

PRÁCTICA No 1

“FUNDAMENTOS DE FUNCIONAMIENTO DEL TIRISTOR TRIODO DE BLOQUEO INVERSO (SCR)”

I. INTRODUCCIÓN

Los tiristores son los dispositivos semiconductores de potencia más importantes [Rashid, 1988]. A manera de definición podemos decir que un tiristor es un dispositivo de operación biestable, es decir, sólo tiene dos estados, el de no conducción y el de conducción y es un dispositivo multicapa que utiliza para su funcionamiento la retroalimentación positiva. Podemos dividir los tiristores en dos tipos de acuerdo a su capacidad de conducción en uno u otro sentido: los tiristores unidireccionales, es decir los que solo conducen en una sola dirección, entre los que podemos mencionar al rectificador controlado de silicio (SCR por sus siglas en inglés) y los tiristores bidireccionales (conducen en ambos sentidos), los cuales tienen como principal representante al TRIAC. Sin lugar a dudas, el más ampliamente usado y conocido es el SCR. Los tiristores constan generalmente de dos terminales principales y una terminal para el encendido de estos. Hay algunos que poseen hasta cuatro terminales en total.

Todos los tiristores trabajan como conmutadores o *switches* los cuales se comportan como circuito abierto, hasta que son activados o disparados. Cuando ellos son disparados el tiristor cambia de un estado de alta impedancia a uno de muy baja impedancia. Una vez activados, podemos remover la corriente de

disparo sin que esto haga que se apague el tiristor. Este se apagará si la corriente principal que fluye por él disminuya por debajo de cierto valor llamado corriente de sostenimiento.

I.1 TEORÍA DE OPERACIÓN DEL RECTIFICADOR CONTROLADO DE SILICIO

El SCR es un dispositivo que está compuesto de cuatro capas de material semiconductor, que forman una estructura **pnpn** con tres uniones **pn**. Este dispositivo tiene tres terminales, ánodo, cátodo y compuerta. En la figura 1.1 podemos apreciar el símbolo y la estructura del SCR .

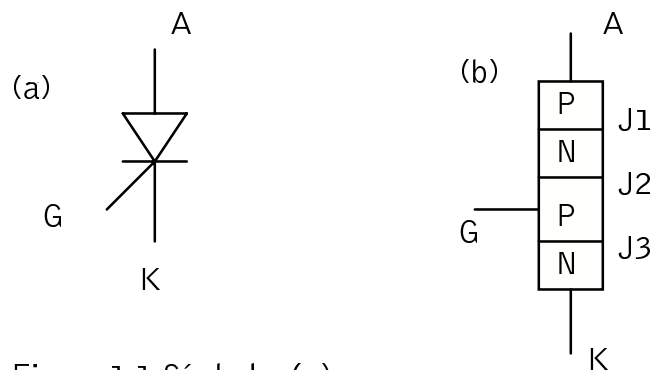


Figura 1.1 Símbolo (a) y estructura (b) del SCR.

Si aplicamos un voltaje positivo al ánodo con relación al cátodo, las uniones J₁ y J₃ son polarizadas de manera directa. La unión J₂ queda inversamente polarizada, de manera que solo fluye una pequeña corriente de fuga

entre ánodo y cátodo. Entonces se dice que el tiristor se encuentra bloqueado de manera directa o en estado de no conducción. Si este voltaje ánodo-cátodo, V_{AK} es aumentado lo suficiente, la unión J_2 entrará en la región de ruptura de avalancha, el cual corresponde al voltaje llamado ***voltaje de ruptura de manera directa***, V_{BO} . Al llegar a este punto y tomando en cuenta que las otras dos uniones están directamente polarizadas, resultará en una libre circulación de portadores a través de las tres uniones. Lo anterior resulta en una gran corriente de ánodo de forma directa. El dispositivo se encontrará en estado de conducción. Debido al reducido valor óhmico de las cuatro capas de material semiconductor durante el estado de conducción, la caída de voltaje entre ánodo y cátodo del SCR será drásticamente reducida, a un valor de alrededor de 1 voltio. En el estado de conducción, solo la corriente es limitada por una impedancia o resistencia externa. En la figura 1.2 podemos ver la característica $v - i$ del SCR.

Una vez en conducción el SCR, este se comporta como un diodo por lo que no hay control sobre él, a menos que la corriente de ánodo disminuya su valor por debajo de debajo del valor de la corriente de sostenimiento I_H . El valor de esta corriente está en el orden de los miliamperes.

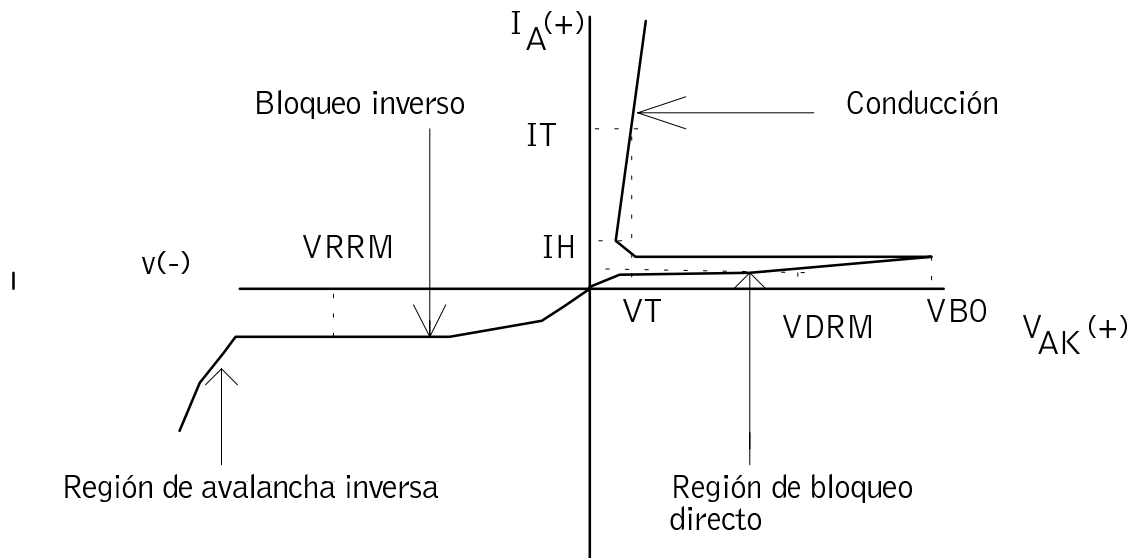


Figura 1.2 Curva característica del SCR.

Ahora, si tenemos que el cátodo es positivo con respecto al ánodo, la unión J_2 se encuentra directamente polarizada y las uniones J_1 y J_3 están inversamente polarizadas. Lo anterior es equivalente a tener dos diodos conectados en serie con un voltaje de polarización inverso. La corriente que circula en este estado por el SCR es muy reducida [Rashid, 1989].

Como hemos visto podemos encender al SCR si aplicamos un voltaje de polarización directa con un valor igual o mayor que el V_{BO} . Lo anterior no se lleva a la práctica porque puede ser destructivo, sino que el voltaje de polarización directa es mantenido por debajo del voltaje de ruptura, V_{BO} y el SCR es encendido mediante la aplicación de un voltaje positivo entre compuerta y cátodo. Lo anterior lo podemos ver en la gráfica 1.4. Una vez encendido, si la corriente es mas grande que la corriente de sostenimiento, el dispositivo seguirá en estado de conducción aún si retiramos la señal de compuerta.

II. OBJETIVO

Construir un interruptor estático utilizando el rectificador controlado de silicio.

III. INVESTIGACIÓN PREVIA

1. Consultando diferentes fuentes de información sobre el tema (v.g. manuales de fabricantes, libros de electrónica de potencia, etc.) investigue el significado de los parámetros máximos y especificaciones para el SCR indicados en la siguiente lista. Describa el significado de cada uno de ellos. Seleccione tres tipos diferentes de dispositivos comerciales de este tipo, copie sus características y compárelas entre sí.

- V_{DRM}
- I_T (RMS)
- P_{GM}
- P_G
- I_{DRM}
- V_{TM}
- V_{GT}
- I_H
- dv/dt
- $R_{\theta jc}$
- I^2t

2. ¿Como se comporta el SCR durante el encendido?. ¿ Qué es el tiempo de encendido?
3. ¿ De cuántas formas se puede activar un SCR ?
4. ¿Cómo se desactiva un tiristor? ¿Qué es conmutación natural ? ¿A qué se llama conmutación forzada?
5. Indique cuales técnicas de fabricación se emplean para construir a los SCR y que características proporcionan a estos elementos cada técnica.
6. ¿De qué depende la máxima frecuencia de un SCR?

7. Indique las ventajas y desventajas del GTO (Del inglés Gate turn-off) ó SCR apagado por compuerta con respecto al SCR típico.
8. ¿Qué es resistencia térmica? ¿Cuál es la importancia de este concepto?
¿Qué es impedancia térmica?
9. Investigue los diferentes tipos de dv/dt .
10. ¿Porqué es conveniente el trazado de la línea de carga del circuito de disparo?

IV. MATERIAL SUGERIDO

- Fuente de voltaje ajustable.
- Resistencia de diferentes valores.
- Un interruptor momentáneo normalmente abierto.
- Un interruptor momentáneo normalmente cerrado.
- Tablilla para experimentos.
- Multímetros.
- SCR (1)

V. DESARROLLO

1. Seleccione R_g y R_L de acuerdo al SCR utilizado y al voltaje seleccionado.

Anote las ecuaciones, criterios y cálculos utilizados.

2. Arme el circuito mostrado en la figura 1.3. Verifique las conexiones y una vez realizado lo anterior, encienda la fuente de voltaje que alimenta al circuito.

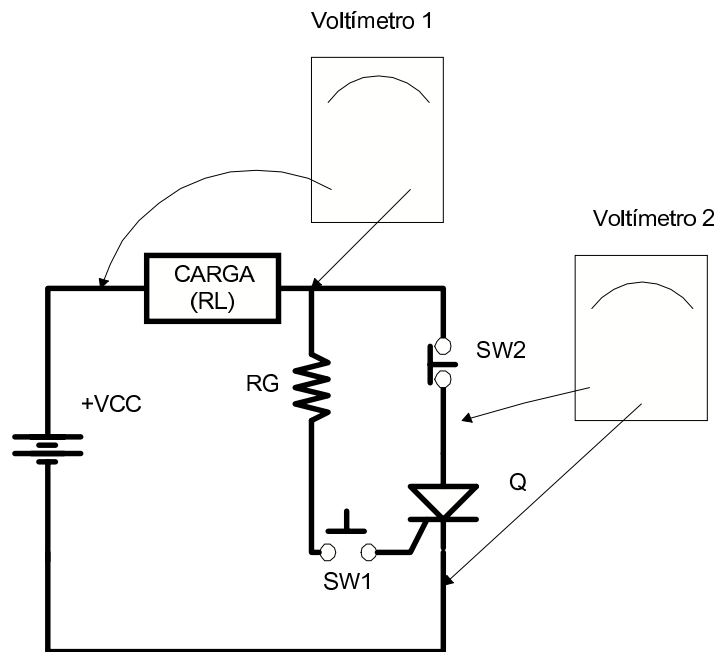


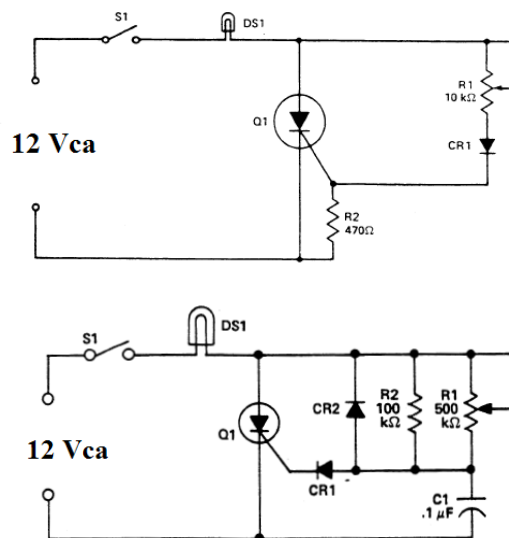
Figura 1.3

3. Presione el interruptor tipo pulsador N.A. (SW₁) Anote lo ocurrido. Explique lo que ocurre con las lecturas de los instrumentos de medición.
4. Presione SW₂ y observe el comportamiento del circuito. Explique lo ocurrido
5. Realizando modificaciones al circuito, obtenga de manera experimental I_H , I_{gt} y V_T .

