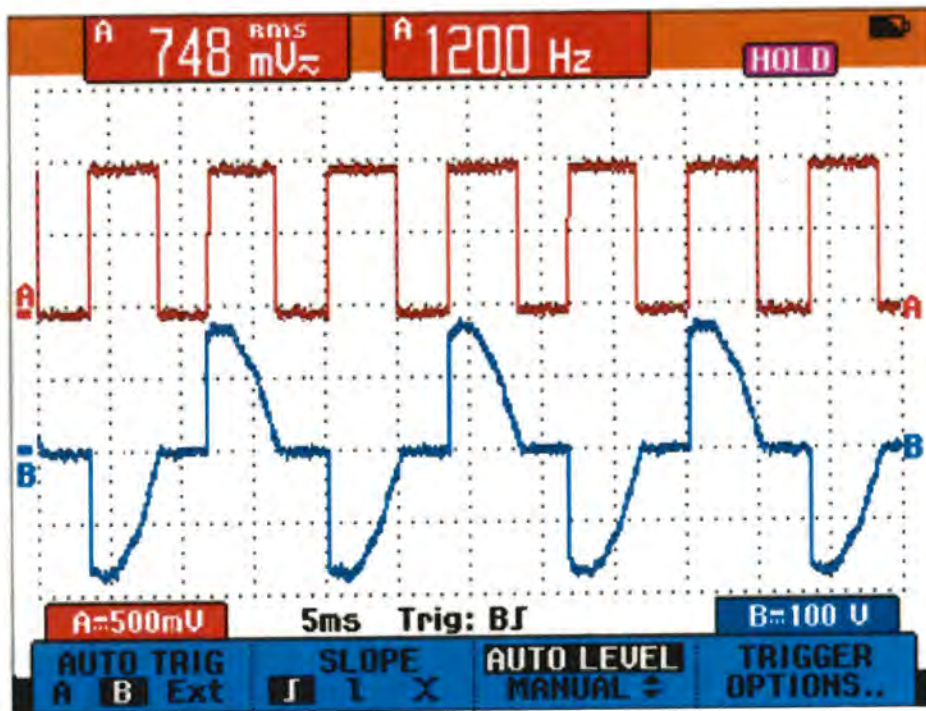


Figura 4.5 Patrón PWM y señal senoidal segmentada para un ángulo de  $80^\circ$

En la figura anterior se ajustó un ángulo de disparo de  $80^\circ$ . En la figura 4.6 se muestra las mismas gráficas pero para un ángulo de disparo de  $100^\circ$ , reduciendo con ello el ángulo de conducción y por consecuencia la potencia suministrada.

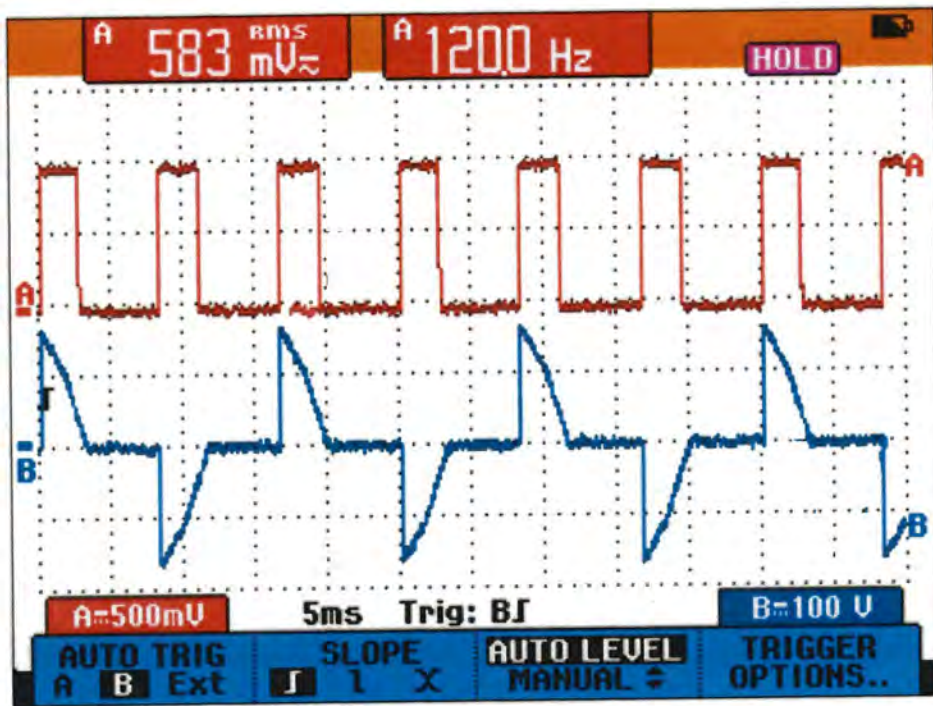


Figura 4.6 Patrón PWM y señal senoidal segmentada para un ángulo de 100°.

Para cargas resistivas, también conocidas como cargas lineales, no existe un desplazamiento entre el voltaje y la corriente. La figura 4.7 muestra ambas señales para el caso de una carga resistiva.