VI. CUESTIONARIO

- ¿Cuáles son las funciones de SW_1 y SW_2 ?
- ¿Qué tipo de encendido se utilizó en la práctica?
- ¿Qué técnica de apagado se utilizó?
- ¿Existen diferencias entre los valores de los parámetros indicados por el fabricante y los obtenidos experimentalmente?
- ¿Qué problemas se presentaron durante la práctica?. Explique.

Práctica 2. Control de potencia con el rectificador controlado de silicio (RCS o SCR)



NOTA: EN EL DOCUMENTO VIENE INDICADO UN VOLTAJE DE 6.3 V PERO EL CORRECTO ES 12 V COMO SE INDICA EN LOS DIAGRAMAS ANTERIORES

Objetivos del experimento

- Familiarizarse con la operación de un circuito de media onda de control de fase por resistencia variable.
- Familiarizarse con la operación de un circuito de media onda de control de fase por diodo y red RC.
- Determinar la potencia verdadera que se entrega a la carga de un circuito de media onda de control de fase.

cuando ambos reciben energía de la misma fuente de ca.

Información introductoria

Las características de la carga en algunas de las aplicaciones de control de potencia de ca pueden ser tales que no se requiera potencia de entrada en forma continua. Un pulso de voltaje o corriente entregado a la carga periódicamente reduce la potencia promedio que basta para desarrollar toda la potencia necesaria. Al controlar de manera efectiva los pulsos periódicos, se puede satisfacer los requerimientos de potencia de la carga y al mismo tiempo evitar disipación innecesaria. La característica unidireccional del RCS lo hace especialmente adaptable a este tipo de aplicación. Si se suministran los voltajes de compuerta y carga desde la misma fuente de ca, se puede ajustar el tiempo de conducción del RCS a la alternación positiva controlando la amplitud relativa del voltaje de disparo de compuerta con respecto al voltaje de carga. Mientras el RCS conduce se entrega corriente a la carga y se suministra la potencia promedio requerida para la carga. Cuando el RCS se apaga en la alternación negativa del voltaje aplicado, se interrumpe el flujo de corriente y no

Conceptos básicos

- La potencia que se entrega a una carga se puede controlar con un RCS que conduce durante una parte del ciclo de entrada.
- Control de fase* significa controlar la fase del disparo con respecto a la del voltaje de ánodo, limitando con ello el tiempo de conducción del RCS.
- El *ángulo de conducción* de un RCS es el tiempo en grados eléctricos que conduce el RCS y que entrega potencia a la carga.
- El *retardo de fase* es el tiempo en grados eléctricos que se retrasa el disparo de compuerta con respecto al voltaje de ánodo

se desarrolla voltaje a través de la carga. Dado que la potencia se promedia en un ciclo completo, la fuente debe desarrollar suficiente potencia durante el tiempo de encendido del RCS para funcionar adecuadamente a la carga hasta el siguiente pulso. Por lo general, el voltaje de disparo se ajusta de manera que se pueda variar el *ángulo de conducción* para satisfacer los requerimientos de carga.

Lecturas adicionales

Véase la bibliografía al final de este manual, para consultar el material de lectura sobre este tema.

Equipo y materiales

Osciloscopio

Adiestrador práctico en electrónica

<i>C1</i>	—0.1 μ F
<i>CR1, CR2</i>	—Diodo de silicio, 1N4004
<i>DS1</i>	—Lámpara miniatura
<i>Q1</i>	—SCR, C106B1
<i>R1</i>	—Potenciómetro de 10k Ω , 1/2W;
<i>R2</i>	—470 Ω , 1W
<i>R3</i>	—100 Ω , 1W
<i>S1</i>	—SPST,

Procedimiento del experimento

Objetivo A. Familiarizarse con el funcionamiento de un circuito de media onda de control de fase por resistencia variable.

□ 1. a) Observe el circuito de la Fig. 4-1. Cuando se cierra *S1*, se aplican 6.3Vca entre el ánodo y cátodo de *Q1* a través de *DS1*, y a través del circuito de disparo de compuerta *R1*, *CR1* y *R2*. *DS1* representa la carga y permanece apagada hasta que *Q1* dispara. *R1* controla la amplitud del voltaje

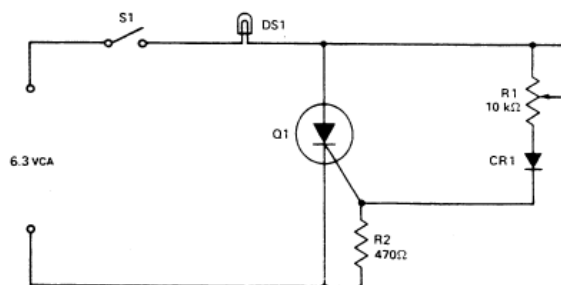


Fig. 4-1

de disparo, y por tanto, controla el tiempo de conducción de *Q1*. El disparo sólo ocurre en el semiciclo positivo; el RCS se apaga automáticamente en el semiciclo negativo. El diodo *CR1* bloquea el semiciclo negativo de la compuerta. Conecte el circuito como se muestra y ajuste *R1* para mínima resistencia de circuito de disparo.

□ b) Encienda la fuente de poder de 6.3Vca.
□ c) Cierre el interruptor *S1*. ¿La lámpara *DS1* enciende?.....

□ d) Observe la onda a través de *DS1* utilizando el osciloscopio. Descríbala.
.....
.....
.....
.....

□ e) Aumente lentamente la resistencia de *R1* y describa lo que sucede a la media onda senoidal.
.....
.....
.....
.....

□ f) ¿Diría que *Q1* conduce durante la porción de la onda que no se despliega?

□ g) Véase a la Fig. 4-2. El ángulo de conducción es la cantidad de tiempo que *Q1* conduce en grados eléctricos. Registre los ángulos de conducción mínimo de *Q1* en su circuito.

Ángulo de conducción $_{(min)}$ = grados

Angulo de conducción_(máx) =grados

- h) El retraso de disparo que introduce $R1$ con respecto al voltaje de ánodo se conoce como retraso de fase y se expresa en grados eléctricos. En este circuito, es la diferencia entre el ángulo de conducción y 180° (retraso de fase = $180^\circ - \text{ángulo de conducción}$). Registre los valores mínimo y máximo del retraso de fase de su circuito.

Retraso de fase_(mín) =grados

Retraso de fase_(máx) =grados

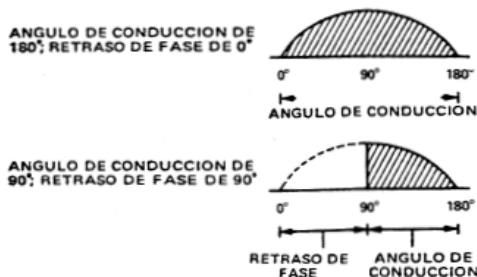


Fig. 4-2

- i) ¿Cómo controla $R1$ el retraso de fase en este circuito?

- j) ¿Por qué $R1$ no puede retrasar la fase más de 90° grados?

- k) ¿Diría que $R1$ puede controlar la potencia que se entrega a la carga?

- l) Abra el interruptor $S1$. $DS1$ se debe apagar.

Objetivo. B. Familiarizarse con el funcionamiento de un circuito de media onda de control de fase por diodo y red RC.

- 2. a) Cambie su circuito como se muestra en la Fig. 4-3. El punto de disparo se controla mediante la constante de tiempo RC de $R1$ y $C1$ en este circuito. $C1$ se carga durante el medio ciclo positivo para disparar el RCS. Se descarga a través de $CR2$ en el medio ciclo negativo, restaurándolo para el siguiente ciclo de carga. Con este circuito se puede variar el retraso de fase en mayor ángulo.

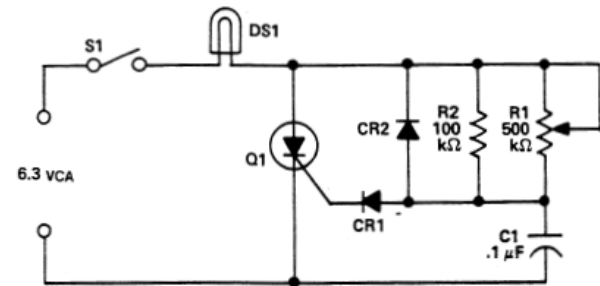


Fig. 4-3

- b) Ajuste $R1$ para mínima resistencia del circuito de disparo.
- c) Cierre $S1$. ¿ $DS1$ enciende?

- d) Observe la onda del voltaje de carga a través de $DS1$ utilizando el osciloscopio. Registre el ciclo máximo de conducción.

Angulo de conducción_(máx) =grados

- e) Aumente lentamente $R1$ a la resistencia máxima mientras observa la onda del osciloscopio. Registre el ángulo mínimo de conducción.

Angulo de conducción_(mín) =grados

- f) ¿Cuáles son los valores mínimo y máximo del retraso de fase?

Retraso de fase_(mín) = grados

↓ Retraso de fase_(máx) = grados ↓

- g) ¿Por qué este circuito da mayor control del rango del retraso de fase que el circuito anterior?

.....

.....

.....

.....

.....

- h) Abra el interruptor *SI*.

Objetivo C. Determinar la potencia verdadera que se entrega a la carga de un circuito de media onda de control de fase.

- 3. a) Cuando se entrega potencia a una carga en forma de pulsos, debe satisfacer las necesidades de carga de un pulso al siguiente. La potencia verdadera no es la que contiene el pulso, sino la potencia promedio en un ciclo completo. Para encontrar la potencia verdadera es necesario encontrar el valor efectivo (rms) del voltaje o corrien-

te en la onda completa. Las indicaciones que dan los voltímetros y amperímetros estándar de ca y cd no son directamente utilizables, pues la mayoría de los medidores de ca son instrumentos de detección promedio, calibrados para leer la rms de una onda senoidal más no la de una onda compleja, en tanto que los medidores de cd indican el promedio de la onda. Por otra parte, aunque es posible calcular matemáticamente el valor rms, se requiere un análisis detallado para cada tipo diferente de onda. La Fig. 4-4 muestra una gráfica de la relación de E_{rms}/E_{pico} en función del ángulo de retraso de fase para un circuito de control de fase de media onda del tipo que se utiliza en este experimento. Esta gráfica se determinó matemáticamente y es análoga a diversas gráficas de este tipo que se utilizan para encontrar los valores en una onda compleja. Midiendo $E_{máxima}$ con un osciloscopio y encontrando en la gráfica el valor de la relación, se puede calcular E_{rms} . La potencia verdadera si se conoce el valor de la resistencia de carga, se puede calcular.

- b) Quite la lámpara *DS1* y rempácela con la resistencia *R3* de 100Ω de su circuito.
- c) Ajuste *R1* para mínima resistencia del circuito de disparo.
- d) Cierre *SI*.

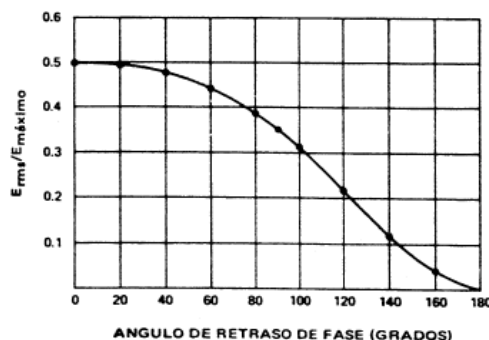


Fig. 4-4

- e) Conecte el osciloscopio a través de la resistencia de carga *R3* y mida el valor máximo del voltaje.

E_{R3} = v máximo

- f) Con *R1* fijo al mínimo, el ángulo de retraso de fase debe de ser de cero grados. Véase la Fig. 4-4 y localice la relación $E_{rms}/E_{máximo}$ para un ángulo de retraso de fase de 0 grados.

E_{rms}/E_{pico} =

- g) Calcule el valor de E_{rms} a través de $R3$ utilizando el valor de voltaje máximo medido en (e) y la relación $E_{rms}/E_{máximo}$ determinada en (f).

$$E_{rms}/E_{máximo} = \text{relación}$$

$$E_{rms} = E_{máximo} \times \text{relación}$$

$$E_{rms} = \dots \text{volts}$$

- h) Calcule el valor verdadero de la potencia a través de la carga utilizando su valor calculado de E_{rms} y el valor indicado de $R3$.

$$P_T = E_{rms}^2/R3$$

$$P_T = \dots \text{mW}$$

- i) Ajuste la velocidad de barrido del osciloscopio a un ciclo en diez centímetros exactamente. Cada centímetro representa 36 grados eléctricos.
- j) Ajuste $R1$ a un ángulo de retraso de fase de 90 grados. El ángulo de conducción será de 90 grados, o 2.5 centímetros. Registre el valor máximo del voltaje de la onda del osciloscopio y luego vea la Fig. 4-4 y registre la relación $E_{rms}/E_{máximo}$ para un ángulo de retraso de fase de 90 grados.

$$E_{R3} = \dots \text{v máximo}$$

$$E_{rms}/E_{pico} = \dots$$

- k) Calcule E_{rms} y P_T como en los pasos anteriores para un ángulo de retraso de fase de 90 grados.

$$E_{rms} = E_{máximo} \times \text{relación}$$

$$E_{rms} = \dots \text{volts}$$

$$P_T = E_{rms}^2/R3$$

$$P_T = \dots \text{mW}$$

Su resultado sobre la potencia verdadera debe de ser de noventa y nueve miliwatts.

- l) Abra $S1$ y apague la fuente de poder de 6.3Vca.

Resumen

En este experimento de laboratorio se familiarizó con dos circuitos simples de media onda de control de fase. Primero mostró la operación de un circuito que utiliza un control de retraso de fase de resistencia variable. Comprobó que cuando se suministra energía a la compuerta y al ánodo desde la misma fuente de ca, se puede retardar la fase del disparo de compuerta desde 0 hasta 90 grados con respecto al voltaje de ánodo, controlando la amplitud relativa del voltaje de compuerta con la resistencia variable. Encontró que esto varía el ángulo de conducción del RCS entre 180 y 90 grados, variando con ello la potencia que se entrega a la carga. Luego mostró la operación de un circuito semejante utilizando un circuito de disparo de compuerta de carga—descarga con diodo y red RC. Determinó que con ello se aumenta el control de retardo de fase de 0 a 180 grados, dando mayor control del ángulo de conducción del RCS y de la potencia entregada a la carga. Finalmente, calculó la potencia verdadera que se disipa en una carga resistiva mediante una onda de voltaje de tipo pulso. Aprendió que tiene que convertirse el voltaje máximo de carga *pico* en voltaje rms antes de poder determinar la potencia verdadera. Midió el voltaje máximo con un osciloscopio, determinó la relación $E_{rms}/E_{máximo}$ de una gráfica y luego calculó la potencia verdadera que se disipa en la carga.

Cuestionario

- Al tiempo que conduce un RCS en grados eléctricos se le conoce como:
 - Ángulo de retraso.

- b. Angulo de conducción.
 - c. Retraso de fase.
 - d. Angulo de fase.
2. El retraso de fase significa:
 - a. El retraso eléctrico del disparo de la compuerta del RCS con respecto al voltaje de ánodo.
 - b. Retrasar la fase del voltaje de carga con respecto al voltaje aplicado.
 - c. Retrasar la fase del voltaje aplicado con respecto al voltaje de carga.
 - d. Retrasar la fase del voltaje de ánodo con respecto al voltaje de disparo.
 3. Para encontrar la potencia verdadera en una onda tipo pulso, ¿qué valor del voltaje se debe conocer?
 - a. Efectivo.
 - b. Promedio.
 - c. Máximo a máximo.
 - d. Ninguno de los anteriores.
 4. En el tipo de circuito de control de potencia de ca que se utiliza en este experimento de laboratorio, ¿en base a qué se entrega la potencia a la carga?
 - a. Continuamente.
 - b. Sólo en el semiciclo negativo.
 - c. En todo el semiciclo positivo.
 - d. Sólo en la porción del semiciclo positivo en que se dispara el RCS.
 5. ¿Por qué no se puede utilizar un voltímetro de ca para medir el valor rms de una onda compleja?
 - a. Sólo responde a voltajes pico.
 - b. Sólo responde a voltajes de máximo a máximo.
 - c. Es un instrumento de detección promedio calibrado para indicar el valor rms de una onda senoidal.
 - d. Debido a que no puede rectificar efectivamente la onda compleja para operar el medidor de cd.
 6. ¿Cuál es la ventaja de poder controlar la cantidad de potencia que se entrega a la carga?
 - a. Evita la disipación innecesaria.
 - b. Impide exceder la clasificación de potencia de la carga.
 - c. Permite una medida de ajuste para compensar las tolerancias del circuito.
 - d. Todos los anteriores.

Notas

PRÁCTICA No 2

“PRINCIPIOS DE OPERACIÓN DEL TRIAC (CARACTERÍSTICAS)”

I. INTRODUCCIÓN

"TRIAC" es el acrónimo que ha sido acuñado para identificar al triodo (tres electrodos) de semiconductor de AC o tiristor triodo bidireccional, el cual opera en conducción de forma similar al SCR [Boylestad, 1988]. El TRIAC fue desarrollado por la compañía General Electric (patente 3,275,909); difiere del SCR en que puede conducir corriente en ambas direcciones en respuesta a una señal de compuerta positiva o negativa. En la actualidad se fabrican para diferentes valores de corriente y voltaje.

II. OBJETIVO

Construir un circuito interruptor estático con el tiristor triodo bidireccional (TRIAC)

III. INVESTIGACIÓN PREVIA

1. Consultando diferentes fuentes de información sobre el tema (v.g. manuales de fabricantes, libros de electrónica de potencia, etc.) investigue el significado de los parámetros máximos y las especificaciones de algún tipo TRIAC.

Describa el significado de cada uno de ellos: V_{DRM} , I_T (RMS), P_{GM} P_G

I_{DRM} I_{DRM} V_{TM} V_{GT} I_H $dv/dt(c)$ $R_{\theta jc}$

2. Dibuje la característica voltaje - corriente del TRIAC
3. Describa los modos de disparo del TRIAC
4. Explique con ayuda de diagramas la teoría de funcionamiento del TRIAC.
5. ¿Cómo se extingue un TRIAC? Explique detalladamente.
6. ¿Normalmente, un TRIAC sometido a transitorios puede ser dañado?
7. ¿Cuáles son los usos principales del TRIAC? Utilice esquemas para describirlos
8. ¿A qué se debe que las aplicaciones del TRIAC se limitan a frecuencias bajas, típicamente de 60 Hz?

IV. MATERIAL Y EQUIPO

- Triac.
- Resistencias de diferentes valores.
- Fuente de alimentación de 127 Vac 60 Hz..
- Fusible.
- Interruptor de un polo dos tiros.
- Cable y caimanos.
- Multímetros
- Una lámpara incandescente de 60 watts a 127 Vca.
- Receptáculo para la lámpara

V. PROCEDIMIENTO

La práctica consistirá en armar el circuito mostrado en la figura 2.1. A este tipo de arreglo de le conoce como interruptor estático. Para esto habrá que seleccionar los elementos adecuados. Posteriormente se modificará el circuito (en caso de ser necesario) para medir el valor de diferentes parámetros del dispositivo. Para esto siga la siguiente metodología:

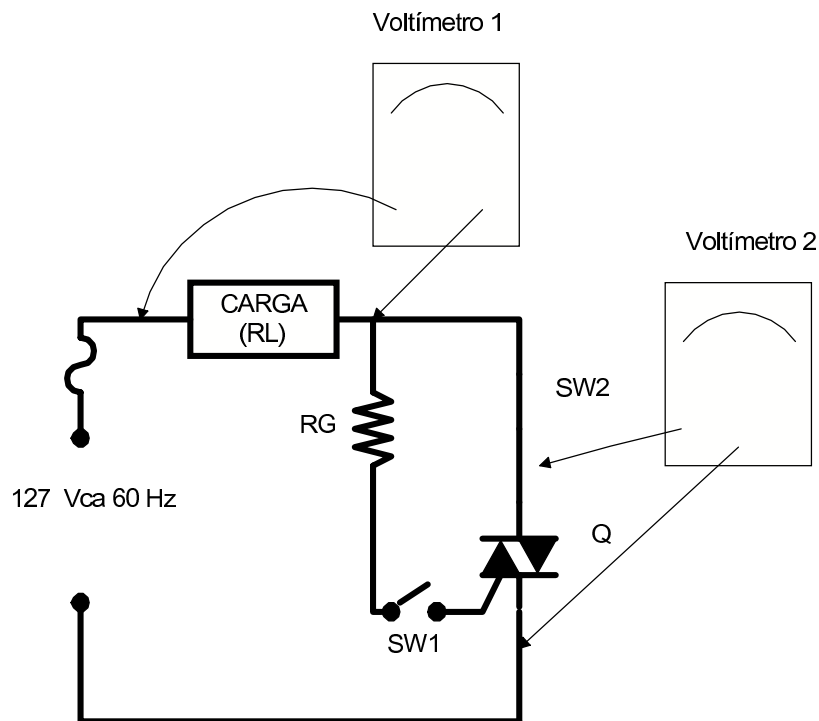


Figura 2.1

1. Seleccione, de acuerdo al análisis del circuito mostrado, el tipo de TRIAC a utilizar. En caso de no poseer el adecuado varíe la carga o la alimentación del mismo (o ambos)

2. Determine el valor de R de acuerdo a I_{gt} (corriente de compuerta mínima que activará al tiristor), a P_{gm} (potencia máxima disipada en la compuerta) y P_g (promedio). Evite dañar la compuerta por excesivo voltaje aplicado a la compuerta o potencia disipada. De acuerdo a R_L determine el valor de I_T (rms). Haga lo mismo para otros parámetros y especificaciones máximas de su TRIAC.
3. Arme el circuito mostrado en el diagrama esquemático (Figura 2.1). Sin embargo, espere las indicaciones de su profesor. Ud. trabajará con el voltaje de línea lo que significa de alguna manera un riesgo latente. Observe precauciones con los aparatos de medición con relación a sus especificaciones y conexiones a tierra física. Cualquier duda consúltela con su profesor.
4. Modifique el circuito de forma tal que la lámpara pueda tener dos intensidades. (Sugerencia: utilice un interruptor de dos o tres tiros y un diodo semiconductor normal)

VI. CUESTIONARIO

- a. ¿Qué diferencia encuentra entre la operación del circuito de la práctica anterior y el evaluado en esta práctica.?
- b. ¿En qué modos de operación se activa el circuito (cuadrantes)?
- c. ¿A que se debe el nombre de interruptor estático?

Práctica 4 Operación bidireccional del DIAC

I INTRODUCCION

Los DIAC son dispositivos que pertenecen a la familia de los tiristores, están contruidos con las cuatro capas típicas de la familia, pero con la particularidad que su disparo no se produce por la inyección de portadores en el terminal de compuerta, sino por tensión de ruptura. Forma de disparo que generalmente resulta destructiva para la mayoría de los miembros de la familia de tiristores, pero que es la utilizada en los DIAC.