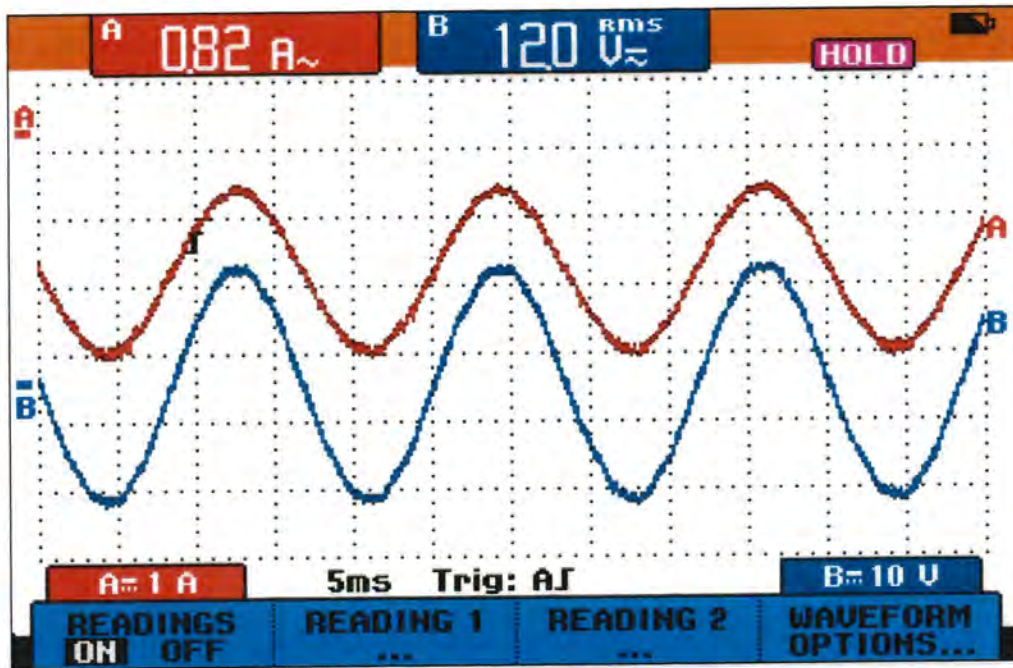


Figura 4.7 Señales de corriente y voltaje para una carga lineal.

Sin embargo cuando la carga tiene algún componente no lineal (p.e. capacitores e inductores), existe un desplazamiento entre las formas de corriente y voltaje. La figura 4.8 muestra ambas formas de onda para el caso de cargas no lineales. Se puede notar un atraso entre las señales.

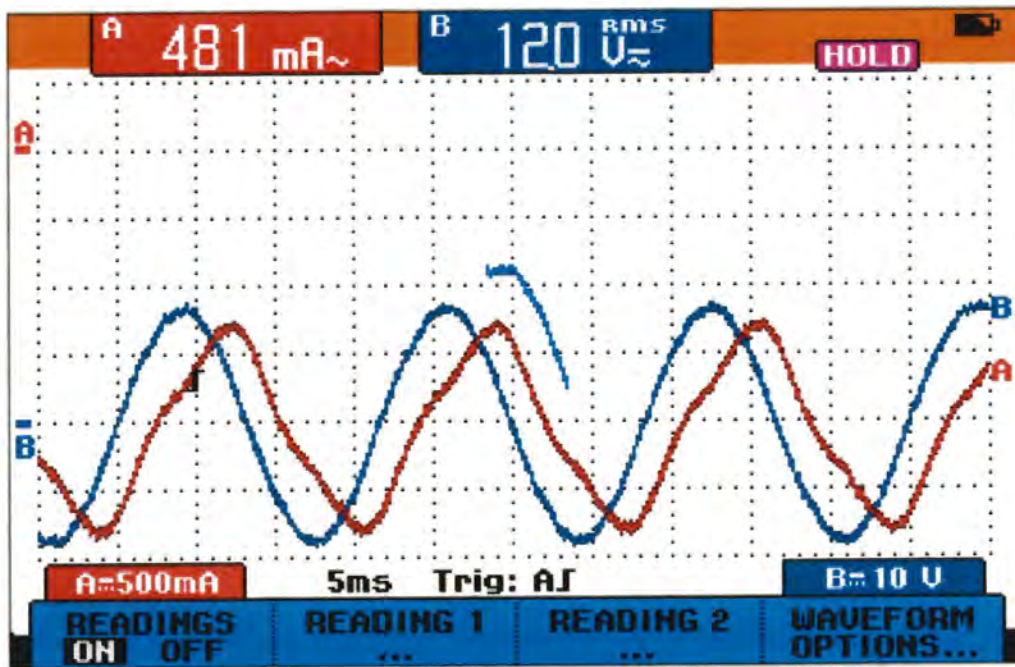


Figura 4.8 Señales de corriente y voltaje para una carga no lineal.

Al producirse este efecto de desplazamiento, se pierde la sincronía del control PWM, no logrando con esto un control de potencia adecuado. La figura 4.9 muestra dos casos donde se tiene una carga no lineal y produce la pérdida de sincronía. En estos casos no es factible el uso de este control.

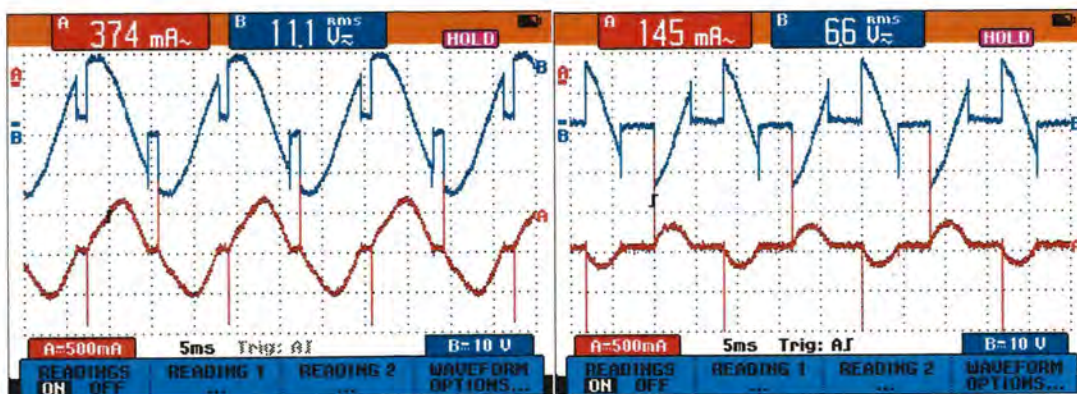


Figura 4.9 Formas de onda de corriente y voltaje con pérdida de sincronía.