El DIAC es un elemento simétrico que no posee polaridad. Su nombre proviene de la contracción "Diode Alternative Current". Su estructura es muy simple ya que se obtiene por doble difusión de impurezas de tipo apuesto al del sustrato.

La tensión de disparo del DIAC se suele escoger cercana a los 30 V. Es difícil obtener tensiones sensiblemente más bajas con una resistencia negativa suficiente, mientras que el empleo de valores más elevados reducirá las posibilidades de control. Los DIAC's son muy utilizados para construir circuitos de disparo de SCR y TRIAC.

II OBJETIVO

Construir un oscilador de relajación con DIAC.

III INVESTIGACIÓN PREVIA

- 1.- Investigue el significado de los parámetros del DIAC: Voltaje de ruptura, corriente de ruptura.
- 2.- Dibujar la característica corriente-voltaje.
- 3.- Explicar el funcionamiento.

IV MATERIAL Y EQUIPO

DIAC (ST2 o similar)

Capacitor de poliéster de $0.1 \mu\text{F}$ @ 250 V

Capacitor de poliéster de $1 \mu\text{F}$ @ 250 V

Resistencia de $10 \text{ k}\Omega$

Resistencia de $100 \text{ k}\Omega$

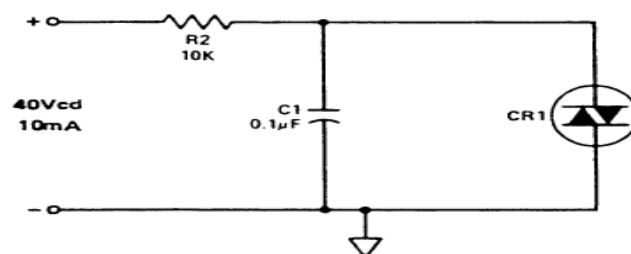
Fuente de voltaje de 40 V

Multímetro

Osciloscopio

V DESARROLLO

- 1) Armar el circuito de la figura con los valores indicados.



- 2) Energizar el circuito y observar el voltaje del DIAC usando el osciloscopio.
- 3) Medir el tiempo de carga del capacitor y compararlo con el valor teórico.
- 4) Cambiar el capacitor por uno de 1 μF y repetir los pasos 2 y 3.
- 5) Cambiar la resistencia de 10 k por una de 100 k y repetir los pasos 2 y 3.
- 6) Medir el voltaje pico de la señal que se genera en el capacitor.
- 7) Invierta las terminales del DIAC
- 8) Medir nuevamente el voltaje pico en el capacitor y comparar con el valor obtenido en el punto 6.
- 9) Determinar experimentalmente cuál es la mínima corriente que puede conducir el DIAC (I_H)?

VI CUESTIONARIO

- 1.-¿Cuáles fueron los voltajes de ruptura reales del dispositivo en base a las mediciones que se realizaron?
- 2.-¿Cómo se comprueba que el dispositivo es bidireccional?
- 3.-¿Cuál es el valor mínimo de resistencia que se puede colocar en el circuito sin que deje de oscilar?

PRÁCTICA No 4

“VARIACION DE POTENCIA POR MEDIO DE CONTROL DE FASE”

INTRODUCCIÓN

La forma más común de control de potencia por medio de tiristores es el control de fase. En este modo de operación, el tiristor es mantenido en una condición de apagado una porción de un semiciclo (se requiere que se alimente con voltaje de c.a.) y entonces es disparado, manteniéndose encendido la porción restante del semiciclo (lo anterior es determinado por la circuitería de control). Un SCR sólo puede controlar un semiciclo de la onda sinusoidal. Para onda completa se requiere de dos SCR en paralelo inverso (o un TRIAC, dependiendo de la aplicación). El más simple y más común circuito de control de fase es el oscilador de relajación, el cual produce pulsos para disparar a los tiristores por medio de la carga y descarga de un capacitor.

OBJETIVO

Entender el concepto de control de fase, aplicar los diferentes ecuaciones, criterios y técnicas para el diseño de este tipo de circuitos.

INVESTIGACIÓN PREVIA

1. ¿Qué entiende por ángulo de conducción? ¿y ángulo de disparo?
2. Dibuje los siguientes circuitos y las formas de onda de voltaje y corriente asociadas, todas con un voltaje de entrada de 127 Vca, 60 Hz, y una carga resistiva de 50 Ω . Asimismo seleccione los elementos adecuados (tiristores). Realícelo para ángulos de conducción de 60, 90 y 150 grados.
 - a) Rectificador de media onda con control de fase.
 - b) Control de fase de onda completa con SCR.
 - c) Control de fase de onda completa con TRIAC.
3. ¿En que consiste un circuito oscilador de bloqueo?
4. ¿Qué ventajas presenta la variación de voltaje y potencia por medio de control de fase?
5. Investigue las aplicaciones de circuitos de control de fase.

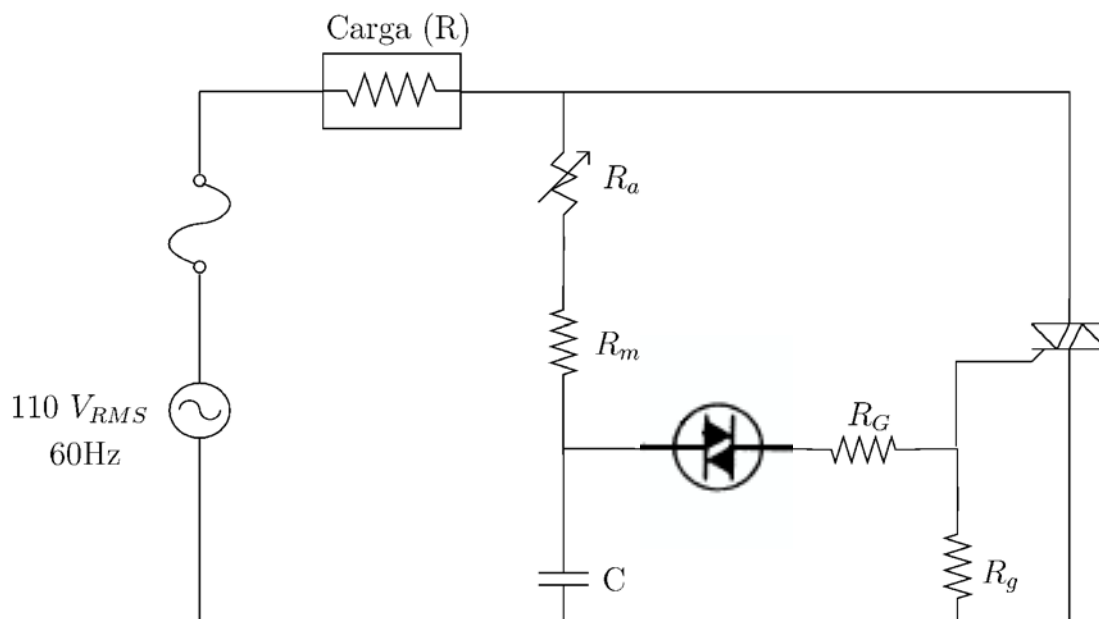
MATERIAL Y EQUIPO

- 1) Lámpara incandescente de 60 watts
- 2) Portalámparas
- 3) Alimentación de 127 VCA
- 4) TRIAC

- 5) DIAC
- 6) Resistencias de diferentes valores
- 7) Resistencias variables.
- 8) Capacitor de $1\ \mu\text{F}$
- 9) Osciloscopio con entrada diferencial
- 10) Fuente de voltaje de C.A.

PROCEDIMIENTO

La práctica consiste en diseñar, implementar y evaluar el funcionamiento de un circuito de variación de voltaje por medio de control de fase del voltaje de alimentación (Figura 1).



Para esto se deja al alumno la realización de los cálculos necesarios para la selección de los componentes. A continuación se describen los pasos generales para la realización de la práctica.

1. Seleccione el esquema de control de fase a realizar. Determine las características de los elementos. Analice el funcionamiento y consulte con su profesor si el diseño realizado es funcional.
2. Arme el circuito, energicelo y observe el comportamiento. Varíe la resistencia variable y observe el comportamiento de la carga (lámpara incandescente).
3. Observe las formas de onda para diferentes valores de R (R se forma de dos resistencias, una fija y una variable). Dibuje las formas de onda detalladamente.
4. Observe en el osciloscopio las formas de onda en el capacitor del circuito de control. Dibújelas detalladamente.

5. Desenergice y desconecte el circuito.

CUESTIONARIO

- a) ¿Porqué se requiere osciloscopio con entrada diferencial? Explique en detalle.
- b) ¿Qué pasa si se conecta el circuito de control antes de la carga, es decir si se alimenta directamente de la línea?
- c) ¿Qué sucede desde en el voltaje en la carga cuando se varía el valor de R?
- d) ¿Sigue operando el circuito de control después del encendido del tiristor?

BIBLIOGRAFÍA

- 1. Rashid , Muhammad H. Power Electronics. Prentice Hall.
- 2. Thyristor Device Data. Motorola. 1993. USA.
- 3. Boylestad. Electrónica, Teoría de circuitos. Prentice Hall.

6.10 Class B audio amplifier

PARTS AND MATERIALS

- Four 6 volt batteries
- Dual operational amplifier, model TL082 recommended (Radio Shack catalog # 276-1715)
- One NPN power transistor in a TO-220 package – (Radio Shack catalog # 276-2020 or equivalent)
- One PNP power transistor in a TO-220 package – (Radio Shack catalog # 276-2027 or equivalent)
- One 1N914 switching diode (Radio Shack catalog # 276-1620)
- One capacitor, 47 μ F electrolytic, 35 WVDC (Radio Shack catalog # 272-1015 or equivalent)
- Two capacitors, 0.22 μ F, non-polarized (Radio Shack catalog # 272-1070)
- One 10 k Ω potentiometer, linear taper (Radio Shack catalog # 271-1715)

Be sure to use an op-amp that has a high *slew rate*. Avoid the LM741 or LM1458 for this reason.

The closer matched the two transistors are, the better. If possible, try to obtain TIP41 and TIP42 transistors, which are closely matched NPN and PNP power transistors with dissipation ratings of 65 watts each. If you cannot get a TIP41 NPN transistor, the TIP3055 (available from Radio Shack) is a good substitute. Do not use very large (i.e. TO-3 case) power transistors, as the op-amp may have trouble driving enough current to their bases for good operation.