## CONCLUSIONES

En el control de las cargas de corriente alterna (parrillas, taladros, ventiladores, focos, planchas etc.) se han empleado varias técnicas. Dentro de ellas destacan dos: control "On-Off" y control de fase.

El control de fase se basa en la segmentación de la senoidal de entrada de tal manera que se controla el voltaje eficaz entregado a la carga.

El control de fase tiene la limitante en la linealidad. Además las técnicas empleadas no manejan un control de todo el rango de un semiciclo ( $0^{\circ}$ - $180^{\circ}$ ).

Este trabajo presenta una forma innovadora de controlar las cargas de corriente alterna, logrando un esquema lineal para todo el rango de control en un semiciclo ( $0^{\circ}$ - $180^{\circ}$ ). La forma de lograrlo es generando una rampa sincronizada con la línea de corriente alterna.

El proceso de transformación se logra mediante amplificadores operacionales que acondicionan una señal rectificadora de onda completa la cual está sincronizada con la línea. El empleo de un transformador y puente de diodos es el primer paso para la generación de la rampa lineal sincronizada con la línea.

Se implementó un prototipo que emplea el control lineal de fase. Se presentaron y analizaron los resultados. Cabe señalar que el control funciona de manera adecuada para cargas resistivas y motores pequeños. Ante cargas inductivas y capacitivas, se pierde la sincronía y no es posible el control de la potencia transferida.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] BOYLESTAD Robert L. y NASHELSKY Louis, Fundamentos de Electrónica, México, Prentice-Hall, Inc. 4ª. Edición, 1997, 573.
- [2] MALONEY Timothy J., Electrónica Industrial Moderna, México, D.F., Prentice-Hall, 1997, 832.
- [3] BOYLESTAD Robert L. y NASHELSKY Louis, Electrónica. Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos, México, D.F., Pearson Educación, 8ª edición, 2003, 982.
- [4] HAMBLEY Allan R., Electrónica, España, Pearson Educación, 2ª. Edición, 2001, 928.
- [5] ALCALDE Pablo, Principios Fundamentales de Electrónica, España, Thomson Editores Spain, 4ª. Edición, 2001, 561.
- [6] PRAT Lluís, Circuitos y Dispositivos Electrónicos, Fundamentos de Electrónica, México, D.F., Alfaomega Grupo Editor, 6ª. Edición, 2001, 459.
- [7] H. RASHID Muhammad, Electrónica de Potencia, Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones, México, D.F., Pearson Education, 3ª. Edición, 2004, 904.
- [8] HICKEY Henry, Elementos de Electrónica, Colombia, Alfaomega Grupo Editor, 1996, 676.
- [9] GUALDA Juan, Electrónica Industrial, Técnicas de Potencia, Colombia, 2ª. Edición, Alfaomega, 1998, 477.
- [10] González Juan, Circuitos Electrónicos con Amplificadores Operacionales, Barcelona, España, Editorial Marcombo, 2001.
- [11] Coughlin Robert, Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales, México, D.F., Prentice All, 5ª Edición, 1999
- [12] Alcalde Pablo, Electrotecnia, Impreso en España, 1ª Edición, Editorial Parainfo.
- [13] Harper Enríquez, Electrónica Básica, Impreso en México, 1ª Edición, Editorial Limusa.
- [14] Henri Lilen, Tiristores y Triacs, España, 2ª Edición, Marcombo, 1986.

[15] Couedic Marc, Circuitos integrados para Tiristores y Triacs, España, Marcombo, 1999.

[16] Valderrama José, Información Tecnológica, Volumen 11, 2000.



# **ANEXOS**

**Hojas de datos de los diferentes componentes  
electrónicos utilizados en este proyecto**



Order this document by LM324/D

## Quad Low Power Operational Amplifiers

The LM324 series are low-cost, quad operational amplifiers with true differential inputs. They have several distinct advantages over standard operational amplifier types in single supply applications. The quad amplifier can operate at supply voltages as low as 3.0 V or as high as 32 V with quiescent currents about one-fifth of those associated with the MC1741 (on a per amplifier basis). The common mode input range includes the negative supply, thereby eliminating the necessity for external biasing components in many applications. The output voltage range also includes the negative power supply voltage.

- Short Circuited Protected Outputs
- True Differential Input Stage
- Single Supply Operation: 3.0 V to 32 V
- Low Input Bias Currents: 100 nA Maximum (LM324A)
- Four Amplifiers Per Package
- Internally Compensated
- Common Mode Range Extends to Negative Supply
- Industry Standard Pinouts
- ESD Clamps on the Inputs Increase Ruggedness without Affecting Device Operation

### MAXIMUM RATINGS ( $T_A = +25^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted.)

| Rating   | Symbol                       | LM224<br>LM324, LM324A | LM2902,<br>LM2902V         | Unit             |
|--|------------------------------|------------------------|----------------------------|------------------|
| Power Supply Voltages<br>Single Supply<br>Split Supplies | $V_{CC}$<br>$V_{CC}, V_{EE}$ | 32<br>$\pm 16$         | 26<br>$\pm 13$             | Vdc              |
| Input Differential<br>Voltage Range (See<br>Note 1)      | $V_{IDR}$                    | $\pm 32$               | $\pm 26$                   | Vdc              |
| Input Common Mode<br>Voltage Range                       | $V_{ICR}$                    | -0.3 to 32             | -0.3 to 26                 | Vdc              |
| Output Short Circuit<br>Duration                         | $t_{SC}$                     | Continuous             |                            |                  |
| Junction Temperature                                     | $T_J$                        | 150                    |                            | $^\circ\text{C}$ |
| Storage Temperature<br>Range                             | $T_{stg}$                    | -65 to +150            |                            | $^\circ\text{C}$ |
| Operating Ambient<br>Temperature Range                   | $T_A$                        | -25 to +85<br>0 to +70 | -40 to +105<br>-40 to +125 | $^\circ\text{C}$ |

NOTE: 1. Split Power Supplies.

## LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V

### QUAD DIFFERENTIAL INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

#### SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

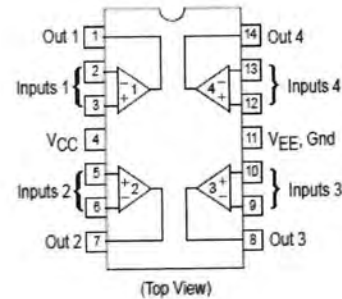


**N SUFFIX**  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 646  
(LM224, LM324,  
LM2902 Only)



**D SUFFIX**  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 751A  
(SO-14)

### PIN CONNECTIONS



### ORDERING INFORMATION

| Device   | Operating<br>Temperature Range            | Package     |
|----------|---|-------------|
| LM2902D  | $T_A = -40^\circ$ to $+105^\circ\text{C}$ | SO-14       |
| LM2902N  |   | Plastic DIP |
| LM2902VD | $T_A = -40^\circ$ to $+125^\circ\text{C}$ | SO-14       |
| LM2902VN |   | Plastic DIP |
| LM224D   | $T_A = -25^\circ$ to $+85^\circ\text{C}$  | SO-14       |
| LM224N   |   | Plastic DIP |
| LM324AD  | $T_A = 0^\circ$ to $+70^\circ\text{C}$    | SO-14       |
| LM324AN  |   | Plastic DIP |
| LM324D   |   | SO-14       |
| LM324N   |   | Plastic DIP |

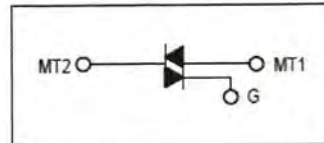
**MAC218FP  
Series  
MAC218AFP  
Series**

**ISOLATED TRIACs  
THYRISTORS  
8 AMPERES RMS  
200 thru 800 VOLTS**

**Triacs**  
**Silicon Bidirectional Thyristors**

... designed primarily for full-wave ac control applications, such as light dimmers, motor controls, heating controls and power supplies.

- Blocking Voltage to 800 Volts
- Glass Passivated Junctions for Greater Parameter Uniformity and Stability
- Isolated TO-220 Type Package for Ease of Mounting
- Gate Triggering in Three Modes (MAC218FP Series) or Four Modes (MAC218AFP Series)



CASE 221C-02  
STYLE 3

**MAXIMUM RATINGS** ( $T_J = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted.)

| Rating   | Symbol       | Value                    | Unit                 |
|--|--------------|--------------------------|----------------------|
| Peak Repetitive Off-State Voltage <sup>(1)</sup> ( $T_J = -40$ to $+125^\circ\text{C}$ )<br>(1/2 Sine Wave 50 to 60 Hz, Gate Open) | $V_{DRM}$    | 200<br>400<br>600<br>800 | Volts                |
| On-State RMS Current ( $T_C = +80^\circ\text{C}$ ) Full Cycle Sine Wave 50 to 60 Hz <sup>(2)</sup>                                 | $I_{T(RMS)}$ | 8                        | Amps                 |
| Peak Non-repetitive Surge Current (One Full Cycle, 60 Hz, preceded and followed by rated current, $T_C = 80^\circ\text{C}$ )       | $I_{TSM}$    | 100                      | Amps                 |
| Circuit Fusing ( $t = 8.3$ ms)   | $i^2t$       | 40                       | $\text{A}^2\text{s}$ |
| Peak Gate Power ( $T_C = +80^\circ\text{C}$ , Pulse Width = $2 \mu\text{s}$ )  | $P_{GM}$     | 16                       | Watts                |
| Average Gate Power ( $T_C = +80^\circ\text{C}$ , $t = 8.3$ ms)   | $P_{G(AV)}$  | 0.35                     | Watt                 |
| Peak Gate Current (Pulse Width = $1 \mu\text{s}$ )   | $I_{GM}$     | 4                        | Amps                 |
| RMS Isolation Voltage ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ , Relative Humidity $\leq 20\%$ )   | $V_{(ISO)}$  | 1500                     | Volts                |
| Operating Junction Temperature   | $T_J$        | $-40$ to $+125$          | $^\circ\text{C}$     |
| Storage Temperature Range  | $T_{stg}$    | $-40$ to $+150$          | $^\circ\text{C}$     |

**THERMAL CHARACTERISTICS**

| Characteristic                          | Symbol          | Max       | Unit               |
|---|-----------------|-----------|--------------------|
| Thermal Resistance, Junction to Case    | $R_{\theta JC}$ | 2.2       | $^\circ\text{C/W}$ |
| Thermal Resistance, Case to Sink        | $R_{\theta CS}$ | 2.2 (typ) | $^\circ\text{C/W}$ |
| Thermal Resistance, Junction to Ambient | $R_{\theta JA}$ | 60        | $^\circ\text{C/W}$ |

## Axial Lead Standard Recovery Rectifiers

This data sheet provides information on subminiature size, axial lead mounted rectifiers for general-purpose low-power applications.