CROSS-REFERENCES

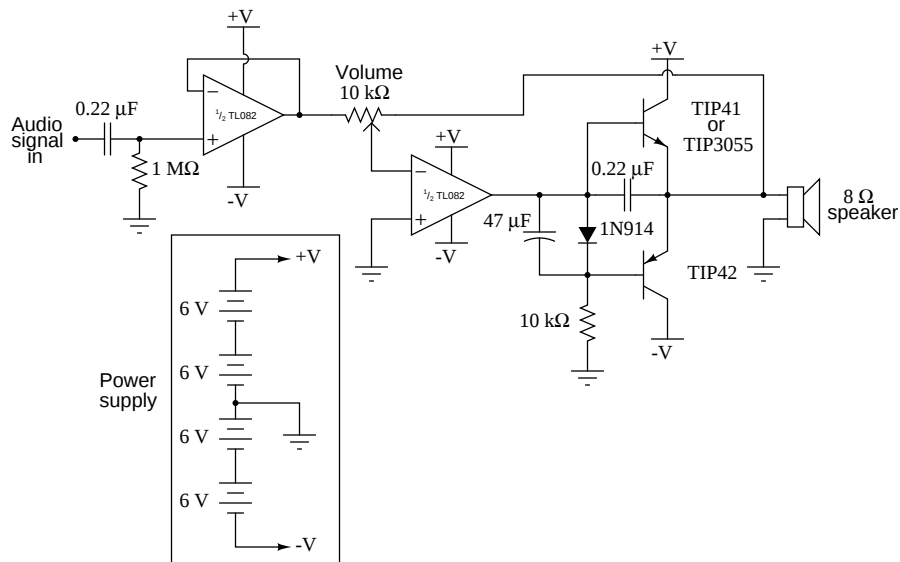
Lessons In Electric Circuits, Volume 3, chapter 4: "Bipolar Junction Transistors"

Lessons In Electric Circuits, Volume 3, chapter 8: "Operational Amplifiers"

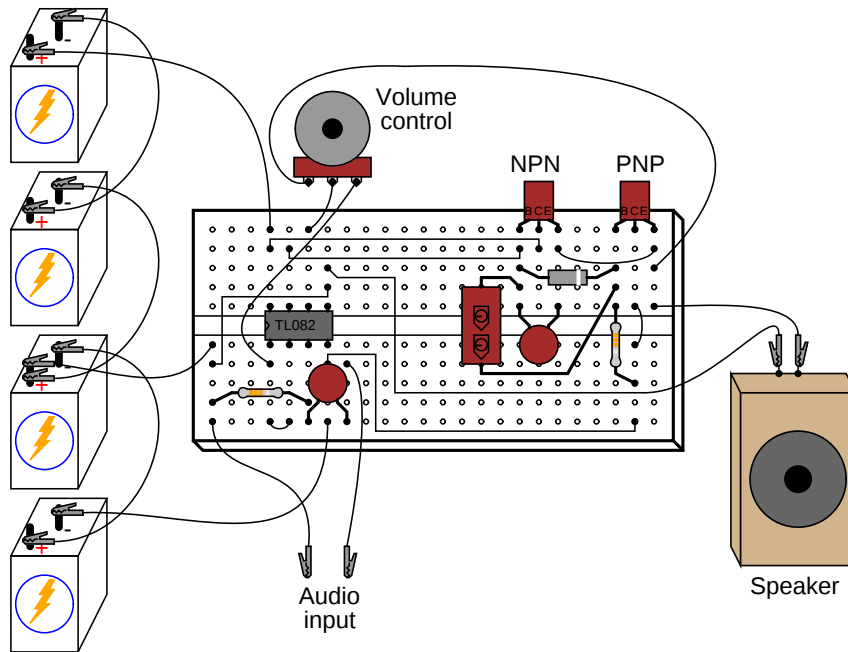
LEARNING OBJECTIVES

- How to build a "push-pull" class B amplifier using complementary bipolar transistors
- The effects of "crossover distortion" in a push-pull amplifier circuit
- Using negative feedback via an op-amp to correct circuit nonlinearities

SCHEMATIC DIAGRAM



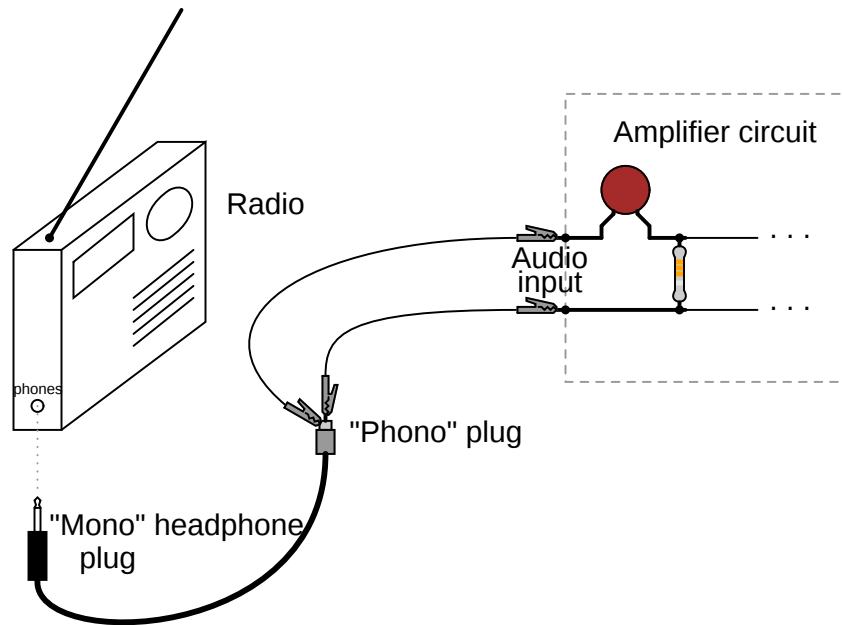
ILLUSTRATION



INSTRUCTIONS

This project is an audio amplifier suitable for amplifying the output signal from a small radio, tape player, CD player, or any other source of audio signals. For stereo operation, two identical

amplifiers must be built, one for the left channel and other for the right channel. To obtain an input signal for this amplifier to amplify, just connect it to the output of a radio or other audio device like this:



This amplifier circuit also works well in amplifying "line-level" audio signals from high-quality, modular stereo components. It provides a surprising amount of sound power when played through a large speaker, and may be run without heat sinks on the transistors (though you should experiment with it a bit before deciding to forego heat sinks, as the power dissipation varies according to the type of speaker used).

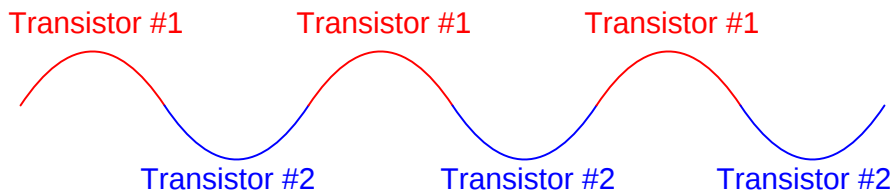
The goal of any amplifier circuit is to reproduce the input waveshape as accurately as possible. Perfect reproduction is impossible, of course, and any differences between the output and input waveshapes is known as *distortion*. In an audio amplifier, distortion may cause unpleasant tones to be superimposed on the true sound. There are many different configurations of audio amplifier circuitry, each with its own advantages and disadvantages. This particular circuit is called a "class B," *push-pull* circuit.

Most audio "power" amplifiers use a class B configuration, where one transistor provides power to the load during one-half of the waveform cycle (it *pushes*) and a second transistor provides power to the load for the other half of the cycle (it *pulls*). In this scheme, neither transistor remains "on" for the entire cycle, giving each one a time to "rest" and cool during the waveform cycle. This makes for a power-efficient amplifier circuit, but leads to a distinct type of nonlinearity known as "crossover distortion."

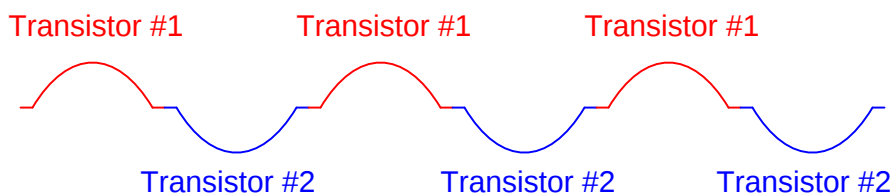
Shown here is a sine-wave shape, equivalent to a constant audio tone of constant volume:



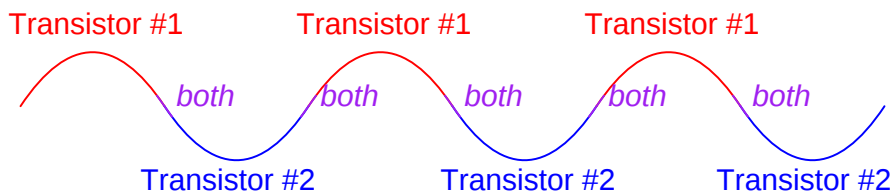
In a push-pull amplifier circuit, the two transistors take turns amplifying the alternate half-cycles of the waveform like this:



If the "hand-off" between the two transistors is not precisely synchronized, though, the amplifier's output waveform may look something like this instead of a pure sine wave:



Here, distortion results from the fact that there is a delay between the time one transistor turns off and the other transistor turns on. This type of distortion, where the waveform "flattens" at the crossover point between positive and negative half-cycles, is called *crossover distortion*. One common method of mitigating crossover distortion is to bias the transistors so that their turn-on/turn-off points actually overlap, so that *both* transistors are in a state of conduction for a brief moment during the crossover period:



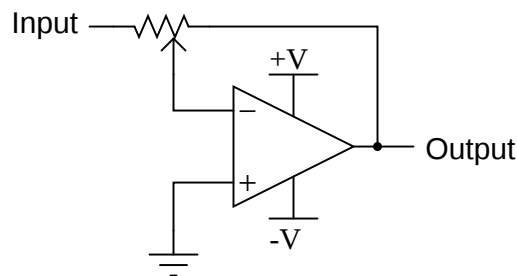
This form of amplification is technically known as class *AB* rather than class *B*, because each transistor is "on" for more than 50% of the time during a complete waveform cycle. The disadvantage to doing this, though, is increased power consumption of the amplifier circuit, because during the moments of time where both transistors are conducting, there is current conducted through the transistors that is *not* going through the load, but is merely being "shorted" from one power supply rail to the other (from $-V$ to $+V$). Not only is this a waste of energy, but it dissipates more heat energy in the transistors. When transistors increase in temperature, their characteristics change (V_{be} forward voltage drop, β , junction resistances, etc.), making proper biasing difficult.

In this experiment, the transistors operate in pure class *B* mode. That is, they are never conducting at the same time. This saves energy and decreases heat dissipation, but lends itself to crossover distortion. The solution taken in this circuit is to use an op-amp with negative feedback to quickly drive the transistors through the "dead" zone producing crossover distortion and reduce the amount of "flattening" of the waveform during crossover.

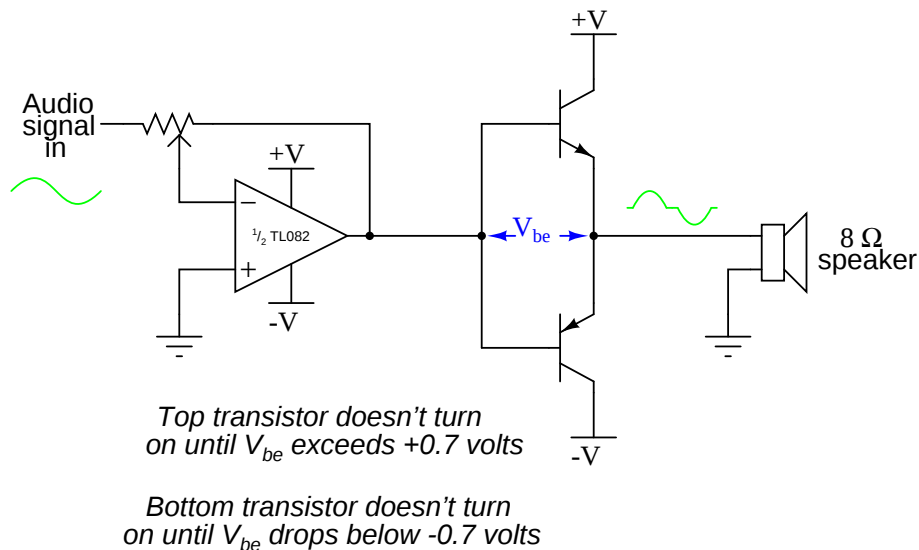
The first (leftmost) op-amp shown in the schematic diagram is nothing more than a buffer. A buffer helps to reduce the loading of the input capacitor/resistor network, which has been placed in

the circuit to filter out any DC bias voltage out of the input signal, preventing any DC voltage from becoming amplified by the circuit and sent to the speaker where it might cause damage. Without the buffer op-amp, the capacitor/resistor filtering circuit reduces the low-frequency ("bass") response of the amplifier, and accentuates the high-frequency ("treble").