### Mechanical Characteristics

- Case: Epoxy, Molded
- Weight: 0.4 gram (approximately)
- Finish: All External Surfaces Corrosion Resistant and Terminal Leads are Readily Solderable
- Lead and Mounting Surface Temperature for Soldering Purposes: 220°C Max. for 10 Seconds, 1/16" from case
- Shipped in plastic bags, 1000 per bag.
- Available Tape and Reeled, 5000 per reel, by adding a "RL" suffix to the part number
- Polarity: Cathode Indicated by Polarity Band
- Marking: 1N4001, 1N4002, 1N4003, 1N4004, 1N4005, 1N4006, 1N4007

**1N4001  
thru  
1N4007**

1N4004 and 1N4007 are  
Motorola Preferred Devices

**LEAD MOUNTED  
RECTIFIERS  
50-1000 VOLTS  
DIFFUSED JUNCTION**



### MAXIMUM RATINGS

| Rating  | Symbol                          | 1N4001           | 1N4002 | 1N4003 | 1N4004 | 1N4005 | 1N4006 | 1N4007 | Unit             |
|---|---------------------------------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------|
| *Peak Repetitive Reverse Voltage<br>Working Peak Reverse Voltage<br>DC Blocking Voltage                                 | $V_{RRM}$<br>$V_{RWM}$<br>$V_R$ | 50               | 100    | 200    | 400    | 600    | 800    | 1000   | Volts            |
| *Non-Repetitive Peak Reverse Voltage<br>(halfwave, single phase, 60 Hz)   | $V_{RSM}$                       | 60               | 120    | 240    | 480    | 720    | 1000   | 1200   | Volts            |
| *RMS Reverse Voltage  | $V_{R(RMS)}$                    | 35               | 70     | 140    | 280    | 420    | 560    | 700    | Volts            |
| *Average Rectified Forward Current<br>(single phase, resistive load,<br>60 Hz, see Figure 8, $T_A = 75^\circ\text{C}$ ) | $I_O$                           | 1.0              |        |        |        |        |        |        | Amp              |
| *Non-Repetitive Peak Surge Current<br>(surge applied at rated load<br>conditions, see Figure 2)                         | $I_{FSM}$                       | 30 (for 1 cycle) |        |        |        |        |        |        | Amp              |
| Operating and Storage Junction<br>Temperature Range   | $T_J$<br>$T_{stg}$              | - 65 to +175     |        |        |        |        |        |        | $^\circ\text{C}$ |

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS\*

| Rating   | Symbol      | Typ         | Max      | Unit          |
|--|-------------|-------------|----------|---------------|
| Maximum Instantaneous Forward Voltage Drop<br>( $I_F = 1.0$ Amp, $T_J = 25^\circ\text{C}$ ) Figure 1           | $V_F$       | 0.93        | 1.1      | Volts         |
| Maximum Full-Cycle Average Forward Voltage Drop<br>( $I_O = 1.0$ Amp, $T_L = 75^\circ\text{C}$ , 1 inch leads) | $V_{F(AV)}$ | —           | 0.8      | Volts         |
| Maximum Reverse Current (rated dc voltage)<br>( $T_J = 25^\circ\text{C}$ )<br>( $T_J = 100^\circ\text{C}$ )    | $I_R$       | 0.05<br>1.0 | 10<br>50 | $\mu\text{A}$ |
| Maximum Full-Cycle Average Reverse Current<br>( $I_O = 1.0$ Amp, $T_L = 75^\circ\text{C}$ , 1 inch leads)      | $I_{R(AV)}$ | —           | 30       | $\mu\text{A}$ |

## KA336-5.0/B/KA236-5.0

## PROGRAMMABLE SHUNT REGULATOR

### PROGRAMMABLE SHUNT REGULATOR

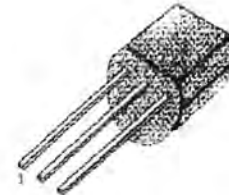
The KA336-5.0/B integrated circuits are precision 5.0V shunt regulators. The monolithic IC voltage references operate as a low temperature coefficient 5.0V zener with 0.6ohm dynamic impedance. A third terminal on the KA336-5.0/B allow the reference voltage and temperature coefficient to be trimmed easily.

The KA336-5.0/B are useful as a precision 5.0V low voltage references it convenient in obtaining a stable reference from low voltage supplies. Further, since the KA336-5.0/B operate as shunt regulators, they can be used as either a positive or negative voltage reference. The KA236 is characterized for operation from - 25 °C to 85 °C, and the KA336 from 0 °C to 70 °C.

### FEATURES

- Low temperature coefficient
- Adjustable 4V to 6V
- Wide operating range current of 400  $\mu$  A to 10mA
- Three lead transistor package (TO-92)
- 0.6 ohm dynamic impedance
- $\pm$  1.0% initial tolerance available
- Guaranteed temperature stability
- Easily trimmed for minimum temperature drift
- Fast turn on

TO-92



1:ADJ, 2: +, 3: -

### ORDERING INFORMATION

| Device     | Package | Operating Temperature |
|------------|---------|-----------------------|
| KA336-5.0  | TO-92   | 0 ~ 70 °C             |
| KA336-5.0B |         |                       |
| KA236-5.0  |         | -25 ~ +85 °C          |

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

| Characteristic              | Symbol    | Value       | Unit |
|-----------------------------|-----------|-------------|------|
| Reverse Current             | $I_R$     | 15          | mA   |
| Forward current             | $I_F$     | 10          | mA   |
| Operating Temperature Range | $T_{OPR}$ | 0 ~ +70     | °C   |
| KA336-5.0/B                 |           | -25 ~ + 85  |      |
| KA236-5.0                   |           |             |      |
| Storage Temperature Range   | $T_{STG}$ | -60 ~ + 150 | °C   |

## LM78XX Series Voltage Regulators

### General Description

The LM78XX series of three terminal regulators is available with several fixed output voltages making them useful in a wide range of applications. One of these is local on card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. The voltages available allow these regulators to be used in logic systems, instrumentation, HiFi, and other solid state electronic equipment. Although designed primarily as fixed voltage regulators these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

The LM78XX series is available in an aluminum TO-3 package which will allow over 1.0A load current if adequate heat sinking is provided. Current limiting is included to limit the peak output current to a safe value. Safe area protection for the output transistor is provided to limit internal power dissipation. If internal power dissipation becomes too high for the heat sinking provided, the thermal shutdown circuit takes over preventing the IC from overheating.

Considerable effort was expended to make the LM78XX series of regulators easy to use and minimize the number of external components. It is not necessary to bypass the out-

put, although this does improve transient response. Input bypassing is needed only if the regulator is located far from the filter capacitor of the power supply.

For output voltage other than 5V, 12V and 15V the LM117 series provides an output voltage range from 1.2V to 57V.

### Features

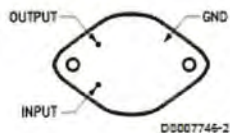
- Output current in excess of 1A
- Internal thermal overload protection
- No external components required
- Output transistor safe area protection
- Internal short circuit current limit
- Available in the aluminum TO-3 package

### Voltage Range

|         |     |
|---------|-----|
| LM7805C | 5V  |
| LM7812C | 12V |
| LM7815C | 15V |

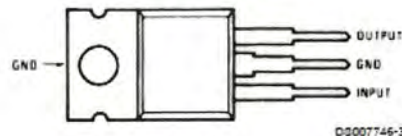
### Connection Diagrams

Metal Can Package  
TO-3 (K)  
Aluminum



Bottom View  
Order Number LM7805CK,  
LM7812CK or LM7815CK  
See NS Package Number KC02A

Plastic Package  
TO-220 (T)



Top View  
Order Number LM7805CT,  
LM7812CT or LM7815CT  
See NS Package Number T03B



## Features

- 3/4" Rectangular / Multiturn / Cermet / Industrial / Sealed
- Low PC board profile - only 1/4" high
- Panel mount option available
- Transparent housing available, can be set visually without hook-up and instrumentation ("P" style only)
- RoHS compliant\* version available
- For trimmer applications/processing guidelines, [click here](#)

## 3006 - Trimpot® Trimming Potentiometer

### Electrical Characteristics

|                              |  |
|------------------------------|--|
| Standard Resistance Range    | 10 to 5 megohms<br>(see standard resistance table) |
| Resistance Tolerance         | ±10 % std.<br>(tighter tolerance available)        |
| Absolute Minimum Resistance  | 1.0 % or 2 ohms max.<br>(whichever is greater)     |
| Contact Resistance Variation | 1.0 % or 1 ohm max.<br>(whichever is greater)      |
| Adjustability                |  |
| Voltage                      | ±0.01 %  |
| Resistance                   | ±0.05 %  |
| Resolution                   | Infinite   |
| Insulation Resistance        | 500 vdc.<br>1,000 megohms min.                     |
| Dielectric Strength          |  |
| Sea Level                    | 1,000 vac  |
| 80,000 Feet                  | 250 vac  |
| Adjustment Angle             | 15 turns nom.                                      |

### Environmental Characteristics

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| Power Rating (400 volts max.) |   |
| 70 °C                         | 0.75 watt   |
| 125 °C                        | 0 watt  |
| Temperature Range             | -55 °C to +125 °C   |
| Temperature Coefficient       | ±100 ppm/°C   |
| Seal Test                     | 85 °C Fluorinert†   |
| Humidity                      | MIL-STD-202 Method 103<br>96 hours                                  |
| Vibration                     | 20 G (2 % ΔTR; 2 % ΔVR)   |
| Shock                         | 50 G (2 % ΔTR; 2 % ΔVR)   |
| Load Life                     | 1,000 hours 0.75 watt 70 °C<br>(4 % ΔTR)                            |
| Rotational Life               | 200 cycles<br>(3 % ΔTR; 1 % or 1 ohm,<br>whichever is greater, CRV) |

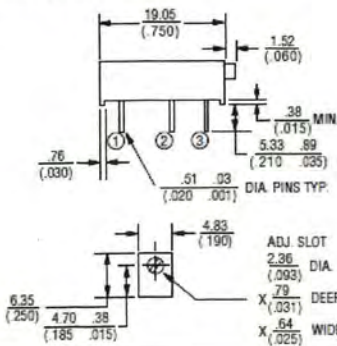
### Physical Characteristics

|                    |   |
|--------------------|---|
| Torque             | 5.0 oz-in. max.   |
| Mechanical Stops   | Wiper idles   |
| Terminals          | Solderable pins   |
| Weight             | 0.04 oz.  |
| Marking            | Manufacturer's<br>trademark, resistance code,<br>terminal numbers, date code,<br>manufacturer's model number<br>and style |
| Wiper              | 50 % (Actual TR) ±10 %  |
| Flammability       | U.L. 94V-0  |
| Standard Packaging | 25 pcs. per tube  |
| Adjustment Tool    | H-90  |

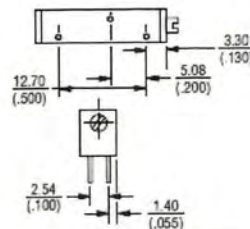
REV. 08/10

### Product Dimensions

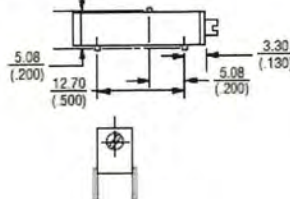
#### Common Dimensions



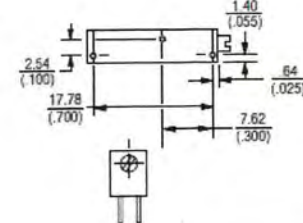
#### 3006P



#### 3006W



#### 3006Y



DIMENSIONS:  $\frac{\text{MM}}{\text{INCHES}}$

TOLERANCES: ±  $\frac{0.25}{(0.010)}$  EXCEPT WHERE NOTED

### How To Order

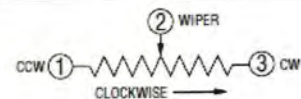
|                        |   |
|------------------------|---|
| Model                  | 3006 P - 1 - 103 Z LF                             |
| Style                  |   |
| Standard or Modified   |   |
| Product Indicator      | -1 = Standard Product<br>-7 = Transparent Housing |
| Resistance Code        |   |
| Optional Suffix Letter | Z = Panel Mount<br>(Factory Installed)            |
| Terminations           |   |
| LF                     | = 100 % Tin-plated (RoHS compliant)               |
| Blank                  | = 90 % Tin / 10 % Lead-plated<br>(Standard)       |

Consult factory for other available options.