The second op-amp functions as an inverting amplifier whose gain is controlled by the 10 k Ω potentiometer. This does nothing more than provide a volume control for the amplifier. Usually, inverting op-amp circuits have their feedback resistor(s) connected directly from the op-amp output terminal to the inverting input terminal like this:



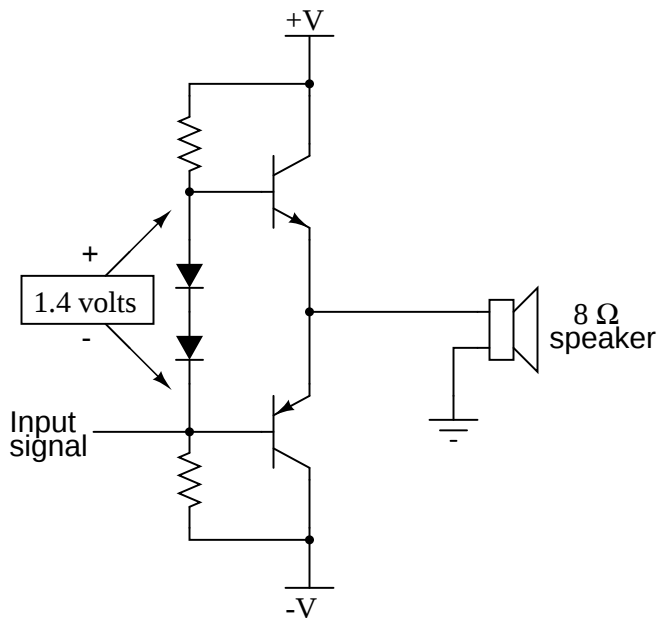
If we were to use the resulting output signal to drive the base terminals of the push-pull transistor pair, though, we would experience significant crossover distortion, because there would be a "dead" zone in the transistors' operation as the base voltage went from + 0.7 volts to - 0.7 volts:



If you have already constructed the amplifier circuit in its final form, you may simplify it to this form and listen to the difference in sound quality. If you have not yet begun construction of the circuit, the schematic diagram shown above would be a good starting point. It will amplify an audio signal, but it will sound horrible!

The reason for the crossover distortion is that when the op-amp output signal is between + 0.7 volts and - 0.7 volts, neither transistor will be conducting, and the output voltage to the speaker will be 0 volts for the entire 1.4 volts span of base voltage swing. Thus, there is a "zone" in the

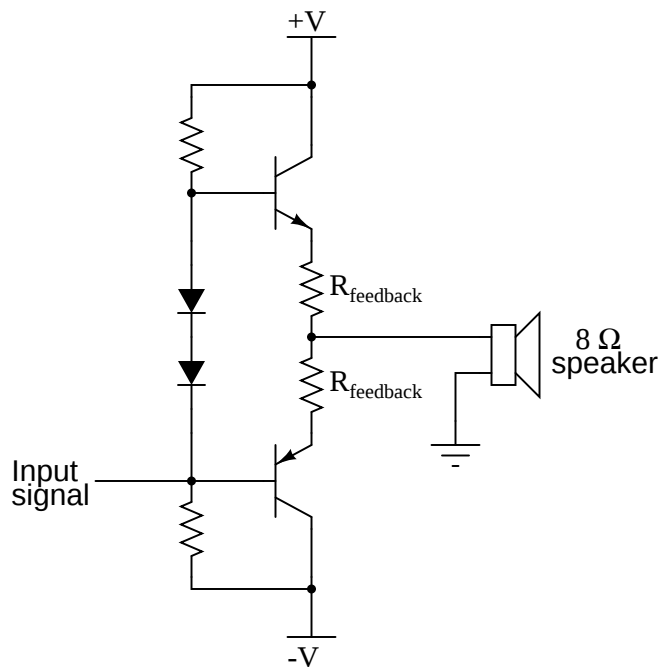
input signal range where no change in speaker output voltage will occur. Here is where intricate biasing techniques are usually introduced to the circuit to reduce this 1.4 volt "gap" in transistor input signal response. Usually, something like this is done:



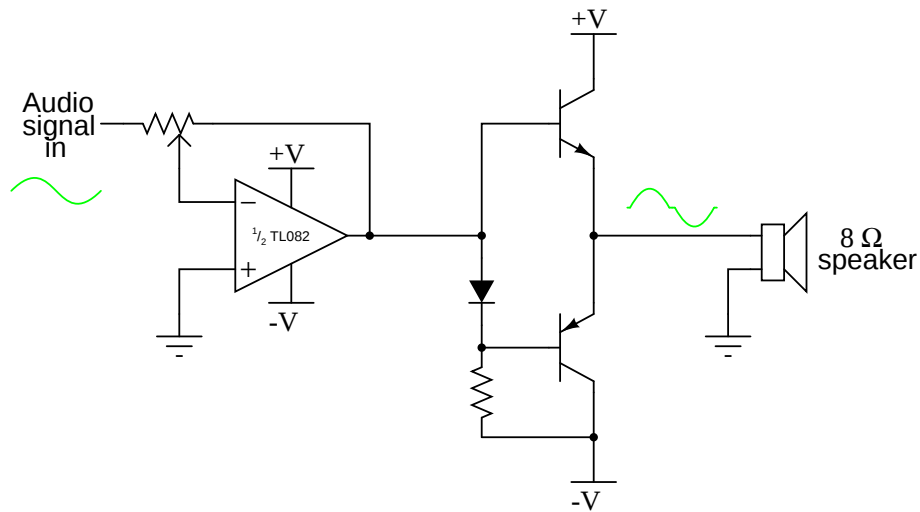
The two series-connected diodes will drop approximately 1.4 volts, equivalent to the combined V_{be} forward voltage drops of the two transistors, resulting in a scenario where each transistor is just on the verge of turning on when the input signal is zero volts, eliminating the 1.4 volt "dead" signal zone that existed before.

Unfortunately, though, this solution is not perfect: as the transistors heat up from conducting power to the load, their V_{be} forward voltage drops will decrease from 0.7 volts to something less, such as 0.6 volts or 0.5 volts. The diodes, which are not subject to the same heating effect because they do not conduct any substantial current, will not experience the same change in forward voltage drop. Thus, the diodes will continue to provide the same 1.4 volt bias voltage even though the transistors require less bias voltage due to heating. The result will be that the circuit drifts into class AB operation, where *both* transistors will be in a state of conduction part of the time. This, of course, will result in more heat dissipation through the transistors, exacerbating the problem of forward voltage drop change.

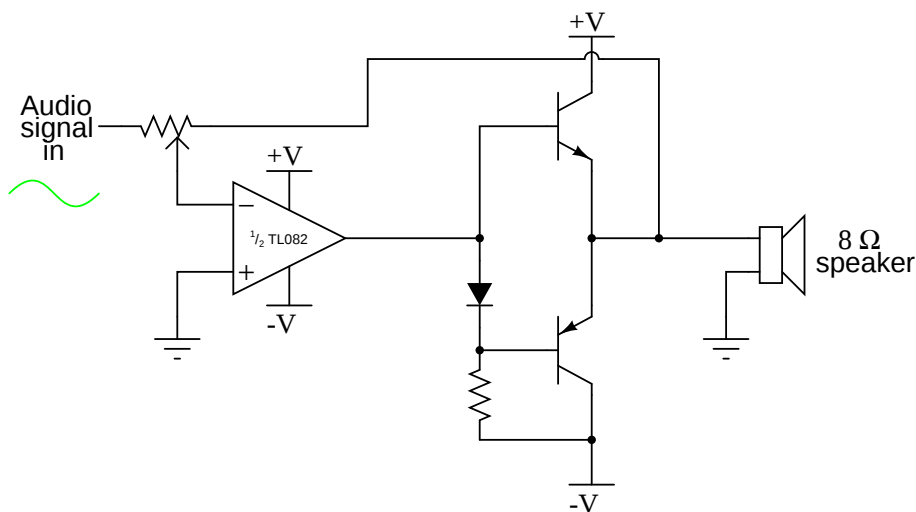
A common solution to this problem is the insertion of temperature-compensation "feedback" resistors in the emitter legs of the push-pull transistor circuit:



This solution doesn't prevent simultaneous turn-on of the two transistors, but merely reduces the severity of the problem and prevents thermal runaway. It also has the unfortunate effect of inserting resistance in the load current path, limiting the output current of the amplifier. The solution I opted for in this experiment is one that capitalizes on the principle of op-amp negative feedback to overcome the inherent limitations of the push-pull transistor output circuit. I use one diode to provide a 0.7 volt bias voltage for the push-pull pair. This is not enough to eliminate the "dead" signal zone, but it reduces it by at least 50%:

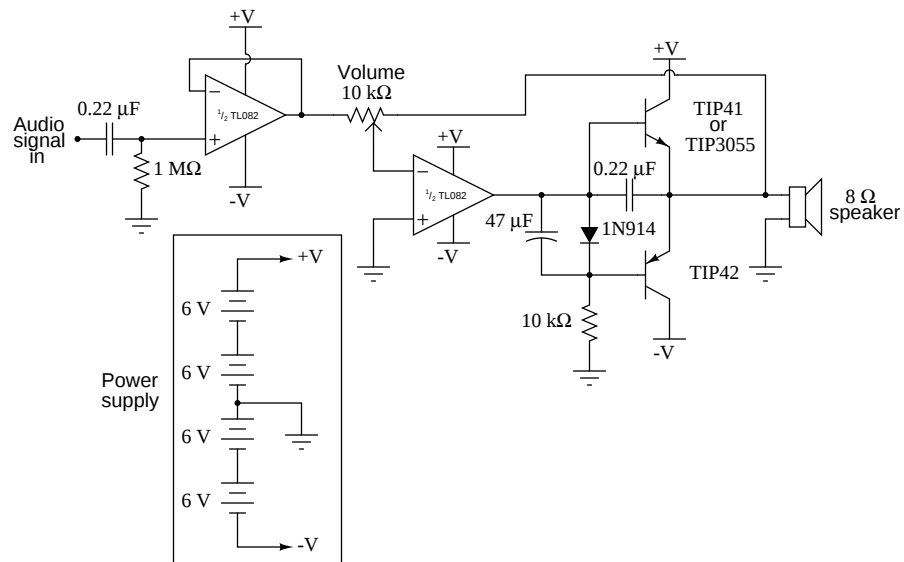


Since the voltage drop of a single diode will always be less than the combined voltage drops of the two transistors' base-emitter junctions, the transistors can never turn on simultaneously, thereby preventing class AB operation. Next, to help get rid of the remaining crossover distortion, the feedback signal of the op-amp is taken from the output terminal of the amplifier (the transistors' emitter terminals) like this:



The op-amp's function is to output whatever voltage signal it has to in order to keep its two input terminals at the same voltage (0 volts differential). By connecting the feedback wire to the emitter terminals of the push-pull transistors, the op-amp has the ability to sense any "dead" zone where neither transistor is conducting, and output an appropriate voltage signal to the bases of the transistors to quickly drive them into conduction again to "keep up" with the input signal waveform. This requires an op-amp with a high *slew rate* (the ability to produce a fast-rising or fast-falling output voltage), which is why the TL082 op-amp was specified for this circuit. Slower op-amps such as the LM741 or LM1458 may not be able to keep up with the high dv/dt (voltage rate-of-change over time, also known as de/dt) necessary for low-distortion operation.