### Standard Resistance Table

| Resistance (Ohms) | Resistance Code |
|-------------------|-----------------|
| 10                | 100             |
| 20                | 200             |
| 50                | 500             |
| 100               | 101             |
| 200               | 201             |
| <b>500</b>        | <b>501</b>      |
| <b>1,000</b>      | <b>102</b>      |
| <b>2,000</b>      | <b>202</b>      |
| <b>5,000</b>      | <b>502</b>      |
| <b>10,000</b>     | <b>103</b>      |
| <b>20,000</b>     | <b>203</b>      |
| <b>25,000</b>     | <b>253</b>      |
| <b>50,000</b>     | <b>503</b>      |
| <b>100,000</b>    | <b>104</b>      |
| <b>200,000</b>    | <b>204</b>      |
| 250,000           | 254             |
| 500,000           | 504             |
| 1,000,000         | 105             |
| 2,000,000         | 205             |

Popular distribution values listed in boldface. Special resistances available.





## 6-Pin DIP Random-Phase Optoisolators Triac Driver Output (250 Volts Peak)

The MOC3010 Series consists of gallium arsenide infrared emitting diodes, optically coupled to silicon bilateral switch and are designed for applications requiring isolated triac triggering, low-current isolated ac switching, high electrical isolation (to 7500 Vac peak), high detector standoff voltage, small size, and low cost.

- To order devices that are tested and marked per VDE 0884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 0884 is a test option.

### Recommended for 115 Vac(rms) Applications:

- Solenoid/Valve Controls
- Lamp Ballasts
- Interfacing Microprocessors to 115 Vac Peripherals
- Motor Controls
- Static ac Power Switch
- Solid State Relays
- Incandescent Lamp Dimmers

### MAXIMUM RATINGS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

| Rating | Symbol | Value | Unit |
|--------|--------|-------|------|
|--------|--------|-------|------|

#### INFRARED EMITTING DIODE

|   |       |      |                      |
|---|-------|------|----------------------|
| Reverse Voltage   | $V_R$ | 3    | Volts                |
| Forward Current — Continuous  | $I_F$ | 60   | mA                   |
| Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$<br>Negligible Power in Transistor<br>Derate above $25^\circ\text{C}$ | $P_D$ | 100  | mW                   |
|   |       | 1.33 | mW/ $^\circ\text{C}$ |

#### OUTPUT DRIVER

|   |           |     |                      |
|---|-----------|-----|----------------------|
| Off-State Output Terminal Voltage   | $V_{DRM}$ | 250 | Volts                |
| Peak Repetitive Surge Current<br>(PW = 1 ms, 120 pps)                                 | $I_{TSM}$ | 1   | A                    |
| Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$<br>Derate above $25^\circ\text{C}$ | $P_D$     | 300 | mW                   |
|   |           | 4   | mW/ $^\circ\text{C}$ |

#### TOTAL DEVICE

|   |           |             |                      |
|---|-----------|-------------|----------------------|
| Isolation Surge Voltage <sup>(1)</sup><br>(Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 Second Duration) | $V_{ISO}$ | 7500        | Vac(pk)              |
| Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$<br>Derate above $25^\circ\text{C}$ | $P_D$     | 330         | mW                   |
|   |           | 4.4         | mW/ $^\circ\text{C}$ |
| Junction Temperature Range  | $T_J$     | -40 to +100 | $^\circ\text{C}$     |
| Ambient Operating Temperature Range <sup>(2)</sup>                                    | $T_A$     | -40 to +85  | $^\circ\text{C}$     |
| Storage Temperature Range <sup>(2)</sup>  | $T_{stg}$ | -40 to +150 | $^\circ\text{C}$     |
| Soldering Temperature (10 s)  | $T_L$     | 260         | $^\circ\text{C}$     |

## MOC3010

[IFT = 15 mA Max]

## MOC3011

[IFT = 10 mA Max]

## MOC3012\*

[IFT = 5 mA Max]

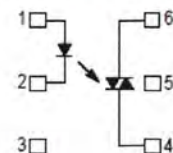
\*Motorola Preferred Device

### STYLE 6 PLASTIC



STANDARD THRU HOLE  
CASE 730A-04

### COUPLER SCHEMATIC



1. ANODE
2. CATHODE
3. NC
4. MAIN TERMINAL
5. SUBSTRATE  
DO NOT CONNECT
6. MAIN TERMINAL



# LM35/LM35A/LM35C/LM35CA/LM35D

## Precision Centigrade Temperature Sensors

### General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of  $\pm 1/4^\circ\text{C}$  at room temperature and  $\pm 3/4^\circ\text{C}$  over a full  $-55$  to  $+150^\circ\text{C}$  temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only  $60\ \mu\text{A}$  from its supply, it has very low self-heating, less than  $0.1^\circ\text{C}$  in still air. The LM35 is rated to operate over a  $-55$  to  $+150^\circ\text{C}$  temperature range, while the LM35C is rated for a  $-40$  to  $+110^\circ\text{C}$  range ( $-10$  with improved accuracy). The LM35 series is

available packaged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-202 package.