Only a couple of capacitors are added to this circuit to bring it into its final form: a $47\ \mu\text{F}$ capacitor connected in parallel with the diode helps to keep the 0.7 volt bias voltage constant despite large voltage swings in the op-amp's output, while a $0.22\ \mu\text{F}$ capacitor connected between the base and emitter of the NPN transistor helps reduce crossover distortion at low volume settings:



6.9 PWM power controller

PARTS AND MATERIALS

- Four 6 volt batteries
- One capacitor, 100 μF electrolytic, 35 WVDC (Radio Shack catalog # 272-1028 or equivalent)
- One capacitor, 0.1 μF , non-polarized (Radio Shack catalog # 272-135)
- One 555 timer IC (Radio Shack catalog # 276-1723)
- Dual operational amplifier, model 1458 recommended (Radio Shack catalog # 276-038)
- One NPN power transistor – (Radio Shack catalog # 276-2041 or equivalent)
- Three 1N4001 rectifying diodes (Radio Shack catalog # 276-1101)
- One 10 k Ω potentiometer, linear taper (Radio Shack catalog # 271-1715)
- One 33 k Ω resistor
- 12 volt automotive tail-light lamp
- Audio detector with headphones

CROSS-REFERENCES

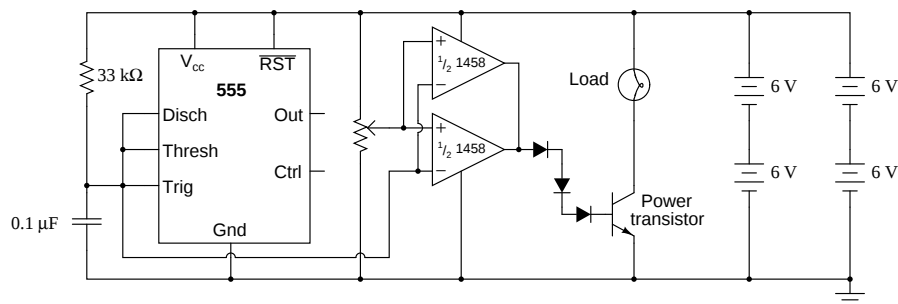
Lessons In Electric Circuits, Volume 3, chapter 8: "Operational Amplifiers"

Lessons In Electric Circuits, Volume 2, chapter 7: "Mixed-Frequency AC Signals"

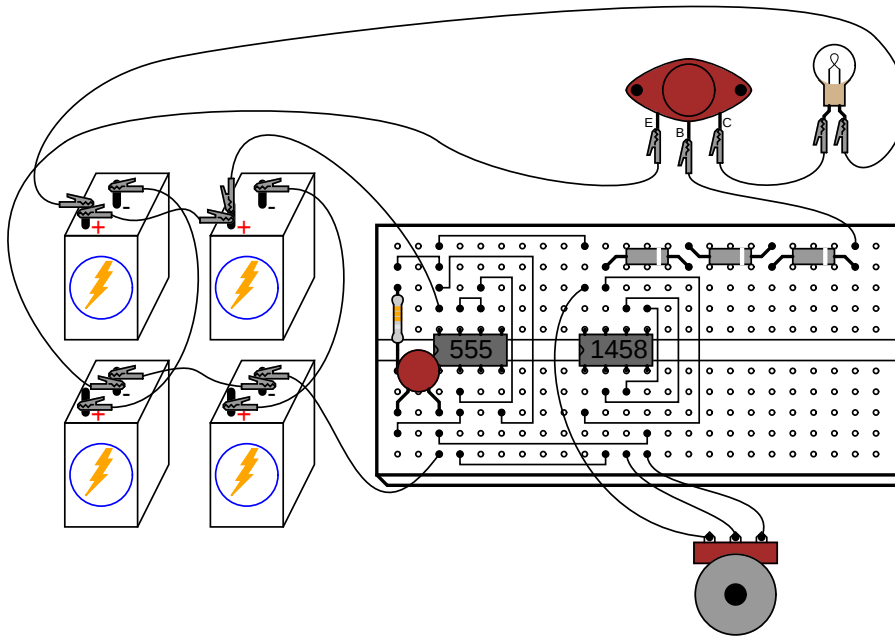
LEARNING OBJECTIVES

- How to use the 555 timer as an astable multivibrator
- How to use an op-amp as a comparator
- How to use diodes to drop unwanted DC voltage
- How to control power to a load by pulse-width modulation

SCHEMATIC DIAGRAM

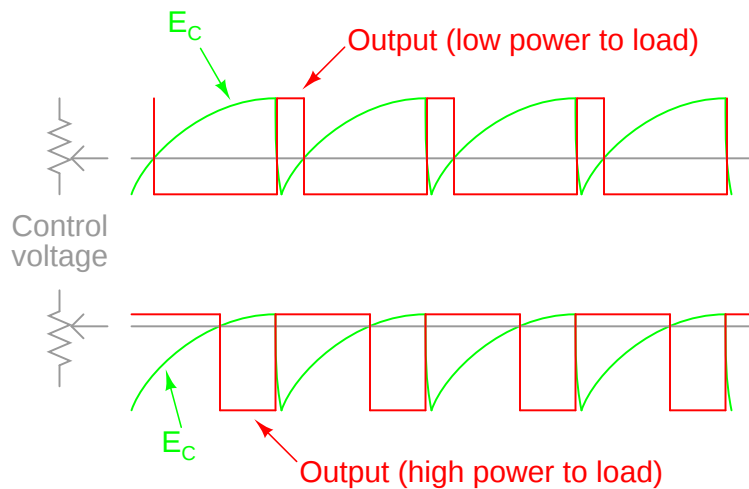


ILLUSTRATION



INSTRUCTIONS

This circuit uses a 555 timer to generate a sawtooth voltage waveform across a capacitor, then compares that signal against a steady voltage provided by a potentiometer, using an op-amp as a comparator. The comparison of these two voltage signals produces a square-wave output from the op-amp, varying in duty cycle according to the potentiometer's position. This variable duty cycle signal then drives the base of a power transistor, switching current on and off through the load. The 555's oscillation frequency is much higher than the lamp filament's ability to thermally cycle (heat and cool), so any variation in duty cycle, or *pulse width*, has the effect of controlling the total power dissipated by the load over time.



Controlling electrical power through a load by means of quickly switching it on and off, and varying the "on" time, is known as *pulse-width modulation*, or *PWM*. It is a very efficient means of controlling electrical power because the controlling element (the power transistor) dissipates comparatively little power in switching on and off, especially if compared to the wasted power dissipated of a rheostat in a similar situation. When the transistor is in cutoff, its power dissipation is zero because there is no current through it. When the transistor is saturated, its dissipation is very low because there is little voltage dropped between collector and emitter while it is conducting current.

PWM is a concept easier understood through experimentation than reading. It would be nice to view the capacitor voltage, potentiometer voltage, and op-amp output waveforms all on one (triple-trace) oscilloscope to see how they relate to one another, and to the load power. However, most of us have no access to a triple-trace oscilloscope, much less any oscilloscope at all, so an alternative method is to slow the 555 oscillator down enough that the three voltages may be compared with a simple DC voltmeter. Replace the $0.1\ \mu\text{F}$ capacitor with one that is $100\ \mu\text{F}$ or larger. This will slow the oscillation frequency down by a factor of at least a thousand, enabling you to measure the capacitor voltage *slowly* rise over time, and the op-amp output transition from "high" to "low" when the capacitor voltage becomes greater than the potentiometer voltage. With such a slow oscillation frequency, the load power will not be proportioned as before. Rather, the lamp will turn on and off at regular intervals. Feel free to experiment with other capacitor or resistor values to speed up the oscillations enough so the lamp never fully turns on or off, but is "throttled" by quick on-and-off pulsing of the transistor.

When you examine the schematic, you will notice *two* operational amplifiers connected in parallel. This is done to provide maximum current output to the base terminal of the power transistor. A single op-amp (one-half of a 1458 IC) may not be able to provide sufficient output current to drive the transistor into saturation, so two op-amps are used in tandem. This should only be done if the op-amps in question are overload-protected, which the 1458 series of op-amps are. Otherwise, it is possible (though unlikely) that one op-amp could turn on before the other, and damage result from the two outputs short-circuiting each other (one driving "high" and the other driving "low" simultaneously). The inherent short-circuit protection offered by the 1458 allows for direct driving of the power transistor base without any need for a current-limiting resistor.

The three diodes in series connecting the op-amps' outputs to the transistor's base are there to drop voltage and ensure the transistor falls into cutoff when the op-amp outputs go "low." Because the 1458 op-amp cannot swing its output voltage all the way down to ground potential, but only to within about 2 volts of ground, a direct connection from the op-amp to the transistor would mean the transistor would never fully turn off. Adding three silicon diodes in series drops approximately 2.1 volts (0.7 volts times 3) to ensure there is minimal voltage at the transistor's base when the op-amp outputs go "low."

It is interesting to listen to the op-amp output signal through an audio detector as the potentiometer is adjusted through its full range of motion. Adjusting the potentiometer has no effect on signal frequency, but it greatly affects duty cycle. Note the difference in tone quality, or *timbre*, as the potentiometer varies the duty cycle from 0% to 50% to 100%. Varying the duty cycle has the effect of changing the harmonic content of the waveform, which makes the tone sound different.

You might notice a particular uniqueness to the sound heard through the detector headphones when the potentiometer is in center position (50% duty cycle – 50% load power), versus a kind of similarity in sound just above or below 50% duty cycle. This is due to the absence or presence of even-numbered harmonics. Any waveform that is symmetrical above and below its centerline, such as a square wave with a 50% duty cycle, contains *no* even-numbered harmonics, only odd-numbered. If the duty cycle is below or above 50%, the waveform will *not* exhibit this symmetry, and there will be even-numbered harmonics. The presence of these even-numbered harmonic frequencies can be detected by the human ear, as some of them correspond to *octaves* of the fundamental frequency and thus "fit" more naturally into the tone scheme.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
**FACULTAD DE INGENIERÍA,
ARQUITECTURA Y DISEÑO**



Laboratorio de Dispositivos Electrónicos de Potencia

Práctica 7

EI UJT

OBJETIVO:

Verificar el funcionamiento del UJT y aplicarlo en un oscilador de relajación

MATERIAL Y EQUIPO:

UJT (2N2647 o similar)
Capacitores de 0.1 μF y 0.01 μF
Resistencias de 100 $\text{k}\Omega$, 470 Ω y 47 Ω
Potenciómetro de 5 M Ω
Fuente de voltaje de 10 V
Multímetro
Osciloscopio

FUNDAMENTOS TEORÍCOS

Como su nombre lo indica el transistor de unijuntura tiene una sola unión, como un diodo. Sin embargo, difiere del diodo en que el material N es una barra de silicio con un contacto resistivo en cada extremo. Estos dos contactos se designan como base 1 y base 2. A la barra de silicio se le une por fusión un alambre de aluminio para formar la punta del emisor y el material tipo P.

DESARROLLO:

- 1) Medir la resistencia entre las bases y compararla con las especificaciones
Resistencia con B1+, B2- _____
- 2) Armar el circuito de la figura con los valores indicados.

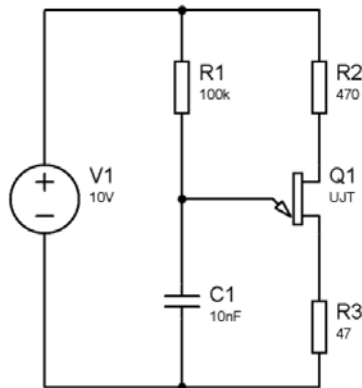


Fig. 1 - Oscilador de relajacion con UJT.

- 3) Energizar el circuito y observar el voltaje en la base 1 del UJT usando el osciloscopio. Mostrar la figura.
- 4) Determinar la relación intrínseca del UJT, considerando un voltaje de 0.6 V en la unión PN. Mostrar cálculos.
- 5) Medir el tiempo de carga del capacitor y compararlo con el valor teórico. Mostrar cálculos.
- 6) Colocar una resistencia variable de 5 M Ω en serie con la de 100 k Ω y medir el rango de frecuencias que se puede ajustar con la resistencia variable.
- 7) Cambiar el capacitor de 0.01 μ F por uno de 0.1 μ F y repetir el paso 6.

CONCLUSIÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
**FACULTAD DE INGENIERÍA,
ARQUITECTURA Y DISEÑO**



**Laboratorio de
Dispositivos Electrónicos de Potencia**

Práctica 8

El relevador

OBJETIVO:

Verificar el funcionamiento del relevador y aplicarlo en un circuito de control sencillo.

MATERIAL Y EQUIPO:

Un relevador marca SUN HOLD modelo TDS-1202L
Un interruptor momentáneo normalmente cerrado.
Un interruptor momentáneo normalmente abierto.
Una lámpara incandescente de 12 volts @ menos de 3 W
Un foco de 120 V @ mas de 20 W
Roseta para foco
Clavija

FUNDAMENTOS TEORÍCOS

El relevador es un dispositivo electromecánico que utiliza la fuerza de un electroimán para accionar uno o varios interruptores. Al energizarse, la bobina induce una fuerza magnética que acciona un mecanismo para cambiar el estado de los interruptores. Existen relevadores con uno o varios interruptores normalmente abiertos o normalmente cerrados.

DESARROLLO:

- 1) Bosquejar la figura del relevador donde se muestre la posición de sus terminales.

- 2) Identificar y verificar el estado de la bobina del relevador con ayuda del multímetro.

Para realizar esto se debe medir la resistencia entre las terminales del relevador hasta encontrar las que muestren una resistencia de varios cientos de Ohms. Esas terminales corresponden a las de la bobina. Marcar en el bosquejo.

Resistencia = _____

- 3) Identificar y verificar el estado de los contactos normalmente cerrados.

Puede usarse la función de prueba de continuidad o de resistencia para revisar los contactos normalmente cerrados sin necesidad de energizar al relevador. Cuando las puntas del multímetro estén tocando a las terminales correspondientes a las de un contacto normalmente cerrado se tendrá una lectura menor de un Ohm. Una vez que se hayan identificado se deberán marcar en el bosquejo con las iniciales NC y numeración consecutiva.

- 4) Identifique o verificar el estado de los contactos normalmente abiertos.

Se debe energizar la bobina con el voltaje de operación especificado por el fabricante. Luego, usando el multímetro, se puede revisar los contactos normalmente abiertos que con la bobina energizada cambiaran a cerrados. Marcar en el bosquejo con las iniciales NA y numeración consecutiva.

- 5) Identifique o verificar el estado de los contactos normalmente abiertos.

Determinar experimentalmente el voltaje de reposición y el mínimo de operación del relevador. Armar el circuito de la figura 1a. Mostrar gráficamente.

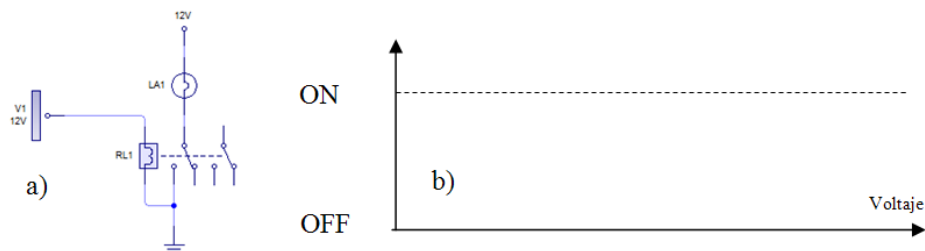


Figura 1. a) Circuito para verificar los voltajes de reposición y el mínimo de operación. b) Área para graficar los voltajes de reposición y mínimo de operación del relevador.

- 6) Armar un circuito de arranque y paro (dominante OFF) que controle el encendido de un foco de 120 V de corriente alterna. Medir los voltajes de la carga (foco) y los contactos tanto en encendido como en apagado.

CONCLUSIÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
**FACULTAD DE INGENIERÍA,
ARQUITECTURA Y DISEÑO**



Laboratorio de Dispositivos Electrónicos de Potencia

Práctica 9

EL MOSFET

OBJETIVO:

Verificar el funcionamiento del MOSFET de enriquecimiento canal N.

MATERIAL Y EQUIPO:

Foco de 12 V @ 3 W mínimo.

MOSFET IRF640

Capacitor de 1 μ F de poliéster

Dos resistencias de 1 M Ω

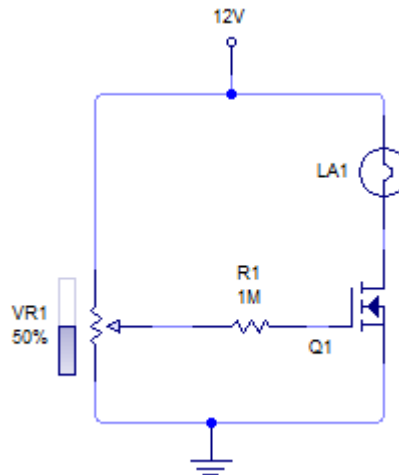
Un potenciómetro lineal de 4.7 M Ω

FUNDAMENTOS TEORÍCOS

El MOSFET es un tipo de transistor que pertenece a la familia de los transistores de efecto de campo, el cual fue diseñado principalmente para aplicaciones de conmutación. Este transistor tiene un material aislante entre la puerta y el material semiconductor que mejora la impedancia de entrada. El MOSFET de enriquecimiento es el mas usado, y los hay de con canal N y de canal P. Cuenta con tres capas de semiconductor apiladas de forma similar a un transistor BJT pero el funcionamiento es muy diferente ya que el control del paso de la corriente entre las terminales principales de drenador y fuente es por medio del campo eléctrico generado por el voltaje aplicado en la terminal de puerta.

DESARROLLO:

- 1) Armar el circuito de la figura 1.



2)
Figura 1. Circuito para verificar la operación del MOSFET

- 3) Verificar la operación del MOSFET como elemento de control de corriente.
Variar el voltaje de puerta, ajustando el potenciómetro, mientras se observa el foco. Indicar lo que sucede.
- 4) Medir el voltaje de umbral $V_{GS(th)}$.
Ajustar poco a poco el voltaje de puerta hasta encontrar el nivel de voltaje con el que apenas empieza a conducir el transistor (Tome como umbral 250 μA)

$$V_{GS(th)} = \underline{\hspace{2cm}}$$

- 5) Medir el voltaje de encendido $V_{GS(ON)}$.
Ajustar poco a poco el voltaje de puerta hasta encontrar el nivel de voltaje con el que el transistor se aproxima a un interruptor cerrado

$$V_{GS(ON)} = \underline{\hspace{2cm}}$$

CONCLUSIÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
**FACULTAD DE INGENIERÍA,
ARQUITECTURA Y DISEÑO**



**Laboratorio de
Dispositivos Electrónicos de Potencia**

Práctica 10

Control de potencia con PWM

OBJETIVO:

Controlar la potencia de una carga aplicando la modulación por ancho de pulso.

MATERIAL Y EQUIPO:

Osciloscopio

Multímetro

Fuente voltaje de 12 Volts @ 10 Amper.

Foco de las luces de reversa del automóvil (carga del circuito)

Transistor TIP41 con disipador

Amplificador operacional dual, modelo 1458 (con protección contra corto circuito)

Un Circuito integrado 555

Cuatro diodos 1N4001

Dos condensadores electrolíticos de 1000 uF 25 V

Un condensador electrolítico de 100 uF 25 V

Tres condensadores de 0,1 uF, no polarizado

Un potenciómetro de 10 kΩ (lineal)

Una resistencia de 33kΩ

FUNDAMENTOS TEORÍCOS

La modulación por ancho de pulso (PWM, Pulse-Width Modulation) es una técnica que se puede utilizar para transmitir información o para controlar la cantidad de potencia que se envía a una carga. En esta técnica se interrumpe la transmisión de potencia desde la fuente hacia la carga formando pulsos a una frecuencia fija con duración variable entre 0 y 100% del período completo. El parámetro que determina el tiempo de duración del pulso es el ciclo de trabajo 'D', el cual es expresado matemáticamente como

$$D = \frac{\tau}{T}$$

donde: T es el periodo de la señal y τ es la duración del pulso.

DESARROLLO:

Objetivo A

Construir un circuito modulador del ancho de pulso con un timer 555 y un OPAM.

- 1) Armar el circuito de la figura 1.

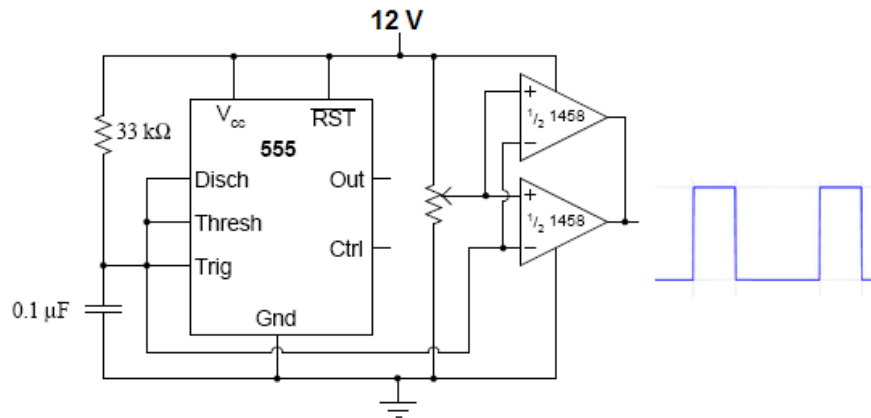


Figura 1. Modulador PWM.

- 2) Ajustar el potenciómetro hasta que a la salida se tenga un ciclo de trabajo del 50%.
- 3) Medir, observar y dibujar el voltaje de salida del modulador PWM. Indicar los niveles de voltaje mínimo y máximo, y la frecuencia.
- 4) ¿Cuál es el rango de ajuste que se puede lograr en el ciclo de trabajo, con este circuito?
- 5) Medir el voltaje del potenciómetro para un ciclo de trabajo de:

D(%)	0	20	40	60	80	100
Voltaje						

- 6) ¿En que proporción varía el ciclo de trabajo con respecto al voltaje del potenciómetro?

Objetivo B

Controlar la potencia de una carga aplicando la modulación por ancho de pulso.

- 7) Agregar al modulador PWM una etapa de potencia con transistor (ver la figura 2) para que se pueda manejar más corriente y se pueda controlar la potencia entregada a un foco.

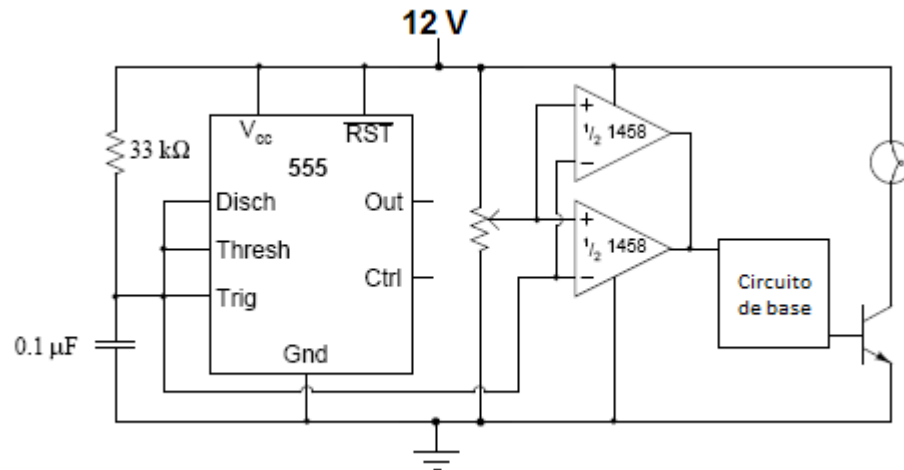


Figura 2. Control de potencia con PWM.

- 8) Diseñar el circuito de base. Dibujar el circuito seleccionado y los cálculos.
- 9) Medir, observar y dibujar el voltaje de colector a emisor
- 10) Verificar que el transistor este en saturación.

CONCLUSIÓN