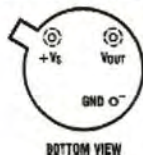
### Features

- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear  $+10.0\ \text{mV}/^\circ\text{C}$  scale factor
- $0.5^\circ\text{C}$  accuracy guaranteeable (at  $+25^\circ\text{C}$ )
- Rated for full  $-55$  to  $+150^\circ\text{C}$  range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than  $60\ \mu\text{A}$  current drain
- Low self-heating,  $0.08^\circ\text{C}$  in still air
- Nonlinearity only  $\pm 1/4^\circ\text{C}$  typical
- Low impedance output,  $0.1\ \Omega$  for 1 mA load

LM35/LM35A/LM35C/LM35CA/LM35D  
Precision Centigrade Temperature Sensors

### Connection Diagrams

**TO-46**  
Metal Can Package\*



BOTTOM VIEW

TL/H/5516-1

\*Case is connected to negative pin (GND)

Order Number LM35H, LM35AH,  
LM35CH, LM35CAH or LM35DH  
See NS Package Number H03H

**TO-92**  
Plastic Package

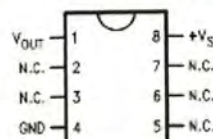


BOTTOM VIEW

TL/H/5516-2

Order Number LM35CZ,  
LM35CAZ or LM35DZ  
See NS Package Number Z03A

**SO-8**  
Small Outline Molded Package



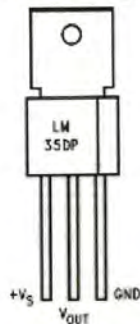
Top View

N.C. - No Connection

TL/H/5516-21

Order Number LM35DM  
See NS Package Number M08A

**TO-202**  
Plastic Package

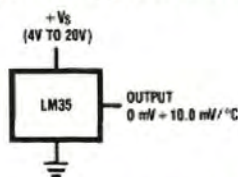


BOTTOM VIEW

TL/H/5516-24

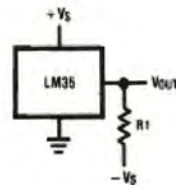
Order Number LM35DP  
See NS Package Number P03A

### Typical Applications



TL/H/5516-3

FIGURE 1. Basic Centigrade  
Temperature  
Sensor ( $+2^\circ\text{C}$  to  $+150^\circ\text{C}$ )



TL/H/5516-4

Choose  $R_1 = -V_S/50\ \mu\text{A}$

$V_{OUT} = +1,500\ \text{mV}$  at  $+150^\circ\text{C}$   
 $= +250\ \text{mV}$  at  $+25^\circ\text{C}$   
 $= -550\ \text{mV}$  at  $-55^\circ\text{C}$

FIGURE 2. Full-Range Centigrade  
Temperature Sensor

## 3/8" Square Multi-Turn Cermet Trimmer



The T93 is a small size trimmer - 3/8" x 3/8" x 3/16" - answering PC board mounting requirements.

Five versions are available which differ by the position of the control screw in relation to the PC board plane and by the spacing of the terminals.

Excellent operational stability is provided by the use of a cermet element.

### FEATURES

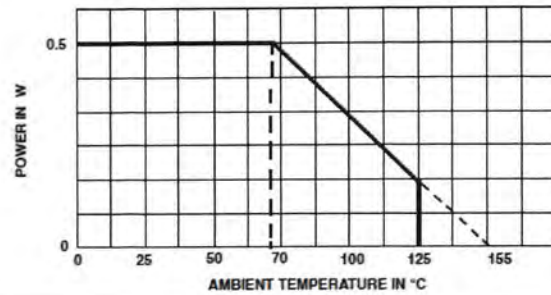
- Industrial grade
- 0.5 W at 70 °C
- Tests according to CECC 41000 or IEC 60393-1
- Contact resistance variation < 1 %
- Compliant to RoHS directive 2002/95/EC



RoHS  
COMPLIANT

|       |  |  |  |  |
|-------|--|--|--|--|
| T93YA |  |  |  |  |
|-------|--|--|--|--|

| ELECTRICAL SPECIFICATIONS                    |  |      |
|--|--|------|
| Resistive element                            | Cermet                                 |      |
| Electrical travel                            | 21 turns ± 2                           |      |
| Resistance range                             | 10 Ω to 2.2 MΩ                         |      |
| Standard series E3                           | 1 - 2.2 - 4.7 and on request 1 - 2 - 5 |      |
| Tolerance                                    | Standard                               | 10 % |
|  | On request                             | 5 %  |
| Power rating                                 | 0.5 W at + 70 °C                       |      |
| Circuit diagram                              |  |      |
| Temperature coefficient                      | See Standard Resistance Element table  |      |
| Limiting element voltage (linear law)        | 250 V                                  |      |
| Contact resistance variation                 | 2 % Rn or 2 Ω                          |      |
| End resistance (typical)                     | 1 Ω                                    |      |
| Dielectric strength (RMS)                    | 1000 V                                 |      |
| Insulation resistance (500 V <sub>DC</sub> ) | 10 <sup>6</sup> MΩ                     |      |





Transformador para fuentes de poder de 127V CA de entrada, 12V CA de salida y 1,2A.



Capacitor electrolítico (Radial) de aluminio, de 1000uF (micro Faradios) a 50 Volts, con corriente de fuga y factor de disipación bajos, rango de temperatura de +85 a -40° Celsius, tolerancia de  $\pm 20\%$  y dimensiones de 13 x 26 mm.



Capacitor cerámico de 0.01uF (micro Faradios) a 50 Volts, tolerancia de +80% - 20%, coeficiente de temperatura Z5U, de alta estabilidad, pérdida de frecuencia mínima y dimensiones de 6 x 6 mm



Resistencia de película de carbón de 10kOhms a 1 Watt con  $\pm 5\%$  de tolerancia.